



Comune di Ferrara
Provincia di Ferrara

Arcidiocesi di Ferrara-Comacchio

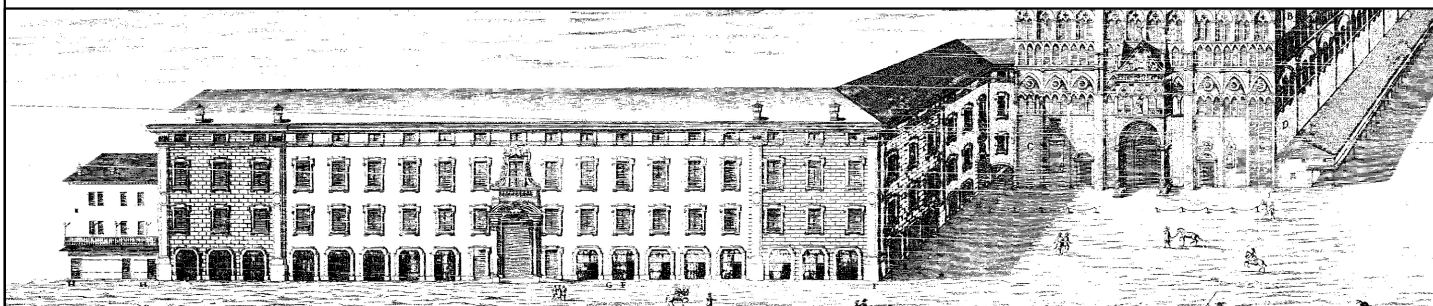


PALAZZO ARCIVESCOVILE DELL'ARCIDIOCESI DI FERRARA-COMACCHIO

Corso Martiri della Libertà, n. 77, Ferrara

PROGETTO ESECUTIVO:

Riparazione e rafforzamento locale post sisma
Ord. 120 del 11 ottobre 2013 e s.m.i.



RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Recepimento richieste di integrazione

PROPRIETÀ: Arcidiocesi di Ferrara-Comacchio, Corso Martiri della Libertà 77, Ferrara

RUP:

Ing. Nicola Gambetti

PROGETTO ESECUTIVO:

Coordinatore generale: arch. Benedetta Caglioti

Il Direttore Ufficio

Tecnico Diocesano:

Ing. Don Stefano Zanella

Progetto architettonico:

arch. Benedetta Caglioti

Progetto strutturale e
coordinamento della sicurezza:

Ing. Alessio Colombi

Ing. Marco Roversi

Ing. Ottavia Vitarelli



Colombi Roversi & Associati
Studio di Ingegneria

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			2	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	

Indice

1.Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale	4
1.1. Descrizione generale della struttura, materiali e azioni agenti	4
1.1.1 Descrizione generale della struttura e degli interventi	4
1.1.2 Livelli di conoscenza e caratteristiche dei materiali	11
1.1.3 Definizione delle azioni agenti sulla struttura e combinazioni agli SL	14
1.2 Quadro normativo di riferimento adottato	18
1.3.Criteri di progetto e principali risultati	19
2.Relazione di calcolo strutturale	20
2.1.Premessa	20
2.2.Analisi storico-critica ed esito del rilievo geometrico-strutturale	21
2.2.1.Cenni storici ed evoluzione dell'edificio	21
2.2.2.Caratteristiche dei materiali esistenti	24
2.3.Descrizione generale dell'opera e criteri di progettazione, analisi e verifica	25
2.4.Quadro normativo di riferimento adottato	31
2.4.1.Norme di riferimento cogenti	31
2.4.2.Altre norme e documenti tecnici integrativi	31
2.5.Livelli di conoscenza e fattori di confidenza	31
2.6.Azioni di progetto sulla costruzione	31
2.7.Valutazione della Sicurezza	40
2.8.Modello numerico	43
2.9.Verifiche agli stati limite	43
2.10.Ulteriori verifiche	44
2.10.1.Verifica catene porticato – UNITA' STRUTTURALE 1	44
2.10.2.Verifica reticolare di falda e di piano – UNITA' STRUTTURALE 1	49
2.10.3.Verifica catene nella torretta – UNITA' STRUTTURALE 1	66
2.10.4.Verifica a ribaltamento parete Sud – UNITA' STRUTTURALE 1	74
2.10.5.Consolidamento volte in muratura con lamine in FRP – UNITA' STRUTTURALE 1	78
2.10.6.Verifica catene – UNITA' STRUTTURALE 2	98
2.10.7.Verifica a ribaltamento facciata corte interna – UNITA' STRUTTURALE 1	100
2.10.8.Verifica dei collegamenti dell'orditura lignea di copertura	101
3.Relazione sui materiali	108
3.1.Elenco dei materiali impiegati e loro modalità di posa in opera	108
3.1.1.Acciaio per carpenterie metalliche	108
3.1.2.Legno strutturale	108
3.1.3.Muratura portante per integrazioni o sostituzioni	108
3.1.4.Tessuto in FRP	108
3.2.Valori di calcolo	108
3.2.1. Acciaio per carpenterie metalliche	108
3.2.2.Legno strutturale	109
3.2.3.Muratura portante per integrazioni o sostituzioni	109
3.2.4.Tessuto in FRP	110
4.Elaborati grafici esecutivi e particolari costruttivi	111
4.1.Rilievo geometrico strutturale	111
4.2.Documentazione fotografica	111
4.3.Quadro fessurativo e di degrado	111

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			3	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

4.4.Elaborati grafici generali e particolari costruttivi	111
5.Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera	112
5.1.Premessa.....	112
5.2.Manuale d'uso.....	112
5.3.Manuale di manutenzione.....	113
6 Valutazioni geotecniche e prove sui materiali	115
6.1.Relazione sulla caratterizzazione meccanica del terreno	115
6.2.Relazione sulla caratterizzazione meccanica del legno.....	115

NOTA: per gli allegati A, B e C citati nella presente relazione si rimanda alla precedente relazione di calcolo strutturale presentata.

Nota: i tabulati completi ed altri risultati grafici non indicati possono essere reperiti presso lo studio di ingegneria Colombi Roversi & Associati.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			4	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

1. Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale

Premessa

Il complesso monumentale oggetto della presente relazione ha subito diffusi danneggiamenti a seguito degli eventi sismici dell'area emiliana del 20 e 29 maggio 2012. Con la presente vengono trattati gli interventi necessari alla riparazione ed al rafforzamento locale delle unità strutturali che compongono il Palazzo Arcivescovile di Ferrara.

1.1. Descrizione generale della struttura, materiali e azioni agenti

1.1.1 Descrizione generale della struttura e degli interventi

La presente relazione tratta gli interventi di riparazione e rafforzamento locale da realizzarsi nella parte di isolato storico ubicato nel centro di Ferrara, che costituisce il complesso del Palazzo Arcivescovile, ricompreso tra le vie Corso Martiri della Libertà e Via degli Adelardi, lesionato dagli eventi sismici avvenuti nell'area Emiliana il 20 e 29 maggio 2012.

Il Palazzo è caratterizzato da una notevole complessità geometrica e costruttiva sia in pianta che in elevazione, e viene suddiviso dagli scriventi, sulla base delle tipologie costruttive e altezze differenti tra le quote dei solai tra i diversi corpi, in tre Unità Strutturali:

- La prima, quella principale, è costituita dal corpo avente forma rettangolare che affaccia su Corso Martiri della Libertà, ed ha il retro delimitato da una grande corte interna. Lateralmente, sono inoltre presenti due corti minori collegate da un lungo porticato.
- La seconda unità strutturale è costituita da un corpo di fabbrica che affaccia su via degli Adelardi, fronteggiando un lato longitudinale del Duomo di Ferrara, il lato opposto è delimitato dalla corte interna del complesso mentre i due restanti lati confinano uno con l'unità strutturale 1 e l'altro con altre unità strutturali appartenenti all'isolato.
- La terza, e ultima, unità strutturale ha un affaccio solo sul cortile interno del Palazzo, il prospetto opposto affacciante su una corte interna afferente ad altre unità strutturali appartenenti all'isolato ed i due rimanenti lati confinano uno con l'unità strutturale 1 e l'altro su un ulteriore corte interna.

La figura seguente mostra in pianta l'intero complesso del Palazzo Arcivescovile, con evidenziate le unità strutturali sopra definite:

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°	Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001	0			
			Doc. n°	CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data	
			5	115	A.C. & O.V.	DIC.2017	



Inquadramento generale complesso Palazzo Arcivescovile: le unità strutturali oggetto degli interventi locali descritti nella presente relazione, sono quelle evidenziate rispettivamente in rosso, verde e blu, mentre in grigio viene evidenziato l'isolato circostante.

Si osserva che le tre unità strutturali in oggetto fanno parte di un isolato composto da edifici in aggregato; in particolare, come è possibile riscontrare dall'immagine soprastante, ciascuna di esse confina con altri edifici appartenenti all'aggregato. Poiché gli interventi strutturali di progetto sono di tipo locale, non modificano in modo sostanziale il comportamento originale delle tre unità che compongono il Palazzo Arcivescovile e di conseguenza non modificheranno la reciproca interazione tra unità strutturali adiacenti.

Si specifica inoltre che, alcuni lavori di riparazione sono stati previsti anche nel corridoio di collegamento tra la U.I. 3 ed il quarto corpo di fabbrica affacciante sulla corte interna principale del complesso, ed in alcune stanze presenti al piano secondo di detto fabbricato, in quanto facenti parte delle proprietà della curia e direttamente collegate agli uffici presenti nella U.I.3.

- Unità strutturale 1

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°	Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001	0				
			Doc. n°	CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data		
			6	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		

Tale unità strutturale è costituita da un corpo di fabbrica prospiciente Corso Martiri, costituito da tre livelli fuori terra; al piano terra, nella parte retrostante di confine con il cortile interno, è presente un lungo porticato a doppio volume che occupa anche l'altezza del piano primo, costituito da colonne e volte a crociera in mattoni, mentre sul fronte sono presenti le sedi di varie attività commerciali. Al piano primo, sono presenti i magazzini delle varie attività commerciali ed una residenza di suore. Infine, il piano secondo, o piano nobile, è occupato in parte da saloni di rappresentanza, adibiti a convegni od esposizioni, ed in parte dagli uffici del Vescovo.

All'interno di tale unità strutturale sono inoltre presenti due corti interne minori, speculari rispetto all'asse centrale d'ingresso che collega Corso Martiri della Libertà alla corte interna principale del complesso. Una delle due corti è sovrastata da una torretta che sale di altri tre piani rispetto alla linea del coperto esistente.

Le murature sono a triplo paramento, con pochi collegamenti trasversali reciproci. Al piano terra si ha uno spessore della muratura pari a circa 95 cm che si rastrema fino a 70 cm in sommità. Le colonne del porticato sono in muratura e hanno sezione quadrata di lato circa 76 cm. Le volte a crociera che sovrastano il porticato sono di mattoni con riempimento, mentre i solai del piano primo e del piano secondo, presenti nella zona occupata da attività commerciali, sono costituiti da volte a botte anch'esse in muratura. Il soffitto del piano secondo è realizzato in parte con volte di mattoni in foglio ed in parte da volte in arella e gesso.

Infine la struttura del coperto è realizzata con capriate ed una doppia orditura di travi lignee e tavelle.

L'unità strutturale confina , lungo il lato Nord, con altri edifici facenti parte dell'isolato in aggregato (si veda immagine seguente).



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			7	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	

Tali edifici hanno una quota di copertura inferiore a quella della U.I.1, dunque un'eventuale vulnerabilità nei loro confronti è costituita dalla possibilità di attivazione del cinematismo di ribaltamento della parte sommitale del muro di confine. Questa vulnerabilità verrà eliminata grazie all'inserimento di una reticolare metallica e del doppio tavolato a livello di sottotetto, entrambi posti a ritegno sommitale delle pareti.

- Unità strutturale 2

L'unità strutturale 2, avente asse longitudinale parallelo a Via degli Adelardi, è costituita da 3 piani fuori terra, aventi altezze di interpiano differenti rispetto a quelle dell'unità strutturale 1. Anche in questo caso al piano terra sono presenti le sedi di attività commerciali, al piano primo vi è la residenza del segretario del Vescovo e diversi uffici privati, mentre al piano secondo vi è la residenza del Vescovo.

Le murature di questa unità strutturale sono in mattoni pieni e malta di calce avente tuttavia buone caratteristiche meccaniche, hanno uno spessore molto variabile sia in pianta che in altezza, da 64 a 45 cm. I solai sono lignei a doppia orditura con tavolato ed il coperto è realizzato con capriate lignee travi e tavelle.

L'unità strutturale confina a Sud con la Cattedrale, mentre ad Est con altre unità strutturali appartenenti all'aggregato (si veda immagine seguente).



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			8	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Le quote di copertura della parte di struttura confinante con la Cattedrale e quella prospiciente via degli Adelardi, adiacente ad altra unità strutturale, sono uguali a quelle degli edifici ad essi attigui, dunque non si rilevano criticità a riguardo.

La parte di unità strutturale retrostante, evidenziata nell'immagine con la freccia verde, confina invece con un'unità strutturale più bassa, dunque, come nel caso della U.I.1 un'eventuale vulnerabilità è costituita dalla possibilità di attivazione del cinematismo di ribaltamento della parte sommitale del muro di confine. In questo caso la vulnerabilità verrà eliminata grazie all'inserimento di catene metalliche.

- Unità strutturale 3

Quest'ultima unità strutturale, situata internamente all'isolato e affacciante sulla corte interna principale, è costituita da piano terra, primo e secondo e le strutture portanti sono murature di mattoni pieni e malta di calce con buone proprietà meccaniche.

Lo spessore delle murature è variabile, al piano terra è pari a 45 cm e va rastremandosi ad ogni piano fino a diventare pari a 30 cm.

In questa unità strutturale, sede al piano terra di magazzini e garage, ed ai piano sovrastanti sede di uffici della curia, sono stati eseguiti diversi lavori strutturali, soprattutto nelle volte a crociera di mattoni presenti al piano terra. Tali interventi, costituiti dall'inserimento di un reticolo di putrelle metalliche di sostegno, sono tuttavia finalizzati ad un solo rinforzo statico delle volte.

I solai dei piani superiori sono in parte lignei ed in parte latero-cementizi. Infine anche in questo caso, la copertura è lignea con capriate, travi primarie e secondarie e tavelle.

Quest'ultima unità strutturale confina a Nord-Est con un'unità strutturale appartenente all'aggregato (si veda immagine seguente).

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			9	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	



In questo caso le quote sommitali delle due unità strutturali sono analoghe e dunque non si evidenziano criticità tra i due corpi.

Dal punto di vista dei materiali l'edificio presenta murature portanti a tessitura regolare, in mattoni pieni e malta di calce di buona qualità rispetto a quella compatibile con l'epoca costruttiva. La particolarità di tale palazzo è che essendo stato costruito su fondazioni di edifici precedentemente esistenti, le murature dell'unità strutturale 1 al piano terra in parte racchiudono le murature esistenti in precedenza. Dunque si possono assumere come vari paramenti l'uno accostato all'altro. Infine, nei vani di porte e finestre si trovano piattabande di mattoni pieni.

Per la descrizione del quadro fessurativo si rimanda agli elaborati grafici dedicati.

L'analisi del quadro fessurativo manifestatosi in conseguenza agli eventi sismici del maggio 2012 nel complesso storico del Palazzo Arcivescovile ha portato a prevedere interventi strutturali per il ripristino dei danni subiti e di rafforzamento locale con eliminazione delle principali vulnerabilità riscontrate nelle tre unità strutturali che lo compongono.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
			RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI					
			Fg.	Di	Compilato		Data	
			10	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	

Gli interventi previsti da progetto, che nel seguito verranno discussi e giustificati, riguardano:

- Unità strutturale 1

- Interventi di riparazione delle lesioni mediante le tecniche di scuci-cuci (ove possibile, in quanto l'edificio ha molte pareti decorate con affreschi, soprattutto per quanto riguarda il piano nobile), iniezione delle lesioni con colli di miscela legante, riparazione delle lesioni con inserimento di cuneo in ferro e malta anti-ritiro e ristilatura dei giunti, dove necessario corredata da inserimento di barre nei giunti di malta;
- Cerchiatura di colonne in pietra con piastre metalliche sagomate;
- inserimento di catene metalliche nelle volte del porticato al fine di contrastare la spinta generata dagli archi che scaricano sulle colonne e sulle murature;
- inserimento di catene metalliche sommitali in corrispondenza delle catene delle capriate della torretta e raddoppio del tavolato dei due solai del 3° e 4° piano con relativo collegamento perimetrale alla muratura, al fine di evitare il cinematismo di ribaltamento delle murature perimetrali sulla copertura e la corte interna sottostante;
- Inserimento di reticolare di piano/falda a livello delle catene delle capriate di copertura, al fine di evitare il manifestarsi del cinematismo di ribaltamento delle pareti;
- Inserimento di un secondo strato di tavolato, sopra quello esistente a livello di sottotetto nelle zone in cui non è possibile realizzare le reticolari metalliche, collegato perimetralmente alle pareti in muratura, al fine di trattenere il ribaltamento delle pareti stesse ed uniformare il più possibile l'intervento nell'unità strutturale in oggetto;
- Inserimento cordolo in muratura armata lungo il perimetro dei tre ambienti centrali dell'unità strutturale e contestuale inserimento di uno strato di tavolato sopra le tavole esistenti collegato al cordolo, al fine di meglio garantire un comportamento scatolare del nucleo centrale ed evitare il cinematismo di ribaltamento delle pareti perimetrali; tale intervento è anche funzionale all'uniformazione degli altri interventi in copertura, ovvero reticolari metalliche e raddoppio del tavolato;
- Consolidamento e rinforzo delle volte in muratura del piano secondo con lamine in FRP incollate con resine epossidiche;
- Consolidamento estradossale delle volte in canna e gesso;
- Solidarizzazione delle travi principali del coperto mediante barre filettate e resine epossidiche o viti da legno e consolidamento dei nodi delle capriate;

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			11	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

- Sostituzione di alcuni elementi lignei dell'orditura del coperto;
- Rimaneggiamento del manto di copertura.

