

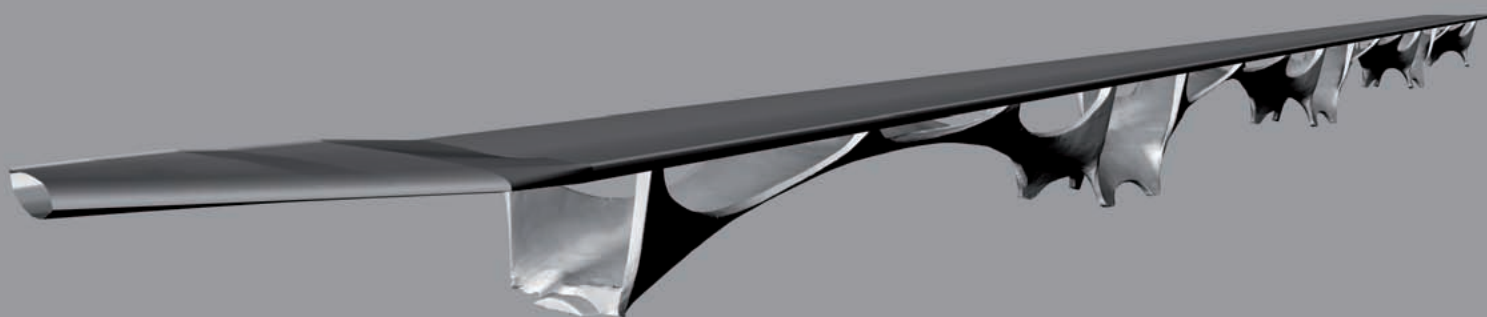


Momenti di ripresa scanner con strumento a tempo di volo (Asastudio).

Lo **SCANLASER** è l'ultima frontiera
del **RILIEVO DIGITALE** precisa e
TRIDIMENSIONALE integrabile
con altre tecniche. Meglio se su oggetti complessi

ELENA LUCCHI





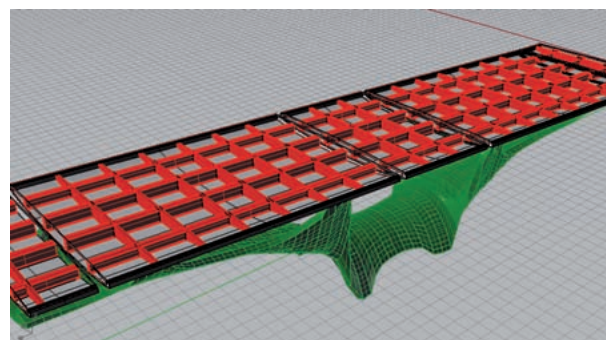
Nella pagina a fianco e sopra: modello 3d di una campata e di tutto il ponte (Asastudio).

La digitalizzazione del rilievo architettonico si sta progressivamente diffondendo, grazie a una serie di vantaggi legati alla velocità e alla precisione del rilievo e del modello ricostruibile, e alla possibilità di integrare i dati con informazioni materiche, costruttive e conservative. L'impiego di strumenti di tipo evoluto, basati sulla scansione laser, è particolarmente indicato per gli edifici storici, i beni culturali o gli immobili dotati di forme complesse. Nel caso di edifici storici o di siti culturali, inoltre, gli strumenti consentono di localizzare la struttura e di ricostruire tridimensionalmente la morfologia del territorio di competenza. Di seguito, vediamo nel dettaglio le procedure, le tecniche, gli strumenti e gli elaborati utilizzabili nel rilievo architettonico.

Il rilievo architettonico definisce l'insieme di operazioni che consentono di osservare, studiare e rappresentare le diverse componenti di un edificio mediante l'impiego di classificazioni e sistemi grafici codificati. Il rilievo è un'attività basilare nell'intervento sul costruito, in quanto rappresenta un processo di conoscenza indispensabile per poter operare secondo i criteri di compatibilità, reversibilità e minimo intervento.

