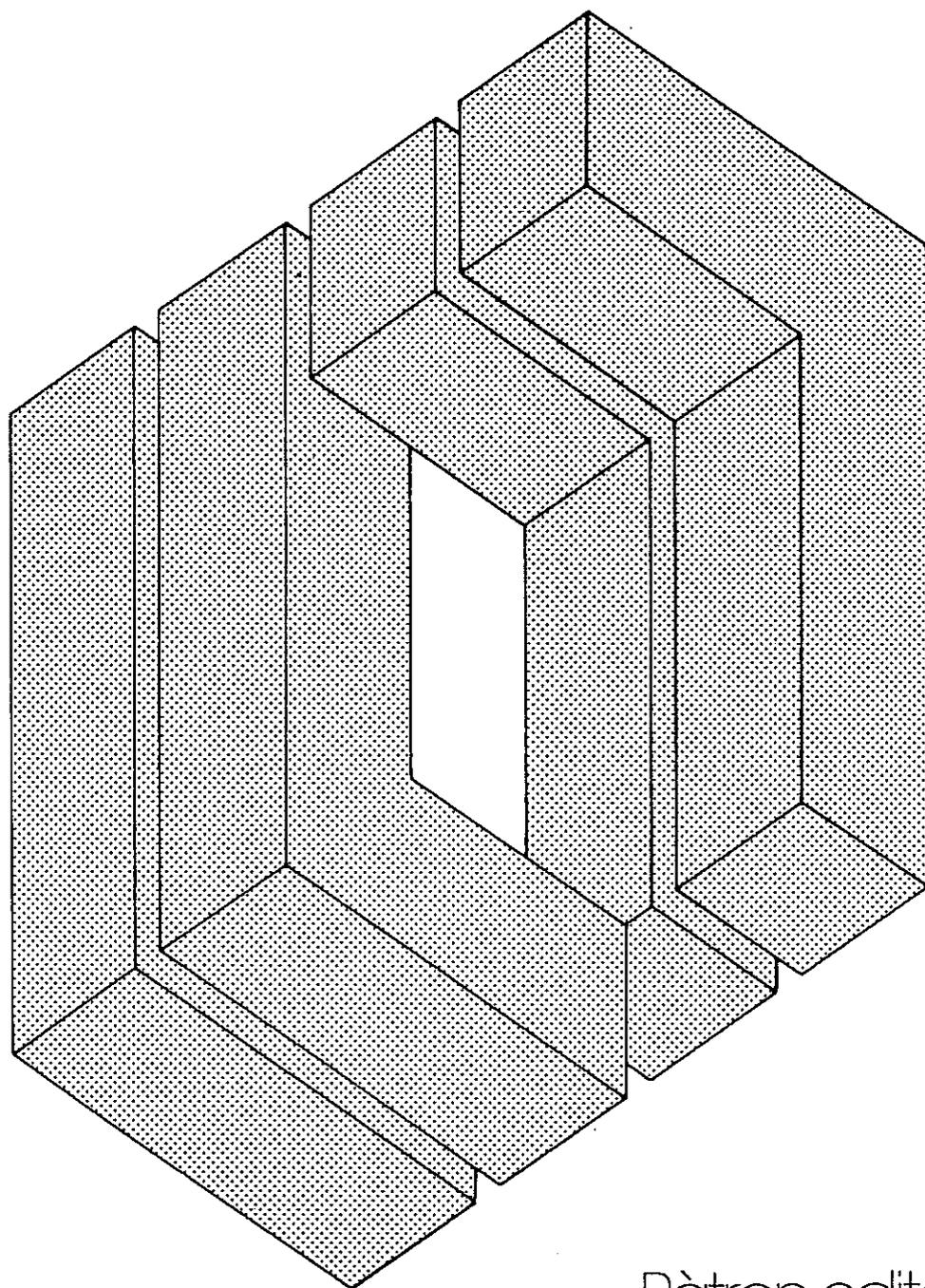


estratto da:

ingegneria sismica

quadrimestrale tecnico-scientifico



Patron editore

Basilica patriarcale della «Porziuncola»: progetto di ripristino statico e funzionale a seguito degli eventi sismici del 26.09.1997 e successivi

Paolo Capaldini, Daria Ripa di Meana, Bruno Salvatici

SOMMARIO – Oggetto del presente lavoro è il ripristino statico della Basilica Patriarcale di S. Maria degli Angeli in Assisi duramente colpita dal sisma del 26.09.1997. Dopo il rilievo e l'osservazione del quadro fessurativo, si è abbozzato a livello qualitativo, il comportamento dell'edificio sotto l'effetto del sisma. Successivamente si è tentato un approccio al problema di tipo analitico basato sulla modellazione tridimensionale dei vari componenti strutturali con il metodo agli elementi finiti in analisi statica e dinamica. Da ultimo, alla luce dei risultati conseguiti, si sono formulate le varie ipotesi di ripristino statico e di miglioramento del comportamento sismico del complesso monumentale.

SUMMARY – The purpose of this work is the static restoration of the Basilica Patriarcale di S. Maria degli Angeli in Assisi, badly damaged by the earthquake of 26.09.97. After inspecting cracks, a qualitative model was produced to estimate the behaviour of the building during the earthquake. Afterwards, an analytical method was used with three-dimensional models of the various structural components, with static and dynamic analysis of the finished elements. Finally, in the light of the above, various hypotheses were formulated for static restoration and for improving the monument's anti-earthquake properties.

Parole chiave: ripristino monumenti, analisi dinamica edifici monumentali, comportamento sismico edifici monumentali.

Key words: restoring monuments, dynamic analysis of monuments, behaviour of monuments during an earthquake.

1. Premessa

Il presente studio ha per oggetto l'individuazione degli interventi necessari al ripristino statico e funzionale della Basilica di S. Maria degli Angeli gravemente danneggiata dagli eventi sismici del 26.09.1997 e successivi, nonché la predisposizione di una serie di accorgimenti atti a conseguire un miglioramento del suo comportamento sotto l'azione dinamica del sisma.

Lo stesso studio, soprattutto per quanto concerne la determinazione dei parametri fisico-meccanici delle strutture murarie e le caratteristiche geotecniche delle strutture fondali, si basa sui risultati prodotti da una precedente indagine diagnostica promossa dalla Soprintendenza per i Beni Ambientali Architettonici Artistici e Storici di Perugia già nell'autunno del 1988.

2. Principali eventi statici nella storia del monumento

Sulla base dei dati tutt'oggi disponibili, si sono potute formulare le considerazioni che seguono.

Dal punto di vista statico strutturale, la storia dell'edificio risulta caratterizzata da due diverse fenomenologie:

- 1) cedimenti fondali sviluppatasi nel primo periodo di vita dell'organismo;
- 2) eventi sismici subiti a tutt'oggi.

Per quanto attiene al primo evento, occorre considerare che il terreno interessato dalle opere fondali risulta in genere di buona qualità, ma alquanto eterogeneo per la presenza, a strati sovrapposti ed irregolari, di:

- ghiaie e sabbie in matrice limo-argillosa addensata e molto consistente;
- stratificazioni lenticolari di limo ed argilla molto meno consistenti e cedevoli.

Occorre inoltre considerare che le strutture in elevazione dell'edificio, proprio per la loro notevole mole, generano sul sottostante terreno sollecitazione assai gravose e dell'ordine dei 5-8 kg/cmq.

È pertanto naturale ed inevitabile che nel primo periodo di vita dell'edificio, si siano generati cedimenti anche differenziati e notevoli, con sicure ripercussioni anche sullo stato tensionale dello stesso organismo strutturale.

Differenziazioni comportamentali inoltre, accentuate dal lungo intervallo di tempo trascorso tra l'inizio della costruzione e il suo completamento (oltre un secolo).

Risulta per altro scontato che detti cedimenti si siano ormai da lungo tempo esauriti e che la costruzione abbia avuto modo, durante le ulteriori vicissitudini statiche, di «metabolizzare» i conseguenti dissesti operando una conveniente redistribuzione delle sollecitazioni in essa presenti.

