

# SCANSIONE LASER TERRESTRE E SENSORI GNSS-RTK PER LA CREAZIONE DI MODELLI SPAZIALI URBANI

di Luigi Colombo

L'articolo sviluppa i temi della ricostruzione metrica dell'ambiente urbano e del costruito, attraverso uno studio effettuato sulla cittadina termale di San Pellegrino Terme (BG), ben nota anche per i suoi rilevanti caratteri Liberty. Vengono descritti sia la fase di rilevamento con laser scanner terrestre e geo-referenziazione diretta, tramite sensori satellitari GNSS-RTK e la rete NetGeo, sia la costruzione di un modello 3D multi-scala con texture fotografiche dell'abitato.



Fig. 1 - Scansione geo-referenziata di punti oggetto.

L'innovazione tecnologica nel settore del rilevamento terrestre ha portato in anni recenti alla diffusione di sistemi automatizzati, comprendenti più sensori integrati e multi-funzione e l'immagine fotografica; questi sistemi possono eseguire sul campo una serie di operazioni metriche che vanno dalla georeferenziazione diretta di oggetti in un riferimento assegnato, all'acquisizione rapida delle loro geometrie spaziali (esterne, interne e di copertura) e di informazioni tematiche (colori, materiali, degrado) attraverso il supporto di tecnologie 3D, di tipo laser o fotogrammetriche di prossimità. I sistemi misurano da terra, sono trasportati su veicoli stradali o

piccoli aeromobili a pilotaggio remoto di ultima generazione. Una fase di acquisizione del dato così evoluta consente di semplificare significativamente il processo di rilievo, incrementando da un lato la produttività generale e dall'altro la completezza dei sottoprodotti metrici di interesse, vettoriali e raster (prospetti, viste assonometriche e ortografiche, sezioni orizzontali e verticali, carte tematiche dei materiali e del degrado), estraibili dal modello 3D.

L'articolo affronta il tema del rilievo multi-scala del territorio urbano attraverso un'applicazione sul centro storico dell'abitato di San Pellegrino Terme; vengono utilizzate tecniche avanzate di laser-scanning, di notevole impegno per l'estensione e per il grado di dettaglio richiesti, con

lo sguardo attento alle qualità dei manufatti architettonici e alla loro storia. Il tutto viene poi analizzato tramite la creazione di percorsi immersivi e navigabili di lettura e indagine nel modello virtuale ricostruito.

Ne emerge il forte sviluppo ini-

Fig. 2 - Bracket di ancoraggio del ricevitore satellitare sopra lo scanner.



ziale di questo insediamento, pensato per lo svago e il benessere, seguito da un progressivo decadimento che solo nuove idee e un rinnovato amore per il luogo potranno arrestare.

### Standard per la costruzione di modelli urbani

La costruzione e la gestione di modelli virtuali 3D dell'ambiente urbano (city modeling) sono oggi regolamentate dall'Open Geospatial Consortium (OGC) attraverso lo standard CityGML. Questi modelli, in genere multi-scala, trovano applicazioni territoriali che spaziano, per esempio, dalla simulazione del paesaggio alla pianificazione urbana, dalla gestione di eventi calamitosi alla verifica della sicurezza territoriale.

La modellazione presuppone la discretizzazione di specifiche entità geometriche selezionate sulla base di un predefinito livello di dettaglio (LoD), scelto fra cinque caratterizzati da una ricchezza di documentazione crescente in relazione sia della geometria degli oggetti sia dei loro contenuti tematici.

Il modello può comprendere rappresentazioni multiple di ciascun oggetto, con attribuzione di texture per aumentarne il realismo.

I livelli introdotti variano dalla semplice rappresentazione 2,5D, corrispondente al LoD0, fino alla modellazione 3D, arricchita anche dagli interni del livello di dettaglio LoD4. In particolare, i caratteri distintivi risultano i seguenti, ben noti:

- LoD0 (si tratta di un modello 2.5D, in cui è presente una descrizione planimetrica più l'annotazione delle quote);
- LoD1 (fa riferimento a un modello solido senza coperture);



Fig. 3 - Organizzazione del rilievo multi-scala sull'abitato di S. Pellegrino.