MODULO PAROLE CHIAVE

RILIEVO ARCHITETTONICO · **TECNOLOGIE LASER** · LASERSCAN TERRESTRE TLS · NUVOLA DI PUNTI
DENSE DIGITAL SURFACE MODEL DDSM · DIGITAL SURFACE MODEL DSM · DISEGNO VETTORIALE 3D



Nuvole di punti colorate di una campata del ponte Musmecì a Potenza e analisi delle geometrie e delle sezioni interne del ponte con software di modellazione (Asastudio).

Gli strumenti da utilizzare nel rilievo architettonico comprendono le tecniche di misura tradizionali ed evolute: livelle e distanziometri laser, camere fotogrammetriche, laser scanner).

L'attività è strutturata in fasi specifiche che comprendono:

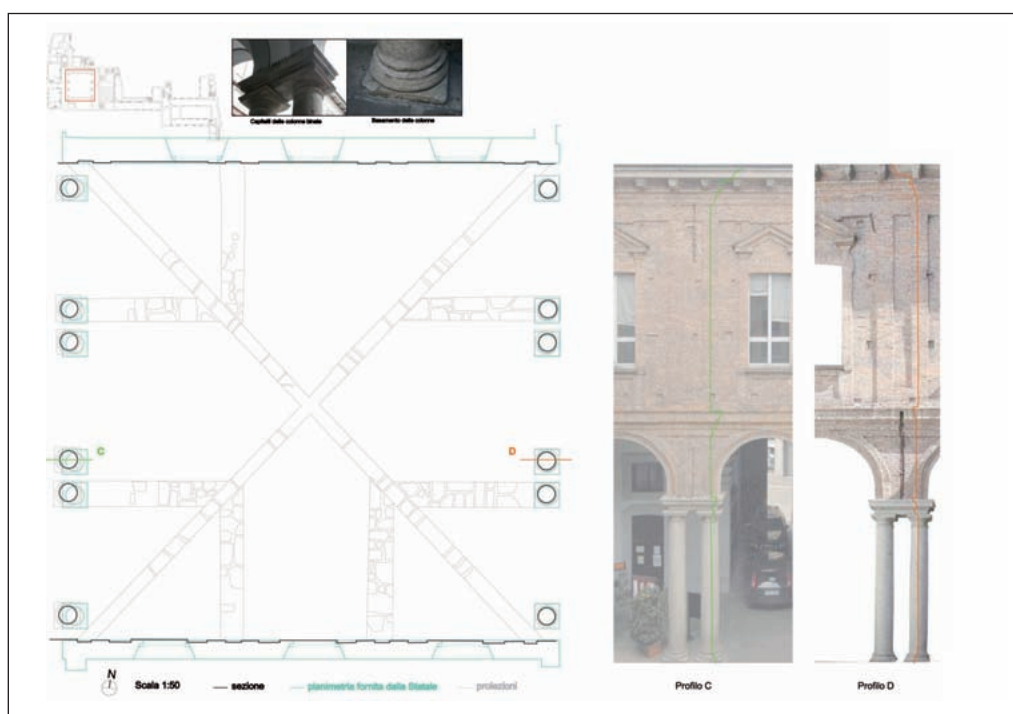
- Raccolta della documentazione grafica e fotografica relativa all'edificio;
- Definizione della scala grafica di rappresentazione;
- Individuazione della strumentazione tecnica necessaria;
- Realizzazione di eidotipi di supporto al rilievo in opera;
- Esecuzione delle misure;
- Elaborazione dei dati acquisiti;
- Rappresentazione grafica del modello.

