

APPLICAZIONI ■ Volte crollate, gravi dissesti, il pericolo di un crollo generale, questa la situazione del complesso basilicale di Assisi dopo il terremoto. Tutto questo ha costretto maestranze altamente specializzate a utilizzare tecnologie avanzate e sofisticate per eliminare le situazioni di pericolo e prevenire maggiori danni al patrimonio artistico. Vediamo da vicino il consolidamento strutturale nell'area del Sacro Convento, l'ala in cui si svolge la vita attiva della comunità monastica e dove risiedono alcune delle sue più importanti strutture che racchiudono tesori inestimabili, fra cui il Museo del Tesoro e la biblioteca.

Tesori salvati



Il complesso basilicale di Assisi insiste su un colle di notevole pendenza. Lo sperone (sulla sinistra) venne realizzato nel XVI secolo per contenere lo slittamento dell'edificio verso valle.

Il 26 settembre 1997 una violenta scossa di terremoto colpisce duramente il complesso basilicale di Assisi. Nella Basilica Superiore, il crollo della volta all'incrocio dell'aula con il transetto, annulla le testimonianze di un affresco di Cimabue, mentre il crollo della vela della prima campata e del sottarco che collega la vela con la controfacciata, distrugge parte di un affresco di Giotto, provocando inoltre la morte di due frati e di due tecnici della Soprintendenza, impegnati in un sopralluogo per valutare l'entità dei danni causati da una precedente scossa sismica.

Le ripetute vibrazioni sussultorie e ondulatorie di questo terremoto hanno traumatizzato il complesso francescano in molte parti, compromettendone gravemente la situazione statica.

Dopo avere già descritto alcuni degli interventi di consolidamento svolti nella Basilica ("Assisi, il consolidamento delle vele", *Il Nuovo Cantiere* n.4 - aprile 1999), abbiamo voluto entrare nel dettaglio delle lesioni subite dal Sacro Convento e delle operazioni di restauro effettuate per ripristinare l'integrità delle parti edificate.

A questo proposito, abbiamo appositamente incontrato l'architetto Marina Mucciarella, che ha partecipato alla progettazione dell'intervento, e l'ingegner Rosario Scarfone, direttore tecnico della Kimia, i quali ci hanno fornito le informazioni tecniche necessarie per approfondire le problematiche del cantiere¹.

Fig. 1 Tecnica di rigenerazione muraria tramite iniezioni di Limepor 100. Gli iniettori, fissati al reticolo di fori, permettono l'immissione di questo legante a base di calce idraulica pozzolanica. (foto Kimia)

LE LESIONI

Il sisma ha traumatizzato il Sacro Convento in molti punti. Essenzialmente, l'area conventuale ha subito uno scollamento diffuso delle pareti dagli orizzontamenti. Considerando il lato sud, c'è stato un tentativo di ribaltamento del fronte murario; lesionamento a taglio di tutti i setti trasversali e lesioni diffuse delle volte a padiglione e a vela delle celle. L'ambiente più colpito della parte sud è stato il Refettorio: una grande aula dalle dimensioni di circa 15 metri per 60 e coperta da volta a botte con unghie. L'effetto martellante dei setti murari trasversali su di esso ha provocato gravi dissesti e lesioni localizzate in più punti. La situazione è stata accentuata da problematiche geologiche riguardanti il terreno. Vari sondaggi hanno, infatti, evidenziato che il colle su cui insiste il monumento non ha una sedimentazione compatta, ma è costituito da pietra fratturata.



Sotto l'azione del sisma queste faglie hanno slittato le une sulle altre, facilitando il ribaltamento.

Problemi geologici anche per la zona ovest. Questa parte fu costruita su due banchi diversi, uno roccioso e l'altro con presenza di argilla. La faglia sotterranea è causa del movimento dell'edificio secondo due direzioni; questo genera un momento che ha provocato una lesione macroscopica (visibile dall'esterno) che attraversa tutto il blocco da cima a fondo. Ancora oggi questa lesione (cosiddetta "storica"), al sopraggiungere di un terremoto, costituisce un punto di vulnerabilità del complesso.

In questa zona, l'ultimo sisma ha provocato scollamenti della muratura causando gravi depressioni delle volte. La lesione, che si sviluppa a tutta altezza, ha maggiore ampiezza all'ultimo livello, dove vi è il salone papale. L'oscillazione della copertura ha provocato il crollo di un timpano (quello a nord) che, riversandosi verso l'interno, ha demolito una volta incannucciata, mentre verso l'esterno ha danneggiato alcuni tetti posti a quote più basse.

