

Architektonische und technische Streifzüge in England, Italien, Süd-Frankreich und Nord-Spanien.

Zweiter Teil.

Anfang Februar des Jahres 1911 trat ich die Reise zum Süden an und nahm zunächst in Florenz für längere Zeit Wohnung. Wie ich von Anfang an beabsichtigt hatte, beschäftigte ich mich zunächst eingehend mit Studien über den Maßstab der Profilierung an Bauten der verschiedenen Zeiten. Ohne dabei irgend welche besondere Resultate zu erzielen, ist es mir dort ganz klar geworden, dass wir die starken Wirkungen und kräftigen Gegensätze von Licht und Schatten, wie sie die italienischen Bauten zeigen, unter unserm lichtschwachen Himmel nicht erreichen können, wenn wir die gleichen architektonischen Hilfsmittel gebrauchen. Diese handgreifliche bestimmte Körperlichkeit, die einmal durch die scharf gezeichneten Schatten, andererseits in der einfachen Geschlossenheit der Bauwerke begründet ist, kam mir erst jetzt zum vollen Bewusstsein und packte mich. Ehe ich diese Bauten wirklich vor mir sah, hatte mir das Studium der Einzelformen der italienischen Renaissance nie eine wirklich reine Freude bereitet. Die vielen Ab- und Nachbildungen dieser Einzelformen an allen Häusern der letzten 25 Jahre hatten mich abgestumpft. Nun sah ich, dass von ganz seltenen Ausnahmen abgesehen, in diesen kopierten und zu Tode gehetzten Formen vom Geiste dieser alten Bauten auch nicht eine Spur zu finden ist. Auch dann nicht, wenn sie auf Millimeter kopiert sind. An diesen schlichten Bauten sieht man zunächst fast gar kein Detail. Der Haupteindruck den die Paläste auf mich machten war; geschlossene Einfachheit, kräftige, klare Baukörper, einfachste Grundform, also Würfel, mit einem kräftigen Gesims und Dach bekrönt. Diese Hauptwirkung haben alle Gebäude gemeinsam, ganz gleich aus welcher Zeit sie stammen. Die Grundidee hat sich durch Jahrhunderte nicht geändert. Das ist auch der Grund für die einheitliche Wirkung der italienischen Städte, auch derjenigen die sich in den letzten Jahrzehnten stark vergrößert haben. Man ist nie, selbst nicht in der Renaissance, als man bewusst neue Ausdrucksmittel suchte und fand, von dieser grundlegenden Idee abgegangen. Immer wurde die selbstverständliche Form des Hauses beibehalten. Nur die Einzelform änderte sich, oder man setzte mehrere in sich abgeschlossene Baukörper zu einem großen Gebäudekomplex zusammen, dies aber nur bei den allergrößten Bauaufgaben. Bei diesem gesunden architektonischen Empfinden des Italieners muss sich die Einzelform dem ganzen bescheiden unterordnen und kommt überhaupt nur dann zur Anwendung, wenn wirklich etwas zu betonen ist. So kann es niemals störend wirken, wenn Bauten der verschiedensten Zeiten nebeneinander

stehen. Reich ausgebildete Fensterumrahmungen sind bei den älteren Häusern selten und nur bei großen Gebäuden verwendet worden, haben aber auch bei diesen nichts Aufdringliches, weil der Achsenabstand sehr groß ist und daher jedes Fenster in einer genügend großen Fläche sitzt. Bei den einfachen Wohnhäusern und kleineren Palästen ist oft nur eine einzige kräftige Kartusche der ganze Schmuck des Hauses. Wie verfehlt hat man dagegen in Deutschland diese architektonischen Einzelformen gebraucht. Ich glaube, dass auf einer normalen Berliner Straße aus den 80er Jahren mehr architektonische Fensterbekrönungen zu finden sind, als im ganzen alten Florenz zusammen. Weil wir im Norden mehr Fenster haben, müssen wir mit Schmuckformen um so mehr geizen. Ebenso falsch ist es aber, die architektonischen Einzelformen ganz fort zu lassen, die Fenster als Löcher in die Wände zu schneiden und nun zu versuchen durch malerische Behandlung der Flächen, Gruppierung der Fenster eingeschobene kleine Dächer, willkürliche Vor- und Rücksprünge etc. einen Ersatz zu schaffen. Mir scheint diese Art zu bauen noch schlimmer als die ornamentale Überwucherung, denn der Kern des Hauses kommt nicht mehr klar zum Ausdruck und der Baukunst wird dadurch der feste Boden entzogen. Das Haus aus vier Wänden und einem Dach, geht dabei verloren. Solchen Häusern fehlt dann das Selbstverständliche sie sehen „gewollt“ aus. Nach und nach scheint dieses Empfinden in immer weitere Kreise einzudringen. Beim Publikum ist die Furcht vor der Fläche im Schwinden, und man darf hoffen noch die Zeit zu erleben, dass man wieder ganz vernünftige einfache Häuser bauen kann, ohne für einen schrecklichen Umstürzler und ungebildeten Menschen ohne künstlerisches Empfinden zu gelten.

Hält man nun die klare Art der Italiener für erstrebenswert, so darf man doch nicht vergessen, dass es unter dem lichtschwachen nordischen Himmel schwer ist die gleiche plastische Erscheinung der Bauten zu erzielen. Die Unterschiede zwischen Licht und Schatten sind nicht so kräftig. Dadurch wird man unbedingt zu einer anderen, ausdrucksvolleren Art der Profilbildung kommen, wie sie manche der nordischen Barockmeister gepflegt haben. Die Lichtverhältnisse zwingen andererseits wieder dazu, die Tiefe der Fensterlaibungen und den Vorsprung der Gesimse einzuschränken. Dadurch sind diesem Ausdrucksmittel Grenzen gesetzt. Doch bleibt uns noch die bewusste Verwendung der Farbe. Leider aber ist die Skala der wirklich wetterfesten Farben nur sehr beschränkt und tut man gut, sich möglichst nur der, durch das Material selbst gegebenen Farben, zu bedienen. So wird man in Norddeutschland auf den Backstein verwiesen. Dieses Material in Verbindung mit hellfarbigem Werkstein und dem Anstrich des Holzes gibt einem die Möglichkeit durch entsprechende Gegensätze in der Farbe die Fenster, Gesimse und sonstigen Architekturglieder kräftig zur Wirkung zu bringen und so dem Bau die gewünschte klare, bestimmte und plastische Erscheinung zu geben. Holland, England und auch ein Teil Deutschlands sowie Frankreichs, vor allem die Küstengegenden in denen die Atmosphäre besonders dunstig und die

Sonnenstrahlung kraftlos ist, haben diese Möglichkeiten richtig erkannt und zu nützen verstanden. Man darf allerdings dabei nicht übersehen, dass man bei der Verwendung von verschiedenfarbigem Material sehr vorsichtig sein muss um nicht den einheitlichen Eindruck, der immer die Hauptsache ist, zu stören.

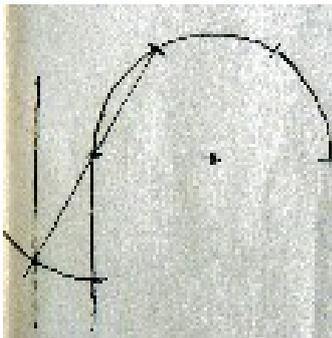
Von Florenz aus besuchte ich die Städte Toskanas und reiste dann nach Genua, von dort zu Schiff nach Barcelona. Die nähere und weitere Umgegend dieser Stadt bietet viel sehenswerte alte Architektur die ich eingehend studierte.

Um mich nicht zu sehr zu zersplittern nahm ich dort vor allem das Studium meiner alten Lieblinge, der Gewölbekonstruktionen wieder auf. Katalonien hat eine große Anzahl sehr schöner gotischer Kirchen, zum Teil von seltener Kühnheit der Konstruktion. In Süd-Frankreich setzte ich meine Studien über das gleiche Thema fort. Als ich zu einem gewissen Abschluss gekommen, bereiste ich noch die Provence, um auch die römischen Bauten Frankreichs kennen zu lernen und fuhr dann nach Italien zurück. Hier brachte ich meine Studien über die Gewölbekonstruktionen zu einem vorläufigen Abschluss, indem ich noch eine größere Anzahl Städte der Lombardei und Veneziens besuchte. Gegen Ende Mai kam ich nach Deutschland zurück.

Ein Teil der von mir aufgenommenen Gewölbekonstruktionen habe ich auf den anliegenden Blättern dargestellt. Ich habe die Bauten ohne Rücksicht auf ihre Entstehungszeit aufgenommen, weil sich mein ganzes Interesse nur auf bestimmte technische Fragen richtete. Meine Fragestellung lautete: „wann und wo hat man die kühnsten Gewölbekonstruktionen errichtet?“ Dazu kam dann noch die Nebenfrage: „sind aus den gewonnenen Resultaten Rückschlüsse darüber möglich, ob die Baumeister vor Anfang des neunzehnten Jahrhundert nennenswerte Kenntnisse der inneren Kräfte der Gewölbe hatten?“

Von einigen mittelalterlichen Bauten sind die Bauakten erhalten und man findet in ihnen Bemerkungen und Gutachten über die Konstruktion der Gewölbe und ihrer Widerlager. Hasack führt im Handbuch der Architektur insbesondere die Akten des Mailänder Domes und der Konferenz der Architekten beim Dombau von Gerona ausführlich an, und zieht daraus den Schluss, dass die mittelalterlichen Architekten genaue Kenntnisse der in den Gewölben und Strebepfeilern wirkenden Kräften gehabt haben müssten. Aus den angeführten Aussagen der bei diesen Bauten zu Rate gezogenen Architekten kann man schließen, dass sie bestimmte Vorstellungen über das Eigengewicht und die Druckfestigkeit der verschiedenen Materialien hatten und wussten, dass jeder Bogen Schub ausübt. Die Angaben über die Stärke der Widerlager sind durchaus unbestimmt, z. B. wird die Höhe des Kämpfers vom Fußboden nie erwähnt und doch liegt grade die Kühnheit der mittelalterlichen Konstruktion in den hochliegenden Kämpfern ihrer Gewölbe. Es ist unwahrscheinlich, dass grade diese Kenntnisse das Mittelalters verloren gegangen sein sollten, wo doch sonst alle geo-

metrischen und bautechnischen Erfahrungen dieser Zeit, wie auch insbesondere die gewerkschaftliche Organisation der Steinmetzen in allen Einzelheiten auf uns überkommen ist. Auch nach Erfindung der Buchdruckerkunst findet man in den Lehrbüchern über die Baukonstruktionen, die in der Folge immer häufiger erscheinen, keine brauchbaren Regeln über die Stärke der Widerlager. Die früheste Angabe habe ich bei Fr. Derand S. J. Paris 1643 gefunden. Er teilt den Bogen in 3 gleiche Teile und verbindet den Kämpferpunkt mit dem nächstliegenden Teilpunkt, verlängert diese Linie um das gleiche Stück und zieht im Endpunkte die Vertikale, diese bildet dann die äußere Begrenzungslinie des Widerlagers. So erhält er bei flachen Bögen ein stärkeres Widerlager als bei Kreis- und Spitzbögen.



Auf die Höhenlage des Widerlagers nimmt er keine Rücksicht. Zur Begründung dieser Regel und ihre Richtigkeit führt er die Praxis und das Experiment an. In einem Werk des Stadtbaumeister C. Walter vom Jahre 1766 findet man noch dieselben Angaben; er beruft sich auf einen berühmten Meisterschüler von dem er die Angaben übernommen hat und meint dazu „dass diese Materie fast durchgehends nur mit

furchtsamen Worten angezeigt; sofern aber ein jeder, der etwas hiervon besitzt, das seinige gleicher Weise getreulich eröffnen möchte, so konnte mit der Zeit den dadurch entstandenen Fehlern in der Baukunst nicht allein abgeholfen, sondern die unnötigen Unkosten bei überflüssiger Stärke erspart und der Grund nach der Last des Gebäudes recht proportioniert werden.“ Die französischen Ingenieure jener Zeit waren allerdings schon weiter in die Wirkungen der inneren Kräfte eingedrungen, denn Belidor macht schon ziemlich brauchbare Angaben über die Stärke der Widerlager wobei er die Höhenlage des Kämpfers in Rechnung stellt.

G. C. Mehrtens gibt in seinen Vorlesungen über Statik und Festigkeitslehre I Teil Band III 1. Hälfte p. 44 einen klaren Überblick über die Entwicklung der Ge-wölbestatik.

Da man auf dem Wege über das Studium der Bauakten resp. der technischen Literatur jener Zeit zu keinem positiven Resultat kommt, halte ich es für richtiger, die vorhan-denen Konstruktionen genau zu untersuchen und so festzustellen, ob man bestimmte Richtlinien für die Gewölbestatik des Mittelalters und der Renaissance ziehen kann.

Es lassen sich zwei verschiedene Arten der Sicherungskonstruktionen gegen den Gewölbeschub unterscheiden. Im nördlichen Europa hat man das Bestreben, den Seitenschub der Gewölbe durch sichtbare Strebebögen, über die Dächer des Seitenschiffes hinweg, auf die Strebepfeiler zu übertragen. Die Gewölbe werden mit geringer

Hintermauerung möglichst leicht konstruiert, um den zu übertragenden Druck nicht zu sehr anwachsen zu lassen. Es entstehen auf diese Weise sehr komplizierte Konstruktionen, die allerdings keineswegs rein technisch zu betrachten sind. Es ist nicht daran zu zweifeln, dass den gotischen Baumeistern beim Entwurf ihrer Strebesysteme es nicht allein darum zu tun war, den Druck des Mittelschiffsgewölbes aufzunehmen, sie wollten vor allem durch die reiche Gliederung und die kühngeschwungenen Brücken ihren Bauten den großen malerischen und phantastischen Reiz verleihen, den sie heute noch auf uns ausüben. Ebenso wenig darf man dieses System allein auf klimatische Verhältnisse zurückführen; indem man sagt, dass der regnerische Norden steile Pultdächer für die Seitenschiffe und wegen dieser steilen Dächer der Seitenschiffe das Mittelschiff immer höher rücken musste. Der Gewölbekämpfer rückte also auch immer weiter herauf und drängte so zu den komplizierten Strebesystemen. Ich halte diese materialistische Auffassung nicht für richtig, denn man hat im Norden sowohl vor als in nachgotischer Zeit Dächer von etwa 45° Neigung gemacht, die dem Wetter genügend stand hielten. Aber auch die großen gotischen Kathedralbauten widersprechen selbst dieser Annahme. Ihre Seitendächer sind häufig allseitig abgewalmte Zeldächer, die es also durchaus ermöglichen, die Fenster des Mittelschiffes sehr tief anzusetzen, und damit auch den Gewölbe-Anfang tiefer zu legen.

