

# POTENZIALITÀ DEI NUOVI SISTEMI INDOSSABILI PER LA SCANSIONE 3D

UNA SPERIMENTAZIONE DEL PEGASUS BACKPACK DI LEICA GEOSYSTEMS  
PRESSO IL PALAZZO DUCALE DI MODENA

di Cristina Castagnetti, Francesco Mancini, Riccardo Rivola, Paolo Rossi, Simone Oppici, Valentina Albano, Marco Formentini

Fig. 1 - Facciata del  
Palazzo Ducale di  
Modena.



In questo articolo viene presentato un case study che pone a confronto le metodologie di rilievo “tradizionali” con i nuovi sistemi indossabili per la scansione 3D.

Nell'ultimo ventennio, i sistemi laser a scansione hanno rappresentato una delle principali novità nell'ambito delle metodologie del rilevamento tridimensionale. La precisione e la grande produttività di questi strumenti ne hanno decretato il successo in molteplici applicazioni, dall'ingegneria all'architettura, dall'ambiente al mondo delle professioni. Oggi, a fianco dei sistemi più noti quali laser aerei, terrestri e mobili, è disponibile una nuova tipologia di sensori: i laser indossabili (*wearable laser*), particolarmente flessibili ed idonei alle operazioni di rilevamento in ambienti impegnativi quali cave, grotte, terreni sconnessi, cunicoli, tunnel e ovunque non sia possibile o proficuo stazionare con strumentazione tradizionale. La combinazione di sensori per il posizionamento, sistemi inerziali, fotocamere e profilometri laser permette la ricostruzione tridimensionale dell'ambiente circostante in qualsiasi situazione. In questo articolo si

mostra una delle prime sperimentazioni condotte con il *Pegasus Backpack* di *Leica Geosystems* presso la prestigiosa Accademia Militare di Modena, situata all'interno del Palazzo Ducale di Modena. Si discutono le modalità operative e i prodotti ottenuti sia in ambienti esterni sia interni. La valutazione delle prestazioni si conclude con una speditiva verifica delle prestazioni basata sul confronto dei risultati con quelli ottenuti tramite un rilevamento a scansione laser classico con strumentazione posta su treppiede.

## RILEVAMENTO DI PORZIONI DEL PALAZZO DUCALE DI MODENA

Nell'ambito di uno studio congiunto fra Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia e l'Accademia Militare di Modena sulle prestazioni offerte da sensori laser mobili, le prestazioni del *Pegasus Backpack* sono state verificate grazie ad un rilevamento di una vasta area del Palazzo Ducale di Modena (Figura 1). La prestigiosa residenza ospita l'Accademia, il più antico istituto di formazione militare per l'addestramento e la formazione degli ufficiali dell'Esercito Italiano e dell'Arma dei Carabinieri, nota anche per il diritto di primogenitura su tutti gli istituti formativi nel suo genere.

Il Palazzo Ducale (Biondi 1987; Corradini et al. 1999) è stato edificato a partire dal 1634 sul sito dell'antico castello estense ed ha ospitato tra il Seicento e l'Ottocento la sede della corte della stessa casata d'Este, prima di essere ceduto, con l'unità d'Italia, al Regio Esercito per la formazione dei giovani cadetti.

Per verificare le potenzialità di questa nuova classe di laser a scansione mobili nella ricostruzione tridimensionale degli ambienti è stato pianificato un progetto di rilevamento ad includere sia ambienti aperti sia spazi coperti ed interni al Palazzo Ducale. Il progetto di rilevamento ha incluso il Cortile d'Onore, il colonnato circostante e la via d'accesso al Museo Storico, anch'esso situato all'interno dell'istituto di formazione. Provenendo dal cortile d'onore, l'accesso al museo avviene tramite lo scalone d'onore e ciò ha permesso di valutare il funzionamento dei sensori deputati all'orientamento delle scansioni anche su un dislivello. Il Cortile d'Onore rappresenta un luogo di grande significato simbolico nella vita dell'Accademia: qui viene svolto il tradizionale evento del Ballo delle Debuttanti, la storica rievocazione della serata di gala in cui le giovani dame si apprestano, accompagnate dai cadetti, ad eseguire il debutto in società. Il Cortile d'Onore è anche caro agli allievi dell'istituto per essere lo stesso in cui viene prestato giuramento di fedeltà alla Repubblica Italiana.