- LoD2 (corrisponde a un modello solido con coperture e texture);
- LoD3 (si tratta di un modello architettonico con particolari costruttivi);
- LoD4 (riguarda un modello che comprende gli interni e la navigabilità virtuale).

Sulla base del livello di dettaglio selezionato, viene stabilita una metodologia di rilievo, le tecnologie di supporto e i dati da acquisire, anche in riferimento alle finalità di impiego del modello spaziale.

### Rilevamento per scansione laser terrestre e per immagini

L'acquisizione con queste tecnologie fornisce una sequenza di *nuvole dense* di punti oggetto referenziabili in un sistema di riferimento assegnato.

Tale operazione può essere effettuata nel caso della scansione laser sia in modalità *indiretta*, tramite punti di controllo (GCP) pre-segnalizzati sull'oggetto o coincidenti con particolari naturali, sia *diretta*, utilizzando un sistema di posizionamento e orientamento satellitare (GNSS), associato al sensore di rilevamento laser.

Il sistema di posizionamento satellitare utilizza dati di correzione (misure di codice o fase) per la localizzazione differenziale del sensore di rilevamento: precisione XYZ di tipo centimetrico (s.q.m. al 95%), sia in modalità interattiva RTK sia in post-processamento PPK.

Le correzioni di posizione vengono trasmesse via Internet da una delle reti di stazioni permanenti attive sul territorio: per esempio, in questa applicazione, dalla rete italiana NetGeo di Topcon.

Risulta pertanto in gran parte superato l'impiego di punti di controllo o di particolari naturali comuni per l'aggregazione spaziale delle nuvole di punti, nonché per la loro geo-referenziazione in un sistema di riferimento univoco. Il procedimento *diretto*, cioè senza utilizzo di particolari per la connessione, è particolarmente conveniente in applicazioni territoriali con aree estese (che richiedono parecchie scansioni) quando sia necessario un livello di dettaglio corrispondente o inferiore al LoD2 (in analogia con le scale al 200 o inferiori) e precisioni di qualche centimetro nella posizione dei punti oggetto sul modello.

È evidente che laddove la ricezione del segnale satellitare non risulti garantita si dovrà procedere in modalità *indiretta* o *mista*. In ogni caso, è utile collocare sul modello alcuni punti di controllo (CP = Check Points), misurando topograficamente la loro posizione, così da permettere la valutazione dell'accuratezza spaziale (RMS al 95%) raggiunta nella ricostruzione.

La figura 1 mostra lo schema operativo adottato per l'acquisizione geo-referenziata (*diretta*) dei punti oggetto: sono utilizzati un sensore laser (Faro) e due ricevitori satellitari (Topcon), montati con un apposito raccordo rispettivamente sopra lo scanner (fig. 2) e su un punto di orientamento (insieme ad una mira); entrambi i ricevitori, che operano in modalità statico-rapida, sono connessi telematicamente ad una rete di correzioni satellitari (NetGeo) per il loro posizionamento RTK nel sistema di riferimento nazionale (ETRF 2000).

Questo accorgimento operativo, ripetuto due volte con diverse costellazioni satellitari, consente altresì la costruzione di una pseudo-rete satellitare che fa da inquadramento geodetico spazia-

le al set di scansioni registrate, con accuratezze poco più che centimetriche. La figura 3 mostra l'organizzazione dei livelli di dettaglio progettati per l'intervento multi-scala sull'abitato di S. Pellegrino Terme.

Le scansioni effettuate durante la campagna di rilevamento sono state complessivamente 200, con la risoluzione spaziale media riportata in figura 4. La consistenza informatica è risultata di circa 26 GB (Fig. 5). L'applicazione sull'abitato di S. Pellegrino Terme è stata progettata con l'obiettivo di documentare il territorio e di costruire percorsi di lettura metrica e analisi dei caratteri del Liberty e dell'Art Nouveau presenti negli edifici dell'abitato.

