

Laser e immagini per la Geo-conoscenza del costruito

di Luigi Colombo

Le tecnologie laser e quelle legate all'immagine registrano in modalità numerica la realtà spaziale dell'edificato, con la sua forma, la dimensione e il colore dei materiali e del degrado.

Il ruolo dell'immagine

"Un'immagine vale più di mille parole", dice un antico adagio cinese, e l'immagine, attraverso la descrizione grafica, prima, e la fotografia, poi, è diventata lo strumento essenziale per la creazione di sintesi informative e critiche (geo-conoscenza), in grado di registrare e restituire ogni aspetto della realtà costruita, con riferimento a dimensione, forma, colore dei materiali e stato del degrado.

L'edificato, con le sue caratterizzazioni tipicamente spaziali e i suoi contesti metrici, materici e decorativi, è stato tradotto da sempre in visualizzazioni misurabili, spesso suggestive, attraverso le tecniche del rilievo geometrico e della rappresentazione.

Fra queste, innanzitutto il disegno, un *meta-linguaggio* che consente di leggere l'identità delle situazioni spaziali e di comunicarne la dinamica evolutiva; poi, la fotografia, in grado di fissare in modo permanente sul sensore i caratteri quantitativi e semantici, documentare le geometrie e le loro alterazioni, dare rilevanza al dettaglio, compreso quello più esiguo.

Infine, il modello spaziale che fornisce una ricostruzione completa degli spazi progettati o esistenti, offrendo la possibilità di coglierne i valori formali e costruttivi.

Con lo sviluppo della tecnologia elettro-informatica, i nuovi strumenti di misura e l'automazione dei processi hanno aperto nuove prospettive, imponendo un modello digitale di conoscenza sempre più codificato, che ha sottratto gran parte dell'iniziale soggettività manuale alla traduzione e archiviazione degli oggetti e dei loro caratteri.

Si potrebbe dire, parafrasando i temi della scomposizione geometrica del reale, propria della rivoluzione cubista di Picasso, che la tecnologia registra un modello dell'esistente attraverso "la ricerca cartesiana della sua forma".

I tipi di rappresentazione grafica di questo modello sono sempre più tridimensionali, con largo coinvolgimento dell'informazione tematica (le texture e il colore degli elementi, come nella pittura di Matisse...).

L'esigenza di una descrizione spaziale a più livelli di informazione è sentita soprattutto nel caso di interventi straordinari che interessano strutture *sensibili*, la loro architettura e le destinazioni d'uso: questo sta portando idealmente alla definizione di un *sistema di conoscenza dell'edificio*.

Le tecniche spaziali utili per la documentazione conoscitiva

sono varie e si sviluppano a partire dai procedimenti della *geometria solida costruttiva*, nei quali si genera un modello spaziale usando primitive elementari (cubi, sfere, coni, cilindri e oggetti predefiniti) combinate fra loro per sottrazione, addizione, intersezione ecc. secondo note operazioni booleane. Nei casi in cui le superfici da descrivere abbiano davvero forma qualsiasi, si può realizzare un modello di punti ricorrendo a tecniche *passive* basate sull'immagine (la fotogrammetria degli oggetti vicini) o *attive*, come il laser; se i punti acquisiti vengono poi collegati localmente fra loro (via software), creando sequenze di piccoli elementi piani (mesh) si parla di modelli di superfici.

La visualizzazione spaziale di un modello viene effettuata in modalità *wireframe* (a filo di ferro), cioè convenzionalmente per contorni di entità, così da offrire una visione trasparente della struttura (fig. 1), oppure in modalità *flat-shading*, in cui le micro-superfici delle mesh sono tematizzate in modo semplificato (si tratta di un procedimento di visualizzazione veloce, efficace per applicazioni real-time) o infine mediante il *rendering foto-realistico* (o *texture mapping*) che comporta la proiezione (pixel per pixel) di più immagini digitali sul modello spaziale di punti o di superfici. Quest'ultimo approccio, di grande efficacia visiva e funzionale, ben evidenzia gli aspetti della sinergia operativa in corso fra le tecnologie dell'immagine (fotogrammetria dei vicini) e quelle della scansione *laser*.

L'acquisizione delle texture, da associare al modello, si esegue con una camera fotografica digitale (ottimizzando le condizioni di illuminazione); il collegamento di queste informazioni, opportunamente calibrate e orientate, alla geometria 3D richiede poi la realizzazione delle fasi operative indicate di seguito.

