

Automated Image-based modeling, metodologie di rilievo low-cost per svelare le geometrie nascoste. La chiesa di Sant'Eligio al Mercato a Napoli

Automated Image-based modeling, low-cost survey methods to show the hidden geometry. The Church of S. Eligio in Naples

Il contributo s'inserisce nell'ambito di una ricerca sugli edifici gotici di epoca angioina a Napoli che ha come obiettivo quello di definire un percorso metodologico per la lettura del gotico partenopeo in relazione alle originarie matrici francesi. La chiesa di Sant'Eligio, realizzata nel 1270 per volere di Carlo I d'Angiò, rappresenta uno degli esempi più significati per ricostruire lo sviluppo del gotico napoletano. Attraverso lo studio della documentazione d'archivio e il rilievo finalizzato a definire l'esatta configurazione geometrica, l'obiettivo è stato quello di ricostruire l'evoluzione dell'edificio, di individuare i tracciati regolatori esistenti e quelli presunti. Per formulare e verificare ipotesi, per confrontare la configurazione geometrica con i modelli teorici, per analizzare le stratificazioni e per svelare i tracciati ordinatori sono state sperimentate metodologie basate sull'utilizzo di immagini fotografiche per ottenere dati 3D, *Automated image based modeling*.

The paper is a part of a research on Angevin Gothic buildings in Naples. The aim is to define a methodological path to understand Gothic in Naples in relation to the original French models. The Church of S. Eligio, built in 1270 by Charles I of Anjou, is one of the most important buildings to reconstruct the development of Gothic in Naples. Through the study of archival records and the survey, aimed at defining the exact geometric configuration, the goal was to reconstruct the evolution of the building, to identify existing and alleged regulator lines.

In our research we tested Automated image based modeling, techniques based on the use of photographic images for 3D data collection, to formulate and verify hypotheses, to compare the geometric configuration with the theoretical models, to analyze the layers and to reveal the regulator lines.



Mara Capone

Architetto, Professore Associato SSD ICAR/17 presso il DiARC, Dipartimento di Architettura, Napoli Federico II. Svolge attività di ricerca nell'ambito del Rilievo e della Rappresentazione dell'Architettura con particolare riferimento al ruolo della Geometria come strumento di controllo progettuale per la definizione delle soluzioni costruttive.



Raffaele Catuogno

Architetto e dottore di Ricerca in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura. Ricercatore nel SSD ICAR/17 presso il DiARC, Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. I suoi interessi di studio e di ricerca sono rivolti al campo delle nuove tecniche di rilievo e di rappresentazione digitale.



Daniela Palomba

Assegnista di Ricerca presso il Centro di Ricerca Urban/Eco e PhD in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente. Docente a contratto di Tecnica della Rappresentazione e Disegno e Rilievo dei Beni Culturali. Svolge attività di ricerca che spaziano dai temi del disegno e della rappresentazione dell'architettura, dal rilievo ai fondamenti della geometria descrittiva.

parole chiave: architettura angioina, volte, Chiesa di Sant'Eligio al Mercato, geometrie, gotico.

key words: Angevin architecture, vaults, Church of S. Eligio, geometry, gothic.

Automated Image-based modeling, metodologie di rilievo low-cost per svelare le geometrie nascoste. La chiesa di Sant'Eligio al Mercato a Napoli

LA CHIESA DI S. ELIGIO A NAPOLI IL RILIEVO DELLE STRATIFICAZIONI

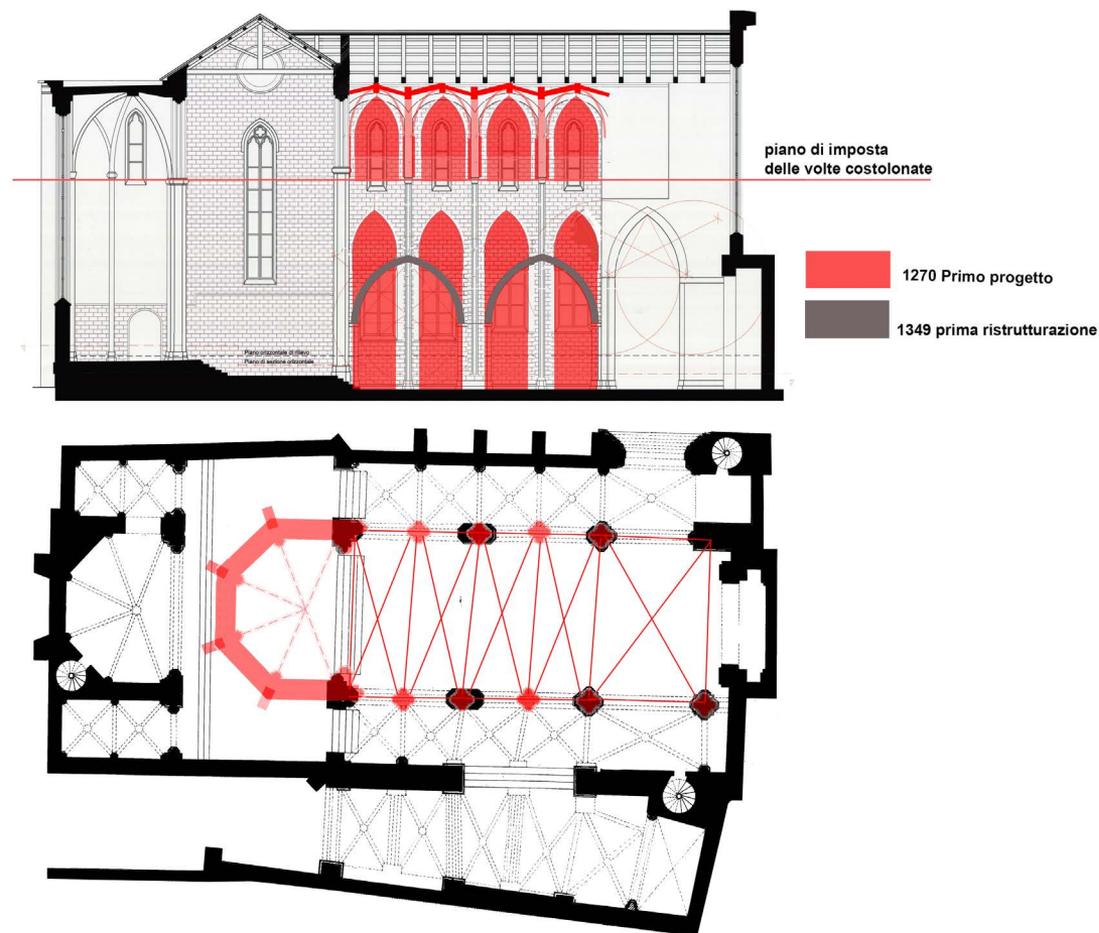
Il contributo s'inserisce nell'ambito di una ricerca più ampia sugli edifici gotici di epoca angioina a Napoli che ha come obiettivo quello di definire un percorso metodologico per la lettura del gotico partenopeo in relazione alle originarie matrici francesi.

L'architettura gotica si manifesta in Italia attraverso esempi che nella maggior parte dei casi sono difficilmente riconducibili al "gotico internazionale" che dall'XI secolo in poi dalla Francia si è diffuso in tutta Europa.

Gli edifici realizzati a Napoli tra il 1266 e il 1343, durante la dominazione angioina, sono stati ritenuti dagli storici gli esempi più vicini al gotico francese. Questi edifici, testimonianza dell'attività degli architetti e delle maestranze che lavoravano al seguito della corte dei sovrani angioini, sono stati quasi sempre analizzati utilizzando uno schema interpretativo consolidato basato sullo studio delle forme tipiche (arco a sesto acuto, archi rampanti, pilastri a fascio, rosoni polilobati ...) secondo una concezione "membrologica" dell'architettura gotica [1] che tende a studiare il singolo edificio in relazione a ciascuno di questi elementi formali per sottolineare soprattutto il loro essere "spiccatamente francese" [2].

