

Integrazione della fotomodellazione nel processo di rilievo. Applicazioni alle costruzioni alpine tradizionali in pietra

Paolo Piumatti, Isabella Bianco

Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi, 24, 10129 Torino, tel: +39 011 090 3501, fax+39 011 090 3599,
paolo.piumatti@polito.it, isabella.bianco@polito.it

Abstract

Il presente contributo mostra i risultati più significativi della ricerca Interreg-AlpStone in merito ai metodi di rilievo applicati alle costruzioni in pietra. Il territorio alpino situato nell'area transfrontaliera tra Italia e Svizzera presenta un patrimonio architettonico avente un notevole valore sia culturale (in quanto legato alle tradizioni locali) sia economico (in quanto può essere recuperato a fini turistici o insediativi). Per riqualificare queste tipiche costruzioni occorre *in primis* definire la metodologia di rilievo più consona agli obiettivi da perseguire. Gli edifici realizzati con materiali lapidei sono infatti caratterizzati, per loro natura, da un forte grado di irregolarità, la quale è tanto più pronunciata quando le costruzioni sono in stato di disuso o abbandono. Tale irregolarità non può essere ignorata in quanto potrebbe compromettere molteplici aspetti della riqualificazione (il miglioramento sismico e termico, la distribuzione degli spazi, ...). Sono dunque state analizzate le tecniche di rilievo della scansione laser scanner e la fotomodellazione. Quest'ultima, in particolare, è risultata vantaggiosa dal punto di vista economico, di facilità di utilizzo e di praticità in ambienti talvolta poco accessibili come quelli alpini. Il grado di dettaglio fornito dalla fotomodellazione è inferiore rispetto a quello del laser scanner. Tuttavia, ai fini della riqualificazione, il rilievo basato sulla correlazione multimmagine, pur non scendendo nel dettaglio di ogni singolo elemento lapideo, è risultato ampiamente sufficiente a permettere un'attenta analisi critica dei dissesti, delle deformazioni e delle inflessioni delle componenti dell'edificio. Unici inconvenienti sono il tempo impiegato per una buona presa delle fotografie e la difficoltà nel modellare l'ambiente naturale costituente l'immediato intorno degli edifici.

Abstract

This contribute shows the most significant results of the Interreg-AlpStone research in relation to the methods of survey for stone constructions. The Alpine territory located in the area between Italy and Switzerland presents a rich architectural heritage which has an important value both from the cultural (for the local traditions) and real-estate (for touristic and residential aims) points of view. In order to recover these typical buildings it needs *in primis* to find the survey methodology that best fits the goal. The buildings realized with stone materials are characterized, for their nature, by a high degree of irregularity, which is still more evident in abandoned buildings. This irregularity can't be ignored because it could affect several aspects of the redevelopment (seismic and thermal renovation, space management,...). Techniques of survey with laser scanner and photomodelling have been tested. Photomodelling turned out to be a convenient technique because of its cheapness, its facility of use and its practicality in territories such as the Alpine ones, with impervious paths. The degree of detail of the photomodelling is lower than the one of laser scanner. Nevertheless, for the recovery, the survey based on the multi-images correlation turned out to be largely sufficient for a careful critical analysis of instabilities, deformations and inflections of the building components. The only inconveniences are the time employed for the photos snapshots and the difficulty in modeling the natural context near the architectural heritage.

Introduzione

Sul territorio alpino è presente un ingente patrimonio architettonico attualmente in stato di abbandono o di degrado e che, se correttamente riutilizzato, può tornare ad acquisire un notevole valore culturale ed economico. Da un punto di vista culturale le costruzioni tradizionali testimoniano l'organizzazione del territorio connessa, fino a poche generazioni fa, alle risorse agropastorizie e le tecniche costruttive tradizionali legate all'uso del legno e della pietra. Da un punto di vista economico il turismo alpino e il fenomeno del reinsediamento demografico nelle terre alte stanno registrando i migliori incrementi nelle aree caratterizzate da un buon grado di conservazione del patrimonio ambientale tradizionale. Oggi il modo di frequentare la montagna è profondamente mutato, ma l'interesse per il recupero dell'architettura alpina sta incrementando.

