

COSTRUIRE IN PIETRA, PRATICA E STORIA

Laboratorio di stereotomia - Palermo 2016

a cura di

Emanuela Garofalo, José Carlos Palacios Gonzalo, Tiziana Campisi



Edizioni Caracol



The research leading to these results has received funding from the European Research Council under the European Union's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013)/ ERC grant agreement n. 295960 - COSMED

d'Arch Dipartimento di Architettura - Università degli Studi di Palermo

In copertina: il modello realizzato in scala 1:2 della volta a cinque chiavi della chiesa di Santa Maria della Catena a Palermo, al termine delle operazioni di montaggio.

Finito di stampare nel mese di settembre 2016 presso Photograph srl - Palermo

© 2016 Caracol, Palermo

Vietata la riproduzione o duplicazione con qualsiasi mezzo

Edizioni Caracol

Piazza Luigi Sturzo, 14 - 90139 Palermo

tel 091. 340011

email: info@edizionicaracol.it

www.edizionicaracol.it

ISBN: 978-88-98546-54-1

INDICE

- 5 Premessa
Emanuela Garofalo, José Carlos Palacios Gonzalo, Tiziana Campisi
- 7 “Luomo è intelligente perchè ha le mani”
Andrea Sciascia
- 9 Imparare facendo. Il *Taller de construcción* gotica di Madrid: 2005-2015
José Carlos Palacios Gonzalo
- 21 Costruire lo spazio. Il cantiere gotico, dal disegno all’esecuzione
Tiziana Campisi
- 31 Gli antichi strumenti per il taglio della pietra a Palermo (XII-XIX secolo)
Salvatore Greco
- 39 La chiesa di Santa Maria della Catena a Palermo come *exemplum*
Emanuela Garofalo
- 49 Dal rilievo alla conoscenza: analisi geometrico-costruttiva della volta a cinque chiavi della chiesa di Santa Maria della Catena a Palermo
Mirco Cannella, Federico Maria Giammusso
- 63 L’esperienza del laboratorio di stereotomia – Palermo 2016
Emanuela Garofalo, Federico Maria Giammusso

PREMESSA

L'assegnazione da parte dell'Ateneo di Palermo di un contributo per l'avvio e lo sviluppo di collaborazioni internazionali, nell'ambito del Bando CoRI 2014-Azioni D (responsabile del finanziamento la professoressa Emanuela Garofalo), ha fornito l'opportunità per invitare presso il Dipartimento di Architettura il professore José Carlos Palacios Gonzalo dell'Universidad Politecnica di Madrid e per organizzare, avvalendosi della sua esperta guida, un Laboratorio di stereotomia, tenutosi presso lo stesso Dipartimento dal 18 al 29 aprile 2016.



L'iniziativa si è inserita tra le attività del progetto COSMED. *From Stereotomy to antiseismic criteria: crossroads of experimental design. Sicily and Mediterranean (XII-XVIII century)* - Principal Investigator il professore Marco Rosario Nobile - finanziato dall'ERC tra le azioni Advanced Investigator Grant 2011.

Per l'organizzazione del laboratorio è stata inoltre attivata una convenzione per collaborazione scientifica con l'impresa di costruzioni e restauro *Di Giovanna srl* di Palermo.

Il laboratorio è stato diretto dai responsabili scientifici dello stesso, professori José Carlos Palacios Gonzalo, Emanuela Garofalo e Tiziana Campisi, avvalendosi inoltre delle competenze del Laboratorio di disegno 3D'arch Lab, diretto dal professore Fabrizio Agnello, nonché di quelle del Comitato scientifico dell'iniziativa, composto dal Direttore del Dipartimento di Architettura, professore Andrea Sciascia, e dai professori dello stesso Dipartimento Fabrizio Agnello, Giuseppe Di Benedetto, Giovanni Fatta, Antonella Mamì, Marco Rosario Nobile, Stefano Piazza e Calogero Vinci.

I docenti responsabili sono stati coadiuvati nello svolgimento delle attività dal dottore di ricerca Federico Maria Giammusso, che ha diretto "il cantiere" della volta realizzata, e dal dottore arch.

Armando Antista, entrambi tutor; un ulteriore supporto è stato offerto dai dottori di ricerca arch. Mirco Cannella, ingg. Liucija Berezanskyte, Enrico Genova e Manfredi Saeli e dal dottorando Pau Natividad Vivó dell'Universidad de Cartagena, visiting student presso il Dipartimento di Architettura nel periodo di svolgimento del laboratorio.

L'iniziativa ha visto impegnati quaranta studenti circa selezionati dai corsi di laurea della classe LM4 (CdL quinquennale a ciclo unico in Architettura e in Ingegneria Edile-Architettura, grazie alla collaborazione e disponibilità dei Coordinatori, proff. Vincenzo Melluso e Giuseppe Trombino) e alcuni dottorandi del Corso di Dottorato di Ricerca in *Architettura, Arti e Pianificazione* del Dipartimento di Architettura.

L'attività di laboratorio è consistita nella realizzazione in scala 1:2 di un modello riproducente la volta a cinque chiavi della chiesa di Santa Maria della Catena a Palermo, ed è stata preceduta da un seminario introduttivo interdisciplinare.

Questo volume raccoglie la sintesi dei contributi presentati in occasione del seminario introduttivo e illustra le modalità di svolgimento del laboratorio, presentandone i risultati più significativi.

Al termine del Laboratorio è stata organizzata una cerimonia conclusiva, che ha riepilogato gli esiti dell'esperienza effettuata e – alla presenza del Magnifico Rettore, prof. Fabrizio Micari – nonché di autorità comunali, regionali e di rappresentanti del mondo del lavoro cittadino, si è effettuato il disarmo della volta.

L'impegno profuso da tutti i partecipanti e l'entusiasmo che ha accompagnato lo svolgimento delle attività di laboratorio hanno reso l'esperienza particolarmente proficua, rendendo auspicabile una sua prossima riedizione.

Al Direttore del Dipartimento di Architettura e ai Colleghi del Comitato scientifico, ai tutor e agli altri giovani collaboratori, ai dottorandi, agli studenti e a tutti coloro che hanno concorso – a vario titolo – al raggiungimento di questo risultato esprimiamo il nostro più sentito ringraziamento.

Emanuela Garofalo
José Carlos Palacios Gonzalo
Tiziana Campisi

“L’UOMO È INTELLIGENTE PERCHÉ HA LE MANI”¹

La lungimiranza di un progetto CoRI, proposto dalla professoressa Emanuela Garofalo, ha fatto vivere a quaranta studenti dell’Università di Palermo l’entusiasmo di un laboratorio di stereotomia. Tale esperienza ha replicato, negli spazi del Dipartimento di Architettura, quanto già collaudato con estrema competenza e altrettanto successo dal professore José Carlos Palacios Gonzalo nei suoi corsi all’Universidad Politecnica di Madrid. Lo stesso Palacios, Emanuela Garofalo e la professoressa Tiziana Campisi, hanno guidato alcuni allievi, dei corsi di studio in Architettura e in Ingegneria Edile–Architettura, nella ricostruzione, in scala 1:2, della volta a cinque chiavi della chiesa di Santa Maria della Catena a Palermo. Tralasciando tutti i passaggi riguardanti la scelta dei materiali, degli utensili e degli indispensabili disegni preparatori – aspetti trattati

con dovizia di particolari nei saggi che seguono – si pone in rilievo soprattutto l’azione che questa “occasione” didattica ha avuto sulla formazione dei giovani. Infatti, almeno per una volta, si è colmata quella distanza fra progetto e realizzazione mirabilmente descritta da Giulio Carlo Argan². L’allievo “sporandosi le mani” ha dato forma all’architettura della volta attraverso la costruzione dei singoli conci. Questi, seppur di un altro materiale, quindi con altre caratteristiche di resistenza meccanica rispetto alla pietra originaria, sono scaturiti poco a poco, replicando, in modo diverso, l’esperienza di un progetto. Si insiste sulla valenza progettuale del cantiere, non confondendola con una mera ricostruzione, perché solo apparentemente, l’esito finale del laboratorio è conosciuto



a priori. Anzi, si potrebbe sostenere è doppiamente noto perché la chiesa, e quindi la volta, esistono e i disegni preparatori ne hanno, per tempo, svelato la geometria rendendo inoffensive le conseguenti insidie. Tale certezza è invece fuorviante perché il passaggio dal disegno di rilievo alla realizzazione, nasconde alcuni pericoli che solo il lavoro di cantiere può svelare. Cioè l'attività di cantiere merita la stessa attenzione che si è soliti riservare al processo del progetto, perché il contatto con la materia implica, per gli studenti, un lavoro con molte incognite. Nel laboratorio di stereotomia tutto sembra essere ricondotto a un percorso certo rafforzato dalla confortante presenza delle centine, ma, ad esempio, l'incognita del crollo esiste. Sostituire la matita con lo scalpello e la carta con la pietra comporta dei rischi che hanno una evidenza ben diversa, rispetto a quelli che docenti e allievi corrono normalmente nelle aule. La sfida dell'insegnare e dell'apprendere diventa più avvincente, più coinvolgente ma indubbiamente anche più rischiosa. L'attenzione nel disegno, soprattutto se è manuale, è elevata ma toccare la materia comporta un'attenzione ben maggiore, non a caso i Romani dipingevano le lettere da incidere prima di passare a scolpirle. Il materiale con cui si costruisce è sempre molto più costoso della carta e la fatica nel dargli forma è infinitamente più elevata. La matita può correre veloce, quasi senza attrito, su una superficie liscia mentre nel laboratorio di stereotomia è attraverso la fatica che prende forma, insieme alla volta, l'apprendimento. Da una parte gli allievi operano per sottrazione, dall'altra aggiungono alla loro "esperienza nell'architettura" un episodio prezioso: la realizzazione come atto definitivo dell'architettura. L'esperienza maturata da ogni allievo, ha avuto un effetto molto più ampio, perché "la bottega", posta in prossimità dell'ingresso della Facoltà di Architettura, ha trasformato una lezione, per quanto speciale, in una circostanza che ha coinvolto buona parte della comunità universitaria di viale delle Scienze. Rivivere e riconoscere la costruzione dell'architettura come atto collettivo è stato l'effetto indotto del laboratorio di stereotomia che è riuscito, anche se per poche settimane, a infrangere i confini di un recinto specialistico e a donare allo stesso una identità urbana.

Andrea Sciascia

¹ Frammento di Anassagora, vedi anche Vegetti M., *Filosofia e sapere della città antica*, in Vegetti M., Alessio F., *Filosofie e società*, vol. I, Bologna, Zanichelli, 1978, p. 25.

² G.C. Argan, *Tecnica*, in *Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica*, vol. VI, Roma, Istituto Editoriale Romano, 1969, pp. 164-165.

IMPARARE FACENDO

IL TALLER DE CONSTRUCCIÓN GÓTICA DI MADRID: 2005-2015

José Carlos Palacios Gonzalo

Universidad Politécnica de Madrid

Lo studio del gotico e, in particolare, della volta gotica, ha conosciuto un momento irripetibile nella seconda metà del XIX secolo. Il Romanticismo che allora impregnava la cultura europea ha fatto fiorire l'interesse per quelle vecchie strutture diffuse in tutta l'Europa. In Francia, dopo la rivoluzione francese, enormi edifici religiosi, del tutto secolarizzati, furono trasformati in stalle e granai. Per il resto, le cattedrali e le abbazie prolungavano la propria esistenza tra riti e cerimonie, dal medioevo. Improvvisamente, con l'avvento del Romanticismo, la cultura europea inizia a scoprire in questi edifici religiosi medievali i segni più profondi della propria identità.

In Francia, Viollet-le-Duc e, successivamente, Auguste Choisy hanno elaborato un *corpus* teorico davvero colossale intorno all'architettura gotica; il loro principale apporto è consistito tuttavia nell'interpretazione costruttiva della stessa; essi hanno creato un modo di accostarsi all'architettura che trascende l'analisi storica o stilistica, per cercare nella costruzione la ratio di strutture tanto formidabili. Lo stesso interesse per la costruzione del gotico sostanzia l'opera di Robert Willis in Inghilterra e Ungewiter e Lassaulx in Germania.

Questo brillante percorso, tuttavia, non è proseguito nel XX secolo. L'apparizione dell'acciaio industrializzato e del cemento armato, insieme a quella di

una nuova architettura, il Movimento Moderno, hanno allontanato gli architetti, gli unici che avrebbero potuto procedere su questa via, dall'interesse per il gotico e per l'architettura storica in generale. Alcuni contributi brillanti sono comparsi tuttavia anche in questo secolo: negli anni Venti, Pol Abram, contraddicendo la spiegazione razionale del gotico di Viollet-le-Duc, è diventato – e continua a essere – un autore di riferimento. In Inghilterra, negli anni Cinquanta, il contributo storiografico di Paul Frankl offrì, allo stesso modo, un monumentale apporto che, questa volta a partire da un'analisi stilistica, arrivò anche a correggere le interpretazioni francesi su come funziona la struttura gotica, talora deterministe. Fichten è autore di un'opera notevole che nuovamente intende trovare spiegazioni allo stile gotico a partire dalla costruzione. Alla fine del secolo si produce la formidabile opera di Werner Müller, in Germania, nella quale si mettono in luce aspetti inediti che spiegano il profondo legame tra la geometria, la volta a crociera e la lavorazione di conci e chiavi; ciò ha costituito un passo in avanti verso la conoscenza del dettaglio, del sapere profondo dei maestri medievali specializzati nella costruzione in pietra da taglio.

Nell'attualità la situazione sembrerebbe essere cambiata nuovamente e il successo riscosso dai congressi di storia della costruzione lo conferma.

Comprendere l'architettura a partire dalla costruzione della stessa è divenuto un obiettivo che suscita un forte interesse. Fortunatamente, infatti, la costruzione dell'architettura storica è stata oggetto di nuove attenzioni nei nostri tempi e anche il gotico è stato indagato. Poco a poco cominciano a prodursi opere interessanti che tentano di riscoprire questo fecondo periodo dell'architettura europea. I nuovi strumenti di raccolta dei dati e di disegno somministrano informazioni inedite che permettono di accostarsi a questo periodo storico con un nuovo sguardo, capace di andare oltre l'imponente opera dei nostri maestri del XIX secolo. Le pubblicazioni recenti e le tesi di dottorato in corso sembrano confermarlo.

In questo contesto nasce nella *Escuela Superior de Arquitectura* di Madrid (ETSAM) un'esperienza pedagogica singolare: il *taller de Construcción Gótica* (laboratorio di costruzione gotica). Un'iniziativa che dimostra come si possa realizzare una didattica con una forte attrattiva incentrata sull'architettura storica e allo stesso tempo approfondire la ricerca sulla costruzione storica. Il *taller de Construcción Gótica* della ETSAM è focalizzato in particolare sullo studio della volta gotica: la volta a crociera. Pensiamo che la comparsa della volta sia stata una delle invenzioni più straordinarie dell'umanità e, in particolare, della volta a crociera, una delle manifestazioni più ingegnose e pratiche dell'arte del costruire. Questa idea è quella che nel complesso si intende trasmettere agli alunni che si accostano al nostro laboratorio.

Partecipare alla costruzione di una volta è un'esper-

ienza pedagogica straordinaria. L'alunno vive l'emozione di mettere in pratica le conoscenze empiriche. La storia dell'architettura, la scoperta dei principi geometrici medievali, la lavorazione, il taglio della pietra, la nascita della stereotomia, l'uso della pietra intagliata, le centine, la posa in opera e, infine, i principi di stabilità si vanno mettendo in luce durante la costruzione della volta. La maggiore conquista proveniente da questa esperienza è stata quella di legare la teoria con la pratica, dare un senso alla teoria attraverso l'esperienza reale della costruzione.

Fino a ora, nel laboratorio sono state costruite nove volte, scelte in funzione dell'interesse che avrebbero potuto suscitare. Le volte costruite, come vedremo di seguito, vanno dalle origini del gotico fino alle volte tardive dell'illuminismo, nelle quali il gotico continua ancora a mostrare una insospettata vitalità. Tra queste, le volte a crociera del XVI secolo hanno meritato un particolare interesse, considerato che, in questo periodo, raggiungono il loro più alto grado di complessità; senza alcun dubbio, è questo il momento nel quale infatti si fa uso delle soluzioni geometriche e costruttive più brillanti e ingegnose. Vediamo di seguito una breve descrizione del lavoro realizzato.

La prima volta costruita nel laboratorio è stata la volta a crociera che appare nel trattato di Alonso de Vandelvira¹, *El libro de las trazas de cortes de piedra*. Questa è, in realtà, un prototipo; si tratta di una volta gotica di forma sferica, apparentemente un controsenso. La volta gotica infatti, al principio, prendeva le mosse dalla volta a spigoli vivi (crociera

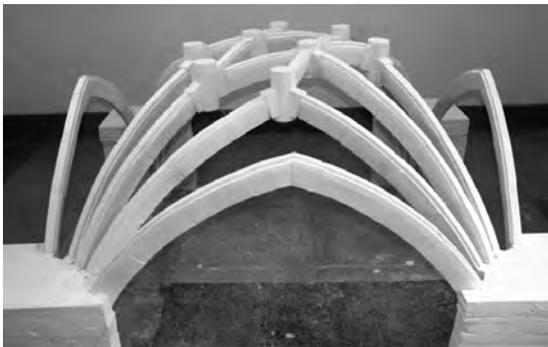
nuda); nel corso dei secoli la volta gotica divenne una volta a spigoli vivi rinforzata con archi diagonali. Con questo esempio Vandelvira ci propone invece una volta gotica sferica, un prodotto che va letto nel suo contesto, il XVI secolo in Spagna, nel quale il gotico e il rinascimento raggiungono contemporaneamente il loro massimo livello di sviluppo. Come abbiamo potuto verificare durante la sua costruzione, i tre archi fondamentali della volta – diagonali (*ojivos*) secondari (*terceletes*) e perimetrali (*formeros*) – sono tre archi di differente curvatura. È questa una condizione necessaria se si vuole costruire una volta sferica: i tre archi, in realtà tre tagli verticali della sfera, devono avere curvature differenti. Questa circostanza complica la costruzione della stessa, dal momento che i conci che compongono ciascun arco devono essere anch'essi differenti, così come le centine curve che permetteranno la loro costruzione [fig. 1].

La seconda struttura realizzata nel laboratorio è stata la volta di Juan Guas che si trova nell'angolo nord-est del chiostro della cattedrale di Segovia². Nella volta sferica di Vandelvira gli archi sono tutti differenti; senza dubbio, la volta di Guas non faceva sorgere il sospetto che potesse essere stata costruita con un solo arco. Juan Guas è solito utilizzare la soluzione di inclinare in avanti l'arco diagonale in modo che vada raggiungendo l'altezza delle chiavi secondarie; così, con lo stesso arco, vale a dire con un unico tipo di concio, si può costruire tutta la volta. Con la costruzione della volta di Guas abbiamo inteso quindi mettere in luce una delle maggiori conquiste dell'architettura gotica: la standardizzazione.

Costruendo la volta si è potuta sperimentare l'efficacia del procedimento. L'arco diagonale è un arco a tutto sesto e determina l'altezza della chiave centrale. Di seguito si fissano le altezze delle chiavi secondarie e quelle del perimetro in funzione della forma che vogliamo che assuma la volta. Successivamente, è sufficiente girare l'arco diagonale finché occupi la posizione della nervatura secondaria e inclinarlo finché non raggiunga l'altezza della relativa chiave. Con l'arco perimetrale succede lo stesso: si fa girare l'arco diagonale fino alla posizione di quello perimetrale e si inclina finché passi dalla chiave. Con questo metodo si ottiene che tutti gli archi della volta siano uguali e di conseguenza anche i conci e le centine. È vero che gli archi, essendo inclinati, all'imposta non partono tangenti alla verticale, sebbene questo dettaglio sia praticamente impercettibile [fig. 2].



