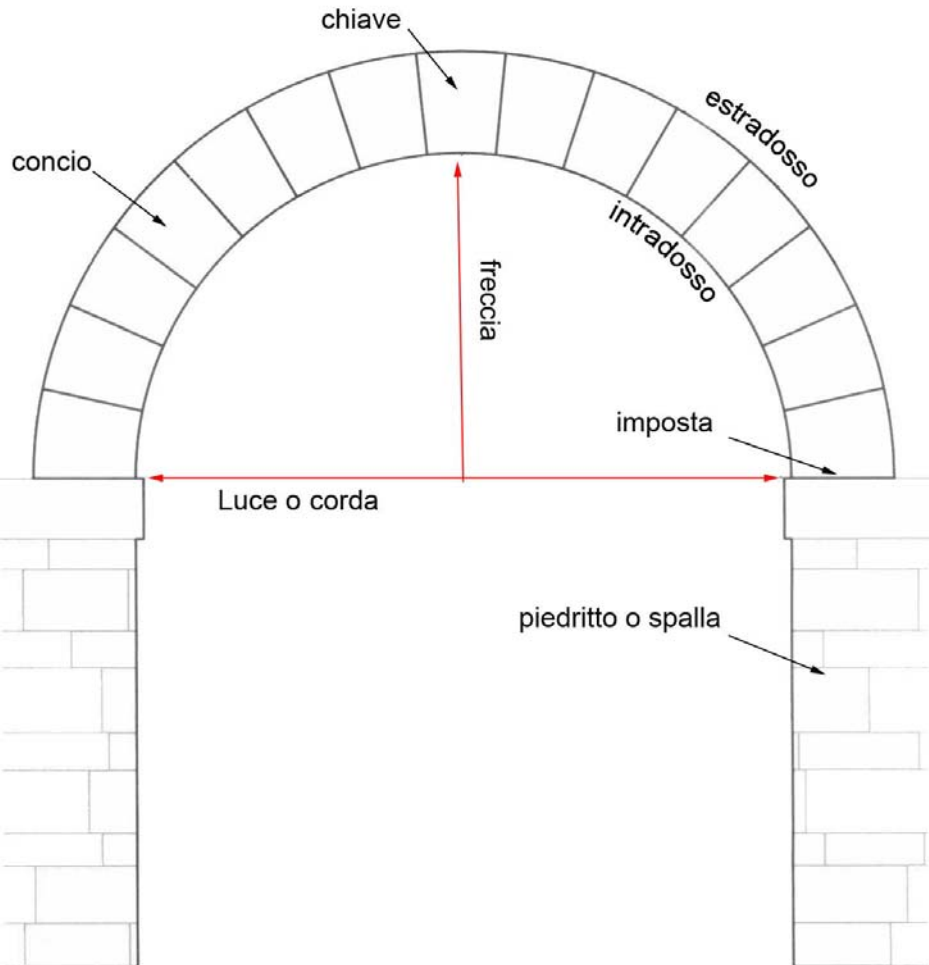


archi e volte

L'ARCO

L'arco è un elemento costruttivo dal profilo curvilineo in grado di sostenere i carichi sovrastanti che a differenza dell'architrave, trasmette un'azione di spinta lateralmente sui piedritti.

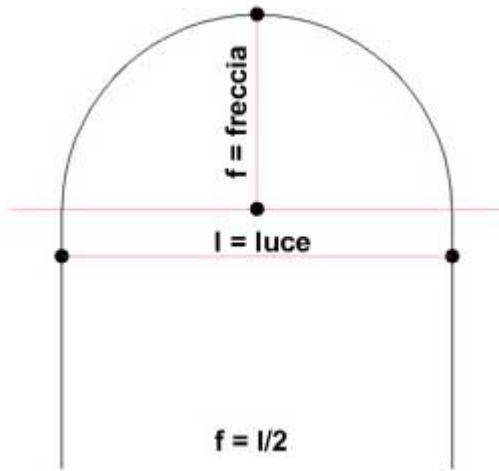


Nell'arco si distinguono le seguenti parti:

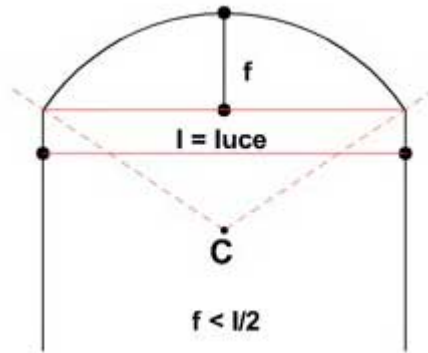
- **concio**: ciascun blocco dell'arco di forma trapezoidale;
- **intradosso** e **estradosso**: rispettivamente la superficie inferiore e superiore dell'arco i che possono risultare ad andamento parallelo e non;
- **archivolti**: le superfici frontali, cioè le due facce esterne secondo una vista di prospetto dell'arco;
- **chiave**: il punto più alto della curva dell'intradosso (il concio di chiave è posto alla sommità);
- **imposta**: superficie di appoggio dell'arco sui piedritti;
- **corda**: distanza netta all'imposta tra piedritti (luce);
- **freccia** o **monta**, distanza tra punto chiave e la corda;

classificazione degli archi

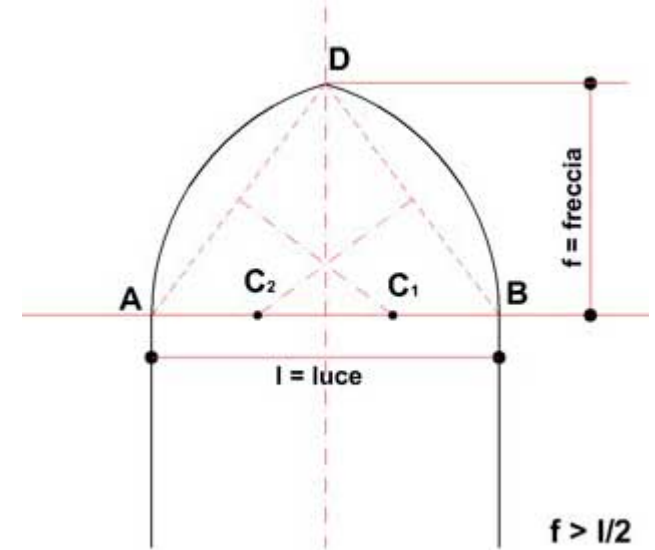
Il profilo o sesto: è il rapporto tra la freccia e la semicorda dell'arco.



