

Leica ScanStation

White paper



Luglio 2015

Gregory Walsh Ph.D.
Leica Geosystems AG
Heerbrugg, Svizzera



- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

Compensazione dell'Inclinazione per i Laser Scanner

Gregory Walsh, Ph.D.

1. Premessa

Gli scanner Leica Geosystems sono tutti equipaggiati con un dispositivo chiamato Compensatore Biassiale. Quando si lavora con uno scanner con compensatore biassiale, all'operatore si richiede di mettere in bolla lo strumento, anche non accuratamente, tramite le viti presenti nella basetta tricuspide. Sebbene questa procedura richieda poco tempo ad un utente esperto, sorge spontaneo chiedersi cosa sia un compensatore biassiale, come funzioni, e, soprattutto, quali possibili vantaggi offre all'operatore. Il presente documento cerca di dare risposta a queste domande rivolte, soprattutto, all'operatore che potrebbe essere tentato di saltare la fase di livellamento e vorrebbe sapere quando ciò è accettabile.



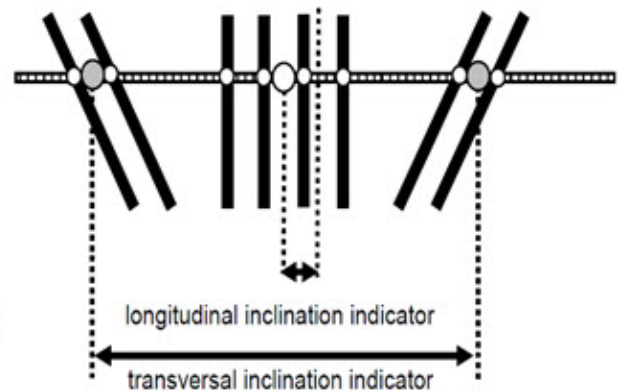
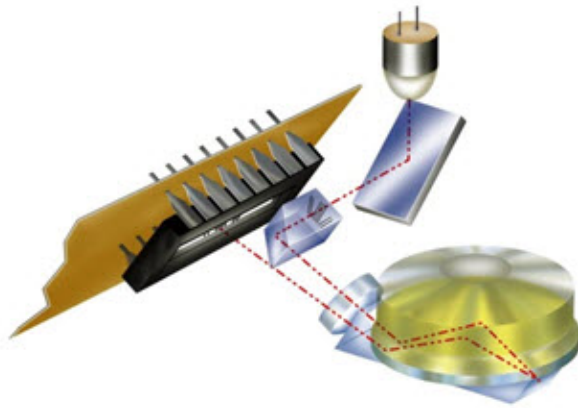
Figura 1: ScanStation Leica P40, laser scanner per il rilievo, con sensore di inclinazione integrato, montato su basamento tricuspide. Il basamento ha tre piccole ruote per permettere il corretto livellamento.

Il vantaggio del compensatore biassiale in uno scanner Leica Geosystems si manifesta sia nei dati acquisiti da una posizione, sia quando si tenta di eseguire la "registrazione", o trovare la posizione relativa e l'orientamento, di dati raccolti da due posizioni differenti. Questi vantaggi possono essere apprezzati soltanto se la precisione delle letture dell'inclinazione, da parte del sensore, è ben sotto la precisione angolare dello strumento di cui fa parte. Infatti, le letture del sensore vengono utilizzate per "compensare" (aggiustare) continuamente le misurazioni fatte dallo strumento. In caso contrario, la compensazione peggiorerebbe i dati. Quindi la precisione del sensore di inclinazione permette di lavorare con la massima precisione angolare dello strumento come dalle stime fabbrica.

2. Compensazione dell'Inclinazione

Cos'è la compensazione dell'inclinazione? All'interno di una ScanStation Leica c'è una piccola coppa di vetro riempita con un olio speciale, che riproduce un orizzonte artificiale. Un fascio di luce viene proiettato verso l'olio, rimbalza sulla superficie e, infine, viene ripreso da una fotocamera. Le immagini sono scattate continuamente mentre lo scanner è in funzione; queste immagini vengono elaborate e la direzione della gravità determinata più volte al secondo, per un alto livello di precisione. La direzione della gravità è utilizzata per ruotare i dati misurati dallo scanner in modo che l'asse verticale sia allineato con la gravità. Con la parola "Compensazione" si intende questa rotazione dei dati, con la parola "inclinazione" si fa riferimento alla determinazione della direzione della gravità.

L'inclusione della compensazione è la caratteristica che permette di attribuire ad un laser scanner il nome di ScanStation. Il primo laser scanner Leica Geosystems a portare questo nome è stata la "Leica ScanStation", uscita nel 2006. La stessa unità, senza compensatore biassiale, è



l'HDS3000, uscito nel 2004. La compensazione è utile solo con l'utilizzo di sensori di inclinazione ad alta precisione, a lungo esclusiva degli strumenti topografici. Di conseguenza, gli strumenti precedenti Leica Geosystems, come il Cyrax 2400 e il Cyrax 2500, non possedevano la funzione di compensazione.

Dato che il sensore di inclinazione, preso da stazioni totali Leica Geosystems di massima precisione, è l'elemento basilare della linea di prodotti ScanStation, ciò fa capire quanto sia considerata importante la compensazione da Leica Geosystems. Questa caratteristica appartiene al detto Svizzero "Cucinare con l'acqua". Nessuno sa perché sia così importante; è un dato di fatto. Solo chi non conosce il compensatore biassiale ne può parlare in modo confuso. Al di fuori della comunità del rilievo, i termini "compensazione dell'inclinazione" o "compensazione biassiale", sono privi (o quasi) di significato. Per esempio, la serie P, precisa a 1,5" secondi, ha l'anello distintivo di technobabble, un termine utilizzato in laboratorio ma con poca o nessuna rilevanza in campo.

Infatti, la compensazione è importante per la pratica, che avviene solo al di fuori del laboratorio. In laboratorio non c'è bisogno di spostare lo scanner. In laboratorio è possibile posizionare lo scanner su supporti appositamente costruiti, che sono così stabili da essere considerati come "fissi". Nel mondo reale, si posiziona lo strumento su un cavalletto a terra per raccogliere i dati. Poi si deve spostare lo strumento in una nuova posizione. Il treppiede non è infinitamente rigido, perché altrimenti sarebbe molto scomodo da spostare. Mettere un target in alto diventa spesso un'operazione rischiosa o non possibile perché gli oggetti alti (pali della luce, tralicci, capannoni, etc...) potrebbero non essere disponibili o accessibili. Anche quando sono disponibili "oggetti alti", questi possono non essere sufficientemente rigidi, e ciò può causare dei problemi. Il compensatore biassiale si basa proprio su queste realtà pratiche, nella raccolta dei dati in campo.

