



RESTAURO MONUMENTALE E ARCHITETTONICO
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE

ASSISI

BASILICA SUPERIORE DI SAN FRANCESCO



IL CONSOLIDAMENTO DELLE VOLTE
LESIONATE DAL SISMA

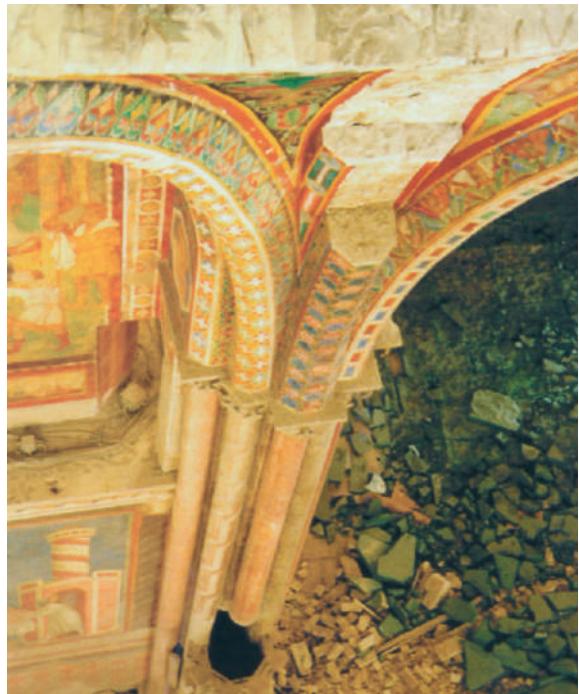
DANNI DEL TERREMOTO

Il 26 settembre 1997 un violento terremoto ha inferto profonde ferite alla Basilica. Un crollo ha interessato due punti della copertura voltata della chiesa determinando la morte di quattro persone e la perdita di tre vele affrescate con preziosi dipinti: quella raffigurante l'evangelizzazione della Giudea da parte di San Matteo, di Cimabue, posta all'incrocio fra la navata principale ed il transetto, e le vele di San Girolamo, dipinte da Giotto, poste all'inizio della navata proprio sopra l'ingresso.

Il sisma ha determinato inoltre gravissime lesioni alle volte superstiti, cosa che rendeva la Basilica vulnerabile anche nei confronti di una normale avversità atmosferica quale poteva essere un forte vento o un temporale. La situazione era quindi molto critica, dato che non si poteva garantire la sicurezza di quanti si trovavano a lavorare all'interno: prioritaria diventava allora la messa in sicurezza delle volte ed il loro consolidamento, anche per scongiurare la perdita di altri preziosi affreschi.



CAUSE DEI DANNI



Le strutture interessate da eventi sismici ne conservano la memoria, quindi essendo la zona ad elevata sismicità le volte hanno subito progressivi indebolimenti e perdite di forma, queste ultime molto pericolose su strutture che debbono la loro capacità portante proprio alla conservazione della loro geometria di progetto.

All'inizio dei lavori sono stati notati molti segni di disagio strutturale antecedenti, con maldestri tentativi di ripristino: questa è la prima seria motivazione per spiegare il collasso.

Sui rinfianchi delle volte, nel corso dei secoli, è stato accumulato il materiale di risulta dei rifacimenti del tetto, materiale incoerente e del peso di 1.200 tonnellate; per effetto dell'accelerazione (di circa 0,2 g) provocata dal sisma, su tale materiale non legato dalla malta si è generata una spinta orizzontale che ha provocato la perdita di curvatura delle nervature delle volte che hanno formato una cerniera verso la mezzeria e sono crollate trascinando con loro le vele. La localizzazione dei crolli presso la facciata ed il transetto è probabilmente da imputarsi alla maggior rigidezza di questi elementi strutturali rispetto a quella della navata stessa, ad essi saldamente unita.

