

COMUNE DI SAN PIETRO IN CARIANO

CAMPANILE DELLA PIEVE DI SAN FLORIANO



ANALISI DEI DISSESTI STATICI E PROPOSTE DI INTERVENTO

FEBBRAIO 2007

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Il consulente statico:

Prof. Ing. Claudio Modena Padova

Collaboratori:

Ing. Carlo Bettio

Ing. Francesca Lucchin

Ing. Antonio Morbin

Visto

INDICE

1	PREMESSE.....	3
2	PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEL CAMPANILE ED ANALISI DEL DEGRADO	4
3	Normativa di riferimento.....	7
4	Caratteristiche dei Materiali	8
5	INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO STATICO	10
5.1	Miglioramento Sismico	10
5.2	Interventi proposti.....	10
5.2.1	Interventi diffusi sulle murature	10
5.2.2	Cerchiature metalliche	12
5.2.3	Coperture ed elementi lignei	14
5.2.4	Fondazioni.....	15
5.2.5	Chiesa	16

1 PREMESSE

Nella presente relazione viene analizzata la situazione statica del campanile annesso alla pieve di San Floriano, situata nel Comune di San Pietro in Cariano (Verona) e vengono inoltre fornite indicazioni relative agli interventi di consolidamento.

La torre campanaria manifesta evidenti situazioni di degrado e dissesto statico, che, all'esame visivo, coinvolgono prevalentemente il paramento murario esterno. In relazione a queste specifiche problematiche è stato richiesto allo scrivente una valutazione della situazione statica.

La relazione è stata stesa sulla base di rilievi grafici e fotografici forniti dallo studio tecnico dell'arch. Zorzi, integrati da ispezioni dirette in sito condotte dallo scrivente e dai suoi collaboratori.

A tale proposito, si precisa che per le superfici esterne è stata effettuata una verifica visiva dal basso.

Le ipotesi progettuali andranno pertanto verificate in corso d'opera, quando la presenza dei ponteggi consentirà l'esecuzione di un'analisi del degrado più approfondita.

Nella fase preliminare al presente studio delle condizioni statiche del campanile e dei relativi interventi di consolidamento sono state eseguite prove con martinetti piatti e carotaggi, che hanno permesso di verificare le caratteristiche meccaniche e gli stati tensionali della muratura a diversi livelli e di definire la composizione e la consistenza del paramento murario. Per informazioni più approfondite si rimanda ai relativi rapporti di prova.

2 PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEL CAMPANILE ED ANALISI DEL DEGRADO

Il campanile, addossato al lato sinistro della chiesa, denota all'esame visivo la presenza di dissesti statici quali fuori piombo, lesioni e situazioni di degrado del paramento murario.



Il campanile della chiesa di San Floriano

Particolarmente evidenti ed estese risultano essere le lesioni che interessano la parte alta degli spigoli del campanile, il cui paramento murario è costituito da un alternarsi di fasce in pietra e mattoni pieni in laterizio di diverse altezze.

Destano inoltre particolare preoccupazione le condizioni dei timpani posti a coronamento della cella campanaria: il paramento in pietrame appare infatti notevolmente degradato, con profonda erosione dei giunti di malta, accompagnata da una situazione di precaria stabilità degli elementi isolati d'angolo.

Dal punto di vista della stabilità globale il campanile presenta un sensibile fuori piombo, mentre non sono presenti lesioni imputabili a cedimenti del sistema terreno-fondazioni.



Degrado della parte sommitale del campanile: particolare dei timpani e della cella campanaria



Particolare delle lesioni che interessano gli spigoli del campanile

Dall'ispezione condotta in sito e dal rilievo fotografico l'interno del campanile risulta essere in discrete condizioni di conservazione, sia per quanto riguarda il paramento murario, che per quanto riguarda le volte in pietra o in mattoni che definiscono i diversi livelli di impalcato.