Fig. 2 Le iniezioni di legante a base di calce idraulica pozzolanica hanno interessato diffusamente le murature del Sacro Convento. (foto Kimia)



¹ Per chi volesse approfondire l'argomento, si veda: *Il Sacro Convento di Assisi. Storia e restauro dopo il sisma del 26 settembre 1997*, a cura di Paolo Rocchi e Padre Nicola Giandomenico - redazione scientifica Marina Mucciarella, RR Edizioni, Matera, 2000.



Fig. 3 Il mantello di copertura delle volte interne del Sacro Convento consiste in un massetto realizzato con resina epossidica bicomponente. (foto Kimia)

Subito dopo il sisma si è intervenuti ovunque con un puntellamento attivo, arginando così il rischio di altri crolli. Altre lesioni notevoli si sono verificate sempre a quote alte nella zona nord, caratterizzata da un edificio a sviluppo longitudinale, formato da tre livelli di ambienti voltati (i primi due a botte, mentre l'ultimo da una successione di volte a crociera). All'ultimo livello, si è registrato un effetto maggiore del sisma: la

successione di volte a crociera ha esercitato un'azione spingente sulle murature che si sono completamente aperte. Fortunatamente le catene, presenti in questo ambiente da secoli, hanno contenuto la spinta evitando il crollo delle volte. A testimonianza di questo, si è verificato il tipico piegamento a farfalla dei capichiave.

Un altro danno rilevante si è verificato per il muro di separazione tra il chiostro di Sisto IV (che è il chiostro principale attorno al quale si organizzano tutti gli altri edifici conventuali) e l'attiguo chiostro dell'Immacolata, di dimensioni più limitate. L'azione dell'onda sismica ha provoca-

to forti ondeggiamenti di questo muro di altezza notevole. Il lato rivolto verso il chiostro di Sisto IV ha danneggiato gli appoggi del sistema voltato: le colonnine, molto esili e con rigidità minima, non hanno potuto far fronte alla pesante massa muraria. Ne è conseguita una perdita della geometria originaria di tutte le volte presenti, che ha provocato nei due chiostri una depressione verso est, e un impennamento verso ovest. Le volte minacciavano il crollo, ma il tempestivo puntellamento fortunatamente ha evitato il peggio.

Questi, in sostanza, i danni più gravi che hanno colpito il convento. Lesionamenti meno incisivi si sono verificati un po' ovunque: classiche lesioni a taglio (sia sui setti trasversali che sui sistemi voltati), e leggeri scollamenti delle volte dalle pareti. Complessivamente però si è trattato di eventi non preoccupanti. Il dormitorio, la lunghissima ala costituita da tre livelli di ambienti voltati con celle, ha subito alcuni lesionamenti. Al livello superiore, sono crollate alcune volte a padiglione, mentre i piani bassi, invece, non hanno subito danni.

LA FASE DIAGNOSTICA

Subito dopo il sisma, ha avuto inizio la fase diagnostica, che ha permesso di calibrare gli interventi di consolidamento. Ovunque sono stati posizionati sensori per il monitoraggio e la registrazione delle scosse: questa operazione, iniziata il 27 settembre 1997, è in parte durata fino all'estate del '99, in parte è tuttora in corso per verificare l'efficacia degli interventi.

Sono stati utilizzati diffusamente i fessurimetri, per controllare l'andamento delle lesioni, e gli inclinometri, per controllare i fuoripiombo delle murature. Tra le prove diagnostiche non distruttive, quelle soniche si sono dimostrate valide per verificare la presenza di vuoti all'interno della muratura. È stata eseguita poi una verifica sul tensionamento delle vecchie catene (tutte quante "provate" dal sisma), per valutarne un'eventuale sostituzione: all'interno del refettorio, è stato ripristinato il tensionamento; in altri punti, c'è stata invece una sostituzione completa.