Le amministrazioni locali, i professionisti, i proprietari degli immobili hanno quindi necessità di strumenti per la corretta riqualificazione, conservazione, manutenzione e gestione di tale patrimonio. La riqualificazione delle costruzioni tradizionali in pietra è particolarmente critica: essa infatti richiede il non facile adeguamento delle strutture agli attuali standard normativi in materia di comportamento sismico, efficienza energetica, requisiti igienico-sanitari, pur rispettando i caratteri ambientali e architettonici tradizionali. La situazione è resa ancora più complessa dall'elevato costo degli interventi rapportato alle dimensioni, spesso ridotte, delle costruzioni, dall'ubicazione a quota elevata, dalle condizioni ambientali e climatiche. Sono quindi necessari strumenti di ausilio alla progettazione *ad hoc*.

Il progetto internazionale Interreg-AlpStone focalizza l'attenzione su questi temi al fine di fornire delle linee guida per un corretto intervento sul patrimonio alpino. La zona su cui è concentrata la ricerca è, in particolare, l'area transfrontaliera tra Italia (val d'Ossola) e Svizzera (Canton Ticino), caratterizzata dall'uso quasi esclusivo della pietra nei manufatti edilizi (fig. 1).

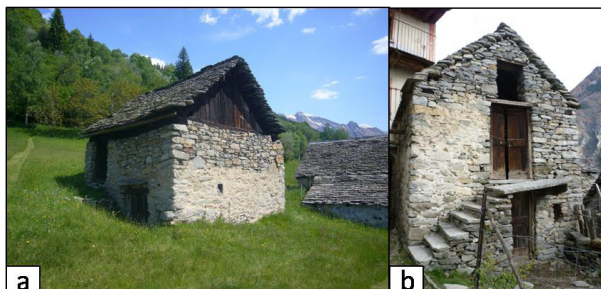


Figura 1. Tipiche costruzioni alpine in pietra. (a) Varzo; (b) Veglio, frazione di Montecrestese.

In questo contributo è illustrata una possibile metodologia per studiare l'edificio in relazione al contesto paesaggistico; la chiave con cui la ricerca sta cercando di sviluppare le indicazioni guida per i professionisti è di fornire, preferibilmente, strumenti *low cost* e a rapido apprendimento.

Lo studio di edifici in pietra richiede inoltre alcuni accorgimenti legati all'irregolarità che caratterizza i materiali lapidei. Quest'ultimo aspetto è ancor meno trascurabile in caso di interventi su edifici abbandonati o in disuso, dove il tempo e la mancanza di manutenzione hanno reso più pronunciato il degrado.

Il rilievo e l'analisi dell'irregolarità delle superfici si rende necessario in vista del successivo intervento di riqualificazione (in relazione per esempio al passaggio di impianti, al sistema di isolamento termico delle pareti, ecc.). Risulta dunque importante identificare qual è il grado di dettaglio ottimale ai fini del recupero: non occorre infatti necessariamente definire la geometria di ogni elemento, ma piuttosto l'andamento generale delle componenti (murature, travi, falde, ...). Le informazioni devono cioè essere filtrate in modo tale da far emergere gli aspetti più significativi ai fini di un attento recupero dell'edificio, quali ad esempio i dissesti di tipo strutturale e le deformazioni delle componenti.

La riqualificazione dell'architettura tradizionale alpina è inevitabilmente legata al contesto ambientale nel quale si trova; per tale ragione occorre che il rilievo e l'analisi non siano circoscritti al bene architettonico, ma viceversa il territorio risulti la chiave con cui realizzare interventi di recupero in grado di integrare armonicamente l'ambiente costruito con quello naturale.

Il tema, anche se con obiettivi in parte differenti rispetto a quelli del progetto Interreg-AlpStone, è stato affrontato da molteplici gruppi di ricerca.

Studi sul rilievo delle opere civili in pietra sono stati condotti da (Riveiro et al., 2011) nel corso di un'analisi volta a valutare le condizioni statiche degli archi del ponte Carnadela, opera storica situata a Monradiz (Spagna). Essi hanno eseguito il modello 3D del ponte a partire da una serie di fotografie elaborate con il software di fotomodellazione Photomodeler. Circa la stessa metodologia è stata utilizzata da un gruppo di ricercatori del Politecnico di Milano (Fassi et al., 2013) per il rilievo di 500 m² di rovine romane nella città di Napoli. A differenza dello studio citato in precedenza, essi hanno dunque fotomodellato un'area sensibilmente più estesa. Ciò è stato possibile scattando circa 500 fotografie da un'altezza di 4 m da terra. Essi hanno inoltre comparato tale tecnica con quella più consolidata e costosa del laser scanner. Le scansioni laser scanner sono inoltre state utilizzate come strumento di rilievo da (Restuccia et al., 2012) per i *Muragghi*, antichi edifici in pietra a secco situati nel sud-est della Sicilia per investigare le tecniche costruttive. Ne sono dunque derivati dei modelli molto dettagliati della costruzione, mentre non era scopo della ricerca il loro collegamento con il territorio circostante.