### CARATTERISTICHE STRUMENTALI DEL PEGASUS BACKPACK

Unico nel suo genere, il *Leica Pegasus Backpack* (Figura 2 in alto a sinistra) implementa cinque fotocamere e due lidar profiler che, acquisendo 600'000 punti al secondo, consentono la scansione degli ambienti circostanti in modalità dinamica, ovvero mentre l'operatore si muove in qualunque luogo accessibile (Leica Geosystems 2016). La possibilità di acquisire e restituire dati in ambienti aperti e chiusi, quando il segnale del satellite risulta debole o inesistente, è garantito dall'uso integrato tra posizionamento GNSS (Global Navigation Satellite System) e piattaforma con accelerometro inerziale. Un minuto di scansione occupa 1 GB di memoria.

La maneggevolezza (12 kg di peso complessivo), l'ergonomia accuratamente progettata e le dimensioni del *Pegasus Backpack* lo rendono particolarmente adatto all'impiego in zone dove la mobilità degli operatori risulta limitata, o nei casi in cui risulti impossibile o rischioso stazionare secondo le modalità tradizionali del rilevamento. Si pensi ad esempio alle operazioni in tunnel, grotte, ambienti angusti, trincee e in moltissime applicazioni di tipo militare, dove il soldato può raccogliere informazioni su teatri operativi o documentare siti e strutture logistiche senza possedere, necessariamente, un'elevata competenza nelle tecniche di rilevamento.

La disposizione delle cinque fotocamere da 4 Mpixel consente di avere una visuale semi-sferica calibrata combinando immagini e nuvole di punti. Il sistema di mappatura è dotato di sensori di luminosità per il controllo automatico del bilanciamento delle tonalità delle immagini nonché di luci led per le applicazioni in cui le condizioni di visibilità siano deboli o insufficienti. Un'interessante caratteristica è rappresentata dalla gestione effettuata tramite tablet connesso allo strumento via cavo o wireless. L'interfaccia grafica permette di controllare tutte le impostazioni del dispositivo e fornisce, in tempo reale, la ricostruzione approssimata di quanto si sta acquisendo, incluse le immagini delle cinque fotocamere.

La possibilità di associare le geometrie rilevate dai profilometri laser durante il movimento è affidata alla tecnologia SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) (Durrant-Whyte & Bailey 2006; Bailey & Durrant-Whyte 2006) che opera in sinergia con i sensori GNSS e IMU (*Inertial Mapping Unit*). Durante la fase di acquisizione vengono estratte features dallo spazio misurato le quali, riosservate più volte, consentono il loro riconoscimento ed il processo di aggiornamento della posizione degli oggetti.

L'operazione di rilevamento ha avuto una durata complessiva di soli 10 minuti, dopo una preliminare fase di inializzazione del sistema da condurre all'esterno in presenza del segnale GNSS. In Figura 2 si riportano alcune immagini del rilievo effettuato ed in particolare la ricostruzione dell'intera area rilevata e dettagli relativi al cortile d'onore ed allo scalone d'onore.