(Le fotografie illustrano lo stato delle volte dopo il sisma)

SOLUZIONE ADOTTATA

Le volte superstiti si trovavano in una situazione assai precaria: erano presenti larghe fessure distribuite sia all'estradosso che l'introdosso; la curvatura originaria inoltre si era persa in diverse zone. Non essendoci la possibilità di intervenire in tempi brevi dall'interno della navata per i rischi di crollo, si è deciso di costruire una passerella sospesa al tetto, nello spazio tra questo e le volte con la duplice funzione di consentire l'ispezione e di creare una base di lavoro per il consolidamento delle volte all'estradosso.

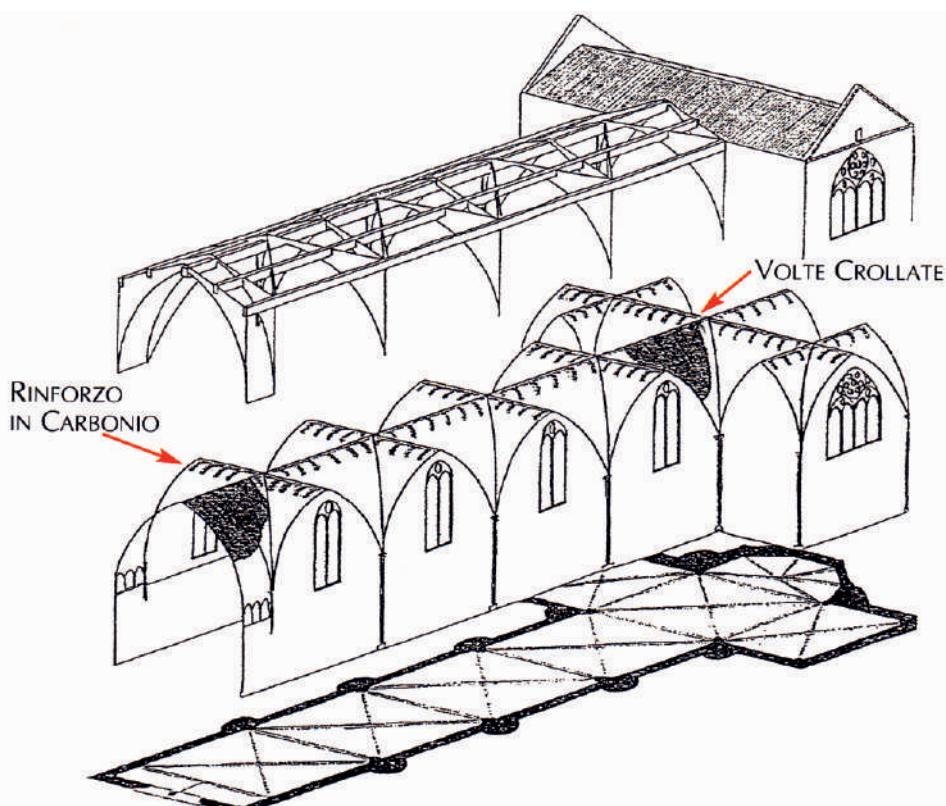
La filosofia progettuale che ha ispirato l'intervento d'uregnza di messa in sicurezza delle volte è stata quella di legare in tutte le sue parti la struttura, ripristinandone la continuità con promessa dallo stato fessurativo tramite la creazione all'estradosso di un esoscheletro in grado di assorbire nuove e pericolose sollecitazioni (anche perché scosse sismiche continuavano a susseguirsi).

Tale esoscheletro doveva essere leggero per non aggiungere peso proprio alla struttura, elastico, per consentire ulteriori piccoli adatta-

menti delle volte, e soprattutto ottenuto con l'impiego di un materiale drappeggiabile, in grado cioè di adattarsi all'andamento estremamente irregolare della superficie estradossale.