Dapprima, si debbono individuare i parametri geometrici caratteristici (*orientamento interno*) del sensore (distanza principale della camera, posizione del punto principale, distorsione radiale dell'obiettivo, ecc.) e quindi quelli (*orientamento esterno*) relativi all'acquisizione delle immagini (posizione spaziale del centro di presa della camera, angoli spaziali di assetto). La conoscenza dell'orientamento esterno permette di risolvere all'inverso la relazione prospettica oggetto-immagine-modello e di proiettare le informazioni fotografiche sulle superfici ricostruite virtualmente.

I parametri dell'orientamento esterno sono registrabili direttamente durante la ripresa (procedimento *on-line*, come

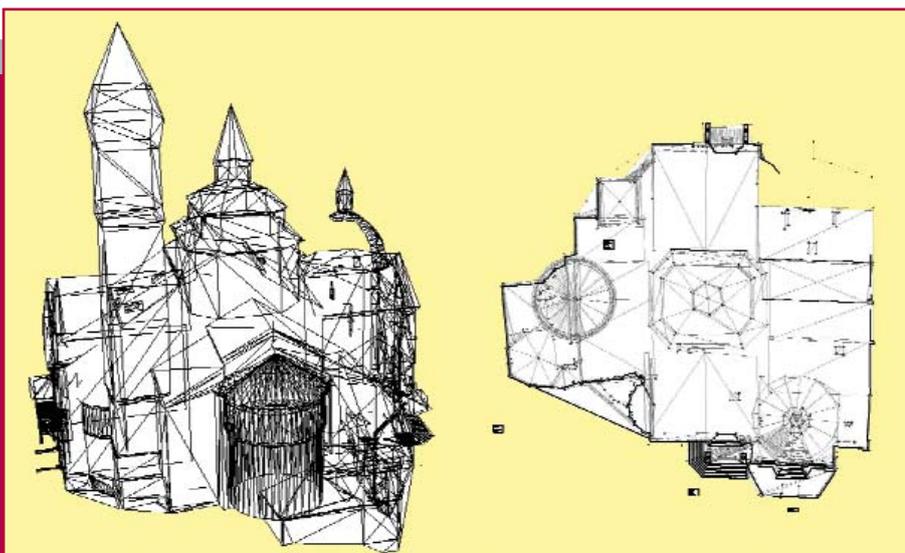


Fig. 1 - Visualizzazioni di un modello wireframe.

I modelli IBM

Definiti come Image-Based Models, i modelli spaziali basati sull'immagine sono prodotti tramite metodi *senza contatto*, utilizzando *sensori passivi*. La realizzazione di questi modelli è affidata alla ripresa per immagini della struttura e alla rielaborazione di queste informazioni, per esempio attraverso software che utilizzano i principi della fotogrammetria multi-immagine: in tal caso, le prime due foto della scena sono utilizzate per avviare il processo di determinazione della posizione dei punti-oggetto, mediante punti immagine omologhi selezionati sui fotogrammi con tecniche di auto-correlazione digitale; successivamente, vengono inserite nel computo le altre immagini della scena, con i loro eventuali vincoli geometrici

nel caso del laser a scansione fotogrammetrico) o vengono calcolati *off-line* utilizzando coppie di punti omologhi, selezionati sull'oggetto e riconoscibili sull'immagine. Una volta stabilita la relazione geometrica immagine-oggetto, diviene possibile sovrapporre la copertura fotografica al modello, operando secondo classiche relazioni di proiezione. I risultati di questo processo sono legati soprattutto alla regolarizzazione del livello cromatico delle immagini da utilizzare per la proiezione, così da ridurre gli effetti di un'illuminazione non omogenea sulle diverse superfici. È possibile esportare in ambienti di elaborazione 3D il modello geometrico e le sue texture, utilizzando opportuni formati grafici di scambio (per esempio, lo standard VRML1 o 2, il formato 3DS di Autodesk 3DStudio o infine, ma per le sole informazioni vettoriali, il formato DXF-3D o 2D di AutoCAD). Il modello è osservabile mediante visualizzatori spaziali: l'utilizzatore può ruotare l'oggetto in posizioni qualsiasi, effettuare operazioni di zooming per analizzare da vicino zone particolari, eseguire all'inverso operazioni di panning; è altresì consentito variare la posizione delle sorgenti di luce artificiale e ombreggiare conseguentemente le superfici.

