



NUOVO SISTEMA DI RESTAURO STRUTTURALE

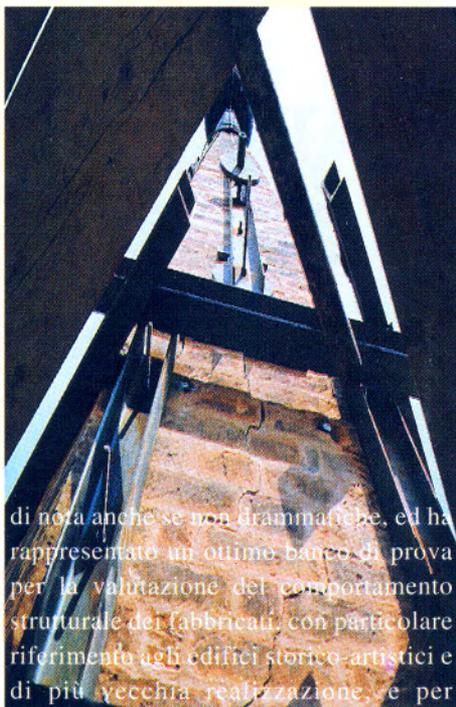
Emergenza terremoto a Reggio Emilia

Le lesioni gravissime causate dal sisma del 15 Ottobre 1996 a Reggio Emilia hanno dato l'occasione di dimostrare fino a che punto la tecnica di ricostruzione strutturale di nuova concezione promossa da ITON superai qualsiasi tipo di restauro tradizionale e riesca a ripristinare le condizioni di sicurezza statica di edifici di indubbio valore storico che sembravano irrimediabilmente compromessi.

Il giorno 15/10/96 alle ore 11,56 un terremoto di magnitudo 4,8 Richter e del VII grado Mercalli ha colpito la pianura padana, principalmente le province di Reggio Emilia e Modena con epicentro nel paese di Novellara (RE).

I massimi valori di picco delle accelerazioni si sono avuti appunto in zona vicina al centro di Novellara (0,20 g in direzione orizzontale e 0,09 in quella verticale, con g accelerazione di gravità).

Il terremoto del 15/10/96 è stato certamente uno dei sismi ad intensità più elevata per il territorio della bassa reggiana. A tutt'oggi, la regione interessata non è classificata sismicamente e pertanto non è ancora soggetta a normativa antisismica. Il terremoto ha avuto conseguenze degne



di nota anche se non drammatiche, ed ha rappresentato un ottimo banco di prova per la valutazione del comportamento strutturale dei fabbricati, con particolare riferimento agli edifici storico-artistici e di più vecchia realizzazione, e per l'applicabilità di tecnologie antisismiche innovative, nonché dell'adeguatezza della

rete di registrazione sismica e dell'efficacia nell'elaborazione dei dati ottenuti. Pochi i crolli a terra causati dal terremoto, numerosissimi invece i casi di lesioni gravi, che avrebbero anche potuto essere considerate irreparabili utilizzando modalità di restauro tradizionali.

Si sono avute infatti lesioni e spostamenti di parti di tale entità da influire anche sull'aspetto architettonico dei monumenti: si sono visti campanili tranciati a metà

con spostamento relativo orizzontale delle parti di circa 20 cm, cornicioni che fra le parti fratturate hanno assunto dislivelli di 15 cm, cupole con fratture meridiane di 10-15 cm, navate di chiese che, dopo aver subito lo strappo delle catene degli archi, si sono aperte di 18 cm.

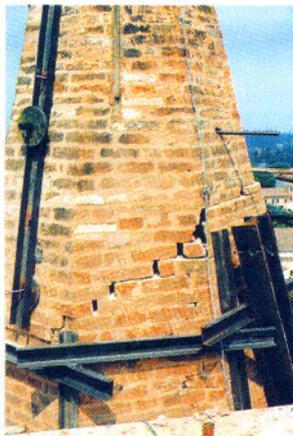
Qualsiasi tipo di restauro tradizionale, anche raggiungendo col consolidamento delle murature una condizione di sicurezza, (peraltro non sempre possibile), avrebbe lasciato un monumento segnato da gravi deformazioni della sua geometria progettuale.