Ad un primo esame visivo le strutture lignee del castello campane e della copertura non manifestano condizioni di degrado diffuso. Si notano invece situazioni localizzate di dissesto (vedi ad esempio la foto seguente, relativa al castello campane). Sarà comunque necessario valutarne in modo più accurato lo stato di conservazione una volta eseguita la pulizia della cella campanaria dal guano e resa possibile l'ispezione a distanza ravvicinata di tutti gli elementi lignei, con particolare attenzione per le teste delle travi e delle capriate.



Particolare della capriata lignea di copertura



Castello campane: particolare di un elemento ligneo ammalorato

3 Normativa di riferimento

Si è fatto riferimento in generale per quanto possibile alla normativa italiana e alle norme ed istruzioni elencate nel seguito:

- Ministero LL. PP. 12 Febbraio 1982: Aggiornamento delle norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche".
- D.M. 9.01.1996: Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- Circolare Ministero LL. PP. 4.7.1996, n.156AA.GG./STC: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996.
- D.M. LL.PP. 16.1.1996: "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in c.a., normale e precompresso e per le strutture metalliche".
- D.M. LL.PP. 20 Novembre 1987: "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento".
- Circolare Ministero LL.PP. n° 30787 del 4 Gennaio 1989: "Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento".
- Eurocodice n. 6 "Progettazione e verifica delle strutture in muratura".
- Norma DIN 1052, Fascicolo 1 – "Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung (Costruzioni di legno, Calcolo ed esecuzione)".
- Eurocodice n. 5 "Progettazione e verifica delle strutture in legno".
- Legge n°64 del 02/02/1974: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- D.M. 16/01/1996, "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- Circolare n°65, del 10/04/1997, Istruzioni per l'applicazione delle "norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- Ordinanza P.C.M. n°3274 del 20/03/2003.
- Allegato 1 all' ordinanza P.C.M. n°3274 del 20/03/2003 "Nuova classificazione sismica dei comuni italiani".
- Allegato 2 all' ordinanza P.C.M. n°3274 del 20/03/2003 "Norme tecniche per il progetto la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici".

4 Caratteristiche dei Materiali

Legno

Per le nuove strutture lignee di rinforzo si prevede l'utilizzo di legno resinoso di I categoria (classificato come S13 nelle norme DIN 1052) adeguatamente stagionato ed sottoposto a trattamento antitarlo ed antimuffa in autoclave.

flessione	$\sigma_{famm} = 130 \text{ kg/cm}^2$
compressione	
- parallela alla direzione della fibratura	$\sigma_{c//amm} = 110 \text{ kg/cm}^2$
- perpendicolare alla direzione della fibratura	$\sigma_{c\perp amm} = 25 \text{ kg/cm}^2$
trazione	
- parallela alla direzione della fibratura	$\sigma_{//amm} = 90 \text{ kg/cm}^2$
- perpendicolare alla direzione della fibratura	$\sigma_{\perp amm} = 0,5 \text{ kg/cm}^2$
taglio	$\tau_{amm} = 9 \text{ kg/cm}^2$
torsione	$\tau_{amm} = 10 \text{ kg/cm}^2$

per il calcolo delle deformazioni elastiche si assumono i seguenti valori:

modulo di elasticità	
- Direzione parallela alla fibratura	$E_{//} = 105'000 \text{ kg/cm}^2$
- Direzione perpendicolare della fibratura	$E_{\perp} = 3'500 \text{ kg/cm}^2$
modulo di scorrimento	$G = 5'000 \text{ kg/cm}^2$

Muratura

Per gli interventi di scuci-cuci si prevede l'utilizzo di elementi pieni in laterizio di recupero aventi caratteristiche dimensionali e cromatiche simili a quelle degli elementi in opera.

In alternativa la D.L. potrà autorizzare l'utilizzo di mattoni realizzati "a mano" con la tecnologia tradizionale *a pasta molle*.

L'allettamento verrà realizzato con malta di calce idraulica naturale priva di sali idrosolubili avente resistenza meccanica a compressione (secondo EN 1015/11) non inferiore a 5 MPa (es. Malta tipo Albaria Allettamento della Mac o equivalente).

