

Leica ScanStation

White paper



Luglio 2015

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



- when it has to be **right**



Leica ScanStation Serie "P" – Dettagli che contano

Gregory Walsh, Ph.D.

1. Premessa

Da quando Leica Geosystems è nel business della vendita di strumenti di rilievo di precisione, la qualità dei dati prodotti è fondamentale per il valore che l'azienda offre ai nostri clienti. Nella creazione della famiglia di prodotti Leica ScanStation, la Leica Geosystems pianifica e conduce una serie di misure per garantire prestazioni soddisfacenti all'altezza delle nostre specifiche di precisione. Questo documento riassume alcune delle misure adottate nel servizio e nella produzione per garantire che le specifiche di precisione siano soddisfatte, utilizzando la Leica ScanStation P40 come esempio. Passi simili sono stati applicati alla realizzazione di tutti gli scanner serie P e C.



Figura 1: La Leica ScanStation P40, uno scanner laser per il rilievo.

Gli scanner Leica Geosystems serie P e C sono progettati e costruiti con delle specifiche che raccolgono tutto il patrimonio di esperienza di Leica Geosystems. La prima sezione di questo documento spiega il significato di queste specifiche e quando risultano importanti. La seconda sezione riguarda in dettaglio i processi produttivi che sono fondamentali per sostenere le nostre specifiche, e la terza sezione illustra alcuni dei processi di verifica che gli scanner Leica Geosystems attraversano prima di poter essere rilasciati come prodotti finali.

2. La accuratezza nel Laser Scanner

Per ora non ci sono standard che facilitano il confronto dei laser scanner. Per questo motivo, le schede tecniche degli Scanner serie P e C prendono in prestito la terminologia dal rilievo con stazioni totali. In effetti, gli scanner della serie P e C sono progettati e costruiti per essere, come vengono definiti, uno strumento per il rilievo di qualità. La terminologia usata nelle specifiche tecniche, tuttavia, non è in genere immediatamente comprensibile ai non "addetti ai lavori". In questa sezione vi proponiamo una breve descrizione di questi termini e perché sono stati utilizzati. La difficoltà con il vocabolario inizia subito con il termine "Misurazione" (una parola di tutti i giorni), ma all'interno di ambienti tecnici, assume un significato leggermente diverso che è collegato al concetto di "misurare" qualcosa e di conseguenza "Misurazioni". Questo documento non è in alcun modo inteso come un punto di riferimento per questo vocabolario; già esistono tali norme. Si veda ad esempio il Vocabolario Internazionale di Metrologia [1], e la Guida di dell'incertezza nelle misure [2]. Questo documento fornisce il contesto laser scanner e, auspicabilmente, la motivazione.

Incetezza di misura

I geometri hanno dovuto per lungo tempo rispondere alle domande abbastanza pratiche come ad esempio: dove si trova l'edificio nella determinata particella di terreno? quale oggetto supera i confini? quanto è alta la forma? la nuova aggiunta bloccherà la vista dei vicini? I nuovi pavimenti in cemento dove

saranno installate delle apparecchiature sensibili sono livellati? Posso montare il nuovo serbatoio di contenimento attraverso una particolare sezione del palazzo senza dover rimuovere l'acciaio strutturale? Conoscere non solo un numero, ma anche l'incertezza di questo numero, è parte integrante nel fornire un servizio utile per i clienti. Determinare che l'apertura è larga 1.456 metri, più o meno 6 millimetri, è molto più utile che indicare semplicemente la larghezza di per sé. Il numero senza incertezza potrebbe avere molte cifre, dire, 1.456234 metri, ma se l'incertezza è più o meno di 0,5 metri, per esempio, allora tutto questo dettaglio in più, non è praticamente utile.

Tutti gli scanner laser forniscono una grande quantità di dettagli. Un grandissimo dettaglio non significa che i dati sono utili. Senza un'incertezza limitata, ci sono molte questioni pratiche alle quali semplicemente non si può rispondere con fiducia.

Inoltre, i problemi del mondo reale richiedono di confrontare misure acquisite in tempi diversi, in diverse condizioni ambientali e probabilmente con strumenti completamente diversi. Ad esempio, un serbatoio potrebbe essere posizionato in uno stabilimento abbastanza lontano da una finestra, e una persona pratica non lo spedirebbe al cantiere se non passasse attraverso la finestra. La soluzione ovvia sarebbe quella di ordinare un serbatoio diverso. Tuttavia però, questo potrebbe avere uno specifico inpatto che apre una nuova serie di problemi. Ciò significa che quando si parla di dimensioni del serbatoio, la misura deve assumere lo stesso significato sia per lo strumento di misura del serbatoio sia per l'altro strumento di misura della finestra. Questo potrebbe sembrare un punto arcano, ma è abbastanza importante che vi sia un termine per questo; entrambe le incertezze di misura degli strumenti devono essere "rintracciabili" con lo stesso standard.

Esistono dei test standard per gli strumenti geodetici (stazioni totali), in particolare, ISO 17123 (parti 1-7) [3], che forniscono un vocabolario utile con cui descrivere le precisioni di un laser scanner fino a quando una serie di norme specifiche non saranno sviluppate. Questo vocabolario è utilizzato per descrivere le percentuali di errore per scanner laser Leica. Errore angolare ed errore sulla portata sono entrambi necessari.

In un tribunale negli Stati Uniti, per esempio, una raccolta di dati senza un (completo) intervallo di errore noto non sarebbe considerata una prova, e non passerebbe il test di Daubert. Tali dati possono essere considerati solo "dimostrativi", non "probatori". Le schede tecniche di Leica Geosystems forniscono tutte le informazioni necessarie per calcolare l'incertezza dei dati prodotti dallo scanner, perché ogni strumento viene testato a lavoro in una camera di calibrazione



Figura 2: La scansione laser di un edificio fornisce molteplici dettagli. Questa vista mostra letteralmente in un unico contesto milioni di misurazioni; insieme, assomigliano ad una fotografia.

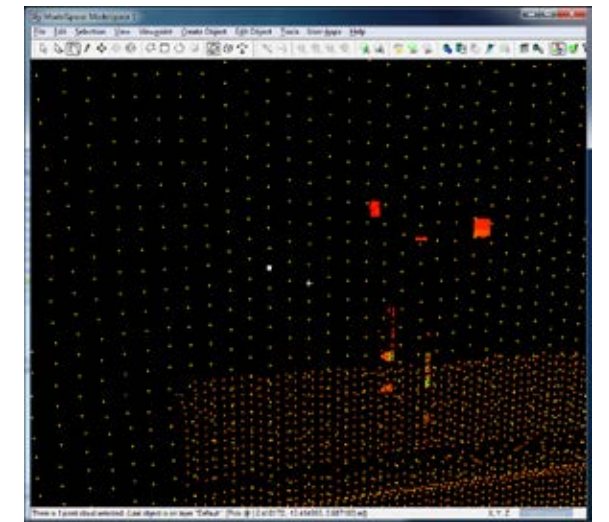


Figura 3: Nella maggior parte dei software di elaborazione è possibile effettuare uno zoom dei punti di scansione ed avvicinarsi quanto si vuole, e rimangono i punti con un lungo numero di cifre dopo il punto decimale. Questo non ha nulla a che fare con l'incertezza, accuratezza o il processo fisico di creazione di quel numero molto preciso, che comporta generalmente un fascio laser con una particolare dimensione fisica, lunghezza e incertezza direzionale. La dimensione dello spot del laser è molto più grande dei punti misurati, e spesso, la densità di scansione è così elevata che l'ellissoide di incertezza per ogni "punto" si sovrappone completamente all'altro ellissoide di incertezza.