A riguardo invece degli eventi sismici subiti dall'edificio di cui al precedente punto 2, occorre evidenziare come a partire dalla sua realizzazione, lo stesso, abbia subito una lunga serie di sollecitazione di tipo dinamico dovute al verificarsi di terremoti anche di notevole intensità, che hanno comportato, come nel caso delle scosse del Marzo 1832 il collasso totale della navata centrale e della sinistra.

In altre circostanze comunque, anche se non si sono

verificati crolli di porzioni significative di edificio, si sono comunque avuti dissesti e danneggiamenti diffusi che hanno segnato in modo ancora a tratti visibile, le principali strutture portanti.

È da imputarsi a tale ultimo tipo di sollecitazioni infatti, buona parte del quadro fessurativo già presente prima dell'ultimo evento sismico, come ovviamente quello ora presente che in grandi linee ricalca, amplificandolo, quello precedente.

Ancora una volta infatti, si sono evidenziate lesioni dovute alla rotazione della facciata, al movimento relativo tra la navata destra e quella sinistra, oppure all'interferenza del corpo della cupola con quello limitrofo, ma indipendente, della restante basilica.

Meccanismi di collasso questi, messi anche chiaramente in evidenza dalle simulazioni dinamiche computerizzate più avanti illustrate, ma che anche a livello intuitivo possono essere facilmente rilevati e compresi una volta chiara la conformazione strutturale del complesso monumentale.

3. Il terremoto del 26.09.1997 e suoi effetti sulla struttura

Il quadro fessurativo della Basilica come ora si presenta, risulta essere composto da diversi gruppi di patologie, conseguenti ad anomalie comportamentali di natura dinamica.

Già da tempo infatti, a seguito delle osservazioni sistematiche e delle verifiche eseguite in occasioni di eventi sismici precedenti, erano state individuate particolarità strutturali ed effetti comportamentali di tipo dinamico ad esse correlate, capaci di produrre in zone ben individuate e circostanziate, danni consistenti sia ai rivestimenti e ai decori, che alle strutture portanti vere e proprie.

1) Comportamento della facciata per azioni fuori piano.

La quasi inesistenza di efficaci collegamenti tra le due facciate (l'originaria e quella aggiunta nel primo quarto di questo secolo) e le murature ad esse ortogonali, unita alla scarsa rigidità delle pareti stesse in senso sempre ortogonale ai piani che le contengono, fa sì che le azioni sismiche provenienti da questa direzione producano effetti deformanti notevoli e sicuramente più vistosi di quelli afferenti ai muri posti in direzione ortogonale.

2) Moti relativi tra le due navate laterali e tra le stesse e quella centrale.

Gli spostamenti relativi in senso trasversale, che si generano in caso di sisma tra le opposte porzioni di basilica, sono in assoluto i più deleteri per la stabilità dell'intero edificio ed hanno costituito la causa primaria che provocò il collasso ed il definitivo crollo della navata centrale e della laterale sinistra, durante il terremoto del 1832.

Il corpo centrale della basilica, che si estende in lunghezza dalla cupola fino alla facciata e che in larghezza comprende quanto contenuto tra le due file di cappelle

lateralmente contrapposte, ha una dislocazione spaziale delle strutture sismo-resistenti alquanto omogenea in senso trasversale, ma non anche in senso longitudinale.

Secondo detta ultima direzione infatti, la porzione di edificio costituita dalla navata centrale, è più deformabile (e pesante) rispetto a quelle laterali e ciò in condizioni dinamiche, genera moti relativi anche significativi.

Risulta alquanto intuitivo, come per lo spostamento degli stessi corpi laterali rigidi, anche in modo quasi slegato, la volta che li unisce e le volte delle navate laterali, ne risentano considerevolmente.

Risulta parimenti intuitivo come, in senso longitudinale, sulle pilastrate che delimitano l'aula centrale, si generano gravosissimi sforzi di pressoflessione e di taglio, o come sulle volte laterali, si generino azioni taglianti capaci di lesionarle anche in modo grave.

L'analisi del quadro fessurativo di detta porzione di edificio, mostra infatti chiaramente come anche in questo ultimo evento sismico, si sono verificati cedimenti che denotano con chiarezza quanto sopra descritto:

- l'intradosso di tutte le nervature della volta grande della navata centrale, risulta segnata da lesioni longitudinali in chiave che evidenziano come le due sezioni di imposta della stessa abbiano subito un vistoso spostamento relativo;

- tutte le volte che coprono le due navate laterali, ma più marcatamente quelle in sinistra entrando, presentano lesioni diagonali anche gravi, per lo spostamento differenziato delle loro zone di imposta, maggiore sul lato confinante con l'aula centrale, minore su quello adiacente alle cappelle.

3) Interferenze tra l'organismo della cupola e quelli limitrofi.

L'organismo strutturale costituente la cupola che sovrasta la Porziuncola, compreso il tamburo, gli arconi ed i quattro pilastri che la sostengono, costituiscono un organismo murario quasi strutturalmente indipendente dalla restante fabbrica.

In senso longitudinale si dipartono da essa, con autonomo sostentamento verticale, le volte della navata centrale e del coro; in senso trasversale si sviluppano invece le volte del transetto, sostenute anch'esse da una propria struttura di elevazione.

In caso di sollecitazione dinamica, la struttura costituente la cupola più alta e più pesante di quelle ad essa limitrofe, tenderebbe ad assumere, se libera, un periodo fondamentale di vibrazione più lungo ed oscillazioni più ampie rispetto a quanto in realtà succede, per l'interferenza che si genera con le altre strutture, più basse e meno deformabili.

L'azione di frenamento del corpo cupola da parte degli organismi murari limitrofi, produce lesioni anche vistose su quest'ultimi, specialmente sui più rigidi, ma produce sovente anche sofferenze sul tamburo della stessa cupola.

L'interferenza di cui sopra, ha comunque anche risvolti positivi per l'energia che così si dissipa, nonché per il contenimento dell'ampiezza delle oscillazioni della cupola medesima.

4. Caratterizzazione sismica dell'edificio

Dalla disamina critica del quadro fessurativo di cui sopra, correlata con l'analisi delle forme e dei parametri modali degli organismi strutturali nella loro configurazione originaria, che sostanzialmente ne convalida l'individuazione e l'interpretazione del relativo comportamento dinamico, si sono individuati gli schemi statici sismo-resistenti dell'edificio (di seguito riportati nelle simulazioni computerizzate) ed il comportamento degli stessi in caso di sollecitazione di tipo dinamico.

Ai raggruppamenti delle lesioni sopra citate, corrispondono infatti altrettanti diversi e sostanzialmente autonomi sistemi sismo-resistenti affiancati a loro volta, da ulteriori organizzazioni murarie di minore significato o minore vulnerabilità.

Nella loro dislocazione planimetrica detti sistemi si possono individuare nelle seguenti porzioni di edificio:

- 1) sistema delle due facciate; (vecchia e nuova)
- 2) corpo centrale della basilica;
- 3) organismo della cupola.

In ordine decrescente di importanza quindi, si espongono brevemente i principali effetti significativi che condizionano la stabilità dell'insieme in caso di sisma.

A) La principale causa di degrado sismico, che può portare anche al collasso di porzioni considerevoli di edificio come già avvenuto durante il terremoto del 1832, è senza dubbio da ricercarsi nell'anomala distribuzione delle masse in relazione alle rigidità delle strutture che costituiscono il corpo centrale della basilica.

I moti relativi che si generano, la cedevolezza delle pilastrate in rapporto alle pareti laterali, la scarsa capacità degli stessi pilastri di assorbire deformazioni e quindi energia senza collassare, la deformabilità della volta centrale in relazione alla enorme rigidità dei due blocchi laterali, la presenza di spinte considerevoli della stessa volta e della superiore copertura sulle murature che le sostengono, costituiscono il maggior contributo alla vulnerabilità dell'intera struttura muraria.

È una debolezza intrinseca e congenita alla stessa concezione strutturale dell'insieme, in parte colmabile con gli interventi che si propongono ed in parte ineliminabile come si dirà più avanti, ritenendo improponibili ed ingiustificabili interventi che stravolgersero non solo l'attuale schema strutturale, ma anche l'estetica del monumento, deturpandolo irrimediabilmente.