Dal modello ricostruito si estrae agevolmente la posizione di punti, la misura di distanze, di aree e di volumi; inoltre, sono deducibili in modo pressoché automatico elaborati CAD 2D (sezioni, profili, ecc.).

Tipologie di modelli spaziali

I modelli 3D del costruito sono classificabili [El-Hakim et al.] in base alle tecniche utilizzate per la loro acquisizione, secondo le tipologie riportate in figura 2.

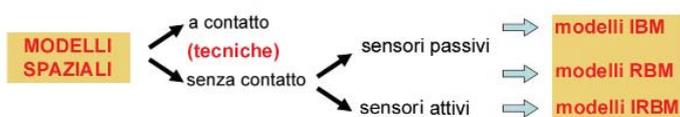


Fig. 2 - Tecnologie e modelli spaziali.

(allineamenti, parallelismi, perpendicolarità o più semplicemente percorsi, distanze, coordinate di punti), all'interno di un processo controllato di calcolo e compensazione (*triangolazione multi-immagine a fasci proiettivi*).

Software noti di questo tipo sono: PhotoModeler (Canada), ImageModeler (Germania), Australis (Australia), ShapeCapture (USA); l'utilizzo di questi programmi permette la creazione di un modello di punti sulla base di procedure operativamente semplici, abbastanza economiche, idonee soprattutto per descrivere i contorni di oggetti dalla forma non eccessivamente complessa.

Il livello di automazione offerto dal procedimento fotogrammetrico nella costruzione di modelli è sempre strettamente correlato alla precisione richiesta: nel caso in cui la finalità principale sia la visualizzazione multimediale (in Internet, ecc.) il livello di qualità è limitato, mentre, se l'obiettivo prevalente è la documentazione di tipo foto-realistico diviene necessaria una soglia di qualità più alta che richiede spesso anche il supporto manuale dell'utilizzatore.

I modelli RBM

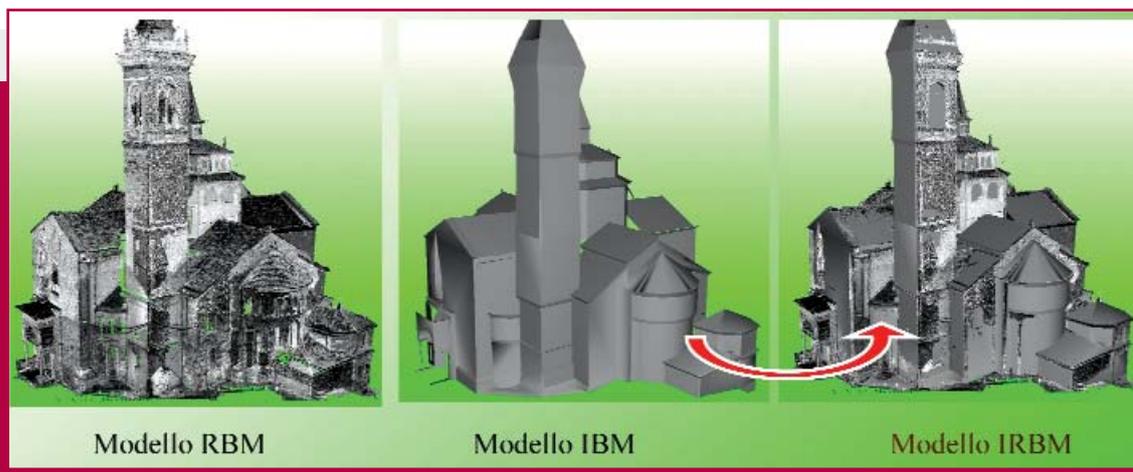
Acronimo di Range-Based Models, questi modelli 3D sono prodotti con sistemi laser terrestri (*sensori attivi*), che operano senza contatto; si parla dell'acquisizione di range-scan o nuvole di punti.

Il modello tridimensionale è costituito da punti registrati in tempo reale, cosa questa che ne permette una visualizzazione interattiva nello spazio tridimensionale. Lo strumento utilizzato per l'acquisizione (praticamente automatica) è il *laser a scansione*; in esso, l'emissione elettromagnetica di un sensore laser è proiettata verso l'oggetto, sfruttando la rotazione meccanica dello strumento e quella ottica di specchi deflettori: vengono così determinati la distanza spaziale e gli angoli di assetto verticale e orizzontale, operando con estrema velocità e direttamente su parete nuda.