Im südlichen Europa hat man stets eine einfachere, weniger komplizierte Art der Konstruktion durchgeführt. Während man im Norden Strebesysteme und Gewölbe meist einheitlich in Werkstein ausführte, arbeitete man im Süden mehr mit starken Mauermassen. Strebebogen sind selten und wenn vorhanden, verbergen sie sich unter den Seitendächern. Im Süden also, wo der Frost selten und die Regenfälle von kürzerer Dauer sind, sind die Bauten einfach und die Strebesysteme nach Möglichkeit innerhalb der Dächer untergebracht. Im Norden aber, wo man aus klimatischen Gründen, diese einfache Konstruktion hätte wählen sollen und dadurch ungeheure Summen gespart hätte, hat man die Massen der Strebesysteme bis zu wahren Filigran-Arbeiten aufgelöst, ganz entgegengesetzt der trockenen sachlichen Auffassung, die man vielfach dem mittelalterlichen Meistern zuspricht. Betrachtet man im Einzelnen die anliegenden Zeichnungen, so möchte ich zu deren Verständnis folgendes bemerken. Um das Bild der Konstruktion nicht unnötig zu komplizieren habe ich zunächst den einfachen Schnitt durch die Konstruktionsebene des Systems, d. h. also durch die Mitte des Strebepfeilers und Gurtbogens gezeichnet. Aus dem zugehörigen Grundriss ersieht man dann ohne weiteres, auf welche Grundfläche sich diese Konstruktionsachse bezieht. Anliegend habe ich nun eine Tabelle aufgestellt, und darin versucht, durch Gegenüberstellung der einzelnen Bauwerke festzustellen, welche Konstruktion bei geringstem Aufwand den größten Raum einschließt. Um nun aber ein gleichmäßiges Bild zu erhalten, habe ich nur den Raum in Rechnung gestellt, der zwischen den Innenkanten zweier gegenüberliegender Strebepfeiler eines Joches eingeschlossen ist. Der Raum

aber, der zwischen zwei Strebebepfeilern auf derselben Seite liegt, also die Seitenkapellen resp. Emporen die zwischen die Strebebepfeiler eingebaut sind, habe ich nicht in die Rechnung einbezogen, da diese Räume auf das eigentliche Konstruktionsystem keinen Einfluss haben. Als Höhen sind die wirklichen Kämpfer angenommen. Ich habe nun Vergleiche zwischen der Querschnittsfläche Q der Konstruktionsebene einerseits, und der Grundfläche G , der überspannten Fläche F und dem konstruierten Raum K andererseits angestellt. Den Raum habe ich aber nur bis zur wirklichen Kämpferhöhe in Rechnung gestellt, weil der oberhalb des Kämpfers gebildete Raum nur ein Produkt der Gewölbeform als raumabschließende Konstruktion ist und seine Berücksichtigung die Rechnung nur unnötig komplizieren würde. Es wäre besser und richtiger die Konstruktionsmasse dem konstruierten Raum gegenüber zu stellen, doch habe ich dieses vorläufig nur bei 2 Beispielen durchgeführt.

Ganz auffällig ist zunächst die isolierte Stellung, die der Dom zu Florenz einnimmt. Auf ein qm. Konstruktionsquerschnitt kommen 50,8 cbm. umbauten Raum. Damit übertrifft er alle anderen Bauten um mehr als das Doppelte. Man vergleiche die entsprechenden Zahlen auf der Tabelle für St. Petronio zu Bologna und den Dom zu Florenz. Die beiden Kirchen sind in den Abmessungen sehr ähnlich, St. Petronio ist etwas höher. Die durch eine Konstruktionseinheit überdeckte Grundrissfläche ist fast genau dieselbe, Bologna 766 qm., Florenz 772 qm. Auch der entsprechende Raum ist nicht sehr verschieden, St. Petronio hat etwa 13 % mehr weil die Widerlager höher liegen; Petronio 22600 cbm, del Fiore 20000 cbm. Ebenso ist die überspannte Querschnittsfläche in der Konstruktionsebene nicht so sehr verschieden; Petronio 1027 qm., del Fiore 905 qm., also auch eine Differenz von rund 13 %. Ganz gewaltig aber ist der Unterschied im Querschnitt der Konstruktionsfläche; Petronio 1000 qm., del Flore 394 qm. St. Petronio hat also eine Konstruktionsfläche die reichlich $2 \frac{1}{2}$ mal so groß ist wie die des Domes zu Florenz, und schafft dabei nur einen um 13 % größeren Raum.

Die Standfestigkeit des Domes zu Florenz wird nur durch die Verankerung ermöglicht, doch ist wohl zu bedenken, dass das erste Joch des Langhauses d.h. das älteste im Mittelschiff keine Verankerung des Gurtbogens hat. Es sind nur noch die Stümpfe der alten Anker vorhanden, die oberhalb der Galerie etwa in Höhe der Bruchfuge gesessen haben; also an der richtigen Stelle, nicht dort wo die Verankerungen der übrigen Gurtbögen des Langhauses sitzen. Diese Anker sind übrigens so mangelhaft mit dem Mauerwerk verbunden, dass sie keinen nennenswerten Zug aufnehmen können. Die Befestigung besteht nämlich aus einer hölzernen Verzimierung um die Pfeiler oberhalb der Gurtbögen der Seitenschiffe und macht den Eindruck, dass die Anker, wie man solche auch heute noch vielfach bei Gewölbebauten bis zum völligen Setzen der Konstruktion einbaut, leicht aus ihrer Spannung zu lösen und ohne Erschütterung des Gebäudes herauszunehmen sein sollten. Anders ist es mit der Verankerung der Gurtbögen in den Seitenschiffen sowohl als auch zwischen den Pfeilern

oberhalb der Gurtbögen. Diese Art Strebebögen nehmen einen Teil des Seitenschiffes auf und vielleicht erzwingt die Verankerung der drei kleinen Bögen untereinander die Übertragung der Kraft auf die vier Pfeiler. Dieser Vorgang spielt sich aber in einer Höhe von immerhin noch 23 Metern ab und will es mir doch recht zweifelhaft erscheinen, ob nicht eine Zerstörung des Seitenschiffes eintreten würde, wenn nicht der Anker im Gurtbogen des Seitenschiffes den Horizontalschub aufhob. Hierüber volle Klarheit zu erlangen muss einer eingehenden Untersuchung vorbehalten bleiben.

Bemerkenswert ist auch die Druckbeanspruchung der Pfeiler beim Dom zu Florenz. Nehme ich an, dass sich der von den Gewölben kommende Druck gleichmäßig auf den Wand- wie den Innenpfeiler verteilt und der Wandpfeiler durch Hinzuziehung eines Teils des anschließenden Mauerwerks auf dieselbe Grundfläche gebracht wird wie sie der Innenpfeiler hat, so wird die Fuge in Fußbodenhöhe mit ca. 15,5 At. gepresst. Dazu kommt für den Innenpfeiler noch die Last der Oberwand des Mittelschiffes, sodass sich für diesen ein Fugendruck von 30,7 At. ergibt. Es treten also unter der allergünstigsten Annahme des gleichmäßig verteilten Druck Materialbeanspruchungen auf, wie sie heute nur für beste Materialien zugelassen werden.

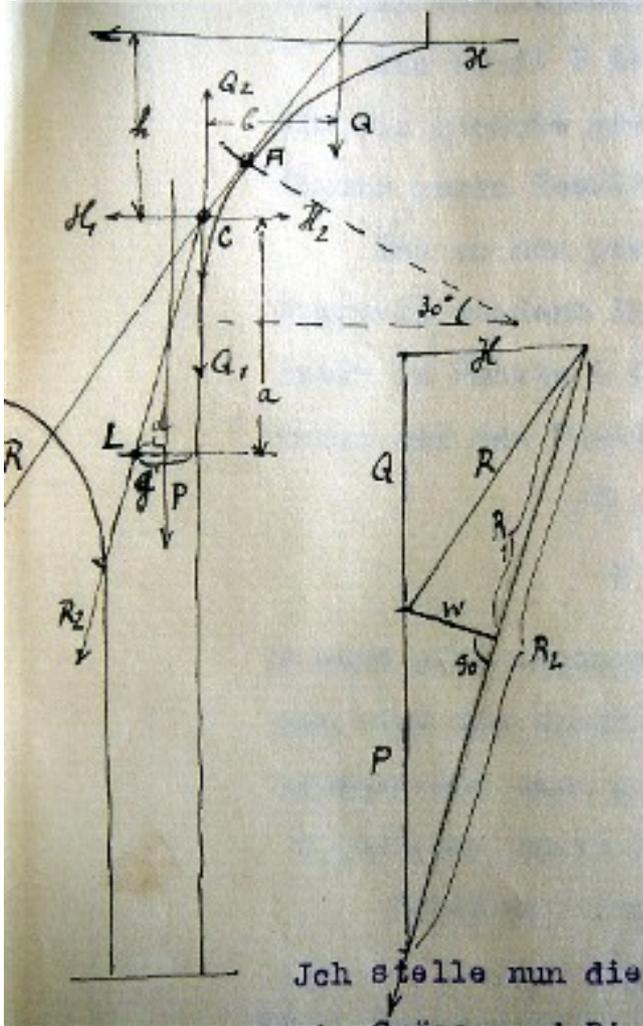
St. Petronio hat keine Verankerungen der Seitenschiffe, wohl aber aller Gurten des Mittelschiffes. Diese Anker sind aber praktisch ohne Bedeutung da sie wie Wäscheleinen durchhängen, und deshalb durch Hängeeisen gehalten werden. Für die Ängstlichkeit der Bologneser Baumeister sind sie aber sehr bezeichnend.

Man steht hier also vor einer ganz auffallenden Erscheinung. Zwei sehr ähnliche, räumlich nahe beieinanderliegende Bauwerke, sind nach zwei ganz verschiedenen Prinzipien gebaut, und zwar ist die zeitlich jüngere Kirche ängstlicher und vorsichtiger konstruiert als die ältere. Das Verhältnis der Konstruktionfläche Q zum Kubus des umbauten Raums ist beim Dom zu Florenz $1 : 50,8$ und bei St. Petronio $1 : 22,7$. Über das Verhältnis wie St. Petronio es zeigt, kommt auch keine der Kirchen, die ich untersuchte, nennenswert hinaus, die meisten zeigen ein weit ungünstigeres.

Florenz hat noch eine zweite sehr elegante Konstruktion, St. Maria Novella, die den Vorzug hat ohne jede Verankerung gebaut zu sein und daher ein ganz klares Bild gibt. Das Verhältnis $G : K$ ist das gleiche wie bei St. Petronio, $1 : 22,8$. Die Konstruktion ist für die Dominikanerkirchen Mittel- und Oberitaliens vorbildlich. Die ähnlich konstruierten Kirchen Venedigs, Veronas etc. sind leider durchweg verankert, ohne dass, normale Fundierung vorausgesetzt, diese notwendig gewesen wäre. Das Charakteristische für die Konstruktion von St. Maria Novella ist die hohe und schwere Übermauerung der Gurtbögen besonders über den Seitenschiffen. Wie leicht einzusehen ist, wird dadurch die Richtung der Resultierenden des Gewölbeschubes sehr günstig beeinflusst.

Durch eine einfache statische Betrachtung lässt sich das leicht nachweisen. Die Resultierende R des Gewölbeschubes ist der Größe und Lage nach als bekannt voraus-

gesetzt. Ebenso ist ihr Schnittpunkt C mit der Pfeilerkante bekannt.



Es ist $Q = Q_1 = Q_2$ und $H = H_1 = H_2$ da aber $Q + Q_2 = 0$ und $H + H_2 = 0$ ist, so wirken auf das ganze System, nur die beiden Kräfte H_1 und Q_1 . Außerdem wirken in Bezug auf den Punkt C die Momente $H \cdot h$ und $Q \cdot b$ deren Summe gleich Null zu setzen ist, wenn Gleichgewicht sein soll. Die übriggebliebenen Kräfte H_1 und Q_1 schneiden sich in Punkte C.

Ich stelle nun die Bedingung, dass die Resultierende von H und Q so in Größe und Richtung geändert wird, dass sie durch den Punkt L geht und suche die erforderliche kleinste Kraft und ihren Angriffspunkt und zwar wenn diese 1) beliebig gerichtet 2) vertikal gerichtet ist. Im nebenstehende Kräfteplan sind die Kräfte H, Q und R der Richtung und Größe nach zu einem Kräftepolygon vereinigt und die verlangte Richtung der neuen Resultierenden angegeben. Die Kraft W ist dann die

gesuchte kleinste Kraft, die im Punkte C in der im Kräfteplan angegebenen Richtung angreifen muss, um die Resultierende in die gewünschte Richtung abzulenken, und R_1 die Größe derselben. Diese Kraft W lässt sich aber nur durch Zuganker oder Gegengewölbe hervorrufen und kommt daher für den vorliegenden Fall nicht in Frage.

Die Kraft P ist im Kräfteplan die kleinste vertikale Kraft, die die gleiche gewünschte Wirkung erzielt, und R_2 die Größe dieser neuen Resultierenden. P greift im Punkte C an.

Ist es nun praktisch nicht möglich, dass P im Punkte C angreift, sondern in Bezug auf obige Figur links davon, so müssen, damit im Punkte L Gleichgewicht ist, die Summe der Momente in Bezug auf den Punkt L = 0 sein. Es ist

$$/Q \cdot g/ + /P \cdot d/ - /H \cdot a/ = 0$$

$$P = (/H \cdot a/ - /Q \cdot g/) : d$$

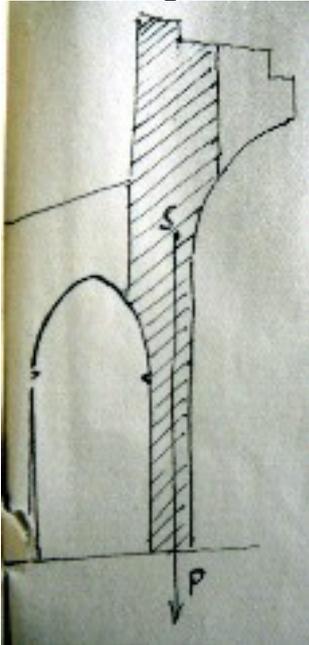
P wird also möglichst klein wenn d möglichst groß wird, d.h. man wird die Kraft P so nahe wie möglich an den Punkt C heranbringen und wenn es technisch möglich ist noch rechts vom Punkte C nach dem Punkt A zu, aber natürlich nicht darüber

hinaus.

Schließt die Richtungslinie CL mit H den Winkel α ein so ist

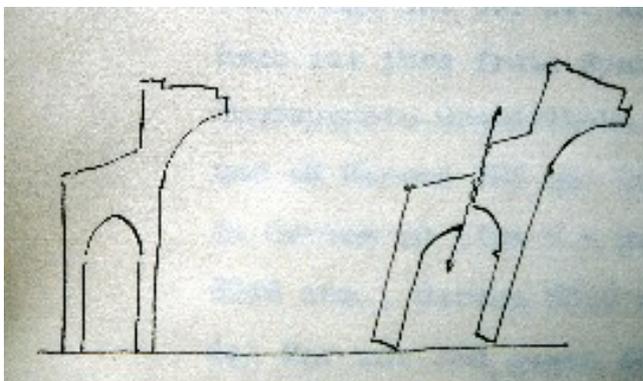
$$\operatorname{tg} \alpha = (Q + P) / H \quad \text{und} \quad P = H \cdot \operatorname{tg} \alpha - Q$$

d.h. kenne ich P nach Größe und Lage. Weil die Größe dieser Kraft aus architektonischen Gründen begrenzt ist, so kann ich ohne weiteres Richtung und Größe der neuen Resultierenden angeben.



Diese Betrachtungen auf die Konstruktion von St. Maria Novella angewandt, ergibt nebenstehendes Bild. Die Kraft P greift im Schwerpunkt der schraffierten Fläche an. Der Pfeiler bekommt also einen schweren Kopf weil der Schwerpunkt der ganzen Pfeilermasse sehr hoch liegt. Er hat also die Tendenz leicht umzufallen wenn eine Horizontalkraft etwa Winddruck, auf ihn einwirkt. Um dieser Gefahr zu begegnen, sind die Gurtbögen stark übermauert und versteifen dadurch das System sehr gut gegen Seitendruck.