Si sceglie allora, d'accordo col sovrintendente Arch. Garzillo, una strada nuova: far precedere il consolidamento dalla rimessa in posizione delle varie parti sconnesse e spostate dalle forze sismiche, evitando in tal modo demolizioni che appaiono inevitabili.

Si tratta di spostare parti di edifici che spesso hanno un peso di molte decine di tonnellate, servendosi di tecniche e mezzi idonei.

Gli strumenti fondamentali sono martinetti idraulici e trefoli in acciaio armonico.

L'idea generale è semplicissima: se ad es. abbiamo un muro spaccato in due parti, che si sono spostate fra loro, si perforano le due parti, si inserisce un trefolo



in acciaio armonico, si blocca il cavo da una parte e dall'altra si tira.

Se la forza è adeguata, se la fessura all'interno è libera ed il muro è sufficientemente robusto da non rompersi, il muro si sposta e la fessura si chiude.

Si possono però incontrare varie difficoltà: la principale è la scarsa resistenza delle murature, che, a volte, sono legate con argilla anziché con malta di calce; questo impedisce di applicare sforzi notevoli perché si rischierebbe di sfondare le murature in corrispondenza delle piastre di ancoraggio dei trefoli.

L'esperienza ha dimostrato che è preferibile usare trefoli di diametro non superiore a 0,5", in numero abbastanza elevato, distribuiti su un'area abbastanza estesa e con sforzi abbastanza bassi.

Per "sforzi bassi" si intendono tensioni da 3000 a 4000 kg.

Non tutte le strutture reagiscono allo stesso modo all'applicazione di forze esterne. Le strutture isostatiche sono più pronte a spostarsi rispetto alle iperstatiche.

Si è notato ad es. che alcune cupole, gravemente lesionate nella direzione dei meridiani, cerchiato fortemente con trefoli disposti nella direzione dei paralleli, all'atto del tiro hanno avuto modeste richiuse delle fessure.

Dopo qualche tempo, sia per le vibrazioni del traffico che per le micrososse sismiche, assai frequenti, le lesioni continuano a richiudersi.

Emblematico è il caso della cupola della cattedrale di Novellara, cerchiata da cavi molto tesi nel 1989, in cui una grossa lesione (circa 10 cm) si è quasi chiusa col sisma del 15/10/96.

Premesso che esistono martinetti idraulici da tiro che possono dare con facilità sforzi enormi, la difficoltà generale rimane sempre quella di ottenere i risultati voluti, limitando al massimo gli sforzi applicati; quindi si devono a volte usare particolari artifici.

Quando occorrono grandi sforzi, si devono innanzitutto irrobustire le parti da spostare per renderle resistenti agli sforzi di taglio, usando sempre trefoli inclinati a 45°, opportunamente tesati, poi si devono cercare di diminuire i coefficienti di attrito, che sono spesso vicini a 1, sollevando o quanto meno alleggerendo le parti da

spostare.

A tal scopo il mezzo più idoneo si è dimostrato il cuscino ad acqua che, essendo di grandi dimensioni (80 x 80 cm), può dare forze di sollevamento enormi con pressioni d'acqua non notevoli. Si può facilitare lo scorrimento anche con l'applicazione di vibrazioni.

Questo sistema dà buone garanzie di irrigidimento anche in vista di nuove scosse sismiche, perché le varie parti della struttura sono come compresse fra di loro da potentissime molle che conservano la loro azione nel tempo.



Non vi è alcuna analogia di comportamento con sistemi tradizionali di catene con tenditori a vite o dadi, poiché questi ultimi possono dare sforzi di solo qualche centinaio di kg, e le parti dell'edificio di fatto reagiscono al sisma come se non fossero collegate, con movimenti e allargamenti delle lesioni e scorrimento di parti, perché con sforzi così bassi non si ha l'effetto di compressione reciproca.

Le operazioni di tiro e spostamento devono ovviamente essere precedute dal calcolo delle forze da applicare, che si basa su elementari considerazioni di equilibrio: i risultati difficilmente sono perfetti al confronto con la realtà, principalmente per l'incertezza della valutazione dei pesi propri, dei coefficienti di attrito e della resistenza delle malte; comunque, quello che interessa è cogliere preliminarmente gli ordini di grandezza.