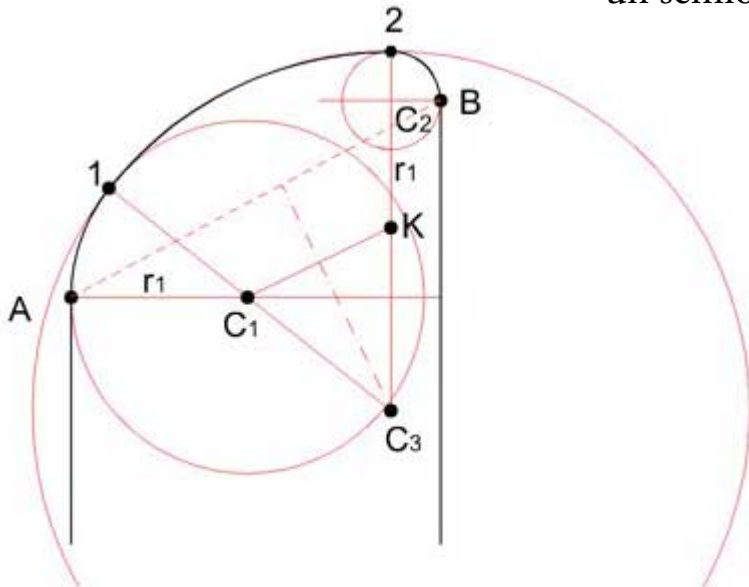
arco a tutto sesto:
la freccia è pari alla metà della luce



arco a sesto ribassato:
la freccia è minore della metà della luce, il profilo può essere un arco di cerchio, un arco di ellisse o un semiovale



arco a sesto rialzato:
la freccia è maggiore della metà della luce, il profilo può essere semiovale, semiellittico o a sesto acuto;



Arco rampante:
l'arco è rampante se la linea d'imposta non è orizzontale.

Tipologie di archi



Arco a tutto sesto



Arco a sesto ribassato



Arco a sesto acuto



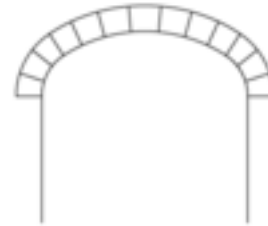
Arco rampante



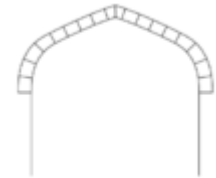
Arco trilobato



Arco rialzato
o a ferro di cavallo

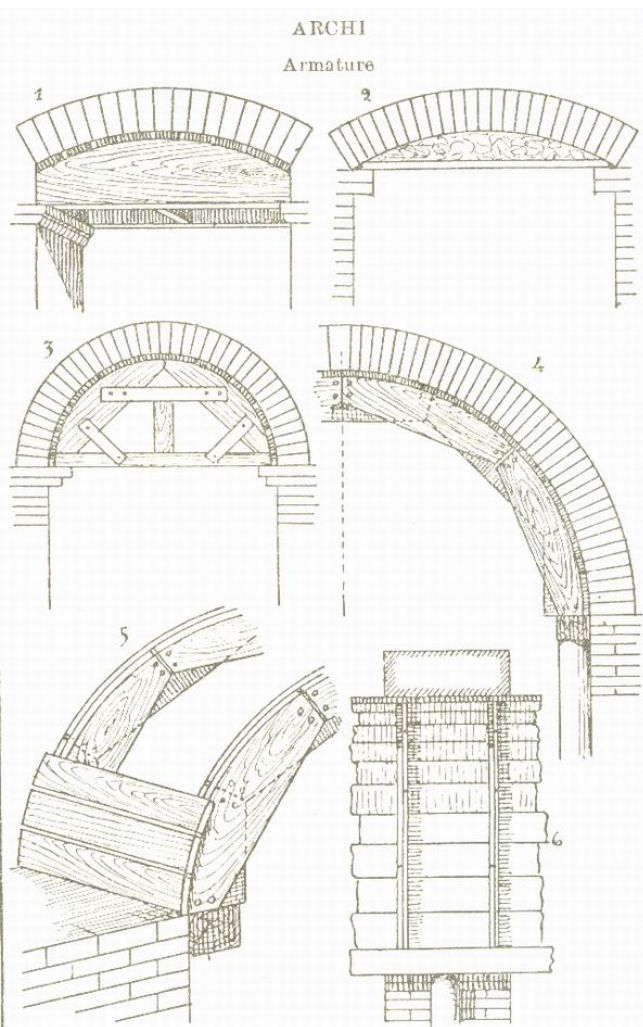


Arco tricentrico



Arco tudor

Caratteristiche statiche dell'arco



L'arco si sostiene grazie alle forze di pressione fra i conci, mentre un architrave posto tra due pilastri è sottoposto al peso stesso del monolite e della struttura sovrastante che, al centro del blocco, esercita una forza (forza peso) verso il basso la quale, non esistendo alcun sostegno al di sotto, tende a spaccare il blocco.

Quindi l'arco è in grado di sostenere pesi notevolmente superiori rispetto ad un architrave e può realizzare varchi molto più ampi. Si consideri anche la maggiore difficoltà di realizzazione e trasporto data da un grosso monolite rispetto ai pur grossi blocchi di pietra usati come conci.

Viene realizzato utilizzando i conci, pietre tagliate a forma trapezoidale (anche detti per questo cunei), o semplici mattoni; i conci formano un elemento architettonico curvo che va a poggiare sui piedritti realizzando così una struttura architettonica.

L'arco riesce a sorreggersi ed a sostenere un peso trasferendo lo sforzo via via dall'elemento centrale, il concio di chiave, ai conci laterali; alla fine il peso viene scaricato parte verticalmente a terra attraverso il piedritto che lo sorregge e parte orizzontalmente contro la spalletta di sostegno. Ciò determina che si dovrà prevedere una adeguata struttura laterale di sostegno per le spinte orizzontali.

L'arco veniva posto in opera utilizzando le **cèntine**; queste erano realizzate creando una struttura in travi di legno che davano la forma alla curvatura dell'intradosso sulla quale erano quindi poggiati i conci dell'arco. Una volta che la messa in opera dei conci era completata, la centina veniva rimossa con l'operazione del disarmo, cioè liberandola dal peso dell'arco.