Wirken auf die Widerlager eines Gewölbes horizontale Kräfte, die das Gewölbe umzustürzen drohen und sind die Gurtbogen hintermauert, so liegt die schwächste Stelle im Scheitel. Kommt nun das ganze



System zum Einsturz, so werden sich die beiden Bogenhälften an einander vorbei scheren. Die Scherkraft oder Querkraft, die an dieser Stelle auftritt, wird durch entsprechende Aufmauerung beseitigt. Bei St. Maria Novella ist dies in bester Weise, vor allen bei den Seitenschiffen, durchgeführt. Bei die-

sen ist es auch am wichtigsten, denn, wenn die Seitenschiffe in sich stabil sind, kann der Winddruck dem Bau nicht mehr gefährlich werden. Die Seitenschiffe wirken dann als Strebepfeiler für das Mittelschiff. Bei einer modernen Konstruktion wird man daher gut daran tun, oberhalb der Gurtbögen der Seitenschiffe entsprechend hohe Walzeisenprofile, als beiderseitig fest eingespannte Balken einzumauern, welche geeignet sind die entsprechenden Querkräfte aufzunehmen.

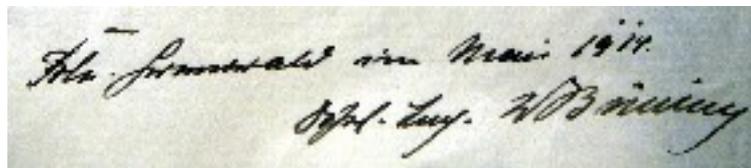
Aus der anliegenden Tabelle kann man weiterhin ersehen, dass die größeren dreischiffigen Anlagen wirtschaftlicher gebaut werden können als die

einschiffigen, oder wenigstens im Mittelalter gebaut sind. Man vergleiche z.B. die bestkonstruierte einschiffige Anlage, die Kathedrale von Gerona, mit der, den gleichen Raum schaffenden Konstruktion der Kirche St. Maria del Mar zu Barcelona. Beides sind äußerst elegante, kühne technische Leistungen. Das Mittelschiff von St. Maria del Mar hat quadratische Joche die auf sehr schlanken Pfeilern von ca. 24 m Höhe bei 2 qm Grundfläche ruhen. Die Seitenschiffe sind beinahe eben so hoch. Es handelt sich also in der Wirkung um eine Hallenkirche, allerdings einer besondere Art, da die geringe Überhöhung des Mittelschiffes dazu benutzt ist einen Oberlichtgaden anzubringen. Auch in konstruktiver Hinsicht ist diese Kirche nicht als eigentliche Hallenkirche anzusprechen. Die Jochlänge ist bei der Kathedrale zu Gerona fast die gleiche, doch ist ihre freie Spannung 23 m. Die durch die Konstruktion überspannte Grundfläche beträgt bei St. Maria del Mar 350 qm. Und zu Gerona 306 qm. Die Höhe ist im Durchschnitt gerechnet in Gerona um etwa 2 m größer. Der umschlossene Raum, del Mar 8940 cbm., Gerona 8320 cbm. Die Konstruktionsfläche ist aber bei del Mar nur 386, gegen 465 qm in Gerona. Es ergibt sich für del Mar das Verhältnis von 1 : 23 gegen 1 : 18 für Gerona. Für dreischiffige Kirchen ist das Verhältnis 1 : 23 ziemlich häufig, so bei St. Maria Novella zu Florenz, St. Petronio zu Bologna und dem Dom zu Verona. Wenn die in ganz gleicher Art wie der Dom in Verona konstruierte Kirche St. Anastasia schon das bedeutend schlechtere Verhältnis von 1 : 16 zeigt, so ist zu bedenken, dass diese Kirche wesentlich kleiner ist und nur 2/3 des Rauminhalts auf die Konstruktionseinheit umschließt. Dagegen fällt allerdings die Konstruktionsfläche nur von 265 qm., für den Dom auf 253 qm., für St. Anastasia also nur um etwa 5 %. Die Konstruktion von St. Anastasia ist also zweifellos viel schwerfälliger, doch ist zu berücksichtigen, dass die Fläche, also in diesem Falle die Konstruktionsfläche, im Quadrate wächst während der Raum in der dritten Potenz zunimmt.

Von den einschiffigen Kirchen nimmt die Kathedrale von Gerona unbestritten den ersten Platz ein. In der Spannung wird sie nur von der spätreneassance Kirche St. Pietro in Bologna mit 24,8 m. übertroffen. Letztere ist in der Konstruktion als einschiffige Kirche mit abwechselnd großer und kleiner Jochlänge zu betrachten. Die beiden Kirchen überspannen mit ihrer Konstruktionseinheit die gleichen Flächen. St. Pietro ist allerdings um 6 m. höher und umschließt daher ein Mehr an Raum von 1740 cbm., also etwa 21%, gebraucht dazu aber einen Zuwachs in der Konstruktionsfläche von etwa 190 qm. oder 29 %, und erzielt so nur das Verhältnis von 1 : 11,5. Die übrigen einschiffigen Kirchen haben alle ungünstigere Verhältnisse, weil die einzelnen Gewölbejoche nur sehr geringe Längenabmessungen haben. Trotzdem sind aber gegen jeden Strebebogen im Verhältnis zur Spannung ebenso starke Strebepfeiler gesetzt, die daher nur wenig beansprucht werden. Hätte St. Vincent zu Carcassonne z.B.- die gleich Jochlänge im Verhältnis zur Breite wie die Kathedrale zu Gerona, so würde die Joch-

länge 11,6 m. statt der wirklich vorhandenen 7 m., also weit über die Hälfte mehr betragen. Das Verhältnis der Konstruktionsfläche zur überspannten Querschnittsfläche ist dabei fast genau dasselbe und beträgt bei St. Vincent 1 : 1,4 und zu Gerona 1 : 1,44. Dieses Verhältnis kommt noch mehrmals vor bei St. Michel zu Carcassone 1 : 1,4, il Redentore zu Venedig 1 : 1,3 und sinkt dann bei Notre Dame La Blanche zu Toulouse auf 1 : 1,22 und auf 1 : 1,12 bei St. Jean zu Perpignan.

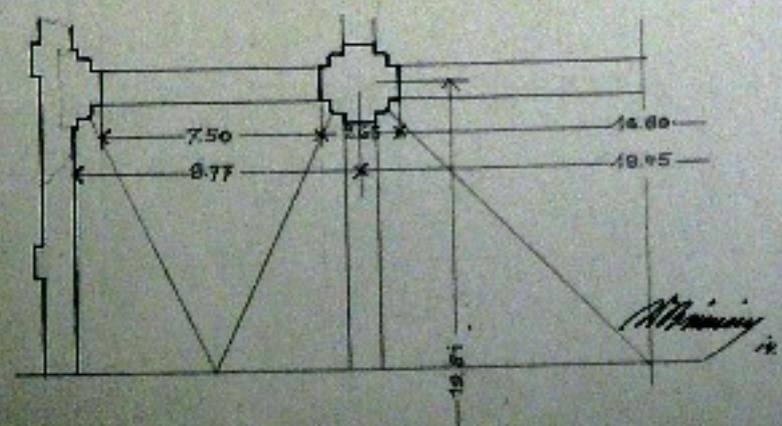
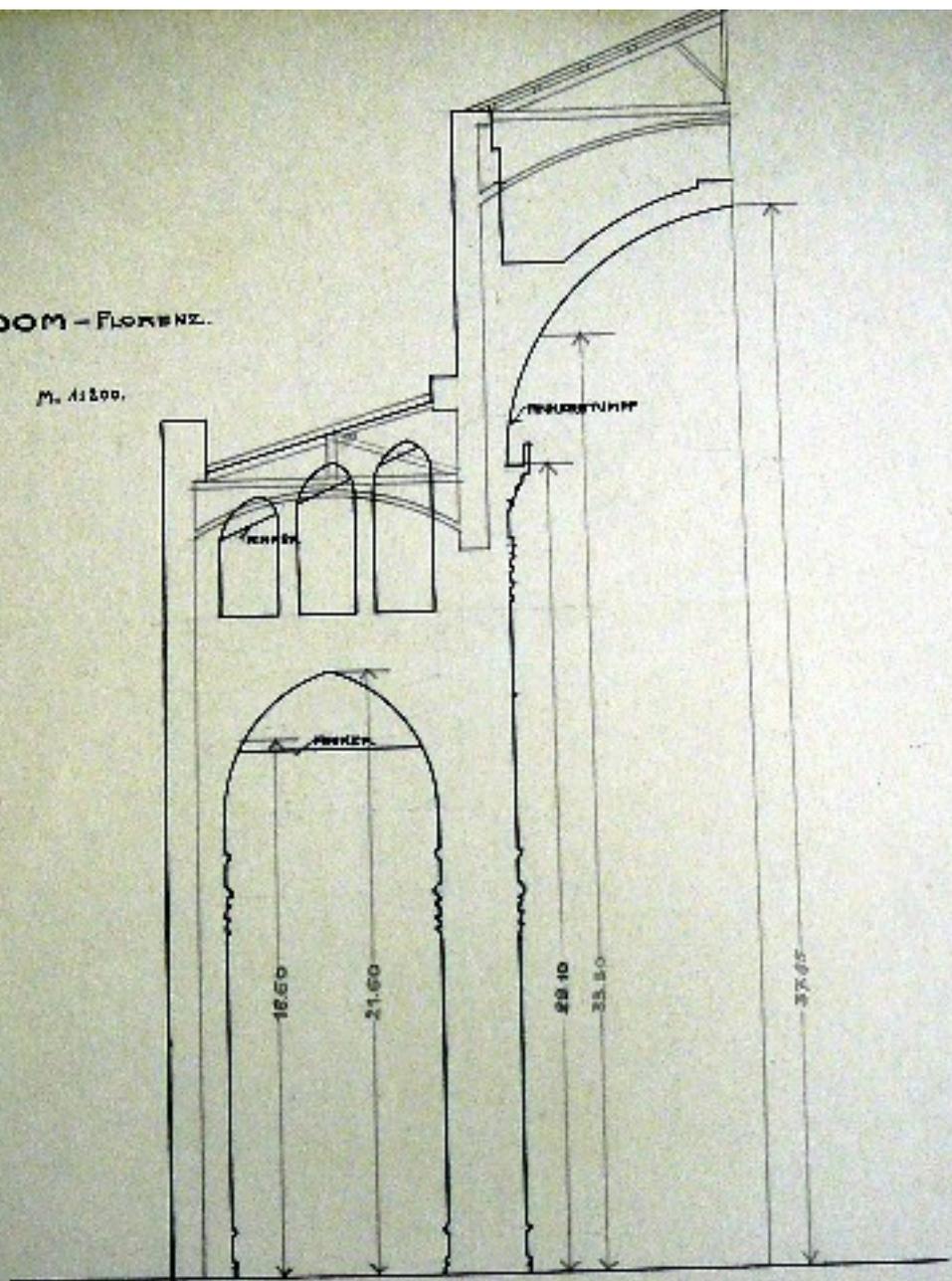
Kommt man nun auf die anfangs gestellte Frage „wann hat man die kühnsten Gewölbekonstruktionen errichtet“ zurück, so kann man aus den vorliegenden Untersuchungen mit einiger Vorsicht den Schluss ziehen, dass die älteren Konstruktionen die kühneren sind. Die Frage, wo diese errichtet sind, möchte ich nicht eher beantworten, als entsprechende Untersuchungen an nordeuropäischen Bauten vorgenommen sind.



Als Fundament im Mai 1914.
Ost. Prof. W. B. Brüning

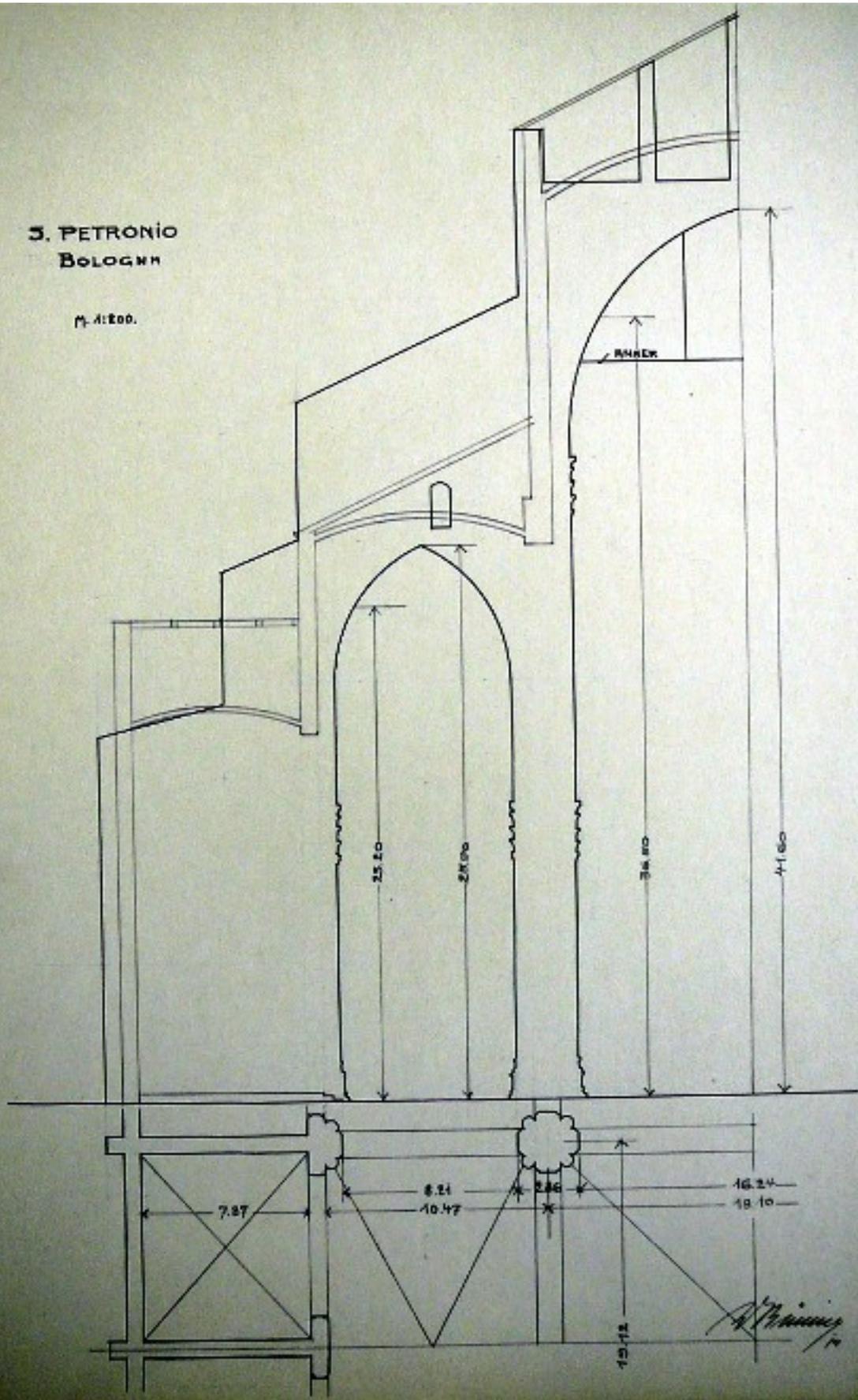
DOM - FLORENZ.

