

\* Luigi Colombo  
\* Barbara Marana

## Rilievo terrestre dell'ambiente urbano con tecnologie a scansione: un test sulla città-industria di Dalmine

DOI: 10.14609/TI\_2\_14\_4i

**Parole chiave:** Ambiente urbano, rilievi a scansione, documentazione, valorizzazione.

**Abstract** Il patrimonio edilizio urbano è un bene che caratterizza l'identità dell'uomo che con esso ha vissuto; la conoscenza della realtà originaria, la conservazione e valorizzazione nel tempo comportano interventi di tipo documentale che possono interessare sia gli aspetti costruttivi degli edifici, connessi a dimensioni e geo-localizzazione, sia quelli legati alla forma urbana, sia ancora altri più specifici di tipo storico-artistico e materico.

Le nuove tecnologie laser di misura terrestre, integrate da sensori di posizionamento e fotografici, consentono di rilevare in tempi ridotti e di rappresentare anche spazialmente sia singole unità edilizie sia interi insediamenti urbani. Le grandi quantità di dati acquisiti costituiscono un arricchimento della conoscenza geometrica di base, fornita in genere da rappresentazioni cartografiche "vettoriali o raster".

Il lavoro descrive un test di scansione laser, statica e cinematica, avviato sul territorio di Dalmine (Bergamo) nell'ambito di un programma di interventi comunali di tutela paesaggistica, conservazione dei caratteri costruttivi e valorizzazione degli insediamenti storici della città, realizzati negli anni venti del secolo scorso e identificativi del suo passato di città-industria.

L'approccio al rilievo tende altresì a validare una procedura operativa, basata su componenti tecnologiche innovative, semplice, sufficientemente economica e convenientemente applicabile all'indagine su aree urbane.

### IL RILEVAMENTO TERRESTRE

L'innovazione tecnologica nel settore del rilevamento terrestre ha portato in anni recenti alla diffusione di sistemi fortemente automatizzati e multi-funzione, in grado di eseguire direttamente sul campo una serie integrata di operazioni che vanno dalla georeferenziazione di misure topografiche in un riferimento assegnato, alla definizione veloce delle geometrie degli oggetti attraverso la strumentazione laser, che opera per osservazione di singoli punti o per scansione di aree, fino alla sovrapposizione dell'immagine fotografica con il suo importante contributo semantico.

I sistemi integrati suddetti possono essere usati da terra o montati sopra un'autovettura, per semplificare e velocizzare gli spostamenti sui vari punti di stazione; talvolta l'autovettura è dotata di supporti meccanici estensibili in altezza, per ottimizzare la ripresa anche nelle situazioni in cui l'oggetto da rilevare presenti un significativo sviluppo verticale, come nel caso delle facciate di edifici e nelle cortine edilizie.

Questa semplificazione della fase di acquisizione ha consentito di aumentare la versatilità del processo di rilievo e la produttività, abbattendone i costi.

\* Gruppo di Geomatica dell'Università di Bergamo - Dipartimento di Ingegneria, Dalmine (BG) - Italia

Dagli anni 2000, si è operato in ambito scientifico per istituire diffusamente reti permanenti di posizionamento e di navigazione e avviare servizi di supporto da parte di istituzioni e società private. Si ricorda, per esempio in Italia, la rete ItalPOS gestita da Leica Italia e la rete NetGEO, gestita da Geotop, oggi utilizzate abitualmente dai professionisti per la geo-referenziazione dei loro rilevamenti e che costituiscono un elemento importante per i nuovi sistemi statici e cinematici di rilevamento.

Riguardo ai sistemi di rilievo statico con più sensori, è significativo il caso della recente stazione totale Leica Nova MS50 che offre una soluzione alternativa alle stazioni più classiche grazie alla sua tecnologia basata sull'integrazione dei diversi sensori, non solo sotto l'aspetto strumentale ma, anche in relazione alla condivisione e compatibilità dei dati acquisiti.

Anche nel contesto cinematico sono stati presentati sistemi mobili di acquisizione integrata da tutti i maggiori costruttori del settore e la ricerca ha operato fortemente per migliorare la precisione relativa e assoluta del posizionamento strumentale nelle diverse condizioni di utilizzo, di incrementare la stabilità del processo di misura e di limitare gli errori sistematici dovuti alla calibrazione dei singoli sensori e alla loro sincronizzazione (Habib *et al.*, 2010).

