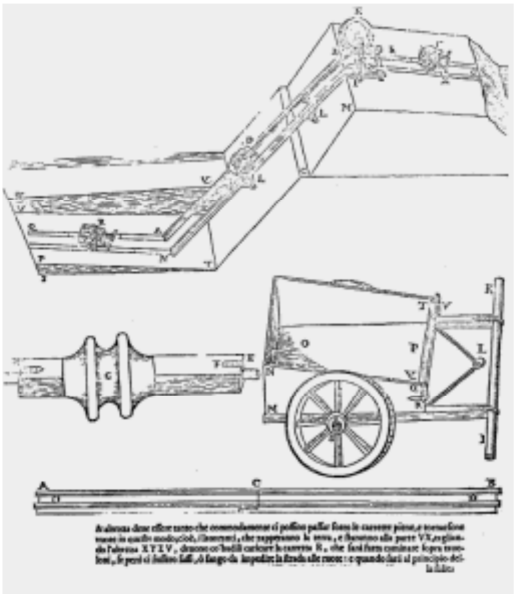
En algun tractat d'arquitectura militar es troben invencions més o menys complexes per mecanitzar les obres de les fortificacions, com el conegut instrument "per portar dintre la terra per terraplenar les fortaleses" publicat per *Bonaiuto Lorini*, un enginyer florentí que va emigrar a Venècia (fig. 28), o altres complexes invencions, que es proposaven per obres iniciades en temps de pau per enllestir-les de manera ràpida i desordenada sota la pressió de la guerra Aquestes màquines "inusuals" eren projectades més per impressionar els clients, que per ser posades en funcionament en construccions d'aquelles "grans màquines" de guerra que eren els murs de les ciutats i les noves fortaleses.



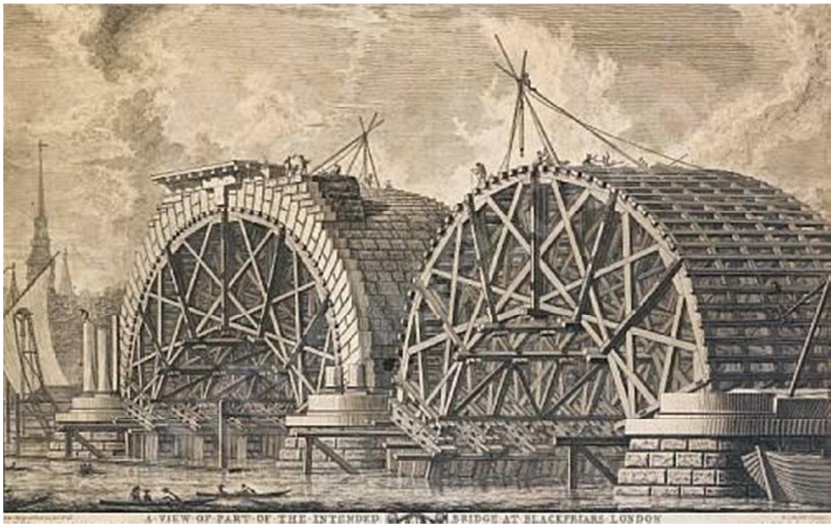
*28.- Bonaiuto Lorini, "Instrument i altres fàcils per portar a dintre la terra, per terraplenar les fortaleses", en La fortificació, Venècia, 1609, Llibre V, cap. X, p. 220.*

També en obres públiques i en aquelles relacionades amb la magnificència de la Cort, el recurs massiu del treball forçat i la natural abundància de treballadors, permetia d'emprendre obres colossals amb mitjans mínims i de limitar l'ús de les màquines estrictament indispensables. En les obres de millora, en la construcció d'aqüeductes, en l'excavació de canalitzacions, en la regularització dels rius, o en la construcció de carreteres, l'ús de les màquines era més moderat i es limitava a aquelles utilitzades en l'obra tradicional i únicament en casos particulars (construcció de ports i ponts, màquines per absorbir i elevar l'aigua), amb fortes connexions amb l'economia rural, en particular amb els molins, i amb la indústria minera.

Aquesta cultura enginyerística, nascuda a l'ombra de la cúpula, cultivada per la pràctica de la construcció i la freqüentació de textos clàssics i d'exemples moderns, va preparar el camí per grans enginyers hidràulics del segle XVI. Artistes com Tribolo, Buontalenti, Ammannati i Parigi, van redescobrir els textos antics d'Herón per aplicar-los a les elaborades fonts públiques i als sorprenents jocs d'aigua dels jardins i dels parcs.

