



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

LABORATORIO DI RESTAURO 1 – RESTORATION WORKSHOP II

Corso di Laurea Magistrale, quinquennale

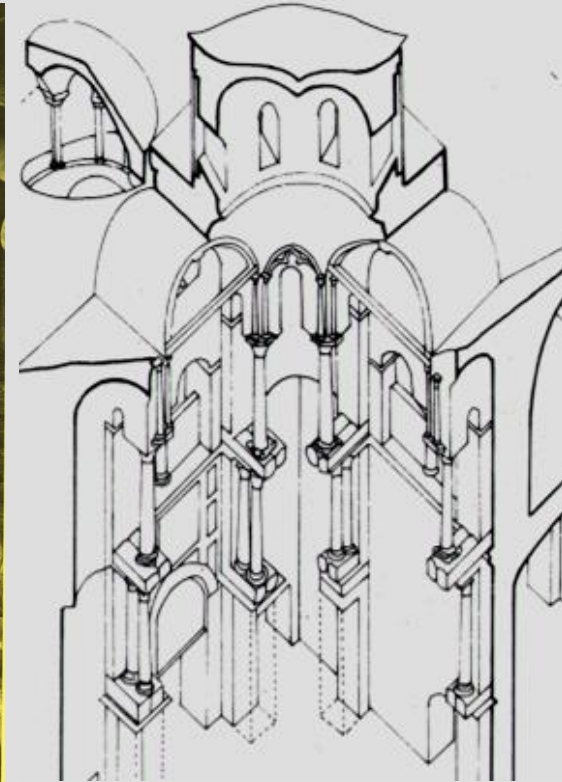
ARCHITETTURA (CLASSE LM-4 C.U.)

Prof. Arch. Giuseppe A. Centauro

B015351 – a. a. 2019 / 2020

Le strutture voltate: archi, volte e cupole

Gli elementi strutturali



Docenti: Prof. Giuseppe Alberto Centauro e Prof. Silvio Van Riel

Tutor: Ph.D Arch. Andrea Bacci, Arch. Francesco Masci
e con la collaborazione di: Arch. Luca Brandini



Nel panorama dell'architettura storica l'elemento strutturale formato dagli archi, dalle volte e dalle cupole rappresenta l'episodio costruttivo più importante nell'edilizia storica.

In questa lezione, pur nella brevità della trattazione, si cercherà di fornire una serie di informazioni sul comportamento strutturale di questi elementi nell'ambito delle vicende costruttive della storia del costruito.



L'arco

L'arco è, nell'ambito della componente portante di una fabbrica architettonica, una struttura curvilinea spingente vincolata in due punti; in certi casi il termine si estende impropriamente anche a strutture analoghe non spingenti.

La questione specifica dell'origine dell'arco diviene perciò secondaria di fronte all'impiego cosciente sistematico e originale che di esso fece l'architettura romana, giungendo a realizzazioni tecnicamente arditissime e di grande valore monumentale ed estetico.

Sensibili progressi tecnici furono consentiti dall'uso delle malte pozzolaniche, che davano una reazione idraulica, come legante e dalla riduzione delle dimensioni dei conci fino all'adozione del mattone.

L'arco romano più tipico è a **tutto sesto**, spesso anche **estradosato**; non mancano però **piattabande** e **archi ribassati**, specie con funzione di scarico, figura 1.

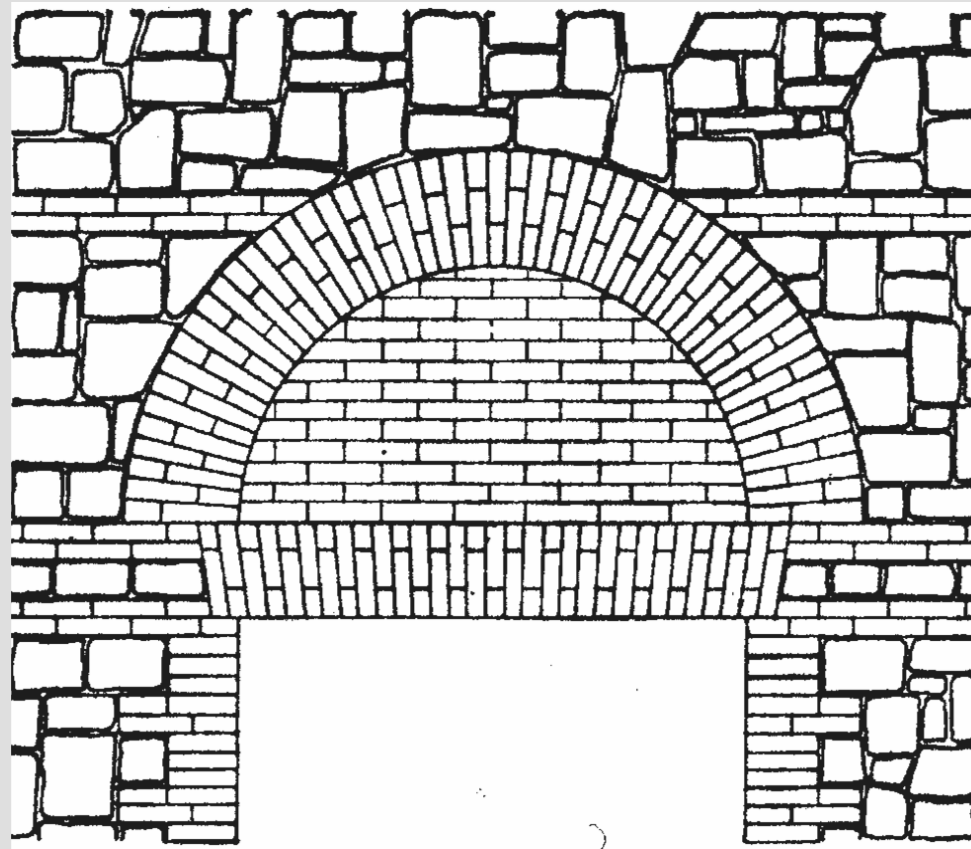


Fig. 1 - Arco di scarico.



Come apertura “ritagliata” nella cortina muraria, la struttura è di norma sostenuta da pilastri; sebbene già documentato a Pompei, solo nel tardo Impero si diffonde l'uso di impostarli su colonne, sia in serie, sia singoli a interruzione di un architrave rettilineo.

La tradizione dell'uso dell'arco e delle volte, rinnovata dal Medioevo per l'introduzione di forme e tipi estranei al mondo romano, nati per lo più in Oriente (India), diffusi dalla cultura araba e ripresi principalmente dall'architettura gotica (archi oltrepassati, acuti, lobati, ecc.), rimase operante in tutto il mondo occidentale fino al secolo XIX.



L'architettura moderna, anche per i rivolgimenti tecnici e l'impiego di nuovi materiali, ha praticamente eliminato dal suo linguaggio espressivo l'arco, adottato ancora soltanto per soluzioni particolari, funzionali o estetiche.

Anche nelle opere di ingegneria stradale, nonostante esempi di grande valore, l'arco tende a essere sostituito oggi da strutture rettilinee di conglomerato precompresso o in acciaio.

Gli elementi che compongono l'arco hanno una nomenclatura ben definita, di seguito indicata.



L'**intradosso** o **imbotte** identifica la superficie curva interna; i due termini, possono indicare anche la proiezione ortogonale di tale superficie, che è comunemente detta **sesto**.

L'**estradosso** è la curva esterna; quando la superficie esterna è libera, l'arco si definisce **estradosato**.

Lo **spessore** è la distanza fra intradosso ed estradosso, che può non essere uniforme.

Si identifica con **asse** la curva luogo dei baricentri delle successive sezioni normali all'arco.

I **piedritti** o **spalle** sono i sostegni su cui poggiano le due estremità dell'arco.



L'**imposta** è la superficie di appoggio dell'arco sul piedritto, il piano su cui giacciono le imposte è definito **piano d'imposta** e **peducci** i conci sotto il piano d'imposta.

Le **reni** sono le parti dell'arco prossime all'imposta, in particolare la sezione a 30° , e la sommità dell'intradosso, si chiama **chiave**.

La **freccia** o **monta** è la distanza fra l'intradosso e il piano d'imposta mentre la **luce** o **corda** o **portata** identifica la distanza fra i piedritti all'altezza dell'imposta.

Gli **archivolti** individuano le due facce, generalmente parallele e perpendicolari alla generatrice, mentre le **fronti** sono le superfici su cui esse giacciono, la distanza tra le fronti costituisce la **larghezza** dell'arco.



Nell'ambito della scienza delle costruzioni l'arco identifica un solido generato da una figura piana che si muove perpendicolarmente alla traiettoria del proprio baricentro (asse).

Si deve inoltre verificare che questi sia una linea continua e piana il cui raggio di curvatura sia, in ogni punto definito, rispetto alle dimensioni della sezione generatrice, e che tale sezione sia costante oppure vari con continuità lungo tutta la struttura dell'arco.

L'arco può assumere forme diverse, alle quali corrisponde per lo più un diverso comportamento statico: esse hanno perciò spesso, oltre al valore estetico e stilistico, una precisa funzione strutturale. (figura 2)

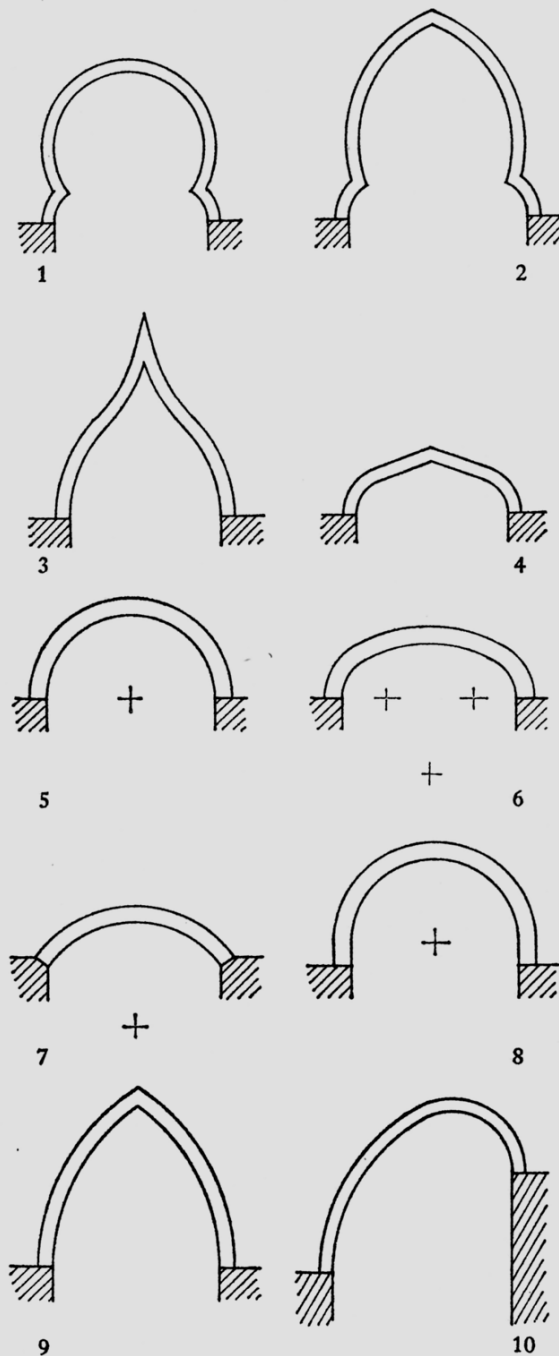


Fig. 2 - Forme di arco:

- 1) moresco a ferro di cavallo;
- 2) moresco acuto;
- 3) composto;
- 4) Tudor;
- 5) a tutto sesto;
- 6) policentrico;
- 7) a sesto scemo o ribassato;
- 8) a tutto sesto con piedritto;
- 9) a sesto acuto;
- 10) a collo d'oca.



La più importante espressione relativa all'arco, è:

f freccia: più piccola è la freccia e più grande sarà la spinta, a parità di carico;

d distanza della risultante dalla verticale passante per le reni: più piccola sarà *d* (quanto più la risultante dei pesi si avvicina alle reni) e più piccola sarà la spinta, a parità di carico.

È dall'aver ben compreso questa espressione che si può cogliere il migliore o peggiore funzionamento dell'arco, perché da essa deriva che l'aumento del peso del rinfiango, soprattutto se spostato verso le reni, fa diminuire la spinta, sia in chiave che alle reni e sul piedritto.



La volta

In architettura il termine volta individua qualsiasi struttura di copertura le cui principali caratteristiche siano la concavità della superficie interna e l'azione laterale di spinta degli elementi che la costituiscono.

Essi sono analoghi a quelli dell'arco:

intradosso, la superficie concava interna;

estradosso, la superficie convessa esterna;

piano di imposta, il piano corrispondente alla prima sezione piana;

chiave o *cervello*, il punto più alto della curvatura;

reni, i settori compresi a lato tra il piano d'imposta e un terzo della luce.



Sulle caratterizzazioni formali delle superfici di intradosso si fonda la classificazione dei vari tipi di volta, i quali possono essere raggruppati in **strutture semplici** (a botte, a cupola, a catino, a bacino, a vela, ecc.) e **composte**, derivanti dalla intersezione di volte semplici (a crociera, a padiglione, a gavetta, a schifo, a ombrello, lunetta, ecc.).

La copertura a superficie ricurva compare risolta con sistema statico primitivo per sovrapposizione di cerchi concentrici nelle più antiche civiltà della protostoria asiatica e mediterranea; è nota come ***pseudovolta*** e ***pseudocupola***.

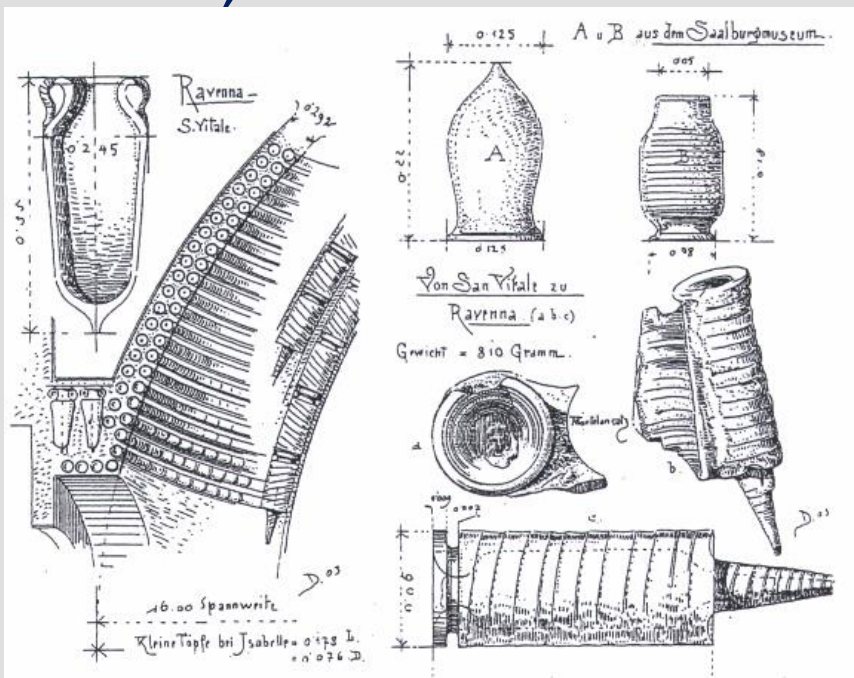
I primi rudimentali tentativi di costruire vere e proprie volte sembra debbano essere ricercati tra i Sumeri, nell'Egitto antico e nella Persia.



Quasi completamente assente nell'architettura greca trovò invece applicazione costruita in pietra, in laterizi o in conglomerato cementizio ***opus caementicium*** presso i Romani, i quali si riallacciarono ad una antica tradizione etrusco italiana e svilupparono il problema giungendo in epoca imperiale a sistemi di grande interesse sia dal punto di vista tecnico che da quello spaziale.

La graduale padronanza nell'uso dei materiali, dal sistema delle prime volte di tipo quasi monolitico portò, i costruttori romani, alla realizzazione del sistema statico costolonato, usato dal I° secolo a.C., adottato per frazionare i pesi della calotta e scaricarli tramite la nervatura sui punti nodali contrastati dai contrafforti, speroni o barbacani.

L'architettura bizantina fu la prima in ordine di tempo a riallacciarsi agli schemi costruttivi romani, con apporti di tradizioni tecniche e artistiche provenienti dalla Siria, dall'Armenia e dall'Egitto. Frequente la volta leggera, realizzata mediante l'uso di laterizi vuoti, aventi forma cilindrica infilati l'un l'altro e affogati in un unico getto di malta, figure 4, 5.



Figg. 4, 5 - Disegni del Durm sulla sezione della cupola di San Vitale con i particolari dei tubi fittili e vista fotografica di una porzione di cupola. Ravenna, chiesa di San Vitale.



Dalle strutture della **volta a crociera** partirono i costruttori lombardi e poi romanici che svilupparono il tipo di organismo architettonico della chiesa a campate in cui il sistema statico, che scarica il peso della copertura centrale attraverso le campate laterali sul muro perimetrale, si avvale degli stessi accorgimenti costruttivi presenti negli edifici romani.

