

MATTEO
BIGONGIARI

La cattedrale di Sasamòn

*Rilievo digitale e
strutturale per la
conservazione del
Patrimonio*







UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

Il presente volume è la sintesi della tesi di laurea a cui è stata attribuita la dignità di pubblicazione.

"poiché nella campagna di studi diagnostici effettuati dal candidato *in situ* trasferendo un vasto repertorio di rilevazioni strumentali e manuali da lui eseguite sono emerse conoscenze e valutazioni inedite e di particolare importanza per la cultura del restauro in Spagna nel XX secolo".

Commissione: Proff. M. T. Bartoli, S. Bertocci, P. Puma, P. Gallo, M. Coppola, S. Van Riel, G. Minutoli, S. Parrinello, G. Pancani, L. Matteoli, S. Porzilli, F. Picchio, S. Mora Alonso-Muñoyerro, A. Vanni Desideri

Ringraziamenti

Questa tesi rappresenta per me il primo passo verso la ricerca dei personali interessi accademici.
Ringrazio per avermi guidato nelle scelte il prof. Bertocci, un giorno magari si percorrerà anche il Cammino insieme, la prof. Mora, per avermi insegnato a capire come pormi nella ricerca, il prof. Van Riel, perchè per capire il funzionamento delle fabbriche storiche c'è bisogno di un occhio esperto, il prof. Pancani, per l'esperienza, gli insegnamenti e le cene fatte a Sasamon, indimenticabili, il prof. Minutoli, per le scelte generose, l'opportunità e i molti consigli, il prof. Arrighetti, per avermi fatto guardare i sassi con occhi differenti, e per aver sopportato un gobbo, le molte persone che mi hanno accompagnato in questo viaggio, gli studenti dei seminari dell'Università di Firenze e i colleghi di Madrid, per i momenti di svago e per quelli di duro lavoro.
A tutti voi grazie, io mi sono molto divertito.

in copertina

Composizione grafica (*immagine dell'autore*)

progetto grafico

didacommunicationlab

Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze

Susanna Cerri
Federica Giulivo



didapress

Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze
via della Mattonaia, 8 Firenze 50121

© 2020
ISBN 978-88-3338-097-1

Stampato su carta di pura cellulosa Fedrigoni Arcoset

ELEMENTAL
CHLORINE
FREE
GUARANTEED



MATTEO
BIGONGIARI

**La cattedrale
di Sasamòn**

*Rilievo digitale e
strutturale per la
conservazione del
Patrimonio*





La ricerca che viene esposta nel presente lavoro costituisce uno dei maggiori risultati di un progetto di cooperazione internazionale condotto dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze con l'Università Politecnica di Madrid: si tratta del progetto di documentazione della chiesa Santa Maria la Real di Sasamón, in Spagna, proposto dalla collega professoressa Susana Mora Alonso-Munoyerro. Vale la pena di ricordare che grazie a questa fruttuosa collaborazione, oltre ad alcune interessanti esperienze di ricerca, è nata l'idea dell'importante ciclo di convegni internazionali ReUSO (<https://www.asociazionereuso.com/>), oramai alla quinta edizione: un luogo di scambio di ricerche, interessi culturali e scientifici fra diversi settori disciplinari quali Disegno, Storia, Restauro, Tecnologia e Progettazione. Il tema fondante è la discussione di esperienze, progetti accademici e professionali, sul tema della conoscenza, analisi e riutilizzo del patrimonio edilizio esistente.

Il lavoro sulla documentazione ed il rilievo della chiesa di Santa Maria la Real è stato un ottimo spunto per approfondire le metodologie di approccio per la conoscenza di un complesso a carattere monumentale, con il fine di estrarre le informazioni morfologiche e diagnostiche necessarie a redigere un progetto di restauro rispettoso della storia, delle caratteristiche morfologiche, materiche e strutturali dell'edificio. In questo processo le competenze del disegno e del rilievo architettonico, con la documentazione affidabile e sistematica del monumento, costituiscono la base fondante del processo di conoscenza e costituiscono un necessario database di informazioni, con la documentazione grafica delle caratteristiche metriche, spaziali e materiche che andranno a costituire le mappe digitali di base per supportare le successive analisi mirate alla conservazione ed al recupero, come quelle diagnostiche e strutturali, condotte direttamente in sito. L'attenzione al rilievo ed alla rappresentazione dell'edificio, attraverso l'utilizzo delle contemporanee tecnologie di misurazione digitale, coinvolge la professionalità dell'architetto sia nel caso in cui sia interessato alla documentazione digitale ed alle procedure di acquisizione del dato, ma soprattutto costituisce la guida per la accurata conoscenza del caso in esame quando si trovi a operare come conservatore o restauratore, in modo tale da poter fruire correttamente delle informazioni che le tecnologie del settore mettono oggi a disposizione in questo campo.

L'esperienza della documentazione digitale della chiesa Sasamón, che viene raccontata accuratamente nel testo con dovizia ed attenzione ai più delicati passaggi tecnologici, fino alla proposta di bellissime restituzioni grafiche, attraversa tutti i passaggi metodologici necessari alla ricerca esplicitandone bene i contenuti sia dal punto di vista teorico che pratico, e conduce quasi per mano il lettore alla comprensione di tutti gli elaborati di documentazione ed analisi preliminari al progetto, costituendo infine un utile strumento necessario al progettista per gli interventi conservativi e strutturali.

Colgo l'occasione di questa sintetica premessa per sottolineare la bella opportunità che il nostro Dipartimento di Architettura fornisce agli studenti che ricevono la 'dignità di pubblicazione' in sede di discussione di tesi di laurea, come nel caso del presente lavoro. La pubblicazione da parte del Laboratorio di editoria del DIDA, sia pure in forma rielaborata e maggiormente sintetica del tema di tesi e delle sue conclusioni scientifiche, consente anche di mettere in evidenza alcuni degli importanti lavori di ricerca cui partecipano i laureandi all'interno della Scuola di Architettura e mostra in maniera efficace gli interessi di allievi e docenti e le linee della ricerca maggiormente seguite e fruttuose.

Stefano Bertocci

Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze



Questo lavoro nasce da un progetto di ricerca seminariale, che si è sviluppato nel biennio accademico 2013/2014 e 2014/2015 in collaborazione tra l'Università degli Studi di Firenze e la Università Politecnica di Madrid, il cui scopo è lo studio dei sistemi difensivi e religiosi sul Cammino di Santiago di Compostela.

Come primo caso studio per la ricerca è stata analizzata la cattedrale di Santa Maria La Real a Sasamón, un borgo situato a 40 Km dalla città di Burgos, Spagna, una delle stazioni sul cammino dei pellegrini verso Santiago de Compostela.

La chiesa è un edificio monumentale, pensato come una grande cattedrale sulla via di Santiago, ed ha subito diverse modifiche nel corso della sua storia, sia durante la sua costruzione, sia con interventi di restauro più recenti: una fabbrica in continua evoluzione, similmente a molti altri edifici esistenti almeno dal XII secolo; il fine delle operazioni, eseguite in situ insieme a studiosi, esperti di differenti ambiti scientifici, dal rilievo, alle indagini e alle interpretazioni dei risultati della analisi diagnostiche, stratigrafiche, strutturali, al consolidamento strutturale, era quello di avere un quadro conoscitivo il più possibile completo dello stato di conservazione del monumento e del suo comportamento statico-struttu-

rale, in modo da poter definire un'analisi preventiva su cui basare il progetto degli interventi necessari al consolidamento strutturale.

La metodologia utilizzata prende esempio dalle indicazioni suggerite dal protocollo normativo italiano derivante dal DM 01/2008 sulle costruzioni; questo in sintesi predilige, nella successiva fase progettuale, un percorso di conoscenza completo rispetto ad un altro non altrettanto esaustivo, e favorisce il suo sviluppo in termini di coefficienti di sicurezza; per completo si intende uno studio che comprenda una corretta analisi storico-archivistica, un rilievo architettonico accurato, un rilievo diagnostico e un rilievo strutturale affidabile e comprendente prove sui materiali.

Aggiungendo allo studio sul manufatto un maggior numero di informazioni, e quindi un'analisi completa, che prevenga eventuali errori progettuali dovuti ad una conoscenza superficiale delle caratteristiche dell'edificio, in fase di progetto strutturale i coefficienti di sicurezza tenderanno sempre più all'unità, non andando, in sintesi, ad aumentare il dimensionamento, e quindi il costo, delle strutture necessarie al consolidamento.

Le prime operazioni effettuate all'interno del percorso di ricerca hanno avuto inizio con la realizzazione di un



Vista del borgo di Sasamon, la chiesa di Santa Maria la Real appare come un evidente fuori scala rispetto alle costruzioni vicine



accurato rilievo architettonico dell'edificio, utilizzando le moderne tecnologie laser scanner, che si configurano oggi indispensabili strumenti per lo studio di strutture tanto articolate quanto quelle presenti all'interno di questa cattedrale: la chiesa è infatti complessa non solo nelle sue geometrie o nella sua morfologia, ma soprattutto, a causa delle continue modifiche apportate al progetto nel tempo, nello schema statico-strutturale, che risulta molto distante da quello originariamente ideato secondo il modello delle chiese gotiche ispaniche.

Una prima fase ha previsto di portare a termine le operazioni che sono servite all'acquisizione ed alla ricostruzione del database 3D ottenuto dai dati del

rilievo laser scanner, generando una nuvola di punti complessiva del manufatto; successivamente è stata completata la restituzione grafica dei prospetti e delle sezioni principali dell'edificio, in modo da accumulare le informazioni morfologiche necessarie per poter completare le analisi svolte nella seconda missione e per poter evidenziare le aree da integrare con ulteriori rilievi l'anno successivo, considerando l'eventuale possibilità di ottenere un dato parziale in alcune aree a causa del breve tempo di acquisizione a disposizione, inferiore ad una settimana che non avrebbe consentito la verifica del dato ottenuto. Sono inoltre state condotte le prime analisi stratigrafiche sulle murature dei prospetti principali.

La missione quindi del secondo anno si è concentrata sulla realizzazione delle indagini materiche e diagnostiche delle superfici dell'edificio, approfondendo particolarmente lo studio delle strutture delle differenti coperture, in modo da poterne ricostruire il funzionamento statico e i problemi legati alla conservazione del monumento.

Le considerazioni riportate in seguito sono dunque il risultato degli studi di due anni di ricerche, condotte durante le missioni sul posto, che sono state necessarie a sperimentare una metodologia di analisi, di cui sono ampiamente riconosciute e studiate le potenzialità, su di un edificio complesso, sia per forma che per spazi distributivi, come la chiesa dedicata a Santa Maria

Vista del fronte meridionale della chiesa ripreso dal lato tergale, con da cui si vedono le absidi poligonali, il transetto e lo sviluppo longitudinale della navata

*pagina successiva
in alto*

Vista della facciata principale della chiesa, scarsamente decorata e dal portale di modeste dimensioni

*a sinistra
Vista del lato settentrionale del complesso con in primo piano il chiostro e la torre campanaria svettante*



La Real, a dialogare con il metodo di lavoro dei colleghi spagnoli ed a condividere informazioni sui metodi costruttivi antichi e più moderni presenti nella provincia di Burgos. Dopo una breve introduzione storica ed evolutiva delle fasi di costruzione della chiesa, il testo approfondirà la tematica del rilievo digitale, trattando tutte le operazioni che hanno portato alla realizzazione dei disegni bidimensionali; successivamente si concentrerà nell'affrontare una sintesi delle analisi materiche, diagnostiche e stratigrafiche, per procedere infine alla metodologia per l'analisi delle deformazioni e delle lesioni strutturali, per comprendere il funzionamento di un modello dei dissesti statici che sia utile a progettare even-

tuali consolidamenti. Questo studio ha come obiettivo finale di realizzare tutto quel corpus di documenti di conoscenza dell'edificio preliminare al progetto, ma necessario per fornire all'architetto progettista tutti quegli strumenti utili a redarre una proposta di intervento adeguata al valore di un edificio monumentale come la Cattedrale in analisi.

Il percorso di conoscenza



La Reconquista della Penisola Iberica portò allo scontro tra la civiltà islamica e un nuovo riunito occidente, che iniziò a costellare il territorio con i simboli della cristianità. La cattedrale di Sasamón, posta nei pressi di Burgos lungo il Cammino di Santiago, è uno di tali esempi, che ancora oggi mostra forti contraddizioni per la perdita di importanza dopo lo splendore di periodo gotico. Nella Spagna del XI secolo la Reconquista, che mirava alla cacciata dei Mori verso le coste africane, ebbe un forte impulso grazie all'istituzione di un cammino che attraversava i possedimenti cattolici del Nord del paese e consentiva agli zelanti uomini di fede di raggiungere e venerare le spoglie dell'apostolo Giacomo. Le numerose vie per raggiungere Santiago di Compostela iniziavano fin da oltre i Pirenei e permettevano ai pellegrini che le percorrevano di ottenere la redenzione plenaria dei peccati, grazie ad una bolla pontificia che si configurò come il gesto che, ben prima delle Crociate in Terrasanta, riunì sotto un'unica egida i cristiani d'Occidente contro il nemico musulmano [Cardini 2001]. Il percorso religioso iniziò presto ad essere costellato dai simboli della cristianità: imponenti fabbriche religiose in pietra che presero forma seguendo i principi architettonici tipici degli edifici degli ordini monastici, per lo più cistercensi e

cluniacensi, che si stabilirono nella regione. Le chiese ebbero spesso funzione di ospizio per i pellegrini, ed il loro splendore era lo specchio del potere economico delle comunità locali; la configurazione architettonica dei principali edifici lungo il Cammino era ispirata a quella della Cattedrale di Santiago, composta da tre navate, incrociate da un grande transetto, ed un abside con deambulatorio con cappelle radiali dove venivano poste le reliquie: questa indicazione compositiva viene sottolineata persino nella Guida del Pellegrino, un codice odeporario del XII secolo che indica oltre che le regole di comportamento, anche le quattro principali vie per raggiungere Santiago [Caucchi von Saucken 1989]. La presenza di questi imponenti edifici religiosi caratterizza tutto il Cammino, dai territori montuosi della Navarra, agli altopiani della Meseta, fino alla Galizia [Bertocci 2014]; ad un giorno di viaggio dalla ben più nota Burgos, capoluogo della riconquista spagnola, si trova il borgo di Sasamón, un comune che oggi conta meno di 1000 anime, ma che è noto fin dal periodo delle conquiste romane [Abasolo Alvarez 1975]. La sua cattedrale intitolata a Santa Maria La Real appare sovradimensionata rispetto al modesto insediamento, che ricorda l'edificio di culto solo per il colore del medesimo materiale da costruzione: una

pietra arenaria giallo sporco che ricorda le sfumature dei rilievi nell'altopiano circostante. La chiesa deve la sua importanza alla condivisione per un breve periodo della sede apostolica con la vicina Burgos, momento in cui viene progettato l'ingrandimento della fabbrica nel XIII secolo, di chiaro richiamo allo stile gotico simile a quello del capoluogo, probabilmente realizzato dalle stesse maestranze.

La chiesa tra il XII e il XIV secolo

Secondo la testimonianza di Orive Salazar, quando nel 1962 si procedette al getto di cemento nei pilastri della navata, ricomparvero le strutture della prima fase costruttiva della chiesa, modificata ed ingrandita nel 1128 per volere del re Alfonso VII. Questa prima chiesa doveva apparire di dimensioni molto ridotte rispetto a quella attuale: si suppone che fosse triabsidata, ma non ci sono informazioni sulle coperture, se fossero state realizzate con volte a botte o con una struttura lignea. La sua pianta potrebbe esser stata molto somigliante al progetto di Marcos Rico per la prima Cattedrale di Burgos. In fondo alla navata Sud si trovava la torre campanaria, che era rimasta incompiuta all'interno della fabbrica e si opponeva ad un ingrandimento nella sua direzione. La chiesa attuale, da un punto di vista stilistico, dichia-

ra di mantenere un fortissimo legame con le caratteristiche formali e costruttive della vicina scuola di Burgos e a quella spagnola della Linguadoca: le caratteristiche architettoniche e decorative dell'edificio ricordano le caratteristiche delle chiese cistercensi della fine del XII e XIII secolo, un ordine monastico che eresse grandi chiese e monasteri in Spagna proprio in quel periodo. Le sue caratteristiche sono tipiche delle costruzioni di periodo pre-gotico: la concezione strutturale dell'edificio infatti cambia radicalmente rispetto alle massicce chiese romaniche, concentrando le spinte delle strutture di copertura, che solitamente venivano realizzate voltate in pietra, su pilastri puntiformi, realizzando strutture ausiliarie come contrafforti, archi rampanti e pinnacoli per il loro contenimento, consentendo in questo l'apertura di finestrate più ampie e quindi l'ingresso di maggiore luce nelle sale dedite al culto. In questa prima fase di ingrandimento gli elementi caratterizzanti la nuova architettura religiosa sono l'utilizzo di pilastri massicci, ornati da un gran numero di nervature, e le volte, anche esse nervate riprendono in continuità la soluzione del pilastro; la spinta delle volte è stata progetta-



ta per essere non molto consistente: infatti la resistenza allo sforzo è stata affidata solamente allo spessore murario, nelle navate laterali, in punti consolidati da contrafforti; l'utilizzo di contrafforti poligonali per il contenimento delle spinte era già utilizzato in periodo romanico, e si ritrova in molte delle chiese spagnole presenti nel territorio; allo stesso modo si ritrova anche in periodo gotico, quando le spinte delle volte a crociera, costolonate, si andavano a concentrare proprio sul contrafforte, realizzando una struttura staticamente più efficace.

Le precedenti strutture di periodo romanico invece avevano un funzionamento staticamente differente: invece che riversare le spinte orizzontali delle volte costolonate in punti precisi, ovvero i pilastri o le porzioni di pareti contraffortate, costruivano le volte a tutto sesto, utilizzando la stessa centina per tutto lo svolgimento della navata, realizzando delle grandi botte che distribuivano uniformemente lo sforzo lungo tutta la parete della chiesa; in questo modo la resistenza strut-

turale dell'edificio era del tutto a carico delle murature perimetrali, motivo per cui era uso comune non forare le pareti con grandi aperture, aprendo solo piccole finestre, in modo tale da non indebolirne la resistenza statica. Nella chiesa di Sasamón è possibile trovare una traccia di tale periodo costruttivo all'interno del sottotetto della navata laterale sud: sono ben visibili le aperture circolari di periodo anteriore alla fabbrica gotica e la linea di gronda della copertura precedente.

Alla metà del secolo XIII può essere attribuito il carattere gotico-arcaizzante, che sostituisce la volta a botte che doveva coprire la navata con un sistema di volte a ogiva su sezioni ad arco acuto, che suddividono lo spazio in campate, come se fosse un susseguirsi di cappelle; le ogive, che per convenzione architettonica appaiono per prime a Durham nel 1093, sono utilizzate come primo caso in Spagna nel Portico de Gloria a Santiago di Compostela, del maestro Mateo, nel 1168; quelle della Cattedrale di Burgos sono invece state realizzate nel periodo che va dal

1222 al 1260, e sono state sicuramente il modello di ispirazione per il progetto di Sasamón, cosa che consente di datare la realizzazione delle volte ogivali dopo la metà del secolo XIII.