Per elementi particolarmente sollecitati (es. basi di colonne, archi in muratura, stilature armate) verrà prevista una malta di calce idraulica con resistenza a compressione non inferiore a 10 MPa (es. Malta tipo Albaria Struttura della Mac o equivalente).

Acciaio Inossidabile: tiranti/catene e piastre di ancoraggio

È previsto l'impiego di acciaio inossidabile AISI 316 / AISI 304.

Tali acciai corrispondono approssimativamente ad acciai X5CrNiMo17-12-2 (AISI 316); X5CrNi18-10 (AISI 304) con carico di scostamento dalla proporzionalità $R_{p0.2}$ variabile da 240 a 210 /mm² e resistenza a trazione variabile da 520 a 750 (in funzione dello spessore).

Si può quindi assumere: $\sigma_{adm} = 1400 \text{ kg/cm}^2$

Si prevede l'esecuzione delle giunzioni con saldature di prima classe effettuate in officina e assemblaggio finale in opera mediante manicotti filettati e/o bulloni classe A4 o A5.

Acciaio inossidabile: barre ad aderenza migliorata per legature ed impernature

Si prevede l'utilizzo di barre nervate ad aderenza migliorata in acciaio inox AISI 304 qualificato come FeB44k.

$$\begin{aligned}\sigma_{amm} &= 2600 \text{ kg/cm}^2 \\ f_{tk} &= 5400 \text{ kg/cm}^2 \\ f_{yk} &= 4400 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

5 INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO STATICO

5.1 MIGLIORAMENTO SISMICO

Gli attuali interventi non prevedono:

- ampliamenti o sopraelevazioni;
- variazioni di destinazioni d'uso ed incrementi dei carichi oltre il 20%;
- interventi strutturali che portino a sostanziali cambiamenti del comportamento globale del manufatto.

In queste condizioni la recente normativa (Ord. P.C.M. 20 marzo 2003 n°3274 "Nuove norme per le zone sismiche") non prevede l'obbligo di effettuare interventi di adeguamento sismico.

Un eventuale intervento di *adeguamento* risulterebbe in ogni caso estremamente invasivo ed incompatibile con le esigenze di tutela del bene artistico.

In accordo con la suddetta normativa, vista l'importanza artistica del manufatto, si prevede quindi la realizzazione di interventi di *miglioramento sismico* volti a far conseguire un maggior grado di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche.

5.2 INTERVENTI PROPOSTI

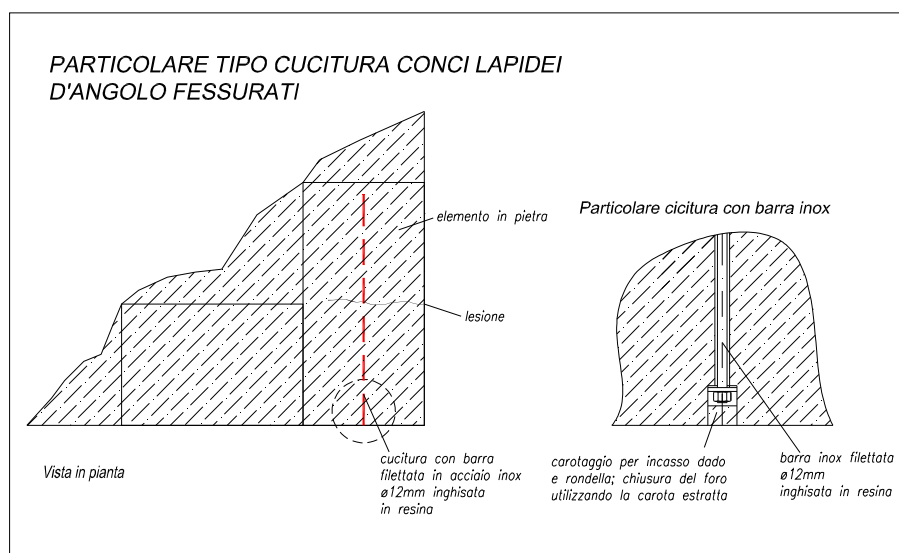
5.2.1 INTERVENTI DIFFUSI SULLE MURATURE

In relazione allo stato di degrado precedentemente descritto si propone l'effettuazione di interventi diffusi per il risanamento della muratura, combinati con interventi specifici di *miglioramento sismico* che consistono essenzialmente nell'inserimento di legature e cerchiature metalliche.