Per quanto riguarda le murature, oltre alle prove soniche sono state utilizzate le endoscopie, che consistono nell'esecuzione di alcuni fori nella muratura e nell'osservazione diretta (tramite endoscopia) della situazione interna dei muri. Per misurare la quota di attestazione delle fondazioni e avere informazioni di carattere geologico sono stati eseguiti carotaggi. Alcune prove soniche ed endoscopiche, sono state eseguite prima e dopo gli interventi di consolidamento. Prima, per denunciare le perdite di consistenza del sacco murario e giustificare così gli interven-



Fig. 4 La stesura del massetto epossidico sull'estradosso delle volte interne è stato preceduto da un'accurata rimozione del materiale di risulta che le appesantiva pericolosamente. (foto Kimia)

Situato lungo lo scosceso dirupo che forma il versante nord-ovest della città di Assisi, il luogo dove sorge il complesso francescano ha un'orografia particolare essendo caratterizzato da un'aspra pendenza del colle. A ragione quest'ultimo venne denominato Colle dell'Inferno anche perché, secondo la tradizione, era stato luogo di esecuzioni capitali. Più tardi il nome venne modificato in Colle del Paradiso, per la presenza del corpo di San Francesco.

Sorto nella prima metà del XIII secolo, il complesso monumentale di San Francesco risulta composto dalle due Basiliche, orientate secondo l'asse est-ovest, e dal Sacro Convento che racchiude, per quasi tutta la sua lunghezza, il corpo della chiesa. Committente fu papa Gregorio IX, forza trainante l'architetto frate Elia che, sfruttando l'orografia del luogo, aveva previsto uno sviluppo altimetrico su due piani, di identica forma planimetrica sia per il livello inferiore adibito a mausoleo (Basilica Inferiore), sia per la chiesa superiore (Basilica Superiore) che, fin dall'inizio, fu invece destinata ad accogliere le folle dei pellegrini, obbedendo alla stessa funzione degli altri edifici sacri degli ordini mendicanti.

Fu Gregorio stesso a porre la prima pietra della Chiesa Inferiore il 17 luglio 1228, giorno successivo alla canonizzazione di Francesco e a due anni di distanza dalla sua morte. Due anni dopo, il 25 maggio 1230, le spoglie del Santo vennero trasferite dalla chiesa di S. Giorgio (sul versante orientale del colle di Assisi), nella Chiesa Inferiore non ancora terminata. La collina non disponeva di un'area edificabile sufficientemente estesa. Per questo motivo si dovettero apprestare i possenti muraglioni di sostegno, i quali impartiscono al convento quell'aspetto fortificato che lo caratterizza. Nel XIII secolo vennero costruiti un primo piccolo edificio conventuale e un palazzo per i papi. Nel XIV secolo il complesso venne ampliato una prima volta. In seguito papa Sisto IV, appartenente all'ordine francescano, fece totalmente ristrutturare e ingrandire nuovamente gli spazi conventuali: lo stesso sperone fu un intervento del 1500 che quel papa fece realizzare per poter arginare lo slittamento dell'edificio verso valle.

Straordinaria espressione dell'arte gotica italiana, la chiesa di San Francesco conserva gli affreschi dei maggiori pittori del Duecento e del Trecento: Cimabue, Giotto, Simone Martini, fratelli Lorenzetti: un'eredità inestimabile che quelle interminabili scosse di terremoto hanno seriamente danneggiato.

mento armato in quanto alcuni interventi fatti negli anni passati con quel materiale si sono rivelati invasivi e deleteri. Allora si era fatto largo uso di quel materiale, senza però

badare a una rigenerazione delle murature esistenti: questo ha creato forti discontinuità tra murature con resistenza bassa (caratterizzate da malte scadenti) e setti e cordoli in cemento armato con modulo elastico abbastanza elevato.

Questa la causa per cui le violente scosse del '97 hanno fatto crollare alcuni elementi in muratura, mentre tutto ciò che era in cemento armato è rimasto pressoché intatto.

Il consolidamento delle murature del Sacro Convento (in particolare dei muri perime-

Fig. 6 Manto di copertura realizzato a spruzzo, con malta speciale fibrorinforzata, prodotto che presenta un'alta resistenza ai solfati. (foto Kimia)



Fig. 5 La doppia armatura in acciaio sull'intradosso delle volte: la prima armatura è già stata completamente coperta con la malta. (foto Kimia)

Il primo obiettivo era restituire compattezza alle murature aumentandone la resistenza per far fronte a eventuali sismi futuri.

Sono stati smantellati anche i pavimenti e alleggerite le volte, mentre la spinta delle arcate è stata eliminata con l'impianto di una serie di ben calibrate catene.