La pianta delle chiese non monastiche solitamente ha un impianto planimetrico che distribuisce le cappelle parallelamente su campate ambulatoriali al contrario delle cappelle radiali che comunemente si trovano nella tipologia abbaziale.

A Sasamón la parte terminale dell'edificio si sviluppa con un corpo a cinque absidi poligonali: la più alta è quella centrale, mentre quelle laterali diminuiscono di altezza una dopo l'altra, ma tutte hanno la stessa superficie e presentano contrafforti esterni; erano sicuramente presenti archi rampanti a sostegno della navata. Le cinque absidi poligonali si aprono sul transetto, coperto con volte ogivali, della stessa altezza di quella della navata principale.

La regola cistercense vieta di avere torri disposte sulla facciata dell'edificio, quindi è normale vedere la torre alzar-

si all'angolo tra la navata e il transetto, o nelle sue vicinanze, e, come in questo caso, sfruttando le antiche muraure della torre campanaria romanica per riedificare una nuova torre di carattere gotico.

In questi monumenti è quasi assente la presenza di sculture ornamentali. I capitelli sono decorati con foglie cadenti semplici e poco modanate. I portali sono adornati nei loro archi con motivi vegetali molto semplici. L'austerità ornamentale deriva a sua volta dall'osservazione della regola cistercense. Il portale presente in facciata, che presenta motivi ornamentali puramente geometrici, così come il portale nord del transetto, che oggi appare murato a causa dello spostamento dell'altare maggiore, appartengono a questa fase costruttiva, a differenza del ben più monumentale portale disposto all'ingresso sud del transetto. Sono evidenti in questo caso i legami stilistici con le chiese disposte attorno al territorio di Sasamón: i portali citati in precedenza ricordano, anzi sono quasi fatti su modello del portale della



chiesa della vicina San Miguel. A Santa Maria la Real tutte queste caratteristiche stilistiche vengono seguite almeno in principio fedelmente, ma con il passare del tempo si possono notare alcune alterazioni.

La sua porta sud del transetto è chiaramente ispirata al Sarmental di Burgos, dove si è sviluppata una nuova corrente artistica e statuaria tardo-gotica; sicuramente in principio questo portale era gemello a quello presente sull'altra uscita del transetto sul lato nord.

Analizzando la dimensione dei portali è evidente come il transetto avesse un ruolo ben più importante rispetto alla navata, e probabilmente il percorso dei pellegrini e dei fedeli svolto per adorare le reliquie prevedeva un ingresso da sud, percorrendo le cappelle absidali, per riuscire dal portale nord, proseguendo il cammino verso i borghi successivi.

La modifica del portale di accesso al transetto è in linea all'evidente benessere economico, come stava accadendo proprio in quel periodo; infatti la regione di Burgos ha potuto godere du-

rante il secolo XIII di straordinaria prosperità, basata sulla centralizzazione del commercio, in particolare della lana, realizzata attraverso i porti di Biscaglia. I nobili castigliani che accompagnavano San Ferdinando nelle sue conquiste dovettero contribuire, con il bottino vinto a Cordoba e Siviglia, a ingrandire lo splendore economico della regione.

Nella provincia e nella diocesi ci sono numerosi reperti chiamati di transizione insieme a elementi gotici e romanici, in particolare l'arco a sesto acuto si è modificato dal più puro stile precedente ad avere capitelli e ornamenti gotici.

Pertanto in questo momento, ovvero alla metà del secolo XIII, il desiderio di emulare lo splendore della cattedrale di Burgos è evidente.

Non solo questo intento si dimostra nel portale già citato, ma la pianta del transetto viene modificata con l'inserimento di grandi pilastri semicircolari massicci, del tutto simili a quelli presenti all'incrocio tra transetto e nava-

ta della cattedrale di Burgos pur puntellati con colonnine a fondo di campana, stile caratteristico dei cistercensi. Il passo dei pilastri semicircolare aumenta realizzando una campata quadrata all'incrocio rispetto alle precedenti di dimensione rettangolare. Si completa il progetto con la costruzione di due nuove cappelle simmetriche all'incontro tra la navata e il transetto, alle estremità del transetto, il che porterà a supporre ad una prima osservazione della planimetria la presenza di un 'doppio transetto' che trova adesso una sua giustificazione: infatti non è un transetto a due campate, ma il risultato di una giustapposizione delle cappelle del Battesimo e del Santo Giovanni, desiderando, oltre alla funzione liturgica, avvolgere il portale, in particolare quello sud, non estendendo però in questo modo la composizione del prospetto del transetto, per via delle quote differenti tra le campate. Le modifiche devono essere state eseguite dalla stessa mano del Colonia (probabilmente da Francisco, figlio di Simone) o da artisti provenienti dal

suo studio e sotto la sua direzione oppure dallo stesso ambito culturale, in quel momento sarebbe anche stata affrontata la costruzione del chiostro. Questo cambiamento di direzione stilistica lungo il secolo spiega l'arcaismo dei plinti di fondazione della navata laterale nord in disaccordo con la maggior parte del resto della fabbrica. In tutto questo secolo di pianificazione e riconsiderazione di questa zona della chiesa, la torre romanica è andata incontro a diversi problemi causati dal cambio di progetto, e così la sua erezione è stata pensata o per divenire molto più alta rimanendo incompiuta dopo il secondo piano nel s. XIV, oppure è crollata ed è stata successivamente ricostruita.

Alla fine del XIII secolo e prima di questo progetto di modifica o di riforma, la chiesa presentava una pianta più pulita: un impianto a tre navate, con transetto e cinque absidi poligonali in testata come a Burgo de Osma; è sta-



ta completata seguendo i principali esempi provenienti dalla scuola di Burgos. L'impronta progettuale della cattedrale di Burgos lascia i suoi effetti non solo a Sasamón, ma sono riscontrabili anche nella parrocchia di Santo Stefano e San Cosme a Burgos e nelle chiese di Frias, Grijalba e Castrojeriz. Il chiostro è stato costruito nel XIV secolo a fianco al lato nord della navata della Chiesa, il che ha portato ad una trasformazione di questo lato, almeno esteriormente, in grado di conciliare il nuovo passi delle volte a crociera delle campate e i peducci utili al loro sostegno agli attuali contrafforti, archi rampanti e finestrate della chiesa. Drive Salazar appunta erroneamente che alcune delle aperture dovevano es-

sere cieche, e quanto fu traumatica la demolizione della 'quinta' navata della chiesa, in realtà mai esistita ma ipotizzata sulla base di un'ipotesi di simmetria con l'attuale pianta.

Quello che sembra più probabile è che si sia basata sulle costruzioni precedenti, ciò è provato dai resti di forature che non potevano essere presenti a meno che a quei tempi appartenessero a un muro di facciata. Per il carattere civile di queste aperture potrebbe azzardare l'ipotesi di appartenere ad un edificio residenziale, probabilmente la sede dell'ordine ecclesiastico.

Il chiostro ha una pianta quasi quadrata e presenta trifore molto eleganti, modulate secondo un passo di 5/6 per archi laterali, ogni arco è suddiviso

a sua volta in quattro archetti e rifinito da due rosoni e una incoronazione più grande. Le volte ogivali poggiano sulle pareti piene su peducci a fondo di campana impreziositi da sculture o con vari motivi ornamentali che costituiscono un significativo esempio di iconografia gotica. Era sicuramente dotato di un piano di calpestio superiore alle volte come è ben visibile dalle fotografie storiche: allo stesso modo si può supporre dal vicino esempio illustre di Burgos, e dalla forma piuttosto tronca e tozza che presenta ad un solo piano.

Gli interventi tra il XV e il XVI secolo

Ipotizzando che sia stato modificato il portale del transetto, questo cambiamento avrebbe avuto luogo proprio nel secolo XV, e più specificatamente al termine dell'intervento del Colonia. È indubbio che il portale sia stato realizzato sull'esempio del Sarmental di Burgos se non direttamente dal Colonia, almeno dalla sua scuola.

Per quanto riguarda le modifiche all'impianto della chiesa, sul lato destro, il sud, è stata costruita nel 1446

la cappella di San Bartolomeo; l'ambiente è coperto con una volta a crociera, che oggi contiene un fonte battesimale: una grande fonte gotica decorata con motivi vegetali e figure leggendarie della castiglia gotica, che alludono al Sacramento e alla rigenerazione spirituale. Oggi l'accesso alla cappella avviene dalla navata laterale, ma per lungo tempo era aperta anche verso est, dove il muro che delimita l'ambiente mantiene il segno di una grande finestratura. Oltre all'altare ci sono due archi rivestiti in legno, uno di essi con una lettera in pietra scritta in tedesco dove compare il nome del donatore (RR Corrales) mostrando la dedica a San Bartolomeo e la data di completamento nel 1446.

Sul lato opposto, quello nord, di fianco alla porta contrassegnata che collega il chiostro con la chiesa c'è un altro arco contenente tre lapidi sepolcrali: una di Pedro Ruiz Sarmiento, Capitano Generale della Castilla, una dell'arciprete Alvar Perez (1485) e una scena di Cristo giudice. Nella cappella si trova il magnifico altare di San Giovanni, che le dà

il nome, in legno dorato costruito a fine del XVI secolo.

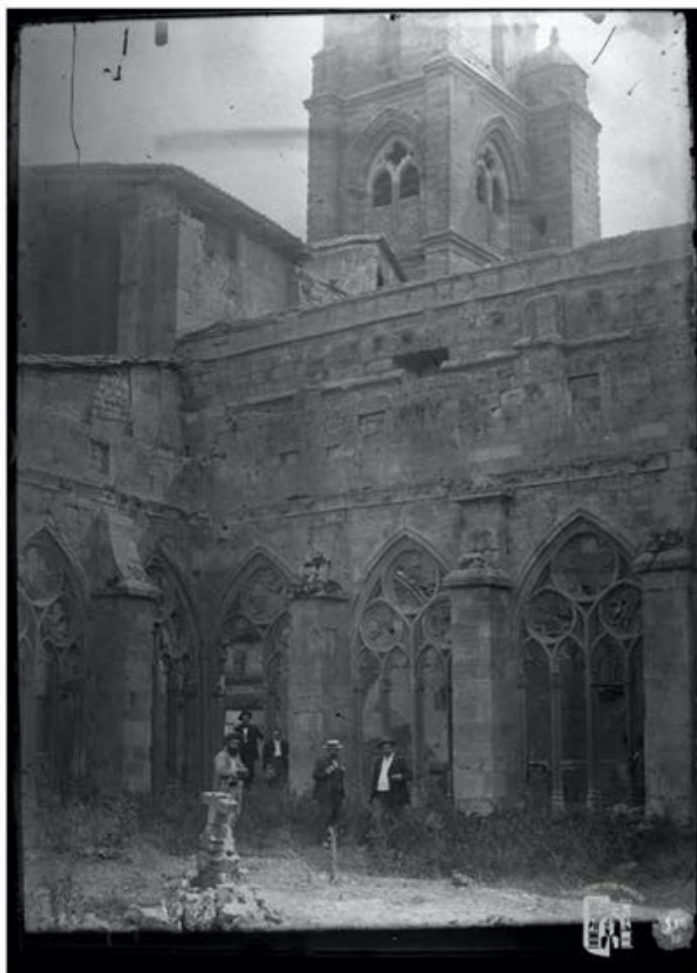
Nello stesso periodo l'altro grande intervento di modifica all'impianto della chiesa viene effettuato sul fronte meridionale, dove viene aggiunta un'ala di cappelle ad uniformare le rientranze della facciate, insieme ad un altro portale dedicato a San Michele. La sua costruzione appartiene chiaramente al tardo gotico, chiamato in Spagna Isabelito (contemporaneo allo stile Manuelino in Portogallo). Le date di lavorazione coincidono pienamente con lo stile impostato per il portale di F. Colonia, e non sarebbe sorprendente se stesse lavorando su entrambi di persona o la sua bottega sotto la sua supervisione; però non c'è nessuna testimonianza che queste cappelle facciano parte dello stesso lavoro. Nel fazzoletto tenuto da due angeli in lettere gotiche si legge "questo portale e campata nell'anno millecinquecento e quattro anni sono finiti".

Non è possibile determinare la ragione per la realizzazione del portale. È stato supposto che sia stato costruito in

ricordo dell'ospitalità che Sasamón diede agli abitanti della vicina S. Miguel de Mazareros, centro abitato che venne completamente abbandonato da quel periodo; oppure venne pensato semplicemente in memoria del villaggio.

Le cappelle adiacenti al nuovo portale sono cinque, e sono coperte da bellissime volte stellate, tutte diverse, che si poggiano su più pilastri finemente scolpiti e nervati. Per eseguire la loro costruzione la parete sud è stata completamente demolita; in questo modo la forma della chiesa sembra prendere un impianto completamente atipico a quattro navate, mentre in realtà sarebbe più corretto definirlo come un'aggiunta alle tre navate di cappelle tra contrafforti. (Si può osservare la somiglianza di organizzazione planimetrica tra il risultato finale dopo l'aggiunta delle cappelle e del chiostro e la proposta di pianta di Marcos Rico per la cattedrale di Burgos).

Questa porzione di architettura presente nella chiesa è il chiaro esempio della verità dell'affermazione di Fer-



nando Chueca Goitia, ovvero dell'assenza in Spagna dello stile puramente gotico e solo dell'esistenza di un gotico primitivo che non ha ancora raggiunto il suo pieno sviluppo (costruzione mediogotica) oppure di uno stile tardo-gotico, molto lontano dal precedente nonostante le loro somiglianze formali.

La qualità costruttiva delle cappelle non corrisponde alla finezza decorativa del loro disegno. In pianta si percepiscono chiaramente i grandi errori di picchettamento e la disposizione caotica dei pilastri che sostengono, tra le altre cose anche la base della torre. Queste irregolarità geometriche portarono Lamperez ad affermare che la soluzione scelta 'lega male' transetto e navata.

Questi errori costruttivi, tra i quali probabilmente venne ipotizzato inoltre di elevare la navata centrale, avrebbero portato al dissesto quasi immediato: se non ne conseguì la distruzione, portò almeno a temere le sue spinte, provocando così la rapida costruzione per contrastare le forze dei grandi contrafforti a dividere le cappelle. Questo evento fece perdere l'impressione l'unicità della soluzione progettuale, dato che come ci dice Lamperez viene fatto molto celermente per rimediare ai danni.

Ma ciò che rende una soluzione unica e assurda allo stesso tempo è l'appog-



gio del peso dei contrafforti, che sorreggono le spinte degli archi rampanti della navata centrale, direttamente sulle arcate delle cappelle, e se si aggiunge che sono stati realizzati inclinati obliquamente rispetto alle cappelle. Probabilmente la costruzione delle cappelle ha avuto anche il fine di regolarizzare il fronte, ma è evidente come la trasmissione delle forze divenga complessa e rischi di portare al collasso delle strutture. Con la ricostruzione del 1962 le cappelle hanno perso la loro funzione. La navata centrale era crollata e rovinata da un incendio nel 1812. Per quanto riguarda la torre al XV secolo erano stati costruiti o sul punto di essere completati primi due piani. Ciò che è più sorprendente è la porzio-

ne centrale della navata, sostenuta da quattro pilastri rinascimentali e l'asse del portale S. Miguel; è possibile stabilire alcuna ipotesi attendibile della sua esistenza? Si vuole sottolineare l'asse del nuovo accesso oppure la nuova costruzione dei pilastri è dovuta al crollo di una porzione della navata a causa dell'errore del capomastro nella realizzazione dell'ingrandimento? L'altra ipotesi è che siano la traccia della presenza di un coro centrale del secolo XVIII citato dal *Bulletin de la Castellana Società de Excursiones*. Ma in quest'ultimo caso sarebbe stato necessario in primo luogo sostituire le quattro colonne gotiche con quelle rinascimentali e quindi abbattere tutte le strutture delle volte che sostenevano. Tut-

to molto improbabile date le difficoltà tecniche coinvolte in questa ipotesi. Nella prima metà del s. XVI, dopo il passaggio dal periodo tardo gotico a quello rinascimentale, viene realizzata l'apertura all'interno della navata laterale nord che consente l'accesso al chiostro; è chiaro come appartenga ad un periodo e stile decorativo che viene definito in Spagna plateresco, per la ricchezza di decorazioni. La Sagrestia è un edificio formato da due ambienti architettonici differenti; è stata realizzata alla fine del XV o inizi del XVI secolo e dà all'impianto della chiesa la sembianza del cristo sulla croce, con la testa inclinata. Dall'esterno la presenza della sagrestia nasconde le linee poligonali delle parte absi-

dale della chiesa, nascondendo parte dei contrafforti e delle aperture nei pressi dell'altare maggiore. È coperta da volte stellate; la data del 1733 che compare in una delle sue pareti deve corrispondere a un restauro o una ristrutturazione.

Il corpo del 'tesoro' è un ambiente su due piani, l'ultimo piano è coperto da una volta intonacata accessibile da una scala aggiunta all'esterno. Tutto ciò denota un grande improvvisazione nell'esecuzione del lavoro o la mancanza di alcune strutture leggere sul lato settentrionale della chiesa come evidenza in parte l'analisi archeologica sulle murature esposta in seguito.

La chiesa dal secolo XVII

Completato il progetto cinquecentesco l'impianto della chiesa dovrebbe aver raggiunto la completezza che oggi ci appare, tranne la parte superiore della torre, con la sua ultima cella.. In questo momento vengono costruiti anche i contrafforti del chiostro.

Anche se i tempi non sono così favorevoli finanziariamente rispetto al periodo precedente, e considerando che da ora in avanti la Castilla ha iniziato il suo lento declino, la chiesa mantiene tutte le sue ricchezze e privilegi. Padre Florez nel 1771 dice testualmente: "il culto è continuo in quanto i ministri della Chiesa (che sono tredici) svolgono le funzioni e cantano le ore canoniche come la Collegiata".

"In questo giorno stanno completando un organo, il più sontuoso che abbia mai visto, perché la fabbrica è ricca", e anche Madoz rispecchia nel suo *Dizionario* il fatto che "... e la chiesa parrocchiale è servita da una comunità di sacerdoti..."

Nel 1776, in una lettera a D. Tomas Lopez, D. Jeronimo Herrera dice che: "esisteva la città di Sasamón, secondo Strabone, quando Numancia... villa oggi realenga, è governata da due giudici e quattro assessori hordinarios, e non riconosce alcun signor, ma alla Royal Chancery di Valladolid, la chiesa era sede vescovile, ha i privilegi dei monasteri di Santo Domingo de Silos, San Pedro de Cardena e Villarero Chiesa di oggi non ha testa allegato vicaria o convento, la sua dedizione alla Madonna, Signora e teneva in Natività..."

Tutto questo ci chiarifica la condizione di uno splendore passato, anche se Madoz già trovò la chiesa in rovina dopo la Guerra di Indipendenza, nella quale, oltre che ospitare il popolo, certamente la chiesa funse da acuartieramento dell'esercito francese. A questo momento storico appartengono i 'graffiti' della sacrestia.

Si legge questo:

Anno 1815; questa apertura si aprì quando fu amministratore D. Jose Saiz e servì come chiesa fino a quando l'altra fu ricostruita / nell'anno 1819 si tornò a chiudere, quando era amministratore D Fernando Riloba e si tornò... (illeggibile) ... altare e trono della Nostra Signora Reale/. La aprirono e tapparono Juan Antonio Rayon e Domingo Rajejon e Jose Martinez / tutto a causa della guerra da parte degli spagnoli e sono stati i traditori? Perché i francesi e la guerra...