### ELABORAZIONE DEI DATI

La restituzione delle nuvole di punti unite ai dati fotogrammetrici richiede un flusso di lavoro di post-elaborazione dei dati acquisiti dai singoli sensori che si basa su una pluralità di software specifici: il primo, *Inertial Explorer* di *NovaTel*, viene utilizzato per la generazione della traiettoria, ovvero il percorso seguito dall'operatore; il secondo, *Leica Auto Processing* di *Leica Geosystems*, è stato utilizzato per allineare i dati di scansione laser e le foto alla traiettoria precedentemente generata. La procedura di elaborazione descritta ha impiegato 4 ore per fornire il modello 3D a nuvola di punti con colorazione foto-realistica

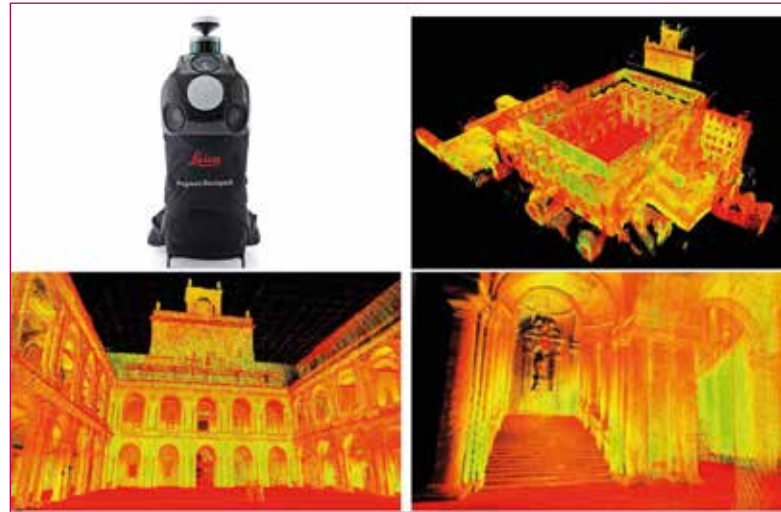


Fig. 2 - Nuvole di punti acquisiti con il Pegasus Backpack (in alto a sinistra).

e per generare le foto panoramiche e le nuvole di punti in diversi formati di interscambio. Il dataset complessivo ha le dimensioni di 32 GB. L'esportazione dei dati è garantita in vari formati di interscambio che permettono la gestione dei dati nei vari software di più diffuso utilizzo per la creazione del modello tridimensionale a superfici, la vettorializzazione di prodotti classici bidimensionali e la gestione di ortoimmagini. In Figura 3 la vista in pianta del museo storico contenuto nel Palazzo Ducale, ottenuta sezionando velocemente la nuvola di punti a seguito della sola fase di allineamento e veloce pulizia dei dati.

### VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DEI RISULTATI

Per una valutazione della qualità dei dati ottenuti dal rilevamento con il Pegasus Backpack, la nuvola di punti è stata confrontata con quella fornita da scansioni laser effettuate grazie a strumenti di utilizzo e affidabilità consolidati. Nel caso specifico il confronto è stato effettuato con i dati forniti dalla *ScanStation C10* di *Leica Geosystems*, laser scanner a tempo di volo dotato di compensatore biassiale e portata nominale di 300 m (Leica Geosystems 2016), in un'area del Palazzo Ducale che comprende il Cortile d'Onore e il colonnato che lo delimita. Il rilevamento nell'area del Cortile d'Onore è stato effettuato grazie a cinque acquisizioni (quattro nei pressi dei vertici ed una al centro) che hanno garantito la descrizione completa degli ambienti alla densità voluta (modello 3D a nuvola di

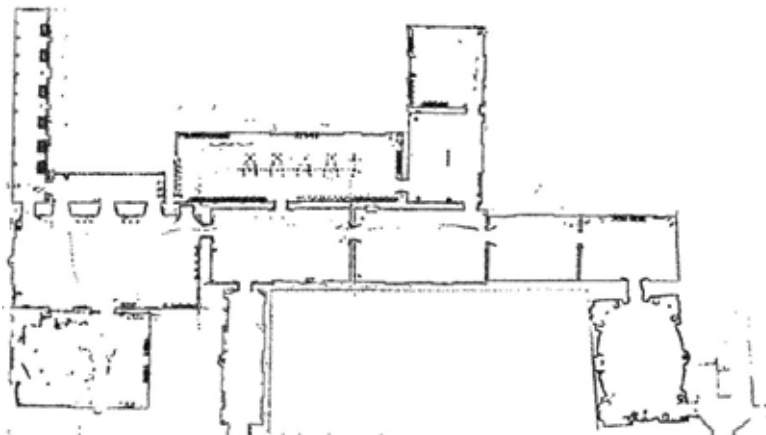


Fig. 3 - Visualizzazione in pianta del museo storico ottenuta dal modello 3D a nuvola di punti - rilievo effettuato con sistema indossabile Pegasus Backpack di Leica Geosystems.





