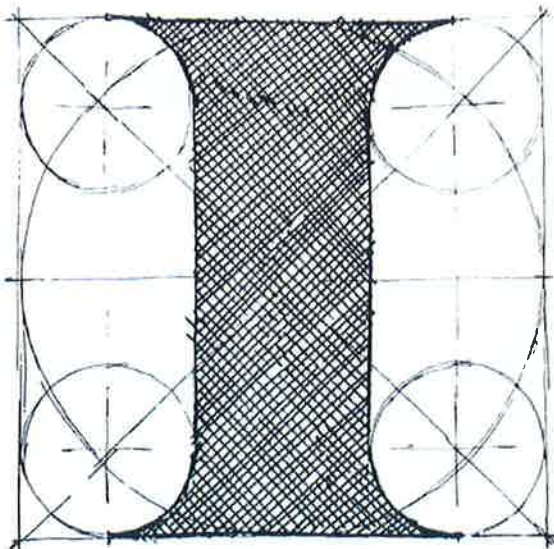


# INGEGNERI

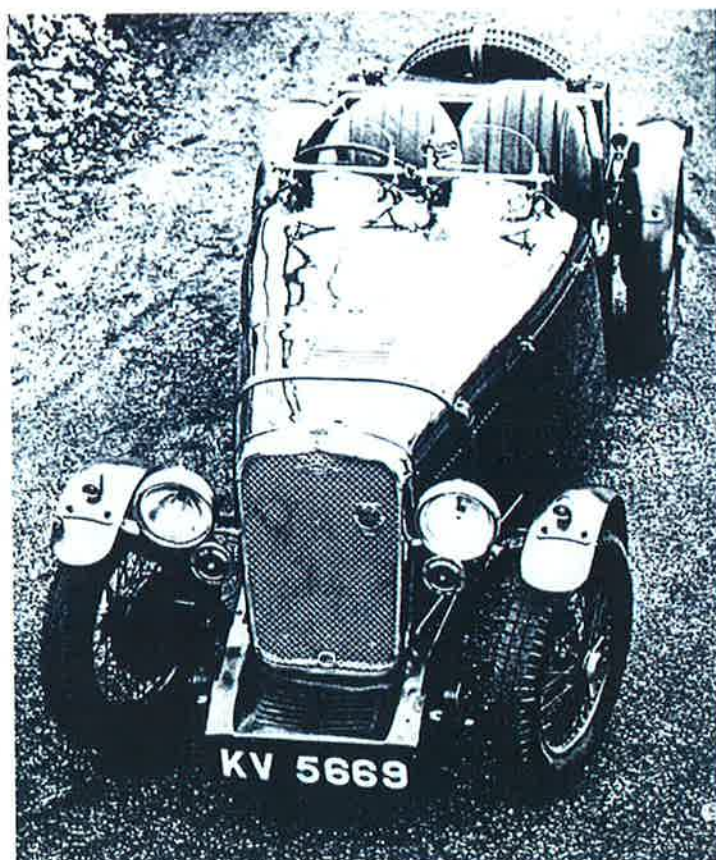


Il restauro strutturale di Villa Favorita

Parade a doppio uso

Prevenzione incendi: ingegneri abilitati (3<sup>a</sup> parte)

Edilizia agevolata convenzionata L.R. 30.8.94 n. 38



4/5

# Il restauro strutturale di Villa Favorita

di Rodolfo Antonucci, Stefano Leoni, Giuseppe Lucarini

## Profilo degli autori:

**Rodolfo Antonucci**, professore associato di Consolidamento delle Costruzioni presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ancona, svolge attività di libera professione nel campo dell'ingegneria edile e civile.

**Stefano Leoni** è nato a Macerata il 24 settembre 1932, ha conseguito il diploma di laurea in Ingegneria Civile ed Edile nel 1978 presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Ancona. Svolge attività professionale in Ancona nel campo dell'edilizia civile.

**Giuseppe Lucarini**, laureato a Bologna in Ingegneria Elettronica nell'Anno Accademico 72/73, è titolare dal 1976 di uno studio di ingegneria nonché contrattista di Fisica presso la Facoltà di Medicina dell'Università di Ancona.