Questo approccio metodologico, fondamentale per stabilire cronologie, non consente talvolta di cogliere i caratteri generali dell'edificio, le relazioni tra le parti e il sistema proporzionale eventualmente utilizzato. L'obiettivo è, quindi, quello di giungere attraverso il rilievo a una comprensione totale dell'opera che vada oltre la semplice misurazione e lo studio del singolo elemento, per ricercare, ed eventualmente rendere manifeste, le "geometrie nascoste", l'esistenza di quei tracciati regolatori che sono l'essenza stessa dell'architettura gotica.

Fig.1. Sant'Eligio. Ipotesi ricostruttiva del primo progetto (1270) con la navata centrale coperta da un sistema di volte costolonate e l'abside in corrispondenza dell'attuale transetto (Elaborato prodotto dagli autori).



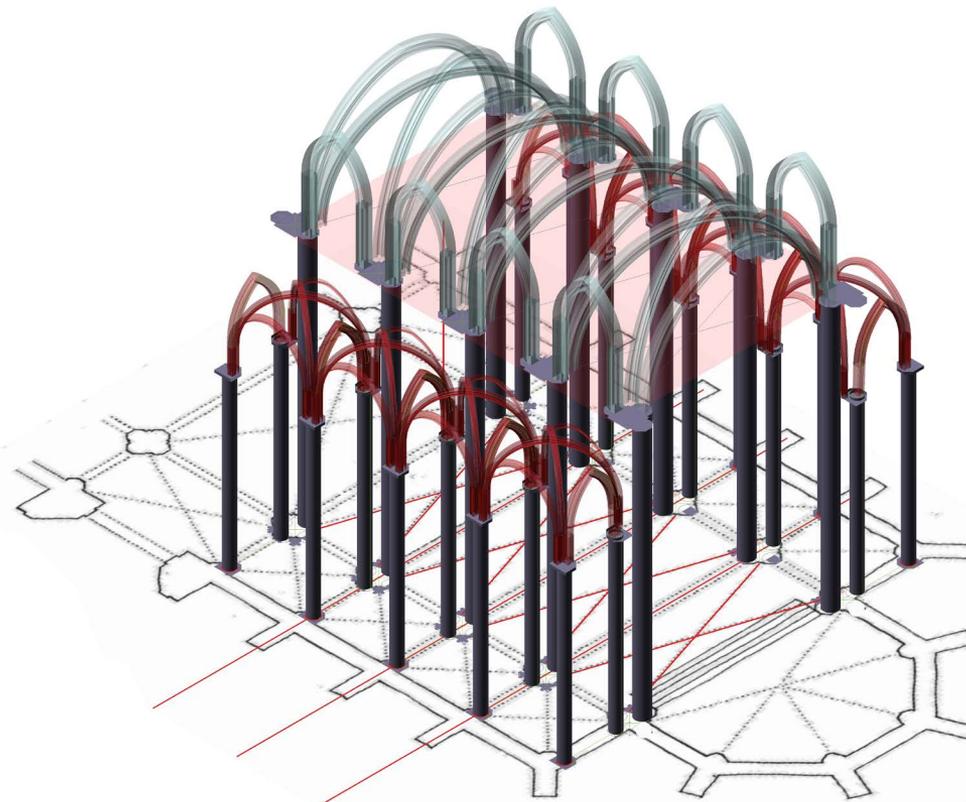
La chiesa di Sant'Eligio al Mercato realizzata per volontà di Carlo I d'Angiò è, tra le fabbriche angioine, quella che sembra maggiormente rispecchiare il modello francese, tuttavia l'attuale configurazione è il risultato delle molteplici trasformazioni che nel tempo il monumento ha subito soprattutto in occasione del restauro del secondo dopoguerra [3].

Il primo documento utile per ricostruire la storia dell'edificio risale al 2 luglio del 1270, quando Carlo I d'Angiò dona un appezzamento di terreno per la costruzione di un ospedale in prossimità del "campo del Moricino"[4] al quale sarà affiancata la chiesa, originariamente dedicata ai Santi Eligio, Dioniso e Martino. Secondo le interpretazioni degli storici [5] il progetto originario prevedeva la realizzazione di una chiesa composta da tre navate con un abside pentagonale localizzata in corrispondenza dell'attuale transetto, ipotesi confermata dagli scavi condotti in occasione del restauro postbellico sul piano del pavimento che hanno riportato alla luce le fondazioni dell'abside e dei pilastri tra la navata centrale e la navata destra [6]. Secondo il Venditti [7] il progetto fu più volte modificato in corso d'opera e fu oggetto di numerosi interventi strutturali che si resero necessari a seguito dei dissesti statici dovuti ad alcuni difetti di costruzione e ai danni provocati dai terremoti del 1349 e del 1456 (Fig.1).

Il progetto originario prevedeva la realizzazione di una navata centrale coperta da un sistema di quattro volte quadripartite su pianta rettangolare, impostate su pilastri polistili posti in corrispondenza dei capitelli pensili attualmente esistenti [8]. La chiesa era di dimensioni più modeste rispetto a quella attuale, priva di transetto e con un'abside pentagonale isolata (Fig.2). Probabilmente questo progetto non fu mai portato a compimento, poiché nel 1279 una seconda donazione di Carlo di una striscia di terra, "larga 3 canne e lunga 41, da misurare a partire dalla croce di pietra situata vicino all'ospedale"[9], consentì l'ampliamento della chiesa, l'inserimento del transetto, la costruzione dell'abside nella posizione attuale e delle due cappelle poste lateralmente. Verso la fine del duecento la chiesa doveva quindi aver assunto le attuali dimensioni, con una navata centrale composta da una campata maggiore in corrispondenza dell'ingresso e quattro campate rettangolari scandite da quattro pilastri polistili realizzati in tufo giallo. Il terremoto del 1349 arrecò

Automated Image-based modeling, metodologie di rilievo low-cost per svelare le geometrie nascoste. La chiesa di Sant'Eligio al Mercato a Napoli

Fig.2. Sant'Eligio. Ipotesi ricostruttiva del primo progetto (1270) il sistema di volte costolonate avrebbe dovuto formare un reticolo strutturale esile e leggero tipicamente francese (Elaborato prodotto dagli autori).





gravi danni strutturali rendendo necessario un intervento di consolidamento che modificò profondamente la configurazione della chiesa. Al sistema dei quattro archi acuti, impostati sugli esili pilastri polistili in tufo giallo locale, furono sottesi i massicci pilastri in trachite su cui sono impostati i due archi attualmente presenti (Fig.1), anch'essi in trachite, pietra da taglio di migliore capacità e resistenza rispetto al tufo giallo locale [10]. Probabilmente è in questa fase che alla chiesa viene annessa la "navata ospedaliera", parte dell'antico ospedale, tramite l'apertura di un grande arco a tutto sesto in piperno sotteso agli originari archi acuti in tufo giallo [11] (Fig.3).

Verso la metà del XVIII secolo durante la dominazione borbonica, per restituire un aspetto decoroso alla chiesa, che versava in evidente stato di abbandono, il Banco di Sant'Eligio commissionò a Ferdinando Fuga un progetto di "rifazione e intera modernazione"[12] dell'edificio, che prevedeva la realizzazione di un apparato decorativo di gusto barocco realizzato con marmi

policromi. Probabilmente la chiesa fu nuovamente abbandonata tanto che, nel 1836, durante la restaurazione borbonica, fu interessata da un ulteriore intervento di ristrutturazione ad opera dell'architetto Orazio Angelini, che sovrappose alla struttura esistente un complesso apparato di stucchi pseudo-settecenteschi, e, come si legge dalle note di Gennaro Aspreno Galante, "la chiesa che mostrava tutte le tracce di epoca angioina, fu restaurata e se ne smarrì non pure la primiera forma ma gran parte delle preziose memorie"[13], memorie che furono tutte riportate alla luce a seguito del bombardamento del 1 marzo del 1943.