- Unità strutturale 2

- Interventi di riparazione delle lesioni mediante le tecniche di scuci-cuci, iniezione delle lesioni con colli di miscela legante, riparazione delle lesioni con inserimento di cuneo in ferro e malta anti-ritiro e ristilatura dei giunti;
- Consolidamento estradossale delle volte in arella;
- Solidarizzazione delle travi principali del coperto mediante barre filettate e resine epossidiche o viti da legno e consolidamento dei nodi delle capriate;
- Sostituzione di alcuni elementi lignei dell'orditura del coperto;
- Inserimento di catene in copertura;
- Rimaneggiamento del manto di copertura.

- Unità strutturale 3

- Interventi di riparazione delle lesioni mediante le tecniche di scuci-cuci, iniezione delle lesioni con colli di miscela legante, riparazione delle lesioni con inserimento di cuneo in ferro e malta anti-ritiro e ristilatura dei giunti;
- Demolizione di controsoffitti in arella gravemente lesionati;
- Rinforzo anti-sfondellamento di solaio in latero cemento.

Come è possibile osservare dal breve elenco sopra-riportato gli interventi previsti dalla presente relazione sono praticamente tutti volti alla riparazione locale dei danni subiti da ciascuna unità strutturale, con tecniche quali lo scuci-cuci, l'iniezione delle lesioni con miscele leganti, la riparazione delle lesioni con inserimento di cuneo in ferro e malta anti-ritiro e la ristilatura dei giunti di malta, ed all'eliminazione delle vulnerabilità riscontrate, in particolare relative al cinematismo di ribaltamento delle pareti perimetrali.

1.1.2 Livelli di conoscenza e caratteristiche dei materiali

Il livello di conoscenza dei materiali esistenti murature, risulta essere LC1, in quanto non sono state eseguite indagini in sito, per cui il corrispondente fattore di confidenza applicato alle proprietà meccaniche risulta essere FC = 1,35.

Le caratteristiche meccaniche assunte per la muratura esistente sono quelle previste dalla Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009 n. 617, tabella C8A.2.1, relativamente a muratura in mattoni pieni e malta di calce, divise per il fattore di confidenza 1,35, e

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°	Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001	0				
			Doc. n° CRA14001-RSTR-INT					
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data		
			12	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		

aumentate dei parametri migliorativi relativi a presenza di giunti sottili, coefficiente pari a 1,5, e coefficiente di sicurezza del materiale $\gamma_M = 3$:

$f_m = 1,33$ MPa resistenza media a compressione;

$\tau_0 = 0,03$ MPa resistenza media a taglio;

$E = 1800$ MPa valore medio del modulo di elasticità normale;

$G = 600$ MPa valore medio del modulo di elasticità tangenziale;

$w = 18$ kN/m³ peso specifico medio.

Per quanto riguarda invece le strutture lignee si sono assunti i valori di resistenza caratteristica e le proprietà meccaniche sono quelli relative alla classe di resistenza C24 di legno massiccio secondo la classificazione EN 338, anche a seguito di estese indagini in sito, riportate in allegato A alla presente relazione, e sono quelle evidenziate in tabella:

Valori di resistenza modulo elastico e massa volumica		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistenze [MPa]													
flessione	f_{mk}	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90k}$	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90k}$	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2
taglio	f_{vk}	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0	3.4	3.8	3.8	3.8
Modulo elastico [GPa]													
modulo elastico medio parallelo alle fibre	$E_{0,mean}$	7	8	9	9.5	10	11	11.5	12	13	14	15	16
modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,05}$	4.7	5.4	6.0	6.4	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4	10.0	10.7
modulo elastico medio perpendicolare alle fibre	$E_{90,mean}$	0.23	0.27	0.30	0.32	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53
modulo di taglio medio	G_{mean}	0.44	0.50	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88	0.94	1.00
Massa volumica [kg/m ³]													
massa volumica caratteristica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
massa volumica media	ρ_m	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

In relazione ai materiali usati per gli interventi si ha:

- Acciaio da carpenteria, le cui caratteristiche meccaniche sono:

Tipo di acciaio	=	S275JR
Modulo elastico	E =	210000 N/mm ²
Densità	ρ =	7850 kg/m ³
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk} =	275 N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura	f_{tk} =	430 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza del materiale	γ_M =	1.05

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			13	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Tensione di snervamento di progetto f_{yd} = 261,9 N/mm²

Classe di esecuzione = EXC2

- Tessuto in FRP per rinforzi diagonali delle volte

Tipo di tessuto = quadriassiale

Materiale = fibra di carbonio

Modulo elastico E = 230000 N/mm²

Grammatura = 380 g/m²

Resistenza meccanica a trazione f_k = 4800 N/mm²

Allungamento a rottura ϵ = 2,1 %

Area resistente per unità di larghezza = 53,1 mm²/m

Adesione al calcestruzzo

> 3 (rottura calcestruzzo)

- Tessuto in FRP per rinforzi longitudinali e radiali delle volte

Tipo di tessuto = biassiale

Materiale = fibra di carbonio

Modulo elastico E = 230000 N/mm²

Grammatura = 380 g/m²

Resistenza meccanica a trazione f_k = 4800 N/mm²

Allungamento a rottura ϵ = 2,1 %

Area resistente per unità di larghezza = 64,2 mm²/m

Adesione al calcestruzzo

> 3 (rottura calcestruzzo)

- Legno strutturale

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			14	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Valori di resistenza modulo elastico e massa volumica		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistenze [MPa]													
flessione	f_{mk}	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90k}$	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90k}$	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2
taglio	f_{tk}	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0	3.4	3.8	3.8	3.8
Modulo elastico [GPa]													
modulo elastico medio parallelo alle fibre	$E_{0,mean}$	7	8	9	9.5	10	11	11.5	12	13	14	15	16
modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,05}$	4.7	5.4	6.0	6.4	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4	10.0	10.7
modulo elastico medio perpendicolare alle fibre	$E_{90,mean}$	0.23	0.27	0.30	0.32	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53
modulo di taglio medio	G_{mean}	0.44	0.50	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88	0.94	1.00
Massa volumica [kg/m³]													
massa volumica caratteristica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
massa volumica media	ρ_m	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

1.1.3 Definizione delle azioni agenti sulla struttura e combinazioni agli SL

Le azioni agenti sulla struttura sono i carichi permanenti dei solai, con relativi sovraccarichi di utilizzo, il carico da neve e l'azione sismica.

La nomenclatura dei campi di solaio è riportata in allegato B, mentre per la descrizione della tipologia di solaio si rimanda al §2.6 della presente relazione.

I carichi permanenti sono:

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO A - Volte in muratura	
Peso proprio solaio – volta in muratura	75 daN/m²
Carico permanente (intonaco, pavimento, riempimento, massetti)	375 daN/m²

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO B1 – Solaio ligneo orditura singola	
Peso proprio solaio – orditura lignea singola e tavolato	35 daN/m²
Carico permanente (pavimento, riempimento, massetti)	350 daN/m²

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO B2 – Solaio ligneo orditura doppia	
Peso proprio solaio – orditura lignea doppia e tavolato	55 daN/m²
Carico permanente (pavimento, riempimento, massetti)	350 daN/m²

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			15	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO C – Solaio ligneo orditura singola	
Peso proprio solaio – orditura lignea singola e tavelle	50 daN/m ²

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO D – Solaio in latero cemento	
Peso proprio solaio – solaio in latero cemento	260 daN/m ²
Carico permanente (pavimento, riempimento, massetti, intonaco)	250 daN/m ²

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO E – Solaio do copertura	
Peso proprio solaio – capriate, ord. lignea doppia e tavelle	80 daN/m ²
Carico permanente (coppi)	80 daN/m ²

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO F – Volte in arella	
Carico permanente – volte in arella	35 daN/m ²

CARICHI VARIABILI	
A – Ambienti ad uso residenziale	200 daN/m ²
B1 – Uffici non aperti al pubblico	200 daN/m ²
C3 – Ambienti suscettibili di affollamento	500 daN/m ²
D1– Ambienti ad uso commerciale	400 daN/m ²
E1– Biblioteche, archivi, magazzini, depositi e lab. manifatturieri	600 daN/m ²
H1 – Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	50 daN/m ²
Neve quota < 1000 m s.l.m.	80 daN/m ²

Carichi da neve

Zona Neve = II → Valore caratteristico del carico al suolo (q_{sk} Ce) = 80 daN/mq

Azione sismica Unità Strutturale 1

I parametri di progetto per la definizione dell'azione sismica di base sono i seguenti:

Sito in esame

latitudine: 44,837268

longitudine: 11,620762

Classe: 3

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			16	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 15402 Lat: 44,8197 Lon: 11,5883 Distanza: 3222,036

Sito 2 ID: 15403 Lat: 44,8208 Lon: 11,6586 Distanza: 3499,170

Sito 3 ID: 15181 Lat: 44,8708 Lon: 11,6571 Distanza: 4702,230

Sito 4 ID: 15180 Lat: 44,8697 Lon: 11,5867 Distanza: 4498,415

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 75anni

Coefficiente cu: 1,5

	SLD	SLV
Probabilità di superamento (%) :	63	10
Tr (anni):	75	712
ag:	0,056 g	0,156 g
Fo:	2,486	2,572
Tc* (s):	0,282	0,277

Coefficienti Sismici (corretti in funzione della risposta sismica locale)

	SLD	SLV
Ss:	1,50	1,46
Cc:	1,60	1,60
St:	1	1

Azione sismica Unità Strutturale 2 e 3

I parametri di progetto per la definizione dell'azione sismica di base sono i seguenti:

Sito in esame.

latitudine: 44,837268

longitudine: 11,620762

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°	Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001	0				
			Doc. n°	CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data		
			17	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		

Sito 1 ID: 15402 Lat: 44,8197 Lon: 11,5883 Distanza: 3222,036
 Sito 2 ID: 15403 Lat: 44,8208 Lon: 11,6586 Distanza: 3499,170
 Sito 3 ID: 15181 Lat: 44,8708 Lon: 11,6571 Distanza: 4702,230
 Sito 4 ID: 15180 Lat: 44,8697 Lon: 11,5867 Distanza: 4498,415

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1

	SLD	SLV
Probabilità di superamento (%) :	63	10
Tr (anni):	50	475
ag:	0,046 g	0,132 g
Fo:	2,506	2,596
Tc* (s):	0,275	0,274

Coefficienti Sismici (corretti in funzione della risposta sismica locale)

	SLD	SLV
Ss:	1,50	1,49
Cc:	1,61	1,61
St:	1	1

I coefficienti di combinazione utilizzati sono quelli relativi alla Tabella 2.5.I, in particolare vengono utilizzati:

	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Cat. A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Cat. B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Cat. C – Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Cat. D – Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Cat. E – Biblioteche, archivi, magazzini, e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Cat. H – Coperture e sottotetti	0,0	0,0	0,0
Neve quota ≤ 1000 m s.l.m.	0,5	0,2	0,0

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			18	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	

Nel caso in cui la caratterizzazione stocastica dell'azione considerata non sia disponibile, si può assumere il valore nominale. Nel seguito sono indicati con pedice k i valori caratteristici; senza pedice k i valori nominali.

Per quanto riguarda la combinazione delle azioni si avrà (NTC 2008):

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d (v. § 3.6):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

1. 2 Quadro normativo di riferimento adottato

- D.M. 14 gennaio 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni. (NTC08);
- Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009 n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
-
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011 – Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 (pubblicata nella G.U. n.47 del 26/02/2011 – suppl. ord. N. 54).

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			19	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

- CNR-DT 200 R1/2013 – Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati – Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie

1.3.Criteri di progetto e principali risultati

Poiché gli interventi che si eseguiranno sull'edificio oggetto della presente relazione, sono di tipo locale, ovvero non modificano in modo sostanziale il comportamento originale delle tre unità strutturali né la loro reciproca interazione, sono state eseguite solo verifiche locali e sono stati sviluppati modelli agli elementi finiti locali, al fine di verificare il possibile sviluppo di cinematismi di ribaltamento delle murature perimetrali e per dimensionare e verificare gli interventi stessi.

Si sono quindi eseguite le verifiche relative ai cinematismi di ribaltamento delle facciate e le relative verifiche di dimensionamento delle reticolari metalliche da inserire in copertura. Si sono dimensionate le catene del porticato affinché possano resistere alla spinta generata dalle volte e dagli archi. Infine si sono eseguite tutte le verifiche di dimensionamento per l'intervento di consolidamento delle volte in muratura con lamine di tessuto in FRP.

Si osserva che allo stato attuale, le unità strutturali 2 e 3 sono considerate ricadenti in una classe d'uso II, mentre l'unità strutturale 1 è al limite di utilizzo tra la classe II e la classe III. In questa sede si sceglie di eseguire le verifiche di quest'ultima unità strutturale considerandola in classe III, in accordo con la committenza, anche in vista di un eventuale futuro cambio d'uso.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			20	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

2.Relazione di calcolo strutturale

2.1.Premessa

Nel presente capitolo si sviluppa il percorso progettuale che ha portato al dimensionamento ed alla verifica degli interventi da eseguirsi sul complesso strutturale in oggetto, citati al § 1. Tale calcolo sarà riportato al § 2.10.

La **conoscenza** della costruzione costituisce il presupposto fondamentale per eseguire le verifiche strutturali. Nel dettaglio, tale conoscenza consiste nell'analisi del quadro evolutivo della costruzione, degli eventuali cambi di destinazione d'uso dell'intera struttura o di alcune sue parti, e delle successive modificazioni subite nel tempo dall'edificio, nell'individuazione delle tipologie di orizzontamenti e della loro orditura e nella determinazione degli elementi costituenti l'organismo resistente e della corrispondente geometria.

I passi fondamentali che hanno guidato il percorso di studio dell'edificio oggetto della presente relazione possono essere ricondotti alle seguenti attività:

Analisi storico – critica: per una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione è stato necessario ricostruire la sequenza delle fasi di trasformazione edilizia e le successive modifiche subite nel tempo dall'edificio, nonché gli eventi che lo hanno interessato;

Analisi della documentazione disponibile;

Rilievo: per individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo presenti anche qualità e stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi, sono stati effettuati diversi sopralluoghi dello stabile. L'obiettivo è stato quello di individuare non solo gli elementi costituenti la struttura portante e la loro geometria, ma anche eventuali dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e degli eventuali meccanismi di danno;

Caratterizzazione meccanica dei materiali: sono state eseguite indagini conoscitive in situ e in laboratorio per avere informazioni sulle caratteristiche di resistenza dei materiali e del loro eventuale stato di degrado; i valori ricavati da tali prove sono stati opportunamente ridotti considerando i fattori di confidenza e di sicurezza in accordo con quanto prescritto dalle NTC del 2008; conoscenza del sottosuolo.

Poiché gli interventi sono di tipo locale, non si è proceduto ad un'analisi complessiva dell'aggregato, ma si sono eseguite le verifiche di resistenza di alcuni macroelementi della struttura nei confronti dei meccanismi locali di collasso; tali macroelementi sono stati scelti alla luce dell'analisi della conformazione strutturale allo stato di fatto, presenza di collegamenti con gli orizzontamenti e orditura dei solai sul macroelemento analizzato. Sulle unità strutturali 2 e 3 non è stata eseguita nessuna analisi né alcuna verifica in quanto sono soggette solo ad interventi di riparazione.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°						
			CRA14001-RSTR-INT						
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			21	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

LV2: valutazione su singoli macroelementi (meccanismi locali di collasso)

La valutazione della sicurezza sismica nell'ambito di progetti di intervento su singoli elementi può essere eseguita facendo riferimento a modelli locali, riferiti a porzioni strutturalmente autonome della costruzione (macroelementi).

Nel caso di interventi locali diffusi, che proprio in virtù del fatto che sono di tipo locale non modificano in modo sostanziale il funzionamento originale della struttura, prevedere una valutazione complessiva ed accurata estesa all'intera costruzione, specie laddove questa risulti essere molto articolata, risulterebbe eccessivamente gravoso.

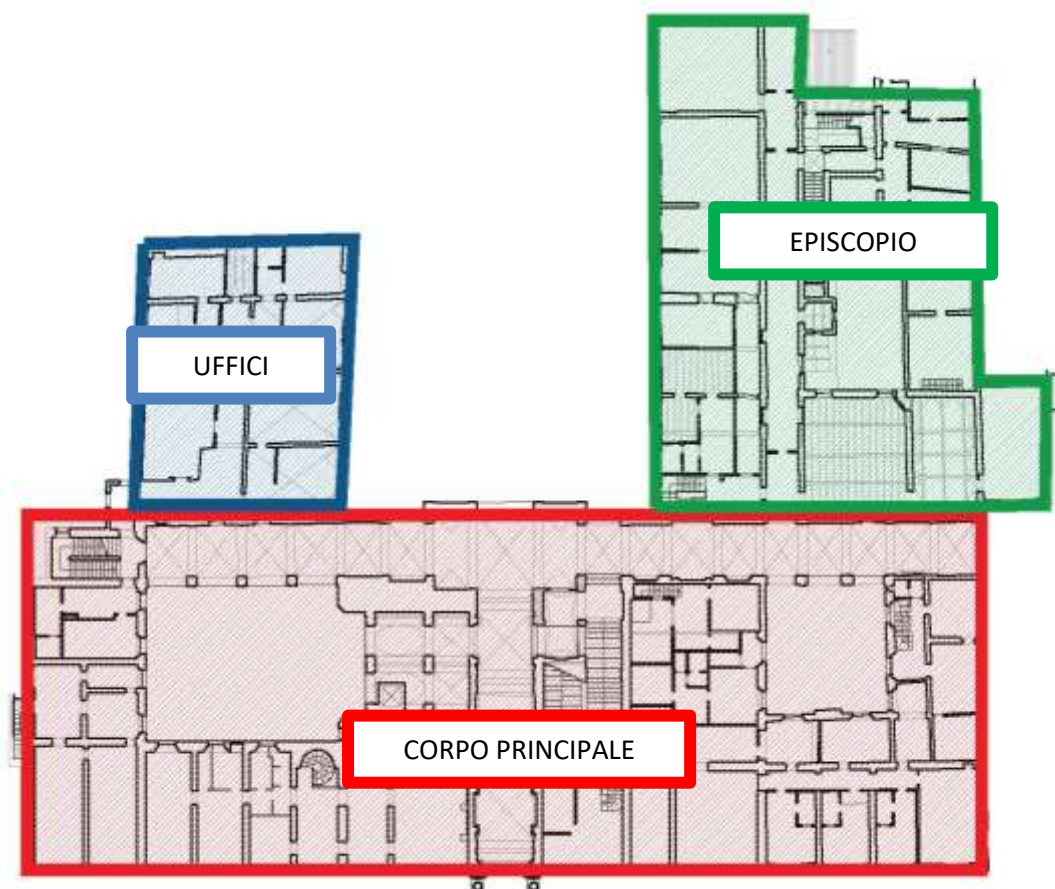
Nella definizione dei macroelementi e dei meccanismi di collasso che possono interessare la zona oggetto di intervento è necessario considerare l'eventuale presenza di stati di danneggiamento pregressi (specie se di origine sismica) e le conoscenze sul comportamento di strutture simili (desunte dal rilievo sistematico dei danni post-terremoto). L'analisi cinematica, lineare o non lineare, rappresenta lo strumento in genere più efficace ed agevole per tale valutazione; i risultati ottenibili possono però essere eccessivamente cautelativi se non vengono considerati i diversi dettagli costruttivi che determinano il comportamento reale: presenza di catene, ammorsamento tra murature ortogonali, tessitura muraria, condizioni di vincolo degli orizzontamenti.