## 3.5. Anatomia de l'arquitectura: la tecnologia de les Construccions en els gravats de Giovanni Battista Piranesi[30].

Els autors d'aquest document es centren en explicar l'obra gràfica de l'arquitecte, investigador i gravador italià *Giovanni Battista Piranesi*[31], del segle XVIII, que va realitzar més de 2000 gravats d'edificis reals i imaginaris, escultures i relleus de l'època romana i d'altres dissenys. La seva obra es va basar en reproduccions i interpretacions d'antics monuments romans, imatges exactes de les ruïnes existents i reproduccions imaginaries d'edificis antics entre d'altres, però també va realitzar algun gravat que ens és d'utilitat en el nostre context.



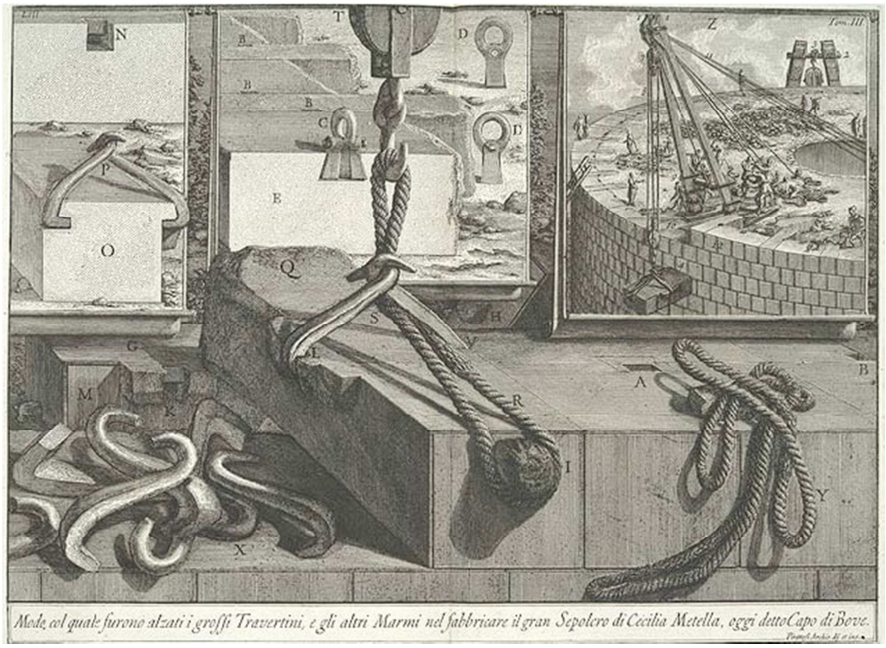
*29.- Vista de part del Bridge at Blackfriars a Londres, per l'arquitecte Robert Mylne, gravat per Piranesi a Roma.*

En un dels seus gravats, Piranesi ens mostra el Bridge at Blackfriars a Londres dissenyat per Robert Mylne (fig. 29). El gravat representa tres fases diferents del pont: la primera, el muntatge d'una carpinteria de fusta per permetre la construcció d'una volta, és el que s'anomena cintra, i es mostra en l'arcada en primer plànol; en la segona, la volta completada, mostrada en l'arcada de segon plànol; i finalment la tercera, una adjectivació de la construcció amb l'ordre arquitectònic, a la part frontal de l'arcada en segon plànol. També s'hi representen dos cabries de trípode, compostes per tres

[30] Maria Grazia D'Amelio, Fabrizio De Cesaris, Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la construcción Vol. I, Anatomía de la arquitectura: la tecnología de las construcciones en los grabados de Giovan Battista Piranesi, 2011.
[31] Giovanni Battista Piranesi (Mogliano Veneto 1720 – Roma 1778), arquitecte, investigador i gravador italià.

elements de fusta plantats en els vèrtexs d'una base triangular i connectats a la part superior, amb el seu corresponent conjunt de politges[32].

Un altre gravat és el "Mode en el que van ser aixecats els grans travertins i els altres marbres per construir el sepulcre de Cecilia Metella" (fig. 30). En ell, Piranesi dibuixa, en una espessa seqüència d'axonometries, perspectives i seccions, els blocs de pedres durant la col·locació, per mostrar alguns detalls visibles només en aquella fase. Piranesi representa els blocs amb els realços, per permetre el seu aixecament, i amb els encaixos realitzats sobre la superfície per permetre l'allotjament de la "ulivella" (instrument metàl·lic per aixecar).