B) Ad essa fa subito seguito l'interferenza tra il corpo della cupola e le strutture limitrofe.

L'importanza di detto aspetto risiede essenzialmente nella enorme mole e nella enorme massa della cupola e delle sue strutture di sostegno; massa che una volta eccitata dal sisma, è capace di muoversi danneggiando considerevoli porzioni di edificio circostante prima di arrestarsi di nuovo.

Nel compiere detta azione distruttrice comunque, la stessa cupola subisce anch'essa dei danneggiamenti che, in relazione alle sue peculiarità compositive, nonché alla sua particolare posizione rispetto al sottostante edificio della Porziuncola, costituiscono l'aspetto più significativo dell'intero meccanismo degenerativo.

La maggiore attenzione pertanto, va posta non tanto ad evitare il degrado delle strutture limitrofe, quanto a studiare la possibilità di rinforzare la cupola medesima rendendola maggiormente capace di assorbire sollecitazioni di tipo dinamico senza subire danneggiamenti rilevanti o peggio ancora collassamenti estesi che danneggerebbero inesorabilmente anche la sottostante Porziuncola.

C) Il terzo meccanismo di danneggiamento di tipo sismico è da individuarsi senza dubbio nel moto fuori piano della facciata, caratteristico al suo primo modo principale di oscillare.

Il fenomeno, anche se di per se non relevantissimo a parte la sua spettacolarità, riveste comunque una certa importanza per la salvaguardia dell'intero sistema «facciata» e per le interazioni con il vicino corpo centrale della basilica.

Occorre inoltre evidenziare come l'applicazione della seconda facciata in epoca recente, non solo non ha risolto i vecchi problemi statici della precedente, ma in condizioni dinamiche, li ha addirittura amplificati in quanto anche questa seconda non ha di per se una rigidità sufficiente a contenere le deformazioni della prima, ma anzi, a quest'ultima si aggrappa quando intervengono forze orizzontali ortogonali al suo piano.

La maggiore altezza inoltre del nuovo pronao, amplifica ulteriormente detta deficienza di rigidità, fino al punto da danneggiare anche la sua stessa copertura come è avvenuto in occasione di questo ultimo sisma.

Lo studio della porzione di edificio in oggetto inoltre, come si dirà più avanti, ha consentito di prevedere accorgimenti atti da un lato a contenere la deformabilità del sistema stesso e dall'altro a limitare quella del vicino corpo centrale.

5. Analisi numeriche dei principali sistemi strutturali

5.1. Generalità

Oltre alle considerazioni di tipo qualitativo/intuitivo di cui sopra, che devono sempre condizionare e convalidare ogni altra forma di indagine numerica più approfondita, sono state svolte anche modellazioni matematiche e simulazioni computerizzate del comportamento statico e dinamico dei principali sistemi strutturali.

I modelli analizzati riguardano i seguenti sistemi:

- I) complesso del corpo centrale della basilica;
- II) complesso della cupola;
- III) complesso combinato facciate-corpo cent.

È stato in fine analizzato il complesso sistema costituito dalle membrature principali di copertura della navata centrale.

5.2. Il corpo centrale della Basilica

Le varie modellazioni eseguite, tentano per quanto possibile, di simulare lo stato attuale e l'effetto dei diversi possibili interventi migliorativi ipotizzati.

In particolare è stato studiato:

- 1) lo stato attuale senza intervento alcuno;
- 2) l'irrigidimento delle falde e il ritegno di testata
- 3) l'irrigidimento delle falde, il ritegno e le catene trasversali di grande sezione.

I risultati di detto studio evidenziano come, anche ad un debole contrasto al moto longitudinale della porzione centrale conseguente al sisma in X, unito all'irrigidimento delle coperture, consente di ottenere risultati significativi soprattutto in termini di spostamento i cui valori infatti, risultano dimezzati.

Si vede in fine, come l'applicazione di catene anche di grande diametro, ($\phi = 112,8$ mm; $A = 100$ cmq) non comporti ulteriori sensibili miglioramenti in caso di sisma, ma solo uno sgravio di tensione in condizioni statiche per la riduzione delle spinte delle volte e della copertura della navata centrale.

Miglioramento per altro non essenziale in quanto lo stato tensionale in condizioni statiche normali, non impegna le strutture in maniera esasperata od impropria, come la realtà a tutt'oggi dimostra.

5.3. Il sistema della cupola

Le varie modellazioni eseguite, cercano di interpretare e comprendere, più che lo stato tensionale vero e proprio delle varie masse murarie, il modo di comportarsi dell'intero organismo sotto l'effetto del sisma.

Interpretazione per altro estremamente ostacolata dall'impossibilità di simulare con sicurezza e precisione il tipo di interferenza che si crea tra la struttura della cupola e quelle degli organismi vicini.

A questa difficoltà si è cercato di sopperire individuando due situazioni estreme entro le quali quella vera sicuramente si trova.

Si è quindi ipotizzata una prima ipotesi in cui la struttura è libera di muoversi senza ostacoli esterni ed una seconda che invece prevede un vincolo quasi rigido in corrispondenza dei punti di contatto con le strutture vicine; entrambe le soluzioni quindi rappresentano le condizioni estreme entro le quali sicuramente si troverà la cupola nella realtà.

Si è poi ipotizzata una terza soluzione che prevede ritegni variamente deformabili al posto di quelli uniformemente rigidi di cui sopra, che pur non pretendendo di simulare correttamente il reale comportamento del sistema strutturale in esame, tenta di interpretare la diversa rigidità delle strutture adiacenti alla cupola: più rigide quelle del coro, meno le altre.

In particolare quindi si ha:

- 1) il sistema strutturale della cupola libero;
- 2) il sistema strutturale della cupola bloccato;
- 3) il sistema strutturale della cupola semibloccato.

Gli elaborati che si riportano qui di seguito, mostrano come il comportamento dinamico dell'intera struttura risulti fortemente influenzato dal ritegno operato dalle altre strutture con cui si trova a contatto all'altezza del tamburo.

Il periodo del suo primo modo di vibrare infatti, quasi si dimezza, mentre la deformazione massima, soprattutto della porzione inferiore, diminuisce significativamente.

Meno evidente resta invece l'azione confinante delle nuove cerchiature; si deve infatti considerare l'enorme rigidità radiale delle poderose murature che compongono il corpo cilindrico della cupola, per comprendere come anche cerchiature di dimensioni ragguardevoli, non possano modificare vistosamente lo stato tensionale dell'organismo stesso.

È infatti da ricercarsi nella esigenza di creare un sicuro presidio, magari una ridondanza di sicurezza, le motivazioni che hanno indotto ad individuare detta tipologia di rinforzo; scelta peraltro dettata anche dal fatto che in corrispondenza della scala interna che permette l'accesso alla lanterna, si genera un sostanziale indebolimento della sezione ora segnata da una lesione tutt'altro che trascurabile.

Per ovvi motivi di semplicità di modellazione, detto indebolimento non è stato preso in considerazione nella simulazione matematica del sistema strutturale.

Ulteriori moti propri interessanti che devono essere tenuti in debita considerazione quando si tratterà di determinare la posizione delle perforazioni armate dei pilastri, sono i moti torsionali della porzione cilindrica che in corrispondenza dei finestrini assumono particolare significato.

5.4. Il complesso combinato facciate-corpo centrale

Le varie modellazioni eseguite, cercano di simulare lo stato attuale e l'effetto dei diversi possibili interventi migliorativi ipotizzati.

In particolare è stato studiato:

- 1) lo stato attuale senza intervento alcuno;
- 2) l'irrigidimento dei setti di facciata ed il collegamento degli stessi con i muri ortogonali delimitanti l'aula centrale.

Si vede in fine, come in generale non si sono modificate significativamente i parametri che caratterizzano il comportamento dinamico delle varie strutture evitando l'indesiderato abbassamento dei periodi propri.