### LA SCANSIONE LASER E L'IMMAGINE

La tecnica di rilevamento per scansione laser offre funzionalità, interattive e automatizzate, che possono risultare assai utili per integrare metricamente, in 3D, le classiche rappresentazioni cartografiche del territorio urbano, vettoriali e raster, utilizzate per la sua documentazione.

La scansione permette di acquisire non i **punti di dettaglio caratteristici** dell'oggetto, secondo l'usuale processo di selezione **soggettivo** e quindi **deterministico** proprio del rilievo topografico manuale (modello **vettoriale**), bensì di registrare, in modo **oggettivo** e **stocastico**, una griglia spaziale di punti, idealmente sovrapposta alla zona di interesse (modello **raster**).

Tutto ciò comporta poi l'impiego di processi interpolativi per estrarre i punti di dettaglio che caratterizzano effettivamente le geometrie degli oggetti in gioco.

Nella ripresa da terra, è possibile distinguere un processo di acquisizione **statica**, a lungo, medio o corto raggio, quando il sistema di misura a scansione in modalità "panorama 3D" e quello fotografico sono in posizione fissa a terra o su autovettura, per facilitare gli spostamenti, ma con acquisizione a veicolo fermo; viceversa l'acquisizione è **cinematica** se la strumentazione di misura è usata in modalità "profilometro 2D" e opera da una piattaforma in movimento, detta Sistema Rover.

In questo secondo caso, in aggiunta a sensori per la scansione laser in modalità 2D e per la registrazione dell'immagine, sono necessari dispositivi di georeferenziazione per il posizionamento spaziale del veicolo, per il suo supporto in situazioni di oscuramento locale del segnale satellitare, come accade nei *canyon* urbani e in galleria, e per la definizione del tempo assoluto (Alshawa *et al.*, 2007).

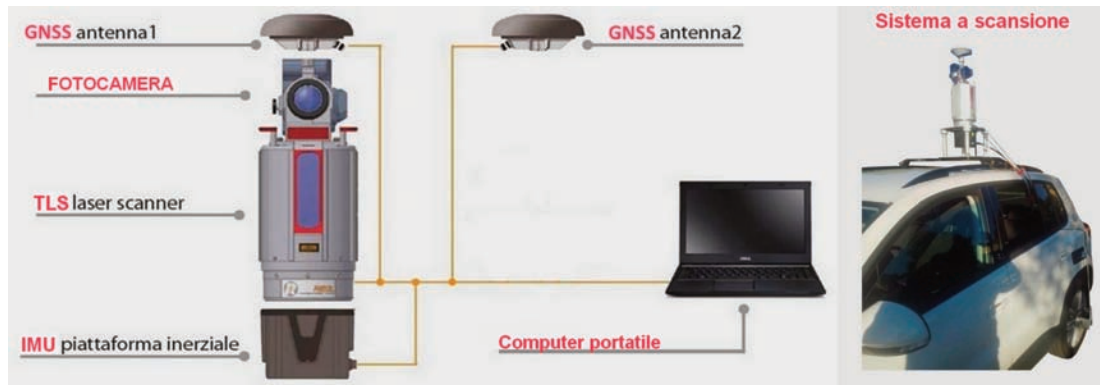
Pertanto, sono requisiti fondamentali: un sistema di navigazione geodetica comprendente un ricevitore GNSS (Global Navigation Satellite System) per il posizionamento, l'orientamento globale e la misura del tempo, una piattaforma rigida e anti-*shock* con unità inerziale IMU (Inertial Movement Unit) per l'orientamento e il calcolo della traiettoria descritta dal veicolo, un odometro di precisione DMI (Distance Measurement Indicator) per la misura della distanza percorsa dal vettore e la compensazione della traiettoria, un dispositivo di sincronizzazione temporale di tutte le informazioni acquisite e un *software* di gestione delle operazioni (Britting, 2010; Groves, 2008).

L'elaborazione differenziale dei dati satellitari acquisiti dal sistema Rover, in caso di movimento, richiede inoltre la disponibilità di una delle seguenti informazioni:

- a) opportune registrazioni di posizione prodotte da una stazione *master* o meglio da una **rete di stazioni di riferimento** (nell'esperienza descritta, il servizio di posizionamento GPS regione Lombardia), con frequenza di campionamento a 1 Hz, utile per un posizionamento di qualità centimetrica (**Post-Processing**);

b) correzioni **interattive** di posizione inviate, analogamente, da una stazione *master* o da una rete di stazioni di riferimento per un buon posizionamento interattivo (**Real-Time Processing**). Nel test descritto è stato impiegato un sistema di scansione laser, statico-cinematico, recentemente proposto da Microgeo srl (Firenze); il sistema, compatto, leggero e modulare, può variare la propria configurazione (Figura 1) in funzione delle esigenze dell'utenza e dei settori di applicazione.