La chiesa attuale è, quindi, il risultato del restauro realizzato dalla Soprintendenza ai monumenti della Campania, a partire dal luglio del 1944. Composta da tre navate con transetto, un abside poligonale e due cappelle ai lati, come la quasi totalità delle chiese gotiche napoletane, è caratterizzata dalla presenza di un sistema di capriate che coprono sia il transetto che la navata centrale, mentre le navate laterali, l'abside e le

Automated Image-based modeling, metodologie di rilievo low-cost per svelare le geometrie nascoste. La chiesa di Sant'Eligio al Mercato a Napoli

Fig.3. Navata sinistra. Il restauro ha messo in evidenza tutte le contraddizioni del monumento: dalla sostituzione dei pilastri polistili in tufo con i massicci pilastri e i grandi archi acuti in pietra, alla realizzazione degli archi rinascimentali che interrompono bruscamente il ritmo delle crociere costolonate (Foto degli autori).

cappelle sono caratterizzate dalla presenza di volte costolonate (Fig.4).

Durante il restauro del 1944 l'intenzione fu quella di eliminare completamente l'apparato decorativo ottocentesco e riportare la chiesa alla sua originaria configurazione. Dallo studio della documentazione rinvenuta presso l'archivio della Soprintendenza ai Monumenti di Napoli risulta che ci fu particolare attenzione a recuperare tutti gli elementi "costruttivi e decorativi" originari della chiesa trecentesca per "porre in evidenza tracce di vecchie strutture dell'antica chiesa"[14].

Durante il restauro furono interamente ricostruite le volte di copertura della navata destra, le bifore sulla facciata su via Sant'Eligio, le monofore sulla parete tra la navata centrale e la navata destra, i pilastri tra la navata centrale e la navata destra e la volta costolonata dell'abside, utilizzando tutti gli elementi recuperati e riproducendo le parti mancanti in base a quelle rinvenute [15]. Nel 1955 furono ritrovate le basi trecentesche dei pilastri della navata in corrispondenza dei

Automated Image-based modeling, metodologie di rilievo low-cost per svelare le geometrie nascoste. La chiesa di Sant'Eligio al Mercato a Napoli

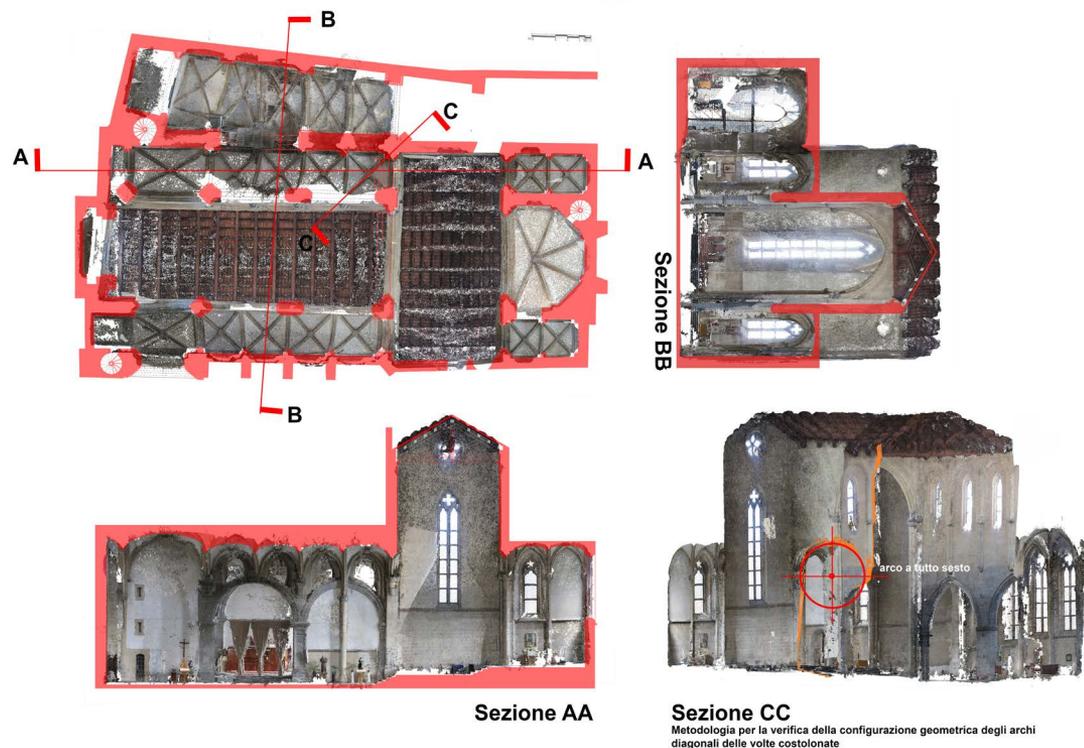


Fig.4. Analisi della configurazione geometrica. Ortofoto da nuvola di punti ottenuta con tecnica *image based* (Elaborati dagli autori).

capitelli pensili e le fondazioni del primo abside in corrispondenza del transetto, elementi che testimoniano il cambiamento del progetto trecentesco sin dall'origine e che il soprintendente Zampino nel 1963 avrebbe voluto portare alla luce per "consentire allo storico e al visitatore una completa osservazione di entrambe le maniere gotiche succedutesi nell'arco di un secolo"[16]. Il monumento si presenta oggi con una serie di ambiguità, un palinsesto dal quale è spesso difficile comprendere il significato dei singoli elementi in relazione al complesso. L'obiettivo della ricerca è stato, quindi, quello di "ri-levarne" le stratificazioni, cercando di comprendere e rappresentare le relazioni tra le parti e il tutto nelle diverse fasi che hanno caratterizzato la storia del monumento, attraverso un'attenta analisi geo-

metrico configurativa, ibridando quindi antiche metodologie con nuovi strumenti di rilievo *image based* e sperimentandone le potenzialità.

LA RICERCA DELLE REGOLE

Sant'Eligio rispecchia la caratteristica della maggior parte dei monumenti napoletani, oggetto di continue trasformazioni la cui lettura consente di percepire il passaggio della storia, la stratificazione che caratterizza la città. Il rilievo, in quanto conoscenza, ha consentito di indagare le diverse fasi di questa storia, fasi che hanno determinato l'attuale configurazione della chiesa. Tra gli obiettivi prioritari vi è quello di rappresentare questo processo in modo che ciascun frammento oggi presente possa evocare l'integrità che il monumento

aveva nelle diverse fasi della sua esistenza. Attraverso lo studio della documentazione d'archivio e il rilievo finalizzato a definire l'esatta configurazione geometrica della chiesa trecentesca, l'obiettivo è stato quello di ricostruire l'evoluzione dell'edificio, di individuare i tracciati regolatori esistenti e quelli presunti. Per interpretare il monumento attuale sono state ricostruite le diverse fasi cercando di utilizzare gli elementi attualmente presenti e individuando il ruolo che ciascuno di questi elementi aveva nell'insieme. Per formulare un'ipotesi ricostruttiva attendibile, da un punto di vista metodologico, si è ritenuto indispensabile il confronto con i modelli teorici, con i principi dell'architettura gotica e in particolare con quella francese. Sono state individuate tre fasi fondamentali: il primo