Gli interventi di miglioramento antisismico hanno riguardato soprattutto la realizzazione di nuovi incatenamenti e pseudocordoli in acciaio per legare tra loro copertura e muratura, rispettando pienamente le direttive delle circolari ministeriali emanate subito dopo il sisma.

Durante il consolidamento è stato evitato l'utilizzo di ce-



ti di rigenerazione eseguiti con specifici prodotti; dopo, come verifica degli interventi stessi, per valutare se la malta utilizzata aveva restituito compattezza o meno alla muratura. Per verificare resistenza e consistenza delle murature, si è fatto uso di martinetti piatti, sia singoli che doppi.

Essenziali anche i rilievi geometrici e stratigrafici, che hanno costantemente accompagnato gli interventi di restauro, facendo comprendere storicamente le fasi costruttive degli edifici di cui spesso non si avevano approfondite notizie, e portando in alcuni casi alla luce realtà storiche non previste. Alcune prove sismiche eseguite negli ambienti della biblioteca avevano indicato infatti delle zone vuote all'interno delle murature. Ritenendo poco probabile un'eccessiva slegatura del sacco murario (in quella zona spesso circa tre metri), sono stati effettuati dei sondaggi esplorativi che hanno portato alla scoperta di un sistema segreto di stretti collegamenti verticali tra la biblioteca e il dormitorio.

IL CONSOLIDAMENTO

Gli obiettivi del progetto, orientati verso tecniche non invasive e compatibili con l'edificio, hanno previsto la rigenerazione complessiva delle murature perimetrali e dei solai, con l'utilizzo di particolari materiali.

Fig. 7 Per il consolidamento del tetto, la realizzazione del mantello in betoncino epossidico è stata preceduta da una mano di resina bicomponente. (foto Kimia)



trali), è stato portato a termine tramite la tecnica di rigenerazione muraria. Per questa tecnica, sicuramente innovativa, sono state messe a punto delle malte particolari dalla Kimia di Ponte Felcino (Pg) che, raggiungendo facilmente gli interstizi delle murature e fondazioni a sacco, sono state in grado di riconferire a esse rigidità e compattezza. Questo intervento è stato applicato diffusamente, poiché il sisma aveva fatto perdere compattezza al sacco murario un po' ovunque. Precedentemente, sulla muratura è stato realizzato un fitto reticolo di fori leggermente inclinati. Successivamente, tramite iniettori fissati nelle perforazioni, e procedendo dai fori inferiori verso quelli superiori, è stato immesso (a pressione lievissima) il Limepor 100, un legante a base di calce idraulica pozzolanica (fig. 1). Questo materiale ha un'alta resistenza all'aggressione chimica provocata dai solfati presenti nella muratura e nel

terreno, ed è perfettamente compatibile, chimicamente e fisicamente, con i componenti originari della muratura, e ha inoltre caratteristiche meccaniche simili. Grazie all'elevato potere di penetrazione, il legante si è diffuso capillarmente saturando fessure e cavità, consentendo un'azione decisa ma al tempo stesso rispettosa dell'identità storico-strutturale del manufatto (fig. 2). Altro obiettivo del consolidamento è stato l'alleggerimento delle strutture voltate. Su quasi tutti i sistemi voltati sono stati demoliti i solai di calpestio. Le volte, appesantite dal materiale caotico di risulta, tra cui enormi

ripulite, consolidate all'estradosso e successivamente riempite con un materiale molto leggero: argilla espansa impastata con della boiaccia, che ha ridotto notevolmente i carichi. Riducendo i carichi sulle volte, si riduce anche la spinta sulle murature, e il sistema reagisce meglio al sisma. Sulle strutture voltate non portanti è stata realizzata una leggera struttura estradossata usando del betoncino epossidico, composto da resina epossidica fluida (EP-IN) mescolata con inerte in curva granulometrica (Kimifill HM), per assicurare stabilità e compattezza alla volta (figg. 3 e 4).

Dopo aver svuotato e irrigidito

le volte, sono stati irrigiditi anche i calpestii tramite tirantature. Le piastre, ammorsate alla muratura, sono state nascoste tramite piccoli scassi poi ricoperti con della pietra in foglio, per ovvie questioni estetiche.

Un importante intervento è stato portato a termine sulla volta su cui insisteva la biblioteca, i cui carichi, già notevoli, dovevano essere aumentati. Dapprima il progetto era orientato, in osservanza al decreto ministeriale, verso l'utilizzo di travi d'acciaio a T, alte 45 centimetri: questo però avrebbe comportato non solo un aumento del piano di calpestio di 60 centimetri, ma anche la realizzazione di buchi longitudinali nella muratura per far poggiare queste travi. Sarebbe stato perciò un intervento troppo invasivo per la volumetria di quell'ambiente.