*30.- Mode en el que van ser aixecats els grans travertins i els altres marbres per construir el sepulcre de Cecilia Metella (Piranesi 1756, tomo III, tav. LIII).*

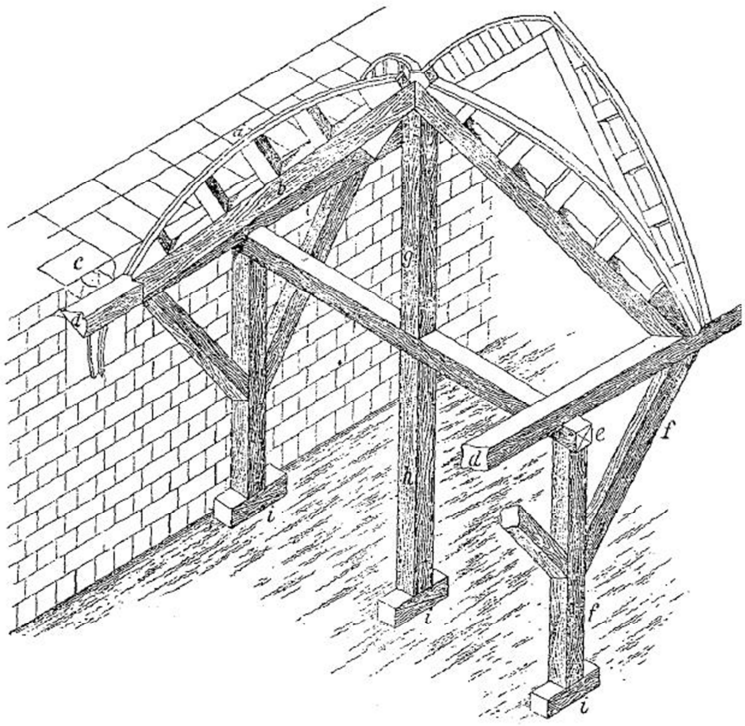
El gravat també conté la imatge d'una màquina per l'aixecament dels blocs de pedra. Es tracta d'un "bigo" (màquina d'elevació utilitzada en obres de construcció en les cotes més altes de l'edifici) que consta de dues bigues amb un sistema de tres politges o tripastos i un cabrestant col·locat entre dues antenes; es tracta d'una màquina simple que requereix experiència en particular per al que es refereix al posicionament, estabilització i habilitat en les maniobres[33]. Piranesi il·lustra la descripció d'aquesta màquina feta per Vitruvi en el seu X llibre *De Architectura*.

[32] Anatomía de la arquitectura: la tecnología de las construcciones en los grabados de Giovan Battista Piranesi, p.308.
[33] Anatomía de la arquitectura: la tecnología de las construcciones en los grabados de Giovan Battista Piranesi, p.313-314.

## 3.6. Georg Gottlob Ungewitter.

Ungewitter[34] va ser un arquitecte alemany del s. XIX, pioner del neogòtic en la seva terra natal.

En un dels seus textos trobem aquesta imatge, que ens mostra una tipologia de bastida per la construcció de voltes de creueria (fig. 31). En ella, podem destacar la col·locació de diversos pilars de fusta, que a la seva part superior suporten una estructura horitzontal del mateix material. Aquesta estructura horitzontal, dóna suport a un seguit de bigues inclinades, que donaran la posterior forma d'arc a les voltes. Aquesta estructura també permet la col·locació de la clau de la volta en la unió de les quatre bigues inclinades, a l'espera dels nervis de la volta. En el seu cas, el conjunt estructural horitzontal, permet la col·locació d'una plataforma al damunt d'aquest, per tal de permetre una millor treballabilitat dels operaris.



*31.- Ungewitter.- Lehrbuch der Gotischen Konstruktionen 1890 T1 p. 165.*

Un dels avantatges de l'ús d'aquest sistema és que gràcies a la col·locació dels pilars, la part inferior de tota aquesta estructura queda molt lliure de materials, deixant molt de pas en el moment de la construcció de la volta.

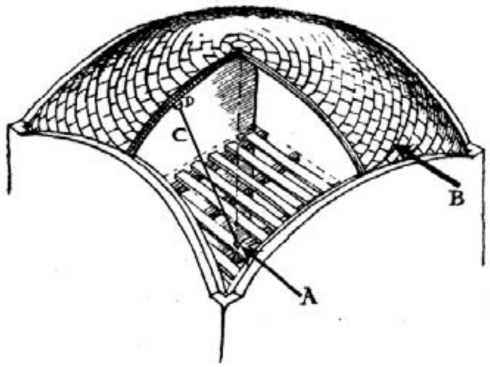
[34] Georg Gottlob Ungewitter (1820 Wanfried – 1864 Kassel), arquitecte alemany.

