

ESTRATTO

Materiali Strutture

PROBLEMI DI CONSERVAZIONE

anno V numero 1 1995



«L'Erma» di Bretschneider

Problemi di consolidamento e di umidità in un edificio storico

Simona Salvo

L'exkursus analitico e progettuale qui di seguito esposto ha come oggetto un edificio storico che ha subito nel tempo numerosi cedimenti fondali ed una forte aggressione da umidità di risalita, essendo situato in prossimità delle rive del Tevere dove il terreno possiede pessime caratteristiche meccaniche e la falda idrica si trova ad una quota prossima all'imposta delle fondazioni.

La proposta progettuale consiste principalmente di un intervento di consolidamento strutturale e di provvedimenti contro l'umidità di risalita.

Premessa

La chiesa intitolata a S. Eligio venne costruita per volere della Corporazione degli Orefici all'inizio del XVI secolo nei pressi di via Giulia. L'interno, di modeste dimensioni, è costituito da uno spazio centrale, pienamente rispondente ai canoni architettonici rinascimentali, impostato su una pianta a croce greca libera con un'abside profonda. Le pareti, scandite da coppie di lesene, sono concluse in alto da un cornicione dal forte aggetto; sui quattro pilastri angolari sono impostati i pennacchi che sorreggono il tamburo, a sua volta sormontato dalla cupola e dalla lanterna. La facciata, di autore ignoto, risale al 1620. Vi si riscontrano infatti, i caratteri del linguaggio architettonico tipico delle piccole fabbriche del tardo manierismo romano. Essa è articolata su due ordini di lesene binate sovrapposti e divisi da una cornice aggettante; nella parte centrale si apre il portale ed in alto una finestra riccamente decorata in stucco.

Rinomata per aver destato l'interesse di illustri studiosi che ne hanno attribuito il progetto a Raffaello, la chiesa è risultata anche un valido argomento di ricerca, essendo stata, nel corso della sua travagliata storia, oggetto di numerosi dissesti, seguiti da altrettanti interventi di consolidamento.

Prescindendo dalle questioni attribuzionistiche (poiché la mancanza di documenti certi rende ardua qualsiasi ipotesi sull'individuazione dell'impronta progettuale originaria), lo studio di una fabbrica come il S. Eligio permette di ribadire che la conoscenza del cantiere storico costituisce un elemento fondamentale per la com-

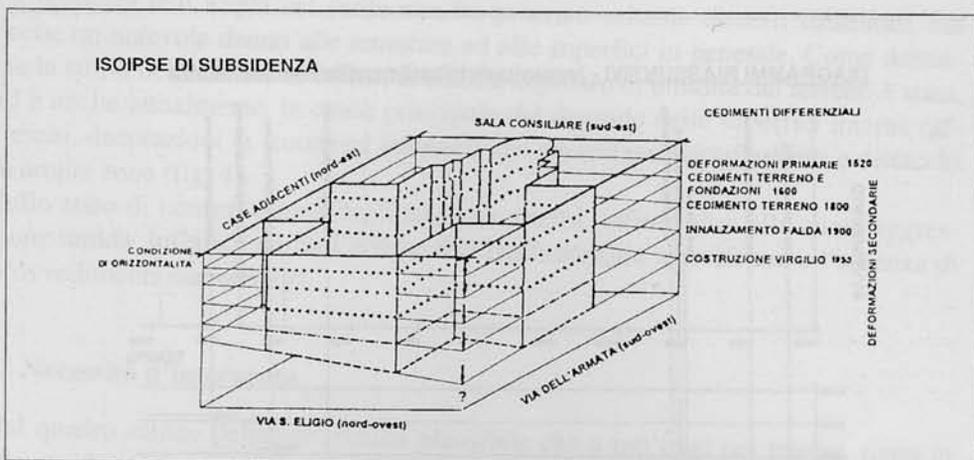


Fig. 6 Schema qualitativo dei cedimenti differenziali basato sul rilievo strutturale, sulla storia della chiesa e sulle caratteristiche del terreno di fondazione.

luzioni che agiscono sulle variabili principali del dissesto: suolo e fondazioni. Al fine di effettuare una loro equilibrata valutazione, ci si è serviti dei dati derivanti dall'analisi.

L'individuazione delle cause, degli effetti e delle conseguenze degli agenti di degrado hanno guidato la stima dei vantaggi e degli svantaggi che apporterebbero gli interventi presi in esame perché ritenuti più idonei a consolidare e a bonificare dall'umidità le strutture del S. Eligio. Tale approccio progettuale ha consentito di valutare sistematicamente le varie ipotesi d'intervento in stretta relazione al caso in questione, sia ai fini di un miglioramento del comportamento strutturale, sia ai fini dello smaltimento dell'umidità, rifuggendo dal voler formulare una proposta preconfezionata e quindi insensibile alle caratteristiche peculiari del S. Eligio (fig. 8). È stata innanzitutto considerata l'ipotesi di migliorare l'interazione suolo-costruzione mediante la regolamentazione delle acque superficiali oppure mediante l'addensamento del terreno con iniezioni cementanti. Tale provvedimento tuttavia, oltre ad avere costi elevati, comporta la dispersione dei benefici a zone estranee all'intervento, col rischio, oltretutto, di procurare effetti negativi agli edifici adiacenti.

Quindi si è pensato a ridurre l'azione dei carichi sul terreno di fondazione mediante l'eliminazione delle superfetazioni oppure ampliando la base fondale, oppure tramite il trasferimento dei carichi a strati di terreno resistenti più profondi mediante pali fondali di piccolo diametro: l'eccessiva profondità dello strato coerente, tuttavia, rende questa soluzione tecnicamente ed economicamente poco vantaggiosa e di dubbia efficacia.

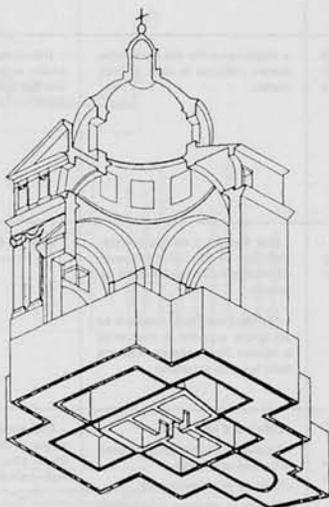
Infine è stata considerata l'opportunità di modificare il comportamento strutturale dell'edificio rendendo la struttura di fondazione molto rigida e resistente e atta ad assorbire le sollecitazioni dovute alle deformazioni del terreno per evitare i conseguenti cedimenti differenziali.

PROPOSTA D'INTERVENTO: necessità - non priorità

SINTESI DEGLI INTERVENTI

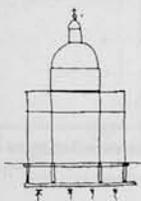
Realizzazione di una struttura scatolare di irrigidimento in cemento armato reso solidale con le fondazioni antiche per contrastare le deformazioni dovute ad eventuali cedimenti differenziali del terreno reagendo, senza deformazioni apprezzabili, in modo uniforme al sistema di forze che la sollecita; bonifica dall'umidità di risalita aumentando il regime di evaporazione tramite aerazione naturale e forzata delle cantine.

- miglioramento dello stato tensionale nel terreno mediante alleggerimento della pressione di contatto delle fondazioni asportando il terreno di riporto costipato nelle fondazioni
- irrigidimento delle fondazioni tramite incamiciatura delle fondazioni con pareti in cemento armato solidali con le antiche strutture
- creazione di giunti di discontinuità fra le strutture in elevazione della chiesa e gli edifici adiacenti
- creazione di canali di ventilazione ed apertura di varchi per il riscontro d'aria fra gli ambienti ipogei al fine di guidare l'umidità proveniente dal sottosuolo all'esterno del monumento



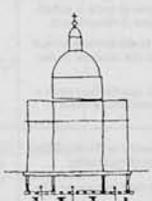
TRATTAMENTO DEL PIANO DI CALPESTIO DEGLI AMBIENTI IPOGEI
SOLUZIONI PROGETTUALI ALTERNATIVE

SOLUZIONE A
Soletta uniforme in c.a.



