



COMUNE DI PAVIA
SETTORE LAVORI PUBBLICI
PROGETTI E DIREZIONE LAVORI PUBBLICI

PIANO PER LE CITTA'

**INTERVENTO DI VALORIZZAZIONE E RIQUALIFICAZIONE DEL COMPLESSO
MONUMENTALE DEL MONASTERO DI SANTA CLARA, EX CASERMA CALCHI, PER LA
CREAZIONE DI UN POLO CULTURALE, COMMERCIALE E TERZIARIO**

**RESTAURO CHIESA SUD-OVEST E RECUPERO PARZIALE ALA SUD,
RESTAURO FACCIATE DEL CHIOSTRO INTERNO; STRUTTURE FISSE DI
COMPLETAMENTO, SISTEMI DI ARCHIVIAZIONE E PARETI ATTREZZATE**

PROGETTO DEFINITIVO

**PROGETTO STRUTTURALE
RELAZIONE TECNICA E SPECIALISTICA**

ELAB. N.
STR

Nome file:
STR_relaz. tecnica-special.pdf

Scala:

Data:
FEBBRAIO 2015

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA:

Arch. Silvia Canevari
Ufficio Tecnico Settore Lavori Pubblici

**COLLABORAZIONE PROGETTAZIONE
ARCHITETTONICA:**

Arch. Massimo Giuliani
Studio BCG Associati - Pavia

PROGETTAZIONE STRUTTURALE:

Ing. Enrico Cobianchi
con studio in Milano p.zza Arcole, 4

**PROGETTAZIONE OPERE
IMPIANTISTICHE:**

S.T.AR.IN. s.r.l.
Studio di Ingegneria - Voghera

Settore Lavori Pubblici
Via Scopoli, 1 - 27100 PAVIA

**RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO E
DIRIGENTE DEL SETTORE**

Ing. Francesco GRECCHI

1. PREMESSE

La presente relazione è relativa alle strutture da realizzare, nell'ambito dell'intervento generale di recupero e la valorizzazione dell'intero Monastero di Santa Clara a Pavia come nuova sede della Biblioteca Civica Bonetta, per il consolidamento ed il ripristino statico dei corpi di fabbrica della chiesa, con accesso anche da Via Langosco, dell'adiacente cripta e della porzione di fabbricato posto sul lato ovest della stessa chiesa.

Essendo l'edificio soggetto a vincolo storico-monumentale imposto dalla legge n. 1089 del 1939, trasfusa nel testo unico n. 490 del 1999 e nell'art. 10, comma 1, del Codice n. 42 del 2004, le normative strutturali vigenti, DM Infrastrutture 14.01.2008 – Circolare 02.02.2009 n°617/C.S.LL.PP. e s.m.i. prevedono che i lavori strutturali rientrino nella categoria di interventi di miglioramento e/o riparazione o intervento locale.

Dall'esame degli atti di fabbrica e dai rilievi eseguiti in sito è stato possibile determinare che l'edificio è stato realizzato in varie epoche e presenta elementi strutturali disomogenei, irregolarità in pianta ed in elevazione.

Il presente lotto di lavori comprende una serie di interventi atti eliminare i dissesti statici più gravi, ad adeguare le strutture a sopportare i carichi statici verticali ed orizzontali per permettere l'utilizzo di ogni locale, così come previsto dal progetto architettonico, oltrechè a migliorare il comportamento locale e/o parziale dei singoli corpi di fabbrica, nei confronti delle azioni sismiche.

Gli interventi in progetto permettono quindi una migliore collaborazione degli elementi strutturali verticali, anche di tipologie diverse, con quelli orizzontali.

I calcoli e le verifiche vengono svolti con il agli stati limite ultimi con riferimento alla normativa vigente NTC2008.