Figura 2: I sensori di inclinazione Leica Geosystems si basano sull'utilizzo di una piccola fotocamera lineare, proprio come gli encoder angolari. Proprio come gli encoder angolari, la loro sensibilità è molto alta, meno di 1".

3. Vantaggi della compensazione dell'inclinazione nei singoli posizionamenti

Perché il compensatore biassiale è così importante? Siete fuori in campagna, ci sono -10°C , e lo strumento necessita che siano ruotate alcune piccole manopole sul basamento per la livellazione. Un geometra lo farà senza pensarci due volte. Tuttavia, farete questa regolazione indossando dei guanti perché, a -10 o -20°C si indossano i guanti, ed hanno un certo spessore. Regolerete ed attiverete comunque il compensatore biassiale perché siete fuori al freddo e perché avete bisogno di ottenere una misurazione. Una parte dell'acquisizione della misura consiste nel controllare il grado di incertezza della stessa. Pensiamo, per esempio, di misurare la distanza tra due edifici.

Il laser scanner viene posizionato vicino a questi due edifici e la scena scansionata. In ufficio, si potrebbero selezionare i punti, accettando l'errore casuale dovuto al rumore, o rifinire particolari caratteristiche geometriche degli edifici, come muri o spigoli con molti punti, riducendo l'impatto del rumore.

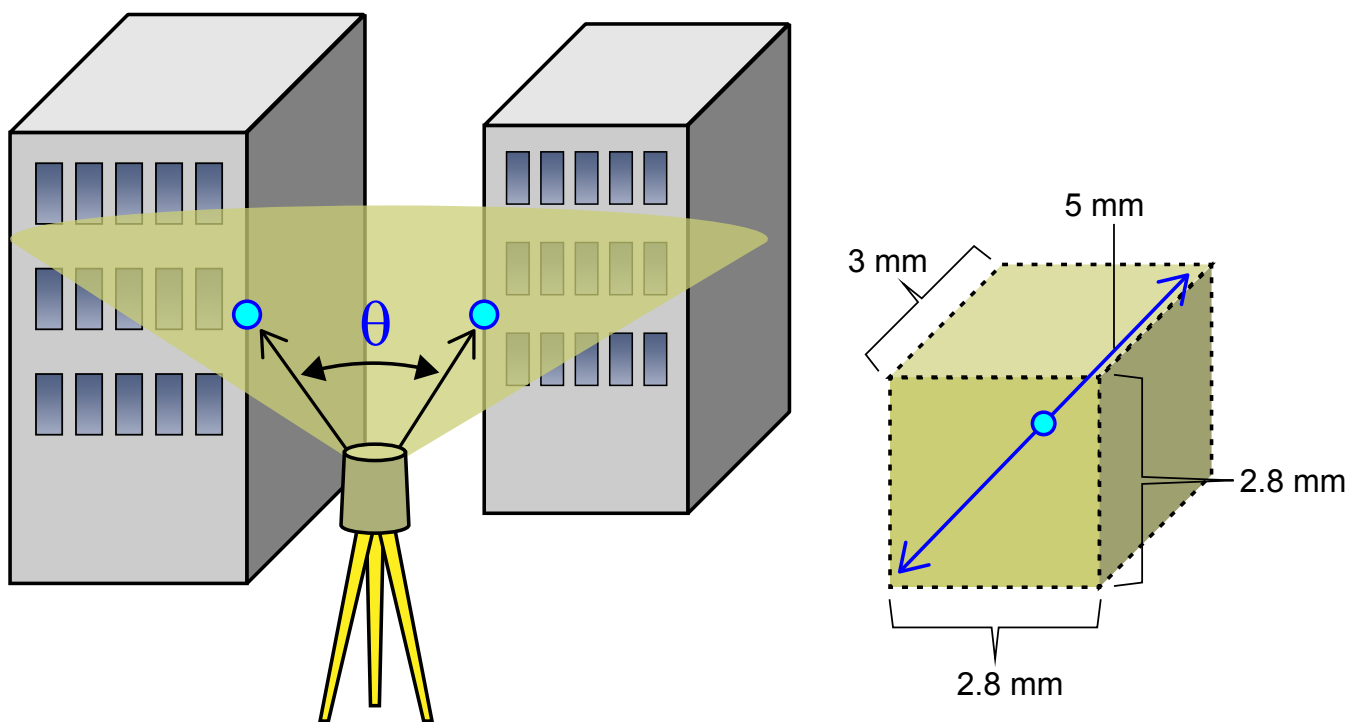


Figura 3: Misurare lo spazio tra i due edifici. L'errore viene rapidamente calcolato dalle specifiche misure ed in base alla situazione.

Proviamo a calcolare l'incertezza nel caso con spigoli, utilizzando i limiti di errore sistematico indicati nella scheda tecnica dello scanner serie-P. Se, per esempio, ogni spigolo è a 35 metri di distanza dallo scanner, l'incertezza angolare di uno scanner serie-P Leica Geosystems sarà pari a $8'' * (4.85e-6 \text{ rad / arcsec}) * 35 \text{ m} = 1.4 \text{ mm}$ circa (per ogni spigolo). Il range di incertezza è $35 \text{ m} * 10 \text{ ppm} + 1,2 \text{ mm} = 1,5 \text{ mm}$ circa. Questo rappresenta un segno più o meno, così quando si confrontano due misure, si potrebbe avere un errore su un lato, sull'altra misura, sul lato opposto. Se prendessimo un parallelepipedo con lati orizzontale e verticale di 2,8 mm e con profondità pari 3 mm, avremmo il peggior caso di errore della diagonale che attraversa il solido, dato da $\sqrt{2.8^2 + 2.8^2 + 3^2} = 5 \text{ mm}$. Quindi il peggior caso di errore tra le due misure è pari a 5 mm, circa 1/4 di pollice.

In questo calcolo non è entrata in gioco la precisione del compensatore biassiale. Il calcolo presuppone che il compensatore sia attivo, quindi non tiene conto del fatto che lo scanner impiega qualche secondo, forse minuti, per raccogliere insieme i dati visualizzati in ufficio. Se si acquisiscono dati all'aperto a -15°C , si finisce col soffiare sulle mani e col battere a terra i piedi, ma questo non è un problema di chi lavora in ufficio. Non si può nemmeno dire quanto tempo si impiega per raccogliere i dati quando si guarda la nuvola di punti. Questa informazione manca nel dataset. Se fosse importante sapere quando un particolare punto è stato acquisito, ci si trova in difficoltà perché ciò non è possibile.

La triste realtà è che i punti che compongono la posizione derivata dello spigolo sulla sinistra sono stati acquisiti in tempi diversi, a distanza di qualche secondo, forse minuti, rispetto allo spigolo dell'edificio sulla destra. Poiché le osservazioni sono state effettuate in momenti diversi, non si ha la certezza che lo scanner fosse esattamente nella stessa posizione e con lo stesso orientamento in entrambe i casi. Ma qualcuno potrebbe fare delle obiezioni e dire che lo scanner è rimasto immobile sul treppiede per tutto il tempo. Nessuno l'ha toccato.