La conoscenza di questi dati polari permette di risalire semplicemente alla posizione cartesiana dei punti-oggetto, nel riferimento proprio del sensore.

I laser scanner più recenti [Colombo et al.] sono integrati con una foto-camera digitale ad alta risoluzione (*scanner fotogrammetrico*) e sono utilizzabili per il photo-texturing diretto.

Fig. 3 - Tipologie di modelli 3D.



Inoltre, occorre sottolineare come tecnologicamente i sistemi laser a scansione tendano ad avvicinarsi sempre di più ad una stazione totale motorizzata, sia per la presenza di dispositivi di verticalità (livella sferica) e di affidabili compensatori zenitali sia per il campo d'uso panoramico e la portata (Leica ScanStation, Trimble Spatial Station VX, la nuova compatta Image Station GLS-1000 di Topcon). In alcuni laser a scansione sono addirittura presenti apparati GPS/IMU (dispositivo satellitare più inerziale) che permettono la determinazione assoluta del punto di riferimento dello scanner (lo specchio deflettore) e dell'orientamento esterno del fascio di scansione. Questo fatto rende possibile la georeferenziazione diretta delle nuvole di punti e la compensazione di eventuali instabilità dinamiche presenti nella fase di misura (casi della stazione di acquisizione non perfettamente stabile o in movimento).

Le nuvole acquisite vengono collegate fra loro (utilizzando punti o entità geometriche comuni) per realizzare la descrizione complessiva (il modello) delle superfici interessate dal rilevamento.

La precisione di un modello RBM è legata alla qualità del processamento dei punti e dell'aggregazione delle scansioni; ma, soprattutto, è correlata alle dimensioni dell'oggetto, alla sua complessità geometrica e alle caratteristiche morfologiche e materiche delle superfici (si distingue fra

superfici microscopicamente ruvide o lisce, di riflettività diffusa o a specchio).

I modelli RBM possono contenere oltre all'informazione geometrica anche quella descrittiva, comprendente lo stato di conservazione degli elementi, il loro colore e la tessitura materica.

Software noti per il trattamento di nuvole di punti sono: 3D Reconstructor (EU-JRC), Polyworks (Canada), RapidForm (Corea del Sud), GeomagicStudio (USA), PointCloud (Germania) che si aggiungono ai software realizzati dai costruttori dei sensori laser (Cyclone, Riscan Pro, RealWorks, LightFormModeller); l'utilizzo di questi programmi permette la creazione del modello di punti mediante procedure di elaborazione abbastanza sofisticate, non particolarmente economiche e standardizzate, adatte, comunque, alla descrizione delle superfici in oggetti di forma anche complessa.

I modelli IRBM

Image and Range Based Models sono i modelli ibridi che si basano sull'uso integrato dell'elaborazione fotogrammetrica (terrestre) e delle nuvole di punti da scansione laser.

L'approccio congiunto (fig. 3) permette la realizzazione di un modello tridimensionale, più definito nel livello di dettaglio delle superfici, in grado di registrare particolari (architettonici e tematici) difficilmente acquisibili con una sola tecnologia.

Applicazioni

Si riportano di seguito alcuni esempi visivi di modelli spaziali sviluppati presso il laboratorio di Geomatica dell'Università di Bergamo. La figura 4 mostra il modello esterno di un edificio (la Basilica di S.M. Maggiore a Bergamo), documentato per via fotogrammetrica e ricostruito in PhotoModeler, con le tracce delle posizioni relative all'acquisizione fotografica.