Per tutti questi motivi la scelta è caduta sul sistema **Carboniar®** in nastri di fibra di carbonio, materiale di eccezionale resistenza a trazione (3.500 MPa) e peso assai contenuto (1,8 kg/dm³).

A favore dell'intervento ha giocato l'esperienza acquisita nella progettazione e realizzazione di un intervento simile, su una villa del Palladio a Caldogno (Vi), in collaborazione e con l'approvazione della competente Soprintendenza, che aveva indicato fra gli input progettuali anche la necessità di non danneggiare in alcun modo eventuali affreschi sottostanti; tale intervento è stato presentato nel mese di maggio del 1997 ad Orvieto al 5° Congresso Nazionale dell'Associazione ASSIRCO (Associazione Italiana Recupero e Consolidamento Costruzioni).



(Schema della disposizione dei nastri sulle volte)

FASI OPERATIVE DELL'INTERVENTO

L'intervento è stato realizzato secondo il seguente ciclo applicativo:

- rimozione della grande quantità di materiale di riempimento nella zona delle reni delle volte;
- intasamento delle lesioni con una malta speciale priva di sali per limitare al massimo i possibili danni agli affreschi; ogni precauzione era stata comunque preventivamente presa, sotto la guida dell'I.C.R., inserendo per quanto possibile, nella parte inferiore delle fessure, una striscia di poliuretano, con funzione di sigillatura;
- accurata pulizia del supporto, con aspirazione di polvere e detriti superficiali;
- impregnazione dei laterizi con resine epossidiche diluite, per favorirne la penetrazione e per realizzare un ancoraggio più omogeneo ed in profondità tramite la creazione dei cosiddetti "aghi epossidici";
- regolarizzazione della superficie di incollaggio con malta epossidica, riempiendo le cavità ed i dislivelli dei corsi di mattoni, utilizzando un legante epossidico esente da solvente e cariche di quarzo sferoidale in curva granulometrica;
- stesura dei nastri in fibre di carbonio sui corsi precedentemente preparati;
- stuccatura dei bordi con pasta epossidica elastica per migliorare l'adesione dei carbonio nella zona perimetrale;
- saturazione finale con resina epossipoliuretanica esente da solventi a completamento del sistema di rinforzo.

Tra i vari input progettuali c'era anche quello della traspirabilità delle superfici affrescate: per questo motivo si sono poste le fasce di fibre di carbonio a 30-40 cm l'una dall'altra, evitando così la totale copertura.

Le varie fasi del ciclo, compiutamente realizzate nei tempi richiesti dal produttore di resina, hanno consentito di formare un tutto omogeneo e monolitico grazie alla reticolazione tridimensionale della resina, che evita polimerizzazioni parziali e conseguenti stratificazioni lungo il piano di posa.

Sono stati applicati circa 800 metri lineari di nastri, con un peso pari a poco più dell'1% del peso proprio delle volte.



(Alcune frasi di applicazione del tessuto in carbonio usato per ricucire le fessure)

CENNI STORICI

"Francesco, vai e ripara la mia chiesa, che come vedi è in rovina".

Così parlò il crocifisso presso la chiesetta di San Domenico, quando nel 1205 Francesco, un uomo minuto con la barba incolta e gli occhi sofferenti, vagando per le campagne di Assisi, la scoprì abbandonata ed in rovina.

