

Strumenti e applicazioni con laser portatili

I casi di FARO e GeoSLAM

di Oreste Adinolfi, Cristina Bonfanti,
Laura Mattioli e Nadia Guardini

Portabilità, flessibilità, velocità sono alcune tra le caratteristiche tecniche che contraddistinguono gli strumenti di misura a scansione e che possono consentire all'operatore di rispondere alle richieste di acquisizione e rielaborazione dei dati in modo efficace ed economico. Nell'intervento vengono presentati i casi degli strumenti FARO e della giovane GeoSLAM.



Fig. 1 - Visualizzazione di alcune porzioni della nuvola di punti acquisita negli interni della Casa Cava a Matera e alcune estrazioni del dato. Le acquisizioni sono state eseguite a supporto delle attività della 6° edizione della International Summer School 2015 - COIFA, coordinata dal prof. Pietro Grimaldi.

Eseguire misure *laser scanning* su una vasta varietà di oggetti di dimensioni e gradi di dettaglio diversi, assicurando il grado di precisione, la convenienza, la semplicità d'uso, la maneggevolezza, la flessibilità, la trasportabilità, il raggiungimento degli obiettivi richiesti alla fase di misura e rappresentazione, sono tra gli assunti principali per chi si occupa di acquisizione, processamento e produzione di dati metrici, geometrici, di *imaging* a carattere tridimensionale e alle diverse scale. FARO e GeoSlam ci aiutano a rispondere in modo efficace e rapido a queste problematiche.

Nel corso degli ultimi anni si è verificata un'evoluzione nell'utilizzo delle strumentazioni a scansione laser, dal semplice controllo

della qualità e analisi dello stato di fatto a utile strumento per il controllo di processi di produzione/realizzazione. Si pensi agli interventi di *reverse engineering* e di collaudo in ambito industriale piuttosto che a quelli di progetto e costruzione in ambito edilizio con modifiche in tempo reale, possibili grazie all'integrazione di nuvole di punti dense e sistemi BIM. Contemporaneamente i settori di utilizzo dei singoli strumenti (laser scanner statici, *mobile*, *trackers*, bracci di misura dotati di laser non a contatto,..) si stanno sempre più contendendo le tecniche e le metodologie, ragione per cui strutture mobili non cartesiane, applicate per la maggiore in settori industriali, stanno ad esempio avendo nuove applicazioni nel campo della 3Ddoc e dei Beni Culturali a grandissima scala, e

Fig. 2 - Il laser tracker Vantage e l'SMR.

tecnologie SLAM vengono applicate in ambiti forestale, manutenzione, forense,...

L'opportunità, da parte degli autori del presente intervento, di poter utilizzare tecnologia portatile FARO come macchine di misura a coordinate (CMM) e laser scanner 3D (TLS) statici e mobili (FARO e GEOSLAM) ha permesso di mettere in atto e sperimentare differenze tra sensori, potenzialità e limiti, automatismi e *range* di intervento in ambiti differenti, avvalendosi inoltre per le fasi di processamento di SW opportunamente dedicati a trattare il genere differente di dato (SCENE, GEOMAGIC Control-Wrap-Studio-DesignX, RECONSTRUCTOR, CLOUDCOMPARE, POINTSENSE, MESHLAB, MEASURE10, AUTOCAD, REVIT). Il presente intervento si delinea quindi come semplice presentazione di casi applicativi legati ai diversi strumenti e alle loro caratteristiche tecniche. La portabilità di tali strumenti di misura è tale da rendere estremamente flessibile e gestibile la fase di acquisizione, motivo di semplificazione e velocizzazione del processo.

Il caso di FARO

Azienda di riferimento per produzione, sviluppo e commercializzazione di AACMM (*Articulated Arm Coordinate Measuring Machine*) e TLS, la Faro ha fatto della portabilità uno dei criteri tecnici fondamentali dei suoi strumenti, rendendo flessibile l'acquisizione di dati metrici puntuali e densi, a contatto e non a contatto, portando la snellezza anche nelle fasi di *post-processing* tramite l'utilizzo di SW proprietari come SCENE.