Tal i com s'observa en la imatge, es realitzen unes impostes al mur, que permeten la col·locació d'una sèrie de mènsules, que ajudaran al suport de l'estructura horitzontal, de manera que es podia prescindir del pilar més proper al mur.

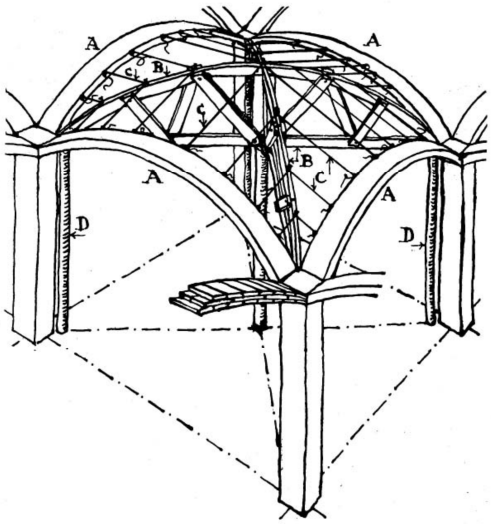
## 3.7. Luis Moya i les voltes paredades en la postguerra espanyola.

Un altre autor que ens dóna alguna idea sobre bastides és Luis Moya Blanco[35], arquitecte espanyol i fill de l'arquitecte Juan Moya Idígoras, catedràtic de les escoles de Navarra i Madrid, i director d'aquesta última, va ser mestre d'alguns dels principals arquitectes espanyols del segle XX.

D'aquest autor, trobem algun esquema o gravat dintre de la publicació *Bóvedas tabicadas* on es pot observat quina tècnica utilitzaven, per exemple, per construir una volta o un arc. Algunes de les imatges que trobem en aquest llibre són les següents:




*32.- Construcció d'una volta esfèrica sense encavallada. L. Moya, Bóvedas tabicadas 1947.*




*33.- Preparació per la construcció d'una volta per aresta peraltada. L. Moya, Bóvedas tabicadas 1947.*

En la primera imatge, podem observar la construcció d'una volta esfèrica sense encavallada (fig. 32). En aquest cas, la volta es construeix mitjançant una volta continua de maó, iniciant-se en el punt B. Tot i no necessitar una encavallada per construir-la, si que requereix d'una base per tal de permetre el pas dels constructors. Aquesta base la trobem situada a dintre de la volta, i està formada per 4-5 bigues de fusta ancorades en les parets. A sobre d'aquestes, es col·loca un entarimat de fustes planes que permeten el moviment dels operaris per sobre.

En l'altre cas, podem observar com es prepara la construcció d'una volta per arestes (fig. 33). Aquest cop sí que hi ha una encavallada que suportarà el pes dels nervis i en mantindrà la seva posició fins el final. Aquestes encavallades es col·loquen seguint la línia dels arcs i/o nervis, i si és necessari es creuen en el cas de les voltes. Per tal de suportar-les, les encavallades requeriran de pilars de fusta als seus extrems i als seus

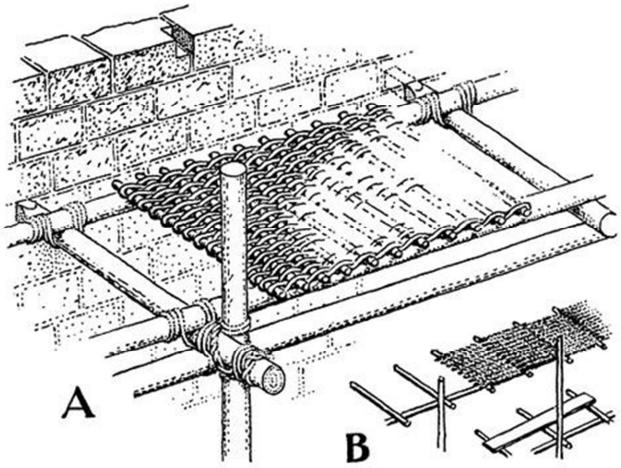
[35] Luis Moya Blanco (Madrid 1904 – 1990), arquitecte espanyol.

centres, o com en el cas anterior, podem trobar les encavallades suportades damunt d'un seguit de bigues que vagin ancorades als pilars i/o murs de la construcció, i que serveixin a la vegada d'entarimat per permetre el pas als constructors.

