

Un diverso approccio al monitoraggio strutturale di opere a valenza storico/artistica o non direttamente accessibili e strumentabili

In questa breve memoria si vuole illustrare un diverso approccio al monitoraggio di edifici o opere che non permettono il posizionamento diretto di strumentazione per il loro pregio storico/artistico o per la complessità dello stato fessurativo o infine per le difficoltà di accedere direttamente all'opera. Tale approccio, combinando le potenzialità del laser scanner con quelle del rilievo topografico ad altissima precisione e della ripresa fotografica di dettaglio, permette la restituzione di un modello tridimensionale di cui è possibile valutare sia le variazioni geometriche che dello stato di conservazione dei materiali.

1. INTRODUZIONE

L'esempio di seguito illustrato rientra nella più ampia attività di monitoraggio di una serie di edifici interessati dai lavori per la realizzazione di interventi a difesa dalle acque alte nel territorio veneziano.

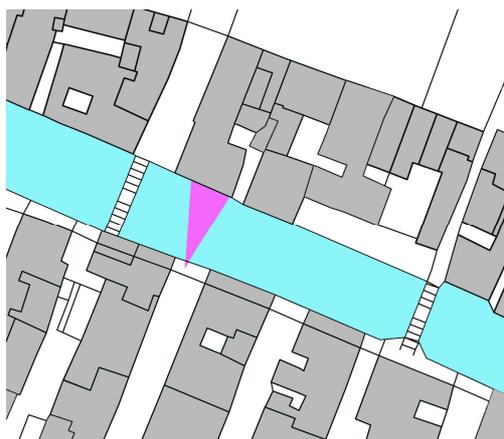


Fig.1. Planimetria con l'ubicazione del punto di stazione e la facciata rilevata dell'edificio in questione.

Tale attività ha richiesto l'installazione di due stazioni totali fisse automatizzate comandate da remoto che, a intervalli regolari, eseguono un giro di orizzonte effettuando per ogni punto di controllo la misura della posizione; tali punti sono stati materializzati con dei mini prismi fissati alle facciate degli edifici, disposti a coppie, per ogni spigolo, a quote differenti, in modo da poter controllare eventuali variazioni dell'inclinazione delle facciate. Tra i vari edifici, uno in particolare ha richiesto un'attenzione particolare in quanto presenta una vistosa lesione sulla facciata e non risulta visibile dalle due stazioni totali automatizzate. In via del tutto precauzionale si è ritenuto opportuno definire in modo dettagliato uno stato iniziale per verificare, nel caso se ne rendesse necessario, eventuali variazioni del suo stato di conservazione.



Fig.2. Vista dell'edificio monitorato dal punto di stazione e la Multistation adoperata per il rilievo.

2. METODOLOGIA D'INDAGINE

Data la semplicità della geometria offerta dalla facciata dell'edificio, il rilievo ha richiesto una ripresa effettuata da un unico punto di stazione situato sulla riva opposta del canale. Per la sua esecuzione è stata utilizzata la Multistation Nova MS50 della Leica, strumento che unisce le potenzialità del laser scanner con quelle di una stazione totale di altissima precisione, consentendo di acquisire in un unico flusso di lavoro rilievi di dettaglio, nuvole di punti e

riprese fotografiche (nella Tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche tecniche della Multistation).

Appoggiandosi a tre caposaldi di riferimento di coordinate note, identificati da tre mini prismi già presenti sugli edifici circostanti, sono state determinate, tramite intersezione all'indietro, le coordinate del punto di stazione in modo da poter inquadrare nello stesso sistema di riferimento un eventuale rilievo successivo senza la necessità, data la difficoltà dovuta al contesto caotico che spesso presentano le rive durante il giorno, di dover necessariamente rioccupare lo stesso punto. Una volta effettuato l'orientamento della stazione è stato eseguito preliminarmente un rilievo di dettaglio di alcuni punti omogeneamente sparsi facilmente riconoscibili e individuabili (senza l'ausilio di target tape), dopodiché ha avuto inizio la fase di acquisizione in modalità laser scanner. Per ogni singolo punto, oltre alle coordinate spaziali, è stata acquisita anche la *riflettività*, indice che dipende dalle caratteristiche del materiale (utile per valutarne lo stato di conservazione) e l'informazione sul colore (il dato RGB, se eseguita la ripresa fotografica del soggetto).

