

Volte nervate del tardogotico sardo *Ribbed vaults of late Gothic in Sardinia*

La prassi costruttiva tardogotica, consolidata nell'area mediterranea d'influenza spagnola, si basa su regole geometriche prefissate e si manifesta in modo caratterizzante negli edifici religiosi con coperture a volta nervata.

La proporzione tra i lati dell'area da coprire, il tracciamento in pianta delle nervature come successione di bisettrici d'angolo, i problemi di stereotomia, gli aspetti volumetrici sono solo alcuni degli elementi che possono descrivere il complesso costruttivo di una volta a crociera nervata. Obiettivo del presente lavoro è analizzare le informazioni dimensionali delle volte tardogotiche della Sardegna, al fine di determinare l'esistenza di regole geometriche e proporzionali ricorrenti per un corretto disegno, stabilendo una procedura standard per la raccolta delle misure e la costruzione del modello 3D delle volte.

The late Gothic construction practice, settled in the Spanish Mediterranean area, is based on predetermined geometric rules and is shown in religious buildings with ribbed vaults.

The proportion between the sides of the area to cover, tracing plan of the ribs as a succession of corner bisectors, stereotomy problems and volumetric aspects, are just some of the elements that can describe the complex construction of a ribbed vault. The aim of this paper is to analyze the dimensional information of the late gothic ribbed vaults of Sardinia, in order to define the geometric and proportional rules for a correct drawing, establishing a standard procedure for the collection of measures and the construction of the 3D model of vaults.



Paola Casu

Laureata in Ingegneria Civile Edile indirizzo architettonico, è stata assegnista presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Cagliari. Attualmente collabora con il Dipartimento di ingegneria civile, ambientale e architettura dell'Università di Cagliari alle attività di ricerca nel settore scientifico disciplinare del Disegno.



Claudia Pisu

Ingegnere edile, dottore di ricerca, è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura dell'Università di Cagliari. È docente a contratto di Disegno nel Corso di Laurea in Scienze dell'Architettura. Svolge attività di ricerca inerenti il rilievo, l'analisi geometrica e la rappresentazione dell'architettura.

Parole chiave: architettura tardogotica, volte, geometria, analisi dimensionale, modellazione 3D

Keywords: late Gothic architecture, ribbed vaults, geometry, dimensional analysis, 3D modeling

PREMESSA

Il tardogotico mediterraneo ha le sue massime espressioni nelle cattedrali della Spagna, tuttavia esistono innumerevoli esempi minori diffusi in tutta l'area mediterranea d'influenza spagnola, tra cui la Sardegna e il sud Italia, come recentemente evidenziato dalla ricerca PRIN 2004 coordinata da C. Cundari¹. La Sardegna, dal XIV al XVIII secolo, fece parte della Corona di Aragona e del Regno di Spagna e anche sul suo territorio si sviluppò la cultura costruttiva del gotico che si consolidò in forme codificate ripetibili che interessarono sia l'architettura religiosa che quella civile. I tipi costruttivi del tardogotico comparvero in Sardegna nel XIV secolo per poi raggiungere la massima diffusione tra il XV e il XVII secolo. In questo lungo periodo si formarono gruppi di costruttori locali che rielaborarono secondo il proprio gusto le forme acquisite dalla Spagna, ed in particolare dalla Catalogna. Nell'ambito degli edifici religiosi, le coperture voltate sono certamente l'elemento caratterizzante più forte e di esse si trovano notevoli esempi in tutto il territorio isolano².

DESCRIZIONE DEI METODI COSTRUTTIVI TEORICI DELLE VOLTE GOTICHE

I costruttori gotici a differenza di quelli classici costruivano le loro volte realizzando dapprima i costoloni, cosicché concepirono la volta come un sistema di nervature autonome che permettevano di suddividere lo spazio da coprire in porzioni. Le nervature sono la maglia su cui vanno a poggiare le volte³. Tale sistema permette di alleggerire notevolmente lo spessore delle volte e al contempo mette in evidenza le nervature che assumono anche rilevanza decorativa. I sistemi costruttivi delle coperture gotiche sono fondamentalmente due: le volte a crociera e le volte a rete. Ci soffermeremo sulle volte a crociera che sono quelle presenti sul territorio sardo. Cavallari-Murat⁴ propone una classificazione delle volte a crociera secondo la suddivisione dell'angolo formato tra i lati degli archi d'imposta. All'aumentare della suddivisione dell'angolo la volta si trasforma da crociera semplice a volta a ventaglio. Il rapporto $\alpha/2$ è

quello della crociera semplice, il rapporto $\alpha/4$ è quello delle volte stellari propriamente dette che hanno appunto nella proiezione in pianta una conformazione a stella.

La proiezione in pianta dei costoloni della volta stellare si traccia generalmente suddividendo l'angolo α in quattro parti uguali, dunque le nervature secondarie si trovano secondo la bisettrice dell'angolo tra le proiezioni orizzontale dell'arco d'ogiva e dell'arco d'imposta. Per trovare la proiezione delle nervature secondarie si può ricorrere ad una costruzione che enfatizza il concetto di stella. Si utilizzano il cerchio circoscritto all'area da coprire e gli assi di simmetria verticale e orizzontale (fig.1a). Tracciando i segmenti che congiungono i vertici del rettangolo con i punti individuati sul cerchio dagli assi di simmetria orizzontale e verticale si ottiene la traccia della nervatura secondaria (tierceron).

La costruzione gotica in Sardegna perdura per un lungo periodo, dal XIV al XVII secolo, con varie manifestazioni in linea con quanto accadeva in Spagna. In virtù di questo è necessario un parallelo tra le realizzazioni sarde e quelle spagnole, in particolare è utile ricordare ed evidenziare come in Spagna nei trattati rinascimentali d'architettura veniva ampiamente descritto il modo di realizzare le volte nervate. I diversi trattati di Alonso de Vandelvira, Hernan Ruiz e Rodrigo Gil^{5,6}, illustrano con disegni in pianta e in alzato la relazione tra la proiezione orizzontale delle nervature e il tracciamento degli archi dei costoloni, mettendo a confronto le diverse curvature degli archi d'imposta, delle diagonali, delle nervature secondarie e di quelle di collegamento. Il disegno è composto da una proiezione orizzontale e da un alzato che evidenzia il profilo rialzato della volta e l'arco d'imposta. Su tale piano verticale venivano poi ribaltati gli archi delle nervature principali e secondarie per ottenere così la composizione dell'intero sistema nervato. Le indicazioni non si limitavano tuttavia al solo tracciamento geometrico, ma fornivano anche dei metodi di dimensionamento delle diverse parti. Le dimensioni della sezione dei diversi archi variavano a seconda che fossero gli archi d'imposta, i costoloni principali, i tiercerones o le

legature. A partire da conci di notevole spessore per gli archi d'imposta, questo si riduceva progressivamente nelle varie parti secondo la loro importanza nell'ordine in cui sono state elencate in precedenza. Notevole rilevanza rivestivano anche le indicazioni sul taglio dei conci di chiave. Tutti i trattati si riferiscono ad una volta stellare su base quadrata con un disegno delle nervature secondarie e di collegamento che varia da un trattato all'altro. Il suggerimento era quello di fare in modo che il costolone principale avesse forma semicircolare. In metodo fondamentale per il tracciamento degli archi è illustrato in figura 1b e richiama altri disegni più antichi tra cui quelli del taccuino di Villard de Honnecourt⁷