(forse continua sotto la calce)

Questi frammenti ci dicono che per un periodo di 7 anni circa le sale della *Sagrestia Vecchia* sono state utilizzate come un luogo di culto durante i lavori per riparare le navate e il transetto e certamente la ricostruzione del transetto ha portato ad averlo come lo conosciamo oggi.

Il resto del XIX secolo ha visto accadere molti incidenti compreso il crollo della navata, che portò la chiesa nello stato in cui la vide Lamperez nel 1904.

Nel 1930 si coprì il chiostro e nel 1957 l'unica volta rimasta in piedi della nave centrale venne distrutta. Dal 1960 il parroco D. Alejandro Orive è instancabilmente impegnato nella ricostruzione del tempio: i lavori portano alla costruzione di un coro, chiudendo 'lacune allarmanti' nelle cappelle, e la ricostruzione delle volte del transetto. Non si conoscono i criteri di restauro adottati; si ha nota che il giorno 8 Agosto 1961 ha ricevuto l'autorizzazione a procedere con i lavori dalla Soprintendenza di Belle Arti "per procedere con la ricostruzione secondo i piani già presentati" che devono corrispondere sicuramente al "Progetto per la riparazione della chiesa di Sasamón (Burgos)" (aprile 1961) realizzato dall'architetto Marcos Rico Santamaria, conservato negli Archivi parrocchiali. Questo do-

documento (solo una pagina di relazione, una e mezzo su Budget e una pianta molto schematica) non contribuisce in alcun modo a fornire dati delle opere architettoniche che sembrerebbero richiedere un lavoro di grande importanza.

Si conserva inoltre il contratto di D. Salazar Alejandro Orive, come parroco, con Juan Usabiaga Aramburu è conservato, che rappresenta *Luis Olagasti Construcciones, SA* per la realizzazione di tali opere, dal sistema 'Amministrazione' al 'per la sua insicurezza', datata a Burgos 25 Aprile 1962

Il 15 dicembre 1972, la Direzione Generale di Belle Arti del Ministero dell'Istruzione e della Scienza Presidente, manda al Sindaco della Città di Sasamón, una comunicazione in cui ribadisce l'ordine di demolizione inviato il 23 Novembre 1970 e il "ritiro immediato" di quelli "... recentemente immessi sul mercato e l'accesso al tempio del giardino, sculture, scatole e le fonti di pietra artificiale, imitando antichi motivi ornamentali, in serie" oggetti. Vent'anni dopo ancora questi interventi di demolizione non sono stati eseguiti.

La documentazione, o almeno reso possibile consultare, si conclude con questa scrittura

Cosa è successo da allora fino ad oggi si ritrova nella Sez. 8 *Interventi negli ultimi 25 anni*.



L'argomento cardine di questa ricerca consiste nella progettazione, nell'esecuzione, nell'elaborazione e gestione dei rilievi digitali, eseguiti con strumentazioni laser scanner e fotografici, volti alla conservazione di edifici di carattere patrimoniale. L'attenzione al rilievo ed alla rappresentazione dell'edificio, attraverso l'utilizzo delle contemporanee tecnologie di misurazione digitale, coinvolge la professionalità dell'architetto sia nel caso in cui sia interessato alla documentazione digitale ed alle procedure di acquisizione del dato, ma soprattutto costituisce la guida per la accurata conoscenza del caso in esame quando si trovi a operare come conservatore o restauratore, in modo tale da poter fruire correttamente delle informazioni che le tecnologie del settore mettono oggi a disposizione in questo campo.

Progetto di rilievo

La fase di progettazione delle operazioni di rilievo necessita di una attenta programmazione delle attività per evitare di incorrere in mancanza di dato o nell'acquisizione di informazioni erronee [Pancani 2017]; grazie alla possibilità di analizzare alcuni rilievi esistenti dell'edificio, che erano stati realizzati mediante tecniche tradizionali dalla prof. Susana Mora dell'UPM e dal suo team di ricerca, è stato possibile ave-

re un'idea preliminare dell'oggetto di studio e delle sue complessità morfologiche, in modo da poter progettare una corretta strategia di campagna di acquisizione dati laser scanner.

Il rilievo della cattedrale di Sasamón è stato pensato in funzione della successiva fase di analisi diagnostica del monumento, che necessariamente obbliga ad ottenere un modello di punti affidabile e definito almeno per la scala di restituzione 1:50: solo a questo livello di dettaglio si può integrare in maniera esaustiva e comprensibile il corpus di informazioni legate alle analisi superficiali, ma anche alla morfologia, delle strutture portanti dell'edificio, dalle murature verticali agli elementi di copertura [Minutoli 2018].

L'affidabilità del rilievo digitale è stata garantita nonostante l'assenza sul campo di strumentazione topografica, che, solitamente, nei processi di registrazione delle scansioni laser scanner veniva utilizzata come strumento per la verifica dell'errore ottenuto nel processo di allineamento: mediante la realizzazione di un percorso di rilievo che costituisca una poligonale chiusa, è infatti intuitivo come sia possibile calcolare e mediare gli errori ottenuti nelle singole misurazioni. Il gruppo di lavoro che si è occupato dell'acquisizione e della gestione del rilievo digitale, composto dallo scrivente e coordinato dal

prof. Giovanni Pancani, aveva già sperimentato con buoni risultati l'utilizzo delle scansioni laser in fase di registrazione dei dati, senza l'appoggio di una maglia topografica sul piccolo complesso religioso della Pieve di Romeña [Bertocci et al 2015]; a causa della maggior dimensioni dell'edificio tuttavia a Sasamón è stato necessario progettare con più cura un sistema che potesse surrogare la poligonale estremamente accurata della stazione totale. La missione di acquisizione dati è stata eseguita con uno strumento laser a differenza di fase Leica HDS 7000, le cui principali caratteristiche sono la rapidità di acquisizione di misurazioni (fino ad un milione di punti al secondo), l'elevata portata (fino a 180m dalla stazione di ripresa) e l'accuratezza del dato (errore inferiore ad 1mm ad una distanza di ripresa di 25m).

L'aggiornamento metodologico elaborato per il progetto di acquisizione dei dati laser scanner è stato appositamente studiato per risolvere le peculiarità del complesso di Sasamón e consiste nel realizzare un reticolo di scansioni fra loro registrate con un'alta precisione, attraverso il posizionamento di target stabili, ovvero tali da formare una struttura rigida ed affidabile su cui appoggiare tutte le altre scansioni del rilievo. Il suddetto reticolo è stato pensato come la struttura

portante del rilievo, sul cui asse primario, chiamato per comodità asse principale, si innestano l'altro asse della struttura ed i suoi bracci.

Le scansioni eseguite sono state suddivise in tre tipologie: fondamentali, secondarie e di raffittimento.

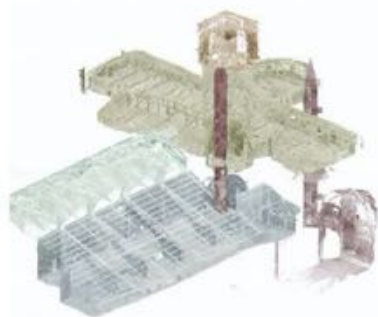
Le scansioni fondamentali vanno a posizionarsi lungo due assi, nominati 'assi fondamentali', tra loro ortogonali su cui si lega tutto il rilievo: il primo corre longitudinalmente il fronte sud, l'altro, entrando nel portale del transetto, lo attraversa arrivando fino all'odierno altare celebrativo. Queste due direttrici sono state scelte perché collegano direttamente tutti gli spazi del complesso: sono accomunate dal riuscire a misurare quelli che sono stati definiti 'target stabili', visibili lungo le postazioni non solo delle scansioni fondamentali ma anche da postazioni chiave all'interno della chiesa e dei sottotetti. Per 'target stabili' si intende target a centro di massa montati su supporti plastificati in modo da poter resistere ai cambiamenti meteorologici durante l'intero periodo di rilievo.

Queste caratteristiche hanno portato a raggiungere una grande accuratezza nel rilievo: per poter battere i target distanti molti metri dalla postazione laser sono state sfruttate le caratteristiche dello scanner, il quale, grazie ad un miglioramento del software interno ri-

Planimetria estratta dalla nuvola di punti con individuate le postazioni di scansione laser scanner: il colore delle stazioni dipende dall'appartenenza alle scansioni degli assi principali, secondari o di raffittimento.



Pianta delle coperture estratta dalla nuvola di punti con individuate le postazioni di scansione laser scanner: in alto a sinistra vista assonometrica della nuvola di punti che evidenzia gli spazi distributivi all'interno dei sottotetti necessari a legare tra loro i differenti ambienti.



spetto al modello precedentemente in commercio, permette facilmente di eseguire raffittimenti su porzioni della scansione; nel caso specifico sono stati effettuati sui target, in modo da acquisire le aree necessarie a garantire la precisione delle registrazioni delle nuvole in maniera molto dettagliata (il raffittimento dei target ne comporta una maglia di punti più fitta, così da evitare eccessivi errori di rototraslazione che, seppur minimi, su un edificio così grande avrebbero portato ad imprecisioni non accettabili per la scala di restituzione) e contemporaneamente da non aggravare ulteriormente il peso delle informazioni del database: per un edificio di tali dimensioni l'archivio digitale dei punti misurati ha raggiunto dimensioni superiori a 145 Cb e sarebbe più che raddoppiato aumentando la densità delle scansioni utili.

Le scansioni secondarie sono servite a chiudere le poligoni di scansioni all'asse fondamentale in modo da compensare l'errore ottenuto: all'esterno completano il percorso intorno all'edificio mentre all'interno formano un anello che congiunge transetto, navata e chiostro.

Le scansioni di raffittimento, infine, completano il rilievo eliminando i coni d'ombra rimanenti sul modello.

Il rilievo composto in tutto da 345 scansioni laser scanner è stato così ri-

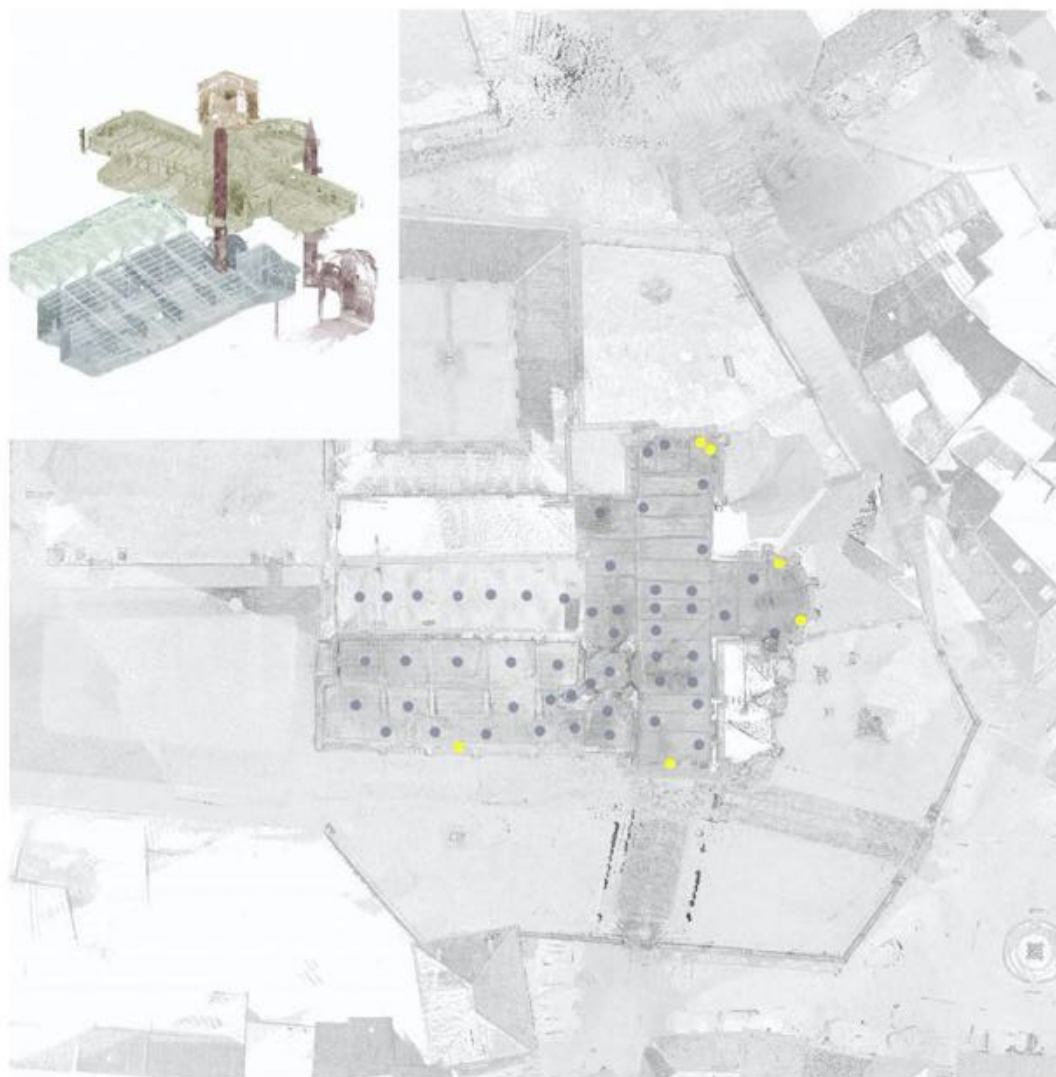
partito: 15 scansioni formano gli assi fondamentali; 30 completano la poligonale ed altre 300 servono per completare il rilievo; 45 postazioni in sintesi descrivono morfologicamente l'edificio e creano la rete su cui montare la nuvola di punti, evitando in questo modo di accumulare nel processo di registrazione errori consistenti: invece di accumulare errore su 345 registrazioni, infatti, con 45 rototraslazioni si ottiene un modello generale; le successive 300 registrazioni non andranno a modificare la struttura base

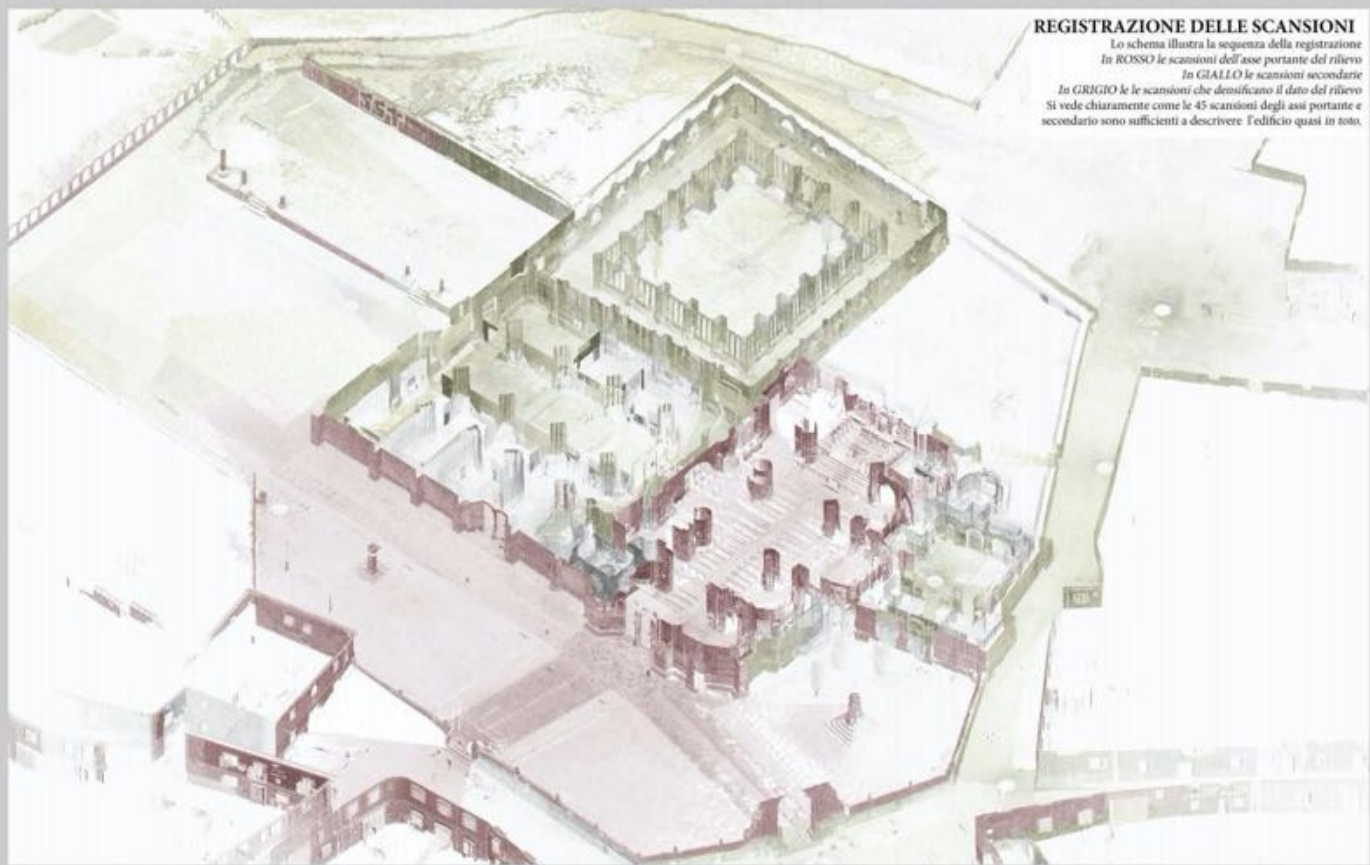
di rilievo ottenuta ma completeranno il dato.

Registrazione e certificazione

Il concetto di registrazione delle scansioni laser consiste nella creazione di un modello di punti generale, ovvero nella rototraslazione nello spazio delle singole nuvole di punti con riferimento ad un unico sistema di coordinate. Ogni scansione è una nuvola di punti (un insieme di punti con coordinate metriche spaziali composto, in seguito alle scelte di definizione del rilievo in

esame, da almeno 30 milioni di punti) con un sistema di coordinate polari che hanno origine nella testa dello scanner, da dove ha avuto inizio la misurazione. La rototraslazione delle scansioni altro non è che lo spostamento rigido di tutti i punti di una nuvola sulla base del sistema di coordinate di un'altra di riferimento; questo processo ripetuto per tutte le scansioni effettuate porta ad





REGISTRAZIONE DELLE SCANSIONI

Lo schema illustra la sequenza della registrazione
 In **ROSSO** le scansioni dell'asse portante del rilievo
 In **GIALLO** le scansioni secondarie
 In **GRIGIO** le scansioni che densificano il dato del rilievo
 Si vede chiaramente come le 45 scansioni degli assi portante e secondario sono sufficienti a descrivere l'edificio quasi in toto.

Registrazione delle scansioni che compongono l'asse portante del rilievo.
 15 stazioni laser scanner.



Registrazione delle scansioni che compongono i bracci secondari del rilievo.
 30 stazioni laser scanner.

