

Monitoraggio del costruito con tecnologie a scansione

DI LUIGI COLOMBO

Le problematiche di controllo e gestione del territorio comprendono a pieno il controllo e il monitoraggio dei manufatti, che del territorio rappresentano la parte più delicata e vulnerabile, sia per la presenza delle persone, ma anche per gli aspetti che caratterizzano la storia e l'architettura di un luogo.

La sicurezza, il controllo e la manutenzione programmata sono il motivo principe su cui bisognerebbe muoversi, anche e soprattutto oggi in funzione delle nuove regole che da più parti si vanno concordando. Dal fascicolo del fabbricato alla rete dei luoghi sicuri della protezione civile, la diverse istanze possono essere ben supportate dalle nuove tecnologie che ci facilitano non poco il compito di una informazione sempre aggiornata sullo stato di salute del costruito.

Lo stato di rischio nelle costruzioni

Il patrimonio relativo al settore dell'ingegneria civile è assai rilevante: l'importanza delle opere (edifici antichi e moderni, manufatti di collegamento e di contenimento, viadotti, ecc.) ed il loro significato, spesso storico, originato dall'età, dalla complessità, dalle dimensioni e dal contesto ambientale in cui sono collocate.

Questi aspetti rappresentano possibili cause di pericolosità, sia ordinariamente che nell'emergenza, e vanno pertanto monitorati nel tempo attraverso un'adeguata diagnostica.

Una problematica analoga riguarda sostanzialmente le situazioni di rischio relative ad elementi naturali del territorio come lo stato fessurativo -conseguente al degrado- di pareti in roccia, i fenomeni dinamici in atto su versanti in frana, l'erosione delle coste per l'azione marina.

Si avverte oggi, a causa della maggiore complessità del territorio, l'esigenza di una conoscenza più generale e approfondita delle opere, soprattutto quando esse siano sottoposte ad interventi di ampliamento, consolidamento, modifica ed adeguamento, insieme con la necessità di poterne verificare in ogni momento il livello di *sicurezza*; questo, con riferimento anche alla ricorrente problematica della difesa dal rischio sismico di strutture con interesse strategico per la protezione civile e di quelle che assumono particolare rilevanza per le conseguenze territoriali di un loro eventuale collasso.

Una recente ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (n. 3274, in G.U. n. 252 del 29.10.03), fornisce nuove indicazioni proprio in materia di "...criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

La regione Lombardia ha pure avviato un progetto pilota per la valutazione del rischio in edifici di interesse storico-architettonico [1], nel quale la classificazione prende in esame sostanzialmente due indicatori numerici di lettura e confronto:

- un indicatore di *vulnerabilità*, che caratterizza lo stato di conservazione degli elementi tipologici e tiene conto della natura, gravità e diffusione di eventuali danneggiamenti (strutturali, materici, ...);
- un indicatore di *pericolosità*, che denota invece la dipendenza dell'edificio dall'accadimento di fenomeni calamitosi territoriali (esondazioni, frane, eventi sismici, ...).

La determinazione corretta di questi parametri, non può originare soltanto un'analisi dei dati di impianto dell'opera (progetto), ma deve contemplare anche una fase di rilevamento e sondaggio geognostico per monitorare lo stato di conservazione attuale dell'edificio.

Nella direzione utile, per consentire verifiche automatizzate di questo tipo, si muovono da qualche tempo nuove procedure di indagine (*le tecniche a scansione*) che consentono di acquisire molto velocemente la conoscenza di un oggetto sotto l'aspetto geometrico-statico; questa operazione costituiva in precedenza un problema, a causa del carattere spesso distruttivo di alcune tecniche convenzionali di indagine. I dispositivi di *sensing a scansione* rappresentano invece tecnologie attive senza contatto e non invasive, che abbinano la risposta di dispositivi *laser* e/o *geo-radar* a complessi software per l'analisi tridimensionale e la rappresentazione spaziale del dato acquisito.