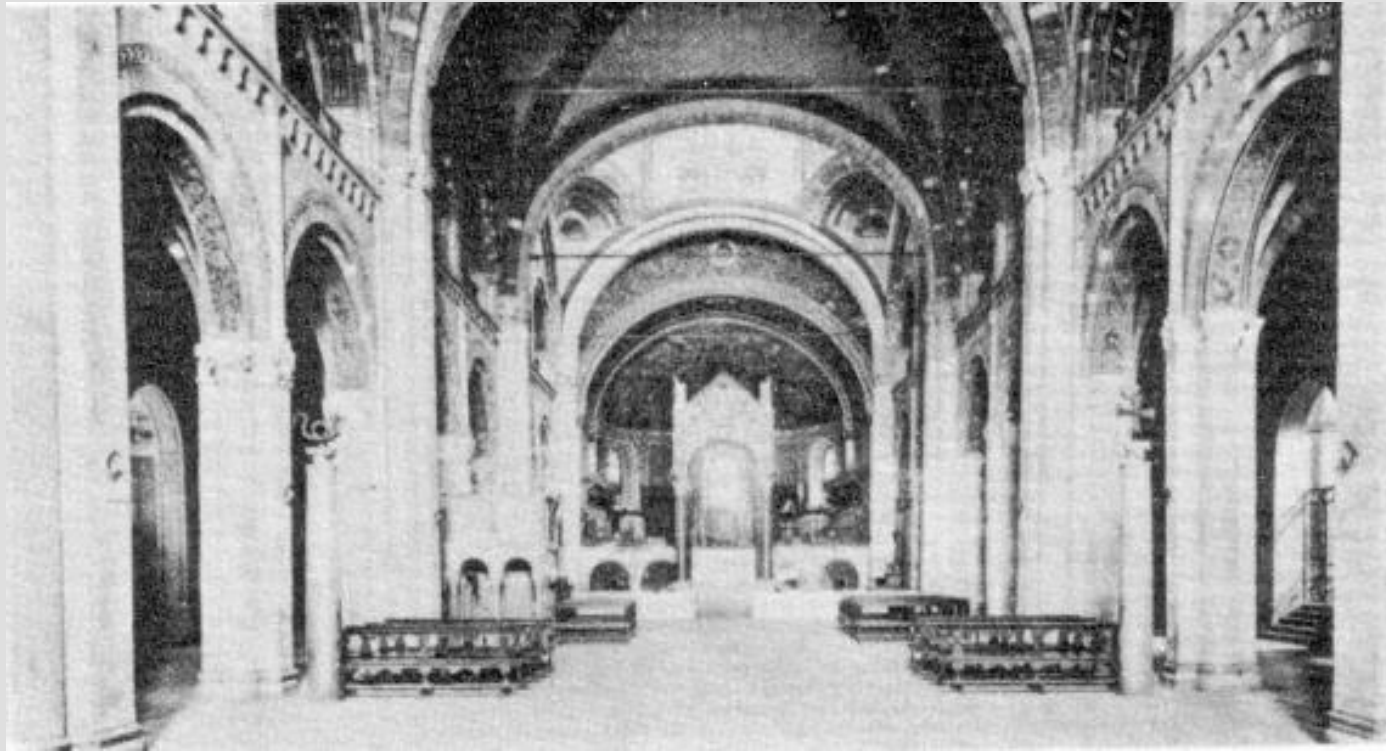


Fig. 6 - Navata centrale con volte a crociera. Milano, chiesa di Sant'Ambrogio.

Il sistema, fu portato alle estreme conseguenze dagli architetti gotici, strutturalmente reso più agevole dall'uso dell'arco acuto.

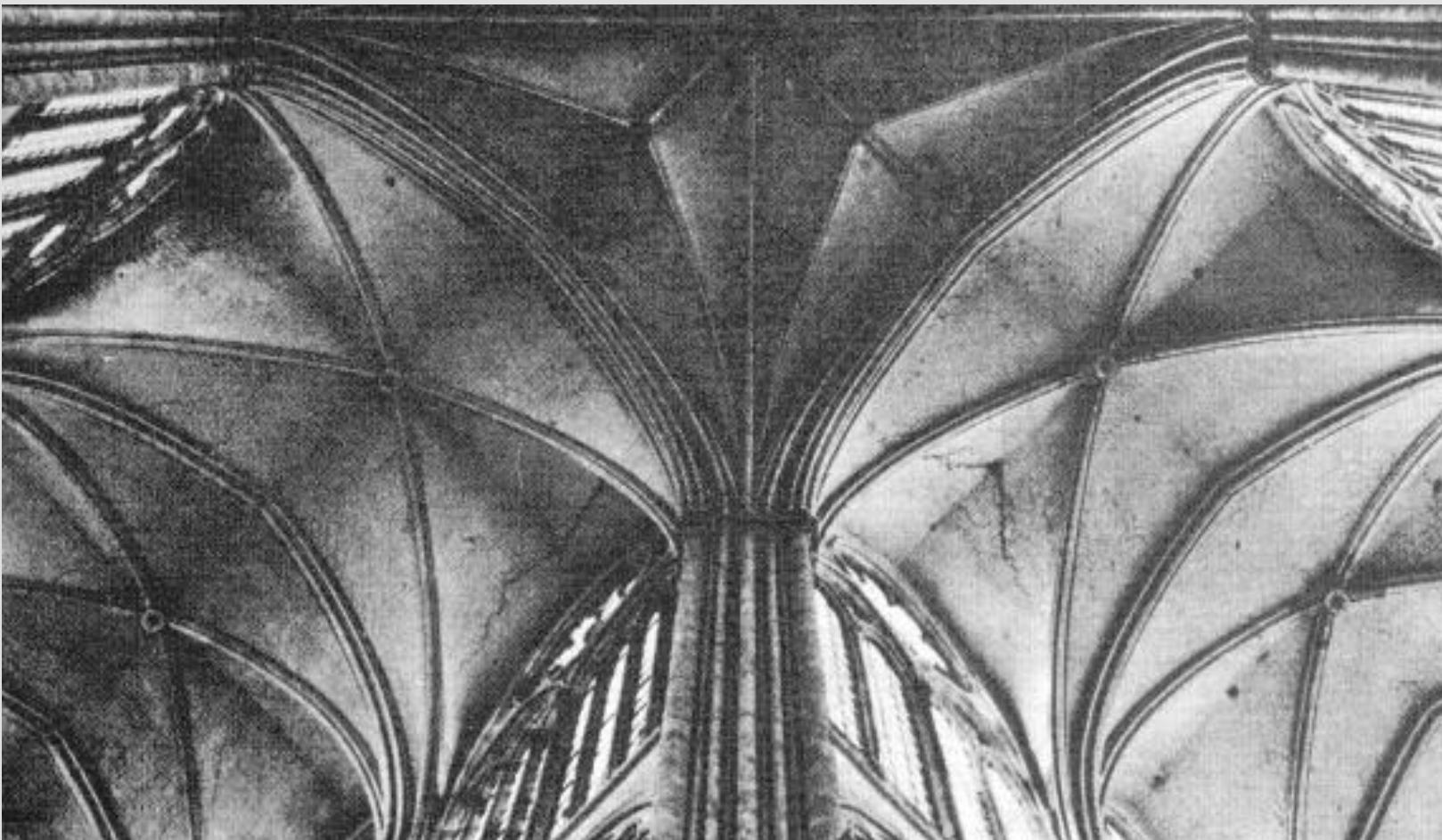


Fig. 7 - Volte a crociera a sesto acuto. Amiens, cattedrale.



Il **Rinascimento** segnò un ritorno ai modelli antichi; le grandi superfici ricurve delle coperture furono chiamate a chiudere involucri spaziali prospetticamente definiti e raccolti.

Furono prescelte le coperture a botte e a cupola per le quali furono elaborati sistemi tecnici di grande effetto monumentale.

Il '600 e il '700 non portarono novità di rilievo se non dal punto di vista della elaborazione formale e strutturale.



L'introduzione del ferro e del cemento armato ha sostanzialmente eliminato il problema architettonico della volta in senso tradizionale ed ha aperto infinite possibilità di soluzioni nuove in campo tecnico e stilistico.

In special modo l'uso del cemento armato, più adatto a plasmare superfici ricurve, grazie alle proprietà di resistenza non solo alla **compressione** ma anche alle sollecitazioni di **trazione** e di **flessione**, ha consentito agli architetti una libertà formale ed espressiva pressoché illimitata.



Tipi strutturali di volta

Le principali tipologie costruttive delle volte trovano una identificazione strutturale nella forma che sviluppano nello spazio: a botte, a crociera, a bacino, a costoloni, ecc.

In questo caso faremo riferimento ai principali tipi strutturali di volta, che più facilmente si possono incontrare nella nostra esperienza professionale.

A BOTTE: semplice, a matrice cilindrica, derivata direttamente dall'arco del quale ha le stesse caratteristiche strutturali; definita come risultante dal moto di una figura piana, limitata da due generatrici, coincidenti con i lati di imposta, e da due archi di direttrice.

La sua forma è definita dalla direttrice a **tutto sesto** o **cilindrica** nella accezione più comune, ma può anche configurarsi come **volte a botte a sesto acuto, a sesto semiellittico, ribassato, ecc.** figure 8, 9 e 10.

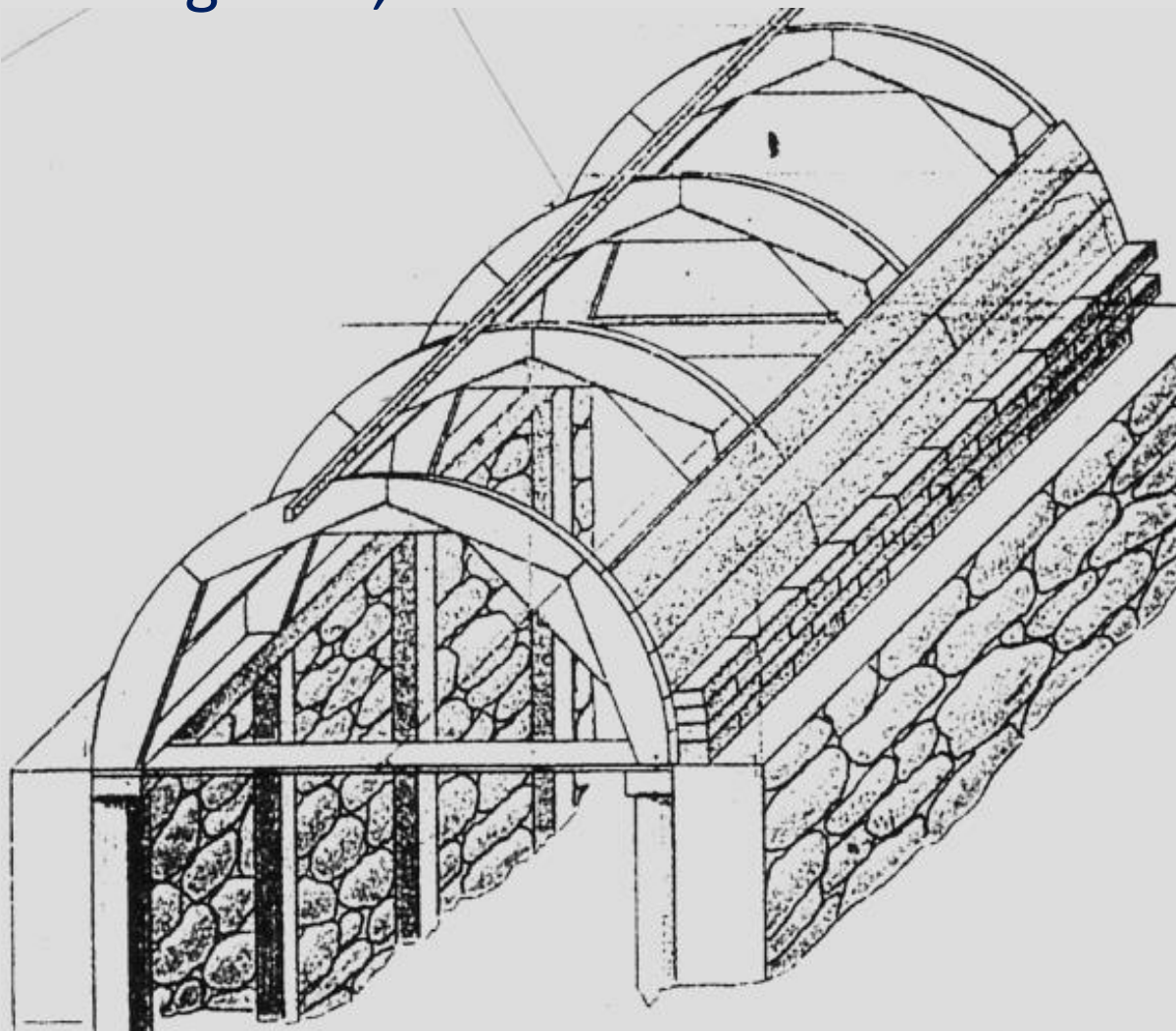


Fig. 8 – Schema di centinatura per la costruzione di una volta a botte in muratura.

Fig. 9 - Schema strutturale di una volta a botte in muratura con nervature di rinforzo.

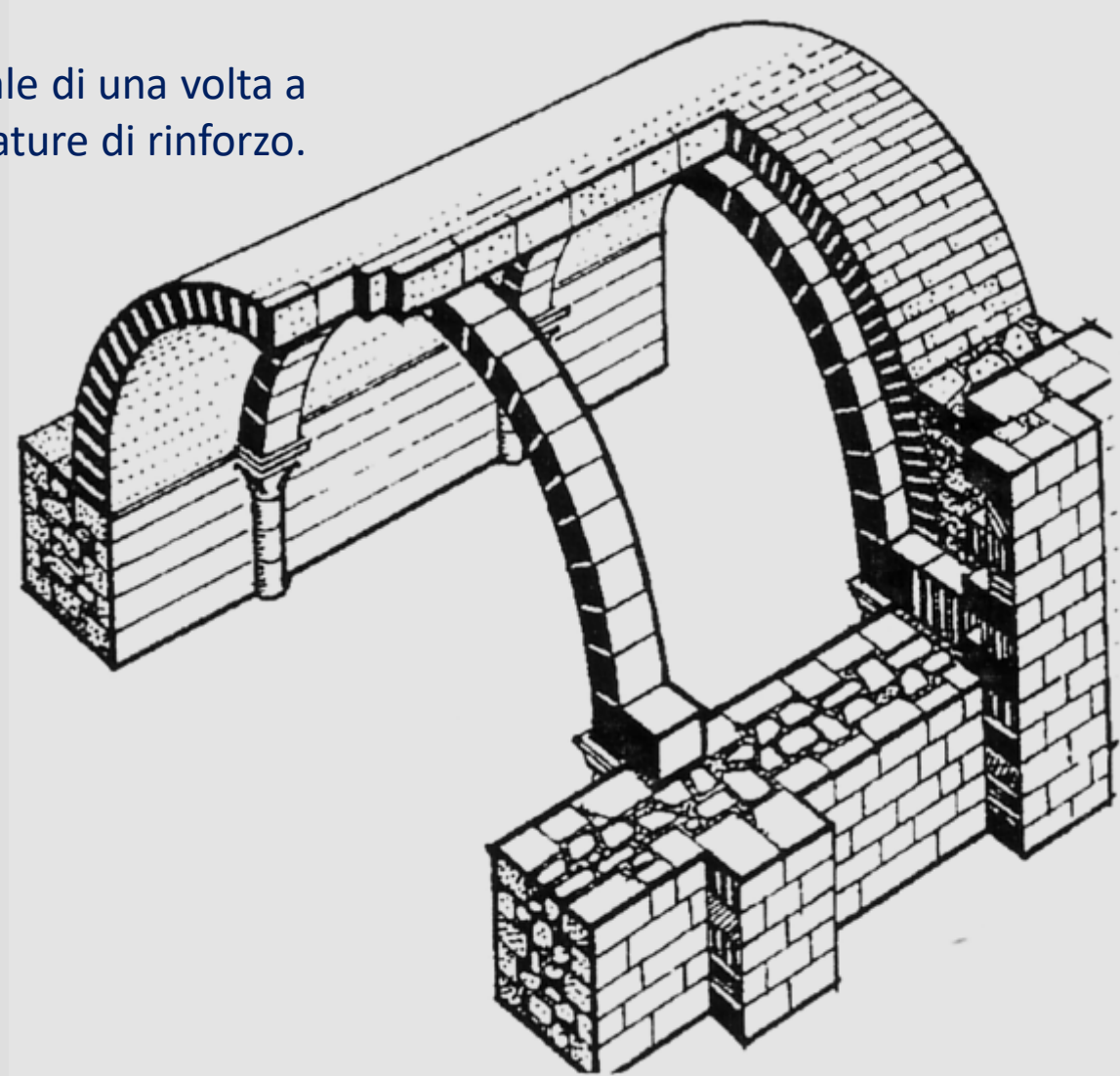
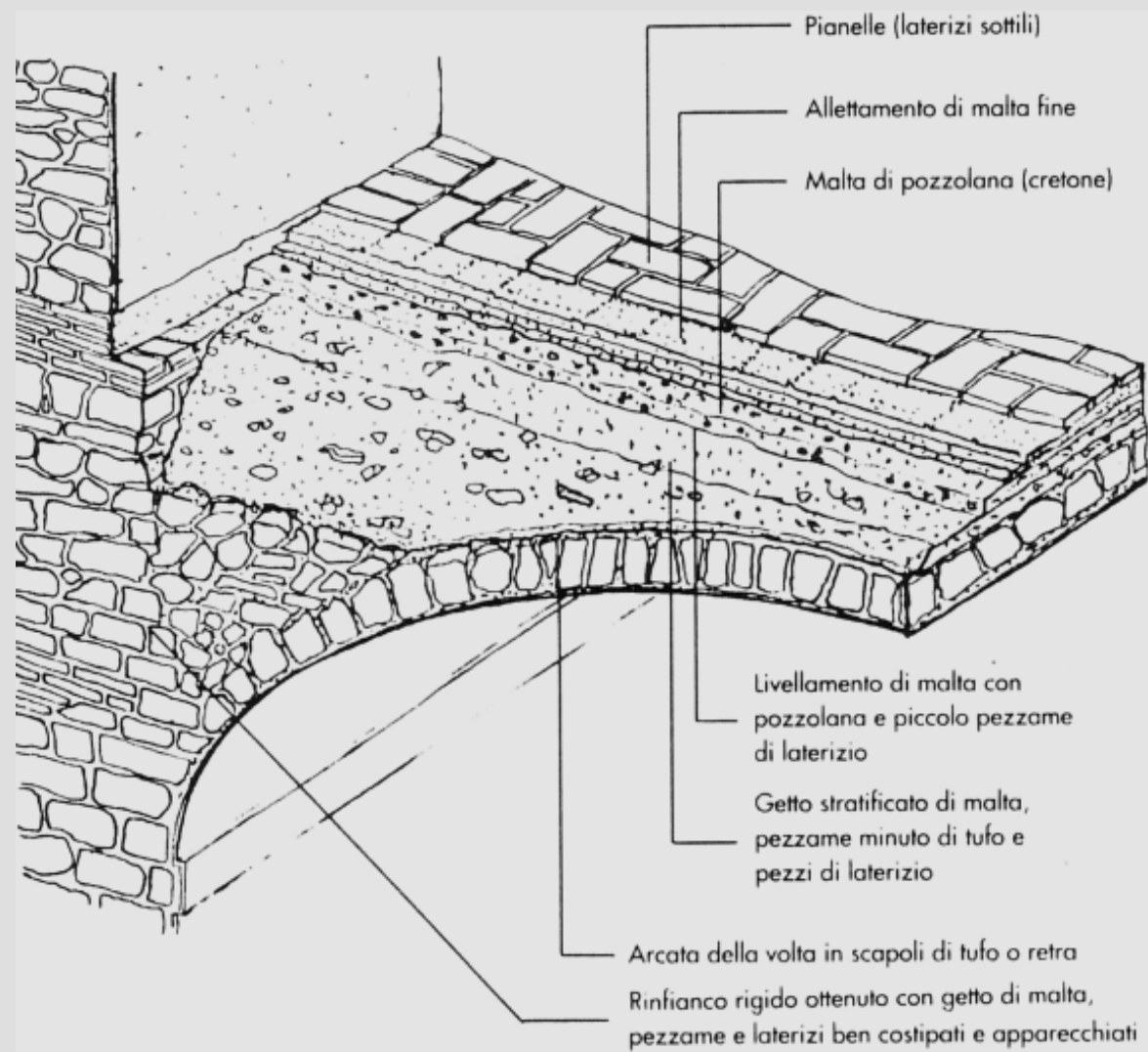


Fig. 10 - Particolare assonometrico della struttura di una volta a botte in muratura.