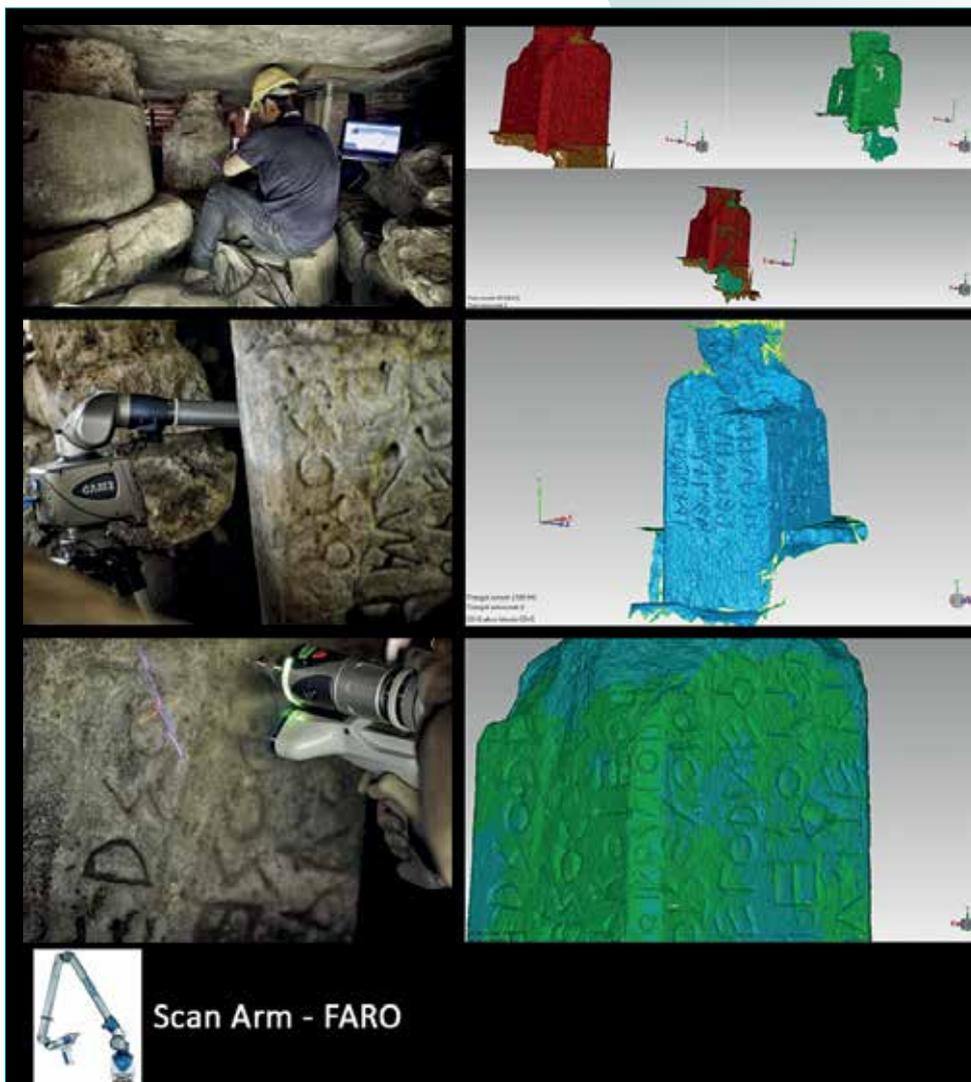
Il Focus^{3D} 130/330, il laser scanner terrestre più facilmente trasportabile con un peso di 5,2kg, una portata da 0,60m a 130/330m,

acquisizione angolare di 360°-300°, camera digitale integrata, utilizzabile sia in situazioni statiche sia *mobile*, è stato recentemente affiancato da uno strumento integralmente manuale, il Freestyle3D X. L'utilizzo a sistema della strumentazione permette di completare e integrare porzioni mancanti nelle scansioni acquisite staticamente, andando a riempire vuoti di informazione piuttosto che elevare il grado di risoluzione in porzioni locali della superficie da acquisire. In alternativa, i due strumenti possono lavorare in piena autonomia: per tale ragione il laser manuale può essere utilizzato per determinare con precisione millimetrica superfici alle grandi scale (ambienti singoli, oggetti di *interior design*, statue, particolari costruttivi,...).