VARIANTI TIPOLOGICHE DELLE COPERTURE VOLTATE SARDE E LORO DISTRIBUZIONE SUL TERRITORIO

La presenza così diffusa delle volte costolonate all'interno della maggior parte degli edifici religiosi sardi, lascia intuire che questo fosse l'elemento principale a cui i costruttori catalani, approdati in Sardegna già nel 1300, dedicavano maggiore attenzione ed importanza nella progettazione e realizzazione della fabbrica. Questo studio propone un censimento parziale dell'enorme patrimonio architettonico appartenente a questo filone e ancora presente nell'isola. Infatti proprio la volta è l'elemento che nella maggior parte dei casi si trova ancora intatto, ed è presente in molti edifici anche successivamente modificati o ampliati. La ricerca, a partire dalla traccia indicata da Casu e Dessi⁸ si propone di ampliare le conoscenze su questi elementi tanto caratterizzanti dell'architettura sarda. Lo studio è partito dalla provincia di Cagliari, nella quale sono stati riscontrati il maggior numero di edifici, per poi estendersi anche alle province di Oristano⁹ e Nuoro¹⁰. Fin ora sono state individuate 73 chiese che presentano al loro interno almeno una volta gotica ancora intatta: di queste, 27 sono state utilizzate per realizzare l'analisi dimensionale e proporzionale.

Ogni zona dell'isola ha sviluppato maggiormente una tipologia in relazione alla presenza delle maestranze, alle caratteristiche del materiale

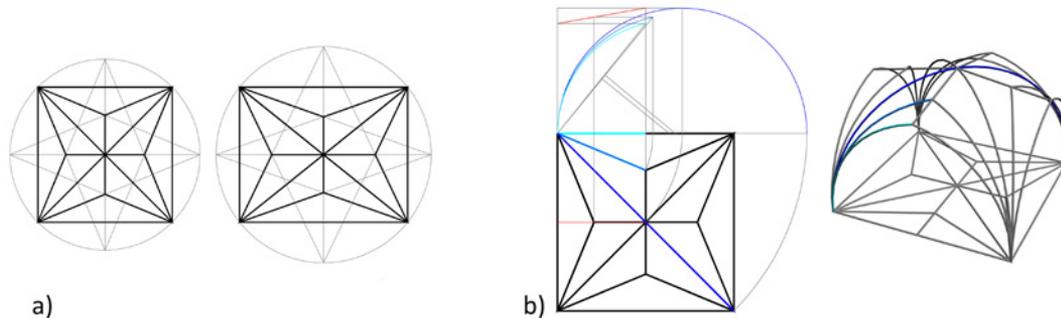


Figura 1: a) Schema per il tracciamento delle nervature secondarie in pianta applicato al quadrato e al rettangolo 5/4. b) Esempificazione degli schemi dei trattati sulla costruzione delle volte.

da costruzione, all'importanza dell'edificio, ecc. Come si evince dalle carte in figura 2, le tipologie più diffuse sono quelle della crociera semplice e stellare, più adatte alla conformazione degli edifici sardi caratterizzati da altezze piuttosto contenute rispetto alle fabbriche gotiche a cui si ispiravano; in pochi casi si trovano edifici con volta poligonale.

Nelle coperture voltate individuate, la proiezione delle nervature in pianta è sempre rettilinea, come accade nel gotico catalano e nel tardogotico spagnolo della scuola di Toledo. La volta del convento de la Santa Cruz di Segovia opera di Juan Guas ha un disegno simile alla volta più complessa documentata in Sardegna che copriva parte della navata della distrutta chiesa di San Domenico a Cagliari. Le soluzioni adottate sono sempre quelle di un disegno che si sviluppa attorno alla chiave centrale. Non si riscontra mai il disegno a rete di volte concatenate frequente nel gotico di molte regioni europee. Questo fatto risulta coerente con quanto si osserva nella maggior parte degli esempi spagnoli. Il disegno a rete che nel gotico europeo era adottato nella copertura dell'aula, risulta poco funzionale al tipo della chiesa tardogotica sarda d'impronta catalana. In essa la navata è suddivisa da archi diaframma posti perpendicolarmente alla dimensione maggiore dell'aula che suddividono lo spazio in porzioni che favoriscono la concezione di volte tra loro separate, che si sviluppano in forma di stella attorno alla chiave centrale. Inoltre, il maggior numero di esempi di volta tardogotica da noi censiti sono quelli che coprono la cappella presbiteriale e le cappelle laterali e dunque che insistono su spazi piccoli in cui un'unica volta stellare è più che sufficiente per la realizzazione della copertura. Le varianti da noi documentate si possono riassumere nei tipi di cui di seguito si dà una breve descrizione.

VOLTA A CROCIERA SEMPLICE SU BASE QUADRATA O RETTANGOLARE

Variante 1: Presenta archi d'imposta a sesto acuto su tutti i lati della area da coprire; è leggermente rialzata; i costoloni, sempre modanati, partono da peducci lavorati; la chiave in forma di gemma