2.2. Analisi storico-critica ed esito del rilievo geometrico-strutturale

2.2.1. Cenni storici ed evoluzione dell'edificio

Il Palazzo Arcivescovile di Ferrara, sito in Corso Martiri della Libertà, nell'isolato adiacente alla Cattedrale di San Giorgio Martire e ad essa collegata tramite un passaggio voltato, vede la sua definizione attuale tra il 1718 ed il 1720 per volontà del Cardinale Tommaso Ruffo (Vescovo di Ferrara dal 1717 al 1735) e ad opera dell'architetto romano Tommaso Mattei (1652-1726). Prima della definizione settecentesca l'Episcopio era posto unicamente lungo l'attuale via degli Adelardi e l'isolato su cui insiste, prospiciente Corso Martiri, era caratterizzato da una successione di case a schiera con botteghe, come dimostra la cartografia storica e in particolare la pianta del Moroni del 1618 (BCAFe, Fondo Crispi, Serie XVI-73) e l'alzato del Bolzoni del 1720 (B.C.A. Fe, Fondo iconografico, H. 5.I, nn. 48,49). L'architetto Mattei, con l'obiettivo di dare maggiore prestigio alla nuova sede vescovile, inglobò le case a schiera e l'antico Episcopio arrivando a definire il Palazzo Arcivescovile di Ferrara come l'unione di tre corpi: il primo, quello principale definito da due corti interne, il secondo lungo via Degli Adelardi, oltrepassato il passaggio voltato, e infine il terzo definito oggi dagli uffici della curia. Tutti e tre i corpi si affacciano su una grande corte centrale. Nell'immagine seguente viene evidenziata la suddivisione del palazzo così come appena descritta.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			22	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	



Individuazione dei corpi principali del palazzo

Come logicamente consegue dall'evoluzione costruttiva dell'aggregato edilizio, oggetto delle presente relazione, così come precedentemente illustrata, dal punto di vista strutturale si possono individuare tre unità strutturali ben distinte per tipologia e spessori delle murature, altezze degli interpiani e tipologie dei solai.

Il primo blocco, denominato corpo principale, è costituito al piano terra da murature di elevato spessore, fino a 100 cm, molto probabilmente costituite da più paramenti accostati, le cui intercapedini sono presumibilmente riempite di materiale incoerente, che vanno restringendosi in sezione mano a mano che si sale di piano, fino ad arrivare al piano secondo che vede murature da circa 60 cm di spessore. Al piano secondo, in corrispondenza delle finestre, sono presenti nicchie nella muratura sottofinestra che portano ad ulteriori restringimenti dei paramenti, fino a 30 cm, creando così punti localizzati di indebolimento della fascia di piano. Anche l'altezza di interpiano cambia ad ogni livello, in particolare il piano terra ha un'altezza utile pari a circa 4,00 m, il piano primo pari a circa 4,30 m mentre il piano nobile ha un'altezza media di 7,40 m.

I solai del primo interpiano sono per lo più costituiti da volte a botte di larghezza media pari a circa 4,00 m e ordite con asse longitudinale perpendicolare al fronte strada. Gli

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			23	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	

orizzontamenti del piano secondo, a sinistra del loggiato di ingresso, sono anch'essi costituiti da volte a botte con asse longitudinale ortogonale al fronte strada, mentre quelli a destra, di cui alcuni controsoffittati dunque non ispezionabili, sono lignei, con orditura parallela al fronte strada. Il sottotetto, ovvero il soffitto delle sale presenti al piano nobile, sono in parte realizzate con volte "a schifo", di mattoni in foglio con trama a spina di pesce, poste in semplice appoggio alle murature sottostanti e prive di cappa di gesso o molta che tenga uniti i mattoni; in parte si hanno volte in camorcanna e gesso appese all'orditura lignea che costituisce la struttura di copertura. Infine la copertura, realizzata con elementi lignei, tavelline e coppi, è costituita da un'orditura principale di capriate e semicapriate che appoggiano sulla parete di facciata, prive di ammorsamento alla muratura, orditura primaria lignea, morali e tavelline.

Al piano terra di questo corpo si accede tramite un importante ingresso-loggiato a doppia altezza, a cui si arriva ad un secondo loggiato perpendicolarmente al primo. Tali loggiati sono realizzati con una successione di volte a botte e a vela che appoggiano sui muri portanti perimetrali e su colonne in muratura aventi sezione pari a circa 75x75 cm. Questi ambienti presentano intonaci in malta di calce, sabbia e polveri di marmo, tinteggiatura a calce a velatura nelle membrature architettoniche. Dal secondo loggiato si può direttamente accedere al piano nobile tramite lo scalone monumentale.

Questo corpo, in corrispondenza della facciata fronte Corso Martiri della Libertà, vede al piano terra e primo la sistemazione di botteghe e relativi magazzini, mentre il piano secondo è destinato agli uffici privati del Vescovo ed alle sale di rappresentanza definite da importanti affreschi e decorazioni sia settecentesche che otto-novecentesche. Le superfici esterne dei prospetti presentano un intonaco in malta di calce a finto bugnato nelle parti angolari e liscio nella porzione centrale.

Il corpo su via Degli Adelardi, denominato Episcopio, presenta murature portanti aventi spessore molto ridotto rispetto a quanto si ha nel corpo principale appena descritto, infatti come è possibile verificare dagli elaborati grafici si hanno spessori che si aggirano attorno a i 50 cm. I solai sono per lo più lignei a doppia orditura e il coperto è, anche in questo caso, a capriate lignee, in semplice appoggio e prive di ammorsamento alla muratura, ordite ortogonalmente al fronte strada, orditura secondaria, morali e tavelline.

Questa seconda unità strutturale presenta un prospetto intonacato al piano terra e in muratura a vista al piano superiore, con aperture definite da cornici in cotto. All'interno, al piano primo, troviamo importanti solai lignei decorati, appartenenti alla fase cinque-seicentesca del primo Episcopio.

Infine, per quanto riguarda la terza unità strutturale, sede degli attuali uffici dell'Arcivescovado, interna all'isolato e affacciante sulla corte interna principale del complesso costituente il Palazzo Arcivescovile, è anch'essa in muratura, avente paramenti portanti di spessore variabile tra i 30 e i 40 cm. I solai del piano terra sono

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			24	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

costituiti da volte a crociera e a botte, mentre quelli dei piani superiori, sono probabilmente in parte lignei ed in parte in latero-cemento (a seguito di interventi eseguiti negli anni), ma poiché la maggior parte di essi è controsoffittata o intonacata non è stato possibile eseguire un controllo più approfondito.

L'impianto di tutto il Palazzo è in muratura e indagini più approfondite previste in fase di cantiere, sulla base del rilievo critico svolto, riveleranno quali di esse siano settecentesche e quali invece molto più antiche, e se alcune sono il risultato di più paramenti accostati o meno, dando informazioni utili da un punto di definizione degli elementi murari.

Il Palazzo Arcivescovile conosce importanti interventi negli anni Novanta. Infatti dopo anni in cui venne a mancare l'ordinaria manutenzione, fu oggetto di un importante restauro che si concentrò nel corpo di fabbrica principale, con l'obiettivo di risolvere i vistosi problemi di decoro presenti da un lato e dall'altro problemi di sicurezza, agibilità e funzionalità. In particolare il progetto riguardò il restauro dello scalone e del soffitto dipinto, degli intonaci del loggiato e dell'androne, il ripristino degli intonaci e delle parti lapidee delle facciate esterne.

Tra il 1994 e il 1996 vengono attuati lavori di ristrutturazione nella parte oggi destinata ad uffici della curia. Tali lavori non furono tuttavia atti a risolvere eventuali vulnerabilità sismiche presenti nel Palazzo, ma piuttosto a mettere in sicurezza dal punto di vista statico alcune volte in muratura presenti al piano terra.

Alla luce di tutti gli interventi eseguiti negli ultimi decenni, è evidente come il quadro fessurativo riscontrato nel palazzo, sia collegabile principalmente agli eventi sismici del maggio 2012 (si pensi ad esempio alla volta affrescata della Sala del Sinodo il cui restauro pittorico era stato terminato poco prima degli eventi sismici) e non alla mancanza di manutenzione o alla vetustà dell'edificio.

2.2.2.Caratteristiche dei materiali esistenti

Sono stati effettuati saggi visivi sulle murature portanti e indagini specialistiche di caratterizzazione meccanica del legno costituente le strutture di copertura delle unità strutturali 1 e 2 (allegato A); alla muratura vengono attribuiti, in accordo con quanto indicato nella Tab. C8A.2.1 della Circolare 2/2/2009, i seguenti valori di riferimento meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio:

Tipologia di muratura	f_m	T₀	E	G	w
	[kN/cm ²] min-max	[kN/cm ²] min-max	[N/mm ²] min-max	[N/mm ²] min-max	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			25	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

dove: f_m = resistenza media a compressione;
 T_0 = resistenza media a taglio;
 E = valore medio del modulo di elasticità normale;
 G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale;
 w = peso specifico medio.

Poiché è stata rilevata una diffusa presenza di giunti sottili, alle caratteristiche meccaniche della muratura è stato applicato il coefficiente migliorativo relativo a questo elemento.

Per quanto riguarda il legno dei solai resistenze caratteristiche e le proprietà meccaniche utilizzate per le verifiche sono quelle relative alla classe di resistenza C24 di legno massiccio secondo la classificazione EN 338, e sono quelle evidenziate in tabella:

Valori di resistenza modulo elastico e massa volumica		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistenze [MPa]													
flessione	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k}$	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k}$	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2
taglio	$f_{v,k}$	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0	3.4	3.8	3.8	3.8
Modulo elastico [GPa]													
modulo elastico medio parallelo alle fibre	$E_{0,mean}$	7	8	9	9.5	10	11	11.5	12	13	14	15	16
modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,05}$	4.7	5.4	6.0	6.4	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4	10.0	10.7
modulo elastico medio perpendicolare alle fibre	$E_{90,mean}$	0.23	0.27	0.30	0.32	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53
modulo di taglio medio	G_{mean}	0.44	0.50	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88	0.94	1.00
Massa volumica [kg/m³]													
massa volumica caratteristica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
massa volumica media	ρ_m	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

2.3.Descrizione generale dell'opera e criteri di progettazione, analisi e verifica

La presente relazione tratta gli interventi di riparazione e rafforzamento locale da realizzarsi nella parte di isolato storico ubicato nel centro di Ferrara, che costituisce il complesso del palazzo Arcivescovile, ricompreso tra le via Corso Martiri della Libertà e Via degli Adelardi, lesionato dagli eventi sismici avvenuti nell'area Emiliana il 20 e 29 maggio 2012.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			26	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Il Palazzo è caratterizzato da una notevole complessità geometrica e costruttiva sia in pianta che in elevazione, e viene suddiviso dagli scriventi, sulla base delle tipologie costruttive e altezze differenti tra le quote dei solai tra i diversi corpi, in tre Unità Strutturali:

- La prima, quella principale, è costituita dal corpo avente forma rettangolare che affaccia su Corso Martiri della Libertà, ed ha il retro delimitato da una grande corte interna. Lateralmente, sono inoltre presenti due corti minori collegate da un lungo porticato.
- La seconda unità strutturale è costituita da un corpo di fabbrica che affaccia su via degli Adelardi, fronteggiando un lato longitudinale del Duomo di Ferrara, il lato opposto è delimitato dalla corte interna del complesso mentre i due restanti lati confinano uno con l'unità strutturale 1 e l'altro con altre unità strutturali appartenenti all'isolato.
- La terza, e ultima, unità strutturale ha un affaccio solo sul cortile interno del Palazzo, il prospetto opposto affacciante su una corte interna afferente ad altre unità strutturali appartenenti all'isolato ed i due rimanenti lati confinano uno con l'unità strutturale 1 e l'altro su un ulteriore corte interna.

La figura seguente mostra in pianta l'intero complesso del Palazzo Arcivescovile, con evidenziate le unità strutturali sopra definite:

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			27	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	



Inquadramento generale complesso Palazzo Arcivescovile: le unità strutturali oggetto degli interventi locali descritti nella presente relazione, sono quelle evidenziate rispettivamente in rosso, verde e blu, mentre in grigio viene evidenziato l'isolato circostante.

Si osserva che le tre unità strutturali in oggetto fanno parte di un isolato composto da edifici in aggregato; in particolare, come è possibile riscontrare dall'immagine soprastante, ciascuna di esse confina con altri edifici appartenenti all'aggregato. Poiché gli interventi strutturali di progetto sono di tipo locale, non modificano in modo sostanziale il comportamento originale delle tre unità che compongono il Palazzo Arcivescovile e di conseguenza non modificheranno la reciproca interazione tra unità strutturali adiacenti.

Si specifica inoltre che, alcuni lavori di riparazione sono stati previsti anche nel corridoio di collegamento tra la U.I. 3 ed il quarto corpo di fabbrica affacciante sulla corte interna principale del complesso, ed in alcune stanze presenti al piano secondo di detto fabbricato, in quanto facenti parte delle proprietà della curia e direttamente collegate agli uffici presenti nella U.I.3.

- Unità strutturale 1

Tale unità strutturale è costituita da un corpo di fabbrica prospiciente Corso Martiri, costituito da tre livelli fuori terra; al piano terra, nella parte retrostante di confine con il

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			28	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	

cortile interno, è presente un lungo porticato a doppio volume che occupa anche l'altezza del piano primo, costituito da colonne e volte a crociera in mattoni, mentre sul fronte sono presenti le sedi di varie attività commerciali. Al piano primo, sono presenti i magazzini delle varie attività commerciali ed una residenza di suore. Infine, il piano secondo, o piano nobile, è occupato in parte da saloni di rappresentanza, adibiti a convegni od esposizioni, ed in parte dagli uffici del Vescovo.

All'interno di tale unità strutturale sono inoltre presenti due corti interne minori, speculari rispetto all'asse centrale d'ingresso che collega Corso Martiri della Libertà alla corte interna principale del complesso. Una delle due corti è sovrastata da una torretta che sale di altri tre piani rispetto alla linea del coperto esistente.

Le murature sono a triplo paramento, con pochi collegamenti trasversali reciproci. Al piano terra si ha uno spessore della muratura pari a circa 95 cm che si rastrema fino a 70 cm in sommità. Le colonne del porticato sono in muratura e hanno sezione quadrata di lato circa 76 cm. Le volte a crociera che sovrastano il porticato sono di mattoni con riempimento, mentre i solai del piano primo e del piano secondo, presenti nella zona occupata da attività commerciali, sono costituiti da volte a botte anch'esse in muratura. Il soffitto del piano secondo è realizzato in parte con volte di mattoni in foglio ed in parte da volte in arella e gesso.

Infine la struttura del coperto è realizzata con capriate ed una doppia orditura di travi lignee e tavelle.

- Unità strutturale 2

L'unità strutturale 2, avente asse longitudinale parallelo a Via degli Adelardi, è costituita da 3 piani fuori terra, aventi altezze di interpiano differenti rispetto a quelle dell'unità strutturale 1. Anche in questo caso al piano terra sono presenti le sedi di attività commerciali, al piano primo vi è la residenza del segretario del Vescovo e diversi uffici privati, mentre al piano secondo vi è la residenza del Vescovo.

Le murature di questa unità strutturale sono in mattoni pieni e malta di calce avente tuttavia buone caratteristiche meccaniche, hanno uno spessore molto variabile sia in pianta che in altezza, da 64 a 45 cm. I solai sono lignei a doppia orditura con tavolato ed il coperto è realizzato con capriate lignee travi e tavelle.

- Unità strutturale 3

Quest'ultima unità strutturale, situata internamente all'isolato e affacciante sulla corte interna principale, è costituita da piano terra, primo e secondo e le strutture portanti sono murature di mattoni pieni e malta di calce con buone proprietà meccaniche.

Lo spessore delle murature è variabile, al piano terra è pari a 45 cm e va rastremandosi ad ogni piano fino a diventare pari a 30 cm.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			29	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

In questa unità strutturale, sede al piano terra di magazzini e garage, ed al piano sovrastanti sede di uffici della curia, sono stati eseguiti diversi lavori strutturali, soprattutto nelle volte a crociera di mattoni presenti al piano terra.

I solai dei piani superiori sono in parte lignei ed in parte latero-cementizi. Infine anche in questo caso, la copertura è lignea con capriate, travi primarie e secondarie e tavelle.