La ricerca degli elaborati grafici è necessaria per disporre di informazioni dimensionali e funzionali preliminari, che consentono di conoscere le relazioni tra le diverse componenti e l'evoluzione storica del manufatto. Queste informazioni devono essere controllate attraverso un rilievo specifico volto a confermare o meno la correttezza degli elaborati grafici. L'attività deve essere pianificata in modo dettagliato, al fine di organizzare le diverse fasi operative. La pianificazione del rilievo prevede la scelta della scala grafica e della strumentazione, la suddivisione dell'oggetto in parti e la definizione di fasi temporali. La scelta della scala di rappresentazione (1:1, 1:10, 1:100, 1:500, ...) dipende dalle richieste della committenza, dal tipo di lavoro da svolgere e dalla dimensione dell'edificio. Quest'ultima influenza anche la scelta della strumentazione, il dettaglio con cui si esegue in rilievo, le modalità di analisi e di restituzione dei dati raccolti. Gli strumenti da utilizzare nel rilievo architettonico comprendono le tecniche di misura tradizionale (metro lineare, rotella metrica, bindella, livello e canna ad acqua, teodolite, livelli e distanziometri elettrici) ed evolute (livelle e distanziometri laser, camere fotogrammetriche, laser scanner).



RILIEVO di oggetti attraverso TLS: la densità di punti rilevati consente l'analisi su **FORME COMPLESSE**

Una tecnologia completamente nuova è costituita dagli strumenti che consentono di rilevare la forma complessa dell'oggetto attraverso la misura fotogrammetrica di tipo continuo delle distanze. Questi apparecchi si basano sull'impiego del laser. Dal punto di vista fisico, il laser (acronimo di Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation - amplificazione della luce da emissione stimolata di radiazione) è una radiazione elettromagnetica monocromatica (composta da una sola frequenza di luce), unidirezionale e coerente (costituita da onde di uguale frequenza e fase).

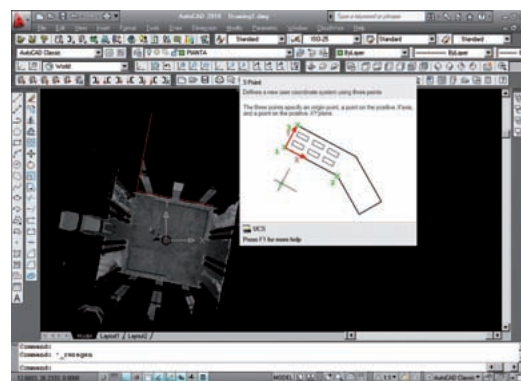
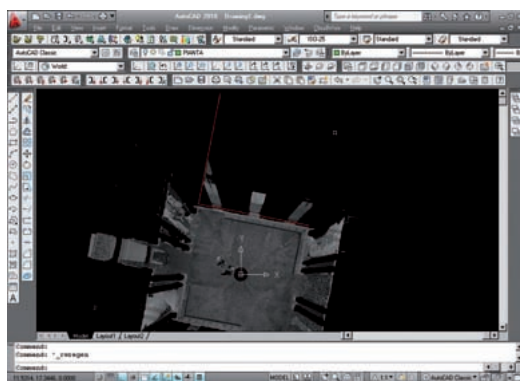
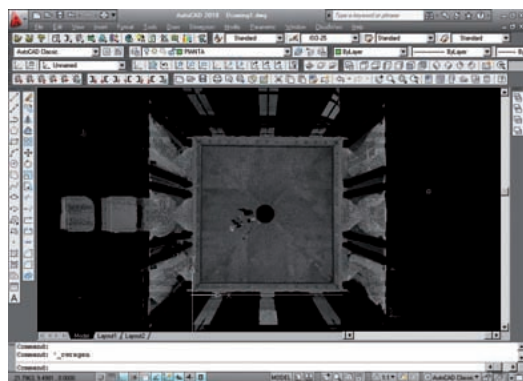


Gli elaborati grafici sono stati realizzati da Marco Cappelleri, Anna De Nicola, Manuela Fribbi, Carlo Ravelli e Andrea Zanardi, seguiti dai Proff. Carlo Monti e Cristiana Achille, nell'ambito del Laboratorio di Diagnostica Prof. Carlo Monti, Lorenzo Ccantini, Maria Fianchini, Elena Lucchi), AA 2009-2010, Politecnico di Milano, Laurea Specialistica in Architettura, Orientamento Progetto e Riqualificazione dell'Esistente (PRE).