2. CARATTERISTICHE STRUTTURALI DEL FABBRICATO

All'interno del lotto oggetto di intervento si distinguono i seguenti corpi di fabbrica principali:

Chiesa

Tale corpo di fabbrica è composto da due parti, uno a pianta rettangolare prospettante sulla pubblica via ed uno a pianta pressochè quadrata ad esso adiacente con elementi verticali costituiti da muratura portante in mattoni pieni, volte a crociera sempre in muratura di mattoni pieni con archi normali e/o a sesto acuto e tetto con struttura in legno, costituita da capriate, terzere, travetti e listelli porta coppi.

Sacrestia

Corpo di fabbrica costruito in adiacenza sul lato ovest della chiesa, costituito dal solo piano terra, con muri in mattoni pieni portanti, volta a crociera sempre in muratura di mattoni pieni e tetto presupposto con struttura in legno, falsi puntoni, travetti e listelli (non attualmente accessibile).

Corpo di fabbrica lato ovest chiesa

Corpo di fabbrica costruito in adiacenza sul lato ovest della chiesa, costituito da un piano terra, un primo piano più un piano sottotetto.

Le strutture verticali sono in muratura di mattoni pieni portanti e colonne in granito.

Le strutture orizzontali di calpestio del primo piano sono realizzate con volte a crociera sempre in muratura di mattoni pieni lato cortile ed in parte lato verso altra proprietà e volte a botte con lunette

Le strutture orizzontali di calpestio del sottotetto sono costituite in parte da solai in laterizio (lato chiostro) ed in parte da solai in legno (lato confine con altra proprietà).

Le coperture sono realizzate con struttura in legno, in parte con capriate, terzere, travetti e listelli (lato confine con altra proprietà) ed in parte con falsi puntoni, terzere, travetti e listelli (lato chiostro).

3. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO IN PROGETTO

Come già detto in premessa gli interventi prevedono il consolidamento generale di tutti gli elementi strutturali verticali ed orizzontali in muratura di mattoni pieni attraverso la stuccatura delle lesioni previa pulitura ed eventuale rimozione delle precedenti stilature e il consolidamento di murature di mattoni o di pietrame, mediante sostituzione parziale del materiale ("cuci-scuci"), demolizione in breccia di alcune parti di muratura eccessivamente

ammalorate e ricostruzione con muratura di mattoni pieni di recupero e malta di calce idraulica fibrorinforzata.

Per tutte le coperture in legno l'intervento prevede il rifacimento quasi completo di tutta l'orditura secondaria con sostituzione di travetti e listelli ed il rinforzo e/o sostituzione della primaria a seconda dei casi, con l'adeguamento dei carichi alle normative vigenti;

Per le parti di edificio di cui al capitolo 2 si prevedono i seguenti interventi:

Chiesa

- Il consolidamento delle volte che presentano affreschi verrà realizzato attraverso la pulitura dell'estradosso, la ristilatura di fessure e giunti tra i mattoni con malte di calce idraulica fibrorinforzata fibrorinforzate e/o l'iniezione di malte fluide che compatibili con i materiali che costituiscono il supporto degli affreschi;
- Si prevede lo smontaggio del manto di copertura, dei listelli e dei travetti ed in parte delle strutture primarie e secondarie eccessivamente ammalorate e quindi non più idonee, la realizzazione di una struttura in acciaio (protetta contro la corrosione a mezzo di verniciatura con riferimento alla norma UNI EN ISO 12944) affiancata alla struttura in legno di rinforzo e di collegamento tra ogni elemento ligneo ed al tempo stesso agli elementi murari adiacenti; si prevede per tutti gli elementi lignei una connessione, in corrispondenza degli appoggi sulle murature con barre filettate ancorate chimicamente con resina; si è previsto per tutte le connessioni tra elementi lignei l'utilizzo di viti da legno in acciaio AISI C1022 - zincate e/o protette contro la corrosione;

Sacrestia

Ripristino statico della volta a crociera a copertura del locale, previo smontaggio del tetto attraverso i metodi tradizionali di costruzione di volte ed archi, utilizzando di preferenza mattoni di recupero e malte fibrorinforzate con caratteristiche simili alle malte esistenti. E' previsto l'inserimento di tiranti in acciaio a contrasto delle spinte orizzontali e la realizzazione di una caldana in calcestruzzo armata con rete elettrosaldata in acciaio connessa alla muratura a mezzo di connettori in acciaio per realizzare un collegamento

solidale tra gli elementi strutturali verticali e quelli orizzontali in muratura.