LA VOLTA

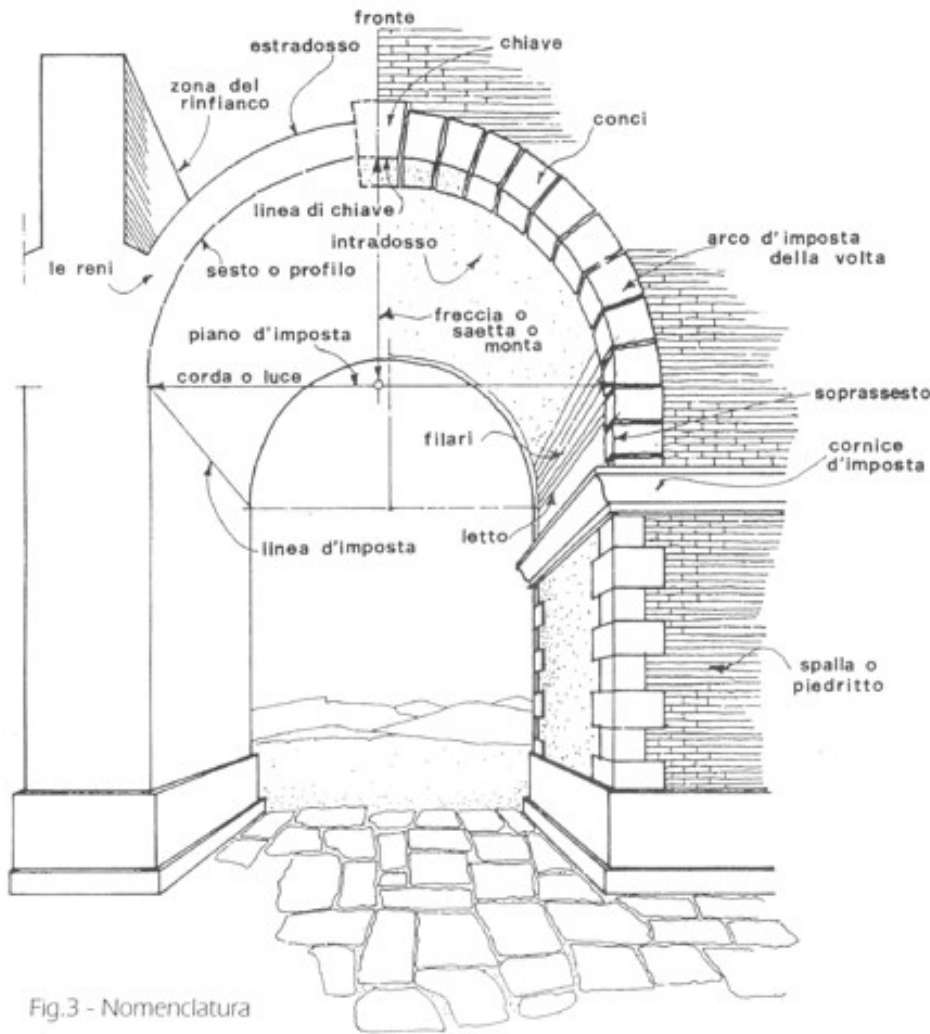


Fig.3 - Nomenclatura

Il concetto strutturale delle VOLTE si lega a quello dell'arco, ove il peso e la spinta vengono assorbite dai muri. Infatti staticamente le volte possono considerarsi come una successione di archi elementari.

La genesi geometrica e costruttiva delle volte si basa su operazioni di traslazione, rotazione o rivoluzione degli archi

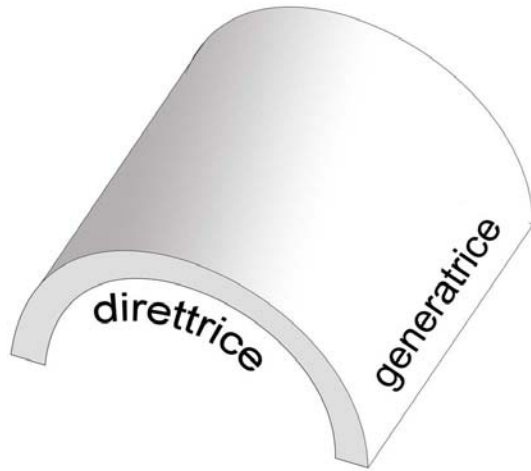
Le volte sono utilizzate per realizzare coperture di ambienti, chiusi o in parte aperti.

Esse sono sostenute da elementi verticali, le cui caratteristiche variano a seconda del tipo di volta (setti portanti, pilastri, ecc.).

Similmente agli archi, il piano che divide gli elementi portanti verticali dalla superficie voltata è detto **piano d'imposta**; il punto, o i punti, o le generatrici appartenenti alla volta e giacenti alla massima quota sono detti **elementi di chiave**.

La geometria di una volta è varia a seconda del tipo di superficie geometrica di cui essa è costituita. Si possono avere volte a semplice o doppia curvatura

Geometria della volta



Si definisce volta un particolare tipo di superficie posta a copertura di uno spazio delimitato da muri o da pilastri. La volta è un elemento tridimensionale dato dallo sviluppo di una superficie nello spazio, più precisamente dalla traslazione o rotazione di una curva direttrice lungo una retta generatrice.

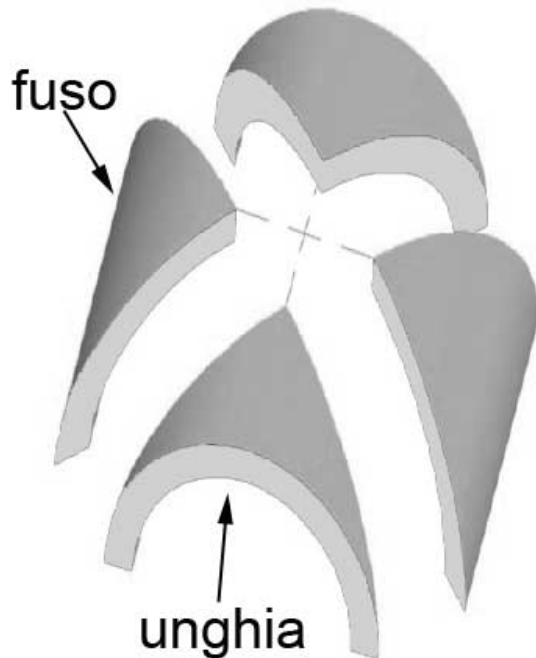
La **DIRETTRICE** è dunque la curva che determina la forma della volta

La **GENERATRICE** è la retta che con il suo movimento lungo la direttrice genera la superficie della volta

Se operiamo due tagli con dei piani verticali secondo le diagonali del poligono di base chiameremo:

UNGHIA, la porzione di volta compresa tra le diagonali del poligono e la fronte della volta

FUSO, la porzione di volta compresa tra le diagonali del poligono ed i muri del piedritto

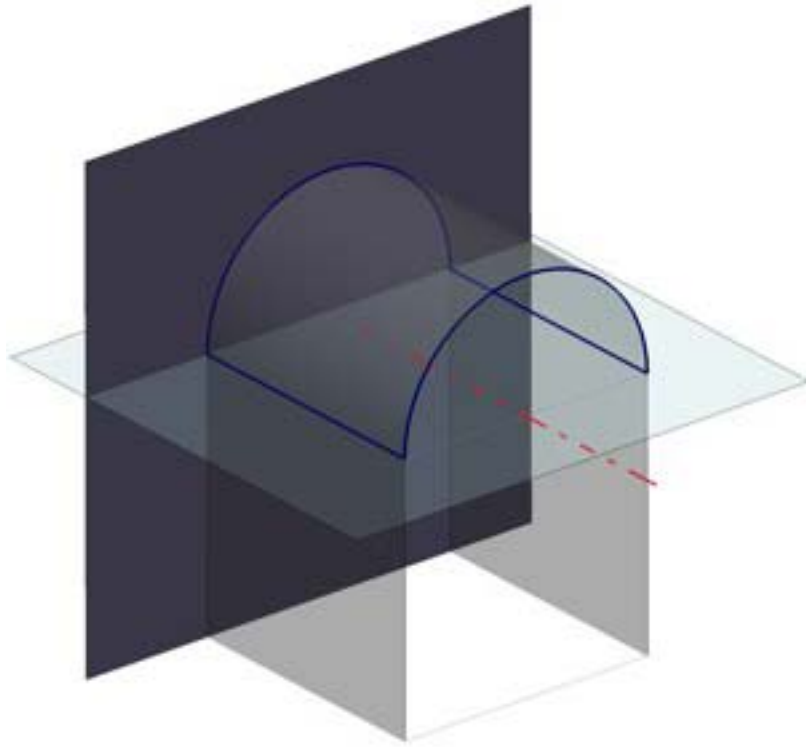


Tipologie di volte

Le volte si possono suddividere in due grandi categorie:

- 1. le volte semplici, ovvero quelle costituite da superfici appartenenti ad un unico solido:**
 - *volte a botte*
 - *cupola*
 - *volta a vela*
- 2. le volte composte, ovvero quelle costituite da superfici appartenenti a solidi differenti:**
 - *volta a botte lunettata*
 - *volta a crociera*
 - *volta a padiglione*