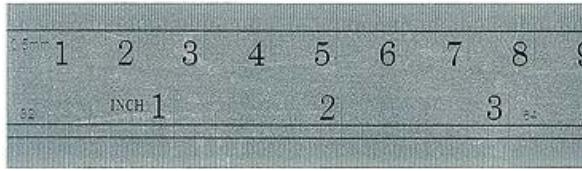


Figura 4: La precisione e la risoluzione di una misurazione. I segni graduati su una regola forniscono un buon esempio di risoluzione, in questo caso, sia in unità metriche che imperiali.

Il processo di calibrazione descritto nel presente documento permette a Leica di definire le unità della serie P e C come Laser Scanner per rilievi di qualità.

Key Points:

1. Una misurazione con incertezza limitata per molti usi pratici.
2. Un enorme dettaglio non sostituisce un'incertezza limitata.
3. In un procedimento giudiziario, è spesso richiesto di esplicitare un intervallo di errore

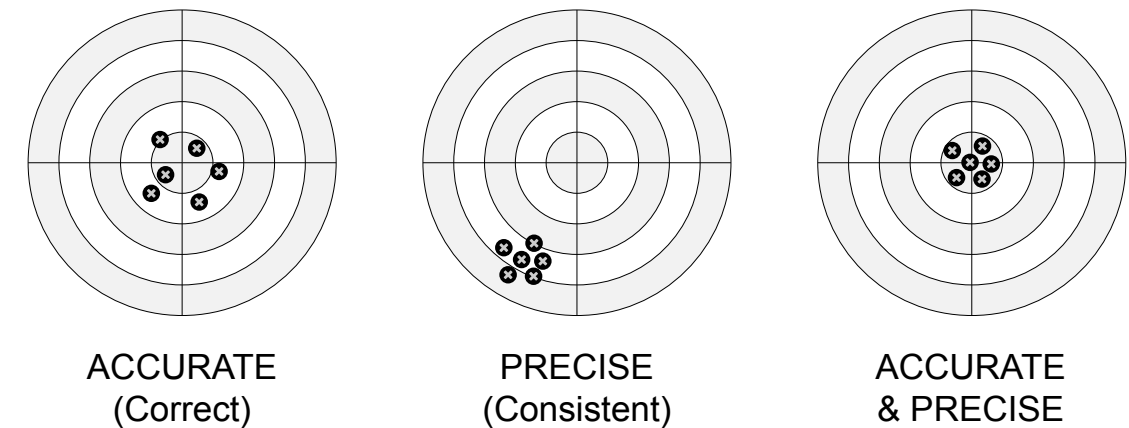
Risoluzione, precisione e calibrazioni.

Le schede tecniche per scanner laser a volte parlano di risoluzione (di portata e angolare) e precisione, mentre questi termini sono per la maggior parte mancanti nelle schede di specifiche di Leica Geosystems. Che cosa è la risoluzione? Se si acquistasse un righello dal negozio, avrebbe segni di graduazione lungo tutta la lunghezza. La distanza più piccola tra i segni di graduazione è la risoluzione del righello. Che cosa è la precisione? Supponiamo di sostituire questo righello con un telemetro laser. Se si misura, o meglio dire "osserva", lo stesso oggetto più e più volte, ogni osservazione non sarebbe mai esattamente la stessa, ma sarebbe molto simile. Tale somiglianza può essere caratterizzata in molti modi: per esempio, da una deviazione standard del gruppo di valori (osservazioni), o dal limite assoluto; l'indicazione di come queste ripetute misure vengono raggruppate, descrive la precisione della misurazione.

La precisione e la risoluzione tuttavia non esauriscono tutto quel che c'è da dire sull'incertezza. L'incertezza è generalmente considerata composta sia da errori casuali che da errori sistematici. Anche se questi termini sono stati sostituiti nella GUM [2] da incertezza di "Tipo A" e incertezza di "Tipo B", rimane utile descriverle entrambe per i Laser Scanner. Se si prendono molte misure con il righello d'acciaio dello stesso oggetto, ci si potrebbe aspettare di ottenere qualche errore casuale circa le dimensioni della spaziatura dei segni graduati sul righello. La media di queste misurazioni multiple potrebbe aumentare la risoluzione effettiva del righello, se le singole misure sono state fatte correttamente (risoluzione eccellente). Tuttavia, se i segni graduati del righello sono distanziati troppo vicini o troppo lontani, ogni misurazione di un oggetto sarà molto simile, forse per la risoluzione del righello, ma sarà falsato dal rapporto tra la distanza reale tra i segni graduati e il valore atteso degli stessi. Questo è un esempio di ciò che è noto come un errore sistematico, che per i dispositivi di misurazione precisi è caratterizzato da parti per milione (ppm) di errore e forse un offset. Nessuna quantità di media può eliminare l'errore sistematico, un punto che è spesso trascurato quando si vede la grande quantità di dati che un laser scanner ha prodotto. Poiché i dati sono raccolti tutti dallo stesso dispositivo e quasi contemporaneamente, le

informazioni possono essere completamente coerenti ed essere costantemente sbagliate. Avere più dati è molto utile per ridurre l'impatto di errore casuale, ma di minor utilità nel caso di errore sistematico.

La storia completa di questo righello d'acciaio ha un altro elemento importante. I righelli di acciaio possono essere calibrati. Si può avere questo righello confrontato con un artefatto tracciabile NIST e si determina un fattore di conversione, o un insieme di "fattori di correzione", per le misure, che potrebbero includere la variazione con la temperatura: i righelli cambiano lunghezza col variare della



temperatura. Fortunatamente, sono variazioni di lunghezza generalmente abbastanza brevi, a circa 11 parti per milione per grado C, quindi ben all'interno della risoluzione di misura per una gamma ragionevole di temperature. Misurare le distanze più lunghe è un po' azzardato, e se vengono considerati gli angoli, la storia diventa abbastanza complessa.

Le caratteristiche interessanti di uno strumento, come la precisione e la risoluzione, sono di poco valore ed aiuto confrontate con l'accuratezza, perchè non dicono nulla circa appunto l'accuratezza dei numeri prodotti. Certamente se un'osservazione ha una risoluzione alta ed è ripetibile, allora si potrebbe prendere una serie di misure di oggetti con caratteristiche note, rispetto ad uno standard, e costruire una tabella o una formula che converta le misure prodotte dai dispositivi in valori tracciabili e caratterizzati da quanto bene la formula si adatta. Si può calcolare un intervallo di fiducia per i valori convertiti.

Il processo di prendere una serie di osservazioni per costruire una mappa tra le osservazioni e i valori tracciabili è talvolta indicato come "calibrazione". Il termine "adjustment" o regolazione, è usato anche, storicamente, l'allineamento angolare migliore in un passaggio di rilievo che potrebbe essere fissato fisicamente ad idealizzare le misurazioni. Ciò che non era meccanicamente "adjusted" potrebbe essere

Figura 5: Una misurazione accurata fornisce misurazioni che sono vicino a quello che viene definito come verità a terra, cioè, il valore rispetto ad unità standard. Uno strumento preciso restituisce risultati costanti e tale coerenza significa che con un adeguato "aggiustamento" o calibrazione, i valori restituiti possono essere sia accurati che precisi, come mostrato a destra.



Figura 6: Il termometro tracciabile a sinistra è molto più costoso del termometro Acurite® a destra, di cui non è esplicitamente data l'incertezza. Il termometro tracciabile a sinistra è molto più costoso del termometro Acurite® a destra, di cui non è esplicitamente data l'incertezza.

corretto dopo il fatto di calcolo. La mappa dei coefficienti viene talvolta denominata "parametri" (si veda, [4] per un esempio). Con l'avvento dei computer integrati, la correzione viene calcolata sullo strumento, e variazioni di tali parametri o "fattori di correzione" a causa di condizioni quali la temperatura e l'inclinazione dello strumento può essere corretta per fornire i parametri noti. Uno strumento calibrato produce misure con un tasso di errore noto finché è utilizzato in condizioni che sono significativamente la stessa della calibrazione. Il passaggio aggiuntivo di calibrazione e anche di costruzione di uno strumento in modo che sia abbastanza stabile per la taratura è una significativa spesa, ma non c'è scelta particolare in materia, se si è interessati a prendere le misure con un minimo tasso di errore.