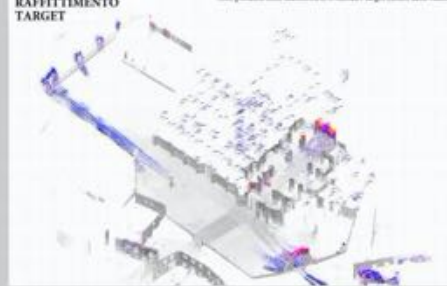


Si completa il rilievo riattorcendo le scansioni rimanenti alla poligonale creata.
 300 stazioni laser scanner.

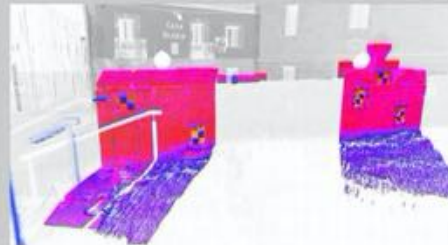
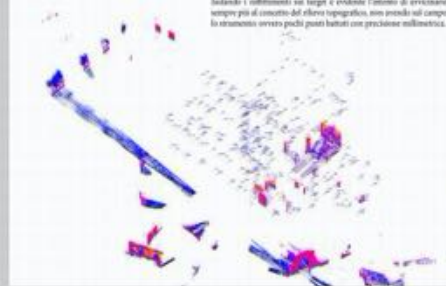


RAFFINAMENTO TARGET

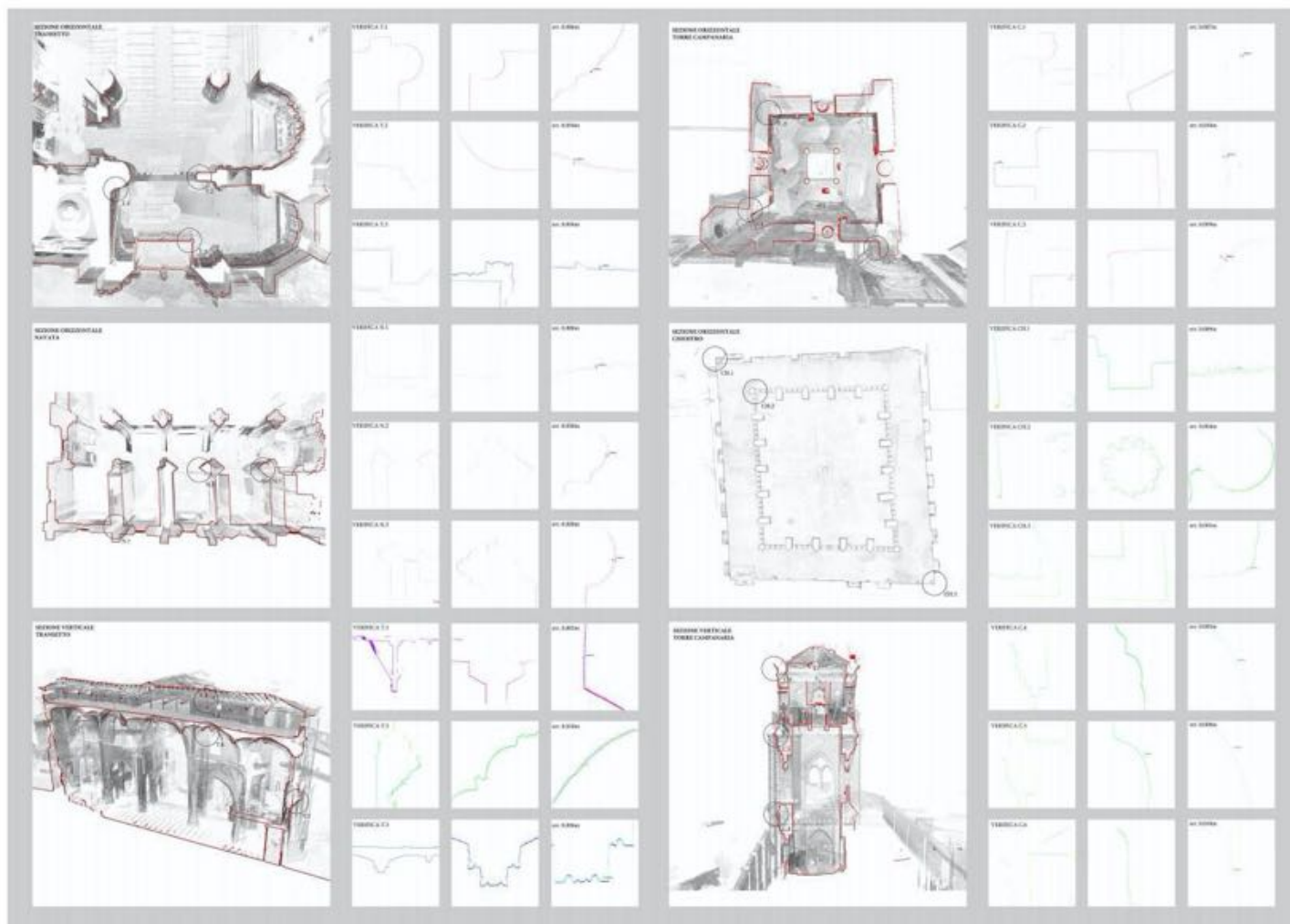
Asse portante delle scansioni, in evidenza i target battuti dalle scansioni



Incluso il raffinemento sui target è evidente l'aumento di precisione sempre più al concetto del rilievo topografico, non prendo sul campo lo strumento ovvero pochi punti battuti con precisione millimetrica.



Esempio di raffinemento di target "stabili": i target definiti stabili sono quelli individuabili in molti punti durante le fasi di rilievo, che sono stati inseriti su supporti piani fissati in modo da resistere per tutto il tempo della campagna. La densità del raffinemento sui target consente di ottenere in fase di registrazione errori molto più bassi a seconda della distanza dal punto di ripresa.



allinearle in un'unica nuvola generale con un proprio sistema di coordinate polari che hanno origine nella scansione impostata come riferimento per le rototraslazioni.

Il database ricavato dopo circa una settimana di lavoro sul campo ammontava a 145 Cb, un dato di dimensioni considerevoli che necessita di una gestione ordinata e schematica in tutte le fasi di elaborazione per evitare perdite di informazioni.

Dopo le preliminari operazioni di filtraggio le nuvole di punti sono state 'pulite', ovvero private dei punti ritenuti automaticamente errati da un algoritmo del software di gestione del dato:

per la gestione e la registrazione delle scansioni realizzate con uno scanner Leica HDS 7000, è stato utilizzato il software Leica Cyclone 6.0.2; successivamente si è iniziato il processo di registrazione della nuvola di punti; come prima operazione sono stati aggiunti alle 345 Scanworld i codici alfanumerici identificativi dei target a centro di massa necessari per il riconoscimento dei punti omologhi tra le nuvole. Subito dopo sono state registrate le scansioni seguendo la suddivisione adottata nel progetto di rilievo; per prime sono state riunite le fondamentali, creando gli assi portanti; subito dopo sono state chiuse le poligonali di scan-

sioni aggiungendo le secondarie, ottenendo in questo modo la rete di scansioni di supporto al rilievo; per ultime sono state inserite quelle di raffittimento necessarie a densificare il dato. Per garantire la corretta esecuzione della registrazione sono state adottate delle regole per la tolleranza dell'errore sul singolo target, a seconda della distanza del centro di massa dallo strumento laser. Dove invece due nuvole si sovrapponevano con una percentuale superiore al 20% la prima registrazione sui target serviva come preallineamento che veniva successivamente migliorato con il sistema cloud-to-cloud. Oggi i sistemi di registrazione del dato laser

pagina precedente
Schemi assonometrici che spiegano il processo di progettazione del rilievo, di acquisizione sul campo e della registrazione della nuvola di punti di Sasamon

Esempi di schede di certificazione della registrazione del rilievo laser scanner; dalla sezione generale dell'edificio, in pianta e in alzato, si cercano i punti problematici che vengono verificati nel dettaglio



Pianta del piano terra della chiesa con le sistemazioni esterne rappresentate con immagini dalla nuvola di punti e il disegno a filo di ferro di tutte le pavimentazioni

Prospetto del portale di San Miguel sul lato meridionale della chiesa: l'immagine sfuma dall'ortoimmagine della nuvola di punti a quella del modello fotogrammetrico lasciando capire come i due modelli siano sovrapponibili nel dettaglio.

su oggetti architettonici stanno sempre più favorendo l'utilizzo di allineamenti cloud-to-cloud senza l'utilizzo di target [Bigongiari 2017].

L'affidabilità della registrazione non può essere garantita dal solo errore metrico espresso dal software ma deve essere verificata dall'utente: nel caso specifico di Sasamón è stato controllato che la sovrapposizione delle superfici delle nuvole non si discosti mai per più di quanto tollerato dalla scala di restituzione 1:50, analizzando gli spostamenti nelle sezioni, sia verticali che orizzontali, dei punti ritenuti più critici come quelli presenti nelle zone molto elevate da terra, oppure come modanature, spigoli ed altri elementi architettonici complessi. Dopo ogni processo di rototraslazione la nuvola di punti ottenuta è stata prontamente analizzata, sezionando con piani orizzontali e verticali le superfici delle architetture da descrivere nella restituzione grafica, in modo tale da poter verificare se fossero stati presenti errori di disallineamento nei fili di sezione di nuvole acquisite da stazioni differenti. Questa fase detta certificazione del rilievo laser scanner è stata meticolosa ma necessaria a garantire un prodotto affidabile e il risultato, più che soddisfacente, non ha portato ad errori maggiori di 1 cm su tutto il complesso nello slittamento delle sezioni [Pancani 2015].

Dal rilievo 3D all'elaborato bidimensionale

Una volta verificata l'affidabilità del modello tridimensionale, sono stati impostati i piani di sezione utili a tagliare il modello tridimensionale per impostare la vista ortogonale che riproduca la proiezione per la lucidatura delle sezioni orizzontali e verticali; per agevolare la gestione della nuvola e permettere il caricamento di punti sufficienti a descrivere le superfici nella loro matericità, si è rivelato utile suddividere il modello della nuvola tridimensionale per livelli, uno corrispondente ad ogni scansione effettuata, di modo da poter caricare solamente le porzioni di nuvole occorrenti di volta in volta nella visualizzazione.

Per trasferire la nuvola di punti in ambiente CAD si è provveduto dopo la sezione del modello ad inquadrare le varie porzioni del prospetto a schermo e a rasterizzarle in orthoimage; in questo modo si sono create le immagini 2D che mosaicate sul foglio da disegno, grazie a riferimenti numerici di coordinate spaziali ed angoli di rotazione corrispondenti a quelli del modello gestito in Cyclone, riproducono l'intera sezione. Per la corretta definizione delle schermate si è mantenuto il rapporto di almeno 2 pixel per centimetro di fronte inquadrato: valori più bassi non garantiscono il dettaglio necessario per la re-



stituzione in scala 1:50, mentre valori più alti porterebbero a una definizione troppo alta rispetto alle potenzialità delle scansioni effettuate, progettate nell'acquisizione con una maglia di punti adatta alla rappresentazione in scala architettonica e non di dettaglio, ottenendo immagini con punti troppo distanti tra loro che rendono difficile l'interpretazione dell'oggetto architettonico.

Il disegno è stato realizzato su fogli CAD normalizzati, divisi per layer, differenti a seconda del significato del segno, distinguendo così sia a livello semantico che a livello grafico ad esempio le linee di sezione rispetto alle linee di proiezione di primo e secondo piano; la proiezio-

ne di oggetti come pietre e conci, rispetto a infissi o vegetazione.

Per la restituzione dei fotopiani, sono state sperimentate le tecnologie SfM che hanno facilitato la restituzione di particolari architettonici densi di decorazioni, difficilmente rilevabili con il solo strumento laser [Pancani et al. 2018]. Quest'operazione e lo studio sull'affidabilità delle nuvole e dei modelli ricavabili da fotografie aprono scenari interessanti verso la realizzazioni di rilievi integrati di alta precisione.











Il rilievo architettonico digitale dell'edificio è stato uno strumento insostituibile di conoscenza metrica, morfologica e materica utile per redarre e restituire le considerazioni diagnostiche eseguite in situ. La corretta realizzazione degli elaborati grafici è infatti necessaria alla mappatura delle indagini sui materiali e sul loro stato di conservazione: grazie alla rappresentazione a filo di ferro degli elementi e all'integrazione del dato colore proveniente dai fotopiani è stato possibile eseguire una precisa ed affidabile mappatura dei materiali utilizzati per la costruzione dell'edificio, un'analisi materica, e in seguito del loro stato di conservazione: sono stati quindi individuati negli alzati tutte le aree interessate da fenomeni di degrado, utilizzando polilinee e retini come imposto dalla normativa. La precisa individuazione delle aree degradate ha consentito di poter stimare correttamente le superfici interessate da decadimento, prevedere gli interventi necessari al ripristino, e quindi sopporre i costi di progetto di restauro superficiale [Carbonara 1990]. Allo stesso tempo lo strumento fornito dal rilievo è stato necessario alla mappatura di ulteriori informazioni dalle analisi archeologiche [Parenti 1988], all'individuazione delle problematiche strutturali, che sono tra loro spesso legate [Van Riel 2007].

Analisi archeologiche sulle murature
Le analisi archeologiche sono state eseguite sul campo unendo le competenze di architetti ed archeologi: in particolare grazie al coordinamento delle operazioni sul campo da parte del prof. Andrea Arrighetti, archeologo medievista, è stato possibile unire analisi stratigrafiche e L'indagine archeologica operata sulla cattedrale di Santa Maria la Real di Sasamón ha previsto due distinte fasi di lavoro: un primo momento, eseguito durante una settimana di lavoro sul campo, ha previsto la raccolta dei dati attraverso una campagna di lettura stratigrafica dell'edificio; in un secondo momento, in laboratorio, sono state elaborate le informazioni, integrando i dati emersi dalle fonti storiche in funzione della comprensione dei principali caratteri riguardanti la storia costruttiva dell'edificio religioso. Il Complesso Architettonico è stato dunque sottoposto ad un'analisi della sua struttura materiale effettuata mediante l'individuazione e la caratterizzazione, graficamente rappresentata da linee e numeri, di tutte le trasformazioni avvenute nel corso del tempo, siano esse positive (costruzioni, ampliamenti, ecc.) o negative (crolli, demolizioni, ecc.). L'analisi tridimensionale dei prospetti e dei sistemi costruttivi, condotta mettendo in relazione i paramen-

ti interni con quelli esterni e con il nucleo delle murature, è stata caratterizzata da una metodologia di lavoro basata sulla pianificazione e taratura dei livelli di approfondimento dello studio, in base alle finalità prefissate dal progetto di ricerca.

Letture stratigrafica del Complesso Architettonico

La lettura stratigrafica della cattedrale di Sasamón è stata eseguita seguendo un iter metodologico basato su una prima suddivisione del complesso architettonico in 'corpi di fabbrica' (CF) ed 'unità funzionali' (UF), un'operazione realizzata sia a livello orizzontale (mediante l'analisi in pianta dei rapporti stratigrafici intercorsi fra le connessioni presenti nell'edificio) che in verticale (attraverso la lettura stratigrafica dei prospetti verticali interni ed esterni). Le informazioni emerse dall'analisi sono state quindi registrate attraverso una serie di output, piante e prospetti tematici periodizzati, ed integrati fra di loro.

La lettura dei paramenti murari è stata condotta nell'ottica di individuare le continuità e le discontinuità nelle murature che permettessero di caratterizzare con precisione le diverse 'fasi costruttive' (FC).

In questo caso, per la maggior parte dei parte dei prospetti analizzati si è quin-

di ritenuto necessario un approfondimento dell'analisi alle 'unità stratigrafiche' (US), individuando i singoli processi di trasformazione (costruzione e distruzione) che hanno portato la chiesa a modificarsi nel corso del tempo. Il primo passo è stato quindi quello di individuare le interfacce stratigrafiche che definiscono i contorni delle diverse US e, all'interno di queste ultime, le caratteristiche tipologiche dei diversi elementi presenti. Attraverso questo processo sono quindi emersi una serie di elementi specifici che hanno portato a definire alcune caratteristiche tipologiche relative alle diverse fasi di costruzione dell'edificio, che sono state classificate in base alle seguenti tipologie di seguito descritte.

1. Muratura: l'apparecchiatura dei filari, la lavorazione, la finitura (quando leggibile) e le dimensioni dei conci rappresentano le caratteristiche principali utilizzate per caratterizzare le diverse murature e gli elementi architettonici al loro interno. In particolare questo approccio ha consentito di proporre distinzioni fra le prime due fasi costruttive, per le quali non sono state attualmente reperite fonti storiche.



2. Aperture: sono state prese in considerazione la forma e le dimensioni delle finestre e dei portali e degli elementi architettonici che le costituiscono. In alcuni casi è stato possibile ricostruire la forma di alcuni tipi di aperture attraverso i confronti tipologici emersi dalla lettura stratigrafica.

3. Altri sistemi costruttivi: i sistemi di scarico (es. gli archi rampanti), le coperture (principalmente caratterizzabili dai segni lasciati da precedenti alloggi per travi) e gli orizzontamenti (modificati nel corso del tempo, anch'essi individuabili dagli alloggi per travi dei solai) risultano elementi fortemente caratterizzanti nell'interpretazione delle fasi di costruzione dell'edificio.

Fasi Costruttive

La pluristratificazione delle strutture murarie del sito oggetto di indagine permette di comprendere solo alcune delle peculiarità relative alle trasformazioni subite dall'edificio nel corso del tempo. La ricchezza di elementi e degli stili architettonici e le caratteristiche dei sistemi costruttivi impiegati, caratterizzati da un notevole reimpiego di materiali costruttivi e da una continuità nelle tecniche di lavorazione delle maestranze che hanno operato nei cantieri della cattedrale, impongono una notevole cautela nel proporre scenari evolutivi riguardo al Complesso Architettonico.

Sono stati individuati sei periodi di maggiore attività edilizia, ognuno di questi caratterizzato da una o più fasi costruttive, che hanno portato a modificare, per cause strutturali o per volontà delle committenze, la struttura nel corso del tempo.

Il primo periodo, corrispondente probabilmente all'impianto romanico dell'edificio e comunque anteriore al XIII secolo, sembra essere quello più complesso da ricostruire, in quanto la sporadica presenza di sistemi costruttivi e l'attuale assenza di fonti scritte portano solo ad ipotizzare alcune dinamiche di cantiere. In questo periodo è ipotizzabile che la struttura fosse più bassa dell'attuale ed avesse un assetto orientato ad ovest con la facciata principale 'a capanna' e con la presenza del campanile collocato dove oggi.

Il secondo periodo, di chiaro stile gotico, sembra invece caratterizzato da due o più fasi costruttive che testimoniano numerosi lavori di restauro ed ampliamento della cattedrale, sia in orizzontale che in verticale, in linea con la crescente importanza che l'edificio probabilmente assunse dal XIII secolo in poi. Fra le trasformazioni più evidenti, effettuate a più riprese, si possono annoverare la costruzione del

transetto, che modifica la struttura interna della cattedrale, ed il rialzamento del campanile e della navata centrale con la costruzione di numerosi archi rampanti collegati ai prospetti esterni sud, est e nord della chiesa. In questo caso la lettura stratigrafica e l'analisi di alcuni sistemi costruttivi (tecniche costruttive murarie e delle aperture, archi rampanti, elementi decorativi e contrafforti) si impongono come tracce piuttosto importanti del riassetto dell'edificio.