Fig. 4 - Le operazioni di rilevamento con laser scanner terrestre (ScanStation C10, Leica Geosystems) a sinistra e dettaglio relativo ad una porzione del colonnato che delimita il Cortile d'Onore, a destra, ottenuta dopo meshing della nuvola di punti.

punti con risoluzione inferiore al centimetro). In Figura 4 un'immagine relativa alle operazioni di scansione e uno dei prodotti ottenibili a partire dall'allineamento delle nuvole dei punti.

Nonostante la *ScanStation C10* possieda una sua camera digitale integrata che garantisce le successive fasi di texturizzazione della nuvola di punti, la documentazione fotografica è stata effettuata con camera fotografica esterna reflex a pieno formato (*Canon EOS 5D Mark II*) posizionata con testa sferica su treppiede. Ai fini della definizione dei parametri relativi ai valori di esposizione o tempi di presa si è optato per la cattura di uno stesso fotogramma con tre esposizioni differenti gestite dalla tecnologia HDR (*High Dynamic Range*) in modo da compensare eventuali problemi di esposizione dovuti alle condizioni di luminosità, estremamente variabili all'interno dell'area. In Figura 5 un'immagine panoramica del cortile, ricostruita a partire dai fotogrammi acquisiti.

La sperimentazione condotta ha permesso di valutare le prestazioni del laser indossabile rispetto ad un'installazione tradizionale. La rapidità e di conseguenza la produttività, unite alla flessibilità e comodità in scenari operativi sono certamente a favore della strumentazione portatile. Di contro si ottiene un dataset più rumoroso, con uno scostamento medio di  $\pm 5$  cm rispetto al riferimento adottato (nuvola di punti acquisita con *Scan Station C10*).



Fig. 5 - In alto l'immagine panoramica del cortile d'onore ottenuta da fotocamera reflex (*Canon EOS 5D Mark II*); in basso immagine semisferica interna al porticato superiore ottenuta dalle fotocamere del *Pegasus Backpack*.

Come atteso, l'agilità si ottiene quindi a parziale discapito della nitidezza del dato. In Figura 6, le due nuvole di punti, una ottenuta con il *Leica Pegasus Backpack* e l'altra con *Leica ScanStation C10* vengono sezionate e messe a confronto per alcuni dettagli architettonici. Il dettaglio di una porzione del colonnato risulta particolarmente significativo nel mostrare come il dataset ottenuto dallo stazionamento su treppiede con strumentazione consolidata sia estremamente pulito e regolare mentre il dataset ottenuto con operatore in movimento sia più rumoroso: la caratteristica forma della colonna rettangolare al centro della figura, che presenta evidenti scanalature regolari (dimensioni di circa 11-12 cm) infatti non è ben riconoscibile nel dataset del *Pegasus Backpack* (profilo blu) mentre è nettamente descritto dal dataset della *ScanStation C10* (profilo rosso). Diretta conseguenza di queste considerazioni è che inevitabilmente la perdita di dettagli nella descrizione delle forme regola le applicazioni per cui si rende efficace e produttivo l'utilizzo di questa categoria di laser scanner indossabili.

Nel porre a confronto le due soluzioni tecnologiche utilizzate risulta utile anche esaminare tempistiche e complessità di utilizzo (Tabella 1). Al fine di poter effettuare una corretta analisi comparativa dei risultati ottenuti, si precisa che i valori asteriscati inseriti nella tabella seguente sono stati stimati ipotizzando di aver effettuato il rilevamento con *Leica Pegasus Backpack* solamente nell'area comune del Cortile d'Onore.