Dal punto di vista dei materiali l'edificio presenta murature portanti a tessitura regolare, in mattoni pieni e malta di calce di buona qualità rispetto a quella compatibile con l'epoca costruttiva. La particolarità di tale palazzo è che essendo stato costruito su fondazioni di edifici precedentemente esistenti, le murature dell'unità strutturale 1 al piano terra in parte racchiudono le murature esistenti preesistenti. Dunque si possono assumere come vari paramenti l'uno accostato all'altro. Infine, nei vani di porte e finestre si trovano piattabande di mattoni pieni.

Per la descrizione del quadro fessurativo si rimanda agli elaborati grafici dedicati.

L'analisi del quadro fessurativo manifestatosi in conseguenza agli eventi sismici del maggio 2012 nel complesso storico del Palazzo Arcivescovile ha portato a prevedere interventi strutturali per il ripristino dei danni subiti e di rafforzamento locale con eliminazione delle principali vulnerabilità riscontrate nelle tre unità strutturali che lo compongono.

Gli interventi previsti da progetto, che nel seguito verranno discussi e giustificati, riguardano:

- Unità strutturale 1
 - Interventi di riparazione delle lesioni mediante le tecniche di scuci-cuci (ove possibile, in quanto l'edificio ha molte pareti decorate con affreschi, soprattutto per quanto riguarda il piano nobile), iniezione delle lesioni con colli di miscela legante, riparazione delle lesioni con inserimento di cuneo in ferro e malta anti-ritiro e ristilatura dei giunti, dove necessario corredata da inserimento di barre nei giunti di malta;
 - Cerchiatura di colonne in pietra con piastre metalliche sagomate;
 - inserimento di catene metalliche nelle volte del porticato al fine di contrastare la spinta generata dagli archi che scaricano sulle colonne e sulle murature;
 - inserimento di catene metalliche sommitali in corrispondenza delle catene delle capriate della torretta e raddoppio del tavolato dei due solai del 3° e 4° piano con relativo collegamento perimetrale alla muratura, al fine di evitare il cinematismo di

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			30	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

ribaltamento delle murature perimetrali sulla copertura e la corte interna sottostante;

- Inserimento di reticolare di piano/falda a livello delle catene delle capriate di copertura, al fine di evitare il manifestarsi del cinematismo di ribaltamento delle pareti;
- Inserimento di un secondo strato di tavolato, sopra quello esistente a livello di sottotetto nelle zone in cui non è possibile realizzare le reticolari metalliche, collegato perimetralmente alle pareti in muratura, al fine di trattenere il ribaltamento delle pareti stesse ed uniformare il più possibile l'intervento nell'unità strutturale in oggetto;
- Inserimento cordolo in muratura armata lungo il perimetro dei tre ambienti centrali dell'unità strutturale e contestuale inserimento di uno strato di tavolato sopra le tavole esistenti collegato al cordolo, al fine di meglio garantire un comportamento scatolare del nucleo centrale ed evitare il cinematismo di ribaltamento delle pareti perimetrali; tale intervento è anche funzionale all'uniformazione degli altri interventi in copertura, ovvero reticolari metalliche e raddoppio del tavolato;
- Consolidamento e rinforzo delle volte in muratura del piano secondo con lamine in FRP incollate con resine epossidiche;
- Consolidamento estradossale delle volte in canna e gesso;
- Solidarizzazione delle travi principali del coperto mediante barre filettate e resine epossidiche o viti da legno e consolidamento dei nodi delle capriate;
- Sostituzione di alcuni elementi lignei dell'orditura del coperto;
- Rimaneggiamento del manto di copertura.

• Unità strutturale 2

- Interventi di riparazione delle lesioni mediante le tecniche di scuci-cuci, iniezione delle lesioni con colli di miscela legante, riparazione delle lesioni con inserimento di cuneo in ferro e malta anti-ritiro e ristilatura dei giunti;
- Consolidamento estradossale delle volte in arella;
- Solidarizzazione delle travi principali del coperto mediante barre filettate e resine epossidiche o viti da legno e consolidamento dei nodi delle capriate;
- Sostituzione di alcuni elementi lignei dell'orditura del coperto;
- Inserimento di catene in copertura;
- Rimaneggiamento del manto di copertura.

• Unità strutturale 3

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
			RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI					
			Fg.	Di	Compilato	Data		
			31	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		

- Interventi di riparazione delle lesioni mediante le tecniche di scuci-cuci, iniezione delle lesioni con colli di miscela legante, riparazione delle lesioni con inserimento di cuneo in ferro e malta anti-ritiro e ristilatura dei giunti;
- Demolizione di controsoffitti in arella gravemente lesionati;
- Rinforzo anti-sfondellamento di solaio in latero cemento.

Come è possibile osservare dal breve elenco sopra-riportato gli interventi previsti dalla presente relazione sono praticamente tutti volti alla riparazione locale dei danni subiti da ciascuna unità strutturale, con tecniche quali lo scuci-cuci, l'iniezione delle lesioni con miscele leganti, la riparazione delle lesioni con inserimento di cuneo in ferro e malta anti-ritiro e la ristilatura dei giunti di malta, ed all'eliminazione delle vulnerabilità riscontrate, in particolare relative al cinetismo di ribaltamento delle pareti perimetrali.

2.4. Quadro normativo di riferimento adottato

2.4.1. Norme di riferimento cogenti

1. D.M. 14 gennaio 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni. (NTC08);
2. Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009 n. 617. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

2.4.2. Altre norme e documenti tecnici integrativi

1. Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011 – Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 (pubblicata nella G.U. n.47 del 26/02/2011 – suppl. ord. N. 54);
2. CNR DT 200 R1/2013 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati.

2.5. Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

Il livello di conoscenza delle murature, secondo la classificazione della Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009 n. 617, risulta essere LC1, essendo stato effettuato il rilievo geometrico, verifiche in situ limitate sui dettagli costruttivi e indagini in situ limitate sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza risulta essere FC = 1,35.

2.6. Azioni di progetto sulla costruzione

Nei paragrafi successivi sono indicati i carichi principali.
La nomenclatura dei campi di solaio è riportata in allegato B.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°	Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001	0				
			Doc. n° CRA14001-RSTR-INT					
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data		
			32	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		

Di seguito sono indicati i carichi caratteristici applicati alle strutture.

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO A - Volte in muratura porticato	
Peso proprio solaio – volta in muratura	100 daN/m ²
Carico permanente (intonaco, pavimento, riempimento, massetti)	1000 daN/m ²

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO A - Volte in muratura	
Peso proprio solaio – volta in muratura	75 daN/m ²
Carico permanente (intonaco, pavimento, riempimento, massetti)	375 daN/m ²

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO B1 – Solaio ligneo orditura singola	
Peso proprio solaio – orditura lignea singola e tavolato	35 daN/m ²
Carico permanente (pavimento, riempimento, massetti)	350 daN/m ²

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO B2 – Solaio ligneo orditura doppia	
Peso proprio solaio – orditura lignea doppia e tavolato	55 daN/m ²
Carico permanente (pavimento, riempimento, massetti)	350 daN/m ²

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO C – Solaio ligneo orditura singola	
Peso proprio solaio – orditura lignea singola e tavelle	50 daN/m ²

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO D – Solaio in latero cemento	
Peso proprio solaio – solaio in latero cemento	260 daN/m ²
Carico permanente (pavimento, riempimento, massetti, intonaco)	250 daN/m ²

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO E – Solaio di copertura	
Peso proprio solaio – capriate, ord. lignea doppia e tavelle	80 daN/m ²
Carico permanente (coppi)	80 daN/m ²

CARICHI PERMANENTI SOLAIO TIPO F – Volte in arella	
Carico permanente – volte in arella	35 daN/m ²

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			33	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

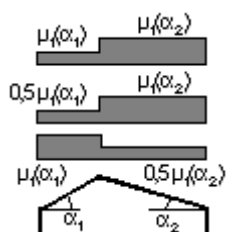
CARICHI VARIABILI	
A – Ambienti ad uso residenziale	200 daN/m ²
B1 – Uffici non aperti al pubblico	200 daN/m ²
C3 – Ambienti suscettibili di affollamento	500 daN/m ²
D1– Ambienti ad uso commerciale	400 daN/m ²
E1–Biblioteche, archivi, magazzini, depositi e lab. manifatturieri	600 daN/m ²
H1 – Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	50 daN/m ²
Neve quota < 1000 m s.l.m.	80 daN/m ²

Carichi da neve

Zona Neve = II

Ce (coeff. di esposizione al vento) = 1,00

Valore caratteristico del carico al suolo (qsk Ce) = 100 daN/mq



Copertura a due falde:

Angolo di inclinazione della falda $\alpha_1 = 24,0^\circ$

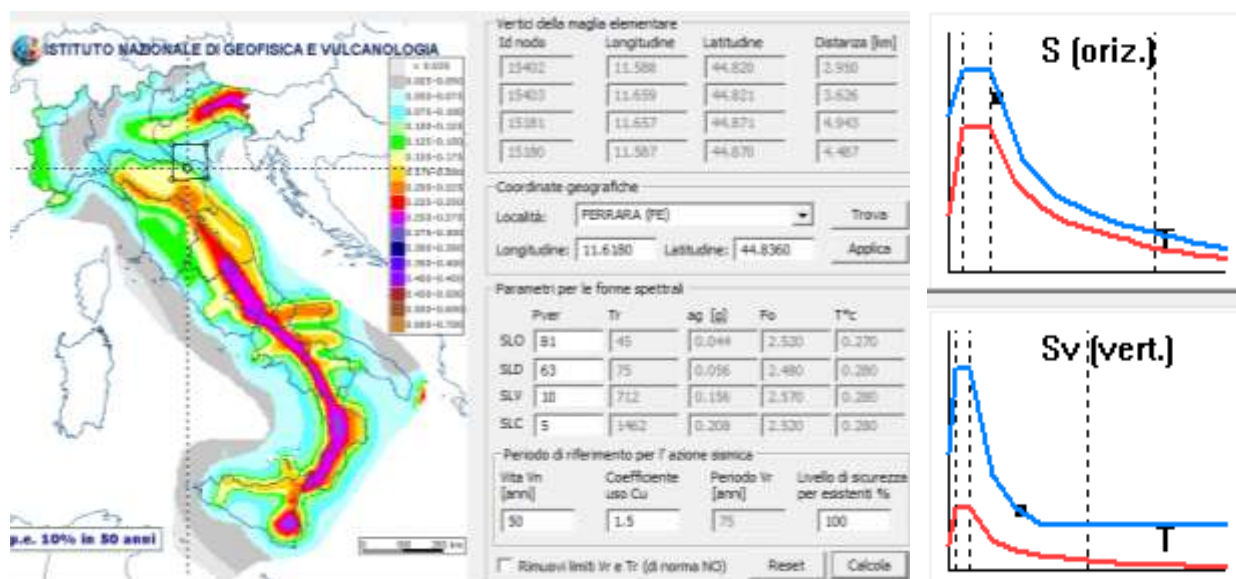
$\mu_1(\alpha_1) = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 80 \text{ daN/mq}$

Angolo di inclinazione della falda $\alpha_2 = 24,0^\circ$

$\mu_1(\alpha_2) = 0,80 \Rightarrow Q_2 = 80 \text{ daN/mq}$

Azione sismica Unità Strutturale 1:

Per la valutazione delle accelerazioni di progetto si sono impiegati i seguenti parametri sismici relativi alle coordinate geografiche del sito:



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			34	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Sito in esame.

latitudine: 44,837268
 longitudine: 11,620762
 Classe: 3
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 15402	Lat: 44,8197	Lon: 11,5883	Distanza: 3222,036
Sito 2 ID: 15403	Lat: 44,8208	Lon: 11,6586	Distanza: 3499,170
Sito 3 ID: 15181	Lat: 44,8708	Lon: 11,6571	Distanza: 4702,230
Sito 4 ID: 15180	Lat: 44,8697	Lon: 11,5867	Distanza: 4498,415

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 75anni
 Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 45 [anni]
 ag: 0,044 g
 Fo: 2,515
 Tc*: 0,270 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 75 [anni]
 ag: 0,056 g
 Fo: 2,486
 Tc*: 0,282 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 712 [anni]
 ag: 0,156 g
 Fo: 2,572
 Tc*: 0,277 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
 Tr: 1462 [anni]
 ag: 0,207 g
 Fo: 2,519
 Tc*: 0,284 [s]

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			35	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
 Cc: 1,620
 St: 1,000
 Kh: 0,012
 Kv: 0,006
 Amax: 0,642
 Beta: 0,180

SLD:

Ss: 1,500
 Cc: 1,600
 St: 1,000
 Kh: 0,015
 Kv: 0,008
 Amax: 0,824
 Beta: 0,180

SLV:

Ss: 1,460
 Cc: 1,600
 St: 1,000
 Kh: 0,055
 Kv: 0,027
 Amax: 2,229
 Beta: 0,240

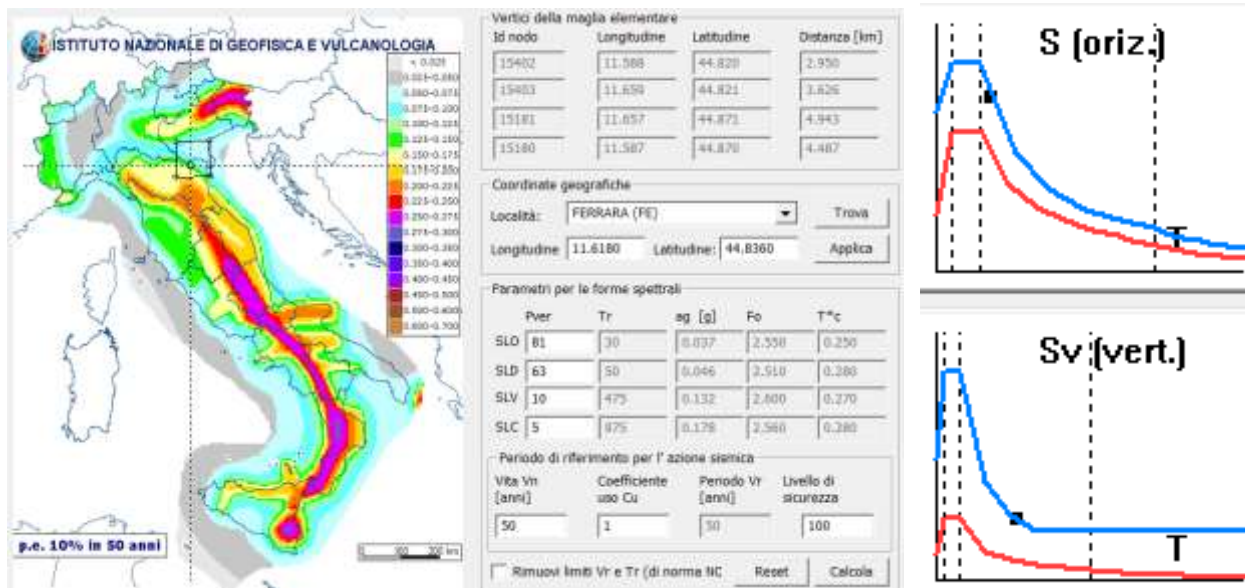
SLC:

Ss: 1,390
 Cc: 1,590
 St: 1,000
 Kh: 0,089
 Kv: 0,045
 Amax: 2,824
 Beta: 0,310

Azione sismica Unità Strutturale 2 e 3:

Per la valutazione delle accelerazioni di progetto si sono impiegati i seguenti parametri sismici relativi alle coordinate geografiche del sito:

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune FERRARA	Comm. n° CRA14001	Revisioni			
	Progetto PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	Doc. n° CRA14001-RSTR-INT	0			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI		Fg. 36	Di 115	Compilato A.C. & O.V.	Data DIC.2017	



Sito in esame.

latitudine: 44,837268
 longitude: 11,620762
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 15402	Lat: 44,8197Lon: 11,5883	Distanza: 3222,036
Sito 2 ID: 15403	Lat: 44,8208Lon: 11,6586	Distanza: 3499,170
Sito 3 ID: 15181	Lat: 44,8708Lon: 11,6571	Distanza: 4702,230
Sito 4 ID: 15180	Lat: 44,8697Lon: 11,5867	Distanza: 4498,415

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0,037 g
 Fo: 2,548
 Tc*: 0,252 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50 [anni]

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			37	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

ag: 0,046 g
 Fo: 2,506
 Tc*: 0,275 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):
 Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 475 [anni]
 ag: 0,132 g
 Fo: 2,596
 Tc*: 0,274 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):
 Probabilità di superamento: 5 %
 Tr: 975 [anni]
 ag: 0,177 g
 Fo: 2,554
 Tc*: 0,280 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:
 Ss: 1,500
 Cc: 1,660
 St: 1,000
 Kh: 0,010
 Kv: 0,005
 Amax: 0,538
 Beta: 0,180

SLD:
 Ss: 1,500
 Cc: 1,610
 St: 1,000
 Kh: 0,012
 Kv: 0,006
 Amax: 0,672
 Beta: 0,180

SLV:
 Ss: 1,490
 Cc: 1,610
 St: 1,000
 Kh: 0,047
 Kv: 0,024
 Amax: 1,927
 Beta: 0,240

SLC:
 Ss: 1,430
 Cc: 1,600

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			38	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

St: 1,000
 Kh: 0,061
 Kv: 0,030
 Amax: 2,483
 Beta: 0,240

La sicurezza strutturale sarà valutata per:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio.

Vengono definiti i seguenti parametri della struttura:

Unità strutturale	Classe d'uso	Vita Vn [anni]	Coeff. Uso	Periodo Vr [anni]	Tipo di suolo	Categoria topografica
1	III	50.0	1.5	75.0	C	T1
2 e 3	II	50.0	1.0	50.0	C	T1

Le azioni sulla costruzione sono così definite:

a) permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:

(G1) peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo);

(G2) peso proprio di tutti gli elementi non strutturali; spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;

(P) pretensione e precompressione; ritiro e viscosità; spostamenti differenziali;

b) variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:

di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;

di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
			RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI					
			Fg.	Di	Compilato	Data		
			39	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		

c) eccezionali (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura;
incendi; esplosioni; urti ed impatti;

d) sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.