Corpo di fabbrica lato ovest chiesa

Interventi su solaio calpestio piano terra e primo piano

- Il consolidamento delle volte verrà realizzato, previo svuotamento dei materiali di riempimento e rinfilanco, attraverso la pulitura dell'estradosso, la ristilatura profonda di fessure e giunti tra i mattoni con malte fibrorinforzate, l'iniezione di malte fluide all'interno della struttura muraria e sarà realizzata una cappa in cls e rete elettrosaldata in acciaio, inserendo speciali connettori in acciaio tra la cappa in cls armata e la muratura verso il chiostro in corrispondenza delle colonne sottostanti in modo tale da far collaborare, tutte le strutture verticali portanti al piano terra costituite da elementi in muratura di mattoni pieni ed in pietra.

Interventi su solaio calpestio sottotetto

- E' previsto il consolidamento della porzione di solaio in legno (lato confine con altra proprietà), previo controllo dello stato di degrado del solaio esistente, tramite sovrapposizione di tavole in legno di larice e attraverso la posa di una struttura in carpenteria metallica di collegamento tra il muro centrale di spina ed il muro posto sul confine con l'altra proprietà.
- Per la parte di solaio lato chiostro, essendo costituita da solaio in laterizio non si è previsto alcun tipo di rinforzo.

Interventi sul solaio di copertura

- E' previsto lo smontaggio del manto di copertura, dei listelli e dei travetti ed in parte delle strutture primarie e secondarie eccessivamente ammalorate e/o non più idonee a sopportare i carichi di progetto con una riorganizzazione dell'orditura primaria e secondaria della parte di copertura lato chiostro.
- In corrispondenza degli appoggi delle strutture in legno sulle murature è prevista la realizzazione di un collegamento attraverso barre filettate in acciaio ancorate chimicamente con resina;
- Tutti i collegamenti tra gli elementi lignei verranno realizzati a mezzo dell'utilizzo di viti da legno in acciaio AISI C1022 - zincate e/o protette contro la corrosione;

4. RIFERIMENTI NORMATIVI E NORME DI CALCOLO

- EUROCODICI – DIN 4074 e 1052;
- Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14/01/2008;
- Cir. Min. Infrastrutture e trasporti n.617 del 02.02.2009
- Criteri normali della Scienza delle Costruzioni.
- Progettazione con il metodo agli stati limite

5. MATERIALI IMPIEGATI

Calcestruzzo: per getto di caldana su volte, così come indicato sui disegni

C25/30 Rck \geq 300daN/ cm²

Rapporto a/c max=0,60 - dosaggio minimo cemento 300 kg/m³

Classe di esposizione: XC1

Classe di consistenza: S4

Diametro massimo aggregati: 15 mm

Acciaio:

- per strutture in cemento armato:
ad aderenza migliorata B450C
- per nuove opere in carpenteria metallica:
acciaio S275 (Fe 430)
- opere esistenti (catene):
tipo Fe 360 Fc= 1,35

Bulloni e dadi, barre filettate, spine ecc:

- classe 8 – 8.8 trattati contro l'ossidazione

Saldature:

- in officina ed in opera
cl. C elettrodo per saldatura ad arco UNI 5132-E44
procedimento di saldatura all'arco elettrico secondo UNI EN ISO 4063:2001

Legno:

essenza: ABETE ROSSO/ ROVERE/ CASTAGNO/ LARICE
classe min. C24 (SECONDO DIN 4074)

Viti da legno: in acciaio AISI C1022 trattate contro la corrosione

Muratura: di mattoni pieni

riferimento Tab. C8A.1.1 con indagini in sito limitate e Tab. C8A.2.1

nei calcoli si adotta $F_c = 1,35$ e $\gamma_m = 2$

Malte: per inghisaggi di tipo malta cementizia tixotropica a ritiro compensato fibrorinforzata con resistenza a compressione a 24 ore pari a 80 daN/cm^2 e a 28 gg pari a 400 daN/cm^2 è applicabile in spessori fino a 5 cm in una sola mano.