Uno degli impieghi principali del laser riguarda il rilievo di modelli tridimensionali e bidimensionali complessi. A questo scopo si usano i laser scanner terrestri (TLS), ovvero strumenti evoluti che permettono di ottenere modelli tridimensionali di oggetti con scale e risoluzioni differenti. La digitalizzazione avviene in modo discreto attraverso la misurazione della posizione di un elevato numero di punti sparsi nello spazio in modo più o meno regolare. Il funzionamento dello strumento si basa sulla generazione di impulsi laser infrarossi che, registrando parte del segnale riflesso dell'oggetto colpito, restituiscono la posizione dei diversi punti analizzati. Il calcolo del tempo di volo (Time Of Light - TOL) di un impulso laser, che indica l'intervallo di tempo che intercorre tra l'emissione del segnale e l'impulso di ritorno, permette di acquisire la distanza e di definire le coordinate tridimensionali (x, y, z) di ogni singolo punto rilevato (ed eventualmente le informazioni relative alla riflettività e al colore del materiale). La "nuvola di punti" (Dense Digital Surface Model - DDSM) da analizzare deve essere stabilita in base alla risoluzione della scansione. L'acquisizione avviene in modo casuale e, pertanto, i punti non coincidono con le linee di discontinuità e quasi nessun punto colpisce perfettamente i bordi geometrici o radiometrici dell'oggetto da analizzare. Le scansioni permettono così di acquisire in tempi brevi milioni di punti in modo automatico, coniugando alla velocità d'esecuzione un'elevata accuratezza.

Il rilievo non è invasivo e, come tale, è particolarmente indicato nel settore dei beni culturali ed architettonici, dove è richiesto un contatto ridotto con il manufatto al fine di non comprometterne la conservazione. Il rilievo, grazie all'elevata densità di informazioni raccolte, è adatto anche per forme complesse, per elementi decorativi e tridimensionali (sculture, bassorilievi, ...). Al contrario, il rilievo topografico e fotogrammetrico non offre una simile densità di punti rilevati e, pertanto, su forme complesse la precisione di analisi è insufficiente oppure non è economicamente conveniente.

I laser scanner attualmente disponibili si basano su modalità di acquisizione, precisioni di rilievo, portate e velocità di analisi differenti. Una prima classificazione è basata sul principio di acquisizione dei dati tridimensionali e vede la distinzione tra laser scanner distanziometrici e triangolatori. In entrambi i casi la misura è basata sul rilievo della distanza tra due punti per mezzo di onde elettromagnetiche. Nei laser scanner distanziometrici la posizione del punto è restituita in coordinate sferiche: per ogni punto acquisito sono misurati un angolo orizzontale (azimutale), un angolo verticale (zenitale) e una distanza inclinata. La distanza tra il centro dello strumento e il punto colpito dal raggio è determinata dalla misura del tempo che intercorre tra l'emissione e la ricezione (come nei distanziometri laser). La misurazione dei punti nei laser scanner triangolatori è ottenuta utilizzando il principio dell'intersezione in avanti. Per determinare la posizione del punto sono misurate la distanza, l'angolo che si forma tra il raggio emesso e la base dello strumento e l'angolo che si forma tra il raggio riflesso e la base. Questa geometria di acquisizione consente di ottenere precisioni molto elevate in tempi mediamente lunghi. Gli strumenti hanno una forma allungata o a tubo e sono dotati di un diodo emettitore e di un diodo ricevitore posizionati agli estremi. La dimensione del segmento che unisce i due diodi non può superare alcuni limiti pratici di maneggevolezza (circa 1 m). Ne consegue, ovviamente, un limite nella portata dello strumento.