Con un treppiede di ottima qualità si potrebbe sostenere che il centro dello scanner possa muoversi di una quantità non significativa, dove per significativa si intende rispetto alla precisione desiderata (ad esempio, $\frac{1}{4}''$, o 6 mm). Se si muovesse di una frazione di mm, l'operatore potrebbe accorgersi ed acquisire nuovamente i dati. Dovremmo quantificare la misura globale per comprendere se la frazione è accettabile. Spostamenti di meno di un millimetro nel corso di un minuto non sono così facili da cogliere al freddo, stringendo in



Figura 4: I treppiedi Leica Geosystems sono accuratamente progettati, ma non sono eccessivamente rigidi. Né lo è il terreno su cui sono collocati, nel mondo reale. Notare il colore luminoso, che lo rende facile da individuare e più riflettente, piuttosto che assorbire la luce solare. Si notino anche le piccole pedane ad ogni piede - utili per salire sopra e fissare saldamente il treppiede. Non battere i piedi.

mano il caffè e battendo i piedi. Il centro dello scanner non si è spostato in modo significativo, e questo si propaga esattamente come accade per l'errore degli spigoli dell'edificio. Fino a quando l'operatore è attento, si può ragionevolmente concludere che non ci si deve preoccupare per il movimento del centro dello scanner.

Si noti, tuttavia, che il calcolo sull'incertezza conteneva anche la precisione angolare della misura, ed è tutto descritto in questa piccola unità di misura chiamata arcosecondo. A prima vista, l'unità arcosecondo sembra essere completamente sproporzionata rispetto ai livelli di precisione considerati di alcune frazioni di pollice, o di pochi millimetri. Ma allora si può vedere che l'errore angolare viene moltiplicato in base alla portata, che va bene se è a pochi passi. Ma, di sicuro, non è a pochi passi o a pochi metri. Noi non possiamo decidere il range; gli spazi a misura d'uomo comprendono decine se non centinaia di metri. Questa distanza forma una leva che amplifica anche i più piccoli errori al fulcro, cioè, allo scanner.

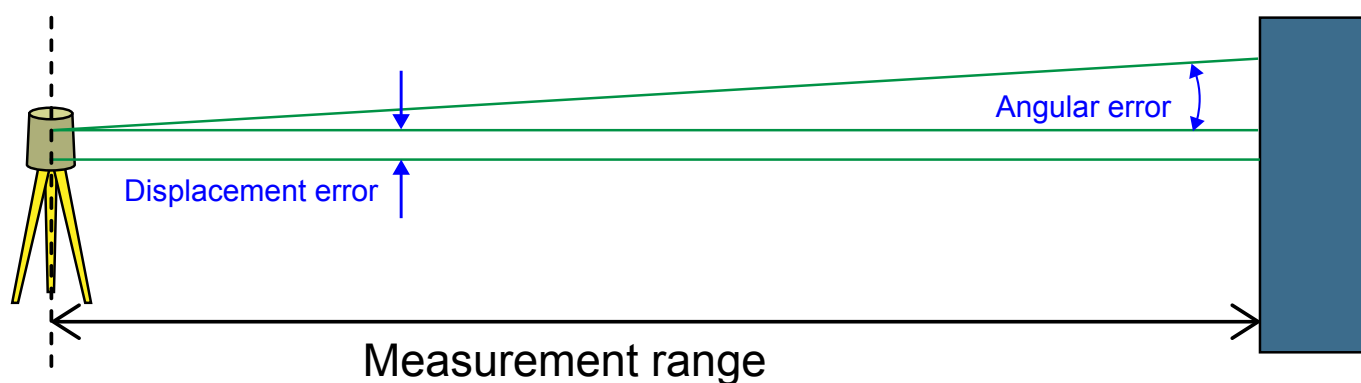


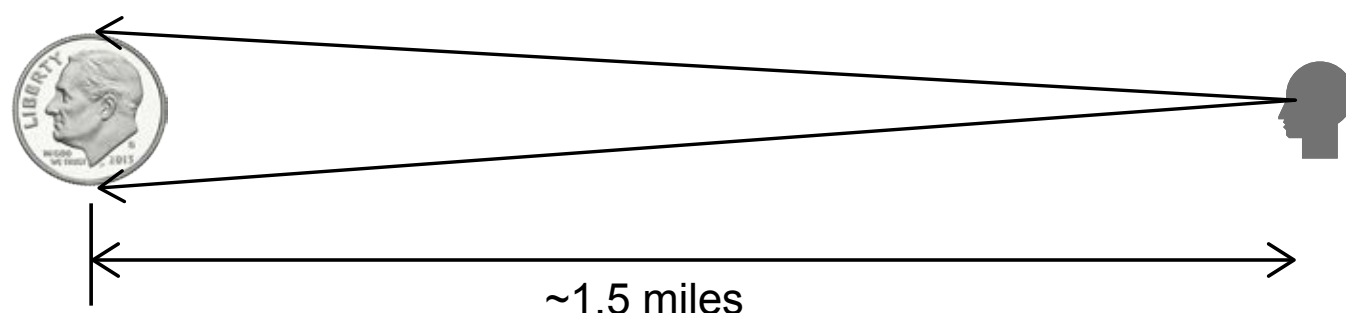
Figura 5: Legare la precisione di un punto in un intervallo di più di pochi metri, significa limitare di molto l'errore angolare, poiché è amplificato dalla distanza, a differenza dell'errore di spostamento.

Se si inizia a fare calcoli su quanto muovere il treppiede per causare un errore angolare significativo, dobbiamo cercare nel vocabolario il significato della parola "micron". I micron sono piccole unità, utilizzate per descrivere oggetti del diametro di un capello (da 50 a 150, a seconda del tipo di capello). I micron sono difficili da controllare durante la scansione di due edifici (al freddo e al gelo); non sono direttamente percepibili dall'occhio umano e l'operatore non è in grado di rilevare che lo scanner sta lentamente sprofondando nel terreno ghiacciato. Il treppiede non è congelato come il terreno, ma è appena uscito dal baule della macchina. Forse, l'idea di aspettare alcune ore prima di acquisire dati, per consentire che si stabilizzino le temperature, non si è venuta in mente all'operatore.

Il problema principale è che i requisiti di stabilità angolare, necessari per prendere le misure nei normali range, sono così stretti che non è pratico per l'operatore "radicare" rigidamente al suolo il treppiede. Per fortuna, nel nostro caso, l'operatore attiva il compensatore biassiale. Le misure

effettuate alla fine della scansione, comparate con quelle eseguite all'inizio, sono compensate rispetto alla forza di gravità con una precisione di 1.5 ", che è così piccola che non vi è alcun motivo per tenere traccia di questo errore nel calcolo dell'incertezza. La soglia di errore è quindi pari a $1.5 * 4.85e-6 * 35 \text{ m} = 0,25 \text{ mm}$. L'errore è forse di un paio di capelli lungo 35 m. L'errore viene ridotto dallo strumento al punto tale da essere trascurabile.