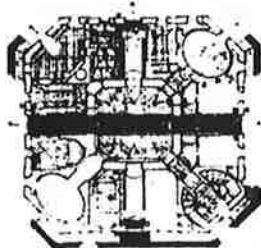


Fig. 3

## Riassunto

Villa Favorita, costruita alla fine del XVIII secolo, rappresenta un significativo esempio di fabbricato residenziale. Dichiarato monumento nazionale perché nelle sue stanze fu firmata la resa delle truppe pontificie dopo la Battaglia di Castelfidardo, è stato a lungo abbandonato ed ha subito un forte degrado.

Attualmente è stato restaurato per accogliere l'ISTAO (Istituto Adriano Olivetti di Studi per la Gestione dell'Economia e delle Aziende).

Nel presente lavoro viene esposto il progetto di restauro strutturale; particolare enfasi è stata data all'uso delle indagini strumentali per una corretta conoscenza del manufatto.

## Organizzazione strutturale

L'organizzazione strutturale dell'edificio può essere suddivisa, per comodità di descrizione, in due parti: una costituita da due "anelli" concentrici a forma ottagonale, l'altra da una serie di strutture murarie che li collega. La muratura dell'anello esterno è composta da una fodera di mattoni (paramento) collegata ad una fodera interna costituita da una muratura in blocchi di arenaria squadrata e listata con mattoni ogni due ricorsi. L'anello interno delimita lo spazio centrale e costituisce la struttura portante della volta al piano terra, del tetto e di una parte dei solai; queste murature sono in blocchi di arenaria squadrati intercalati ogni due ricorsi da due file di mattoni.

I due anelli sono collegati tra loro nei lati lunghi, da coppie di muri ad una testa in mattoni pieni che individuano i percorsi di accesso al piano terra e di distribuzione al piano superiore (fig. 3).

Questi muri sono interrotti al piano da travi di legno (cordoli) (fig. 8), che oltre a funzionare come diffusori dei carichi trasmessi dai solai, assolvono anche la funzione di catena, migliorando il collegamento con i muri perpendicolari e contribuendo anche a contenere le spinte delle volte (la testa dei cordoli è risultata essere collegata ad un dormiente, sempre in legno, inserito nella muratura di facciata).

Elementi strutturali in legno con il compito di migliorare il collegamento dei muri trasversali con quelli perimetrali sono frequentemente usati nell'edificio. Infatti gli architravi delle aperture nei muri trasversali in prossimità di quelli di perimetro sono fortemente ammorsate negli stessi (fig. 9).

I lati corti dell'anello esterno fanno parte di una organizzazione muraria esagonale che delimita gli ambienti che assolvono una funzione particolare nella distribuzione architettonica (scale, cappella, cucina, ecc.) e che è collegata, solo al piano terra, all'anello interno me-

dante muri ad una o più teste di blocchi di arenaria o strutture ad arco.

Per quanto riguarda gli orizzontamenti, sono costituiti al primo piano da un sistema di volte mentre la copertura di quelli contenuti negli esagoni, è costituita rispettivamente da una cupola a pianta ellittica, da una a pianta circolare e da ultimo, per l'ambiente adibito a cucina, da una serie di unghie partenti dai vari lati e convergenti al centro. Questa copertura è crollata e la descrizione è conseguente ad una ricostruzione fatta partendo da quanto è rimasto.

Anche l'ambiente centrale del piano terra è coperto da una volta a padiglione ed è caratterizzato da una serie di unghie in corrispondenza delle aperture e dei lati corti. Gli orizzontamenti negli altri piani sono a struttura lignea con le travi tessute parallelamente ai muri esterni. Nelle zone in corrispondenza dei lati corti (esagoni) gli ambienti sono a doppia altezza ed in origine coperti con false volte in canna palustre intonacata (fig. 7). Anche il tetto è a struttura lignea (punteri, capriate, travi, orditura secondaria) e risulta spingente solo nella zona degli "esagoni" per la presenza di puntoni rompitratta.

