

“LA CHIESA DI NOSTRA SIGNORA DI LORETO A FINALE LIGURE” COMPARAZIONE TRA SOFTWARE PER LA RESTITUZIONE FOTOGRAMMETRICA

Giancarlo PINTO (*), Serena TRUFFELLI, Claudia RUMOLINO

(*) Ricercatore Confermato presso l'Università degli Studi di Genova
Facoltà di Architettura Dipartimento POLIS, Stradone S. Agostino 37 Genova

Introduzione

I lavori di restauro intrapresi nel 2006 dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali con la Soprintendenza per i Beni Architettonici e per il Paesaggio della Liguria sulla “*Chiesa di Nostra Signora di Loreto*” a Perti, frazione di Finale Ligure; ci hanno dato l'occasione di poter svolgere la nostra ricerca realizzando un rilievo rigoroso, abbinando metodi diretti a metodi indiretti; potendo così sperimentare due software di restituzione e successivamente comparare i risultati ottenuti al fine di perfezionare una metodologia flessibile e di facile utilizzo ma che garantisca, al contempo, la precisione del risultato.

Questo ci ha permesso di testare e verificare le potenzialità offerte da questi software di restituzione senza compromettere la precisione metrica. La collaborazione tra la Soprintendenza per i Beni Architettonici e per il Paesaggio della Liguria e il Dipartimento POLIS dell'Università degli Studi di Genova è stata determinante per il test dei due programmi, “*Photomodeler*”, prodotto dalla Eos Systems Inc. e “*Realviz Imagemodeler*”, sulla “*Chiesa di Nostra Signora di Loreto*” a Finale Ligure, che ha tutte le caratteristiche architettoniche e strutturali che si prestano perfettamente per testare questi programmi. Infatti si tratta di una piccola cappella che rappresenta però un *unicum* nel panorama dell'architettura rinascimentale ligure grazie alla sua particolarità data dalla forma e per l'utilizzo dei materiali. È un edificio di grande valore storico ed architettonico che però non è mai stato documentato in modo completo ed in particolare non è mai stato oggetto di rilievi metricamente significativi.

La piccola chiesa è impostata su un unico ambiente a pianta quadrata con un piccolo coro pure esso quadrato, affiancato sul lato settentrionale. Il corpo principale è sovrastato da un alto tamburo ottagonale con tetto in ardesia che racchiude la cupola emisferica; così come il coro che è sovrastato da un emitamburo poligonale di dimensioni minori, che appoggia sulla cupola principale. Gli spigoli dell'edificio sono rafforzati all'esterno da grossi pilastri quadrati a corsi di mattoni alternati a conci di pietra locale. Questi quattro pilastri angolari proseguono ben oltre il cornicione in quattro esili campanili che fanno da corona al lanternino della cupola, e da qui l'appellativo oramai noto di “*Chiesa dei Cinque Campanili*”.



Il tamburo ottagonale della cupola è scandito da otto lesene in cotto con capitelli in pietra, così come i quattro spigoli del tamburo della cupoletta del coro. Le pareti lisce ed intonacate, sia quelle del tamburo sia quelle del corpo principale, sono risolte architettonicamente da grandi occhi con profonde strombature verso l'interno. Inoltre nella parete di facciata l'ingresso principale è definito da un portale in pietra del Finale con timpano triangolare. L'interno del corpo principale della chiesa è coperto da una cupola emisferica a centro rialzato impostata su un breve tamburo alleggerito da oculi; anche nel piccolo coro si ripete la stessa disposizione, ma la cupoletta accenna ad una forma ad ombrello di pianta ottagonale. Lo spazio è scandito da semplici elementi decorativi in laterizio quali marcapiani, peducci, cornici e lesene, ai quali si aggiungono due edicole ai lati della scarsella e due graziosi capitelli realizzati in pietra del Finale.

All'interno troviamo anche un affresco rappresentante due santi domenicani, Damiano Folcheri da Perti e Vincenzo Maglio da Orco, datato 1493; questo avvalorerebbe la datazione di costruzione della chiesa tra il 1488 e i primi anni del '90 in occasione del matrimonio tra Alfonso I del Carretto e Peretta Usodimare Cybo che risale proprio all'anno 1488. I lavori di restauro hanno rimesso in luce ulteriori decorazioni pittoriche sulle volte, ma risultano grossolane e comunque posteriori alla costruzione della chiesa.