Diviene così possibile esplorare e documentare sia le superfici di un'opera, determinando in tempo reale possibili situazioni di pericolo (mancati allineamenti e/o parallelismi, condizioni di non verticalità e orizzontalità), sia le parti interne, "inaccessibili", che più caratterizzano la risposta statica della struttura (spessori collaboranti di murature e di strati rocciosi, morfologia dei corpi di fondazione, macro e microfratture, presenza di vuoti e di armature di rinforzo, degradi profondi dei materiali, ecc.).

Le informazioni raccolte permettono di costruire un modello spaziale di tipo CAD, geometrico e materico, utile per docu-

mentare lo stato conservativo di un elemento dell'opera (Sistema Informativo associato a un Manufatto o all'intero Edificio) e per sviluppare simulazioni spaziali o procedimenti di verifica strutturale (Elementi Finiti, ...).

L'esigenza crescente di controllare, già nella fase di costruzione, la qualità geometrica e statica di un'opera rispetto a standard assegnati (per esempio, la correttezza dell'assemblaggio degli elementi in una struttura prefabbricata) può trovare valida risposta in queste tecnologie sempre più compatte nell'hardware, affidabili nel software e interessanti nel costo.

Si illustrano di seguito sinteticamente le principali caratteristiche operative delle tecnologie di Laser Scanning e Geo-Radar.

La tecnologia Laser Scanning

Il procedimento di *laser scanning* utilizza una tecnologia di buona trasportabilità basata sulla misura del tempo di percorrenza degli impulsi luminosi o su misure di fase, operando nella banda del visibile o dell'infrarosso vicino (lunghezza d'onda = 0.5 - 0.9 micron); consente di archiviare rapidamente la conoscenza geometrica di un oggetto mediante la determinazione automatica di una nuvola spaziale di suoi punti (da 1000 fino a 500 000 per secondo, negli strumenti di ultima generazione).

I vantaggi rispetto alle tecniche tradizionali (rilievo topografico diretto, fotogrammetria terrestre) si possono riassumere sostanzialmente in:

- registrazione semi-automatica di un modello 3D, utile per la visualizzazione spaziale e la ricostruzione in caso di danneggiamento o distruzione;
- possibilità di interazione con gli oggetti, senza produrre effetti invasivi;
- visita interattiva di opere e realizzazione di una museografia virtuale, all'interno di Internet;
- buona precisione geometrica, completezza nei dettagli e possibilità di foto-realismo; inoltre, l'automazione e la rapidità del processo portano rispettivamente oggettività nella misura e tempi di ripresa assai contenuti. Per contro, il rapporto fra tempo di elaborazione e tempo di acquisizione del dato è alquanto elevato (fattore uguale a cinque), l'estrazione dei contorni di entità (disegno al tratto di facciate) non pienamente risolta e la precisione meno graduabile rispetto ai casi di impiego della topografia e della fotogrammetria.

Gli elementi principali di una scansione laser sono le range-images, che consistono in una griglia di punti spaziali con informazioni aggiuntive, quali l'intensità dell'energia (attiva) di ritorno e la riflettanza (passiva) alla luce naturale.

Questi dati tematici sono di notevole importanza sia per l'analisi materica dell'edificio, sia per la descrizione in forma realistica delle sue superfici; pertanto, la verifica della corretta calibrazione del sensore va garantita anche per l'aspetto radiometrico. L'informazione colore riveste inoltre un ruolo spesso essenziale nella fase di segmentazione ed estrazione semi-automatica (via software) dei contorni delle entità.



Fig. 1 - Laser scanner Riegl Z420, con fotocamera digitale aggregata.

Alcune caratteristiche delle pseudo-immagini fanno sì che esse assomiglino alquanto a immagini ortogonalizzate (ortofoto): l'utilizzatore può muoversi, infatti, con il mouse attraverso esse, visualizzando interattivamente la posizione cartesiana del cursore, nel sistema intrinseco dello strumento di misura, e le texture fotografiche associate.

Durante la fase di scansione, l'operatore mette in stazione lo strumento sul treppiede, poi definisce la risoluzione angolare e la zona di interesse: i valori massimi del campo orizzontale e verticale dello scanner dipendono strettamente dalla soluzione ottico-meccanica adottata dal costruttore (figg. 1, 2). Nessuna assistenza manuale risulta necessaria durante l'operazione di acquisizione, che è automaticamente realizzata grazie al supporto di servo-motori.