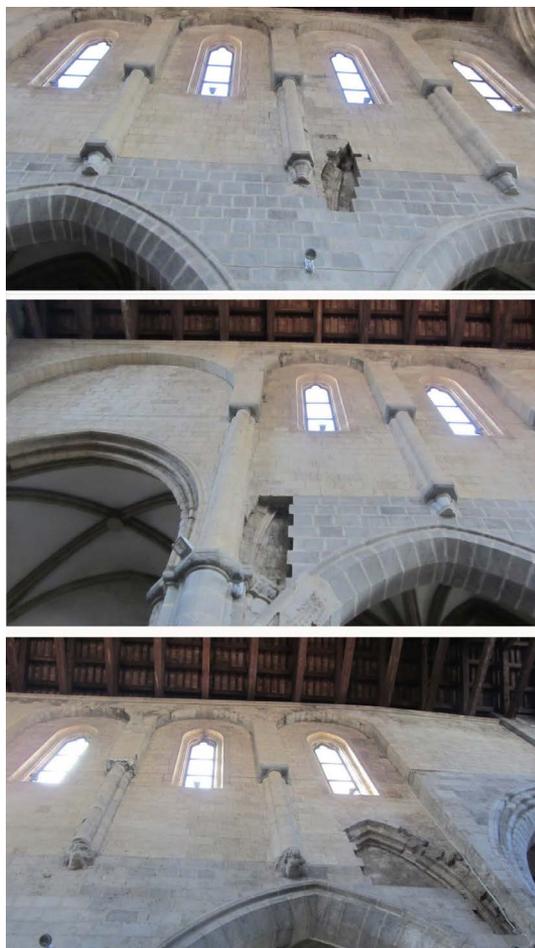


Fig.5. Nella navata centrale emergono le tracce evidenti del primo progetto di epoca medioevale: le triplici colonne addossate nella parte alta della parete sono la traccia degli originari pilastri che probabilmente giungevano fino a terra così come si scorgono in vari punti i frammenti degli archi acuti a lancetta che dovevano caratterizzare le quattro campate strette (Foto degli autori).

progetto del 1270, il secondo progetto trecentesco e la configurazione rinascimentale, coincidente con lo stato di fatto attuale. Non è stata presa in considerazione la trasformazione ottocentesca dell'edificio in quanto non vi è più alcuna presenza relativa a questo periodo, poiché le testimonianze di questo intervento sono state, infatti, completamente cancellate dall'evento bello e dal restauro.

Il primo progettista di Sant'Eligio doveva probabilmente essere un architetto di origini francesi vicino a Carlo I d'Angiò. Il suo modo di pensare e progettare era, dunque, quello del costruttore gotico secondo il quale *"in architettura le proporzioni si stabiliscono in primo luogo sulle leggi di stabilità e le leggi di stabilità derivano dalla geometria"*[17]. Il primo progetto era probabilmente impostato su questi principi e quindi sull'utilizzo delle volte costolonate che avrebbero dovuto caratterizzare la copertura della navata centrale di Sant'Eligio come di tutte le cattedrali francesi. *"E' attraverso le volte che si controlla l'ossatura della cattedrale al punto che è impossibile elevarle, se non si comincia tracciando rigorosamente il sistema di volte"*[18], volte che secondo la concezione medioevale non sono più considerate *"come una crosta omogenea a concrezione, ma come un susseguirsi di pannelli a superfici curve libere riposanti su archi flessibili... forza viva, elastica, libera, un'ossatura sulla quale riposa la volta propriamente detta..."*[19].

In coerenza con questi criteri costruttivi e dalle indagini condotte durante il restauro postbellico, si può ipotizzare che il primo progetto prevedesse un impianto a tre navate con la navata centrale coperta da quattro volte costolonate e terminasse con un'abside pentagonale isolato localizzato nell'attuale transetto (Fig.1). Secondo questa ipotesi il sistema di volte scaricava su pilastri composti da un elemento centrale al quale erano addossate le colonne in corrispondenza degli archi principali delle volte costolonate. Una simile configurazione è attualmente riscontrabile nei primi due pilastri posti in corrispondenza della navata sinistra e in uno dei pilastri della navata destra, ma soprattutto nelle colonne presenti nella parte superiore del muro che attualmente poggiano su capitelli pensili ma che in origine dovevano giungere fino a terra e far parte dei pilastri polistili [20]. (Fig.5) Il piano d'imposta delle volte costolonate della navata principale era probabil-

Automated Image-based modeling, metodologie di rilievo low-cost per svelare le geometrie nascoste. La chiesa di Sant'Eligio al Mercato a Napoli

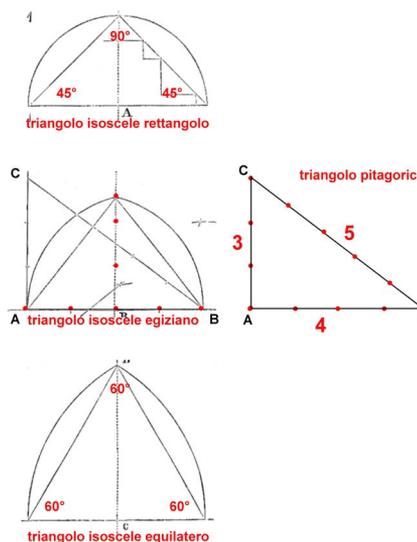


Fig.6. Viollet-le-Duc, Eugène-Emmanuel. *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI au XVI siècle* (1854-1868), Librairie-imprimeries réunies, Paris. Proporzioni (Rielaborazione degli autori).

mente posto in corrispondenza degli attuali capitelli, quota che coincide con il piano d'imposta della volta absidale. Le volte quadripartite della navata principale dovevano essere impostate su una pianta rettangolare molto allungata con un anomalo rapporto tra i lati di circa 3:1. Gli archi principali, a sesto acuto, erano presumibilmente uguali a quelli presenti in corrispondenza dell'abside e del transetto, gli archi laterali del tipo "a lancetta", erano realizzati probabilmente in analogia con il frammento attualmente visibile nel muro tra la navata centrale e la navata di destra (Fig.5), mentre l'arco diagonale doveva essere a tutto sesto in coerenza con il sistema costruttivo delle volte gotiche costolonate.

La volontà di riproporre a Napoli il modello delle cattedrali francesi con navata centrale coperta con volte costolonate fu presumibilmente abbandonato in corso d'opera soprattutto perché il materiale locale, il tufo giallo, non aveva quelle caratteristiche di resistenza che consentivano in Francia di realizzare gli arditi re-

ticoli strutturali [21]. Se non ci sono prove certe circa l'effettiva realizzazione delle volte nella navata centrale, sicuramente le maestranze francesi applicarono i principi dell'architettura gotica nella realizzazione delle due navate laterali. Da un punto di vista metodologico per comprendere la configurazione spaziale dell'edificio originario, si è ritenuto opportuno indagare con maggior attenzione la navata di sinistra, poiché quella destra è stata interamente ricostruita in occasione del restauro postbellico. Il rilievo di questa parte della chiesa consente di ricostruire la storia dell'edificio: qui emergono tutti i passaggi fondamentali che hanno determinato l'attuale configurazione, dalla prima ristrutturazione trecentesca che comportò, per porre rimedio a problemi statici, la sostituzione degli esili pilastri polistili in tufo giallo con i pilastri e gli archi in pietra attualmente visibili, alla realizzazione dei grandi archi a tutto sesto, sempre in pietra, introdotti in epoca rinascimentale per annessere alla chiesa la navata dell'ospedale (Fig.3).

Il sistema di volte che caratterizza la navata di sinistra è composto da quattro volte costolonate quadripartite su pianta quadrilatera, quasi quadrata, ed una volta su pianta rettangolare, originariamente impostate su colonne addossate alla parete, di cui una ancora visibile nell'ultima campata in prossimità dell'abside (Fig.3).

