

Impiantistica industriale e scansione laser

Le tecnologie di scansione laser vantano una storia consolidata e una notevole evoluzione applicativa. Ma l'ultimo decennio è stato accompagnato dall'ottimizzazione di hardware e processi che hanno saputo offrire nuovo slancio a un settore tradizionalmente focalizzato sul rilievo topografico e architettonico

Alessandro Negrini, Enrico Trivini Bellini

La scansione laser 3D è una risorsa versatile e notevolmente diffusa[1] che, da più di un decennio, ha trovato via via una crescente applicazione in vari ambiti, a partire dalla tradizionale sfera del recupero architettonico e del rilievo topografico/geomatico.

Il laser scanning si è quindi ritagliato una propria dimensione anche nei settori dei montaggi industriali e dell'analisi impiantistica (per esempio, estrattiva, produttiva e/o di processo) volta a un metodico recupero di risorse in termini di adeguamento normativo e di ottimizzazione funzionale (*revamping*). Com'è noto, questa tecnologia permette di acquisire in modo rapido e accurato le dimensioni, la geometria e i dettagli di strutture/attrezzature complesse, fornendo un'ampia gamma di dati relativi al contesto reale che possono essere utilizzati per riprogettare, affinare e – in sintesi – preservare sistemi altrimenti destinati alla sostituzione (ovvero, a una completa dismissione), anticipando molte delle criticità che l'intervento esecutivo potrà presentare sia in termini di costi che di mezzi.

Con ciò, è significativo riconoscere come il laser

“ La tecnologia laser scanning permette di acquisire in modo rapido e accurato le dimensioni, la geometria e i dettagli di strutture/attrezzature complesse, fornendo un'ampia gamma di dati relativi al contesto reale che possono essere utilizzati per riprogettare, affinare e preservare sistemi altrimenti destinati alla sostituzione, anticipando molte delle criticità che l'intervento esecutivo potrà presentare sia in termini di costi che di mezzi

scanning possa, innanzitutto, contribuire – da un lato – a ridurre i tempi di pianificazione gestionale, e – dall'altro – a massimizzare l'affidabilità d'intervento, sia durante la fase di studio di fattibilità preliminare sia in quella ispettiva/manutentiva a medio-lungo termine, favorendo – eventualmente – la

definizione di circostanze di esercizio ottimali volte a comprimere le tempistiche di fermo-impianto. Sempre in un'ottica di lungo termine, infine, sono facili da intuire le ricadute positive in materia di sicurezza occupazionale, se consideriamo anche soltanto la sensibile riduzione delle ore-uomo destinate alla fase di rilievo tecnico-dimensionale in presenza (e della conseguente esposizione al rischio di infortunio, soprattutto in ambienti confinati e/o a rischio d'incidente rilevante) a fronte della possibilità, una volta che i dati derivanti dalle scansioni abbiano consentito la creazione e l'aggiornamento di un modello digitale predittivo giudicato affidabile (per esempio, *digital twin*) di fornire un riferimento condiviso che vada a snellire non solo il flusso di lavoro delle tradizionali discipline tecniche (come analisi stress e strutturale, in primis), ma si possa integrare con tutte le funzioni di gestione dell'impianto stesso (HSE, logistica ecc.).

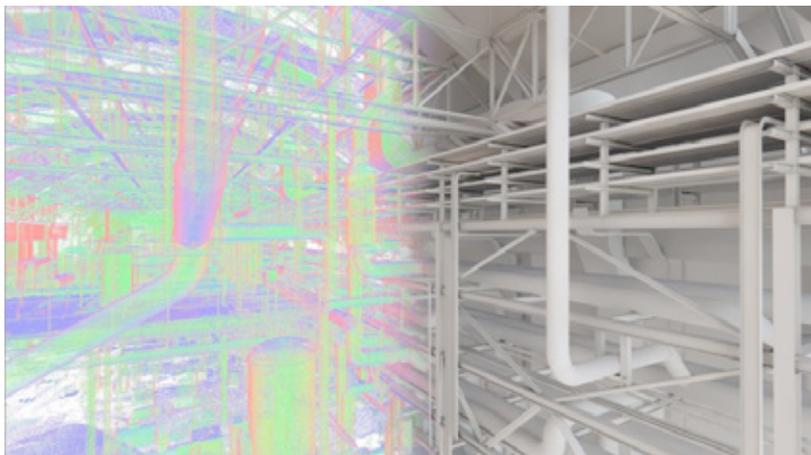
I principi di funzionamento

All'atto pratico, la tecnologia di scansione laser 3D si basa sull'impiego di un dispositivo elettro-ottico meccanico che rileva autonomamente gli oggetti circostanti nella loro esatta collocazione spaziale (ossia, nelle tre dimensioni): perché questo avvenga, si ricorre solitamente a un sistema che non altera in alcun modo le superfici esaminate, ma ne stima la posizione rispetto alla fonte di emissione sulla base di diversi fattori, come il tempo di ritorno (Time of Flight - TOF) o la variazione di fase.