Una seconda classificazione è basata sul posizionamento del sensore. In questo caso si distinguono laser statici e mobili. I primi hanno una posizione fissa e acquisiscono sempre una stessa scena, per questo sono impiegati nelle linee di controllo meccanico, nel monitoraggio di movimenti e deformazioni o nel rilevamento ad alta precisione. I laser scanner mobili sono strumenti di dimensioni ridotte, posizionati su treppiedi e facilmente trasportabili per inquadrare diverse zone. Sono utilizzati nel rilevamento topografico.

Una terza classificazione è basata sulla portata. Si distinguono gli strumenti a piccola (<1 metro), media (1÷50 metri) e lunga portata (50÷6000 metri). La portata dipende dal materiale colpito dal raggio e, in particolar modo, dalla sua riflettività.

Le caratteristiche da considerare per valutare la qualità di un laser scanner riguardano:

- Velocità di acquisizione;
- Portata nominale ed effettiva di acquisizione;
- Risoluzione di scansione, precisione di rilievo e divergenza del raggio laser;
- Range di misura;
- Acquisizione delle informazioni relative all'intensità di segnale riflesso ricevuto (indice di riflettività);
- Acquisizione RGB (Red Green Blue) interna o mediante apparecchi esterni;
- Modularità dello strumento, che può aumentare le opzioni di rilievo senza richiedere l'inserimento componenti hardware;
- Riconoscimento automatico di segnali;
- Forma compatta, trasportabilità e maneggevolezza;
- Facilità d'uso e presenza di software di acquisizione e di gestione dei dati.

Classificazione laserscan sull'acquisizione dati

Tipologia	Laserscan distanziometrici	Laserscan triangolatori
Modalità di acquisizione dati	Restituzione dei punti in coordinate sferiche	Restituzione dei punti attraverso l'angolo che si forma tra il raggio emesso e la base dello strumento e l'angolo che si forma tra il raggio riflesso e la base.
Note	-	Maggior precisione, tempi più lunghi

Classificazione laserscan sull'acquisizione dati

Tipologia	Laser scanner statici	Laser scanner mobili
Caratteristiche	Hanno una posizione fissa, acquisiscono sempre una stessa scena	Di dimensioni ridotte, trasportabili, possono inquadrare zone diverse
Ambiti di utilizzo	Linee di controllo meccanico, monitoraggio di movimenti e deformazione, rilevamento ad alta precisione	Rilevamento topografico

Classificazione laserscan sulla portata

Tipologia	Piccola portata	Media portata	Lunga portata
Valore di portata	< 1 metro	tra 1 e 50 metri	50-6000 metri

Filtratura, ricampionamento, unione, allineamento, semplificazione, colorazione, georeferenziazione, integrazione radiometrica ... fino al **MODELLO TRIDIMENSIONALE** facile e leggibile



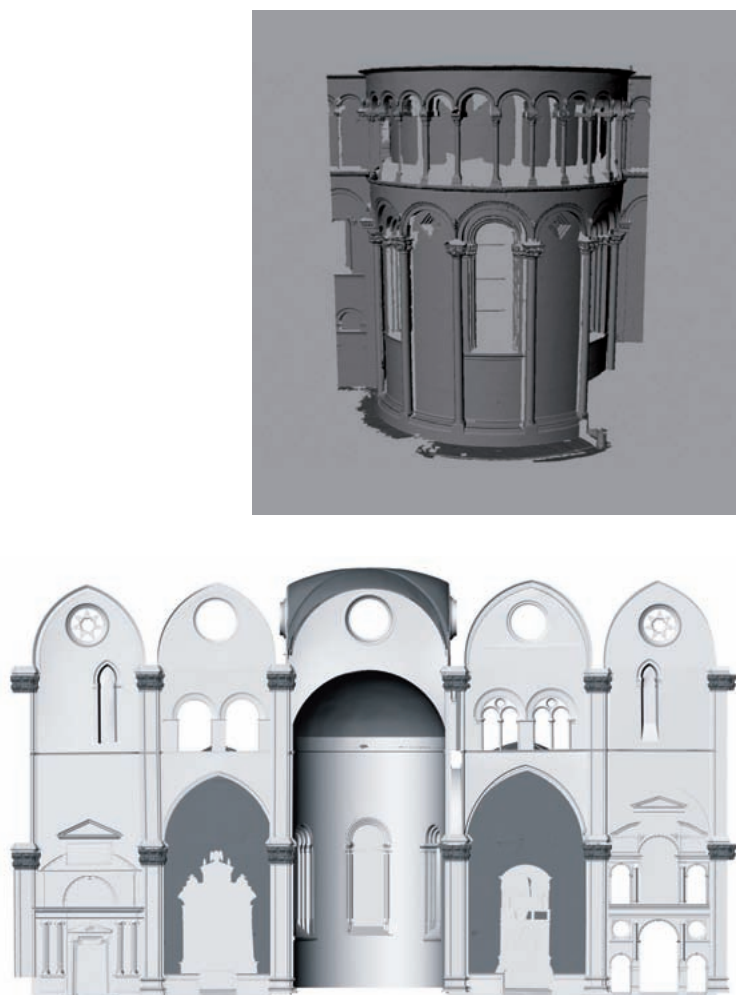
Scansione degli esterni del Duomo di Lucca con scanner laser a tempo di volo (Asastudio).