Il rilievo tridimensionale del territorio è ad oggi eseguibile con precisioni (ma anche costi) piuttosto elevati attraverso varie tecniche, quali, principalmente, le tecniche UAV (unmanned aerial vehicles) ed i sistemi Lidar.

Le tecniche UAV, come illustrato dalle ricerche di (Fritz et al., 2013) permette, con camere digitali montate su droni, la modellazione tridimensionale del territorio. Nel corso di una ricerca circa la stima della radiazione solare sui tetti degli edifici nelle aree alpine, (Agugiaro et al., 2011) hanno invece incrociato informazioni provenienti dall'acquisizione di immagini aeree e dal rilievo Lidar eseguito con laser scanner.

L'integrazione tra modelli architettonici e dati territoriali è stata eseguita da alcuni gruppi di ricerca (Brusaporci et al., 2012) e (Centofanti et al., 2011), i quali hanno creato sistemi informatici in ambiente GIS.

Il progetto Interreg-AlpStone vuole dunque porsi in una posizione di sintesi tra gli studi citati: esso cerca di dare nuova vita ad un patrimonio architettonico locale in pietra fin'ora poco analizzato e valorizzato. Ne deriva una necessità di rilievo e di studio sia degli edifici sia del loro contesto ambientale. La sfida è tuttavia quella di fornire strumenti che abbiano possibilmente costi ridotti e siano facilmente utilizzabili. Il presente contributo mostra tecniche e metodi che possono, a seconda dei casi, alternarsi od integrarsi. Sono dunque state testate tecniche di rilievo con laser scanner terrestri e fotomodellazione, lasciando ad appositi software la successiva analisi. Considerando il grado di dettaglio atteso per il rilievo di edifici in pietra e la posizione in cui essi sovente sorgono (luoghi montani con accessibilità ridotta), tale studio ha portato a definire la fotomodellazione come un'efficace ed economica alternativa al laser-scanner.

Metodologia

L'approccio utilizzato nel corso del progetto Interreg-AlpStone per il rilievo e l'analisi dell'architettura tradizionale alpina è costituita dall'integrazione di tecniche di rilievo tradizionali ormai consolidate, quali il rilievo diretto e le scansioni laser scanner, e quella più innovativa della fotomodellazione, ancora in parte in fase di sperimentazione.

Il rilievo geometrico risulta infatti fondamentale quando occorre intervenire su edifici in pietra, sovente caratterizzati da superfici irregolari. In particolare, le costruzioni rurali presenti nell'area transfrontaliera tra Italia e Svizzera venivano sovente costruite con muri in pietra a secco mostranti un alto grado d'irregolarità: la superficie dei muri non è planare, ci sono crepe nei muri, ecc. Al fine di operare un recupero, le irregolarità devono essere rilevate ed indagate in quanto esse possono

influenzare le soluzioni architettoniche da adottare per il miglioramento sismico, il recupero energetico, la gestione degli spazi, la progettazione impiantistica, ecc.

La prima fase, necessaria per individuare il tipo di contesto nel quale si inserisce l'edificio, è la documentazione attraverso le mappe oggi disponibili, dal catasto Rabbini ai recenti DTM. Il confronto di mappe di diverse epoche permette inoltre di indagare non solo la morfologia del terreno ma anche i cambiamenti che sono avvenuti nel corso del tempo (per esempio la trasformazione di alcune zone da pascolo a bosco è spesso conseguenza dell'abbandono della montagna).

In seguito il rilievo geometrico in loco è necessario per analizzare l'edificio in modo corretto. Le metodologie di rilievo possono essere molteplici. In questo contributo vengono illustrate le scansioni laser scanner e la fotomodellazione.