A CROCIERA: composta, generata dalla intersezione di **due volte a botte**.

È costituita dalle superfici cilindriche di due volte semplici, divise in quattro unghie o vele, che poggiano sugli angoli di un ambiente quadrangolare; è delimitata da quattro archi sui lati del perimetro e dagli spigoli delle intersezioni lungo le diagonali.

La **volta a crociera** identifica la campata, quantità spaziale generata dalla necessità di scaricare le spinte degli archi di sostegno sui piedritti di appoggio.

L'adozione della volta a crociera dà luogo quindi a un sistema spaziale strutturalmente definito.

In Francia si chiamavano *arcs doubleaux* gli archi trasversali e *arcs formerets* quelli paralleli all'asse della navata. Gli archi diagonali vengono anche denominati *ogive*. Figure 11, 12 e 13.

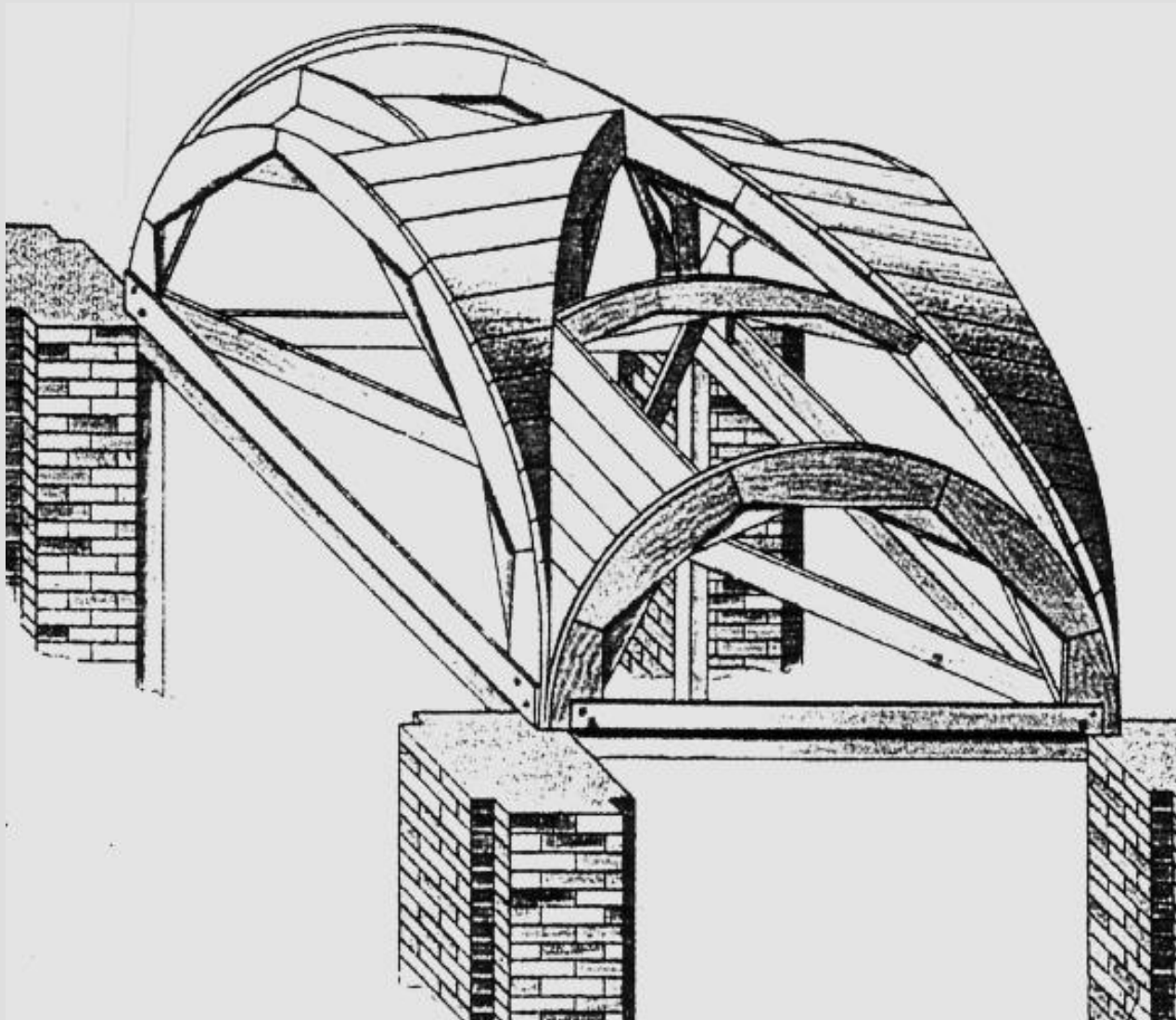


Fig. 11 - Schema di centinatura per la costruzione di una volta a crociera in muratura.

Fig. 12 - Schema strutturale di una volta a crociera in muratura, si notano le nervature ed i muretti di contrasto degli archi trasversali, detti frenelli.

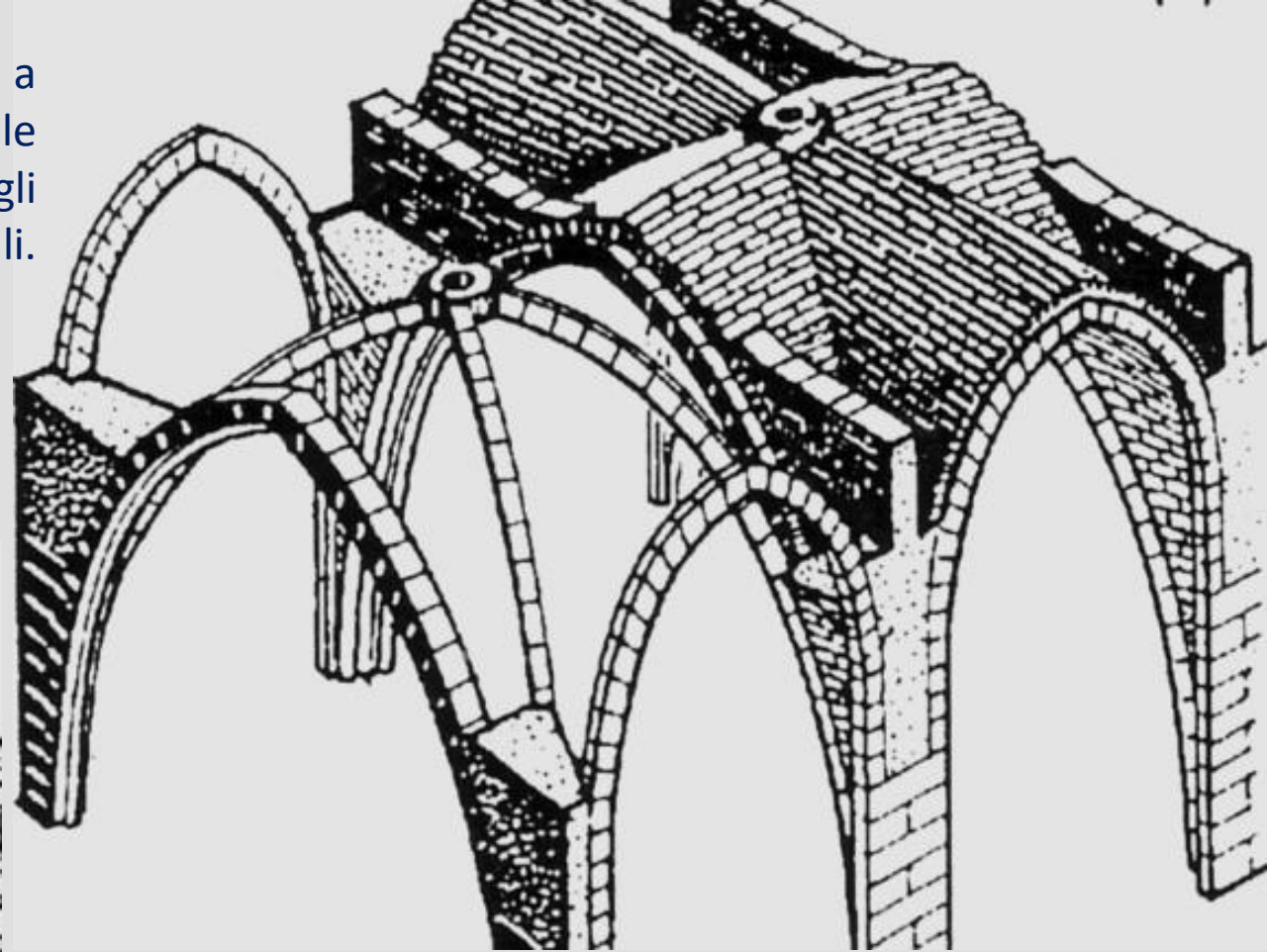
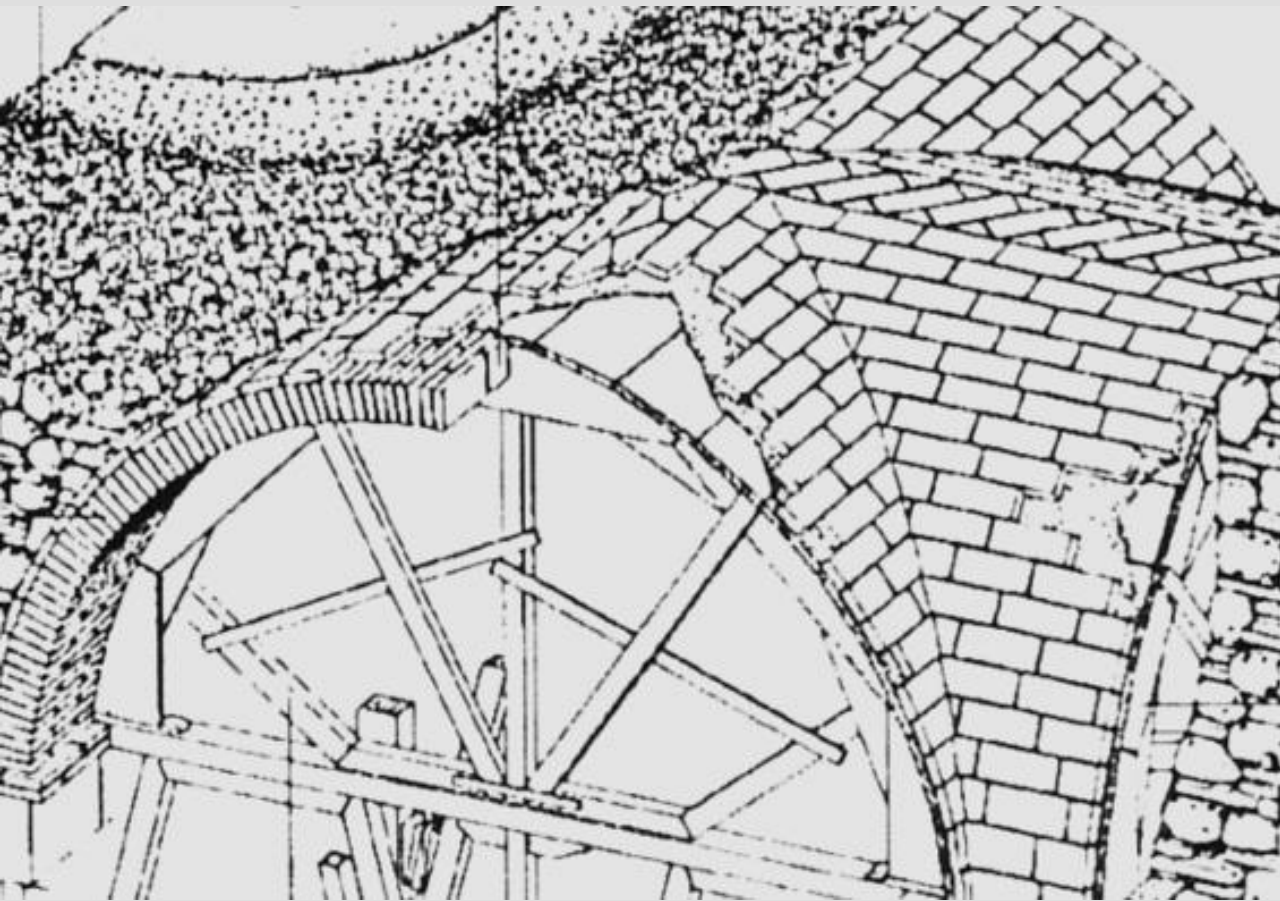


Fig. 13 - Particolare assometrico della struttura di una volta a crociera in laterizio montato a foglio.



A COSTOLONI: qualsiasi tipo di volta, in particolare quella a crociera, in cui le linee di incontro delle vele o delle “unghie” (per quanto riguarda le crociere) e dei “fusi” (per quanto riguarda le volte a ombrello) sono messe in evidenza da conci di pietra sagomati, anche di diverso colore formanti archi di scarico che incanalino le **spinte** sui **piedritti** o sui **contrafforti** o sugli altri **archi di controspinta**, posti eventualmente nei matronei.

Nel caso in cui i costoloni siano portanti, le vele sono scariche e la copertura sovrastante non poggia sulla volta, ma solo sui muri di ambito che si presentano rialzati rispetto al piano d’imposta della volta.

LUNETTATA: volta a botte o a padiglione usata generalmente per grandi ambienti, nei quali la presenza di piani verticali che passano per la linea di imposta, usati generalmente per l'inserimento di finestre, determina una serie di lunette in piano raccordate alla volta mediante altrettante unghie poggianti su peducci o capitelli, (figura 14 e 15).

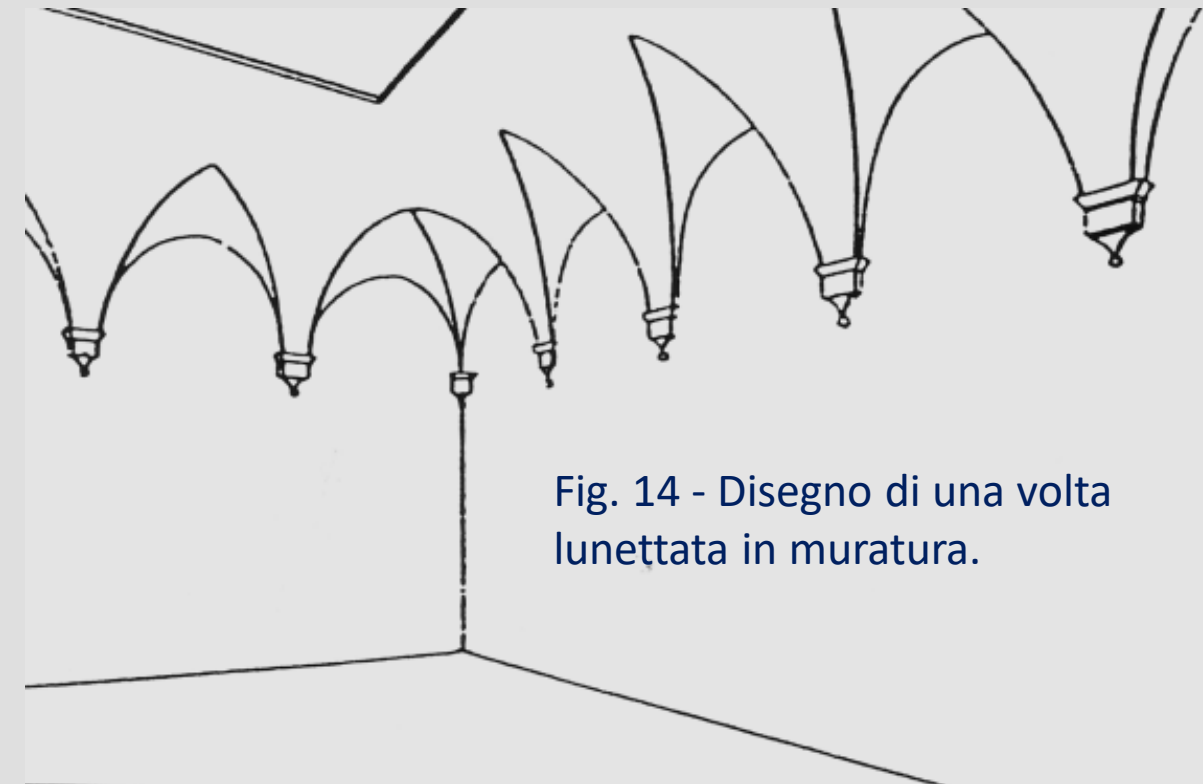


Fig. 14 - Disegno di una volta lunettata in muratura.