M. 1:100.



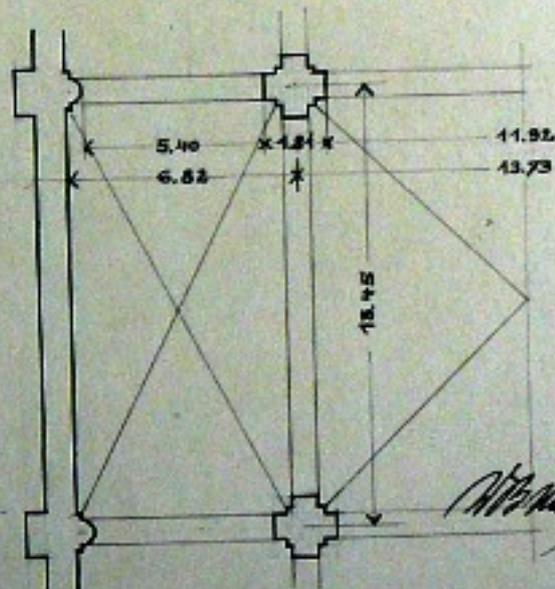
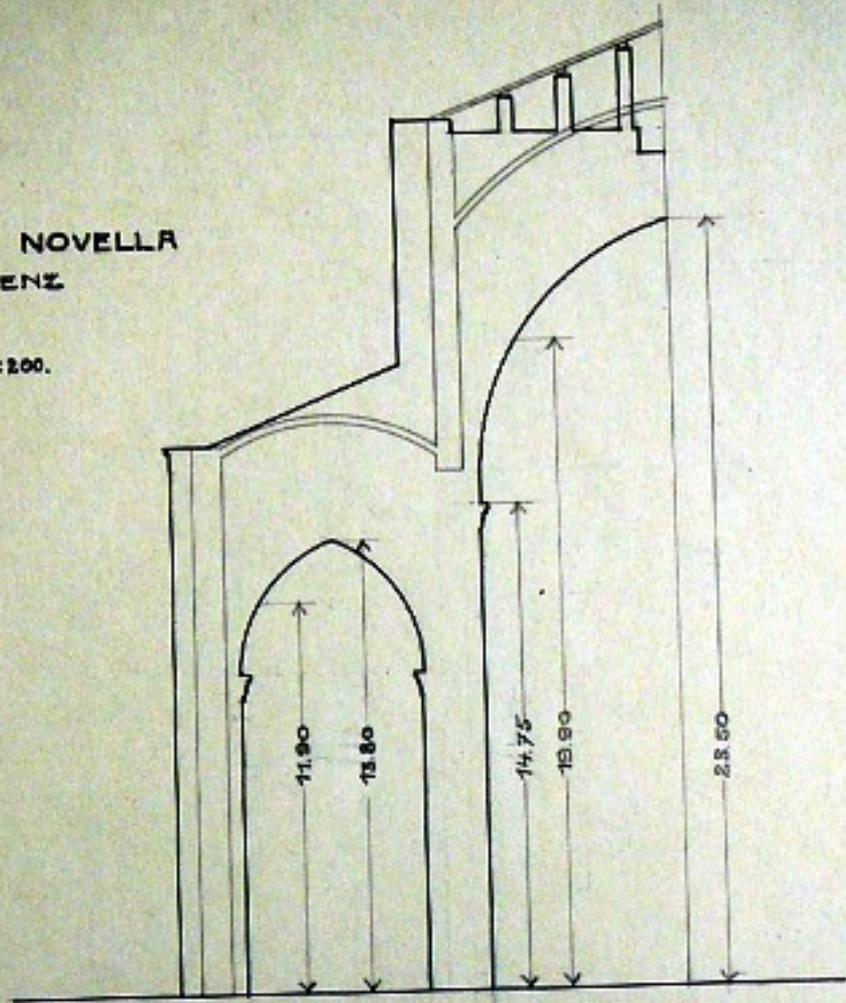
5. PETRONIO
BOLOGNA

M. 1:200.



ST. MARIA NOVELLA
FLORENZ

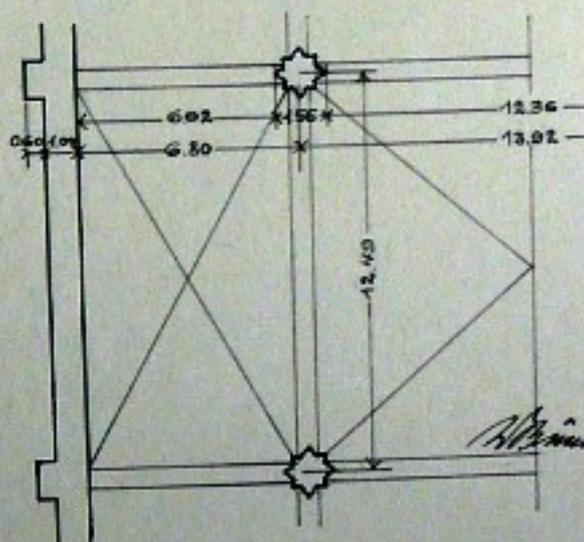
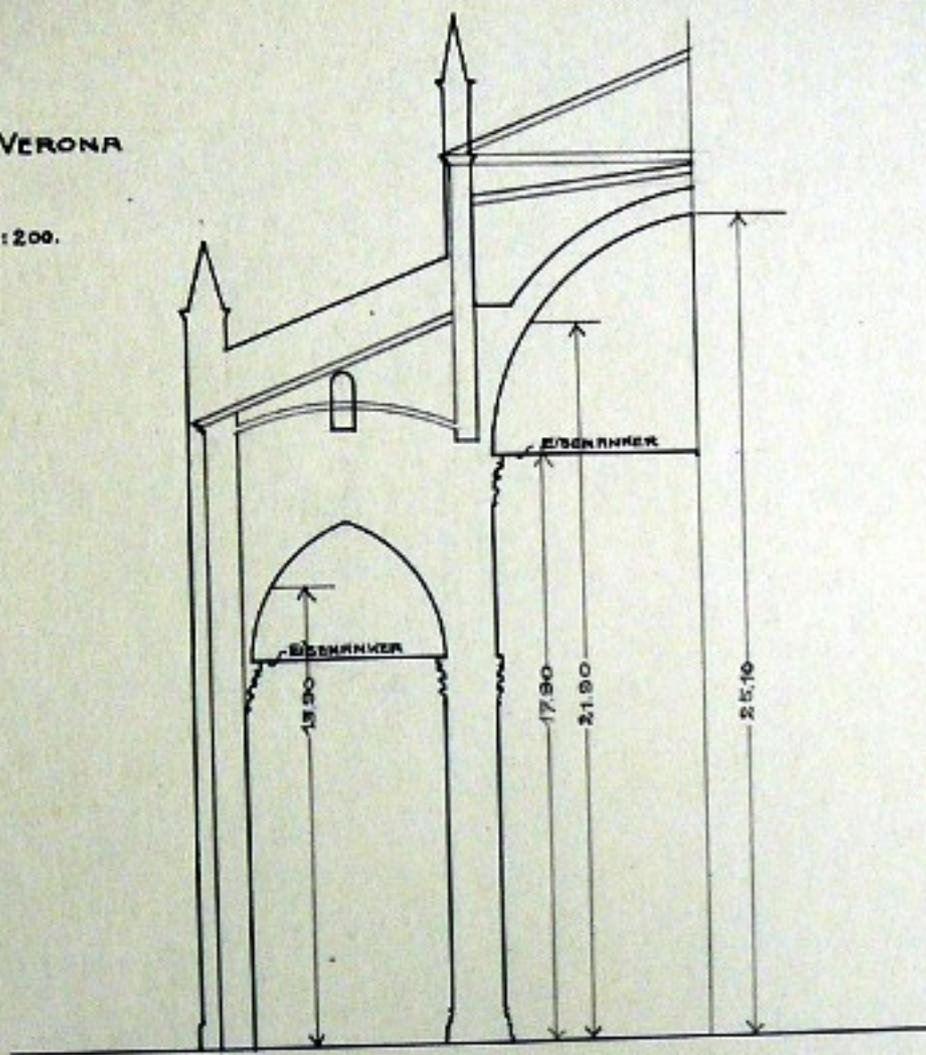
M. 1:200.



W. P. ...
17

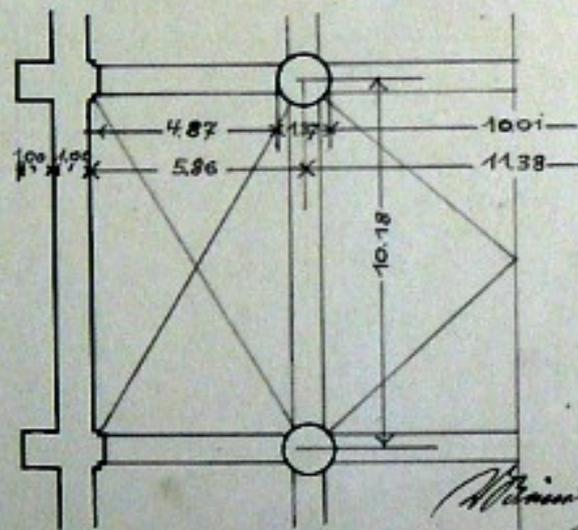
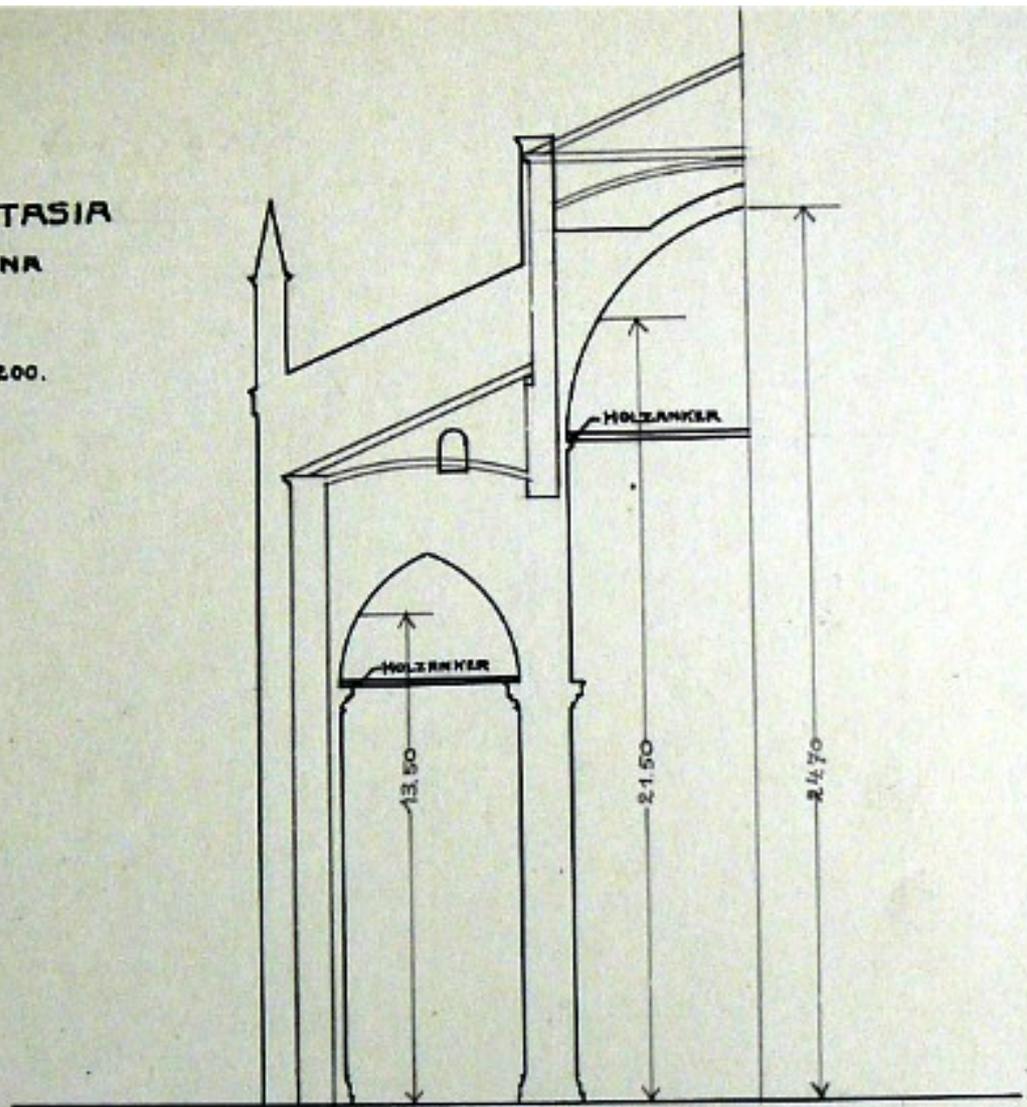
DOM - VERONA

M. 1:200.



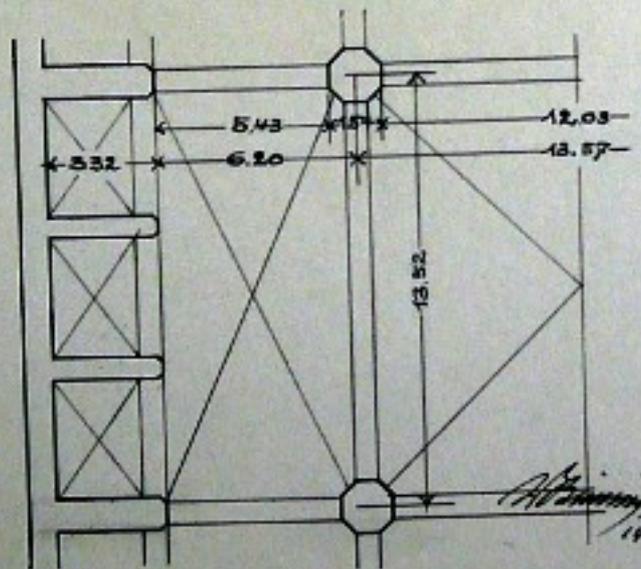
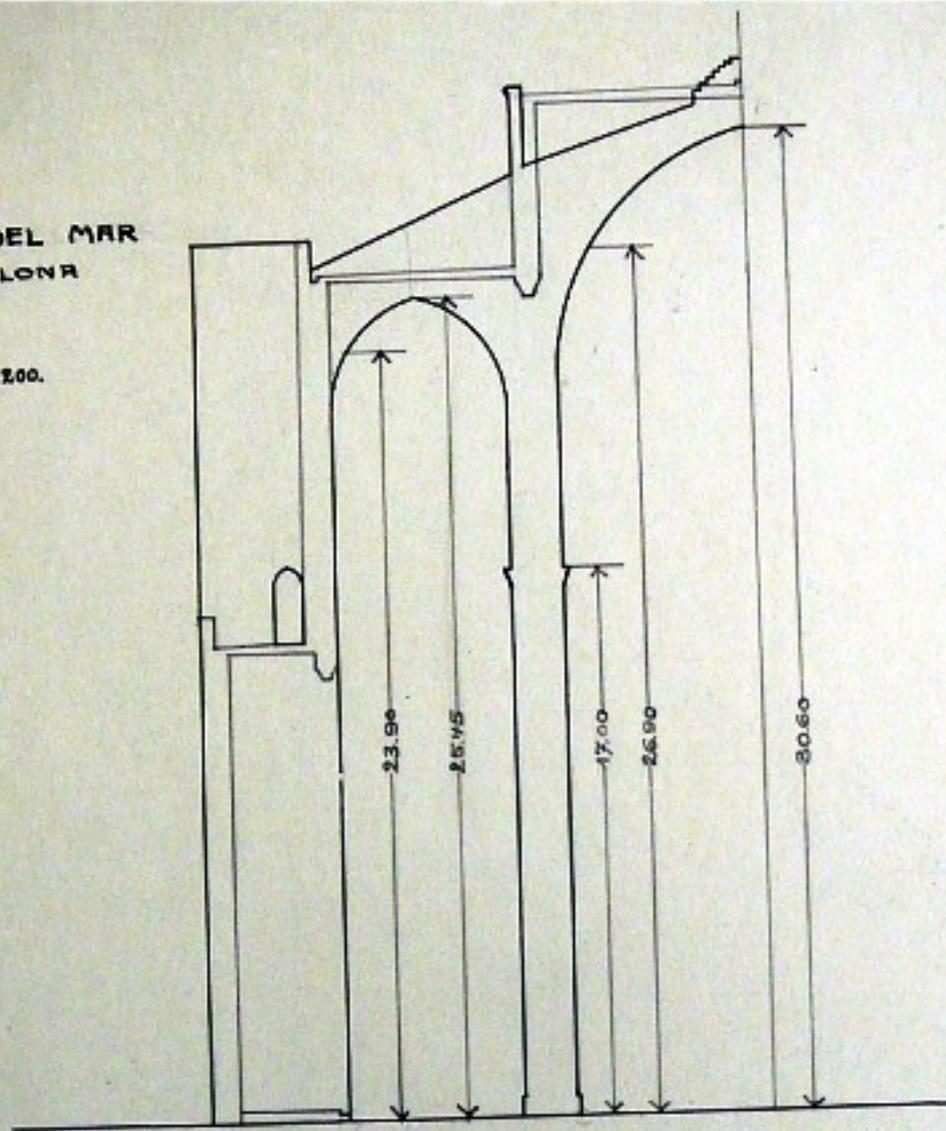
ST. ANASTASIA
VERONA

