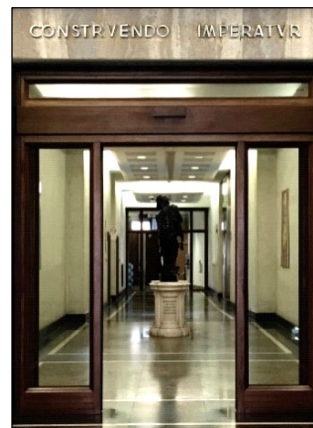




# Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE PER LE OPERE PUBBLICHE  
PER IL LAZIO, L'ABRUZZO E LA SARDEGNA

SEDE CENTRALE DI ROMA



**IL RUP**  
**Arch. Antonio Napolitano**

**IL PROGETTISTA**  
**prof. arch. Paolo Rocchi**  
Via Guido Banti n.7 - 00191

**COLLABORATORI**  
**arch. Renato Salvemini**  
Coordinatore della progettazione  
**arch. Caterina Galletti**  
Coordinatore progetto di restauro

**CONSULENZE SPECIALISTICHE**  
**dott.ssa Marina Maugeri**  
Interventi di restauro e risanamento conservativo  
**ing. Alessandro Casciari**  
Progettazione strutturale  
**dott. geol. Donatella Pingitore**  
Indagini geognostiche e relazione geologica  
**prof. arch. Carlo Bianchini**  
Sapienza Università di Roma  
Rilievo laser scanner e verifiche geometriche

## CHIESA DEI SS. BIAGIO E CARLO AI CATINARI

MINISTERO DELL'INTERNO (FEC) PROGETTAZIONE DEFINITIVA - ESECUTIVA E DI  
COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE DEI LAVORI DI  
COMPLETAMENTO DI RISANAMENTO CONSERVATIVO E DI CONSOLIDAMENTO GENERALE  
DELLA CHIESA DI SS. BIAGIO E CARLO AI CATINARI IN ROMA

N.	REVISIONE	DATA
00		17/12/2018
01		19/03/2019
02		
03		

IL DIRETTORE DEI LAVORI

L'IMPRESA

<input type="checkbox"/>	PROGETTO PRELIMINARE	<input checked="" type="checkbox"/>	PROGETTO DEFINITIVO	<input checked="" type="checkbox"/>	PROGETTO ESECUTIVO
--------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------	-------------------------------------	--------------------

	STATO DEI LUOGHI		<input checked="" type="checkbox"/>	PROGETTO	
--	------------------	--	-------------------------------------	----------	--

<input type="checkbox"/>	RILIEVO	<input type="checkbox"/>	ARCHITETTURA	<input checked="" type="checkbox"/>	STRUTTURE	<input checked="" type="checkbox"/>	RESTAURO
--------------------------	---------	--------------------------	--------------	-------------------------------------	-----------	-------------------------------------	----------

ELABORATO		ELABORATO	DESCRIZIONE DELL'ELABORATO				FORMATO
RELAZIONE		RMD	RELAZIONE SUI MATERIALI E SULLE DOSATURE				A4

P.D. P.E.	PROG	E.R.	STR.	RMD	01	01	DATA 19/03/2019
--------------	------	------	------	-----	----	----	--------------------

## **Relazione su materiali e dosature**

<b>1. PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2. Normativa di riferimento</b>	<b>2</b>
<b>3. Materiali esistenti</b>	<b>2</b>
3.1 Livello di conoscenza e fattori di confidenza	2
3.2 Parametri meccanici della muratura	4
<b>4. Materiali nuovi</b>	<b>6</b>
4.1 Acciaio B450C	7
4.2 Acciaio S275J2	7
4.3 Acciaio per barre filettate classe 8.8	8

## 1. PREMESSA

La presente relazione si redige al fine di illustrare il progetto definitivo - esecutivo dei lavori di completamento del risanamento conservativo e consolidamento generale della Chiesa di SS. Biagio e Carlo ai Catinari in Roma, che si pone come obiettivo la definizione di interventi in grado di affrontare complessivamente le problematiche strutturali e di sicurezza all'interno del monumento, nell'ambito della disponibilità economica messa a disposizione dall'Ente Appaltante, (Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche per il Lazio, l'Abruzzo e la Sardegna).

## 2. Normativa di riferimento

Si riporta qui di seguito la normativa di riferimento, in particolare la legge quadro e gli aggiornamenti successivi fino alle più recenti disposizioni.