1. Modello riprodotto una volta sferica con costoloni dal trattato di Alonso de Vandelvira.



2. Modello di una volta di Juan Guas che si trova nell'angolo nord-est del chiostro della cattedrale di Segovia.



3. Modello della volta a crociera piana del sotto-coro del convento di San Esteban a Salamanca, opera di Juan de Álava.

Per il terzo corso abbiamo deciso di costruire una volta a crociera piana. Durante il medioevo la Spagna ha sviluppato una tipologia di chiesa conventuale unica in Europa; si tratta di una chiesa a nave unica con una enorme tribuna innalzata all'ingresso del tempio. Su questa piattaforma si colloca il coro di monache che, da questa, dovevano seguire il rito religioso che si celebrava sull'altare

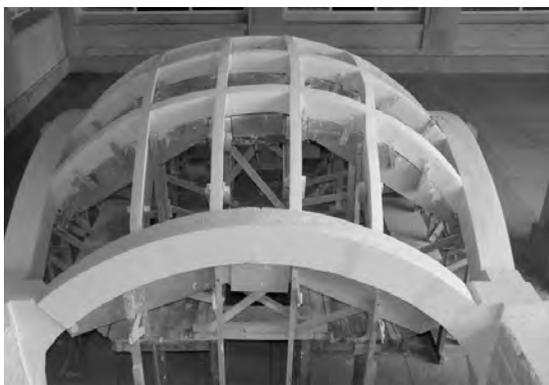
maggiore; pertanto la tribuna doveva essere il più possibile bassa, risultato che si poteva ottenere soltanto con una volta piana. Le volte a crociera piane sono una grande novità del gotico spagnolo e sono state il tema di una tesi di dottorato sviluppata da Rafael Martín Talaverano³. Abbiamo scelto per la costruzione la volta del sotto-coro del convento di San Esteban a Salamanca, senza dubbio una delle più spettacolari del nostro gotico, opera di Juan de Álava. Questa volta è stata interamente costruita con archi *carpaneles*, cioè ovali.

La sua costruzione ci ha permesso di scoprire l'ingegnoso procedimento attraverso il quale in questo tipo di volte ad archi ovali si può arrivare a standardizzare tutte le curvature, in modo che si possano costruire con un solo arco: la parte superiore dell'ovale diagonale. Questo unico arco si va girando e tagliando in funzione della lunghezza in pianta degli archi secondari. La volumetria della volta pertanto è il risultato di questo metodo di standardizzazione [fig. 3].

La quarta volta costruita nel laboratorio proveniva ugualmente da una tesi di dottorato. Sandra C. Bravo Guerrero sta portando a termine una ricerca sulle volte a crociera *enrejadas*⁴. Si tratta nuovamente di una tipologia di volta che appare nel trattato di Vandelvira, precedentemente menzionato. Apparentemente sono volte classiche, volte ribassate cassettonate, ma in realtà non sono costituite da conchi che formano una superficie continua, essendo invece costruite con nervature gotiche. L'aspetto più interessante messo in luce dalla tesi è che queste volte sono superfici di traslazione,

cioè, che il guscio della volta si forma per effetto della traslazione di un solo arco nelle due direzioni ortogonali; ancora un caso di standardizzazione di nervature. Volte di questo tipo, tra le più spettacolari, si trovano nella cattedrale di Mérida in Yucatán; proprio queste volte, costruite alla fine del XVI secolo, sono state il modello prescelto per la costruzione nel nostro laboratorio [fig. 4].

Successivamente, nel corso del 2011-12, abbiamo realizzato la costruzione di una delle volte della sacrestia del monastero de los Jerónimos a Belem, Lisbona. Ancora una volta l'attività del laboratorio è stata legata allo svolgimento di una tesi di dottorato, la tesi dell'architetto Soraya Genin⁶ sulle volte a crociera di Joao del Castilho. Questa tesi è stata realizzata nell'ambito del master in restauro dell'International Centre for Conservation of Monuments and Sites della Facoltà di Architettura dell'Università Cattolica di Lovanio, in Belgio. Joao del Castilho fu, senza alcun dubbio, uno degli architetti gotici più straordinari d'Europa; di origine cantabrica, sviluppò la sua attività professionale nella prima metà del XVI secolo nel regno del Portogallo. La volta di Joao del Castilho, come succedeva con quella di Juan de Álava, è risolta con archi ovali; e nuovamente si scopre che con un solo arco si costruisce tutta la volta. L'arco diagonale di questa volta è un bel arco ovale dal quale si ottengono il resto degli archi con i quali si forma la volta, impiegando contemporaneamente due sistemi di standardizzazione differenti. L'arco ovale (*carpanel*), fu una soluzione costruttiva frequentemente utilizzata per la costruzione di volte nel basso gotico, in par-



4. Modello della volta a crociera *enrejada* dal trattato di Alonso de Vandelvira.



5. Modello di una delle volte della sacrestia del monastero de los Jerónimos a Belem (Lisbona), di Joao del Castilho.

icolare per la sua versatilità e capacità di generare strutture completamente standardizzate. Questa volta ci ha permesso di approfondire una nuova soluzione che compare nel gotico del XVI secolo: le chiavi inclinate, cioè chiavi il cui asse anziché essere verticale, come tradizionalmente è stata la regola generale fin dall'apparizione del gotico, è perpendicolare al piano tangente alla volta [fig. 5]. L'anno seguente, nell'ambito della tesi di dottorato

di Rocío Maira Vidal, nel laboratorio di costruzione gotica abbiamo deciso di approfondire le origini del gotico: la volta esapartita. Il ricchissimo lascito culturale che ha prodotto l'architettura gotica europea comprende un brillante capitolo che ha avuto per protagoniste le volte dette esapartite; si tratta di un capitolo breve ma estremamente interessante. Si iniziò a realizzare questo tipo di volta nell'ultimo terzo del XII secolo e il loro uso si protrasse fino al primo terzo del XIII secolo; appena sessanta anni. È pertanto una storia breve se si considera la grande storia del gotico in Europa, ma di una intensità straordinaria. Sebbene la sua origine vada situata nei domini reali di Francia, è possibile rintracciare questo tipo di volta in quasi tutti i paesi d'Europa, dall'Inghilterra fino alla Polonia. La sua breve esistenza e la sua brusca scomparsa creano un interessante interrogativo su questa peculiare volta. La volta esapartita è una volta a pianta quadrata, in genere di considerevoli dimensioni, che si forma con una croce di archi diagonali ogivali e un altro arco parallelo agli archi perimetrali che dal centro divide la volta in due parti. Tra questo insieme di nervature si distende l'apparecchio delle vele che va riempiendo le sei parti in cui risulta divisa la pianta della volta. L'arco trasversale centrale divide in due il fronte dei muri laterali della volta e crea due finestre in ciascun lato. La forma generale che assume la volta è di una considerevole complessità, visto che le quattro parti laterali delle vele sono superfici coniche.

Tra le volte esapartite spagnole, è stata selezionata una delle volte delle quattro campate del refettorio del monastero di Santa Maria de Huerta. La perfe-

zione della sua esecuzione così come la sua possibile influenza sulle cattedrali di Sigüenza e Cuenca, sono state determinanti per prendere la decisione di costruire un modello della stessa. Dal momento che le dimensioni approssimative di ciascuna campata sono di 9x9 m si è presa la decisione di costruire il modello in scala 1:3, pertanto il modello terminato avrebbe avuto il lato di 3 m.

In primo luogo si è proceduto a una esaustiva raccolta di dati attraverso la quale si è resa evidente la singolare forma di questa volta. Innanzitutto si è potuto constatare che gli archi diagonali sono archi a tutto sesto; l'incrocio degli stessi determina l'altezza della chiave centrale e anche l'altezza della nave. Il disegno preciso delle curvature degli archi ha rivelato anche altri dati interessanti; in primo luogo, si è potuto accertare che gli archi perimetrali hanno la stessa curvatura di quelli diagonali. Questa condizione spiega perché, tracciando l'arco perimetrale uguale a quello diagonale, la chiave di questo arco risulta un po' più bassa della chiave centrale. In secondo luogo si è scoperto che anche l'arco che attraversa la volta al centro è tracciato con la stessa curvatura di quello diagonale, sebbene, in questo caso, affinché raggiunga l'altezza della chiave si deve alzare verticalmente, cioè, rialzarlo all'imposta. Pertanto l'analisi geometrica della volta mostra che gli architetti, nella seconda metà del XII secolo, erano già coscienti degli enormi vantaggi che comportava costruire tutta la volta con lo stesso arco.

Con la lavorazione dei conci compaiono altre osservazioni interessanti, in primo luogo si è notato che tutti i conci sono estremamente corti; la loro

scarsa lunghezza rende innecessario intagliarli seguendo una curvatura. Inoltre, si è constatato che le facce laterali dei conci non sono radiali ma rette, pertanto la curvatura dell'arco si ottiene con la malta dei giunti in forma di cuneo. Possiamo concludere che, sebbene si tratti di un'opera eseguita in pietra, tecnicamente è più prossima alla comune costruzione in muratura che a quella in pietra da taglio con conci accuratamente sagomati; in merito abbiamo potuto osservare che per questo tipo di volta si usa reiteratamente questa stessa soluzione. In secondo luogo, il profilo elaborato degli archi, con la loro protuberante modanatura centrale, suggeriva una ragione costruttiva che era stata già segnalata da Fichten: quella di poter incanalare la lunga sequenza di conci che formano l'arco su una centina a doppia parete; inoltre, l'intaglio dei conci ha evidenziato un altro dato interessante: la forma degli stessi permette di impilarli agevolmente. I conci si incastrano gli uni con gli altri perfettamente in un modo che non può essere casuale; è evidente l'interesse a facilitare ed economizzare il trasporto, potendo il costo di quest'ultimo talvolta superare, perfino di molto, il costo della stessa volta [fig. 6]. Nell'anno 2013, compiendo nuovamente un salto in avanti nel tempo, ci siamo spostati nel XVIII secolo a Barcellona. Una tesi di dottorato sviluppata dall'architetto Fabio Tellia⁶ incentrata sulla stereotomia catalana, ha messo in luce un trattato poco conosciuto: quello del maestro costruttore Joseph Ribes e ha posto in rilievo la vitalità della volta a crociera, ancora presente in periodi tardi come l'Illuminismo europeo.



6. Modello di una delle volte esapartite delle quattro campate del refettorio del monastero di Santa Maria de Huerta

Il Libre de trasas de viax y muntea di Joseph Ribes⁷ è un manoscritto sulla costruzione in pietra da taglio e la stereotomia redatto al principio del XVIII secolo a Barcellona. Una caratteristica veramente notevole di questa opera, in particolare per la data di redazione della stessa, il 1708, è il lungo capitolo dedicato alle volte a crociera gotiche. Joseph Ribes, in questo trattato, studia quaranta volte a crociera ordinandole in base al numero delle chiavi, dalla volta a una sola chiave, fino a quelle a sedici chiavi. La maggior parte delle volte presenta una simmetria centrale e disegni talvolta inediti nel gotico spagnolo. Fra queste compare il disegno di tracciamento di una volta singolare, si tratta di una volta a rete del tipo tedesco, una *netgewolb*. È questa la ragione che ci ha indotto a scegliere di costruire proprio questa volta dalla geometria insolita, tanto in Castiglia come in Catalogna.

Le volte che Ribes studia nel manoscritto presentano una caratteristica comune: sono tutte volte con intradosso sferico; senza dubbio la geometria sferica della superficie di una volta implica che tutte le nervature abbiano curvature differenti e di conseguenza i suoi conci devono essere lavorati seguendo la curvatura di ciascun arco, la qual cosa complica notevolmente la costruzione della volta e la allontana dai principi della standardizzazione del gotico. Questa difficoltà è incrementata nel caso della volta oggetto di questo studio a causa del suo disegno a rete tipico del gotico tedesco. Per costruire una volta a rete con un solo arco era necessario conoscere un metodo tipicamente tedesco per il tracciamento di volte ad archi. Questo metodo è conosciuto con il nome di *Prinzipalbogen*. Sebbene appaia improbabile che Joseph Ribes conoscesse questo metodo, abbiamo effettuato lo studio della sua volta usando questi strumenti geometrici con l'obiettivo di conoscere in modo più approfondito le conseguenze che comporta il singolare disegno di questa volta. Il metodo *Prinzipalbogen* ha permesso la costruzione della volta per mezzo di una sola sagoma e di un unico *baibel*, cosa che facilita la lavorazione di pezzi esatti e permette di verificare la posizione nello spazio di qualsiasi nervatura o chiave, estraendo tutte le informazioni direttamente dal disegno dell'alzato tracciato a grandezza naturale (*montea*)⁸.

Un altro dettaglio di straordinario interesse è stato rivelato dallo studio di questa volta: le chiavi inclinate. Le chiavi di tutte le volte a crociera studiate da Ribes sono radiali. Le chiavi radiali o inclinate

compaiono nelle volte spagnole e portoghesi nel secolo XVI e forse sono una caratteristica specifica del gotico della penisola iberica. Con tutta probabilità la loro apparizione obbedisce a ragioni economiche, dal momento che il blocco di pietra idoneo a intagliare una chiave inclinata è notevolmente più piccolo di quello necessario per intagliarne una verticale. Senza dubbio la realizzazione di una chiave inclinata, con i corrispettivi bracci di connessione, implica il passaggio dalla proiezione verticale delle chiavi tradizionali alla proiezione sul piano tangente, una conquista geometrica della costruzione in pietra da taglio gotica. La chiave inclinata, contrariamente a quello che succede con la chiave verticale che si intaglia con l'aiuto della sua proiezione orizzontale, si intaglia a partire dalla sua proiezione sul piano tangente [fig. 7].

Ancora, un'altra tesi di dottorato in corso di svolgimento, quella dell'architetto Pablo Moreno Dopazo⁹, ci indirizza verso uno dei più grandi architetti spagnoli di tutti i tempi: Rodrigo Gil. Abbiamo deciso quindi di realizzare la costruzione di una volta straordinariamente complessa della fine del XVI secolo, la volta centrale della cappella del Colegio Mayor dell'arcivescovo Fonseca di Salamanca, una delle opere più notevoli di questo straordinario architetto costruita tra 1547 e 1549.

La volta oggetto di studio ha una pianta quadrata di 8,31 m di lato, equivalenti a 30 piedi castigliani, risolta con una croce di archi diagonali e nervature secondarie. Al centro della volta un elegante quadrifoglio con terminazioni a doppia curvatura circonda una stella a quattro punte e un quadrato

interno, mentre lungo il perimetro si dispongono una serie di nervature decorative concave, tangenti al quadrifoglio, producendo un disegno con 33 chiavi, tutte verticali. Effettuando lo studio del tracciamento e della curvatura degli archi, si scopre che l'arco diagonale è una semicirconferenza che inizia con un leggero rialzo di 0,23 m. Tanto le nervature secondarie come gli archi perimetrali partono con questo stesso rialzamento, e sono allo stesso modo archi a un solo centro, tangenti alla verticale nel tratto di imposta. Gli archi secondari si tracciano con lo stesso raggio della diagonale, semplificando in questo modo la costruzione; gli archi perimetrali, però, ne richiedono uno differente, con una curvatura un po' più chiusa con la quale si ottiene di abbassare l'altezza del perimetro e conferire una certa curvatura alle sezioni trasversali, arrotondando la forma della volta.

Sebbene gli archi di questa volta potevano essere tutti differenti, i costruttori si resero conto che se li avessero eseguiti con una medesima curvatura l'opera si sarebbe straordinariamente semplificata: tutti i suoi conci avrebbero potuto essere uguali, così come i costoloni curvi delle centine necessarie per la loro costruzione. Per questa ragione, molto di frequente la forma finale che assume una volta gotica, al contrario di quanto accade in altre architetture, non è predeterminata, cioè non è una forma prescelta dal suo costruttore, ma è conseguenza della standardizzazione dei suoi archi.

La volta di Rodrigo Gil è adornata da un buon numero di nervature decorative, che in realtà sono la causa della gran quantità di chiavi presenti. Queste



7. Modello riprodotto una volta sferica con nervature a rete dal trattato di Joseph Ribes.

nervature sono, secondo quanto spiega il maestro nel suo trattato, *nervios sustentados* o sospese tra due chiavi. Nella volta che stiamo costruendo se ne trovano di due tipi, in base alla loro forma in pianta: curve e rette. Nervature decorative curve o *combados* sono quelle che formano il grande quadrifoglio e le nervature concave tangenti a quest'ultimo, mentre le nervature decorative rette sono quelle che compongono la stella centrale e il quadrato in essa iscritto.

Nel costruire la volta, ciascuna delle 33 chiavi deve essere collocata su un supporto. Questa grande quantità di chiavi in una volta relativamente piccola fa che lo spazio tra esse sia talmente ridotto che tra le chiavi entri un solo concio. Questi conci possono essere collocati facilmente senza la necessità di alcuna centina: la quasi totalità dell'impalcatura lignea sono quindi supporti verticali. Scopriamo pertanto la strategia costruttiva di Rodrigo Gil; la complessità formale della volta gli permette intel-

ligermente di prescindere dalle centine [fig. 8]. Infine, nell'ultimo corso abbiamo effettuato la costruzione di un'ulteriore volta a crociera: la volta che si trova sull'incrocio tra navata e transetto nella cattedrale di Amiens. Si trattava di indagare una volta fondamentale del gotico classico francese, una volta con nervature secondarie a cinque chiavi,



8. Modello della volta centrale della cappella del Colegio Mayor dell'arcivescovo Fonseca di Salamanca, di Rodrigo Gil.



9. Modello della volta a cinque chiavi della crociera della cattedrale di Amiens.

a pianta quadrata di 14,5 m per lato. Secondo Viollet-le-Duc, si tratterebbe della prima volta con nervature secondarie realizzata in Francia¹⁰. La volta aveva richiamato la nostra attenzione per il profilo tanto singolare della sua sezione trasversale. Nelle due direzioni ortogonali, le sezioni mostrano un inconsueto profilo spezzato. Partendo dalla chiave centrale scendono notevolmente verso le chiavi secondarie e dopo si elevano insolitamente verso le chiavi perimetrali, fino al punto che queste sembrano essere più alte della chiave centrale.

Ricostruita la forma della volta mediante PhotoScan, abbiamo potuto constatare che le chiavi perimetrali sono effettivamente alcuni centimetri più alte della chiave centrale, condizione che si può spiegare forse con un assestamento della parte centrale della volta; in ogni caso, le sezioni trasversali presentano un profilo spezzato che conferisce alla volta una volumetria di difficile spiegazione. I dati ottenuti per mezzo della fotogrammetria hanno permesso di accertare che le curvature degli archi principali sono differenti. L'arco diagonale è un formidabile arco a tutto sesto di 9,20 m di luce, mentre gli archi secondari si tracciano con una curvatura differente. Gli archi perimetrali a loro volta sono tracciati con una terza curvatura differente dalle precedenti. La volta pertanto non si attiene ai principi di standardizzazione delle curvature che abbiamo potuto constatare nelle volte studiate in precedenza [fig. 9].

Conclusioni

La costruzione di queste nove volte è stata una

straordinaria opportunità per accostarci alla complessa realtà professionale dell'architettura gotica spagnola. In particolare il gotico del rinascimento, un mondo nel quale il gotico, lungi dallo scomparire, sperimenta il suo momento culminante, il suo pieno sviluppo, grazie alle conoscenze e al sapere di una serie di architetti che continuano a esplorare le possibilità tecniche ed espressive di questa architettura "moderna", secondo la denominazione del tempo.