Volta a botte



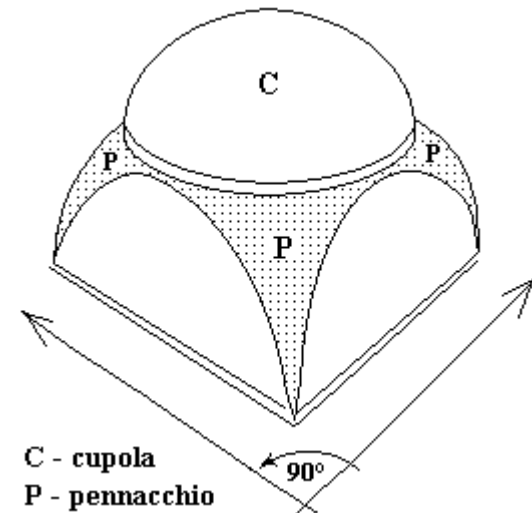
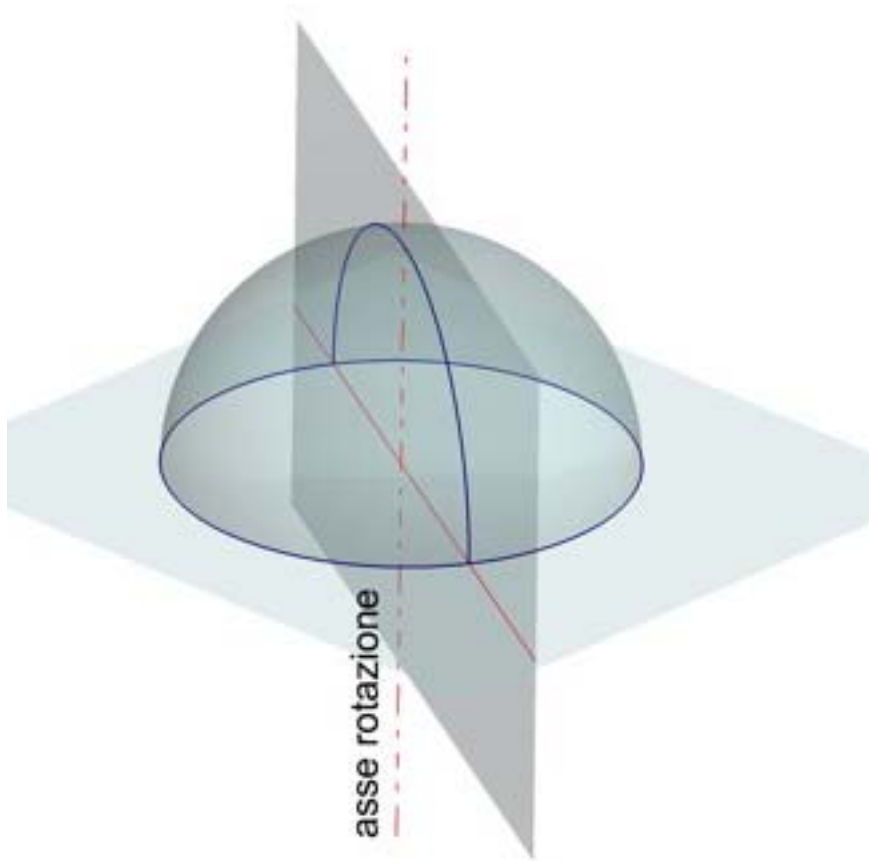
È il più semplice tipo di copertura derivata dall'arco e ottenuta mediante una sua traslazione secondo una generatrice lineare perpendicolare all'arco (direttrice); veniva utilizzata per coprire spazi rettangolari e lunghi camminamenti; il peso si scarica sui due muri di appoggio degli archi.

La volta a botte si può dividere in 4 parti utilizzando due piani diagonali: due unghie e due fusi; da queste superfici si ottengono le volte composte **a crociera** e **a padiglione**; a parte eventuali considerazioni estetiche strutturalmente in tali tipologie architettoniche composte il peso del tetto si scarica principalmente sulle costole della volta e da queste sulle colonne di sostegno mentre nella **volta a botte** o anche in quella **a cupola** il peso si distribuisce uniformemente su tutto il muro.

Volta a cupola

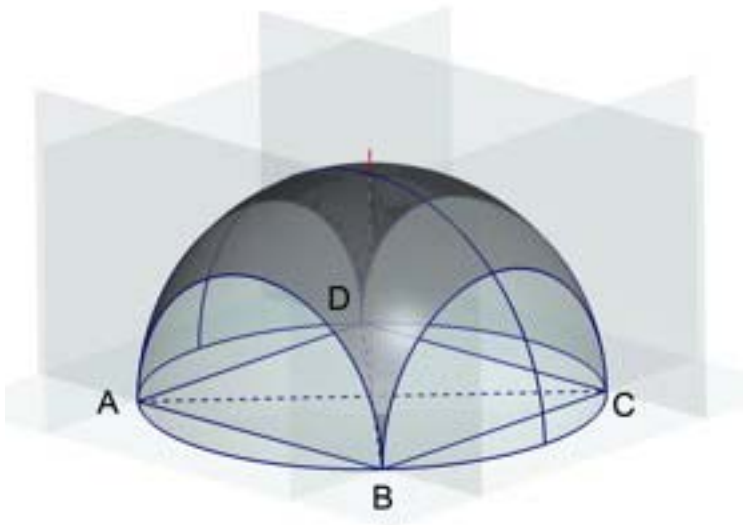
Geometricamente ottenuta dalla rotazione dell'arco intorno all'asse passante per il suo centro. L'esempio più famoso è la enorme cupola del Pantheon, l'unico monumento romano miracolosamente giunto sino a noi quasi intatto.

Nel caso l'ambiente coperto dalla cupola sia a pianta quadrata o poligonale occorrerà unire la cupola con le mura di sostegno utilizzando delle superfici curve di raccordo chiamate *pennacchi* (*pennacchio cilindrico, conico o sferico*).



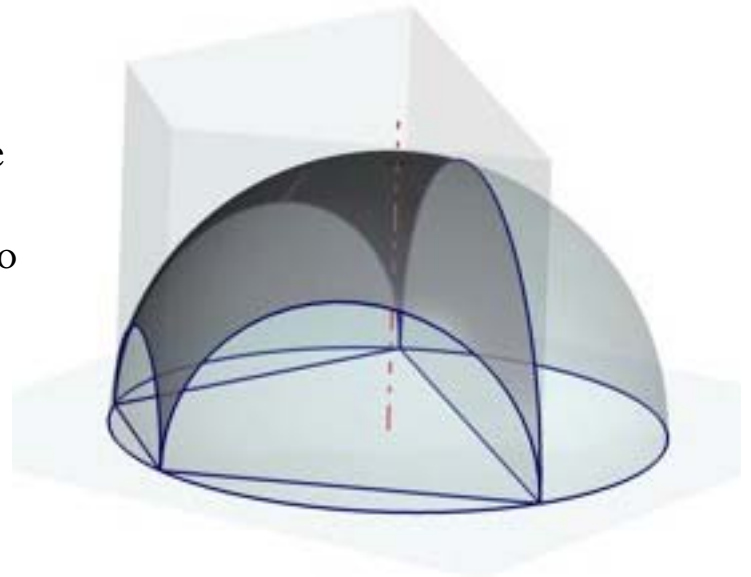
Volta a vela

Si tratta in sostanza di una volta a cupola innestata su di una base quadrata; non vengono utilizzate superfici di raccordo e la linea di intersezione tra il muro di sostegno e la cupola è un arco (mentre nella volta a cupola è una linea orizzontale).