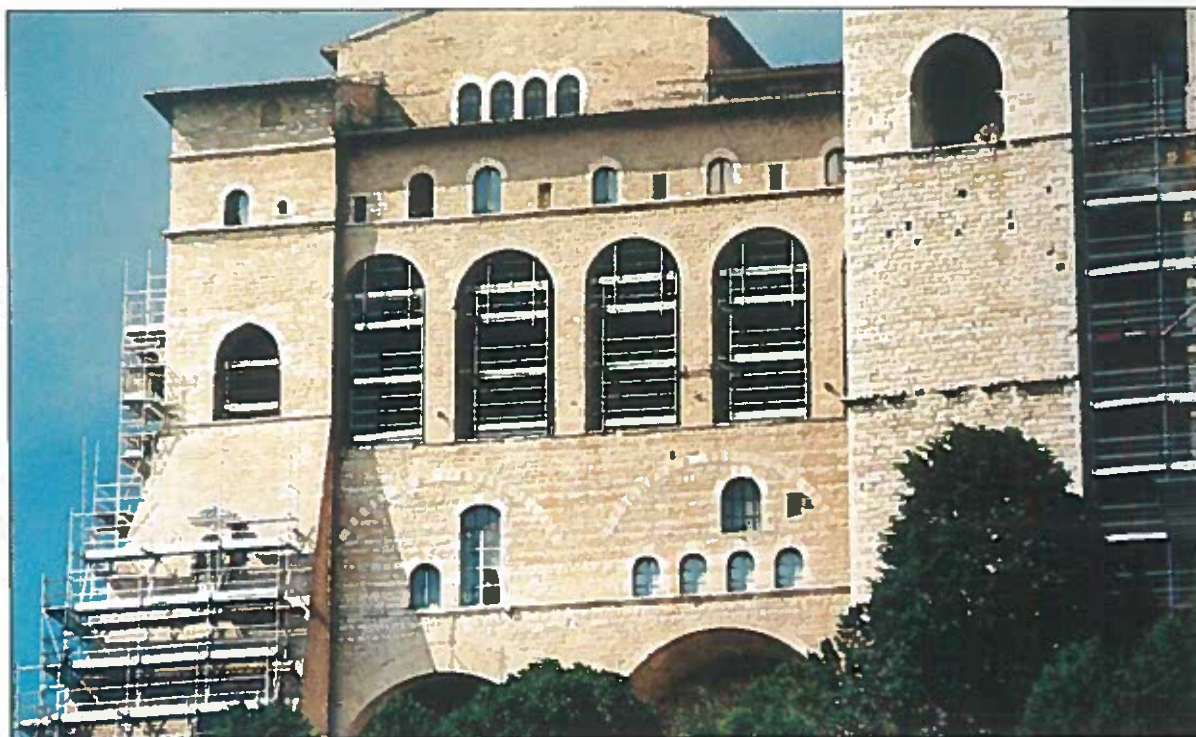
La soluzione è stata trovata realizzando una controvolta intradossata: in altre parole, la volta che reggeva questi carichi, all'intradosso è stata rinforzata con una controvolta di soli otto centimetri. Mediante perforazione, è stata ancorata all'intradosso una serie di perni di fissaggio in acciaio di idoneo diametro all'interno dei fori, prima puliti con aria compressa, è stata iniettata resina epossidica (EP-TX) e, successivamente sono stati inseriti i perni. Sempre all'intradosso sono state posizionate due armature in rete di acciaio, alternate a due manti di copertura realizzati a spruzzo con malta speciale fibrorinforzata resistente ai solfati (Betonfix FB) in modo da ottenere la regolarizzazione delle superfici (figg. 5 e 6).

Per la sostituzione di alcune catene è stato utilizzato l'ac-



Fig. 8 Sui paramenti esterni, dopo un'accurata pulitura, è stato applicato un protettivo idrorepellente con elevata capacità di penetrazione (foto Kimia).