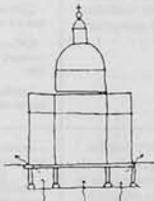
NO - trattiene umidità proveniente dal sottosuolo, che quindi tende a risalire dalle murature di fondazione

SOLUZIONE B
Soletta a cassette in c.a.



NO - non aumenta superficie libera di evaporazione in modo risolutivo

SOLUZIONE C
Terreno libero



SI - costituisce una superficie libera preferenziale per l'umidità, che quindi non tende a risalire dalle murature di fondazione; l'umidità viene poi convogliata verso le prese d'aria ed eliminata

SEQUENZA OPERATIVA DEGLI INTERVENTI



Fig. 7 Proposta d'intervento: lo studio preliminare degli interventi di consolidamento e restauro consente di individuare la sequenza operativa delle fasi della loro esecuzione.

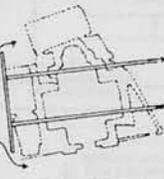
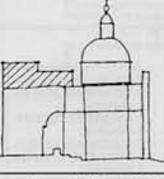
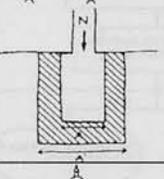
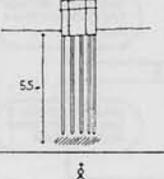
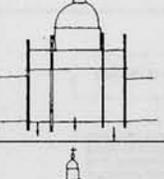
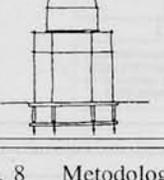
	POSSIBILI SOLUZIONI PROGETTUALI (Cigni, 1978 / Croci, 1980 / Cestelli Guidi, 1981 / Carbonara, 1981 / Rocchi, 1983 / Cestelli Guidi, 1984 / Di Stefano, 1990 / Ventura, 1979)	VALUTAZIONE	
		AI FINI STRUTTURALI	AI FINI DELL'UMIDITÀ
MIGLIORAMENTO COMPARTAMENTO SUOLO-COSTRUZIONE	 <p>INIEZIONI NEL SUOLO - Addensamento e cementazione dei granuli immettendo nei vuoti interstiziali malte di cemento per migliorare le caratteristiche meccaniche del terreno.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Dispersione degli effetti a zone estranee all'intervento - Pericolo dovuto all'immissione nel terreno di malte in pressione - Costi elevati in proporzione ai risultati 	<ul style="list-style-type: none"> + Impermeabilizzazione del terreno dalla risalita di umidità dal terreno - Difficoltà di monitoraggio degli effetti
MIGLIORAMENTO COMPARTAMENTO SUOLO-COSTRUZIONE	 <p>REGOLAMENTAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI E PROFONDE - Sbarramento e/o incanalazione con una rete di tubazioni convogliante le acque latenti per stabilizzare il livello della falda acquifera e regolamentare la pressione interstiziale dell'acqua fra i granuli.</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Limitazione dei cedimenti differenziali - Effetti negativi sugli edifici adiacenti - Difficoltà di realizzazione 	<ul style="list-style-type: none"> + Riduzione della presenza di acqua nel sottosuolo
MIGLIORAMENTO COMPARTAMENTO SUOLO-COSTRUZIONE	 <p>RIDUZIONE DEI CARICHI - Eliminazione delle superfetazioni e asportazione del terreno di riporto all'interno del perimetro delle fondazioni per alleggerire la struttura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Miglioramento del comportamento uniforme in caso di cedimento 	<ul style="list-style-type: none"> + Riduzione della massa che assorbe acqua dal sottosuolo trasmettendola alle strutture sovrastanti
MIGLIORAMENTO COMPARTAMENTO SUOLO-COSTRUZIONE	 <p>AMPLIAMENTO DELLA BASE FONDALE - Aumento della sezione resistente delle fondazioni con sottofondazioni in muratura, travi cordolo o soletta c.a.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Non migliora il comportamento uniforme in caso di cedimento differenziale per disuniformità del terreno + Distribuzione delle tensioni su più ampie superfici di resistenza e relativo trasferimento uniforme delle tensioni al terreno 	<ul style="list-style-type: none"> - Assenza di miglioramento
MIGLIORAMENTO COMPARTAMENTO SUOLO-COSTRUZIONE	 <p>TRASFERIMENTO DEI CARICHI A STRATI DI TERRENO PROFONDI PIÙ RESISTENTI - Sottofondazioni con pali di piccolo diametro che trasferiscano parte dei carichi a strati di terreno più profondi e meno compressibili.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Difficoltà d'intervento - Eccessiva profondità degli strati di terreno resistente - Notevoli oneri economici + Rende la struttura indipendente dalle oscillazioni della falda artesiiana - Necessità di manutenzione continua 	<ul style="list-style-type: none"> + Probabile convogliamento delle acque di falda alle strutture sovrastanti attraverso canali preferenziali costituiti dai pali
MODIFICA DEL COMPARTAMENTO STRUTTURALE	 <p>RENDERE STRUTTURA MOLTO DEFORMABILE - Creazione di giunti concentrando, in caso di cedimenti ulteriori, spostamenti relativi e rotazioni delle membrature in zone controllate prestabilite impedendo incrementi apprezzabili delle sollecitazioni della muratura</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Non modifica il comportamento disuniforme delle strutture in caso di cedimenti differenziali - Concentrazione di forze e sollecitazioni nelle zone di discontinuità - Difficoltà di realizzazione senza causare danni alle strutture in elevato - Perdita della qualità figurativa a causa delle discontinuità visibili 	<ul style="list-style-type: none"> - Assenza di miglioramento
MODIFICA DEL COMPARTAMENTO STRUTTURALE	 <p>RENDERE STRUTTURA MOLTO RIGIDA - Aumento della rigidità delle strutture di fondazione per assorbire le sollecitazioni dovute ai cedimenti del terreno, permettendo alle strutture in elevato di reagire uniformemente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Comportamento uniforme della struttura in caso di cedimento + Limitazione dell'intervento alle fondazioni + Totale occultamento dell'intervento 	<ul style="list-style-type: none"> - Imprigionamento dell'umidità all'interno della nuova struttura in cemento armato

Fig. 8 Metodologia progettuale: studio di possibili soluzioni per migliorare il comportamento uniforme delle strutture in caso di cedimenti differenziali; le diverse tecniche sono state valutate in relazione alle problematiche specifiche del S. Eligio.