Tradizionalmente, lo studio della storia dell'architettura in Spagna è stato svolto fondamentalmente da storici dell'arte; senza dubbio, il caso che abbiamo appena esaminato è un esempio compiuto di come gli architetti possono affrontare l'analisi della storia dell'architettura da un campo che gli appartiene: la conoscenza della costruzione. Indagare e spiegare come è stata costruita l'architettura è un compito che solo un architetto

è capace di affrontare e, come dimostra la costruzione delle volte descritte, può essere una fonte straordinaria per una conoscenza profonda della stessa.

Le osservazioni fin qui esposte rendono chiare le idee annunciate all'inizio di questo contributo, cioè che solo la costruzione di una superficie tanto complessa come quella che forma una volta a crociera permette di raggiungere una conoscenza profonda della stessa. Attraverso la sua costruzione, l'acquisizione di conoscenza e la ricerca raggiungono livelli di approfondimento e dettaglio che la speculazione teorica non può ottenere; per altro verso, in ambito pedagogico, questo percorso è incomparabilmente più efficace e attrattivo del modo tradizionale di introdurre gli studenti nel mondo della costruzione storica. Proprio l'entusiasmo degli studenti che partecipano a queste esperienze non lascia spazio a dubbi.

NOTE

¹ Vandelvira de A. (ms. 1575-1580), ed. facs. 2015.

² Ruiz Hernando 1994; Merino de Cáceres 1996.

³ Martín Talaverano 2014.

⁴ Palacios Gonzalo, Bravo Guerrero 2013.

⁵ Genin 2014.

⁶ Il titolo della tesi, ancora in corso di svolgimento presso la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, è *La estereotomía en Cataluña y Baleares*.

⁷ Tellia 2011.

⁸ Tellia, Palacios Gonzalo 2016.

⁹ Palacios Gonzalo, Tellia 2015.

¹⁰ Il titolo della tesi in corso di svolgimento presso la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid è *La construcción en la obra de Rodrigo Gil*.

¹¹ Viollet-le-Duc 1854-1868.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

GENIN S., *Les voûtes manuelines de João del Castilho*, Tesi di Dottorato, Tutors Prof. J. C. Palacios Gonzalo, Prof.ssa K. De Jonge, Histoire et Conservation, Faculty of Ingeniering, Department of Arquitectur, Universiteit Katholique Leuven, Belgium, 2014.

MARTÍN TALAVERANO R., *Bóvedas de crucería rebajadas*, Tesi di Dottorato, Tutor Prof. J. C. Palacios Gonzalo, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 2014.

MERINO DE CÁCERES J. M., *El claustro de la catedral de Segovia*, Segovia, Instituto Diego de Colmenares, Diputación Provincial de Segovia, 1996.

PALACIOS GONZALO J. C., *La cantería medieval, la construcción de la bóveda gótica española*, Madrid, Munilla-Lería, 2009.

PALACIOS GONZALO J. C., Pagina WEB. *bóvedasgóticasdecrucería.com*, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela T. S. de Arquitectura y Dto. De Construcción y Tecnología arquitectónica, 2012.

PALACIOS GONZALO J. C., BRAVO GUERRERO S. C., *Diseño y construcción de las bóvedas por cruceros en España durante el siglo XVI*, in «Revista Informes de la Construcción», 65, 2013, pp. 81-94.

PALACIOS GONZALO J. C., *Taller de construcción gótica. Workshop on Building Gothic Methods*, in collaborazione con Martín Talaverano R., Bravo Guerrero S. C., Maira R., Rodríguez Cobos D., Genin S., Martínez Moreno D., Madrid, Munilla-Lería, 2015.

PALACIOS GONZALO J. C., *La estereotomía clásica en el tratado de Alonso de Vandelvira, studio preliminar*, in A. DE VANDELVIRA, *Libro De Trazas De Cortes De Piedra*, ed. facsimile del manoscritto presente nella biblioteca della Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Madrid, Instituto Juan de Herrera, Escuela Técnica Superior de Arquitectura-UPM, 2015, pp. 1-44.

PALACIOS GONZALO J. C., TELLIA F., *The inlined bossstone in the late spanish gothic*, in *Proceedings 5th International Congress on Construction History* (Chicago 3-7 June 2015), 3 voll., Chicago, Construction History Society of America, 2015, III, pp. 83-92.

RUIZ HERNANDO J. A., *La catedral de Segovia*, León, Edilesa, 1994.

TELLIA F., *El tratado de estereotomía de Joseph Ribes, 1708*, in *Actas del Séptimo Congreso nacional de Historia de la Construcción*, 3 voll., Santiago de Compostela, Instituto Juan de Herrera, 2011, I, pp. 235-242.

TELLIA F., PALACIOS GONZALO J. C., *Aplicación del Prinziplbogen al estudio de una bóveda del Libro de trasas de Joseph Ribes*, in *1514. Arquitectos tardogóticos en la encrucijada*, a cura di Alonso Ruiz B. e Rodríguez Estévez J.C.I, Siviglia, Editorial Universidad de Sevilla, in corso di stampa.

VIOLLET-LE-DUC E., *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI au XVI siècle*, 10 voll., Parigi, Édition BANCE - MOREL, 1854-1868.

COSTRUIRE LO SPAZIO

IL CANTIERE GOTICO, DAL DISEGNO ALL'ESECUZIONE

Tiziana Campisi

Università degli Studi di Palermo

In ogni momento storico il cantiere edile ha rappresentato una sfida, il *locus* concreto della realizzazione di ambiziosi progetti, sperimentazioni e idee innovative, che hanno permesso di imprimere una svolta decisiva al progresso tecnologico.

Complessa e variegata appare la condizione del cantiere siciliano, spesso influenzato da innumerevoli apporti derivanti da altre aree culturali del bacino del Mediterraneo, vero e proprio crogiuolo di saperi a confronto, materiali e tecniche eterogenei, progettisti e maestranze itineranti.

Se da un canto la costruzione gotica annoverava limitate conoscenze in materia di resistenza dei materiali, composizione delle forze, meccanica e statica, si riscontra dall'altro un'arditezza che, pur generando nell'*iter* costruttivo e a opera finita a volte crolli e insuccessi, seppe da essi ricavare ingegnose intuizioni e risultati, operando una selezione di esperienze filtrate dal buon senso, associato a estrema audacia e capacità tecnica. Seguendo l'esperienza dei secoli precedenti, dalla scelta di oculate soluzioni costruttive derivò il linguaggio dell'architettura del tempo e, contestualmente, quest'ultimo si adattò alla capacità intellettuale, ai mezzi materiali ed economici dei vari contesti geografici.

Un sapere tecnico, dunque, che seppur sofferto e conquistato sul campo, combinava l'estetica con la

organizzazione strutturale della fabbrica costruenda; l'esperienza pratica aveva dettato i precetti in merito ai differenti compiti organizzativi e alle relative gerarchie degli esecutori dell'opera edilizia, alle attrezzature e alle macchine da cantiere, agli utensili e alle lavorazioni da usare, incentivando una spiccata attitudine al disegno (di architettura in genere, di figura e di ornato in dettaglio), unico ed efficace strumento di comunicazione.

Capi mastri, muratori e carpentieri, viaggiavano attraverso il Vecchio Continente per conseguire opportuna istruzione, fortuna e soprattutto per dirigere gli importanti cantieri, trasmettendo il proprio sapere e diffondendo le novità tecniche. L'attività di progettazione era ispirata a conoscenze matematiche e geometriche, che generavano rapporti modulari – sia in pianta che in alzato – e mutue relazioni fra le parti dell'edificio; non a caso, la disciplina più applicata risultò la geometria, una delle sette arti liberali, frutto del bagaglio di conoscenze derivato dagli Arabi e utilissima ai fini del controllo stereotomico degli elementi costruttivi; questa disciplina divenne il fulcro del processo progettuale, strumento di verifica per eccellenza – insieme alla rappresentazione grafica – della intuizione/concezione spaziale, che supportava, affinandolo, il progetto realizzabile. Così, semplici regole (una fra tutte, la *regola dei tre archi*

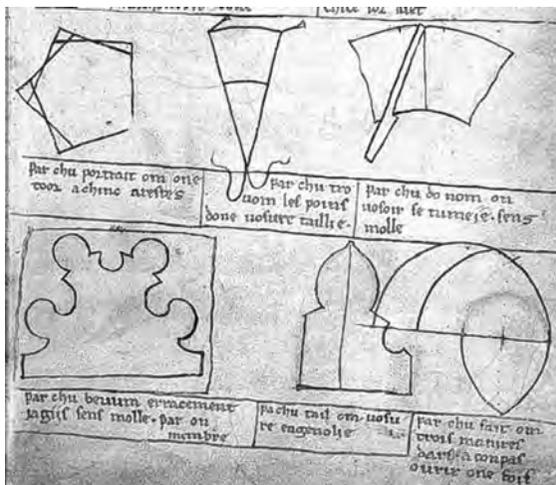
di Villard de Honnecourt) ispirarono le prime volte gotiche, sino a giungere agli esempi più complessi e articolati, che con i loro reticoli nervati traducono le regole in struttura discontinua e in forma architettonica. Villard, nel suo *Taccuino* (1220-1240 ca.), illustrava come – utilizzando il medesimo cerchio – si potessero ottenere più archi e dunque – servendosi della stessa centina e di conci tutti uguali – si realizzassero con facilità sia gli archi diagonali a tutto sesto che quelli perimetrali a sesto acuto [fig. 1].

Oltre al ruolo fondamentale dell'*ingeniator/archi-*

tector/magister maior, il segreto dell'arte del costruire era indubbiamente legato a organizzazioni corporative che custodivano gelosamente i precetti del miglior modo di fare architettura; dai *protomagister* e *prepositus* (ruoli di responsabilità che sovente richiedevano anche la permanenza prolungata e continuativa sul luogo di lavoro), sino a giungere agli *artifex, lathomus, maczonerius*, solo per citare i principali addetti all'arte muraria, con competenze specifiche sui materiali.

Servivano i tagliapietre in grado di individuare le cave, coordinare le fasi di estrazione, riduzione in formati e trasporto sino al cantiere; la perizia tecnica degli operatori ed esigenze di velocità esecutiva predilessero sistemi di "prefabbricazione" di elementi seriali e ripetitivi, a differenza di altri partiti strutturali e/o decorativi, ritenuti invece veri e propri "pezzi speciali"; la semilavorazione di tali elementi veniva poi affinata per passaggi progressivi, realizzati sulla scorta di "pezzi-modello", sagomati da scalpellini, che lavoravano direttamente a piè d'opera e sui ponteggi in cantiere. Il sistema di prefabbricazione faceva sì che dettagli e forme decorative potessero essere iterabili a piacimento e, soprattutto, assemblabili secondo diverse combinazioni, facenti parti di un lessico che costituiva un repertorio ricercato e suscettibile di infinite variazioni sul tema.

L'anticipazione di alcune fasi di lavorazione sul luogo di estrazione, dalla semplice sgrossatura alla sagomatura, incideva notevolmente anche sui costi di trasporto, riducendo l'enorme volume dei blocchi, la fatica di movimentazione degli stessi, la pos-



1. Regola dei tre archi di Villard de Honnecourt e costruzione di più sestri utilizzando la stessa curvatura (dal *Livre de portraiture*, XIII secolo; www.classes.bnf.fr/villard/feuille1/).

sibilità di inviare in cantiere piccoli pezzi e solo le cubature di materiale utile [fig. 2].

Le attività cantieristiche erano minuziosamente programmate, venivano preparati prima gli elementi in pietra da taglio e di carpenteria lignea, che poi sarebbero stati posizionati all'altezza voluta; lo scalpellino predisponeva apposite sagome di legno sia per l'abbozzo che per il compimento, e per rispettare le curvature, si verificava la riuscita del concio sovrapponendo lo stesso su sagome incise su strati di gesso tirati su tavole di legno approntati dal sagomatore (*apparellieur*).

I modelli stereometrici servivano al controllo della rispondenza delle misure e della forma, oltre che a predisporre i necessari accorgimenti per facilitare la connessione, giustapposizione, incastro e amorsatura dei pezzi; era uso prima di cementarli in malta, di montarli a secco provvisoriamente a piè d'opera per la verifica della sequenza da erigere, in modo tale da correggere e limitare eventuali errori di esecuzione, prima del finale posizionamento in altezza. A tal proposito, richiamiamo la nota tecnica di taglio dei conci di un sistema voltato per mezzo di *panneaux* (sagome) e *biveaux* (modani): il primo metodo consisteva nella realizzazione di pannelli flessibili, rappresentanti lo sviluppo sul piano della superficie spaziale, che venivano poi piegati sul blocco lapideo opportunamente lavorato, al fine di trasferire su di esso il contorno della superficie del concio. I modani servivano, invece, al controllo degli angoli tra le varie facce e alla restituzione dell'esatta curvatura dello stesso. Il lapicida adoperava anche il compasso (noto quello

di Libergier¹) e le squadre, per verificare la perpendicolarità dei piani e staccare angoli, assegnando le dovute curvature, nonché l'archipendolo [fig. 3]. I lavoratori della pietra si distinguevano per l'abilità sia nelle opere murarie ordinarie, che nelle lavorazioni di intaglio di capitelli, peducci, archi e volte, intarsi, etc.; i "segreti" dell'architettura di pietra (derivando il termine dal trattato del XVII secolo di Mathurin Jousse) erano appannaggio solo di pochi eletti, gelosamente custoditi dalla *canteria* gotica. Ciascun tagliapietre, lapicida o scalpellino aveva poi un suo personale segno distintivo, un "contrassegno di cottimo", un marchio di fabbrica rappresentante spesso figure geometriche elementari, o



2. Raffigurazione di un *magister* che controlla la muratura con un archipendolo; dettaglio di una delle vetrate della cattedrale di Bourges (www.bourges-tourisme.com).

arnesi da lavoro, lettere alfabetiche, linee e sigle di invenzione personale, che veniva scolpito nei pezzi realizzati dall'operatore ai fini del suo pagamento, ovvero esistevano dei "marchi di cava" utili a distinguere le diverse forniture di pietra per evitare di confondere le provenienze, oltre che corrispondere la giusta retribuzione ai fornitori ed eventualmente contestare il materiale ritenuto di qualità scadente. Si apponevano, inoltre, anche "indici di posizione" sui conci, per facilitarne il giusto accostamento e orientamento, in vista della differente curvatura dei letti e dei giunti².



3. La costruzione dell'abbazia di St. Denis, in una raffigurazione medievale; fase di squadratura dei conci (www.pierres-info.fr).

La costruzione muraria gotica si avvantaggiò delle conquiste dei secoli precedenti: la tradizione romana, poi consolidatasi in età romanica fece sì che le tecniche di coltivazione delle cave lapidee, la capacità di taglio e scelta dei litotipi naturali dotassero il cantiere di un'ampia gamma di materiali e formati. Anche per quanto attiene ai laterizi, le fornaci producevano mattoni di eccellente fattura. Nella consapevolezza del quasi esclusivo impiego delle risorse locali ricavabili da ogni area geografica, dovuto alla difficoltà dei trasporti, ci si specializzò nell'uso sapiente di queste, maturando una conoscenza e delle competenze specifiche sui materiali della tradizione costruttiva che individuava i luoghi di approvvigionamento più consoni e che aiutava a selezionare le materie prime per uso strutturale da quelle per usi decorativi.

La muratura gotica si riconosce diffusamente per i suoi conci di piccolo formato, per la messa in opera degli stessi con sottili giunti di malta, per i paramenti a vista di accurata fattura. La tecnica costruttiva romana aveva dotato i maestri muratori gotici della sapienza costruttiva nella muratura di getto, che costituiva il nucleo interno – nel caso di grandi spessori murari – dell'apparecchiatura "a sacco", mentre le cortine esterne si caratterizzavano per la muratura a intaglio ad assestamento solitamente pseudo isodomo. Il taglio preciso della pietra in forma parallelepipedica assegnò le migliori regole dell'*opus quadratum* (*grand appareil*), che consentiva – in virtù dei letti e giunti piani del concio – una maggiore coesione per aderenza tra i blocchi, oltre che lo sfalsamento verticale dei giunti di

malta, questi ultimi costituenti un elemento di debolezza per l'apparecchio erigendo.

La necessità di un adeguato trasferimento dei carichi verticali ed – ancor più – delle azioni spingenti offerte dalle strutture arcuate e voltate, dotava la compagine muraria generalmente di notevole spessore (o che si dimostrava eterogenea per costituzione interna) di conci semidiatoni o di filari di ripianamento, utili all'ammorsamento delle varie "anime" della sezione muraria stessa. Nel caso di murature in conglomerato, estrema attenzione veniva posta nel confezionamento del legante e nelle ricette delle malte.

L'esercizio della "regola dell'arte" era appannaggio delle squadre di *magistri*, qui elencati nell'accezione terminologica di derivazione latina o francese: il *parlerus*, *parlator*, *parlatore*, colui che "parlava" agli operai, un vero e proprio assistente alla direzione dei lavori, che trasmetteva gli ordini, prendeva accordi con le maestranze per il lavoro da farsi; il già citato *apparellieur*, o *sagomatore*, fornito di un grande compasso, che aveva il compito di disegnare i dettagli dal vero, di preparare il taglio delle pietre con la definizione delle facce, delle eventuali curvature e dei piani di commessura; il *carrier*, il cavapietre, addetto all'estrazione e alla sgrossatura, nonché all'approntamento dimensionale dei conci in cava; il *taillator petrae* o *caesor lapidum*³, frantumatore e tagliatore del materiale lapideo; il *terrassier*, lo sterratore, che spianava e approntava il terreno su cui si sarebbe costruita l'opera edilizia; il *mortellier*, calcinaio e preparatore della malta; il *menuisier*, *faber lignarius* vale a dire

falegname, carpentiere, che predisponeva le caserature, i ponteggi secondo le forme e i tempi della costruzione (fissi e mobili), le opere di centinata, e realizzava le unità strutturali in legno (telai, capriate, incavallature ...); il *forgeron*, il fabbro, che realizzava i ferramenti (chiodi, perni, staffe ...), catene, capochiavi, ... ed il *plombier*, lo staginino, solo per citare i principali [fig. 4].

La costruzione dei sistemi voltati in pietra risultò comunque una delle principali sfide; la volta era il sistema di orizzontamento più usato, e si diffuse in



4. Scalpellini e calcinaio al lavoro in un cantiere medievale (www.pierres-info.fr).

Europa sviluppando varianti tali da divenire l'elemento caratterizzante dell'architettura gotica, con nuove tecniche e procedure adoperate per la sua esecuzione: fundamentalmente, le tipologie ricorrenti risultarono quelle a botte, a vela e a crociera. Viollet Le Duc nel suo *Dictionnaire* (1854-68, tomo IV) non mancava di sottolineare come – attraverso la buona costruzione dei sistemi voltati – si potesse effettuare una verifica strutturale delle cattedrali, e che addirittura si dovesse iniziare dal tracciamento delle stesse, per elevare l'intera opera muraria.

La genesi costruttivo-geometrica, avrebbe quindi indirizzato la complessità delle configurazioni e dei reticoli strutturali e la stereotomia, l'arte secondo Perrault *de se servir de la pesanteur de la pierre contre elle-même et de la faire soutenir en l'air par le même poids qui fait tomber*, con le sue regole indicò le linee guida per la realizzazione di apparecchiature dalla forte complessità spaziale, per le quali la relazione tra l'intero edificio e le parti di cui è costituita la volta erano stabilite da precise conoscenze grafico-geometriche; i concetti dell'apparecchio di un sistema voltato potevano risultare, infatti, solidi molto complessi, descrivibili come sviluppo e assemblaggio di superfici, e questa disciplina diventava il cardine del dualismo fra progetto e costruzione, fra teoria e pratica, l'unica arte capace di rendere “leggera” la pesantezza della pietra, sospendendo in aria pesanti masse.