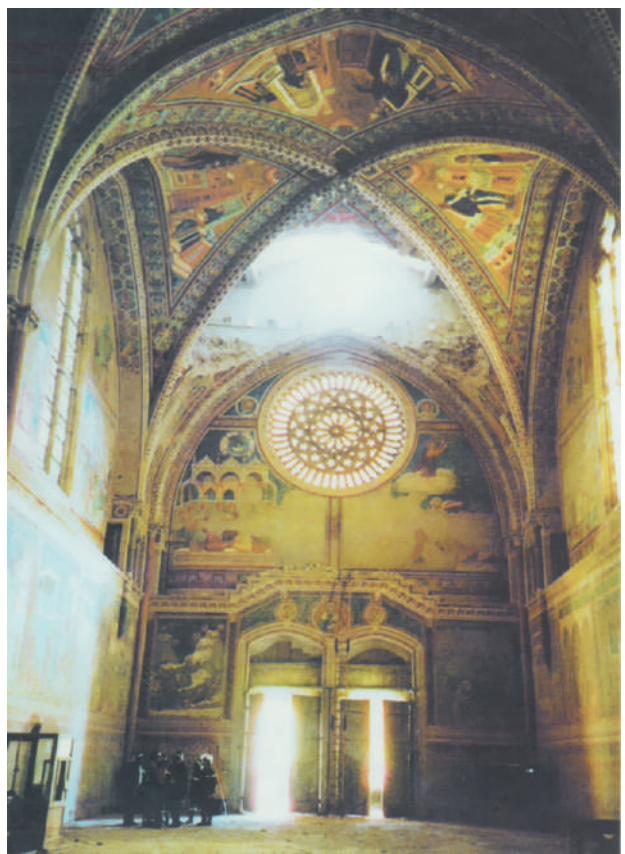
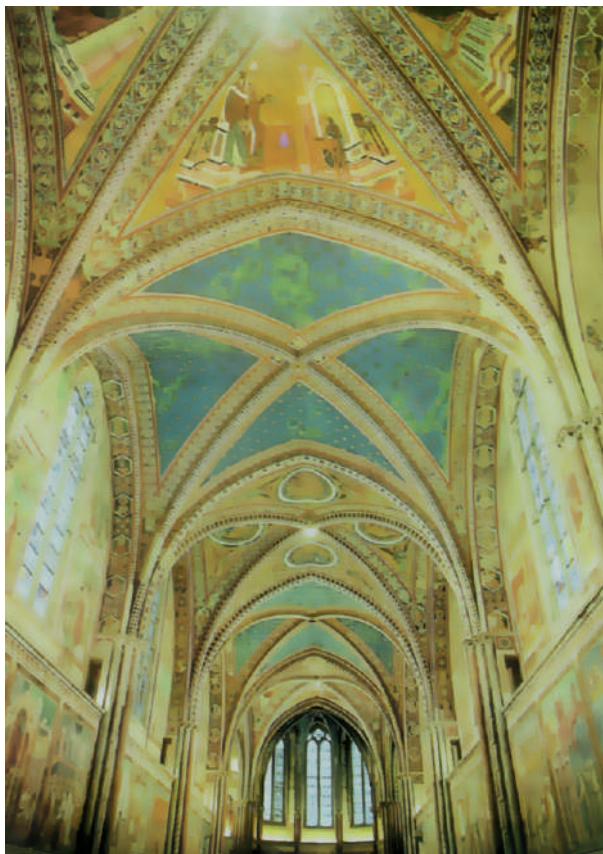
Dopo 792 anni, è proprio la Basilica dedicata al Santo assisiate la chiesa che ha rischiato di andare in rovina, scossa il 26 settembre 1997 da un violento terremoto che ha provocato profonde ferite al complesso edificato sulle pendici del Colle dell'Inferno, luogo dove venivano giustiziati i criminali, scelto dallo stesso Santo quasi a volerlo riscattare.

A distanza di otto secoli sembra che il diavolo si sia voluto giocare la rivincita, magari per vendicarne la proprietà.

La chiesa la cui prima pietra è stata posta dal papa Gregorio IX il 17 giugno del 1228 (sul progetto di frate Elia, teologo e architetto, successore di San Francesco alla guida dell'Ordine), dovette essere fin dall'inizio prevista su due livelli sovrapposti, uno per le celebrazioni solenni, l'altro per la venerazione del Santo, sepolto all'interno di una Cripta scavata nella viva roccia.