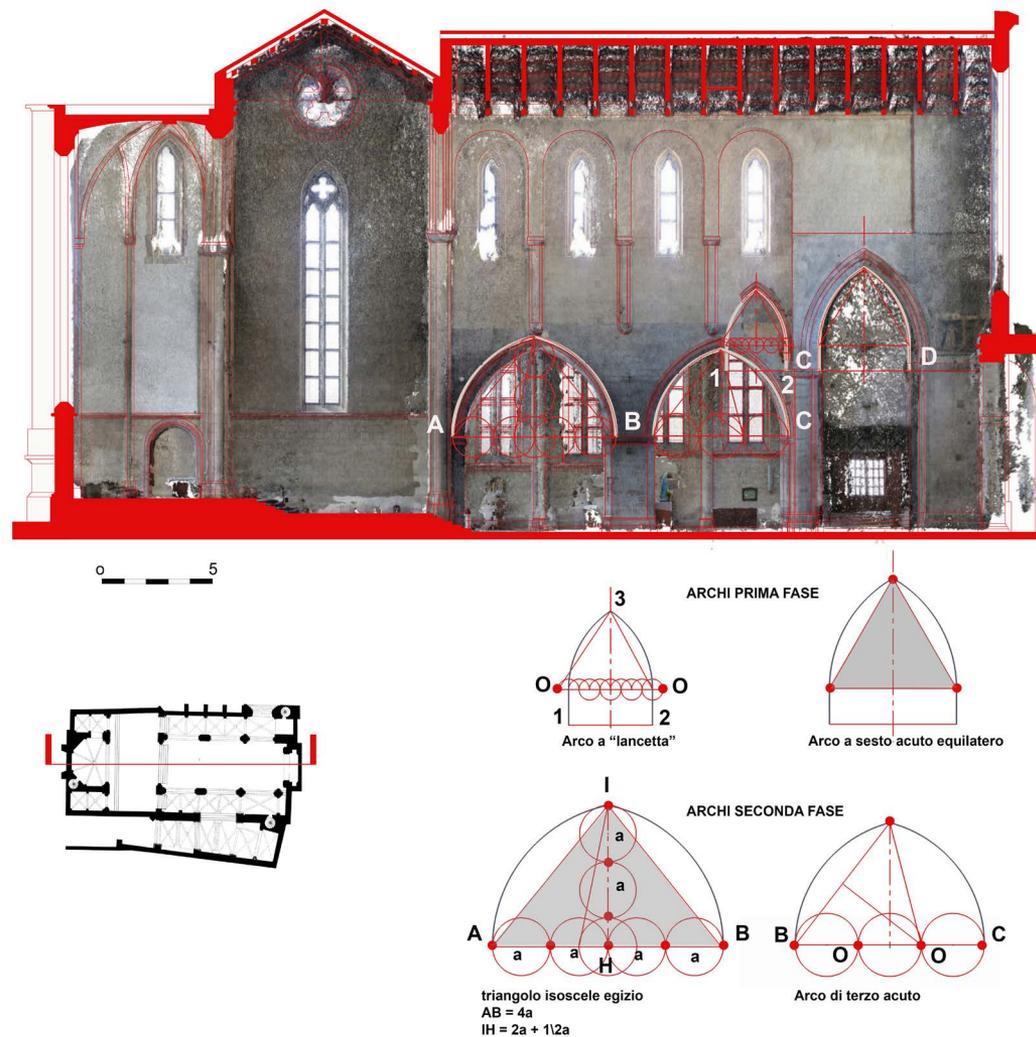
Nonostante l'impostazione planimetrica delle volte sia piuttosto irregolare, sezionando la nuvola di punti, ottenuta dal rilievo *image based*, si riscontra che gli archi diagonali sono a tutto sesto mentre gli archi laterali sono a sesto acuto e sono rialzati a seconda della necessità proprio per mantenere le chiavi alla stessa quota e per compensare tali irregolarità. Da un punto di vista metodologico per comprendere la genesi geometrica delle strutture voltate sono state effettuate sezioni della nuvola di punti in corrispondenza di tutti gli archi, sia di quelli diagonali sia di quelli laterali, per comprendere se le eventuali irregolarità sono da attribuire a precise scelte progettuali oppure a difetti costruttivi (Fig.8).

Obiettivo fondamentale della ricerca è stato dunque quello di svelare i tracciati regolatori in relazione ai modelli teorici presumibilmente utilizzati dal primo progettista di Sant'Eligio.

L'architetto gotico adottava in quel periodo "i triangoli come generatori di proporzioni" in particolare il

Automated Image-based modeling, metodologie di rilievo low-cost per svelare le geometrie nascoste. La chiesa di Sant'Eligio al Mercato a Napoli

Fig.7. Studio del sesto degli archi presenti nella parete tra la navata centrale e la navata laterale destra (Elaborati degli autori).



costruttore medioevale utilizzava "il triangolo isoscele rettangolo, il triangolo isoscele egiziano, la cui base si divide in quattro parti e l'altezza è due parti e mezzo, e il triangolo equilatero"[22] (Fig.6).

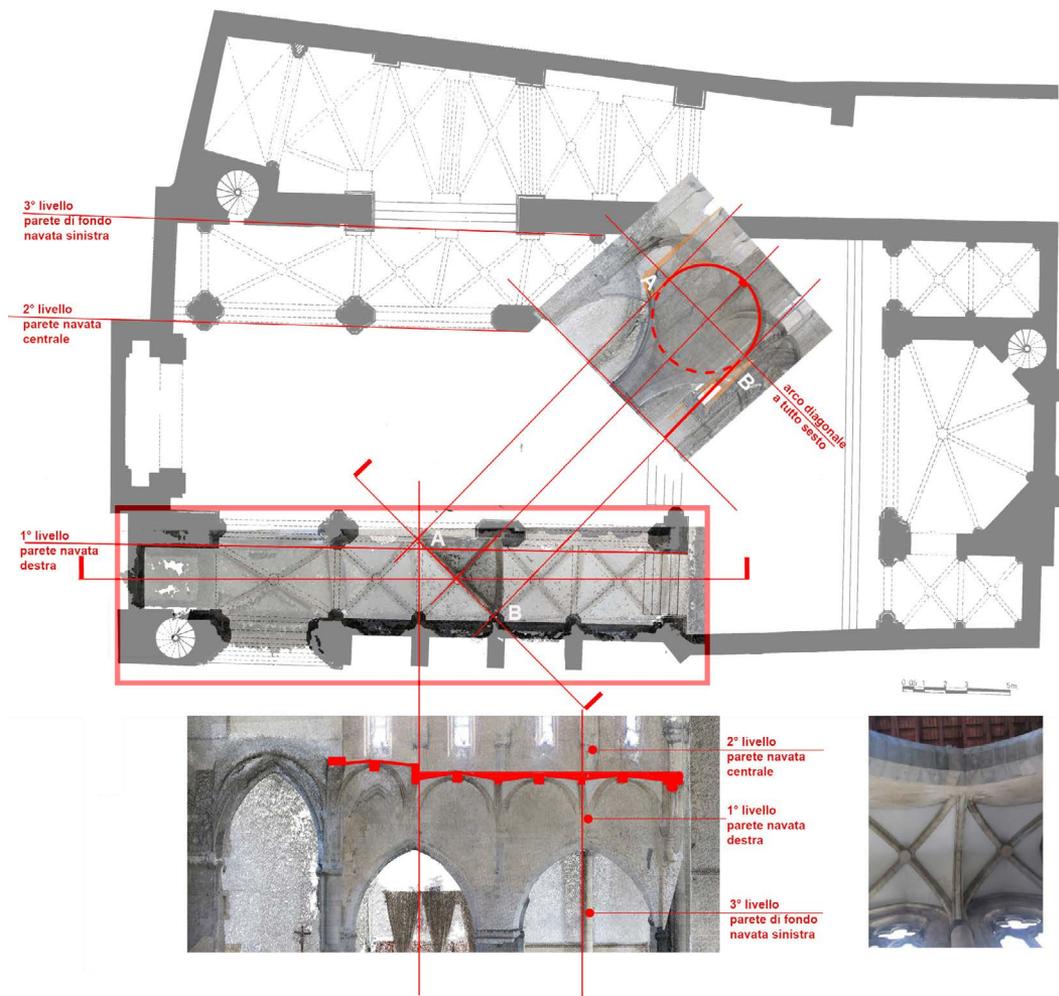
Dallo studio del taccuino di Villard de Honnecourt si possono desumere i diversi metodi per determinare i sestri degli archi acuti, basati fondamentalmente sull'eventuale applicazione della regola dei tre archi [23] o sui diversi procedimenti per definire il raggio in funzione della luce [24]. Secondo questo criterio si hanno archi di terzo acuto, di quarto acuto o di quinto acuto se il centro della circonferenza che genera l'arco è posto rispettivamente ad $1\frac{1}{3}$, $1\frac{1}{4}$ o $1\frac{1}{5}$ della luce.