La risoluzione lineare dell'informazione acquisita sull'oggetto dipende dalla distanza media di scansione, dalle inclinazioni azimutale e zenitale del fascio laser, come pure dalla morfologia della superficie; la precisione nel posizionamento dei punti è funzione ancora della distanza, della dimensione dello spot laser e del numero di ripetizioni della scansione sulla stessa zona. La dimensione dello spot cresce con la portata, in base all'apertura strumentale dell'impulso luminoso: per esempio, se questa vale 0.25 mrad (scanner Riegl LMS-Z420) nell'intorno di 50 m, l'impronta del fascio (diametro) sopra una superficie è inferiore a 13 mm, mentre la risoluzione lineare massima è spesso di 2 mm e la precisione dei punti rilevati sempre superiore a 8-10 mm.

Proprio questi aspetti determinano la qualità metrica dell'acquisizione con laser scanner; inoltre una maggiore risoluzione lineare comporta migliori attribuzioni delle texture colore destinate al mapping del modello ricostruito. Il processo è generato per interpolazione di dati primari acquisiti da un sensore fotografico e, pertanto, il livello di dettaglio corrispondente dipende strettamente dalla risoluzione ottica di questo dispositivo.

L'operazione di misura può essere eseguita velocemente sia in luce diurna sia di notte, poiché le immagini "range" sono alquanto indipendenti dalle condizioni di luce; tuttavia, se al misuratore laser è connesso il sensore a colori RGB (per esempio, una camera digitale), diviene essenziale operare in condizioni di luminosità naturale, valutando correttamente le zone in ombra e gli effetti della riflessione della luce sulla leggibilità delle pareti; allo stesso modo, nel caso di rilievo di interni, è necessario gestire in modo adeguato l'impiego di sistemi per illuminazione artificiale diffusa.

La nuvola di punti, acquisita in questo modo, è caratterizzata da densità alquanto uniformi: questa condizione può risultare superflua nel caso di morfologie semplici o con andamento prossimo al piano; contemporaneamente, si verificano carenze nella descrizione dei dettagli più piccoli e in genere arrotondamenti nei contorni degli oggetti.



Fig. 2 - Il nuovo sistema laser scanner HDS 3000 di Leica Geosystems.

L'utilizzatore può superare questi inconvenienti tecnici, selezionando porzioni di superficie da rilevare, con geometrie omogenee, e definendo valori opportuni della distanza di acquisizione e della risoluzione angolare. In genere, confidando nella elevata velocità di acquisizione del processo, si sceglie la risoluzione lineare più alta su porzioni ampie di superficie, lasciando l'ottimizzazione del numero di punti, la loro decimazione e il filtraggio al software di post-processamento.

Con griglie dense, le linee di discontinuità delle superfici (breaklines) possono risultare non essenziali, almeno al primo livello della ricostruzione: l'intervallo fra i punti sull'oggetto, che determina il più piccolo particolare definibile, non deve comunque risultare superiore alla precisione richiesta per il modello complesso.

Si osserva inoltre che la tecnica di scansione non assicura informazioni ridondanti circa il posizionamento spaziale dei singoli punti: la sovra-determinazione è un parametro essenziale nelle operazioni di rilevamento, per consentire valutazioni sulla precisione raggiunta.

Ne segue che l'affidabilità nell'acquisizione di dati laser può essere garantita solo mediante scansioni ripetute della stessa zona [2, 3].

L'impiego di una piattaforma mobile, per sollevare lo scanner, migliora la qualità dell'acquisizione nel rilievo di superfici estese, complesse e irregolari; inoltre, è opportuno realizzare significativi ricoprimenti fra scansioni adiacenti per garantire la descrizione dell'oggetto in zone defilate e con occlusioni visive.

Così, si può ritenere utile procedere mediante una scansione principale, con asse ortogonale alla superficie media dell'oggetto, nonché con altre di assetto convergente, riprese da postazioni laterali, e ad asse obliquo, da postazioni superiori e inferiori; ciascuna scansione dovrebbe presentare deviazioni dalla direzione media della normale locale non superiori a 30°, considerato anche il settore angolare di ricezione dei target (fig. 3).