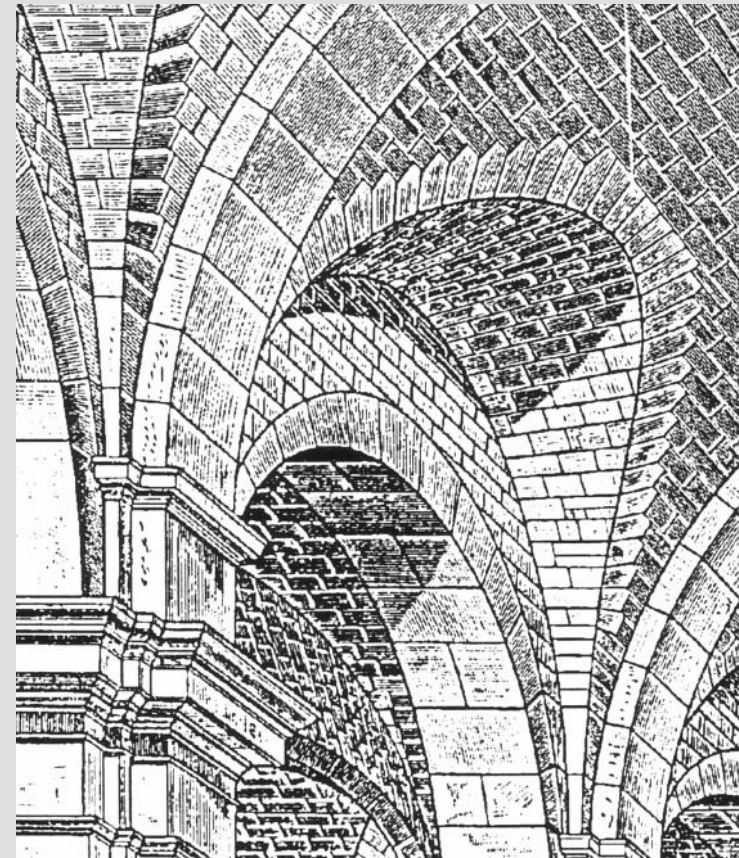
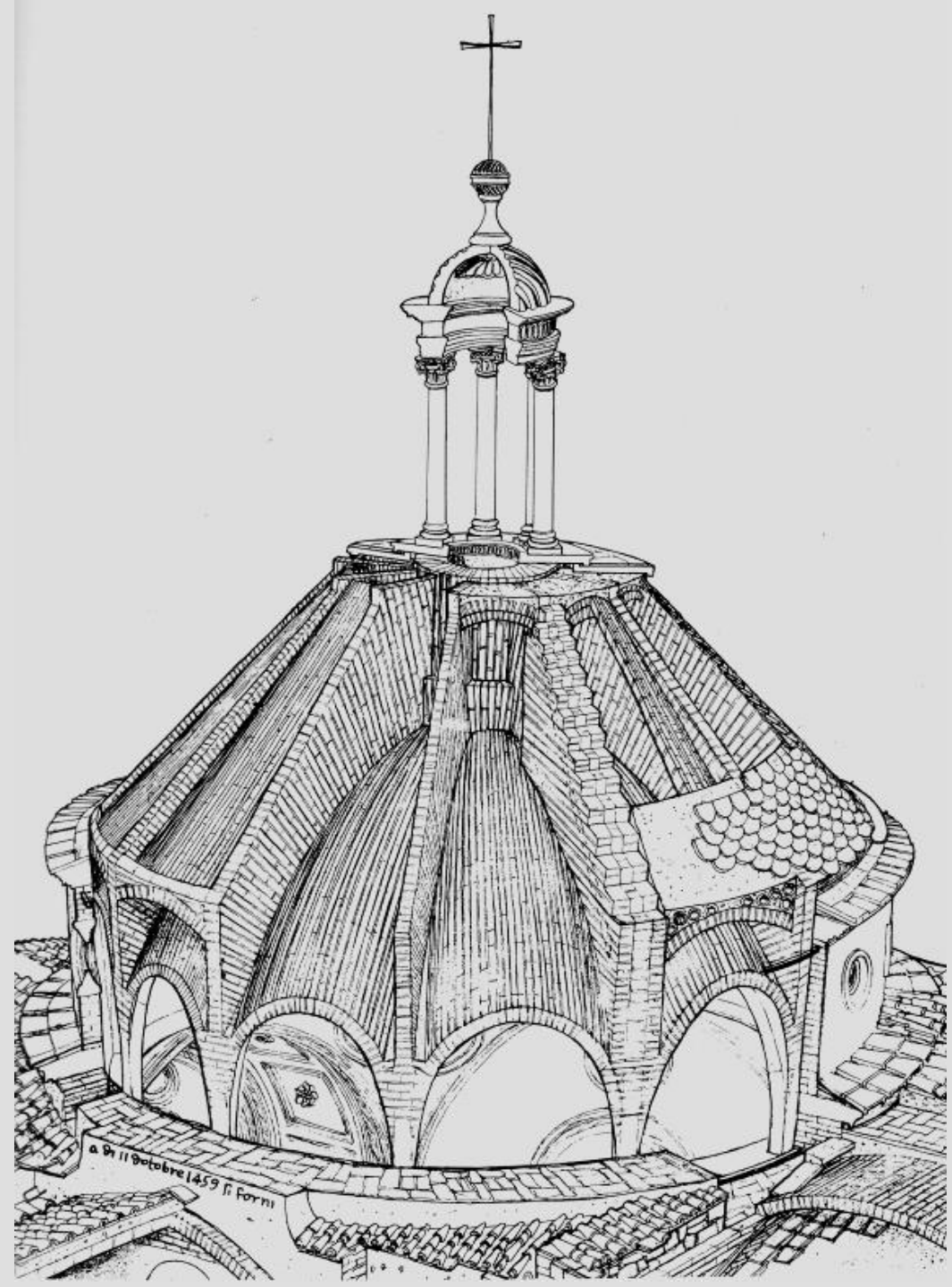


Fig. 15 - Nel disegno la lunetta rappresenta un alleggerimento della parte più spessa della volta ed un contrasto trasversale sui rinfianchi.

A OMBRELLO: detta anche “a creste e vele”. Tipo di volta impostato su un contorno poligonale e composto da tante unghie cilindriche quanti sono i lati del poligono che si intersecano. Le intersezioni sono in genere marcate da nervature in pietra diversa, (figura 16).

Fig. 16 - Nel disegno è rappresentata la struttura a creste e vele della Cappella Pazzi a Firenze.





A PADIGLIONE: impostata su ambiente poligonale, suddivisa in tanti “fusi” o spicchi (frammenti di una volta a botte sezionata con piani diagonali) quanti sono i lati di imposta.

Gli spicchi concorrono al punto di chiave, o verticale della volta, e la distanza che va da questo punto al piano di imposta dicesi monta o freccia.

Quando i lati del poligono d'imposta sono più di quattro, la volta a padiglione si può anche definire cupola.

Dal punto di vista geometrico la volta a padiglione su base rettangolare si può considerare come risultante dalla intersezione di due volte a botte di ampiezza uguale ai lati del rettangolo; i lati corti danno luogo a due teste di padiglione, (figura 17).

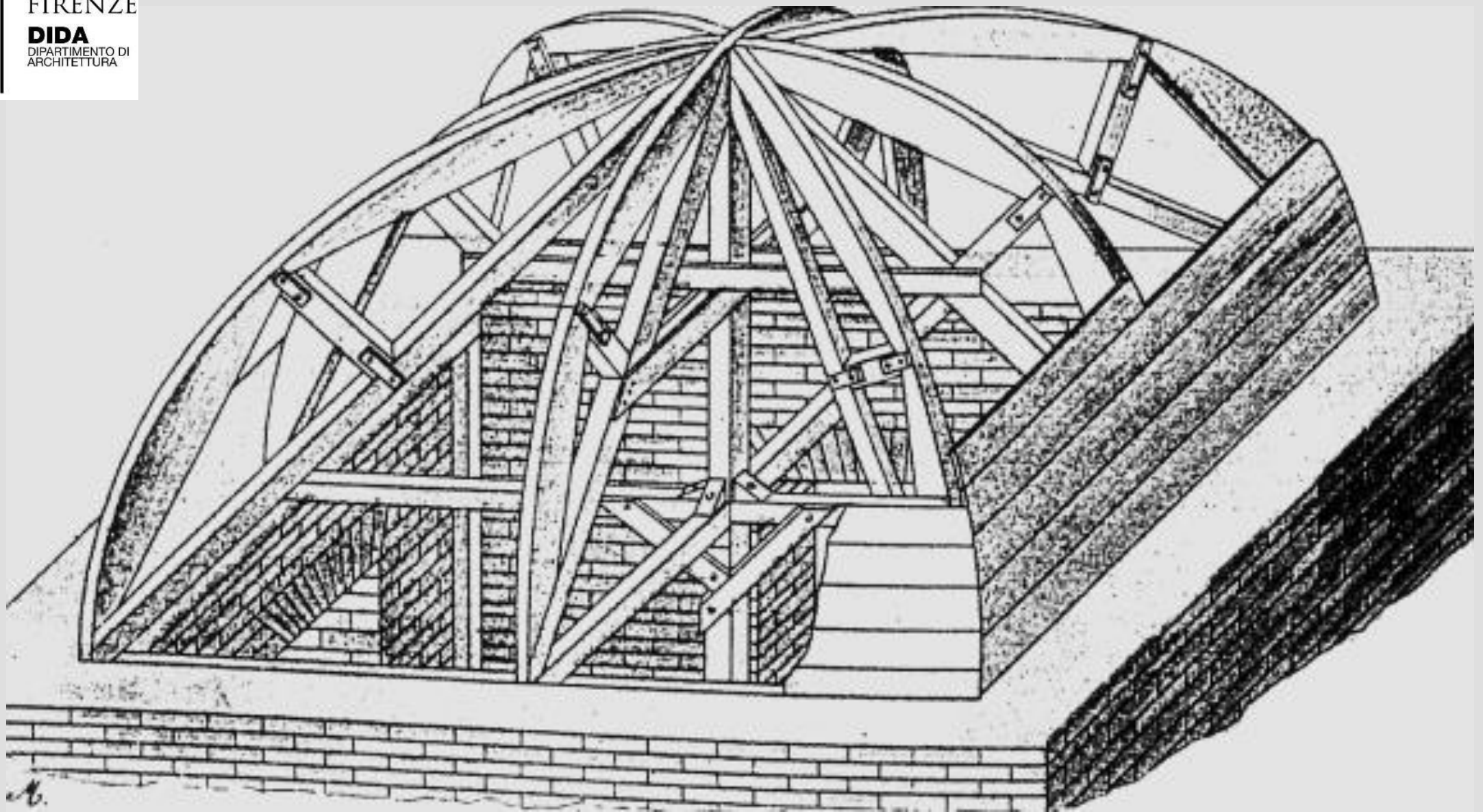


Fig. 17 - Schema di centinatura per la costruzione di una volta a padiglione in muratura.

A VELA: volta semplice con l'intradosso a forma di porzione di superficie sferica, d'ellissoide o di ovoide, impostata su un vano poligonale. È circonscritta da una circonferenza e priva delle porzioni che fuoriescono, idealmente tagliate dai piani passati per i piedritti, (figure 18 e 19).

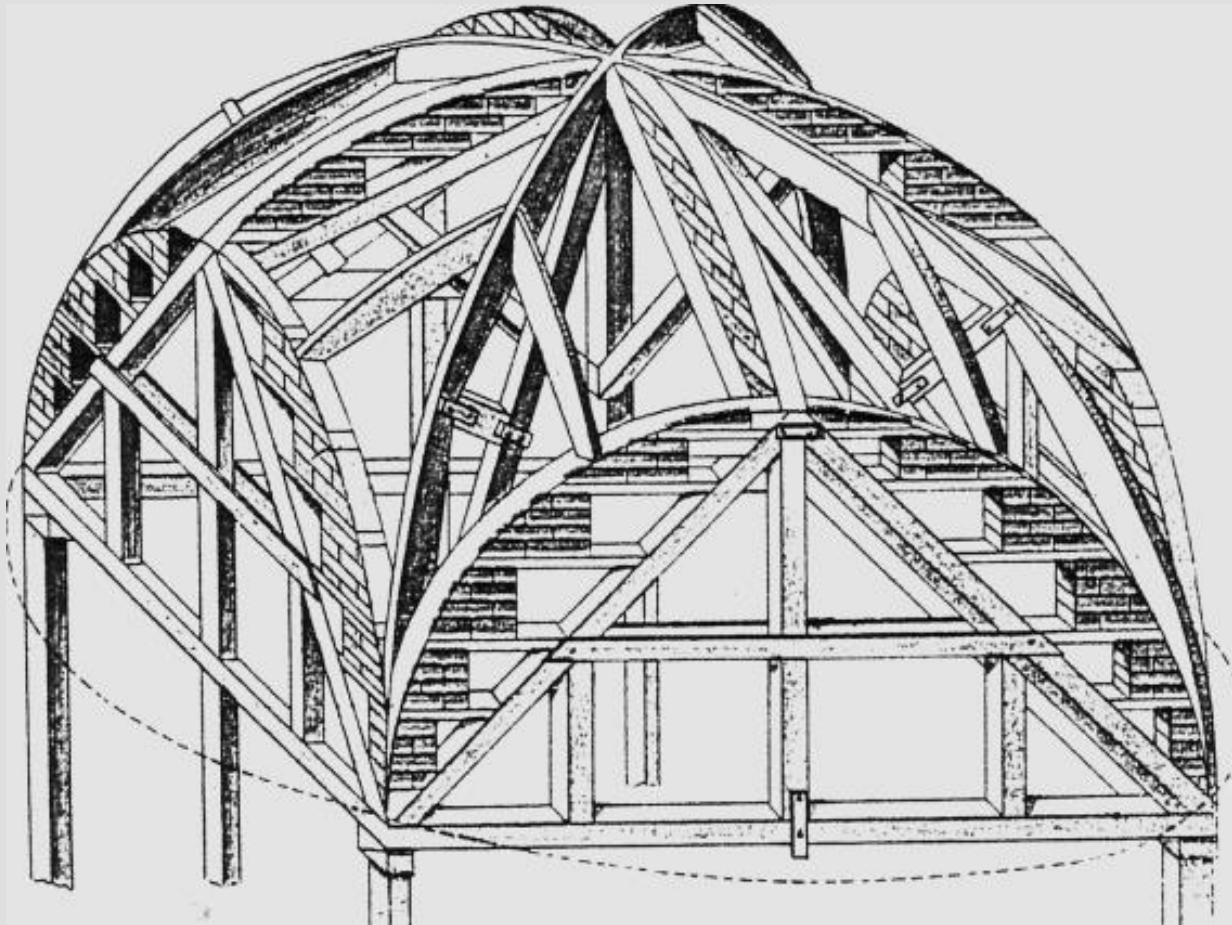


Fig. 18 - Schema di centinatura per la costruzione di una volta a vela in muratura.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

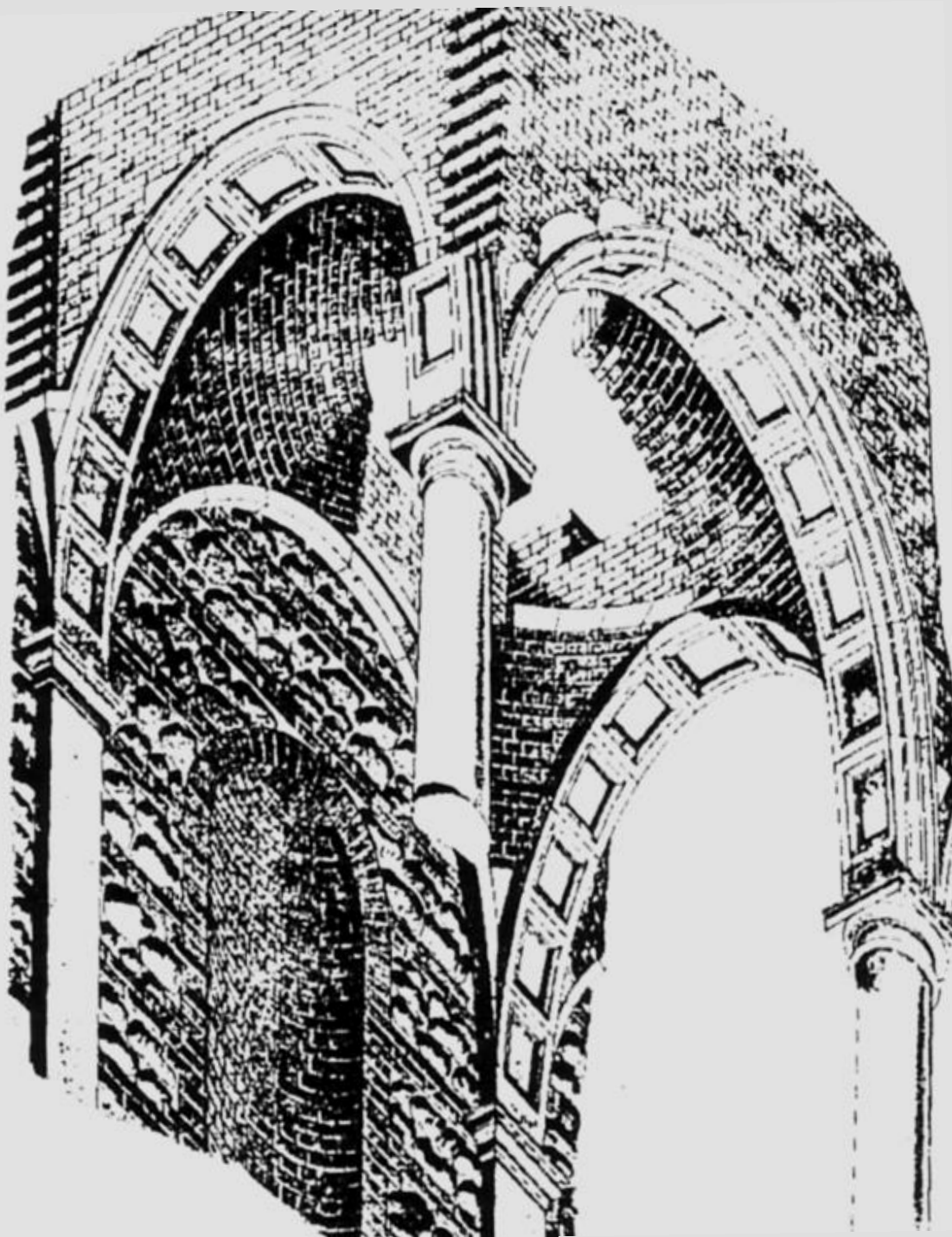


Fig. 19 - Assonometria degli elementi costruttivi di una volta a vela anulare.

A VENTAGLIO: dall'inglese *fan vaulting*. Caratteristica del Gotico inglese perpendicolare: in essa l'intradosso è sorretto e ritmato da un fascio di nervature a raggiera che ha origine nella sommità di un fusto di colonna o in una mensola. A volte le nervature si allargano partendo anche dalle chiavi pendenti della volta stessa, (figura 20).