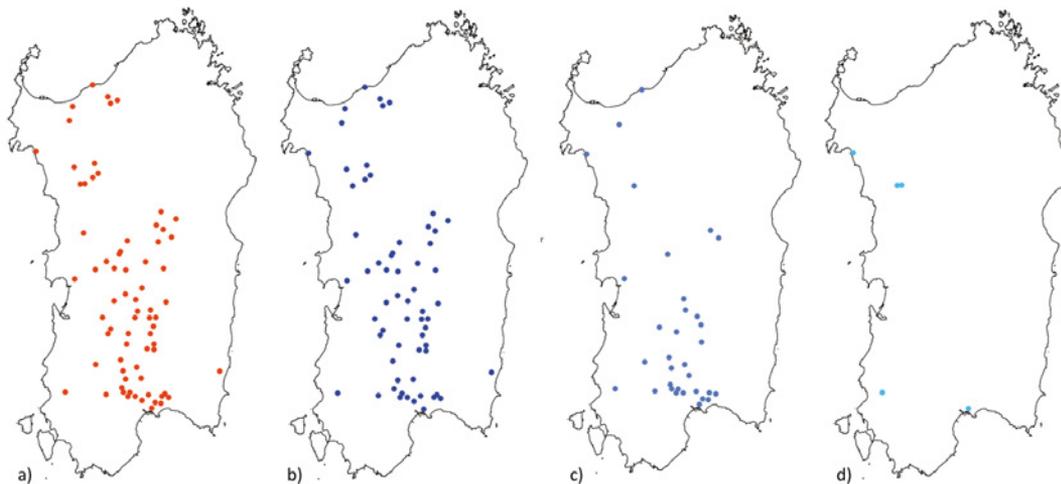


Figura 2. Individuazione degli edifici con volte gotiche nervate. a) totale casi riscontrati; b) casi di crociera semplice; c) casi di crociera stellare; d) casi di volta poligonale.

Volte nervate sarde			
Semplice			
	a)	b)	c)
	Stellare		
d)		e)	f)
Poligonale			
	g)	h)	i)

Figura 3. Varianti delle coperture voltate.
Crociera semplice: a) Variante 1, Muravera, chiesa di San Nicola, presbiterio; b) Variante 2, Ortacesus San Pietro, cappella laterale; c) Variante 3, Sestu, chiesa di San Giorgio, cappella laterale.
Crociera stellata: d) Variante 1, Busachi, Sant'Antonio da Padova, presbiterio; e) Variante 2, Cagliari, San Giacomo, presbiterio; f) Variante 3, Monastir, San Pietro, cappella laterale.
Volta poligonale: g) Variante 1, Cagliari, Cattedrale, cappella laterale; h) Variante 2, Iglesias, San Francesco, presbiterio; i) Senorbi, Santa Barbara dettaglio del raccordo della cupola.

pendula assieme ai peducci è l'elemento più lavorato e decorativo dell'insieme voltato. In questo sistema le unghie che compongono la volta sono costituite da superfici rigate a piano direttore verticale (fig.3a)¹¹.

Variante 2: A differenza del caso precedente gli archi d'imposta sono circolari o ribassati a tre centri. Anche queste sono leggermente rialzate e definite da costoloni chiavi e peducci lavorati. Nelle volte di questo tipo le superfici delle unghie sono sferoidali. Esempi si possono osservare nella volta del presbiterio della parrocchiale di Romana, nelle volte del chiostro di San Domenico a Cagliari, in una cappella laterale nella parrocchiale di Ortacesus (fig. 3b).

Variante 3: Questo schema è in tutto simile alla variante 1 in cui vengono aggiunte delle nervature che collegano la chiave centrale con la chiave degli archi d'imposta. Quest'ultima è parte di un concio a "T" che prosegue nella nervatura e su cui è scolpita una gemma pendula decorativa che realizza il raccordo della chiave dell'arco

d'imposta con la nervatura (fig. 3c).

VOLTA STELLARE SU BASE QUADRATA O RETTANGOLARE

Variante 1: Lo schema di partenza i caratteri precedentemente indicati per la crociera semplice. Si costruiva generalmente tracciando in pianta prima le nervature principali e poi le nervature secondarie. All'incrocio tra le nervature secondarie è inserita una chiave secondaria, sempre in forma di gemma pendula, cosicché la volta presenta cinque chiavi. La chiave principale è sempre più grande di quelle in cui si incontrano le nervature secondarie. Anche queste ultime sono di spessore inferiore rispetto a quelle principali. Per quanto riguarda l'apparecchiatura della volta tra i costoloni si possono riscontrare due diversi modi di disporre le pietre. In un caso esse si dispongono con la dimensione maggiore perpendicolare rispetto all'arco d'imposta e mantengono tale orientamento fino al costolone principale, nell'altro le pietre cambiano leggermente direzione in corrispondenza del costolone secondario (fig.3d).

Variante 2.La crociera stellata con nove gemme è presente in due soluzioni differenti per composizione delle nervature. Entrambe sono soluzioni più elaborate della crociera a cinque gemme tuttavia nel caso della volta della capilla mayor della chiesa di San Giacomo a Cagliari (Fig.3e) le quattro gemme che completano il disegno si trovano nell'incrocio tra le nervature di completamento, che di fatto non appaiono avere funzione statica e le nervature principali. Nel secondo caso, presente nella chiesa di San Pietro a Monastir (fig.3f), le quattro gemme in più si trovano nei pressi della chiave dell'arco d'imposta come nel caso della crociera semplice con cinque gemme.

Variante 3.Un caso particolare di volta stellare, di cui sono rimaste solo le tracce in un disegno interpretativo, è andata distrutta durante la seconda guerra mondiale a causa dei bombardamenti del 1943. Si tratta della volta stellare a diciassette gemme che copriva la navata della chiesa di San Domenico a Cagliari.

VOLTA POLIGONALE

Variante 1. La volta è progettata e realizzata per la copertura di un ambiente di pianta poligonale. Esempi si possono osservare nella copertura dell'abside del Santuario di Bonaria a Cagliari e della chiesa di Santa Giulia a Padria. In queste la chiave della volta è rialzata rispetto a quelle degli archi d'imposta ogivali sui lati del poligono (fig. 3g).

Variante 2. La seconda soluzione è invece una volta poligonale su base rettangolare osservata nelle chiese di Santa Maria di Valverde e di San Francesco (fig. 3h) ad Iglesias. Il raccordo tra la parte voltata poligonale e la parte rettangolare viene realizzata con un tipo di piccola volta su base triangolare che verrà utilizzata in molti casi di chiese con cupola su base ottagonale al posto dei pennacchi sferici (fig. 3i).

Le volte più diffuse sono quelle su base quadrata e rettangolare. Sulla base di tali considerazioni

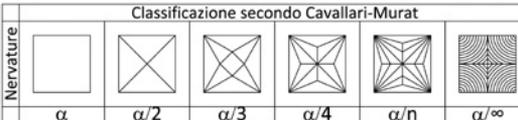
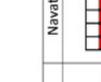
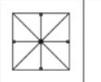
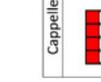
		Classificazione secondo Cavallari-Murat					
Nervature							
	α	$\alpha/2$	$\alpha/3$	$\alpha/4$	α/n	α/∞	
Varianti tipologiche sarde							
							
							
							

Figura 4. Classificazione delle volte sarde secondo le indicazioni di Cavallari-Murat.