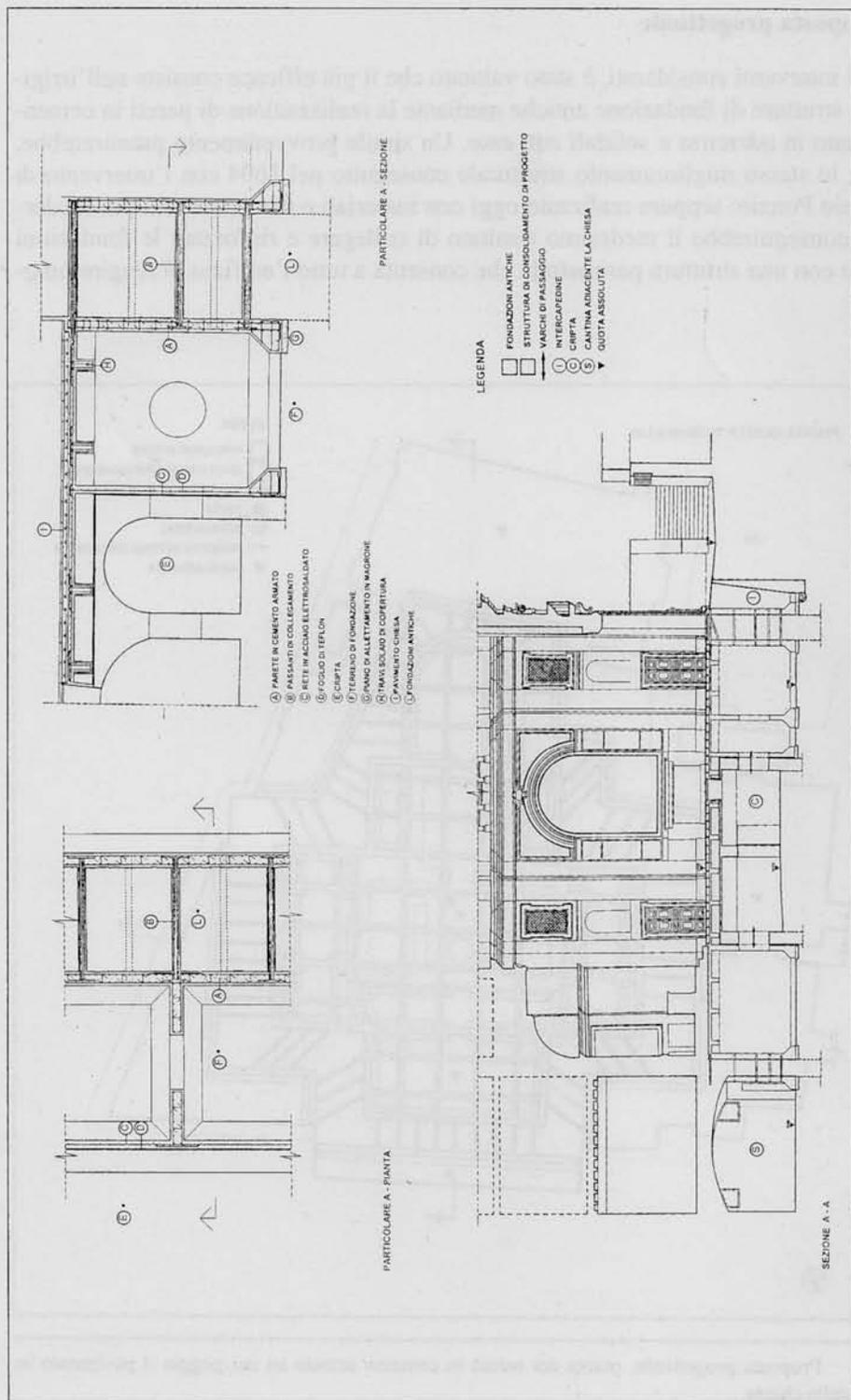


Fig. 9 Proposta progettuale: particolari costruttivi della struttura in cemento armato e del suo collegamento alla muratura antica di fondazione.

5 Proposta progettuale

Fra gli interventi considerati, è stato valutato che il più efficace consiste nell'irrigidire le strutture di fondazione antiche mediante la realizzazione di pareti in cemento armato in aderenza e solidali con esse. Un simile provvedimento procurerebbe, infatti, lo stesso miglioramento strutturale conseguito nel 1604 con l'intervento di Flaminio Ponzio: seppure realizzato oggi con materiali e tecniche certo più moderne, si conseguirebbe il medesimo risultato di collegare e rinforzare le fondazioni antiche con una struttura perimetrale che consenta a tutto l'edificio di reagire omo-

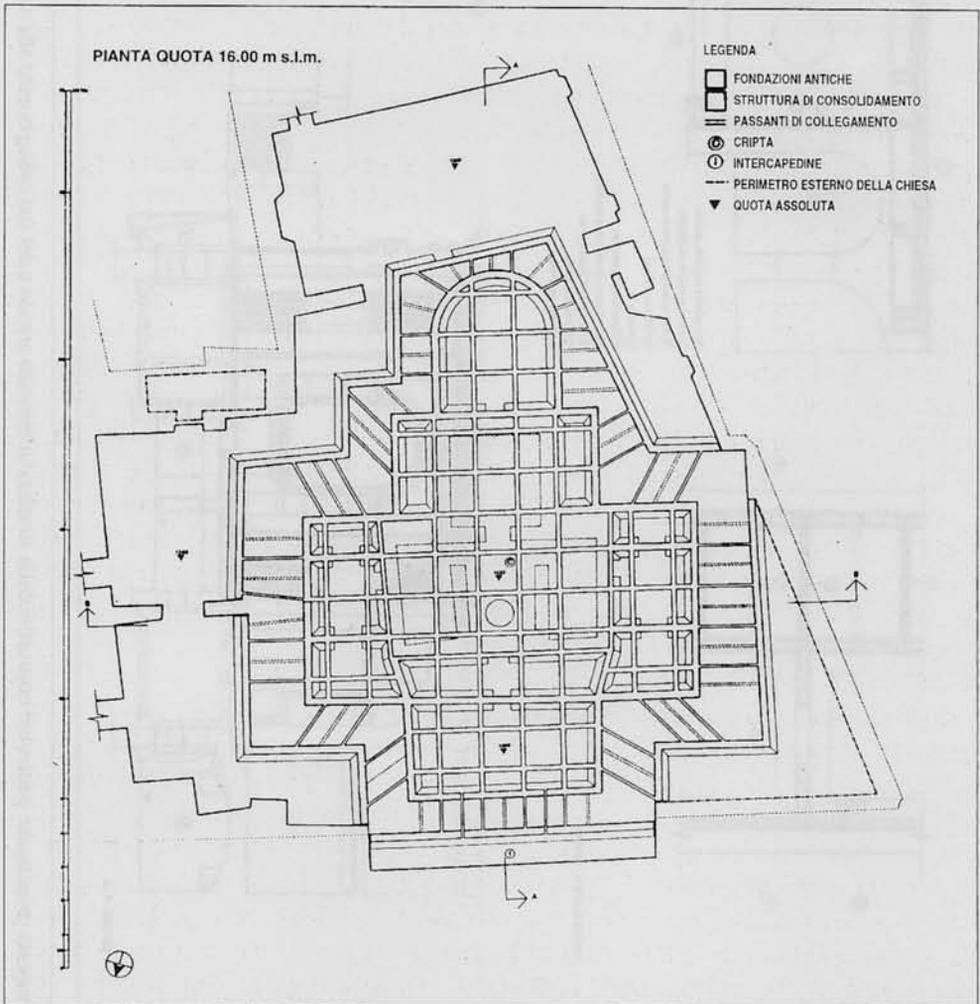


Fig. 10 Proposta progettuale: pianta del solaio in cemento armato su cui poggia il pavimento in marmo della chiesa.

geneamente ad eventuali cedimenti, evitando pericolose disomogeneità di risposta alle deformazioni del terreno (fig. 9).

Gli accorgimenti proposti per la bonifica dall'umidità sono stati pensati in concomitanza con lo studio della struttura di consolidamento. Essi consistono principalmente nell'allestimento di un sistema di aerazione all'interno degli ambienti ipogei, con smaltimento dell'aria umida attraverso le aperture sull'esterno. L'umidità proveniente dal sottosuolo trova innanzitutto una via preferenziale attraverso la superficie libera del piano di posa delle fondazioni, evitando di conseguenza di risalire attraverso le murature di fondazione lungo il perimetro del loro piano di posa. Si è giunti a tale soluzione dopo aver considerato che un piano di calpestio costituito da un massetto in calcestruzzo armato, o anche da una struttura di travi ortogonali, avrebbe trattenuto l'umidità del sottosuolo spingendola a risalire attraverso le murature; le previste pareti di consolidamento in calcestruzzo armato avrebbero oltretutto aggravato il fenomeno. La circolazione dell'aria è consentita attraverso varchi e canali di ventilazione previsti nelle pareti di cemento armato in corrispondenza delle lacune murarie già esistenti nella struttura antica (forse sondaggi praticati nel passato per stabilire lo spessore delle strutture di fondazione). Infine, un meccanismo di ventilazione forzata assicura, con minime differenze di pressione, il convogliamento dell'aria umida verso le bocche di lupo esistenti, di cui si prevede il totale recupero (fig. 10).

Dai dati igrometrici stagionali, rilevati dall'Istituto Centrale del Restauro, si evince che la percentuale di vapore all'interno della chiesa aumenta nei giorni in cui è in funzione il riscaldamento. Su questa base è stato studiato un impianto termico a pavimenti radianti inserito nel nuovo solaio: tale metodo di riscaldamento, che agisce per irraggiamento, apporta un miglioramento microclimatico con un salto termico minore rispetto al tradizionale sistema a convezione (fig. 11). Esso, inoltre, non aggrava la percentuale di umidità relativa e di condensa sulle superfici che, nelle condizioni attuali, si riscontra in seguito all'aumento di presenze in chiesa in corrispondenza della liturgia della domenica. Infine, sul lato sottostante la facciata, si prevede la realizzazione di un'intercapedine con canale di drenaggio delle acque raccolte.