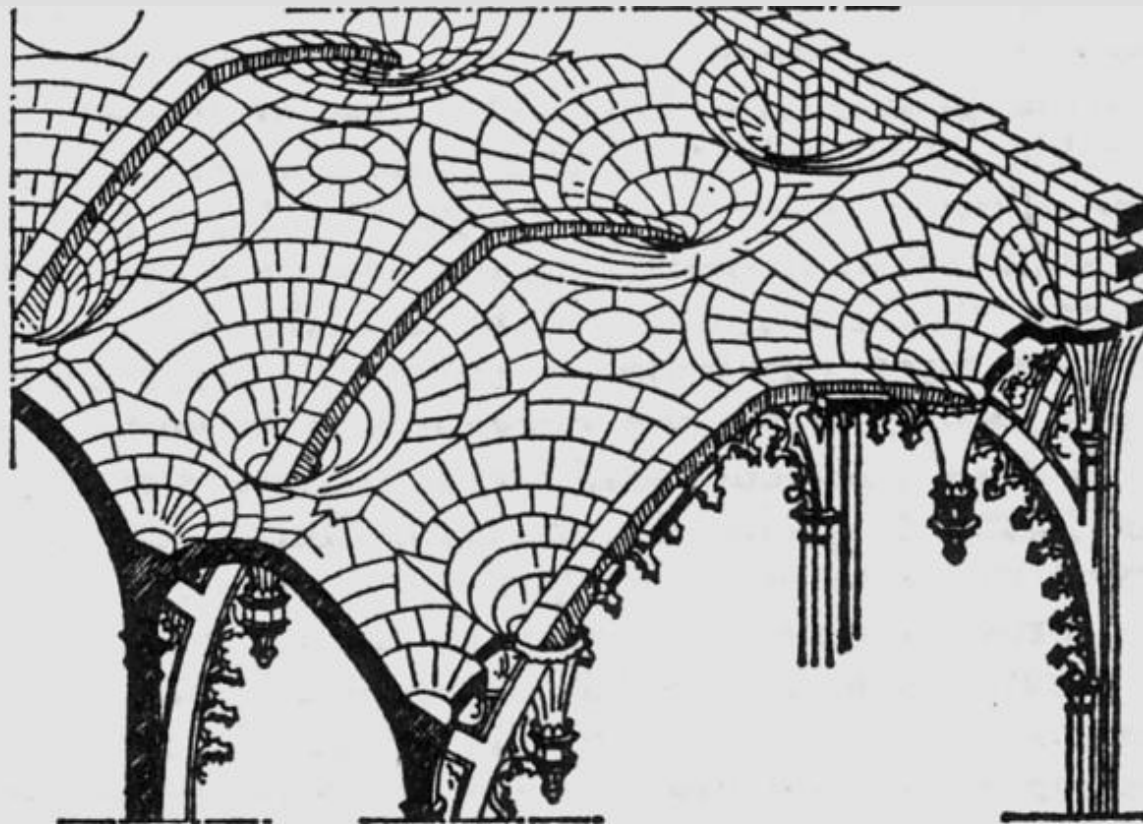


Fig. 20 - Veduta della struttura delle volte a ventaglio della cappella di Enrico VII, 1500-12. Londra, abbazia di Westminster.



Materiali e tecniche costruttive

I materiali impiegati per costruire le volte, sempre con la stessa premessa fatta per gli archi, e cioè che si tratti di strutture semplicemente compresse, sono gli stessi adoperati per i pilastri: materiali rigidi, sia naturali che artificiali, lapidei o laterizi, legati in genere tra loro, non necessariamente da malte.

Le volte possono anche essere realizzate in getto di conglomerato.

Le costruzioni più grandi, per ampiezza e per carico, sono eseguite invece in conci di pietra da taglio, con o senza malta, e rappresentano il tipo “perfetto” della struttura a volta: pur usato per le volte a botte appare più spesso applicato nelle volte a crociera con nervature, perché in esse si concentrano le linee di forza.



Le volte in **conglomerato** sono caratteristiche dell'architettura romana, il materiale veniva gettato al di sopra di uno spessore di laterizi lasciato in vista.

Le volte in **mattoni** sono invece quelle più diffuse e più comunemente adoperate nei normali edifici, soprattutto nei piani bassi dove il peso di quelli superiori ben contribuisce a riportare la spinta all'interno dei muri perimetrali.

Per quanto riguarda le **volte a padiglione**, raramente esse sono fatte con conci in pietra da taglio a vista, più spesso le troviamo realizzate in laterizi, sia in foglio che a una testa, con abbondante rinfiacco e con finiture a intonaco.



Come nella costruzione dell'**arco** si faceva riferimento alla colonna o al pilastro, soggetti solo a compressione e con una dimensione prevalente rispetto alle altre; così nella costruzione delle **volte** si può fare riferimento alla costruzione dei muri, infatti i muri sono superfici piane e le volte superfici curve.

La disposizione degli elementi resistenti (laterizi e pietre) avvicina la volta al funzionamento ad archi singoli adiacenti, oppure a una vera e propria superficie curva con interazione fra i vari archi lungo le rette generatrici, (figura 21 a, b, c).

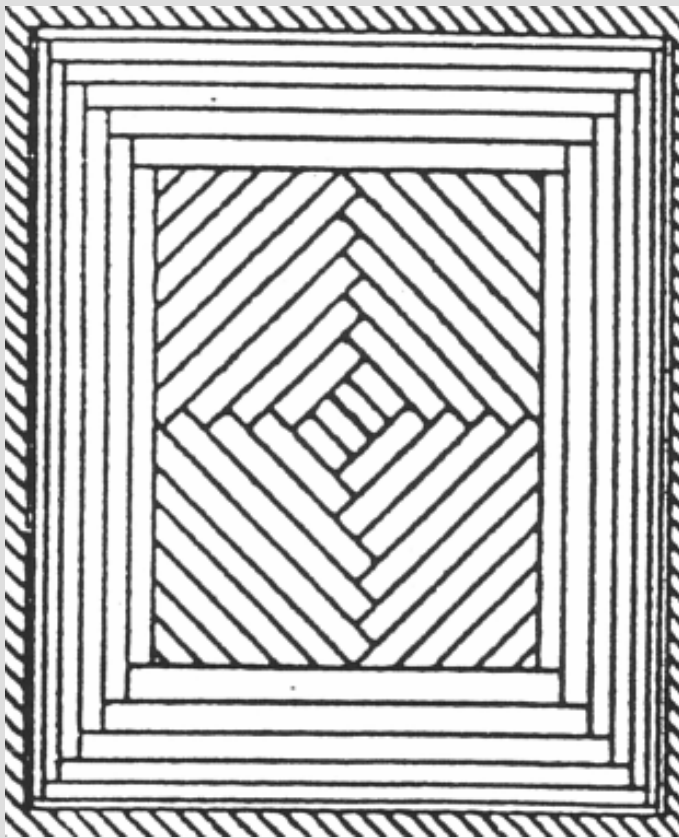


Fig.21 a - Tessitura combinata a filari anulari ortogonali alla linea d'imposta e a 45° nella zona centrale della volta.

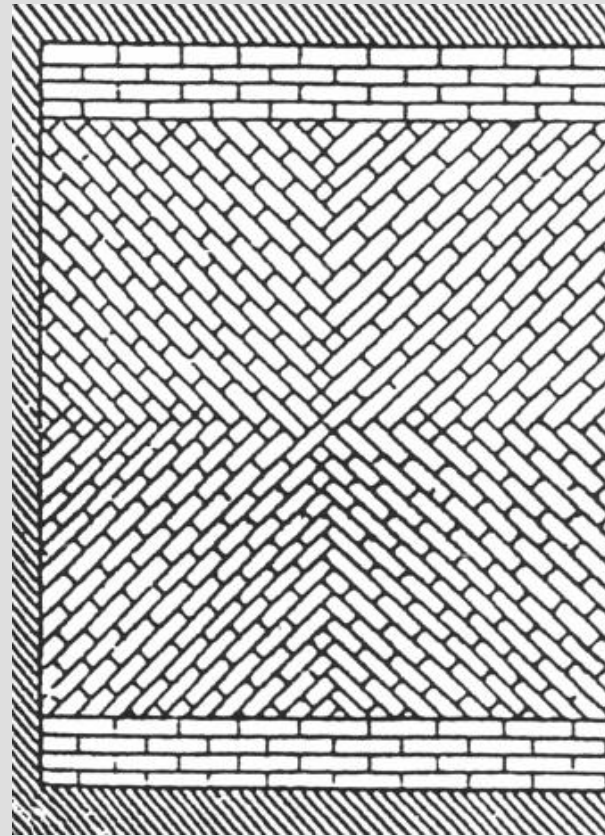


Fig. 21 b - Tessitura a filari diagonali, cioè collocati secondo la direzione della bisettrice degli angoli in pianta.

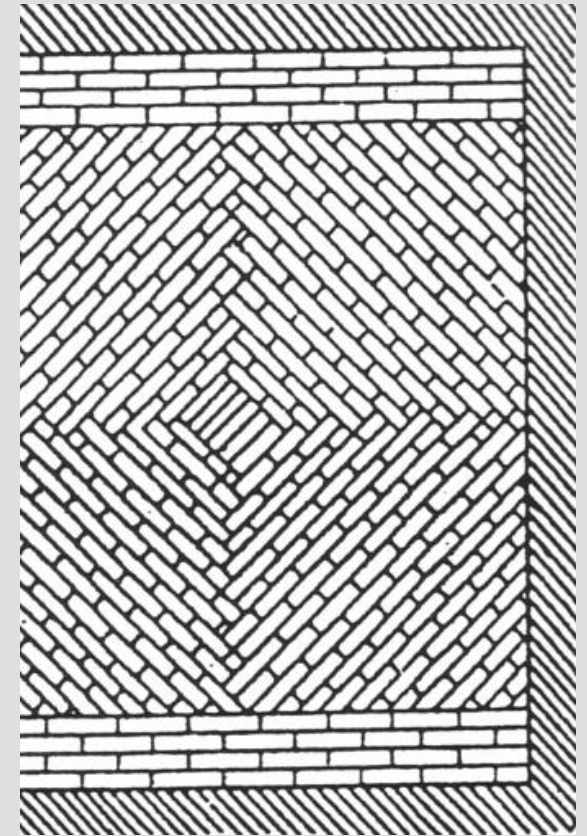


Fig. 21 c - Tessitura a filari ortogonali alla precedente, vale a dire ortogonali alla bisettrice degli angoli e si chiama "a spina di pesce".

Il criterio di scelta di queste diverse tessiture era legato all'effettiva modalità di costruzione delle volte, in rapporto cioè all'uso o meno delle centine. Dopo aver eseguito la volta sottile in foglio si procedeva alla realizzazione del rinfiango, necessario per stabilizzarla; talvolta, invece del rinfiango, si eseguivano nervature di spessore maggiore collegate alle reni da frenelli, (figura 22).



Fig. 22 – Esempio di soluzione angolare di una volta a padiglione risolta con l'uso di frenelli in muratura di laterizio in sostituzione del rinfiango.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

La volta intesa come tipologia strutturale e quindi della sua verifica, può essere considerata come estensione naturale dell'arco, in particolare per la volta a botte, perché questa può essere identificata come una ripetizione continua dell'arco in senso perpendicolare al piano di giacitura.



La cupola

Il termine “**cupola**” deriva dal latino *cupola* diminutivo di *cupa* cioè botte, e identifica una copertura voltata definita dalla rotazione di una curva intorno a un asse verticale; a seconda del tipo di curva la struttura ottenuta può essere una semisfera, un semiellissoide, se costruita su pianta ellittica o una superficie con sezione ad arco parabolico, rialzato, acuto.

Sono chiamate comunemente cupole anche le volte a padiglione.

Lo sviluppo strutturale della cupola si deve ai Romani con l'impiego del conglomerato in quanto massa monolitica, che mette in evidenza per la prima volta il comportamento a cupola vero e proprio.

Spinte sui piedritti e trazioni nei paralleli. Questa innovazione permetterà una gran serie di soluzioni espressive, (figure 23, 24, 25, 26 e 27).

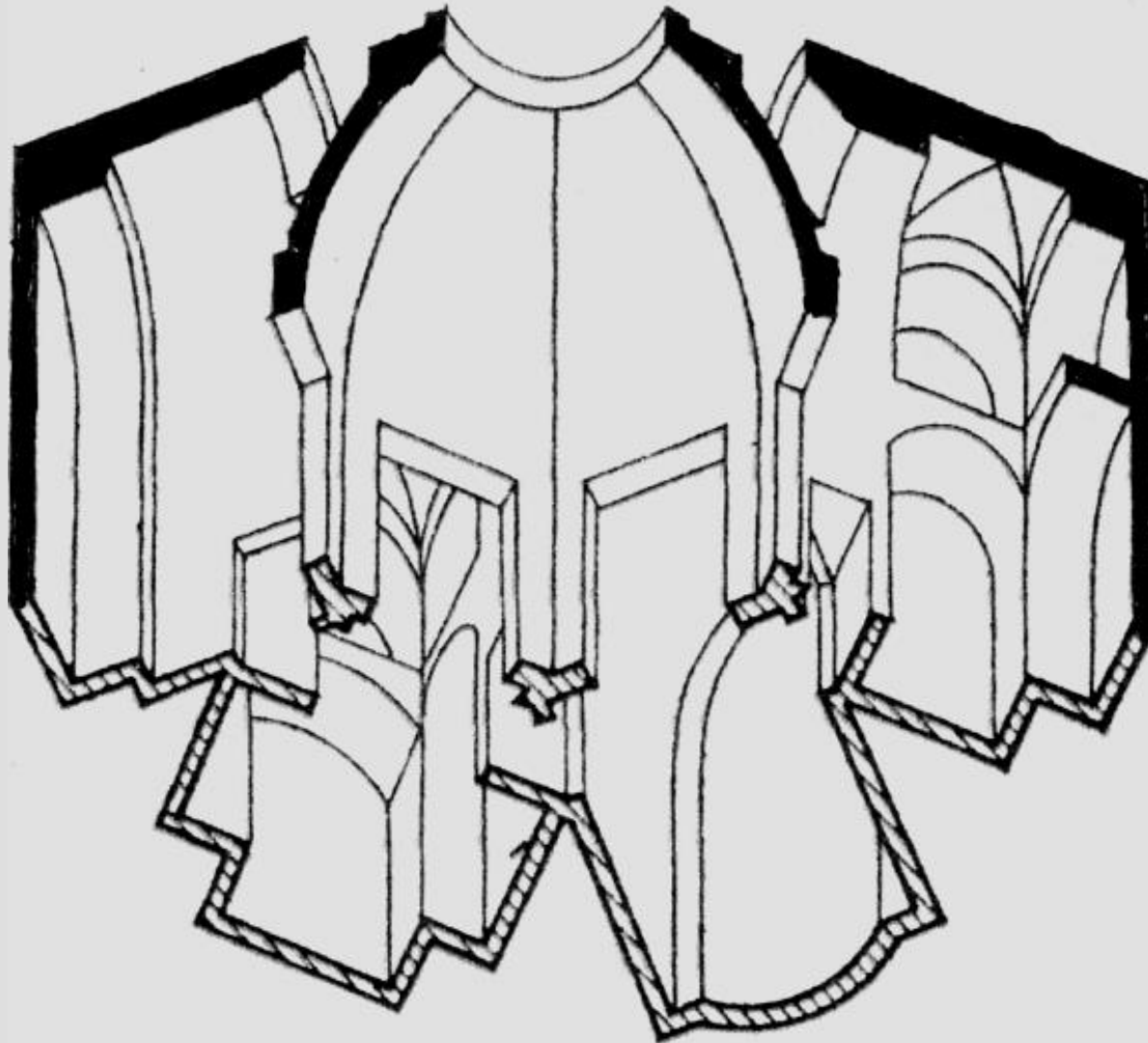


Fig. 23 - Assonometria della sala ottagonale. Roma, Domus Aurea.

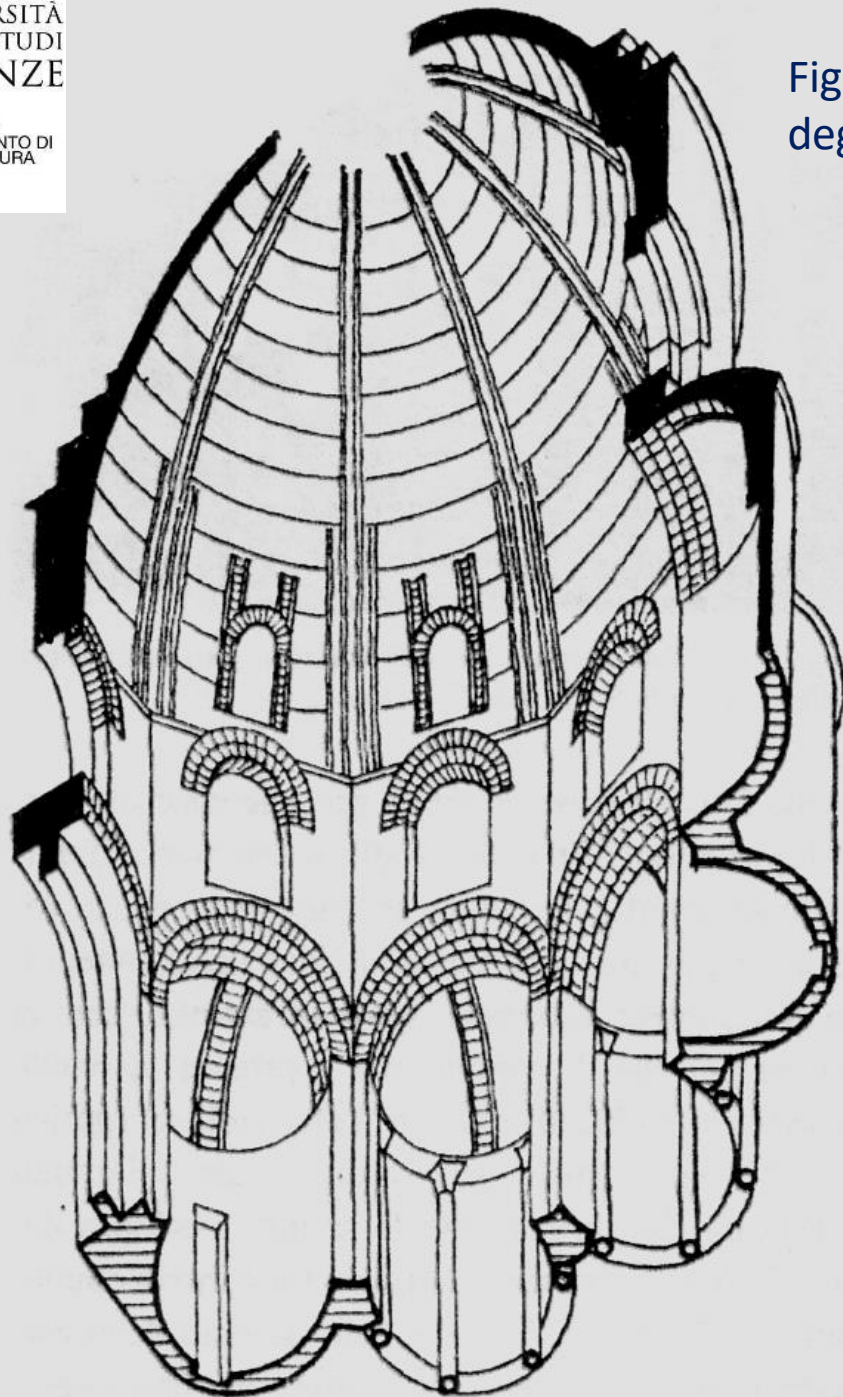


Fig.24 - Ricostruzione assonometrica. Roma, ninfeo degli Horti Liciniani detto tempio di Minerva Medica.