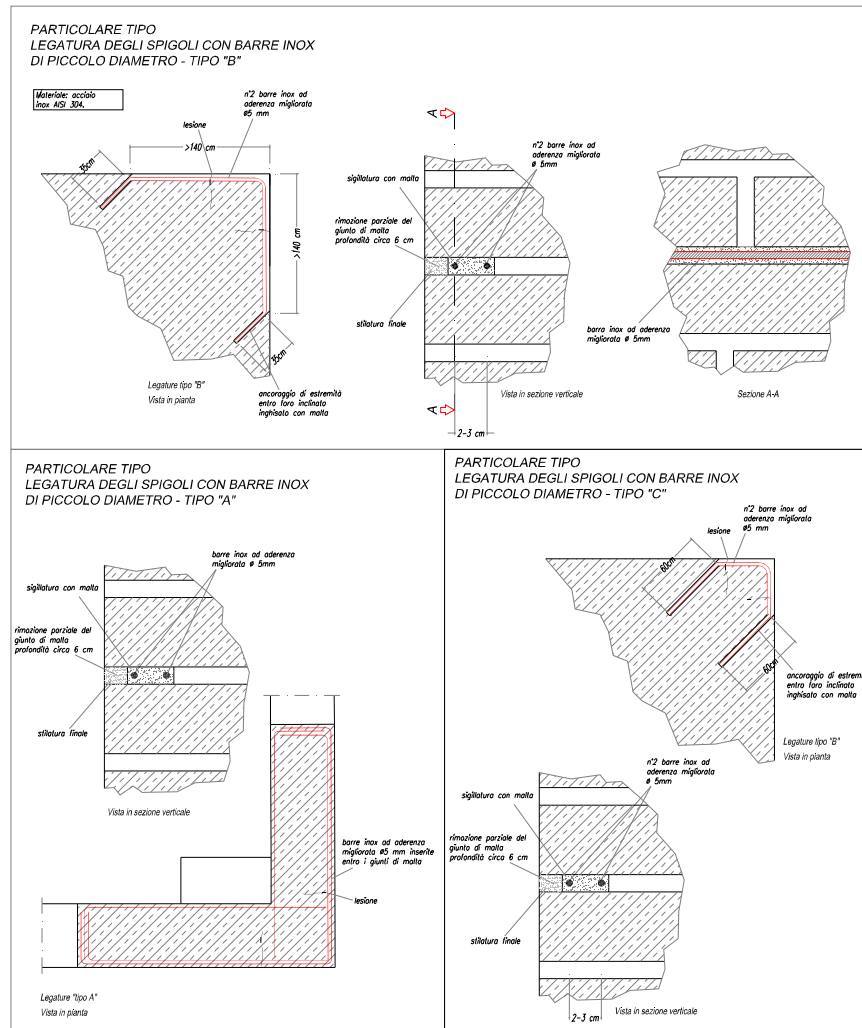
Sarà quindi necessario procedere con i seguenti interventi:

- messa in sicurezza con fissaggio delle porzioni pericolanti e/o smontaggio (previa numerazione e documentazione fotografica) per la successiva ricollocazione;
- pulizia del paramento murario;
- riparazione della muratura lesionata mediante le seguenti tecniche:
 - o scuci-cuci;
 - o sostituzione di singoli mattoni;