Partendo dal principio di Girolamo Nemerario (XII o XIII sec. d. C.) della *gravitas secundum situm*, la fabbrica gotica veniva intesa non più come una serie di masse monolitiche inerti, bensì di azioni

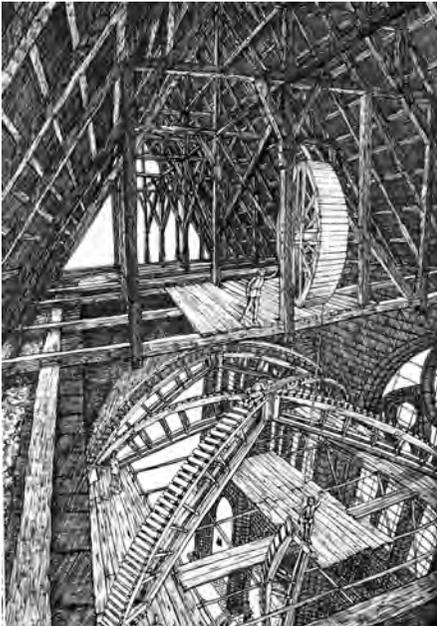
trasformate – come appunto nel caso della volta nervata – in peso e spinta, quest'ultima neutralizzabile mediante volumi murari, sostegni, pinnacoli e controsopinte.

L'analisi dei trattati dal XVI al XIX secolo (de l'Orme, 1567; Jousse, 1642; Frézier, 1760; Leroy, 1844; Chaix, 1890, solo per citarne alcuni) evidenzia la netta derivazione della scienza stereotomica dalle tecniche costruttive dell'arte della carpenteria, utile anche a suggellare l'efficace sodalizio – ad esempio – fra l'opera di centinatura, necessaria alla realizzazione della volta lapidea, e le parti costituenti l'apparecchio della stessa.

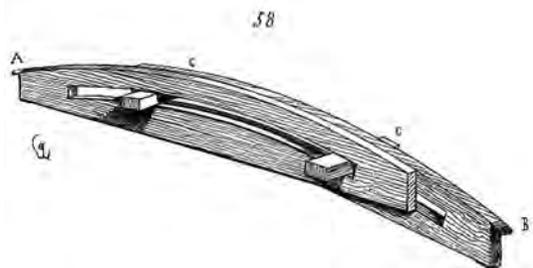
Disciplina, la stereotomia, che “indirizza” la creazione dello spazio voltato: non a caso, nel trattato di de l'Orme vengono rappresentati tipi di volte lignee in cui la nervatura portante segna le linee statiche preferenziali su cui poi, i progressi nell'“arte di voltare gli edifici” realizzeranno le opere provvisorie di carpenteria lignea sia degli archi diagonali che di quelli di parete/perimetrali; occorrerà però attendere la definizione della geometria descrittiva formulata da G. Monge, che qualificherà la stereotomia quale categoria essenziale dell'architettura in pietra.

Per la buona riuscita dell'apparecchio lapideo, grande cura veniva data alla predisposizione dell'opera di centinatura lignea, da realizzare a perfetta regola d'arte e che avrebbe scandito le fasi di costruzione della volta costolonata gotica: in un primo momento, si predisponavano le centine utili a costruire gli archi/costoloni portanti, limitando così l'opera di carpenteria solo a questi, che avreb-

bero successivamente sostenuto le chiusure murarie dei campi strutturali, minori in spessore costitutivo, utilizzando opere di centinatura molto più sommaria, addirittura mobile e regolabile; la carpenteria lignea di centinatura sorreggeva, suggeriva la forma, doveva essere indeformabile, facilmente smontabile e reimpiegabile [fig. 5]. Nella individuazione della struttura “portante” rispetto a quella “portata” si predefinivano le mutue



gerarchie, le fasi di realizzazione, e si codificavano/decodificavano le fattezze stereotomiche e le caratteristiche costruttive: di fatto il più importante esito costruttivo della geometria medievale risultò la definizione della forma della volta partendo dalla individuazione del reticolo delle sue nervature, in modo tale che qualsivoglia superficie – anche complessa – potesse sempre essere scomposta in questa maniera, riuscendo a operare un preciso controllo costruttivo di tali superfici partendo proprio dalla esatta prefigurazione spaziale e statico-costruttiva di una serie di archi che si intersecavano nello spazio in prestabiliti punti. Tutto ciò, associato alla standardizzazione dei pezzi e alla riproposizione seriale sovente di un solo tipo di arco, riusciva a semplificare dal punto di vista cantieristico (stesso tipo di centinatura) ed esecutivo (stessa conformazione dei conci) le fasi di realizzazione/montaggio di volte articolate.



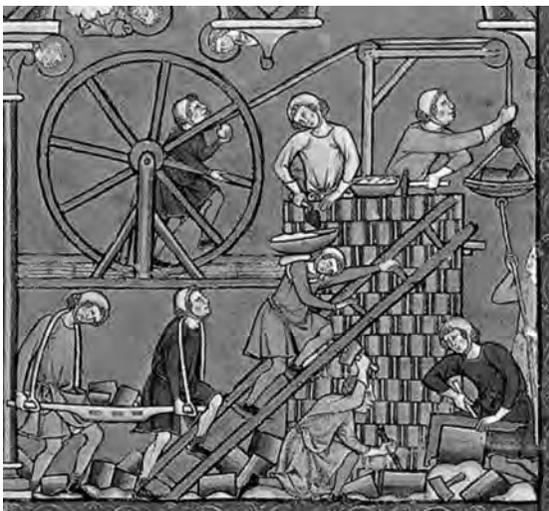
5. A sinistra, centine lignee utili alla costruzione di una volta a crociera costolonata (da Macaulay); a destra, centina lignea regolabile per la costruzione di volte gotiche (da Viollet Le Duc, *Dictionnaire*, tome IV).

Si effettuava un minuzioso controllo delle fasi di costruzione, dalla solidità della zona di imposta, alla realizzazione dell'apparecchio dal nascimento alle reni, per progredire sino al posizionamento della chiave/i, su cui di riponeva maggior cura di dettagli ornamentali.

I mezzi meccanici adottati nel cantiere gotico, in parte mutuati dalle culture precedenti (araba, bizantina, nonché derivanti dal mondo classico), furono perfezionati e adattati alle esigenze del caso. I problemi più gravosi all'interno del cantiere erano quelli connessi al carico e scarico dei materiali da costruzione: si utilizzavano gerle e zaini per trasportare a spalla il materiale minuto da un punto all'altro o in alto sui ponteggi, ovvero barelle, car-

riole, rampe di carico e scarico inclinate tra i ponteggi o all'interno dell'edificio costruendo. Il settore edilizio si avalse di macchine e congegni ereditati soprattutto dalla tradizione romana, in particolare per quanto attiene alle *machinae* appartenenti al *genius tractorium*, basate sulle diverse applicazioni delle macchine semplici, quali la leva, il piano inclinato, l'asse della ruota, la puleggia e la vite.

Le macchine di uso corrente si basavano prevalentemente sul principio di tradurre il moto circolare nello spostamento rettilineo dei pesi, attraverso l'uso di ruote e carrucole, movimentate a mezzo di argani (si cita il grande argano a ruota, il cui movimento era prodotto da *homines calcantes*, detto anche "ruota a gabbia di scoiattolo", ovvero l'argano a ruota con gru) [figg. 6-7].



6. Il cantiere per la costruzione della Torre di Babele, in una incisione medievale: macchine e sistemi di movimentazione dei materiali (Maciejowski Bible, 1250 ca.; www.babelstone.co.uk).



Hæc turris vocata est Babai
quia ibi confutum est
labium iuvenitæ terte

Facimus nobis
cristalem e turrim
cuius cubum peringat
ad edum

7. Il cantiere gotico, in una miniatura del tempo; lavori di muratura ed attrezzi del *faber murarius*.

NOTE

¹ Tale compasso consentiva il tracciamento di qualsivoglia tipo di arco acuto, utilizzando archi di circonferenze aventi lo stesso raggio.

² Gli strumenti più utilizzati per la lavorazione della pietra erano seghe, asce, magli, martelli, mazze, mazzuoli, martelline, bocciarde; i pezzi potevano essere rifiniti con appositi strumenti utili ad affinare le operazioni di compimento, quali subbie, scalpelli, calcagnoli, gradine e ugnetti, sgorbie e ferri tondi.

³ Oltre ai già citati compasso, archipendolo e squadra, i muratori facevano uso di corde, trivelle, pialle, filo a piombo, grappe e arpesi, ulivelle, pertiche per tracciare e suddividere gli archi, costruire bisettrici e parallele, proiettare punti, trovare intersezioni, ritmare moduli e sviluppare proporzioni.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

BECCHI A., FOCE F., *Degli archi e delle volte. Arte del costruire, tra meccanica e stereotomia*, Venezia, Marsilio, 2002.

BECHMANN R., *Les racines des cathédrales*, Paris, Payot, 1981.

CHAIX J., *Traité de la coupe des pierres. La stéréotomie*, Paris, H. Chairgrasse fils, 1890.

- DE HONNECOURT V., *Disegni*, Manoscritto Bibliothèque Nationale de France, ed it. Milano, Jaka Book, 1988.
- DEFILIPPIS F., *Architettura e stereotomia: Caratteri dell'architettura in pietra da taglio in area mediterranea*, Roma, Gangemi, 2012.
- DE L'ORME P., *Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz*, Paris, 1561.
- FRÉZIER A.F., *Eléments de stéréotomie à l'usage de l'architecture pour la coupe des pierres*, Paris, 1760.
- GIMPEL J., *Les bâtisseurs des cathédrales*, Paris, Ed. du Seuil, 1958.
- JOUSSE M., *Le Secret d'Architecture decouvrant fidelement les traits geometriques, coupes, et derobemens necessaires dans les bastiments*, Paris, MDCXLII.
- LEROY C.F.A., *Traité de Stéréotomie*, Paris, Mallet Bachelier, 1844.
- MACAULAY, D., *La cattedrale. L'uomo e le sue costruzioni*, Roma, Armando Editore, 1976.
- MARINELLI C., *Storia del consolidamento. Periodo romanico e gotico*, a cura di P. Rocchi, Roma, Mancosu, 2005.
- MARTINES G., *Macchine da cantiere per il sollevamento dei pesi, nell'antichità, nel Medioevo, nei secoli XV e XVI*, in «Annali di Architettura», nn. 10-11, 1998-99.
- MÜLLER W., *Le dessin technique à l'époque gotique*, in *Les batisseurs de cathédrales gotique*, a cura di R. Recht, Strasbourg, Éd. les Musées de la Ville de Strasbourg, 1989.
- TAGLIAVENTI I., *La cattedrale gotica. Spirito e struttura della più grande opera d'arte della città occidentale*, Firenze, Alinea, 2009.
- VIOLLET LE DUC E.E., *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle, tome IV*, Paris, Édition Bance-Morel, 1854-68.

GLI ANTICHI STRUMENTI PER IL TAGLIO DELLA PIETRA A PALERMO (XII-XIX SECOLO)

Salvatore Greco

Soprintendenza BB.CC.AA. Palermo

L'arte del taglio della pietra, che in Sicilia prosegue in alcune aree Sud-Orientali, si è estinta a Palermo da qualche decennio e con essa la conoscenza degli attrezzi.

La loro migliore descrizione o la più precisa rappresentazione grafica o fotografica non può sostituire la comprensione degli strumenti che proviene dal vederli materialmente¹ o ancor di più, dal toccarli, dal sentirne il peso.

L'importanza della conoscenza diretta degli strumenti è stata avvertita già più di un secolo fa da un esperto restauratore, intagliatore di fine Ottocento, Nicolò Rutelli² socio dell'Accademia di Belle Arti San Fernando di Madrid, che in occasione dell'Esposizione Nazionale di Palermo del 1891-92, per la mostra denominata Sicilia Monumentale, espone, nella sezione degli archetipi, quattro modelli in pietra di architetture medievali, da lui restaurate³.

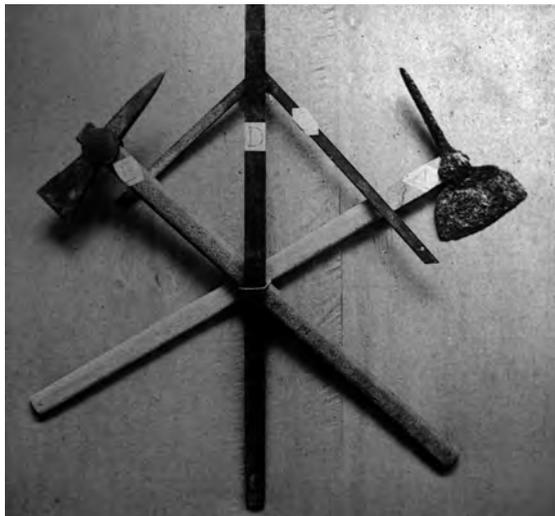
Tre modelli vengono realizzati in scala 1:2, il quarto, una bifora rinvenuta nel chiostro dell'abbazia benedettina di Monreale, in scala reale 1:1.

Sul basamento del modello che riproduce un pennacchio della cupola della chiesa di San Giovanni degli Eremiti, colloca i semplici attrezzi del mestiere [fig. 1], necessari per ottenere anche i modelli esposti. Era consapevole che la loro conoscenza diretta poteva far comprendere ai visitatori, che solita-

mente ignorano i procedimenti di lavorazione, la grande abilità esecutiva che sottende ogni realizzazione di opere in pietra da taglio.

L'intagliatore di pietra

Ma chi era l'intagliatore di pietra? Colui che realizzava architetture in pietra a vista, era abile esecutore, profondo conoscitore dei principi della stereotomia, acquisita in bottega e per trasmissione



1. *Mannaje*, squadra e riga (da Rutelli, 1891, tav. V).

orale, conoscenza che insieme al talento gli permetteva di eseguire opere di elevata complessità, nel rispetto di regole e principi ben determinati, che richiedevano particolari requisiti di cui i più esperti erano dotati: pazienza, precisione e passione.

Il materiale lapideo utilizzato era la pietra calcarenitica compatta, cosiddetta tenera, *la dorata pietra di Kiddar*⁴ che il poeta arabo-andaluso Ibn Jubayr, nel suo viaggio di ritorno dalla Terrasanta nel 1184, trova negli splendidi palazzi della Palermo normanna. La pietra, nota nel Quattrocento col termine *petra dulcis*, va distinta da quella calcarea dura, lavorata da altre figure: scalpellini o marmorari.

L'intagliatore doveva essere esperto di disegno geometrico, capace, per poter assurgere al ruolo di maestro, di disegnare tutti i tipi di archi e di volte per poter modellare singoli conci per la loro costruzione e realizzare cornici, decorazioni e dettagli di particolare raffinatezza.

La profonda conoscenza della materia prima che lavorava, delle diverse resistenze meccaniche della pietra calcarenitica, secondo la cava di provenienza, consentiva al maestro intagliatore di essere anche un esperto nell'ambito statico strutturale, con una padronanza che gli permetteva di gestire un cantiere edile in tutta la sua complessità, dalla struttura al dettaglio.

La lavorazione della pietra da intaglio, a Palermo, ha radici antiche, proseguita attraverso culture, etnie diverse, che raggiunsero elevati livelli esecutivi utilizzando la pietra locale disponibile.

I pochi strumenti impiegati per il taglio della pietra hanno subito nel corso dei secoli solo lievi varia-

zioni, sono rimasti simili a quelli già utilizzati dagli antichi Greci per la costruzione dei loro templi. Infatti sulla superficie dei blocchi di pietra si riscontra l'impronta dell'arnese impiegato per la lavorazione, analoga a quella prodotta dalla *mannaja*⁵, strumento principale per l'intagliatore.

La *mannaja*

A Palermo l'intagliatore di pietra era anche chiamato *lavoratore di mannara*, dallo strumento che utilizzava, un rudimentale attrezzo che viene ben descritto alla fine dell'Ottocento da Nicolò Rutelli, restauratore dei più importanti monumenti normanni realizzati in Sicilia: la *mannaja* «consta di un ferro munito d'estremità d'acciaio, perfettamente simile in una parte a quello usato dal taglialegna, differendo da esso perché porta all'estremo opposto al taglio un grosso aculeo a forma di piramide quadrangolare. Lo strumento è infisso al manico in legno a mezzo d'un largo foro, e pesa comunemente cinque chilogrammi. Si usa maneggiarlo con ambo le mani ed è con questo che tutt'ora si eseguono i tagli più difficili, siano piani, curvi o finemente sagomati. La parte acuminata serve per sgrossare i conci»⁶. La *mannaja*, descritta da Rutelli, rimasta invariata sino ai giorni nostri, è il risultato di alcune modifiche avvenute nel corso dei secoli come testimoniano gli esiti di una ricerca iconografica.

A Palermo, la più antica immagine di una *mannaja*, risalente alla metà del XII secolo, è visibile nei mosaici della Cappella Palatina [fig. 2], nella scena che rappresenta la costruzione della Torre di Babele⁷.

Di particolare interesse perchè nella rappresentazione figurano due diverse tipologie di *mannaja*. In alto la *mannaja* a doppia ascia, già utilizzata durante l'Impero romano⁸ e al centro l'ascia a T.

Una scena simile, che riprende il tema della costruzione della Torre di Babele, è realizzata alla fine del XII secolo in uno dei capitelli del chiostro dell'abbazia benedettina di Santa Maria La Nuova di Monreale. Sul capitello [fig. 3] è scolpito ad altorlievo un operaio che impugna un'ascia a T. Nello stesso chiostro su una colonna di marmo, all'interno di una girale è scolpita la figura di un intagliatore [fig. 4] che modella una pietra utilizzando anch'egli un'ascia a T⁹.

2. Palermo. Cappella Palatina, mosaici raffiguranti la costruzione della Torre di Babele, XII secolo.

3-4. Monreale. Chiostro dell'abbazia benedettina di Santa Maria la Nuova, particolari di capitello e del fusto di una colonna, XII secolo.





5. Ascia a T, proveniente da Londra, Thames at Battersea, XI-XII secolo (Londra, Museum of London).



6. Palermo, Steri, soffitto Sala Magna, intagliatore di pietra, particolare (dis. Giuseppe Alfano 1899).

Da una ricerca sugli attrezzi utilizzati per il taglio della pietra dalle antiche civiltà greca e romana presenti in Sicilia, non figurano arnesi simili all'ascia a T, rappresentata a Palermo nel periodo della dominazione normanna.

Un'ascia a T simile a quelle descritte, risalente all'XI-XII secolo, è stata rinvenuta a Londra e si trova esposta al Museum of London [fig. 5]. L'attrezzo di origine vichinga, molto comune in tutto il primo medioevo inglese, veniva utilizzato nel cantiere delle cattedrali, dei castelli e delle abitazioni. Tale ascia è molto probabile che sia arrivata a Palermo al seguito dei maestri lapicidi normanni che la utilizzavano per lavorare sia la pietra che il legno, come si riscontra nei mosaici del Duomo di Monreale, dove sia per il taglio dei conci, necessari per costruire la Torre di Babele, che per il taglio dei tronchi che costituiscono la struttura dell'arca di Noè, viene rappresentato lo stesso arnese, l'ascia a T. La differenziazione degli strumenti secondo l'uso si svilupperà nel tempo.

Dopo oltre due secoli dalle rappresentazioni del periodo normanno, tra il 1377 e il 1380, su una trave del soffitto ligneo della Sala Magna dello Steri viene raffigurata la ricostruzione di Troia, un cantiere edile, dove sono visibili due intagliatori nell'atto di intagliare la pietra impugnando con due mani una *mannaja* [fig. 6].