6. AZIONI

6.1. Effetto sismico

Comune: Pavia (PV)

Longitudine: $9,1655^\circ$

Latitudine: $45,1833^\circ$

Categoria Sottosuolo: C

Amplificazione topografica: T1

Coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_S = 1,0$

Coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,6$

Accelerazione $a_{g/g} = 0,07 \text{ m/s}^2$

6.2. Vento

Con riferimento alla geometria della costruzione si sono ottenuti i seguenti valori di pressione, per edifici a tenuta stagna, con classe di rugosità del terreno D:

$g_{k3} = 65,0 \text{ daN/mq}$ (superficie verticale sopravvento)

$g_{k3} = \pm 35,0 \text{ daN/mq}$ (superficie verticale sottovento)

$g_{k3} = \pm 35,0 \text{ daN/mq}$ (superficie orizzontale di copertura)

6.3. Neve

Con riferimento alla geometria della costruzione si sono ottenuti i seguenti valori di carico

verticale:

$$g_{k3} = 120 \text{ daN/mq}$$

7. ANALISI DEI CARICHI STATICI VERTICALI

Impalcato calpestio piano terra e 1° piano con volte in muratura

G_{k1} - Peso proprio volta in muratura $sp = 12 \text{ cm}$ (a mq in pianta)	250	daN/m ²
G_{k1} - Caldana di rinforzo in calcestruzzo $sp_{\text{medio}} = 10 \text{ cm}$	250	daN/m ²
G_{k2} - Carichi permanenti (sottofondo-pavimento-intonaco)	250	daN/m ²
G_{k3} - Tavolati distribuiti	----	daN/m ²
Q_k - Carichi accidentali (ad uso abitazione cat. B2/C1)	<u>300</u>	daN/m ²
Carico totale uniformemente distribuito	<u>1050</u>	daN/m²

Impalcato calpestio sottotetto in legno

G_{k1} - Peso solaio in legno (travetti e doppio assito)	50	daN/m ²
G_{k2} - Carichi permanenti (coibentazione termica)	10	daN/m ²
Q_k - Carichi accidentali (Cat. H1- sottotetti con accesso per sola manutenzione)	<u>50</u>	daN/m ²
Carico totale uniformemente distribuito	<u>110</u>	daN/m²

Impalcato calpestio sottotetto in laterizio

G_{k1} - Peso solaio in laterizio $sp = 18/20 \text{ cm}$	285	daN/m ²
G_{k2} - Carichi permanenti (coibentazione termica)	10	daN/m ²
G_{k2} - Carichi permanenti (intonaco)	40	daN/m ²
Q_k - Carichi accidentali (Cat. H1- sottotetti con accesso per sola manutenzione)	<u>50</u>	daN/m ²
Carico totale uniformemente distribuito	<u>385</u>	daN/m²

Impalcato copertura in legno in randa

G_{k1} - Peso solaio in legno (travetti)	15	daN/m ²
G_{k2} - Carichi permanenti (coppi, listelli e ondulina sottocoppo)	100	daN/m ²
Q_k - Carichi accidentali (neve)	<u>120</u>	daN/m ²
Carico totale uniformemente distribuito	<u>235</u>	daN/m²

8. VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

8.1 – Sacrestia

Schema statico: volta a crociera

A favore stabilità si considera tutto il carico dovuto alla copertura in legno, al peso della volta ed al peso dei rinfianchi come uniformemente distribuito e ripartito lungo i due assi diagonali della volta.