Tutto questo premesso, non si deve però dimenticare che questi interventi sono sempre assai pericolosi e si consiglia ai neofiti di usare molta prudenza.

Ing. Carlo Dazzi

Campanile della chiesa di S. Maria Assunta a Villa Sesso - Reggio Emilia

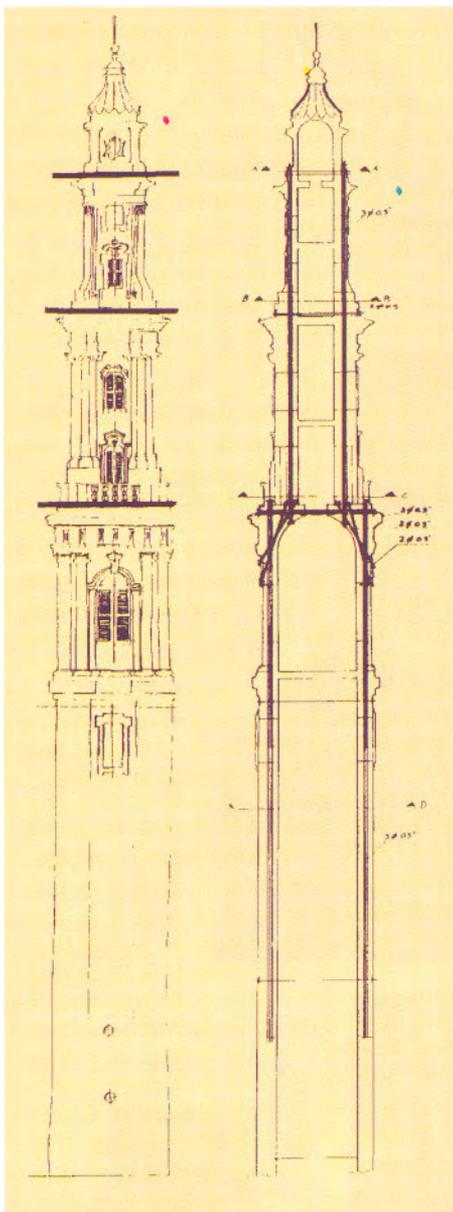
Il consolidamento di un campanile del 1700

Pregevole opera dell'arch. Ferraroni, a cavallo fra il barocco e il neoclassico, il campanile di Sesso, con i suoi 60 m di altezza, si ergeva già nella 1^a metà del XVII secolo fuori piombo di 1,50 m a causa di un assestamento del terreno di fondazione.

Un'inclinazione percepibile a occhio nudo che il terremoto del 15 Ottobre 1996 ha accentuato di altri 6 cm, apportando varie lesioni orizzontali a partire dalla quota di 40m dal suolo.

Queste lesioni si sono manifestate sul lato opposto a quello dell'inclinazione, dove l'effetto di compressione del peso proprio è minore, e a cominciare dal punto in cui il campanile diminuisce di sezione.

Era inutile ogni intervento di carattere locale sulle lesioni, come opere di cuci-



scuci o incollature o iniezioni di materiali consolidanti, da prendersi in considerazione in un secondo tempo, perché al momento era necessario migliorare le condizioni di stabilità generale del monumento.

La sua parte più alta (quella oltre i 35 m) era stata letteralmente tranciata in due



punti dall'onda dell'urto del sisma; tutto per qualche secondo, perché poi le parti alte si erano ridepositate in maniera perfetta sulle sottostanti, ma a quel punto il campanile era come una pila di mattoni appoggiati l'uno all'altro senza legante.

A prescindere dall'inclinazione della torre, già solo l'effetto del vento di regolamento che genera in sommità una pressione di 303 Kg/mq, avrebbe portato la struttura, danneggiata dalle oscillazioni del terremoto, al limite del collasso.

La pendenza della torre aggravava molto la situazione: si rendeva necessario un intervento risolutore che restituisse piena stabilità a questa struttura di grande pregio artistico, aggiustando definitivamente i guasti causati dal terremoto e mettendo sotto controllo quell'angolo di pendenza incriminato.