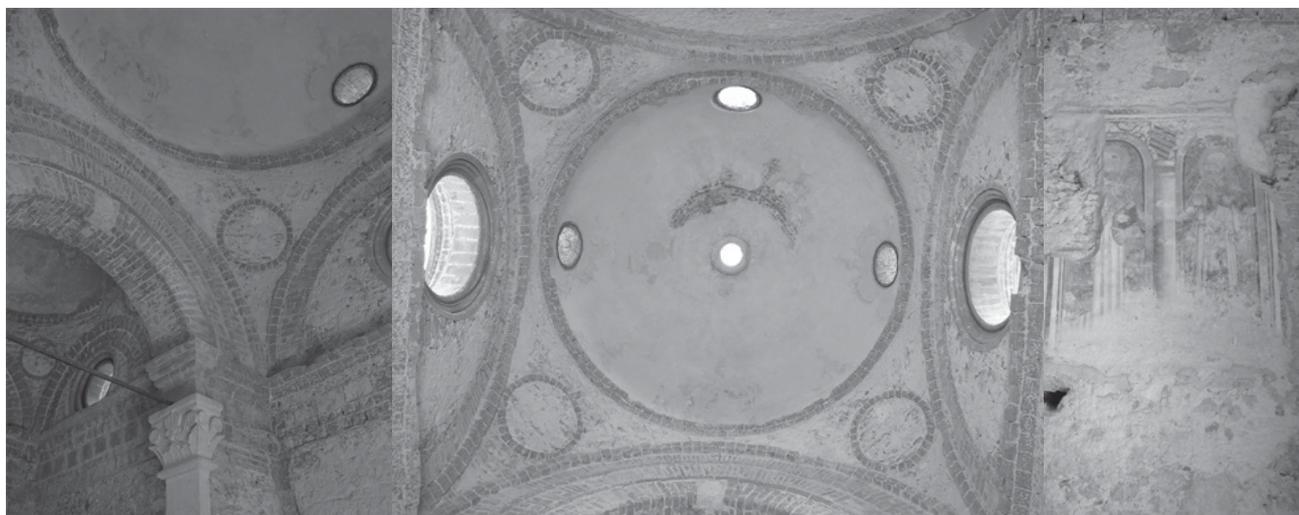
Questo piccolo monumento appare come un gioiello di quel primo rinascimento italiano, tanto più raro, per la sua unicità, nella regione ligure dove anche l'arte bramantesca non ebbe altra eco.

Forse per questo i cultori d'arte locale sono stati propensi ad attribuire la cappella addirittura al Bramante, mentre altri si sono limitati a designarla come di scuola bramantesca, cedendo al vezzo di una denominazione che era uso assegnare alle costruzioni lombarde del Rinascimento, quasi a riassumere nel nome del grande innovatore tutta un'epoca feconda. È stato scritto che pur conservando l'appellativo di bramantesca lasciò supporre che la cappella fu eseguita intorno al 1460 da quel Bartolomeo Mutano milanese che in quel periodo riparò il campanile di San Biagio, senza notare che tale data è anteriore di circa vent'anni dell'attività lombarda di Bramante.

Inoltre è da notare la straordinaria somiglianza della nostra chiesa Ligure con la cappella che Pigello Portinari fece costruire tra il 1462 e il 1468 presso l'abside di Sant'Eustorgio a Milano.

È questa cappella un monumento di grande interesse, studiato e notissimo quale primo esempio completo di architettura del primo Rinascimento in Lombardia. La cappella di San Pietro Martire presso San Eustorgio, pubblicata dal Beltrami, dal Malaguzzi Valeri e citata in tutti i testi di storia dell'arte, è in sostanza l'edificio base dello sviluppo della nuova arte Toscana in Lombardia dal quale si partono anche tutte le derivazioni del periodo Bramantesco.

La rassomiglianza della chiesa di N.S. di Loreto a Perti, di Finalborgo, con la cappella Portinari a Milano è troppo grande perché si possa pensare a due opere staccate derivate da stessi modelli toscani. Per cui è da supporre che le due cappelle sono strettamente connesse o sono copia una dell'altra.



Il metodo

Un aspetto molto importante con il quale tutti i software che hanno a che fare con la fotogrammetria devono in qualche modo confrontarsi, è quello dell'aberrazione portata sulle immagini dalle lenti degli obiettivi.

La distorsione ottica si verifica nel momento in cui alcuni punti dell'immagine inquadrata vengono riprodotti sul fotogramma con un diverso ingrandimento dando l'impressione di essere "spostati".