In entrambi i casi, l'output del rilievo sarà una nuvola di punti tridimensionale, che ben si addice al carattere irregolare degli edifici in pietra. La successiva elaborazione dei dati viene eseguita per mezzo di software di modellazione. Una volta ottenuto il modello 3D è dunque possibile passare all'analisi critica dell'edificio. L'utilizzo di entrambi i metodi (laser scanner e fotomodellazione) ha permesso di comparare i metodi e valutarne le relative potenzialità.

La scansione laser scanner rileva decine di milioni di punti in pochi minuti ed è garanzia di buone precisioni. Richiede tuttavia strumenti che hanno al momento prezzi piuttosto elevati.

La modellazione basata sulla correlazione multimmagine può essere condotta anche con strumentazioni *low cost* e con alcuni software di elaborazione dati *opensource* o a basso costo. Per contro richiede una maggiore quantità di tempo che si deve dedicare alla presa delle fotografie. Le immagini vanno infatti prese secondo specifici criteri e devono essere in numero sufficiente per permettere al software di elaborare correttamente la nuvola di punti (*Structure from motion*).

I software di supporto agli strumenti di rilievo testati nel corso della ricerca Interreg-AlpStone sono, in particolare, Faro Scene (per la gestione dei punti rilevati con laser scanner) e Autodesk 123D Catch e Agisoft Photoscan (per la modellazione multimmagine). Infine i software MeshLab e PointCab hanno permesso ulteriori analisi sui modelli.

La fotomodellazione come applicazione per il rilievo di opere architettoniche è stato affrontato da gruppi di ricercatori tra cui citiamo (Riveiro et al., 2011) e (Fassi et al., 2013), i quali hanno utilizzato Photomodeler come software di modellazione. La scelta, nella nostra ricerca, è stata invece quella di usare software di correlazione multimmagine diversi ed economicamente più accessibili a qualunque professionista.

La fotomodellazione è basata sull'individuazione di punti omologhi in immagini differenti e sul relativo orientamento delle foto: raggi di proiezione omologhi permettono di trovare le coordinate 3D dei punti visibili (i pixel) che compongono l'oggetto. Compreso il principio di funzionamento dei software, sono chiaramente intuibili i criteri che governano una buona presa di fotografie. Poiché il software deve riconoscere pixel analoghi in foto differenti, le immagini devono essere scattate con un'ampia sovrapposizione (circa 70%), senza flash, in buone condizioni di luce, pochi contrasti; la macchina fotografica deve essere impostata sempre sulla stessa lunghezza focale e va posizionata approssimativamente ortogonale alla facciata.

Per una buona gestione della nuvola di punti anche durante la fase di post-processamento, nel corso della ricerca è stato valutato che la modellazione ottimale di una baita di due piani con superficie di impronta di circa 40 m² è eseguibile richiedendo al software (Photoscan) un output con circa 2 milioni di facce.

Per quanto concerne il rilievo laser scanner, è stato utilizzato lo strumento CAM Focus 3D di Faro. La qualità delle scansioni è stata impostata a 4x, con circa 122000 punti/s. Ogni scansione contiene circa 30 milioni di punti ed è stata approssimativamente georeferenziata. Il laser scanner fornisce un modello tridimensionale con una maglia molto più fitta rispetto a quella della fotomodellazione. Tuttavia, data la finalità della ricerca e le caratteristiche di forte irregolarità delle murature in pietra a secco, il grado di dettaglio della fotomodellazione è sufficiente per una buona analisi dell'edificio.

Per limitare gli errori di posizionamento reciproco delle nuvole di punti si è inoltre preferito, quando possibile, utilizzare modellazioni realizzate in un'unica soluzione piuttosto che allineare nuvole di punti diverse appartenenti allo stesso edificio. Ciò richiede tempi di elaborazione maggiori per il software di modellazione (in quanto devono essere orientate un maggior numero di immagini), ma riduce il tempo di post-elaborazione di allineamento delle mesh, operazione lunga e durante la quale il controllo sugli errori è basso.