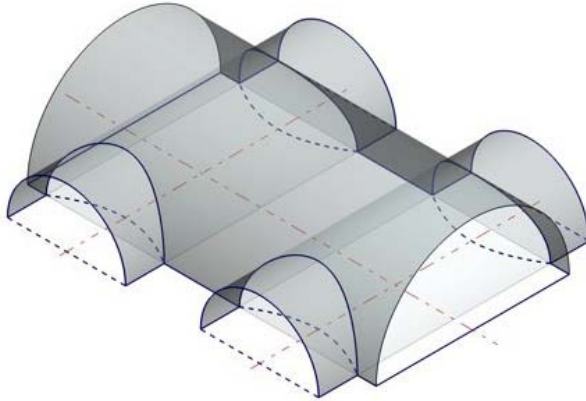


Si ottiene sezionando una semisfera il cui equatore è circoscritto al poligono di base con piani verticali passanti per i lati del poligono di base. In questo caso gli archi posti in corrispondenza di detti lati, archi d'imposta, sono a tutto sesto.

Volta a vela sferica



Volta a botte lunettata

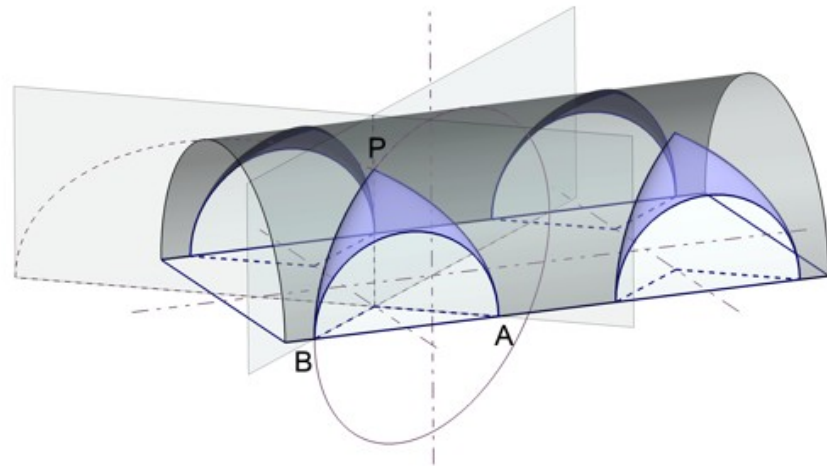


La **volta a botte lunettata** è una volta composta utilizzata in architettura quando vi è l'esigenza di aprire vani al di sopra del piano di imposta.

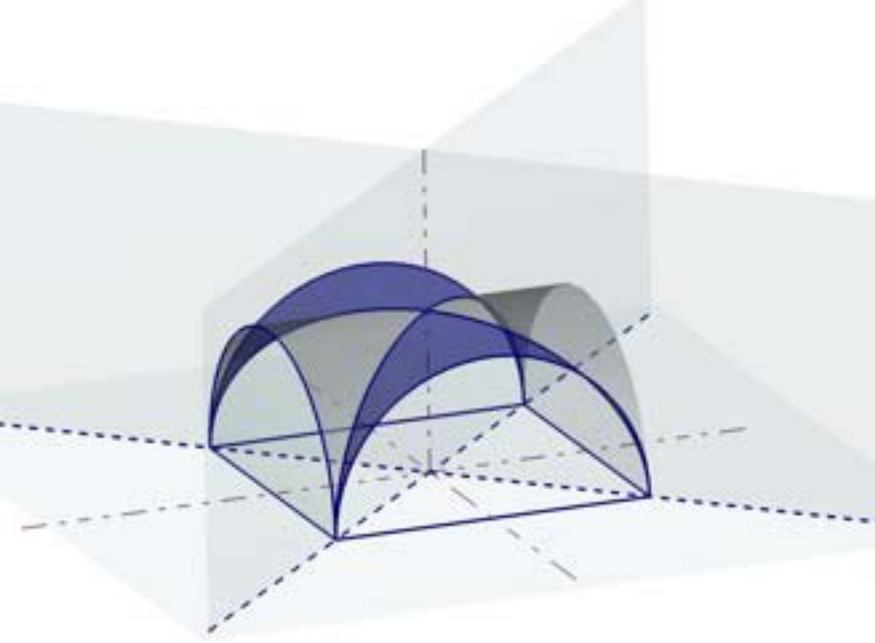
La **lunetta** è **cilindrica** quando è generata dall'intersezione della volta a botte con semicilindri la cui direttrice abbia diametro inferiore a quello della botte.

L'intersezione delle due superfici è una curva gobba del quarto ordine.

La lunetta si definisce **sferoidale** o **sferoidica**, quando la superficie è generata raccordando il vano aperto con i costoloni ottenuti sezionando la volta con due piani verticali simmetrici rispetto all'asse della lunetta.



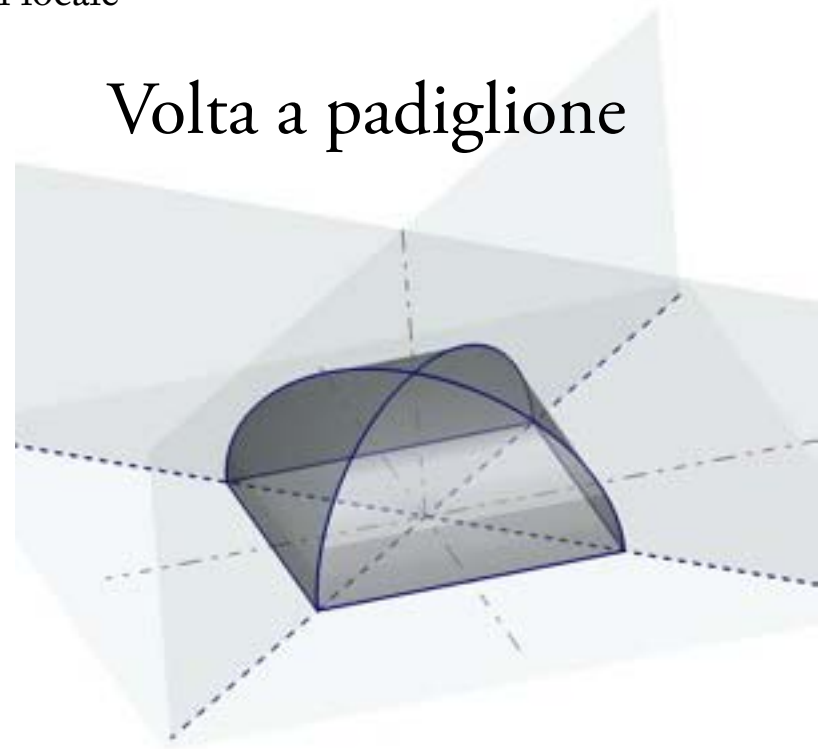
Volta a crociera



Geometricamente si ottiene dall'unione di **4 fusi** di una **volta a botte**; è analoga alla volta a crociera dove però si utilizzano 4 unghie; lo spigolo di intersezione tra volta e pareti è tutto contenuto in un piano orizzontale.