Le esperienze condotte in ambienti industriali, architettonici, ar-

cheologici, ambientali con raggio ridotto, navali, non possono che sostenere i criteri di produzione sopra descritti, considerando che non solo la parte HW porta in sé tali caratteristiche ma anche la parte SW proprietaria o di terze parti. Il SW proprietario della Faro (SCENE 5.5) processa e allinea le singole scansioni tramite algoritmi di notevole snellezza: *cloud to cloud*, su target oppure dall'alto. L'allineamento delle scansioni per gruppi, gestibili all'interno di un singolo progetto, è un processo molto flessibile, che consente di registrare con algoritmi diversi i gruppi stessi mantenendo fisso, quando presente, il sistema di riferimento topografico.

Fig. 3 - Acquisizioni laser ad altissima precisione presso il Lapis Niger, realizzate a supporto della documentazione digitale per la valorizzazione dell'area archeologica e sotto la direzione della Soprintendenza Speciale per il Colosseo, il Museo Nazionale Romano e l'Area Archeologica di Roma, su progetto dell'archeologa Patrizia Fortini, dell'architetto Maddalena Scoccianti e della società VisivaLab S.L.



Anche la definizione fotografica delle ortofoto estraibili dal modello 3D ha raggiunto una buona definizione, mentre risulta ancora migliorabile, rispetto ad altri software (SW), la costruzione della *mesh*. Le estrazioni di ortofoto, profili di sezione verticali o orizzontali, singoli o multipli, sono effettuabili direttamente dalla nuvola di punti e si avvalgono dell'utilizzo di *bounding-boxes* che risultano impostabili secondo piani concordi agli obiettivi della rappresentazione finale.

L'esempio riportato (Fig. 1) riguarda un'applicazione del Focus 330 effettuata all'interno di Casa Cava a Matera. Le acquisizioni laser documentano e "congelano" lo stato di questa complessa e interessante struttura scavata in profondità e ora adattata a struttura per eventi culturali. La conformazione e lo sviluppo degli ambienti disposti a quote differenti e sulla base di un percorso che si insinua nella roccia tufacea sono diventati il simbolo della parabola storica e della rinascita culturale di Matera; un luogo nato come cava di tufo, poi abbandonato e usato come

discarica. Il progetto ha voluto lasciare le tracce dell'antica fase di estrazione e la conformazione della casa e della cava, tra loro interconnesse, richiede interventi di rilievo metrico dedicati in ogni ambiente e un forte controllo delle quote nelle fasi di misura e di processamento dei dati.

Se gli strumenti precedenti hanno la peculiarità di consentire la misurazione tramite scansioni per la media e grande scala con precisioni millimetriche e determinazioni di superfici con dati densi, con il Laser Tracker Vantage si effettuano misurazioni puntuali ad altissima precisione di oggetti di grandi dimensioni, specialmente in ambito industriale (allineamento, installazione macchine, ispezione di pezzi e componenti, costruzione e *setup* di utensili, integrazione di produzione e assemblaggio e *reverse engineering*) o comunque per la realizzazione, la verifica e il monitoraggio di elementi edilizi da determinare con massime precisioni. Le sue dimensioni sono compatte, resiste all'acqua e alla polvere (classe IP52), consente di effettuare determinazioni metriche da un'unica posizione con un *range* di 160m e accuratezza di 0.015mm (Fig. 2).