La maggiore criticità della fotomodellazione riguarda il rilievo del territorio circostante. La soluzione ottimale consiste nello scattare fotografie dall'alto in modo tale da poter inquadrare buone porzioni di territorio; da questo punto di vista la foto modellazione da apparecchi UAV consentirebbe il miglior compromesso in termini di tempi di acquisizione, ampiezza dell'area, dettaglio e precisione. Il costo delle apparecchiature per la foto modellazione UAV ne limita però l'uso per interventi di ridotte dimensioni e valenza economica, ed è stata perciò scartata all'interno di questa ricerca. Si è quindi sperimentata la fotomodellazione del terreno a partire da fotografie scattate da terra. Occorre però in questo caso scattare un numero molto più elevato di fotografie e tenere presente che condizioni esterne (quali il vento) possono influire sulla posizione degli elementi naturali nelle diverse immagini.

Risultati

Il patrimonio che ha consentito la messa in opera della metodologia precedentemente illustrata è l'architettura tradizionale in pietra situata in val d'Ossola. Vengono di seguito mostrati due casi studio eseguiti su alcuni significativi edifici alpini.

- Rilievo delle deformazioni delle murature in pietra a secco a Veglio (Val d'Ossola)

Il caso studio riguarda il rilievo, eseguito mediante laser scanner e fotomodellazione, di 15 edifici in pietra nella frazione Veglio del Comune di Montecrestese. Veglio è un piccolo villaggio della val d'Ossola abbandonato negli anni '50. L'abbandono ha causato un forte degradamento dovuto alla mancanza di manutenzione. Tuttavia, nell'ambito del progetto Interreg-AlpStone è stato scelto come caso studio questo villaggio perché, a causa dell'abbandono, ha mantenuto intatti gli elementi della tradizionale architettura locale in pietra, e per la possibilità di accedere alle parti interne degli edifici per eseguire il rilievo delle superfici interne delle murature delle baite.

Nel corso del progetto Interreg-AlpStone è stato scelto questo villaggio per le sue tradizionali caratteristiche architettoniche e perché allo stesso tempo ha permesso lo studio di molteplici soluzioni di architettura tecnica.

Per validare la tecnica della correlazione multimmagine ed avere un termine di paragone in merito alla precisione raggiungibile, sono state comparate le nuvole di punti inerenti lo stesso edificio provenienti dai due strumenti. Ne è risultato che il modello dato dalla fotomodellazione si scosta in media di 2-3 cm (su un muro di superficie totale di circa 50 m²) rispetto a quello fornito dal laser scanner. A fronte di questo dato, considerando l'irregolarità della superficie e gli obiettivi della ricerca, questa precisione è stata valutata decisamente adeguata allo sviluppo delle successive analisi sull'edificio.

Come esplicitato precedentemente, è necessario analizzare le irregolarità in quanto esse potrebbero influenzare diversi aspetti del recupero (il miglioramento energetico, sismico, la distribuzione degli spazi,...). E' dunque stato condotto uno studio per quantificare la non-verticalità delle pareti tramite il software Faro Scene. Esso ha permesso la comparazione del modello delle pareti interne con un piano verticale interpolante i punti del muro. Tale lavoro è stato eseguito su circa 40 pareti delle baite di Veglio ed è risultata esserci una distanza orizzontale media di 17 cm tra il punto più aggettante e quello più arretrato della medesima parete. La caratterizzazione cromatica degli oggetti e delle distanze consente di apprezzare lo stato di deformazione del muro (fig. 2 e 3).

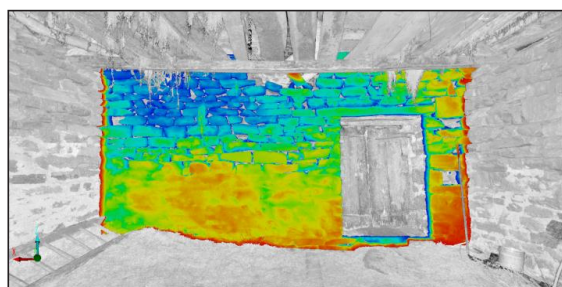


Figura 2. Visualizzazione dell'andamento della parete in relazione ad un piano verticale interpolante i punti del muro. Progressivamente dal rosso (punti di maggiore aggetto) al blu (punti di maggiore rientranza).