## 3.8. John Fitchen.

El professor John Fitchen[36], descobreix i avalua una gran quantitat de material en diversos idiomes, que s'ocupen de les pràctiques i operacions constructives més primerenques. Els seus dibuixos complementen tot un text molt raonable, informatiu i original, conformat finalment en un llibre únic, "The Construction of Gothic Cathedrals: A Study of Medieval Vault Erection".

En una de les imatges extretes del seu llibre s'observen uns dels possibles tipus de bastides que es podien realitzar en la construcció d'un edifici (Fig. 34).



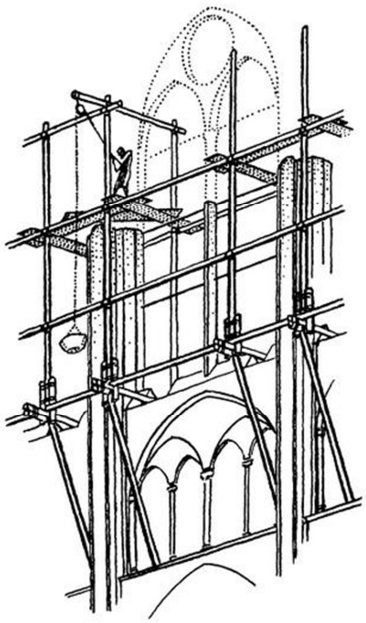

*34.- Masons' Scaffolting Platform of Hurdles. John Fitchen 1981, p. 16.*

En la imatge, es pot observar una bastida de fusta, unida mitjançant cordes en la part exterior d'aquesta, i en l'altra banda, queda la fusta inserida a l'interior del mur, és a dir, es realitzen unes impostes durant la construcció del mur, que seran utilitzades per posar diverses fustes per suportar la bastida corresponent, ja sigui amb materials amb forma trenada o amb fustes planes. En referència a les impostes, s'utilitza la mateixa idea que utilitza Ungewitter en els seus dibuixos.

En la següent imatge, s'observa una part d'un mur d'una catedral gòtica, conformat per una finestra i dos pilars laterals (Fig. 35). En ella, hi ha construïda també una bastida de fusta unida mitjançant cordes de la següent manera: per tal d'evitar una bastida fins a la cota de terra, es col·loquen aquestes fustes inclinades, que reparteixen el pes de la part superior cap al mur o el pilar corresponent. Seguidament, a l'altura de l'inici inferior de la finestra, s'aprofita aquesta obertura per suportar un altre conjunt de bigues de fusta, de manera que no és necessària la realització d'impostes als murs. Col·locades

[36] John Fitchen, arquitecte americà i historiador d'arquitectura.

aquestes, cal impedir el moviment o la caiguda de la bastida cap a l'interior del recinte, solucionat amb aquestes mateixes fustes, unides per la cara exterior de l'edifici, com un cèrcol envoltant un pilar. Un cop està aquesta estructura estabilitzada, es col·loca la plataforma al lloc corresponent, per permetre el pas dels obrers.

