

Esperienze di rilievo laser scanner di impianti industriali

Gabriella Caroti, Andrea Piemonte

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Pisa, Largo Lucio Lazzarino 1 56123 PISA
tel, 050 221 7770, fax 050 221 7779, e-mail g.caroti@ing.unipi.it, a.piemonte@ing.unipi.it

Riassunto

La continua evoluzione della metodologia di rilievo laser scanner, in termini di accuratezza, risoluzione, velocità di acquisizione e sviluppo di software di trattamento delle nuvole di punti, ha contribuito a destare un crescente interesse tra gli operatori del settore impiantistico industriale.

Le necessità di *revamping*, *relocation* o semplice manutenzione degli impianti esistenti, soprattutto se di dimensioni consistenti, ha nella tecnologia laser scanner un ottimo supporto per la definizione dello stato di fatto e la pianificazione degli interventi, che ben si connette con i sistemi di progettazione tridimensionale.

Inoltre, la possibilità di telerilevare oggetti posti ad elevate altezze, di grandi dimensioni, inavvicinabili per motivi di sicurezza e magari di temperatura rende l'approccio tramite laser scanner il più indicato e soprattutto il più sicuro, perché l'impianto generalmente è in marcia e quindi comporta svariati rischi per l'operatore addetto alle misurazioni.

L'obiettivo di questo lavoro è di analizzare l'efficacia dell'approccio con laser scanner per lo studio e il rilievo di impianti industriali rispetto all'approccio classico, nonché valutare quale risoluzione di scansione fornisce i risultati migliori in termini di restituzione del modello e quindi stabilire quale risoluzione lineare fornisce il miglior rapporto qualità-velocità.

L'analisi si basa su rilievi effettuati dal Laboratorio A.S.T.R.O. della Sede di Topografia e Fotogrammetria del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa, in particolare di alcune strutture all'interno di uno stabilimento industriale e delle tubazioni della torre piezometrica del Dipartimento stesso.

Abstract

Industrial plants are often interested by revamping, relocation or extraordinary maintenance works. These works need all a detailed current state survey. The aim of this paper is to test the laser scanner methodology in order to perform industrial site survey. By several measurement of known industrial tubular parts the best laser scanner linear resolution is defined.

Il rilievo di impianti.

Negli ultimi anni, a livello scientifico ed industriale, si sono perfezionate le tecnologie e le procedure per risolvere i problemi relativi alle esigenze di rilievo di impianti industriali complessi ed estesi. In ambito industriale si rendono necessari rilievi dettagliati dello stato di fatto per molti scopi. Innanzitutto per le operazioni di revamping, ovvero ampliamento di impianti esistenti, e la modifica degli impianti stessi. Infatti, prima di iniziare una modifica di un impianto è di fondamentale importanza conoscere a priori le caratteristiche geometriche in modo da poter fornire ai progettisti dati utili al fine della stesura del progetto di modifica. I rilievi permettono studi di *construcability*, ovvero analisi atte a stabilire l'accessibilità, l'interferenza e l'ingombro di nuovi macchinari all'interno di un impianto esistente. Si hanno, inoltre, esigenze di *relocation* di impianti industriali: in alcune circostanze può risultare economico trasferire in siti diversi impianti dismessi, o in via di dismissione, ma potenzialmente ancora in grado di produrre. La documentazione tecnica disponibile può risultare incompleta e inattendibile a causa delle modifiche, a volte sostanziali,

apportate nel corso degli anni per migliorare l'efficienza e mai registrate sui disegni originali. Il rilievo serve per ricostruire la storia dell'impianto e serve anche da supporto per gli studi di come smontare l'impianto e come ricostruirlo.

Il rilievo di un impianto industriale può seguire il metodo classico o il metodo *laser scanning*.