- ✓ L. 12/2/1974 N°64: "Regolamento sismico italiano e successive modifiche"
- ✓ D.M. 14/01/2008 Min. delle Infrastrutture e dei Trasporti "Norme tecniche per le costruzioni".
- ✓ Circolare esplicativa N°617 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008".
- ✓ Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 9 febbraio 2011: Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni.
- ✓ CNR-DT 200/2013 Istruzioni per la Progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati.

## 3. Materiali esistenti

### 3.1 Livello di conoscenza e fattori di confidenza

Come riportato nel §C8A.1.A della Circolare n.617 del 2 febbraio 2009: *"La conoscenza della costruzione in muratura oggetto della verifica è di fondamentale importanza ai fini di una adeguata analisi, e può essere conseguita con diversi livelli di approfondimento, in funzione dell'accuratezza delle operazioni di rilievo, dell'analisi storica e delle indagini sperimentali"*.

La definizione del Livello di conoscenza e, di conseguenza, dei fattori di confidenza è stata eseguita sulla base delle indicazioni fornite nel §4.2 dalle Linee Guida del 9 febbraio 2011 *"Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008"*. In questo paragrafo il livello di conoscenza raggiunto viene definito dalla seguente espressione:

$$F_C = 1 + \sum_{k=1}^4 F_{CK}$$

Dove  $F_{CK}$  sono i fattori parziali di confidenza indicati nella Tabella 4.1 (riportata di seguito) delle Linee Guida del 9 febbraio 2011.

Rilievo geometrico	identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
rilievo geometrico completo $F_{C1} = 0.05$	restituzione ipotetica delle fasi costruttive basata su un limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $F_{C2} = 0.12$	parametri meccanici desunti da dati già disponibili $F_{C3} = 0.12$	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geotecnici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni $F_{C4} = 0.06$
rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi $F_{C1} = 0$	restituzione parziale delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su: a) limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione e alla verifica delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, verifica diagnostica delle ipotesi storiografiche); b) esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $F_{C2} = 0.06$	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0.06$	disponibilità di dati geotecnici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0.03$
	restituzione completa delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su un esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, eventuali indagini diagnostiche) $F_{C2} = 0$	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0$	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0$

### Rilievo geometrico

Nel caso in esame si è valutato il fattore di confidenza  $F_{C1}$  pari a 0,05 poiché si è realizzato un rilievo geometrico completo del monumento e di tutte le sue parti oggetto di progettazione.

### Identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica

Nel caso in esame si è valutato il fattore di confidenza  $F_{C2}$  pari a 0,06 in quanto la ricerca documentale, coordinata con il rilievo materico effettuato in occasione dei sopralluoghi, ha fornito notevoli indicazioni riguardo la successione delle fasi costruttive della cattedrale; l'edificio però è talmente articolato che permangono alcuni punti non chiariti riguardo le trasformazioni che ha subito nella sua storia plurisecolare.

### Proprietà meccaniche dei materiali

Nel caso in esame si è valutato il fattore di confidenza  $F_{C3}$  pari a 0,06 poiché sono state effettuate limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali nel corso degli anni. Sono infatti disponibili i risultati delle indagini sui materiali effettuate nel 2006 per la progettazione preliminare che possono essere riassunte come segue:

#### Indagini passate all'interno della Chiesa

- 2 prove di carico con martinetti piatti singoli
- 2 prove di carico con martinetti piatti doppi
- 4 indagini endoscopiche nelle murature
- 4 Prove soniche

#### Indagini passate eseguite nel tamburo della cupola a livello del sottotetto

- 4 prove di carico con martinetti piatti singoli
- 1 prove di carico con martinetti piatti doppi
- 9 indagini endoscopiche nelle murature
- 4 Prove soniche

Recentemente sono state effettuate altre prove da Unilab Sperimentazione per la redazione del progetto esecutivo che possono essere così riassunte:

- 22 indagini videoendoscopiche
- 2 carotaggi in fondazione e videoendoscopie
- 10 analisi termografiche

Nel §4.2 delle Linee Guida si legge: “Qualora siano effettuate indagini sulle proprietà meccaniche della muratura, per il fattore parziale di confidenza  $F_{C3}$  potrà essere assunto un valore più basso di 0,12 solo se la resistenza a compressione della muratura è considerata nel modello di valutazione”. Si segnala che per le verifiche dei meccanismi locali si è svolta un’analisi cinematica lineare, adottando l’ipotesi di resistenza infinita della muratura. Ciò implica che, in questi casi,  $F_{C3}$  è stato posto pari a 0,12.