Lo strumento permette di acquisire le caratteristiche dimensionali del manufatto architettonico in tempo reale. I dati acquisiti sono trattati ed elaborati con particolari procedure definite a priori e controllate in corso d'opera in base alle esigenze dell'analisi. La densità angolare, il passo e la precisione dei punti da rilevare è definito in relazione alle caratteristiche e alle dimensioni dell'oggetto, alla luminosità, all'angolo di incidenza e al materiale di riferimento. Il trattamento dei dati raccoglie tutte le operazioni che vengono effettuate direttamente sulla "nuvola di punti" per la creazione di un modello tridimensionale completo. Le operazioni preliminari comprendono la filtratura delle informazioni per eliminare gli errori e il rumore (o data cleaning), il ricampionamento dei punti per diminuire la densità spaziale, l'unione delle nuvole di punti, l'allineamento automatico di modelli tridimensionali adiacenti, la semplificazione, l'alleggerimento e la colorazione del modello e la georeferenziazione in un sistema di riferimento esterno. Il modello così ottenuto è ancora sotto forma di una "nuvola di punti" complessa, priva di errori di acquisizione ed espresso in un unico sistema di riferimento scelto a piacere. Le caratteristiche positive di questi prodotti riguardano la possibilità di ottenere un modello tridimensionale ad alta risoluzione, facilmente ispezionabile e misurabile, che può anche essere utilizzato come base per ulteriori elaborazioni.

Dopo aver effettuato le operazioni preliminari di trattamento si procede alla creazione del prodotto finale, che comprende le seguenti categorie di elaborati:

- Prodotti ottenibili direttamente utilizzando la sola tecnologia laser scanner (Digital Surface Model – DSM, disegno vettoriale 3D, curve di livello, sezioni, prospettive, ...);
- Prodotti ottenibili dall'integrazione tra la tecnologia laser scanner e le tecniche di fotogrammetria digitale (ortofoto, Digital Surface Model – DSM, disegno vettoriale 3D).

Il modello a superfici ottenuto con il laser scanner può essere rielaborato attraverso l'impiego di appositi software che consentono di estrarre informazioni bidimensionali e tridimensionali di volumi, sezioni e profili.



Sopra, modello 3d ottenuto con procedure di solid modeling dell'interno e degli esterni della zona absidale del Duomo di Lucca.
A sinistra, mesh ricavata da nuvola di punti di una porzione dell'interno e dell'esterno dell'abside (Asastudio).

Il modello, però, è privo di informazioni radiometriche che agevolano l'interpretazione dell'oggetto.