L'approccio classico prevede l'utilizzo di cordelle metriche e di stazione totali, ovvero dei teodoliti dotati anche di distanziometro *laser*. Il rilievo ha lo scopo di rappresentare un manufatto esistente avvalendosi, dove possibile, di documentazioni storiche e disegni tecnici per le finalità precedentemente descritte. Un rilievo con queste tecnologie in un ambito così complesso come quello di un'opera industriale deve essere eseguito in maniera scientifica e suddiviso in fasi. Nella fase preliminare si sceglie la strumentazione tecnica, da quella più semplice (metro rigido o pieghevole, rotella metrica) alla più complessa (strumenti topografici, livelle e distanziometri laser). Si realizza quindi un progetto del rilievo individuando i piani di sezione (orizzontali per le piante e verticali per le sezioni e i prospetti). Vengono redatti, quindi, schizzi in doppie proiezioni ortogonali (detti eidotipi) dell'opera, rappresentanti piante, sezioni e prospetti come definiti dai piani di sezione precedentemente individuati. Si passa, quindi, alla definizione dei piani di sezione orizzontale mediante la battitura del piano, da eseguirsi con livelle ad acqua o laser. Infine, vengono eseguite le misure nei modi più adatti in relazione agli strumenti a disposizione. Le misurazioni possono essere effettuate tramite trilaterazioni, intersezioni in avanti o indietro, coordinate ortogonali, irraggiamento o celerimensura. Si individuano così le coordinate plano-altimetriche dei vertici con cui si vuole discretizzare l'oggetto del rilevamento. E' necessaria, inoltre, la realizzazione di una poligonale, preferibilmente chiusa, in modo da poter georiferire il rilievo.

La restituzione di un modello tridimensionale ma anche una semplice planimetria sufficientemente dettagliata è assai complicata e richiede un dispendio notevole di tempo sia nella fase di acquisizione di dati sul campo sia nella fase di trattamento. Inoltre, si deve decidere a priori quali saranno i punti necessari per caratterizzare l'oggetto del rilievo e se tali punti, in fase di trattamento, risultano insufficienti è obbligatorio tornare sul campo ad effettuare nuove misurazioni.

Un primo vantaggio del metodo *laser scanning* è quello di acquisire una notevole mole di dati e informazioni dell'ambiente sufficienti per una descrizione attendibile e completa e, se è necessario studiare un particolare oggetto situato all'interno dell'ambiente, si hanno già a disposizione i dati e non c'è bisogno di tornare sul campo. Le fasi del processo di rilievo tramite *laser scanner* possono essere sinteticamente descritte come segue. In primo luogo si procede con lo studio delle diverse postazioni di scansione, in modo da coprire i coni d'ombra generati dagli stessi elementi rilevati, garantendo così l'acquisizione corretta e completa di ogni elemento costituente l'impianto. Viene quindi tracciata una rete topografica georeferenziata rispetto ai capisaldi d'impianto. I punti relativi a ogni scansione, nativamente acquisiti in un sistema di coordinate locali avente come origine il centro scanner, sono successivamente georeferenziati rispetto alla rete topografica, mediante l'acquisizione in scansione di *target*, le cui coordinate sono contemporaneamente rilevate da una stazione totale, posizionata sui vertici della rete topografica. Il risultato è un unico modello 3D in nuvole di punti, correttamente georeferenziato rispetto ai capisaldi e contenente le informazioni geometriche di tutti gli elementi di impianto.

In funzione delle diverse esigenze progettuali, è possibile adeguare la tipologia della restituzione dei rilievi effettuati, passando da modelli dettagliati e caratterizzati con le informazioni tecniche dei singoli elementi di impianto a modelli geometrici elementari, costituiti da superfici triangolate o nuvole di punti. Prima però di iniziare la fase di modellamento è necessario sostenere una fase di post-processo dei dati acquisiti sul campo. Questa fase di post-processo inizia con l'allineamento delle nuvole di punti, partendo dai dati di georeferenziazione in campo, ottenuti mediante l'utilizzo di punti topografici fiduciarci espressamente scanditi. Si procede, quindi, alla loro unione in un comune spazio cartesiano tridimensionale, attraverso dei procedimenti e *plug-in* sviluppati apposta, che ne permettono la gestione mediante appositi *software* grafici. Si procede, successivamente, all'elaborazione di un modello tridimensionale utilizzando un procedimento di triangolazione, detto *meshing* o reticolatura di base, che segue le superfici solide scandite con i dettagli topologici di