Si definisce valore caratteristico Q_k di un'azione variabile il valore corrispondente ad un frattile pari al 95 % della popolazione dei massimi, in relazione al periodo di riferimento dell'azione variabile stessa.

Nella definizione delle combinazioni delle azioni che possono agire contemporaneamente, i termini Q_{kj} rappresentano le azioni variabili della combinazione, con Q_{k1} azione variabile dominante e Q_{k2} , Q_{k3} , ... azioni variabili che possono agire contemporaneamente a quella dominante. Le azioni variabili Q_{kj} vengono combinate con i coefficienti di combinazione ψ_{0j} , ψ_{1j} e ψ_{2j} , i cui valori sono forniti nel § 2.5.3 NTC 2008, Tab. 2.5.I, per edifici civili e industriali correnti.

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Con riferimento alla durata percentuale relativa ai livelli di intensità dell'azione variabile, si definiscono:

- valore quasi permanente $\psi_{2j} \times Q_{kj}$: la media della distribuzione temporale dell'intensità;
- valore frequente $\psi_{1j} \times Q_{kj}$: il valore corrispondente al frattile 95 % della distribuzione temporale dell'intensità e cioè che è superato per una limitata frazione del periodo di riferimento;
- valore raro (o di combinazione) $\psi_{0j} \times Q_{kj}$: il valore di durata breve ma ancora significativa nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili.

Nel caso in cui la caratterizzazione stocastica dell'azione considerata non sia disponibile, si può assumere il valore nominale. Nel seguito sono indicati con pedice k i valori caratteristici; senza pedice k i valori nominali.

Per quanto riguarda la combinazione delle azioni si avrà (NTC 2008):

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			40	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$
- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d (v. § 3.6):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

2.7. Valutazione della Sicurezza

Nel seguito del presente paragrafo vengono esaminate le possibili interazioni tra le tre unità strutturali costituenti il complesso del Palazzo Arcivescovile.

Si osserva che le tre unità strutturali in oggetto fanno parte di un isolato composto da edifici in aggregato; in particolare, come è possibile riscontrare dall'immagine soprastante, ciascuna di esse confina con altri edifici appartenenti all'aggregato. Poiché gli interventi strutturali di progetto sono di tipo locale, non modificano in modo sostanziale il comportamento originale delle tre unità che compongono il Palazzo Arcivescovile e di conseguenza non modificheranno la reciproca interazione tra unità strutturali adiacenti. In ogni caso nel seguito vengono analizzate alcune criticità locali rilevabili.

• Unità strutturale 1

L'unità strutturale confina, lungo il lato Nord, con altri edifici facenti parte dell'isolato in aggregato (si veda immagine seguente).

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			41	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		



Tali edifici hanno una quota di copertura inferiore a quella della U.I.1, dunque un'eventuale vulnerabilità nei loro confronti è costituita dalla possibilità di attivazione del cinematismo di ribaltamento della parte sommitale del muro di confine. Questa vulnerabilità verrà eliminata grazie all'inserimento di una reticolare metallica e del doppio tavolato a livello di sottotetto, entrambi posti a ritegno sommitale delle pareti.

- Unità strutturale 2

L'unità strutturale confina a Sud con la Cattedrale, mentre ad Est con altre unità strutturali appartenenti all'aggregato (si veda immagine seguente).

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			42	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	



Le quote di copertura della parte di struttura confinante con la Cattedrale e quella prospiciente via degli Adelardi, adiacente ad altra unità strutturale, sono uguali a quelle degli edifici ad essi attigui, dunque non si rilevano criticità a riguardo.

La parte di unità strutturale retrostante, evidenziata nell'immagine con la freccia verde, confina invece con un'unità strutturale più bassa, dunque, come nel caso della U.I.1 un'eventuale vulnerabilità è costituita dalla possibilità di attivazione del cinematismo di ribaltamento della parte sommitale del muro di confine. IN questo caso la vulnerabilità verrà eliminata grazie all'inserimento di catene metalliche.

- Unità strutturale 3

Quest'ultima unità strutturale confina a Nord-Est con un'unità strutturale appartenente all'aggregato (si veda immagine seguente).

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			43	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	



In questo caso le quote sommitali delle due unità strutturali sono analoghe e dunque non si evidenziano criticità tra i due corpi.

2.8. Modello numerico

Omissis, in quanto gli interventi sono di tipo locale e non prevedono una modellazione globale delle unità strutturali che compongono l'aggregato oggetto della presente relazione.

Tutte le verifiche svolte, relative agli interventi locali, si possono reperire al § 2.10.

2.9. Verifiche agli stati limite

Omissis, in quanto gli interventi sono di tipo locale e non prevedono una verifica generale delle unità strutturali che compongono l'aggregato oggetto della presente relazione.

Tutte le verifiche svolte, relative agli interventi locali, si possono reperire al § 2.10.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			44	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

2.10. Ulteriori verifiche

2.10.1. Verifica catene porticato – UNITA' STRUTTURALE 1

Si riporta di seguito la verifica delle catene inserite nel porticato presente nell'unità strutturale 1.

In particolare le catene e le relative piastre saranno dimensionate per contrastare la spinta generata dalle volte in muratura sulle colonne e sulle murature di facciata.

Per la stima dei carichi agenti su dette volte si è fatto riferimento alle indagini endoscopiche eseguite in sito, relative alla stratigrafia del solaio.

→ Porticato – CATENE TRASVERSALI

VERIFICA STATICA – SLU

Facendo riferimento all'analisi dei carichi riportata al § 2.6 della presente relazione, di seguito viene eseguita la verifica statica dell'arco avente luce $L = 4,10$ m e freccia $f = 2,3$ m. Verrà dunque eseguita la verifica di assorbimento della spinta da parte dei piedritti analizzando il meccanismo di ribaltamento dovuto alla spinta dell'arco sulla colonna. In particolare verrà verificato che il momento stabilizzante, dato dai carichi verticali sulla colonna moltiplicati per la distanza dal centro di rotazione, sia maggiore del momento ribaltante dato dalla spinta dell'arco:

$$M_R = \sum F_v \cdot b/2 > M_S = F_0 \cdot h$$

$$F_v = P_{mur} \cdot 1,3 + P_{col} \cdot 1,3 + P_{sol,1} + 2 \cdot V_{ed,archi long} = 83,4 \cdot 1,3 + 83 \cdot 1,3 + 174 + 2 \cdot 372 = 1134 \text{ kN}$$

$$F_0 = q_{slu sol,1} \cdot l^2 / (8 \cdot f) = 87 \cdot 4,00^2 / (8 \cdot 2,2) = 79 \text{ kN}$$

Dove:

- $q_{slu sol,1}$ = rif. Solaio tipo A = $(G_{k1} \cdot 1,3 + Q_{k1} \cdot 1,5) \cdot i = (11,00 \cdot 1,3 + 5,00 \cdot 1,5) \cdot 3,98 = 87 \text{ kN/m}$
- $q_{slu cop}$ = rif. Solaio tipo E = $(G_{k1} \cdot 1,3 + Q_{k1} \cdot 0,5 \cdot 1,5) \cdot i = (1,60 \cdot 1,3 + 0,80 \cdot 0,5 \cdot 1,5) \cdot 3,75 = 10 \text{ kN/m}$
- q_{mur} = peso del muro di facciata = $\gamma_{mat} \cdot s \cdot h \cdot 1,3 = 18,00 \cdot 0,6 \cdot 9,65 \cdot 1,3 = 135,5 \text{ kN/m}$
- P_{mur} = peso del muro soprastante il porticato = $\gamma_{mat} \cdot s \cdot h \cdot l = 18,00 \cdot 0,6 \cdot 9,65 \cdot 0,8 = 83,4 \text{ kN}$
- P_{col} = peso della colonna del porticato = $\gamma_{mat} \cdot b \cdot h \cdot s = 18,00 \cdot 0,8 \cdot 7,20 \cdot 0,8 = 83 \text{ kN}$
- $P_{sol,1}$ = peso del solaio di primo interpiano = $q_{slu sol,1} \cdot L / 2 = 87 \cdot 4,00 / 2 = 174 \text{ kN}$
- $V_{ed,archi long}$ = peso degli archi longitudinali appoggianti sulla colonna = $(q_{slu sol,1} + q_{slu cop} + q_{slu cop}) \cdot L / 2 = (87 + 10 + 135,5) \cdot 3,20 / 2 = 372 \text{ kN}$

$$M_R = 1134 \cdot 0,4 = 453,6 \text{ kN} > M_S = 79 \cdot 5,50 = 435 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Dai conti sopraesposti risulta che dal punto di vista statico gli archi trasversali del porticato non necessiterebbero di catene.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			45	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

VERIFICA SISMICA – SLV

Di seguito si eseguirà la verifica a ribaltamento della parete maggiormente sollecitata al fine di valutare la sollecitazione di trazione agente sulle catene del porticato.

STATO DI FATTO

Cinematismo n°: 1

Tipo: Fles. Verticale multi

Pareti coinvolte: 1, 2,

Quota: 0,00[m]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0325 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,1218 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,030

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo a_0^* : 0,024 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 59 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD per cinematismo a quota zero: 0,084 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV per cinematismo a quota zero: 0,114 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 3,023[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,113[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero $\Delta_{d, \text{quota zero}}$: 0,145 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota maggiore di zero $\Delta_{d, \text{quota sopraelev}}$: 0,000 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematismo n°: 2

Tipo: Rib. Multi

Pareti coinvolte: 1, 2,

Quota: 0,00[m]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0281 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,1270 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,025

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo a_0^* : 0,020 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 57 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD per cinematismo a quota zero: 0,084 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV per cinematismo a quota zero: 0,114 [g]

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			46	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 3,329[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,118[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota zero $\Delta_{d, \text{quota zero}}$: 0,145 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota maggiore di zero $\Delta_{d, \text{quota sopraelev}}$: 0,0 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematiso n°: 3

Tipo: Rib. Singolo

Pareti coinvolte: 2,

Quota: 7,50[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi (Z)$: 0,332

PGA relativa al cinematiso nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0510 [g]

PGA relativa al cinematiso nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,1124 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,048

accelerazione spettrale di attivazione del cinematiso a_0^* : 0,037 [g]

Massa partecipante al cinematiso M^* : 36 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,077 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,108 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 2,317[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,104[m]

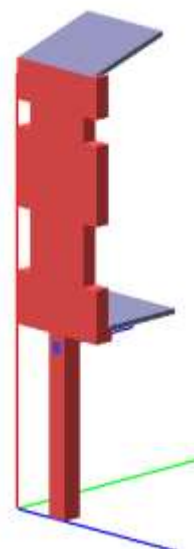
Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota zero $\Delta_{d, \text{quota zero}}$: 0,145 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota maggiore di zero $\Delta_{d, \text{quota sopraelev}}$: 0,083 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

PROGETTO

Rieseguendo il calcolo e considerando la presenza della catena trasversale, rispetto asse del porticato, in corrispondenza di ciascuno degli archi risulta che questa dovrà resistere ad una sollecitazione pari 84 kN.



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			47	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

→ Porticato – CATENE LONGITUDINALI (CORTE INTERNA)

VERIFICA STATICA – SLU

Facendo riferimento all'analisi dei carichi riportata al § 2.6 della presente relazione, di seguito viene eseguita la verifica statica dei due archi laterali minori, in quanto considerati come quelli soggetti alla condizione di sollecitazione peggiore dato lo spessore minore dei due piedritti più interni; tali archi hanno luce $L = 2,80$ m e freccia $f = 1,65$ m. Verrà dunque eseguita la verifica di assorbimento della spinta da parte dei piedritti analizzando il meccanismo di ribaltamento dovuto alla spinta dell'arco sulla colonna. In particolare verrà verificato che il momento stabilizzante, dato dai carichi verticali sulla colonna moltiplicati per la distanza dal centro di rotazione, sia maggiore del momento ribaltante dato dalla spinta dell'arco:

$$M_R = \sum F_v \cdot b/2 > M_S = F_0 \cdot h$$

$$F_v = P_{mur1} \cdot 1,3 + P_{mur2} \cdot 1,3 + P_{col} \cdot 1,3 + P_{sol,1} + P_{cop} + 2 \cdot V_{ed,archi\ trasv} = 77,8 \cdot 1,3 + 136 \cdot 1,3 + 83 \cdot 1,3 + 76,3 + 14 + 2 \cdot 174 = 824,1 \text{ kN}$$

$$F_0 = (q_{slu\ sol,1} + q_{slu\ mur} + q_{slu\ cop}) \cdot l^2 / (8 \cdot f) = (54,5 + 126,4 + 10) \cdot 2,8^2 / (8 \cdot 1,65) = 113,4 \text{ kN}$$

Dove:

- $q_{slu\ sol,1}$ = rif. Solaio tipo A = $(G_{k1} \cdot 1,3 + Q_{k1} \cdot 1,5) \cdot i = (11,00 \cdot 1,3 + 5,00 \cdot 1,5) \cdot 2,5 = 54,5 \text{ kN/m}$
- $q_{slu\ cop}$ = rif. Solaio tipo E = $(G_{k1} \cdot 1,3 + Q_{k1} \cdot 0,5 \cdot 1,5) \cdot i = (1,60 \cdot 1,3 + 0,80 \cdot 0,5 \cdot 1,5) \cdot 3,75 = 10 \text{ kN/m}$
- q_{mur} = peso del muro di facciata = $\gamma_{mat} \cdot s \cdot h \cdot 1,3 = 18,00 \cdot 0,6 \cdot 9,00 \cdot 1,3 = 126,4 \text{ kN/m}$
- P_{mur1} = peso del muro soprastante la colonna = $\gamma_{mat} \cdot s \cdot h \cdot l = 18,00 \cdot 0,6 \cdot 9,00 \cdot 0,8 = 77,8 \text{ kN}$
- P_{col} = peso della colonna del porticato = $\gamma_{mat} \cdot b \cdot h \cdot s = 18,00 \cdot 0,8 \cdot 7,20 \cdot 0,8 = 83 \text{ kN}$
- $P_{sol,1}$ = peso del solaio di primo interpiano = $q_{slu\ sol,1} \cdot L / 2 = 54,5 \cdot 2,8 / 2 = 76,3 \text{ kN}$
- P_{cop} = peso del solaio di copertura = $q_{slu\ cop} \cdot L / 2 = 10 \cdot 2,8 / 2 = 14 \text{ kN}$
- P_{mur2} = peso del muro sull'arco = $\gamma_{mat} \cdot s \cdot h \cdot L / 2 = 18,00 \cdot 0,6 \cdot 9 \cdot 2,8 / 2 = 136 \text{ kN}$
- $V_{ed,archi\ lat}$ = peso degli archi longitudinali appoggianti sulla colonna = $= q_{slu\ sol,1} \cdot L / 2 = 87 \cdot 4,00 / 2 = 174 \text{ kN}$

$$M_R = 824,1 \cdot 0,4 = 329,6 \text{ kN} < M_S = 113,4 \cdot 5,50 = 623,7 \text{ kN}$$

Dai conti sopraesposti è evidente la necessità di inserire delle catene in corrispondenza degli archi paralleli all'asse longitudinale del porticato affaccianti la corte interna.

→ calcolo dello sforzo agente sulle catene:

$$M_R = \sum F_v \cdot b/2 + T \cdot h > M_S = F_0 \cdot h$$

E dunque la sollecitazione di trazione agente sulle catene allo stato limite ultimo è pari a:

$$T = (M_S - M_R) / h = (623,7 - 329,6) / 6,5 = 45 \text{ kN}$$

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°	Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001	0				
			Doc. n° CRA14001-RSTR-INT					
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data		
			48	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		

In questo caso non viene eseguita la verifica sismica a ribaltamento in quanto i piedritti su cui si ancoreranno le catene hanno una configurazione geometrica tale da considerare non necessaria tale verifica.