Ora, ipotizziamo che il compensatore biassiale sia spento e che, durante il processo di scansione, uno dei piedi del treppiede affondi nel terreno di una quantità pari allo spessore di un capello, 100 micron. L'errore di scostamento è dell'ordine di un capello umano e trascurabile alla scala millimetrica. Tuttavia, se le gambe del treppiede sono circa a 1 m l'una dall'altra, l'errore risultante a 35 m sarà, approssimativamente, questo dislivello moltiplicato per la portata, diviso la distanza tra le gambe del treppiede. Cioè, $100 \text{ micron} * (35 \text{ m} / 1 \text{ m}) = 3500 \text{ micron} = 3.5 \text{ mm}$; un errore molto più grande di qualsiasi altro termine considerato in precedenza. Questo termine è dovuto ad un impercettibile



(capello umano) movimento nel basamento del treppiede, che si è verificato ad un certo punto, durante la scansione. Se i dati vengono continuamente compensati, teniamo l'errore sotto controllo. Senza la misura dell'inclinazione, presa contemporaneamente ai dati di scansione, risulta impossibile controllare l'errore.

Figura 6: Un centesimo posto a 1,5 miglia di distanza sottende circa 1,5". I requisiti per la precisione angolare sono molto severi. Sono ultra-severi per la compensazione dell'inclinazione.

La precisione del sensore di inclinazione è ben dentro la precisione del P40, perché le letture del sensore sono utilizzate per modificare le misurazioni dello scanner, mentre vengono acquisite. Modificare i dati di scansione con la misura dell'inclinazione, effettuata in contemporanea, è l'unico modo per compensare lo spostamento del treppiede; una misura effettuata prima o dopo la scansione viene acquisita separatamente nel tempo e, quindi, si avrebbe solo un'ipotesi dell'inclinazione nei diversi istanti. Poiché il sensore di inclinazione è utilizzato per compensare continuamente i dati di scansione, rientra nel bilancio dell'errore angolare. Questo significa semplicemente che la precisione del dato non può essere migliore di quella

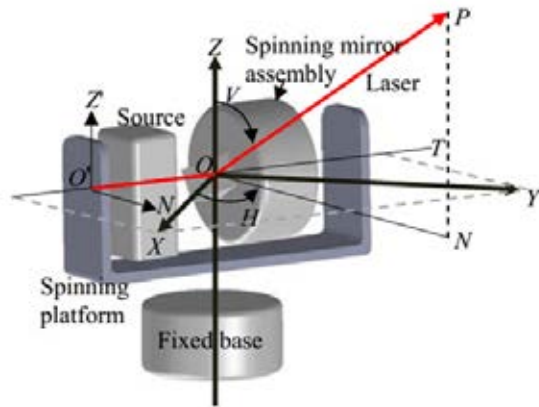


Figura 7: La figura sottolinea la base del modello matematico utilizzato nel documento NIST [1], come mostrato nell'articolo. Si noti che la base dello scanner è etichettata come "Fixed" (fissa).



Figura 8: Pilastri di cemento comodamente posizionati lungo il paesaggio nel Rheintal, in Svizzera. Strutture simili si possono trovare nei sotterranei dei laboratori di sviluppo.



Figura 9: Ecco un luogo di lavoro tipico, privo di pilastri di cemento come base per lo scanner. E' tempo di utilizzare un buon treppiede e un compensatore biassiale.

del sensore di inclinazione, infatti, essendo solo una parte dell'errore, è preferibile che l'errore sia minore del requisito angolare grezzo. È per questo che sono stati necessari decenni di sforzi per produrre sensori di inclinazione con livelli di precisione incredibilmente alti. Il compensatore biassiale del P40 può individuare la direzione della gravità a 1,5", che è $1,5 * 4.85e-6 \text{ rad} = 7.275e-6 \text{ rad}$. Che cosa vuol dire? Si può pensare ad un angolo come la dimensione di qualcosa ad una certa distanza. Ad esempio, la moneta da un centesimo di dollaro ha un diametro pari a 17.91 mm. Ci sono 1609.34 metri in un miglio. Affinché il centesimo sottenda 1,5", questi dovrebbe essere posizionato a più di 1,5 miglia di distanza.

Questa nozione di compensazione generalmente non funziona fuori dal laboratorio. Si consideri il seguente documento del National Institute of Standards and Technology (NIST), "Laser Scanner Two Face Errors on Spherical Targets" [1], che elenca una serie di misurazioni sull'accuratezza degli scanner, desumibile dalle misure effettuate senza la necessità di speciali target di riferimento. Il sensore di inclinazione non rientra nell'analisi, perché la prima ipotesi è che la base dello scanner sia perfettamente fissa. Questo assunto ha senso in laboratorio, perché è possibile posizionare lo scanner su un supporto estremamente forte e rigido.

Il lavoro di NIST è un controllo scientifico della precisione del laser scanner; è molto importante per limitare o controllare i diversi fattori che possono influenzare i risultati. La serie-P ha questo test NIST incorporato nello scanner - si chiama "Check and Adjust" e determina gli errori di calibrazione (e li corregge), come mostrato nel documento, sicuramente descritto con diversa terminologia. Se avrete la possibilità di visitare la sede Leica Geosystems in Svizzera, in tutte le strutture di ricerca e sviluppo inciamperete su simili supporti rigidi. In Svizzera, si costruiscono tali strutture come se fossero dei pilastri di cemento.

I pilastri di cemento bassi non presentano grandi spostamenti. Se ne aveste a disposizione uno su cui posizionare lo scanner, allora la compensazione continua non sarà fondamentale ma, a quanto pare, sarà ancora molto utile, come descritto in seguito. Fuori del laboratorio, ci potrebbe essere carenza di pilastri nei posti giusti per la raccolta dei dati di scansione. Un treppiede ben posizionato dovrebbe bastare. Quando attiviamo il compensatore biassiale, stiamo effettivamente trasformando il treppiede in un pilastro di cemento. Questa da sola sarebbe una ragione sufficiente per utilizzare il compensatore, ma c'è dell'altro.

4. I Vantaggi della Compensazione dell'Inclinazione nella Registrazione

I più grandi vantaggi della compensazione sono evidenti nella fase di registrazione - cioè il processo di ricerca della posizione e dell'orientamento relativo tra due o più postazioni di scansione. La registrazione è un processo inevitabile ma molto semplice perché, a quanto pare, il mondo è in 3D ed il laser scanner non può attraversare gli oggetti. Ciò significa che se si vuole ottenere un modello completo, con punti sull'intera superficie, ad un certo dovremmo spostarci per acquisirlo completamente. E, se si deve spostare lo scanner, avremo almeno due data set acquisiti da diverse posizioni. L'unione precisa delle nuvole di punti è un dettaglio importante quando si utilizzano laser scanner per il rilievo dell'esistente.