In particolare le capriate lignee, affiancate ai muri ad una testa, evitano che il tetto scarchi su questi già gravati dai carichi del 1° e 2° solaio e dal sottotetto. Tutti gli ambienti al primo e secondo livello erano soffittati con false volte. Di queste sono rimaste: quella a cupola del vano centrale (anche se fortemente danneggiata) e a quelle a padiglione in alcuni ambienti del 2° livello.

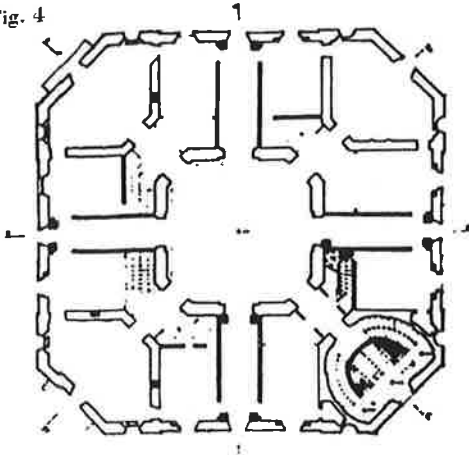
## Stato di conservazione del manufatto

L'abbandono, il tempo e gli eventi sismici hanno pesantemente offeso la struttura. Le strutture murarie sono interessate da lesioni in corrispondenza di tutte le aperture, della ripresa di muratura e di canne fumarie. Le murature perimetrali risultano staccate da quelle trasversali o per lesioni in prossimità degli innesti o da lesioni che interessano i muri trasversali stessi (in genere inclinate) (figg. 1, 2, 6, 7).

Quest'ultima tipologia di lesioni è conseguenza di un movimento verso l'esterno di tutta la muratura perimetrale, movimento denunciato anche da un notevole fuoripiombo. Infatti fra il 1° livello ed il terreno si rileva un fuoripiombo di 8,5 cm. su un'altezza di 4,70 m., mentre fra il primo livello ed il piano di gronda ( $h=7,80$  m.) è di 6,5 cm.

Questa patologia è particolarmente accentuata nella zona che comprende la parete che costituisce uno dei lati corti esterni (lato sud-ovest). In questo caso le lesioni assumono dimensioni di centimetri ed i labbri

Fig. 4



non sono più complanari (la non complanarità è di circa 3 centimetri). Per quanto riguarda gli orizzontamenti, come già detto, al primo piano sono costituiti da strutture a guscio realizzate con mattoni posti in foglio o di coltello (la sola zona centrale).

Il rifianco è costituito in parte da conglomerato di spezzoni di mattoni a calce idraulica ed in parte da sabbia mista a limo.

Con esclusione della volta al primo livello nella zona centrale, tutte le altre presentano lesioni conseguenti al movimento delle pareti verso l'esterno.

Quelle degli "esagoni" hanno subito i danni maggiori, infatti una è crollata mentre un'altra è "allentata" (lato sud-ovest) per la forte rotazione del muro verso l'esterno. Per quanto riguarda i solai in legno, il tavolato risulta mancante o marcescente (figg. 5, 8).

Anche nel tetto, la situazione di conservazione delle strutture è pessima: alcune parti sono crollate, altre presentano situazioni di marcescenza molto avanzata.

#### Il progetto di riuso

L'edificio restaurato diventerà la sede di un istituto per studi economici (ISTAO). Il progetto architettonico è stato studiato in modo da preservare l'impianto strutturale e distributivo originario.

Unico intervento che possiamo definire "pesante", è l'inserimento di una scela in acciaio, a servizio di tutti i piani, necessaria per rispettare le vigenti normative di sicurezza (fig. 10).