La precisione e la risoluzione di uno strumento (e la stabilità) sono molto importanti per la calibrazione, ma la calibrazione è un onere poco pratico da imporre ai clienti che utilizzano uno scanner laser e quindi tali numeri sono per la maggior parte non interessanti. Poiché dati sulla precisione e la risoluzione sono di solito molto più piccoli della accuratezza, possono essere fuorvianti. Per questo motivo, la risoluzione non è tipicamente presente sulle schede tecniche degli strumenti di Leica Geosystems, e la precisione si manifesta come ampiezza del rumore, parametro che è utile conoscere.

Key Points:

1. Risoluzione e precisione indicano potenziale accuratezza, ma non sono la accuratezza.
2. L'incertezza (precisione) in una misura conterrà sia elementi casuali (precisione) ed elementi sistematici.
3. La "media" aiuta con gli errori casuali, ma non riduce gli errori sistematici.
4. Dati consistenti possono contenere errori sistematici.
5. La calibrazione del Laser Scanner è un processo di fabbrica ed un servizio che identifica i parametri (dipendenti dalla temperatura) della mappa che trasforma le misurazioni in valori con un'incertezza nota. (coordinata del punto)

Precisione angolare

La maggior parte degli esempi forniti in questa sezione parla solo di "Range" di accuratezza, come il "Range" di accuratezza è un concetto facilmente riconoscibile. La precisione angolare di uno scanner laser, tuttavia, è necessaria anche per caratterizzare l'incertezza delle misure previste. Di solito c'è poco rumore casuale in una misura angolare, così errore sistematico domina la specifica. Perché avete bisogno della precisione angolare? Supponiamo che si deve determinare lo spazio tra i due edifici. Il laser scanner sarebbe posto da qualche parte vicino a questi due edifici e la scena sarebbe sottoposta a scansione. In ufficio, si potrebbe selezionare i punti, accettando l'errore casuale a causa di spaziarne rumore nell'incertezza, o forse per risolvere

particolari caratteristiche geometriche degli edifici, come muri o angoli con molti punti. Anche usando molti punti, il "range" sistematico e l'errore angolare sarebbero rimasti.

Cerchiamo di calcolare l'incertezza nel caso, con gli angoli estratti, utilizzando i limiti di errore sistematico indicati nella scheda tecnica dello scanner serie P. Dato ogni angolo è, per esempio, a 35 metri di distanza dallo scanner, quindi l'incertezza angolare laterale per i dati prodotti da uno scanner P-series Leica Geosystems in ogni angolo è di 8 secondi d'arco * $(4.85e-6 \text{ radianti} / \text{secondo d'arco}) * 35 \text{ metri} = 1.4 \text{ millimetri}$, più o meno. L'incertezza gamma è di $35 \text{ metri} * 10 \text{ ppm} + 1,2 \text{ mm} = 1,5 \text{ millimetri}$, circa lo stesso. Questo rappresenta un più o meno, quindi quando si confrontano due misurazioni,

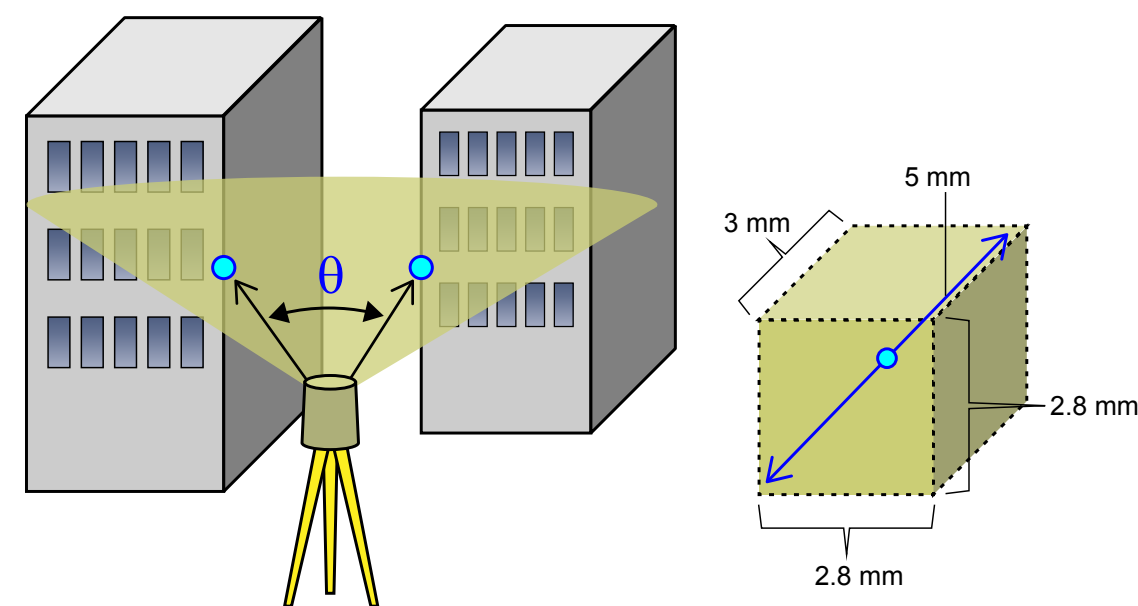


Figura 7: Misurare la distanza tra due edifici. L'errore di un sigma diagonale viene rapidamente calcolato dalle specifiche e la situazione di misurazione. Senza specifica di precisione angolare non c'è modo per calcolare l'errore collegato.

si potrebbe avere un errore su un lato, l'altra misura, sul lato opposto. Se si forma una scatola con profondità di 3 mm e le cui lati sono 2,8 mm in verticale e in orizzontale, quindi abbiamo un errore di caso peggiore della lunghezza diagonale attraverso la scatola, data dalla radice $\sqrt{2.8^2 + 2.8^2 + 3^2} = 5 \text{ mm}$. Quindi il peggior caso di errore tra due misurazioni è 5 mm, circa 1/4 di pollice.

Come puoi ottenere un angolo sbagliato? Immagina che ora hai deciso di misurare nuovamente la distanza tra gli edifici. Questa volta, tuttavia, hai ruotato lo scanner sul treppiede. Ci si potrebbe aspettare di ottenere esattamente lo stesso angolo tra i due angoli dell'edificio, a condizione che le costruzioni non si muovano. Prendendo questa misura aggiuntiva, e forse molte di queste misure di più con diverse rotazioni dello scanner, si sta eseguendo ciò che è noto come un "cerchio di prova" (vedi

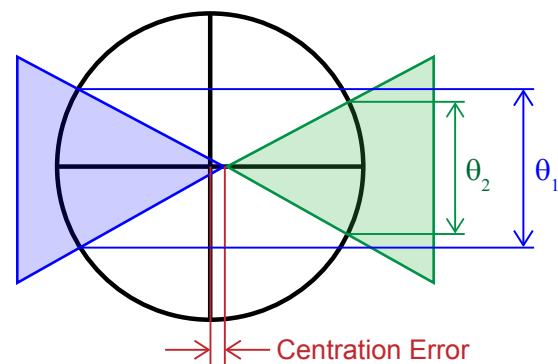


Figura 8: Un errore di centratura del disco dei Codificatori ottici causa un errore significativo. Leica Geosystems produce ognuno dei encoder ottici e li monta utilizzando un dispositivo speciale con un microscopio con un delicato adesivo. L'unità viene ruotato lentamente prima che la colla asciughi e regolata a mano con l'adesivo per ridurre al minimo l'errore centratura.

ISO17123-3) perché purtroppo anche se non si ottiene la stessa distanza angolare, ciò dipende fortemente da come gli encoder ottici sono costruiti e calibrate.