San Pellegrino Terme è un centro turistico, un tempo assai alla moda nel mondo della borghesia imprenditoriale milanese, situato lungo la Valle del Brembo a nord della città di Bergamo. Famoso da sempre per le sue acque curative, spicca nel panorama territoriale locale per il fascino indiscusso delle sue architetture e l'eleganza dell'ambiente urbano.

Tra i gioielli artistici presenti

IMPOSTAZIONE RISOLUZIONE RILIEVO		
Distanza strumentale	Interno	Esterno
10m	12mm	6mm
50m	60mm	30mm
100m	x	60mm
300m	x	180mm

Distanza tra punti contigui rilevati

ELABORAZIONE DATI	
<input checked="" type="radio"/>	Registrazione delle scansioni
<input type="radio"/>	Registrazione diretta (Georeferenziazione GNSS)
<input type="radio"/>	Registrazione indiretta (Metodo Cloud to Cloud)
<input checked="" type="radio"/>	ScanManager - Precisione collegamento tra scansioni

Fig. 4 - Risoluzione spaziale media delle scansioni.

emerge il Casinò Municipale (con le due torri) che richiama quello di Montecarlo, realizzato tra il 1904 e il 1906 e riportato recentemente agli antichi splendori, e l'imponente Grand Hotel del 1904 che fronteggia, con il suo prospetto ricco di decori, la riva sinistra del fiume Brembo. Si tratta, in questo caso, di un edificio cupolato di sette piani, lungo 128 metri e con 250 stanze arredate sfarzosamente, che è collegato al Casinò e alle Terme, posti sulla sponda destra del fiume, dal bel ponte Principe Umberto I.

Oltre a queste costruzioni, sono opere pregevoli anche il palazzo del municipio, la funicolare che sale alla fonte, gli edifici delle terme, alcune ville e alberghi, la stazione della vecchia ferrovia, tutte edificate agli inizi del secolo scorso durante gli anni della Belle Époque.

Gli elementi costruttivi presentano forti richiami allo stile floreale (noto anche come Liberty), che si sviluppò in Europa, come superamento delle regole neoclassiche ed espressione dell'Art Nouveau, dalla fine dell'Ottocento allo scoppio della Prima Guerra Mondiale; lo stile va famoso per i suoi decori: gli



Fig. 5 - Sequenze operative del processo di rilevamento.



stucchi su porte e finestre, i fregi, le volute e le spirali, le vetrate dipinte e le rifiniture in ferro battuto.

Al fine di poter registrare anche questi caratteri tipologici del costruito, l'intervento di rilievo è stato eseguito, come indicato, su più livelli di dettaglio, che spaziano dallo zero al quattro e corrispondono alle scale 1:1000-1:200, 1:100 e 1:50. Si è utilizzato un laser scanner Faro Focus X330, con foto-camera RGB incorporata, caratterizzato da una lunga portata (circa 350 metri) e dunque particolarmente efficace per il rilievo di esterni e di spazi territoriali. Con questa tecnologia diviene possibile altresì una riduzione significativa delle stazioni necessarie per l'acquisizione delle informazioni, potendo spaziare agevolmente fra dettagli costruttivi distribuiti trasversalmente alla stretta valle del Brembo.

### Percorsi virtuali nel Liberty

L'abitato di San Pellegrino Terme si sviluppa prevalentemente lungo il fiume Brembo, secondo un asse geometrico che va all'incirca da Sud a Nord (Fig. 6).

Tuttavia, causa l'avvento della Belle Époque e il rapido sviluppo dell'insediamento a cavallo tra Ottocento e Novecento, i dettami urbani originari verranno presto superati dalle stravaganze del Liberty.

Infatti, nel periodo d'oro di San Pellegrino Terme, il mezzo più efficace e d'avanguardia per raggiungere la cittadina termale era rappresentato dalla linea ferroviaria. Questo assunto, stravolgendo la tipica prospettiva valliva, comportò l'ideale traslazione verso est dell'asse urbano, considerando la Stazione FVB come porta d'accesso privilegiata del turismo borghese alla "Ville d'Eau".

Il viaggiatore tipo, sceso dalle



Fig. 6 - Vista 3D del modello di punti, con il Brembo e il Grand Hotel.

carrozze del treno all'ombra della pensilina lignea e superate le porte della stazione, si trovava di fronte una sorta di "frontiera" tra il mondo reale di provenienza e quello dorato di San Pellegrino Terme (fig. 7).