è più utile soffermarsi su di esse e procedere ad un'attenta analisi e classificazione. Innanzitutto è possibile fare un raffronto delle diverse varianti secondo la classificazione proposta da Cavallari Murat (Fig.4). A conferma di quanto detto si nota che le volte sarde ricadono nei casi $\alpha/2$ e $\alpha/4$ ossia la croce semplice e quella stellare.

POSIZIONE DELLE VOLTE ALL'INTERNO DELLA FABBRICA

Le volte nervate sono utilizzate in diversi modi all'interno della chiesa tardogotica sarda. Le soluzioni più elaborate ed in particolare quelle su pianta poligonale sono dedicate alla copertura delle cappelle, siano esse presbiteriali o laterali. Le volte a crociera semplice o stellare a cinque gemme sono impiegate per la copertura di spazi a pianta quadrata o rettangolare, indifferentemente all'interno della fabbrica sia nelle cappelle sia nella navata. In alcuni casi, più rari, insistono su

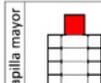
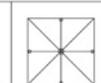
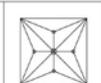
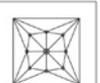
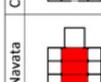
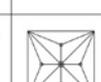
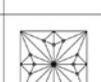
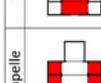
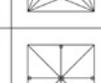
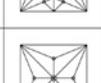
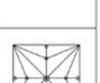
Capilla mayor					
Navata					
Cappelle					

Figura 5. Utilizzo delle varie tipologie di volta all'interno dell'edificio.

vani a pianta trapezoidale. La figura 5 riassume l'utilizzo delle varianti precedentemente descritte all'interno della fabbrica.

RELAZIONI PROPORZIONALI E DIMENSIONALI IN PIANTA

I sistemi proporzionali su cui si basa la composizione medievale sono basati sull'uso del doppio e triplo quadrato e di rettangoli a modulo 3/2, 5/3, 8/5 della serie di Fibonacci. Viollet le Duc fece notare come fossero espressioni comunemente usate dagli architetti gotici "ascendere ad quadratum" e "ascendere ad triangulum" per indicare modulazioni basate su quadrato e doppio quadrato o sul triangolo equilatero¹³. L'applicazione di un modulo del rettangolo, attraverso le serie armoniche, garantiva la perfezione dell'opera architettonica. Alcune di queste si basavano sul rettangolo aureo, altre sulla serie di Fibonacci. Nel nostro caso abbiamo ritenuto interessante applicare una serie di proporzioni che parte dalla frazione 1:2 e aggiunge successivamente una unità sia al numeratore che al denominatore della frazione, ottenendo le proporzioni successive 2:3, 3:4 e così via. Tale teoria, delineata nel manoscritto di Simón García, risulta essere frequentemente applicata nelle volte gotiche spagnole⁵.

Sulla base dei dati dimensionali ricavati dalla letteratura o da noi rilevati, abbiamo operato una classificazione in base alle dimensioni e proporzioni delle strutture. In questo ragionamento sono stati considerati 27 edifici situati prevalentemente nella città di Cagliari e nella sua provincia, ma anche in alcuni paesi dell'oristanese e del nuorese. L'obiettivo era individuare il sistema proporzionale più ricorrente nel dimensionamento delle piante voltate.

Dallo schema riportato in tabella figura 6, si evince come la tendenza prevalente è rivolta all'utilizzo del quadrato o di un rettangolo che poco si discosta da esso. Infatti vi è una ampia casistica di volte in cui il lato corto differisce dal lato lungo solo di 25-30 cm. Per quanto riguarda le volte rettangolari, la maggior parte è impostata su una planimetria di modulo 6:5

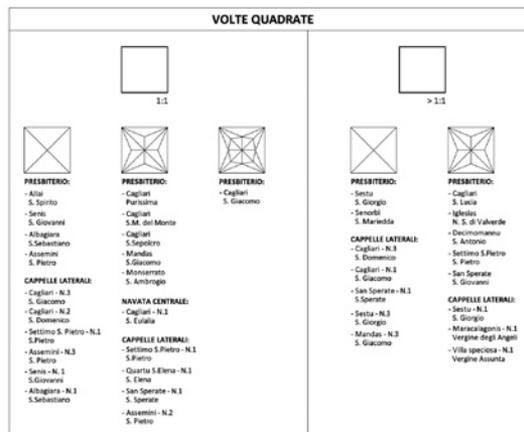


Figura 6. Proporzioni delle volte gotiche sarde a pianta quadrata.

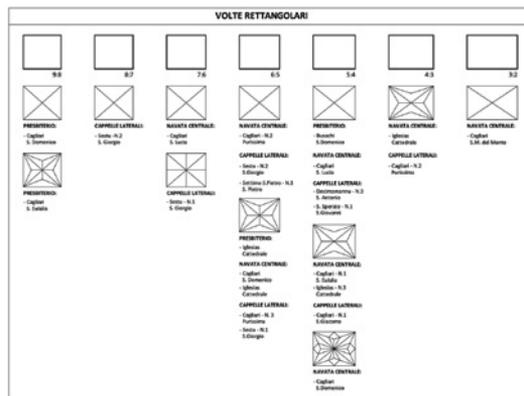


Figura 7. Proporzioni delle volte gotiche sarde a pianta rettangolare.

o 5:4. Nelle tabelle di figg.6 e 7 vengono inoltre individuate tutte le volte degli edifici studiati e disposte per tipologia, dimensione, posizione all'interno dell'edificio e sito in cui si trovano. Dallo schema si possono quindi ricavare diverse informazioni: ad esempio è evidente come la maggior parte delle volte si trovi nelle cappelle laterali o nel presbiterio, e abbia una forma a crociera semplice o stellata a 5 gemme. Le volte più complesse si trovano a Cagliari nelle chiese di San Giacomo e San Domanico. Vi sono poi alcune eccezioni di volte a pianta trapezoidale, della tipologia a crociera semplice e stellare, situate nelle cappelle laterali delle chiese di Santa Lucia e la Purissima a Cagliari, e nel presbiterio della chiesa di Santa Barbara a Furtei. È stato interessante operare un confronto dimensionale prendendo in considerazione l'ampiezza delle volte dei presbiteri (fig. 8), che al contempo danno un'idea della dimensione dell'aula di cui sono l'estremità. Tale scelta è dovuta anche al fatto che le cappelle laterali spesso venivano realizzate in diversi tempi rispetto alla fabbrica iniziale, per volere di un ricco proprietario piuttosto che di un rettore o vescovo, per cui le dimensioni potevano variare in funzione delle disponibilità economiche o di scelte condizionate da altri fattori. Le volte delle navate, invece, sono in numero molto ridotto per poter operare un confronto. Dall'analisi si può dedurre che la scelta della tipologia delle volte non dipendeva dalle dimensioni dell'edificio. Venivano infatti realizzate indifferentemente volte a crociera semplice e a cinque gemme anche in edifici di modeste dimensioni. Si può semplicemente osservare che si preferiva utilizzare le volte stellate su luci superiori 5,5 m. Applicando il metodo proporzionale codificato da Simón García si è potuto constatare che, seppure con alcune variazioni, la prassi costruttiva sarda trova molti punti di contatto con quella codificata dai trattati rinascimentali spagnoli. Inoltre il lavoro di confronto su basi geometriche ha consentito di individuare i parametri ricorrenti nel disegno della volta e di stabilire una procedura standard per la raccolta delle misure e la costruzione del modello 3D delle volte.