Fig. 9 La veduta parziale del complesso basilicale evidenzia la diversità tra le superfici trattate con il protettivo (a sinistra) e quelle ancora non sottoposte a trattamento (a destra). (foto Kimia)



acciaio Diwydag. Si tratta di barre lisce caratterizzate da altissimo modulo elastico, e collaudate con una chiave dinamometrica particolare, che permette di calcolare esattamente il "tiro" e, in occasione di perdita di tensione, eventualmente di restituirglielo. Tutti i capichave non sono più a paletto ma a piastra, per aumentare la superficie d'appoggio, e quindi distribuire la forza di strappo in caso di sisma.

Dove occorre, le coperture sono state ammortate alle murature tramite pseudocordoli. Il classico cordolo in cemento armato, è stato sostituito da una tecnica particolare consistente in barre verticali diversamente inclinate che, partendo dalla copertura, sono state infilate nella muratura, come un pettine. In alcune zone-dove era stato individuato il distacco di due murature trasversali (soprattutto tra palazzo ovest e palazzo nord), sono state eseguite delle cuciture angolari (anche in questo caso, barre diversamente orientate che vengono ammortate tra due murature contigue per ripristinare l'aderenza delle murature).

Il consolidamento dell'intero tetto di copertura del Sacro Convento è stato effettuato per mezzo di un mantello realizzato con betoncino epossidico.

L'applicazione, realizzata con procedimenti manuali, è stata preceduta da una mano di resina sintetica bicomponente (Kimbeto Primer), al fine di rendere meno polveroso possibile il supporto e assicurare, quindi, maggiore adesione al mantello epossidico (fig. 7).

Tutti gli interventi di consolidamento hanno richiesto caratteristiche di compatibilità e

reversibilità dei prodotti utilizzati. La reversibilità è stata applicata sugli elementi in acciaio (una volta tolta la piastra, se necessario è possibile sfilare l'acciaio). Per quanto riguarda la compatibilità, si è cercato di rispettare anche granulometricamente la composizione delle malte storiche presenti: l'uso di malta a base di calce e pozzolana ha dimostrato incredibile affinità con i materiali esistenti.

I paramenti esterni del Sacro Convento sono stati oggetto di un'accurata pulitura. È stato utilizzato il metodo los, costituito da una sorta di idropulitrice il cui getto non arrivava sulla superficie direttamente ma con traiettoria elicoidale, rispettando così il paramento lapideo.

Dopo la pulitura, le zone ricoperte da croste nere sono state sottoposte a impacchi di carbonato d'ammonio, e successivamente sull'intera superficie asciutta è stato applicato un protettivo idrorepellente a base di resine silossaniche in solvente, con elevata capacità di penetrazione (Kimistone Idrorep) (fig. 8).

L'esposizione ai venti e gli agenti atmosferici in genere nel giro di pochi mesi avreb-

be infatti facilitato la ricrescita di vegetazione infestante (ad esempio licheni e muschi) sulla superficie lapidea. In questo senso, la scelta del protettivo è stata determinante.

Di solito gli impermeabilizzabili (ad esempio quelli a base di resine acriliche, che oltretutto ingialliscono col tempo provocando sgradevoli effetti cromatici) non fanno penetrare l'acqua all'interno della pietra, ma nello stesso tempo

ne impediscono una corretta traspirazione, portando alla formazione, dopo breve tempo, di un deposito acquoso sotto qualche millimetro di materiale e al distacco di una pellicola esterna.

Al contrario, un buon protettivo deve proteggere l'evaporosità della pietra dall'interno, creando sì una sorta di schermo e di barriera, ma permettendo alla pietra di "respirare" (fig. 9).

Tutto il cantiere

Progetto Giubileo (ex Legge numero 270/97) extra Lazio
Restauro - Consolidamento - Accoglienza - Palazzo Nord e Palazzo Ovest

Variante:
Committenti:

Palazzo Sud
 Comunità Conventuale dei Frati Minori
 Patriarcale Basilica di San Francesco
 d'Assisi
 Prof. Arch. Paolo Rocchi
 Prof. Ing. Giorgio Croci

Progettisti:

**Alta sorveglianza
 della Sovrintendenza:**
Direzione lavori:

Arch. Costantino Centroni
 Prof. Arch. Paolo Rocchi
 Ing. Giuseppe Carluccio

**Assistenza
 alla direzione lavori:**

Arch. Marina Mucciarella,
 Arch. Annarita Turlò
 Fillippucci Costruzioni (Matera)
 Eustacchio Lunaldi

Impresa:
Direttore di cantiere:
Direttore tecnico
Kimia:

Ing. Rosario Scarfone