La ragione per cui la registrazione è importante non è diversa dalle ragioni per cui, per esempio, la precisione angolare influisce sulla fase di acquisizione dello scanner; anche se a prima vista non si percepisce la correlazione, perché ciò che si vuole sono le distanze (come regola generale). Il problema che viene posto ogni giorno è il seguente: supponiamo che si desideri misurare la distanza tra due punti della nuvola (unita, dopo la registrazione). Se questi punti provengono da postazioni di scansione diverse, ci troveremo con una lista di domande riguardo a come le nuvole di punti sono stati unite insieme. Questi processi di unione possono essere sofisticati, automatici, semplici, o manuali. Nessuno di questi costituisce un problema. Ciò che conta è quale grado di affidabilità si può associare al risultato.

Quando si calcola la distanza tra due punti, compare un nuovo termine che è causato dall'errore di registrazione. L'errore angolare della registrazione, **moltiplicato** per la distanza (che ora NON è così trascurabile), e l'incertezza sulla posizione aggiungono, ad **ogni** registrazione coinvolta, la possibilità di passare dalla posizione A alla posizione B. A nessuno piace parlare di questo fattore, ma è necessario prestarvi bene attenzione. I geometri hanno familiarità con questo problema ed aprono spesso discussioni riguardo temi come chiusura e baseline.

Le scansioni laser sono unite cercando quei punti nelle scansioni appartenenti ad oggetti comuni o condivisi, in un modo o nell'altro. Il dato della scansione ha una precisione di qualche millimetro, e nessun'altra fonte dati possiede questo tipo di precisione, almeno per ora. Potrebbero essere coinvolti in qualche passaggio il GPS o la fotogrammetria, ma queste tecnologie possono essere solo, in questo momento, complementari al processo di ricerca della registrazione e, se non rimosse dal processo prima della fine, influenzeranno l'errore residuo della registrazione. Così, mentre gli altri metodi possono portare la registrazione ad un ottimo risultato, ad un certo punto si deve confrontare

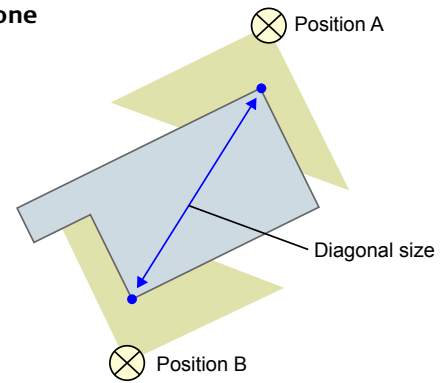


Figura 10: Misura della distanza dell'ingombro di un edificio, utilizzando dati provenienti da due diverse posizioni di scansione, chiamate A e B. Nessuna posizione può vedere l'altro spigolo e, mentre si potrebbe essere in grado di collocare lo scanner in modo che possa vedere entrambi gli angoli, o per lo meno, i loro bordi, lo scanner non sarà in grado di vedere le due pareti contemporaneamente, cosa necessaria per trovare l'angolo preciso. Tempo di registrazione.

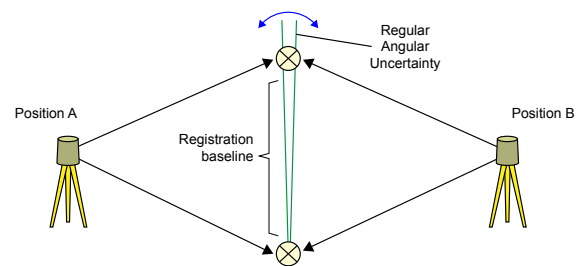


Figura 11: La registrazione comporta il confronto delle nuvole di punti da una prima posizione di scansione ad una seconda posizione. L'errore relativo è ridotto al minimo, con il presupposto che l'oggetto dal quale si misurano i punti non si sia mosso durante le fasi di acquisizione dati. L'errore di registrazione residuo tende ad essere più piccolo dove l'algoritmo di registrazione effettua dei controlli, quindi la geometria (posizionamento relativo) della sovrapposizione conta.

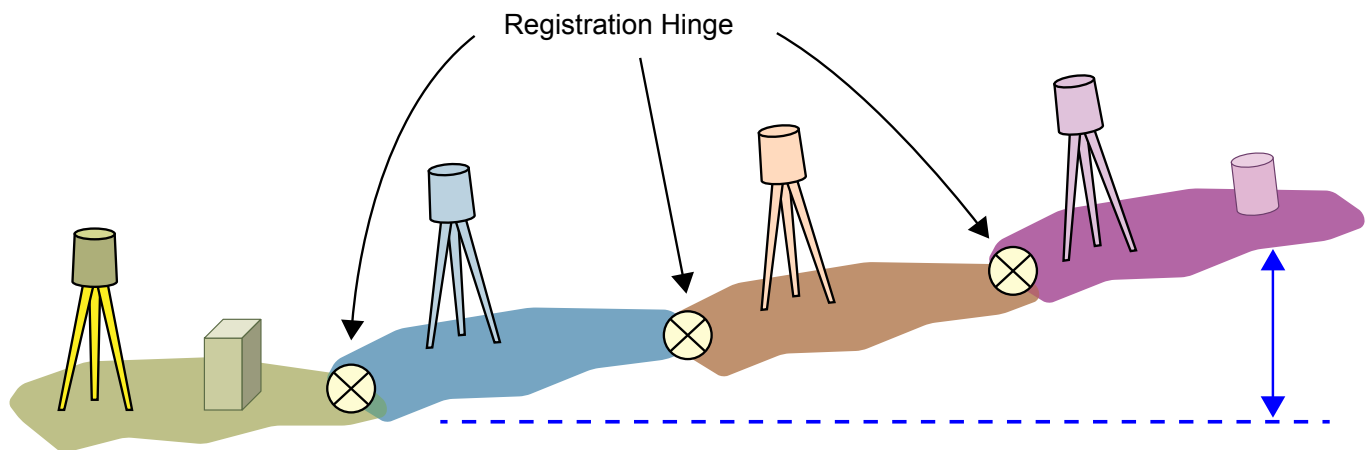


Figura 12: Quando gli oggetti esaminati sono tutti bassi, si potrebbe supporre che una lunga baseline verticale non è importante. Dopo tutto, nulla di ciò che viene misurato è ad una certa quota. Purtroppo questo è falso. Gli errori di registrazione possono essere molto grandi anche in superfici piane.

un insieme di punti acquisito da una certa postazione di scansione con un insieme di punti preso da un'altra posizione. Tutte le differenze rilevate vanno utilizzate per correggere la posizione relativa e l'orientamento delle due postazioni di scansione.