L'impiego di metodologie scientifiche nel campo della salvaguardia del patrimonio culturale è ormai prassi consolidata e sempre più si assiste a interventi di documentazione e valorizzazione a carattere interdisciplinare dove le conoscenze derivate da diversi settori della scienza, le relative metodologie d'indagine e le tecnologie più innovative si incontrano, affrontando aspetti del tutto particolari, dovuti alla specificità degli oggetti sottoposti ad esame. Tra i requisiti stringenti sono da elencare la garanzia della qualità dei risultati, la possibilità di un facile accesso all'oggetto di indagine e livelli di non invasività della tecnica in uso. In una

delle esperienze condotte ci si è avvalsi di questi principi declinando l'utilizzo di una macchina di misura a coordinate, in uso in ambiti industriali, portandola ad acquisire in ambiente archeologico. Con Edge Scan ARM, braccio di misura mobile ad altissima precisione (0,051mm) integrato con testa laser V6-HD, e a supporto della Soprintendenza Speciale per il Colosseo, il Museo Nazionale Romano e l'Area Archeologica di Roma, è stato infatti acquisito il cippo piramidale facente parte dell'arcaico complesso sacro collocato al di sotto del Lapis Niger nel Foro Romano, con inciso il testo di una legge sacra, determinandone la volumetria, l'intera superficie e l'iscrizione. L'acquisizione metrica del cippo è stata inserita in un vasto progetto finalizzato alla restituzione del complesso del Lapis Niger al pubblico e ha presentato l'opportunità per testare le capacità della strumentazione stessa e del valore scientifico dei dati acquisiti, come ad esempio alcuni dettagli invisibili a occhio nudo. L'iscrizione infatti si trova al di sotto del Lapis Niger, in una posizione visibile ma di difficile accesso, tale da impedirne lo studio nel dettaglio. Il braccio di misura CAM2-FARO, strumento d'avanguardia nel campo dell'acquisizione tramite laser scanner, portatile e facile da utilizzare, consente infatti di effettuare misurazioni 3D estremamente precise su volumi di grandi e piccole dimensioni, già nel corso delle fasi di produzione. Le ridotte dimensioni dello strumento, un peso complessivo percepibile di circa 500gr e la presenza di sensori intelligenti integrati permettono di effettuare misurazioni precise in contesti ristretti, e con caratteristiche termiche variabili. La definizione del braccio è di 36µm, precisione invisibile all'occhio umano, che permette dunque di individuare tracce archeologiche importanti



Fig. 4 - Il laser scanner manuale e portatile ZEB1 e alcune possibili applicazioni.

(ad esempio direzione e profondità di segni di scalpellatura oramai erosa) non rilevabili con una normale strumentazione.

Oltre all'uso per scopi di ricerca, le acquisizioni con laser scanner hanno permesso di sviluppare agli operatori del cantiere un modello 3D ad alta definizione.

Il caso di GeoSLAM

GeoSLAM è una giovane *joint venture* tra CSIRO (Agenzia Nazionale della Scienza dell'Australia e l'inventore del WiFi) e 3D Laser Mapping (*leader* nel Regno Unito per la fornitura di soluzioni LiDAR per l'industria mineraria e inventore dello 'Street Mapper'). Obiettivo di GeoSLAM è sviluppare soluzioni innovative per il mondo del *survey*, fondendo con esso gli aspetti del mondo della robotica. Infatti la tecnologia SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) è incentrata sulla determinazione metrica di uno spazio non noto tramite l'utilizzo di un *mobile robot*, associato a un sensore laser scanner, che costruisce il contesto man mano che lo percorre. Il principio del processo è di utilizzare il contesto/ambiente per aggiornare in continuo la posizione del robot attraverso l'utilizzo di un odometro e le sue interconnessioni con le acquisizioni laser: durante la fase di acquisizione vengono infatti estratte *features* dallo spazio misurato riosservate più volte quando il robot si muove al suo interno. Il responsabile del continuo aggiornamento nella posizione degli oggetti, e quindi del loro riconoscimento dimensionale e di posizione nello spazio misurato, è l'utilizzo ripetuto dell'EKF (Extended Kalman Filter). Lo strumento distribuito da GeoSLAM, ZEB1 (fig. 4), può essere veramente qualificato come il primo laser veramente mobile, portatile e leggero, adatto a un grosso numero di applicazioni