8.1.1 - Verifica della sezione compressa in chiave

La verifica viene eseguita per la sezione in chiave della calotta sferica, avente freccia di circa 70 cm, considerando la sezione resistente pari a 120 cm x 12 cm $A = 1440,00 \text{ cm}^2$

$$M_{ed} = 1/8 pl^2 = 9046 \text{ daNm}$$

Con $l = 6,22 \text{ m}$; freccia = 0,70 m

risulta uno sforzo di compressione in chiave, pari a $N_{ed} = M_{ed}/f = 12923 \text{ daN}$

$$f_{ed} = N_{ed}/A = 8,9 \text{ daN/cm}^2 < f_d;$$

8.1.2 - Verifica catene e dei capochiavi

Per assorbire la spinta esercitata all'imposta della volta nei quattro angoli, per effetto dei carichi accidentali e permanenti, pari $N_{ed} = 12923 \text{ daN}$ (forza inclinata a 45° rispetto agli assi di posizionamento delle catene), vengono disposte delle catene perimetrali in acciaio 5.6 del diametro pari a 30mm e sezione netta su filetto pari a 5,09 cm²

La tensione massima dell'acciaio in ogni catena risulta quindi pari a:

$$f_{ed} = 9138/5,09 = 2248 \text{ daN/cm}^2 < f_d$$

Sulla muratura si ha uno sforzo di compressione in corrispondenza dei capochiavi rotondi, con diametro di 40, cm pari a:

$$f_{ed} = 7,27 \text{ daN/cm}^2 < f_d;$$

8.2 – Corpo di fabbrica lato ovest chiesa

8.2.1 - Volte calpestio piano terra e piano primo

Schema statico: volta a crociera/ a botte

A favore stabilità si considera tutto il carico dovuto al peso della volta, al peso del rinforzo in calcestruzzo, dei sottofondi e dei pavimenti e dell'intonaco all'intradosso come

uniformemente distribuito e ripartito lungo i due assi diagonali della volta, nel caso delle volte a crociera mentre per le volte a botte si considera la striscia di un metro.

8.2.1.1 - Verifica della sezione compressa in chiave

La verifica viene eseguita per la sezione in chiave della calotta sferica, avente freccia di circa 110 cm, considerando la sezione resistente pari a 80 cm x 12 cm $A = 960,00 \text{ cm}^2$

$$M_{ed} = 1/8 pl^2 = 6252 \text{ daNm}$$

Con $l = 5,20 \text{ m}$; freccia = 1,10 m

risulta uno sforzo di compressione in chiave, pari a $N_{ed} = M_{ed}/f = 5683 \text{ daN}$

$$f_{ed} = N_{ed}/A = 5,9 \text{ daN/cm}^2 < f_d;$$

8.2.1.2 - Verifica catene

La spinta esercitata all'imposta della volta nei quattro angoli, per effetto dei carichi accidentali e permanenti, pari $N_{ed} = 4018 \text{ daN}$ per ciascuna delle due volte adiacenti (forza inclinata a 45° rispetto agli assi di posizionamento delle catene), viene contrastata dalla catena esistente, presupposta in acciaio tipo Fe360 con $F_c = 1,35$ delle dimensioni di $2 \times 3 \text{ cm} = 6,0 \text{ cm}^2$.

La tensione massima dell'acciaio in ogni catena risulta quindi pari a:

$$f_{ed} = 4018 \times 2 / 6 = 1339 \text{ daN/cm}^2 < f_d$$

8.2.2 - Coperura in legno

8.2.2.1 - Travetti 7x9 cm - interasse 50 cm - $L_c = 2,25 \text{ m}$

Schema statico: trave in semplice appoggio con carico distribuito uniforme.