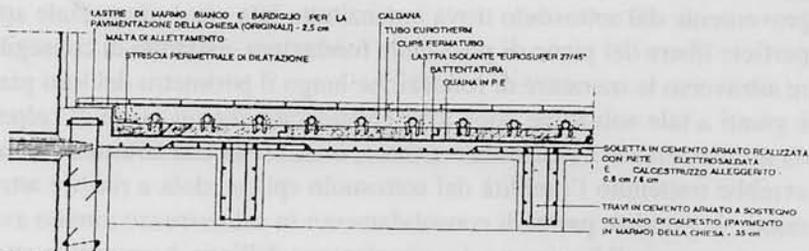
L'intervento previsto implica alcuni accorgimenti per non alterare l'assetto della cripta sottostante il pavimento della chiesa. Sebbene questo piccolo ambiente ipogeo non abbia caratteristiche architettoniche di particolare pregio, si è ritenuto comunque importante conservarlo intatto a motivo del suo particolare rapporto con lo spazio della chiesa sovrastante, il passaggio da quest'ultimo, arioso e luminoso, a quello sotterraneo, buio e costretto, risulta particolarmente suggestivo e quindi valevole di essere conservato. Si è pensato quindi di svincolare la struttura ipogea da quella di consolidamento mediante uno spessore in teflon o piombo interposto fra la muratura antica e la parete in cemento armato. Tale accorgimento infatti consente alle due strutture di assestarsi indipendentemente in seguito a prevedibili movimenti, mantenendo tuttavia la spinta di rinfiacco delle volte della cripta.

ACCORGIMENTI PROPOSTI PER LA BONIFICA DALL'AGGRESSIONE UMIDA

I. SOSTITUZIONE DELLO STRATO SUPERFICIALE DI TINTEGGIATURA

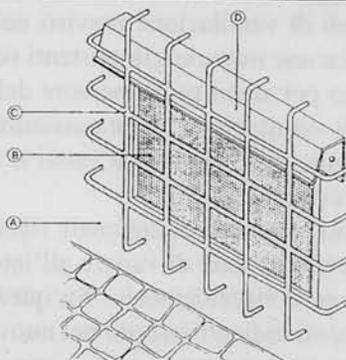
- RIMOZIONE DELLO STRATO SUPERFICIALE DI TINTEGGIATURA CONTENENTE ADDITIVI PLASTICI
- APPLICAZIONE DI UNA MISCELA CON PRODOTTI POROGENI (TINTA A CALCE) PER FAVORIRE L'EVAPORAZIONE DELL'UMIDITÀ

II. PARTICOLARE B - SOLAIO E PAVIMENTO CHIESA



III. PARTICOLARE C - BOCCHE DI LUPO SU STRADA

- (A) ABBASSAMENTO DEL LIVELLO STRADALE PER EVITARE LA PENETRAZIONE DI ACQUA METEORICA NELLE CANTINE CON PENDENZA CONFLUENTE VERSO I CANALI DI SCARICO DELLA RETE FOGNARIA
- (B) REALIZZAZIONE DI INFISSI CON RETE PER EVITARE LA CADUTA DI DEBRITI / FOGLIAME / ANIMALI ALL'INTERNO DELLE CANTINE.
- (C) GRATA DI PROTEZIONE IN ACCIAIO COR-TEN PER LA PROTEZIONE DALLE AUTOMOBILI
- (D) TETTOIA IN LAMIERA ZINCATO PIGATA PER LA PROTEZIONE DALL'ACQUA METEORICA



IV. PARTICOLARE D - INTERCAPEDINE SOTTOSTANTE LA FACCIATA (VIA DI S. ELIGIO)

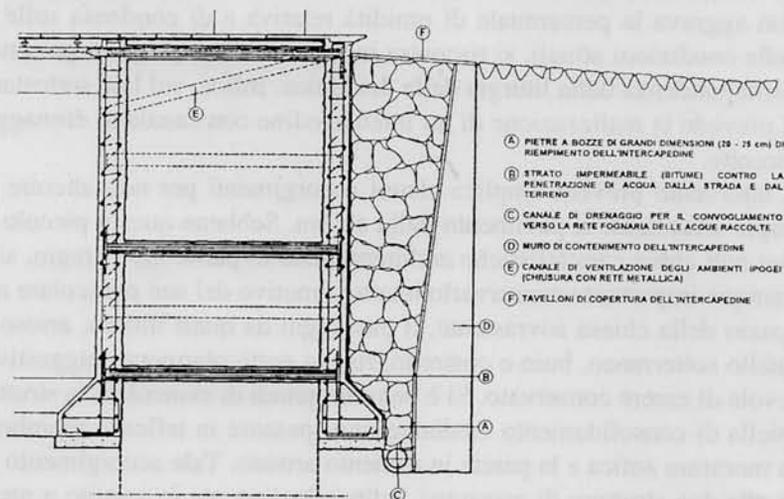


Fig. 11 Proposta progettuale: accorgimenti per lo smaltimento dell'umidità.

6 Conclusioni

È auspicabile che questo studio sia indicativo dell'importanza della ricerca storica nell'ambito della progettazione del cantiere di restauro. Essa, se concepita come indagine critica della reale consistenza del manufatto ed individuazione delle cause dei fenomeni che ne hanno generato lo stato attuale, costituisce un momento metodologico inderogabile nell'ambito dell'*iter* progettuale del restauro dei monumenti e rappresenta un contributo fondamentale nell'ideazione di soluzioni *ad hoc* ed il più possibile coscienti delle loro reali problematiche.

(Ricevuto: 4, 8, 1995)

Bibliografia essenziale

- A. Muñoz**, *La Chiesa di S. Eligio degli Orefici e il suo recente restauro*, Rivista d'Arte, VIII (1912), 1-2, pp. 1-14.
- J.S.A. Churchill**, *A proposito della Chiesa di S. Eligio degli Orefici di Roma*, Rivista d'Arte, VIII (1912), 3-6, pp. 124-129.
- L. Crema**, *Flaminio Ponzio, architetto milanese a Roma*, in Atti del V convegno nazionale di Storia dell'architettura, Milano 18-25 giugno 1939, a cura del Comitato ordinatore presso la R. Soprintendenza ai Monumenti, Milano 1939, pp. 1-23.
- F. Sanguinetti**, *Il restauro di S. Eligio degli Orefici*, Palladio, n.s. V (1955), 3-4, pp. 180-187.
- F. Fasolo**, *Un dato inedito su Sebastiano Pellegrini da Como relativo alla costruzione di S. Eligio degli Orefici*, in Atti del V convegno nazionale di Storia dell'architettura, Perugia 23 settembre 1948, Centro Studi dell'Architettura, Firenze 1957, pp. 343-346.
- C.L. Frommel**, *S. Eligio und die Kuppel der Cappella Medici*, in Atti del XXI congresso internazionale di Storia dell'architettura (Bonn 1964), Berlino 1964, vol. II, pp. 41-54.
- M.V. Brugnoli**, *Su Raffaello architetto: la Cappella Chigi e la Chiesa di S. Eligio*, Rivista dell'Istituto Nazionale di Archeologia e Storia dell'Arte, n.s. XVI (1969), pp. 209-239.
- S. Ray**, *S. Eligio degli Orefici a Roma*, L'Architettura Cronaca e Storie, XV (1969), dicembre, pp. 892-898.
- G. Delfini, R. Pentrella**, *S. Eligio degli Orefici*, in AA.VV., *Fabbriche romane del primo Cinquecento: cinque secoli di restauri*, Palombi, Roma 1984, pp. 357-430.
- S. Valtieri**, *Gli interventi di restauro di Flaminio Ponzio nella chiesa di S. Eligio degli Orefici in Roma*, Architettura Storia e Documenti, (1985), 2, pp. 71-86.
- S. Valtieri**, *L'originario impianto a croce non inscritta di S. Eligio degli Orefici a Roma*, in Atti del convegno di studi raffaelleschi *Raffaello a Roma*, Roma 21-28 marzo 1983, ed. dell'Elefante, Roma 1986, pp. 323-330 e tavv. CXXV-CXXX.