In qualsiasi punto si decida di effettuare il confronto, le scansioni risultano allineate nel miglior modo possibile sia con un metodo che con un altro e l'errore reso molto piccolo. L'errore di posizione è molto simile all'errore residuo di questo processo sulle patch utilizzate, l'errore angolare è semplicemente l'errore di tutte le patch sommate insieme, diviso la distanza tra ognuna di esse che, per mancanza di un termine migliore, stiamo chiamando baseline di registrazione, come mostrato in Figura 11. L'errore angolare è importante perché, mentre la registrazione può migliorare l'errore di sovrapposizione tra le nuvole di punti, la misura che si desidera raramente si trova nella zona di sovrapposizione. Ricordiamo che si sposta un laser scanner solamente per acquisire gli oggetti da diverse posizioni e, in seguito, aggiustare la loro posizione relativa e la loro geometria.

Alcune conclusioni possono essere raggiunte rapidamente. In primo luogo, è fondamentale avere un piccolo errore angolare in fase di registrazione per controllare l'errore delle misure effettuate su nuvola di punti. In secondo luogo, una baseline di registrazione molto lunga presenta un basso errore angolare, soprattutto se l'errore di spostamento nelle grandi distanze è molto piccolo, il che, tra l'altro, spiega la prevalenza del ricorso ai target, normalmente posizionati alla maggiore distanza possibile. Su una ScanStation, è possibile acquisire questi oggetti appositamente realizzati da video ed eseguire una scansione ad alta densità direttamente sul target, individuando la posizione spaziale con un alto grado di affidabilità. È il grado di dettaglio sulla distanza (molti punti) che permette di avere quelle lunghe baseline. E, in terzo luogo (conclusione forse non troppo evidente), una lunga baseline di registrazione verticale è davvero difficile da



trovare nella pratica.

Perchè è così difficile ottenere una lunga, verticale baseline di registrazione? Generalmente questo non ha nulla a che fare con lo scanner, a meno che quello che si sta utilizzando sia uno strumento che non esegue scansioni verso l'alto. Il numero di oggetti con grandi angoli in elevazione, che possono essere acquisiti da due posizioni ed utilizzati per dimostrare che una registrazione verticale sia molto stabile (con un basso errore angolare), può essere limitato a pochi casi reali. Gli oggetti più stabili tendono ad essere vicino al suolo nel mondo reale - pensiamo ai pilastri di cemento - ammesso che esistano. E se preferite utilizzare i target,

Figura 13: L'errore è tutto ciò che non si conosce. È per questo che si effettuano misure. Ovviamente la strada o i corridoi non si arrotolano nello spazio, come è mostrato in Figura 12. A meno che, naturalmente, la strada sia inclinata in quel modo. Chiaramente non è il dato il problema. E già che ci siamo, notiamo che gli edifici sono verticali (vedi figura 13), gli angoli sono perpendicolari e quella torre alta non si muove quando i camion passano. A meno che, si scopre che non è così. Prendere una misurazione significa scoprire. Il presupposto preliminare sul fatto che il mondo modifichi i dati, non significa misurare.

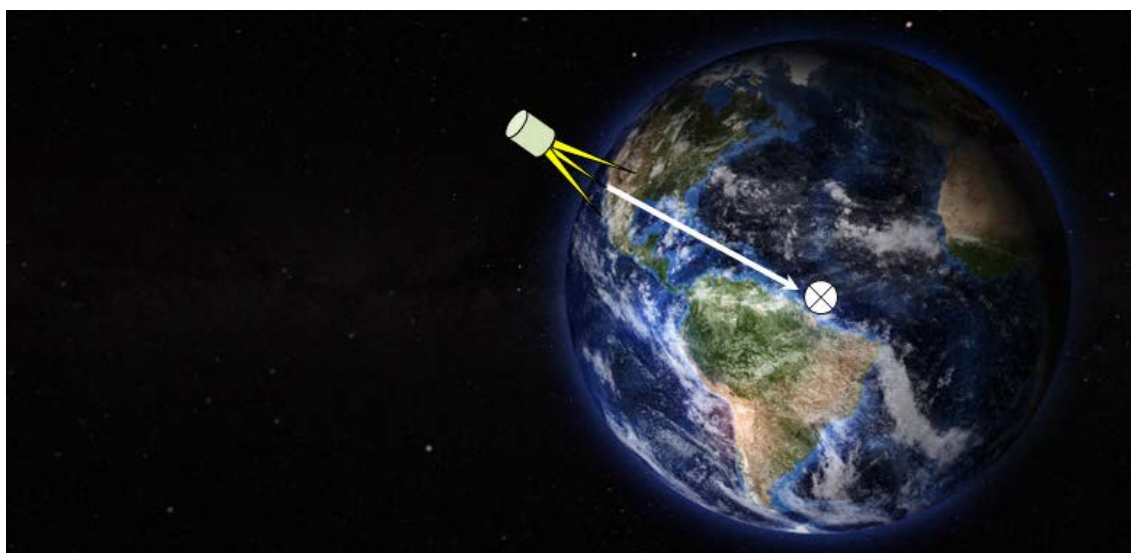


Figura 14: Il centro della terra è un target di registrazione abbastanza stabile, e la baseline è difficile da battere, dato che è più lunga della gittata dello scanner. Non solo, il centro della terra può essere visto da ogni posizione di scansione.



Figura 15: A volte non è possibile posizionare target in luoghi in alto. Si può certamente eseguire la scansione di una strada senza un compensatore biassiale, ma ottenere risultati utili è molto impegnativo. Registrazione cloud to cloud? Una proposta difficile, per non dire altro. La risposta sarebbe certamente di guardare a destra e l'errore sarebbe molto piccolo. Potrebbe anche essere giusto qualche volta, ma sarebbe accidentale.

dovranno essere posizionati nelle zone di sovrapposizione per registrarle insieme. Forse, non ci sorprende il fatto che si tende a trovare questi target posizionati vicino all'orizzonte dello scanner. Una lunga baseline verticale è difficile da trovare nella maggior parte delle situazioni reali, a partire dai dati di scansione.

Si consideri la poligonale - pensiamo a questa come una catena di registrazioni - mostrata in Figura 12. Queste posizioni potrebbero essere prese lungo un corridoio in un edificio o lungo una carreggiata. Tra ciascuna delle posizioni di scansione esiste una registrazione con un piccolo errore residuo nel vincolo cloud to cloud. Forse anche i target sono stati utilizzati per la registrazione. Tuttavia, l'area di sovrapposizione c'è solo tra le posizioni di scansione ed è sostanzialmente focalizzata sul suolo, così che non vi siano oggetti alti condivisi tra queste posizioni. Di conseguenza, l'angolo verticale relativo tra ogni posizione di scansione non è ben nota. Il problema consiste, semplicemente, nel fatto che l'angolo verticale relativo tra le posizioni di scansione rimane indistinto, perché non vi sono dati disponibili che forniscano una lunga baseline di registrazione verticale.