In Piazza Granelli (la piazza della Stazione), lo sguardo del viaggiatore veniva attratto dalla mole gigantesca del Grand Hotel,

contenitore di lussi e ozio, di nobiltà e alta borghesia.

A questo punto, il visitatore attento poteva riconoscere il filo conduttore del percorso Liberty: una serie di piloni decorativi in cemento, ideati dall'arch.

Cavallazzi e ornati con volute ed elementi curvilinei in ferro battuto raffiguranti lo stemma comunale, regolava il flusso dei



Fig. 7 - La stazione della ferrovia Val Brembana.

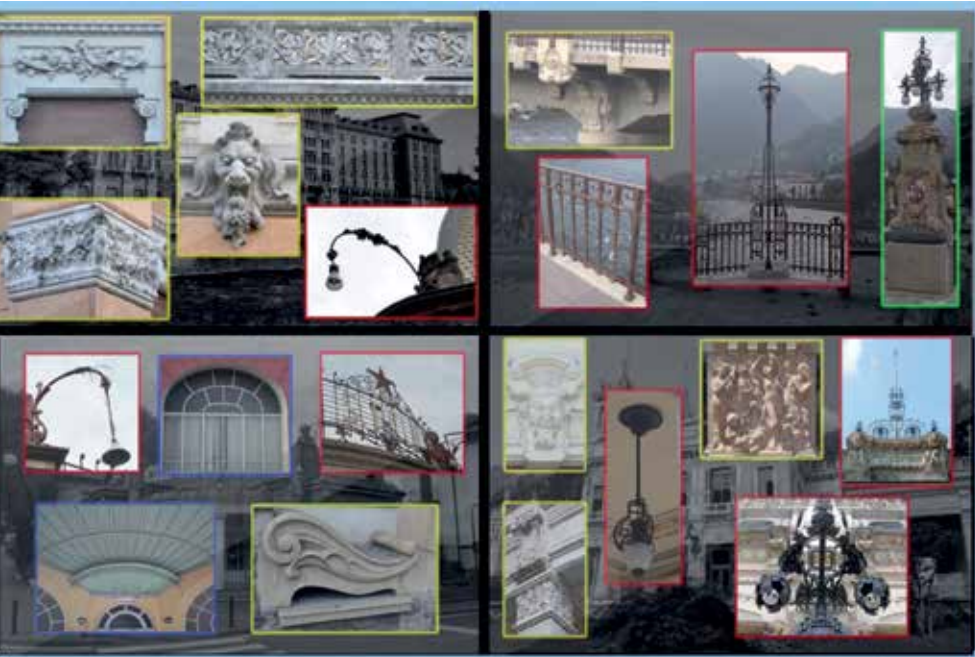


Fig. 8 - Esempi di elementi e decori Liberty degli edifici di S. Pellegrino Terme.

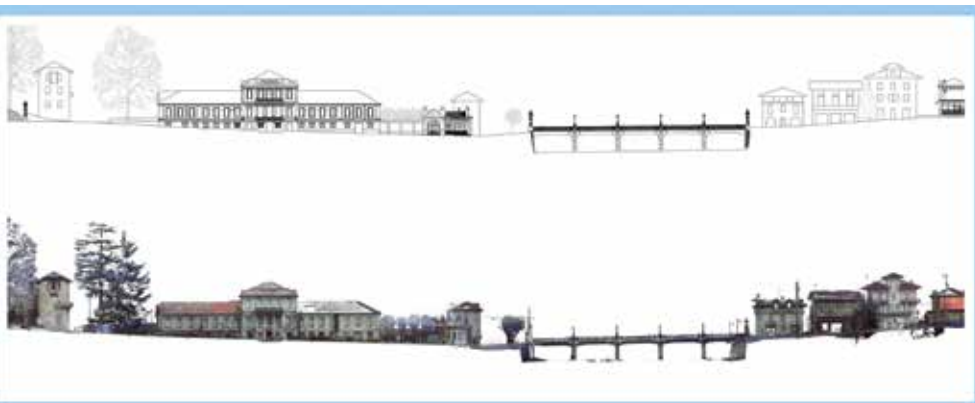


Fig. 9 - Sezione trasversale al corso del fiume Brembo (restituzione vettoriale e ortofoto).