Figura 1 Il sistema statico-cinematico proposto da Microgeo



## IL PROGETTO DELL'INTERVENTO

Il progetto di rilievo nasce dalla necessità di acquisire una conoscenza geometrica in grado di completare quella cartografica attuale, per le aree storiche della città di Dalmine risalenti al periodo fascista e conosciute come "Greppiane".

Si tratta degli ambienti urbani (Figura 2), progettati dall'architetto Giovanni Greppi negli anni Venti del secolo scorso, che si sviluppano attorno alla fabbrica meccanica Dalmine, ora Tenaris.

Essi rappresentano uno dei primi importanti esempi in Italia di quello che oggi si chiamerebbe una *company-town*.

La dettagliata conoscenza di questi insediamenti costituisce un elemento importante per l'Amministrazione locale, ai fini dello sviluppo di un programma di conservazione dei caratteri costruttivi del quartiere e di valorizzazione in genere degli edifici del territorio.

Il progetto del Greppi comprende il quartiere Leonardo Da Vinci, realizzato originariamente per gli impiegati, il quartiere Mario Garbagni destinato invece agli operai e gli edifici di supporto sociale, economico e amministrativo alla fabbrica, indicati come Centro.

Le tre aree indicate presentano significative dimensioni territoriali: l'area test di rilievo coincide con i circa sette ettari riguardanti le case a schiera del quartiere Garbagni.

Il rilievo di questo territorio urbano è stato progettato in modo da poter realizzare elaborati grafici a grande scala territoriale (da 1:500 a 1:200) e di dettaglio sul costruito (scala 1:100).

Complessivamente, due livelli di dettaglio (Level of Detail - LoD, Figura 3):

- un rilievo di inquadramento territoriale complessivo, sviluppato con scansione laser 3D e texturizzazione fotografica (*imaging*) di tipo **cinematico**, per sfruttare le potenzialità di questa tecnologia su aree estese;
- un rilievo locale dell'edificato (esterni), realizzato ancora per scansione e *imaging* ma in modalità **statica**, rivolto alle unità abitative del quartiere.

Questa organizzazione operativa potrà consentire in futuro la creazione di un modello spaziale dell'insediamento urbano, in linea con i dettami del modello di archiviazione e scambio di oggetti urbani 3D, denominato CityGML (City Geography Markup Language), uno standard OGC (Open Geospatial Consortium).

CityGML prevede una strutturazione multi-scala del modello di rappresentazione su cinque livelli di dettaglio, con definizione crescente da LoD0 a LoD4, sia per i contenuti geometrici sia per quelli semantici (Figura 4, Kolbe *et al.*, 2008).

Figura 2 Le tre zone storiche della Dalmine Greppiana



Il progetto di un intervento di rilievo parte sempre dalla definizione degli obiettivi e del livello di dettaglio atteso, funzione della dimensione  $dr$  del più piccolo oggetto riconoscibile sul modello con un certo livello di probabilità. I valori assunti per questo test sono rispettivamente  $dr = (6-15)$  cm per il livello di dettaglio **territorio** e 3 cm per quello di dettaglio **edificato**.