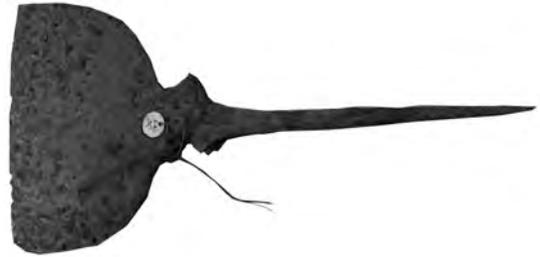
Il pittore disegna una *mannaja* con l'elemento in ferro avente a una estremità il taglio che presenta una superficie più larga e all'altra un aculeo. L'ascia a T viene modificata per migliorare la resistenza dell'attrezzo.

Per trovare a Palermo un'altra immagine di *mannaja*, con taglio e aculeo contrapposto, bisogna risalire al 1615, anno in cui viene rappresentata sul frontespizio dello Statuto della Maestranza degli intagliatori di pietra e architetti, insieme agli altri strumenti degli intagliatori: la squadra, il compasso, lo scalpello e il mazzuolo.

Oltre alle testimonianze iconografiche di *mannaje*, nella Galleria Regionale della Sicilia di Palazzo Abatellis, si può osservare una rara *mannaja*¹⁰, ritenuta di epoca tardo-medievale, donata da Nicolò Rutelli. L'attrezzo [fig. 7] presenta un largo taglio a mezza luna e un lungo sottile aculeo contrapposto, un particolare accorgimento viene adottato nella zona centrale in corrispondenza del foro, dove viene aumentata la superficie del ferro a contatto dell'esile manico per impedirne la rottura per svergolamento, provocata dai potenti colpi inferti per il taglio della pietra. Il manico ha una sezione di appena cm 2x3,5 circa.

Nella seconda metà dell'Ottocento la *mannaja* subisce una lieve modifica nella parte del taglio, vengono ricavati dei piccoli denti per renderla più adatta alla lavorazione di conci di calcarenite molto dura e poco omogenea, per evitare, come riferisce Nicolò Rutelli¹¹, l'asportazione di materiale dalla superficie lapidea visibile in alcuni conci della chiesa di Santa Maria della Catena e di Santa Maria dei Miracoli.

La *mannaja* classica per l'esecuzione di piccoli intagli veniva sostituita da uno strumento simile denominato *mannaredda*, una *mannaja* di ridotte dimensioni.



7. *Munnaja* medievale (Palermo, Galleria Regionale della Sicilia di Palazzo Abatellis).

La tipologia della *mannaja* palermitana utilizzata nella Sicilia Occidentale si distingue da quella impiegata nella Sicilia Orientale, dove era presente un modello a doppio taglio che veniva utilizzato per il solo taglio della pietra. L'operazione di sbazzatura veniva eseguita da un altro strumento, il picchierello a doppio aculeo.

Gli strumenti

Le pietre da intagliare arrivavano in cantiere già sbazzate dai *pirriatori*¹², che estraevano i blocchi di calcarenite dalle cave a cielo aperto o in galleria.

La prima operazione eseguita in cantiere, consisteva nel tagliare a misura i blocchi con lunghe seghe (*serra*) a due impugnature dotate di sottili lame dentate e a questa faceva seguito la delicata fase di squadratura.

Questa operazione serviva a realizzare gli spigoli vivi, rimuovendo il materiale in eccesso con l'impiego della *mannaja*. Lavorazione che richiedeva il

massimo controllo, la massima attenzione, per non vanificare, con un colpo falso, ore di lavoro.

La verifica della perfezione della squadratura dei conci, con le facce perfettamente piane, richiedeva l'impiego di un altro strumento basilare per gli intagliatori di pietra: la *squatra*, la squadra di metallo a bracci diseguali, a L.

Un'altra squadra adattabile ad ogni grado di angolo veniva impiegata per segnare i conci che presentavano facce non ortogonali, ad esempio archi o volte [fig. 8].

Le superfici del concio squadrato venivano successivamente levigate per eliminare le tracce della lavorazione della *mannaja*, impiegando lo *sciaino*, raschietto costituito da un pezzo di legno con o senza manico, di spessore variabile tra due e cinque

centimetri circa, dove sono applicate lame sottili parallele o ad angolo tra loro. Il nome dialettale dello strumento, *sciaino*, deriva dall'analogo raschietto utilizzato in Francia e denominato *chemin-de-fer*.

La particolare cura mostrata nella realizzazione dei conci squadrati, rispondeva oltre che a una esigenza estetica anche a una necessità strutturale. Secondo Rondelet, nel *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare*, per garantire la stabilità di una struttura in pietra da taglio è necessario porre particolare attenzione nell'appianare con precisione i letti di posa e le facce laterali delle pietre, in modo tale da far congiungere le pietre in tutti i punti delle loro superfici e così formare masse solide come se costituite da un sol pezzo, incapaci di abbassamento «veruno, o di veruna irregolare pressione»¹³.

Altro strumento fondamentale per la lavorazione della pietra è il compasso, attrezzo che veniva impiegato sia per disegnare sui blocchi di calcarenite la circonferenza di colonne da intagliare che come strumento di misurazione, ossia dopo aver scelto una lunghezza di base, si facevano derivare tutte le altre misure da riportare sui conci da intagliare, come frazioni o multipli rispetto all'unità originale. Oltre alla principale lavorazione della squadratura dei conci, gli intagliatori più versatili si dedicavano alla realizzazione delle modanature dei conci di finestre e di portali, utilizzando, come guide, sagome in legno, modani riproducenti l'esatto profilo da intagliare. Gli strumenti necessari per tali lavorazioni erano mazzuolo e scalpelli impiegati anche dagli intagliatori dotati di capacità scultorea per rifinire le decorazioni ornamentali di peducci, capitelli e chiavi



8. Attrezzi da intagliatore di pietra (Palermo, Palazzo Ajutamicristo, collezione privata).

pendule presenti nelle architetture più pregiate. Dopo gli ultimi interventi di restauro post-bellici eseguiti da Antonino Pumo¹⁴ e Mario Rutelli¹⁵, abili maestri intagliatori, capaci di riprodurre dai semplici ai più complessi elementi architettonici, competendo nell'esecuzione con gli antichi maestri lapicidi, *la fine arte del taglio*¹⁶, un mestiere millenario, scompare a Palermo per mancanza di committenza, interrompendosi una tradizione tramandata ininterrottamente per secoli.

Con la speranza che possa istituirsi una scuola di formazione per intagliatori, figure essenziali per i lavori di restauro, va ricordato quanto riporta l'architetto Salvatore Caronia Roberti, profondo stimatore degli intagliatori, in un articolo del 1966 in cui riconosce la particolare abilità degli artieri palermitani nella realizzazione del Teatro Massimo, definendolo «mirabile esempio di tale accurata esecuzione, che può trovare riscontro soltanto nella perfezione dei templi greci del secolo d'oro»¹⁷.

NOTE

¹ Una raccolta completa di attrezzi per il taglio della pietra è esposta nel Museo di sculture e materiale lapideo erratico della Soprintendenza per i Beni culturali di Palermo a palazzo Ajutamicristo.

² Nicolò Rutelli (Palermo 1857-1923) fratello del noto scultore Mario.

³ La descrizione dettagliata dei modelli è riportata nell'opuscolo: Rutelli 1891.

⁴ Ğubayr, 1979.

⁵ Il termine *mannaja* che ha origini latine da *manuaria*, *manus*, si riscontra a Palermo già in documenti del Quattrocento.

⁶ Rutelli 1897, p. 13.

⁷ Ringrazio Valeria Brunazzi per la cortese segnalazione.

⁸ La dominazione romana dura a Palermo più di sette secoli, tra il 254 a.C. e il 491 d.C.

⁹ Ringrazio Maria Reginella per la cortese segnalazione.

¹⁰ La *mannaja* è stata trovata alla fine dell'Ottocento nella cava detta della *Scalidda* alle falde di Monte Pellegrino.

¹¹ Rutelli 1897, p. 19.

¹² Antica denominazione siciliana dei cavafori di pietra calcarenitica o arenaria. Voce derivante dal francese *pierre* che significa pietra.

¹³ Rondelet 1840, vol. II, pp. 16-17.

¹⁴ Antonino Pumo (Palermo 1898-1989). Figlio d'arte, dopo il secondo conflitto mondiale restaura la chiesa di San Francesco d'Assisi, il Palazzo Abatellis, le absidi del Duomo di Palermo e Monreale e il chiostro del Duomo di Cefalù.

¹⁵ Mario Rutelli (Palermo 1926-1994). Settima generazione di intagliatori, restaura la chiesa di San Francesco d'Assisi, la chiesa della Magione e le absidi del Duomo di Palermo e Monreale.

¹⁶ Rutelli 1897, p. 5.

¹⁷ Caronia Roberti 1966, p. 20.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

CARONIA ROBERTI S., *Mastri, capimastri e ingegneri*, in «Architetti di Sicilia», 7-12, 1966, pp. 17-26.

ĞUBAYR I., *Viaggio in Ispagna, Sicilia, Siria e Palestina, Mesopotamia, Arabia, Egitto*, Palermo, Sellerio, 1979.

RONDELET J. B., *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare*, vol. II (ed. or. Parigi 1790), ed. it. Napoli, Tipografia Del Gallo, 1840.

RUTELLI N., *Cenni sui quattro fac-simile eseguiti e presentati dallo stesso alla Esposizione Nazionale Italiana di Palermo: 1891-1892*, Palermo, Tipografia dello Statuto, 1891.

RUTELLI N., *Sull'arte del taglio delle pietre in Sicilia*, Palermo, Tipografia Varravecchia, 1897.

LA CHIESA DI SANTA MARIA DELLA CATENA A PALERMO COME *EXEMPLUM*

Emanuela Garofalo

Università degli Studi di Palermo

La chiesa di Santa Maria della Catena a Palermo, posta a cerniera tra l'antico porto della Cala e il piano della Marina [fig. 1], era la sede di culto di un'omonima confraternita, esistente fin dal XIV secolo, la cui denominazione è riconducibile alla sua stessa posizione, in prossimità cioè di uno degli estremi della catena che chiudeva l'accesso al porto. La realizzazione dell'edificio attuale, intrapresa probabilmente nell'ultimo decennio del XV secolo - essendo di certo già in corso nel 1502¹ - inaugura un momento di alacre attività costruttiva legata proprio alla committenza di confraternite, prima, e poi di gruppi nazionali. Tale attività vedrà proliferare nel corso del XVI secolo, intorno al piano della Marina e nel quartiere della Loggia, i cantieri relativi alla costruzione di edifici di culto, luoghi di riferimento e allo stesso tempo strumenti di auto-rappresentazione di piccole comunità all'interno della più generale compagine urbana². Si ricordano in particolare le chiese di Santa Maria La Nova, Santa Maria dei Miracoli, San Giovanni dei Napoletani, San Giorgio dei Genovesi.

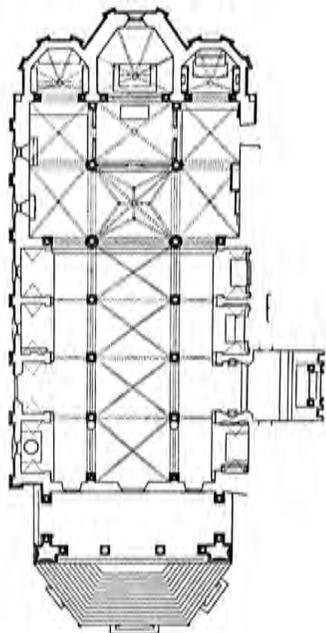
Gli studi condotti negli ultimi decenni hanno messo in luce la centralità che ha avuto la chiesa di Santa Maria della Catena in questo contesto, assumendo il ruolo di vero e proprio *exemplum* nell'architettura religiosa del primo Cinquecento a Palermo, ma con una sfera di influenza ben più ampia³. Del resto,

l'importanza della confraternita della Catena e della sua nuova chiesa nel contesto socio-culturale della capitale dell'isola al principio del XVI secolo si intuisce già dai personaggi coinvolti nella gestione amministrativa del cantiere. Fabbricieri della chiesa risultano essere infatti due esponenti dell'élite siciliana del tempo: Francesco Abatellis – maestro portulano del Regno – e Gerardo Bonanno, membro di una importante famiglia aristocratica⁴. Proprio il ruolo rivestito da Francesco Abatellis, oltre alla pe-



1. Gaetano Lazzara, *Plano de la ciudad de Palermo*, 1703; dettaglio dell'area compresa tra il piano della Marina e l'antico porto della Cala.

culiare connotazione di alcuni elementi riscontrabili nell'edificio (in particolare gli archi policentrici del portico e della navata, ma anche la modanatura dello zoccolo esterno) hanno portato all'attribuzione del progetto all'architetto Matteo Carnilivari da Noto, artefice del Palazzo Abatellis e protagonista della scena architettonica palermitana nell'ultimo decennio del XV secolo⁵. Tale attribuzione comporta una datazione del progetto, e probabilmente anche dell'avvio della costruzione, all'ultimo decennio del



2. Palermo. Chiesa di Santa Maria della Catena, pianta.

Quattrocento. Di certo comunque Carnilivari non poté assistere al progresso della costruzione, conclusa solo al principio degli anni trenta del XVI secolo, avendo trascorso gli ultimi anni di vita nella sua città d'origine Noto, dove morì nel 1506. Un documento d'archivio ha rivelato che almeno dal 1521 la realizzazione dell'opera era stata affidata alle cure di Antonio Belguardo⁶, dominatore del cantiere di architettura a Palermo dal secondo decennio del Cinquecento fino al 1545⁷. Si tratta di una personalità di grande interesse il cui spessore professionale è emerso solo negli ultimi anni; esperto costruttore, capace anche di sperimentare o di recuperare tecniche costruttive attinte da un passato più o meno remoto (come ad esempio l'uso della pietra pomice per la costruzione di volte leggere), è anche il principale interprete di un ritorno a soluzioni neo-normanne, di certo uno degli aspetti più intriganti del variegato panorama dell'architettura del primo Cinquecento in Sicilia.

A questo tema si ricollega tra l'altro anche la chiesa della Catena, in particolare nella soluzione planimetrica a pianta longitudinale – tre navate divise da colonne – con ampio transetto bipartito e terminazione tri-absidata [fig. 2], nonché nella articolazione altimetrica dei volumi digradanti che la compongono. In definitiva, una versione tardogotica e con l'impiego di volte reali esteso all'intero edificio di celebri esempi normanni (duomo di Monreale e Cappella Palatina)⁸.

Gli elementi di novità che presenta la chiesa della Catena e che hanno innescato una eco tangibile a partire dal contesto circostante sono molteplici; tra

questi, l'inserimento di un portico in facciata e la partitura dei fianchi con un sistema di pseudo-paraste (una sorta di ordine gotico), ai quali si ispirano indubbiamente ad esempio le analoghe soluzioni adottate nella vicina chiesa di Santa Maria La Nova a Palermo. Tra i caratteri distintivi della fabbrica, va segnalata inoltre una commistione di linguaggi in composizioni paratattiche, tra tardogotico e classi-

cismo, che generano nel complesso una gradevole armonia, come nella singolare soluzione di coronamento [fig. 3].

L'aspetto sul quale intendo soffermarmi in questa occasione riguarda un'ulteriore novità proposta dall'edificio, quella relativa alla scelta effettuata per la copertura dello spazio quadrangolare della crociera. Si tratta di una volta con costoloni modanati



3. Palermo. Chiesa di Santa Maria della Catena, veduta dell'esterno.

a cinque chiavi, impostata su una pianta tendente al quadrato [fig. 4]. Tralasciando gli aspetti geometrici e costruttivi che emergono da uno studio accurato della volta, affrontati in altri contributi all'interno di questo stesso volume, mi concentrerò sulla lettura storiografica che di tale elemento si può proporre.

Sullo specifico tema della copertura adottata sullo spazio della crociera, all'esordio dell'età moderna la Sicilia fa registrare una varietà di soluzioni che dimostrano intenti e fonti di ispirazione diversificati, con una rielaborazione dei modelli di partenza che porta non di rado a risultati originali. Palermo in

particolar modo, come accennato in precedenza, offre una sequenza di nuove fondazioni nel corso del XVI secolo che consentono di seguire momenti di novità, continuità e condizionamenti nelle diverse occasioni di cimento sullo stesso tema progettuale. Ma, quali esempi offriva la tradizione locale? Fin dal XII secolo e nei due secoli successivi in edifici chiesastici a croce greca iscritta o a sviluppo longitudinale, ma di dimensioni contenute, si realizzano soluzioni a cupola estradossata, di chiara ascendenza bizantina. Limitandoci ai casi di cupole su crociera, una significativa casistica offrono i seguenti edifici: a Palermo la Cappella Palatina nel



4. Palermo. Chiesa di Santa Maria della Catena, volta a cinque chiavi sulla crociera.

Palazzo Reale, le chiese di San Giovanni degli Eremiti e di Santa Maria dell'Ammiraglio; con tecnica costruttiva e risultati formali differenti anche il singolare esempio della chiesa SS. Pietro e Paolo a Forza d'Agrò; di problematica datazione, tra XIII e XIV secolo, infine, la scomparsa cupola su raccordi a *muqarnas* della Badiazza presso Messina e l'Annunziata (poi detta dei Catalani) di Messina. Nelle cattedrali normanne dell'isola, con coperture lignee su nave e transetto, invece, la questione si risolve con un leggero innalzamento della copertura lignea sull'incrocio, tale da consentire l'inserimento di sequenze di finestrelle, a creare una sorta di lanterna contratta⁹.

Proprio dal ripensamento di un tale assetto semplificato può prendere le mosse una verifica sull'attenzione progettuale riservata alla copertura della crociera nella prima età moderna in Sicilia. Nella cattedrale normanna di Palermo, infatti, il rifacimento degli stalli corali commissionato dal vescovo Pujades nel 1466 e il conseguente abbassamento della transenna che occultava la zona della crociera dalla parte della navata, devono aver suggerito la necessità di intervenire anche sulla copertura, a completamento della rinnovata immagine dell'incrocio¹⁰. La soluzione prescelta è quella, staticamente prudentiale, di una cupola lignea non estradossata, la cui creazione è giustificata, quindi, esclusivamente da valutazioni di immagine, relative allo spazio interno. Dell'elemento, cancellato dalla riforma tardo settecentesca della cattedrale, rimane solo una imprecisa testimonianza iconografica, in una incisione di fine Seicento

[fig. 5], e laconiche descrizioni sei-settecentesche, che non forniscono chiare indicazioni sulla sua conformazione¹¹. Tra le ipotesi formulate dalla storiografia, una struttura ad archi intrecciati è proposta da Enrico Calandra¹², mentre una significativa suggestione, che ben si accorda con il linguaggio tardogotico degli stalli (forse realizzati dalla stessa mano), viene dalla coeva volta lignea stellare della cappella di San Francesco di Paola nel Castelnuovo



5. Raffigurazione dell'interno della cattedrale di Palermo in occasione delle esequie della regina Maria Luisa di Borbone (incisione di Antonino Grano, 1689). Sulla crociera è visibile l'intradosso della cupola lignea.



6. Napoli. Volta lignea della cappella di San Francesco di Paola in Castelnuovo in una foto d'epoca (da Pane, 1977).



7. Palermo. Chiesa di Santa Maria di Portosalvo, intradosso della volta a cinque chiavi sulla crociera.

di Napoli [fig. 6], che riproduce in scala ridotta il disegno della spettacolare volta in pietra progettata da Guillem Sagrera a copertura della Sala dei Baroni, forse un modello della stessa¹³.