Geometricamente la sua superficie è ottenuta dall'unione di **4 unghie** di una volta a botte; si ottiene da due archi incrociati ad angolo retto, che portano ad una suddivisione del soffitto in quattro parti simmetriche, ognuna ricoperta utilizzando un'unghia; gli spigoli di intersezione tra volta e pareti di sostegno disegnano degli archi; il peso si scarica sui piedritti agli angoli del locale

Volta a padiglione



Le volte nell'architettura romana

L'adozione della volta per coprire ambienti di medie e grandi dimensioni, le coperture realizzate con volte di tipologia diversa (a cupola, a tutto sesto, a sesto ribassato, a padiglione, a crociera, anulari) sono state realizzabili solo con l'introduzione delle volte in muratura verso la fine del II secolo a.C. L'esperienza aveva fornito ai costruttori romani le prove dei risultati raggiungibili dalla perfetta struttura in malta cementizia. A questo si deve aggiungere anche lo studio della resistenza dei punti di appoggio delle volte e del rapporto tra questi e l'ampiezza della copertura. L'aumento dello spessore delle pareti di appoggio, l'inserimento di semicolonne o di nicchie sono tutti accorgimenti che progressivamente indicano l'applicazione di soluzioni diverse al problema delle spinte e dei carichi.

L'alternanza nei vari ordini e piani degli assi delle volte, in successione, fa in modo che queste si contrastino a vicenda.

La garanzia per la stabilità della struttura era fornita non dall'equilibrio meccanico ma dalla coesione della malta, che diventava un vero e proprio elemento monolitico



Le volte nell'architettura romana

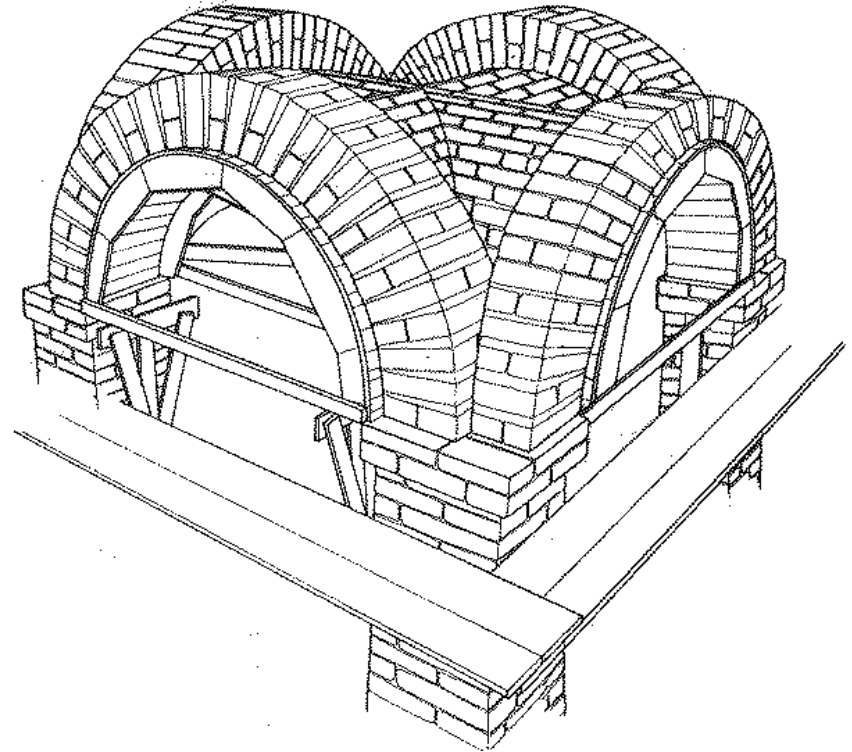
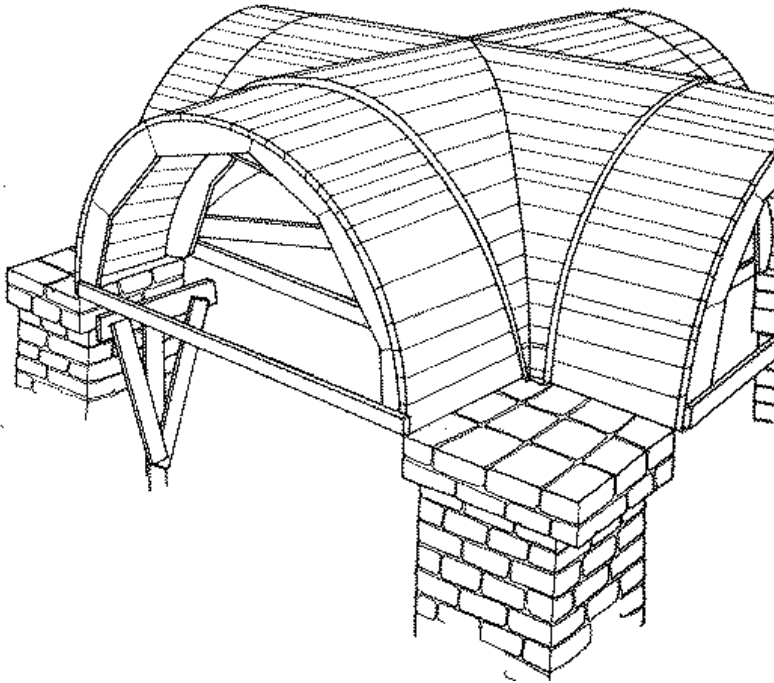
Per costruire le volte sulle centine e sulle armature di tavole si adotta anche il sistema di stendere uno strato di bessali, in modo da formare una seconda cassaforma permanente, sulla quale poi viene gettata la malta della volta, a cui i mattoni aderiscono perfettamente. Talvolta venivano inseriti dei bessali «a coltello» con disposizione radiale, in modo da funzionare da cunei per migliorare la presa dell'opera cementizia, formando dei veri e propri cassoni. Con lo stesso sistema si potevano ottenere i soffitti a cassettoni in cementizio, poi rivestiti di stucchi (**Pantheon**) ad imitazione di quelli in marmo. Una volta consolidata la malta, veniva tolta la centina e l'intradosso della volta appariva rivestito di mattoncini oppure decorato a cassettoni; il risultato era una struttura estremamente elastica, ma resistente. Le volte potevano essere decorate con pomici nei ninfei, oppure con costolature di pezzi di mattoni messi per coltello attraverso la volta, in modo da formare delle regolari nervature, talvolta evidenziate in forma di conchiglia a scopo decorativo.

Per alleggerire il peso delle volte, viene adottato il sistema di usare, anziché scapoli di tufo o selce, delle pomici o lava vulcanica (**Pantheon**), oppure delle **anfore panciute annegate nella malta**. Tale sistema, usato nel III-IV secolo e poi adottato nell'architettura medievale, con elementi fittili appositamente costruiti e inseribili l'uno dentro l'altro, ha fatto dare il nome di **Tor Pignattara** al **Mausoleo di Elena** sulla via Labicana; e lo troviamo usato anche nelle volte che reggevano la cavea del circo di Massenzio sulla via Appia Antica.