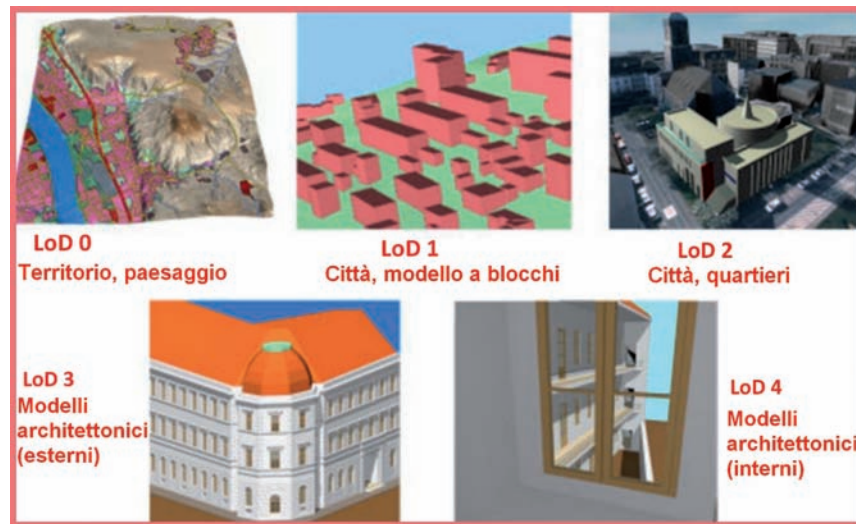
Applicando un'opportuna relazione statistica a queste assunzioni (Colombo *et al.*, 2012; English Heritage, 2006), è possibile ricavare il corrispondente passo  $s$  della griglia dei punti da rilevare.

Nei due livelli di dettaglio del test, riportati in Figura 3, i valori del passo medio della griglia risultano rispettivamente  $s = (2-5)$  cm per il rilievo cinematico territoriale e  $s = 1$  cm per l'applicazione statica sull'edificato.

Figura 3 I livelli di dettaglio del rilievo territorio-edificato sul Garbagni

Territorio	Livello di dettaglio (LoD)	Edificato
Cinematico	Tipo di scansione	Statico
Laser scanning + inerziale + imaging	Tecnologia	Laser scanning + imaging
Riegl vz-400	Sensore	Riegl vz-400
1:500 – 1:200	Scala	1:100
15cm - 6cm	Dettaglio minimo $dr$	3 cm

Figura 4 CityGML: i cinque livelli di dettaglio



I sensori per il rilievo laser, utilizzati nel test statico e cinemaco, fanno riferimento alla tecnologia Riegl, integrata con una fotocamera digitale NIKON, e sono supportati dal software Riegl Riscan, nelle fasi di acquisizione, di processamento e di gestione dei dati.

I sensori Riegl presentano nell'intorno di misura previsto (circa 50 m) una dimensione **b** dello spot laser, sulle superfici da rilevare, di circa 1,8 cm e dunque in buon accordo con la condizione operativa ottimale che la vuole relazionabile al passo della griglia di campionamento del rilievo:  $b \leq 2s$ .

Anche il valore della precisione di acquisizione dei punti, indicato dal costruttore nell'ordine di 5 mm, risulta  $\leq$  del passo **s** di campionamento dei due livelli di rilievo.

La tecnologia innovativa degli scanner Riegl garantisce inoltre un'analisi completa della forma d'onda del fascio laser e la digitalizzazione degli echi ripetuti. Queste caratteristiche costruttive permettono sia di superare ostacoli, come vegetazione e recinzioni, posti sul percorso del raggio, sia di registrare valori di **riflettanza relativa calibrata**, cioè praticamente indipendenti dalla distanza di osservazione, correlati soltanto al materiale della superficie e utili, quindi, per una corretta analisi materica.

## ACQUISIZIONE STATICA E CINEMATICA

Il rilievo statico degli edifici del quartiere Garbagni ha comportato la scelta di adeguati punti di stazione strumentale per i sensori, in funzione della possibilità di acquisire le geometrie di ciascun edificio, riducendo al meglio possibile gli effetti prospettici e garantendo una significativa sovrapposizione fra scansioni adiacenti. La ripresa è stata alquanto condizionata dagli spazi limitati, dalla stretta ubicazione degli edifici a schiera e dalle loro recinzioni spesso piantumate: risulta pertanto organizzata secondo riprese da stazioni poste necessariamente sulla viabilità locale, cercando di limitare le situazioni prospettiche non ottimali, sia per l'obliquità orizzontale sia per quella verticale legata all'altezza delle costruzioni (Lichti *et al.*, 2006).

La Figura 5 mostra dettagli del rilievo statico di un generico edificio del quartiere.

Figura 5 Organizzazione del rilievo statico



Nel rilievo cinematico, viene introdotto invece il concetto di **traiettoria** di acquisizione, cioè una serie ravvicinata di punti di stazione che rende il processo praticamente continuo.