6. Sintesi della ricerca e relative conclusioni

La disamina degli aspetti strutturali fin qui svolta, obbliga ad una sintesi sia per quanto concerne l'aspetto conoscitivo dei vari meccanismi sismo-resistenti e sia per quanto attiene alle metodologie ed ai criteri di intervento volti al ripristino statico ed al rinforzo delle membrature danneggiate.

In armonia quindi con le linee guida a suo tempo già tracciate da specialisti del Politecnico di Milano, si delineano le conclusioni qui di seguito riportate.

1) Il complesso strutturale della basilica è costituito da almeno quattro sistemi strutturali che in condizioni statiche, ma ancor più in quelle dinamiche, si comportano in maniera tendenzialmente autonoma.

I quattro sistemi sono individuabili nella:

- struttura del corpo centrale della basilica; (cappelle e navate laterali, navata centrale)
- struttura della cupola e dei suoi arconi e pilastri;

- struttura delle due facciate;
- struttura del coro e degli ambienti laterali.
(cappella del Santissimo e Sacrestia)

2) La semilibertà di movimento dei vari sistemi strutturali è un elemento in linea generale positivo che va solo corretto per limitarne le interferenze negative ed incrementarne le mutue azioni benefiche e stabilizzanti soprattutto in condizioni dinamiche.

3) Gli interventi di ripristino e di rinforzo delle strutture danneggiate pertanto, dovranno orientarsi concordemente secondo l'ottica di cui sopra.

4) Per quanto riguarda il corpo centrale della basilica, occorrerà mettere in atto accorgimenti atti a dotare le coperture voltate di una elevata deformabilità per consentirgli di assecondare il moto dei corpi rigidi laterali.

Dovrà inoltre contenersi per quanto possibile la maggiore deformazione dell'area centrale rispetto alle laterali che sottopone i pilastri a sforzi notevoli, rinforzando il complesso delle due facciate.

5) Il sistema della cupola e delle sue strutture di sostegno, sarà opportunamente rinforzato onde contenere il danneggiamento dello stesso nell'interazione con i corpi limitrofi.

Interazione peraltro positiva, in quanto consente di contenere le deformazioni trasversali della cupola e di dissipare energia.

6) Il sistema delle due facciate sarà opportunamente rinforzato onde contenere la sua deformabilità fuori piano e quella dell'adiacente corpo centrale della basilica.

7. Interventi di consolidamento e rinforzo strutturale

7.1. Il corpo centrale della basilica

7.1.1. Irrigidimento dei piani di copertura

Allo scopo di contenere la maggiore deformabilità longitudinale della porzione centrale in relazione alle aree laterali, nonché lo scompaginamento dell'orditura portante, si prevede un blando irrigidimento delle falde di copertura sia delle navate laterali e delle cappelle e sia della navata centrale.

Detto intervento, che non comporterà alcun apprezzabile aumento di peso, sarà realizzato mediante l'applicazione di retinature con reti metalliche a maglia stretta e filo zincato di piccolo diametro, solidarizzate alle strutture esistenti mediante incollaggio e spinottatura.

7.1.2. Rinforzo delle volte

Le volte delle navate laterali saranno opportunamen-

te rinforzate con una tecnica analoga a quella messa a punto per le falde di copertura.

L'intervento così concepito, che coinvolgerà le volte fino alle reni ed i muri su cui esse poggiano, sarà in grado di rinforzare, in senso membranale, le stesse volte senza apportare sostanziosi irrigidimenti flessionali, né aumenti sensibili di peso.

La retinatura di cui sopra costituirà inoltre un valido intervento di ricucitura e ripristino per le zone lesionate delle stesse volte evitando irrigidimenti e/o snaturamenti della loro funzione statica.

L'intervento alle volte della basilica si completerà con il loro svuotamento ed il calo a terra di tutti i materiali sciolti e non strutturali che ora generano appesantimenti inutili ed effetti inerziali dannosi in caso di sisma.

7.2. L'organismo murario della cupola

7.2.1. Cerchiature esterne

Il sistema della cupola e delle sue strutture di sostegno, sarà opportunamente rinforzato con cerchiature di adeguata sezione da applicare esternamente, sia all'imposta della porzione sferica, che alla base del tamburo. Esse saranno realizzate in barre di acciaio armonico debitamente poste in tensione mediante tenditori ed opportunamente protette contro la corrosione.

Lo stesso sistema di tensionamento prevederà la possibilità di controllo della tensione nel tempo, nonché la possibilità di provvedere ad una nuova ritesatura.

7.2.2. Perforazioni armate delle zone lesionate

La sommità dei finestrone, la maggior parte dei pilastri che dividono gli stessi, come anche zone estese degli arconi di sostegno posti sotto la base del tamburo, riportano ora lesioni di un certo rilievo che andranno cucite mediante l'esecuzione incrociata di perforazioni eseguite con barre in acciaio inox ancorate con malte solfatoresistenti.

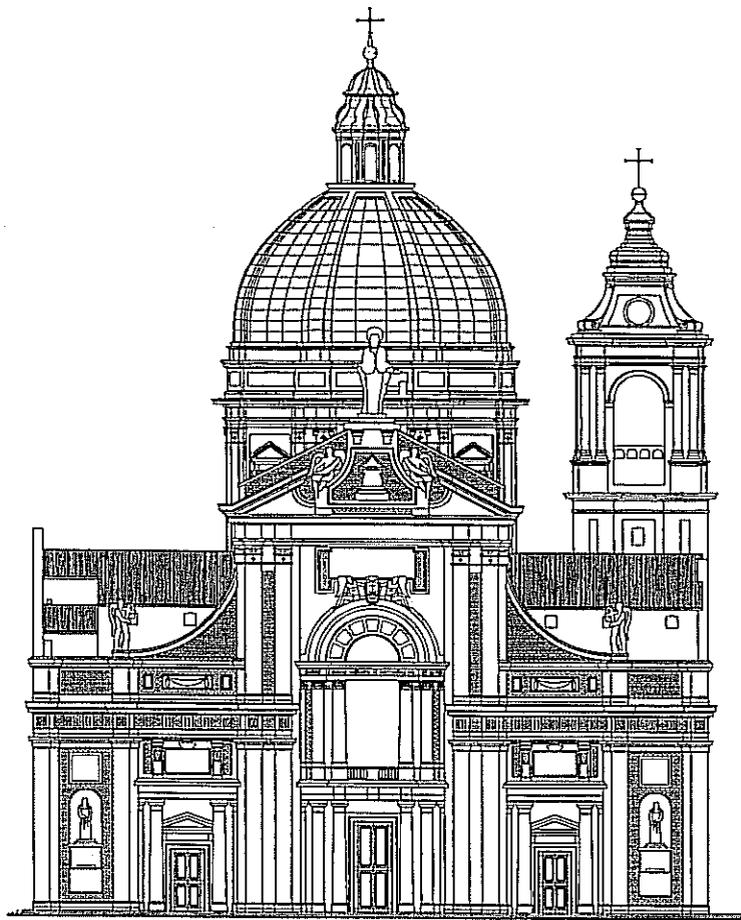
7.3. Rinforzi al sistema delle due facciate

Il complesso delle facciate sarà opportunamente rinforzato mediante l'esecuzione di nuove strutture scato-lari in c.a. eseguite all'interno dei due pilastri centrali esterni ora cavi.