L'Autore:

S. Salvo, architetto, Roma.

Summary | *The church of S. Eligio degli Orefici, situated in the center of Rome not far from the banks of the Tiber, is primarily famous for having been attributed to Raffaello. The unfortunate story of its construction and of its several structural*

consolidations, due to unbalance caused by soil settlements, is the matter of this research developed within a thesis in Restoration and consolidation of ancient buildings.

Pointing to a complete and exhaustive knowledge concerning the history of its construction, the investigative phase was conceived as preliminary to the consolidation project itself. Information regarding the historical building yard, achieved through research in the *Corporazione degli Orefici* (Goldsmith's Guild) archives, revealed the necessity to reconstruct the troubled story of this church. The final goal consisted in understanding and motivating its actual bad structural conditions and the surfaces decay.

The inner space of *S. Eligio degli Orefici* is founded on a greek cross plan and is confined within continuous walls, interrupted by double pillars closed up by a jutting out cornice. Above the pendentives, which support the drum, are set the dome and the lantern. Expert architecture historians have recognized an example of the evolution of architectural principles of the Renaissance in this central space. The facade, built in 1620, corresponds in all to late manieristic style, while the adjacent building, where the Guild's archive is stored, was built in 1626 by Paolo Marucelli, a well known architect of those times.

From 1516, as its construction began, until nowadays, several works occurred to consolidate and restore the structures, unsettled by soil movements and because of its faulty masonry. The first ones took place in 1604, after the partial collapse of the eastern side of the church; then, in 1864, due to constant presence of rising damp from the ground; again in 1909 after the construction of the Tiber's dikes, which drastically modified the hydrogeological balance of the soil by raising the level of the water table. Recently, in 1952, a new emergency had been determined during the building of the adjacent *Liceo Virgilio*: the vibrations caused by the beating of its foundation piles produced the effect of a microsism on the church's old masonry.

The topographical survey serves today to put into evidence the described evolution of the statics of the structures. As a matter of fact it reveals a consistent rotation of the entire building toward south-west, also appreciable with half an eye: both vertical and horizontal surfaces are slanted of about 1.5° . Such deformation can be explained with uneven settlements of the soil due to the variable presence of water; floods increase the level of the water table and decrease the resistance of the embankment ground of roman times, nevertheless uncoherent. The presence of water in the foundation's soil also determines serious damage to the church's frescoes, wall decorations and plaster, already attacked by air pollution.

Today it is impossible to forecast events such as leaks from the drainage system or seismic activity, which could again alterate the soil resistance and cause renewed settlements to the structures. In such cases the old masonry could reach unbearable tensions and undergo serious damage. Otherwise, if no disastrous event should occur, the general deterioration of surfaces and structures due to the rising of damp would worsen, so that frescoes and decorations would gradually fade away.

Therefore the project aims to improve both the structural stability of the building and the discharge of humid air from the foundations. The new

structure consists in reinforced concrete cement walls which embrace the ancient foundations and cooperate with them in order to avoid differential subsidence. Provisions against damp are essentially based on the air circulation system in order to guide humid air from underground to the openings, avoiding its rise through the masonry.

Nel prossimo numero

G. Tassinari, G. Della Vedova, M.L. Tassinari, G. Tassinari
Metodi proporzionali di calcolo per il dimensionamento

M. Calabrese, G. Tassinari, F. Tassinari

Metodi di calcolo per il dimensionamento di travi e pilastri

preensione dell'opera e quindi per un eventuale intervento di consolidamento e/o di restauro.

La presente ricerca è stata quindi condotta sul serrato confronto tra il materiale d'archivio e i dati risultanti dall'indagine diretta dell'edificio, col preciso scopo di acquisire una conoscenza approfondita del monumento (fig. 1). Un'accurata analisi, oltre ad essere un importante contributo per l'anamnesi storica del monumento e quindi per l'individuazione delle sue valenze storico-testimoniali, viene qui intesa come imprescindibile momento metodologico dell'atto di restauro, propedeutico ad un intervento efficace, calibrato e coerente. La disamina delle fonti archivistiche della Corporazione degli Orefici ha permesso la ricomposizione delle fasi costruttive della fabbrica, precisando e superando molte delle precedenti acquisizio-

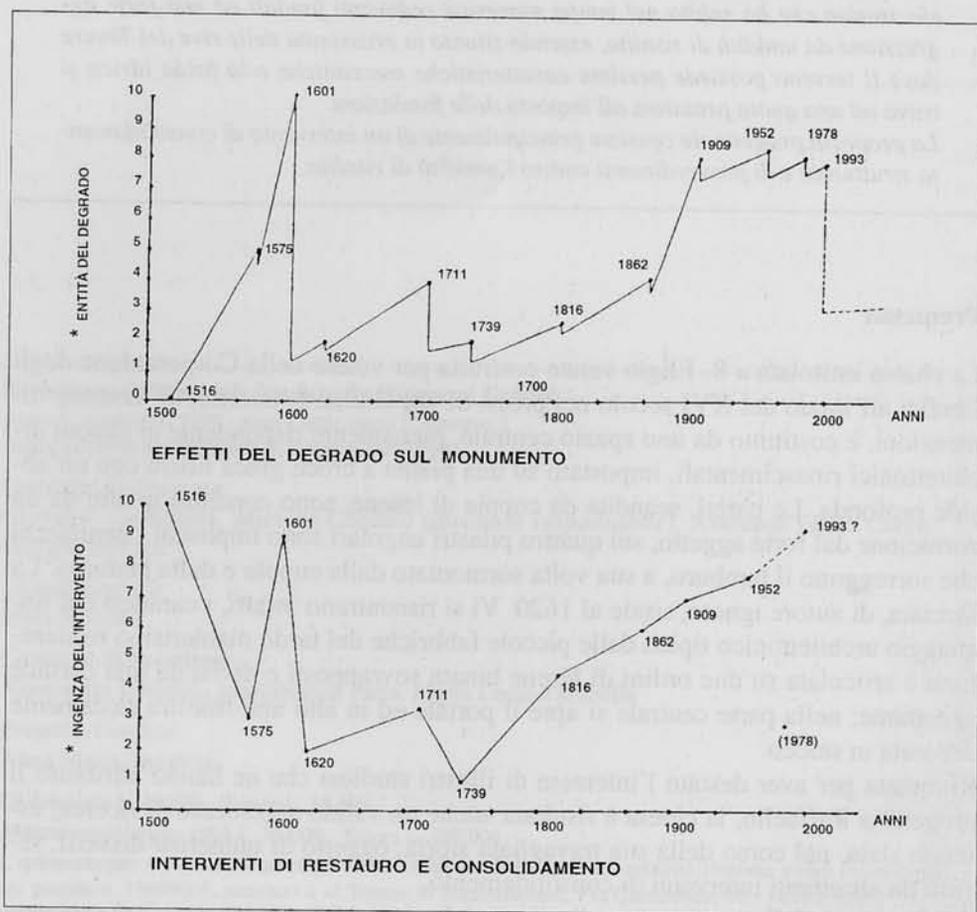


Fig. 1 I grafici mettono in relazione la gravità dei danni subiti dall'edificio e i risultati degli interventi ad essi conseguenti (* analisi soggettiva dei valori basata sui dati storici e documentari, sul rilievo e sull'analisi diretta).

ni, consentendo altresì di fornire la chiave di lettura dei dissesti statici che ne hanno segnato la storia.