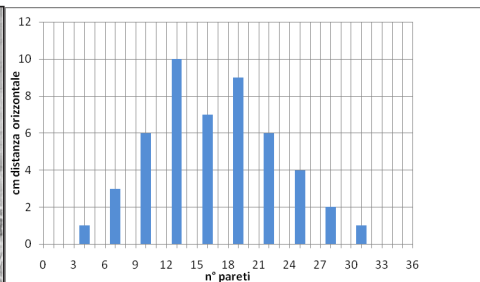


Figura 3. Grafico relativo all'irregolarità dei muri delle baite di Veglio. Sull'asse delle ordinate le distanze orizzontali [cm]; sull'asse delle ascisse la quantità di pareti presentanti la stessa irregolarità.

Quest'ultimo tipo d'indagine è stato condotto anche attraverso la produzione di piante, prospetti e sezioni ricavate dalla nuvola di punti del laser-scanner. L'estrapolazione di tali informazioni ha permesso infatti di quantificare le inflessioni subite dai puntoni del tetto e dai solai e di definire l'entità dei fuoripiombo dei muri (fig. 4).

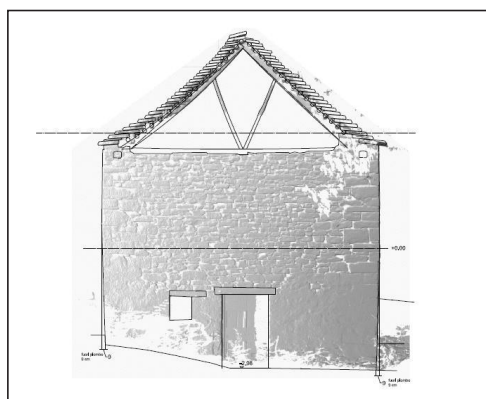


Figura 4. Sezione di una baita a Veglio: analisi della geometria e delle deformazioni.

Solo a questo punto, e dunque conoscendo la geometria e lo stato di fatto della baita, è stato possibile procedere alla ricerca di soluzioni costruttive per l'adeguamento funzionale, sismico e termico.

- Rilievo mediante foto modellazione di un complesso ambientale - Alpeggi nel comune di Craveggia (Val Vigizzo)

Le costruzioni alpine e le opere di colonizzazione agricola (muri di contenimento, terrazzamenti, mulattiere) sono edificate adattandosi alle caratteristiche morfologiche del terreno. Nel caso studio relativo agli alpeggi di Craveggia si è utilizzata la foto modellazione per il rilievo non solo degli edifici ma anche del contesto ambientale dell'alpeggio.

E' stato eseguito il rilievo di un complesso di tre baite dell'alpe Marco con la tecnica della fotomodellazione. Sono state scattate circa 500 fotografie, con lo scopo di modellare non solo gli edifici, ma anche il territorio immediatamente circostante. Per ogni posizione in pianta della macchina fotografica è stata scattata una coppia di fotografie: una ad altezza di circa 1 m e l'altra di circa 1,80 m da terra. Nonostante per la modellazione del terreno fosse preferibile scattare le

immagini da altezze maggiori, a causa della morfologia del terreno (in pendenza) e dell'accessibilità ridotta al sito non è infatti stato possibile trasportare e maneggiare un supporto come quello indicato da (Fassi et al., 2011) per portare la macchina fotografica ad altezze maggiori.

Il software Photoscan ha permesso la modellazione separata delle tre baite, successivamente allineate tramite MeshLab. Si è dunque ottenuto un modello d'insieme correttamente scalato grazie alle misure prese sul luogo (fig. 5).

Per ciò che concerne il terreno, esso è stato modellato insieme all'edificio, cioè nello stesso momento in cui il software elaborava la nuvola di punti della baita, mentre la modellazione del solo terreno non ha dato buoni risultati. Ciò è probabilmente dovuto al gran numero di foto che servono a descrivere il terreno, alla ridotta altezza da cui sono state scattate, ai colori tendenzialmente simili (ricordiamo che la fotomodellazione lavora facendo corrispondere pixel omologhi in immagini diverse) e al fatto che il vento muovesse un po' la vegetazione.



Figura 5. Fotomodellazione baite degli alpeggi di Craveggia.