Parametro	Leica Scan Station C10	Leica Pegasus Backpack
Tempi di rilievo	2 ore	20 minuti *
Tempi di elaborazione	30 minuti	4 ore
Dimensioni del dataset	6.2 GB 154 Mpunti	6.5 GB * 40 Mpunti *
Qualità dell'allineamento	2-3 millimetri	10 cm (ottenuto da elaborazione automatica; valore migliorabile con intervento dell'operatore)
Qualità fotografica	Scarsa con utilizzo della fotocamera interna Ottima con utilizzo di una fotocamera esterna	Fortemente dipendente dalle condizioni di illuminazione degli ambienti
Prodotti ottenibili	- Modello 3D a nuvola di punti - Modello 3D a superfici - Tavole bidimensionali in scala 1:50 e superiore	- Modello 3D a nuvola di punti - Modello 3D a superfici - Tavole bidimensionali in scala 1:200 e superiore
Logistica	Stazionamento con strumento su treppiede; ripetizione su più punti di stazione	Zaino in spalla e tablet in mano; si cammina
Costo	€	€€€€

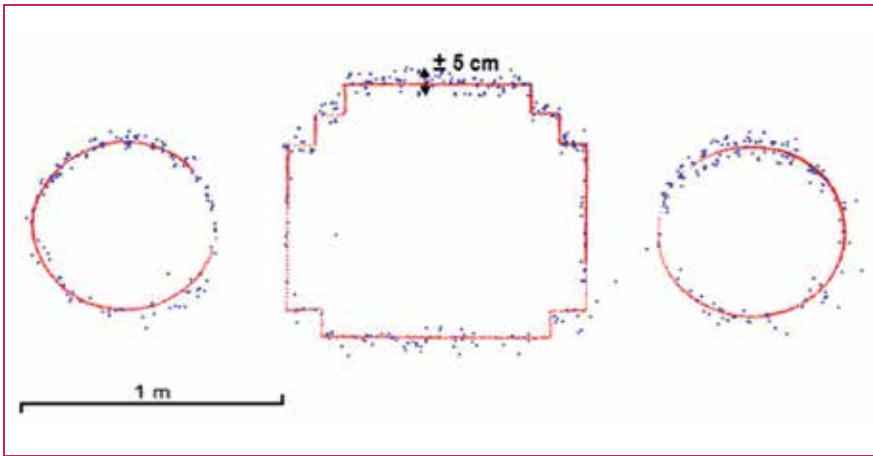


Fig. 6 - Dettaglio di una porzione del colonnato in sezione (vista dall'alto) in cui si confrontano la nuvola di punti ottenuta con Leica ScanStation C10 (in rosso) e con Leica Pegasus Backpack (blu).

La sperimentazione condotta ha permesso al contempo di rilevare ambienti di grande pregio e di valutare le *performances* di una nuova categoria di strumenti, i laser scanner indossabili ed in particolare il nuovo *Pegasus Backpack* di *Leica Geosystems*. I test condotti sia in ambienti esterni sia interni dell'Accademia Militare di Modena, caratterizzati da complessità architettoniche, geometrie e dislivelli notevoli, hanno evidenziato chiaramente le grandi potenzialità della strumentazione in scenari e contesti operativi in cui logistica complessa, rapidità, flessibilità e agilità sono fattori chiave. Tra gli utilizzi più idonei per queste moderne tecnologie si annoverano ad esempio le applicazioni nelle varie tipologie di cantiere, a cielo aperto e non, grandi opere, nell'ambito militare e ovunque venga richiesta una rapida descrizione degli spazi con i vantaggi tipici della tecnologia laser.