Per poter far sì che il progetto di restauro strutturale, teso a ridare efficienza alle strutture ed a correggerne i difetti, fosse il più corretto ed il meno invasivo possi-

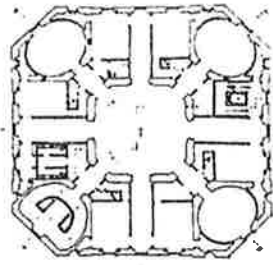


Fig. 10

bile, è stato necessario giungere ad una precisa conoscenza della concezione strutturale originaria, del livello dello stato tensionale presente e delle cause del dissesto. Per ottenere questo si è proceduto prima ad un accurato rilievo geometrico e del quadro fessurativo e quindi ad una campagna di indagini strumentali e sondaggi, da ultimo ad alcune simulazioni numeriche su alcuni elementi strutturali mediante un programma agli elementi finiti di tipo lineare.

Nel rilievo geometrico si è posta particolare attenzione alla dimensione delle strutture, alla geometria delle volte ed al rilievo dei cinematismi delle pareti perimetrali.

Per quanto riguarda la campagna di indagini strumentali e sondaggi, questa è consistita in:

- sondaggi in fondazione per individuare il piano di posa e le sue caratteristiche geotecniche e rilevare le dimensioni delle strutture fondali;
- prove con martinetti extrapiatti: per determinare le tensioni nelle murature e la loro distribuzione nella



Fig. 1

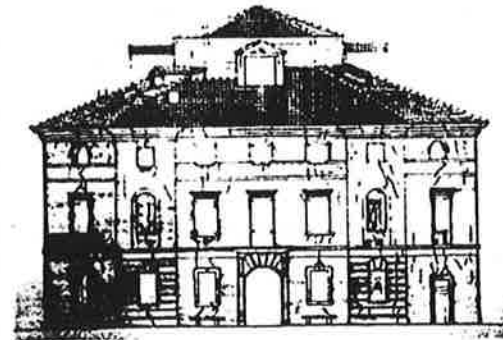


Fig. 2

sezione trasversale ed il modulo elastico (fig. 3);  
 - indagini endoscopiche per valutare lo stato di conservazione delle strutture lignee non in vista, il grado di ammorramento agli incroci fra le murature (figg. 3, 4).

Tramite indagini endoscopiche si sono eseguite delle stratigrafie delle murature per rilevare i materiali, la tessitura e la presenza di cavità o vuoti; sempre con indagini endoscopiche si sono determinati gli spessori strutturali e dei materiali di riempimento delle volte.

#### Risultati delle indagini

##### - Indagini sulle fondazioni e sul terreno di sedime

Le fondazioni sono poco profonde; il piano di appoggio è a circa -0.60 m. dal piano di campagna. La struttura fondale, di spessore poco superiore a quello dei muri sovrastanti, esiste solo in corrispondenza dei maschi murari.

Il lato sud-ovest, che ha avuto forti cedimenti è risultato praticamente privo di fondazione (piano di posa a -0.20 m. dal piano di campagna). Il terreno di sedime (sabbia ed argilla preconsolidata del pliocene medio inferiore) ha dato un carico di rottura di 0.6+0.8 N/mm<sup>2</sup>.

##### - Indagini endoscopiche

Da queste indagini si sono avute le seguenti informazioni:

- cordoli lignei: le teste dei cordoli inserite nelle murature esterne sono, nella totalità dei casi, degradate per marcescenza. In particolare il cordolo ligneo al primo livello, a contatto con il riempimento delle volte, è risultato quasi completamente distrutto da fenomeni di marcescenza. Le teste delle travi dei solai, inserite in murature interne, erano, invece, in buono stato di conservazione;
- ammoratura fra le murature: tramite le indagini endoscopiche eseguite nei giunti di malta si è rilevato che la tessitura muraria negli incroci è organizzata per realizzare l'ammorsatura fra le pareti anche se in modo non molto efficiente data la composizione della muratura in blocchi squadrati di arenaria non sempre di uguali dimensioni;
- stratigrafia delle murature: non si sono rilevati vuoti o discontinuità significative; in particolare la fodera di mattoni (paramento) della parete esterna, non è risultata staccata dalla parte di arenaria.

##### - Prove con martinetti extrapiatti

Tramite le prove con martinetti extrapiatti si è determinato il modulo elastico sia della muratura esterna costituita da blocchi di arenaria listate e dalla fodera mattoni pieni (paramento) che di quelle interne costituite solamente da blocchi di arenaria con ricorsi di mattoni.