“La tecnologia di scansione laser 3D si basa sull'impiego di un dispositivo elettro-ottico meccanico che rileva autonomamente gli oggetti circostanti nella loro esatta collocazione spaziale, in tre dimensioni”

Figura 1 - Nuvola di punti (a sinistra) e modello derivato (a destra)

[Fonte: 3Units Technologies, WESCAN Solutions, 2023]



In questo modo, è possibile raccogliere un'articolata sequenza di input digitali in un lasso di tempo relativamente contenuto (pochi minuti per ogni singola posizione di scansione), generando quindi una cosiddetta "nuvola di punti" (un insieme di coordinate dimensionali nello spazio), che costituiscono la rappresentazione informatica dell'ambiente scansionato.

I dati grezzi così ottenuti costituiscono una notevole mole di informazioni che vanno a ricomprendere differenti elementi d'interesse (come caratteristiche superficiali, trame, colori ecc.) e rappresentano la fonte di informazioni per successive elaborazioni oltre che per ottenere diversi tipi di output utilizzabili in ambito esecutivo (per esempio, modelli tridimensionali, planimetrie, montaggi e sezioni, P&ID, immagini statiche o video).

Una campagna di rilievo è solitamente articolata in fasi sequenziali, per permettere di eseguire molteplici acquisizioni da diverse angolazioni/posizioni, combinandone i risultati per definire un modello 3D completo e accurato. I sistemi di scansione a tempo di volo (TOF) e quelli a modulazione di fase (Phase-Shift Laser Scanning)[2] risultano, di solito, adatti al rilievo di superfici di dimensioni medio-grandi, con dettaglio massimo pari a 4-5 mm e un campo d'azione che va dal mezzo metro ai due chilometri.

È notevole la diffusione di nuovi sistemi di mappatura e digitalizzazione basati su tecnologia "SLAM" (Simultaneous Localization and Mapping)[3]. Questa nuova famiglia di strumenti utilizza la scansione laser per creare in tempo reale la mappa dettagliata di un ambiente servendosi di algoritmi che combinano i dati di ritorno generati da laser, telecamere e altri sensori, per raccogliere informazioni utilizzabili in una notevole varietà di applicazioni. In quest'ottica, l'aspetto focale è legato alla simultaneità, per l'appunto, delle funzioni di localizzazione (ossia, dell'esatta determinazione della posizione del sensore nell'ambiente) e di mappatura secondo un processo continuo, perfezionato iterativamente man mano che si raccolgono nuovi riscontri.

Uno dei principali vantaggi dei sistemi "SLAM", quindi, è che possono essere impiegati senza il bisogno di informazioni pregresse (per esempio, tracciati, rilievi ecc.) né di altre cognizioni preliminari legata al contesto da scansionare, rendendo possibile confrontarsi con ambienti sconosciuti e/o dinamici in cui i metodi di rilevamento tradizionali potrebbero essere troppo lenti, o persino inapplicabili.

In generale, la versatilità dei sistemi "SLAM" è anche una delle ragioni che li rende particolarmente diffusi nei settori della robotica e dei mezzi a guida autonoma, soprattutto se associati a forme più o meno strutturate di IA cui demandare:

- la calibratura preliminare dei dispositivi secondo modelli di apprendimento iterativo (deep learning) al fine di ridurre il "rumore di fondo" durante il rilievo in campo compensando i problemi generati dall'eventuale



« Uno dei principali vantaggi dei sistemi 'SLAM' (Simultaneous Localization and Mapping), è che possono essere impiegati senza il bisogno di informazioni pregresse (per esempio, tracciati, rilievi ecc.) né di altre cognizioni preliminari legate al contesto da scansionare

presenza di superfici di difficile lettura (come aree in movimento, trasparenti, scarsamente riflettenti ecc.);

- la tempestiva correzione di errori e incongruenze, migliorando l'affidabilità attesa del processo di generazione della nuvola di punti, nell'intento di comprimere i tempi di successiva ri-elaborazione anche di un terzo rispetto ai modelli tradizionali.