appartenenza. La modellazione di questi dati, tramite *mesh*, può avvenire in modi diversi seguendo le esigenze dell'utente finale. Si può avere una modellazione dettagliata e tecnicamente caratterizzata, eseguita con l'ausilio di software di progettazione impiantistica. I singoli elementi vengono caratterizzati con le informazioni tecniche desumibili dalla documentazione esistente o dall'esecuzione di controlli aggiuntivi (PMI, controlli spessimetrici ecc.). Il risultato è un modello 3D dettagliato, contenente tutte le informazioni tecniche dei singoli elementi costituenti l'impianto, disponibile nei formati compatibili con i principali *software* di progettazione impiantistica 3D. Diversamente, la modellazione può essere dettagliata solo dal punto di vista geometrico. Nel caso in cui le informazioni tecniche relative all'impianto esistente non fossero strettamente necessarie, ma le condizioni geometriche per lo studio dei nuovi percorsi *piping* o posizionamento di apparecchiature fossero particolarmente stringenti, si può procedere a una modellazione con gli stessi strumenti e lo stesso grado di accuratezza del caso precedente, tralasciando il reperimento e l'inserimento delle informazioni tecniche. Con una modellazione più semplificata si possono definire, invece, gli ingombri di massima. Un modello 3D degli ingombri di massima rilevati, ottenuto assimilando i vari elementi a solidi geometrici elementari, può essere a volte sufficiente per il corretto sviluppo dell'interfacciamento tra impianti esistenti e nuovi. Rispetto alle soluzioni precedenti si possono così contenere tempi e costi del processo di rilievo e restituzione. Infine, si può optare per una restituzione rapida che può essere ottenuta con lo sviluppo di modelli in nuvole di punti o superfici triangolate (queste ultime ricavabili dalle nuvole di punti attraverso lavorazioni semiautomatiche). I modelli così ottenuti possono essere confrontati con modelli 3D di nuove strutture o parti di impianto. (Brandimarte, Di Lorenzo 2008)

Prove sperimentali di verifica della precisione dei rilievi.

Il Laboratorio A.S.T.R.O. del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa ha eseguito alcuni test per verificare la precisione con cui sono modellabili gli elementi di un impianto industriale, con particolare attenzione alle strutture tubolari. Per questi test è stato utilizzato il laser scanner Riegl LMS Z420i con fotocamera integrata Nikon D70s. Questo laser è adatto, per portata e precisione, a rilievi ambientali ma la sua versatilità e soprattutto la sua portata lo rendono adatto anche a rilievi in siti industriali medio grandi. I rilievi che hanno fornito i set di dati su cui sono state condotte le analisi sono due. Il primo realizzato all'interno della torre piezometrica del Dipartimento stesso, il secondo all'interno di un grosso impianto industriale della provincia di Pisa. L'indagine è stata svolta paragonando i diametri reali di alcuni elementi tubolari, misurati tramite calibro e metro, con quelli ottenuti dopo l'elaborazione tramite *software* delle nuvole di punti.

I programmi presenti sul mercato per l'elaborazione di rilievi laser di ambienti industriali adottano particolari *tools*, che agevolano la modellazione di nuvole di punti rappresentanti tubazioni, valvole, flange. Questi *tools*, tramite speciali algoritmi e interpolazioni riescono a stabilire la dimensione e l'estensione di una condotta partendo dalla nuvola di punti. Per ottenere risultati il quanto più possibili simili al vero, questi *tools*, necessitano di nuvole di punti sufficientemente dense, cioè hanno bisogno che la nuvola di punti che descrive l'oggetto sia densa e il quanto più possibile completa. Il *software* utilizzato in questa sperimentazione è stato il Cyclone 5.0 della Leica Geosystem nella sua versione *trial*.

Il primo sito test, situato all'interno della torre piezometrica del Dipartimento, offre in uno spazio ristretto molti elementi tipici di un impianto industriale e ben si è prestato alla realizzazione di misure ripetute grazie alla facilità d'accesso.

Sono stati scelti 10 elementi tubolari (Figura 1), con dimensione, posizione e visibilità diverse, per avere a disposizione informazioni sulla qualità della restituzione ottenuta a seconda sia della risoluzione usata, sia del diametro effettivo della condotta, che della sua posizione. Ogni scansione è stata eseguita imponendo diverse risoluzioni lineari, pari a 3, 5, 7, 10, 15, 20mm a 4 metri dal *laser* stesso. Per ogni tubo è stata calcolata la risoluzione effettiva di rilievo partendo dalla distanza che lo separa dallo strumento e dall'angolo di risoluzione impostato per quella scansione.