M. 1:200.



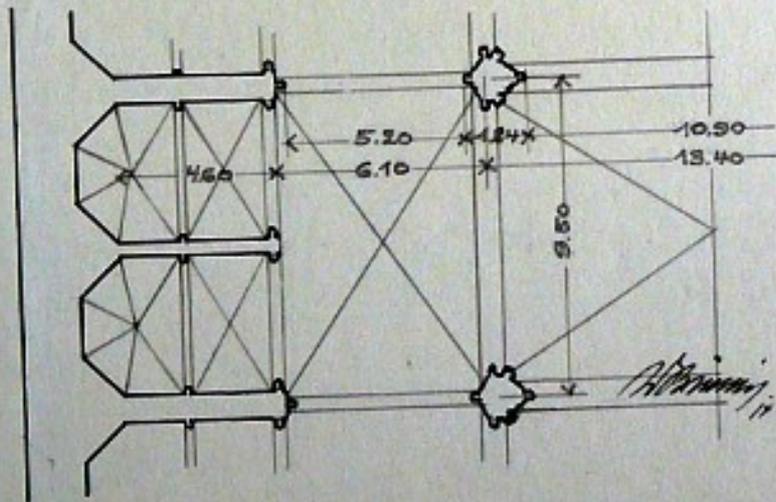
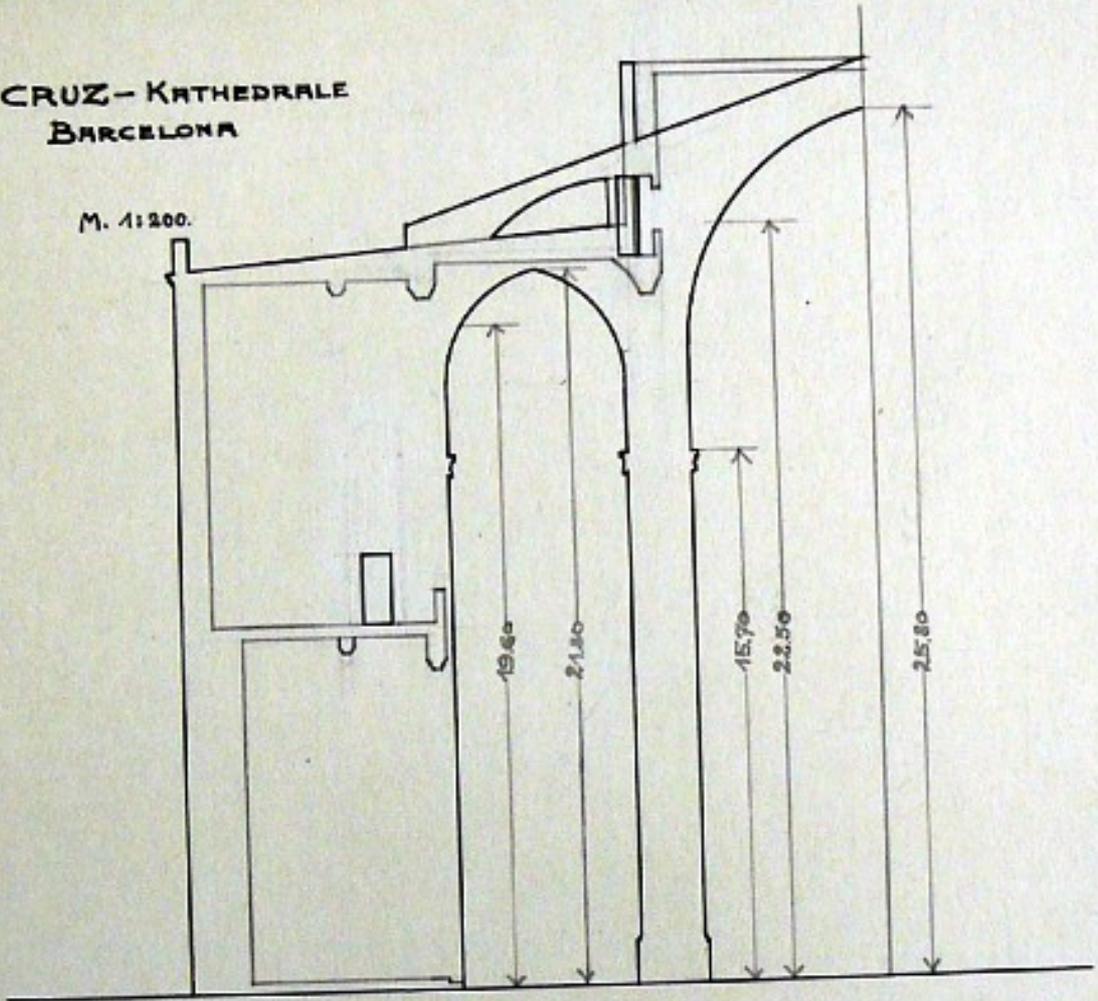
ST. MARIA DEL MAR
BARCELONA

M. 1:200.



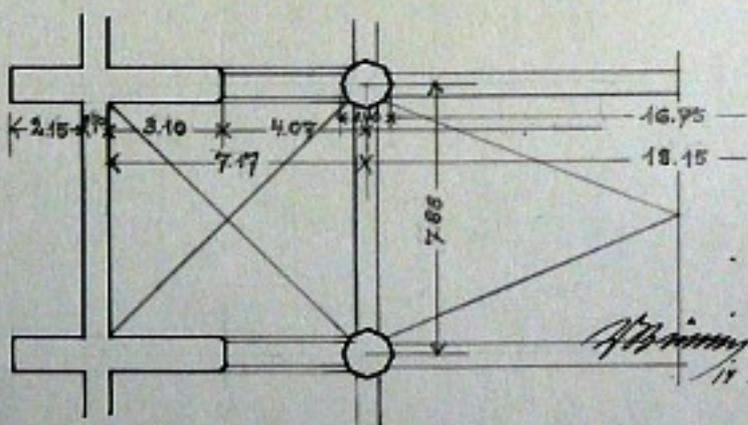
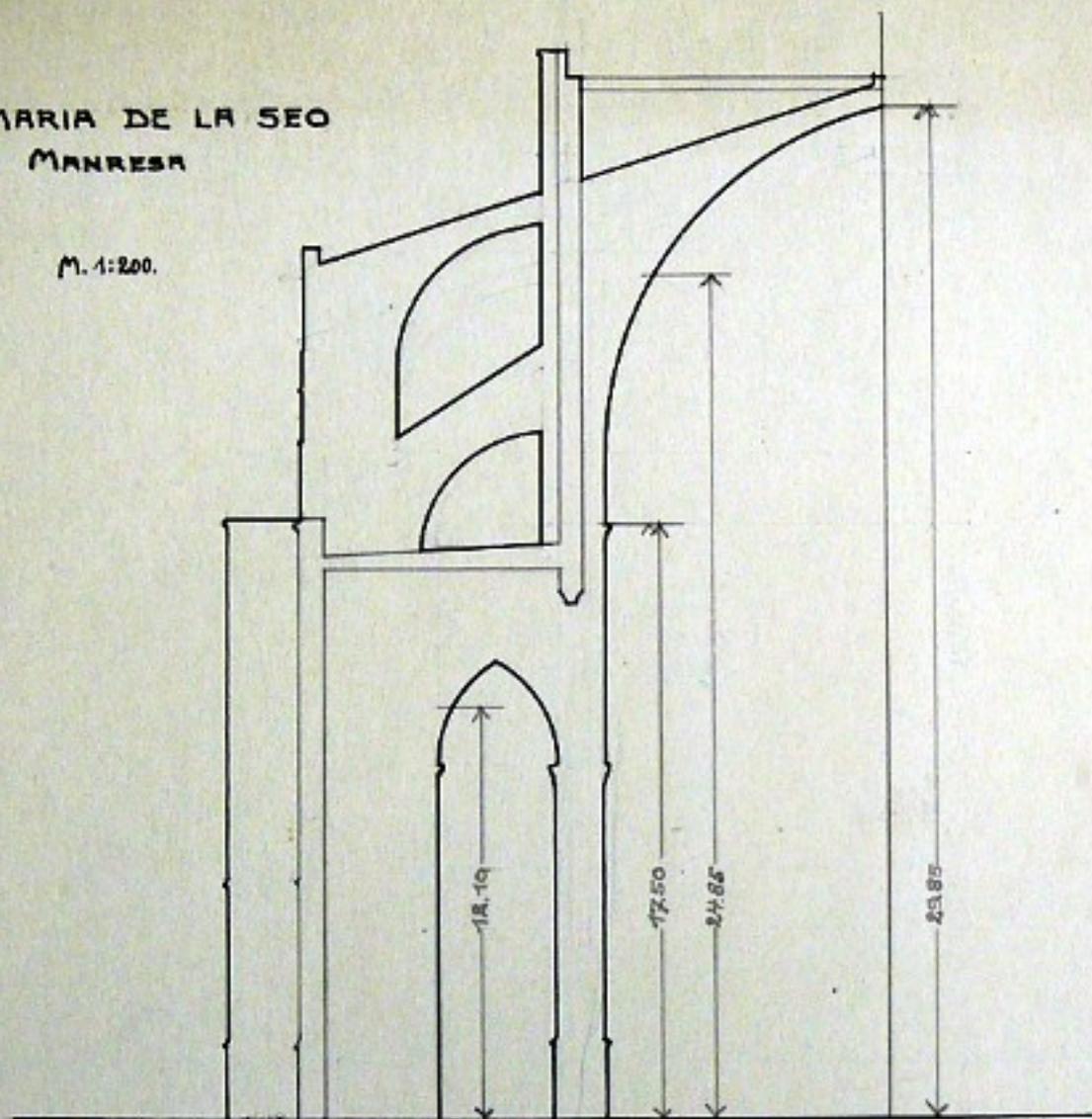
ST. CRUZ - KATHEDRALE
BARCELONA

M. 1:200.



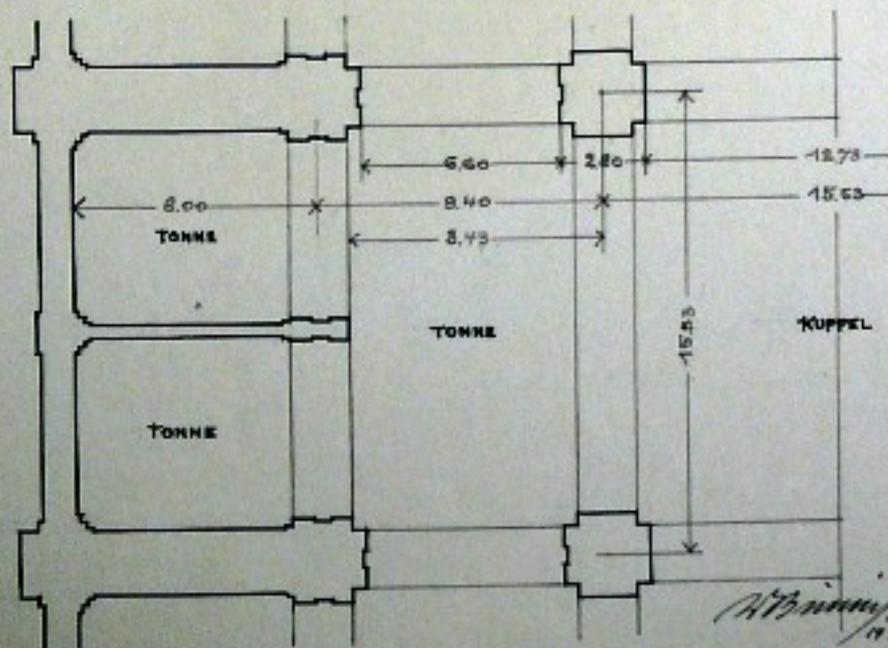
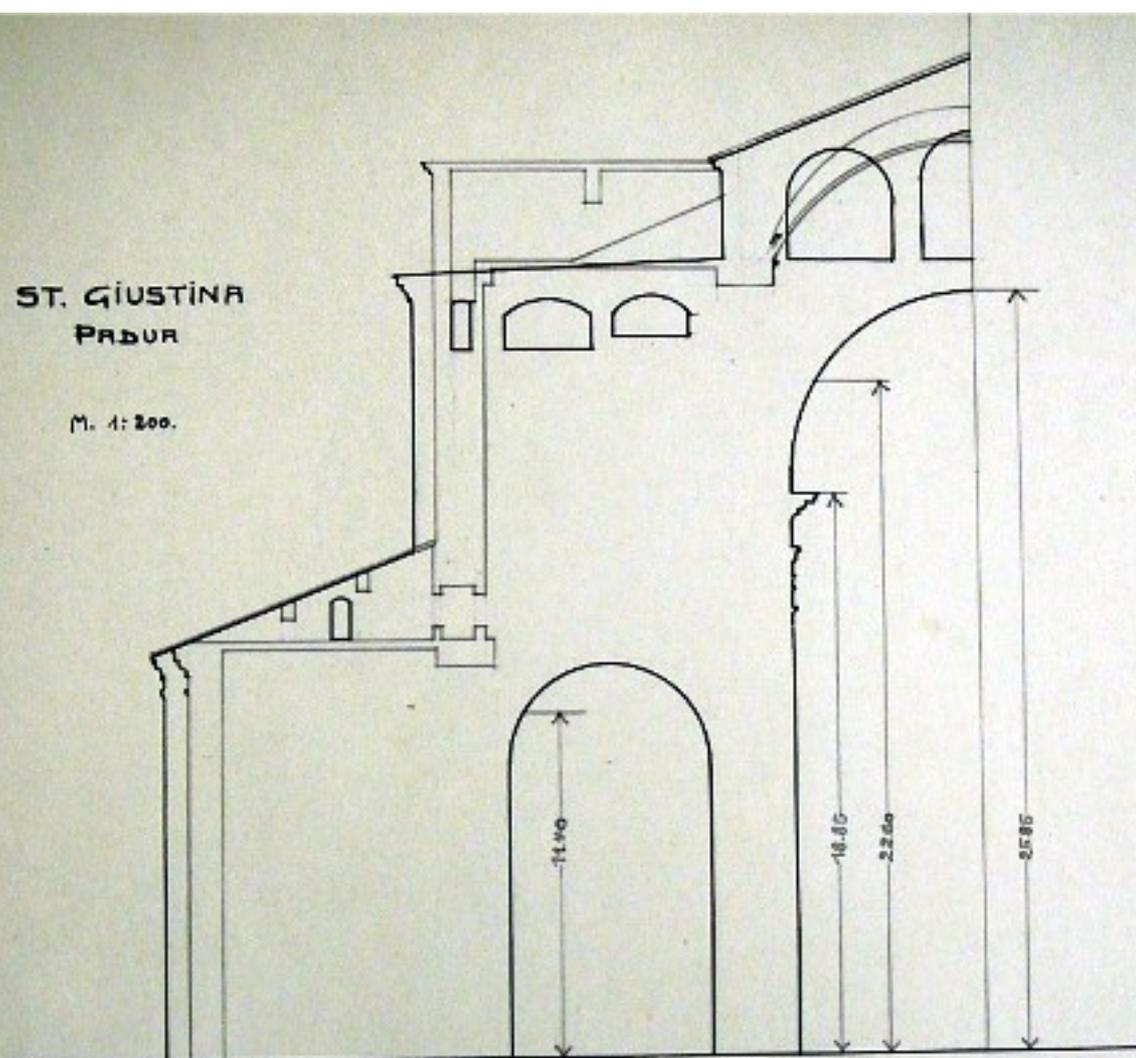
ST. MARIA DE LA SEO
MANRESA