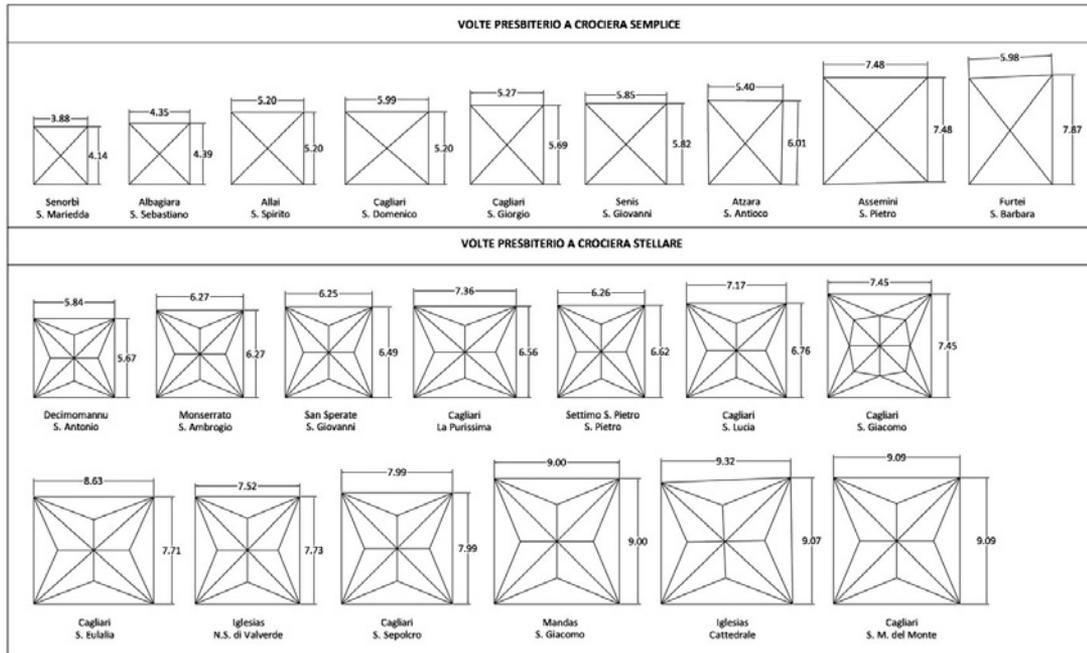


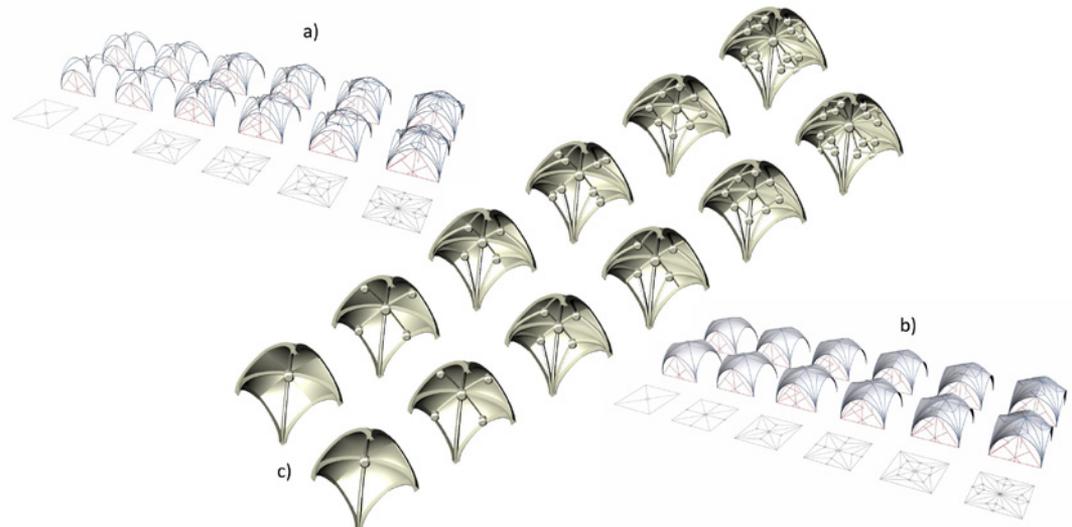
Figura 8. Dimensioni delle volte dei presbiteri.

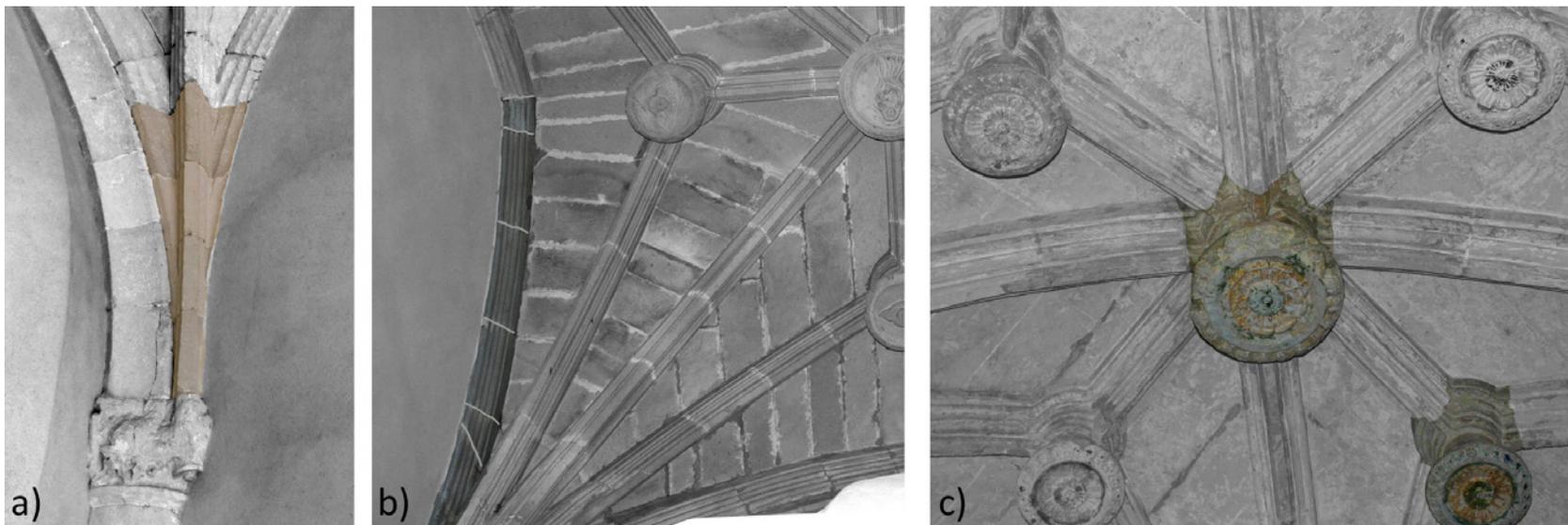
Figura 9. Fasi di modellazione delle volte. Caso teorico di volta su base quadrata rialzata con rampante piano o curvilineo e nervatura principale a tutto sesto. a) traccia delle nervature; b) realizzazione delle superfici; c) vista del modello completo di costoloni e chiavi.