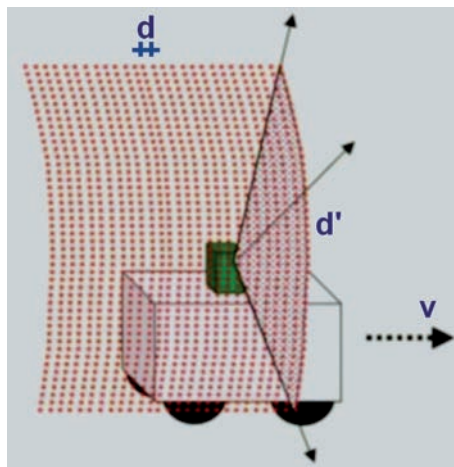
In questo caso, lo strumento di scansione è impostato in funzionalità 2D, cioè come **profilometro**, e registra una sequenza di sezioni verticali, trasversali al moto; la terza dimensione viene fornita dallo spostamento del veicolo sulla **traiettoria** di interesse, nella zona da rilevare, con il supporto di sistemi satellitari e inerziali per il posizionamento e l'orientamento.

La risoluzione della scansione, in punti per metro quadrato di oggetto rilevato, risulta (Rieger *et al.*, 2010):

- inversamente proporzionale alla velocità del sensore;
- inversamente proporzionale alla distanza media dal veicolo delle superfici da rilevare;
- direttamente proporzionale alla frequenza di acquisizione del sensore laser (kHz);
- indipendente dal numero di sezioni trasversali registrate per ogni secondo.

Considerata la morfologia del quartiere Garbagni, si è scelta una velocità media del veicolo piuttosto ridotta, cioè  $v = 20$  km/h (5,56 m/s), e imposto un valore di 100 sezioni registrate per secondo; in questo modo, ne è risultata una risoluzione di punti oggetto sulle superfici di interesse (le facciate degli edifici), alla distanza di 20 m dal veicolo e con lo scanner a 300 kHz in acquisizione, di 430 punti/ m<sup>2</sup>.

Essendo la distanza media **d** fra le sezioni lungo la traiettoria descritta (Figura 6a) dell'ordine di 5,5 cm (*passo longitudinale* della griglia), quella **trasversale d'** fra punti di una stessa sezione è dunque di circa 4,5 cm (Figura 6b): i valori **d** e **d'** sono convenientemente prossimi fra loro e in buon accordo con quello del passo (**s = 5 cm**) previsto in progetto per la griglia di livello territoriale.

**Figura 6a** Traiettoria del rilevamento cinematico sul quartiere Garbagni**Figura 6b** Acquisizione mobile per sezioni verticali

I sensori integrati GNSS-IMU possono fornire una localizzazione del veicolo con una frequenza di aggiornamento della posizione lungo la traiettoria di almeno 100 Hz, contro una frequenza dei soli sensori satellitari pari a (1-5) Hz.

Considerata una velocità media del veicolo di 20 km/h (5,56 m/s), la posizione dei sensori laser e fotografico sarà aggiornata ogni circa 5,5 cm. Il sistema di navigazione integrato consente la determinazione dell'assetto e la correzione degli errori di deriva tra due posizionamenti consecutivi, garantendo localizzazioni di precisione pari a qualche centimetro, anche in zone a ricezione satellitare limitata.

Dal punto di vista generale, la modalità cinematica è sicuramente vantaggiosa e più produttiva, anche se la mole dei dati acquisiti comporta una più impegnativa fase di elaborazione e il modello ottenuto presenta una minore qualità metrica, sia in termini della risoluzione di punti dettaglio, sia di precisione.

La metodologia cinematica registra i punti oggetto direttamente in un'unica nuvola, tra l'altro georeferenziata automaticamente, grazie ai sensori di posizionamento presenti sul veicolo.

La fase di **allineamento** è pertanto soltanto da verificare geometricamente, mentre restano da ef-

fettuare le usuali elaborazioni di un modello di scansione:

- un filtraggio automatico dei punti;
- l'eliminazione dei punti indesiderati;
- la creazione di *mesh*;
- la texturizzazione fotografica;
- l'estrazione di elaborati 2D per una più efficace descrizione.

Nel test si è scelto, per motivi economici e temporali, di non utilizzare punti di controllo pre-segnalati e misurati sugli edifici interessati dalla scansione, seppure tale accorgimento consenta di verificare e migliorare la qualità geometrica del modello ricostruito in ambito cinematico (Barber *et al.*, 2008).

Le Figure 7a-b mostrano risultati del test cinematico in relazione alla rappresentazione delle cortine edilizie del quartiere e delle facciate (Rutzinger *et al.*, 2011; Nalani *et al.*, 2012).