M. 1:200.



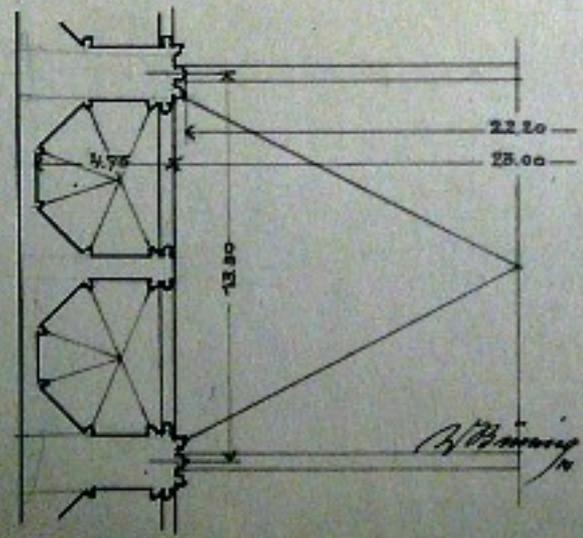
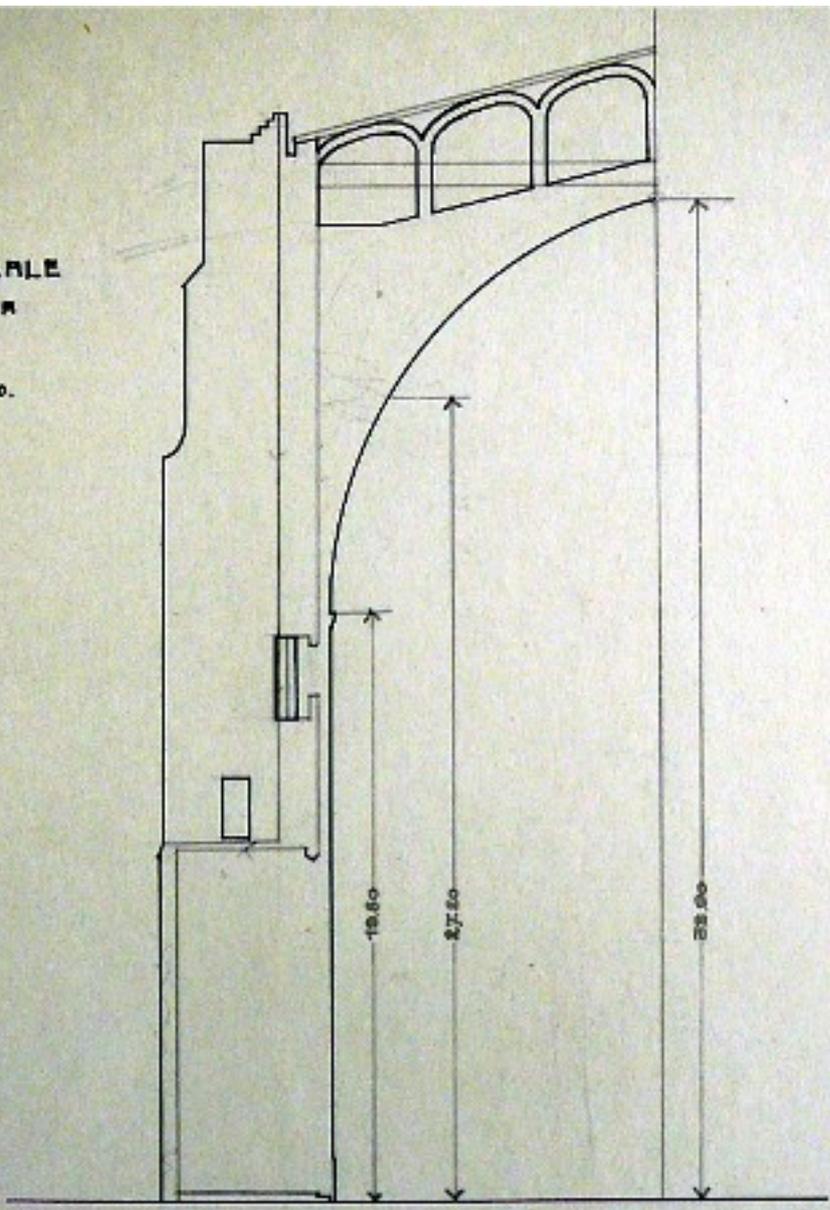
ST. GIUSTINA
PRDUR

M. 1:200.



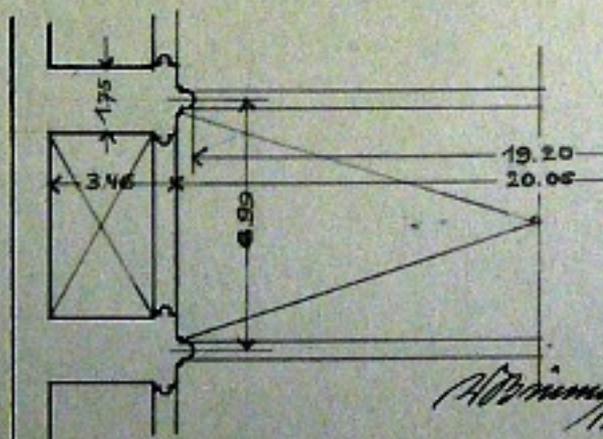
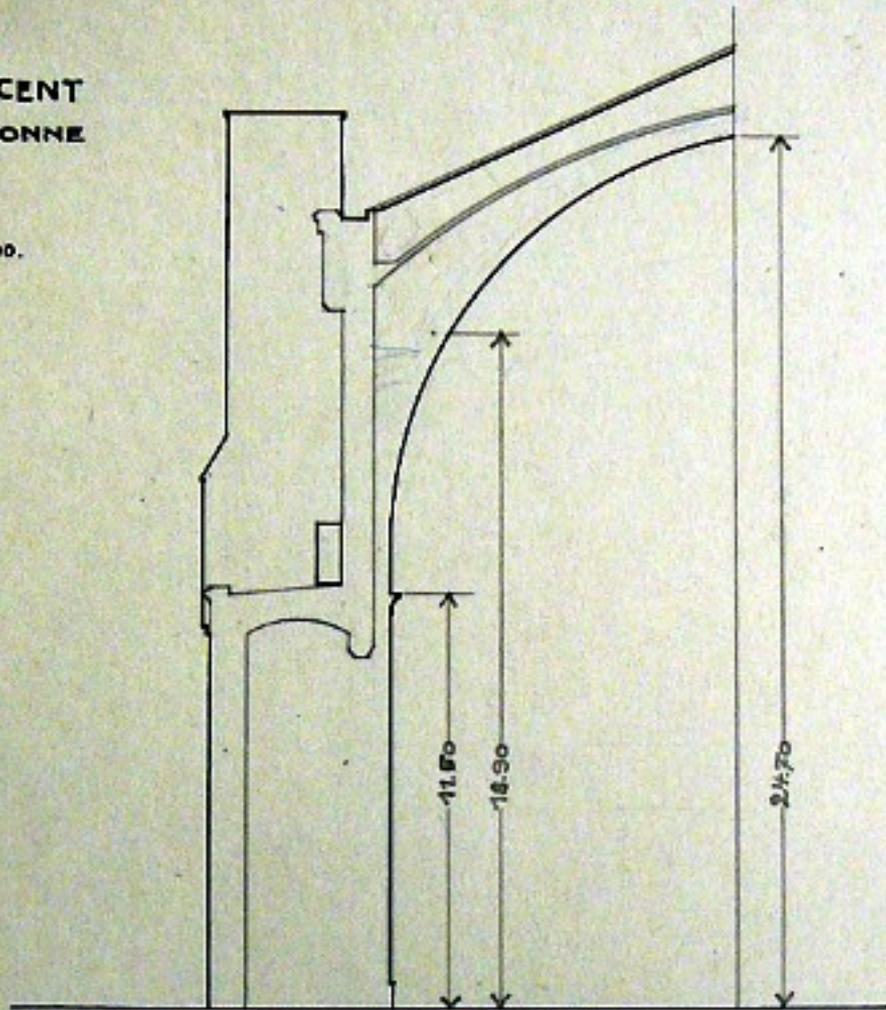
KATHEDRALE
CEKONA

№. 4: 200.



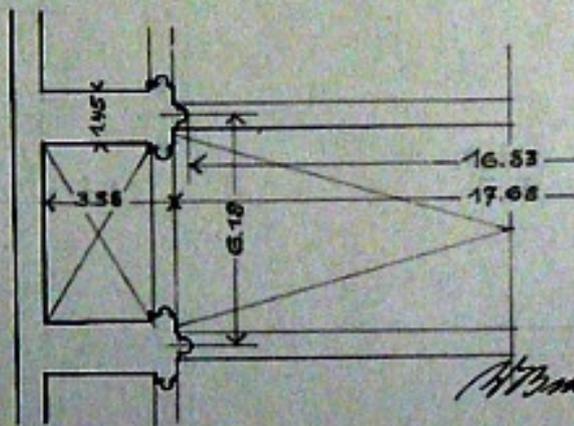
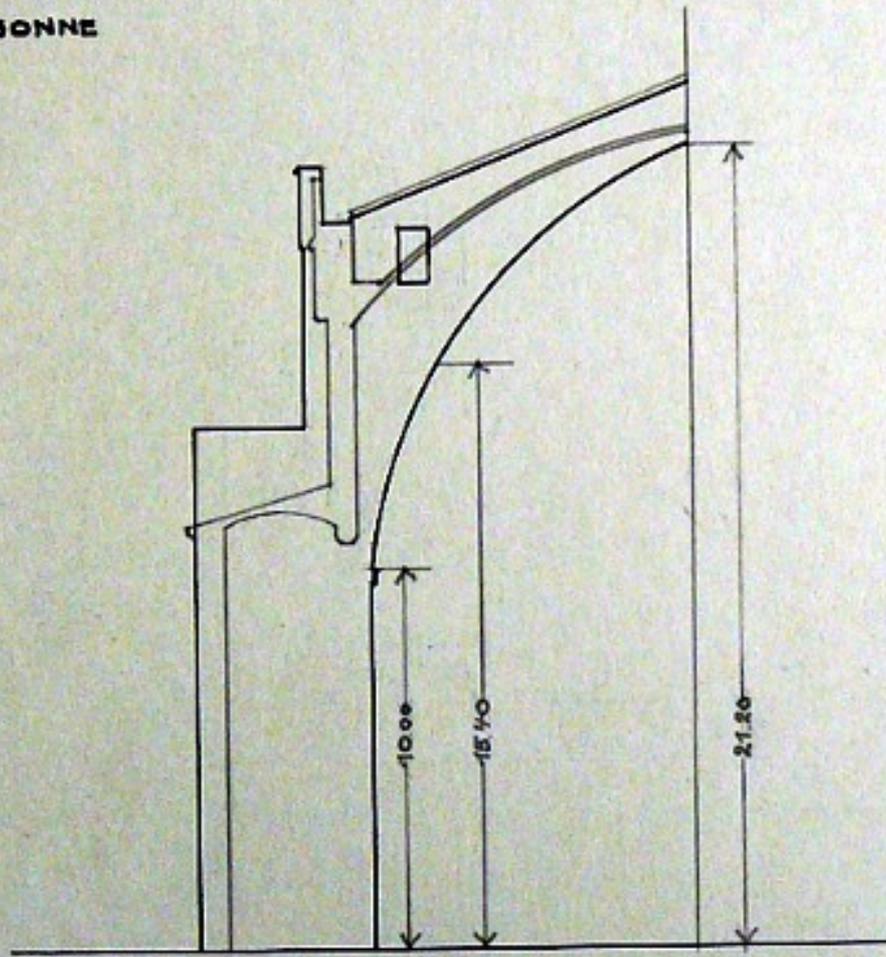
ST. VINCENT
CARRASSONNE

M. 1:200.



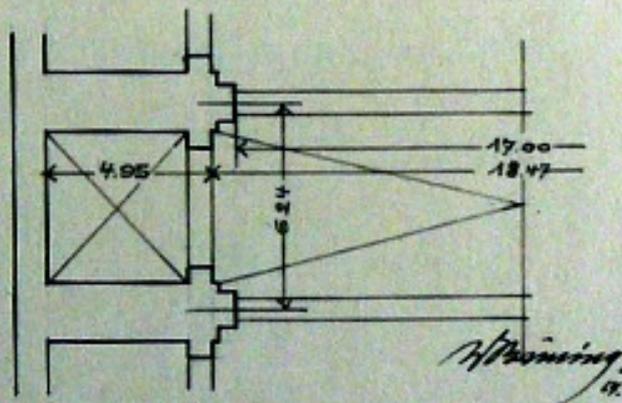
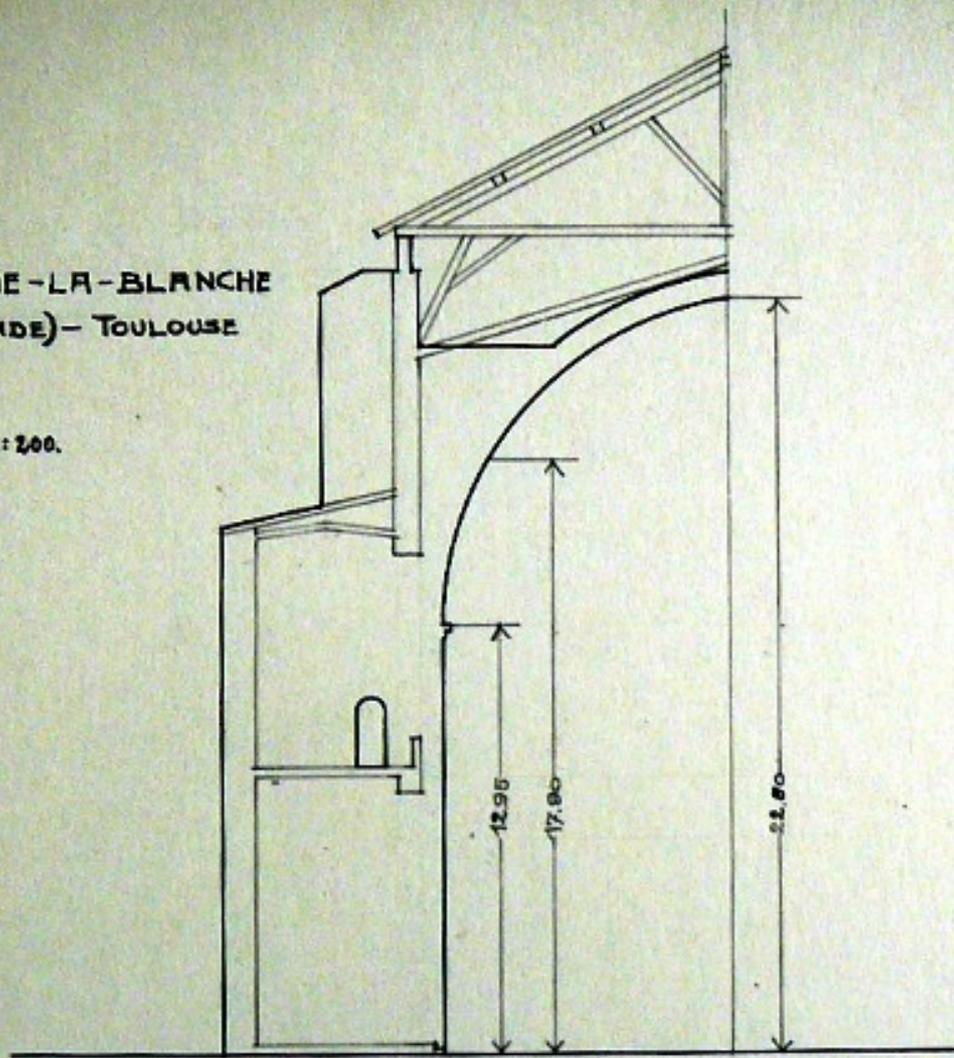
ST. MICHEL - KATHEDRALE
CARCASSONNE