Il terzo periodo costruttivo si pone cronologicamente tra il XIV e l'inizio del XV secolo e si caratterizza principalmente per un ulteriore ampliamento della chiesa con la costruzione del chiostro e degli ambienti nel cortile nord. Il quarto periodo costruttivo è collocabile alla fine del XV e al XVI secolo e viene caratterizzato per la costruzione delle cappelle sul lato sud della chiesa, le quali, sfruttando murature preesistenti, portano ad un'ulteriore ridefinizione degli spazi e degli elementi interni ed esterni. Si assiste in questo periodo ad un reimpiego piuttosto importante di materiale costruttivo e decorativo di secondo periodo, in particolare nel prospetto esterno sud dove alcuni elementi gotici vengono decontestualizzati per divenire sistemi decorativo-strutturali inseriti nella muratura.

Il quinto periodo costruttivo è cronologicamente attribuibile all'età moderna (XVIII-XIX secolo), quando la chiesa sembra modificarsi all'interno e all'esterno per restauri volti alla conservazione e al parziale ampliamento del complesso.

Il XX secolo rappresenta l'ultimo periodo costruttivo, composto da una serie di fasi delle quali l'incendio di inizio secolo e le conseguenti ricostruzioni di buona parte della navata nord e del chiostro, operate nel corso degli anni Sessanta, rappresentano gli elementi più evidenti.

Analisi dei dissesti e delle deformazioni

Una corretta analisi stratigrafica è prepedeutica anche allo studio del comportamento statico di un edificio storico; per comprendere il funzionamento strutturale di un monumento quale la cattedrale di Sasamon, il primo passo è ricondurre lo schema di trasmissione delle forze al modello statico originale progettato molti anni addietro [Giuffrè 1999]. Le varie trasformazioni subite da un manufatto nel corso del tempo, e come abbiamo visto, possono elencare molti interventi successivi al progetto iniziale, sono probabilmente andate ad intaccare il modello strutturale primigenio del fabbricato, provocandone un diverso funzionamento.

pagina precedente, da sinistra
Prospetto est della chiesa di Sasamon
con individuazione dei degradi
superficiali

Sezione trasversale sulla navata
principale con indicazione dei materiali
utilizzati per la costruzione

dall'alto
Prospetto est della chiesa di Sasamon
con individuazione delle unità
stratigrafiche murarie

Prospetto est della chiesa di Sasamon
con interpretazione delle fasi
costruttive

Queste modifiche possono far sì che alcuni elementi strutturali non seguano più il precedente schema di contenimento delle forze, cosa che può provocare cedimenti strutturali parziali o totali dello scheletro di un edificio, soprattutto nel caso delle strutture spingenti quando le forze vengono scaricate in punti differenti rendendo vane le contropinte delle strutture di contenimento quali gli archi rampanti.

Oltre che dare informazioni sull'origine del complesso ecclesiastico l'analisi stratigrafica ha approfondito, tramite lo studio delle US, le connessioni tra le diverse fasi costruttive dell'edificio. Questo permette di poter fare una analisi puntuale sulle varie porzioni di muratura e ipotizzarne le cause di un dissesto presente. Per esemplificare il concetto basta ricordare come proprio nel punto di connessione tra due US differenti, laddove quindi la connessione non è stata effettuata mediante un intervento cuci e scuci ma appoggiando una tipologia muraria su quella precedente, si crei un punto di fragilità che più facilmente potrà vedere comparire lesioni strutturali. Questo succede perché nell'intervenire sulle murature antiche può accadere che le nuove costruzioni non vengano ben ammassate tra di loro, cosa che porta proprio questa zona ad essere il punto di debolezza del paramento mura-

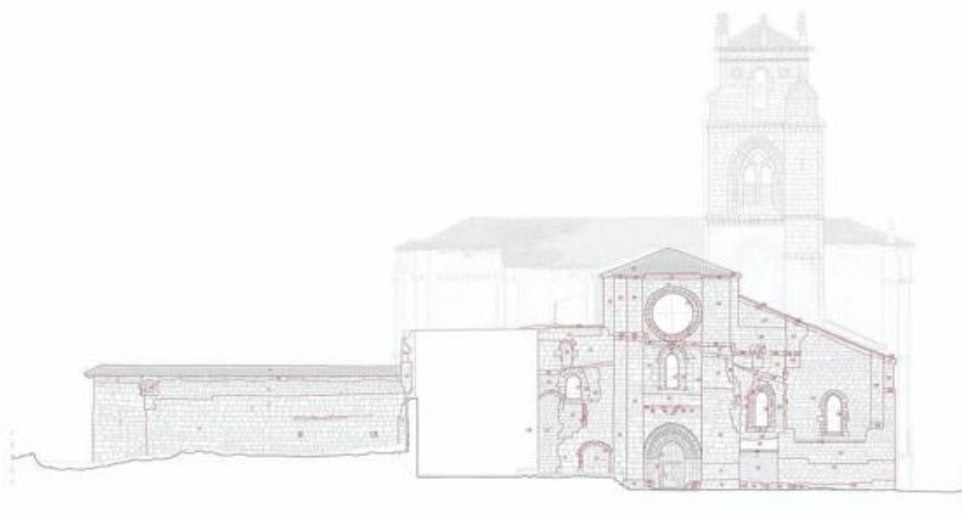
rio. Nel caso di dissesti questi andranno ad apparire proprio localizzati nei punti di discontinuità di fase [Dogliani 1997].

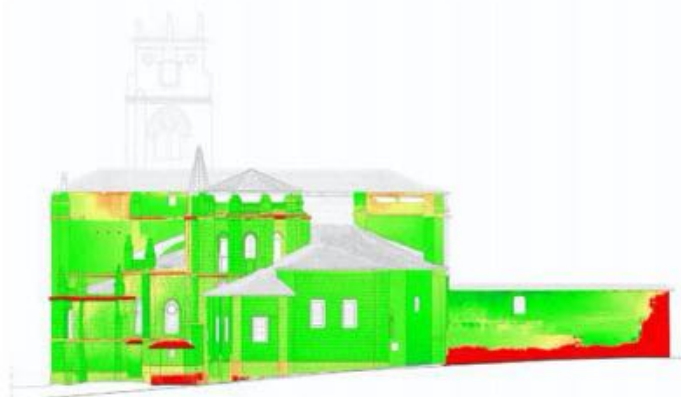
L'analisi dei dissesti e delle deformazioni è stata effettuata in due fasi.

Una prima fase sul campo, dove sono stati annotati i principali dissesti, le principali lesioni, analizzando se le soluzioni di continuità fossero passanti da una parte all'altra del paramento murario, ed il verso della lesione stessa. La distinzione tra lesioni passanti

e non passanti è fondamentale per caratterizzare la composizione del paramento murario, per comprendere specialmente nel caso di murature a sacco se il paramento si comporta in maniera uniforme, o se la sezione reagisce a sollecitazioni differenti; allo stesso modo le deformazioni, che insieme alle lesioni chiariscono le meccaniche dei dissesti possono verificare un comportamento delle murature coerente oppure difforme tra uno e l'altro paramento murario.

Una seconda fase in laboratorio dove le annotazioni prese sul campo sono state restituite sui rilievi a filo di ferro, in modo da individuare precisamente le lesioni sia in alzato che in pianta, e dove sono state studiate le deformazioni tramite la procedura dell'elevation map, direttamente dalla nuvola di punti.





Opportunità offerte dall'analisi geometrica delle nuvole di punti

L'elevation map è un metodo di colorazione della nuvola di punti, che imposta un gradiente secondo un asse definito, ottenuta dal software Cyclone. In questo caso è stata utilizzata per visualizzare dove si concentrano i fuori piombo delle murature: viene impostato un piano verticale e viene calcolata la distanza dei punti della nuvola dal piano lungo l'asse ortogonale. È possibile stabilire il determinante, ovvero lo scatto in base al quale la colorazione della nuvola cambia da un colore a quello successivo. Per rendere più intuibile il significato dell'operazione si è scelta una scala colori blu-verde-giallo-rosso, dove il verde sta a indicare il punto 0 da cui parte la misurazione e il rosso un fuori piombo eccessivo (oltre i 30cm): in questo modo i punti verticali sarebbero apparsi con il colore verde, mentre in segno di pericolo i fuori piombo sarebbero divenuti gradualmente sempre più rossi. Conoscendo l'affidabilità dello strumento con cui si è stato eseguito il rilievo e la scala di restituzione, è stato fissato come determinante 1cm. Il dato fornito direttamente dal software se correttamente discretizzato, fornisce indicazioni utili all'analisi deformativa dei paramenti murari [Minutoli 2017].

L'utilizzo di questo sistema di analisi richiede un'attenta scelta delle impostazioni sia del piano di partenza delle misurazioni che dei parametri di colorazione: come è stato già ampiamente dimostrato [Bigongiari 2017] si ottengono risultati interpretabili solo su pareti piane e regolari. Per analizzare la fabbrica gotica si è dovuto tenere presente delle caratteristiche delle strutture puntiformi, considerando differenzialmente le deformazioni nei punti dove si concentrano le spinte rispetto alle superfici che debbono resistere al solo peso proprio. I risultati osservati sono stati analizzati comparando i dati con le analisi delle lesioni delle murature, ricavando i principali dissesti a cui l'edificio sta andando incontro.

Analisi prospetto sud

Il prospetto sud presenta alcune deformazioni consistenti.

La prima è individuabile nel paramento murario che racchiude le cappelle cinquecentesche. La causa di tale deformazione è da ricercar nella spinta del sistema di coperture a volta della navata, sommata alla spinta dell'orditura del tetto. Probabilmente in origine le murature erano state progettate per resistere alla sola spinta delle volte, il venir meno dell'importanza della chiesa ha costretto a una copertura provvisoria dapprima lignea, oggi sostituita

con una in acciaio. La deformazione dei paramenti murari è causa delle lesioni individuabili lungo i contrafforti esterni della chiesa che tendono a ribaltarsi. È inoltre importante evidenziare come la struttura originaria funzionasse secondo lo schema gotico di una struttura puntiforme, non affidando ai paramenti ma ai contrafforti la resistenza alle spinte.

La seconda è individuabile nella cella campanaria; questa non è una struttura costruita nello stesso periodo rispetto al corpo principale della torre ed è stata oggetto di numerosi interventi di restauro recenti (solaio e copertura). I numerosi interventi di restauro subiti dall'edificio, con inserimento di numerosi elementi pesanti in cemento armato non hanno portato un pericoloso appesantimento della struttura che deve reagire alle sole forze statiche.

Analisi prospetto ovest

Il prospetto sud presenta alcune deformazioni consistenti.

La prima è individuabile nel chiostro medievale all'angolo del braccio ovest con il braccio nord; la causa di questa deformazione è probabilmente da ricercare in un cedimento fondale dato che la copertura spinge nel senso opposto al paramento, ed il carico che deve sopportare non è eccessivo dato che non vi sono piani superiori; l'intervento

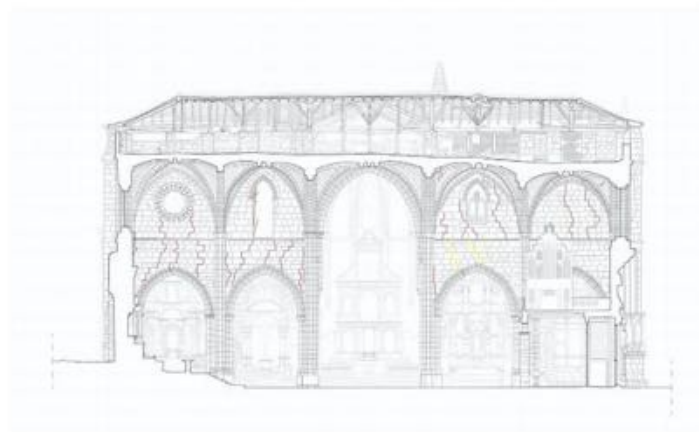
di restauro degli anni '90 ha portato ad avere una nuova copertura leggera che mancava sicuramente da dopo l'800. La seconda è individuabile nella parte alta del muro intonacato; questa è probabilmente un resto di antiche strutture (forse un piano superiore al chiostro) che adesso rimane slegata; la muratura non molto coerente rispetto al resto della chiesa influisce negativamente sulla struttura.

Una terza è individuabile tra il rosone e la finestratura della navata centrale; le aperture non in fase con la muratura hanno indebolito il paramento, il crollo delle volte della navata ha aggravato probabilmente il problema provocando grosse lesioni.

Analisi prospetto est

Il prospetto est non presenta evidenti deformazioni.

Lievi fuori piombo si possono riscontrare nelle absidi inferiori più vicine al prospetto sud dovuti chiaramente alla somma della spinta delle volte sommata a quella delle coperture; analizzando il dato comunque non risulta il ribaltamento del fronte essere importante. Può trarre in inganno anche la colorazione del transetto sopra di esso, questo perchè la parte di muratura che sembra fuori piombo in realtà appartiene ad un differente piano di proiezione leggermente più esterno rispetto



to alla muratura in pietra: si tratta infatti di porzioni di muratura in laterizio intonacata a finta pietra, inserita probabilmente per evitare correnti d'aria all'interno del sottotetto. La stessa cosa si può osservare nel lato diametralmente opposto sempre nel transetto. Il dato del chiostro può far pensare ad un rigonfiamento nei pressi dell'ingresso nord, in realtà la colorazione tendente al giallo è dovuta alla vegetazione cresciuta sul paramento murario e al rumore digitale che questa ultima ha provocato nella battitura dei dati con il laser scanner.

Analisi sezione longitudinale passante per la navata centrale

La sezione non presenta evidenti deformazioni.

La maggior parte dei paramenti qui analizzati ha da poco subito interventi di restauro strutturale conservativo e pertanto non appare deformata.

I paramenti della navata centrale subiscono ad una certa quota le spinte delle nuove volte in mattoni forati, costruite probabilmente nel 1994, la struttura nervata portante è in cemento armato, i pilastri scendono a terra ma sono celati all'interno della muratura; questa copertura voltata in laterizio è sicuramente molto più leggera rispetto a quella esistente precedentemente pertanto il paramento mura-

rio spesso oltre un metro garantisce la stabilità strutturale contenendo anche le spinte della copertura a volte in laterizio e cemento armato del tetto.

La zona absidale presenta un evidente intervento di consolidamento nelle nervature delle volte, probabilmente in cemento armato, anche se il riempimento è sempre in blocchi di pietra visibili nel sottotetto; le nuove nervature non hanno provocato instabilità strutturale. La parte del paramento più incoerente presente nel sottotetto non presenta ribaltamenti e oltretutto può vantare il supporto del retrostante vano scale che ne impedisce la deformazione.

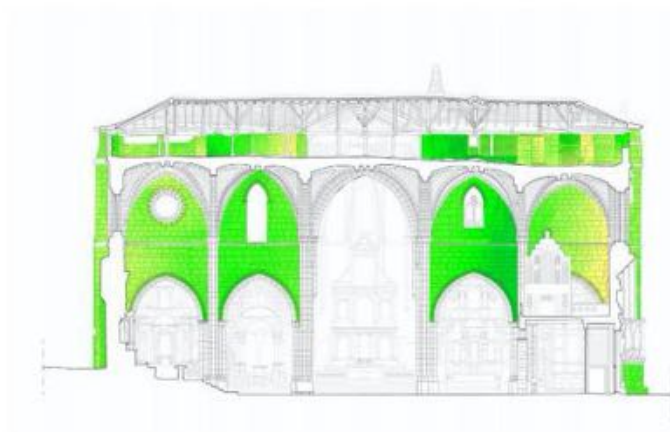
Analisi sezione trasversale passante per la navata

La sezione non presenta evidenti deformazioni.

La maggior parte dei paramenti qui analizzati ha da poco subito interventi di restauro strutturale conservativo e pertanto non appare deformata.

La facciata esterna del chiostro non presenta fuori piombo, la struttura di copertura subisce la spinta della capriate in legno lamellare, un cordolo in cemento armato racchiude ad anello il chiostro irrigidendo la struttura ed evitando fuori piombo consistenti.

La navata centrale qui analizzata presenta un falso positivo, infatti il mu-



ro eretto a divisione dal transetto che sostiene strutturalmente solo il peso proprio è inclinato rispetto al resto del prospetto di pochi gradi, questo provoca la colorazione rossa.

Allo stesso modo le cappelle cinquecentesche presentano dei falsi positivi: durante i rilievi la navata che ospita il Museo Parroquial veniva smantellata, nei pressi delle murature erano accatastati oggetti e rifiuti, questo ha provocato una scarsa pulizia a terra del dato, creando anche falsi positivi nell'elevation map.

Analisi sezione trasversale passante per il transetto

La sezione non presenta evidenti deformazioni.

L'unica zona che lievemente subisce uno spostamento rispetto all'asse verticale è quella nei pressi delle murature dei portali, qui la spinta delle volte potrebbe far aprire a libro i due muri ortogonali: i contrafforti esterni soprattutto del prospetto sud presentano gravi lesioni segno di uno spostamento ingente, questo potrebbe aver provocato il trascinarsi delle murature prossime anche se intuibile in maniera lieve.