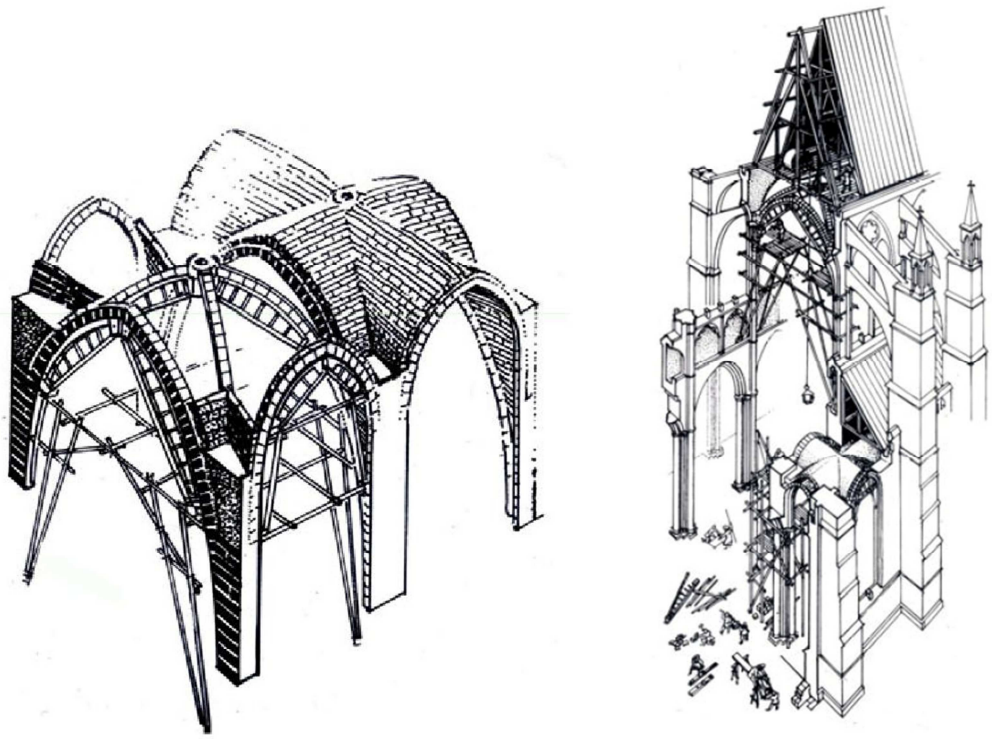


*35.- Scheme of Scaffolding for Clerestory Piers. John Fitchen 1981, p. 18.*

També s'hi pot observar un tipus de màquina d'elevació de petits pesos manual, mitjançant politges o polispasts, amb cabrestants o sense ells.

## 3.9. James H. Acland.

Finalment, l'últim autor que revisarem en aquest tercer apartat és James H. Acland[37], autor del segle XX, que ens dóna una imatge de la construcció d'una catedral gòtica, on s'observen diversos tipus de bastides (Fig. 36).



*36.- Medieval Structure – The Gothic Vault (Toronto 1972), pg. 82, 159.*

En la imatge de l'esquerra s'esquematitza la construcció d'una volta de creueria. En ella, s'observa la construcció d'una bastida horitzontal, que permet la col·locació de passarel·les a sobre, per tal de permetre el moviment dels treballadors per damunt d'aquesta. La bastida es suporta mitjançant pilars de fusta prop dels pilars de pedra construïts, per tal de deixar pas per la part inferior de la volta. En referència a l'encofrat dels nervis, comparteix la mateixa idea que ens dóna Georg G. Ungewitter, fustes inclinades amb la corresponent forma de volta a sobre, i col·locades de tal manera que permeti el suport de la clau.

La imatge de la dreta és més general, mostra unes bastides genèriques de tota una secció de construcció gòtica. Deixant en aquest dibuix de banda la construcció de les voltes inferiors, ens centrem aquest cop en la construcció de les voltes de la nau central.

[37] James H. Acland (1917 – 1976 Canadà), historiador d'arquitectura.

La manera més fàcil de construir aquesta nau és fer el mateix que amb les capelles inferiors, però el problema rau en les dimensions de les fustes, ja que en una nau central aquestes bigues tendeixen a tenir una llargada del doble de les capelles inferiors. S'ha de pensar que una biga de 12 metres no pot suportar el mateix que una biga de 6 metres.

La solució que ens proposa Acland per resoldre això és col·locar igualment aquestes bigues llargues, però per tal de no demanar-li tant d'esforç, es col·locaran unes altres bigues inclinades a la part inferior, que es dedicaran a repartir les càrregues més centrals cap als pilars de pedra. Això també permet a la vegada poder utilitzar a la bastida horitzontal unes bigues més curtes, més fàcils d'aconseguir que una de llarga. Aquestes bigues noves col·locades inclinades cap als pilars de pedra han de ser també molt llargues, de manera que el problema de la longitud de les bigues no queda del tot solucionat, però tota aquesta estructura es podia triangular per tal de donar més resistència al conjunt i reduir a la vegada la longitud de cada tram.

Finalment, col·locada aquesta gran estructura a la nau central, es situen les corresponents passarel·les a sobre de la bastida horitzontal, per tal de permetre la construcció de les corresponents cintres o encofrats per realitzar els nervis de la volta, col·locar la clau, i acabar el conjunt.