1 Vicende storico - costruttive

Nel 1508 papa Giulio II concede alla Corporazione degli Orefici di erigere un nuovo edificio al posto della fatiscente chiesa medievale di S. Eusterio, già di loro proprietà insieme ad alcuni terreni situati nei pressi di via Giulia. La costruzione della nuova chiesa ebbe inizio nel 1516 e si protrasse fino al 1551; tuttavia, già nel 1575, si resero necessari interventi di consolidamento sulle strutture le quali manifestavano i primi sintomi di dissesto, a provocarlo furono essenzialmente la cattiva qualità dell'opera muraria delle fondazioni e le pessime caratteristiche meccaniche del terreno su cui poggiavano. Numerose opere provvisorie, quali puntelli e contrafforti a sostegno delle murature fuori terra, furono realizzate sino all'anno 1600, quando avvenne il crollo di parte del braccio di sud-ovest della chiesa. In seguito a tale evento, nel 1604 Flaminio Ponzio fu incaricato dagli Orefici di progettare e dirigerne il consolidamento. Esso consistette nella realizzazione dalle fondazioni fino al tamburo, di una fodera a tre teste di mattoni ben ammorzata a tutto il perimetro delle strutture preesistenti; la cupola invece, fu "fortificata" mediante l'inserimento di costoloni di rinforzo all'interno della struttura esistente.

Nel 1626, alcuni anni dopo l'erezione della facciata, fu costruita la cosiddetta "casa del cantone", secondo il progetto di Paolo Maru(s)celli, in raffinata continuità con le linee architettoniche esterne della chiesa. Seguirono poi continui interventi di manutenzione alle superfici ed alle coperture: i primi resi necessari dalla costante presenza di umidità di risalita dal terreno, ripetutamente alluvionato dalle acque del Tevere in piena, ed i secondi dalle infiltrazioni d'acqua sulle coperture.

Durante il XVIII secolo i documenti dell'archivio della Corporazione non registrano significativi interventi di consolidamento; ciò è spiegabile sia con l'assenza di gravi alluvioni (causa principale dei cedimenti del terreno), sia con la buona riuscita dell'intervento del Ponzio, che quindi procurò un effettivo miglioramento alle strutture. Tuttavia, le ingenti spese sostenute in quegli anni dagli Orefici attestano le numerose riparazioni dei danni alle coperture ed alle superfici interne, dovute alle infiltrazioni d'acqua che penetrava attraverso le discontinuità nelle strutture delle coperture. Nel 1711 pertanto, gli Orefici decisero di far rivestire con lastre di piombo la cupola e il cupolino della lanterna.

Inedita è l'ipotesi, sempre basata sulle fonti archivistiche, che la cripta sia stata realizzata intorno al 1750, ricavandola nel terreno sottostante il vano centrale della chiesa. Gli interventi operati nella prima metà del XIX secolo, sebbene di modesta entità, mutarono sensibilmente l'assetto formale della chiesa; essi riguardarono le superfici interne, gli affreschi ed il pavimento.

Ben più importanti furono invece le conseguenze sull'edificio dovute alla realizzazione degli argini del Tevere fra il 1875 ed il 1905. L'intervento sconvolse il suo già labile equilibrio statico, avendo prodotto una forte alterazione del sistema idro-

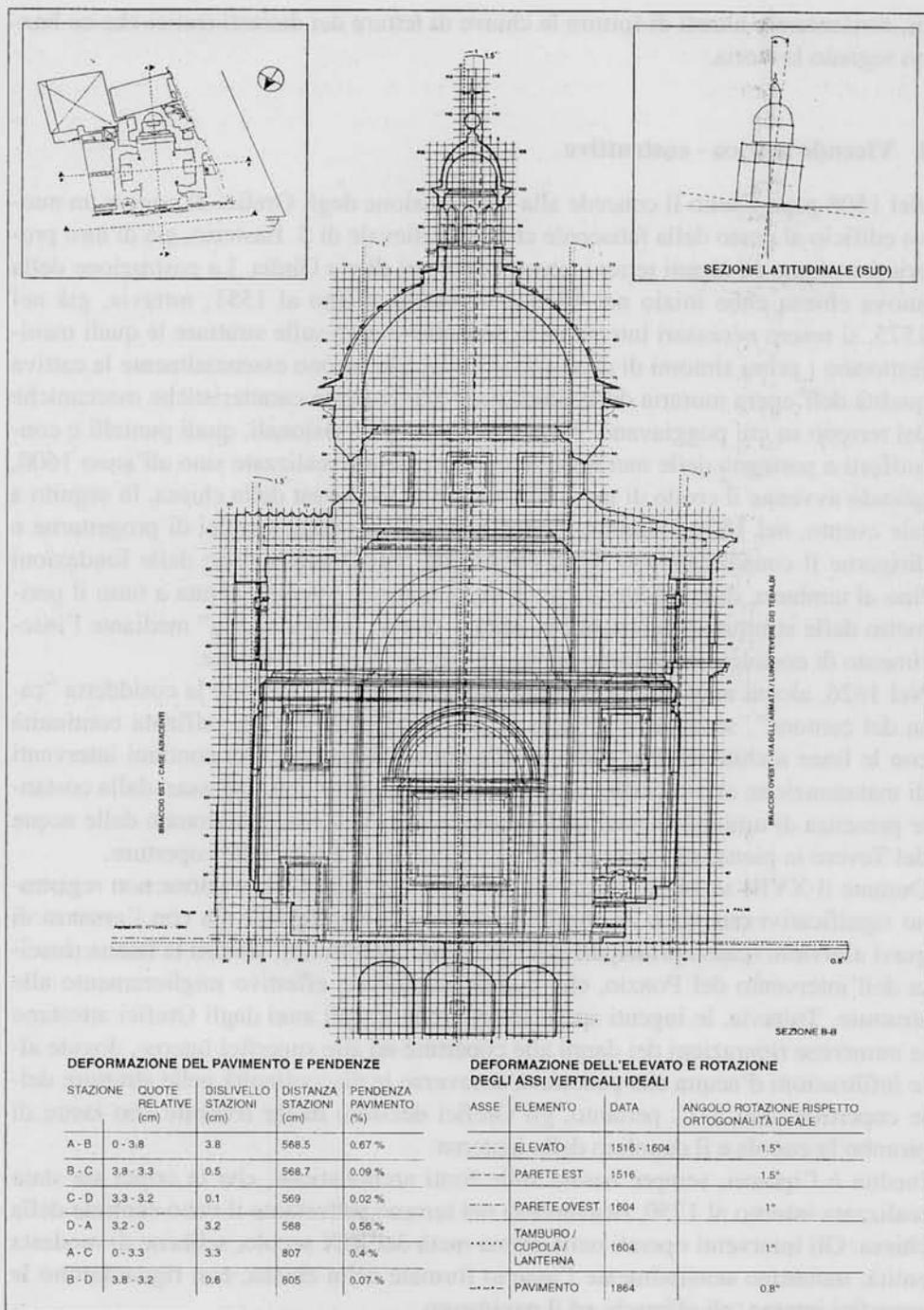


Fig. 2 Deformazioni strutturali: il rilievo topografico ha evidenziato le notevoli deformazioni subite dalle strutture nel corso del tempo; l'intero edificio risulta ruotato verso sud-ovest evidenziando il cedimento avvenuto nel terreno sul lato del Tevere.

geologico delle sponde del fiume. Gli alti muraglioni, costruiti per contenere le acque nell'alveo del fiume, provocarono infatti il rapido e rilevante innalzamento della falda acquifera; le deformazioni del terreno costituirono la causa principale del dissesto per cedimento differenziale di questo e di numerosi altri edifici costruiti in prossimità degli argini. Le condizioni strutturali della chiesa di S. Eligio furono quindi drammaticamente compromesse ed un nuovo intervento, eseguito fra il 1909 ed il 1911, si rese indispensabile.

Alcuni anni dopo, ulteriori problemi strutturali furono causati dalla costruzione del Liceo Virgilio (1936-1939), nelle dirette vicinanze della chiesa. Dai documenti d'archivio si evince che le opere di infissione dei pali di fondazione di questo nuovo edificio alterarono il regime di compressione del terreno circostante. Le vibrazioni indotte dalla loro battitura sortirono l'effetto d'una serie di microsismi sulle strutture della chiesa, alle quali l'intervento di consolidamento dell'inizio del secolo non aveva apportato un significativo miglioramento: a pochi anni di distanza da quest'ultimo la chiesa minacciava di crollare. Fu quindi avviato nel 1952 un altro ciclo d'interventi di consolidamento e restauro per rimediare ai dissesti statici e per bonificare le murature ammalorate dall'umidità. I documenti contabili che descrivono le opere, testimoniano un diffuso impiego di cemento armato, la messa in opera di catene inglobate nelle pareti e l'uso di sostanze chimiche impermeabilizzanti: essi investirono pesantemente strutture e superfici.