Finora, grazie alla riduzione di dimensione e di peso, i sistemi di scansione laser possono essere facilmente trasportati manualmente, ovvero montati su autoveicoli in movimento e/o droni per consentire il rilievo in quota anche in aree altrimenti difficili da ispezionare (per esempio, rack, camini, colonne ecc.).

Una prospettiva in continuo sviluppo

In termini di hardware, la leadership nello sviluppo di nuovi dispositivi di laser scanning all'avanguardia rimane affidata a nomi quali, per esempio, Hexagon/Leica Geosystems part of Hexagon, Faro Technologies, Trimble, Z+F e Riegler, che garantiscono una gamma di soluzioni in continua crescita anche a fronte di uno sviluppo dell'offerta a basso costo dei sistemi LiDAR di manifattura orientale[4].

Anche nell'ambito del software specialistico, esistono molteplici alternative per gestire e ana-

lizzare i dati ottenuti attraverso la tecnologia di scansione laser 3D, con pacchetti proposti dai protagonisti di un mercato in continua espansione (come Faro Scene, Leica Cyclone, Trimble RealWorks, HxGN SmartNet, LaserControl) e focalizzato sulla necessità di soddisfare (se non anticipare) le richieste:

degli operatori impegnati nell'attività sul campo, caratterizzata dalle criticità più disparate nonché da una marcata preferenza per i dispositivi più compatti e resistenti (rugged hardware) da poter utilizzare in condizioni-limite (come visibilità ridotta, umidità molto elevata, pioggia o neve ecc.) senza pregiudicarne l'accuratezza;



Figura 3 - Nuvola di punti da mobile laser scanner - Modello As-Built [Fonte: 3Units Technologies, WESCAN Solutions, 2023]



Figura 4 - Scansione 3D in impianto [Fonte: 3Units Technologies, WESCAN Solutions, 2023]

Figura 2 - Scansione 3D in impianto [Fonte: 3Units Technologies, WESCAN Solutions, 2023]

- dei professionisti della progettazione integrata cui viene demandato il compito di analizzare, selezionare ed elaborare il range di dati prodotto nell'arco delle singole campagne di rilevamento confrontandosi, ancora oggi, con molte incognite di leggibilità, consistenza e/o portabilità, dovute sovente ai limiti posti delle infrastrutture informatiche della committenza;
- degli specialisti di manutenzione e sicurezza che devono comunque poter affiancare le informazioni derivanti dall'attività di scansione 3D ai dati ottenuti mediante altre tecnologie (come reality capturing, imaging diagnostico)[5] raggiungendo un quadro d'insieme completo e coerente;
- delle imprese che desiderano preservare, rivalutare e modernizzare le proprie risorse, migliorandone al contempo la maturità digitale soprattutto al fine di estenderne il ciclo di vita utile attuando un notevole sforzo previsionale (asset lifecycle intelligence).

Dalla teoria alla pratica

Volendo proporre un'applicazione concreta di quanto appena spiegato, si può prendere a esempio generale il caso-studio (*case study*) rappresentato dalla scansione con tecnologia mobile di un sito produttivo pari a 60.000 metri quadri svolta in soli tre giorni di rilievi, derivan-

CASE STUDY

Scansione con tecnologia mobile di un impianto di produzione di gas nobili sito in Lombardia

Wescan è stata tra i primi in Italia a introdurre la tecnologia mobile laser scanner in ambito industriale e impiantistico.

DIGITAL FACTORY SOLUTION

Grazie all'utilizzo della tecnologia mobile i professionisti della supply chain globale e della produzione industriale possono ottenere digitalizzazioni delle proprie strutture con una velocità e un'accuratezza senza precedenti, questo porta a una significativa riduzione di tempi e costi.

Una copia digitale aggiornata dei propri impianti produttivi rivoluziona l'efficacia della pianificazione e delle operazioni di produzione. Utilizzando servizi di scansione mobile si possono acquisire rapidamente interi impianti di produzione e generare documentazione AS-IS con velocità e precisione.

La continua evoluzione nel settore della tecnologia laser scanner e l'avvento dei sistemi mobile hanno permesso di raggiungere migliori risultati in minor tempo. Queste due qualità, accuratezza e velocità, hanno reso sempre più vantaggioso l'utilizzo della tecnologia laser scanner mobile in ambito industriale e impiantistico.