- risanamento mediante la ristilatura con malta di calce strutturale dei giunti degradati, previa la rimozione con raschietti della parte di malta decoesa;
- inserimento di armature inox di piccolo diametro nei giunti precedentemente scarniti per realizzare legature localizzate e per l'eventuale ancoraggio di paramenti distaccati (tale intervento risulta particolarmente indicato per ricucire le lesioni che interessano gli spigoli del campanile);
- rinforzi localizzati della muratura mediante iniezioni di boiacche a base di calce idraulica naturale (i rinforzi verranno previsti in presenza situazioni locali di degrado e/o in punti particolarmente sollecitati, come ad esempio in corrispondenza dei punti di inserimento dei capochiave dei tiranti);
- fissaggio di tutti gli elementi in pietra interessati da lesioni mediante inserimento di barre filettate in acciaio inox;
- revisione dell'impalcato ligneo interno con:
 - sostituzione delle travi lignee degradate e non recuperabili;
 - realizzazione di protesi e/o incalchi in presenza di degrado localizzato di travi lignee.



Intervento-tipo di cucitura di lesioni su elementi lapidei mediante barre in acciaio inox



Interventi-tipo di rinforzo mediante armature inox di piccolo diametro (le diverse tipologie sono state studiate sulla base della geometria e della tessitura del paramento murario)

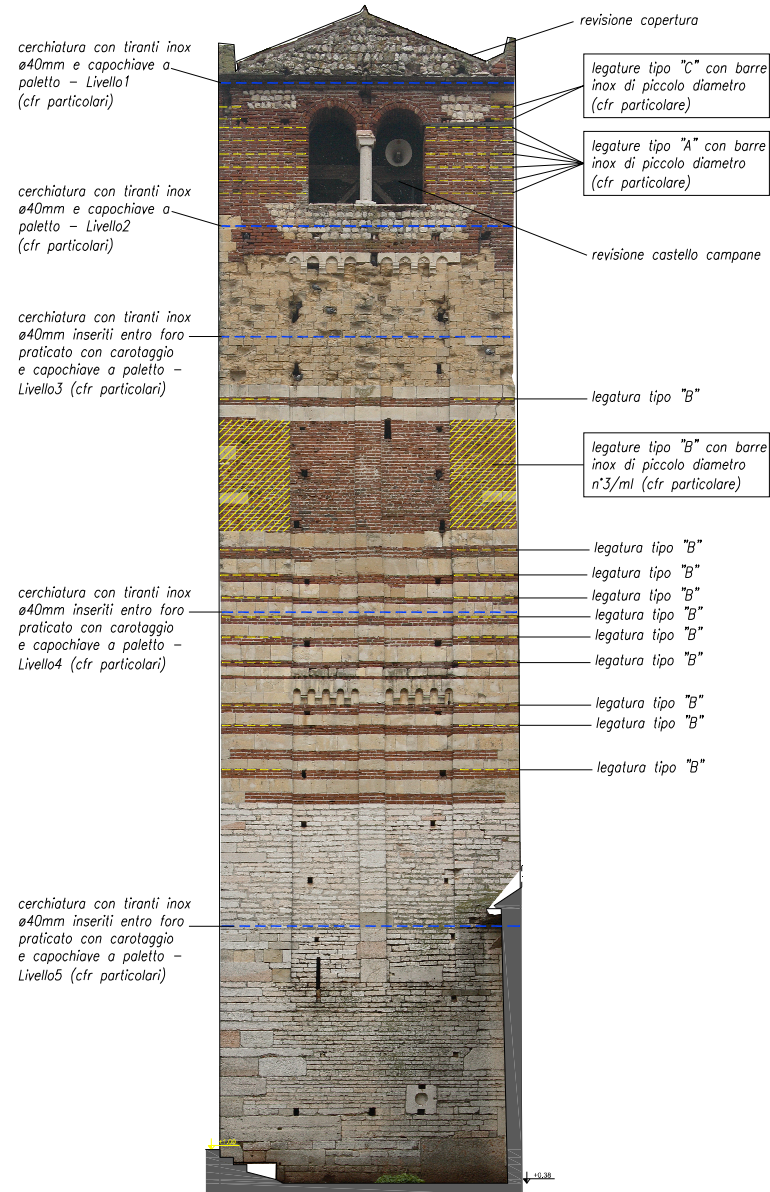
5.2.2 CERCHIATURE METALLICHE

Considerate le attuali condizioni della parte sommitale del campanile, sono stati inoltre studiati alcuni interventi di cerchiatura volti a migliorarne le condizioni statiche e ad assorbire le spinte di strutture spingenti (quali ad esempio le strutture di copertura e le volte in pietra o muratura poste ai diversi livelli di impalcato).