Le opere più recenti risalgono al 1977, quando furono eseguite opere di manutenzione straordinaria alla copertura in piombo della cupola e agli elementi in pietra del lanternino.

2 Stato attuale: problemi strutturali e di umidità

Un evidente riscontro delle descritte vicende statiche dell'edificio, si ha nell'attuale stato di deformazione delle strutture. Il rilievo topografico del monumento ha permesso di quantificare con buona approssimazione, la pronunciata mancanza di verticalità degli elevati, riscontrabile anche ad occhio nudo. La pendenza del pavimento della chiesa e l'inclinazione dell'asse verticale centrale verso sud-ovest è risultata di circa $1,5^\circ$: essa rivela la rotazione subita dalle strutture in conseguenza ai cedimenti del terreno sul lato verso il Tevere (fig. 2).

Le deformazioni del terreno di fondazione, da cui derivano i cedimenti differenziali della sovrastante struttura, sono spiegabili con la presenza alterna e discontinua dell'acqua nel suolo. Essa proveniva (e proviene) dalla falda idrica che scorre poco al di sotto del piano di posa delle fondazioni, a sua volta regolata dalle alluvioni, numerose fino alla costruzione dei muri d'argine del fiume. Questi ultimi furono poi responsabili dell'improvviso innalzamento della quota piezometrica; l'inevitabile conseguente aumento della pressione neutra comportò infatti la diminuzione delle tensioni efficaci del terreno, che in questa zona è costituito principalmente da materiale di riporto d'epoca romana poco consolidato con strati sottostanti di limo argilloso (fig. 3).

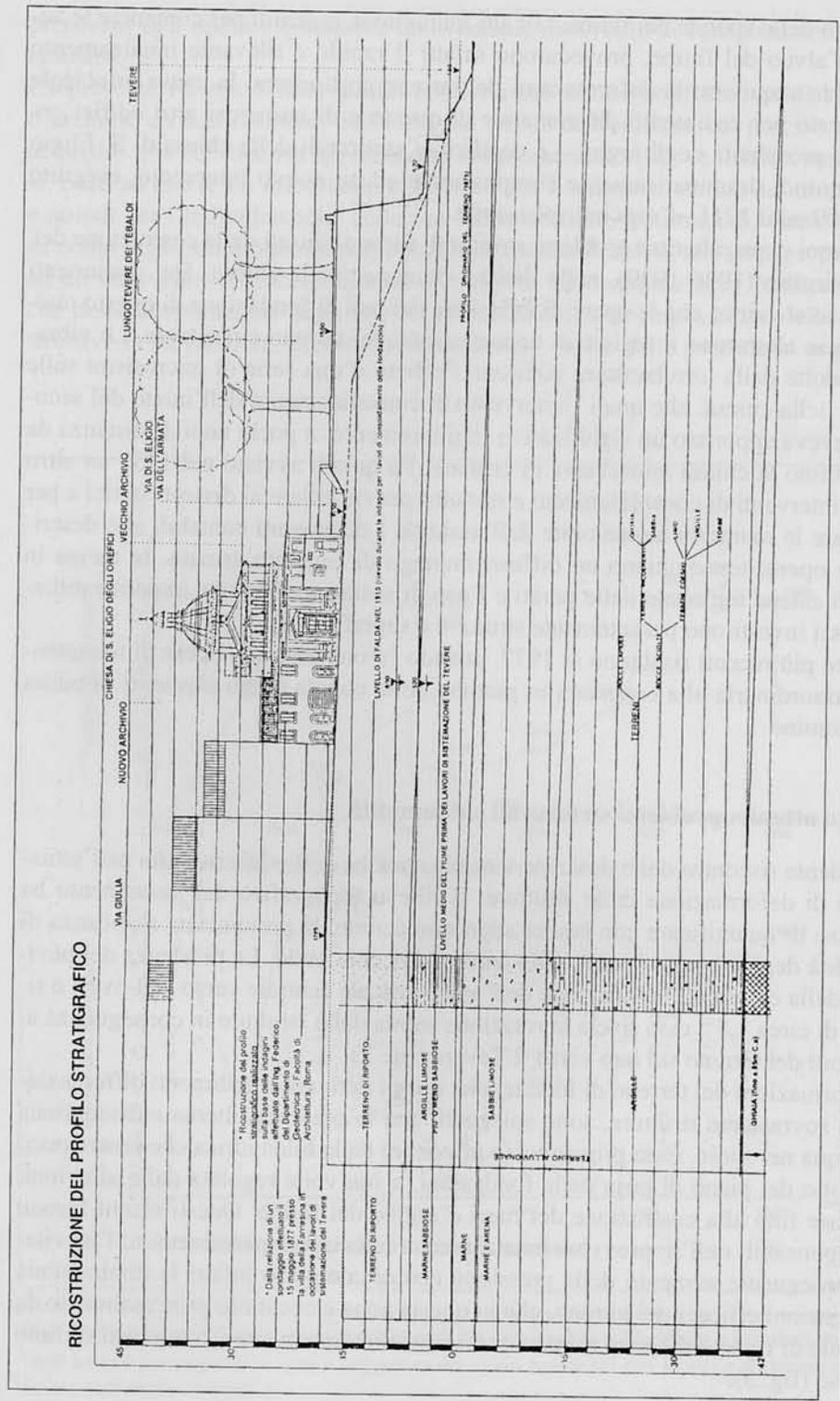


Fig. 3 Ricostruzione del profilo stratigrafico: le tensioni indotte dalle fondazioni nel suolo si esauriscono nello strato di terreno di riporto sottostante la chiesa a circa 12 metri di profondità, di scarsa coerenza e resistenza meccanica.