IL DISEGNO DELLA VOLTA: CASI RILEVATI E CONFRONTO CON IL CASO TEORICO

La modellazione di una volta nervata assegnando a priori alcuni dati è abbastanza semplice. Tenendo presente la costruzione suggerita dai trattatisti si possono tracciare le porzioni dei diversi archi nello spazio e poi costruire le superfici tra essi racchiuse. Le nervature vengono costruite per estrusione del profilo modanato lungo la curva del costolone, e le chiavi con gemma pendula per rivoluzione. Dunque, assegnata la pianta su cui insiste la volta e la freccia degli archi d'imposta ogivali, supponendo che la nervatura principale sia un semicerchio, la costruzione ricalca quella vista in figura 1b.

Nel modellare una volta costolonata reale non è possibile rilevare direttamente la freccia della volta per via della presenza della chiave, e nemmeno la quota d'imposta per la presenza dei peducci. Si può tuttavia ricavare la curvatura





dell'intradosso dei costoloni rilevando con le proiezioni a terra le quote di almeno tre punti per ogni costolone curvilineo. In questo modo è possibile tracciare un arco passante per tre punti per ogni costolone. L'arco incontrerà le pareti verticali e individuerà l'imposta, mentre la sua intersezione con gli altri archi darà la posizione del punto di chiave. Si ricava così la rete delle curve su cui si potrà procedere all'estrusione dei profili modanati. Al di sopra di essi si troverà l'intradosso delle porzioni di volta e si potrà procedere alla modellazione delle superfici tra i costoloni.

Le volte reali da noi documentate si discostano dal caso teorico nei seguenti aspetti: gli archi diagonali sono in molti casi ogivali e non a tutto sesto, come del resto si riscontra anche in un gran numero di casi spagnoli; la traccia delle nervature secondarie in qualche caso non ricalca la bisettrice d'angolo con scarti che si aggirano intorno a 1 o 2 gradi. Tuttavia i dati finora in nostro possesso non sono in numero tale da consentirci di elaborare una casistica come quella presentata

per le piante. Infatti, per molti dei rilievi ricavati dalla letteratura si riscontrano carenze nella documentazione delle sezioni delle volte, e anche per quelle documentate non è possibile stabilire come è stata tracciata la curvatura degli archi. In questo senso il metodo di raccolta delle misure descritto in precedenza vuole essere un suggerimento per chi si accinge ad eseguire un rilievo diretto delle volte (caso frequentemente adottato per esiguità dei costi si esecuzione), affinché tenga presente l'apparecchiatura spaziale delle stesse e non proceda ad approssimazioni nella determinazione delle diverse curvature.

TAGLIO DELLA PIETRA: COSTOLONI, ARCHI D'IMPOSTA, MODANATURE, CHIAVI

Scendendo nei dettagli costruttivi si possono rilevare le seguenti particolarità ricorrenti nella maggior parte dei casi delle volte che si insistono su piante quadrate e rettangolari. L'imposta dei costoloni è nascosta dalla presenza dei peducci lavorati. Il concio del peduccio è il punto al

disopra del quale si dipartono i costoloni. Immediatamente sopra il peduccio i costoloni iniziano a comparire e l'inizio della ramificazione è scolpita in un unico concio. La ramificazione prosegue su un concio unico fino all'altezza delle reni. I ricorsi tra i vari conci compresi tra l'imposta e le reni sono orizzontali (fig.10a). Superata tale quota ciascun costolone prosegue indipendentemente uno dall'altro e i diversi elementi sono tagliati secondo le regole della stereotomia della pietra per la costruzione degli archi¹⁴. Tuttavia non sempre vengono impiegati conci di uguale dimensione (fig. 10b). La realizzazione dei conci di chiave era sicuramente una fase cui veniva dedicata molta cura, sia per i caratteri decorativi che esse rivestono nell'insieme voltato, sia per l'importanza nell'apparecchio delle nervature. Il concio di chiave racchiude l'avvio dei costoloni (fig. 10c). Occorre inoltre notare che le chiavi hanno la parte inferiore parallela al piano d'imposta e non rivolta verso il centro di curvatura della volta,

Figura 10. Diverse tipologie di conci lavorati nell'architettura della volta: a) conci dall'imposta alle reni, b) conci dei costoloni e degli archi d'imposta, c) conci di chiave.

come invece accade in molti casi spagnoli. Da un punto di vista pratico è possibile ipotizzare che la traccia della volta venisse disegnata in scala reale sul terreno in modo da agevolare i tagliatori nella preparazione dei diversi conci lavorati necessari al completamento della fabbrica. Quelli elencati sono aspetti che si riscontrano anche nel caso teorico come illustrato da J. C. Palacios¹⁵ in un recente articolo in cui propone l'esperienza didattica di costruzione fisica di una volta secondo le indicazioni dei trattatisti.

CONSIDERAZIONI FINALI

Lo studio fin qui svolto ha portato alla codificazione di un insieme di regole geometriche e proporzionali ricorrenti, ricavate dagli edifici stessi, che consentano una corretta interpretazione degli spazi ed un corretto disegno. Al contempo si è potuto constatare che, seppur con delle regole fisse e ricorrenti, in ogni fabbrica il costruttore aveva libera scelta nel posizionare la tipologia di volta nei diversi ambienti della chiesa

cosicché l'impianto planimetrico, seppur con lo stesso schema di base, risulta diversificato in tutti gli edifici presi in considerazione. Ognuno ha una sua originalità che si enfatizza poi negli elementi decorativi propri dei peducci, delle imposte d'arco, dei capitelli, ecc..