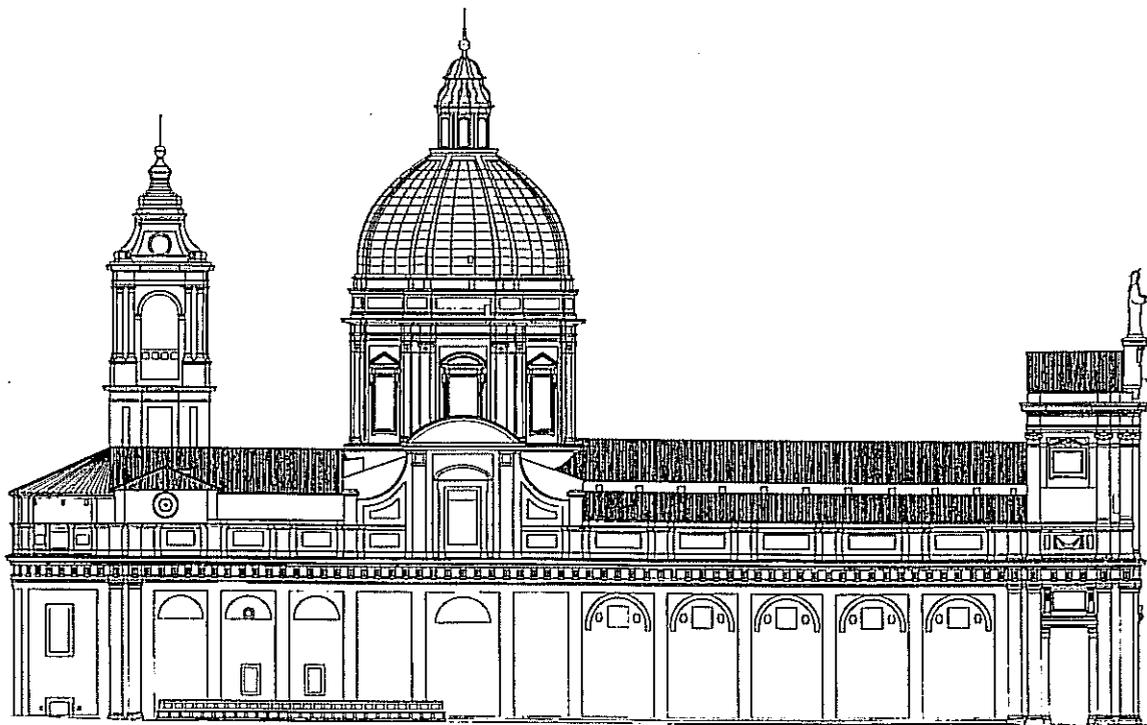
Dette nuove strutture saranno opportunamente fondate su micropali onde non gravare sulle fondazioni preesistenti e saranno rese solidali con le murature a cui aderiscono, mediante l'esecuzione di perforazioni armate.

Le stesse inoltre, saranno collegate alla vecchia facciata ed ai muri longitudinali dell'aula centrale, mediante robusti incatenamenti multipli.

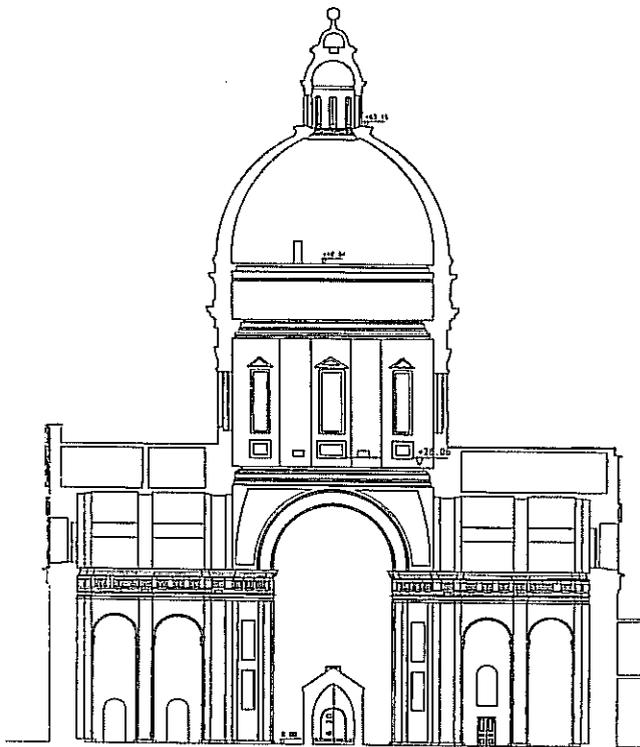
Saranno inoltre ripristinate ed irrigidite le falde di copertura, con tecniche analoghe a quelle illustrate in precedenza.



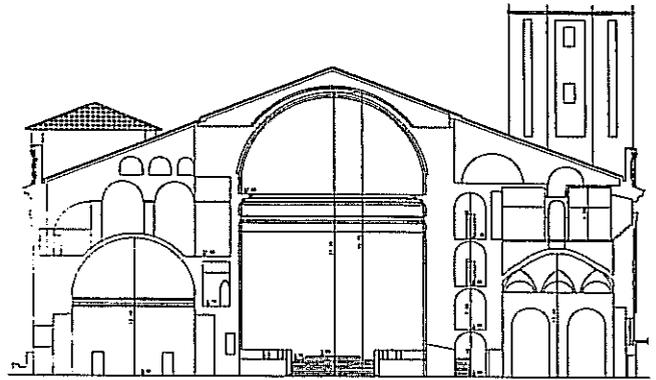
Basilica di Santa Maria degli Angeli Assisi. Prospetto



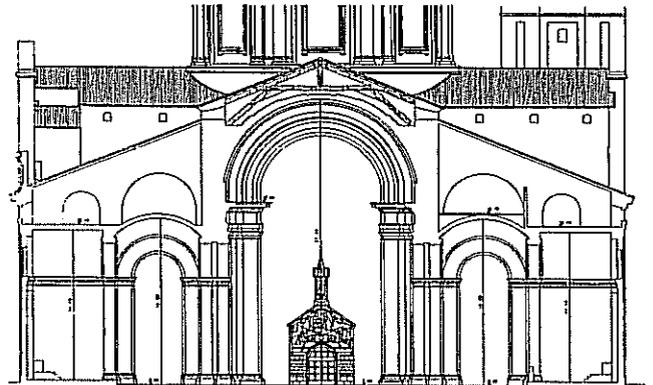
Basilica di Santa Maria degli Angeli Assisi. Fianco sinistro