Nel primo tipo di murature si sono rilevati due valori medi differenti di modulo elastico e cioè pari a 6.0 KN/mm<sup>2</sup>, per la parte costituita da laterizio e un valore medio di 2.0-2.2 KN/mm<sup>2</sup>, per quella in arenaria listata (fig. 10).

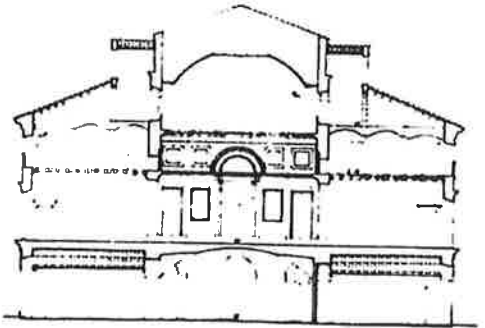


Fig. 6

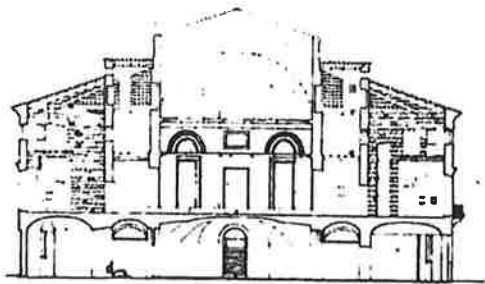
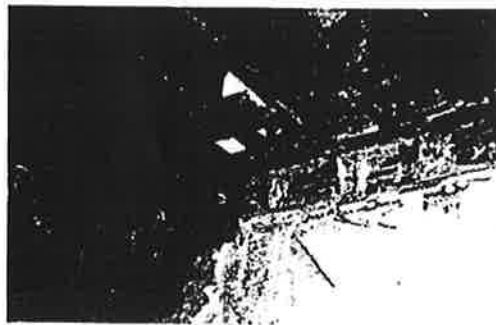


Fig. 7

Fig. 8



Quest'ultimo valore è stato confermato anche nelle murature interne confezionate in modo identico. Un discorso particolare deve essere fatto per i risultati ottenuti nel rilievo delle tensioni.

Il muro interno che circonda il vano centrale presenta uno stato tensionale non uniforme (valori medi lato interno  $-0,37 \text{ N/mm}^2$ , lato esterno  $-0,48 \text{ N/mm}^2$ ) che denuncia gli effetti della spinta della volta ed anche il corretto percorso delle forze (fig. 11).

Il valore medio della sollecitazione è confrontabile con quello ottenibile da un'analisi statica in cui si è tenuto conto della spinta della volta centrale e di quelle adiacenti. In fig. 12 è consegnato il modello agli elementi finiti della volta centrale.

Anche il muro più esterno presenta uno stato di sollecitazione non uniforme. In questo caso i valori, però sono più discosti fra loro. Un'analisi statica che tiene conto sia dei fuori piombo che delle spinte orizzontali delle volte, determinata sempre per via numerica, (nei limiti delle schematizzazioni effettuabili, sempre molto incerte) non riesce a giustificare la grande differenza fra i valori rilevati sul lato esterno rispetto a quello interno.

#### Cause del dissesto

Dai dati ottenuti dalle indagini si sono avute quelle informazioni che possono giustificare il dissesto avvenuto nelle pareti del perimetro esterno.

Il primo dato da prendere in considerazione è il carico di rottura del terreno e la tensione media trasmessa dalle murature. Dal loro confronto si vede che il carico applicato al terreno è prossimo a quello di rottura del materiale non disturbato (situazione del resto molto frequente negli edifici antichi).