Le volte nell'architettura romana

Per costruire archi e volte era necessaria, anche se è documentata solo indirettamente, una carpenteria assai elaborata, cioè la predisposizione di supporti lignei costruiti con l'esatto profilo della curvatura da realizzare in materiale definitivo oppure incastellature per la costruzione dei piani in elevato. Le «centine» e i ponteggi in legno, ancora oggi usati nelle costruzioni più semplici e solo da poco sostituiti con tubolari in ferro, poggiavano direttamente a terra con pali di legno, oppure su apposite sporgenze previste nella muratura dei pilastri o delle pareti di appoggio (piedritti o spalle).



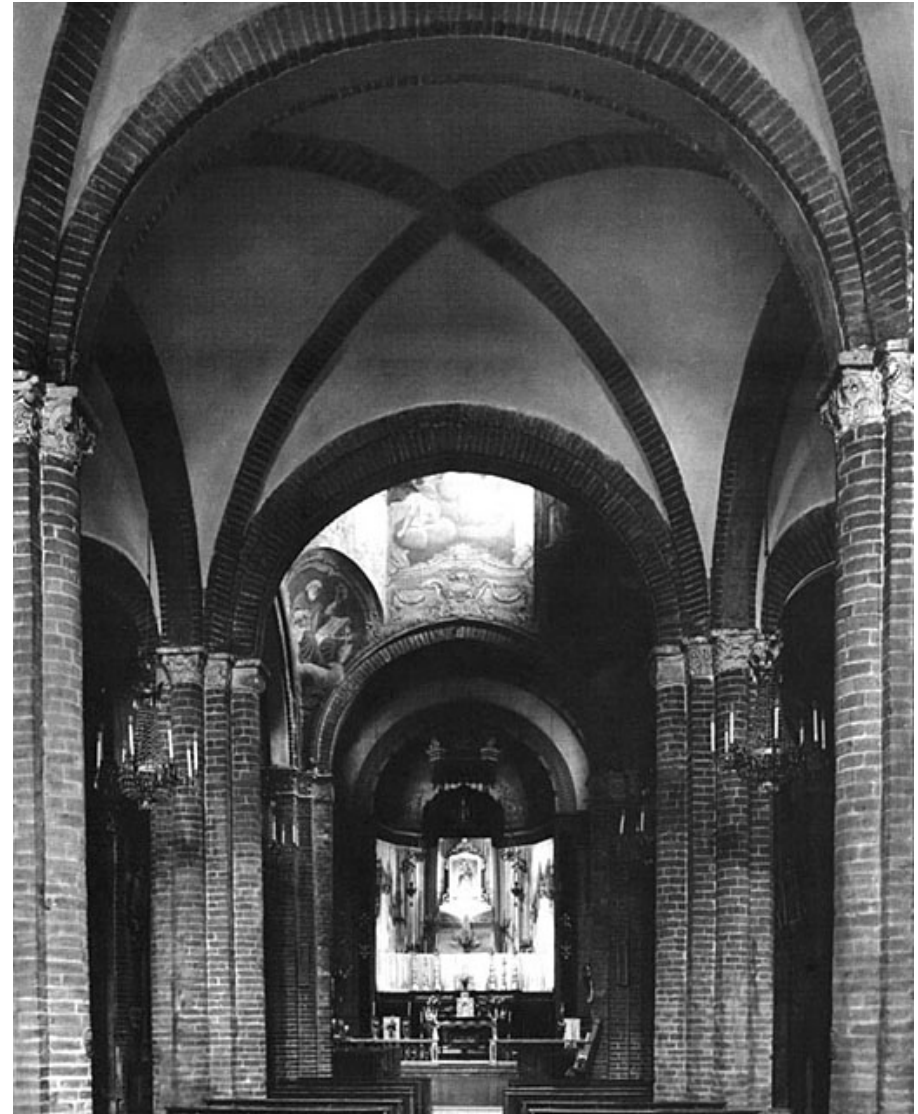
Le volte nell'architettura romanica

Le volte a crociera nell'architettura romanica vennero edificate in luogo delle capriate lignee.

Hanno la caratteristica di essere suddivise con arcate trasversali e sono costruite con singoli elementi di pietra cuneiformi, diverse da quelle romane realizzate con un conglomerato rivestito di malta e mattoni.

Robusti pilastri assorbono la spinta delle volte sui peducci con il vantaggio rispetto alle volte a botte di convogliare il peso anziché lungo tutta la linea d'imposta, solo su questi sostegni d'angolo, semplificando la necessità di approntare contropinte. Il sistema di forze che si scaricavano attraverso le volte delle navate centrali e laterali sui muri perimetrali obbligarono i costruttori all'uso di contrafforti esterni di rinforzo.

Una certa fragilità delle volte a crociera indusse gli architetti lombardi, insieme a quelli anglo-normanni, a rinforzarle con archi di sostegno trasversali (**costoloni** o **nervature**) che le dividevano in quattro **vele**. Si intuì presto che gli archi trasversali, autoportanti, potevano essere costruiti da subito, le vele divennero così semplici elementi di riempimento. le cupole innalzate all'intersezione dei bracci venivano raccordate con la pianta quadrata sottostante mediante l'uso di **pennacchi** a cuffia o, alla base poligonale con le **trombe**.



Le volte nell'architettura gotica

Elementi caratterizzanti la costruzione gotica sono costituiti dall'arco a sesto acuto, dalla **volta a crociera ogivale** e dall'**arco rampante**.

L'**arco a sesto acuto** o gotico, nasce dalla congiunzione di due curve che incontrandosi formano un angolo acuto. La volta a crociera ogivale non è altro che una volta a crociera dove gli archi che le danno forma sono a sesto acuto. Poiché la costruzione della volta era preceduta dalla posa in opera delle centine di sostegno in legno, i maestri del gotico ebbero la felice intuizione di comporre le centine in pietra così da renderle permanenti, accrescerne la resistenza e costituire un valido appoggio ai rivestimenti della volta.

In particolare la struttura di una volta a crociera ogivale è composta da **due archi diagonali** e da **quattro archi perimetrali** i quali fissano un punto d'incontro nel **concio di chiave** il quale mantiene bloccati gli altri conci e ne assicura la solidità. Le spinte sono ripartite su quattro punti di appoggio, a cui fanno capo gli archi, e pertanto ne risulta una struttura estremamente leggera, assolutamente indipendente, che consente una notevole riduzione della sezione dei pilastri e la traforazione dei muri, i quali assumono una funzione di tamponamento anziché di sostegno.