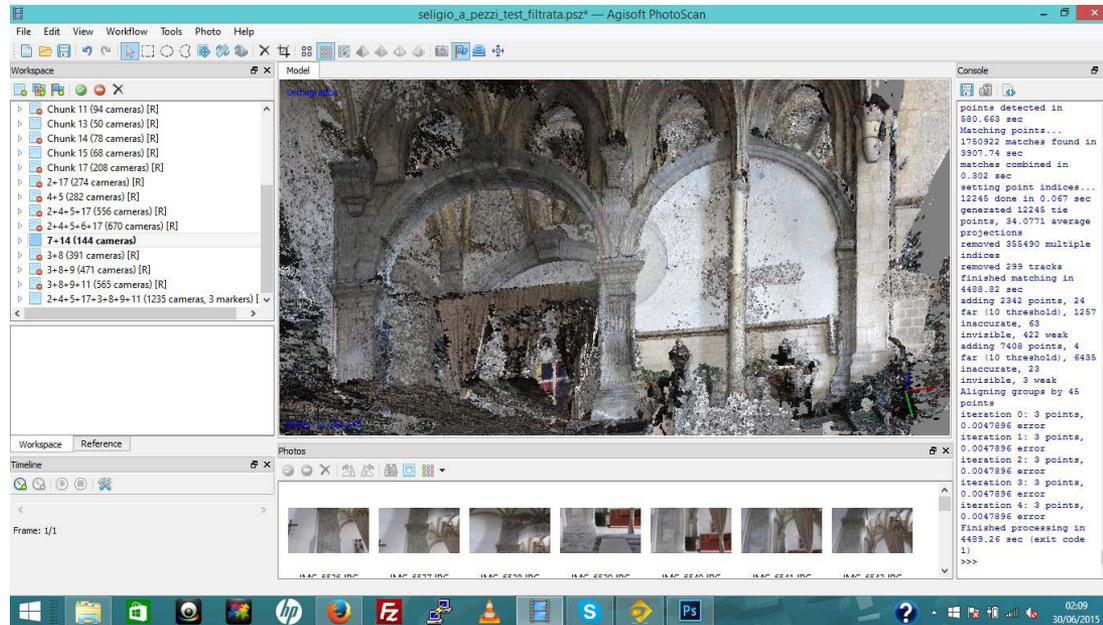
Seguendo quindi la stessa impostazione metodologica sono stati analizzati tutti gli archi cercando di comprendere quale regola geometrica sia stata utilizzata per il proporzionamento. Lo studio del sesto degli archi presenti tra la navata centrale e la navata laterale destra (Fig. 5), è stato condotto confrontando i modelli teorici con le ortofoto ricavate dalla nuvola di punti. Da questa indagine emerge che gli archi AB, BC e CD, sono a sesto acuto, in particolare il sesto dell'arco AB risulta essere definito in base all'utilizzo di un triangolo isoscele egiziano, mentre l'arco BC è di terzo acuto (Fig.7).

L'arco CD è invece impostato a una quota maggiore, è leggermente rialzato ed è a sesto acuto equilatero. Tale arco fa parte del primo ampliamento della chiesa originariamente composta da quattro campate strette a cui fu aggiunta, intorno al 1270, una campata più profonda in corrispondenza di un ingresso posto sul lato occidentale. La quota d'imposta è stata quindi definita in analogia con le campate strette in corrispondenza delle quali erano collocati gli archi a lancetta con una luce molto più alta rispetto a quella degli attuali archi in pietra ad essi sottesi nella prima ristrutturazione avvenuta presumibilmente intorno al 1350. Frammenti di tali archi sono stati lasciati a vista nel restauro del dopoguerra, in particolare è visibile più della metà dell'arco 12 in prossimità dell'ingresso ed alcuni frammenti nell'altra parete della navata centrale (Fig. 5). Dal rilievo risulta che tale arco è un arco rialzato "a lancetta", il centro O delle due circonferenze generatrici è all'esterno della luce 12, ed in particolare il raggio è pari a $9\frac{1}{8}$ della luce (Fig.7).

Ulteriori approfondimenti scaturiscono dall'osservazione delle sezioni della nuvola di punti che offrono al

Fig.8. Metodologia per lo studio della genesi configurativa dei sistemi voltati (Elaborati degli autori).





Automated Image-based modeling, metodologie di rilievo low-cost per svelare le geometrie nascoste. La chiesa di Sant'Eligio al Mercato a Napoli

Fig.9. Elaborazione della nuvola densa con Photoscan. Gli elementi di arredo presenti in questa zona della chiesa hanno generato una nuvola con molto rumore (Elaborato prodotto dagli autori).

nostro sguardo immagini insolite da interpretare. Ad esempio, la sezione sulla navata destra rende immediatamente percepibile il tracciato regolatore del primo progetto medioevale, che persiste nonostante le molteplici alterazioni che il manufatto ha subito nelle epoche successive e l'irregolarità della configurazione planimetrica (Fig. 8).

In primo piano emerge la sezione delle volte costolonate, caratterizzate da archi perimetrali a sesto acuto e archi diagonali a tutto sesto, perfettamente corrispondenti al modello teorico delle volte costolonate quadripartite. Segue la parete della navata centrale con i grandi arconi in pietra da cui emergono, senza alcun appoggio, i costoloni delle volte che, nel primo progetto, dovevano invece poggiare su esili pilastri in tufo giallo. La geometria del tracciato regolatore risulta perfettamente leggibile grazie all'inconsistenza materica della nuvola: sulla parete della navata centrale, che si scorge in secondo piano, sono evidenti i capitelli pensili su cui poggiano le triplici colonne e gli archi a

tutto sesto, leggermente aggettanti dalla parete di tufo giallo, che incorniciano le monofore diventando elementi puramente decorativi e rievocando ancora una volta l'originaria copertura a volte probabilmente mai realizzata. E ancora, sul fondo, s'intravede una colonna addossata alla parete della navata di sinistra, quasi perfettamente in asse con l'imposta dei costoloni della navata destra e con le triplici colonne della navata centrale; questi tre piani, sfalsati nello spazio, distanti da un punto di vista percettivo, si riunificano sul piano della figurazione grazie ad uno strumento che automaticamente ci restituisce un'immagine che, inaspettatamente, ci svela l'originaria regola. Quest'immagine, si rivela un potente strumento diagnostico, una sorta di radiografia del monumento, che rende evidente una mancanza: manca lo scheletro originario, mancano i due esili pilastri in corrispondenza dei capitelli pensili e mancano i quattro archi acuti a lancetta la cui impronta si intravede grazie alla trasparenza della nuvola. Ancora una volta il caso studio consente di sottolineare le

enormi potenzialità delle tecniche di rilievo *Reality based* che, oltre a consentire la produzione automatica di dati 3D, rappresentano un modo innovativo per analizzare il costruito e vedere immediatamente l'invisibile.