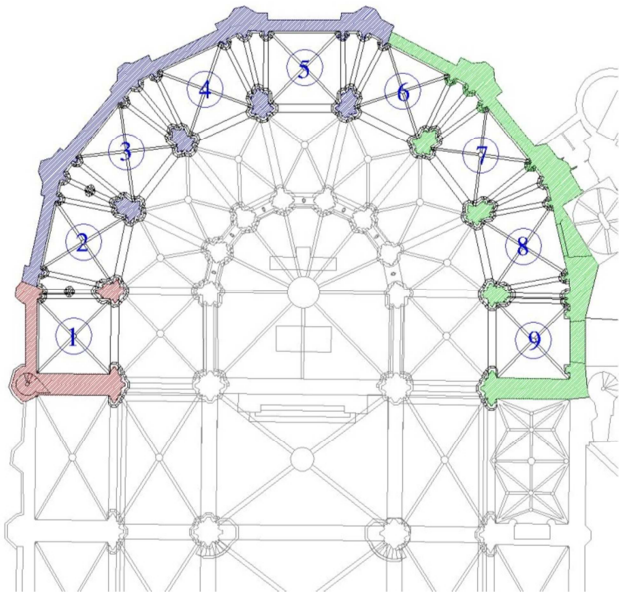
# 4. Aixecament. Construcció per fases de l'absis.

## 4.1. Antecedents del tancament del presbiteri.

La capçalera de la Catedral de Tortosa, va ser coberta i construïda entre 1374 i 1441. Aquesta, disposa d'un absis amb doble deambulatori, que anava abraçant l'anterior catedral romànica a mesura que la nova catedral gòtica s'anava construint. Tota aquesta construcció es va realitzar en tres fases generals: la primera engloba la construcció de les capelles radials; la segona, abraça la construcció del nivell superior següent, el deambulatori; i finalment la tercera, el tancament del presbiteri i de l'absis. A partir d'aquest punt, ja es comença a avançar en la nau central, on queda inclosa la primera part d'aquesta com a gòtica (V. Almuni, J. Lluis, 2011 p.734).

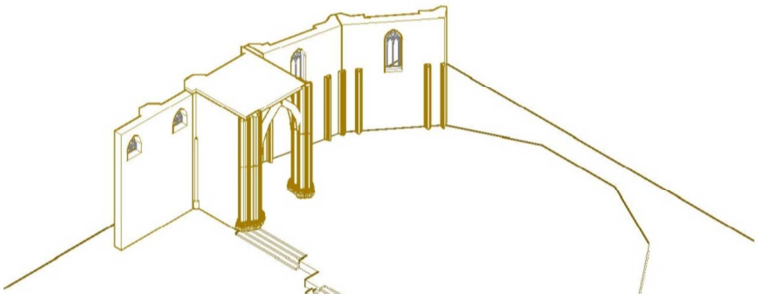
## 4.2. Construcció de les capelles radials (1383-1424).

La primera fase, que engloba tota la volta de capelles radials, va ser construïda de forma correlativa entre els anys 1383 i 1424. La seva construcció va començar des de la part nord de l'absis, on es troba la capella de Sant Pere, fins arribar a la capella del Santíssim, situada a la cara simètrica de la construcció, a la cara sud. Dintre d'aquesta primera fase, podem distingir tres fases diferenciades: la primera, es tracta d'una prova inicial del model, amb la seva corresponent volta de creueria però amb l'alliberació del mur lateral, a la capella de Sant Pere l'any 1383; la segona com a fase de consolidació del model al llarg de les quatre capelles següents durant els anys 1387 i 1397; i finalment la tercera fase, de sistematització de les quatre últimes capelles radials, acabades entre els anys 1412 i 1424 (V. Almuni, J. Lluis, 2011 p. 734).

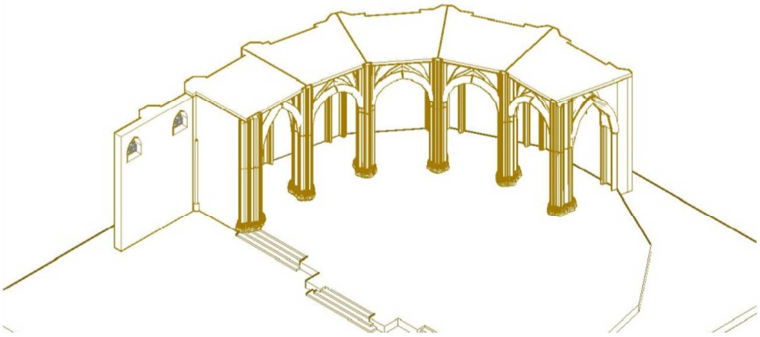



*Planta de la 1ª fase de construcció de la Catedral senyalitzant l'ordre de construcció de les capelles radials, i també les tres fases incloses en aquest apartat.*