Fig. 25 - Vista fotografica delle strutture del ninfeo degli Horti Liciniani detto tempio di Minerva Medica a Roma.

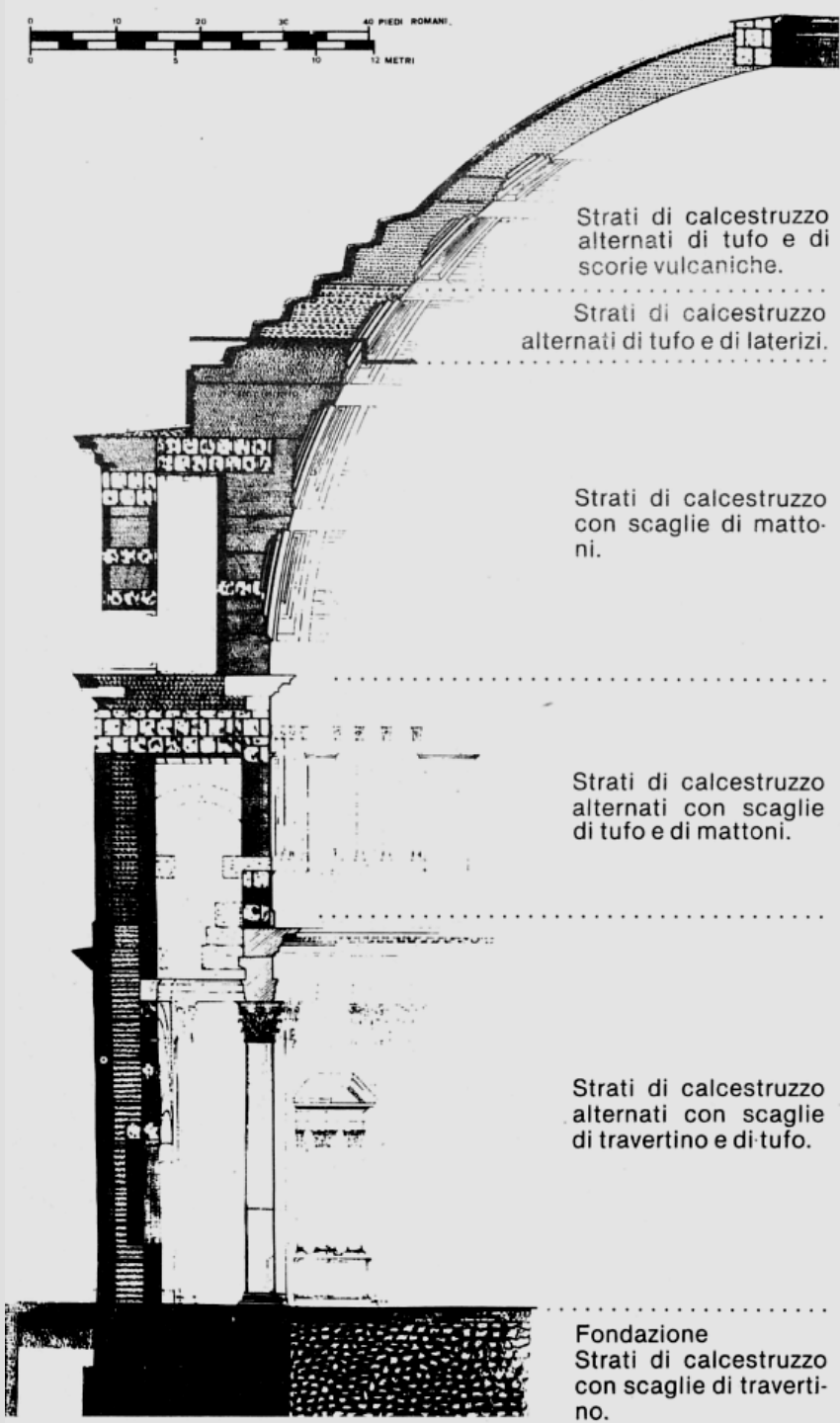


Fig. 26 - Rilievo dettagliato, con l'individuazione dei materiali costruttivi del Pantheon.

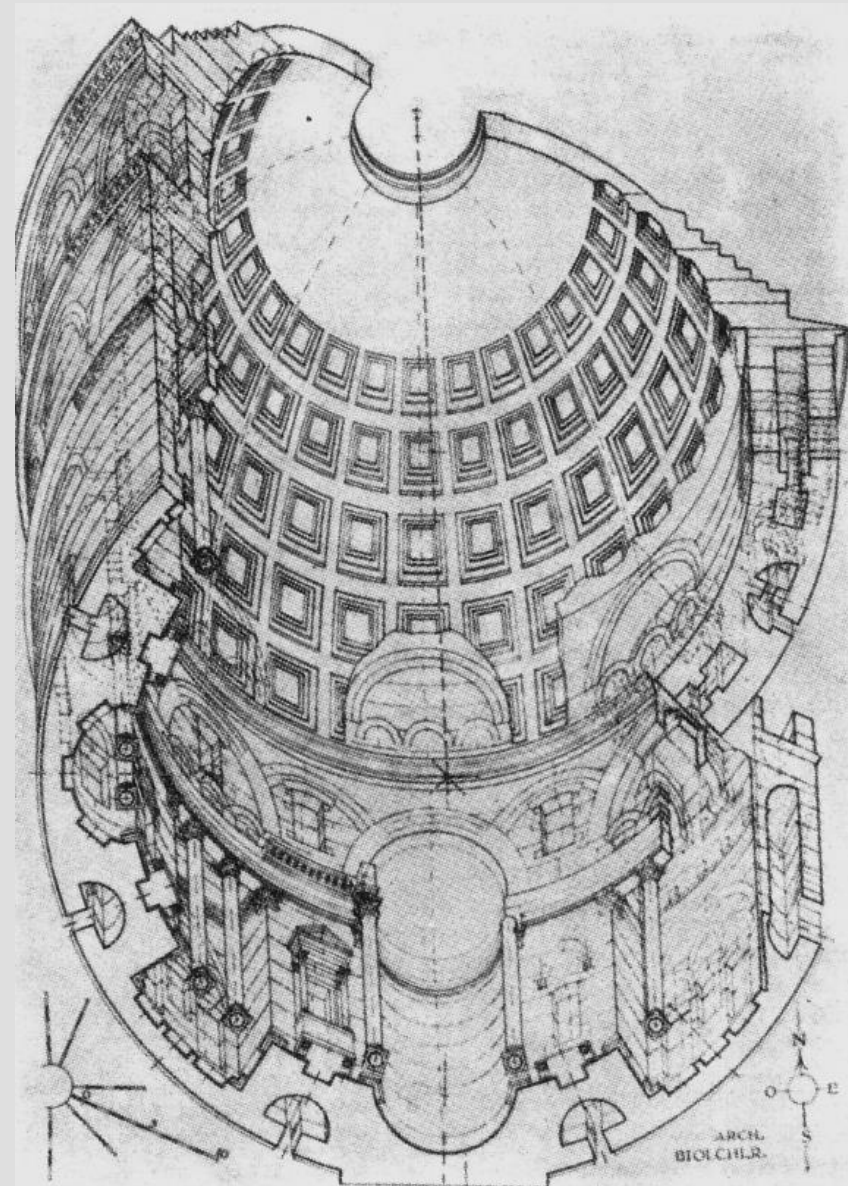


Fig. 27 - Rilievo assometrico del Pantheon.

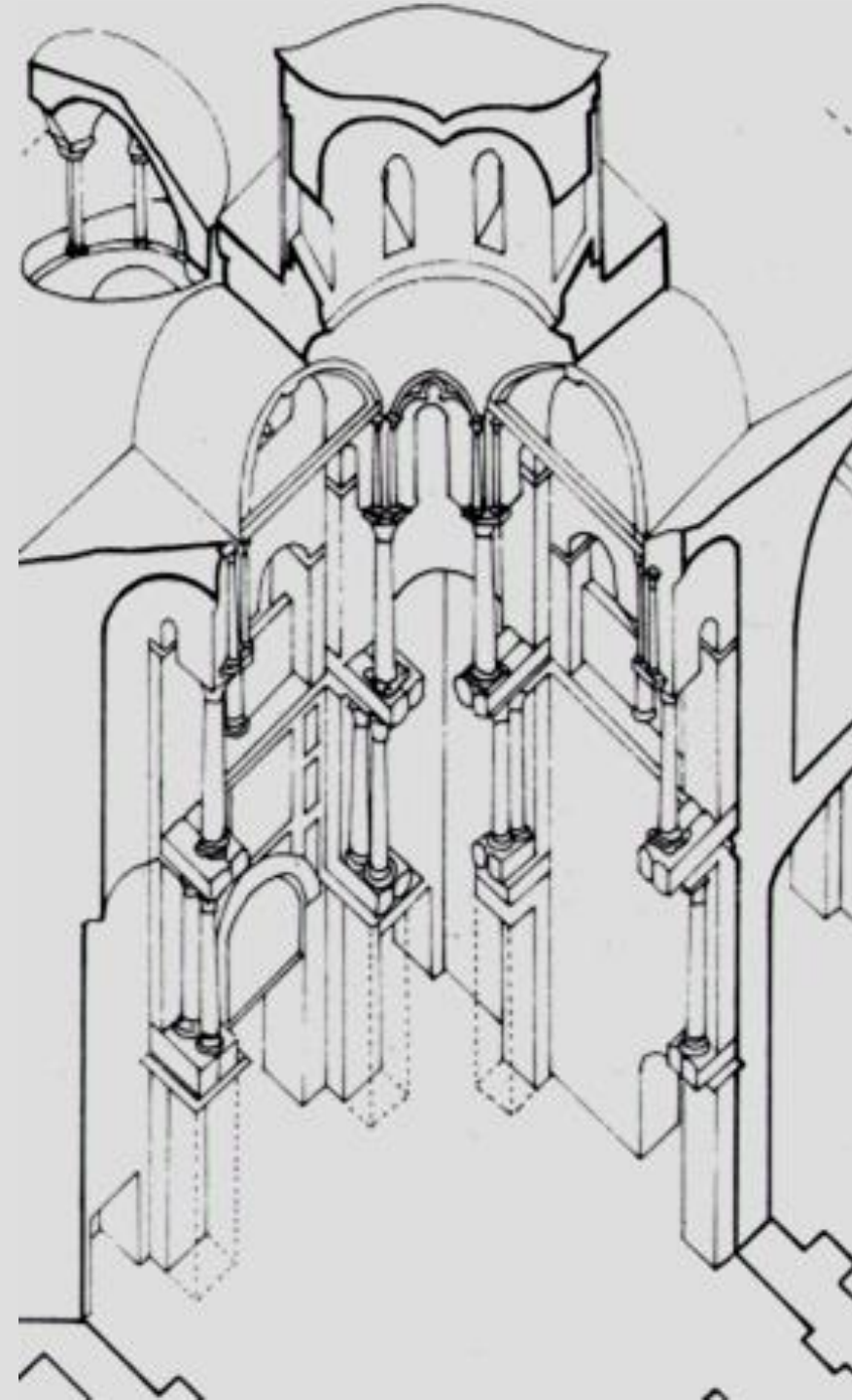


Ulteriori sviluppi avvengono in area ravennate nel periodo dell'Esarcato e bizantina tramite le costruzioni cristiane tardo romane: battisteri, cappelle, martyria.

Nell'arte bizantina, a partire dal sec. VI si impone la cosiddetta **struttura a baldacchino** cioè una cupola impostata su pianta quadrata od ottagonale, raccordata alle arcate colleganti i sostegni, dapprima con pietre angolari, trombe d'angolo e successivamente con pennacchi che permette l'inserimento del tamburo, (figura 28 e 29).



Figg. 28, 29 - Cupola e sistema dei pennacchi
angolari sostenuti da colonne e trattenute da tiranti
lignei. Spaccato assometrico della tribuna. Arta,
chiesa della Parigoritissa, XIII secolo.





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

La cupola, posta come elemento centralizzante dell'organismo, spesso a pianta cruciforme, si giova della collaborazione di cupole secondarie che completano l'organismo, come nell'esempio di S. Sofia a Costantinopoli, (figura 30). Cappelle sepolcrali e battisteri dei secoli V e VI hanno cupole in cui i rinfianchi delle reni sono formati da anfore vinarie (mausoleo di Galla Placidia) oppure realizzati in materiale fittile (S. Vitale, battistero degli Ortodossi).



Fig. 30 - Vista fotografica dell'esterno. Costantinopoli, chiesa di Santa Sofia.



Dopo le costruzioni a pianta centrale cupolate dell'alto Medioevo (piccoli sacelli e battisteri, soprattutto lombardi), la cupola ricompare in epoca romanica e gotica nella composizione della cattedrale a risolvere l'incrocio navata - transetto, con la forma più che di cupola vera e propria, di **voûte d'arêtes** o **voûte d'ogive**, o **volta stellata** (gotico flamboyant) su pianta spesso ottagonale, coi grandi costoloni che direzionano le spinte, racchiusa dal tiburio.

In Italia due esempi di cupole sono significativi: la copertura del battistero di San Giovanni a Firenze e quella del battistero di Parma, (figure 31, 32 e 33).

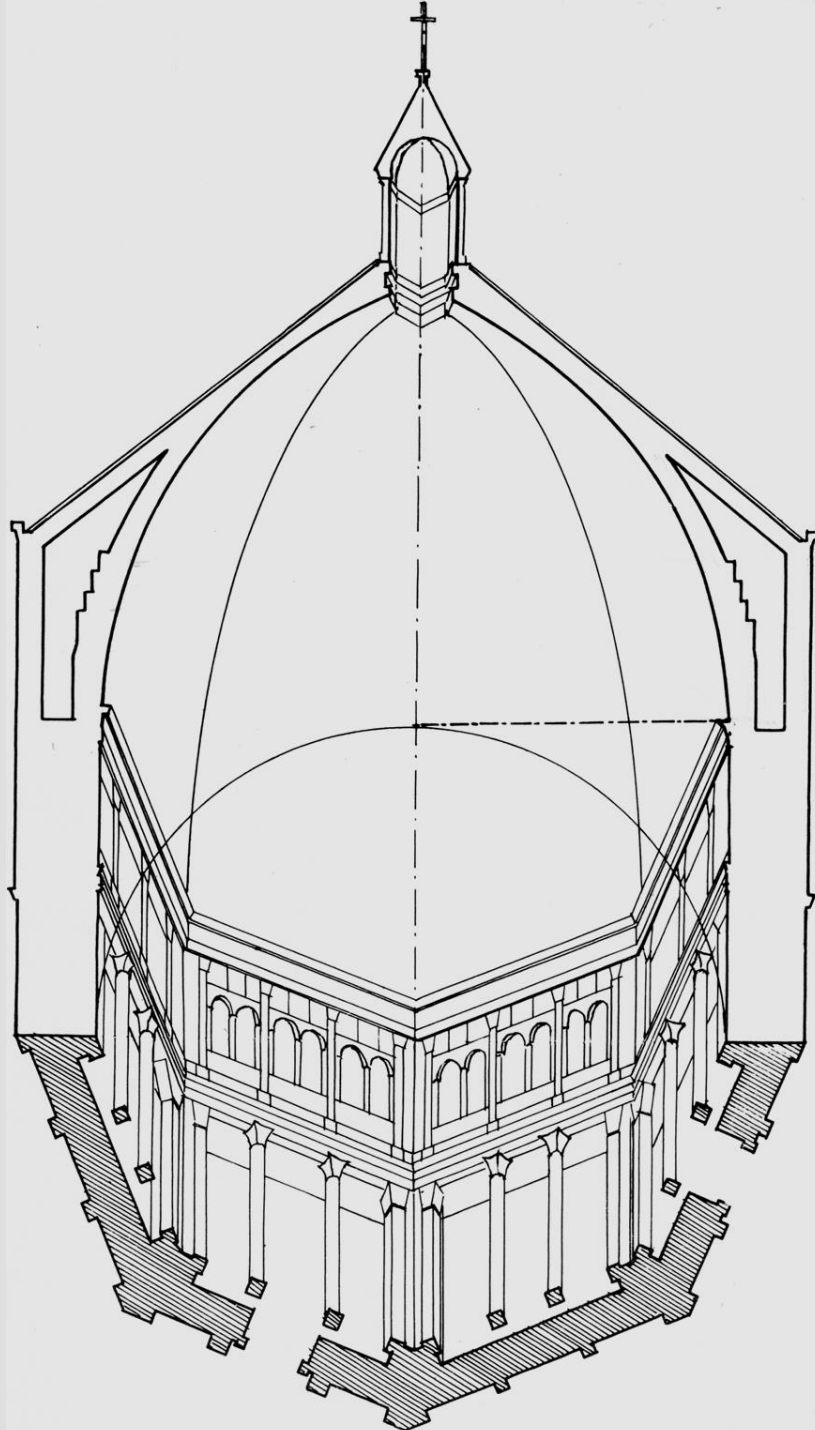


Fig. 31 - Assonometria con gli evidenziati rapporti della spazialità interiore: come nel Pantheon, l'altezza globale delle ordinate architettoniche è esattamente la metà della larghezza dell'edificio, qui misurata sulle diagonali. Firenze, battistero di S. Giovanni.