Fig. 10 - L'edificio delle Terme (restituzione vettoriale e ortofoto).

turisti e contrassegnava la passeggiata verso i luoghi più belli della cittadina termale (fig. 8)

Due coppie di pilastri, poste agli ingressi del Grand Hotel, preannunciano (ancora oggi) l'inizio di questo percorso che segue uno sviluppo Est-Ovest lungo il Ponte Umberto I, con due altri ordini di pilastri posti all'inizio e alla fine della struttura (fig. 9). Il viaggiatore è così irrimediabilmente guidato verso Ovest, con lo sguardo rivolto alle svettanti torri del Casinò.

La facciata rettilinea dello Stabilimento termale (fig. 10) accompagna il visitatore con colonne, lesene, volute e capitelli verso il rigoglioso parco secolare dell'Hotel Terme, che si adagia perfettamente al pendio dietro un'altra coppia di piloni del Cavallazzi.

Continuando il percorso naturale, si arriva infine al cospetto dell'esempio più sfarzoso del Liberty locale, il Grand Kursaal, cioè il Casinò (fig. 11).

Ma non tutti i visitatori possono concedersi al gioco d'azzardo; decisamente più salutare risulta dunque un soggiorno in altura negli agresti panorami della Vetta, condotti dalla Funicolare San Pellegrino - Kulm, che risale il fianco della montagna ed è ora in fase di ristrutturazione (fig.12).

Più sotto, si apre il lungo Brembo, che presenta gli alberghi, i bar e i ristoranti del passeggio turistico che contraddistingue questa riva del fiume, opposta a quella del Grand Hotel. Il viaggiatore, ormai rapito da queste atmosfere, si può immergere nel relax della città, nel suo sfarzo, nella spensieratezza dei tanti ambienti che San Pellegrino Terme offriva e offre ancora oggi.





Fig. 11 - Il Casinò descritto dalle nuvole di punti.



Fig. 12 - La funicolare.

### Il percorso virtuale

La creazione di un percorso virtuale di analisi lungo l'asse Liberty di San Pellegrino Terme è stata realizzata attraverso una campagna di misure effettuata con laser scanner 3D panoramico: questo ha condotto alla costruzione di un modello generale di punti, colorato e georeferenziato, in grado di fornire una documentazione misurabile e consultabile per molteplici usi. Il percorso nel Liberty si sviluppa fra *viewpoint* (cioè *punti di interesse*), scelti come stazioni per scansioni laser in grado di fornire una lettura immersiva della città e delle sue architetture. L'applicazione proposta sfrutta le potenzialità del software Faro Scene, grazie anche all'utilizzo

del plug-in VideoPro adatto alla gestione di navigazioni interattive 3D che intersecano tutti o alcuni viewpoint del modello, a seconda delle impostazioni selezionate dall'utente. La modalità di visualizzazione dinamica sul terreno è integrabile con viste virtuali dall'alto, generate dal modello di punti per cogliere l'effettiva tridimensionalità dell'urbanizzazione.

In corrispondenza dei punti d'interesse, sono possibili anche forme di consultazione statica delle elaborazioni geometriche e tematiche inerenti ai singoli oggetti architettonici.

I limiti dell'applicazione sono attualmente ritrovabili nella cospicua mole di dati che il processore deve elaborare per il caricamento delle scansioni del modello. Infatti, se si vuole realizzare un percorso virtuale all'interno del modello è necessario disporre dei dati di tutte le 200 scansioni effettuate, il che porta irrimediabilmente ad un surplus di memoria RAM non sempre sostenibile agevolmente da un PC.