Conclusioni

Il rilievo di opere civili in pietra è stato affrontato da gruppi di ricerca tra cui (Riveiro et al., 2011) e (Fassi et al., 2013), i quali hanno proceduto, corrispettivamente, con la tecnica del laser scanner (per arrivare al dettaglio di ogni elemento) e con il metodo della fotomodellazione (per realizzare il modello tridimensionale di un ponte). Similmente, il progetto Interreg-AlpStone si è interrogato sulle tecniche da adottare al fine di operare un rilievo adatto a tipiche costruzioni in pietra situate nelle valli alpine. Poiché obiettivo della ricerca è fornire delle linee guida a chi interviene su tale patrimonio, sono stati indagati strumenti di rilievo che potessero soddisfare le esigenze di economicità, facilità di apprendimento e versatilità in ambiente montano.

Sono dunque state testate entrambe le tecniche di scansione laser scanner e fotomodellazione su molteplici baite situate in Val d'Ossola. Sebbene la nuvola di punti del laser scanner abbia un grado di dettaglio decisamente maggiore rispetto a quello fornito dalla fotomodellazione, quest'ultima fornisce comunque un'approssimazione sufficiente per le finalità della ricerca. Obiettivo del progetto non è definire geometricamente ogni elemento, ma piuttosto interpretare i dati geometrici in modo tale da far emergere gli aspetti che potrebbero avere un risvolto sulla riqualificazione dell'edificio (quali deformazioni ed inflessioni delle componenti per esempio). Solo attraverso un rilievo critico è infatti possibile procedere ad un corretto intervento dal punto di vista sismico, energetico, di distribuzione degli spazi, ecc.

La fotomodellazione è inoltre una tecnica *low cost*.

La ricerca ha quindi portato ad approfondire la tecnica della fotomodellazione e le post-elaborazioni che permettono l'analisi dell'oggetto.

Poiché tale patrimonio architettonico in pietra è fortemente legato al territorio alpino in cui si trova, occorre definire anche l'immediato intorno degli edifici. Esistono a tal proposito tecniche molto precise di rilevamento del territorio, come le tecniche UAV (Fritz et al., 2013) e le tecniche Lidar (Agugiario et al., 2011). Quest'ultime sono tuttavia tecniche costose e che richiedono una certa preparazione tecnica. Nel corso della ricerca è stata testata la fotomodellazione anche per il rilievo del territorio. I risultati non sono tuttavia stati del tutto soddisfacenti, causa, in parte, della morfologia del territorio e della difficoltà a portare l'apparecchio fotografico ad un'altezza adeguata.

La fotomodellazione costituisce dunque una valida alternativa al laser scanner per esigenze analoghe a quella del progetto Interreg-AlpStone. Alcuni aspetti sono tuttavia ancora da perfezionare, quali per esempio il tempo richiesto per la presa delle fotografie e la modellazione del territorio.

Riferimenti bibliografici

Agugiario G., Remondino F., Stevanato G., De Filippi R., Furlanello C., (2011), "Estimation of solar radiation on building roofs in mountainous areas", *Stilla U et al (Eds) PIA11. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 38 (3/W22)*, 155-160

Brusaporci S., Centofanti M., Continenza R., Trizio I., (2012), "Sistemi Informativi Architettonici per la gestione, tutela e fruizione dell'edilizia storica", *Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA*, 315-322

Centofanti M., Continenza R., Brusaporci S., Trizio I., (2011), "The architectural information system siarch3d-univaq for analysis and preservation of architectural heritage", *The international archives of the photogrammetry remote sensing and spatial information sciences, Vol. XXXVIII-5/W16*

Fassi F., Fregonese L., Ackermann S., De Troia V., (2011), "Comparison between laser scanning and automated 3d modeling techniques to reconstruct complex and extensive cultural Heritage areas", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W1*, 73-80

Fritza A., Kattenborna T., Kocha B., (2013), "UAV-based photogrammetric point clouds - tree stem mapping in open stands in comparison to terrestrial laser scanner point clouds", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2*, 141-146

Restuccia F., Fianchino C., Galizia M., Santagati C., (2012), "The stone landscape of the Hyblaean Mountains: the geometry, structure, shape and nature of the muragghio" *Domes in the world. Congress Proceedings*, 1-14

Riveiro B., Caamaño J.C., Arias P.a, Sanz E, (2013), "Photogrammetric 3D modelling and mechanical analysis of masonry arches: An approach based on a discontinuous model of voussoirs", *Automation in Construction* 20, 380-388

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano Andrea Maria Lingua e Paolo Maschio (Laboratorio di topografia e fotogrammetria al Politecnico di Torino) per l'aiuto offertoci durante il rilievo con laser scanner.