AUTOMATED IMAGE-BASED MODELING

Per il rilievo della chiesa di Sant'Eligio è stata sperimentata una metodologia *low-cost*, basata sull'utilizzo d'immagini per la produzione automatica di dati 3D, che consente di ottenere tutti i dati necessari alle verifiche geometriche configurative, principale obiettivo del nostro studio. Le tecniche SfM (*Soft from Motion*) basate sull'utilizzo di immagini, rappresentano un'evoluzione delle tecniche fotogrammetriche che, grazie ai progressi nell'ambito della Computer Vision e alla definizione di algoritmi in grado di risolvere automaticamente tutte le operazioni di orientamento e restituzione, si stanno diffondendo rapidamente soprattutto perché non richiedono l'utilizzo di complesse e costose attrezzature né tantomeno le approfondite

Automated Image-based modeling, metodologie di rilievo low-cost per svelare le geometrie nascoste. La chiesa di Sant'Eligio al Mercato a Napoli

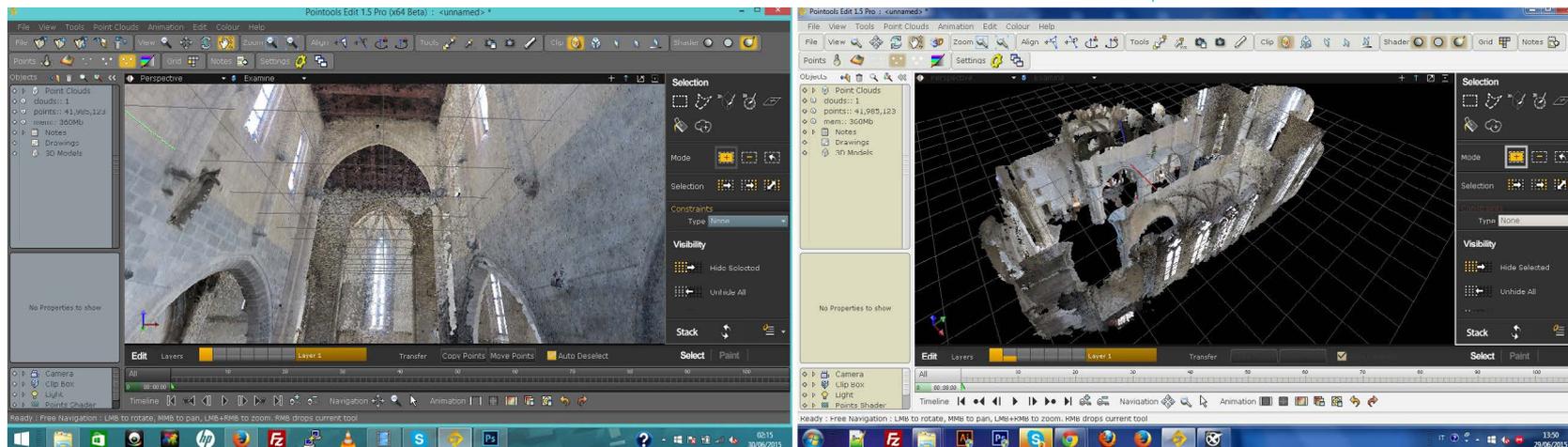


Fig.10. Per la gestione dei dati e la generazione delle ortofoto è stato utilizzato Bentley Pointools (Elaborato prodotto dagli autori).

conoscenze di ottica e di geometria fondamentali nei procedimenti fotogrammetrici tradizionali. Inoltre, la costante sperimentazione in questo settore determina un continuo perfezionamento sia degli strumenti sia dei processi, con la conseguente produzione di una letteratura scientifica estremamente specialistica, grazie alla quale è possibile individuare di volta in volta la soluzioni più adatta al caso o sperimentare nuove procedure per sfruttare al meglio le potenzialità dei logaritmi. Tale metodo, che inizialmente non garantiva una accuratezza metrica soddisfacente, è da ritenersi sempre più attendibile proprio grazie al continuo confronto e alla sperimentazione di cui la presente ricerca è parte integrante.

Oltre agli indiscussi vantaggi connessi quindi al basso costo e all'ampia diffusione, sono state più volte sottolineate le potenzialità di questo metodo soprattutto per condurre indagini geometrico configurative. Come tutte le tecniche *reality based*, si ritiene che la possibilità di avere a disposizione un modello digitale, o una nuvola di punti, sulla quale poter effettuare virtualmente tutte le operazioni di rilievo necessarie a seconda delle esigenze, sia il principale elemento innovativo, ma riteniamo sia fondamentale anche valutare

gli effetti derivanti dall'ampia diffusione di questo metodo rispetto al rilevamento laser scanner, che consente di produrre con costi decisamente diversi la stessa tipologia di dati. Il campo di ricerca è, dunque, ancora aperto ed è fondamentale la sperimentazione. Infatti il risultato e l'attendibilità metrica sono condizionati dalla possibilità di introdurre nella procedura alcuni accorgimenti che possono migliorare le prestazioni degli algoritmi.

Per il rilievo di Sant'Eligio è stato utilizzato Agisoft PhotoScan, un software commerciale ampiamente testato che produce ottimi risultati. La procedura utilizzata è stata quella ormai consolidata nella prassi del rilievo fotogrammetrico: progetto di presa per garantire la completa copertura dell'oggetto da rilevare, fotocamera digitale di buon livello e computer con ottime prestazioni. La presenza di alcuni elementi, quali tendaggi e arredi, hanno determinato zone d'ombra rendendo in alcuni casi problematica la procedura di allineamento e, in fase di restituzione e creazione della nuvola sparsa, l'algoritmo ha creato molto *rumore* (Fig. 9). La scarsa illuminazione dell'interno ha determinato una sottoesposizione delle foto causando alcune problematiche durante la fase di allineamento e restitui-

zione automatica. Tale inconveniente può comunque essere risolto utilizzando il formato "camera raw" e sperimentando le diverse tecniche per il pretrattamento di set di immagini realizzate in questo formato prima di effettuare la procedura di allineamento e di restituzione [25].

La presenza di oggetti e quindi di lacune ha comunque reso necessario l'integrazione dei dati con i metodi tradizionali che sono stati utilizzati soprattutto per realizzare gli elaborati grafici necessari alla documentazione di un rilievo architettonico (piane, prospetti e sezioni). In dettaglio per la fotomodellazione di Sant'Eligio sono state utilizzate 1460 fotografie per la ricostruzione dell'interno con focale 50 mm e tali immagini sono state suddivise in 14 chunk.

La mancanza di alcune immagini e la non perfetta definizione di altre, dovuta alla scarsa illuminazione, ha creato alcuni problemi soprattutto in corrispondenza della navata di sinistra. Le lacune non consentivano a Photoscan di trovare le corrispondenze, il software non riusciva ad allineare correttamente le diverse nuvole prodotte fornendo risultati evidentemente scorretti. Abbiamo quindi sperimentato una diversa procedura di allineamento esportando la nuvola in un altro software

opensource, CloudCompare, e abbiamo effettuato l'allineamento con una procedura manuale ottenendo un risultato comunque soddisfacente.

Per la gestione della nuvola e la generazione delle immagini in proiezione ortogonale, finalizzati agli approfondimenti geometrici configurativi principale oggetto della presente ricerca, sono state sperimentate diverse procedure. Nel caso oggetto di studio, per generare tali immagini, è stato utilizzato Bentley Pointools, un software comunemente utilizzato per l'elaborazione delle nuvole di punti (Fig.10).

Sicuramente la diffusione di questi strumenti modifica l'approccio tradizionale alla conoscenza fornendo non solo misure ma informazioni qualitative, e non solo dati da analizzare ma immagini che possono acquistare un autonomo valore anche da un punto di vista figurativo. Le proiezioni assonometriche e prospettiche, le sezioni in proiezione ortogonale tratte dalla nuvola di punti sono delle rappresentazioni che, privando l'architettura della sua consistenza materica (Fig. 11), stimolano associazioni che in altro modo richiederebbero complessi ragionamenti, agevolando il compito di chi, pur utilizzando da sempre la geometria quale strumento preferenziale dell'investigazione scientifica, può trarre da queste immagini nuovi spunti e nuove occasioni di ricerca.