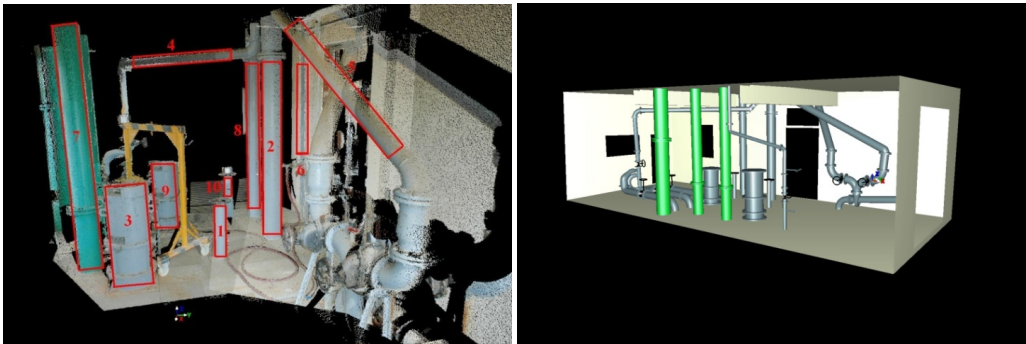


Figura 1 – Elementi analizzati nella torre piezometrica del Dipartimento.

I tubi 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10 sono verticali, il tubo 4 ha giacitura orizzontale mentre il tubo 5 è inclinato. I diametri variano da un minimo di 5.5cm ad un massimo di 54.8cm. Sono state realizzate due scansioni del sito da diversi punti di vista in modo da analizzare le precisioni ottenibili sia da singola scansione che da diverse nuvole di punti registrate nello stesso sistema di riferimento (Figura 2).

Scansioni	t[min]	file[MB]	D[cm]	OR[cm]	OSS[cm]	OSU[cm]	Sc[cm]	RLI[cm]	RLE[cm]
Singole									
S 0.3cm	14	163	390	15.3	15.4	-	0.1	0.3	0.3
S 0.5cm	5.5	58	390	15.3	15	-	-0.3	0.5	0.5
S 0.7cm	4	30	390	15.3	15.1	-	-0.2	0.7	0.7
S 1.0cm	0.9	14	390	15.3	15.2	-	-0.1	1.0	1.0
S 1.5cm	0.5	7	390	15.3	15.2	-	-0.1	1.5	1.5
S 2.0cm	0.5	7	390	15.3	15	-	-0.3	2.0	2.0
Unite									
N 0.3cm	8	97	570	15.3	15.3	-	0	0.3	0.4
N 0.5cm	3	35	570	15.3	15.5	-	0.2	0.5	0.7
N 0.7cm	1.5	18	570	15.3	15.4	-	0.1	0.7	1.0
N 1.0cm	0.7	8	570	15.3	15.6	-	0.3	1	1.4
N 1.5cm	0.3	4	570	15.3	15.5	-	0.2	1.5	2.1
N 2.0cm	0.3	4	570	15.3	15.8	-	0.5	2	2.8
Unite									
S+N 0.3cm	-	261	-	15.3	-	14.7	-0.6	-	-
S+N 0.5cm	-	94	-	15.3	-	14.7	-0.6	-	-
S+N 0.7cm	-	48	-	15.3	-	14.7	-0.6	-	-
S+N 1.0cm	-	23	-	15.3	-	14.6	-0.7	-	-
S+N 1.5cm	-	12	-	15.3	-	14.5	-0.8	-	-
S+N 2.0cm	-	12	-	15.3	-	14.1	-1.2	-	-

Legenda
 D Distanza Orizzontale
 O R Diametro Reale
 O SS Diametro ottenuto da Scansione Singola
 O SU Diametro ottenuto da Scansioni Unite
 Sc Scarto Modello - Reale
 RLI Risoluzione Lineare Impostata
 RLE Risoluzione Lineare Effettiva sull'oggetto

Figura 2 – Grandezze analizzate: dati numerici relativi al tubo 1.

Dagli scarti ottenuti è evidente che nel caso in cui l'elemento risulta ben visibile da entrambe le stazioni, è caratterizzato da un diametro superiore ai 10cm ed è privo di accessori particolari, quali bordature, flange o diramazioni, si ottiene un'ottima precisione con singola scansione anche con bassa risoluzione di acquisizione. Le scansioni unite, invece, portano a scarti più elevati nella maggioranza dei casi. Quest'ultimo risultato era prevedibile ed è dovuto al sommarsi degli errori di registrazione a quelli di acquisizione.

Analizzando i grafici di figura 3 si nota che la metodologia utilizzata tende a sottostimare la dimensione dei diametri ed escludendo i punti segnati con dei quadrati, che saranno analizzati successivamente, gli scarti risultano essere compresi tra 5mm e -10mm per tutte le risoluzioni adottate. Quindi, anche basse risoluzioni e di conseguenza rilievi più speditivi possono fornire una base di rilievo adatta alla successiva segmentazione e modellazione.