Le misure angolari sono realizzati in linea di principio non diversamente da leggere i riferimenti su un righello in acciaio, tranne che i marchi sono in un cerchio. Ci potrebbero essere difetti nella fabbricazione del disco, la stampa dei marchi, o l'interpolazione degli spazi tra i segni. Questi sono i tipi di errori più evidenti che possono essere fatti. Un esempio di errore meno evidente è quanto bene il disco è centrato sull'albero. Se il disco è leggermente montato su un lato, la spaziatura tra i segni del disco appare più ampia e più stretto di quanto dovevano essere. Questo significa che l'angolo tra due punti di una singola testina di lettura dipende dall' orientamento relativo dello strumento, come mostrato nella Figura 8. Un encoder ottico mal centrato fallirebbe il test ISO perché la stessa distanza angolare esatta misurata nelle diverse parti del disco risulterebbe come fatta da due angolazioni diverse.

Come per correggere questo e altri errori simili? Le altre fonti o errori sono, come si potrebbe immaginare, legione. Risulta, che le sfere dei cuscinetti non siano tutte esattamente delle stesse dimensioni. E questo conta. Un dettaglio che conta, notevolmente, è il modo di attacco del disco al mozzo, di solito sono sue materiali con differenti coefficienti di espansione termica.

Per il livello di accuratezza che Leica Geosystems offre, sono essenziali una attenta progettazione e l'assemblaggio, precisioni angolari misurate in secondi d'arco, e misure angolari aggiuntive. Per gli scanner della serie P e C, ogni angolo misurato è in realtà l'insieme di quattro testine di lettura delle diverse misure angolari posizionate come piccole telecamere. Queste letture ridondanti sono in grado di rilevare automaticamente e eliminare l'errore di centramento e la maggior parte dei difetti dei cuscinetti. Così ogni punto prodotto da uno strumento Leica Geosystems non solo ha un telemetro a precisione calibrata, ma anche 8 piccole telecamere che osservano i codici M sui dischi codificati. È per questo che i test angolari con gli scanner Leica Geosystems producono errori di gran lunga inferiori rispetto a quanto indicato nelle specifiche.

L'unità di misura con cui Leica Geosystems descrive la precisione angolare degli strumenti della serie P e C è "secondi d'arco", una unità così piccola che è forse difficile da comprendere. La precisione angolare della misura dell'inclinazione è di 1,5 secondi d'arco. Vale a dire, il sensore di inclinazione del P40 può individuare la direzione della gravità di 1,5 secondi d'arco, che è $1,5 * 4.85e-6$ radianti = $7.275e-6$ radianti. Che cosa vuol forse dire? Si può pensare ad un angolo come la dimensione di un qualcosa ad una certa distanza. Ad esempio, una moneta (US) è 17.91 mm di diametro. Ci sono 1609.34 metri in un miglio. Per misurare la moneta a 1,5 secondi d'arco, dovrebbe essere collocato circa 1,5 miglia di distanza.

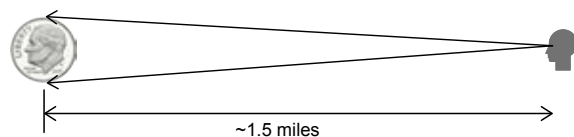


Figura 9: Un centesimo posto a 1,5 miglia di distanza sottende circa 1,5 secondi d'arco.

Perché Leica Geosystems utilizza una così piccola unità di misura per la precisione angolare? Perché i "secondi d'arco" è l'unità appropriata per descrivere gli strumenti che hanno più di qualche metro di portata utile. La precisione angolare da specifica, viene moltiplicata per la distanza che agisce come una lente di ingrandimento anche per piccoli errori sistematici. I topografi sono interessati a fare misurazioni con incertezze dell'ordine di qualche frazione di pollice, o in metrica, di pochi millimetri. Avendo una specifica dei secondi di arco, che è 4,85 micro-radianti, significa che quando viene moltiplicato per intervalli tipici come nell'esempio sopra, il tasso di errore è controllato al livello millimetrico.

Punti Chiave:

1. Sia distanza che incertezze angolari sono necessari per calcolare l'incertezza (accuracy) dei dati da uno scanner laser.
2. Tassi di errore angolari vengono moltiplicati per il range, quindi devono essere eccezionalmente piccolo.
3. Gli scanner della serie P e C di Leica geosystems usano le misure ridondanti affrontare gli errori che nascono da tolleranze di fabbricazione.
4. Al fine di soddisfare le rigorose specifiche di precisione angolare, i sensori di encoder e di inclinazione angolari utilizzati nel Leica Geosystems P e scanner della serie C sono progettati e costruiti da Leica Geosystems

3. Produzione e calibrazione dei Laser Scanner Leica Geosystems

Questa sezione descrive alcune delle fasi del processo adottate per assemblare un laser scanner serie P e C nello stabilimento di produzione a Widnau, Svizzera. Provvedimenti analoghi sono presi nei centri di "service", a condizione che abbiano i beni strumentali e la formazione necessarie per effettuare queste operazioni in modo corretto.

I processi potrebbero, a prima vista, sembrare lunghi e complessi, ed il loro costo è fonte di molti dibattiti anche accesi con Leica Geosystems, ma è dato sapere che i processi e le componenti che fanno parte della creazione di ogni Laser Scanner serie P e C ci sono perché assolutamente è necessario che ci siano. Anche i colori sono scelti con cura. Lo sappiamo perché a Leica Geosystems effettuiamo controlli durante tutto il processo di progettazione e su ogni singolo strumento che produciamo. Una specifica molto ristretto è un bel traguardo, ma l'aspetto più importante di fornire una misurazione della qualità è conoscere l'incertezza, anche se la costruzione di Strumenti di misura non garantisce in secondi d'arco o livello di PPM, possono, almeno, garantire qualcosa a un certo livello.



Figura 10: Un set di scanner laser P40 in attesa di calibrazione sul piano di produzione a Widnau, Svizzera.



Figura 11: Una serie di chiavi dinamometriche calibrate sulla serie P e C del piano di produzione in una stazione di montaggio, viene confrontato con un riferimento di coppia calibrata.



Figura 12: Camera ambientale per cicli termici per i laser scanner serie P e C. Questa stazione è chiamata ESS, o screening di stress ambientale.

Assemblaggio di un Laser Scanner serie P e C

Quando uno scanner laser di Leica Geosystems di qualsiasi tipo è assemblato, viene presa molta cura riguardo: l'ordine in cui le parti sono collegate, la formulazione e la condizione dei collanti utilizzati, e la coppia di ciascuna vite. Gli scanner della serie P e C hanno ognuna di queste viti dinamometriche specifiche che tecnici utilizzano appositamente e periodicamente tarano in fase di montaggio. Questi passaggi assicurano che ogni strumento prodotto da Leica Geosystems sia coerente nelle tolleranze previste. Purtroppo le specifiche degli scanner sono ben al di là di regolazione e capacità di assemblaggio "umane", così processi e strumenti speciali sono stati sviluppati per garantire che questi parametri di qualità siano raggiunti.

Una calibrazione di qualità è chiaramente limitata dalla precisione dello strumento che è calibrato. Se questo gruppo di punti si sposta di giorno in giorno, l'errore collegato deve essere studiato per coprire tutti i possibili movimenti e non ridotto alle dimensioni del cluster stesso. Un grande sforzo va nella progettazione dell'interfaccia tra il coperchio laterale e il telaio, per esempio, e nella progettazione del processo di serraggio delle viti che fissano il coperchio laterale al telaio, che garantiscono che i tecnici seguano questi processi alla lettera. Tuttavia, quando una serie di bulloni sono serrati, il coperchio laterale (e ogni altra parte nello scanner) avrà una tensione interna residua tra esso e il telaio. Dal momento che non si ha mai l'intenzione di girare una la vite (una miscela adesiva viene utilizzata sui bulloni), questo sembra un punto di poca importanza, ma non per Leica Geosystems.