M. 1:200



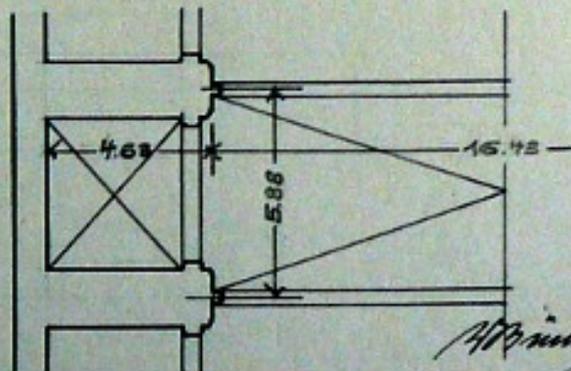
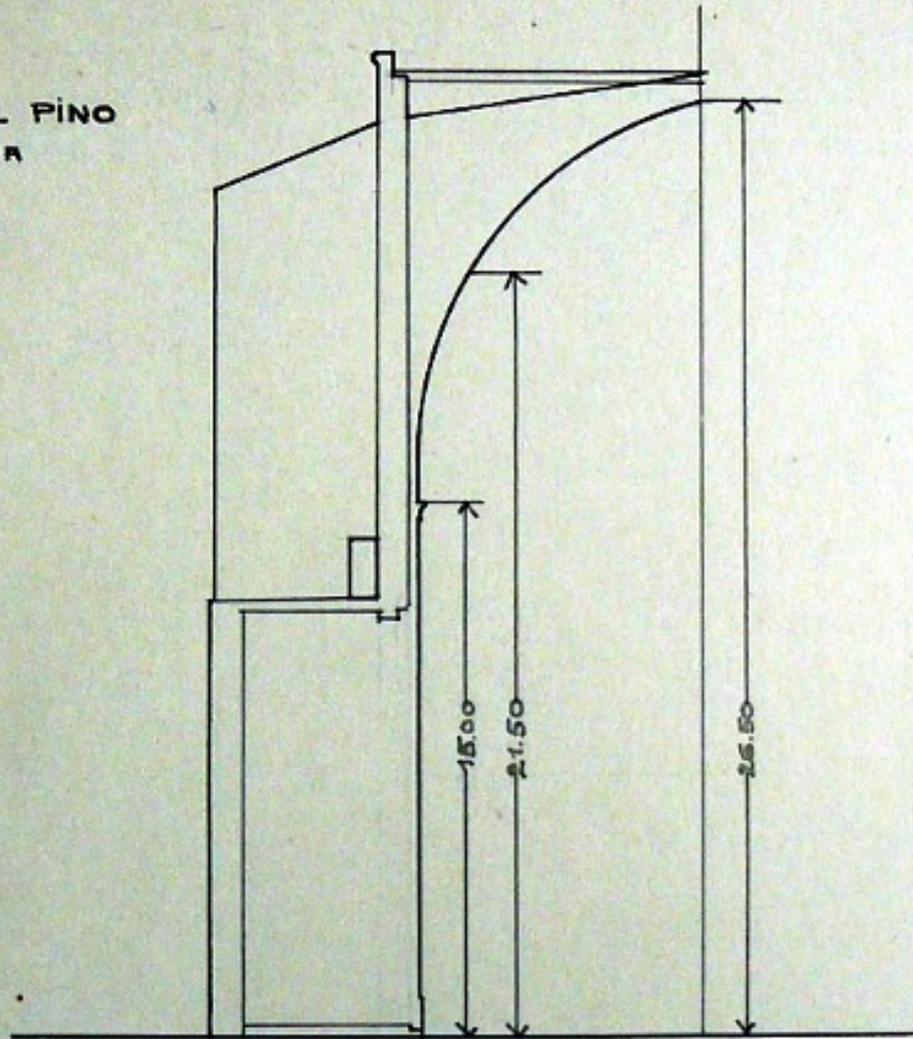
NOTRE-DAME-LA-BLANCHE
(LA DALBADE) - TOULOUSE

M. 1:200.



ST. MARIA DEL PINO
BARCELONA

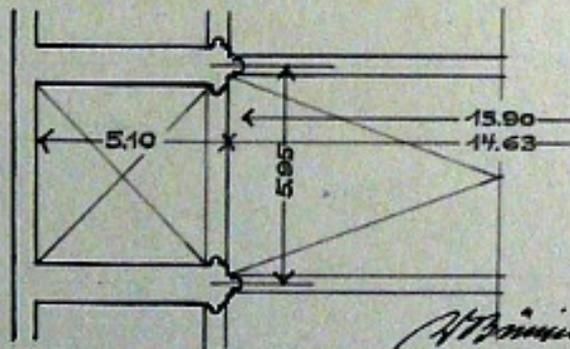
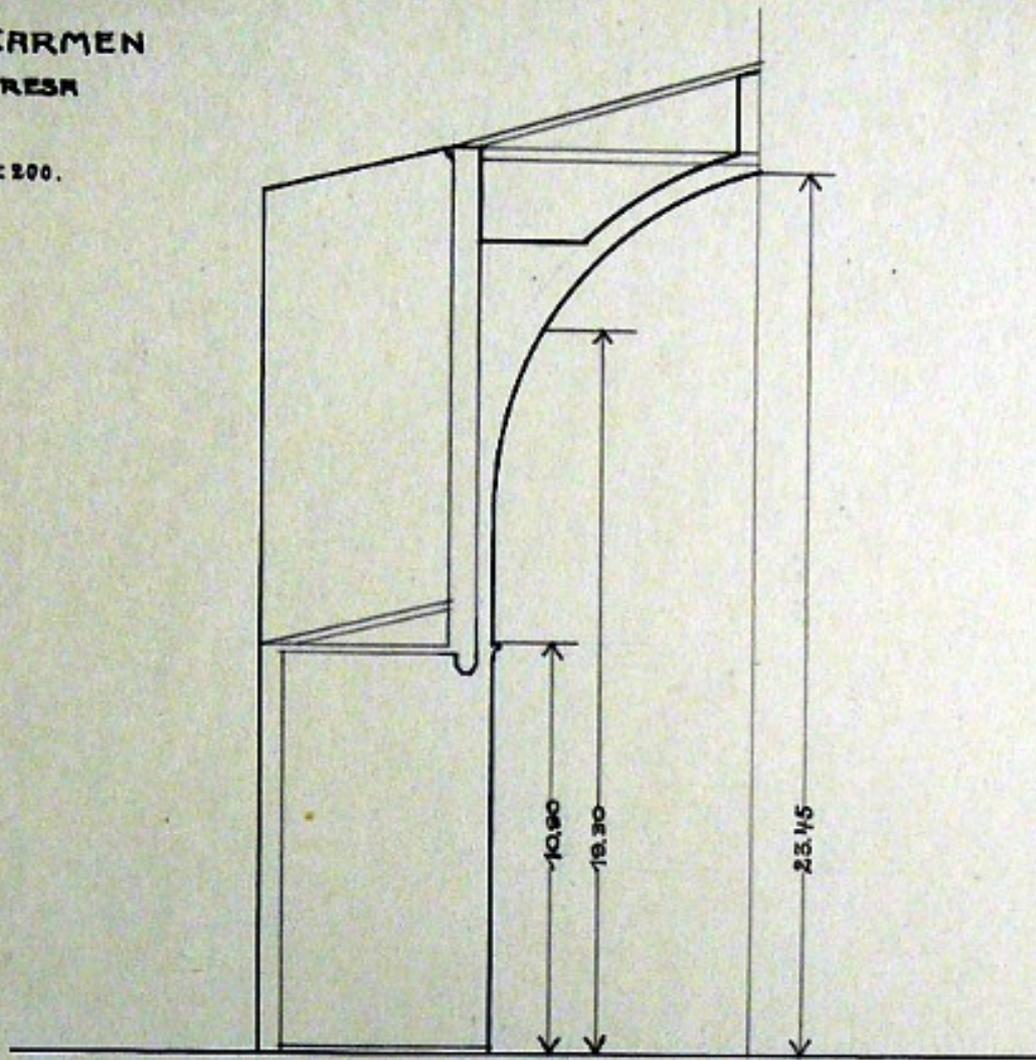
M. 1:200.



Handwritten signature or initials.

DEL CARMEN
MANRESA

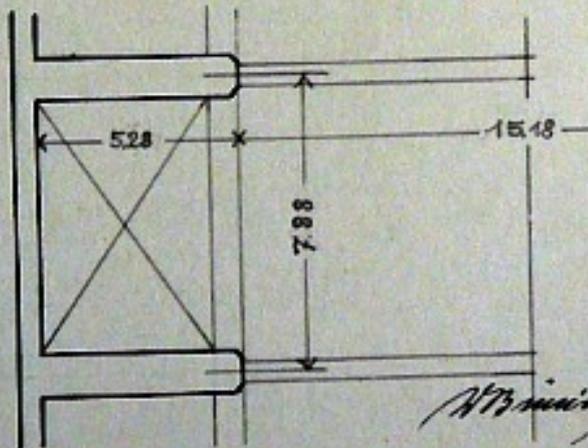
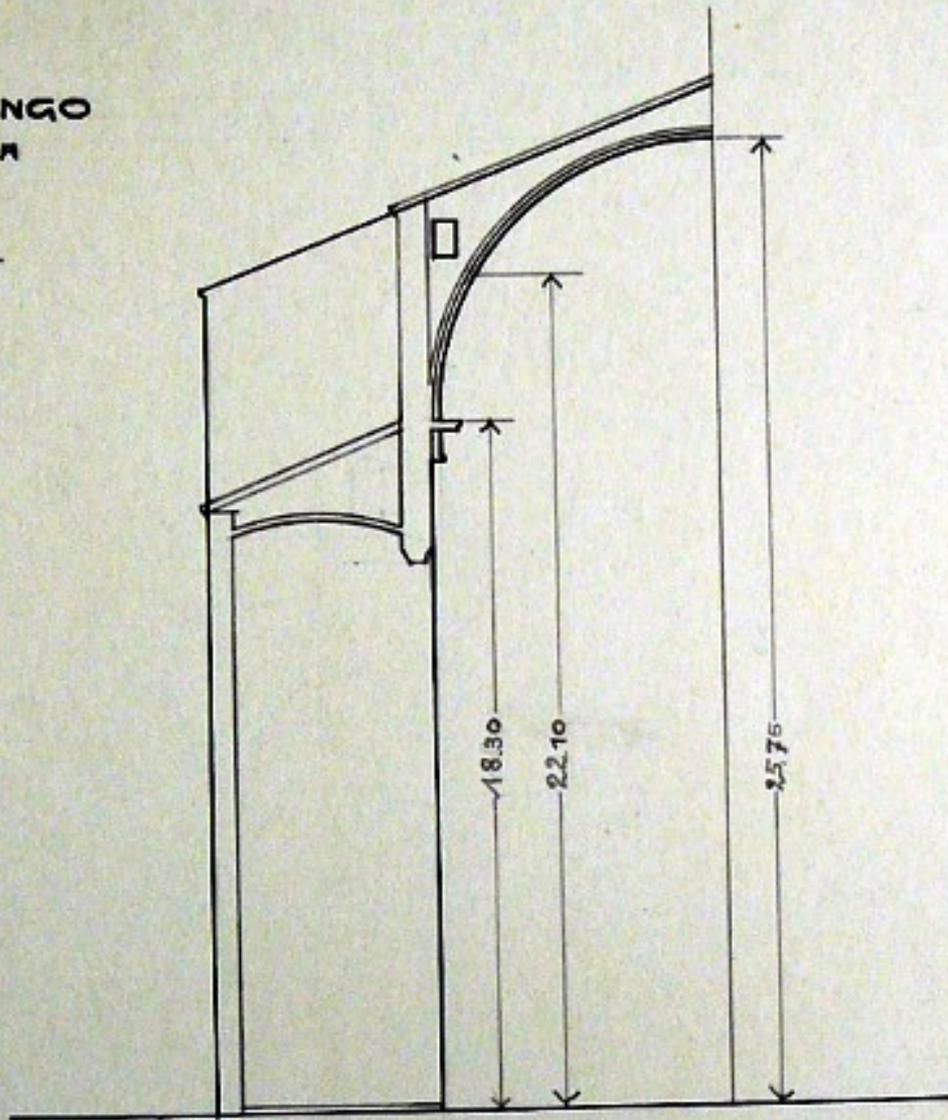
M. 1:200.