#### Terreno e fondazioni

Come si vede si sono indicati due differenti valori per  $F_{C4}$ . Infatti, al §4.2 delle Linee Guida si legge: “Nel caso di valutazioni a carattere locale quando le informazioni sul terreno e le fondazioni non hanno alcuna relazione sullo specifico meccanismo di collasso, il fattore di confidenza parziale  $F_{C4}$  può essere assunto pari a 0”.

Si distingue allora un  $F'_{C4}$  da utilizzarsi nel caso di verifiche locali (pari a 0) da un  $F''_{C4}$  da utilizzarsi per lo svolgimento di verifiche non legate a meccanismi locali. Per verifiche influenzate dalle informazioni sul terreno e sulle fondazioni, si adotta  $F_{C4} = 0,03$ , avendo a disposizione i risultati delle indagini geologiche integrative fatte realizzare.

Si riportano i valori che il fattore di confidenza può assumere in base a quanto sopra esposto.

Per verifiche globali, influenzati dagli aspetti geotecnici:

$$F'_c = 1 + F_{C1} + F_{C2} + F_{C3} + F_{C4} = 1 + 0,05 + 0,06 + 0,06 + 0,03 = \mathbf{1,20}$$

Per verifiche di meccanismi locali, non influenzati dagli aspetti geotecnici e con l’ipotesi di resistenza infinita della muratura:

$$F''_c = 1 + F_{C1} + F_{C2} + F_{C3} + F_{C4} = 1 + 0,05 + 0,06 + 0,12 + 0,00 = \mathbf{1,23}$$

### **3.2 Parametri meccanici della muratura**

Si prende a riferimento il punto 4.1.7 delle Linee Guida, in cui, dopo aver sottolineato l’opportunità che gli enti di tutela territoriali predispongano degli archivi permanenti con raccolte di dati provenienti da interventi su tipologie specifiche di muratura, si riporta:

“In assenza degli archivi di cui sopra si potrà far riferimento, per ogni tipologia muraria, ai valori medi dei parametri meccanici definiti nelle Tabelle C8A.2.1 e C8A.2.2 dell’Appendice C8A alla Circolare”.

Tipologia di muratura	$f_m$	$\tau_0$	E	G	w
	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18

In generale, le indagini hanno mostrato come la muratura della chiesa in oggetto sia di tipo monolitico in mattoni in laterizio, senza particolari rinforzi esistenti e degradi presenti.

Si riportano dunque i parametri della muratura assunti per il caso specifico:

$$f_m = \frac{2.40 + 4.00}{2} = 3.20 \text{ MPa}$$

$$\tau_0 = \frac{0,060 + 0,092}{2} = 0,076 \text{ MPa}$$

$$E = \frac{1200 + 1800}{2} = 1500 \text{ MPa}$$

$$G = \frac{400 + 600}{2} = 500 \text{ MPa}$$

### Resistenze di calcolo

Per le verifiche di resistenza della muratura si assumono le seguenti espressioni per determinare i parametri resistenti.

Resistenza a compressione:

$$f_d = \frac{f_m}{\gamma_{M \cdot FC}} \quad \text{espressione 4.5.2 NTC2008}$$

Resistenza a taglio in assenza di compressione:

$$\tau_{0d} = \frac{\tau_0}{FC \cdot \gamma_M} \quad \text{punto C8.7.1.5 della Circolare 617/2009}$$

Resistenza a taglio in presenza di compressione:

$$\tau_d = \tau_{0d} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1,5 \cdot \tau_{0d}}} \quad \text{espressione 5.4 D.P.C.M. 09/02/2011}$$

#### 4. Materiali nuovi

Gli interventi previsti per la riparazione ed il miglioramento sismico dell'edificio oggetto di studio comportano l'impiego dei seguenti materiali nuovi:

- a) Betoncino reoplastico fibrorinforzato, classe C25/30 (o superiore),
- b) Acciaio in barre ad aderenza migliorata tipo B450C per armature da c.a. e perfori,
- c) Acciaio per carpenteria metallica e incatenamenti tipo S275J2,
- d) Acciaio per saldature tipo S275J2,
- e) Acciaio per barre filettate: bulloni classe 8.8 (o superiore)
- f) Barre in acciaio inox AISI 316
- g) Malta antiritiro per iniezioni dei perfori,
- h) Malta idraulica a base calce per riparazioni
- i) Resine epossidiche bicomponenti per ancoraggi,
- j) Muratura in elementi pieni conformi al D.M. 14/01/2008,

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali da utilizzare per il dimensionamento e la verifica degli interventi.