La presente sperimentazione ha evidenziato un livello di incertezza associato alla nuvola di punti che potrebbe rendere difficoltosa la descrizione di dettagli architettonici. Pertanto, in tale ambito, dove il dettaglio ed un'accurata descrizione rappresentano fattori chiave, lo strumento non sembra raggiungere le prestazioni di un laser a scansione di fascia alta posto su treppiede come è lecito attendersi da uno strumento sviluppato per produrre una documentazione tecnica speditiva. Di contro, un grande valore aggiunto associato all'utilizzo di tale strumentazione è sicuramente quello di potere visionare a colori e in tempo quasi reale l'ambiente in cui ci si muove. Le prestazioni dimostrate dallo strumento e la produttività in ambienti interni ed esterni rendono il *Pegasus Backpack* un valido supporto all'acquisizione di dati per la produzione di modelli BIM (Building Information Model) di tipo geometrico alla scala 1:200.

### RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano gli Ufficiali dell'Accademia Militare per aver permesso l'accesso alle strutture ed in particolare il Sottotenente Antonio Palermo, il Capitano Alberto Nicoletta, il Tenente Colonnello Roberto De Simone e il Generale Salvatore Camporeale.

### BIBLIOGRAFIA

- Biondi A. (1987). *Il Palazzo ducale di Modena: sette secoli di uno spazio cittadino*, Modena: Panini.
- Bailey T. & Durrant-Whyte H. (2006). Simultaneous localization and mapping (SLAM): Part II. *IEEE Robotics & Automation Magazine* 13(3), 108-117.
- Corradini E., Garzillo E. & Polidori G. (1999). *Il Palazzo ducale di Modena: regia mole maior animus*, Modena: Fondazione Cassa di Risparmio di Modena.
- Durrant-Whyte H. & Bailey T. (2006). Simultaneous localization and mapping: part I. *IEEE robotics & automation magazine* 13(2), 99-110.
- Leica Geosystems (2016), Leica Pegasus: Backpack - Mobile reality capture Datasheet, <http://leica-geosystems.com/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus-backpack> (Retrieved: 10.10.2016).
- Leica Geosystems (2016), Leica ScanStation C10 - Il laser scanner "all-in-one" per ogni tipologia di applicazione Datasheet, [http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-C10\\_79411.htm](http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-C10_79411.htm) (Retrieved: 10.10.2016).

### ABSTRACT

*The terrestrial laser scanning is a well established technology for a wide range of applications. Recently the development of wearable systems based on multiple profilers and cameras opens to new challenging field of applications. The potentialities of such systems in terms of accuracy, productivity, completeness of the final dataset has been tested and described in the paper. The case study is provided by the Military Academy of Modena where an expeditious survey was carried out both in internal and external environments with the objective of evaluating the performance of the Leica Pegasus Backpack, a wearable system, in comparison with the Leica ScanStation C10, a traditional terrestrial laser scanner in static position. The field test allows to highlight the most suitable applications for these wearable systems.*

### PAROLE CHIAVE

LASER SCANNER; NUVOLE DI PUNTI; RILIEVO ARCHITETTONICO; SISTEMI INDOSSABILI; TEXTURE FOTOGRAFICA; PEGASUS BACKPACK; LEICA GEOSYSTEMS

### AUTORE

CRISTINA CASTAGNETTI  
CRISTINA.CASTAGNETTI@UNIMORE.IT  
FRANCESCO MANCINI  
FRANCESCO.MANCINI@UNIMORE.IT  
RICCARDO RIVOLA  
RICCARDO.RIVOLA@UNIMORE.IT  
PAOLO ROSSI  
PAOLO.ROSSI@UNIMORE.IT

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA "ENZO FERRARI", UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MODENA E REGGIO EMILIA, VIA P. VIVARELLI 10, INT. 1 - 41125 MODENA (MO).

SIMONE OPPICI  
SIMONE.OPPICI@LEICA-GEOSYSTEMS.COM  
VALENTINA ALBANO  
VALENTINA.ALBANO@LEICA-GEOSYSTEMS.COM  
MARCO FIORENTINI  
MARCO.FORMENTINI@LEICA-GEOSYSTEMS.COM

LEICA GEOSYSTEMS S.P.A., VIA CODOGNINO, 10 - 26854 CORNEGLIANO LAUDENSE (LO)