Alfonso
19

ST. DOMINGO
MANRESA

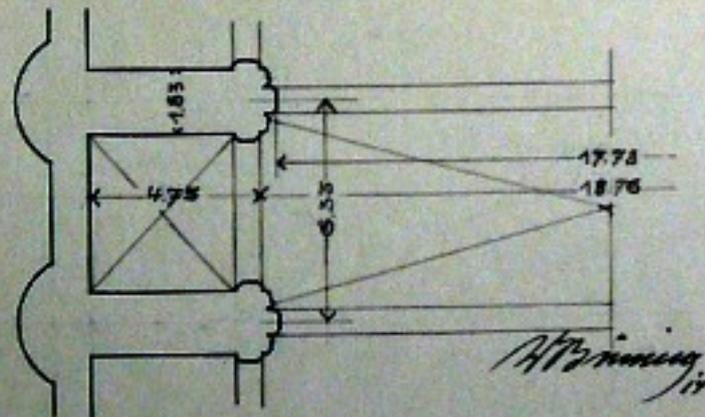
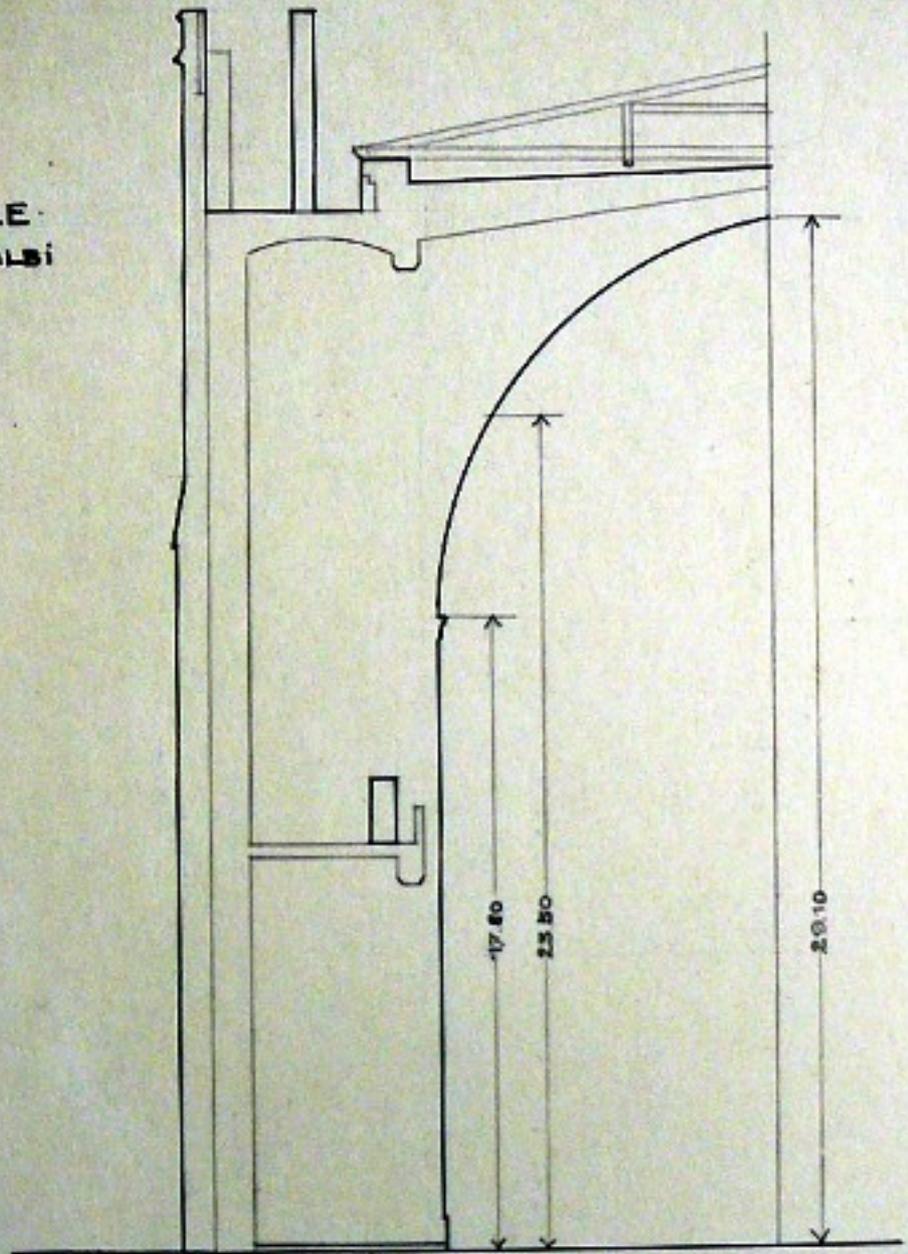
M. 1:200.



Atkinson
17.

STE. CECILE
KATHEDRALE - ALBI

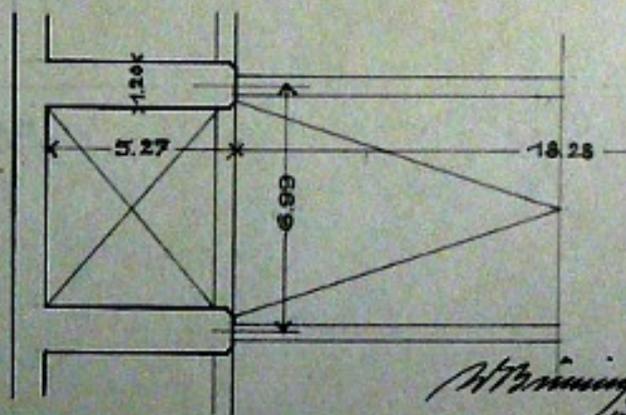
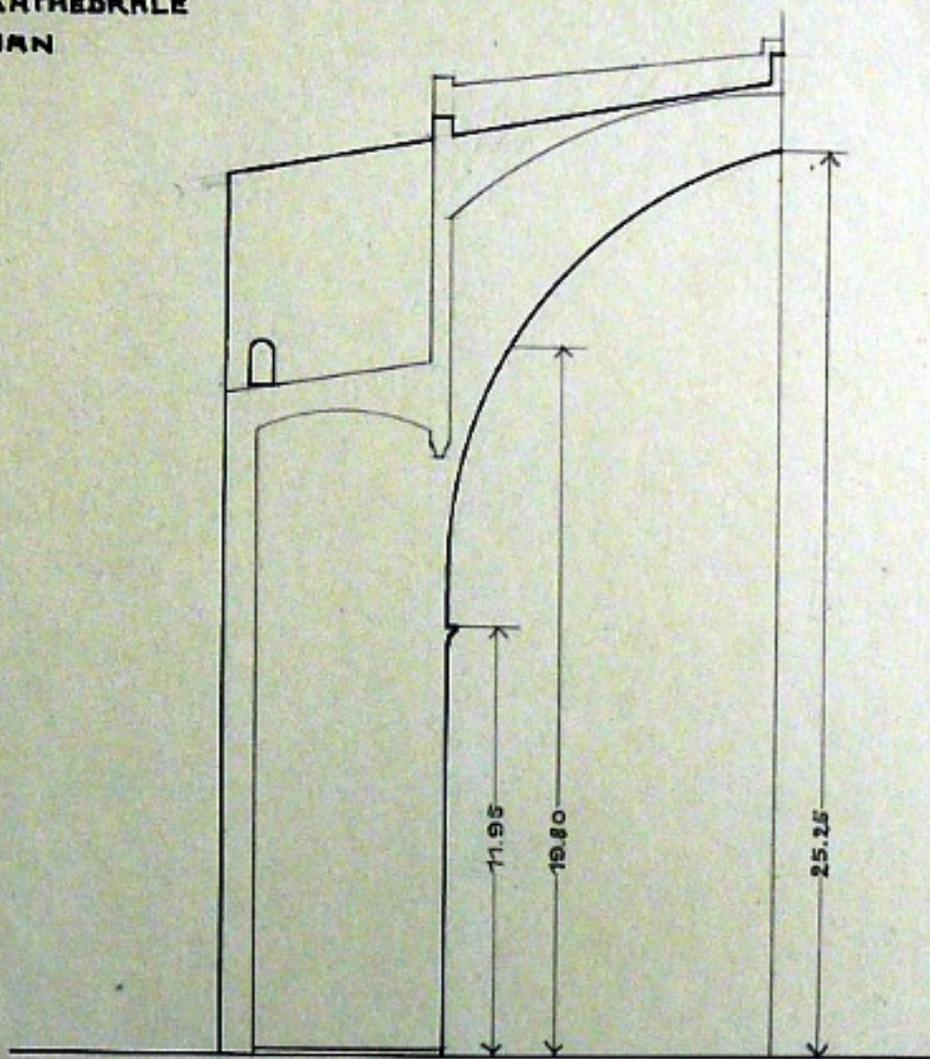
M. 1:200.



Atkinson

ST. JEAN - KATHEDRALE
PERPIGNAN

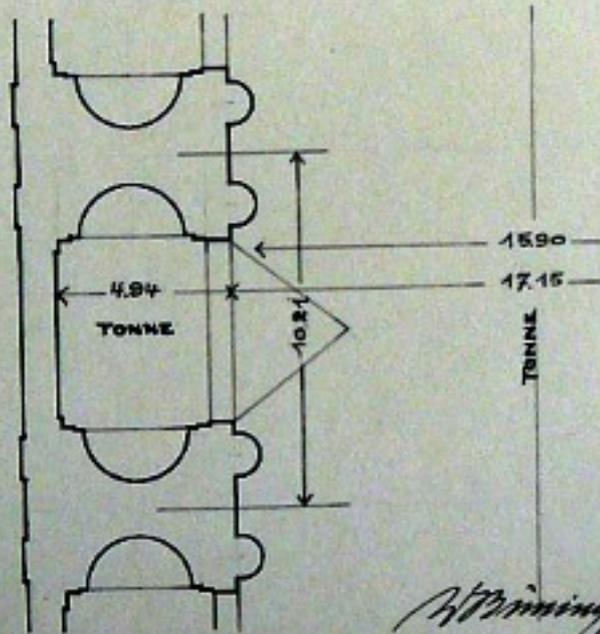
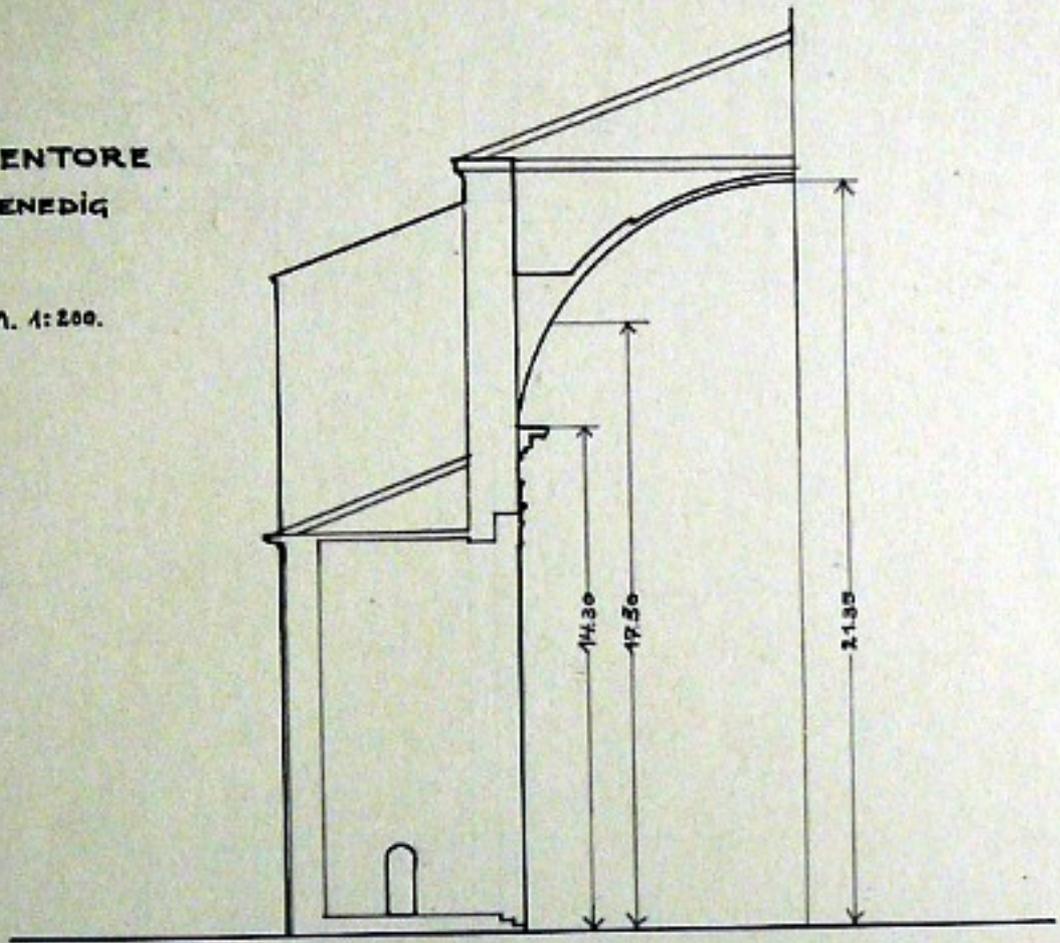
M. 1:200.



Atkinson
11

REDENTORE
VENEDIG

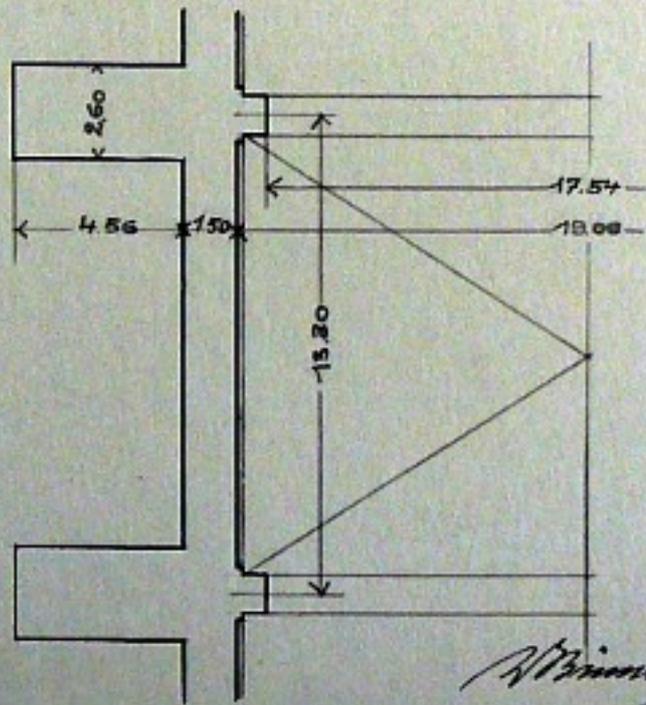
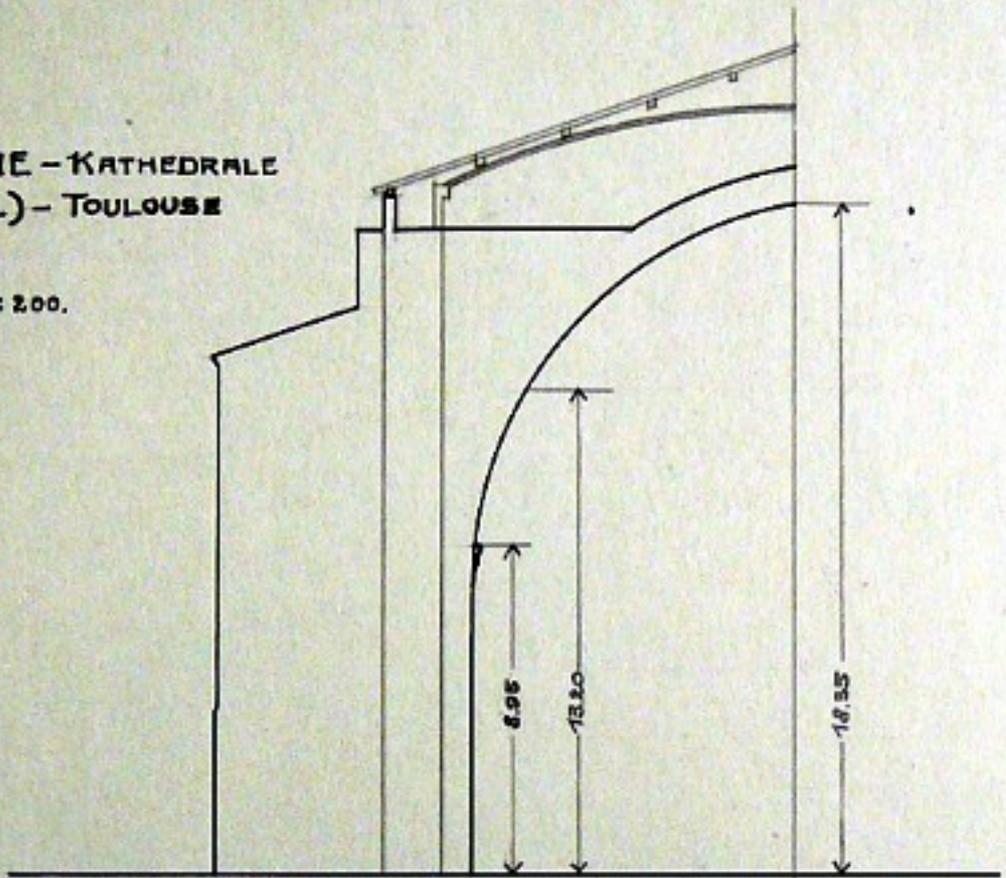
M. 1:200.



Altimini

ST. ETIENNE - KATHEDRALE
(ALTER TEIL) - TOULOUSE

M. 1:200.



W. Minnich
17.

5. PIETRO
BOLOGNA

M. 41200.