In conclusione l'analisi ha evidenziato risultati che mostrano come la coerenza di disegno lascia spazio all'invenzione che di volta in volta permette al costruttore di realizzare un edificio con caratteristiche uniche utilizzando proporzioni e geometrie ricorrenti adattandole alle forme generali della chiesa.

I costruttori gotici di provenienza catalana hanno codificato in Sardegna un repertorio di forme talmente vasto e articolato che, seppur riferito a principi geometrici codificati nella loro terra di provenienza, hanno sviluppato una certa libertà di espressione architettonica che si è poi manifestata in numerosissime fabbriche ognuna con un proprio carattere distintivo.

Dal punto di vista specifico del disegno e della

costruzione della volta, si è potuto constatare come l'apparecchio della volta e in particolar modo di quelle del XV e XVI secolo segue le norme che sono poi state codificate nei trattati spagnoli di fine '500 a dimostrazione del fatto che all'interno del gruppo dei costruttori queste regole non scritte erano ben note ed applicate. È importante notare come il disegno e l'uso delle "proiezioni associate"¹⁶ fossero correntemente utilizzati per il dimensionamento e la realizzazione della volta.

La ricerca in definitiva pone le basi per ulteriori approfondimenti che mettano in relazione i risultati qui ottenuti con gli altri elementi relativi alla natura dei materiali di cui sono composte le volte studiate, anche in relazione alla loro capacità statica, trovando nuovi spunti per approfondire lo studio dell'architettura tardo gotica sarda. L'analisi dimensionale così condotta, inoltre, traccia una via di ricerca parallela a supporto di quella storica che soffre della mancanza quasi totale di notizie e di nomi.

NOTE

Gli autori precisano che il contributo è da intendersi sviluppato in egual misura da entrambi.

[1] Cundari, Cesare (2007), L'architettura di età aragonese nell'Italia centro meridionale, *Rapporto conclusivo*, vol. 9, Edizioni Kappa, Roma.

[2] Segni Pulvirenti, Francesca. Sari, Aldo (1994), *Architettura tardogotica e d'influsso rinascimentale*. Iliisso, Nuoro.

[3] Viollet-Le-Duc, Eugène Emmanuel (1854), *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du Xle a lXVle siècle*, B. Bance.

[4] Cavallari-Murat, Augusto (1964), *Static intuition and formal imagination in the special frames of the gothic vaults with nerves*, in *Bulletin of the international association for shell structures*, n.12, Madrid.

[5] Palacios Gonzalo, Jose Carlos (2009), *La cantería Medieval. La construcción de la Bóveda gótica española*, Editorial Munilla, Leria.

[6] Huerta Fernández, Santiago (2002), *The medieval 'scientia' of structures: the rules of Rodrigo Gil de Hontañón*, in *Towards a History of Construction. Between Mechanics and Architecture*. Birkhäuser-Verlag, Basel, Suiza, pp. 567-585.

[7] Sito web: <http://villarddehonnecourt.free.fr/>

[8] Casu, Serafino. Dessi, Antonio (1980), *Proposta per la classificazione di organismi ed elementi strutturali*, nell'architettura religiosa in Sardegna dal XIII al XVI secolo, in *Atti della Facoltà di Ingegneria*, vol. 14, anno VIII, n.2 ottobre 1980, *Littografia Trois*, Cagliari.

[9] Casu, Paola (2007), *Presenze tardogotiche in provincia di Oristano*, in Montaldo, Gianni. Casu, Paola. (a cura di) *L'architettura di età aragonese nell'Italia centro meridionale*, *Architettura Catalana in Sardegna*, vol. 4, Edizioni Nuove grafiche Puddu, Ortacesus (CA), pp. 89-90.

[10] Pisu, Claudia (2007), *La Provincia di Nuoro*, in Montaldo, Gianni.

Casu, Paola. (a cura di) *L'architettura di età aragonese nell'Italia centro meridionale*, *Architettura Catalana in Sardegna*, vol. 4, Edizioni Nuove grafiche Puddu, Ortacesus (CA), pp. 105-106.

[11] Migliari, Riccardo. Fallavollita, Federico. (2009), *Gli archi e le volte*, in Migliari, Riccardo, *Geometria descrittiva volume II tecniche e applicazioni*, Città Studi edizioni, Novara, pag 457.

[12] Huerta Fernández, Santiago (2009), *The Debate about the Structural Behaviour of Gothic Vaults: From Viollet-le-Duc to Heyman*. In: *Third International Congress on Construction History*, Cottbus, 20-24 May 2009, 20-24 Mayo 2009, Cottbus 2009.

[13] Bairati, Cesare (1952), *La simmetria dinamica: scienza ed arte nell'architettura classica*. Milano. p.338.

[14] Trevisan, Camillo (2011), *Per la Storia della stereotomia. Geometrie metodi e costruzioni*, Aracne Editrice, Roma.

[15] Palacios, Jose Carlos, Martín, Rafael (2009), *La construcción de una bóveda de crucería en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid*, in *Informes de la Construcción*, Vol. 61, 515, 49-58, julio-septiembre 2009.

[16] Salvatore, Marta, Trevisan, Camillo (2009), *Stereotomia della pietra*, in Migliari Riccardo, *Geometria descrittiva volume II tecniche e applicazioni*, Città Studi edizioni, Novara, pp. 485-561.

BIBLIOGRAFIA

Aprato, Giovanni (1959). *Guida pratica per la conoscenza degli stili nell'arte*, parte seconda. Quarta edizione, Torino.

Akerman, James S. (2002), *Architettura e disegno. La rappresentazione da Vitruvio a Gehry*. Translated by Bianciardi Laura, Marconi Nicoletta, Zizi Margherita. Milano. Electa. 275 p. *Architetti e Architettura. Translation of Origins, Imitation, Conventions*.

Bairati, Cesare (1952). *La simmetria dinamica: scienza ed arte nell'architettura classica*. Milano. p.338.

Calvo López, Juan. *Orthographic projection and true size in Spanish stonemasonry manuscripts*. En: *International Congress on Construction History (1º: 2003: Madrid)*. *Proceedings of the first International Congress on Construction History* : Madrid: 20th-24th January 2003. Madrid: Instituto Juan de Herrera. 2003. p. 461-471

Casu, Paola (2007), *Presenze tardogotiche in provincia di Oristano*, in Montaldo, Gianni. Casu, Paola. (a cura di) *L'architettura di età aragonese nell'Italia centro meridionale*, *Architettura Catalana in Sardegna*, vol. 4, Edizioni Nuove grafiche Puddu, Ortacesus (CA), pp. 89-90.