Poiché le catene saranno tutte costituite da barre $\Phi 27$ e gli ancoraggi saranno della stessa tipologia tra catene longitudinali e trasversali, di seguito vengono effettuate le verifiche considerando l'azione di trazione più gravosa sollecitante le catene stesse, ovvero $N_{Ed} = 84 \text{ kN}$

La resistenza a trazione di una barra $\Phi 27$ è pari a:

$$F_{t,Rd} = f_{yk} \cdot A / \gamma_{M0} = 275 \cdot 572,56 / 1,05 = 149,96 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Ancoraggio tipo a – Piastra in nicchia:

Considerando $a = b = 450 \text{ mm}$, le dimensioni della piastra di ancoraggio della catena sulle murature del porticato e $t = 800 \text{ mm}$ lo spessore della muratura, la resistenza a punzonamento della muratura nelle zone di ancoraggio è pari a:

$$B_{M,Rd} = f_{v0} \cdot (2 \cdot (b+t) + 2 \cdot (a+t)) \cdot t = 0,03 \cdot (2 \cdot (450+600) + 2 \cdot (450+600)) \cdot 600 = \\ = 120,0 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

La resistenza del muro nei confronti della penetrazione dell'ancoraggio, dovuta ad eccessiva pressione di contatto della piastra è pari a:

$$P_{M,Rd} = \sigma_r \cdot a \cdot b = 1,33 \cdot 450 \cdot 450 = 269,0 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Infine, detto t_p lo spessore della piastra, la sua resistenza a punzonamento è pari a:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d \cdot t_p \cdot f_{tk} / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot \pi \cdot 27 \cdot 20 \cdot 430 / 1,25 = 350 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Ancoraggio tipo b – Piastra a L in nicchia:

Considerando $a = 450 \text{ mm}$ e $b = 300 \text{ mm}$, della piastra ad L di ancoraggio della catena sulle murature del porticato e $t = 750 \text{ mm}$ lo spessore della muratura, la resistenza a punzonamento della muratura nelle zone di ancoraggio è pari a:

$$B_{M,Rd} = f_{v0} \cdot (2 \cdot (b+t) + 2 \cdot (a+t)) \cdot t = 0,03 \cdot (2 \cdot (450+750) + 2 \cdot (300+750)) \cdot 750 = \\ = 101,3 \text{ kN}$$

Poichè sul lato ortogonale della L verranno inserite quattro barre filettate M12, in foro con ancorante chimico e profondità di posa pari a 14 cm, aventi resistenza consigliata da scheda tecnica a taglio e trazione pari 1,7 kN, che contribuiscono alla resistenza a

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			49	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

trazione del sistema di ancoraggio, la pressione sollecitante la parte di piastra su cui si ancora la catena sarà soggetta ad uno sforzo normale pari a:

$$N_{Ed,1} = N_{Ed} - 4 \cdot N_{Rd,tassello} = 108 - 4 \cdot 1,7 = 101,2 \text{ kN}$$

Dunque la verifica a punzonamento è pari a:

→ **VERIFICATO**

$$B_{M,Rd} = 101,3 \text{ kN} > N_{Ed,1} = 101,2 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

La resistenza del muro nei confronti della penetrazione dell'ancoraggio, dovuta ad eccessiva pressione di contatto del capochiave, dove c è la larghezza del mattone è pari a:

$$P_{M,Rd} = \sigma_r \cdot a \cdot c = 0,889 \cdot 450 \cdot 300 = 120,0 \text{ kN} > N_{Ed,1} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Infine, detto t_p lo spessore del capochiave, la sua resistenza a punzonamento è pari a:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d \cdot t_p \cdot f_{tk} / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot \pi \cdot 27 \cdot 20 \cdot 430 / 1,25 = 350 \text{ kN} > N_{Ed,1} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Ancoraggio tipo c – Paletto capochiave con barre in FRP:

Considerando a e b le dimensioni dell'area di muratura coinvolta dalle barre in FRP e t lo spessore della muratura di contrasto, la resistenza a punzonamento della muratura nelle zone di ancoraggio è pari a:

$$B_{M,Rd} = f_{v0} \cdot (2 \cdot (b+t) + 2 \cdot (a+t)) \cdot t = 0,03 \cdot (2 \cdot (850+540) + 2 \cdot (850+540)) \cdot 540 =$$

$$= 90 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

La resistenza del muro nei confronti della penetrazione dell'ancoraggio, dovuta ad eccessiva pressione di contatto della piastra di ancoraggio è pari a:

$$P_{M,Rd} = \sigma_r \cdot b \cdot a = 1,33 \cdot 700 \cdot 650 = 648 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

2.10.2.Verifica reticolare di falda e di piano – UNITA' STRUTTURALE 1

2.10.2.1.Reticolari di piano

Per eseguire le verifiche di resistenza relative alle reticolari di piano sulla copertura dell'unità strutturale 1, si è eseguita la verifica a ribaltamento delle pareti perimetrali determinando il valore del moltiplicatore attivatore del cinematismo di collasso. Poiché è emerso che le pareti sono soggette a tale cinematismo, si sono dimensionati i profili metallici costituenti le reticolari di piano e i relativi tasselli in modo che questi blocchino l'insorgere di tale meccanismo.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune FERRARA	Comm. n° CRA14001	Revisioni			
	Progetto PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	Doc. n° CRA14001-RSTR-INT	0			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI		Fg. 50	Di 115	Compilato A.C. & O.V.	Data DIC.2017	

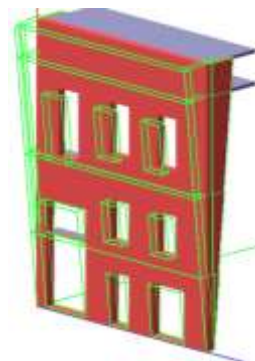
Le verifiche a ribaltamento sono state eseguite con un applicativo specifico del programma Pro Sap, chiamato Pro_Cinem e i risultati vengono riportati nel seguito della presente relazione.

→ VERIFICA A RIBALTAMENTO PROSPETTO FRONTE CORSO MARTIRI DELLA LIBERTA'

Si osserva che è stata modellata solo una parte del prospetto in quanto la parete ha dei muri trasversali ammortati.

STATO DI FATTO

Cinematismo n°: 1



Tipo: Rib. Multi
Pareti coinvolte: 1, 2, 3, 4,
Quota: 0,00[m]
PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0313 [g]
PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,1358 [g]
Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,025
accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo a_0^* : 0,023 [g]
Massa partecipante al cinematismo M^* : 151 [kN]
Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD per cinematismo a quota zero: 0,084 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV per cinematismo a quota zero: 0,114 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

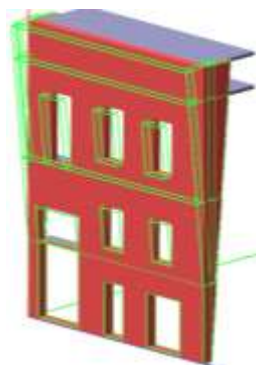
Periodo secante T_s : 3,261 [sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,126[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero $\Delta_{d, \text{quota zero}}$: 0,145 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota maggiore di zero $\Delta_{d, \text{quota sopraelev}}$: 0,000 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**



Cinematismo n°: 2

Tipo: Rib. Multi
Pareti coinvolte: 2, 3, 4,
Quota: 4,30[m]
Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi(Z)$: 0,190
PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0445 [g]
PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,1386 [g]
Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,036

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			51	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo a_0^* : 0,032 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 122 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,044 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,062 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 2,755[sec]

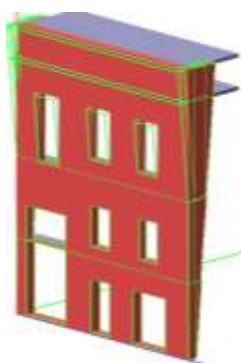
Spostamento spettrale d_u^* : 0,128[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero $\Delta_{d, \text{quota zero}}$: 0,145 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota maggiore di zero $\Delta_{d, \text{quota sopraelev}}$: 0,054 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematismo n°: 3



Tipo: Rib. Multi

Pareti coinvolte: 3, 4,

Quota: 8,90[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi(Z)$: 0,394

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0626 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,1453 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,060

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo a_0^* : 0,051 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 89 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,092 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,128 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 2,244[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,135[m]

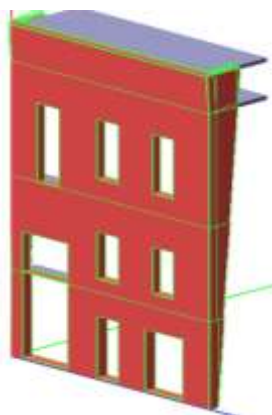
Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero $\Delta_{d, \text{quota zero}}$: 0,145 [m]

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			52	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Domanda di spostamento nel caso di cinematisimo a quota maggiore di zero Δ_d , quota sopraelev.: 0,096 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematisimo n°: 4



Tipo: Rib. Singolo

Pareti coinvolte: 4,

Quota: 14,50[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi(Z)$: 0,642

PGA relativa al cinematisimo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,1403 [g]

PGA relativa al cinematisimo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,1898 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,232

accelerazione spettrale di attivazione del cinematisimo α_0^* : 0,188 [g]

Massa partecipante al cinematisimo M^* : 38 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,149 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,209 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 1,179 [sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,136 [m]

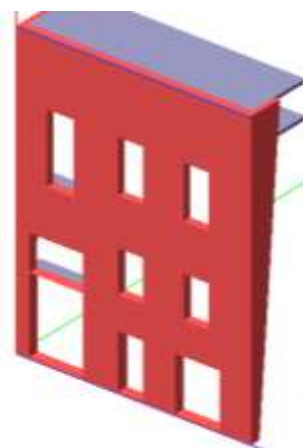
Domanda di spostamento nel caso di cinematisimo a quota zero Δ_d , quota zero: 0,077 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematisimo a quota maggiore di zero Δ_d , quota sopraelev.: 0,112 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Verificato**

PROGETTO

Rieseguendo il calcolo e considerando la presenza di un vincolo sommitale (linee blu dell'immagine a lato), risulta che la reticolare metallica, sarà soggetta ad una sollecitazione orizzontale pari a $F_{H,conc} = 110$ kN, che distribuita lungo la lunghezza della parete è pari ad un carico $q_{H,dist} = 8,50$ kN/m.

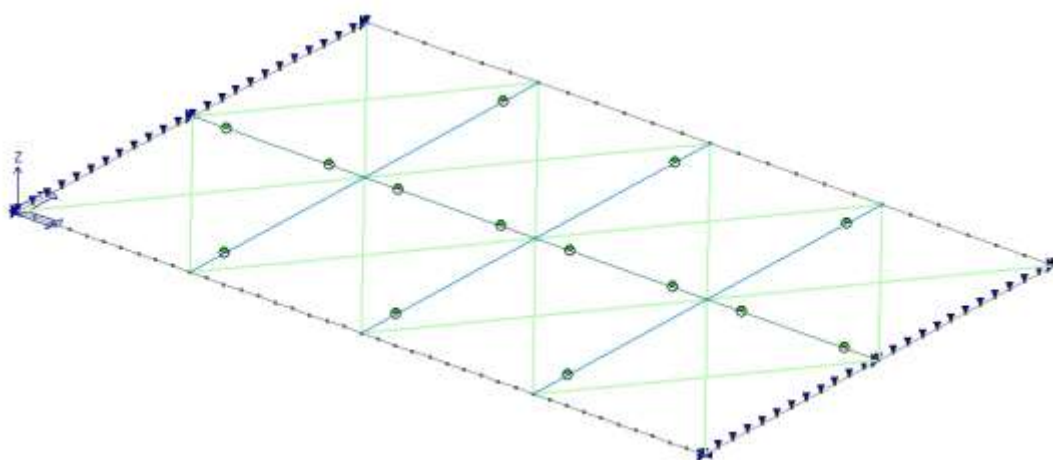


 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°	Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001	0			
			Doc. n°	CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data	
			53	115	A.C. & O.V.	DIC.2017	

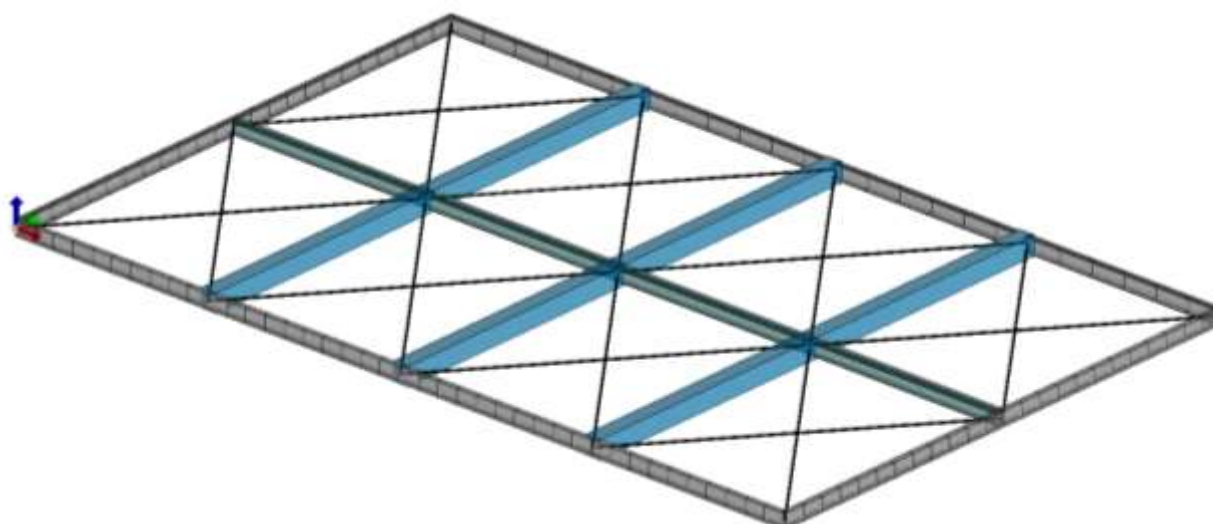
→ DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA RETICOLARE DI PIANO

Per la realizzazione della reticolare di piano nella copertura in oggetto, si utilizzeranno profili metallici in acciaio S275; i profili perimetrali, tassellati al muro portante, sono UPN 200; si utilizzeranno dei doppi UPN 160 come rompitratta ed i controventi saranno realizzati con tondini aventi diametro 24 mm (per i disegni si rimanda agli elaborati grafici esecutivi specifici, in particolare si veda la tavola da S_05b).

Di seguito vengono riportate le immagini del modello agli elementi finiti, sia relative alla modellazione vera e propria sia alle verifiche agli stati limite.

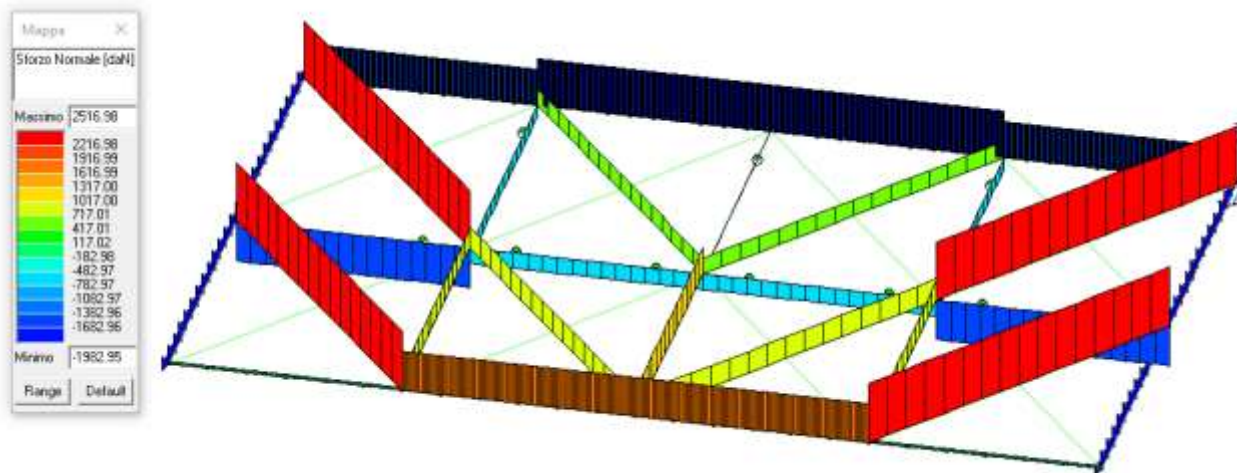


Modello agli elementi finiti del campo di solaio di copertura in oggetto

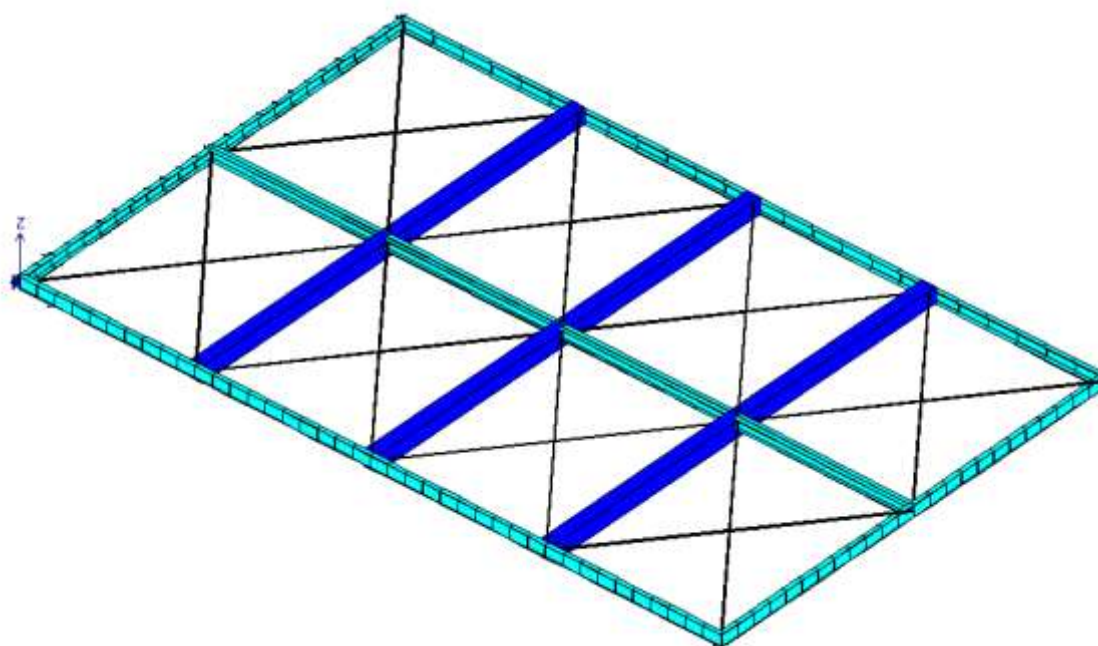


Modello 3D agli elementi finiti del campo di solaio di copertura in oggetto

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°	Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001	0				
			Doc. n°	CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data		
			54	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		