I vincoli di registrazione mostrati nella Figura 12 sono eliminati dal compensatore di inclinazione. Perché? Il compensatore di inclinazione fornisce un target supplementare, non visibile in figura, con una baseline verticale estremamente precisa, di circa 6300 km. Si chiama il "centro della terra", e si utilizza solo per far sì che ogni posizione di scansione possa vedere lo stesso target. Non solo, ogni posizione di scansione può contare sull'ottima precisione di questo target - Ricordate la monetina collocata a 1,5 miglia di distanza? Quando si è tentati di evitare la livellazione dello scanner e di disattivare il compensatore biassiale, basta tenere a mente la catena di registrazione (poligonale) di figura 12.

5. Scansione senza Compensazione dell'Inclinazione

In alcune situazioni, lo scanner non può essere messo in bolla accuratamente e, alcuni scanner non hanno neanche il compensatore biassiale - possono avere altri dispositivi, indicati come sensori di inclinazione, che possono essere o meno riferiti alla direzione della gravità e non vengono utilizzati per regolare continuamente i dati, marchio distintivo del compensatore biassiale. La precisione di questi dispositivi potrebbe non essere nota o testata per la temperatura di funzionamento del dispositivo. Ovviamente, vengono comunque utilizzati - tali dispositivi possono svolgere un ruolo nel processo di registrazione portando l'algoritmo ad un grado di allineamento molto vicino al risultato finale, ma finché non raggiungono una elevata precisione e non vengono misurate contemporaneamente

con le misure di scansione, tali letture non possono fornire la registrazione finale.

Se costretti ad acquisire dati senza compensatore biassiale attivo, si devono prendere alcune precauzioni. In primo luogo, è sempre una buona idea scegliere con cura il treppiede e controllarne il buon ancoraggio a terra ad ogni postazione di scansione, ma diventa critica quando si eseguono scansioni senza compensatore biassiale. In secondo luogo, spendendo il minor tempo possibile per la scansione dei dati, si riduce la possibilità che qualcosa accada mentre la scansione è in corso. In terzo luogo, ricordate che la baseline di registrazione dipende dalla sovrapposizione delle scansioni. Mantenere le posizioni di scansione vicine permette di controllare l'errore di registrazione, in particolare se non si acquisiscono tutti i target. Quarto, è una buona idea scartare i dati con range maggiore di qualche metro, se possibile, al fine di migliorare la precisione angolare. E, infine, assicurarsi di ispezionare i dataset acquisiti in ogni posizione, particolarmente nel punto in cui la scansione anteriore e posteriore si incontrano - questa è la zona di cucitura delle scansioni, dove da un lato sono raccolti i punti all'avvio della scansione e dall'altro sono raccolti i punti al termine.

Dedicheremo poche parole in merito ai treppiedi perché, per diverse ragioni, i treppiedi sono molto simili a quelli progettati per le fotocamere più comuni. Sono molto leggeri e costruiti con materiali compositi, soprattutto utilizzati per le gambe (come la fibra di carbonio), che sono molto resistenti e rigidi. Sono quasi sempre di colore nero e spesso hanno delle componenti, come le viti filettate, per aggiustare l'altezza di ogni piede. Il prezzo e il peso li rendono molto interessanti. Ora una telecamera tende ad acquisire molti dati simultaneamente - non si acquisiscono pixel colonna dopo colonna, sono presi tutti insieme in un unico array. In poche parole, fino a quando lo scatto della fotocamera è abbastanza breve, non è necessario un treppiede stabile. Si può anche tenere la fotocamera in mano. Esistono anche fotocamere a sfera da lanciare, per l'acquisizione di panoramiche in quota - non c'è nè treppiede nè impugnatura. I laser scanner non raccolgono tutti i dati allo stesso tempo, i dati vengono presi in sequenza, o "scansionati". Guardando una nuvola di punti, che mostra i dati tutti insieme come se fossero acquisiti nello stesso istante di tempo, è facile dimenticare la sequenzialità delle operazioni. Durante l'intero processo di scansione è fondamentale che lo scanner sia saldamente ancorato a terra. I treppiedi non hanno alle estremità pezzi di plastica traballanti. Si trovano punte e stelle per ancorare con fermezza le estremità.



Figura 16: Un treppiede per fotocamera è anche (di solito) accuratamente progettato, ma solo per le fotocamere. Si consiglia di utilizzare treppiedi per il rilievo quando si eseguono misurazioni, con o senza un compensatore biassiale attivo.

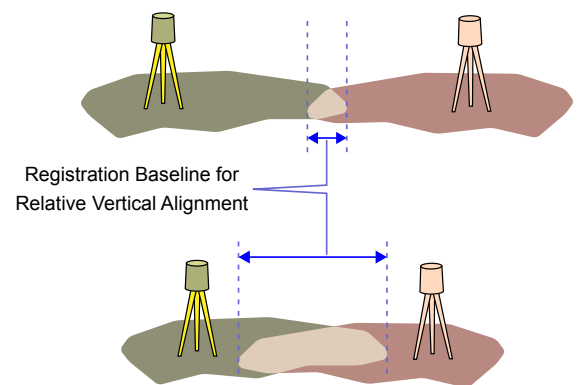


Figura 17: Senza compensazione dell'inclinazione, l'allineamento verticale può essere determinato solo nella sovrapposizione tra le relative posizioni di scansione. Mancando delle geometrie verticali, vale a dire, all'interno di un edificio o lungo una carreggiata, ciò significa dover utilizzare essenzialmente il pavimento o il soffitto. La baseline di registrazione per l'allineamento verticale viene determinata, di conseguenza, da quanto sono distanti le posizioni di scansione. Maggiore è la distanza, minore è la baseline di registrazione, la quale diventa più incerta e ciò si ripercuote sull'allineamento verticale.

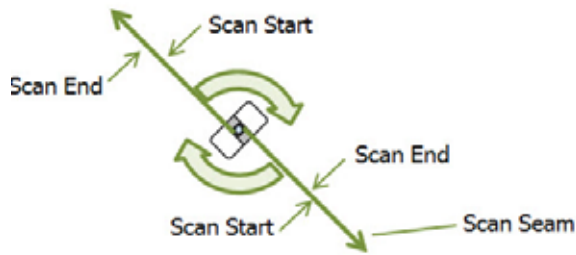


Figura 18: Un attento esame dell'unione delle scansioni mostra una deviazione tra la faccia anteriore e la faccia posteriore della scansione, e ciò è noto come "scanning corkscrew".