Scansioni aggiuntive possono, inoltre, documentare dettagli locali, senza alcuna limitazione per la distanza e l'assetto spaziale della ripresa.

Questo tipo di approccio è in buon accordo con le specifiche tecniche che caratterizzano l'applicazione non stereoscopica della fotogrammetria. Una densità di punti oggetto molto elevata consente all'utente di catturare i più piccoli particolari ma comporta tempi di acquisizione più lunghi, produce file di dimensione

maggior e richiede elevate prestazioni software; pertanto, è necessario prevedere un pesante lavoro di post-processamento dei dati grezzi per eliminare eventuali punti doppi, semplificare l'informazione nelle superfici a curvatura regolare, ridurre altre anomalie, filtrare il rumore (effetti di multipath del raggio laser, per esempio), eseguire trattamenti di regolarizzazione.

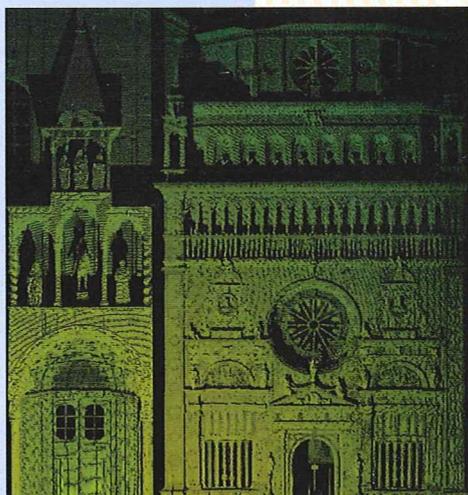


Fig. 4 - Un modello laser di punti.

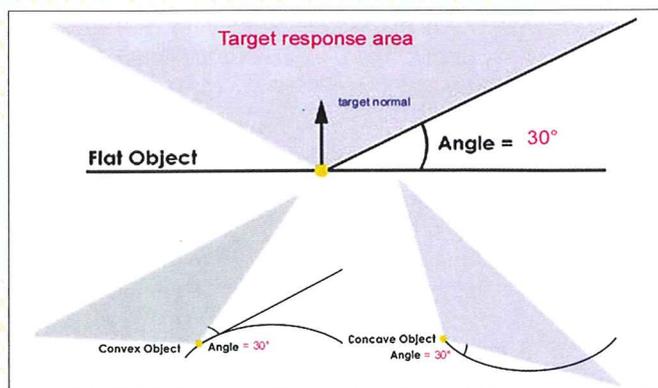


Fig. 3 - Relazione fra morfologie e settore di risposta dei target.

Alla fine, i punti disponibili e gli attributi di riflettanza associati sono archiviati; uno dei tanti programmi di trattamento consente di collegare le nuvole (fase di registrazione), mediante punti di legame o procedure di matching, generando un modello di punti, in formato.pts (fig. 4). Sono poi deducibili elaborati (automatici) di tipo vettoriale (.dwg), come profili e sezioni, ed estrazioni di contorni in forma semi-automatica [4, 5].

Interessante appare l'impiego degli algoritmi di matching, robusti a noise e outliers, per eseguire la connessione in automatico delle singole nuvole: si può così evitare l'impiego di punti, da presegnalizzare con target riflettenti (piani, cilindrici o sferici) su piani diversi della struttura e riprendere all'interno di più nuvole; la fascia di sovrapposizione è in genere pari al 30% e cresce comunque in modo inverso alla complessità delle morfologie.

Il modello di punti può essere poi convertito, con un procedimento di triangularizzazione (TIN) agli elementi finiti, in un modello di superfici nel formato.stl (fig. 5), su cui l'operatore può eseguire in modo semplice operazioni per l'analisi geometrica, lineare, areale, volumetrica.

La creazione delle mesh è ottimizzata sulla base della morfologia degli elementi geometrici: tecniche dette di adaptive meshing, correlate alla curvatura locale, sono applicate per ridurre il numero di punti e quindi di triangoli; così, diviene possibile adattare la superficie interpolata al dato di acquisizione (entro un assegnato livello di precisione) e gestire dinamicamente visualizzazioni intelligenti sulla base del livello di dettaglio richiesto (LoD = level of detail).