Dal dettaglio degli elaborati sviluppati si evince che il processo cinematico è sufficiente, come previsto nel progetto, per definire una conoscenza a scala territoriale (livello strade, infrastrutture, sagome a terra dei moduli abitativi e relazioni con la viabilità, ingombri volumetrici, aggregazione dell'urbanizzato), ma non è ancora adatto per documentare in modo compiuto caratteri costruttivi a scala edificato.

**Figura 7a** Vista ortografica di elementi delle cortine edilizie, con valori di riflettanza (rilievo cinematico)





Figura 7b Modello 3D (rilievo cinematico) di un edificio con valori di riflettanza



## IL PROCESSAMENTO DEI DATI

I *software* utilizzati per l'elaborazione del modello cinematico e statico sono Riegl Riscan Pro e JRC 3DReconstructor; questi *package* consentono l'applicazione di filtri per pulire il modello, in modo semi-automatico, dai punti affetti da errori grossolani o disturbi, come, per esempio, quelli localizzati fuori dalle superfici rilevate, quelli acquisiti con angolo di incidenza troppo alto e quelli con bassa intensità del segnale di ritorno.

Nel rilievo **statico**, l'operazione di collegamento delle nuvole, in un modello globale all'interno di un sistema di riferimento univoco, è stata eseguita con i procedimenti di seguito indicati.

Il sensore Riegl utilizzato possiede al suo interno un ricevitore di posizionamento GNSS, una bussola e un sensore della verticalità. Questi accessori fanno sì che le nuvole di punti ottenute dalle varie scansioni statiche siano già orientate secondo la verticale nel punto di stazione e posizionate nel sistema di riferimento geodetico internazionale, con precisione sub-metrica.

L'operazione di *matching* viene comunque affinata applicando la funzione Iterative Closest Point (Besl *et al.*, 1992), che attraverso opportuni algoritmi "avvicina" automaticamente le primitive geometriche omologhe (punti, linee, poligoni) di due nuvole adiacenti.

La ricerca nel settore è oggi focalizzata sulla riduzione della propagazione degli errori di collegamento in presenza di più scansioni e sull'aumento della velocità operativa. In questo senso, il procedimento è esteso alla modalità *multi-scan*, con soluzione iterativa di tipo Bundle Adjustment, in grado di allineare simultaneamente tutte le nuvole, nel caso in esame mediante il *software* JRC 3DReconstructor.

Il modello di punti così ricostruito è stato poi trasformato in un modello triangolato e quindi in un modello di superfici. Questa elaborazione permette, infatti, una migliore sovrapposizione (*texturing*) delle immagini acquisite dalla fotocamera associata al sensore laser (di risoluzione omogenea con quella della nuvola), in modo da realizzare una ricostruzione virtuale 3D più ricca di informazioni tematiche (Figura 7c).

**Figura 7c** Modello 3D (rilievo statico) di un edificio, con texture fotografiche



## ELABORATI GRAFICI

I modelli 3D di punti, sia cinematico sia statico, sono stati visualizzati estraendo da essi, via *software*, elaborati 2D di tipo raster e vettoriale: nel caso degli elaborati raster si tratta di **viste ortografiche**, su piani assegnati, del territorio o dell'edificato con *texture* fotografiche e tematiche, mentre quelli vettoriali consistono in **restituzioni al tratto** di planimetrie dell'urbanizzato o in prospetti e sezioni di edifici, prodotte per rielaborazione CAD di contorni ottenuti mediante piani di taglio sul modello di punti (Figure 8a-b, 9a-b).