La zona coperta dal tetto ligneo non presenta deformazioni anche perché la copertura costruita evidentemente di fretta, è molto leggera, costituita solo

da sinistra
Sezione trasversale sul transetto della chiesa di Sasamon con individuazione delle lesioni strutturali

Sezione trasversale sul transetto della chiesa di Sasamon con mappa delle deformazioni (elevation map)

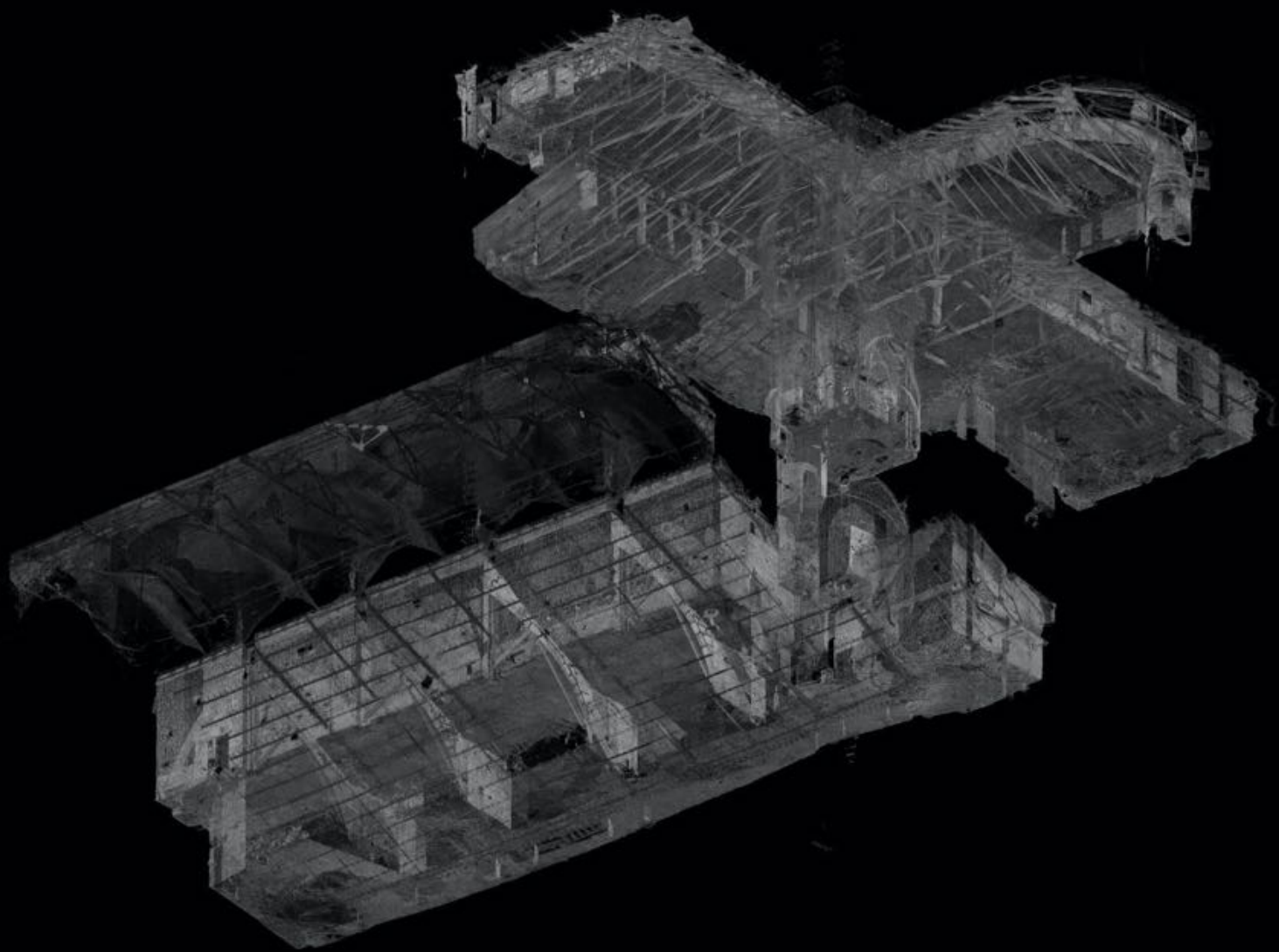
pagina precedente
da sinistra

Prospetto est della chiesa di Sasamon con individuazione delle lesioni strutturali

Prospetto est della chiesa di Sasamon con mappa delle deformazioni (elevation map)

da orditura principale, travetti, tavolato e coppi in laterizio.

Le numerose nervature all'interno del transetto, e le modanature degli archi hanno permesso di analizzare solo le zone non realmente strutturali (ovvero i pilastri stessi) che quindi servono da tamponamento esterno ma non supportano poco oltre il proprio peso proprio.



Metodologie di rilievo strutturale

Il rilievo strutturale è lo studio morfologico e qualitativo degli elementi resistenti di un edificio, dello scheletro che ne permette l'elevazione da terra. Le indagini per l'acquisizione delle informazioni necessarie alla redazione del rilievo strutturale possono essere effettuate mediante procedure dirette, sull'edificio, o indirette, ovvero studiando fonti storiche, distruttive o non distruttive [Van Riel 2007].

Analizzando un edificio monumentale si è evitato di operare mediante indagini dirette distruttive per non andare a deteriorare lo stato di conservazione del monumento [Currier 1990]. Le analisi distruttive, quali ad esempio i carotaggi, forniscono dati aggiuntivi importanti ai fini dello studio dei materiali e delle loro caratteristiche meccaniche, ma il numero di operazioni richieste per considerare il dato affidabile (un sola carota di cemento non è un dato sufficientemente statistico, perciò non è utilizzabile con certezza per descrivere le caratteristiche del materiale), è incoerente con la volontà di preservare il monumento, ha portato ad escluderla come tipologia di indagine. Lo scopo del rilievo strutturale è fornire un esaustiva descrizione di tutti gli elementi resistenti dell'edificio, dalle strutture di fondazione a quelle in elevazione.

Il rilievo strutturale a Sasamón è stato affrontato sia in via diretta, che indiretta; come fonti indirette sono state analizzate le foto d'archivio: la documentazione fotografica riporta notizie della chiesa quando ancora era in stato di rovina, nei primi anni del 1900, quando quindi era possibile vedere la sezione delle murature sia delle strutture in elevazione che di quelle di copertura in modo da studiare e comprendere la tecnica e le metodologie costruttive. Un'altra fonte indiretta utile all'analisi strutturale è il confronto con le tecniche costruttive presenti nelle architetture che sorgono nei luoghi circostanti, sia religiose che civili. Nella chiesa di Sasamon l'urgenza di coprire il luogo di culto per permettere il regolare svolgimento delle funzioni religiose ha portato all'utilizzo di manodopera non specializzata per la realizzazione delle coperture lignee, sistema costruttivo riscontrabile non solo nelle chiese vicine (la chiesa di Grijalba presenta la stessa soluzione d'urgenza) ma anche negli edifici ad uso civile.

Le analisi dirette non sono andate oltre l'osservazione e la misurazione diretta; non è stato possibile fare saggi nelle murature, e non avendo a disposizione camere termografiche o altri strumenti in grado di suggerire in maniera non distruttiva la composizione delle strutture, molte soluzio-

ni tecnologiche sono state solo supposte. All'interno dei sottotetti, dove lo strumento laser è stato posizionato in numerose stazioni per evitare i coni d'ombra, è stato possibile ottenere un rilievo tale da descrivere completamente tutti gli elementi lignee delle varie orditure del tetto; l'attenta osservazione sia dall'interno che dall'esterno delle falde ha consentito inoltre di conoscere esattamente la composizione del pacchetto di copertura.

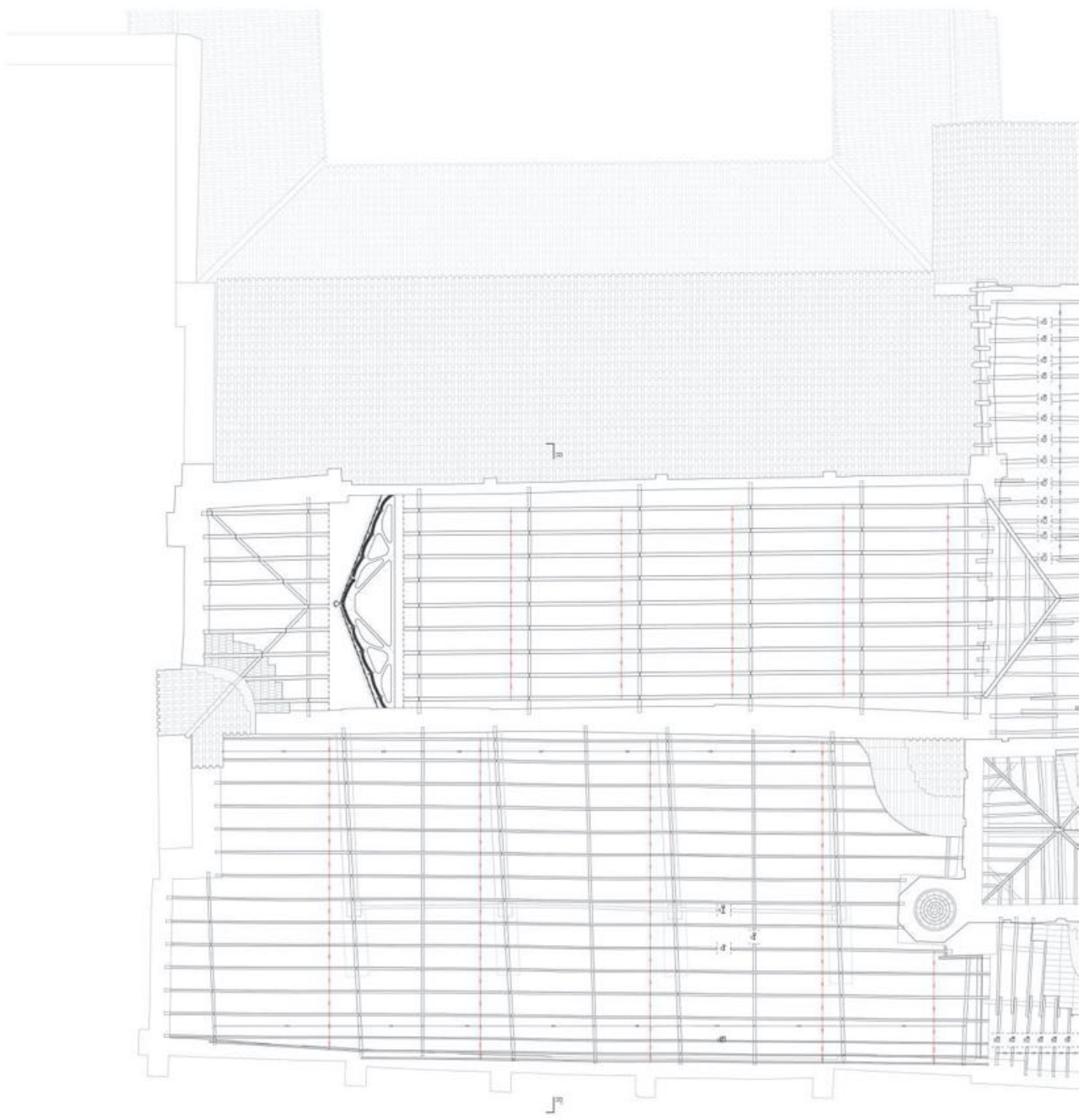
Durante le operazioni di rilevamento in situ, non avendo la certezza che il dato dello scanner coprisse effettivamente tutte le superfici degli elementi strutturali, considerando per l'appunto la complessità morfologica degli stessi che facilmente avrebbe potuto causare ombre dalle dimensioni importanti, tutti gli elementi strutturali delle coperture (travi e travetti) sono stati misurati manualmente con strumenti di rilievo diretto. Questa operazione ha consentito in prima battuta di confrontare la misurazione diretta con i dati dello scanner, non tanto per una questione di affidabilità (la singola scansione dello strumento laser ha un dato affidabile al di sotto del millimetro, decisamente superiore rispetto che al rilievo manuale, specialmente in condizioni di misurazione complessa come all'interno di un sottotetto non sempre ben praticabile. Misura-

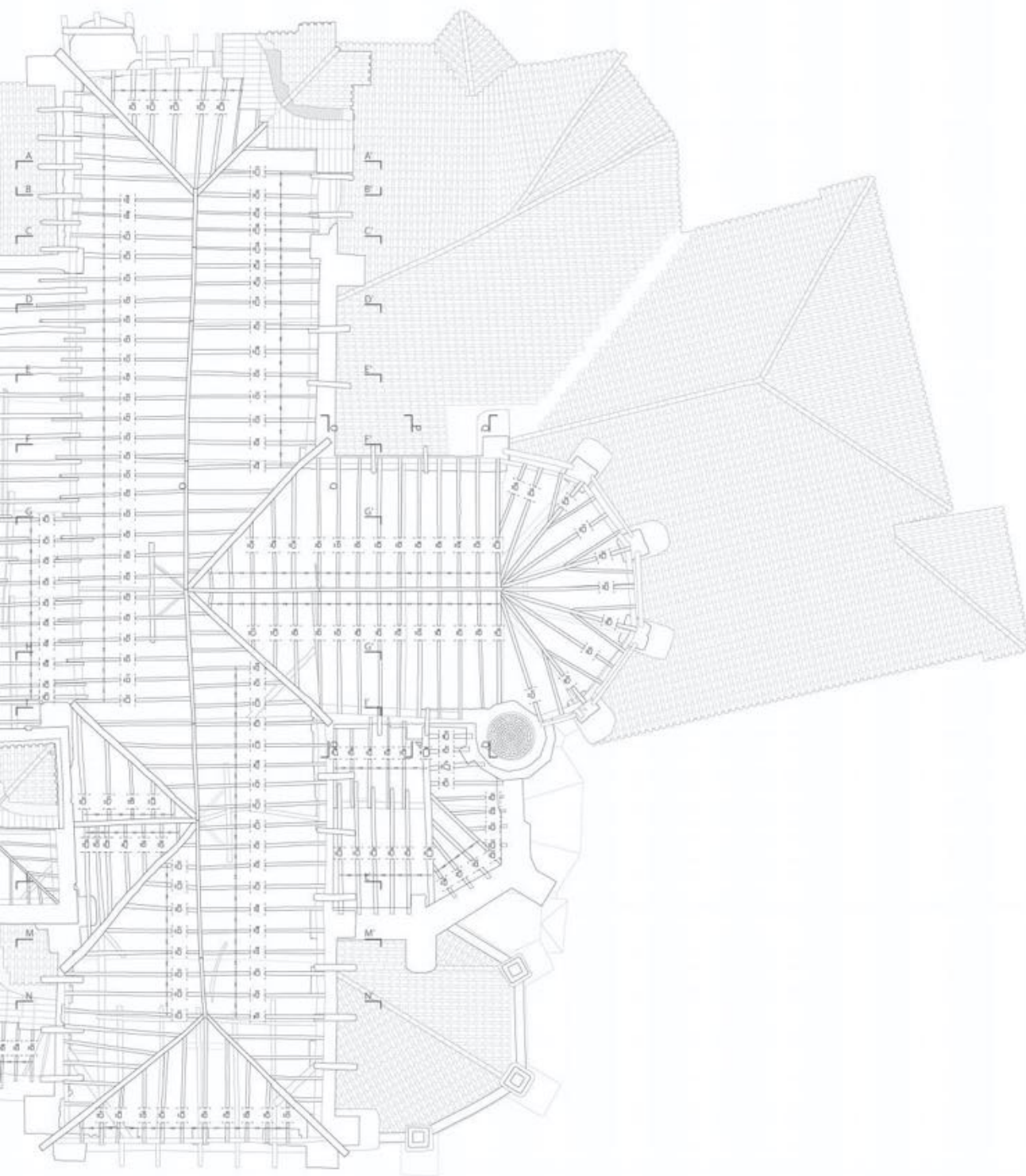
re con strumenti di rilievo diretti geometrie non regolari come quelle delle travi lignee presenti nel sottotetto non consente di poter realmente determinare facilmente le misure necessarie al calcolo strutturale), inoltre a sopperire eventuali mancanze di dato strumentale.

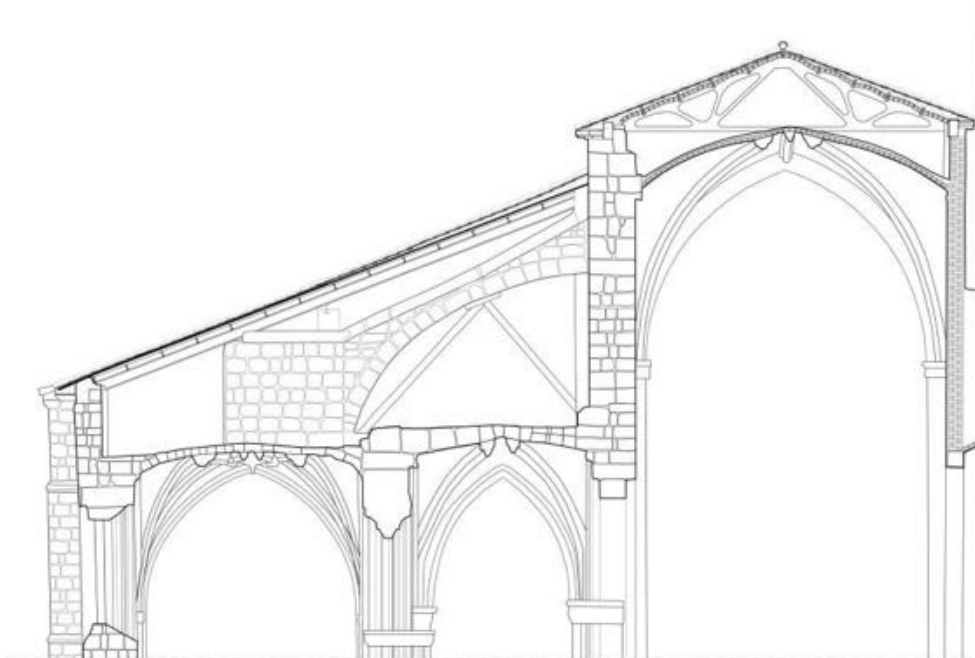
Il risultato del rilievo strutturale deve fornire tutte le informazioni in base alle quali impostare i calcoli di verifica delle strutture, perciò oltre ad indicare i pacchetti dei solai e degli elementi verticali, è necessario fornire le quote degli spessori di tali pacchetti in modo da poter calcolare il loro peso a metro quadro. Per poter concludere l'analisi dei carichi precisamente sarà necessario inoltre conoscere l'interasse tra le orditure e le sezioni delle travi e dei travicelli e la loro luce in modo da poterne calcolare il peso proprio; stessa cosa per tutti gli altri elementi strutturali.

Risultati del rilievo strutturale

Il lavoro successivo alle operazioni di rilievo sul campo è stato quello di andare a sintetizzare le osservazioni raccolte in situ, integrando le sezioni architettoniche con le informazioni tecnologiche; è stato possibile descrivere la maggior parte delle murature e delle strutture di copertura.







Queste ultime sono chiaramente le più interessanti e caratterizzanti, e possono essere suddivise per tipologie e per periodi realizzativi storici differenti: un primo tipo è la copertura lignea del transetto, costituita da una orditura principale composta da castelli di travi, che coprono la luce dell'intera campata del transetto; essendo la luce libera di inflessione dell'orditura principale importante gli elementi orizzontali risultano visibilmente inflessi. Stessa cosa si può dire dell'orditura secondaria composta dai travetti in legno: anche questi sono visibilmente inflessi. In alcune zone si possono vedere anche travetti fortemente lesionati, oppure da sostituire perché ammalorati dalle infiltrazioni d'acqua. Lo stato di conservazione di questa copertura risente della presenza di volatili che causano degrado coprendo tutti gli elementi di guano. Gli strati successivi che compongono il pacchetto di copertura del tetto ligneo sono un tavolato ligneo e sopra di esso

un manto di copertura in laterizio coppo-coppo che fanno sì che la copertura sia nonostante tutto piuttosto leggera. Sono da considerare causa dell'inflessione degli elementi strutturali soprattutto le pressioni dovute al vento molto forte su questi ampi tavolati, e la presenza invernale della neve (ci troviamo ad una altezza superiore agli 800m s.l.m.). Questa struttura di copertura poggia puntualmente sulle strutture di contenimento delle spinte della prima chiesa gotica, i contrafforti si presentano con la guglia mozzata per poter alloggiare la nuova copertura, un sistema di travi perimetrali sostiene i travicelli. Molto complessi sono i castelli di travi che si trovano nei punti di displuvio e compluvio, ricreando la forma di un ombrello: da un finto monaco centrale, che poggia come in un castello di travi sul tirante, si diramano quattro travi ortogonali tra loro e altre quattro ruotate di 45 gradi a sostenere le travi principali lungo le linee di displuvio.

L'analisi strutturale ci ha permesso di studiare attentamente tutte le orditure di questa copertura, per ogni elemento strutturale, siano esse travi, travicelli o elementi di orditura primaria è stata restituita una sezione strutturale a se stante.