Fig.11. L'utilizzo di metodologie *image based* oltre a consentire la generazione automatica di dati tridimensionali, offre la possibilità di ottenere proiezioni assonometriche e prospettiche della nuvola di punti che, privata della consistenza materica, ci restituisce l'immagine della configurazione geometrico strutturale del sistema di volte (Elaborato prodotto dagli autori).



NOTE

- [1] Grodeki, Louis (1978), *Architettura Gotica*, Electa, Milano, p.5.
- [2] Bruzelius, Caroline (2005), *Le pietre di Napoli. L'architettura religiosa nell'Italia angioina 1266-1343*, Viella, Roma.
- [3] Ibidem p.5.
- [4] Ibidem p.15.
- [5] Cfr. Venditti, Arnaldo (1969), *Urbanistica e Architettura angioina. In: Storia di Napoli*, Società Editrice Storia di Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, vol. III, Napoli, pp. 710-721. cfr Venditti p. 712-713. La chiesa di Sant'Eligio fu gravemente danneggiata in occasione dei bombardamenti del 1941. Il prolungato incendio provocò la distruzione degli apparati decorativi barocchi riportando alla luce "come un palinsesto" i frammenti più antichi della chiesa trecentesca. In occasione del restauro, che ebbe inizio nel 1944, sono emersi alcuni elementi che hanno consentito agli storici l'elaborazione di un'ipotesi ricostruttiva attendibile. (cfr. De Angelis D'Ossat, Guglielmo (1957), *Danni di guerra e restauro dei monumenti*, in Atti del V Convegno di storia dell'architettura, Perugia 23 settembre 1948, Firenze, p.25).
- [6] Venditti, *op. cit.*, p.713.
- [7] Ibidem
- [8] Durante il restauro "in corrispondenza dei capitelli pensili, si sono rinvenute, sotto il pavimento, le fondazioni dei pilastri originari, a distanza ravvicinata, il che dimostra come in origine dovesse esservi un numero doppio di piedritti rispetto agli attuali", Venditti p.713.
- [9] Bruzelius, Caroline, *op.cit.* p.17.
- [10] Vassallo, Emanuela (2011), *Paesaggio, Italia. "Quartieri Bassi". Ricostruzione restauro e oblio di edifici religiosi nel secondo dopoguerra a Napoli: il caso di Sant'Eligio al Mercato*. In Casiello, Stella (a cura di), *Offese di guerra. Ricostruzione e restauro nel Mezzogiorno d'Italia*, Alinea, Firenze, pp. 73-100.
- [11] Ibidem
- [12] Ibidem p.115.
- [13] Galante, Gennaro Aspreno (1872), *Guida Sacra della città di Napoli*, Stamperia del Fibreno, Napoli, p.295.
- [14] Vassallo, *op. cit.*, p.116.
- [15] Ibidem p.117.
- [16] M. Zampino, Relazione sui lavori di restauro nella monumentale chiesa di Sant'Eligio Maggiore a Napoli, 1963.
- [17] Viollet le Duc, Eugène (1981), *L'architettura ragionata*, Jaka Book, Milano. Traduzione di Colombini Mantovani, Adriana Maria, (ed. orig. Viollet-le-Duc, Eugène-Emmanuel (1854-1868), *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI au XVI siècle*, Paris: Librairie-imprimeries réunies).
- [18] Ibidem
- [19] Ibidem
- [20] Vassallo, p.18.
- [21] Venditti, p.713.
- [22] Viollet le Duc, *op. cit.*, p.214.
- [23] Grasso, Daniela (2008), *Villard de Honnecourt, la rivoluzione strutturale del medioevo*, Archigrafica, collana monografica on-line del semestrale di Architettura, *Città e*

Paesaggio, Italia.

[24] Secondo questo criterio gli archi a sesto acuto si possono rispettivamente definire: di terzo acuto, di quarto acuto e di quinto acuto in funzione della posizione del centro della circonferenza che genera l'arco in relazione alla luce. Se quindi il centro è posizionato ad $1/3$ della luce, l'arco si può definire di terzo acuto, se è posto ad $1/4$ l'arco si dirà di quarto acuto e se è posizionato ad $1/5$ sarà di quinto acuto.

[25] Ballabeni, Andrea, Apollonio, Fabrizio Ivan, Gaiani, Marco, Remondino, Fabio (2015), *Advances in image pre-processing to improve automated 3D reconstruction*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W4.

Automated Image-based modeling, metodologie di rilievo low-cost per svelare le geometrie nascoste. La chiesa di Sant'Eligio al Mercato a Napoli

BIBLIOGRAFIA

- Abbate, Francesco (1998), *Storia dell'arte nell'Italia meridionale: Il Sud angioino e aragonese*, Donzelli Editore, Napoli, p.273.
- Abbate, Francesco (2005), *Sollecitazione e forma. La forma delle strutture*, Gallina, Napoli, p.144.
- Abbate, Francesco (2006), *The Planning and Building Instruments of Architects in the Late Middle Ages*, Proceedings of the Second International Congress on Construction History, UK: Short Run Press, vol. 1, pp.111-125.
- Ballabeni, Andrea, Apollonio, Fabrizio Ivan, Gaiani, Marco, Remondino, Fabio (2015), *Advances in image pre-processing to improve automated 3D reconstruction*, ISPRS The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Copernicus Publications, Gottingen, Germany, Volume XL-5/W4.
- Bruzelius, Caroline (2005), *Le pietre di Napoli. L'architettura religiosa nell'Italia angioina 1266-1343*, Viella, Roma.
- Catalano, Maria Ida (2010), *Sant'Eligio Maggiore, Eloquenza del frammento. Dalla Cona dei Lani di Domenico Napoletano: diario di una storia infinita*, in Middone, Roberto, Porzio, Annalisa, *Napoli 1943. I monumenti e la ricostruzione*, Edizioni Fioranna, Napoli.
- De Luca, Livio (2011), *La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*, Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- Gambardella, Alfonso (1990), *Piazza Mercato a Napoli. Architettura e sviluppo urbano del Borgo orientale*, Sagep Editrice, Genova.
- Galante, Gennaro Aspreno (1872), *Guida Sacra della città di Napoli*, Stamperia del Fibreno, Napoli.
- Grasso, Daniela (2008), *Villard de Honnecourt, la rivoluzione strutturale del medioevo*, Archigrafica, collana monografica on-line del semestrale di Architettura, *Città e Paesaggio, Italia*.
- Grodeki, Louis (1978), *Architettura Gotica*, Electa, Milano.
- Pane, Roberto (1944), *Il restauro dei monumenti*, in "Aretusa" a. I, 1944, pp.67-79.
- Vassallo, Emanuela (2011), *"Quartieri Bassi". Ricostruzione restauro e oblio di edifici religiosi nel secondo dopoguerra a Napoli: il caso di Sant'Eligio al Mercato*, in Casiello, Stella, (a cura di), *Offese di guerra. Ricostruzione e restauro nel Mezzogiorno d'Italia*, Alinea, Firenze, pp.73-100.
- Venditti, Arnaldo (1969), *Urbanistica e Architettura angioina*, in: *Storia di Napoli*, Società Editrice storia di Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, vol. III, Napoli, pp.710-721.
- Viollet le Duc, Eugène (1981), *L'architettura ragionata*, Jaka Book, Milano. Traduzione di Colombini Mantovani, Adriana Maria [ed. orig. Viollet-le-Duc, Eugène-Emmanuel (1854-1868), *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI au XVI siècle*, Librairie-imprimeries réunies, Paris].