Nel mondo dei "secondi d'arco", che, a causa delle distanze in materia di scansione laser, questo stress residuo è un dettaglio che conta. I normali processi passando vibreranno e termicamente sconvolgono la macchina, e col passare del tempo, queste sollecitazioni saranno elaborate dello strumento. C'è uno stato di montaggio neutrale in cui la macchina finirà nel normale corso degli eventi. Non è possibile fare tanto come chiudere una copertura laterale e cominciare da lì. Affinché la calibrazione sia significativa, ogni scanner dopo il montaggio deve essere spostato allo stato di montaggio neutrale.

Per questo motivo, ogni scanner dopo il montaggio viene sollecitato agli intervalli di temperatura indicata ed oltre, per un periodo di diversi giorni in camere ambientali. Inoltre, lo scanner opera all'interno di una camera ambientale prima della calibrazione, per verificarne il funzionamento. Perché così tanto tempo viene speso per questo processo? viene utilizzato tanto tempo perché è necessario e lo sappiamo perché abbiamo controllato su una varietà di strumenti.

Calibrazione angolare

La calibrazione angolare, sviluppando una mappa tra gli angoli misurati in corrispondenza dell'asse e la direzione del raggio laser, è necessaria per ciascun scanner laser prodotto, e per ciascun scanner laser, il comportamento su tutta la gamma di temperature di funzionamento deve essere osservata e corretta. Si potrebbe pensare che, vista la presenza dei quattro codificatori angolari a testa rossa, uno per ogni asse con una precisione di montaggio di circa un secondo d'arco, che i passaggi di calibrazione aggiuntivi non sarebbero necessari. Già potreste sospettare che la risposta è No. Non ci sono ulteriori dettagli che contano.

Gli angoli sono un ottimo punto di partenza, per essere sicuri. La direzione del raggio laser, in realtà, dipende da una serie di componenti ottici e meccanici i cui angoli misurati sono solo una parte. Gli stessi assi, anche rispetto all'altro non sono esattamente intersecanti o perpendicolare. Il raggio laser, formato da una fonte e una collezione di ottica di trasmissione, non è direttamente in linea o allineato all'asse di elevazione. Né lo specchio di elevazione devia questo raggio laser esattamente perpendicolare. Né la finestra di trasmissione è perfettamente piana da non deviare leggermente il fascio laser. Con gli angoli in particolare, movimenti molto piccoli di una di queste parti sono sufficienti a causare piccole deviazioni angolari del raggio laser. Quindi, se siamo interessati ai "secondi d'arco" nell'ordine di 5 micro-radiani, le deviazioni dovute alle parti meccaniche dell'ordine di "micron" diventano interessante ed importanti da osservare.

Quando si considera il micron, bisogna ricordare che i capelli umani variano tra i 50 e 150 micron di diametro circa. Inevitabilmente, micron, o frazioni di un capello umano, contano, per il rilievo laser scanner di qualità. Questo pone un'ulteriore sfida per la calibrazione angolare - poiché l'unità è costituito da diversi materiali quali acciaio, alluminio e plastica di ingegneria, e questi gruppi hanno differenti coefficienti di dilatazione termica, le esatte posizioni e gli orientamenti relativi dei singoli componenti cambieranno al cambiamento della temperatura dello strumento. Lo spostamento è dell'ordine dei micron e quindi non visibile all'occhio, ma ha un impatto sulla direzione del fascio laser nel secondo regime d'arco. Di conseguenza, dobbiamo garantire che il movimento sia ripetibile (con una tolleranza nota), conoscendo come lo strumento cambia con la temperatura, e di fornirlo abbastanza di sensori interni così che lo strumento ne sia consapevole ed in grado di compensare correttamente per questo movimento. Una corretta (e pratica per il cliente) calibrazione di uno scanner laser osserva lo scanner nell'arco delle diverse condizioni ambientali, in particolare alle temperature utili. Ancora una volta, sono necessari delle "camere ambientali", questa volta, con finestre.

Il telescopio opposto, della camera ambientale, o ATEC, necessita di un processo brevettato [5] per l'esecuzione della calibrazione



Figura 13: Una collezione di scanner P40 attesa del loro turno sul Rig ATEC calibrazione. Per l'occhio umano, sono perfettamente identici, ma l'occhio umano non è progettato per discernere micron. Ogni telescopio agli antipodi (ATEC) nella camera ambientale, è unico come uniche e distinte sono le impronte digitali umane.

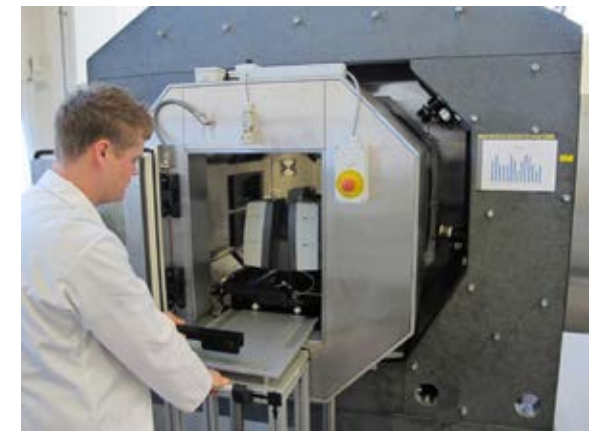


Figura 14: Una Leica ScanStation P40 viene caricato nel Rig ATEC.

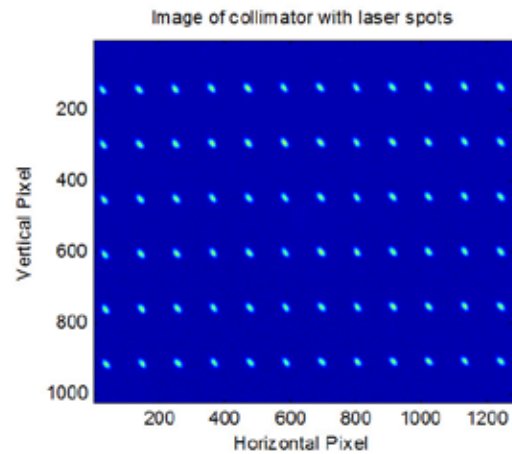


Figura 15: I dati dei telescopi ATEC dopo una scansione laser. Il centro di ciascuno dei punti laser viene utilizzato per determinare la direzione del fascio laser.



Figura 16: Il posizionamento agli antipodi dei telescopi AZTEC permette ai telescopi di osservare la loro posizione relativa, quando lo scanner viene rimosso. Questa è una torsione brevettata sull'idea di tecniche di auto-collimazione che permette criticamente per archi al secondo livello di osservazione e la calibrazione degli scanner laser.

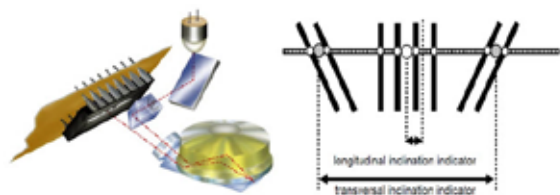


Figura 17: Sensori di inclinazione Leica Geosystems si basano sull'utilizzo di una piccola telecamera in linea, proprio come gli encoder angolari. Proprio come gli encoder angolari, la loro sensibilità è molto elevata, meno di 1 secondo d'arco.

angolare alla massima temperatura per gli scanner della serie P e C. Naturalmente in Leica Geosystems hanno sviluppato molti processi di calibrazione angolare differenti per i loro prodotti nel corso degli anni - la ATEC rappresenta semplicemente l'attuale apice tecnologico. Quello che distingue gli ATEC dai precedenti metodi usando il laser tracker o le stazioni totali ad elevata precisione di rilievo, è l'uso di telescopi ad auto collimazione, puntati l'uno con l'altro (cioè agli antipodi) per individuare il fascio laser. L'uso del telescopio potrebbe ricordare ai geometri delle stazioni totali di calibrazione o di regolazione ferroviaria. Questo non è casuale.