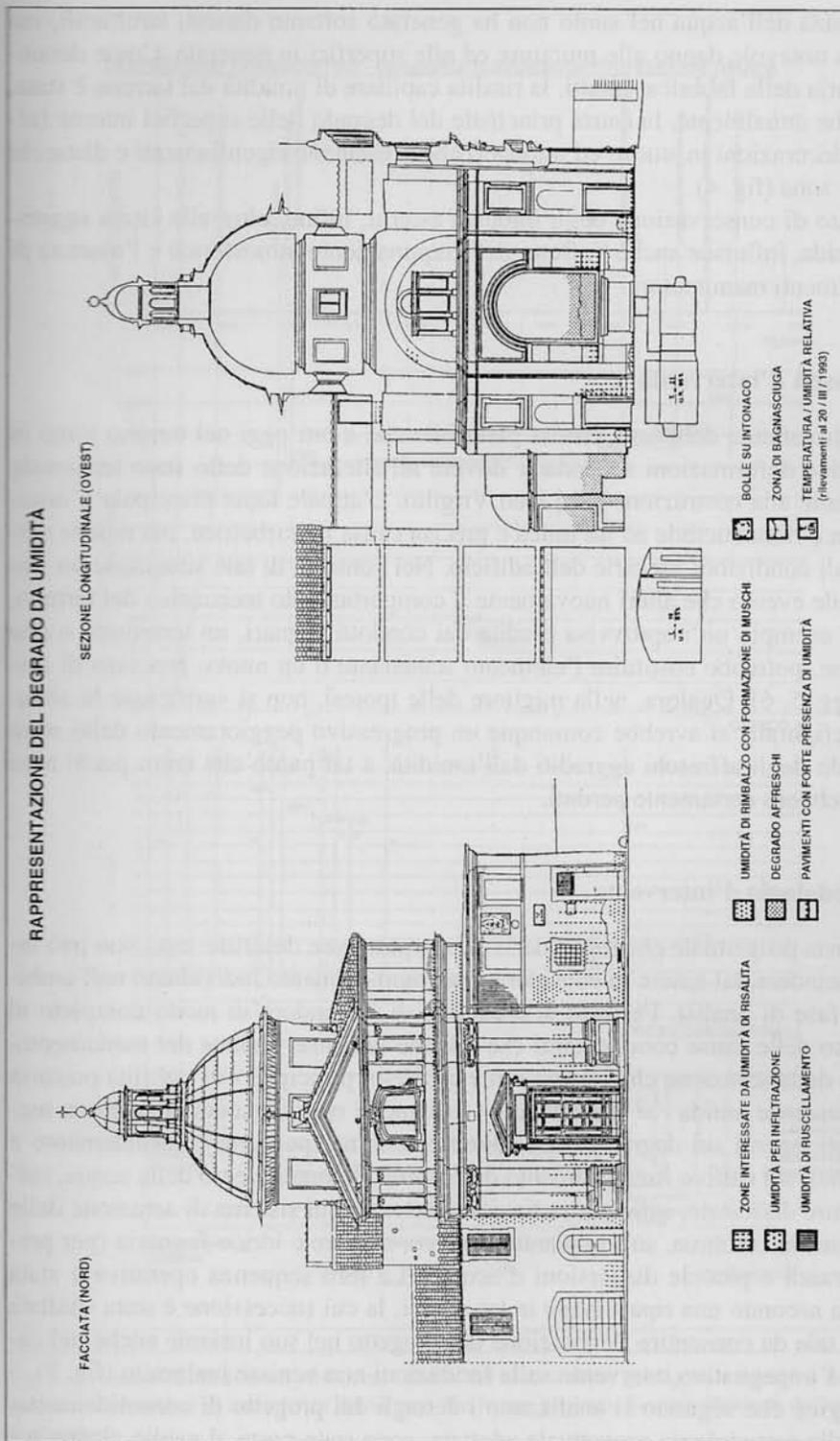


Fig. 4 Rilievo dell'umidità: la presenza di umidità negli ambienti e nelle murature è stata rilevata in tempi e con metodi diversi; la causa principale risiede nella risalita dell'acqua per capillarità dal sottosuolo.

La presenza dell'acqua nel suolo non ha generato soltanto dissesti strutturali, ma anche un notevole danno alle murature ed alle superfici in generale. Come denuncia la storia della fabbrica, infatti, la risalita capillare di umidità dal terreno è stata, ed è anche attualmente, la causa principale del degrado delle superfici interne (afreschi, decorazioni in stucco ed intonaci) che presentano rigonfiamenti e distacchi in ampie zone (fig. 4).

Sullo stato di conservazione degli intonaci esterni, infine, oltre alla citata aggressione umida, influisce anche l'effetto dell'inquinamento atmosferico e l'assenza di provvedimenti manutentori.

3 Necessità d'intervento

Dal quadro statico delineato, risulta plausibile che a tutt'oggi nel terreno siano in atto residue deformazioni secondarie dovute all'alterazione dello stato tensionale conseguente alla costruzione del Liceo Virgilio. L'attuale fonte principale d'instabilità non è riconducibile ad un'unica e precisa causa perturbatrice, ma risiede nelle generali condizioni precarie dell'edificio. Nel contesto di tale situazione un imprevedibile evento che alteri nuovamente il comportamento meccanico del terreno, come ad esempio un'improvvisa perdita dai condotti fognari, un terremoto o una esplosione, potrebbe costituire l'elemento scatenante d'un nuovo processo di dissesto (figg. 5, 6). Qualora, nella migliore delle ipotesi, non si verificasse la situazione prefigurata, si avrebbe comunque un progressivo peggioramento dello stato di degrado degli affreschi aggrediti dall'umidità, a tal punto che entro pochi anni essi andrebbero certamente perduti.

4 Metodologia d'intervento

La proposta progettuale che segue deriva dalle premesse descritte: essa non può infatti prescindere dal tenere in considerazione ogni elemento individuato nell'ambito della fase di analisi. Pertanto si è cercato di rispondere in modo completo al complesso delle cause concomitanti che minano la conservazione del monumento. A fianco della soluzione che integra i due problemi principali - di stabilità precaria e di aggressione umida - si prevedono un insieme di opere secondarie, ma non meno urgenti, agenti sul degrado delle superfici esterne (pulitura, consolidamento e protezione), sul cattivo funzionamento del sistema di smaltimento delle acque, sulle coperture dissestate, sulle discontinuità strutturali, sul sistema di aerazione delle cantine, sul microclima, sull'impianto elettrico, sulla rete idrico-fognaria (per prevenire grandi e piccole dispersioni d'acqua). La loro sequenza operativa è stata concepita secondo una ripartizione in tre stralci, la cui successione è stata studiata in modo tale da consentire l'esecuzione del progetto nel suo insieme anche nel caso in cui l'impegnativo intervento sulle fondazioni non venisse realizzato (fig. 7).

Nelle pagine che seguono si analizzano i dettagli del progetto di consolidamento. In base alla metodologia progettuale adottata, sono state poste al vaglio alcune so-

DIAGRAMMI RIASSUNTIVI - tempo/carichi/cedimenti/pressione neutra

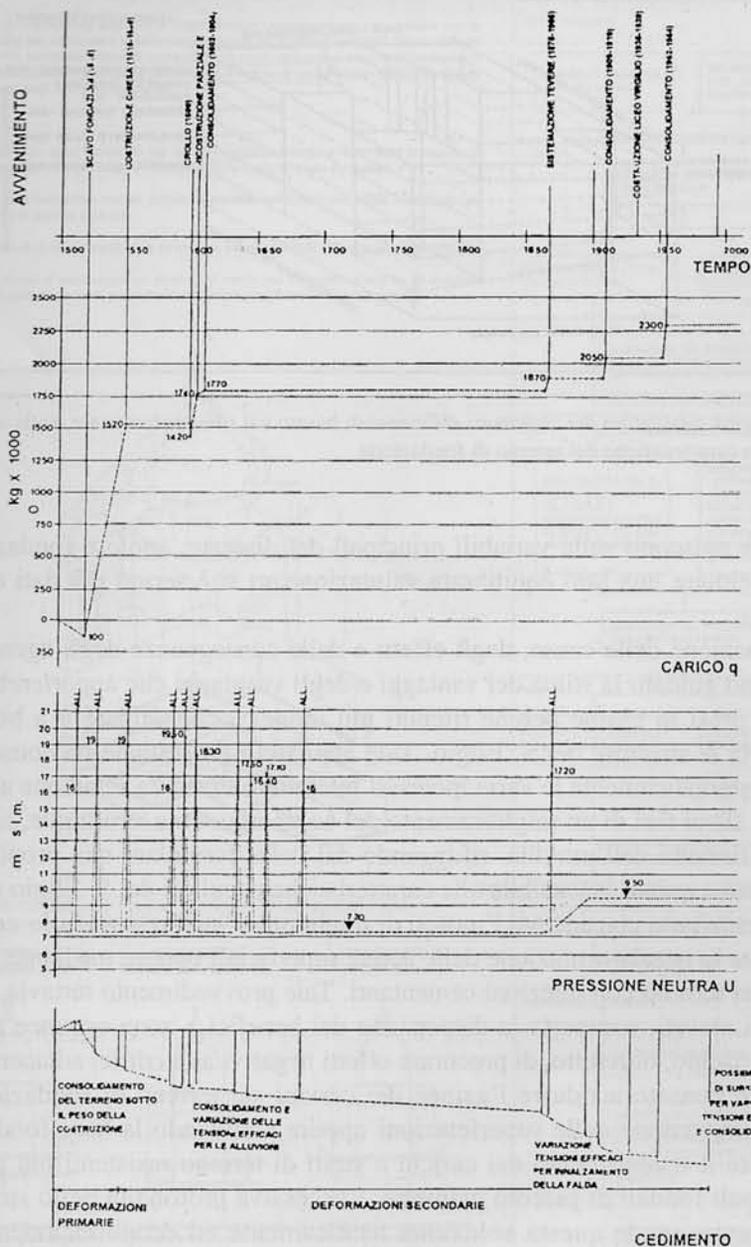


Fig. 5 Analisi dei cedimenti strutturali: studio del meccanismo geologico e statico e del decorso storico del fenomeno di subsidenza del terreno che hanno generato lo stato attuale di deformazione e di dissesto.