Una seconda tipologia si trova nel sottotetto che copre la navata laterale e le cappelle cinquecentesche, questa struttura nasconde alla vista gli archi rampanti che oggi hanno perso il loro funzionamento, non ricevendo più la spinta delle volte in pietra della navata centrale, ricostruita in fogli di laterizio, sostenuta da archi e pilastri in cemento armato, e appaiono fortemente lesionati e puntellati. La struttura di questa copertura è in acciaio, un sistema a doppia orditura di putrelle a doppio T che si appoggia parallelamente alla facciata sopra i contrafforti che sostengono le spinte degli archi rampanti, e ortogonalmente ad essa in su entrambi i lati penetra in un cordolo in cemento armato. I travetti, a dop-

pio T anch'essi, sono saldati all'orditura secondaria e sostengono gli strati di chiusura: una lamiera ondulata in eternit sopra cui sono disposti direttamente i coppi in laterizio, che formano un manto di copertura coppo-coppo. Nonostante l'aggressione del cemento armato sopra le strutture originarie in muratura, che può essere filosoficamente contestato nell'intervento di restauro, così come l'aver celato sotto la copertura le strutture degli archi rampanti, le condizioni di conservazione del tetto in acciaio sono generalmente buone, senza alcuna area lacunosa del manto che avrebbe causato infiltrazioni.

Una terza tipologia copre la navata centrale, che è rimasta a lungo scoperchiata, fino ai lavori compiuti nel '94. Questi lavori hanno ricostruito un sistema voltato con nervature in cemento armato e vele in mattoni forati, la stessa parete nord è stata ricostruita in mattoni forati, mentre dall'esterno ci appare intonacata a finta pietra. Il

Ricostruzioni tridimensionali dei pacchetti di copertura individuati nella chiesa: (dall'alto a sinistra in senso orario) copertura in acciaio sulla navata laterale e sopra le cappelle meridionali; copertura in cemento armato prefabbricato sopra la navata centrale; copertura lignea sopra l'abside poligonale della navata centrale; copertura in legno lamellare sopra le campate del chiostro.



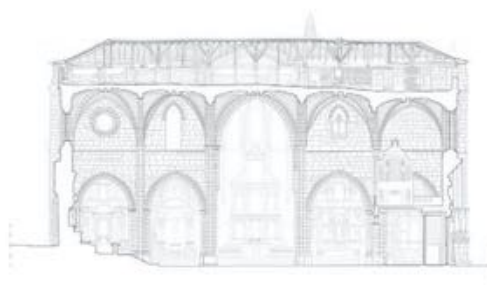
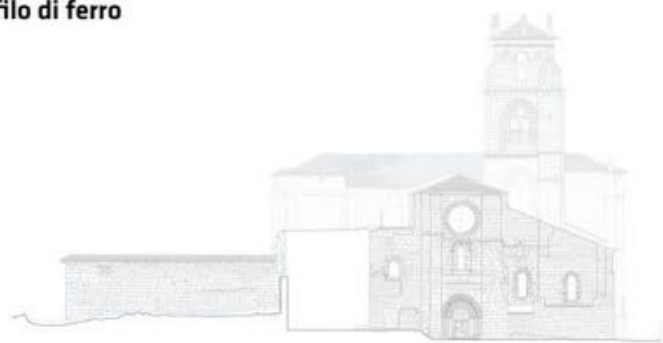
sistema di volte è a sua volta protetto da una copertura in cemento armato prefabbricato. Sei capriate non in asse con le volte sorreggono travetti a doppio T anch'essi in cemento armato pre-compresso. Gli elementi di capriata sono stati realizzati a partire dallo stesso stampo di una mezza capriata, unita poi in situ, con un tirante in cemento armato, come si può vedere dai segni evidenti nella tessitura del cemento sia alla connessione con il tirante sia nella connessione al colmo tra le due mezze capriate; sopra di essi un sistema a voltine in blocchi forati serve da

piano su cui gettare una colata di malta, il tutto è protetto dall'acqua da un manto di copertura coppo-coppo. L'ultima tipologia di coperture si trova nel chiostro ed è la più recente, risale infatti ai lavori conclusi nel 1996. Il chiostro è rimasto a lungo completamente scoperto, questi lavori hanno fornito una nuova copertura che lungo due bracci su quattro ripresenta un sistema voltato che ricorda quello antico in pietra. Il progetto di restauro ha previsto costolature in legno lamellare e vele in rete elettrosaldata in modo da ricordare l'antica copertura a vol-

te simbolicamente, senza occludere la nuova composta da mezze capriate in legno lamellare. In realtà il chiostro non era direttamente chiuso da una copertura lignea ma presentava come i può vedere e supporre dalla documentazione fotografica un piano ulteriore, cosa che rende a suo modo criticabile in parte l'intervento che non permette di intuire il volume originario del chiostro.

Atlante dei Disegni

**Rilievo architettonico
filo di ferro**





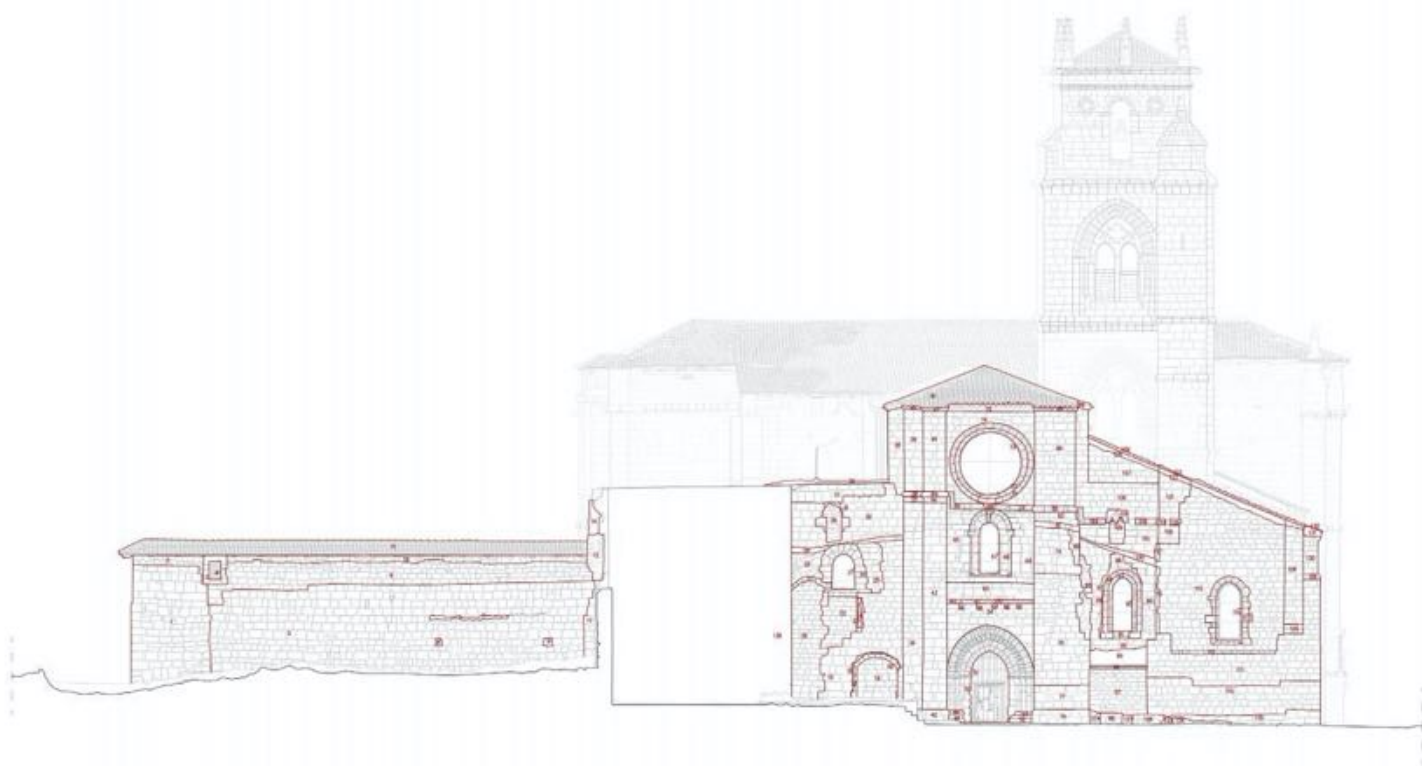
Analisi dei degradi



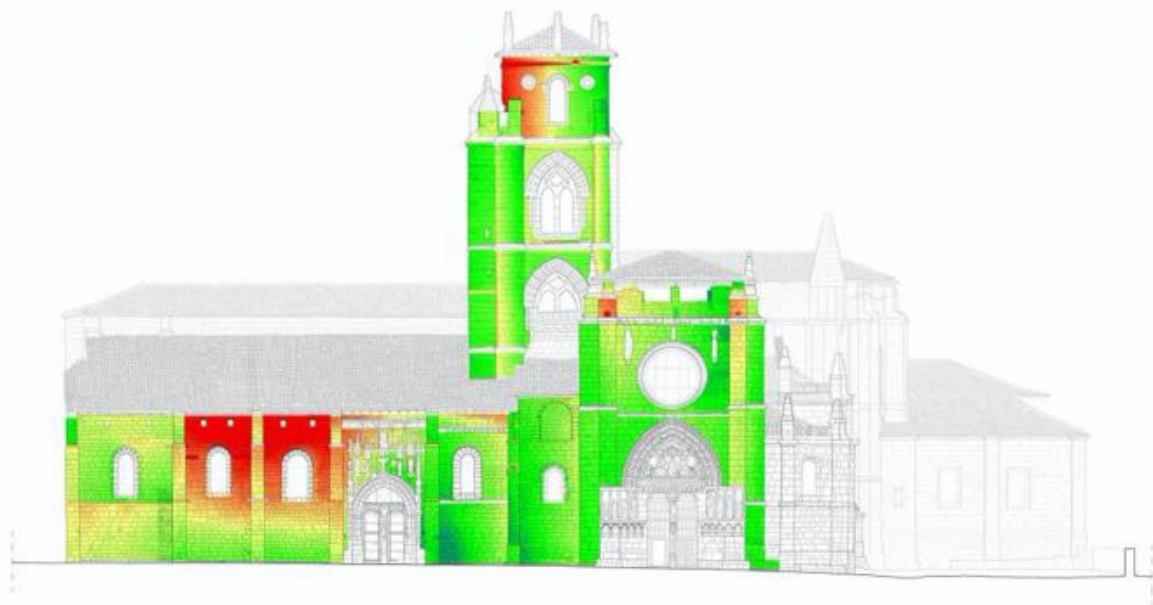
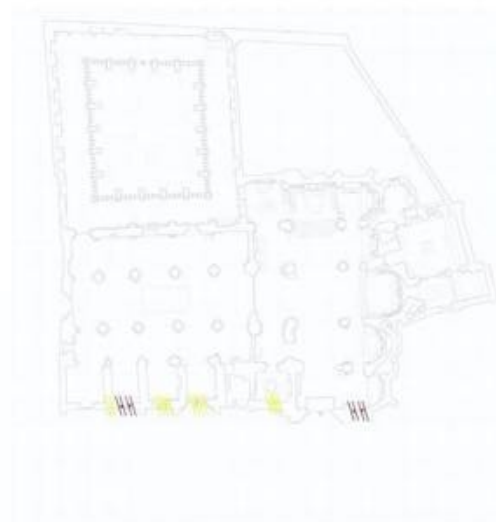


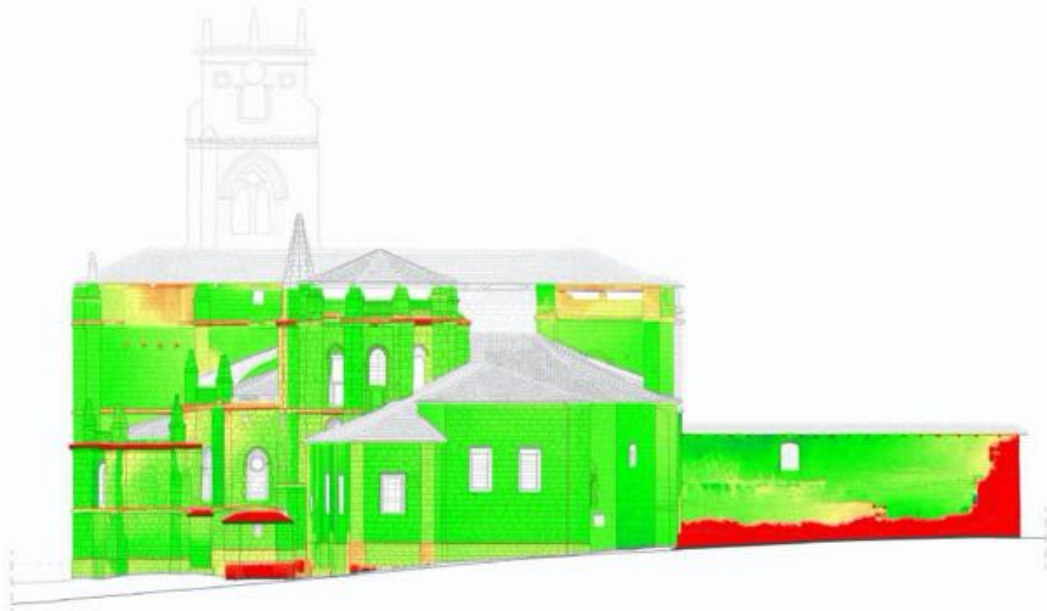
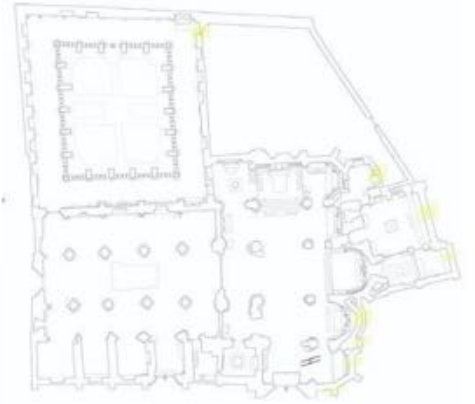
**Analisi delle stratigrafie
e delle fasi costruttive**