(*mining*, forense, architettonico e con rapida determinazione ai diversi piani, forestale, stoccaggio, *mobile*, visualizzazioni rapide,...). Con lo ZEB1 in mano, l'utente può semplicemente camminare nel contesto che vuole rilevare registrando più di 40,000 punti/s senza il bisogno di dati di posizionamento esterno come i GNSS. ZEB1 funziona al meglio in ambienti complessi/ricchi di forme e generalmente non richiede l'utilizzo di target/punti di riferimento. Sono la traiettoria che l'operatore segue e i movimenti manuali che questo compie con lo strumento che consentono in modo efficace e veloce l'acquisizione, riducendo in modo impressionante la fase di misura sul campo. Una volta che i dati sono stati raccolti, devono essere caricati nel GeoSLAM Cloud, dove il SW SLAM trasforma le misure in una nuvola di punti completamente registrata. Successivamente, i dati possono essere scaricati (da una base *pay-as-you-go*) e utilizzati all'interno di tutti i principali SW CAD, tra cui Revit.

Conclusioni

Il continuo e attuale fermento nel mondo della misura, variamente indirizzata in ambiti e settori di produzione differenti e tale per cui i sensori e i mezzi che li trasportano sono gli elementi che determinano gli elementi che determinano la scelta d'uso di uno strumento piuttosto che di un altro in funzione degli obiettivi delle acquisizioni, porta a fare brevi considerazioni. Al momento, e per chi scrive, la tecnologia laser risulta essere ancora la più completa, rapida, efficace e flessibile per l'acquisizione di dati 3D e per la realizzazione integrata di prodotti grafici e modelli tra i più vicini al vero alle diverse scale di intervento. Nonostante questo, occorre considerare che risulta sempre più evidente la necessità di integrare sensori e strumentazioni differenti, motivo per cui il processo di rilievo è garantito solo tramite un approccio a sistema e secondo soluzioni HW e SW direttamente indirizzate alla risoluzione di problemi specifici.

BIBLIOGRAFIA

- Bosse M., Zlot R., Flick P., 2012, *Zebedee: Design of a Spring-Mounted 3-D Range Sensor with Application to Mobile Mapping*, IEEE Transactions on Robotics, vol.28(5), pp.1104-1119
- Chiabrando F., Spanò A., 2013, *Points clouds generation using TLS and dense-matching techniques. A test on approachable accuracies of different tools*, in: XXIV International CIPA Symposium, Strasbourg, 2-6 September 2013. pp. 67-72
- Thomson C., Apostolopoulos G., Backes D., Boehm J., 2013, *Mobile Laser Scanning for indoor modelling*, in: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W2
- Sacerdote F., Tucci G. 2007, *Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio*, Alinea Editrice, Impruneta (Fi)
- Bornaz L., 2006, *Principi di funzionamento e tecniche di acquisizione*, in: F. Crosilla, S. Dequal (eds.), *Laser scanning terrestre*, Atti del corso "La tecnica del laser scanning terrestre" (Udine 2004), Udine, CISM, 1-18

SITOGRAFIA

- <https://vimeo.com/132660449>
- http://spettacolicultura.ilmessaggero.it/roma/archeo_robot_mito_romolo_foro_romano/1445875.shtml

PAROLE CHIAVE

LASER SCANNER; AACMM; SLAM

ABSTRACT

Portability, flexibility and speed are some of the technical features that distinguish the measuring instruments to scan and that they may allow to the operator to respond to requests for acquisition and processing of data effectively and economically. In this case study are presented cases of the instruments FARO and of the young GeoSLAM.

AUTORE

ORESTE ADINOLFI, CRISTINA BONFANTI, LAURA MATTIOLI, NADIA GUARDINI

ME.S.A. S.R.L.

STRADA ANTICA DI NONE, 2 10092 BEINASCO (TO), INFO@MESASRL.IT - WWW.MESASRL.IT