La velocità dell'acquisizione con un sistema mobile e l'ottimiz-

zazione delle procedure di elaborazione dei dati acquisiti consentono di ottenere complesse digitalizzazioni, che un tempo venivano effettuate in diverse settimane, in pochi giorni.

Grazie all'utilizzo di una specifica piattaforma cloud tutti i dati acquisiti vengono caricati e sono consultabili da ogni tipo di dispositivo Web, La piattaforma fornisce le informazioni necessarie per prendere in sicurezza le decisioni giuste al momento giusto.

BENEFICI

- Processo decisionale più rapido grazie a una migliore collaborazione remota tra i reparti;
- Aumento di produttività dei reparti di ingegneria e riduzione dei costi di lavorazione attraverso una documentazione AS-IS affidabile;
- Maggiore collaborazione e riduzione delle spese di viaggio con incontri virtuali da remoto;
- Aumento di produttività nei team di manutenzione grazie alla digitalizzazione dei processi e alla sostituzione di materiale cartaceo con dispositivi mobili.

AMBITI DI APPLICAZIONE

- Siti produttivi delocalizzati;
- Nuove installazioni e trasferimento di apparecchiature;
- Modifiche layout delle linee di produzione;
- Condivisione di best-practice tra diverse sedi e reparti;
- Report di manutenzioni;
- Supporto a 5S e Gemba Walk.

APPLICAZIONE

In un recente progetto è stata effettuata la digitalizzazione completa di un importante sito produttivo di oltre 60.000 mq in soli 3 giorni.

Tutti gli immobili, i rack impiantistici e i serbatoi oggetto di digitalizzazione sono stati rilevati da terra, in sicurezza e senza interferire con le attività industriali.

La mappatura laser scanner con immagini 360° è stata poi arricchita e integrata con taggatura di tutti gli ITEM presenti aggiungendo informazioni come ID, matricola, anno di installazione, ecc., è possibile "allegare" al Tag documenti relativi al macchinario come data sheet, manuale di manutenzione, note, ecc.

Il gemello digitale (digital twin) così ottenuto può essere ora utilizzato per programmare interventi di manutenzione, per progettare modifiche di layout e più in generale per prendere decisioni in sicurezza e con precisione.



Figura 5 – Digital Factory [Fonte: 3Units Technologies, WESCAN Solutions, 2023]

done un modello dettagliato e finalizzato alla gestione digitale integrata (Digital Factory)[6].

In partenza, tutti gli elementi strutturali (in muratura e in carpenteria metallica; per esempio, piping rack), così come le attrezzature (serbatoi, vasche ecc.) sono stati rilevati sistematicamente da tecnici dotati di equipaggiamento indossabile, procedendo in sicurezza e senza dover interferire con le attività produttive.

La mappatura con immagini a 360° è stata quindi integrata con una referenziazione metodica (*tagging*) di tutte le risorse di rilievo presenti in campo (*on site*), aggiungendo un'ampia gamma di informazioni tecnico-gestionali tratte da varie fonti (ID, matricola, anno di installazione, ecc.).

Ne è derivato un gemello digitale (*digital twin*)[7] utilizzabile per programmare interventi di manutenzione, pianificare modifiche al layout e – più in generale – come strumento affidabile di riferimento per validare decisioni strategiche a medio-lungo termine basate su informazioni attuali (AS-IS) legate al contesto operativo, così come per favorire la condivisione di best practices legate – a titolo esemplificativo – alla vigilanza o alla sicurezza occupazionale.

Sincronizzando i dati così consolidati mediante una piattaforma cloud dedicata, il medesimo modello può essere consultato H24/7 – anche da remoto – da uno o più referenti autorizzati (addetti preposti, manutentori, progettisti, fornitori di componenti e materiali ecc.) tramite un qualsiasi dispositivo con accesso al Web, snellendo il coordinamento tra diverse funzioni aziendali che collaborano all'interno del medesimo impianto, ovvero permettendo il recupero di dati accurati anche da parte di operatori momentaneamente in viaggio o dislocati presso sedi distaccate[8].

Note

[1] *La sinergia offerta, al contempo, tra un hardware sempre più compatto e la proposta di nuovi software di acquisizione dotati di precisione via via crescente hanno reso il laser-scanning un mezzo consolidato sempre più accessibile (in termini di gestibilità così come di convenienza economica), favorendone l'adozione da parte di una gamma diversificata di protagonisti che spazia dalle grandi imprese ai singoli studi privati con una diffusione a livello mondiale, almeno per quanto concerne le realtà con forti esigenze di sviluppo in termini di infrastrutture (Cina, India, Pakistan ecc.).*

[2] *Questi dispositivi si servono, appunto, di un interferometro a sfasamento per misurare la distanza tra lo scanner e gli oggetti circostanti. L'interferometro scinde il raggio laser in due fasci distinti che vengono poi ricombinati: la differenza di fase viene quindi utilizzata per cal-*

colare la distanza effettiva.