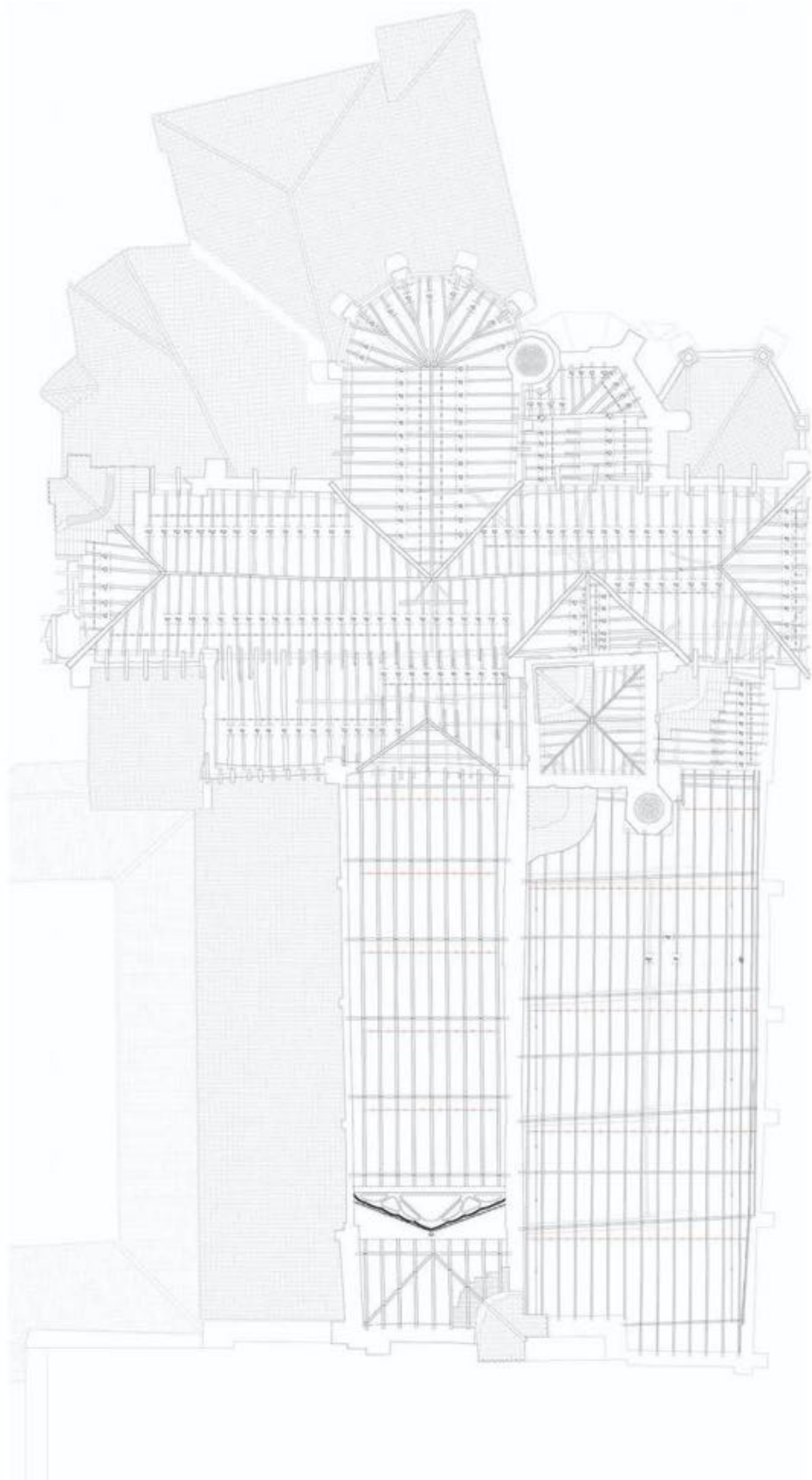


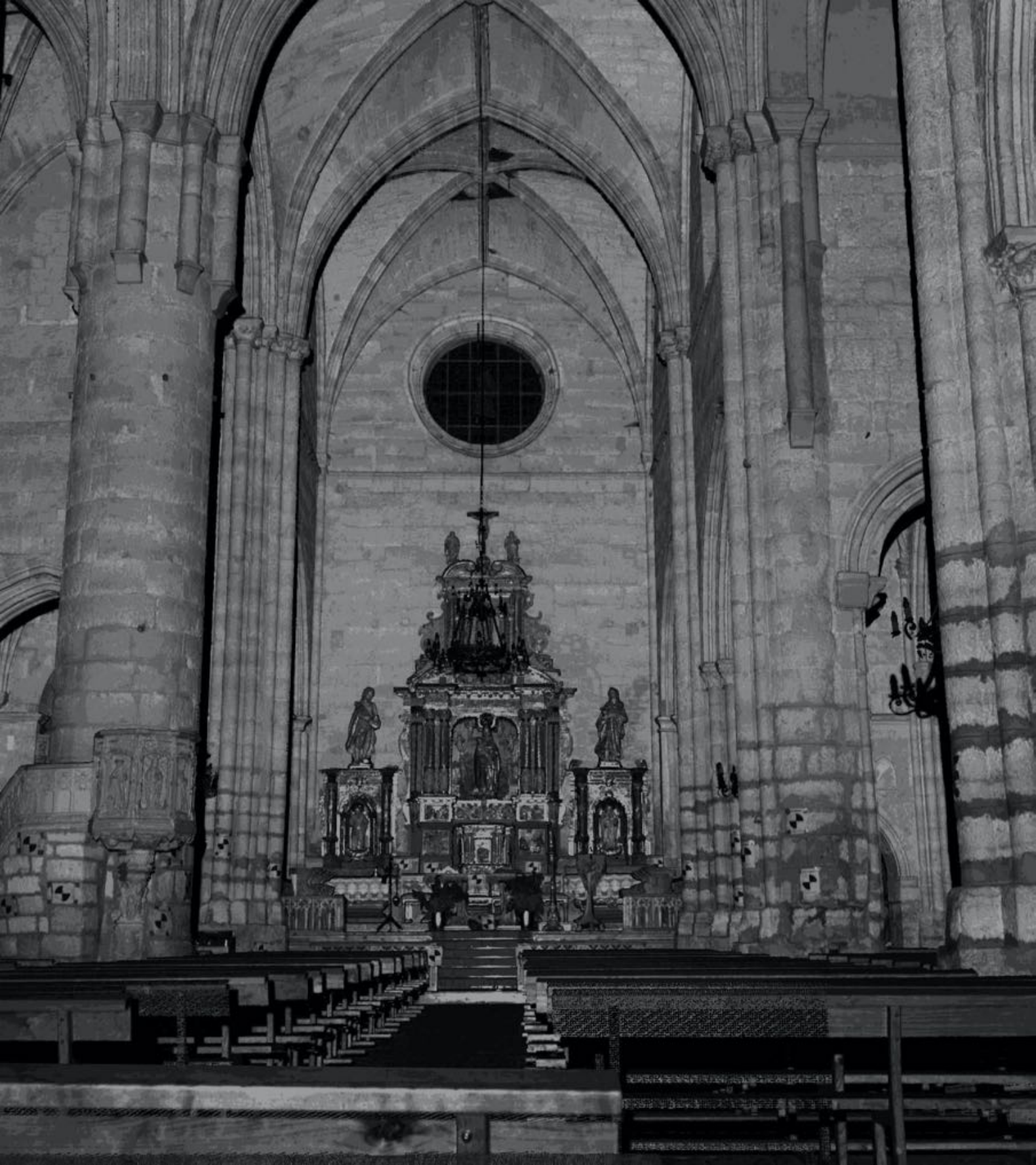


**Analisi delle lesioni
e delle deformazioni**









Il lavoro svolto su Santa Maria La Real costituisce un corpus di documenti utili a redigere un progetto di restauro congruo e preciso, fornendo tutte le informazioni necessarie a comprendere la storia, la conservazione materica e strutturale di questo monumento. È ovvio che non è possibile per edifici tanto complessi tirare conclusioni troppo precise e affrettate per la totale conoscenza dell'aggregato; dal punto di vista della conservazione del patrimonio culturale, questo rilievo fornisce una precisa testimonianza delle condizioni attuali della cattedrale, descrivendo in maniera completa le sue caratteristiche geometriche e funzionali; la analisi dei degradi e dei dissesti inoltre danno una precisa indicazione sugli interventi materici necessari per riportare in ottimo stato di conservazione l'edificio e di quali zone sono a rischio danneggiamento, necessitando quindi un pronto intervento; purtroppo l'analisi condotta tramite elevation map non può essere troppo utile con strutture puntiformi nervate come i pilastri della chiesa, questo perché il dato fornito dalla macchina virtuale sono di difficile interpretazione. L'accurato rilievo strutturale invece è sicuramente utile per il progettista che dovrà intervenire sulla messa in sicurezza della copertura lignea, oggi molto deteriorata, fornendo un qua-

dro completo del suo stato di conservazione e delle sue caratteristiche geometriche-strutturali; l'analisi invece prodotta sulle restanti coperture forniscono un abaco che testimonia l'evoluzione del concetto di restauro architettonico nella zona della Castiglia nei pressi di Burgos: in un primo periodo il restauro di un edificio di tale importanza era concepito solo in puro senso funzionale, come dimostra la copertura lignea del transetto necessaria ad evitare le infiltrazioni d'acqua all'interno del sistema voltato; questi interventi hanno portato ad un edificio stilisticamente originale ma sempre più lontano dal suo originario concepimento. Stessa cosa si può dire per il tetto in acciaio della navata laterale: il tetto è andato a celare le strutture originarie senza rispettarle, come si vede nei contrafforti che sono stati prima di tutto segati per permettere di disporre le travi prima in legno oggi in acciaio, successivamente sono stati utilizzati come base di appoggio per i cubi di cemento che sorreggono la copertura. In periodo più recente invece si vede un netto cambiamento: l'intervento nella navata centrale infatti è palesemente anastilotic, vengono gettati pilastri in cemento armato e ricoperti con pietra a copiare pilastri cinquecenteschi, murature in blocchi forati intonacati a finta pietra, stes-

sa cosa per le volte e le nervature in cemento armato.

Pochi anni dopo il tutto si modifica di nuovo, probabilmente per la finezza del progettista, che ne fa un caso unico nella Spagna degli anni '90: il tetto del chiostro infatti necessario a garantirne la conservazione è progettato per ricordare l'antica sembianza di questa struttura riposizionando le volte costolonate, ma non in finta pietra, bensì riconoscendo l'onestà strutturale del legno. Il legno non viene nascosto ma esaltato, le strutture originarie rispettate, infatti le costolonature sono da esse staccate come se volassero il che rende il progetto leggero come il ricordo dell'antica copertura, mostrando in trasparenza attraverso la rete elettrosaldata il nuovo intervento strutturale. Nonostante questa parte del progetto sia lodevole, deve però essere considerato come a molti anni dal crollo del chiostro si sia persa memoria del suo volume originario a due impalcati cosa che ne ha fortemente cambiato la forma e l'immagine.



Il rilievo della Cattedrale di Sasamon di Matteo Bigongiari, nato da un progetto internazionale che ha visto coinvolte l'Università di Firenze e l'Universidad Politécnica de Madrid, induce a trarre alcune considerazioni di carattere generale che ben illustrano radicate peculiarità del nostro sistema universitario e che caratterizzano in maniera significativa l'attività del Dipartimento di Architettura.

In questo contesto è opportuno sottolineare il valore e l'importanza del rapporto tra docente e discente in un percorso di studi in cui gli allievi, nel corso di Rilievo dell'Architettura, previsto al secondo anno, affrontano le discipline del rilievo e della rappresentazione. Gli argomenti trattati nel corso necessitano di esperienze dirette che vengono effettuate in seminari di approfondimento che adottano, quale modalità operativa, uno stretto contatto con il docente finalizzato a favorire la trasmissione di conoscenze e un rapido apprendimento attraverso una partecipazione attiva e pratica degli studenti.

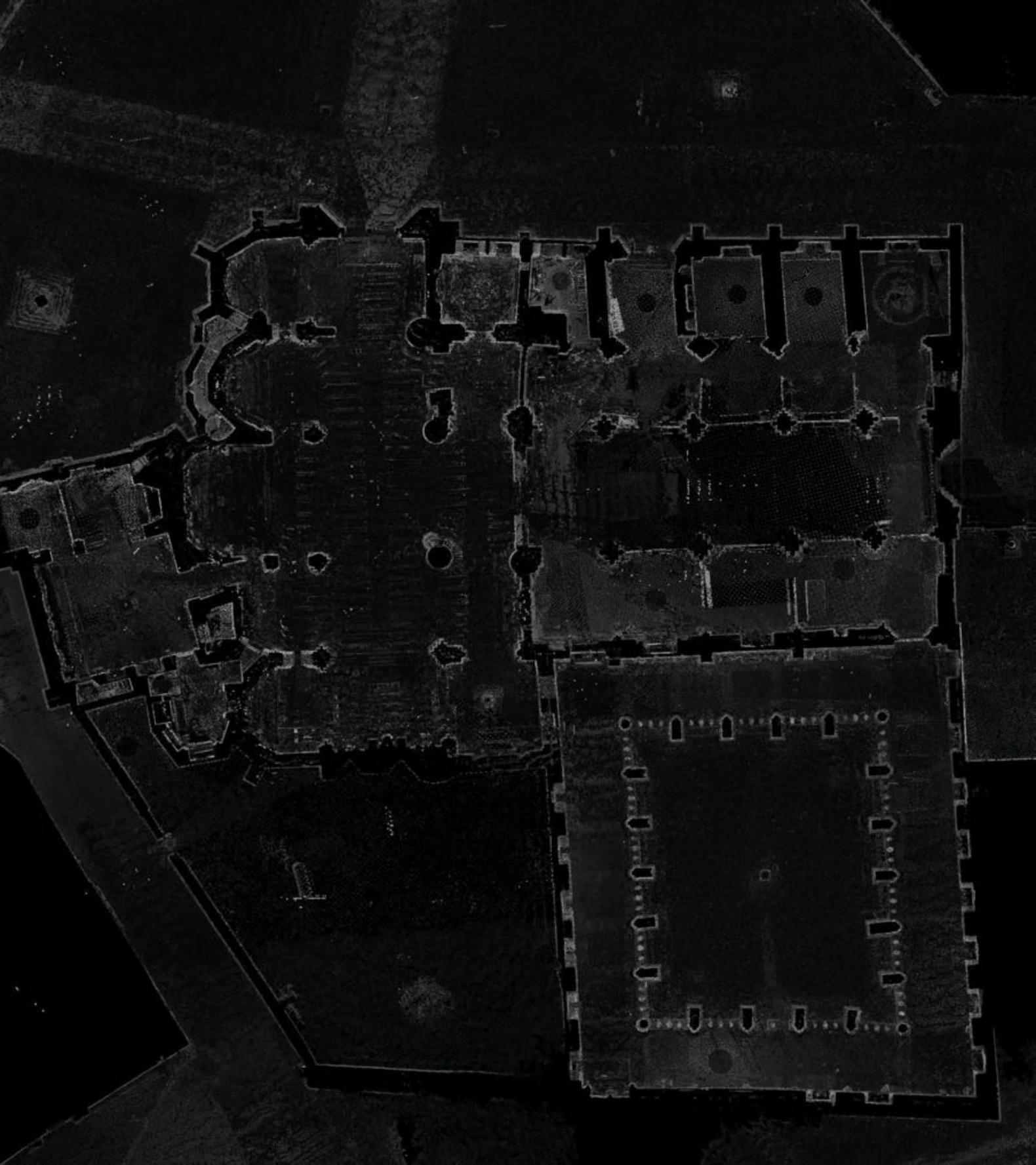
La formazione degli allievi più maturi avviene attraverso seminari tematici a scelta libera che rilasciano crediti formativi e che offrono l'opportunità di sviluppare esperienze didattiche più complesse, complete e multidisciplinari, avvicinando i partecipanti al "mestiere" di architetto. Occasioni di tale livello di approfondimento e di complessità operativa richiedono l'attivazione di molteplici competenze e la partecipazione di docenti di varie discipline che, con entusiasmo, mettono a disposizione le loro conoscenze per la buona riuscita dei progetti. Appartiene a tale tipologia di esperienze formative il seminario che ha condotto alla realizzazione del rilievo della Cattedrale di Sasamon caratterizzato da un alto livello di sperimentazione e di ricerca, come emerge da questo lavoro di Matteo Bigongiari. Il progetto nasce da un'idea del collega Giovanni Minutoli, docente di restauro, che fin dall'inizio ha coordinato i rapporti internazionali e che, con grande generosità, ha supportato la ricerca e le scelte operative.

Dal punto di vista metodologico, questa esperienza di rilievo è servita per mettere a punto un protocollo operativo di sicuro interesse e significato. Il rilievo di questa articolata cattedrale spagnola è stato infatti condotto in un particolare momento di evoluzione tecnologica in cui gli strumenti di misurazione laser scanner consentivano rapidi processi di acquisizione dati mentre i sistemi di messa a registro delle scansioni erano ancora particolarmente complessi. E' stato così sviluppato un protocollo di gestione delle fasi del rilievo digitale dalla sua acquisizione alla restituzione grafica finale capace di garantire l'affidabilità del dato seguendo accurati processi di certificazione in tutte le sue operazioni.

Il volume, dotato di un ricco apparato iconografico, analizza con accuratezza i molteplici aspetti legati alla rappresentazione morfologica e restituisce in maniera efficace le dettagliate analisi diagnostiche sullo stato di conservazione del monumento. Un lavoro completo, dunque, che ben rappresenta la splendida complessità della Cattedrale di Sasamon.

Giovanni Pancani

Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze



- Abasolo Alvarez J. A. 1975, *Comunicaciones de la epoca romana en la provincia de Burgos*, Burgos.
- Alvarez Quevedo J. 1994, *Historia Y Arte de Sasamón*, Burgos.
- Arrighetti A. 2019, *Registering and documenting the stratification of disruptions and restorations in historical edifices. The contribution of archaeoseismology to architecture*, «Journal of Archaeological Science: Reports», n. 23, pp. 243-251.
- Bellanca C., Mora S. 2017, *Santa Maria la Real de Sasamón*, Burgos. *Un ejemplo de estratificaciones a lo largo del tiempo*. «Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura», n.s. 67, 2017.
- Bertocci S., Minutoli G., Mora S., Pancani G. 2015, *Complessi religiosi e sistemi difensivi sul cammino di Santiago de Compostela: rilievi e analisi per la valorizzazione e il restauro della cattedrale di Santa Maria la Real a Sasamon*, Firenze.
- Bertocci S., Minutoli G., Pancani, G. 2015, *Rilievo tridimensionale e analisi dei disegni della Pieve di Romena*, «Disegnare con», 8-14 gennaio.
- Bigongiari M. 2016, *La cattedrale di Santa Maria La Real a Sasamón, dal rilievo laser scanner 3D alla restituzione architettonica e strutturale per la conservazione del complesso religioso*, in Bertocci S., Bini M. (a cura di), *Le ragioni del disegno. Pensiero, forma e modello nella gestione della complessità*, Gangemi editore, Roma.
- Bigongiari M. 2016, *La Cattedrale di Sasamón: analisi diagnostiche e rilievo strutturale preliminari al progetto di consolidamento*, in Parrinello S., Besana D., ReUSO 2016. *Contributi per la documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico e per la tutela paesaggistica*, Edifir, Firenze.
- Bigongiari M., 2017, *Il rilievo del centro storico di Brolo*, in Arrighetti A., Gentile S., Minutoli G., *Bianca terra*, Armenio, Brolo.
- Cardini F. 2001, *Europa e Islam. Storia di un malinteso*, Laterza, Bari
- Caucci von Saucken P. 1989, *Guida del pellegrino di Santiago. Libro 5° del Codex Calixtinus sec. XII*, Jaca Book, Milano.
- Carbonara G. 1990, *Restauro dei monumenti. Guidati agli elaborati grafici*, Editore Liguori, Napoli.
- Doglion F. 1997, *Stratigrafia e restauro. Tra conoscenza e conservazione dell'architettura*, Lint Editoriale, Trieste.
- Doglion F. 2008, *Nel restauro. Progetti per le architetture del passato*, Marsilio editore, Venezia.
- DPC-ReLUIS 2010, *Linee guida per il rilievo, l'analisi ed il progetto di interventi di riparazione e consolidamento sismico di edifici in muratura in aggregato*.
- Giuffrè A. 1999, *Lecture sulle meccaniche delle murature storiche*, ed. Kappa, Roma.
- Gurrieri F. 1992, *Restauro e conservazione*, Polistampa, Firenze.
- Minutoli G. 2017, *Percorsi di conoscenza per la salvaguardia della città storica*, Firenze University Press, Firenze.
- Minutoli G. 2018, *Palazzo Capponi delle rovine a Firenze: analisi e valutazioni per il progetto di restauro*, «Restauro Archeologico», n. 2.
- Pancani G. 2017, *La Città dei Guidi: Poppi. Il costruito del centro storico, rilievi e indagini diagnostiche*, Edifir, Firenze.
- Pancani G. 2017b, *Rilievo delle lastre tombali del Camposanto Monumentale di Piazza dei Miracoli a Pisa*, «RESTAURO ARCHEOLOGICO», n. 2.
- Pancani G., Bigongiari M. 2018, *The Integrated Survey of the Pergamum by Nicola Pisano in the Cathedral of Pisa In Kremer, H. DHC2017 Digital Cultural Heritage International Conference*, Springer, Berlin (Germany).
- Parenti R. 1988, *Sulla possibilità di datazione e di classificazione delle murature*, in R. Francovich, R. Parenti (ed.), *Archeologia e restauro dei monumenti*, Firenze, pp. 280-30.
- Ruiz Carcedo J. 2006, *Sasamón, Fundación Amaya*, Sasamon, Burgos.
- Van Riel S. 2007, *Consolidamento degli edifici storici, appunti e note*, Centro Stampa AZ, Firenze.



Presentazione Stefano Bertocci	5
Premessa	7
Il percorso di conoscenza	11
Cenni Storici	13
Il Rilievo Digitale	21
Le Analisi Diagnostiche	33
Le Indagini Strutturali	39
Atlante dei Disegni	45
Conclusioni	57
Postfazione Giovanni Pancani	59
Bibliografia	61



Finito di stampare per conto di
didapress
Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze
Aprile 2020

Intervenire sul Patrimonio costruito, specialmente nel caso di edifici monumentali, richiede all'architetto una preliminare fase di conoscenza che necessario a comprendere la natura dell'oggetto in analisi; il percorso di conoscenza da intraprendere comporta un approfondito studio delle fonti storiche, della morfologia dell'edificio attraverso un rilievo architettonico affidabile, analisi materiche e strutturali che consentano di dimensionare gli elementi architettonici per eseguire le opportune verifiche statiche. Questo lavoro prende in analisi un importante monumento spagnolo, la chiesa di Santa Maria la Reál nel borgo di Sasamón lungo il cammino di pellegrinaggio verso Santiago de Compostela, e mostra lo sviluppo di queste teorie, che ha come fine la realizzazione di un pacchetto di elaborati, che raccolgono la conoscenza del fabbricato, insieme alle problematiche che lo interessano, necessari al progettista e al restauratore.

Particolare attenzione è stata posta alla rappresentazione dell'edificio e alla realizzazione di un database di misurazioni tridimensionali, le moderne nuvole di punti, affidabile, studiando protocolli metodologici per verificare e certificare il mantenimento dell'affidabilità della misura dalle fasi di acquisizione del rilievo alla restituzione grafica degli elaborati tecnici bidimensionali, su cui sono state avanzate le successive analisi diagnostiche e strutturali.

Matteo Bigongiari (Pietrasanta 1991). Ha conseguito il diploma di maturità classica presso il Liceo Giosuè Carducci di Viareggio e la laurea in Architettura (corso di laurea magistrale a ciclo unico) presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze, discutendo la tesi presentata in questo volume nell' A.A. 2014-2015.

Dal 2016 ha frequentato il XXXII ciclo di Dottorato di Ricerca in Architettura, seguendo il curriculum in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente presso l'Università degli studi di Firenze con la tesi dal titolo: *L'architettura fortificata di Leonardo da Vinci in Toscana. Rilievi digitali delle fortificazioni di Piombino per la interpretazione critica dei progetti leonardiani.*

Ha partecipato e segue numerosi progetti Nazionali ed Internazionali presso il Laboratorio di Rilievo dell'Architettura del Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze, con ricerche che si concentrano sulla documentazione digitale per la conservazione del Patrimonio storico.