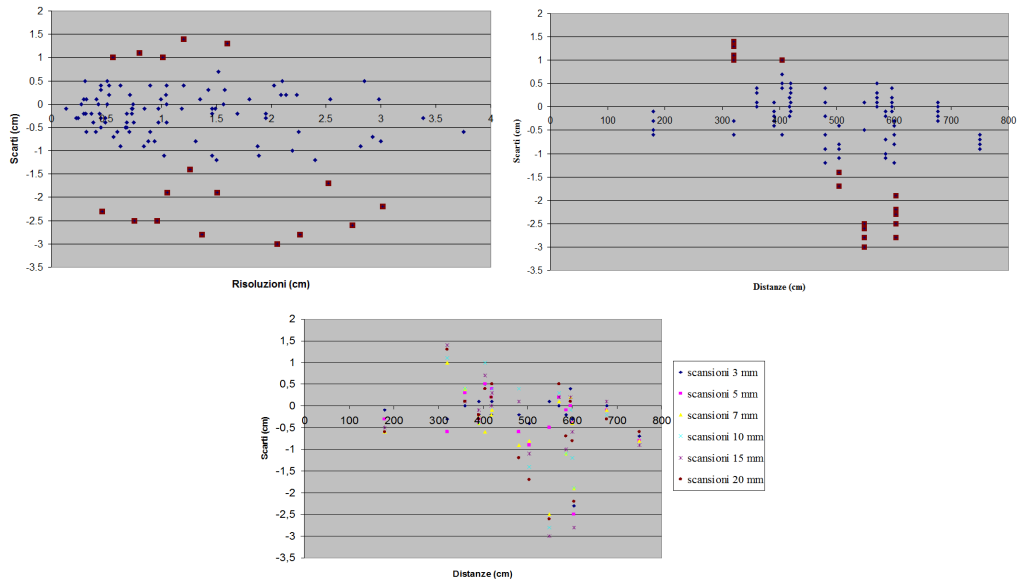


Figura 3 – Scarti in funzione della risoluzione e della distanza.

Analizzando i punti contrassegnati con i quadrati si evidenzia che questi punti, caratterizzati da scarti elevati, appartengono quasi totalmente alle tubazioni 3 e 9. Queste due tubazioni sono quelle con diametro maggiore, ma soprattutto dotate di appendici esterne quali flange, piastre di saldatura e griglie (figura 4 sinistra). Questi elementi creano un disturbo in fase di elaborazione della nuvola di punti ed inducono all'errore i *tools* semiautomatici di interpolazione. Dai risultati sperimentali si evince anche che per ottenere risultati migliori è importante la visibilità longitudinale dell'elemento rilevato. Disponendo di una nuvola di punti che campiona bene anche longitudinalmente il tubo, e non solo alcuni suoi settori, si aumenta il numero di punti che l'algoritmo sfrutta per determinare la misura del diametro e quindi la qualità della stima. Quindi, se le condotte risultano essere ben visibili è possibile usare risoluzioni meno spinte e velocizzare l'acquisizione. Se invece i tubi risultano scarsamente visibili, nascosti da altre strutture e quindi acquisibili solo in modo parziale e caratterizzati da piccole dimensioni è bene eseguire più scansioni da diverse posizioni con risoluzioni lineari elevate.

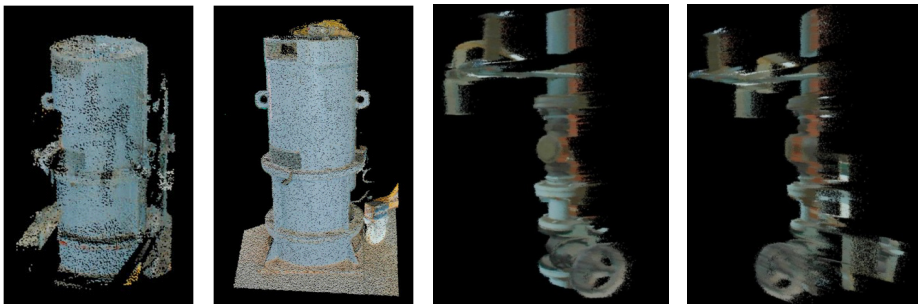


Figura 4 – Elementi rilevati con scarti elevati.