Un telescopio di collimazione è focalizzato molto lontano, idealmente all'infinito. Quando un fascio laser è diretto verso un tale telescopio, la disposizione delle lenti agisce come una leva ottica, convertendo i piccoli spostamenti angolari del fascio laser negli spostamenti a distanza alla fine del fascio. Spostamenti laterali del fascio con attenuazioni simili. Le leve meccaniche agiscono in modo simile, come è noto dai tempi di Archimede, che il rapporto tra le distanze della leva dal fulcro, agisce come un moltiplicatore degli spostamenti. Similmente, nella lunghezza focale i punti focali diventano un moltiplicatore. Questo significa che ad un telescopio focalizzato molto lontano, un collimatore è in grado di rilevare la più minuta variazione nella direzione angolare di un raggio laser. Tutto quello che serve è un sensore di immagine graduato che digitalizza questo cambiamento. I telescopi ATEC hanno una seconda capacità sub-arco per risolvere la direzione del fascio laser.

La direzione del fascio laser trovata dai telescopi è relativa ai telescopi stessi, anche se viene collegata a particolari misurazioni angolari degli scanner. Conoscere la posizione relativa dei telescopi rispetto allo scanner è necessaria per risolvere per la calibrazione. Questo è il punto in cui entrano in gioco i grandi pezzi di granito che circondano la camera ambientale e tengono i vari telescopi. I supporti dei telescopi sono molto stabili e vengono osservati dallo scanner nella modalità "doppia faccia". Queste cautele sarebbero sufficienti per garantire le posizioni relative e la cinematica dello scanner e dei telescopi se lo scanner avesse la cinematica di una crociera di rilevamento, ma possiede un comportamento più complessa a causa del montaggio del laser. Quindi i telescopi sono montati in modo tale da potersi osservare l'uno con l'altro, cioè diventare auto-riferenti, quando lo scanner non è tra loro, come in Figura 16.

Il processo di calibrazione angolare nell'ATEC prende ancora la parte migliore di un'intera giornata, tuttavia, poiché lo strumento deve essere controllato a temperature diverse, al fine di emularne l'uso del cliente, lo strumento deve stare per molto tempo al freddo profondo e analogamente nel calore ardente per un quadro completo del comportamento. Ogni macchina che è prodotta da Leica Geosystems ha questo comportamento registrato e memorizzato internamente per un uso successivo nel correggere i dati.

Queste complessità sono gestite dallo scanner in campo, così il cliente non ha bisogno di sapere nulla di questi processi, se non per portare l'unità al "service" nei tempi raccomandati periodicamente. Utilizzando questi dati salvati e i sensori di temperatura distribuiti all'interno dello strumento, lo scanner regola automaticamente la produzione dei dati in continuo così come vengono misurati.

Calibrazione dell'inclinometro

Il sensore di inclinazione montato negli scanner serie P e C è lo stesso utilizzato nelle stazioni totali di alta precisione di Leica Geosystems. Il principio di funzionamento è illustrato nella Figura 17. Al centro del compensatore di inclinazione si trova un unico pezzo di vetro contenente olio speciale che forma un orizzonte artificiale. Il rilevamento dell'inclinazione si ottiene facendo rimbalzare un "pattern" di luce fuori di questa superficie di olio speciale. La doppia riflessione di un bersaglio particolarmente progettata sulla superficie di livello dell'olio viene ripresa da una piccola telecamera lineare che ne permette la rilevazione continua e simultanea e ne rileva l'inclinazione trasversale e longitudinale

La bolla contenente l'orizzonte artificiale è costituito da un unico pezzo di materiale ingegnerizzato, così come cambia la temperatura, a patto che il montaggio sia privo di stress, la bolla stessa rimane dimensionalmente stabile. Il montaggio certamente, si muoverà con la temperatura e viene misurata dall'ATEC. Inoltre, l'ATEC contiene un sensore di inclinazione a matrice e inclinazione di riferimento. Ciò consente la calibrazione completa rispetto a questo sensore di riferimento del sensore di inclinazione mentre l'unità si trova all'interno del ATEC.

Esiste un basamento a calibrazione separata per il sensore di inclinazione, mostrato in Figura 18. Il comportamento della temperatura nell'ambiente del sensore di inclinazione è a volte identificato con questa posizione di inclinazione calibrata. Lo scanner viene inserito nel supporto e il raggio laser puntato verso una unità di riferimento appositamente modificata, mostrato a sinistra dello scanner nella figura. L'unità di riferimento è montata con una macchina fotografica in grado di visualizzare il raggio laser; questo permette al software di legare i due sistemi di coordinate (scanner, nonché il riferimento) insieme. La tabella di inclinazione può quindi eseguire una serie di movimenti e di confrontare le due uscite dei sensori in modo retto in avanti e determinare i parametri di regolazione dell'inclinazione del C10 ScanStation. Inoltre, se un qualsiasi sensore di inclinazione è fuori specifiche, sarà respinto da questo supporto. Comportamento del sensore di inclinazione alla temperatura è determinato nella camera ambientale e di nuovo, le unità fuori dai comportamenti specifici vengono identificate e rimosse.



Figura 18: La Stazione di taratura del "Tilt" per il Leica ScanStation C10. Si controlla la temperatura quando si monta il sensore di inclinazione.

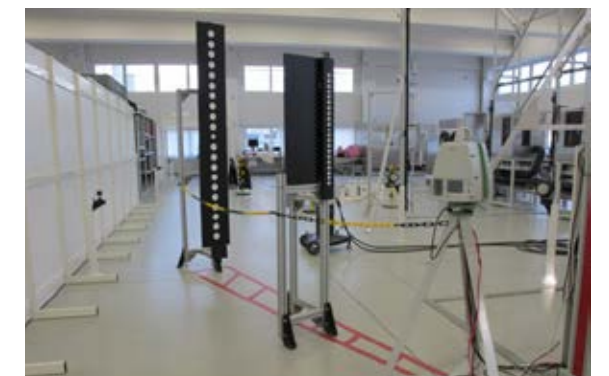


Figura 19: Una vista del supporto di calibrazione della fotocamera. Due serie di obiettivi sono posti di fronte allo scanner e sono sia immagine che scansione.

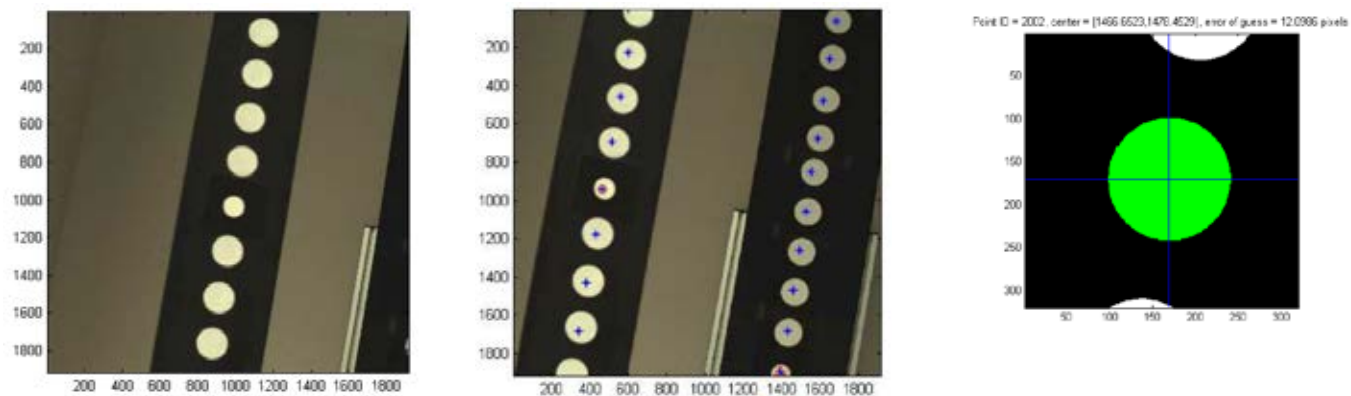


Figura 20: Immagini da uno scanner Leica ScanStation C10 come visualizzate in MATLAB ©. MATLAB © ha attinto le posizioni immagine indovinare dei centri di destinazione utilizzando un modello approssimato fotocamera. Queste posizioni indovinare vengono utilizzati per risolvere il problema della corrispondenza bersaglio, e sono generalmente fuori da un importo lordo, come 15 o 20 pixel. Questo è abbastanza vicino per preparare le combinazioni.