In dettaglio, è stata eseguita dapprima una scansione globale della facciata con risoluzione impostata a 1 cm su una superficie complessiva di circa 54 m², e successivamente, per un'area più ristretta, una scansione dettagliata, con risoluzione 1 mm, della predetta lesione.

Tabella 1. Principali caratteristiche dello strumento.

Misure angolari	
Precisione Hz e V	1'' (0.3 mgon)
Misure di distanza	
Prisma	1 mm ± 1.5 ppm
Qualsiasi superficie	2 mm ± 2.0 ppm
Scansione (Portata max / Rumore)	
Modalità 1000 Hz	300 m / 1.0 mm a 50 m
Imaging	
Fotocamera Grandangolare e Coassiale	Sensore 5MPixel CMOS

3. RISULTATI SPERIMENTALI

In fase di post-elaborazione è stato adoperato un apposito software dedicato alla gestione delle nuvole di punti con lo scopo di ottenere informazioni precise sulla geometria dell'edificio e sulla lesione, le cui fasi vengono qui di seguito brevemente illustrate.

A. Pulizia della nuvola di punti

In fase di acquisizione lo strumento registra indistintamente ogni punto che il raggio laser incontra, pertanto è opportuno prima di tutto eliminare i punti superflui che non contribuiscono alla definizione del modello tridimensionale dell'oggetto del rilievo.

B. Creazione delle mesh

Per la facciata dell'edificio è stata creata una mesh vincolata a dei contorni ben definiti contraddistinti dagli

spigoli e dai contorni delle finestre, sulla quale sono state eseguite delle sezioni verticali e orizzontali, ottenendo i profili rappresentati in Figura 4.

C. Creazione dell'ortofoto

L'immagine adoperata per l'ottenimento dell'ortofoto è stata scattata senza determinare la posizione del punto di presa, informazione che il software utilizzato provvede a ricavare indirettamente grazie ai punti di dettaglio rilevati e facilmente riconoscibili ed individuabili con precisione sulla foto. Una volta provveduto ad assegnare sulla mesh i punti omologhi presenti sulla foto, il programma provvede a proiettare l'immagine sulle singole maglie, ottenendo una ortofoto sulla quale è possibile eseguire delle misure o ricavare degli elaborati architettonici (Fig. 5).

D. Analisi della lesione

Il problema che si presenta in questo caso è quello di riuscire a riprodurre il più fedelmente possibile la geometria della lesione (contorni, grado di apertura, eventuale profondità), focalizzandone l'analisi su una porzione.



Fig.3. Particolare della lesione; nel cerchio in rosso la porzione analizzata.

Per riuscire a ricreare i contorni della porzione di lesione presa in esame, la mesh generata è stata sezionata mediante una serie di piani verticali ravvicinati con equidistanza pari a 1 mm, ottenendo un profilo plano-altimetrico della lesione le cui curve di livello rappresentano il grado di apertura della lesione all'aumentare della profondità all'interno della muratura (Fig. 7b). Per fornire invece una misura indicativa del grado di apertura della lesione è stata presa in considerazione la sezione rappresentativa più esterna riportandone i valori misurati in quattro punti (Fig. 7c-d). La

geometria del contorno è il dato sostanzialmente più interessante da comparare con quello ottenibile da un rilievo da eseguirsi in un momento successivo valutando eventuali variazioni dello stato fessurativo.