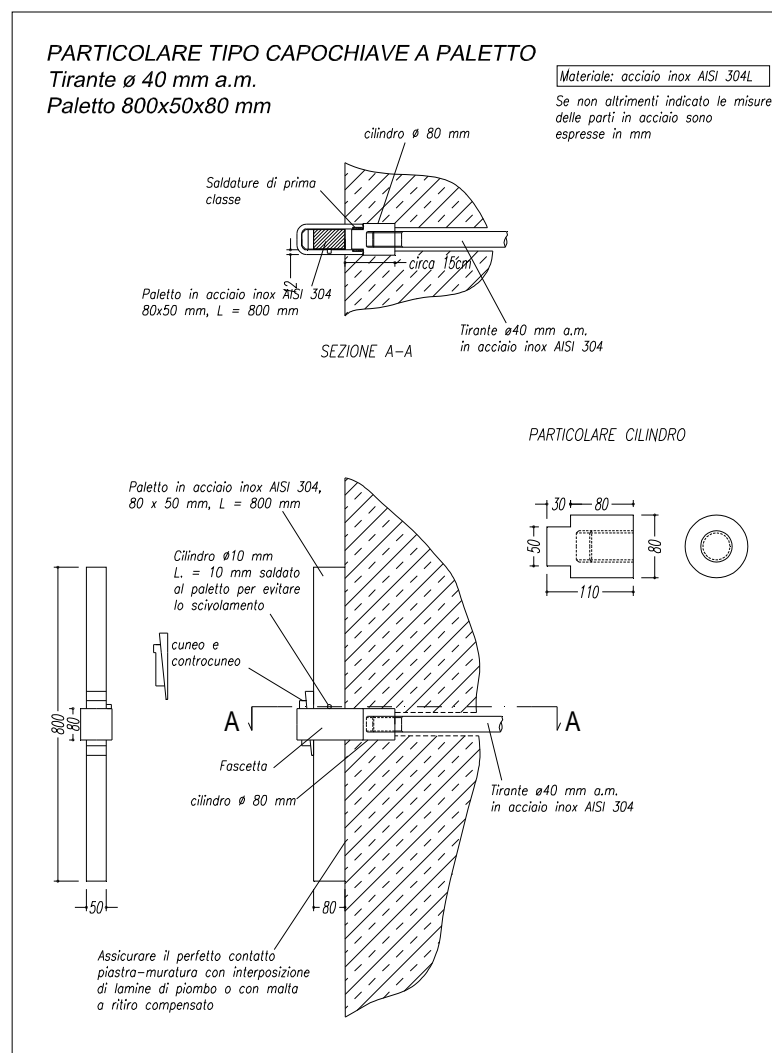
Gli interventi, da realizzare mediante tiranti in acciaio inox $\phi 40$ mm e capochiave in acciaio inox a paletto, sono localizzati su cinque livelli: i due sistemi di cerchiatura sommitali potranno essere realizzati in aderenza al paramento murario interno; i tre livelli

di cerchiatura inferiori dovranno invece essere realizzati entro foro praticato con carotaggio.

I cinque livelli di cerchiatura dovranno comunque essere verificati in corso d'opera sulla base delle indagini e dei rilievi resi possibili dopo il montaggio dei ponteggi interni ed esterni.



Disposizione dei cinque sistemi di cerchiatura lungo il fusto del campanile e indicazione delle legature degli spigoli mediante barre inox di piccolo diametro (cfr paragrafo precedente)



Particolare-tipo del capochiave a paletto dei tiranti

Sarà inoltre opportuno eseguire la revisione delle scale interne (provvedendo ove necessario alla stilatura dei giunti degradati e all'integrazione degli elementi lapidei o dei mattoni in laterizio mancanti), della copertura lignea e del castello campane.