Figura 21: vista a mappa di riflettanza dell'atrio dell'ufficio di Leica Geosystems a San Ramon in California. Questa immagine è una proiezione sferica di un panorama assemblato da 260 immagini HDR scattate con una ScanStation P40.

Visualizzazione delle traduzioni per Temperature behaviour of the tilt sensor is determined in the environmental chamber and again, units with out of specific behaviors are identified and removed. Traduci invece Temperature behaviour of the tilt sensor is determined in the environmental chamber and again, units with out of specified behaviour are identified and removed.

Comportamento temperatura del sensore di inclinazione è determinato nella camera ambientale e di nuovo, con unità di comportamenti specifici sono identificati e rimossi.

Calibrazione fotocamera

Il terzo dispositivo da calibrazione è la fotocamera interna. La fotocamera interna può scattare foto su tutto il campo visivo dello scanner, e queste immagini sono assemblati in mosaici che vengono poi applicati alle nuvole di punti. L'obiettivo della macchina fotografica di calibrazione è quello di garantire una buona corrispondenza tra i punti LiDAR misurati e pixel della fotocamera. Per questo motivo, la calibrazione della fotocamera viene eseguita dopo la calibrazione LiDAR. Poiché il montaggio fotocamera è abbastanza stabile, e i pixel sono essenzialmente enorme, sotteso dell'ordine di 150 micro-radianti, una taratura temperatura ambiente è sufficiente per la fotocamera per mantenere i pixel allineati alle scansioni all'interno delle aspettative.

Un insieme speciale di bersagli (vedere Figura 19) è stato creato per calibrare la fotocamera. Questi obiettivi sono dischi bianco su fondo nero, e vengono riconosciuti automaticamente sia dallo scanner che dalla telecamera. La fotocamera fotografa questi obiettivi da molte posizioni diverse, sia dalla parte anteriore che dalla parte posteriore. Il software di controllo calibrazione individua i centri bersaglio sia nelle scansioni che nelle immagini, e calcola le corrispondenze, come mostrato nella Figura 9. Una volta che un considerevole set di parametri corrispondenti viene calcolato, viene di nuovo eseguita una regolazione per risolvere per i parametri della telecamera. I parametri includono il montaggio della telecamera all'interno dello scanner e la distorsione all'immagine causata dalle lenti.

4. Scanner Test e verifica

Sebbene nato in condizioni essenziali di laboratorio, gli scanner della serie Leica ScanStation P e C non sono progettati né destinati ad essere utilizzati in tali circostanze benigne. Fuori, nel mondo reale, i nostri clienti hanno bisogno di raccogliere i dati, il tempo può essere estremamente freddo, o caldo, o sporco. La situazione dei trasporti potrebbe non essere molto regolare, e l'infrastruttura di supporto al luogo di lavoro può essere molto al di sotto delle aspettative. Dopo tutto, portando un geometra su un sito di lavoro è spesso un primo passo nella creazione stessa infrastruttura che diamo per scontato. Gli strumenti sono progettati per operare in una varietà di ambienti



Figura 22: Spesso le infrastrutture in cantiere mancano.



Figura 23: Un mosaico di eventi di prova per gli scanner della serie C e P. C'è qualcosa di simile ad un soffione regolatore, tra le altre cose.



Figura 24: Particelle di talco sono molto piccole e sorprendentemente invasive, in particolare se hanno un giorno intero per farsi strada verso l'interno di uno scanner laser.



Figura 25: La stazione di montaggio per la verifica dello scanner esterno, con una Leica TS30. All'esterno i test di verifica della qualità vengono eseguiti con una stazione totale di rilevamento posta accanto al laser scanner e vengono misurati, a doppia faccia, le coordinate dei bersagli con entrambi gli strumenti nel più breve lasso di tempo possibile. Chiaramente gli obiettivi sono obiettivi particolari, con superfici dimensionalmente stabili e montate con entrambi i target che possono essere localizzati con precisione sia dallo scanner che dalla stazione totale.

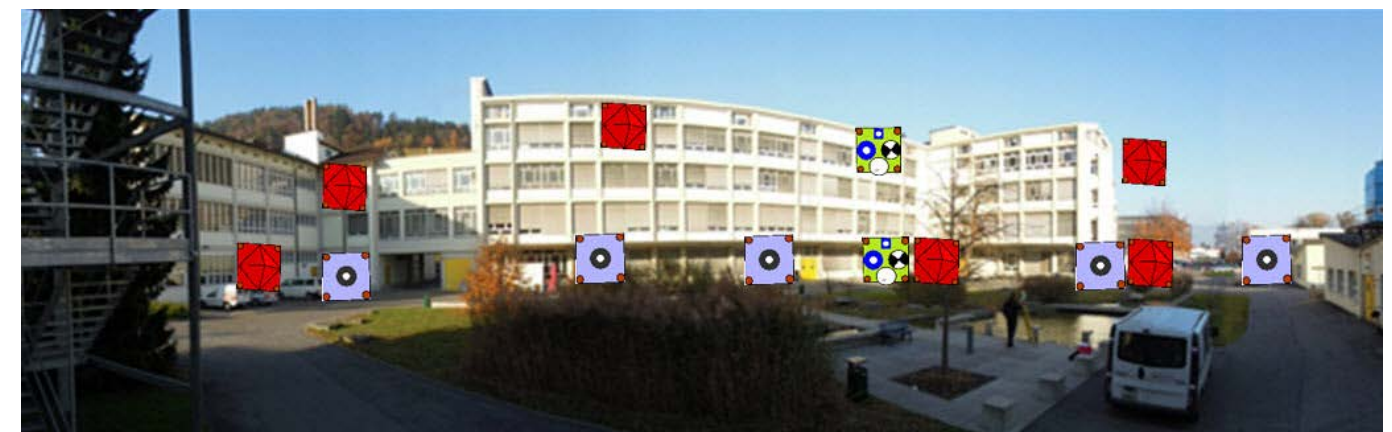
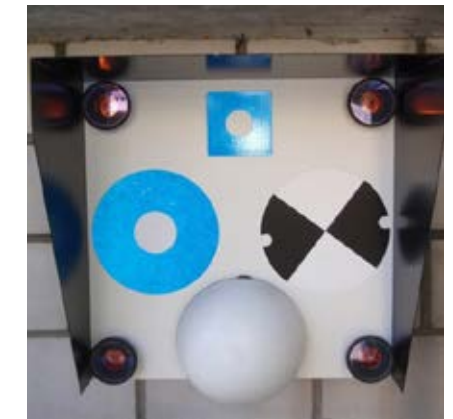
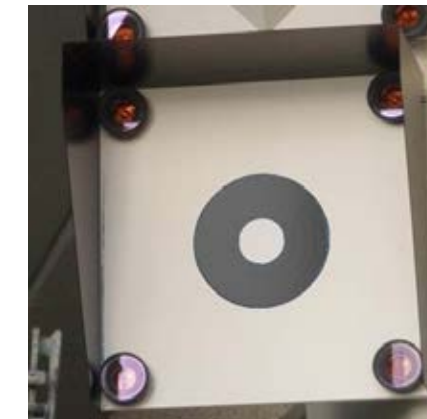
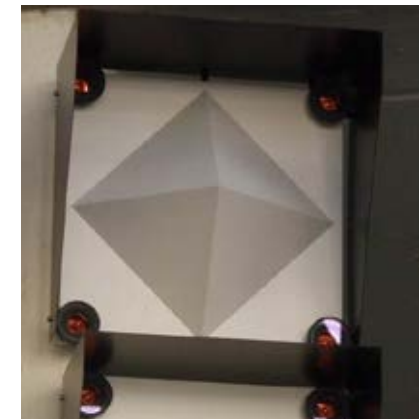
e raccogliere dati alla massima precisione, ed essere manipolati e trasportati nel rispetto delle norme di movimentazione in campo di Leica Geosystems. Lo strumento è un accurato e preciso dispositivo di rilievo di qualità e deve essere trattato con cura ragionevole, ma la prudenza non può comportare oneri eccessivi sull'uso del cliente delle attrezzature. Per quanto tutti noi vorremmo, non è così.