Un altro dato è la differenza fra i valori rilevati della tensione fra le due facce della muratura e, come detto, non completamente giustificabile da un'analisi statica. La causa di questa non corrispondenza è in parte ascrivibile alla composizione della muratura in due strati e in moduli elastici fortemente differenti fra di loro. Si è già riferito che nelle indagini endoscopiche effettuate non si è rilevato il distacco fra foderia interna ed esterna. Questo fatto è suffragato dalla tessitura della muratura in mattoni pieni in cui si è rilevato che in corrispondenza dei ricorsi di mattoni nello strato in muratura listata, ogni due mattoni disposti per lungo uno è messo di testa in modo da creare un aggancio fra i due strati. In base a questo si può fare l'ipotesi che la parete si comporti come "compatta" per cui il valore medio della tensione nei due strati dovuta ai carichi sovrastanti è distribuita in funzione della rigidità del materiale (il modulo elastico dello strato esterno è circa tre volte quello dello strato interno).

Il degrado dei cordoli in legno (in particolare delle parti inserite nella muratura perimetrale), ha annullato la loro funzione di tiranti per cui le azioni orizzontali dovute alle volte, non più equilibrate, hanno accentuato la disuniformità di sollecitazione.

Il venir meno dell'azione di contenimento sviluppato dai cordoli in legno ha avuto, come ulteriore effetto, quello di "permettere" la rotazione verso l'esterno della parete, rotazione innescata dalla disuniforme distribuzione delle tensioni in fondazione.

Questo movimento è stato facilitato dalla modesta efficienza del collegamento con le pareti trasversali (presenza di aperture, ammorsatura non perfetta) da inevitabili eccentricità, da eventi sismici e dalla scarsa profondità delle fondazioni che ha impedito di avere un vincolo più valido nei confronti delle rotazioni.

#### Progetto di recupero strutturale

Dall'analisi emergono sostanzialmente due situazioni problematiche per il manufatto: una localizzata in fondazione ed è dovuta allo scarso approfondimento del piano fondale, l'altra dovuta alla modesta efficienza dei vincoli di contenimento (cordoli di legno, ammorsature pareti trasversali, ecc.) nei confronti delle spinte orizzontali.

Per risolvere il primo problema si è proceduto all'allar-

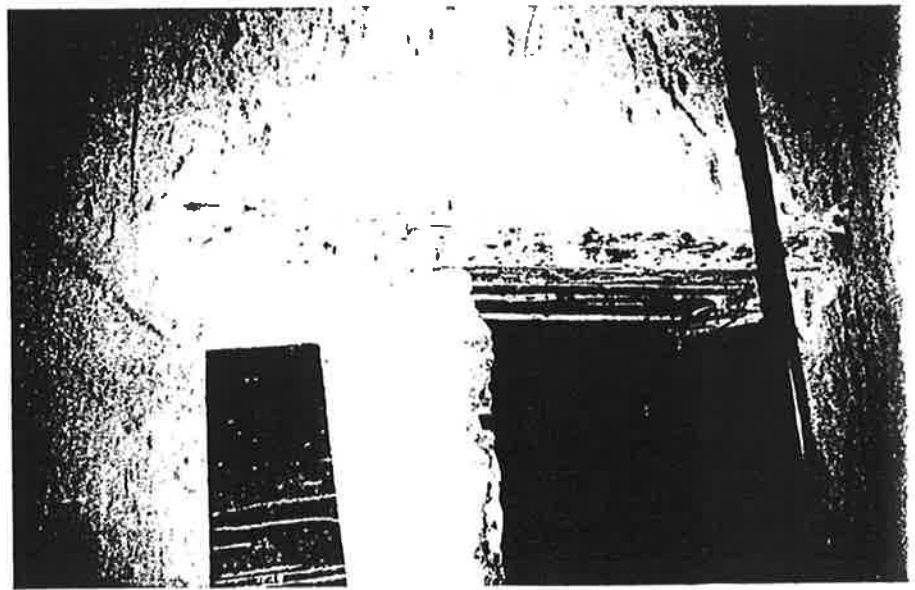


Fig. 9

gamento ed approfondimento della base fondale mediante sottofondazione a tratti con calcestruzzo non armato ed un cordolo armato all'altezza del piano di campagna in modo da circondare con un anello resistente a trazione la base dell'edificio.

Per quanto riguarda l'eliminazione dei cinatismi si è proceduto su due vie.