#### 4.1 Acciaio B450C

Acciaio controllato in stabilimento, in barre ad aderenza migliorata per armature da c.a. e perfori armati

Parametro	Simbolo	Valore
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	450 MPa
Tensione caratteristica di rottura	$f_{yt}$	540 MPa
Resistenza di calcolo dell'acciaio	$f_{yd}$	391,3 MPa
Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza	$f_{bk}$	4,03 MPa
Tensione tangenziale di aderenza acciaio-cl	$f_{bd}$	2,69 MPa
Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio	$\sigma_s$	360 MPa
Peso specifico acciaio per barre di armatura	$\gamma_s$	78,50 kN/m <sup>3</sup>
Modulo elastico acciaio	$E_s$	210 GPa

Coefficiente parziale di sicurezza:  $\gamma_s = 1,15$

In ogni caso tutti gli acciai devono possedere le caratteristiche di cui alle vigenti norme tecniche per le opere in c.a.

Non si devono porre in opera armature eccessivamente ossidate, corrose, recanti difetti superficiali che ne pregiudichino la resistenza, o alterate da sostanze che possono ridurre sensibilmente l'aderenza al calcestruzzo (grassi, sostanze oleose, terra o fango).

#### 4.2 Acciaio S275J2

L'acciaio S235J2 è utilizzato per i profilati con cui si realizzano i collari in sommità ai pilastri, per i profilati che costituiscono le cerchiature delle aperture, nonché per le catene e le eventuali saldature. Si prescrive la caratteristica di resilienza J2 (temperature di esercizio da -20 °C) per via della tipologia dell'edificio, che non possiede alcun impianto o accorgimento per mantenere la temperatura a valori prefissati.

Parametro	Simbolo	Valore
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	275 MPa
Tensione caratteristica a rottura	$f_{tk}$	430 MPa
Modulo Elastico	$E_s$	210000 MPa
Densità	$\rho$	7850 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente di Poisson	$\nu$	0,25 -
Modulo elastico tangenziale	$G$	76000 MPa
Coefficiente di dilatazione termica	$\alpha$	$12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Coefficienti di sicurezza:

$\gamma_{M0} = 1,05$  Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4;

$\gamma_{M1} = 1,05$  Resistenza all'instabilità delle membrature;

$\gamma_{M2} = 1,25$  Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori).

Seguono alcune precisazioni in merito alle unioni saldate.

#### Unioni con saldature a piena penetrazione



I collegamenti testa a testa, a T e a croce a piena penetrazione sono generalmente realizzati con materiali d'apporto aventi resistenza uguale o maggiore a quella degli elementi collegati. Pertanto la resistenza di calcolo dei collegamenti a piena penetrazione si assume eguale alla resistenza di progetto del più debole tra gli elementi connessi. Una saldatura a piena penetrazione è caratterizzata dalla piena fusione del metallo di base attraverso tutto lo spessore dell'elemento da unire con il materiale di apporto.

#### Unioni con saldature a cordoni d'angolo

La resistenza di progetto, per unità di lunghezza, dei cordoni d'angolo si determina con riferimento all'altezza di gola "a", cioè all'altezza "a" del triangolo iscritto nella sezione trasversale del cordone. La lunghezza di calcolo L è quella intera del cordone, purché questo non abbia estremità palesemente mancanti o difettose.

Considerando la sezione di gola in posizione ribaltata, si indicano con  $\sigma_{\perp}$  e con  $\tau_{\perp}$  la tensione normale e la tensione tangenziale perpendicolari all'asse del cordone.

La verifica dei cordoni d'angolo si effettua controllando che siano soddisfatte simultaneamente le due condizioni:

$$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \beta_1 f_{yk}$$

$$\sigma_{\perp} + \tau_{\perp} \leq \beta_2 f_{yk}$$

dove  $f_{yk}$  è la tensione di snervamento caratteristica ed i coefficienti  $\beta_1$  e  $\beta_2$  sono dati in funzione del grado di acciaio.

Le saldature saranno sottoposte a controlli non distruttivi finali per accertare la corrispondenza ai livelli di qualità stabiliti dal progettista sulla base delle norme applicate per la progettazione.

#### **4.3 Acciaio per barre filettate classe 8.8**

Le barre filettate devono appartenere alla classe 8.8 o superiore, in riferimento al §11.3.4.6.1. In particolare, si richiedono le seguenti caratteristiche minime.

Parametro	Simbolo	Valore
Tensione di snervamento	$f_{yb}$	640 MPa
Tensione di rottura	$f_{tb}$	800 MPa