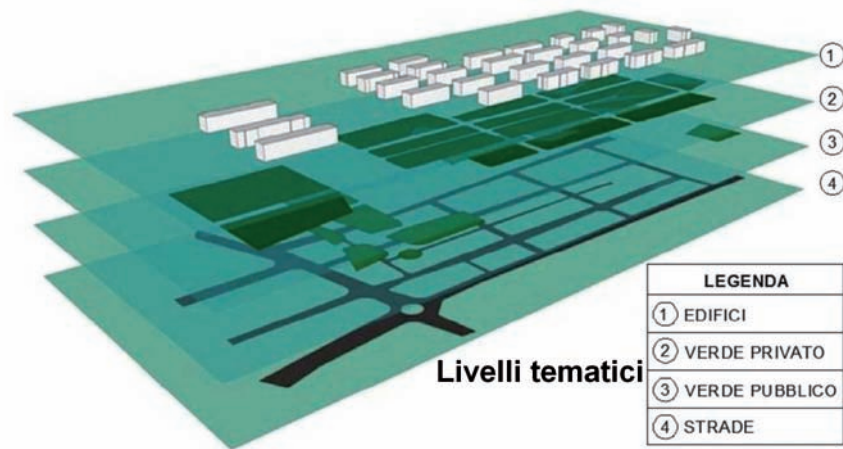
Attraverso il supporto delle immagini a colori (RGB) e di quelle di riflettanza, che con Riegl sono indipendenti dalla distanza di ripresa, è stato possibile effettuare analisi tematiche, per esempio sui materiali degli edifici: questi appaiono spesso di colore omogeneo sull'immagine fotografica, anche se non lo sono in realtà, come evidenziato invece dai differenti valori di riflettanza (Figure 10a-b).

Questa informazione assume significanza a livello di tutela dei caratteri costruttivi originari delle varie unità abitative, perché può identificare interventi manutentivi non conformi ai vincoli conservativi previsti.

**Figura 8a** Vista ortografica del quartiere, con la classificazione degli edifici per tipologia costruttiva (acquisizione cinematica)



**Figura 8b** Elaborato vettoriale su livelli, con gli edifici, la viabilità e il verde



**Figura 9a** Vista ortografica con *texture* del prospetto di un edificio (acquisizione statica)



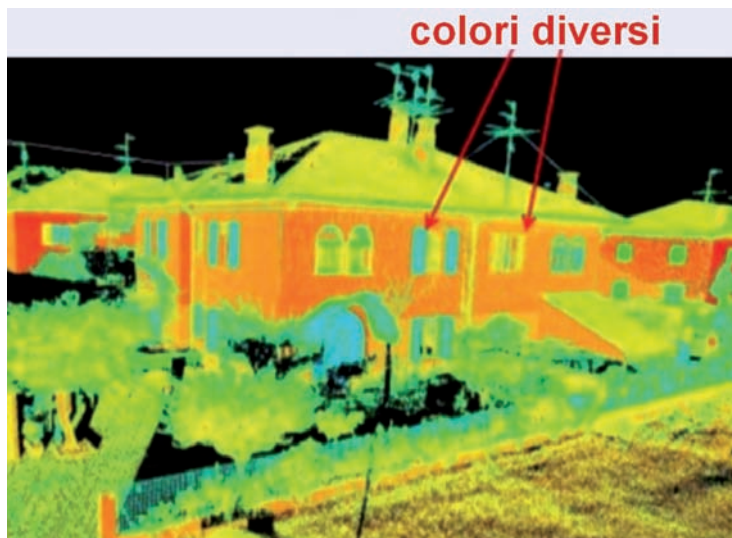
Figura 9b Prospetto vettoriale di dettaglio di un edificio



Figura 10a Analisi semantica sui materiali (valori RGB)



Figura 10b Analisi semantica sui materiali (valori di riflettanza)



## SVILUPPI FUTURI

A oggi è possibile auspicare che in un futuro prossimo l'Amministrazione comunale della città di Dalmine decida di avviare una nuova collaborazione con l'Università, per completare il rilevamento delle altre aree storiche di interesse e poi progettare l'archiviazione e la consultabilità di tutti i dati acquisiti.

In tal senso, un'idea potrebbe essere quella di immagazzinare gli elaborati 2D geo-referenziati, raster e vettoriali, sia per l'insediamento territoriale sia per i singoli edifici, in un *database* costruito su piattaforma Esri ArcGis, attraverso il modulo ArcCatalog.

Potrebbe essere anche utile creare tabelle apposite, contenenti una descrizione geometrico-tematica, da collegare opportunamente ai diversi elaborati.

In questo modo, si garantirebbe una consultazione veloce ed efficace dello stato di fatto e si potrebbe preservarlo, regolando gli interventi manutentivi futuri.

Il *database* sarà, infatti, aggiornabile periodicamente e offrirà un archivio storico degli interventi eseguiti e/o pianificati, presupposto necessario per garantire il rispetto dei vincoli architettonici, costruttivi e paesaggistici del territorio.

