



COSTRUIRE IN PIETRA. PRATICA E STORIA

COSTRUIRE IN PIETRA PRATICA E STORIA

Laboratorio di stereotomia - Palermo 2016

a cura di
Emanuela Garofalo
José Carlos Palacios Gonzalo
Tiziana Campisi

ISBN: 978-88-98546-54-1



Edizioni Caracol

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.

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.

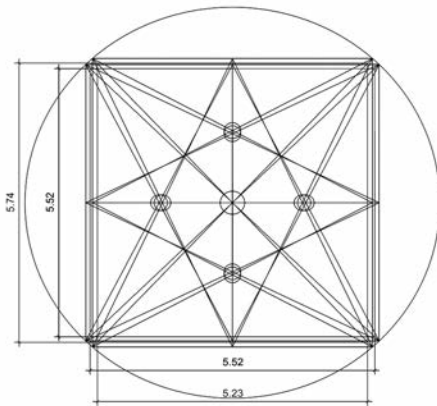
Realizzazione del modello in scala 1:2 della volta nel laboratorio

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].

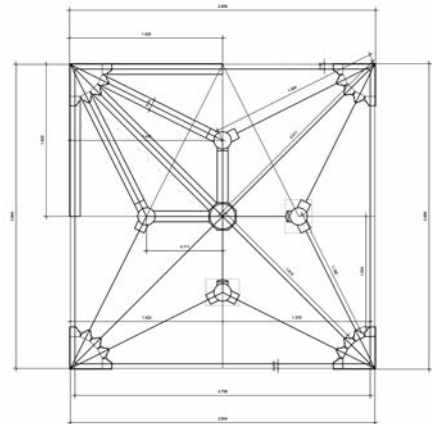
Come materiale da costruzione, per la realizzazione della volta si è scelto di utilizzare il calcestruzzo aerato autoclavato in blocchi: una miscela sintetica di cemento, sabbia silicea e ossido di calcio, di aspetto simile a una calcarenite natu-

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].

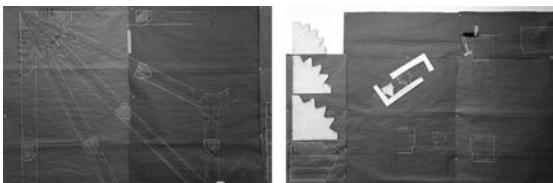
La costruzione della volta ha avuto inizio con il tracciamento del disegno a grandezza reale (in scala 1:2 rispetto all'originale) della pianta e dell'alzato della crociera⁵ [fig. 4], operazione che nel cantiere medievale risultava fondamentale per risolvere i problemi geometrici derivanti dalla corrispondenza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



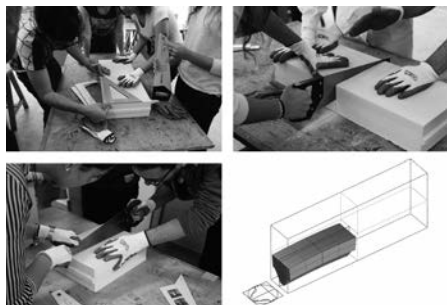
2. Regolarizzazione del disegno della volta su base quadrata.



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 tas-de-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-



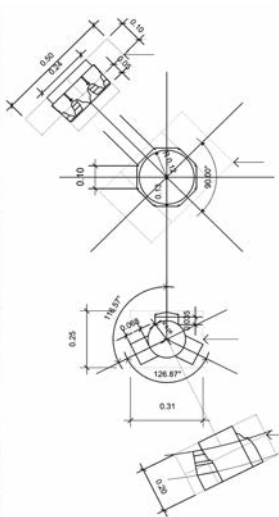
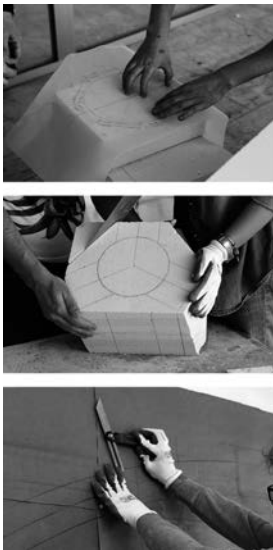
7. Tracciamento della faccia laterale del concio.



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.



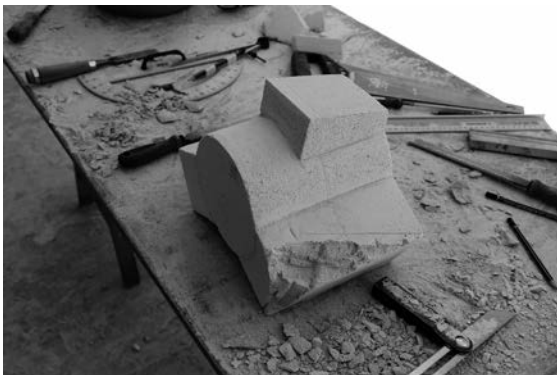
10. Tracciamento e taglio delle chiavi.

mente, la chiave viene “liberata” dal volume del blocco, eliminando, come di consueto, tutto il materiale eccedente [fig. 11]¹³.

Il taglio degli elementi del tas-de-charge

La regolarizzazione del tracciato planimetrico della volta consente di omogeneizzare, rendendole perfettamente simmetriche tra loro, le intersezioni dei costoloni in corrispondenza del *tas-de-charge*, imponendo la condizione che tutti i costoloni si separino contemporaneamente alla stessa quota (nel modello pari a 68 cm dal piano d’imposta). Questa altezza può essere determinata direttamente nel disegno mediante proiezioni verticali e orizzontali, dal momento che, per qualsiasi piano orizzontale tracciato sopra la sezione, è possibile immediatamente determinare in pianta se gli archi risultano separati o se piuttosto risultano ancora solidali¹⁴. Allo stesso modo, è possibile determinare le sezioni dei piani di posa e di attesa dei singoli filari, ricavando le sezioni orizzontali necessarie alla definizione delle sagome che ne guidano l’intaglio [fig. 12].

Su questa base, si è scelto di dividere il volume del *tas-de-charge* in sette filari di altezza costante (invece dei tre di cui si compone quello reale), in modo tale da semplificarne il taglio e di sfruttare al meglio lo spessore dei blocchi, procedendo solo in un secondo momento alla loro unione in tre gruppi. Per ogni elemento, sulla superficie superiore (piano di attesa) e inferiore del blocco (piano di posa) si disegna il contorno della sagoma delle sezioni orizzontali corrispondenti a due filari consecutivi [fig. 12]; il pezzo viene definito attraverso la rimozione della



11. Chiave secondaria semi-lavorata.



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.