La prima è consistita nel ripristinare la funzione dei cordoli lignei o sostituendoli completamente con elementi strutturali moderni (cordoli al primo livello a contatto con il riempimento delle volte) o sostituendo le sole parti degradate e migliorando il collegamento con le murature esterne tramite spinotti metallici zincati (cordoli ai livelli superiori).

La seconda è consistita nel disporre una serie di catene. Un primo sistema di catene è costituito da barre "dividag" disposte ad anello a tutti i piani e tesate in modo da realizzare una "cerchiatura a forza" degli anelli costituiti dalle pareti sia interna che esterna.

Le catene sono state ubicate esternamente alle pareti, nel caso dell'anello interno, mentre per quello costituito

dalle murature perimetrali, sono state inserite nelle murature previa perforazione delle stesse.

L'operazione di tesatura è avvenuta in tempi successivi ed applicando la forza in contemporanea a coppie di barre su lati opposti.

Per evitare problemi conseguenti all'inserimento di acciaio nella muratura (fenomeni di ossidazione), le catene sono state trattate con prodotti specifici antiossidanti ed i fori sono stati iniettati con boiacca di cemento additivata.

La posizione della perforazione (e quindi delle barre) è stata volutamente scelta la più esterna possibile per realizzare uno stato di coazione che a sua volta causasse uno stato deformativo tensionale tale da opporsi a quelli conseguenti ai cinatismi verificatisi.

Per stimare la forza di tesatura si è fatto riferimento ad uno schema statico, come quello indicato in fig. 13, imponendo che in tutti e due i casi le tensioni introdotte fossero modeste e comunque tali che risultassero sempre di compressione. I due anelli sono stati quindi collegati fra loro oltre che da cordoli in legno, anche da

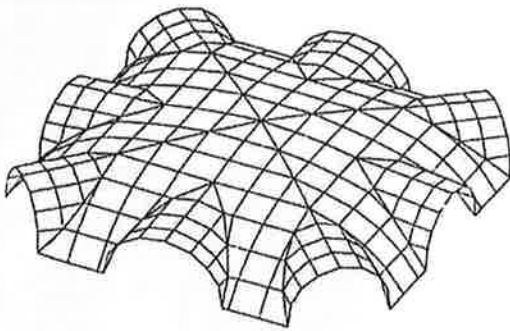


Fig. 13

COSTITUTIVE LEW OF THE EXTERIOR WALL

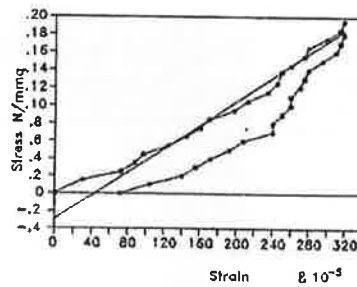


Fig. 11

TENSION IN THE WALL

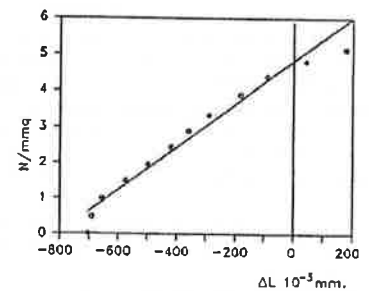
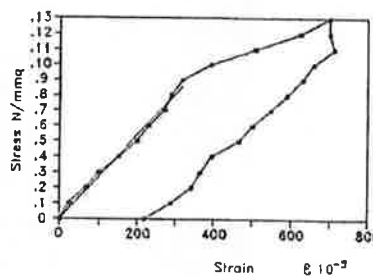


Fig. 12



un sistema di tiranti (catene) questa volta di acciaio normale in modo da costituire un ulteriore presidio nei confronti dei cinematismi più volte citati.

Gli interventi sulla scatola muraria sono stati completati da risarcimenti localizzati di lesioni.

Non si è intervenuti sulle connessioni delle pareti per migliorarne l'efficienza ritenendo sufficiente la coazione introdotta dalle catene.

Per quanto riguarda gli orizzontamenti, mentre si è proceduto alla sostituzione delle strutture lignee del tetto fortemente degradate con nuove sempre di legno, si sono confermate le travi dei solai esistenti, integrandole con nuove travi per migliorarne la capacità portante o per sostituire quelle troppo degradate.