Casu, Serafino. Dessi, Antonio (1980), *Proposta per la classificazione di organismi ed elementi strutturali*, nell'architettura religiosa in Sardegna dal XIII al XVI secolo, in *Atti della Facoltà di Ingegneria*, vol. 14, anno VIII, n.2 ottobre 1980, *Littografia Trois*, Cagliari.

Cavallari – Murat, Augusto (1964), *Static intuition and formal imagination in the special frames of the gothic vaults with nerves*, in *Bulletin of the international association for shell structures*, n.12, Madrid.

Cundari, Cesare (2007), *L'architettura di età aragonese nell'Italia centro meridionale*, *Rapporto conclusivo*, vol. 9, Edizioni Kappa, Roma.

De Rosa, Agostino. Sgrosso, Anna,

Giordano, Andrea (2000), *La Geometria nell'immagine. Storia dei metodi di rappresentazione*. Dall'antichità al Medioevo. UTET, Torino, pp. 154-207.

Di Paola, Francesco (2007), *Approfondimenti e confronti geometrici sugli archi ribassati in architetture palermitane*, in D'Alessandro, Maria (a cura di), "L'Architettura di età aragonese nell'Italia Centro-Meridionale, verso la costituzione di un sistema informativo territoriale documentario ed iconografico - L'Architettura di età aragonese nel Val di Mazara", Ed. Caracol, Palermo, pp. 125-144

Docci, Mario. Maestri, Diego (2009), *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Nuova edizione ampliata, Roma.

Frankl, Paul (2000), *Gothic Architecture*, Yale University Press, p. 408.

Galizia, Mariateresa (2007), *Il Castello di Mussomeli: un'architettura chiaromontana edificata sulla roccia*, in Andreozzi, Luigi (a cura di), *Verso un repertorio dell'architettura catalana*. Vol 3, *Architettura catalana in Sicilia*, province di Caltanissetta, Catania, Enna, Messina, Palermo, Aracne editrice, Roma.

Hembidge, Jay (1919), *The elements of dynamic symmetry*, Yale university press, p.133.

Huerta Fernández, Santiago (2009), *The Debate about the Structural Behaviour of Gothic Vaults: From Viollet-le-Duc to Heyman*. In: *Third International Congress on Construction History*, Cottbus, 20-24 May 2009, 20-24 Mayo 2009, Cottbus 2009.

Huerta Fernández, Santiago (2002), *The medieval 'scientia' of structures: the rules of Rodrigo Gil de Hontañón*, in *Towards a History of Construction. Between Mechanics and Architecture*. Birkhäuser-Verlag, Basel, Suiza, pp. 567-585.

Inzerillo, Laura (2007), *Il Gotico Chiaramontano ed Aragonese nella Sicilia occidentale: geometrie a confronto*, in D'Alessandro, Maria (a cura di), *L'architettura di età arago-*

nese nell'Italia centro meridionale. L'architettura di età aragonese nel Val di Mazara. vol. 6, Caracol, Palermo, pp. 35-80

Lo Turco, Massimiliano. Garzino, Giorgio. Spallone, Roberta (2011). *Strategie digitali per modelli conoscitivi*, in Garzino, Giorgio (a cura di), *Disegno (e) in formazione*. Disegno Politecnico, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, pp. 70-111.

Lurçat, André (1953-57), *Formes composition et lois d'harmonie. Éléments d'une science de l'esthétique architecturale*, Vincent, Fréal&Cie Paris, 5 vol.

Migliari, Riccardo. Fallavollita, Federico (2009), *Gli archi e le volte*, in Migliari, Riccardo, *Geometria descrittiva volume II tecniche e applicazioni*, Città Studi edizioni, Novara, pag 457.

Mira, Eduardo. Zaragoza Catalàn, Arturo (2003), *Una Arquitectura gotica mediterranea*, *Comunicadva lenciana*, Catalogo de la Expositió, 2 vols. Valencia, Conselleria de Cultura y Educació.

Padovan, Richard (2008), *Proportion: science, philosophy, architecture*, Routledge, New York.

Palacios Gonzalo, José Carlos. (2009), *La cantería Medieval. La construcción de la Bóveda gótica española*, EditorialMunilla, Leria.

Palacios, José Carlos. Martín, Rafael (2009), *La construcción de una bóveda de crucería en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid*, in *Informes de la Construcción*, Vol. 61, 515, 49-58, julio-septiembre 2009.

Pisu, Claudia (2007), *La Provincia di Nuoro*, in Montaldo, Gianni. Casu, Paola (a cura di), *L'architettura di età aragonese nell'Italia centro meridionale*, *Architettura Catalana in Sardegna*, vol. 4, Edizioni Nuove grafiche Puddu, Ortacesus (CA), pp. 105-106.

Salvatore, Marta. Trevisan, Camillo. (2009), *Stereotomia della pietra*, in Migliari Riccardo, *Geometria descrittiva volume II tecniche e applicazioni*, Città Studi edizioni, Novara,

pp. 485-561. Santagati, Cettina (2007), *Il reale e la sua rappresentazione attraverso l'informatica*, Il Lunario, Enna.

Segni Pulvirenti, Francesca. Sari, Aldo (1994), *Architettura tardogotica e d'influsso rinascimentale*. Iliisso, Nuoro.

Serra, Renata (1996), *Le parrocchiali di Assemini, Sestu e Settimo San Pietro*. Note per una storia dell'architettura tardogotica in Sardegna. *Atti del XIII Congresso di Storia dell'Architettura*, Roma, vol.2.

Soler Sanz, Felipe (2009), *I tracciati geometrici*, in *Disegnare idee e immagini*. 2009, n° 38, p. 12-21.

Sito web: <http://villarddehonnecourt.free.fr/>

Trevisan, Camillo (2011), *Per la Storia della stereotomia. Geometrie metodi e costruzioni*, Aracne Editrice, Roma.

Vernizzi, Chiara (2007), *Considerazioni sul rilevamento per la valutazione strutturale di architettura storica monumentale: le volte della navata centrale del Duomo di Parma*, in *Disegnare. Idee, immagini. Rivista Semestrale del Dipartimento RADAAR*, Università di Roma La Sapienza, N. 35/2007, Gangemi Editore, Roma, pp. 74-85

Viollet-Le-Duc, Eugène Emmanuel (1854), *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du Xle a lXVle siècle*, B. Bance.