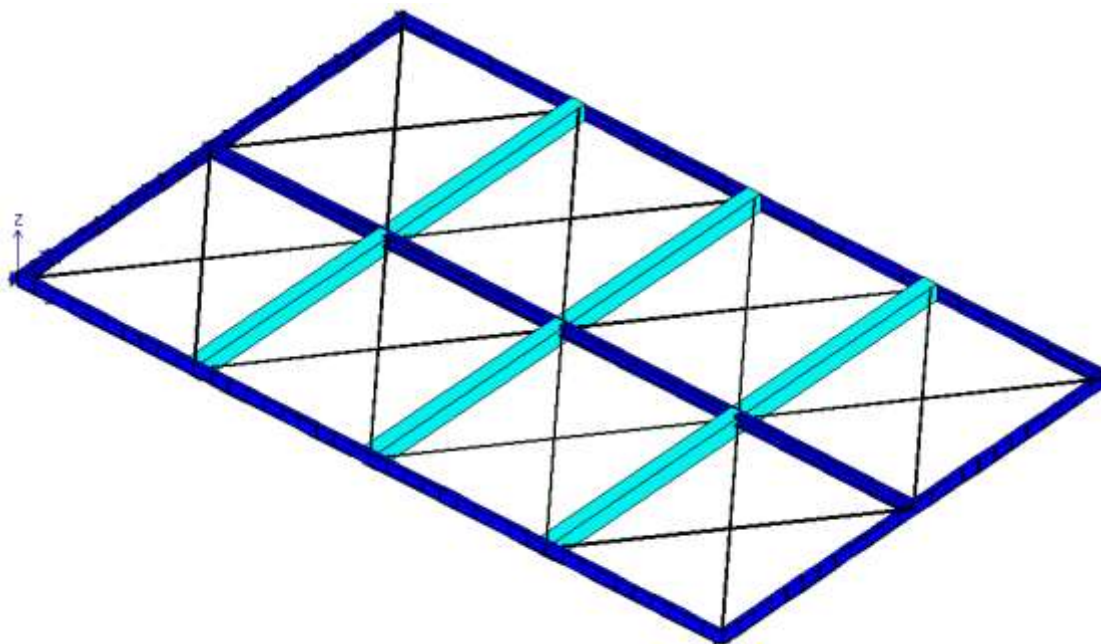


Sforzo normale sollecitante



Risultati delle verifiche agli stati limite per elementi metallici (in azzurro elementi verificati, in rosso elementi non verificati)

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			55	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	



Risultati delle verifiche agli stati limite per elementi lignei (in azzurro elementi verificati, in rosso elementi non verificati)

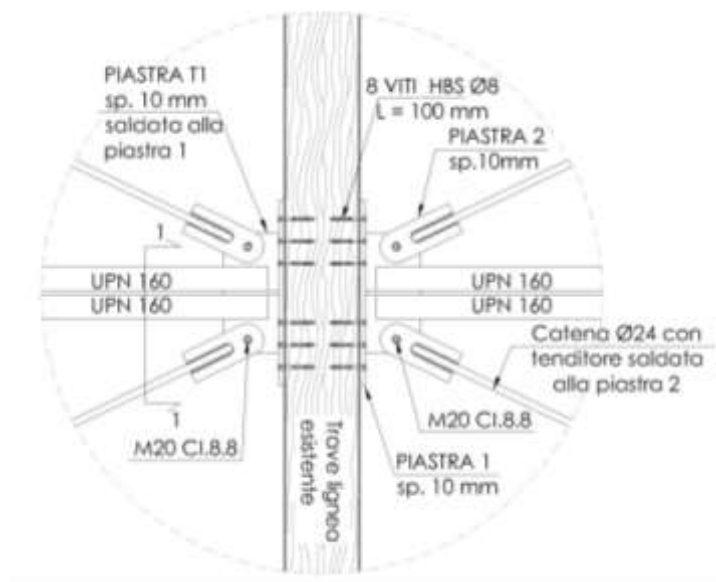
Dalle immagini è possibile verificare che tutti gli elementi della reticolare vengono verificati, così come le catene delle capriate lignee esistenti su cui verranno ancorati i profili UPN 160

Inoltre, lungo i due lati ortogonali alla sollecitazione orizzontale, sono stati inseriti dei vincoli in direzione parallela alla sollecitazione in modo da verificare il carico che ciascun tassello deve sopportare e verificare che non venga superata la sollecitazione massima consigliata per ciascuno di essi.

Da scheda tecnica ogni tassello M12 in foro ancorante chimico ha resistenza massima a taglio e trazione pari a 1,7 kN. Da modello la sollecitazione massima di taglio che si ricava è pari a 1,14 kN, dunque inferiore al valore limite, per cui verificato.

Di seguito viene riportata la verifica dei giunti della reticolare. Lo sforzo massimo di trazione che sollecita le catene della reticolare di piano è pari ad $N_{t,Ed} = 25$ kN e mentre lo sforzo di compressione nei rompitratta è pari a $N_{c,Ed} = -17$ kN.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune FERRARA	Comm. n° CRA14001	Revisioni			
	Progetto PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	Doc. n° CRA14001-RSTR-INT	0			
	RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI	Fg. 56	Di 115	Compilato A.C. & O.V.	Data DIC.2017	



Resistenza di calcolo a taglio di un M20 CI. 8.8:

$$F_{V,Rd} = 0,6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res} / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 800 \cdot 245 / (1,25 \cdot 10^3) = 94 \text{ kN} > N_{Ed} = 25 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Resistenza di calcolo a taglio di un M12 CI. 8.8:

$$F_{V,Rd} = 0,6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res} / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 800 \cdot 84,3 / (1,25 \cdot 10^3) = 32,4 \text{ kN}$$

$$\text{Per ogni bullone } T_{Ed} = N_{c,Ed} / n^{\circ} \text{ bulloni} = 17/2 = 8,5 \text{ kN}$$

$$F_{V,Rd} = 32,4 \text{ kN} > T_{Ed} = 8,5 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

VERIFICA PIASTRA 1

Resistenza di calcolo a rifollamento della piastra 1

$$F_{bf,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 1 \cdot 430 \cdot 6 \cdot 10 / (1,25 \cdot 10^3) = 51,6 \text{ kN} > N_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 18 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

$$K_1 = \min(2,8 \cdot e_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5) = \min(2,8 \cdot 50 / 6 - 1,7 ; 2,5) = \min(21,6 ; 2,5) = 2,5$$

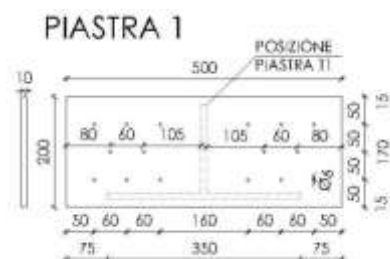
$$K_2 = \min(1,4 \cdot p_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5) = \min(1,4 \cdot 50 / 6 - 1,7 ; 2,5) = \min(9,97 ; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_1 = \min(e_1 / (3 \cdot d_0) ; 1) = \min(50 / (3 \cdot 6) ; 1) = \min(2,78 ; 1) = 1$$

$$\alpha_2 = \min(p_1 / (3 \cdot d_0) - 0,25 ; 1) = \min(60 / (3 \cdot 6) - 0,25 ; 1) = \min(3,1 ; 1) = 1$$

Resistenza di calcolo a punzonamento della piastra 1

$$B_{p,Rd} = 0,6 \pi \cdot f_{tk} \cdot d_m \cdot t_p / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 3,14 \cdot 430 \cdot 6 \cdot 10 / (1,25 \cdot 10^3) = 38,9 \text{ kN} > N_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 18 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			57	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Resistenza di calcolo a punzonamento della trave lignea (compressione ortogonale alle fibre), dette a e b le dimensioni della piastra 1:

$$P_{M,Rd} = k_{mod} \cdot f_{c,90,k} \cdot a \cdot b / \gamma_M = 1 \cdot 2,5 \cdot 500 \cdot 200 / 1,5 = 166 \text{ kN} > N_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 18 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

k_{mod} viene assunto pari a 1 in quanto tali verifiche sono valide nel caso in cui si inneschi un eventuale cinematismo di ribaltamento durante il sisma e dunque in funzione di un'azione avente durata istantanea.

Da scheda tecnica ogni vite tipo HBS Rothoblass (o prodotto ad analoghe prestazioni) diametro 8 mm e lunghezza $L = 100$ mm, ha resistenza caratteristica massima a taglio e trazione è pari a 5,06 kN, ovvero resistenza di progetto pari a 3,37 kN. Da modello, la sollecitazione massima agente su ciascuna della viti è pari a 2,13 kN, dunque inferiore al valore limite.

VERIFICA PIASTRA T1 – LATO CATENA

Resistenza di calcolo a rifollamento della piastra T1

$$F_{bf,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,56 \cdot 430 \cdot 20 \cdot 10 / (1,25 \cdot 10^3) = 96,3 \text{ kN} > N_{Ed} = 25 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

$$k = \min(2,8 \cdot e_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5) = \min(2,8 \cdot 35 / 21 - 1,7 ; 2,5) =$$

$$= \min(2,97 ; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min(e_1 / (3 \cdot d_0) ; 1) = \min(35 / (3 \cdot 21) ; 1) = \min(0,56 ; 1) = 1$$

Resistenza di calcolo a trazione della piastra T1

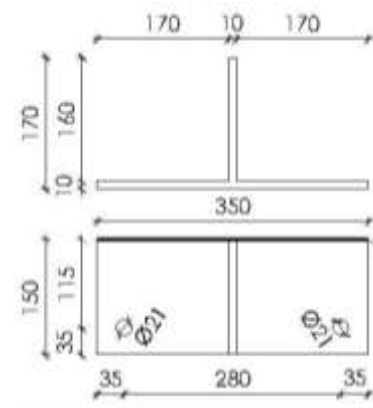
$$N_{Pl,Rd} = f_{yk} \cdot A / \gamma_{M0} = 275 \cdot 1500 / (1,05 \cdot 10^3) = 393 \text{ kN}$$

$$N_{U,Rd} = 0,9 \cdot f_{tk} \cdot A_{net} / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 430 \cdot 1290 / (1,05 \cdot 10^3) = 475 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \min(N_{Pl,Rd} ; N_{U,Rd}) = 393 \text{ kN} > N_{Ed} = 25 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Resistenza di calcolo a taglio della piastra T1

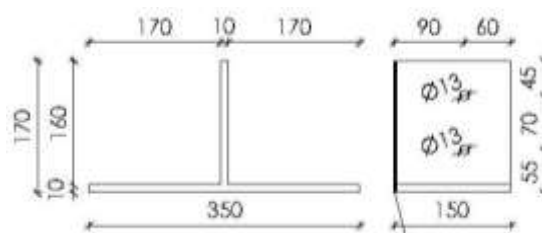
$$V_{c,Rd} = A_v \cdot f_{yk} / (\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}) = 1290 \cdot 275 / (1,05 \cdot \sqrt{3} \cdot 10^3) = 195 \text{ kN} > N_{Ed} = 25 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$



VERIFICA PIASTRA T1 - LATO ROMPITRATTA

Resistenza di calcolo a rifollamento della piastra T1:

$$F_{bf,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 1 \cdot 430 \cdot 12 \cdot 10 / (1,25 \cdot 10^3) = 103 \text{ kN} > T_{Ed} = 17 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$



$$k_1 = \min(2,8 \cdot e_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5) = \min(2,8 \cdot 45 / 13 - 1,7 ; 2,5) = \min(8 ; 2,5) = 2,5$$

$$k_2 = \min(1,4 \cdot p_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5) = \min(1,4 \cdot 70 / 13 - 1,7 ; 2,5) = \min(5,8 ; 2,5) = 2,5$$

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			58	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

$$k = \min(k_1; k_2) = 2,5$$

$$\alpha = \min(e_1/(3 \cdot d_0); 1) = \min(60/(3 \cdot 13); 1) = \min(1,53; 1) = 1$$

Resistenza di calcolo a compressione della piastra T1:

$$N_{c,Rd} = f_{yk} \cdot A / \gamma_{M0} = 275 \cdot 1340 / (1,05 \cdot 10^3) = 351 \text{ kN} > T_{Ed} = 17 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

VERIFICA PIASTRA 2

Resistenza di calcolo a rifollamento della piastra 2:

$$F_{bf,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,63 \cdot 430 \cdot 20 \cdot 10 / (1,25 \cdot 10^3) = 108,6 \text{ kN} > N_{Ed} = 25 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

$$k = \min(2,8 \cdot e_2/d_0 - 1,7; 2,5) = \min(2,8 \cdot 50/21 - 1,7; 2,5) =$$

$$= \min(5; 2,5) = 2,5$$

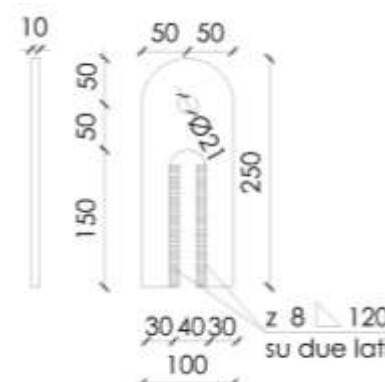
$$\alpha = \min(e_1/(3 \cdot d_0); 1) = \min(40/(3 \cdot 21); 1) = \min(0,63; 1) = 0,63$$

Resistenza di calcolo a trazione della piastra 2:

$$N_{Pl,Rd} = f_{yk} \cdot A / \gamma_{M0} = 275 \cdot 1000 / (1,05 \cdot 10^3) = 261,9 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot f_{tk} \cdot A_{net} / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 430 \cdot 600 / (1,25 \cdot 10^3) = 185,8 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \min(N_{Pl,Rd}; N_{u,Rd}) = 185,8 \text{ kN} > N_{Ed} = 25 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$



VERIFICA SALDATURE

Per quanto riguarda la verifica delle saldature si indica con L_1 la lunghezza della saldatura del tondino $\Phi 24$ alla piastra 2

$$T_{//} = N_{Ed} \cdot 10^3 / (2 \cdot L_1 \cdot a) = 25 \cdot 10^3 / (2 \cdot 120 \cdot 5,65) = 18,4 \text{ MPa}$$

$$(3 \cdot (T_{//}^2))^{0,5} = 31,9 \text{ MPa} < f_{tk} / (\beta \cdot \gamma_{M2}) = 430 / (0,85 \cdot 1,25) = 404,7 \text{ MPa} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

2.10.2.2. Reticolare di falda

Per eseguire le verifiche di resistenza relative alla reticolare di falda sulla copertura dell'unità strutturale 1, si è eseguita la verifica a ribaltamento della parete perimetrale corrispondente alla zona in cui verrà eseguita la reticolare di falda, determinando il valore del moltiplicatore attivatore del cinematismo di collasso. Poiché è emerso che tale parete è soggetta al cinematismo di ribaltamento, si sono dimensionati i profili metallici costituenti la reticolare di falda e i relativi tasselli in modo che questi blocchino l'insorgere di tale meccanismo.

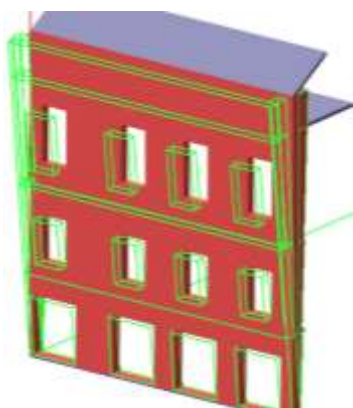
Le verifiche a ribaltamento sono state eseguite con un applicativo specifico del programma Pro Sap, chiamato Pro_Cinem e i risultati vengono riportati nel seguito della presente relazione.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune FERRARA	Comm. n° CRA14001	Revisioni			
	Progetto PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	Doc. n° CRA14001-RSTR-INT	0			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI		Fg. 59	Di 115	Compilato A.C. & O.V.	Data DIC.2017	

→ VERIFICA A RIBALTAMENTO PROSPETTO FRONTE CORSO MARTIRI DELLA LIBERTA'

STATO DI FATTO

Cinematismo n°: 1



Tipo: Rib. Multi

Pareti coinvolte: 1, 2, 3, 4,

Quota: 0,00[m]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0275 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,1120 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,022

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo α_0^* : 0,020 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 164 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD per cinematismo a quota zero: 0,084 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV per cinematismo a quota zero: 0,114 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 3,150[sec]

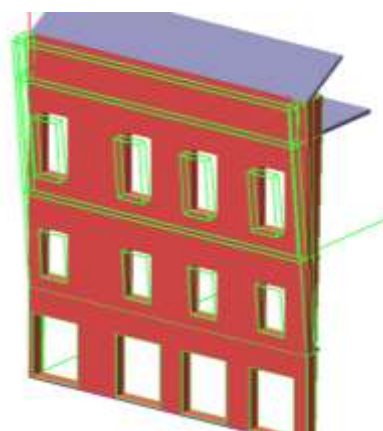
Spostamento spettrale d_u^* : 0,104[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero Δ_d , quota zero: 0,145 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota maggiore di zero Δ_d , quota sopraelev.: 0,000 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematismo n°: 2



Tipo: Rib. Multi

Pareti coinvolte: 2, 3, 4,

Quota: 4,30[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi(Z)$: 0,190

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0393 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,1169 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,031

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo α_0^* : 0,029 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 129 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

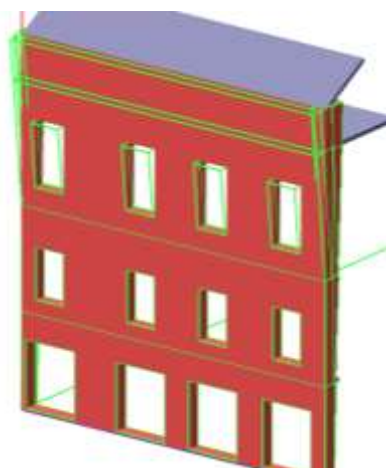
 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			60	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]
Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,044 [g]
Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV
Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]
Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,062 [g]
Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV
Periodo secante T_s : 2,690[sec]
Spostamento spettrale d_u^* : 0,108[m]
Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota zero $\Delta_{d, \text{quota zero}}$: 0,145 [m]
Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota maggiore di zero $\Delta_{d, \text{quota sopraelev}}$: 0,053 [m]
Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematiso n°: 3



Tipo: Rib. Multi
Pareti coinvolte: 3, 4,
Quota: 8,90[m]
Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio
 $\psi(Z)$: 0,394
PGA relativa al cinematiso nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0533 [g]
PGA relativa al cinematiso nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,1204 [g]
Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,051
accelerazione spettrale di attivazione del cinematiso a_0^* : 0,044 [g]
Massa partecipante al cinematiso M^* : 91 [kN]
Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

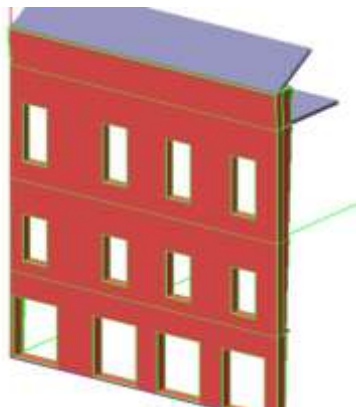
Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD
Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]
Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,091 [g]
Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV
Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]
Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,128 [g]
Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV
Periodo secante T_s : 2,205[sec]
Spostamento spettrale d_u^* : 0,111 [m]
Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota zero $\Delta_{d, \text{quota zero}}$: 0,143 [m]
Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota maggiore di zero $\Delta_{d, \text{quota sopraelev}}$: 0,095 [m]
Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			61	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	

Cinematismo n°: 4



Tipo: Rib. Singolo
 Pareti coinvolte: 4,
 Quota: 14,50[m]
 Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio ψ (Z): 0,642
 PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,1283 [g]
 PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,1724 [g]
 Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,214
 accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo a_0^* : 0,171 [g]
 Massa partecipante al cinematismo M^* : 38 [kN]
 Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,149 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,209 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 1,174[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,123[m]

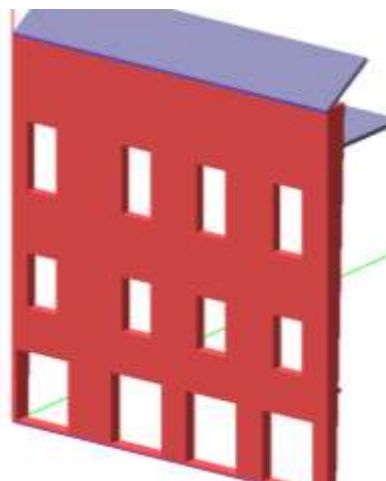
Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero Δ_d , quota zero: 0,076 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota maggiore di zero Δ_d , quota sopraelev: 0,111 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Verificato**

PROGETTO

Rieseguendo il calcolo e considerando la presenza di un vincolo sommitale (linee blu dell'immagine a lato), risulta che la reticolare metallica, sarà soggetta ad una sollecitazione orizzontale pari a $F_{H,conc} = 119,43$ kN, che distribuita lungo la lunghezza della parete è pari ad un carico $q_{H,dist} = 7,70$ kN/m.