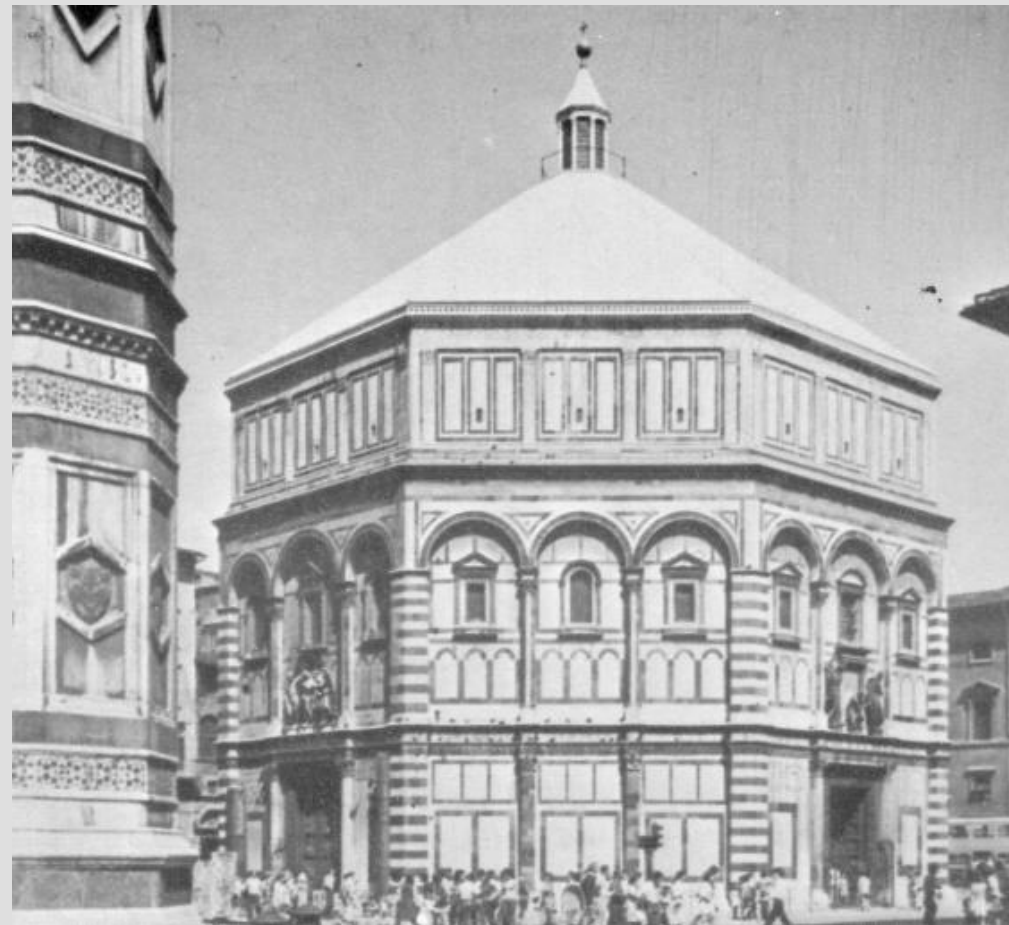


Fig. 32 - Vista esterna del battistero di San Giovanni a Firenze.

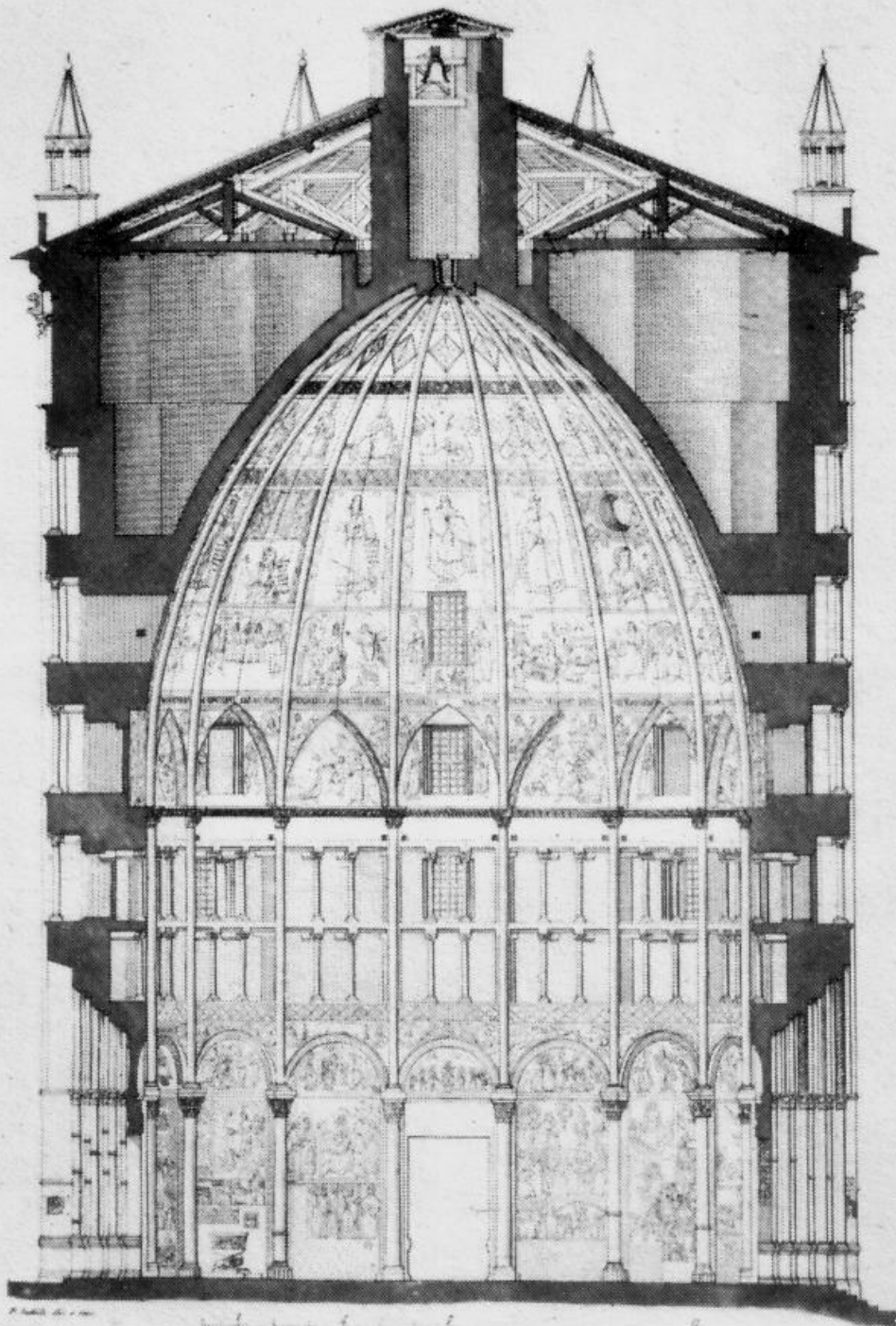


Fig. 33 - Rilievo di M. Lopez della sezione della fabbrica dove alla serrata impaginazione esterna, basata sull'iterazione orizzontale dei loggiati, fa contrasto lo slancio interno della cupola. Parma, battistero, viste fotografiche dell'esterno e dell'interno.





Nell'ambito della cultura rinascimentale, da una parte si sviluppa la problematica della cupola quale Brunelleschi l'aveva fissata in S. Maria del Fiore: ripartizione della spinta lungo tutta l'imposta mediante costoloni a ringrosso della sezione; adozione della struttura doppia per la diminuzione delle spinte e incatenamento; uso del profilo a sesto rialzato. In altre occasioni si assumono più direttamente schemi romani, con tendenza alla forma semisferica e al conferimento di valori simbolici o filosofici a tale scelta.

Il problema non della cupola in se stessa, ma dell'organismo è fondamentale per tutte le generazioni del '400 e '500, come dimostrano i disegni di Leonardo sulle possibilità di determinazione di organismi pluricupolari.



Questa ricerca culmina negli studi per la Basilica Vaticana in cui convergono le esperienze fiorentine - lombarde tramite Donato Bramante (S. Pietro in Montorio) e Antonio da Sangallo il Giovane (studi per la Basilica Vaticana).

Il progetto di Michelangelo sancisce la forma della cupola rinascimentale: profilo sferico puro, principio della costolonatura, apparato del tamburo atto a sopportare la spinta concentrata nei sedici piani radiali, organismo plastico unitario animato da espansioni e contrazioni.



Lo schema classico si modifica alla fine del '500 con l'adozione del profilo ellittico proposto da Carlo Rainaldi che utilizza un sagoma ellittica a sesto rialzato, talvolta su pianta ellittica proposto dal Vignola e dal Maderno e proseguito nel '600 dal Bernini.

Queste ricerche strutturali si trasformano in piena epoca barocca con Francesco Borromini, che coniuga la sua esperienza di architetto con le contraddizioni fra regola e libertà, caricandole di un contenuto etico, che deriva dal suo impegno personale nei confronti della società e della storia.

L'architetto s'impone delle regole ferme e precise, ma si riserva la libertà di rimetterle in discussione criticamente e di ricreare continuamente le basi su cui esse si fondano.



Da questa visione nasce una profonda rivalutazione della **tecnica**, considerata non più mero momento esecutivo, ma processo creativo che richiede un costante impegno morale.

Particolare significativo, ai fini del nostro studio, è rappresentato dall'architettura di **Sant'Ivo alla Sapienza** la cui costruzione iniziata nel 1642 e terminata, con la decorazione, nel 1662 quando fu anche completata la Biblioteca Alessandrina.

La pianta, impostata su un esagono, si sviluppa in un motivo a stella, il cui profilo mistilineo è lo stesso dell'imposta della cupola, (figure 34 e 35).

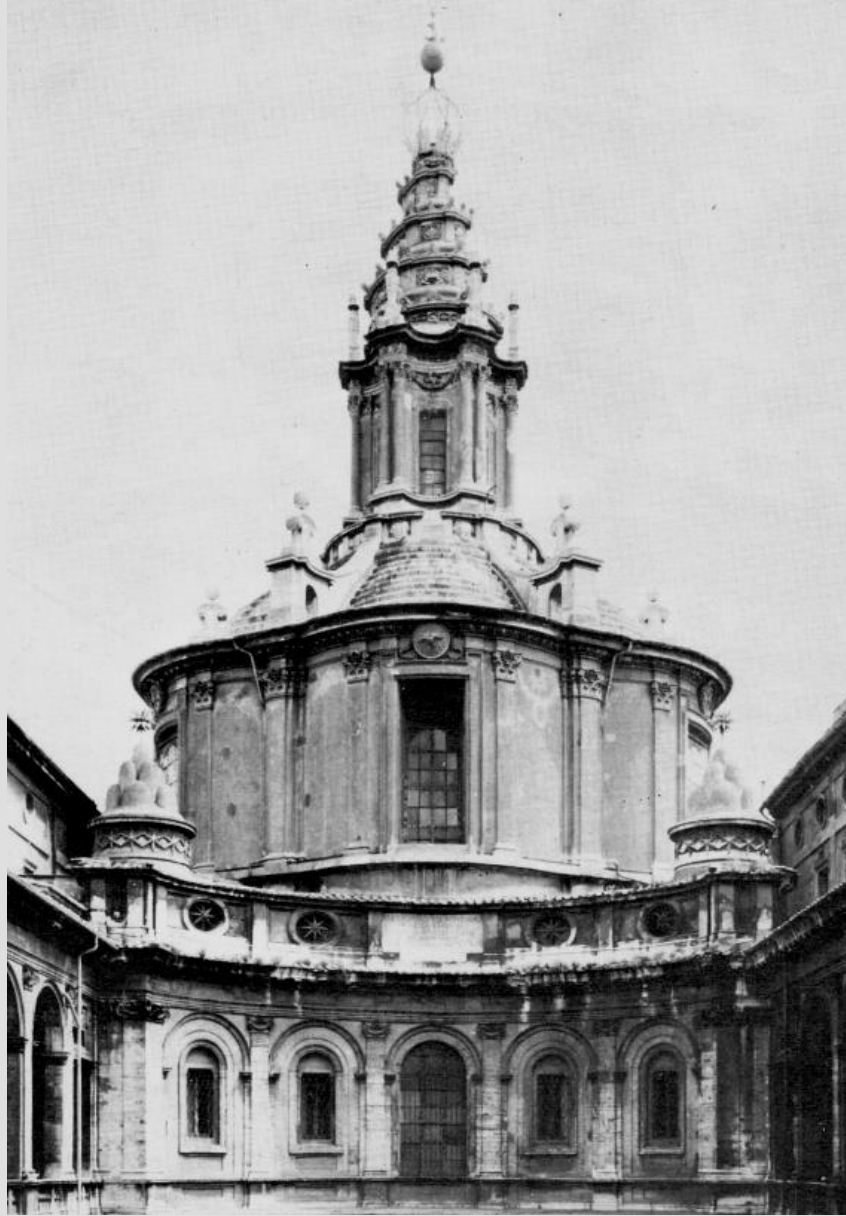


Fig. 34 - Vista fotografica del tamburo e della cupola di Sant'Ivo dal cortile di palazzo della Sapienza a Roma.

Fig. 35 - Spaccato assonometrico della tribuna e della cupola di Sant'Ivo alla Sapienza a Roma.





Variazioni di schemi borrominiani e manieristici si possono considerare le cupole di **Guarino Guarini**, ad arconi intrecciati quali elementi portanti.

In questa ricerca dilatando il campo degli interessi tecnici, scientifici e storicistici dell'architetto, egli si avvale di un sistematico metodo d'invenzione, nel quale convergono aspirazioni universalistiche, revisione dei contenuti e sperimentazione di nuovi modelli costruttivi.

La sua opera principale dove riversa le sue esperienze, in particolare, quelle della ricerca strutturale risulta essere la chiesa di **San Lorenzo a Torino**, costruita per i **Teatini** fra il 1668 e il 1680, (figura 36 e 37).

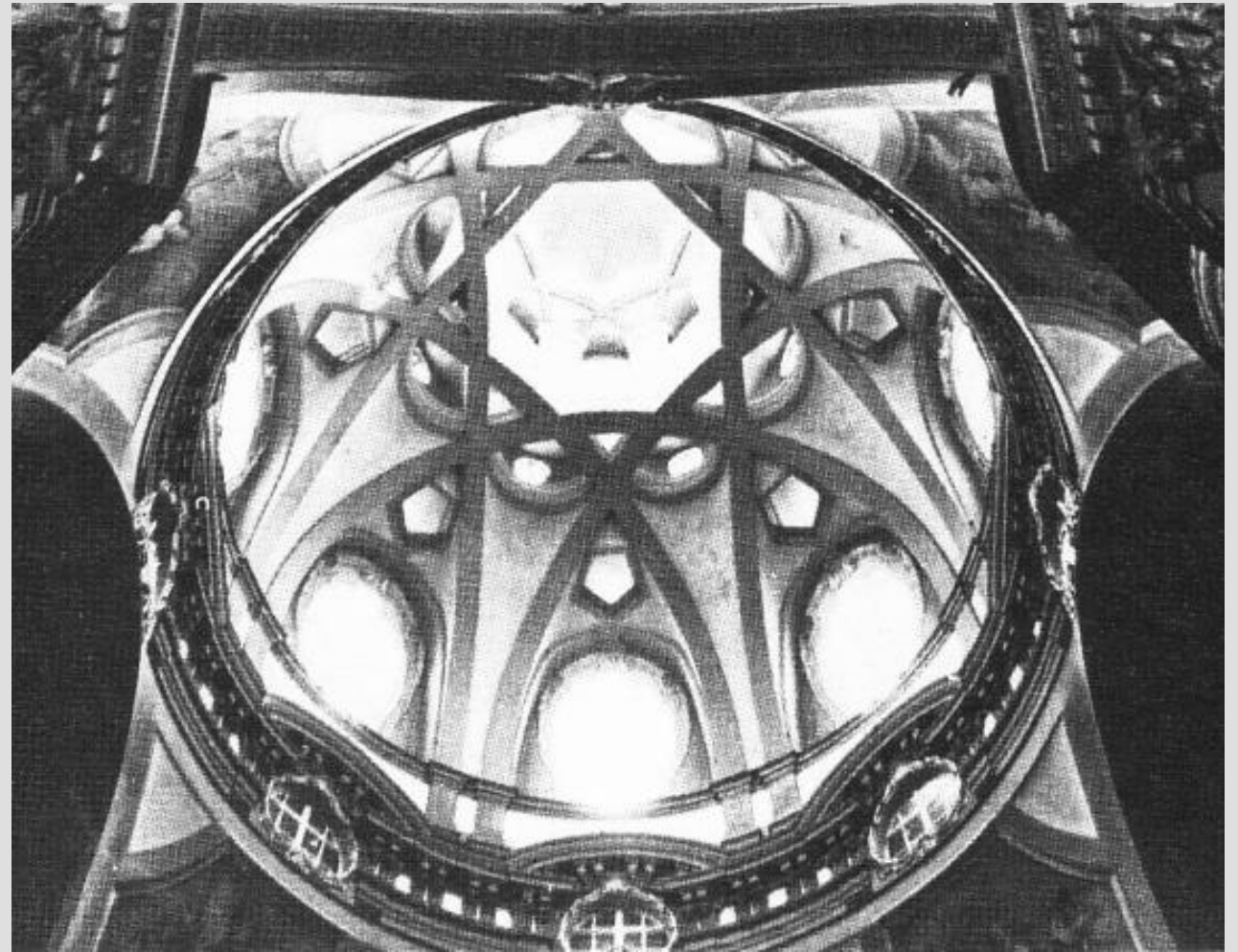
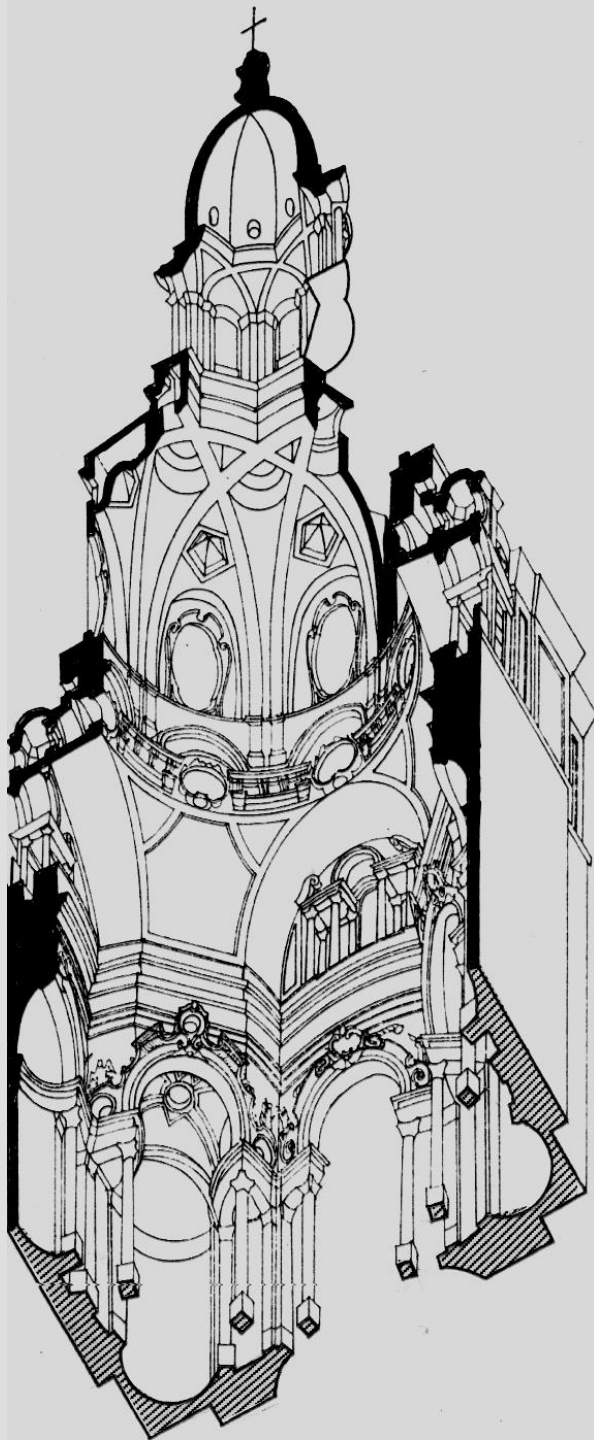


Fig. 36 e 37 - Spaccato assometrico e vista fotografica della cupola della chiesa di San Lorenzo a Torino.