La soluzione che il direttore dei lavori, arch. Alberta Zuffanelli, l'ing. Carlo Dazzi e il presidente della Iton, Franco Morari, hanno prescelta è stata quella di trasformare il regime statico del campanile in modo da rendere la muratura delle varie sezioni resistente anche a trazione, rimanendo comunque compressa.

Questo risultato si è potuto ottenere con



l'inserimento di trefoli in acciaio armonico, tesi con forze opportune.

Con calcoli assai complessi si è potuto risolvere il problema in ogni condizione

di carico, con un cavo posto in corrispondenza di ogni spigolo; ogni cavo era costituito da tre trefoli in acciaio armonico del diametro di 0,5".

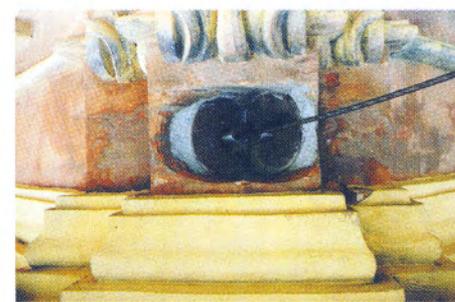
Questi cavi sono stati vincolati con opportune piastre, che incassate sono rimaste invisibili.

Non è stato necessario arrivare con le piastre di ancoraggio dei cavi fino alle fondazioni del campanile, perché, da

una certa quota in giù, l'effetto stabilizzante del peso proprio riduce molto le tensioni.

Si sono avute molte difficoltà nella realizzazione di queste operazioni, soprattutto dovute ai cambiamenti di sezione della torre: la soluzione si è trovata realizzando in corrispondenza di queste variazioni, con opportune armature orizzontali, delle

zone a forte resistenza allo sforzo di taglio.





Da un punto di vista esecutivo si sono dovute prima realizzare le perforazioni per alloggiare i cavi: orizzontali del diametro di 45 mm, verticali di 65mm (per tre trefoli).

Per le perforazioni verticali di piccolo diametro su opere monumentali la tecnologia esistente (essendo le perforazioni verticali molto inusuali) non consentiva di realizzare utilmente perforazioni più profonde di circa 15 m.

E' stato studiato un utensile opportuno che, con adeguati accorgimenti, ha consentito di effettuare queste perforazioni a velocità anche notevoli (circa 7m in un'ora).

Questo tipo di intervento è assolutamente reversibile nel senso che, essendo i cavi inguainati, cioè chiusi in un tubo pieno di grasso, non si ha la necessità dell'iniezione con boiaccia di cemento e quindi i cavi



possono essere estratti in qualsiasi momento e le piccole perforazioni richiuse. La spesa principale per la realizzazione di questo intervento è stata quella relativa al ponteggio, data l'altezza della torre: si è dovuto usare un ponteggio molto leggero, in alluminio, per non aumentare ancora l'eccentricità dei carichi e quindi la pressione sulle parti compresse delle sezioni alla base e nella zona di restringimento. Data l'altezza della torre e la difficoltà di salarvi, per risparmiare tempo è stato necessario installare un montacarichi esterno.

Finalmente, a lavori ultimati, le campane hanno potuto suonare regolarmente.

Torre Campanaria di San Martino in Rio

Per intervento del Sindaco, sono stati incaricati, al fine di elaborare gli interventi di salvaguardia e sicurezza prendendo in esame anche l'applicabilità delle tecniche antisismiche, l'Ing. Gianmaria Borellini della Lauro Sacchetti e Associati (Reggio Emilia) in collaborazione con l'Ing. Forni, del Dipartimento ENEA-AMB e, per rendere operativo quanto elaborato, la ditta ITON di Cavriago.

Modello matematico

L'efficace collaborazione dell'ing Forni con l'ing Borellini ha dato come risultato il disegno della distribuzione di spostamento ai vari livelli del modello deformato secondo la prima forma modale.

Il modello agli elementi finiti, calibrato secondo i risultati di prove sperimentali effettuate dall'ENEA e volte alla misurazione dei primi modi vibratorii, è stato utilizzato dalla ditta per calcolare spostamenti, accelerazioni, tensioni e deformazioni indotte dal terremoto delle Province di Modena e Reggio del 15/10/96 e per dimensionare correttamente i tiranti e la forza post-tensionamento.