[3] *Anche in questo ambito esistono, poi, diverse opzioni (Visual SLAM, LiDAR SLAM, SLAM monoculare ecc.) a loro volta legate alle specifiche tecnologie adottate e agli algoritmi che ne ottimizzano il funzionamento per differenti contesti. A tal riguardo, si veda – tra le molte fonti d'interesse – lo studio di Xiaoyun Lu et al., "DM-SLAM: Monocular SLAM in Dynamic Environments" (Applied Science, 2020) e la pubblicazione di Dinar Sharafutdinov, "Comparison of Modern Open-Source Visual SLAM Approaches" (2021).*

[4] *A tal riguardo, si legga l'interessante "È iniziata la guerra del LiDAR nel mondo della geomatica e non solo" di Domenico Santarsiero (INGENIO, 2022).*

[5] *Pensiamo, per esempio, al rendering inverso basato sull'impiego dell'IA per approssimare il comportamento della luce nel mondo reale, consentendo di ricostruire un modello 3D a partire da una sequenza di immagini 2D scattate da diverse angolazioni. Di recente, NVIDIA ha sviluppato un approccio che svolge questo compito quasi istantaneamente, rendendolo uno dei primi modelli del suo genere a combinare l'addestramento della rete neurale ultraveloce e il rendering rapido (NeRF o "Neural Radiance Fields").*

[6] *Fonte "Wescan Solutions", 2023.*

[7] *È interessante notare come la crescente velocità di acquisizione mediante sistema mobile, in parallelo con l'ottimizzazione delle procedure di elaborazione dei dati acquisiti, consentano oggi di processare in pochi giorni complesse (e accurate) digitalizzazioni che, appena qualche anno fa, avrebbero impegnato diverse settimane.*

[8] *Idealmente, la fruizione di questa pool di informazioni si può estendere a tutti gli attori della supply chain interessati a ricavare dati utili alla gestione (ovvero all'ottimizzazione) della filiera integrata logistico-impiantistica (come produzione e consegna just-in-time di ricambi e consumabili destinati alla manutenzione programmata on site). Ciò ha l'evidente beneficio di ridurre una parte dei costi legati alla archiviazione/condivisione delle informazioni dell'impresa, bilanciando i maggiori investimenti legati – per contro – al rinnovo delle infrastrutture IoT, alla necessaria protezione dei dati da minacce esterne e, non ultima, alla definizione di robusti piani di disaster recovery nel caso di eventi estremi.*



Alessandro Negrini

Alessandro Negrini, ingegnere e consulente tecnico 3Units, è un libero professionista specializzato nel campo della progettazione industriale, del revamping in ambito IIoT 4.0 / 5.0 e della sicurezza sul lavoro. Dal 2006, opera come consulente tecnico offrendo supporto qualificato ad aziende, organizzazioni e altri professionisti del settore meccanico-impiantistico con particolare riguardo al comparto petrolchimico, oil & gas e a quello di processo.

Sul fronte tecnico-giuridico fornisce abitualmente assistenza come consulente di parte (CTP), oltre a coadiuvare imprese e università (Politecnico di Milano) nella formazione in materia di valutazione dei rischi, sicurezza occupazionale e transizione digitale.

È inoltre Segretario della Commissione Sicurezza e Igiene del Lavoro (SIL) dell'Ordine degli Ingegneri di Milano, nonché referente presso il Gruppo Tecnico Territoriale del Consiglio Nazionale degli Ingegneri in materia di smart-working.



Enrico Trivini Bellini

Enrico Trivini Bellini, architetto e socio fondatore presso WESCAN per le attività di *mobile laser scanner* e modellazione BIM.

The function of laser scanning in industrial plant engineering

Although laser scanning has a consolidated history and a remarkable application evolution, the last decade has been accompanied by an hardware optimization and a processes refinement that both have been able to offer new impetus to a sector traditionally focused on topographic and architectural survey, also encompassing the integrated plant engineering field with specific regard to assets recovery (revamping) and regulatory adaptation of resources otherwise destined to decommissioning.