Nella grande tradizione architettonica del barocco italiano si inserisce la figura di **Filippo Juvarra** che rappresenta la figura più importante del primo trentennio del secolo XVIII.

Dopo un periodo di formazione artigiana in Sicilia, si inserì, mentre studiava a Roma con **Carlo Fontana**, nel vivo dei dibattito tra Classicismo e Barocco, traendone quegli spunti che approfondì poi nelle sue opere in Piemonte.

La sua opera si sviluppò su due filoni diversi, identificabili l'uno nel classicismo della basilica di Superga e della cupola del duomo di Como, (figure 38 e 39) l'altro nella reinterpretazione di istanze barocche della chiesa del Carmine di Stupinigi, (viste fotografiche).

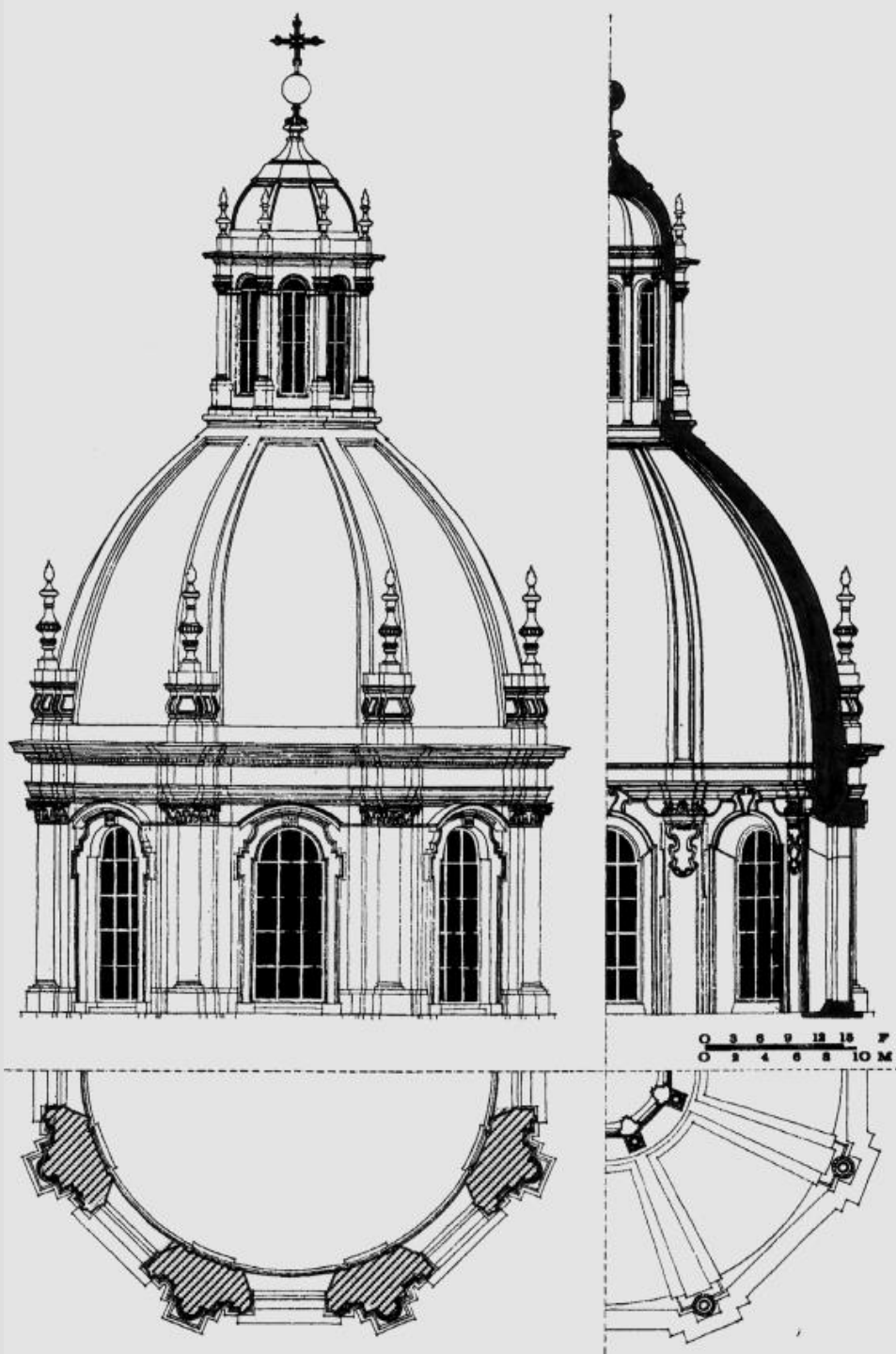


Fig. 38 e 39 - Prospetto, pianta e sezione del duomo di Como e vista fotografica della cupola.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA



Chiesa del Carmine di Stupinigi, (viste fotografiche dell'esterno e dell'interno) .



Unico seguace di Guarini fu il piemontese **Bernardo Vittone** che ne pubblicò nel 1737 il trattato dell'Architettura civile, rimasto inedito alla morte del maestro (1683).

Il debito di Vittone verso Guarini - e attraverso questi verso Borromini - è dichiarato in una serie di edifici chiesastici a pianta centrale: **santuario del Vallinotto presso Carignano, 1738-39**, (figure 40, e 41); San Bernardino a Chieri, 1740-44; Santa Chiara a Bra, 1742, che elaborano in continue variazioni i prediletti schemi guariniani delle piante geometriche e delle complesse coperture di volte e cupole.

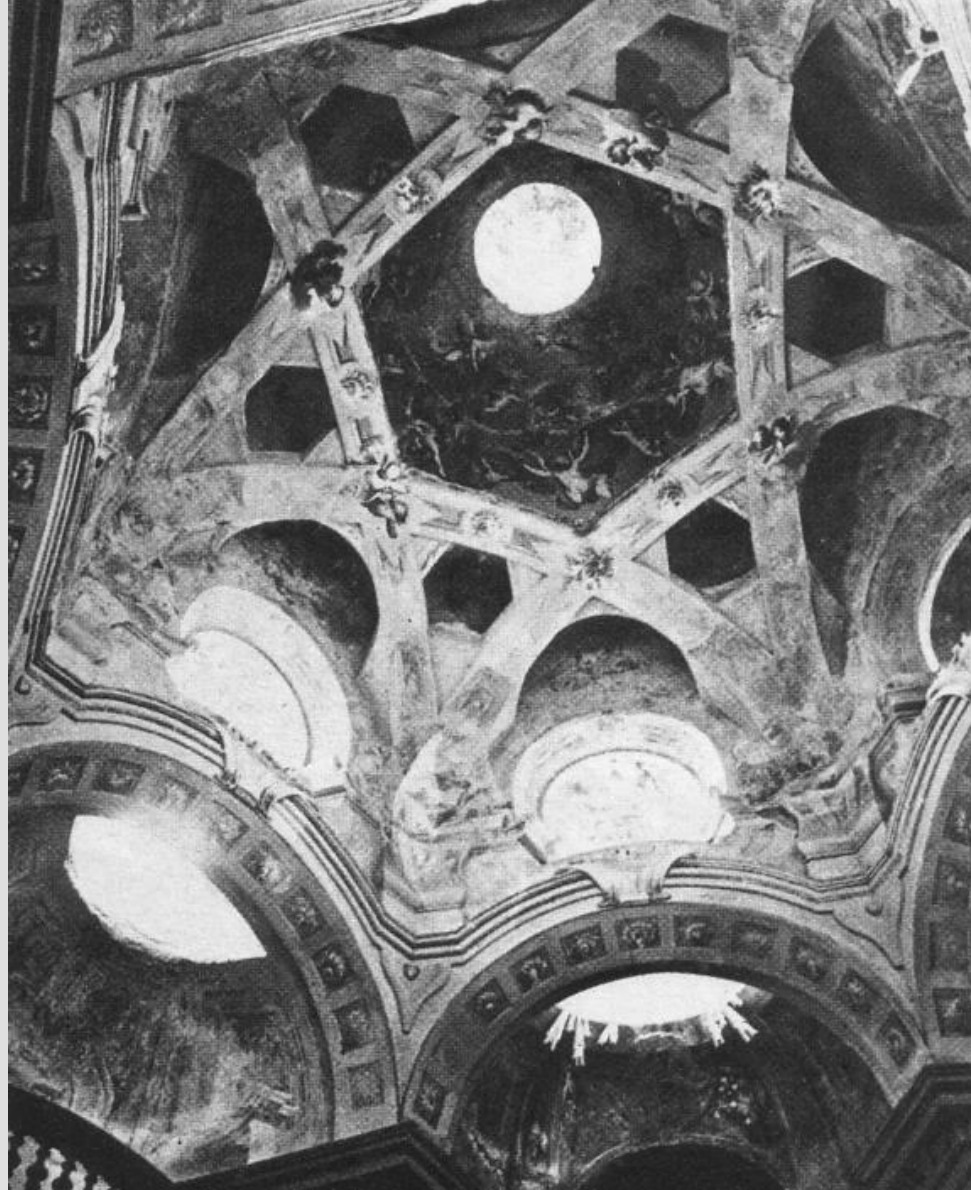
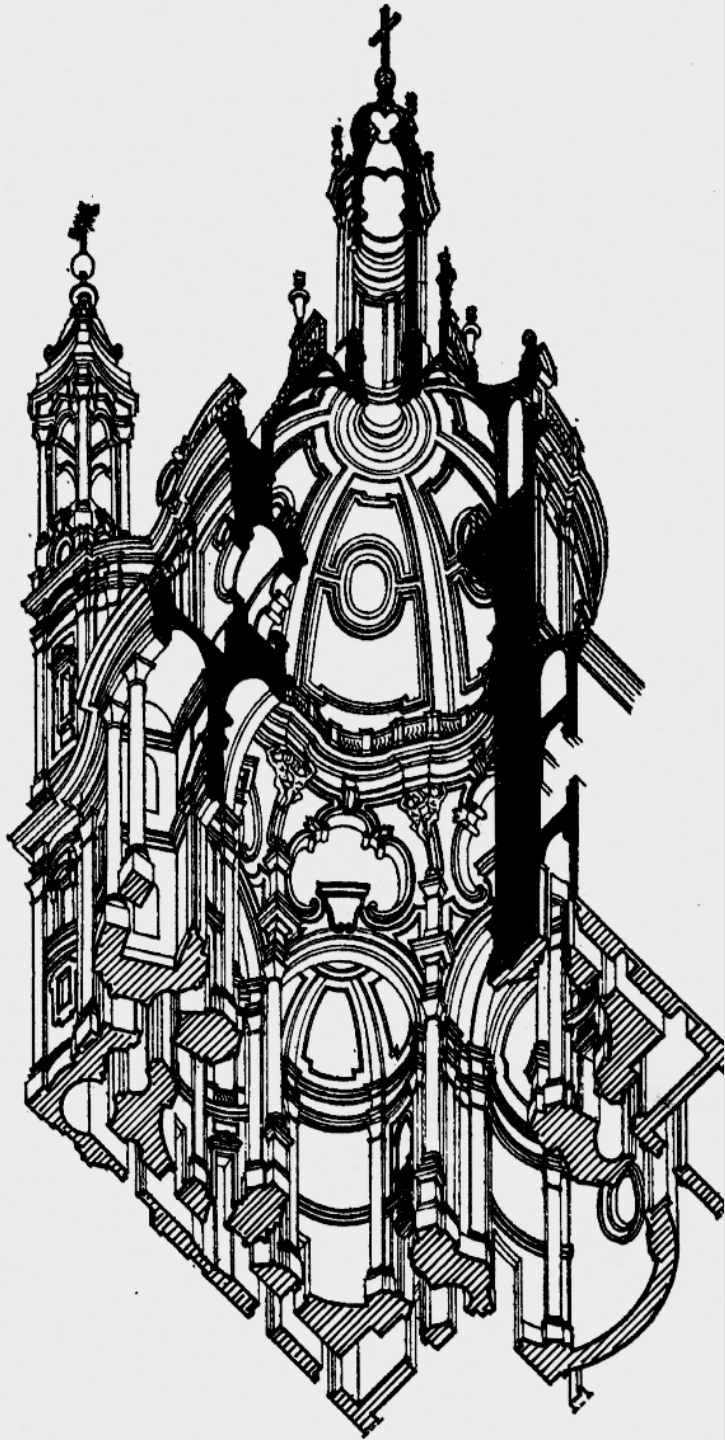


Fig. 40 e 41 - Spaccato assonometrico e vista fotografica della cupola della cappella della Visitazione al Vallinotto presso Carignano.



Fino al XIX secolo, prima che i materiali industriali fossero disponibili, le strutture a cupola erano al culmine delle esperienze progettuali e costruttive e spesso erano interpretate esasperandone la complessità e l'arditezza; si possono citare, come esempio, le strutture di **Alessandro Antonelli**, tra le più alte nel mondo nel loro genere, e in specie le cupole a triplice calotta, per l'intrinseca complessità costruttiva.

Queste erano composte da una prima volta con apertura superiore, da una seconda calotta che chiudeva l'ambiente e da una successiva copertura, ancora in muratura, come a **San Gaudenzio di Novara** dell'Antonelli, (figure 42 e 43).



Fig. 42 e 43 - Vista fotografica dell'esterno e sezione della chiesa e della cupola dell'ultimo progetto del 1861. Novara, chiesa di San Gaudenzio.



È la stessa imponenza simbolica che si sviluppa dalla **Mole Antonelliana di Torino**, (figure 44 e 45) la vicenda di questa fabbrica è infatti comprensibile solo se letta in relazione con la realtà urbana torinese ottocentesca. La funzione stessa dell'edificio, privo di riferimenti formali precisi, permette all'architetto di realizzare un progetto dove le sue concezioni più avanzate possono trovare sviluppo.

Nel 1869 la costruzione fu interrotta sia per sospetti circa la stabilità dell'opera, sia per l'impossibilità da parte della comunità ebraica di sostenere l'alto onere economico del completamento. Alle difficoltà economiche fece fronte il Comune acquistando l'edificio e trasformandolo a museo.

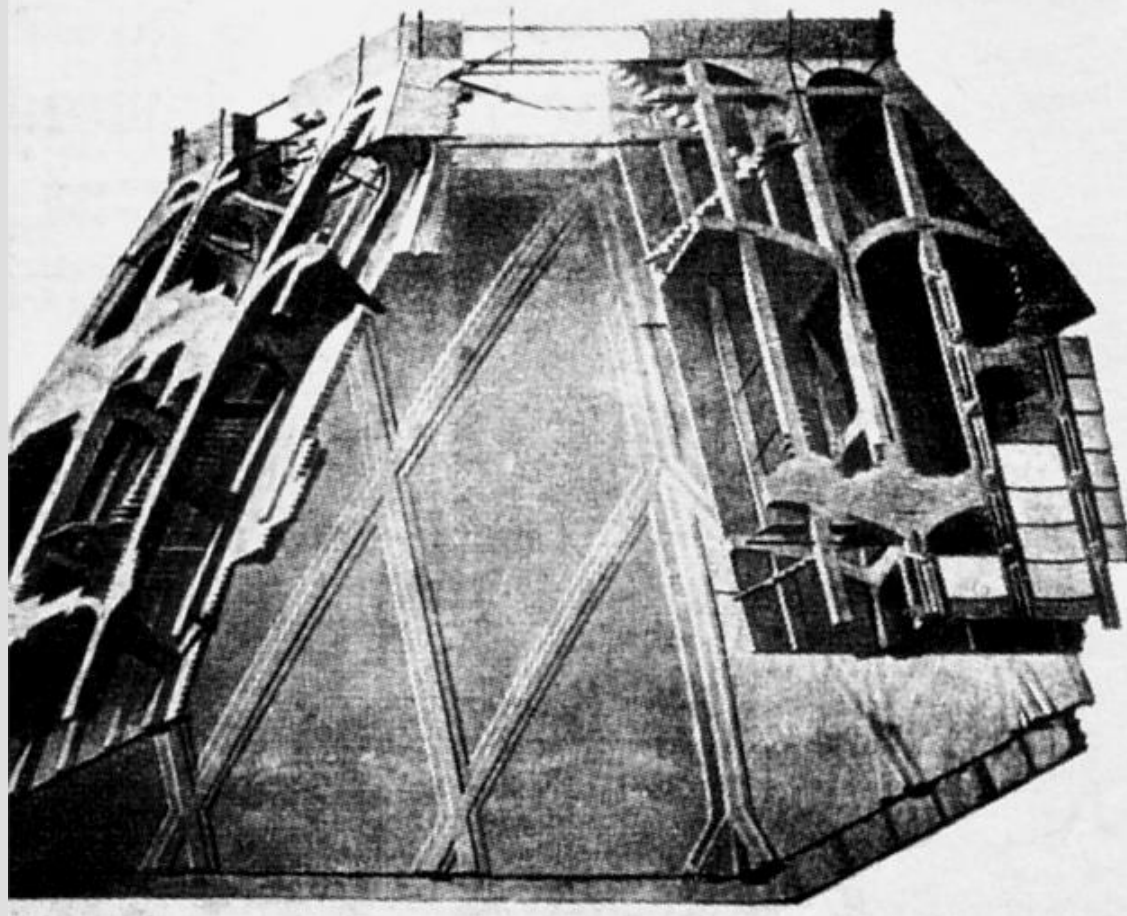


Fig. 45 - Disegno esecutivo della struttura costruttiva della cupola da *L'ingegneria civile e le Arti industriali*, 1875.



Fig. 46 - Vista fotografica della cupola della Mole Antonelliana a Torino.