### Misurabilità con Scene WebShare Cloud

Molto significativa risulta anche l'applicazione WebShare, utilizzabile su un server anche privato, che offre funzionalità interessanti sia perché abilita la presentazione dell'intero repertorio delle stazioni inerenti alla scansione laser (con le scansioni in vista panoramica geo-referenziata) sia perché permette operazioni di misura lineare, areale e volumetrica (sulle immagini sferiche corrispondenti) nonché eventuali collegamenti ipertestuali (fig. 13). WebShare permette una più flessibile lettura e gestione del territorio rilevato e delle sue antropizzazioni.

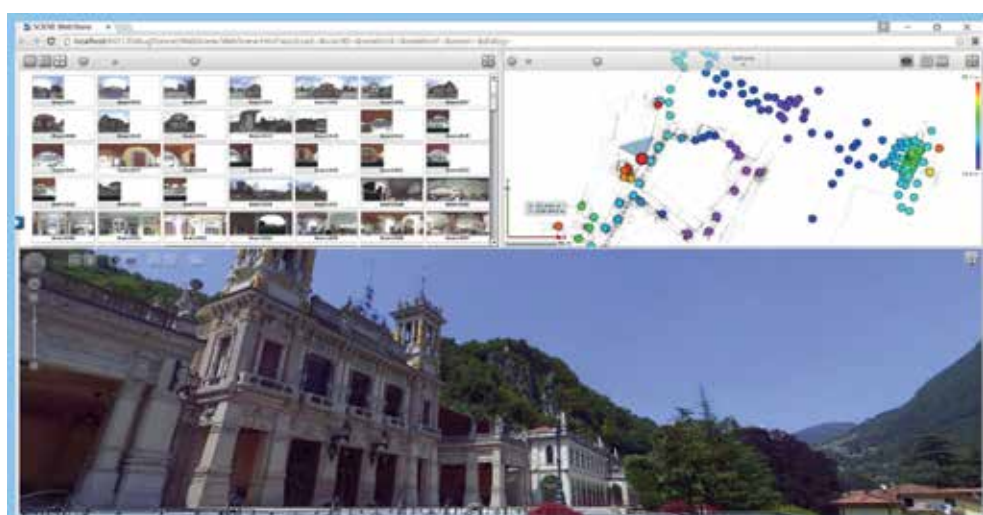


Fig.13 - Vista di Scene WebShare con l'immagine sferica scelta e il set di quelle disponibili.



### Considerazioni finali

L'esperienza sviluppata ha messo in luce le grandi potenzialità che la scansione laser terrestre può offrire per la documentazione e l'analisi multi-scala del territorio urbano, soprattutto quando il sensore sappia garantire portate elevate, come il nuovo scanner Focus X330. Tutto questo, anche a seguito dell'evoluzione raggiunta nella fase di acquisizione, contraddistinta sempre più da automazione e rapidità, semplicità d'uso e crescente affidabilità.

Il processo di scansione si avvale in modo massivo del contributo del software che occupa un ruolo centrale sia ai fini del collegamento delle nuvole di punti sia per la realizzazione di elaborati tecnici misurabili (raster-vettoriali). La texturizzazione fotografica e materica è attualmente meglio integrata con la geometria acquisita, grazie alla registrazione *diretta* di nuvole di punti *colorati* da parte degli scanner più recenti e a una più efficace classificazione dell'energia di ritorno a scopi tematici. Le criticità maggiori riguardano invece l'utilizzo professionale del dato 3D e l'estrazione da esso di elaborati grafici bidimensionali di tipo vettoriale,

per i quali l'intervento manuale in affiancamento ai software di modellazione CAD, generici o più dedicati all'applicazione, rappresenta un aspetto essenziale per la qualità del prodotto finale. La mole ridondante dei dati memorizzati rende poi pesanti le operazioni da effettuare sul modello, cosa questa che neppure i processori di ultima generazione hanno saputo risolvere concretamente. Si deve, infine, sottolineare come, soprattutto in aree fortemente antropizzate, la geo-referenziazione diretta acquisti un ruolo significativo: il fatto di poter utilizzare sensori satellitari RTK per il collegamento (diretto e automatico) delle nuvole, rappresenta un valore aggiunto del processo di rilevamento territoriale (seppure più oneroso) ed appare sicuramente consigliabile dove possibile.