Fu considerata, nell'ambito del progetto europeo ISTECH, anche la possibilità di utilizzare i dispositivi innovativi antisismici in acciaio ad alta memoria di forma che non sono però risultati adatti per questa tipologia di struttura - dispositivi che sono invece in fase di installazione nel vicino campanile della chiesa di Trignano, che ha subito dan-



ni analoghi.

Sequenza degli interventi

1. Operazioni del tipo "cuci e scuci" eseguite all'interno della torre, nonché chiusura di tutte le aperture o false finestre che rappresentavano porzioni indebolite

di muratura (riduzione della cosiddetta sezione reagente).

2. Consolidamento della muratura interna in corrispondenza della crepa evidenziata dopo il sigma del 15/10/96 per una fascia di circa 10,00ml (5,00 ml sopra e sotto il distacco), tramite iniezione di materiali colloidali (tipo Microlime) con l'accortezza di decrescere la consistenza verso le estremità onde evitare zone ad elevata resistenza, causa di probabili fenomeni a taglio.

3. Per evitare vibrazioni, successiva perforazione con diamante in verticale della struttura muraria già ricompattata, tramite l'innesto di barre in acciaio speciale ad elevata resistenza con filettatura continua a passo lungo (tipo Dividag) per poter conseguire elevate tensioni di ancoraggio ed iniezione, nella perforazione, di materiali colloidali al fine di proteggere l'armatura e farla collaborare con la muratura stessa, e post-tensione finale di ciascuna barra, di 5 tonnellate ciascuna (n. 16 barre verticali di 25 ml cad.). Si precisa che sono stati esclusi prodotti cementizi tradizionali, come d'altronde sono state escluse tutte le alterazioni ai prospetti ed alle dimensioni originali della torre campanaria.

Ing. Gianmaria Borellini

Raddrizzamento del campanile della chiesa San Francesco da Paola di Bagnolo In Piano

A seguito di una scossa di terremoto, il campanile della chiesa di San Francesco da Paola aveva subito uno spostamento sull'asse di 12 cm, tale da fare pensare alla demolizione quale unica soluzione possibile. Ma grazie alla proposta di intervento di consolidamento dell'ing. strutturista Carlo Dazzi, oggi possiamo ancora ammirare la torre campanaria nella sua interezza.

L'operazione di raddrizzamento eseguita rappresenta un unicum nel suo genere: per la prima volta, infatti, assistiamo al sollevamento di una torre e allo scorrimento e riposizionamento della parte

superiore di essa sul suo asse originario. Tale intervento è stato preceduto da un consolidamento della muratura tramite cavi di acciaio successivamente tesati inseriti in perforazioni ad x eseguite con carotatore diamantato per evitare vibrazioni facilmente dannose.

È stato quindi operato un taglio trasversale della torre all'altezza della crepa più bassa: sono state posizionate due putrelle in ferro sfalsate (una verso l'alto e una verso il basso) ai due spigoli della torre ed è stato fatto passare trasversalmente un cavo classico, con un martinetto idraulico tirante ad un'estremità. Sono poi stati posizionati, alla base del taglio della parte superiore, del peso di 70 tonnellate, due cuscinetti in lamiera ad acqua.

Al momento del tiraggio, si è sviluppata sul martinetto tirante una forza pari a 30 tonnellate e si è verificato un riavvicinamento delle due parti, superiore ed inferiore.

L'attrito è stato superato grazie ai cuscinetti che, sollevando la par-

te superiore di 0,5 cm, hanno rappresentato il punto di scivolo del cavo di tiraggio. L'operazione si è svolta in due momenti, il primo ha operato uno spostamento di circa 8 cm, e il secondo ha riportato gli spigoli alla posizione originaria. Successivamente alle

operazioni di riposizionamento del campanile si è proceduto al consolidamento delle

murature tramite iniezione di leganti colloidali del tipo Emacoresto I, allo scopo di ripristinare le resistenze a compressione e di coesione dei materiali e per consentire le successive perforazioni verticali entro cui sono stati posti 8 cavi inguainati e tesati.