Senza la compensazione, la registrazione dipenderà esclusivamente dalla baseline trovata nelle zone di sovrapposizione della scansione. Non è solo una questione di avere molti punti - o meglio, avere molti punti aiuta a ridurre l'errore casuale - ma si tratta di avere la giusta geometria delle parti sovrapposte. Questo è il motivo per cui sono utili i target, perché con un target è sufficiente acquisire un gran numero di punti solo per quel dettaglio, senza dover necessariamente raggiungere quel livello di dati in tutta la scansione. La distanza alla quale uno scanner può ragionevolmente acquisire un target diventa sinonimo della distanza di registrazione e, in definitiva, della qualità del risultato finale. Anche con i target, l'orientamento verticale della scansione è difficile da determinare perché la maggior parte di questi target stanno per essere posizionato lungo l'orizzonte. Per queste ragioni, senza compensazione, sarà necessario ridurre la distanza tra le posizioni di scansione per ottenere la sovrapposizione necessaria.

Durante la scansione senza compensatore biassiale è bene evitare, se possibile, lunghe poligonali. Ricordiamo che l'errore complessivo della distanza tra due punti è composto dalla somma degli errori provenienti da ogni registrazione. L'intera catena viene inclusa nel calcolo. Anche se la sovrapposizione è considerevole, l'errore è cumulativo perché la scansione, dall'inizio alla fine della catena (o poligonale), non include un punto di riferimento. Con un compensatore biassiale, la direzione della gravità viene utilizzata come riferimento comune, il centro della terra è un punto comune, condiviso da queste due nuvole di punti lontane. Questo è ciò che si intende quando si dice che il compensatore biassiale stabilizza l'intera registrazione - il compensatore biassiale aiuta a controllare l'aumento dell'errore che si forma durante una poligonale o catena di registrazioni. Alcuni scenari di scansione, come le strade (Figura 15), sono difficili da acquisire con precisione senza un compensatore biassiale, perché l'unico modo per raccogliere i dati è quello di eseguire una lunga poligonale.

Infine, quando si scansiona senza compensatore biassiale, si raccomanda di ispezionare i dati di ogni posizione di scansione in ufficio, prima di eseguire la registrazione, in particolare per la registrazione cloud to cloud. Controllare la cucitura dei punti per il "fronte" ed il "retro" della scansione, cioè, per punti uno accanto all'altro, ma temporalmente separati, è un buon modo per verificare se qualcosa è accaduto nel corso della scansione. Se non c'è divario, allora stiamo lavorando bene. Se c'è un divario, il cloud to cloud fa fatica a compensarlo con le altre scansioni perché non esiste nella realtà e, quindi (si spera) non comparirà negli altri dati di scansione.

Se l'ispezione rivela una divario, c'è una buona possibilità non sia stato attivato il compensatore biassiale! In tal caso,

la registrazione cloud to cloud impiegherà molto tempo per colmare una lacuna che non esiste nelle scansioni, in nessun'altra postazione o nel mondo reale.

6. Riepilogo

I laser scanner forniscono misurazioni di spazi a scala umana, cioè spazi che si estendono decine o centinaia di metri, ma la precisione di queste misurazioni deve essere controllata al millimetro. Questo è già molto impegnativo per il range di errore nella misura, ma per l'incertezza angolare, questa sfida è ardua perché la distanza si comporta come una leva, amplificando piccoli errori. Leica Geosystems utilizza l'unità di misura dell'arcsec per descrivere le precisioni angolari necessarie, perché i millimetri oltre certe distanze rientrano nella scala dei secondi d'arco (arcsec). Naturalmente, si potrebbe utilizzare i gradi o altre unità di misura più comuni, ma il numero di zeri necessari sarebbe fonte di confusione e facile da sbagliare. Una serie iniziale di zeri aggiunge solo confusione ad un argomento già difficile.

Le condizioni ideali di laboratorio non si trovano nel campo. Il compensatore biassiale stabilizza le misure da un'unica posizione, come se il treppiede fosse stato trasformato in un pilastro di cemento. Il compensatore biassiale stabilizza la registrazione come se si fosse posto un target visibile da ogni stazione, con una pesante baseline di migliaia di chilometri. L'unica situazione in cui il compensatore biassiale aumenta il tempo necessario per raccogliere i dati riguarda quei pochi secondi necessari per livellare approssimativamente lo strumento, quando controlla e compensa continuamente con una precisione incredibile.

Il compensatore biassiale all'interno della ScanStation Leica è l'elemento distintivo che trasforma uno scanner laser in una ScanStation. Il compensatore biassiale è il risultato di decenni di sforzi da parte di una società con quasi 100 anni di esperienza riguardo agli strumenti di rilievo più precisi al mondo. E la parte migliore è che, l'operatore, non è vincolato al fatto di prestare attenzione al compensatore biassiale, ma deve solo attivarlo. La qualità è un marchio di fabbrica. Quindi, se siete tentati di non livellare lo scanner, non fatelo. Afferrate una tazza di caffè per scaldare le mani e non calpestare i piedi.

[1] Muralikrishnan, B, Shilling, M, Sawyer, D, Rachakonda, P, Lee, V, Phillips, S, Cheok, G & Saidi, K 2014, 'Laser scanner two-face errors on spherical targets'. in Proceedings - ASPE 2014 Annual Meeting. American Society for Precision Engineering, ASPE, pp. 632-636, 29th Annual Meeting of the American Society for Precision Engineering, ASPE 2014, Boston, 9-14 November.

Leica Geosystems - when it has to be right

Rivoluzionando il mondo della misurazione e del rilievo per quasi 200 anni, Leica Geosystems crea soluzioni complete per tutti i professionisti del pianeta. Nota per la qualità dei prodotti e per lo sviluppo di soluzioni innovative, i professionisti di tutti i settori, da aerospaziale e difesa, alla sicurezza, costruzioni e produzione, ripongono la propria fiducia in Leica Geosystems per tutte le loro esigenze. Con strumenti precisi e accurati, un sofisticato software e servizi affidabili, Leica Geosystems fornisce i valori necessari a definire il futuro.

Leica Geosystems è un marchio di Hexagon Geosystems, fornitore di soluzioni complete di acquisizione della realtà. Con una forte attenzione alle tecnologie di acquisizione, misura, e visualizzazione dei dati, i prodotti e le soluzioni Hexagon Geosystems creano mondi digitali altamente realistici.

Leica Geosystems è parte di Hexagon (Nasdaq Stoccolma: HEXA B; hexagon.com), leader mondiale nella fornitura di tecnologie informatiche che guidano il miglioramento della qualità e produttività tra applicazioni aziendali geo-spaziali e industriali.

Illustrazioni, descrizioni e dati tecnici non sono vincolanti. Tutti i diritti riservati.
Stampato in Svizzera - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2015.
07.15 - INT