Basilica di Santa Maria degli Angeli Assisi. Sezione E-E

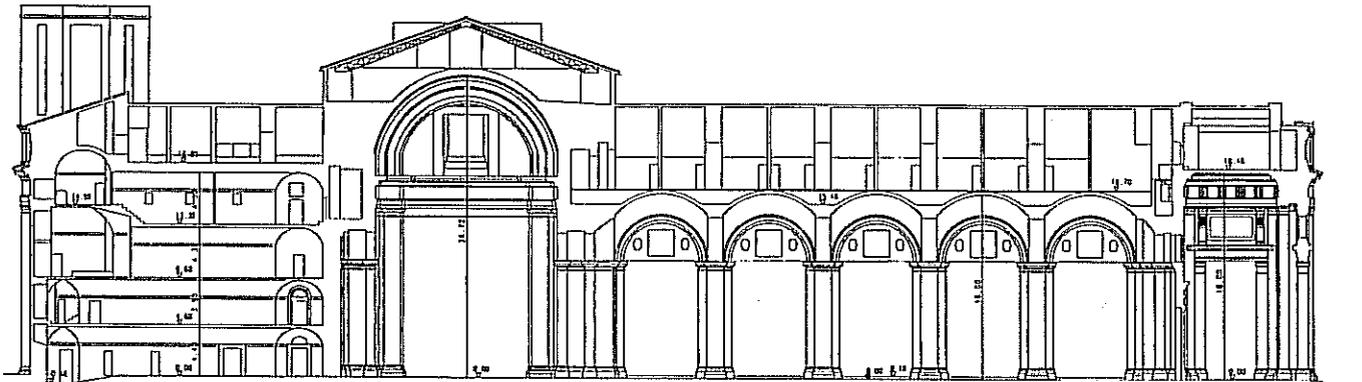


SEZIONE C-C

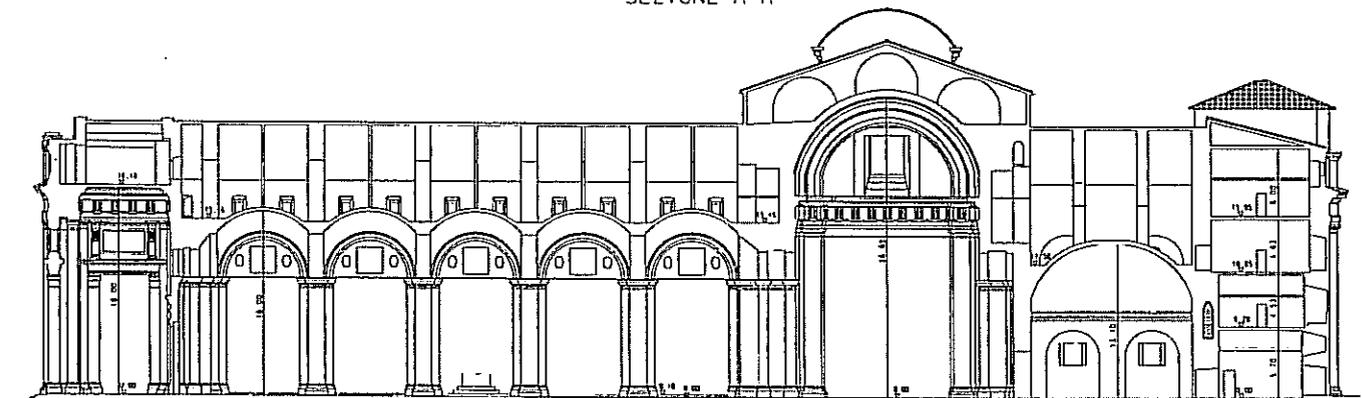


SEZIONE D-D

Basilica di Santa Maria degli Angeli Assisi. Sezioni

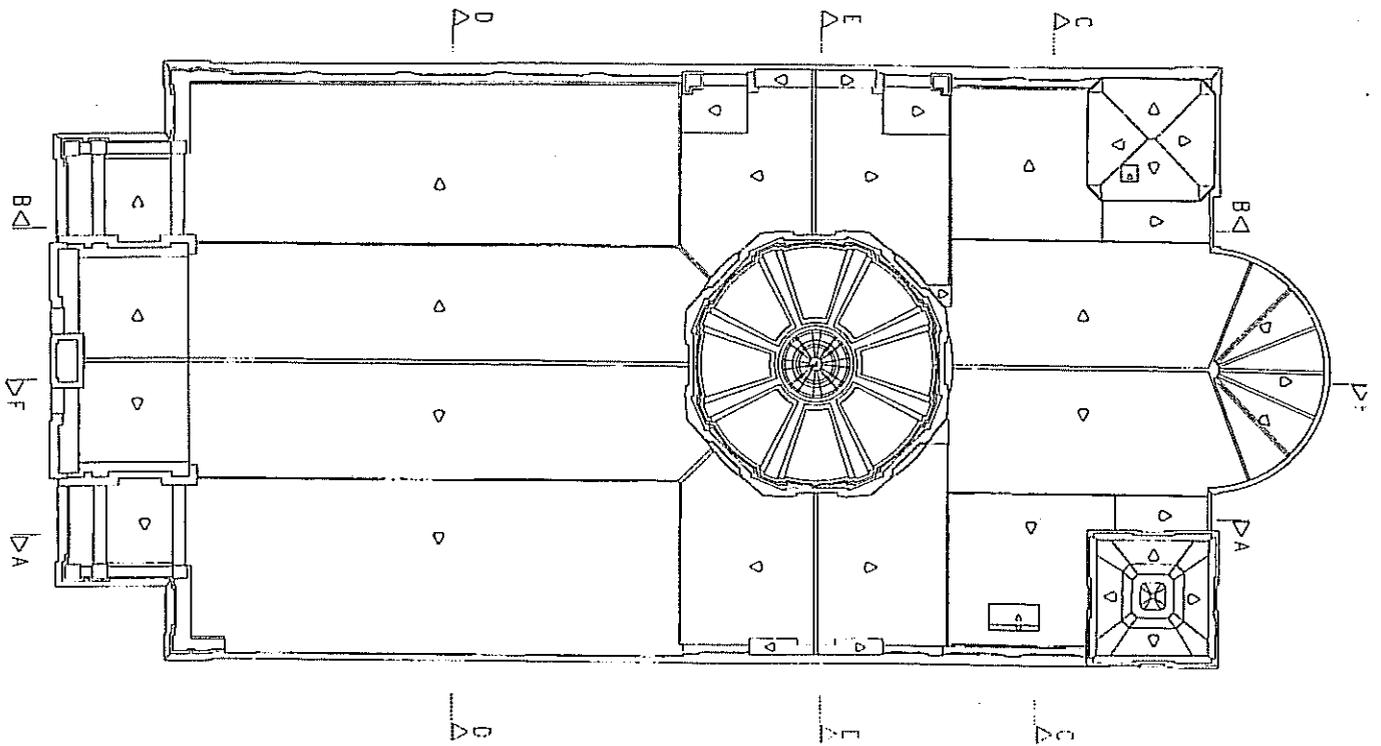


SEZIONE A-A