Con l'analisi dei carichi di cui al capitolo 7 risultano le seguenti verifiche dei materiali:

$$f_{ed} = 108 \text{ daN/cm}^2 < f_{m,d};$$

$$f_{ved} = 4,5 \text{ daN/cm}^2 < f_{vm,d};$$

la freccia valutata a lungo termine per i carichi permanenti risulta:

$$f_{rin} = 1,1 \text{ cm} < 1/200 L_c$$

8.2.2.2 - Terzere 18x18 cm - interasse 210 cm - $L_c = 3,30 \text{ m}$ - $\alpha = 15^\circ$

Schema statico: trave in semplice appoggio con carico distribuito uniforme.

Con l'analisi dei carichi di cui al capitolo 7 risultano le seguenti verifiche dei materiali:

$$f_{ed} = 122,8 \text{ daN/cm}^2 < f_{m,d};$$

$$f_{Ved} = 5,3 \text{ daN/cm}^2 < f_{Vm,d};$$

la freccia valutata a lungo termine per i carichi permanenti risulta:

$$f_{rin} = 1,04 \text{ cm} < \frac{1}{300} Lc$$

8.2.2.3 - Falsi puntoni 20x24 cm - interasse 3,4 cm - Lc= 3,90 m

Schema statico: trave in semplice appoggio con carico concentrato in mezzeria.

Con il carico concentrato in mezzeria in corrispondenza dell'appoggio delle terzere risultano le seguenti verifiche dei materiali:

$$f_{ed} = 143,5 \text{ daN/cm}^2 < f_{m,d};$$

$$f_{Ved} = 4,4 \text{ daN/cm}^2 < f_{Vm,d};$$

la freccia valutata a lungo termine per i carichi permanenti risulta:

$$f_{rin} = 0,84 \text{ cm} < \frac{1}{300} Lc$$

8.3 – Corpo di fabbrica chiesa

8.3.1 – Volte in muratura

8.3.1.1.- Verifica catena tra volte a crociera

La spinta esercitata all'imposta dell'arco posto in mezzo alle due volte a crociera, per effetto dei carichi permanenti, è pari $N_{ed} = 19330 \text{ daN}$ e viene contrastata dalla catena esistente, presupposta in acciaio tipo Fe360 con $F_c = 1,35$ delle dimensioni di $2 \times 6 \text{ cm} = 12,0 \text{ cm}^2$.

La tensione massima dell'acciaio in ogni catena risulta quindi pari a:

$$f_{ed} = 19330/12 = 1610 \text{ daN/cm}^2 < f_d$$

8.3.2 - Coperura in legno

8.3.2.1 – Capriate -rinforzo con profili UPN 140 - $i_{medio} = 320 \text{ cm}$ - $Lc = 7,20 \text{ m}$ - $h = 1,55 \text{ m}$

Schema statico: travi con giunto a cerniera con geometria uguale a quella delle capriate esistenti in legno.

Per effetto dei carichi concentrati e distribuiti agenti sulla capriata i puntoni, costituiti da due profili UPN140 accoppiati a mezzo di barre filettate, risultano soggetti a sforzi di presso flessione.

Considerando, a favore di sicurezza, la luce di libera inflessione pari a 3,85m con i seguenti valori di azioni:

$$M_{ed} = 1722 \text{ daNm}$$

$$N_{ed} = 4562 \text{ daN}$$

Si ottiene, utilizzando la formula di cui al capitolo C4.2.1.3.3.1-Metodo A delle NTC e s.m.i, il seguente valore di stato di sollecitazione

$$0,722 < 1$$

Per tutti gli altri elementi lignei costituenti l'orditura secondaria (terzere), i travetti ed i listelli si fa riferimento alle verifiche eseguite ai precedenti paragrafi 8.2.2.1 e 8.2.2.2.

Pertanto tutti gli elementi strutturali verificati a compressione, flessione, pressoflessione e taglio risultano verificati, sia per quanto riguarda le sollecitazioni massime ammissibili, che per le deformazioni elastiche e viscosi.

IL PROGETTISTA

(Timbro e firma)