Per questa ragione, negli ultimi anni si è cercato di integrare l'informazione tridimensionale geometrica acquisita con i laser scanner con l'informazione radiometrica reale degli oggetti, al fine di ottenere modelli di realtà virtuale. L'integrazione con tecniche di fotogrammetria è particolarmente interessante poiché, mentre il laser scanner produce un modello tridimensionale ed automatico ad elevata risoluzione, la fotogrammetria genera un modello di facile interpretazione. In questo modo, si genera un modello tridimensionale colorato, di facile leggibilità e di grande precisione. L'integrazione tra le due tecniche avviene con l'impiego di una fotocamera oppure di metodi di retro-proiezione.

Nel primo caso, l'assegnazione del colore avviene in tempo reale e l'operazione non necessita di ulteriori elaborazioni. Può essere utilizzata una fotocamera rigidamente connessa al laser scanner mediante un sostegno calibrato oppure un sensore a risoluzione fissata con una fotocamera interna e integrata. La prima tecnica permette di scegliere la risoluzione dell'immagine al fine di ottenere diverse tipologie di elaborati finali e, inoltre, è possibile sostituire la fotocamera nel corso del tempo.

Nel secondo caso, invece, il numero di immagini digitali acquisite deve essere stabilito in funzione della scena rilevata. I sensori interni sono più difficilmente aggiornabili rispetto agli apparecchi esterni, ma hanno il vantaggio di richiedere l'impiego di un solo strumento di rilievo. Le immagini digitali ad alta definizione, allo stato attuale, hanno una risoluzione più elevata rispetto alle scansioni laser e, pertanto, questo tipo di integrazione fa perdere una serie di informazioni acquisite per via fotografica, specialmente quelle utilizzate in fotogrammetria per la definizione delle linee di discontinuità. Una soluzione alternativa prevede l'impiego di un sensore radiometrico interno e coassiale con il raggio laser che misura il tono radiometrico di ogni punto acquisito. L'immagine solida così acquisita consente di gestire in contemporanea tutte le informazioni tridimensionali geometriche.



Un buon **RILIEVO ARCHITETTONICO** è il risultato
DELL'INTEGRAZIONE TRA TECNICHE DIVERSE,
 topografiche, fotogrammetriche e laser scanner.
 Con una restituzione quasi reale

La soluzione operativa migliore per ottenere un buon rilievo architettonico è ottenuta attraverso l'integrazione tra le diverse tecniche topografiche, fotogrammetriche e laser scanner che, per la loro natura, sono fortemente complementari. Le prime, infatti, restituiscono un'analisi puntuale degli elementi maggiorante significativi dell'opera, che permettono di avere un modello semplificato e veloce della realtà. Le ultime due tecniche permettono di ottenere un rilievo continuo dell'oggetto. Nella fotogrammetria i punti sono scelti dall'operatore in modo selettivo e studiato, al fine di restituire un modello semplificato della realtà che può essere elaborato successivamente. Nel rilevamento con laser scanner la scelta della "nuvola di punti" da analizzare è casuale e, la selezione dei dettagli avviene a posteriore su un modello molto fitto di punti tridimensionali. Il modello restituito è preciso, ad alta definizione e completo di tutti i particolari ma l'elaborazione dei dati è complessa e solo in parte automatica. L'integrazione tra queste tecniche consente di ottenere modelli bidimensionali e tridimensionali mappati con le caratteristiche cromatiche e materiche dell'oggetto.

La tecnica del laser scanning è utilizzabile anche da uno studio professionale, specialmente per oggetti monumentali e difficilmente rilevabili con metodi tradizionali (ad esempio la volta di una chiesa). In questo caso, normalmente, ci si affida ad aziende specializzate, che forniscono l'intero servizio di rilievo e di restituzione dei dati. Soprattutto in ambito monumentale, in diversi casi, il rilievo fatto con queste tecniche è economicamente competitivo rispetto alle tecniche tradizionali (rilievo con bindella, disto, ...), poiché richiedono un tempo e un impegno inferiore dell'operatore. I rilievi si integrano con altri tipi di studi, specialmente con analisi dei materiali, dello stato di conservazione e quadri fessurativi. È possibile anche integrare il rilievo di facciate interne ed esterne raddrizzate con l'analisi termografica.