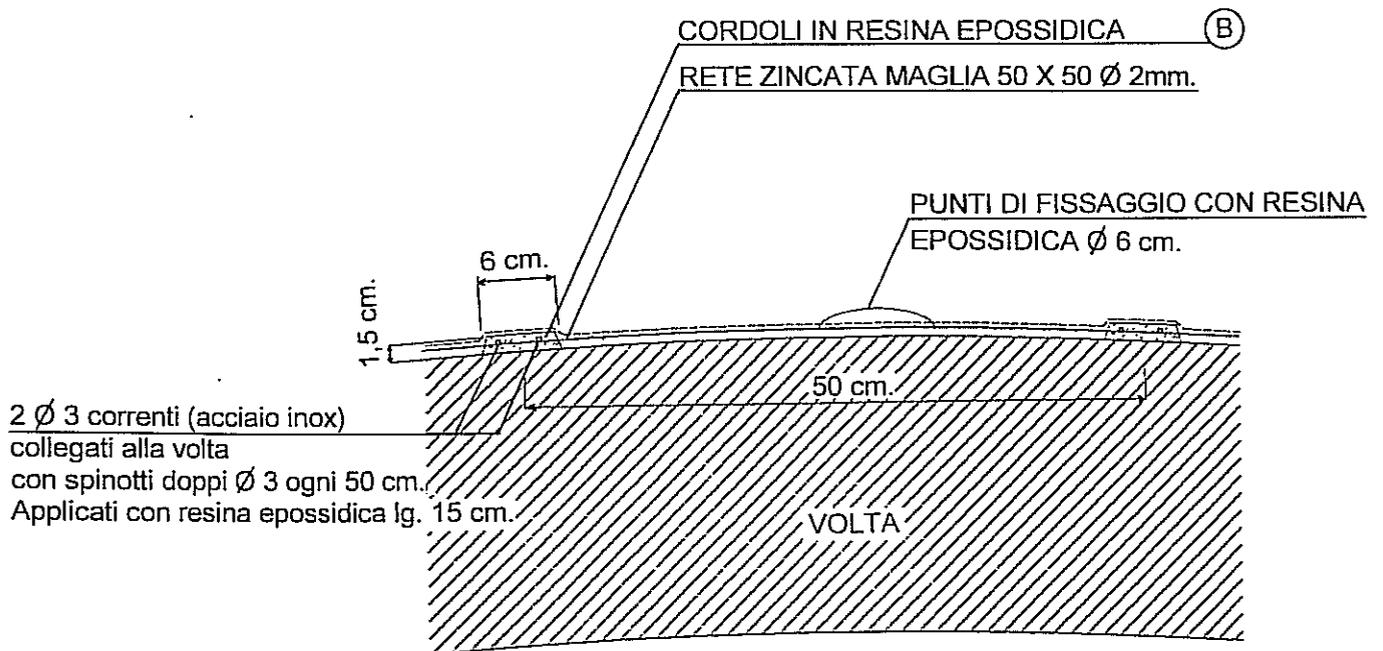


SEZIONE B-B

Basilica di Santa Maria degli Angeli Assisi. Sezioni

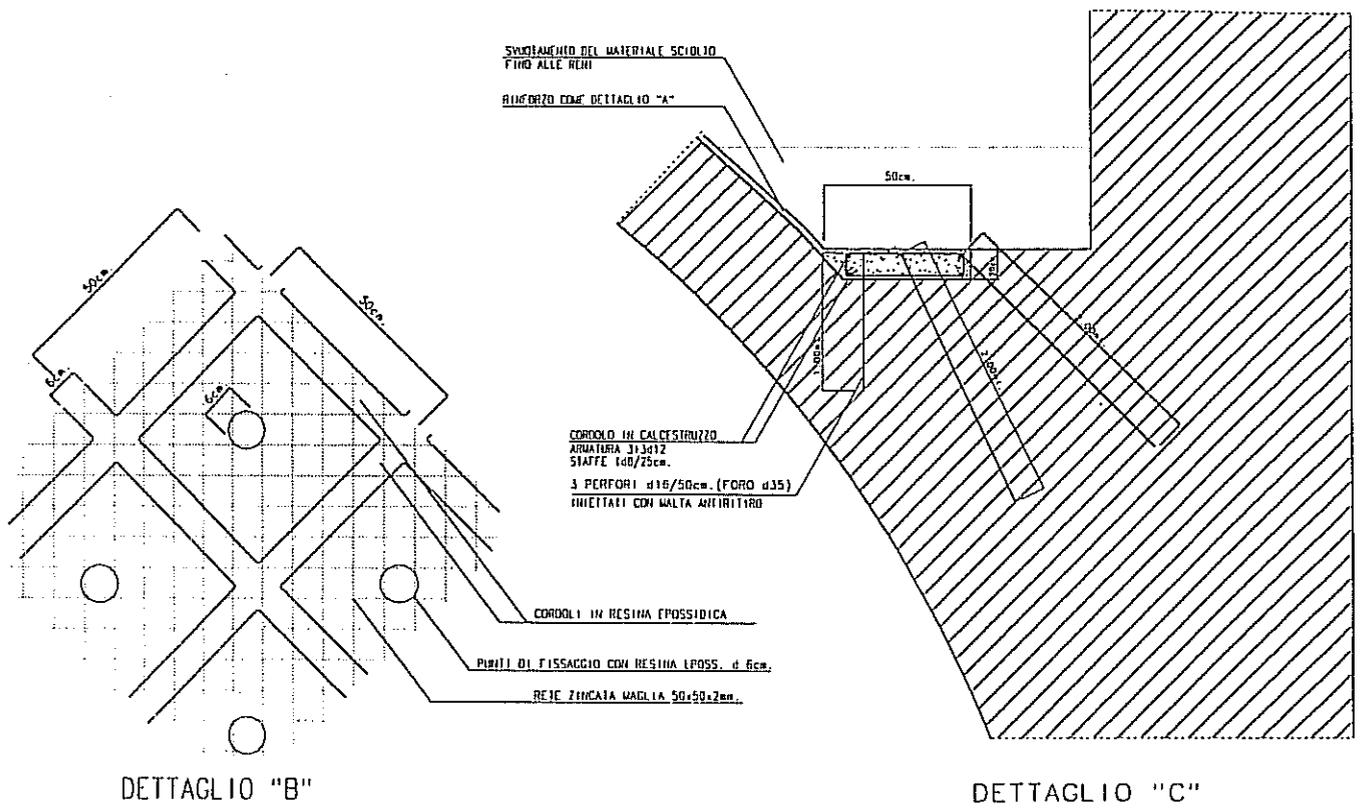


Basilica di Santa Maria degli Angeli Assisi. Pianta copertura

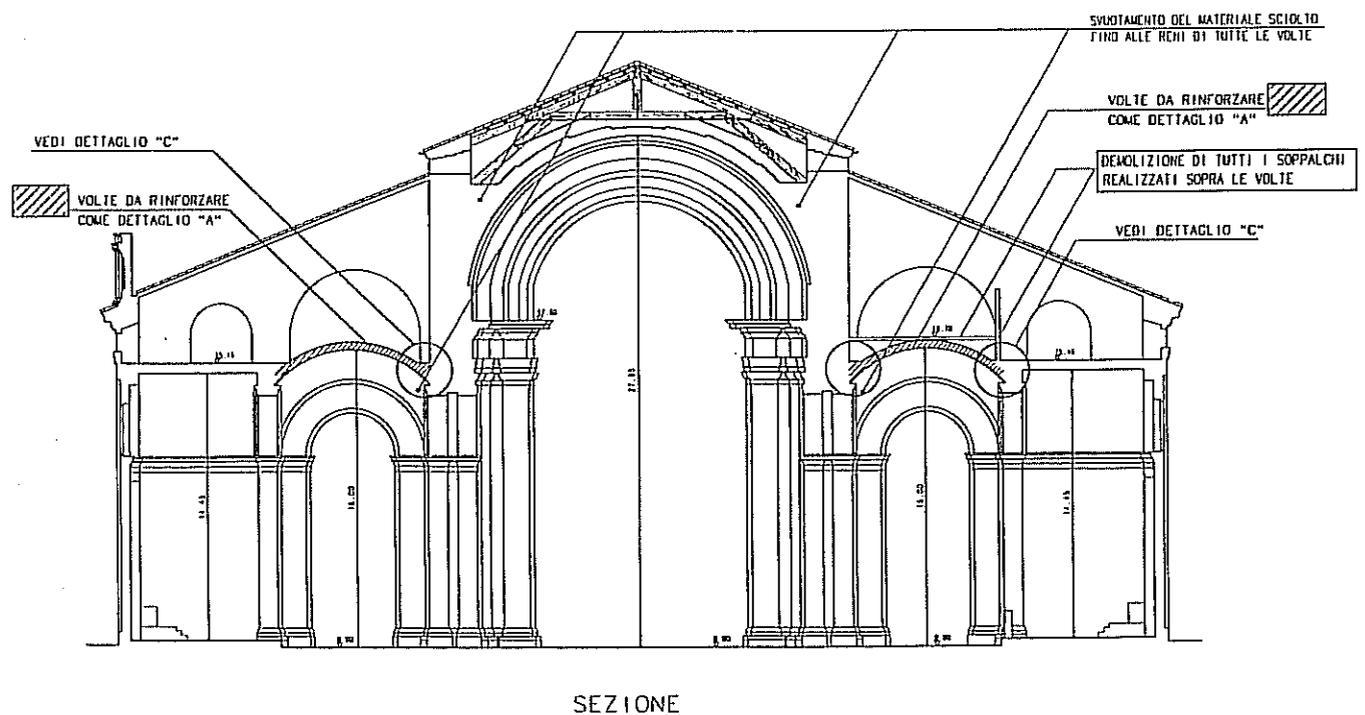


DETAGLIO "A" (RINFORZO DELLE VOLTE)