Un ulteriore problema riscontrato nei rilievi è costituito dai disturbi, sempre presenti in una misura laser scanner, nelle zone di bordo degli elementi, in cui il raggio laser risulta radente la superficie

rilevata. In queste zone si produce un effetto scia che, se non filtrato, induce in errore i *tools* di interpolazione delle superfici. A parità di risoluzione di acquisizione il problema è tanto maggiore quanto più l'oggetto rilevato è prossimo alla stazione laser e risulta trascurabile per oggetti distanti (figura 4 destra).

L'ulteriore esperienza di rilievo tramite laser scanner di un grosso impianto in esercizio ha, inoltre, permesso di apprezzare la possibilità di telerilevare oggetti posti ad elevate altezze, di grandi dimensioni, inavvicinabili per motivi di sicurezza e magari di temperatura (figura 5). Grazie alla capacità di acquisire oggetti senza avvicinarsi e quindi senza esporsi ad eventuali pericoli rende questo approccio il più affidabile, completo e sicuro rispetto ai metodi convenzionali classici.

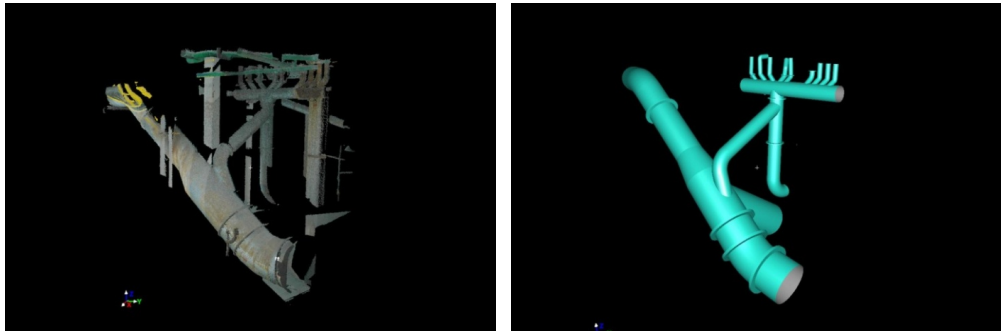


Figura 5 – Porzione di rilievo di un grosso impianto industriale in esercizio.

Conclusioni

I dati analizzati confermano la validità della metodologia laser scanner applicata in un ambito industriale. Gli scarti ottenuti, escludendo i particolari casi descritti, risultano compresi tra 5mm e 10mm. Un ambiente industriale complesso richiede precisione sulla dimensione degli elementi che lo costituiscono ma anche sul posizionamento dell'oggetto nel contesto generale dell'impianto ed il laser scanner è in grado di soddisfare entrambe le esigenze. In termini di qualità del modello e velocità di rilievo non sono state riscontrate grosse differenze a seconda della risoluzione di rilievo adottata. Rispetto una risoluzione spinta, risulta più importante studiare il posizionamento dello strumento per consentire di acquisire in modo completo gli elementi. Rispetto ai tradizionali sistemi di rilievo, la tecnologia laser scanner introduce alcuni vantaggi significativi in termini di rapidità dei rilievi, sicurezza degli operatori in campo, riduzione dei giorni di acquisizione in campagna ed infine di accuratezza e completezza. Gli oneri connessi alle operazioni di rilievo in campo vengono ridimensionati, riducendo sia il numero di operatori impegnati sia i tempi complessivi di rilievo. Se si considera che la maggior parte dei rilievi viene eseguita in condizione di impianto in marcia, in ambienti ostili o in concomitanza con l'esecuzione di altre attività, vengono in questo modo ridotti i potenziali rischi connessi alla presenza di personale in impianto. Inoltre, grazie alla capacità di rilevare milioni di punti in tempi brevi, si riduce il rischio connesso all'incompletezza delle informazioni acquisite, che potrebbe comportare il ricorso a campagne di rilievo integrative. Infine, grazie al continuo sviluppo di software dotati di *tools* dedicati, la fase di restituzione grafica di questi ambienti avviene in modo nettamente più rapido se paragonato al tempo di creazione di un modello tridimensionali sfruttando i dati provenienti da un rilievo classico.

Riferimenti bibliografici

- Brandimarte M., Di Lorenzo S. (2008), "Rilievi basati su tecnologia laser scanner", *Impiantistica Italiana*, Anno XXI n°3 Maggio Giugno 2008.
- Uccello P. (2006) "Tecnologia laser per l'impiantistica industriale", *Impiantistica Italiana*, Anno XIX n°3 Maggio Giugno 2006.