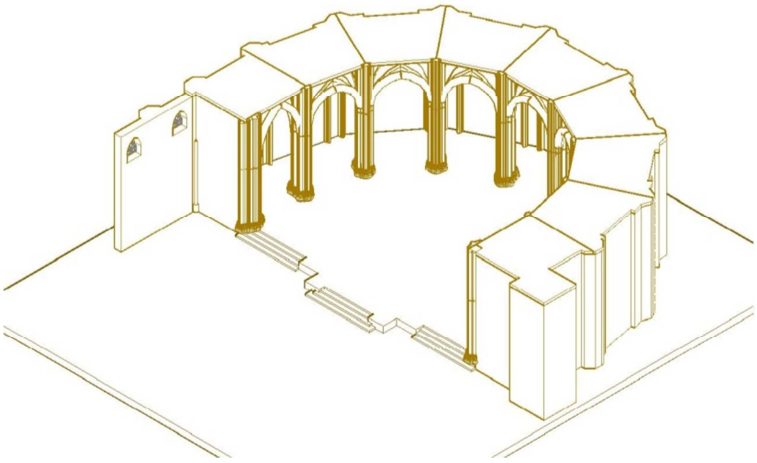
Seguidament, s'explica l'ordre de la construcció d'aquestes capelles radials mitjançant diversos esquemes tridimensionals:



Fase 1.1.- Prova inicial del model, capella de Sant Pere.



Fase 1.2.- Consolidació del model al llarg de quatre capelles.



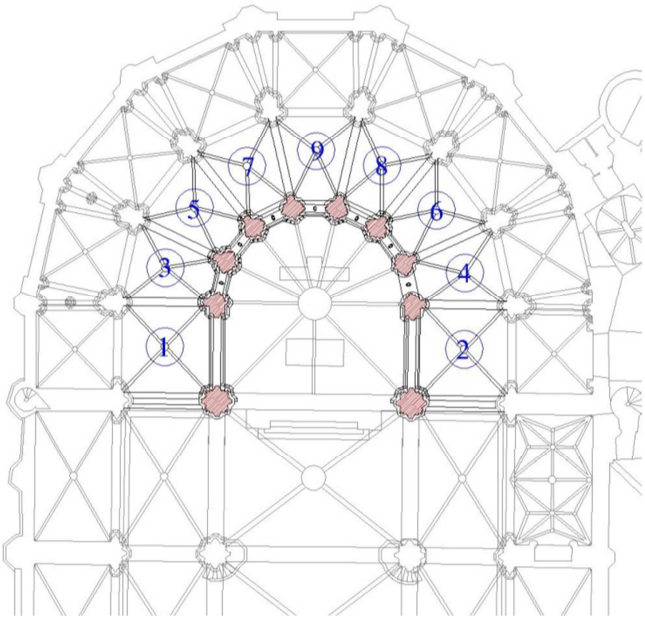
Fase 1.3.- Sistematització de les quatre últimes capelles radials.

Tal i com hem dit anteriorment, la construcció d'aquestes capelles radials té un caràcter individualitzat, ja que es van anar construint una a una, a diferència de la construcció del deambulatori, el qual es realitzarà de manera simètrica. L'obra disposarà a partir del 1424, finalitzades les capelles radials, de dos accessos diferents al pis superior, mitjançant les escales de cargol de santa Caterina i de Sant Pere.

## 4.3. Construcció del deambulatori (1424-1435).

La segona fase, de la que consta la construcció del deambulatori, va començar l'any 1424 i es va allargar fins el 1435. A diferència de la seqüència constructiva de les capelles radials, les capelles del deambulatori es van anar construint de forma simètrica, seguint una seqüència clara: en primer lloc es realitzen les tasques estructurals, volta a volta, per a realitzar després un primer acabat de la coberta i finalment, les tasques conjuntes de cobriment de la terrassa amb el seu acabat final, el qual es culmina en tan sols 2 anys (1432-1434).

Abans de l'inici de la construcció de les voltes, s'executen algunes de les parets del segon nivell, amb els arcbotants i pinacles a l'espera del tancament i la culminació de les voltes. L'estratègia constructiva de la girola serà ben diferent a la de les capelles radials. El deambulatori es comença a cobrir amb les voltes de l'evangeli, enfront de la capella de Sant Pere, i la de la epístola enfront a la de Santa Caterina. És en aquest moment, abans d'emprendre les obres del deambulatori, quan es comença a desmuntar l'absis de la catedral romànica (V. Almuni, J. Lluis, 2011 p. 736).




*Planta de la 2ª fase de construcció de la Catedral senyalitzant l'ordre de construcció de les capelles del deambulatori.*