Una cupola era stata realizzata nel 1457 anche nella chiesa madre di Noto antica, come riporta l'erudito locale Vincenzo Littara, firmata e datata dai suoi artefici (Rinaldo e Guglielmo) «nel bordo stesso della cupola»¹⁴. La complessiva scomparsa dell'edificio non ci aiuta a comprendere di che tipo di struttura si trattasse, probabilmente in questo caso una volta reale in pietra da taglio. La sua conformazione potrebbe trovare corrispondenza con un modello dipinto di analogata datazione, presente nel polittico di Corleone oggi al museo di palazzo Abatellis. Lo stesso appare, a sua volta, la trasposizione di un modello iconografico di ascendenza bizantina (con unica novità le finestre allungate nel dado nel quale è inglobata buona parte della calotta) già presente nei mosaici della Cappella Palatina di Palermo. Questi ultimi mostrano inoltre una soluzione a padiglione ottagonale su tamburo vagamente riferibile alla cupola fiorentina del Brunelleschi, introdotta nei mosaici della palatina in occasione dei restauri degli anni sessanta del Quattrocento, probabilmente da Domenico Gagini.

Che sul tema della copertura della crociera si stesse ragionando in Sicilia nella seconda metà del Quattrocento una testimonianza indiretta sembrerebbe arrivare, tra l'altro, dalla ricerca anche nell'isola di un professionista in grado di risolvere i problemi tecnici posti dal completamento del tiburio del duomo di Milano negli anni

novanta del Quattrocento¹⁵. Di nulla di paragonabile, in realtà, resta memoria per la Sicilia del XV secolo, ma le ripetute distruzioni che hanno colpito il patrimonio architettonico, soprattutto nella Sicilia sud-orientale, potrebbero aver determinato tale assenza.

Nella chiesa della Catena Matteo Carnilivari (è probabile infatti che l'ideazione di questa soluzione si debba ancora a lui, dal momento che questa parte della fabbrica sembrerebbe già conclusa entro il 1510) introduce, su un impianto colonnare, una soluzione di matrice tardogotica con volta a cinque chiavi sulla crociera, che contraddice il generale assetto ad aula del sistema di copertura del transetto bipartito. L'idea sembrerebbe rielaborare in modo originale, con una soluzione a pseudo-tiburio sprofondato, un input riconducibile all'ambito iberico, che trova il caso più precoce di applicazione nel tiburio della cattedrale di Siviglia¹⁶. Siamo in presenza di un formalismo tutto rivolto alla percezione dello spazio interno, senza alcun riscontro nella volumetria esterna della fabbrica. La soluzione non estradossata trova, però, una spiegazione nella prudenza statica suggerita probabilmente dall'esilità dei sostegni colonnari.

Negli stessi anni il completamento con strutture tardogotiche della chiesa di Portosalvo, avviata un decennio prima su progetto di Antonello Gagini in forme rinascimentali, replica la soluzione della Catena con volta a cinque chiavi sull'incrocio [fig. 7], portando probabilmente avanti la sfida strutturale – come del resto si avverte anche nel maggiore slancio verticale dei sostegni colonnari con alti so-

vrassesti del corpo delle navate –, con l'ipotesi di realizzazione di un tiburio estradossato¹⁷.

Proprio il tema della sfida strutturale giocata sull'esilità dei sostegni rispetto al loro sviluppo verticale, combinata al tema del tiburio estradossato, arriva al suo culmine nella chiesa di Santa Maria dei Miracoli, databile intorno al 1547 e probabilmente opera di Giuseppe Spadafora¹⁸, dove l'impianto a *quincunx* è ormai svincolato da qualsiasi elemento gotico, introducendo archi a pieno centro su alti sovrassesti e volte a padiglione con lunette all'imposta, compresa quella quadrata del tiburio. La soluzione del tiburio abbinata a sostegni colonnari ha sicuramente dei riflessi al di fuori della capitale dell'isola in fabbriche sorte intorno alla metà del Cinquecento. Due casi particolarmente significativi si rintracciano nella zona dei Nebrodi: la chiesa di Santa Caterina a Mistretta degli anni quaranta (nella quale il tiburio oggi appare mozzato), che nel complesso modifica in senso lombardo l'idea progettuale della Catena, con una sezione sul corpo delle navate a scaletta¹⁹; la chiesa di San Giovanni a Tusa che mostra una virata classicista, tanto nei capitelli ionici delle colonne, quanto nell'adozione di volte a padiglione.

L'influenza del modello non si conclude qui e la sua efficacia statica continua a esercitare un forte richiamo anche negli ultimi decenni del Cinquecento, soprattutto di fronte alle incertezze e ai timori generati dal primo fallimentare tentativo di coprire la crociera con una cupola rinascimentale. Il crollo della prima cupola del Gesù di Palermo deve avere infatti innescato grandi apprensioni nell'ambiente

locale²⁰, scoraggiando altri audaci tentativi nella stessa direzione nei cantieri in corso, come dimostrano diversi esempi nei quali il problema della copertura della crociera si stava affrontando a partire dagli anni settanta.

Un caso particolarmente pregnante per il nostro ragionamento è quello della chiesa di San Marco: la costruzione è avviata, quasi in contemporanea alla chiesa del Gesù, nel 1566; la tribuna maggiore è in costruzione nel 1570 e nel corso del decennio si procede a voltare il resto della chiesa a partire dal titolo (1574 «dammuselli in capo lo titolo»), fino alla costruzione della volta maggiore «ut dicitur a cruchera» (1580)²¹. I contratti per l'esecuzione delle volte sono fatti per analogia, facendo riferimento a modelli locali, in primis le chiese di San Giovanni e di San Sebastiano e vedono il coinvolgimento di *fabricatores* di origine lombarda e genovese (prima

Bernardino Scotto – alla sua morte Giuseppe Giacalone sarà nominato tutore dei suoi figli – Sanctus Delegato e Antonius Allegro poi). Probabilmente per prudenza si torna qui, infatti, all'idea della volta a cinque chiavi sulla crociera esemplata sul modello della Catena, questa volta però con tiburio estradossato, come per la chiesa dei Miracoli.

Alla luce di queste brevi considerazioni, il ruolo di *exemplum* svolto dalla chiesa di Santa Maria della Catena nel cantiere di architettura nel primo Cinquecento a Palermo appare evidente. La scelta di replicarne in un modello in scala 1:2 la volta a cinque chiavi posta a copertura della crociera nell'ambito del laboratorio di stereotomia, tenutosi presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Palermo, ne rappresenta (a distanza di circa cinque secoli dalla sua costruzione) un ulteriore riconoscimento.

NOTE

¹ Meli 1958, p. 285; Nobile 2006, p. 160.

² Spatrisano 1961; Nobile 2009.

³ Garofalo 2004; Nobile 2009.

⁴ Sutura 2006.

⁵ Per un inquadramento in chiave biografica del maestro si veda in particolare Garofalo 2007.

⁶ Vesco 2007-2008, p. 48.

⁷ Vesco 2006; Scaduto 2007; Vesco 2007-2008.

⁸ Nobile 2006, p. 161.

⁹ Relativamente ai grandi impianti basilicali delle cattedrali fondate in età normanna, rimangono casi isolati nell'intero meridione d'Italia la cupola alla bizantina della cattedrale di Bari e quella, più tarda, del primo quarto del XIII secolo, avvolta in un tiburio ottagonale alla lombarda, della cattedrale di Casertavecchia, nonché la sequenza di tre campate coperte a cupola della cattedrale di Molfetta.

¹⁰ Buttà 2011; Nobile 2012.

- ¹¹ Amato 1728, p. LXXVIII; Mongitore A., *Dell'istoria sagra di tutte le chiese, conventi, monasteri...La Cattedrale...*, ms 1730-1743, Biblioteca Comunale di Palermo, ai segni QqE3.
- ¹² Barbera P., Iannello M. (a cura di) 2010, pp. 340-344.
- ¹³ Pane 1977, pp. 309-310.
- ¹⁴ Littara (1593) ed. cons. 1969, p. 60.
- ¹⁵ Patetta 1987.
- ¹⁶ Alonso Ruiz, Jiménez Martín 2012.
- ¹⁷ Nobile 2009, p. 24.
- ¹⁸ *Ivi*, p. 25.
- ¹⁹ Garofalo 2004.
- ²⁰ Ruggieri Tricoli 2001.
- ²¹ Meli 1958, pp. 326, 327e 332.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- ALONSO RUIZ B., JIMÉNEZ MARTÍN A., *A Fifteenth-Century Plan of the Cathedral of Seville*, in «Architectural History», 55, 2012, pp. 57-77.
- AMATO G. M., *De principe templo panormitano*, Palermo, 1728.
- Enrico Calandra. Scritti di architettura*, a cura di P. Barbera, M. Iannello, Palermo, Salvare Palermo, 2010.
- BARES M. M., *Noto nel Quattrocento*, in *Matteo Carnilivari Pere Compte 1506-2006, due maestri del gotico nel Mediterraneo*, a cura di M. R. Nobile, Palermo, Caracol, 2006, pp. 59-64.
- BUTTÀ L., *Nicolau Pujades, il coro ligneo della Cattedrale di Palermo e alcune riflessioni sul viaggio di opere e artisti catalani in Sicilia*, in *Capitula facta et firmata. Inquietuds artistiques en el quatre-cents*, a cura di M. Terés, Valls, Cossetània, 2011, pp. 437-460.
- GAROFALO E., *La chiesa di S. Caterina a Mistretta, una fabbrica di "frontiera"*, in «Paleokastro», IV, 13, 2004, pp. 5-12.
- GAROFALO E., *Matteo Carnilivari*, in *Gli ultimi indipendenti, architetti del gotico nel Mediterraneo tra XV e XVI secolo*, a cura di E. Garofalo, M. R. Nobile, Palermo, Caracol, 2007, pp. 151-179.
- LITTARA V., *Storia di Noto antica dalle origini al 1593* [ed. in latino 1593], traduzione e note di F. Balsamo, Roma, Ciranna 1969.
- MELI F., *Matteo Carnilivari e l'architettura del Quattro e Cinquecento in Palermo*, Roma, Palombi, 1958.
- NOBILE M. R., *Chiesa di S. Maria della Catena. La fabbrica tra Quattrocento e Cinquecento*, in *Matteo Carnilivari Pere Compte 1506-2006, due maestri del gotico nel Mediterraneo*, a cura di M. R. Nobile, Palermo, Caracol, 2006, pp. 160-161.
- NOBILE M. R., *Chiese colonnari in Sicilia (XVI secolo)*, Palermo, Caracol, 2009.
- NOBILE M. R., *La cattedrale di Palermo tra Quattro e Cinquecento e le chiese neonormanne nella prima età moderna in Sicilia*, in *La place du choeur. Architecture et liturgie du Moyen âge aux Temps modernes*, a cura di S. Frommel, L. Lecomte, Parigi-Roma, Picard-Campisano, 2012, pp. 131-140.

PANE R., *Il Rinascimento nell'Italia meridionale*, 2 voll., Milano, Edizioni di Comunità, 1977.

PATETTA L., *L'architettura del Quattrocento a Milano*, Milano, Clup, 1987.

RUGGIERI TRICOLI M. C., *Costruire Gerusalemme. Il complesso gesuitico della Casa Professa di Palermo dalla storia al museo*, Milano, Lybra, 2001.

SCADUTO F., *Antonio Belguardo*, in *Gli ultimi indipendenti, architetti del gotico nel Mediterraneo tra XV e XVI secolo*, a cura di E. Garofalo, M. R. Nobile, Palermo, Caracol, 2007, pp. 181-203.

SPATRISANO G., *Architettura del Cinquecento in Palermo*, Palermo, Flaccovio, 1961.

SUTERA D., *I committenti*, in *Matteo Carnilivari Pere Compte 1506-2006, due maestri del gotico nel Mediterraneo*, a cura di M. R. Nobile, Palermo, Caracol, 2006, pp. 89-96.

VESCO M., *Committenti e capomastri a Palermo nel primo Cinquecento: note sulla famiglia de Andrea e sull'attività di Antonio Belguardo*, in «Lexicon. Storie e architettura in Sicilia», 2, 2006, pp. 41-50.

VESCO M., *Cantieri e maestri a Palermo fra tardogotico e rinascimento: nuove acquisizioni documentarie*, in «Lexicon. Storie e architettura in Sicilia e nel Mediterraneo», 5-6, 2007-2008, pp. 47-64.

DAL RILIEVO ALLA CONOSCENZA: ANALISI GEOMETRICO-COSTRUTTIVA DELLA VOLTA A CINQUE CHIAVI DELLA CHIESA DI SANTA MARIA DELLA CATENA A PALERMO¹

Mirco Cannella, Università IUAV di Venezia

Federico Maria Giammusso, Università degli Studi di Palermo

Metodi integrati di rilievo per la documentazione di manufatti architettonici

Il rilievo della volta a cinque chiavi della chiesa di Santa Maria della Catena, realizzata entro il primo decennio del XVI secolo², si inserisce nell'ambito di una ricerca incentrata sullo studio e l'analisi delle matrici geometriche di cupole e volte in pietra da taglio realizzate in Sicilia tra il XII e il XVIII secolo, ed è finalizzato alla verifica dell'esistenza di possibili legami con strutture architettoniche affini e coeve di area mediterranea. L'analisi geometrica è stata condotta principalmente su "simulacri digitali"³ costituiti da un insieme di punti (nuvola di punti), prodotti da acquisizioni laser scanning e fotogrammetriche dei manufatti architettonici rilevati. Uno scanner laser consente di misurare e registrare le coordinate di migliaia di punti al secondo con una procedura automatizzata: le superfici visibili dallo strumento, da una determinata posizione, vengono scandite con un passo dato dalla distanza mutua tra i punti rilevati definito dall'operatore; di contro, le superfici occluse, invisibili allo strumento, non sono acquisite. Per ovviare a questo limite, e per garantire un'acquisizione completa e con il più alto numero di informazioni metriche necessarie allo studio e alla comprensione del manufatto, la progettazione dell'attività di rilevamento, in cui vengono stabiliti numero, sequenza e punti di sta-

zione dello strumento, riveste una importanza cruciale. Ogni singola scansione laser si traduce in una "nuvola di punti", riferita a un sistema di coordinate locali con origine definita dalla posizione dello scanner; le diverse scansioni sono successivamente registrate secondo un unico sistema di riferimento assoluto attraverso procedure software e l'individuazione di target omologhi, preventivamente predisposti nell'area di rilievo, o di punti omologhi rintracciabili su due o più distinte nuvole di punti.

Le nuvole di punti possono essere generate, come detto, anche con metodi fotogrammetrici: la commercializzazione di camere digitali sempre più performanti, che consentono di scattare fotografie ad alta risoluzione, lo sviluppo di software dedicati e, in ultimo, l'incremento esponenziale della potenza di calcolo dei personal computer, hanno determinato una vera rivoluzione di questa disciplina e la conseguente "rinascita" della fotogrammetria nella sua variante digitale.

In questo caso le nuvole di punti vengono generate da un set di fotografie dove a ogni singolo punto del manufatto oggetto di rilievo, visibile in almeno tre distinti fotogrammi acquisiti da altrettante distinte posizioni, vengono assegnate le proprie specifiche coordinate cartesiane. Le "nuvole" estratte vengono successivamente riferite e sca-

late rispetto a un sistema di riferimento assoluto. Le due tecniche di rilevamento, pur restituendo ciascuna una nuvola di punti, e nella sostanza

due elaborati digitali paragonabili, si distinguono principalmente per accuratezza metrica e qualità di acquisizione della componente cromatica delle superfici: la prima è ad appannaggio della metodologia laser scanning, mentre la seconda di quella fotogrammetrica.

L'impiego dell'una rispetto all'altra spesso dipende da diversi fattori, come ad esempio la distanza degli oggetti da rilevare o le condizioni di illuminazione ambientale ma, il più delle volte, le due metodologie di rilevamento vengono integrate per garantire un risultato ottimale sfruttando le peculiarità migliori dell'una e dell'altra.

I vantaggi nell'utilizzo delle metodologie laser scanning e fotogrammetriche risiedono nella velocità di acquisizione dei dati e nella possibilità di rilevare aree difficilmente raggiungibili utilizzando i cosiddetti metodi di rilievo diretto senza l'utilizzo di ponteggi o piattaforme elevatrici. D'altro canto, l'utilizzo di tali metodologie di rilevamento non è privo di rischi, infatti spesso l'attenzione dell'operatore è rivolta unicamente alle procedure e al controllo degli apparati strumentali trascurando così l'osservazione diretta e critica del manufatto architettonico. Mentre in passato era difficile scindere la fase di rilevamento, intesa come operazione di acquisizione dei dati metrici, e quella di rilievo, intesa come conoscenza del manufatto attraverso l'elaborazione di disegni, oggi queste due attività sono ben distinte, e spesso condotte da diversi soggetti. Il rilievo oggi viene eseguito prevalentemente con un computer, e dalla nuvola di punti vengono estratte tutte le informazioni metriche necessarie per la produzione



1. Rilevamento del sistema di copertura della Catena con laser scanner.

di disegni e modelli 3D. Per il rilievo della volta a cinque chiavi della chiesa di Santa Maria della Catena si è scelto di utilizzare solo sistemi a scansione laser [fig. 1], ritenendoli più efficaci dei metodi fotogrammetrici, giacché, in questo particolare caso, la componente cromatica non assumeva un ruolo fondamentale; inoltre in un progetto fotogrammetrico, le condizioni di scarsa illuminazione del tiburio avrebbero influenzato negativamente l'accuratezza metrica dei dati elaborati.

L'intero complesso chiesastico è stato rilevato sia dall'interno che dall'esterno, con diciannove scansioni laser eseguite da altrettanti distinti punti di stazione, posti a una quota media di circa 170 cm rispetto ai piani di calpestio [fig. 2]. Le superfici sono state acquisite garantendo un passo medio tra i punti di 5 mm, mentre per la zona del tiburio e della volta si è preferito aumentare la risoluzione per acquisire con un maggiore dettaglio le modanature dei costoloni; nello specifico, a questa area della chiesa sono state dedicate cinque scansioni di cui quattro effettuate posizionando lo scanner in prossimità delle colonne poste a sostegno del tiburio e una dal centro dello stesso, al fine di garantire una completa documentazione sia delle vele che dei costoloni della volta [fig. 3].

Ogni singola scansione è stata eseguita attivando il compensatore bi-assiale dello scanner, un dispositivo che equipaggia la maggior parte degli scanner laser e che consente di correggere e compensare eventuali imperfezioni della messa in bolla dello strumento per ottenere un perfetto riferimento verticale dei dati acquisiti. Questa accortezza ha



2. Unione delle scansioni laser.



3. Confronto tra scansioni laser della volta, realizzate da tre distinti punti di stazione.



4. Orientamento e unione delle scansioni laser.



5. Vista iposcopica della nuvola di punti della volta a cinque chiavi.

consentito di evitare l'utilizzo di target disposti nell'area di rilievo e di ricorrere unicamente, per l'orientamento relativo delle scansioni, a punti omologhi individuati sia sulla "nuvola di punti" di riferimento sia sulla scansione da registrare su di essa; infatti, stabilito con certezza l'asse verticale, a ogni "nuvola di punti" è stata imposta, con processi software automatici, una sola rotazione intorno a esso e una traslazione, garantendo così un perfetto allineamento e una riduzione dell'errore entro i parametri di tolleranza [figg. 4-5].