Le volte nell'architettura gotica

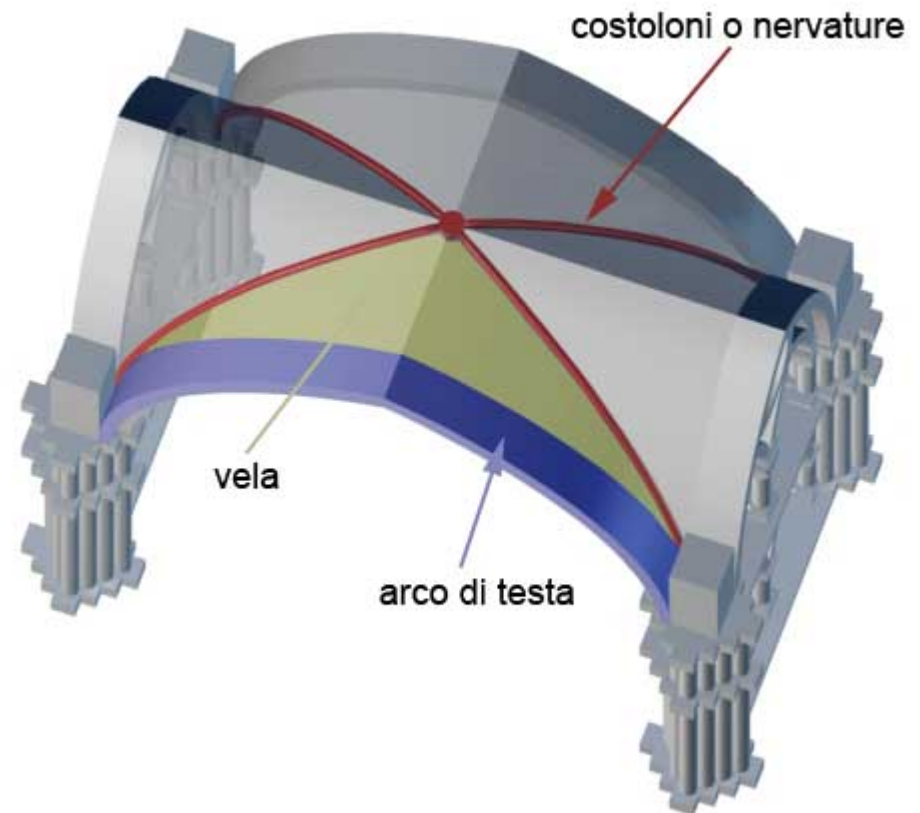
L'intersezione delle 2 botti nei costoloni creava un problema nel taglio delle pietre: Una semplificazione si ebbe costruendo i costoloni come archi indipendenti sui quali poggiavano le vele delle volte

L'esecuzione delle strutture ad arco o voltate avveniva per fasi:

- realizzazione di imposte aggettanti sui piedritti
- realizzazione degli archi
- realizzazione delle vele

Con le tecniche relative a pietra da taglio o a mattoni potevano essere realizzate volte senza cassaforma:

- occorrevano soltanto delle centinature disposte secondo le costolature.



Le volte nell'architettura gotica

Nel costruire una **volta a crociera** secondo lo schema architettonico romano con **archi di testa** a tutto sesto si presentava un problema:

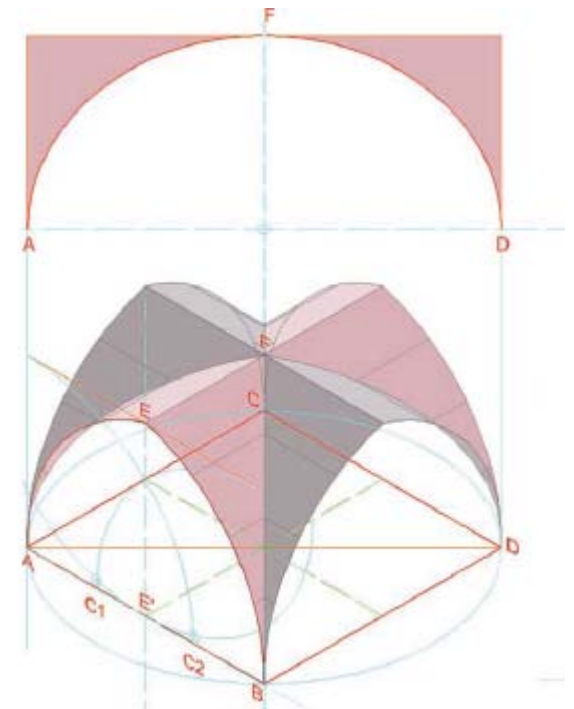
- gli **spigoli diagonali**, intersezioni di due cilindri circolari, risultavano delle **ellissi**
- **frazionando un'ellisse** in conci si sarebbero avuti **conci diversi** tra loro.

Il problema venne risolto dai costruttori gotici:

- Partendo dalla costruzione degli archi corrispondenti agli spigoli diagonali che hanno la forma di semicirconferenze con diametro uguale alla diagonale della pianta quadrangolare
- In questo modo gli **archi di testa** risultanti sono di **forma ellittica** che venivano approssimati con **archi a sesto acuto**

Si ottenne così che:

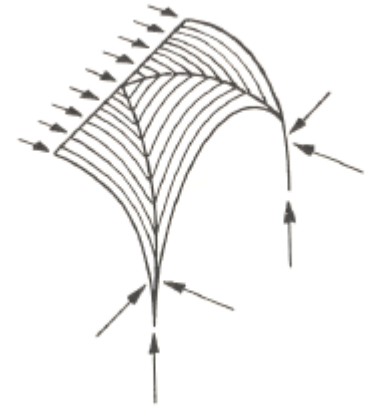
- a parità di dimensioni di base, si aveva una volta più slanciata
- a parità di pesi le **spinte sui piedritti** si riducono di circa il 30%.



Le volte nell'architettura gotica

L'intersezione delle volte in corrispondenza delle costole determina una concentrazione di forze dovuta all'improvviso cambio di direzione delle tensioni

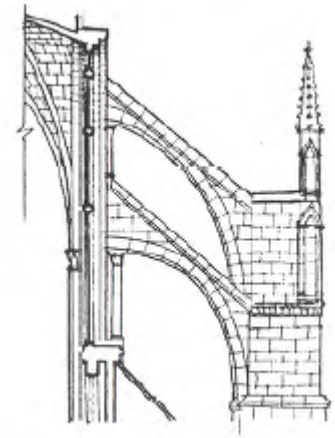
Le costole svolgono la funzione di irrigidimento della volta ed hanno anche funzione di rinforzo



Le volte a costoloni devono essere sostenute da **contrafforti**, che i capimastri delle cattedrali gotiche realizzarono esternamente raccordandoli con **archi rampanti**.

Per ridurre le dimensioni dei pilastri e ridurre le spinte spesso si usarono 2 archi rampanti posti l'uno sull'altro.

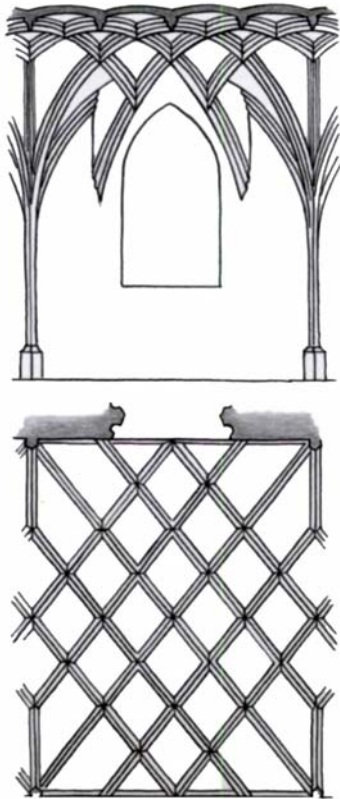
Pesanti guglie venivano aggiunte sui pilastri esterni per aumentare con il carico la compressione e ridurre la flessione



Le volte nell'architettura gotica

Oltre alla volta a crociera ogivale, nell'architettura gotica si distinguono anche:

volta reticolata: la volta è composta da nervature e unghie che formano un disegno a rete o a maglia.



volta stellata: la volta è composta da nervature e unghie che formano un complicato disegno a stella;