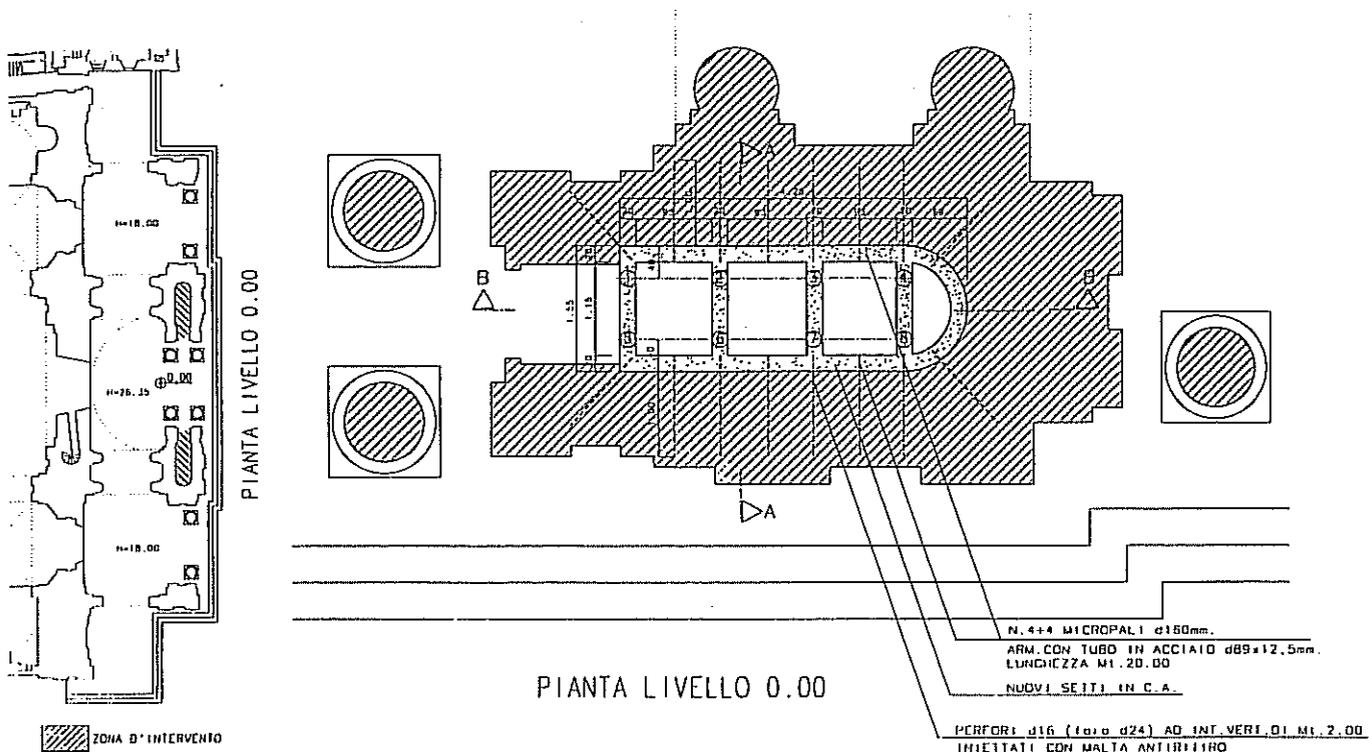
Interventi alle volte



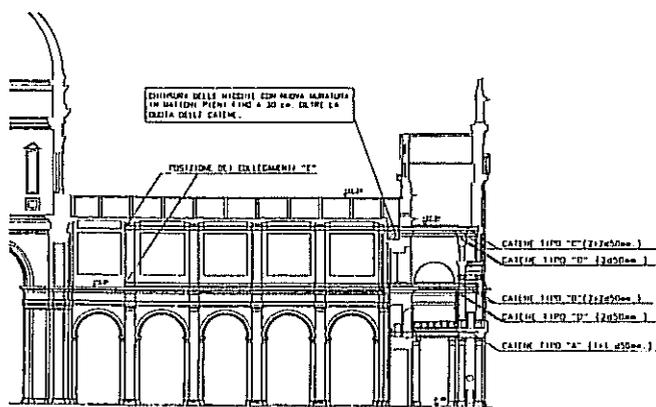
Interventi alle volte



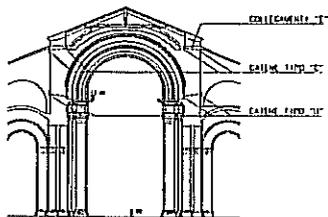
Interventi alle volte



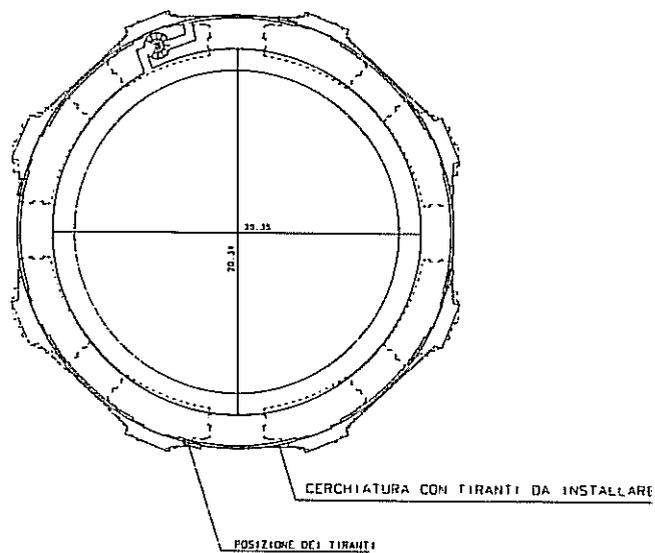
Rinforzo setti nuova facciata



SEZIONE A-A



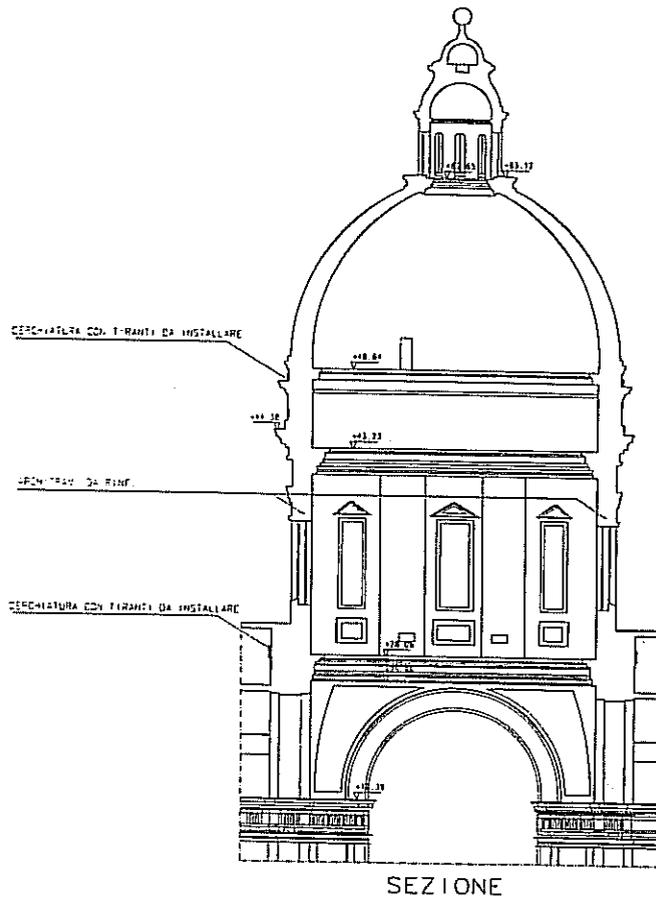
SEZIONE B-B



PIANTA

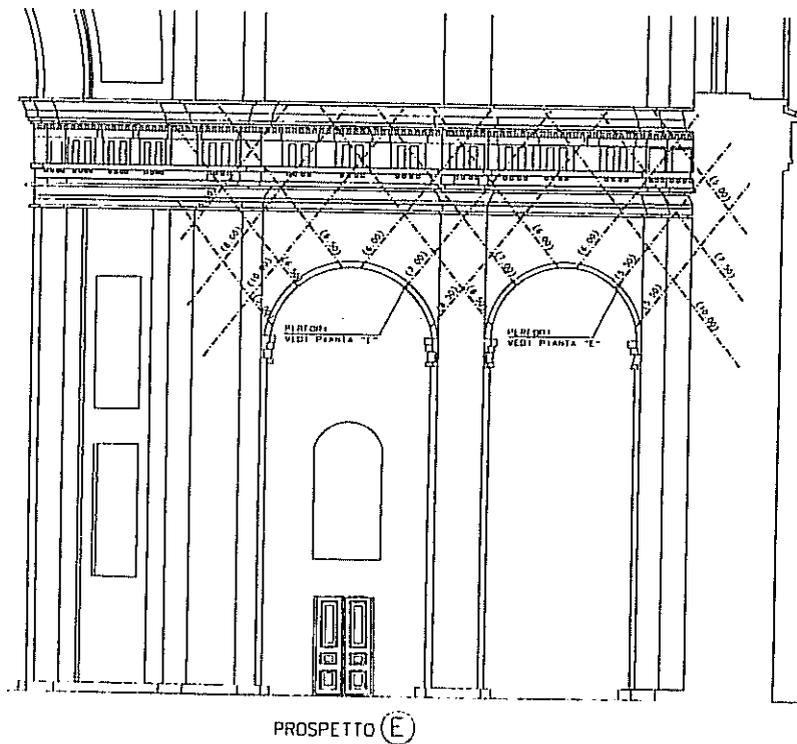
Interventi alla cupola

Disposizione delle catene



SEZIONE

Interventi alla cupola



PROSPETTO (E)

Cucitura elevazioni transetto