Tra i primi esempi di architettura gotica in Italia, fu il cantiere più importante del duecento e, come tale, riunì i più grandi talenti artistici dell'epoca; vi lavorarono Cimabue, Jacopo Torriti, Giotto, Simone Martini, Pietro Lorenzetti...

Qui grazie al loro genio nasce il moderno modo di pittura, un nuovo linguaggio che supera gli stereotipi bizantini per aprire le porte alle successive invenzioni rinascimentali.



(La navata principale prima e dopo il terremoto)

HISTORY

The church, whose first stone was laid by Pope Gregorio IX on 17 June 1228 - planned by Brother Elia, theologian and architect, who succeeded St. Francesco to the head of the Order - was intended from the beginning to develop on two superimposed levels, one of which for solemn functions, the other one for the veneration of the Saint, buried in a crypt dug into the rock.

At the beginning of the 13th century this construction site, among the first examples of gothic architecture in Italy, became the most important one and drew the greatest talented artists of that period: Cimabue, Jacopo Torriti, Giotto, Simone Martini, Pietro Lorenzetti...

Thanks to these geniuses, a new modern way of painting was born, overcoming the Byzantine stereotypes and paving the way to the subsequent inventions of the Renaissance.

THE ADOPTED TREATMENT

The force 8 on Mercalli scale earthquake (5,5 on Richter scale) caused the collapse of two vaults frescoed by Giotto and Cimabue.

Fortunately most of the vaults resisted, but the evident and serious damages, mainly in the keystones, demanded prompt fixing actions to make the structure safe and solid.

To this end an exoskeleton was made at the extrados in order to absorb new and dangerous loads. Such an exoskeleton had to be light to avoid adding extra weight to the structure, elastic to allow further small adjustments of vaults and above all, it had to be obtained by the use of an easy draping material, conformable to the extremely irregular extrados surface. For all these reasons the selected system was Carboniar carbon fibre tapes with an exceptional tensile strength (3.500 Mpa) and reduced weight (1.8 Kg/dm³).

The experience made in the project and realization of a similar intervention in a Palladio villa in Caldognio (Vi), with the approval and cooperation of the

concerned Government office, that among project criteria had underlined the necessity to avoid any damage to frescoes possibly lying beneath, has greatly helped in the choice of this kind of action.

WORK PHASES

The work was implemented as follows:

- removal of the big amount of filling material from the area of vaults' quarter points;
- filling the cracks with a special salt free mortar to reduce the risk of damaging frescoes to a minimum; all possible precautions were taken under the direction of I.C.R., by placing a polyurethane strip deep into the cracks in order to seal them;
- accurate cleaning of the structure sucking powder and rubble up from the surface;
- impregnation of masonry with diluted epoxy resins to ease its penetration and to make a deeper and more homogeneous anchorage by creating the so called "epoxy needles";
- smoothing down the gluing surface with epoxy mortar by filling hollows and height differences among the bricks using a solvent free epoxy binder and spheroidal quartz charges in particle size curve;
- spreading of carbon fibre tapes on previously prepared lanes;
- plastering of edges with elastic epoxy paste to improve carbon adherence onto the external area;
- final saturation with solvent free polyurethane epoxy resin to complete the reinforcement system.

Among the various project directions there was also the permeability of frescoes' areas: therefore, to avoid total covering, carbon fibre tapes were placed at a distance of 30-40 cm from each other.

Each phase of the work was implemented within the time required by the resin producer, and this allowed to make a homogeneous and monolithic whole thanks to the resin's threedimensional grid structure that avoids partial polymerizations and consequent stratifications on the laying surface.

800 linear meters of tapes were applied with a weight below 1% of the vaults' own weight.



RESTAURO MONUMENTALE E ARCHITETTONICO
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE

67049 Tornimparte (Aq) - Loc. Piè La Costa - Via delle Sette Fonti, 14
Tel. 0425 417217 - Fax 0425 410115 - info.gruppoiar@gmail.com