L'intervento sui solai di piano è stato completato dalla posa in opera di un nuovo tavolato con una caldana di calcestruzzo con rete elettrosaldata. La caldana è stata gettata su teli di cartongesso catramato per evitare l'adesione fra legno e calcestruzzo ed anche per ottenere una migliore conservazione del legno del tavolato.

Questa guaina è stata rigirata anche sulle pareti sempre per non avere l'adesione chimica fra mattoni e calcestruzzo. La caldana è stata invece collegata per punti con spinotti in acciaio zincato alle pareti. Con questo si è voluto ottenere una interruzione dell'altezza libera delle murature, un efficace collegamento solaio parete e quindi un miglior comportamento scatolare dell'edificio.

Per quanto riguarda le volte l'intervento è consistito nel risarcire le lesioni con cunei e malte espansive e quindi, tramite una prova di carico, si è valutata l'efficacia dell'intervento.

Unico intervento consistente eseguito è stato quello sulle volte nella zona dove è stata inserita la scala. Infatti, per realizzare questo inserimento, si è dovuto demolire una creando così una situazione di squilibrio.

L'intervento è consistito nel trasformare le volte superstiti da portanti in soffittatura (peso proprio riempimento costituito da sabbia) ed affidare il compito di portare i carichi ad un solaio in legno.

#### Conclusioni

Da quanto riferito emerge l'importanza di una campagna di indagini sperimentali mirata a conoscere lo stato attuale di un edificio storico.

In particolare, la determinazione dello stato tensionale, tramite martinetti extrapiatti, aiuta a verificarne gli schemi statici ipotizzati, altrimenti sempre molto aleatori.

Questa possibilità di conoscenza diminuisce nel progettista l'incertezza e permette interventi più mirati, strettamente necessari e quindi più economici e meno invasivi.

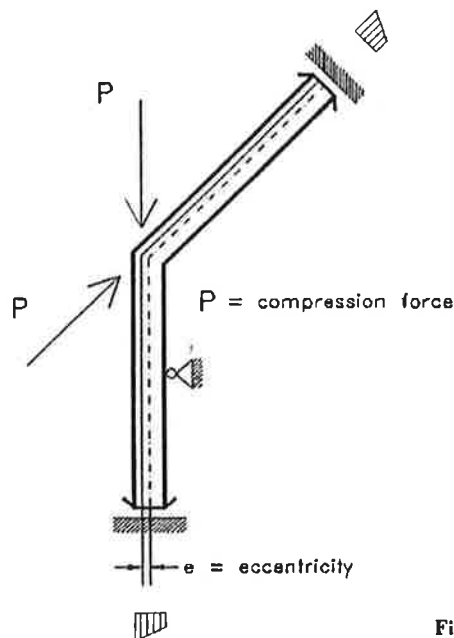


Fig. 14

#### Gruppo di progettazione

##### Progetto architettonico

Prof. Arch. Luisa Auversà Ferretti

##### Responsabile del progetto

Arch. Giuseppe Ciorra

Arch. Vittorio Salmoni

##### Progetto delle strutture

Prof. Ing. Rodolfo Antonucci

Dott. Ing. Giuseppe Lucarini

Dott. Ing. Stefano Leoni

##### Analisi geologica

Dott. Piergiacomo Beer

##### Ricerca storica-iconografica

Dott. Arch. Susanna Pasquali

##### Rilievi, capitoli e contratti

Geom. Paolo Marasca

##### Impianti

Dott. Ing. Roberto Capozzi

##### Indagini strumentali

Dott. Ing. Maurizio Scansani

##### Coordinamento e supervisione del restauro degli affreschi per la Sovrintendenza ai Beni Artistici di Urbino

Dott. Claudia Caldari

##### Coordinamento e supervisione per la Sovrintendenza ai Beni Monumentali e Ambientali di Ancona

Dott. Arch. Alberto Pugliese

Dott. Brunella Teodori

##### Imprese Esecutrici

B.C. Costruzioni di Osimo

Torelli - Dottori di Cupramontana