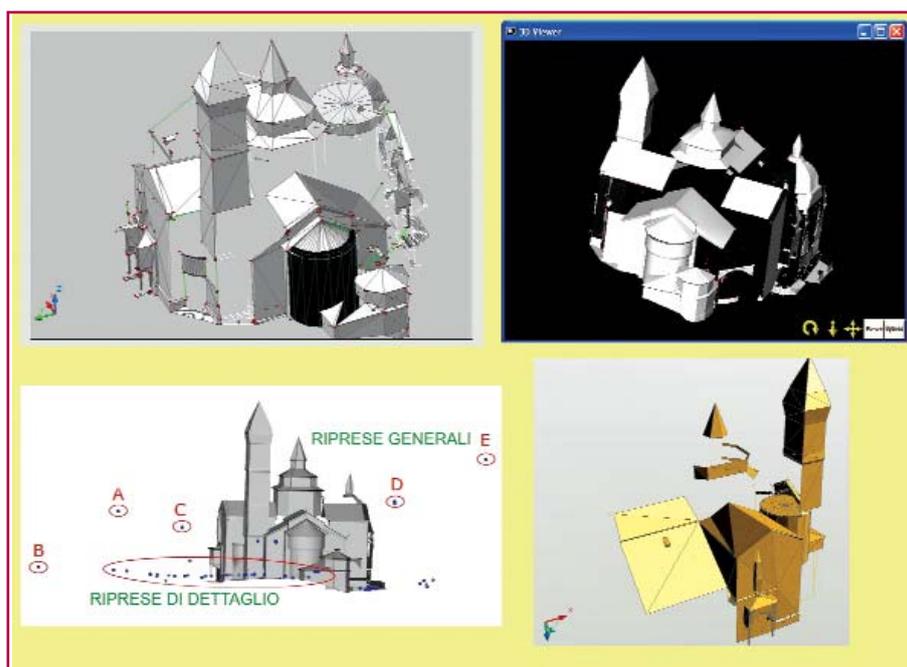


Fig. 4 - Modello fotogrammetrico di punti (IBM) all'interno del viewer di PhotoModeler; in basso, le posizioni dell'acquisizione fotografica.