Questo fenomeno è dovuto in buona parte al fatto che le superfici esterne delle lenti sono curve o sferiche. Esistono due tipi di distorsioni; quella detta a *cuscinetto* tipica dei teleobiettivi, e quella a *barilotto* quando si utilizzino obiettivi grandangolari, dove le linee rette ai bordi dell'immagine tendono ad incurvarsi verso l'interno quanto più si avvicinano agli angoli.

Queste distorsioni risultano quindi assai dannose nelle applicazioni fotogrammetriche; esse però, essendo legate a fatti geometrici noti, possono essere preventivamente studiate e se ne può spesso tenere conto in sede di restituzione correggendo così i risultati ottenuti.

La concezione classica della topografia prevede una netta distinzione tra rilevamento planimetrico e altimetrico, facendone quindi derivare una separazione sia nelle operazioni relative al prelievo dei dati, che nell'elaborazione degli stessi.

Ci si trova di fronte a due diverse problematiche: la prima finalizzata alla determinazione della proiezione del punto sul piano orizzontale di riferimento, la seconda alla definizione della sola altezza del punto stesso. Si definisce "rilievo completo" qualora si determinino dei singoli punti, sia le coordinate planimetriche sia le quote.

Nella celerimensura, invece, il punto viene rilevato attraverso una sola operazione nelle sue coordinate spaziali.

Nella topografia i problemi riguardanti la determinazione della posizione dei punti nello spazio vengono risolti attraverso la misurazione di angoli (distintamente nel piano orizzontale e in quello verticale), limitando la misura delle distanze a quelle strettamente necessarie. Gli angoli misurati di ogni punto sono l'angolo azimutale φ individuato dalla proiezione sul piano orizzontale di riferimento dell'asse di visuale e dall'asse delle x, e l'angolo zenitale y, contenuto nel piano verticale, individuato dall'asse visuale e dall'asse z.

Il rilievo fotogrammetrico comprende le fasi di lavoro che collegano il rilievo topografico alla restituzione, che nel nostro caso è stata prodotta con tecniche digitali.

Per ottenere un buon rilievo fotogrammetrico è quindi necessario partire dall'identificazione di una serie di punti ottenuti con strumenti topografici. Gli inevitabili errori che possono verificarsi nella fase di battuta dei punti diventano un fattore moltiplicativo per i possibili errori della fase di restituzione fotogrammetrica e questo ci dimostra quanto sia importante prestare la massima attenzione nel cercare di raggiungere la maggior precisione possibile attraverso gli strumenti utilizzati.

Altro elemento fondamentale è la scelta della metodologia più adatta all'oggetto architettonico da rilevare e delle caratteristiche degli strumenti. Nel caso della "Chiesa di Nostra Signora di Loreto" ci si è trovati nella situazione in cui la maggior parte dei punti necessari erano inaccessibili direttamente con un prisma riflettente; per questo motivo, l'unica possibilità che si presentava era l'utilizzo di una stazione detta "no prisma", ovvero un teodolite con integrato il distanziometro laser la Stazione totale "Leica TPS 805".

Uno degli inconvenienti di questo tipo di strumento è però quello per cui, in alcune situazioni fisiche particolari, non è in grado di effettuare la misurazione; si vedano i casi in cui il punto si trova su una superficie piuttosto inclinata rispetto al raggio laser, o su di una superficie dal colore scuro, come ad esempio l'ardesia. Inoltre, operando in spazi aperti, la visibilità del laser di giorno diminuisce sensibilmente.

La posizione della Chiesa, che non offre grandi possibilità per il posizionamento delle stazioni, ci ha obbligato alla scelta di una stazione totale dotata sia della funzione laser sia di quella con prisma. La conformazione morfologica, in forte declivio, di questa porzione di territorio dove è situata la



chiesa ha portato quindi, a decidere di utilizzare il minor numero possibile di stazioni, ovviamente compatibilmente alle necessità di ripresa. Sono state impostate tre stazioni in modo che dalla prima si potesse creare una poligonale che le collegasse.

Sui tre vertici sono stati posti altrettanti treppiedi muniti di basi. Sul secondo e sul terzo sono stati montati due segnali e sul primo il teodolite stesso. Da qui viene battuto il primo, il secondo segnale e il procedimento viene ripetuto su tutti i punti della poligonale. Dopo la compensazione della poligonale sono stati battuti i punti relativi alle facciate della chiesa, alcuni dei quali ripetuti di stazione in stazione al fine di ottenere in fase di restituzione dei punti di controllo che aiutassero a verificare i possibili errori. Con la strumentazione topografica si sono quindi indagate le facciate ovest e nord del manufatto insieme alla parte dei campanili che rappresentano la singolarità della chiesa.