Nel processo di costruzione via software della TIN sono imposti vincoli geometrici ai contorni delle entità, per evitare perdite di dettaglio lungo le linee di discontinuità dell'oggetto; i laser scanner possono misurare, infatti, solo griglie di punti e non specifici punti di interesse (ma stazioni totali con funzione di scanning sono già sul mercato).

Un'operazione di regolarizzazione (smoothing), globale e locale, è sempre eseguita sul modello di superfici; inoltre, nelle aree in cui non sono state acquisite informazioni, a causa dell'occlusione prodotta da oggetti o dalla bassa riflettanza dei materiali (elementi metallici, ecc.), si possono applicare procedure automatiche di riempimento che generano localmente nuove maglie triangolari, estrapolandole dalle zone limitrofe.

Alla fine del processo, partendo dall'informazione fotografica registrata durante la fase di acquisizione, si effettua l'operazione di rendering che trasforma il modello di superfici in un modello texturizzato di Realtà Virtuale (formato.wrl), utilizzabile anche in Internet [8, 10].

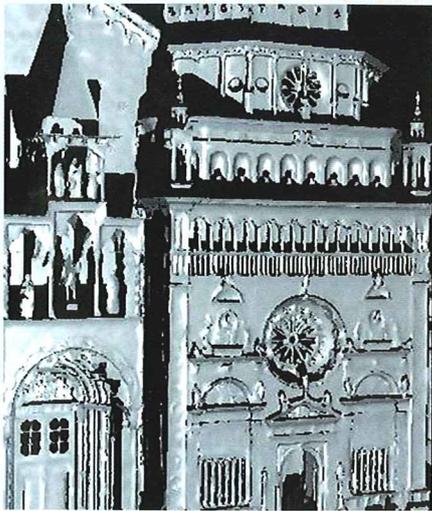


Fig. 5 - Un modello laser di superfici.

La tecnologia Geo-Radar

Il procedimento di radar scanning (*geo-radar*) contraddistingue una tecnologia trasportabile, di tipo geofisico, in grado di fornire sezioni stratigrafiche; è molto utilizzata all'estero (U.S.A. e Europa settentrionale), dove costituisce spesso una verifica di routine per elementi costruttivi e assai più episodicamente in Italia (indagini strutturali

sulla Basilica di S. Pietro a Roma, sul Duomo a Milano).

I sensori, detti G.P.R. (Ground Penetrating Radar), utilizzano onde elettromagnetiche (nelle frequenze fra 100 MHz e 1.5 GHz, corrispondenti a lunghezze d'onda fra 0.15 e 200 cm) per valutare le caratteristiche interne di un mezzo materiale.

Durante la fase di scansione di una struttura, l'unità di controllo della strumentazione genera, amplifica e invia con continuità attraverso l'antenna, che viene spostata sulla superficie dell'oggetto lungo una direzione prefissata (la sezione GPR), una serie di impulsi elettromagnetici di assegnata frequenza (fig. 6). Nel momento in cui le onde elettromagnetiche incontrano sul loro cammino discontinuità fisiche (per esempio, una superficie che separi materiali con diversa costante dielettrica relativa e quindi situazioni di anisotropia del mezzo), parte dell'energia incidente viene riflessa (eco) verso l'antenna, come impulsi secondari simili a quelli trasmessi, e memorizzata.

Sulla base del tempo di ricezione delle onde riflesse, della loro intensità e del valore stimato di alcune proprietà fisiche dei materiali interessati, diviene possibile registrare in forma di immagine la presenza di eventuali discontinuità della struttura; in questo senso acquista particolare importanza l'attenuazione

dell'intensità dell'impulso, che corrisponde alla sua diminuzione per unità di percorso all'interno del materiale attraversato: questo parametro è una funzione crescente della conducibilità elettrica, una caratteristica fisica dei materiali (quelli molto conduttivi producono una rapida attenuazione).