### Ringraziamenti

Si ringraziano Lorenzo Filippini e Riccardo Begnis, che su questa esperienza hanno sviluppato brillantemente la loro tesi di laurea magistrale in Ingegneria Edile, e l'Ing. Giorgio Ubbiali di DMStrumenti per il supporto tecnologico durante la campagna di misure.

### BIBLIOGRAFIA

- P.J. Besl, N.D. McKay, *A method for registration of 3-D shapes*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 14(2), 239-256 (1992)
- C. Brenner, C. Dold, N. Ripperda, *Coarse orientation of terrestrial laser scans in urban environments*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 63(1), 4-18 (2008)
- C. Streacha, P. Fua, L. Van Gool, *A generative model for true orthorectification*, in ISPRS International Congress Symposium, Beijing, 2008
- M. Doneus, M. Pfennigbauer, N. Studnicka, A. Ullrich, *Terrestrial waveform laser scanning for documentation of cultural heritage*, in XXIIth CIPA Symposium, Kyoto Japan, 2009
- G.V. Vosselman, H. G. Maas, *Airborne and terrestrial laser scanning*. Whittles Publishing, Caithness, Scotland, 2010
- J. Chow, D.D. Litchi, W.F. Teskey, *Accuracy assessment of the Faro Phocus 3D and Leica HDS 6100 panoramic-type terrestrial laser scanners through point-based and plane-based user self-calibration*, in FIG Working Week, Rome, 1-15 (2012)
- J. Yang, H. Li, Y. Jia, *Go-ICP: solving 3D registration efficiently and globally optimally*, in IEEE International Conference on Computer Vision, 1457-1464 (2013)
- L. Colombo, B. Marana, *Terrestrial laser scanning for urban survey: a test-case over the Dalmine company-town*, Territorio Italia 2, 57-69 (2014)
- L. Colombo, B. Marana, *Terrestrial multi-sensor survey: field experiences and remarks*, Geomedia - Intergeo Special Issue 3, 20-23 (2014)
- L. Colombo, B. Marana, *Terrestrial multi-sensor survey*, GeoInformatics 18(3), 18-21 (2015)

### PAROLE CHIAVE

GNSS-RTK; NETGEO; LASER SCANNER; RILIEVO URBANO

### ABSTRACT

The paper develops the topics for the metric documentation of urban environments and buildings through an experimental test regarding the thermal city of S. Pellegrino Terme, famous for its Art Nouveau characters. The performed process of terrestrial laser survey, with a direct GNSS-RTK geo-referencing via a Reference Station Network, and the correspondent construction of a multi-scale photo-textured model of the site are described in detail.

### AUTORE

LUIGI COLOMBO, [LUIGI.COLOMBO@UNIBG.IT](mailto:LUIGI.COLOMBO@UNIBG.IT)  
UNIVERSITÀ DI BERGAMO - DISA - GEOMATICA  
DALMINE (BG)







Caruccio Climazzini

## Abbiamo dato ai dati un volto umano.

Da sempre ci occupiamo di dati, progettando soluzioni che rendano più semplice e immediato l'impiego delle informazioni da parte dei nostri utenti, permettendo loro di agire in modo consapevole e tempestivo. In ogni attività coinvolgiamo nei processi di innovazione i nostri clienti, siano essi funzionari pubblici, ricercatori, grandi industrie, imprenditori o singoli cittadini. Generiamo conoscenza declinando le nostre strategie sulle reali esperienze delle persone, cercando il punto d'incontro tra bisogni degli utenti, capacità tecnologiche e sostenibilità economica, sociale e ambientale. Operiamo nei più svariati ambiti applicativi: dalle missioni scientifiche di esplorazione dello spazio al monitoraggio dell'ambiente e territorio, dalle soluzioni di open-government alle smart city, sforzandoci di semplificare quel che è complesso, per perseguire un modello di sviluppo a misura d'uomo.

The logo for Planetek Italia features a series of red squares of varying sizes arranged in a pattern above the word "planetek" in a dark blue, lowercase, sans-serif font. Below "planetek" is the word "italia" in a smaller, red, lowercase, sans-serif font.

planetek  
italia

[www.planetek.it](http://www.planetek.it)