La parte inferiore del fronte del lato ad est è stata rilevata longimetricamente a causa della scarsità di spazi antistanti alla chiesa che impedivano d'impostare ulteriori stazioni.

Prima di iniziare il rilievo fotogrammetrico è stata eseguita l'operazione di calibrazione della macchina fotografica. Infatti è stata utilizzata una camera di tipo amatoriale dotata di zoom prodotta della Canon, modello EOS 400D, quindi si è eseguita la calibrazione per le due lunghezze focali esterne. Il processo per la realizzazione della calibrazione si suddivide in diverse fasi; per prima cosa si sono scattate una serie di fotografie da diverse angolazioni ad un pannello rappresentante una griglia di punti, fornito direttamente dalla ditta produttrice del software, di cui alcuni riconoscibili che dovevano ovviamente essere visibili in ogni fotografia.

Nella fase successiva le immagini ottenute sono state scaricate sul computer dividendole in cartelle a seconda delle diverse lunghezze focali utilizzate. A questo punto, per ogni focale, sono state caricate le immagini nel programma Photomodeler, nel numero massimo di 12. Da qui in poi la sequenza di operazioni per la calibrazione è stata eseguita automaticamente dal programma che basandosi sui quattro punti "singolari" della griglia e su tutte le dodici foto, calibra l'obbiettivo.

I Software per la restituzione e loro comparazione

Sono stati scelti diversi elementi della Chiesa da restituire confrontando i due programmi, che in apparenza sembrano molto simili, per poter fare le valutazioni che ci hanno permesso di giungere ad una comparazione tra i due. I software utilizzati e messi a confronto sono stati *Photomodeler* prodotto dalla "Eos System Inc." ed *Imagemodeler* della "Realviz".

La comparazione è stata approfondita su alcuni elementi con caratteristiche differenti:

- Un elemento piano, bidimensionale, quale l'affresco;
- Un elemento tridimensionale quale il campanile;

- Un elemento tridimensionale con volumetrie complesse, quale il prospetto, sviluppato su differenti piani aggettanti per diversi metri di profondità.

L'obiettivo perseguito in questa ricerca è stato quello di cercare nuovi software per la restituzione fotogrammetrica da affiancare a quelli da noi solitamente utilizzati così da poter sfruttare al meglio le caratteristiche dei programmi e rendere il lavoro della restituzione, che solitamente risulta il più complesso e lungo in termini di tempo e la parte più onerosa di tutto il rilievo, più semplice e flessibile perseguendo comunque l'accuratezza e la precisione del modello ottenuto. Questa comparazione cerca di essere una semplice analisi delle loro caratteristiche, per fare in modo di capire:

- quale programma sia più adatto per la restituzione di una tipologia di elementi rispetto all'altro;
- quanti e quali tipi di problemi si possono incontrare nel loro utilizzo.
- con quale dei due si riescono ad ottenere risultati migliori in termini di precisione metrica.

La prima fondamentale differenza tra i due software riguarda la **calibrazione**. Con *Photodeler* questa si rende necessaria prima della campagna di rilievo fotogrammetrico, mentre con *Imagemodeler* questo passaggio è superfluo, perché il programma è in grado di eseguirla automaticamente previa l'inserimento di una quantità sufficiente di punti riferiti in ogni singolo fotogramma.

Alla calibrazione è legata anche un'altra fondamentale differenza: con *Photodeler* le fotografie utilizzate per uno stesso progetto devono avere la medesima lunghezza focale, la stessa per cui è stato calibrato l'obiettivo; mentre con *Imagemodeler* ciò non è necessario, anche tutte le fotografie utilizzate possono avere lunghezze focali differenti.

Anche il metodo con cui devono essere **inseriti e riferiti i punti** all'interno del progetto è diverso: con *Photodeler* i punti possono essere prima inseriti tutti in una stessa immagine e successivamente riferiti nelle altre immagini; con *Imagemodeler* invece l'inserimento ed il successivo riferimento deve avvenire per ogni punto, ovvero quando viene immesso un punto in un fotogramma, questo deve essere subito riferito nei fotogrammi successivi, e così per ogni punto.

Una volta riferiti i punti, la **valutazione dell'errore** avviene in due modi differenti: Con *Photodeler* si avvia manualmente, attraverso un comando definito, un processo di calcolo dell'errore; mentre con *Imagemodeler* avviene un processo di autocalibrazione, ma eventualmente è possibile effettuare una calibrazione manuale che però spesso compromette i risultati ottenuti.