5.2.3 COPERTURE ED ELEMENTI LIGNEI

Per quanto riguarda la copertura, in particolare, si dovrà procedere secondo la seguente sequenza operativa, da integrare e coordinare con le operazioni di restauro:

- pulizia;
- analisi dello stato di conservazione, individuazione delle zone degradate, eventuale puntellazione e rimozione delle parti ammalorate;

- ripristino delle parti marcescenti (es. protesi con lame inox fissate con resina, incalmai ecc.);
- eventuale sostituzione di travi fortemente degradate e non recuperabili;
- eventuale rinforzo di travi sottodimensionate (es. mediante accoppiamento di tavolone all'estradosso reso collaborante con viti e spinotti in legno);
- integrazione delle connessioni delle membrature lignee (es. mediante tirafondi, squadrette e nastri forati in acciaio ecc.);
- controventamento delle falde (es. croci realizzate con nastro forato);
- ancoraggio dei timpani in muratura alle strutture lignee (potrebbe essere realizzato con barre inox ad aderenza migliorate inghisate nella muratura e collegate mediante saldatura a piatti inox forati avvitati alle strutture lignee).

Per quanto riguarda il castello campane, invece, sarà necessario mettere a punto specifici accorgimenti atti ad assicurare, ai fini statici, l'eliminazione delle spinte della struttura del castello campane sulla sottostante struttura muraria (ad esempio dovrebbero essere previste delle catene metalliche o membrature lignee di collegamento tra le basi dei puntoni lignei inclinati) e la riduzione delle sollecitazioni dinamiche ottenibile attraverso l'inserimento di opportuni isolatori.

5.2.4 FONDAZIONI

Per quanto riguarda il sistema terreno-fondazioni, si nota che non ci sono elementi che giustifichino la necessità di un intervento urgente di consolidamento delle fondazioni.

Vista l'epoca di costruzione del manufatto è infatti ipotizzabile che il fuori piombo osservabile sia il frutto di cedimenti differenziali dovuti ad iniziali fenomeni di consolidamento del terreno che dovrebbero essersi ormai esauriti (la relazione geologica preliminare ¹ segnala a tale proposito la possibile presenza di livelli di litotipi a granulometria fine quali argille e limi).

Considerando che l'attuale intervento non comporta alcuna variazione nell'entità e nella distribuzione dei carichi e visti anche i rischi connessi ad un intervento in fondazione (che potrebbero addirittura costituire un elemento di disturbo in un sistema che nel tempo ha trovato un suo assetto) è consigliabile limitarsi ad un monitoraggio nel tempo del fenomeno per verificare tale ipotesi (es. controllo nel tempo con strumenti topografici).

¹ Ingegno s.r.l. "Pieve di San Floriano - Relazione geologica preliminare" del febbraio 2007.

Nel caso il monitoraggio dovesse evidenziare un'attuale tendenza alla crescita del fuori piombo potranno essere programmate indagini specifiche.

5.2.5 CHIESA

Per quanto riguarda la chiesa si segnala l'opportunità di prevedere interventi di miglioramento sismico che potrebbero essere ottenuti attraverso:

- la realizzazione di controventi di falda (es. prevedendo sopra i tavolati della copertura delle croci e tiranti realizzati con nastri forati in acciaio collegati alle sottostanti strutture lignee mediante viti e/o chiodi ad aderenza migliorata);
- l'inserimento di elementi atti ad assorbire le spinte di volte e/o strutture di copertura spingente (es. tiranti in acciaio inox).

Situazioni di degrado e dissesto delle volte potrebbero essere risanate attraverso tecniche tradizionali (es. iniezioni e scuci-cuci) eventualmente integrate dall'applicazione locale di rinforzi mediante nastri e/o fasce in fibra di carbonio.

Padova, febbraio 2007

Prof. Ing. Claudio Modena