E. Stato di conservazione della facciata

Oltre alla posizione spaziale del punto, lo strumento fornisce per ogni singolo punto l'*indice di riflettività* (rapporto tra l'energia riflessa da una superficie e quella incidente) che può dipendere da diversi fattori quali il tipo di materiale, lo stato di degrado e la rugosità della superficie (se un fascio luminoso incide una superficie liscia si forma un raggio riflesso ben definito, mentre se incide una molto rugosa la luce viene riflessa più o meno in tutte le direzioni). L'informazione viene visualizzata attribuendo ai punti della nuvola una scala cromatica predefinita o impostata dall'utente fornendo inoltre la percentuale di punti che ricade all'interno di ogni classe di riflettività. Nella Fig. 6 è riportata la mappa di riflettività della facciata in scala cromatica continua.

4. CONCLUSIONI

In conclusione, questo approccio al monitoraggio offre i seguenti vantaggi:

- Consente di intervenire senza la necessità di strumentare l'opera;
- Permette il monitoraggio anche in condizioni di accessibilità al sito difficoltose;
- Eseguire il rilievo senza definire a priori quali criticità tenere sotto osservazione;
- Ottenere una informazione completa (e non puntuale) su eventuali variazioni della geometria;
- Se il controllo viene ripetuto con una certa frequenza, consente di anticipare l'instaurarsi di possibili situazioni di criticità.

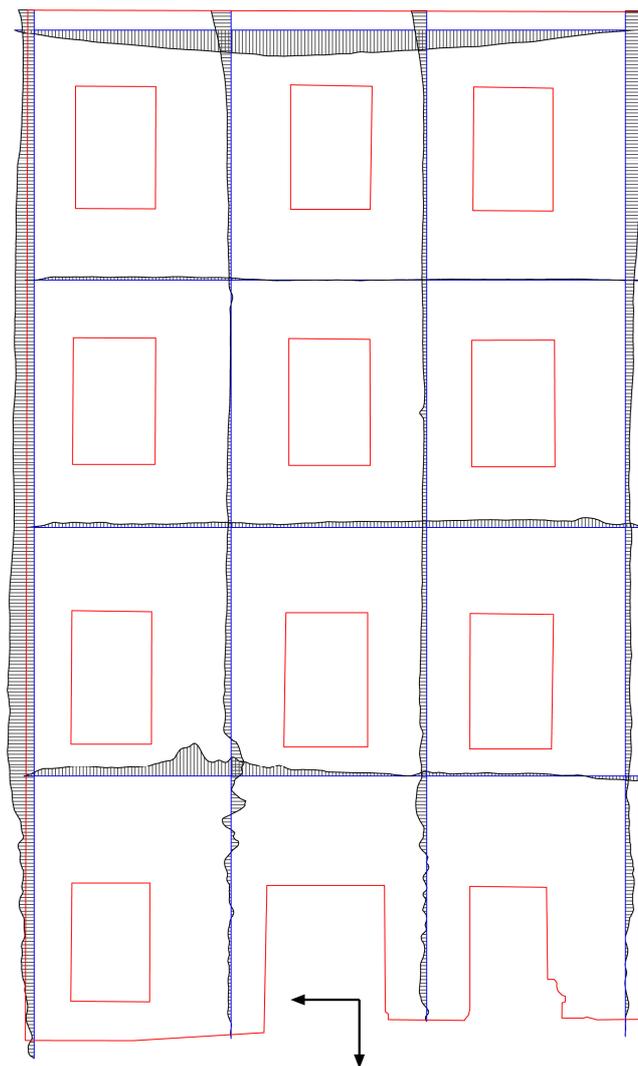
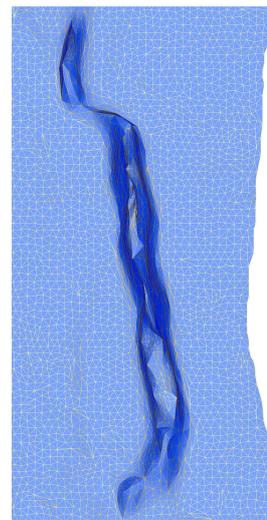