La profondità massima di introspezione raggiungibile dipende in modo inverso dal valore dell'attenuazione; tale profondità risulta scarsa o nulla per superfici metalliche, ac-

qua salina e argille (materiali che riflettono gran parte della radiazione incidente), è buona invece nel caso di rocce, ghiaia e sabbia.

Inoltre, al crescere della frequenza dell'impulso si può ottenere un aumento della risoluzione

(in altre parole della dimensione minima degli oggetti distinguibili) e usare antenne più piccole, leggere e maneggevoli, a scapito però di una riduzione della profondità di indagine [6]. In questo modo, filtrando il segnale delle riflessioni dal rumore, diviene possibile effettuare analisi ed esprimere valutazioni sulle caratteristiche dei materiali attraversati.

Specifici oggetti, presenti all'interno della struttura con sviluppo pressoché normale alla direzione di scansione, producono sull'immagine radar caratteristiche forme iperboliche, dovute alla particolare modalità di acquisizione del sensore.

Questo origina dal fatto che la geometria di emissione è di tipo conico; quando l'antenna si sposta sopra un bersaglio trasversale di dimensioni ridotte, la distanza di ricezione diminuisce progressivamente fino ad un minimo e torna poi a crescere: l'oggetto individuato viene registrato ripetutamente dallo strumento e produce sull'immagine una forma anomala ad *U rovesciata*, al cui vertice superiore corrisponde l'effettiva localizzazione (fig. 7).

Al contrario, *oggetti ridotti* che hanno sviluppo parallelo alla sezione generano pattern con geometria pressoché orizzontale e quindi poco identificativa (fig. 8). Gli *oggetti più estesi* risentono invece meno dei fenomeni di trasmissione e sono pertanto registrati sulla sezione con forme prossime a quelle reali.

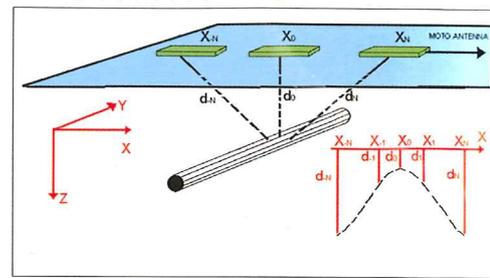


Fig. 7 - Modalità di acquisizione del sensore geo-radar (www.georadar.it).



Fig. 6 - Il geo-radar nel controllo di elementi costruttivi. (<http://georadar.ids-spa.it>)

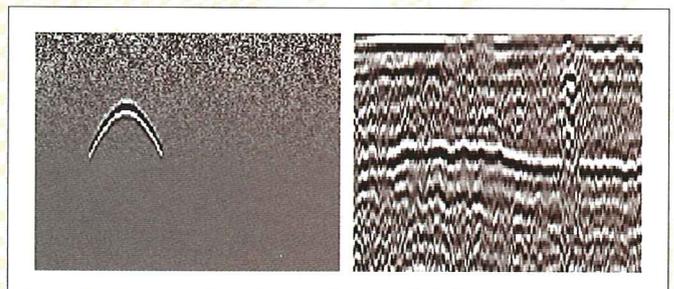


Fig. 8 - Radargramma di oggetti trasversali (a sinistra) e longitudinali (a destra). (www.boviar.com/georadar/la_tecnica_georadar.htm)

Ne consegue che, per una corretta ricerca delle informazioni è opportuno eseguire scansioni secondo direzioni ortogonali.

L'interpretazione delle sezioni radar (*radargrammi*) è operazione che richiede una certa esperienza; la corretta determinazione metrica delle posizioni associate alle discontinuità nella riflessione comporta inoltre la calibrazione preventiva del sistema su aree test.

Il risultato di una prospezione geo-radar consiste in un elaborato numerico 2D, contenente una sezione stratigrafica dell'oggetto che relaziona le posizioni note occupate dall'antenna (ascissa) con l'informazione desunta dal sondaggio (ordinata). La tabella 1 mette a confronto i settori di applicazione, le frequenze impiegate, le profondità possibili e la conseguente risoluzione [6, 7].

freq. antenna (Mhz)	max penetraz. in un mezzo di caratteristiche medie (m)	min risoluz. (m) nella direzione di penetrazione	settori di utilizzo
1500 - 900	0.5 - 1.0	0.05	indagini su elementi costruttivi (travi in c.a., solai, muraure, basamenti in roccia);
500	2.0	0.1	indagini su rivestimenti di gallerie;
300	4.0	0.2	ricerca cavità a profondità media;
100	10	0.5	ricerca di cavità profonde, stratigrafia di siti, strutture di fondazione.