## CONCLUSIONI

L'esperienza test, sviluppata su una delle tre zone storiche di Dalmine, ha consentito di verificare le potenzialità tecnologiche e operative delle tecniche di scansione da terra, statiche e cinematiche, e di evidenziare la grande evoluzione in atto nella fase di acquisizione, contraddistinta da automazione e rapidità, relativa semplicità d'uso e migliore affidabilità (Maas *et al.*, 2010).

Il *software* svolge sempre un ruolo fondamentale per la produzione di elaborati misurabili raster-vettoriali, che comportano fasi operative pesanti a causa della rilevante quantità di dati trattati, e per la texturizzazione fotografica del modello.

Quest'ultima fase, tuttavia, è ora meglio integrata con quella geometrica, grazie alla possibilità di acquisire direttamente nuvole di punti già **colorate** con l'immagine (Ingersand, 2006, Reshetyuk, 2009). Le criticità rimaste riguardano dunque soprattutto il processo di creazione di elaborati grafici al tratto, nei quali l'intervento manuale rappresenta ancora un valore essenziale per la qualità dell'elaborato stesso.

A Intergeo 2013, importante fiera internazionale del settore geomatico, è stato presentato però un nuovo *software* avanzato per il trattamento di nuvole di punti, denominato Pointfuse (Arithmetica - UK). Il *package* pare in grado di fornire una via più precisa, affidabile e automatica per la produzione, dalle nuvole di punti, di elaborati 2D e modelli vettoriali.

Comunque, diventa sempre più significativo il ruolo assunto dai modelli spaziali misurabili, integrati con l'immagine (Kraus, 2007), ai fini della conoscenza morfologica e semantica dell'ambiente urbano, finora affidata prevalentemente alla rappresentazione 2D e alla gestione separata di prospetti e cortine edilizie.

**Ringraziamenti**

A Microgeo srl (Firenze) e a Diego Galbusera, Samuel Pezzotta, Giorgio Ubbiali e Pietro Azzola, laureati in Ingegneria Edile presso l'Ateneo di Bergamo.

**Bibliografia**

Alshawa M., Smigiel E., Grussenmeyer P., Landes T. (2007), *Integration of a terrestrial lidar on a mobile mapping platform: first experiences*. 5<sup>th</sup> International Symposium. Padua - Italy.

Barber D., Mills J., Smith-Voysey S. (2008), *Geometric validation of a ground-based mobile laser scanning system*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 63(1).

Britting K. (2010), *Inertial Navigation Systems Analysis*. Artech House.

Besl P.J., MacKay N. (1992), *A method for registration of 3-D shapes*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.

Colombo L., Marana B. (2012), *Terrestrial laser scanning specifications*. GEOInformatics. vol. 8.

English Heritage (2006), *An addendum to the metric survey specifications for English Heritage*.

Groves P. (2008), *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*. Artech House.

Ingersand H. (2006), *Metrological aspects in terrestrial laser-scanning technology*. Proceedings of 3<sup>rd</sup> IAG / 12th FIG Symposium. Baden - Germany.

Habib, A., Kersting A., Bang K.I. (2010), *Comparative analysis, of different approaches for the incorporation of position and orientation information in integrated sensor orientation procedures*. Proceedings of Canadian Geomatics Conference 2010 and ISPRS com. I Symposium. Calgary - Canada.

Kolbe, T. H., Nagel, C., Stadler, A. (2008), *CityGML - A Framework for the Representation of 3D City Models from Geometry Acquisition to full Semantic Qualification*. Proceedings of ISPRS Congress 2008. Beijing, China.

Kraus K. (2007), *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans*. De Gruyter.

Lichti D.D., Licht M.G. (2006), *Experiences with terrestrial laser scanner modelling and accuracy assessment*. Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium Image Engineering and Vision Metrology. Dresden - Germany.

Maas H.G., Vosselman G. (2010), *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. CRC Press.

Nalani N., Nirodha Perera S., Maas H.G. (2012), *Automatic processing of mobile laser scanner point clouds for building facade detection*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 39, Part B5.

Reshetyuk Y. (2009), *Terrestrial Laser Scanning*. VDM Verlag.

Rieger P., Studnicka N., Pfennigbauer M., Ullrich A. (2010), *Advances in mobile laser scanning acquisition*. 24<sup>th</sup> FIG International Congress. Sydney - Australia.

Rutzinger M., Höfle B., Oude Elberink S., Vosselman G. (2011), *Feasibility of facade footprint extraction from mobile laser scanning data*. Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation. Vol. 3(3).