Infatti il programma avverte, con una finestra di dialogo apposita, che i risultati potrebbero essere compromessi, quindi è conveniente aspettare che sia il software stesso ad elaborare le ulteriori calibrazioni.

Bisogna però fare attenzione perché non sempre il modello tridimensionale che ne risulta è veritiero, infatti spesso i punti non vengono posizionati in modo corretto nello spazio tridimensionale.

Un'ulteriore differenza sta nel fatto che con *Imagemodeler* è possibile impostare un nuovo sistema di assi cartesiani di riferimento e successivamente **una misura di base**, cui riferire tutte le altre, ottenuta dai punti misurati in fase di rilievo topografico.

Questa caratteristica permette di rendere il modello tridimensionale direttamente misurabile anche durante le fasi di restituzione; mentre con *Photodeler* il modello non è misurabile durante l'elaborazione perché non esiste uno strumento apposito, risulta invece misurabile il prodotto conclusivo, il fotopiano.

Con *Photodeler* è possibile inoltre la **creazione di curve**, che possono essere realizzate con due tipologie: una per punti e l'altra libera.

La curva per punti è vincolata ai punti riferiti nel progetto; mentre la curva libera ha soltanto due vincoli, un punto riferito in partenza ed uno conclusivo.

In *Imagemodeler* creare curve non è possibile, al più si possono realizzare superfici con lati non rettilinei, ma risultano sempre meno precise delle curve realizzate con l'altro programma.

Imagemodeler è un software adatto alla **creazione di solidi** che poco si adatta alle superfici, soprattutto quando queste non risultano rettilinee.

Per la realizzazione dei solidi si basa su una serie di primitive predefinite che vengono inserite nel modello e ad esso adeguate posizionando i vertici nei punti riferiti.

Con *Photomodeler* è possibile creare dei solidi di rotazione, quali ad esempio cilindri, rimanendo quindi legato alle superfici che li sottendono.

Con entrambi i programmi è possibile inserire **delle texture** su solidi e superfici, selezionando per ognuna la fotografia da cui attingere di volta in volta.

In questo caso il risultato è pressoché uguale, a parte la luminosità dei colori; con *Photomodeler* rimangono fedeli ai fotogrammi originali, mentre in *Imagemodeler* risultano meno realistici.

Una volta ottenuto il modello tridimensionale texturizzato i software funzionano in modo del tutto differente: con *Photomodeler* è possibile creare direttamente un **ortofotopiano** misurabile; attraverso il comando esporta ortofoto si apre una finestra di dialogo nella quale è possibile impostare il piano di proiezione, la scala che si vuole ottenere e la risoluzione, ottenendo in questo modo il prodotto finale della restituzione fotogrammetrica.

Con *Imagemodeler* questo non è possibile; una volta creato il modello misurabile, per poter ottenere un fotopiano è necessario un'ulteriore esportazione di dati all'interno di un programma di modellazione tridimensionale, dal quale è possibile salvare una vista dell'oggetto proiettata su di un piano verticale.

Questa considerazione fa intuire come *Imagemodeler* sia adatto per la creazione di modelli misurabili ma non di fotopiani; i passaggi di dati da un software all'altro lo rendono troppo macchinoso e meno preciso metricamente.

Per la realizzazione dei fotopiani *Photomodeler* risulta decisamente più appropriato perché più immediato e preciso.

Infatti, fin dalla prima fase del progetto, quella di inserimento dei punti, con *Imagemodeler* è facile perdere in precisione a causa degli strumenti di zoom offerti dal programma stesso; questi riducendo la risoluzione dell'immagine rendono più difficoltoso e quindi meno preciso l'inserimento del punto.

I risultati delle nostre restituzioni hanno evidenziato come in generale il programma della Eos Systems Inc. **sia più attendibile a livello di precisione del risultato** (un errore di circa 0,5 cm contro un errore di circa 1,5 cm di *Imagemodeler*) e meno laborioso in fase di restituzione, benché più vincolante nella prima fase di presa fotogrammetrica.

In questa comunicazione si è voluto sintetizzare tutta una serie di verifiche e misurazioni che hanno impegnato sei mesi per le operazioni di rilievo e quattro mesi per le analisi e i calcoli. Sia le misurazioni di rilievo che le elaborazioni informatiche sono stati ripetuti più volte (almeno cinque). Sono state scattate 670 fotografie e sono stati battuti 341 punti. Per allenarsi con i programmi, prima della verifica esposta, sono stati presi dei progetti precedenti risolti con altri programmi per vedere se i risultati erano corretti.