Tab.1 - Caratteristiche della tecnica geo-radar

La tecnica geo-radar, come tutte le prospezioni geofisiche, presenta situazioni operative che ne limitano o impediscono l'utilizzo; per esempio, i suoli argillosi e quelli umidi, le strutture schermate da rivestimenti metallici o gli elementi costruttivi in metallo non si possono esplorare perché, essendo materiali conduttivi, le onde elettromagnetiche sono rapidamente attenuate al loro interno [9].

In ogni modo, l'applicabilità generale di questa tecnologia, la facilità di impiego, la semplicità operativa e i costi contenuti la rendono sicuramente superiore alle restanti procedure geofisiche di impiego corrente.

Questa prerogativa è potenziata dal fatto che i risultati dell'indagine possono essere verificati direttamente in sito, cosa che permette di abbreviare i tempi di indagine e di aggiornare interattivamente gli obiettivi programmati.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. REGIONE LOMBARDIA, 2003 - La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico - Guerini e Associati.
2. COLOMBO L., 2003 - Terrestrial laser imaging: a technique in progress - Geomatics World [11] (5): 20-24.
3. COLOMBO L., 2003 - Trattamento e rappresentazione di dati laser terrestri - Rivista dell'Agenzia del Territorio (2): 35-43.
4. DALLAS R., MORRIS A., 2002 - Laser scanning: the potential for historic buildings - Geomatics World [10] (3).
5. BARBER D., MILLS J., BRYAN P.G., 2002 - Experiences of laser scanning for close range structural recording - Proceedings of ISPRS Commission V - CIPA WG 6 - Corfu (Greece) 1-2 September 2002.
6. CALLONI G., GIUNTA G., 2000 - Ground Penetrating Radar applications on the façade of St. Peter's Basilica in Vatican - Proceedings of 15th World Conference on non-destructive testing - Rome (Italy) 15-21 October 2000.
7. DANIELS D.J., 1996 - Surface penetrating radar - Journal of Electronics & Communication Engineering (8), 165-182.
8. REMONDINO F., 2003 - From point cloud to surface: the modelling and visualization problem - International workshop on visualization and animation of reality-based 3D models - Tarasp-Vulpera (Switzerland) 24-28 February 2003.
9. SARRI, A., MANACORDA, G., MINIATI, M., 2002 - A novel GPR system for high resolution inspection of walls and structures - Proceedings of Ninth International Conference on Ground Penetrating Radar - Santa Barbara (California), 29 April - 2 May 2002.
10. SGRENZAROLI M., WOLFART E., 2002 - Accurate texture mapped 3D models for documentation, surveying and presentation purposes - Proceedings of ISPRS - Commission V - CIPA-WG 6 - Corfu (Greece) 1-2 September 2002.

Autore

PROF. LUIGI COLOMBO

University of Bergamo - Faculty of Engineering (Surveying - Geomatics Group)

Viale Marconi 5 - 24044 Dalmine (BG) - Italy - office: +39 (0)35 2052335 - fax: +39 (0)35 562779 - luigi.colombo@unibg.it

Soluzioni GPS e Mapping GIS

Trimble

CRISEL

Distributore nazionale ufficiale della divisione GIS e Mapping Trimble

CRISEL Srl
Clivo di Cinna, 196
00136 Roma
tel 06 35498681/35451927
fax 06 35498686
e-mail: info@crisel.it
web: http://www.crisel.it

GPS e Mapping GIS

Il DGPS Trimble senza limiti e senza costi grazie alla compatibilità EGNOS e con le soluzioni VRS per GPRS/GSM
L'unico palmare GPS con sistema operativo Windows CE...

... 0.5 Gb di memoria e 30 cm. di precisione

... molto più che un GPS!