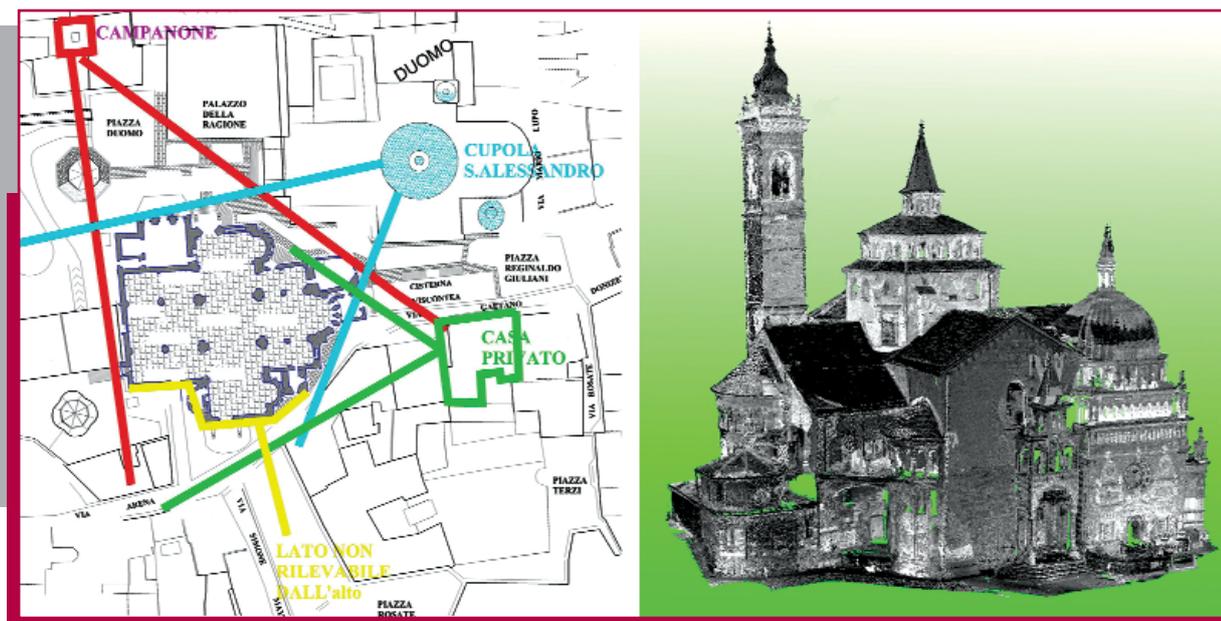


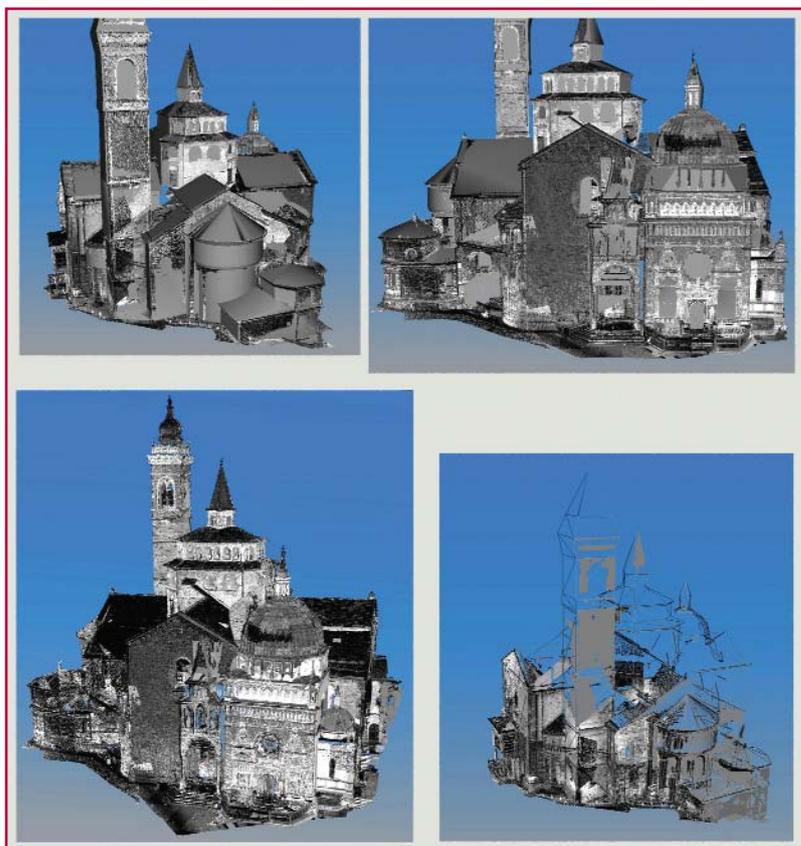
Fig. 5 - Stazioni di acquisizione laser all'esterno della Basilica (a sinistra); modello laser di punti (RBM) dell'edificio (a destra).

Le localizzazioni delle scansioni laser eseguite per la documentazione degli esterni della stessa Basilica costituiscono invece il soggetto della figura 5, che presenta una vista del modello finale di punti prodotto per aggregazione delle nuvole. La figura 6 mostra risultati inerenti a modelli fotogrammetrici e laser ed esempi di integrazione in un modello IRBM.

Considerazioni finali

Le nuove tecnologie laser e quelle dell'immagine offrono importanti potenzialità per la documentazione critica dell'edificato civile e storico. Purtroppo, non molto è stato fatto in genere sui temi della geo-conoscenza, soprattutto in realtà architettoniche minori spesso oggetto di pesanti interventi conservativi senza una valutazione preventiva dello stato di rischio. Questo non è accaduto, per fortuna, in alcuni casi importanti dove l'occhio elettronico della tecnologia ha potuto registrare, svelandola, l'armonia delle forme dell'opera, anche quelle più segrete e nascoste.

Fig. 6 - Modelli IBM e RBM, con esempi di integrazione IRBM.



Bibliografia

- Barber D.M., Mills, J.P., Bryan P.G. (2003) - *Towards a standard specification for terrestrial laser scanning* - ISPRS International Archives, 34 (5/C15).
- Colombo L. (2005) - *Leggere e documentare l'architettura* - La rivista di Bergamo (44).
- Colombo L., Marana B. (2007) - *Camera laser scanner* - GIM International 21(8).
- El-Hakim S., Remondino F. (2005) - *Critical overview of image-based 3D modelling* - International Workshop on Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage, Ascona (Switzerland).
- Froehlich C., Mettenleiter M. (2004) - *Terrestrial laser scanning. New perspective in 3D-surveying* - Proceedings of the ISPRS working group VIII/2, Freiburg (Germany).
- Ullrich A. et al. (2001) - *Time-of-flight-based 3D imaging sensor with true-color channel for automated texturing* - Optical 3-D Measurement techniques, Proceedings of V Conference, Vienna (Austria).

Autori

LUIGI COLOMBO
luigi.colombo@unibg.it
Università di Bergamo - DPT