Gli strumenti della serie P sono qualificati oltre -20°C a $+50^{\circ}\text{C}$, e sono IP54. Cosa è l'IP54? IP sta per "Ingress Protection", cioè il livello al quale lo strumento non permette all'ambiente esterno di entrare. Noi facciamo progettare le unità fin dall'inizio, che soddisfino questi tipi di ambiente, gestione, vibrazioni, urti, e le norme di protezione infiltrazione. Come potete immaginare, però, il mondo reale è estremamente creativo e tali norme si possono verificare solo attraverso prove, test, riprogettazione, e test ripetuti.

Per l'autore, ma allo stesso modo anche per gli ingegneri, ed i geometri, l'evento più temuto al quale la strumentazione viene coinvolta sono gli urti. Per urti, intendiamo far cadere lo strumento su superfici implacabili. Talvolta lo scanner è nel caso, a volte, lo scanner non è nel caso. Ci sono anche tavoli appositamente progettati per scuotere lo strumento in molte direzioni con quantità variabili di forza. Scanner devono conservare la completa esattezza anche dopo aver attraversato una serie di eventi; anche solo montando lo scanner nel treppiede si è in grado di fornire una scossa notevole, per non parlare di lasciare l'unità alla cura degli addetti ai bagagli in un aeroporto, anche se si tratta di un caso particolare. L'abitacolo di auto nell'entroterra dell'Australia può diventare sorprendentemente caldo. Lo scanner e la sua taratura devono gestire questi eventi ragionevoli e fornire misure accurate in cantiere.

Nelle versioni precedenti di questo documento, ci sono informazioni dettagliate su quello che viene definito come un mini-QA, o la garanzia della qualità. Leica Geosystems ha anche costruito un QA, neanche tanto piccolo, utilizzato per la verifica degli scanner laser in generale. La scala di questo campo di prova è molto grande, attraversa centinaia di metri, e perché è grande la dimensione non la si può far dipendere dagli edifici rimasti nello stesso luogo giorno per giorno o anche nel corso di tutto un giorno. Anche i grandi edifici stabili in cemento indicati in figura essenzialmente "respirano" (si muovono) con il sorgere del sole e questa situazione, per esempio, questo movimento è osservabile con l'attrezzatura Leica Geosystems.

In ogni angolo della piastra segnale è presente un prisma montato proprio per la stazione totale, che poi può individuare la geometria, oltre a diversi tipi di target che lo scanner può digitalizzare e quindi individuare, con il metodo "doppia faccia". Come nel campo test mini-QA, un gran numero di questi obiettivi sono montati ad una varietà di superfici ed edifici in tutto il campo di vista dello scanner laser e della stazione totale.



La Leica TS30 calibrata fornisce un riferimento da cui si può verificare i dati prodotti dallo scanner. Proprio come un punto di riferimento, il TS30 ha una precisione angolare di $\frac{1}{2}$ secondo d'arco, che è 10 volte migliore dello Scanner. Solo Leica Geosystems, in questo momento, costruisce stazioni totali con quel livello di accuratezza.

E per i lettori con mentalità matematica, sì, noi abbiamo dei target posti ad altezze elevate misurati a doppia faccia. Tali Targets sono necessarie per verificare l'accuratezza.

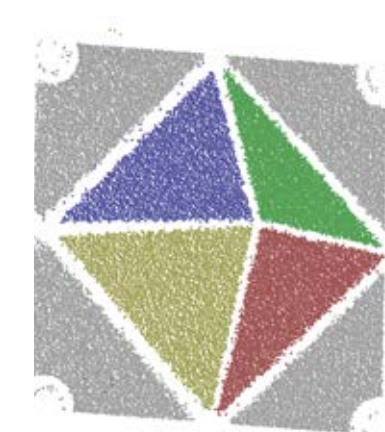


Figura 27: Oggetti derivati, come angoli di costruzione, si trovano all'interno i dati di scansione separatamente per ogni faccia della scansione e confrontati con la posizione dell'angolo trovato dal Leica TS30. Le piastre sono costruite e misurate prima di essere montate in modo che il rapporto tra i prismi stazione totale e l'angolo è noto in anticipo.

Figura 26: Mosaico di immagini di diverse serie di target congiuntamente osservabili, con calotte climatiche.

5. Conclusioni

Leica Geosystems è nel business della vendita di strumenti di misura e si prende grande cura per assicurare che ogni prodotto che viene spedito soddisfi o superi i requisiti richiesti. Queste specifiche includono i tassi di errore sia sul campo che componenti angolari dei dati prodotti; entrambi sono necessari per caratterizzare l'incertezza e l'accuratezza della nuvola di punti. Le specifiche sono stretti ma necessarie per i dispositivi con intervalli superiori a pochi metri. Un gran numero di dettagli ha importanza quando si producono strumenti che sono caratterizzati dai "secondi d'arco" o dall'errore. I dettagli contano con i scanner laser per il rilievo. Un operatore di uno scanner laser non ha bisogno di conoscere o di misurare questi dettagli, perché Leica Geosystems garantisce con fiducia il nostro foglio di specifiche a carico dell'esperienza che viene fornito con la produzione di prodotti di rilevamento di alta qualità per quasi 100 anni.

[1] ISO/IEC, (2012). JCGM 200:2012 vocabolario internazionale di metrologia – Concetti fondamentali e generali e terminologia associata (VIM) 3a Edizione. Geneva, Switzerland: ISO/IEC

[2] ISO/IEC, (2008). JCGM 100: 2008 Valutazione dei dati di misura - Guida l'espressione dell'incertezza nelle misure (GUM). Geneva, Switzerland: ISO/IEC

[3] ISO / IEC, (2002) ISO 17123-1: 2002 Ottica e strumenti ottici - Procedure per la verifica sul campo geodetico e strumenti topografici, Ginevra, Svizzera: ISO/IEC

[4] Muralikrishnan, B, Shilling, M, Sawyer, DR, Rachakonda, P, Lee, V, Phillips, S, Cheok, G & Saidi, K 2014, "laser scanner errori su due facce su obiettivi sferici. in Atti - ASPE 2014 Annual Meeting. American Society for Precision Engineering, ASPE, pp. 632-636, 29a riunione annuale della Società Americana per la meccanica di precisione, ASPE 2014, Boston, 09-14 novembre.

[5] Walsh, G. brevetto US Patent No. 7.643.135 "Telescopio Calibrazione Based di uno scanner ottico tridimensionale", Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

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. Noto per i prodotti premium e sviluppo di soluzioni innovative, professionisti in un mix di settori, come quello aerospaziale e della difesa, la sicurezza, la costruzione e la produzione, la fiducia Leica Geosystems per tutte le loro esigenze geospaziali. 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 all'interno Hexagon Geosystems, il fornitore di soluzioni complete realtà di misura. Con una forte attenzione alle tecnologie sia di informazione che di misura, misurare, e visualizzare dati, prodotti e soluzioni di alta qualità Hexagon Geosystems si creano mondi digitali reali.

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