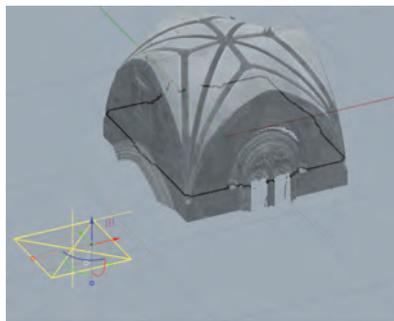
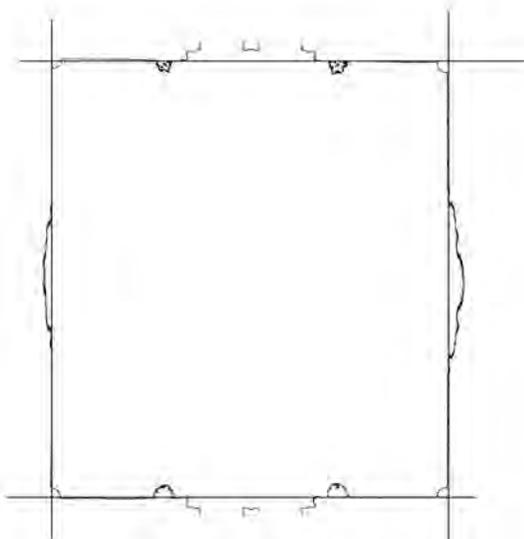
Le nuvole di punti, registrate e combinate insieme, sono state sottoposte a un ulteriore processo di elaborazione per l'eliminazione dei dati ridondanti: i punti sovrapposti, o quelli situati a una distanza inferiore a quella definita dal passo in fase di scansione, derivanti dall'unione di medesime aree rilevate da differenti punti di stazione, non aggiungono infatti all'elaborato alcun dettaglio ma contribuiscono soltanto al suo appesantimento. In ultimo, la "nuvola di punti" è stata segmentata secondo un criterio basato sull'individuazione degli elementi caratterizzanti della fabbrica architettonica, e archiviati in più *file* nel formato binario PLY (Polygon File Format), che oltre ad avere dimensione in *byte* relativamente contenuta rispetto ad altri formati, è letto e gestito dal software Rhinoceros utilizzato per tutte le operazioni di rilievo, studio, disegno e modellazione 3D della volta.

Analisi geometrico-costruttiva della volta

Come è noto, una delle maggiori innovazioni emerse nell'architettura mediterranea dei secoli

XII-XV è costituita dalla ripetizione sistematica e seriale (standardizzazione) di geometrie e di elementi costruttivi, con ricadute positive sia nella razionalizzazione del cantiere sia nell'ottimizzazione di risorse e tempi di realizzazione⁴. Questo importante principio fu applicato anche e soprattutto nella costruzione delle coperture in pietra per le quali i maestri del gotico trovarono il modo di realizzare volte a crociera nervate, spesso molto complesse, semplificandone la costruzione grazie all'utilizzo di un solo arco, ossia facendo sì che tutti i costoloni possedessero la stessa curvatura. Tutti gli archi della volta potevano dunque essere realizzati attraverso la riproduzione in serie di uno stesso concio, con un evidente vantaggio anche per ciò che concerne la realizzazione delle centine che li dovevano sostenere per il tempo necessario alla loro costruzione⁵.

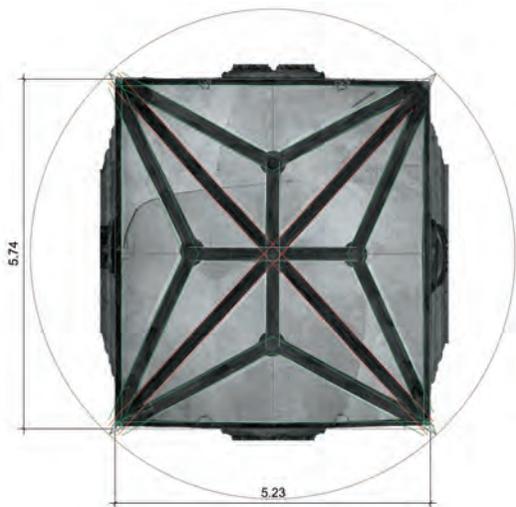
Premesso ciò, ai fini della comprensione delle caratteristiche geometriche e costruttive di una crociera in pietra nervata, a prescindere dal numero di chiavi (ove presenti), l'analisi della volta rilevata parte quasi sempre dallo studio delle proprietà geometriche degli archi diagonali, giacché, con una certa frequenza, l'intero sistema di nervature (dai costoloni secondari agli archi perimetrali) scaturisce da semplici rotazioni nel piano orizzontale del semi-arco diagonale. Importata la nuvola di punti in Rhinoceros, dunque, l'analisi delle caratteristiche geometrico-dimensionali della crociera ha inizio con la comprensione del suo tracciato planimetrico, ossia con l'individuazione della forma e delle dimensioni del vano che alloggia la volta (in questo



6. Sezione orizzontale delle pareti del tiburio alla quota dei peducci della volta.

caso il tiburio) e la giacitura dei piani verticali che contengono le generatrici dei costoloni. Servendosi della funzione “piani di ritaglio”, si estrae una sezione orizzontale della nuvola di punti, a una quota coincidente grossomodo con quella dei peducci della crociera [fig. 6]. Determinata la forma e le dimensioni del vano, servendosi della vista superiore,

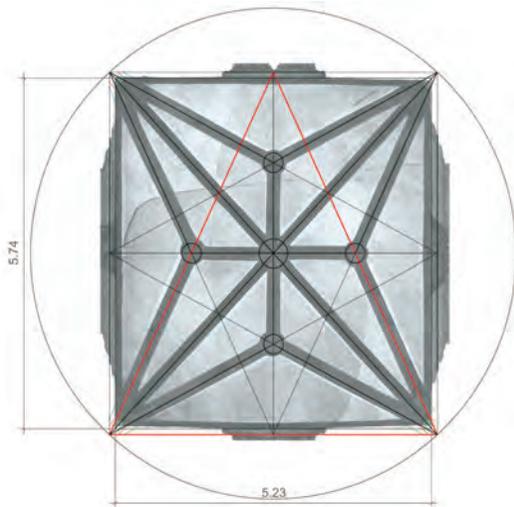
si ridisegna la proiezione orizzontale della rete di nervi, tracciando lo spessore di tutti gli archi. La proiezione in pianta delle generatrici dei costoloni viene così ricavata per approssimazione, determinando l'asse medio di ciascuna coppia di rette [fig. 7]. Questa operazione consente di ridurre i problemi interpretativi derivanti dal non perfetto allineamento dei costoloni o dalla presenza di eventuali difetti costruttivi e/o di movimenti della struttura (soprattutto in prossimità degli appoggi), restituendo una discreta approssimazione del disegno planimetrico della crociera.



7. Ridisegno della proiezione in pianta dei costoloni.

Tracciato planimetrico e sviluppo verticale

L'esame del tracciato rivela che la volta possiede una pianta pressoché quadrata (5,74 x 5,23 m); al suo interno, la posizione delle quattro chiavi secondarie (e la giacitura delle nervature secondarie) è ottenuta attraverso l'intersezione di triangoli inscritti in un "quadrato di base" che, nel caso specifico, non coincide con le pareti del tiburio, ma giace virtualmente all'interno dello spessore murario [fig. 8]. Su questa base è possibile procedere all'analisi della sezione longitudinale dei costoloni, e quindi allo studio della loro curvatura, servendosi

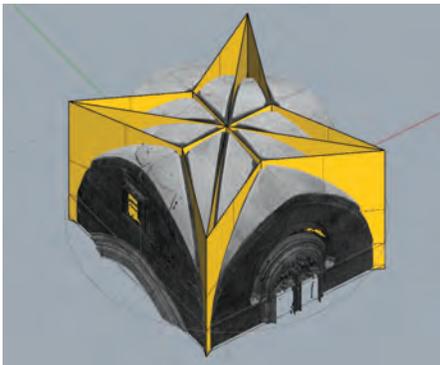


8. Interpretazione del tracciato planimetrico della volta.

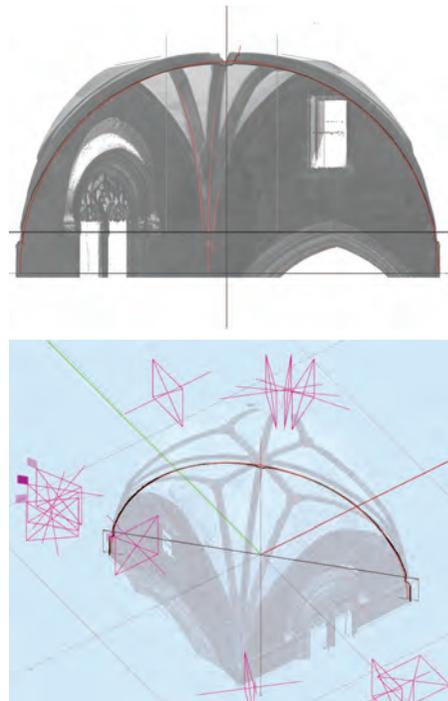
di “piani di ritaglio” verticali orientati secondo i segmenti che compongono il tracciato planimetrico [fig. 9]. Visti in sezione, gli archi diagonali presentano, come di consueto, una generatrice formata da una porzione di circonferenza (un arco a tutto sesto di 3,70 m ca. di diametro) [fig. 10]. La loro intersezione determina l’altezza della chiave centrale che, rispetto al piano d’imposta, è pari a circa 2,96 m, risultando sensibilmente accorciata rispetto al raggio della circonferenza; attraverso la sezione, è infatti possibile osservare come la volta si imposti a circa 74 cm di altezza dal centro geometrico della circonferenza.

L’analisi dei restanti archi (secondari e perimetrali) e il confronto della loro curvatura con la sezione dell’arco diagonale permette infine di constatare che, escluse le nervature che uniscono tra loro le chiavi (con un rampante lievemente curvo), tutti i

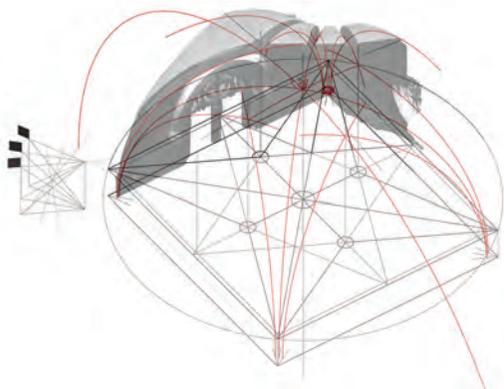
costoloni della volta sono stati realizzati con lo stesso arco, ossia con conci della medesima curvatura⁶. In elevazione, dunque, la volumetria della struttura nervata scaturisce dalla semplice rotazione in pianta dei semi-archi diagonali che, ribaltandosi in direzione delle pareti del tiburio, vanno riducendo la loro estensione, incrociandosi dapprima con i costoloni secondari speculari (in cor-



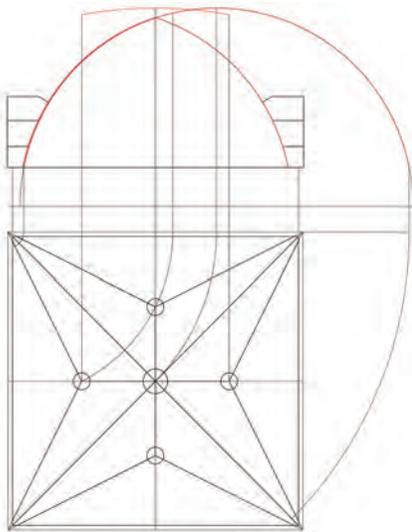
9. Piani contenenti le curve generatrici dei costoloni.



10. Sezione longitudinale dell’arco diagonale.



11. Confronto tra le sezioni longitudinali dei costoloni (vista assonometrica).

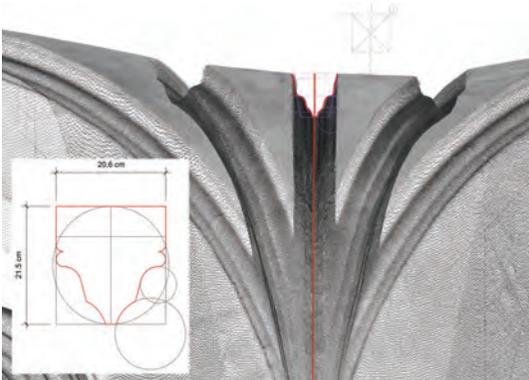


12. Tracciato planimetrico e alzato della volta.

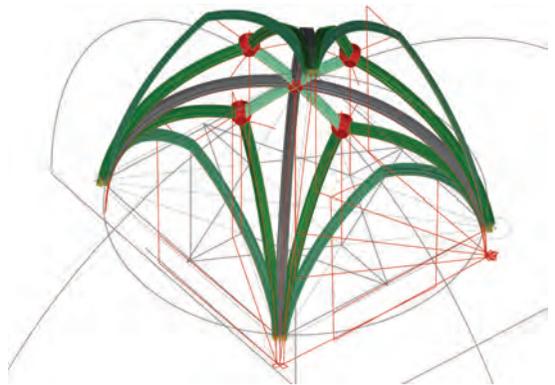
rispondenza delle quattro chiavi ausiliarie), fino a formare gli archi perimetrali [figg. 11-12].

Determinata la configurazione geometrica della volta, per poter elaborare il modello tridimensionale della rete di nervi, è sufficiente conoscere la sezione di almeno uno dei costoloni, dal momento che, al pari dei restanti esempi palermitani ancora esistenti, la sezione radiale delle nervature secondarie risulta essere identica e di pari dimensioni rispetto a quella degli archi diagonali e perimetrali. Le superfici vengono dunque modellate estrapolando lungo le generatrici degli archi la sezione radiale estratta e ridisegnata in un punto qualsiasi di uno dei costoloni, purché privo di lacune o di asperità [figg. 13-14]. Giunti a questo punto, non resta altro che modellare l'intradosso delle unghie che riempiono le trame della rete di nervi, costituite da superfici rigate che scaturiscono dallo scorrimento (*sweep*) di una retta lungo le "curve di bordo" superiori di ciascun coppia di costoloni contigui. Dal punto di vista costruttivo, in attesa di ulteriori approfondimenti, non è però al momento possibile andare oltre l'ipotesi secondo cui le vele siano realizzate in conglomerato ed elementi lapidei (appena sbizzati, di modeste dimensioni e posati in opera di coltello), analogamente a quanto avviene nelle coperture del presbiterio della pressoché coeva chiesa di Santa Maria dello Spasimo [fig. 15].

Messa a confronto con le volte a cinque chiavi che nel corso del Cinquecento coprirono i tiburi delle chiese palermitane, la volta della Catena presenta, a una scala leggermente ridotta, le stesse caratteristiche geometriche e costruttive del tiburio della



13. Sezione radiale di un costolone e ridisegno delle modanature.



14. Modello tridimensionale delle nervature della volta (vista assometrica).

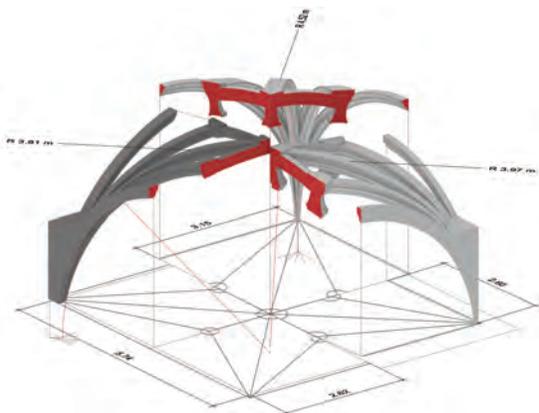
chiesa di San Marco (1580 ca.). Viceversa, pur condividendo la stessa estensione planimetrica, essa si scosta nettamente dalla volta del tiburio della chiesa di Santa Maria di Portosalvo (1530 ca.) che presenta archi diagonali policentrici il cui piano d'imposta giace alla stessa quota del centro geometrico dell'ovale [fig. 16].

Chiavi

In quanto alle chiavi, il grande nodo centrale (di diametro pari a 48 cm ca.) scaturisce dall'intersezione tra gli innesti degli 8 costoloni che convergono nel nucleo cilindrico della chiave, ormai priva della "campana" pendente, probabilmente del tutto simile a quella della volta del catino absidale [figg. 17-19], che in origine doveva occultarne parzial-



15. Palermo. Santa Maria dello Spasimo, volta absidale.



16. Confronto tra le volte dei tiburi delle chiese palermitane di Santa Maria della Catena (a sinistra), San Marco (al centro) e Santa Maria di Portosalvo (a destra).



17. Modello tridimensionale renderizzato e nuvola di punti della volta (vista assonometrica dal basso).

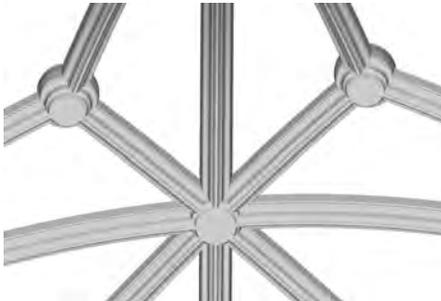
mente la vista⁷. Il fatto che tutti i costoloni abbiano la medesima dimensione trasversale infatti fa sì che la chiave quasi non presenti modanature di raccordo lungo le facce laterali, come al contrario avviene (per esempio) nella stragrande maggioranza delle volte a cinque chiavi maiorchine e sarde [fig. 18]. Per quel che riguarda le chiavi secondarie, tutte ad asse verticale e anch'esse prive di campane, l'intersezione tra i costoloni secondari e i nervi del rampante è risolta con nodi cilindrici (di diametro pari a 32 cm), che raccordano le lievi differenze di quota presenti tra gli innesti dei tre archi in esse convergenti, con modanature oblique, come oblique dovevano essere le campane che pendevano da esse [fig. 19].

Tas-de-charge

L'esame delle caratteristiche costruttive della volta non può prescindere dallo studio del *tas-de-charge*⁸, ossia della zona, posta ai vertici della crociera, dove gli archi convergono e si riuniscono intersecandosi sopra i peducci. Si tratta di un volume solido, composto da filari orizzontali ammorzati ai muri perimetrali, modellato plasticamente in modo tale da restituire l'intersezione delle superfici modanate dei costoloni⁹. Nel tiburio della chiesa della Catena, il *tas-de-charge* si risolve con tre letti orizzontali; come di consueto, esso si interrompe a circa 1/3 dell'altezza totale della volta [fig. 12], in corrispondenza grossomodo del punto (posto a 1,25 m dal piano d'imposta) in cui ciascun arco si separa dal fascio di nervature divenendo indipendente¹⁰. Superata questa altezza, rimarcata dalla



18. Palermo, chiesa di Santa Maria della Catena, volta a cinque chiavi (in alto a sinistra) e particolare della volta absidale, 1500-1510 ca. (a destra); Mandas (Cagliari), chiesa parrocchiale, volta a cinque chiavi, 1605 (in basso a sinistra); Palma di Maiorca, cattedrale, volta a cinque chiavi del portale de l'Almoina, 1517-18 ca. (a destra).



19. Particolare del modello tridimensionale della volta della chiesa di Santa Maria della Catena a Palermo (chiavi centrale e secondarie).

presenza del primo piano di posa radiale [fig. 20], i costoloni proseguono liberi in direzione delle chiavi, necessitando in fase di realizzazione del supporto delle centine.

L'esame del *tas-de-charge*, oltre a precisare maggiormente le ragioni dell'innalzamento del piano d'imposta della volta e della conseguente riduzione della luce dell'arco, consente di comprendere anche il criterio che sta alla base della scelta di avanzare la posizione delle pareti verticali del tibu-

rio, allontanandole dal "quadrato" di base del tracciato planimetrico della volta [fig. 8]. Infatti, se da una parte la riduzione dell'altezza della crociera consente di contenere l'utilizzo delle centine¹¹, accorciando le porzioni "libere" dei costoloni, dall'altra, la scelta di avanzare gli archi perimetrali (conseguente alla precedente) deriva probabilmente dalla volontà di conferire maggiore regolarità alle intersezioni delle nervature in corrispondenza dei conci di carico [fig. 20].



20. *Tas-de-charge*.

NOTE

¹ Il paragrafo *Metodi integrati di rilievo per la documentazione di manufatti architettonici* è stato redatto da Mirco Cannella, il paragrafo *Analisi geometrico-costruttiva della volta* è stato redatto da Federico Maria Giammusso. The research leading to these results has received funding from the European Research Council under the European Union's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) / ERC grant agreement n° 295960 – COSMED.

² Garofalo, *infra*.

³ Agnello 2010.

⁴ Zaragozá Catalán 2003, pp. 155-157.