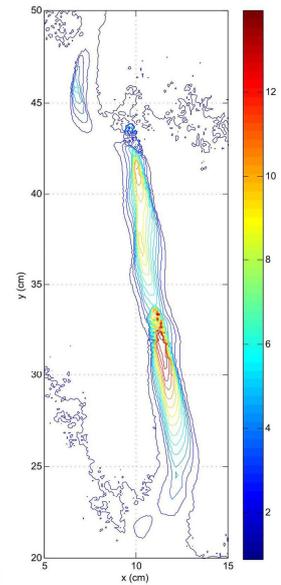
Fig.4. Profili ottenuti da sezioni verticali e orizzontali della facciata; N.B. gli scostamenti sono stati amplificati di un fattore 4 per apprezzarne l'entità. Il verso degli assi indicano scostamenti della facciata verso l'esterno.



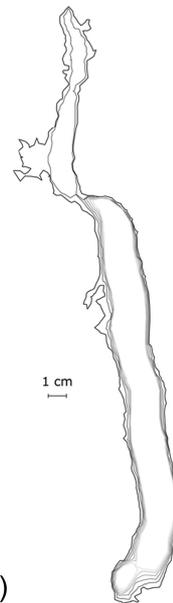
Fig.5. Ortofoto della facciata ottenuta proiettando sulla mesh una foto dell'edificio. In alto al centro è visibile la porzione di lesione presa in esame.



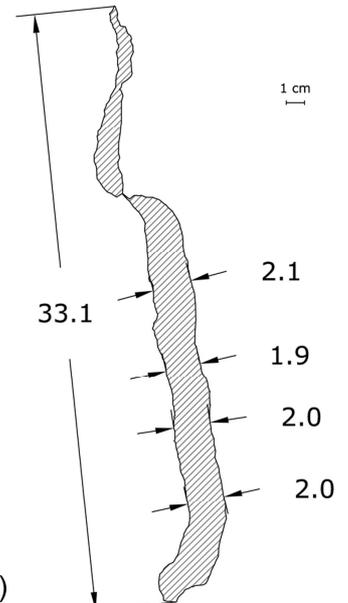
a)



b)



c)



d)

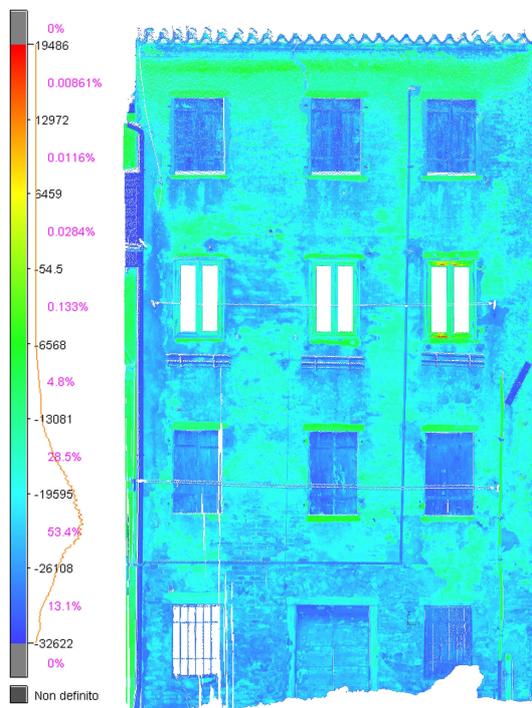


Fig.6. Mappa di riflettività della facciata; a sinistra è riportata la scala con la percentuale di punti che ricadono all'interno di ciascuna classe.

Fig.7. Analisi della lesione: a) particolare della mesh ottenuta per la modellazione, b) profilo plano-altimetrico con curve di livello colorate in modo da evidenziarne la profondità (l'equidistanza pari a 1 cm), c) sezioni con equidistanza 1 mm in prossimità dell'apertura, d) misure sulla sezione presa in esame espresse in cm.