⁵ Palacios Gonzalo 2015, pp. 55-56.

⁶ Lo studio della volumetria della volta consente anche di analizzare le deformazioni della struttura, visibili soprattutto in chiave, dove la crociera presenta un lieve abbassamento, e in uno dei costoloni secondari, il cui piano risulta leggermente ruotato verso il centro del tiburio [figg. 7 e 10] (Avella, Favaloro, Lo Meo 2006).

⁷ Rimosse verosimilmente nel XVII secolo per accogliere la decorazione a stucco che ricopriva le coperture dell'aula, prima degli interventi di restauro realizzati probabilmente tra fine Ottocento e primo Novecento (Barone 2006, p. 218).

⁸ Termine francese, che letteralmente significa in "massa" o "mucchio" di carico, difficile da tradurre; in riferimento alla stereotomia e ai dettagli costruttivi delle volte a crociera, nel lessico tecnico italiano manca una terminologia specifica e articolata come ad esempio quella francese o spagnola.

⁹ Per una più completa definizione di *tas-de-charge* si veda: Rabasa Díaz 2000, pp. 96-104; Navarro Fajardo 2006, pp. 167-175; Pérez de los Ríos, Zaragozá Catalán 2013, p. 833.

¹⁰ Palacios Gonzalo 2015, p. 71.

¹¹ In questo modo si garantiva probabilmente anche una sensibile riduzione della quantità di legname (e quindi dei costi) necessario alla realizzazione delle centine, particolare da non sottovalutare in territori come la Sicilia caratterizzati da scarsa disponibilità di legno.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

AGNELLO F., *Rilievo e rappresentazione del soffitto della navata centrale della cappella Palatina*, in *La cappella Palatina a Palermo*, a cura di B. Brenk, Modena, Franco Cosimo Panini, 2010, pp. 295-352.

AVELLA F., FAVALORO V., LO MEO G., *Il rilievo con tecniche innovative per l'analisi geometrica delle strutture voltate*, in *Matteo Carnilivari e Pere Compte 1506-2006: due maestri del gotico nel Mediterraneo*, a cura di M. R. Nobile, Palermo, Caracol, 2006, pp. 162-167.

BARONE Z., *Le ricostruzioni post-belliche nella chiesa di S. Maria della Catena e nel palazzo Abatellis di Palermo*, in *Matteo Carnilivari...*, cit., pp. 218-223.

GAROFALO E., *La chiesa di Santa Maria della Catena a Palermo come exemplum*, *infra*.

NAVARRO FAJARDO J. C., *Bóvedas de la arquitectura gótica valenciana*, Valencia, Universitat, 2006.

PALACIOS GONZALO J. C., *Taller de construcción gótica. Workshop on building gothic methods*, Madrid 2015.

PÉREZ DE LOS RÍOS C., ZARAGOZÁ CATALÁN A., *Bóvedas de crucería con enjarjes de nervios convergentes que emergen del muro en el área valenciana, ss. XIV-XV*, in *Actas del octavo congreso nacional de historia de la construcción* (Madrid, 9-12 ottobre 2013), 2 voll., a cura di S. Huerta, F. López Ulloa, Madrid, Instituto Juan de Herrera-Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 2013, II, pp. 833-842.

RABASA DÍAZ E., *Forma y construcción en piedra: de la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*, Madrid, Akal, 2000.

ZARAGOZÁ CATALÁN A., *Arquitecturas del gótico mediterráneo*, in *Una arquitectura gótica mediterránea*, 2 voll., catalogo della mostra, a cura di E. Mira, A. Zaragoza Catalán, Valencia, Generalitat Valenciana, 2003, I, pp. 107-195.

L'ESPERIENZA DEL LABORATORIO DI STEREOTOMIA PALERMO 2016¹

Emanuela Garofalo, Università degli Studi di Palermo

Federico Maria Giammusso, Università degli Studi di Palermo

Un'esperienza interdisciplinare tra ricerca e didattica

Replicando la formula messa a punto da José Carlos Palacios Gonzalo nel *Taller de construcción gótica* di Madrid, le attività del Laboratorio di stereotomia, tenutosi presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Palermo nell'aprile 2016, hanno creato l'opportunità per una fattiva collaborazione interdisciplinare finalizzata al contempo alla ricerca e alla didattica. Fin dalle operazioni preliminari allo svolgimento del laboratorio vero e proprio, sono intervenute infatti competenze differenti che spaziano dalla storia dell'architettura e della costruzione, al disegno, all'architettura tecnica. Dall'individuazione del soggetto di studio, all'analisi dimensionale e geometrica dello stesso, alla risoluzione delle problematiche tecniche poste dalla sua costruzione, tali discipline hanno concorso alle scelte operative effettuate nel passaggio da una conoscenza teorica alla sua verifica attraverso la prassi.

Come per le esperienze madrilene descritte da José Carlos Palacios Gonzalo², individuato un caso studio particolarmente rilevante, è stata effettuata un'analisi approfondita dello stesso per il reperimento dei dati necessari alla realizzazione di un modello di dimensioni significative, ulteriore momento conoscitivo dell'elemento prescelto. La riproduzione in scala

1:2 della volta costolonata a cinque chiavi presente sulla crociera della chiesa di Santa Maria della Catena a Palermo ha infatti contribuito a precisarne aspetti formali e costruttivi, ma anche inerenti il processo esecutivo. Come in un cantiere medievale, un gruppo di studenti dei corsi di laurea in Architettura e Ingegneria Edile Architettura e alcuni dottorandi, guidati dai docenti responsabili del laboratorio e dai tutor, hanno intagliato gli elementi che formano l'ossatura portante della volta riprodotta (imposte, costoloni, chiavi), con procedure e attrezzi assimilabili a quelli dell'epoca di costruzione della volta originale. Questo passaggio dallo studio di un elemento architettonico complesso e dalle molteplici implicazioni come la volta in questione, alla sua riproduzione – dal disegno alla posa in opera dei pezzi intagliati – ha permesso quindi di abbinare all'attività di ricerca una didattica che punta sulla manualità e sul fare come metodo di trasmissione di un sapere multidisciplinare. Come già sottolineato da José Palacios per le esperienze madrilene, anche in questo caso la risposta degli studenti e gli esiti finali del laboratorio [fig. 1] hanno dimostrato la straordinaria efficacia di tali esperimenti, per i quali appare auspicabile la costruzione di una rete europea che consenta un confronto internazionale su risultati e metodologie applicate³.

Anche in tale ottica, per l'individuazione del caso

studio si è scelto di concentrarsi sul contesto regionale, selezionando un soggetto che rivestisse un particolare interesse dal punto di vista storiografico, tanto per questioni inerenti la storia dell'architettura più in generale che per gli aspetti più specifici della storia della costruzione. La scelta è pertanto ricaduta sulla volta a cinque chiavi della chiesa di Santa Maria della Catena a Palermo, perfettamente rispondente a tale requisito.

Tra le attività di studio preliminari all'avvio del la-

boratorio, un passaggio fondamentale è stato quello del rilievo e del ridisegno analitico della volta, condotti secondo le procedure illustrate in precedenza da Mirco Cannella e Federico Maria Giammusso. Per tale via è stato possibile infatti predisporre degli elaborati grafici che costituiscono l'indispensabile punto di partenza per la riproposizione di una procedura, già attuata nel XVI secolo, che ha permesso il passaggio dall'idea progettuale all'elemento costruito.



1. La volta al termine delle operazioni di montaggio.

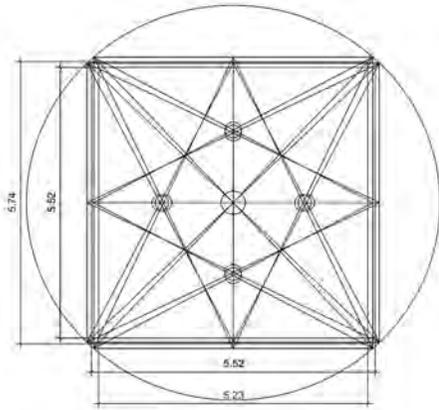
Realizzazione del modello in scala 1:2 della volta nel laboratorio

Effettuato il rilievo e comprese le caratteristiche geometrico-costruttive della crociera⁴, al fine di semplificarne la realizzazione, il modello della volta è stato regolarizzato [fig. 2], approssimandone l'impianto planimetrico a un quadrato di lato 5,52 m (pari alla media aritmetica del perimetro del tiburio). Per ragioni di spazio e di praticità, il modello, semplificato nelle sue valenze formali, è stato ridotto in scala 1:2, ottenendo una volta di 2,76 m di lato [fig. 3].

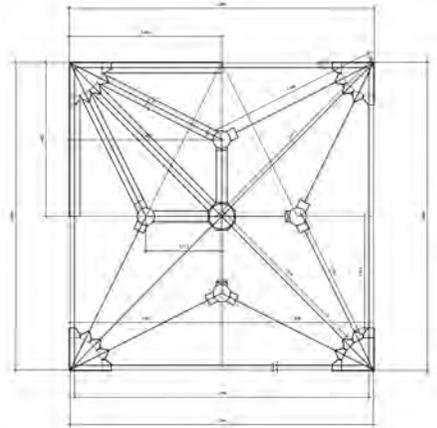
Come materiale da costruzione, per la realizzazione della volta si è scelto di utilizzare il calcestruzzo aerato autoclavato in blocchi: una miscela sintetica di cemento, sabbia silicea e ossido di calcio, di aspetto simile a una calcarenite natu-

rale, ma notevolmente più leggera e semplice da lavorare. Reperibile in commercio in blocchi sottili di dimensioni standardizzate (di lunghezza e altezza nominali pari a 624 x 249 mm), tra i vari spessori disponibili (da 50 a 120 mm), la scelta è ricaduta sul blocco da 100 mm, di spessore pari alla dimensione della sezione trasversale dei costoloni nel modello in scala, da cui è stato possibile ricavare quattro conci di lunghezza e sezione costante [fig. 5].

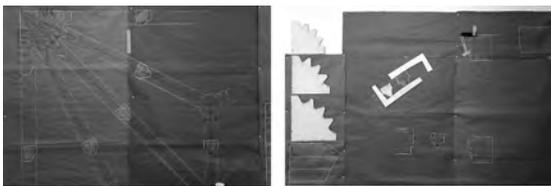
La costruzione della volta ha avuto inizio con il tracciamento del disegno a grandezza reale (in scala 1:2 rispetto all'originale) della pianta e dell'alzato della crociera⁵ [fig. 4], operazione che nel cantiere medievale risultava fondamentale per risolvere i problemi geometrici derivanti dalla corrispondenza tra tracciato planimetrico e sviluppo verticale⁶. Ciò



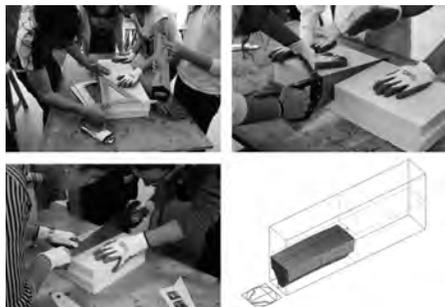
2. Regolarizzazione del disegno della volta su base quadrata.



3. Progetto esecutivo del modello in scala 1:2.



4. Tracciamento della pianta e dell'alzato della volta a grandezza naturale.



5. Suddivisione dei blocchi di cemento cellulare.

consentiva di verificare e di disporre di tutti i dati necessari per la realizzazione della volta; così, dalla curvatura degli archi, disegnati in forma e grandezza reali, venivano ricavati i *baibel*⁷, le sagome e i modani per il taglio dei conci degli archi, i dati necessari per la realizzazione delle chiavi e le sagome dei vari letti orizzontali di cui si componeva il tasde-charge⁸. Per questioni di praticità, tali elementi, fondamentali per il taglio delle varie parti di cui si compone la volta, sono stati realizzati in compensato leggero di pioppo tagliato con macchina laser a controllo numerico, a partire da curve 2D estratte dal modello tridimensionale della crociera [fig. 6].

La costruzione degli archi

Come è emerso dal rilievo, la volumetria della volta del tiburio della Catena scaturisce dalla rotazione in pianta dell'arco diagonale, per cui, a esclusione dei costoloni che legano tra loro le chiavi, l'intera rete di nervi presenta la medesima



6. *Baibel* e sagome per il taglio degli elementi della volta.

curvatura. Il fatto che tutti gli archi della crociera presentino la stessa curva d'intradosso e la stessa sezione trasversale fa sì che per il taglio dei conci si utilizzi un solo *baibel*, una sola sagoma laterale e una sola sagoma di testa⁹, realizzata in forma semplificata e priva della caratteristica “coda” d'estradosso¹⁰ [fig. 7].

Diviso ciascun blocco in quattro parti, il taglio dei conci ha inizio con il loro tracciamento sulle facce di un singolo quarto di blocco, servendosi della sagoma laterale e del *baibel* [fig. 8]. Definita la curvatura d'intradosso e di estradosso del concio, con l'aiuto del *baibel* e della sagoma di testa si definiscono i piani di contatto (convergenti verso il centro geometrico dell'arco) e le facce laterali del blocco¹¹, in questo caso sagomate a “V” [fig. 9].

Il taglio delle chiavi

Parallelamente al taglio dei conci si procede di pari passo alla definizione delle quattro chiavi secondarie e della grande chiave centrale. Sebbene oggi appaiano in parte “mutilate”, è possibile stabilire che la volta fu realizzata con chiavi ad asse verticale, per cui è risultato plausibile approssimarne la forma a cilindri di diametro pari a 24 cm per la chiave centrale e 16 cm per quelle secondarie, entro i quali si innestano direttamente i costoloni. A differenza di quanto avviene per gli archi, il taglio delle chiavi richiede il trasferimento sul volume del blocco¹² delle sue proiezioni orizzontali e verticali (definite nel disegno a scala reale), servendosi di carta velina, compasso, riga e di una falsa squadra per la lettura degli angoli [fig. 10]; successiva-



7. Tracciamento della faccia laterale del concio.



8. Controllo della curvatura di un concio per mezzo del *baibel* (a sinistra) e posizionamento della sagoma di testa (a destra).



9. Definizione delle facce laterali dei conci.



12. Sagome e tracciamento dei filari del *tas-de-charge*.

materia in eccesso, collegando tra loro i contorni delle due sezioni, e si completa con la definizione delle superfici esterne a vista (delle modanature visibili)¹⁵ [figg. 13-15]. Un'osservazione a parte merita l'ultimo elemento della sequenza, per il quale è ne-



13-15. A sinistra, collegamento della sezione superiore e inferiore di alcuni elementi del *tas-de-charge*; al centro, definizione delle superfici a vista di un elemento del *tas-de-charge*; a destra, i quattro filari n. 6 dei *tas-de-charge* pronti per la posa in opera.



16. Posa in opera del *tas-de-charge*.

cessario tagliare le sezioni, inclinate verso il centro geometrico della circonferenza degli archi, che in corrispondenza del piano superiore accoglieranno i conci dei costoloni [fig. 16].

Il montaggio della volta

Man mano che si vanno completando gli elementi dei *tas-de-charge* e che si definiscono le chiavi, può avere inizio la fase di posa in opera della volta con la realizzazione delle centine, seguendo le raccomandazioni di Rodrigo Gil de Hontañón¹⁶. In primo luogo, si realizza una piattaforma lignea posta grossomodo alla stessa quota della sommità del *tas-de-charge*, servendosi, anche in questo caso, delle misure riportate nel disegno a grandezza reale [fig. 17]. Successivamente, dopo aver tracciato nuovamente la pianta della volta al di sopra del piano, si collocano i piedritti deputati a sostenere (alla giusta altezza) le chiavi, ciascuna in corrispondenza dei punti d'intersezione dei costoloni [fig. 18]. La struttura si completa con il posizionamento e l'ancoraggio delle centine degli archi, su cui è possibile collocare i primi conci, partendo dal basso in corrispondenza dei *tas-de-charge* [fig. 19].

Terminata la posa in opera degli ultimi conci (ed entrata in tensione la volta), la struttura è pronta per accogliere le vele. La straordinaria rapidità con cui è possibile posizionare tutti gli elementi della crociera offre la possibilità di realizzare un quarto della calotta di riempimento (non visibile poiché intonacata), ipotizzando un apparecchio a filari orizzontali [fig. 20].



17. Realizzazione della piattaforma di lavoro e dei piedritti di sostegno delle chiavi.



18-20. A sinistra, fissaggio dei piedritti di sostegno e posa in opera delle centine degli archi; al centro, posa in opera dei primi concetti dei costoloni; a destra, posa in opera delle vele.

NOTE

- ¹ Il paragrafo *Un'esperienza interdisciplinare tra ricerca e didattica* è stato redatto da Emanuela Garofalo, il paragrafo *Realizzazione del modello in scala 1:2 della volta nel laboratorio* è stato redatto da Federico Maria Giammusso. Fotografie degli ingegneri Liucija Berežanskýtė e Manfredi Saeli Naselli.
- ² Palacios Gonzalo, *infra*.
- ³ Ancora nell'ambito della costruzione in pietra e in particolare per il tema delle volte si segnalano anche i laboratori diretti dai professori Enrique Rabasa Díaz dell'Universidad Politecnica di Madrid e David Wendland della Technische Universität di Dresda.
- ⁴ Cannella, Giammusso, *infra*.
- ⁵ Realizzati con metodi tradizionali sul pavimento, nel luogo dove sorge la volta, e sulle pareti dell'aula.
- ⁶ Zaragoza Catalán 2008, pp. 12-13.
- ⁷ Termine spagnolo derivato dal francese *biveau*, per il quale non esiste un corrispettivo in italiano, con cui si indica una "squadra" composta da due bracci non articolati, uno dei quali tagliato con la curvatura dell'intradosso e l'altro (retto) orientato verso il centro geometrico dell'arco (Palacios Gonzalo 2015, p. 32).
- ⁸ Dalla curvatura degli archi, disegnati in vera forma e grandezza, venivano ricavate le sagome e i modani necessari per il taglio dei conci degli archi, delle chiavi e degli elementi del *tas-de-charge* (*ivi*, pp. 64-65).
- ⁹ Utilizzati per praticità anche per definire la curvatura dei nervi che formano i rampanti della volta, legando tra loro le chiavi.
- ¹⁰ Protuberanza presente nella superficie di estradosso del concio per garantire l'incastro con il riempimento delle vele (Palacios Gonzalo 2015, p. 33).
- ¹¹ Per una completa descrizione del processo di intaglio dei conci si veda: Rabasa Díaz 2007.
- ¹² Ottenuto dalla giustapposizione di mezzi blocchi, divisi in senso trasversale.
- ¹³ Palacios Gonzalo 2015, p. 171.
- ¹⁴ *Ivi*, p. 43.
- ¹⁵ Rabasa Díaz 2000, pp. 100-101.
- ¹⁶ Riportate all'interno del manoscritto di Simón García, rappresentano l'unico riferimento storico pervenutoci circa la costruzione delle centine (Palacios Gonzalo 2015, pp. 46 e 76).

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- CANNELLA M., GIAMMUSSO F. M., *Dal rilievo alla conoscenza: analisi geometrico-costruttiva della volta a cinque chiavi della chiesa di Santa Maria della Catena a Palermo*, *infra*.
- PALACIOS GONZALO J. C., *Taller de construcción gótica. Workshop on building gothic methods*, Madrid 2015.
- RABASA DÍAZ E., *Guía práctica de la estereotomía de la piedra*, León, Editorial de los Oficios, 2007.
- RABASA DÍAZ E., *Forma y construcción en piedra: de la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*, Madrid, Akal, 2000.
- ZARAGOZÁ CATALÁN A., *El arte de corte de piedras en la arquitectura valenciana del Cuatrocientos: un estado de la cuestión*, Valencia, Real Academia de Bellas Artes de San Carlos, 2008.