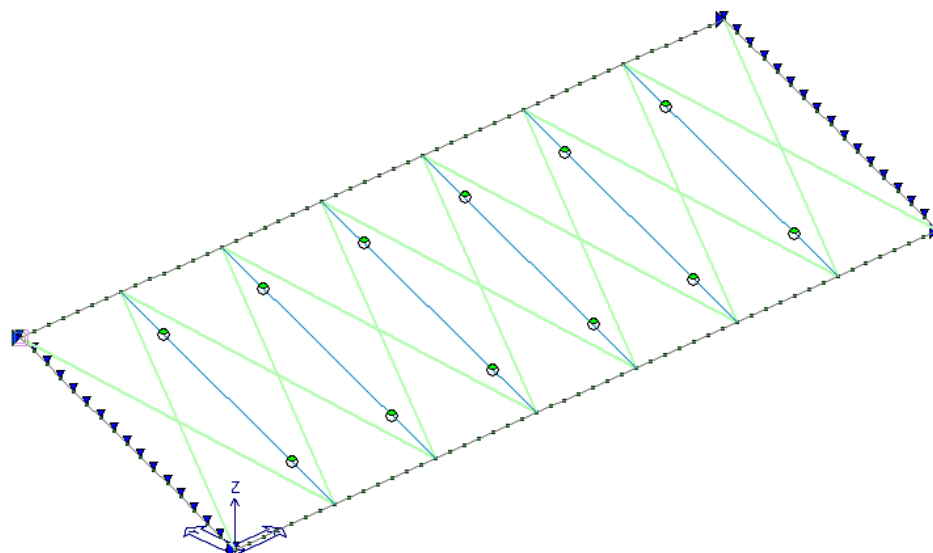


 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			62	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	

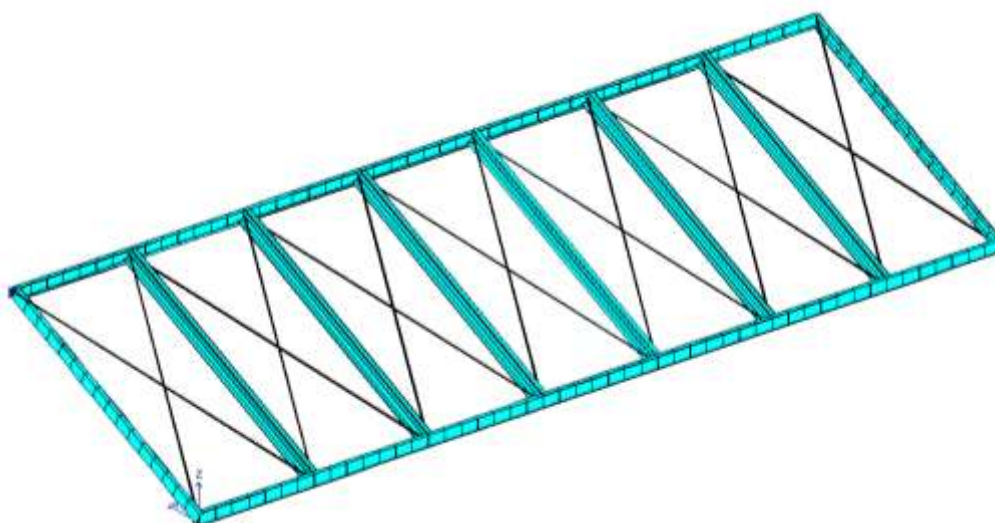
→ DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA RETICOLARE DI FALDA

Per la realizzazione della reticolare di falda nella copertura in oggetto, si utilizzeranno profili metallici in acciaio S275; i profili perimetrali, tassellati al muro portante, sono UPN 220; verranno poi posizionati due UPN 220 in affiancamento all'orditura principale del coperto ed i controventi saranno realizzati con tondini aventi diametro 24 mm (per i disegni si rimanda agli elaborati grafici esecutivi specifici, in particolare si veda la tavola da S_05b).

Di seguito vengono riportate le immagini del modello agli elementi finiti, sia relative alla modellazione vera e propria della reticolare sia alle verifiche agli stati limite.

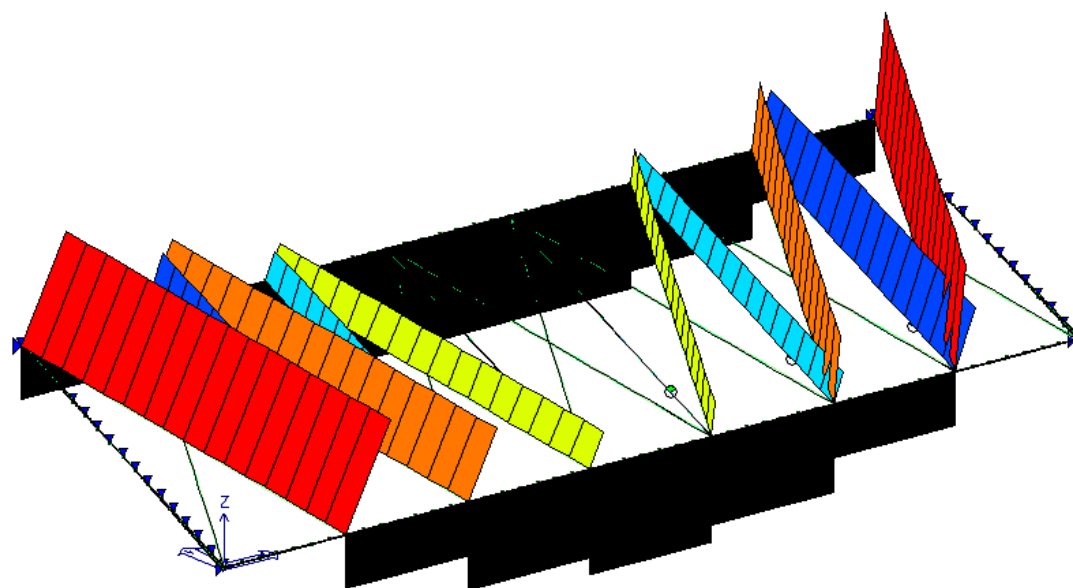
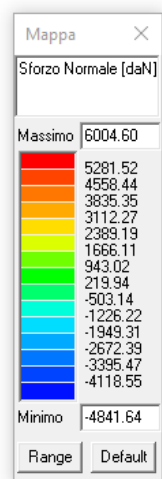


Modello agli elementi finiti del campo di solaio di copertura in oggetto



Risultati delle verifiche agli stati limite (in azzurro elementi verificati, in rosso elementi non verificati)

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			63	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		



Sforzo normale sollecitante

Dalle immagini è possibile verificare che tutti gli elementi della reticolare vengono verificati.

Da scheda tecnica ogni tassello ha resistenza massima a taglio e trazione pari a 1,7 kN. Da modello la sollecitazione massima che si ricava è pari a 1,0 kN, dunque inferiore al valore limite, per cui verificato.

Di seguito viene riportata la verifica in relazione alla sollecitazione massima individuata, ossia lo sforzo di trazione che sollecita le catene nella reticolare da realizzare, pari ad $N_{t,Ed} = 60$ kN

Resistenza di calcolo a taglio di un M20 Cl. 8.8:

$$F_{V,Rd} = 0,6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res} / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 800 \cdot 245 / (1,25 \cdot 10^3) = 94 \text{ kN} > N_{Ed} = 60 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

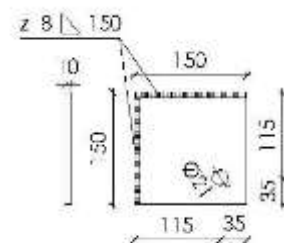
VERIFICA PIASTRA D'ANGOLO

Resistenza di calcolo a rifollamento della piastra d'angolo

$$F_{bf,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,56 \cdot 430 \cdot 20 \cdot 10 / (1,25 \cdot 10^3) = 96,3 \text{ kN} > N_{Ed} = 60 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

$$k = \min(2,8 \cdot e_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5) = \min(2,8 \cdot 35 / 21 - 1,7 ; 2,5) = \min(2,97 ; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min(e_1 / (3 \cdot d_0) ; 1) = \min(35 / (3 \cdot 21) ; 1) = \min(0,56 ; 1) = 1$$



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			64	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Resistenza di calcolo a trazione della piastra d'angolo

$$N_{Pl,Rd} = f_{yk} \cdot A / \gamma_{M0} = 275 \cdot 1500 / (1,05 \cdot 10^3) = 393 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot f_{tk} \cdot A_{net} / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 430 \cdot 1290 / (1,05 \cdot 10^3) = 475 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \min(N_{Pl,Rd}; N_{u,Rd}) = 393 \text{ kN} > N_{Ed} = 60 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Resistenza di calcolo a taglio della piastra d'angolo

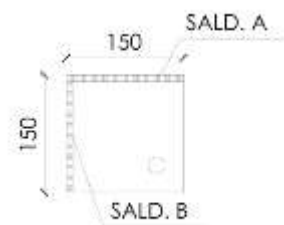
$$V_{c,Rd} = A_v \cdot f_{yk} / (\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}) = 1290 \cdot 275 / (1,05 \cdot \sqrt{3} \cdot 10^3) = 195 \text{ kN} > N_{Ed} = 60 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

VERIFICA SALDATURE

Per quanto riguarda la verifica delle saldature si indica con L_1 la lunghezza di ciascuna saldatura della piastra d'angolo sull'UPN 220. La forza di trazione sollecitante la piastra, scomposta nelle due componenti parallela e ortogonale all'asse della saldatura è pari

$$N_1 = N_{Ed} \cdot \cos(24^\circ) = 55 \text{ kN}$$

$$N_2 = N_{Ed} \cdot \sin(24^\circ) = 24 \text{ kN}$$



- SALDATURA A - VERIFICA LATO PIASTRA

$$\tau_{//} = N_1 \cdot 10^3 / (L_1 \cdot a) = 55 \cdot 10^3 / (150 \cdot 5,65) = 64,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = N_2 \cdot 10^3 / (L_1 \cdot a) = 24 \cdot 10^3 / (150 \cdot 5,65) = 28,3 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{//}^2))^{0,5} = 116 \text{ MPa} < f_{tk} / (\beta \cdot \gamma_{M2}) = 430 / (0,85 \cdot 1,25) = 404,7 \text{ MPa} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

- SALDATURA A - VERIFICA LATO UPN 200

$$\tau_{//} = N_1 \cdot 10^3 / (L_1 \cdot a) = 55 \cdot 10^3 / (150 \cdot 5,65) = 64,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = N_2 \cdot 10^3 / (L_1 \cdot a) = 24 \cdot 10^3 / (150 \cdot 5,65) = 28,3 \text{ MPa}$$

$$(3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2))^{0,5} = 122,7 \text{ MPa} < f_{tk} / (\beta \cdot \gamma_{M2}) = 430 / (0,85 \cdot 1,25) = 404,7 \text{ MPa} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

- SALDATURA B - VERIFICA LATO PIASTRA

$$\tau_{//} = N_2 \cdot 10^3 / (2 \cdot L_1 \cdot a) = 24 \cdot 10^3 / (150 \cdot 5,65) = 28,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = N_1 \cdot 10^3 / (2 \cdot L_1 \cdot a) = 55 \cdot 10^3 / (150 \cdot 5,65) = 64,9 \text{ MPa}$$

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			65	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

$$(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{//}^2))^{0,5} = 81 \text{ MPa} < f_{tk}/(\beta \cdot \gamma_{M2}) = 430/(0,85 \cdot 1,25) = 404,7 \text{ MPa} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

- SALDATURA B - VERIFICA LATO UPN 200

$$\tau_{//} = N_2 \cdot 10^3 / (L_1 \cdot a) = 24 \cdot 10^3 / (150 \cdot 5,65) = 28,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = N_1 \cdot 10^3 / (L_1 \cdot a) = 55 \cdot 10^3 / (150 \cdot 5,65) = 64,9 \text{ MPa}$$

$$(3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2))^{0,5} = 122,7 \text{ MPa} < f_{tk}/(\beta \cdot \gamma_{M2}) = 430/(0,85 \cdot 1,25) = 404,7 \text{ MPa} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			66	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

2.10.3.Verifica catene nella torretta – UNITA' STRUTTURALE 1

Analogamente a quanto fatto in precedenza, al presente capitolo viene eseguita la verifica a ribaltamento delle pareti della torretta e contestualmente eseguito il dimensionamento delle catene metalliche e dei tasselli che andranno a collegare il tavolato ligneo alla muratura.

Le verifiche a ribaltamento sono state eseguite con un applicativo specifico del programma Pro Sap, chiamato Pro_Cinem e i risultati vengono riportati nel seguito della presente relazione.

→ LATI LUNGI

STATO DI FATTO

Cinematismo n°: 1

Tipo: Rib. Multi

Pareti coinvolte: 1, 2, 3,

Quota: 18,00[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi(Z)$: 0,621

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0276 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,0818 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,034

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo a_0^* : 0,032 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 40 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,128 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,179 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 2,388[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,094[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero $\Delta_{d, \text{ quota zero}}$: 0,145 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota maggiore di zero $\Delta_{d, \text{ quota sopraelev.}}$: 0,179 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematismo n°: 2

Tipo: Rib. Multi

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			67	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Pareti coinvolte: 2, 3,

Quota: 21,36[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio ψ (Z): 0,737

PGA relativa al cinematisimo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0350 [g]

PGA relativa al cinematisimo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,0775 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,054

accelerazione spettrale di attivazione del cinematisimo a_0^* : 0,048 [g]

Massa partecipante al cinematisimo M^* : 29 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,152 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,213 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 1,934[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,093[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematisimo a quota zero $\Delta_{d, \text{quota zero}}$: 0,126 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematisimo a quota maggiore di zero $\Delta_{d, \text{quota sopraelev}}$: 0,188 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematisimo n°: 3

Tipo: Rib. Singolo

Pareti coinvolte: 3,

Quota: 24,72[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio ψ (Z): 0,852

PGA relativa al cinematisimo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0605 [g]

PGA relativa al cinematisimo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,0722 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,120

accelerazione spettrale di attivazione del cinematisimo a_0^* : 0,095 [g]

Massa partecipante al cinematisimo M^* : 17 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,176 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,246 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			68	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 1,325[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,087[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero Δ_d , quota zero: 0,086 [m]

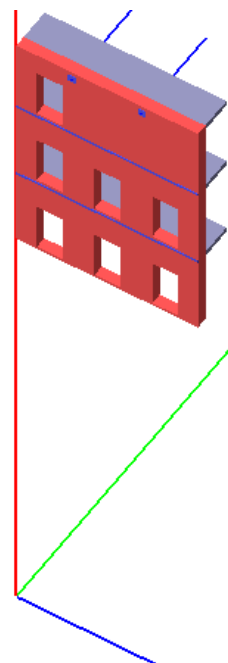
Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota maggiore di zero Δ_d , quota sopraelev: 0,189 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

PROGETTO

Rieseguendo il calcolo e considerando la presenza di un vincolo in corrispondenza dei due solai che saranno interessati dall'intervento di raddoppio del tavolato (linee blu dell'immagine a lato), e due vincoli puntuali sommitali, in corrispondenza delle catene, risulta che:

- ciascuna catena in sommità è soggetta ad un tiro pari a $N_{Ed} = 20,5$ kN;
- in corrispondenza del solaio di 4° piano i tasselli dovranno resistere ad una sollecitazione pari 4 kN/m; poiché i tasselli sono posti ad interasse pari a 25 cm, la sollecitazione massima su ciascuno di essi è pari a 1 kN, dunque inferiore al valore limite di resistenza massima a taglio e trazione consigliato da scheda tecnica, pari a 1,7 kN.
- in corrispondenza del solaio di 3° piano i tasselli dovranno resistere ad una sollecitazione pari 1,90 kN/m; poiché i tasselli sono posti ad interasse pari a 25 cm, la sollecitazione massima su ciascuno di essi è pari a 0,5 kN, dunque inferiore al valore limite di resistenza massima a taglio e trazione consigliato da scheda tecnica, pari a 1,7 kN.



→ LATO CORTO - SOLAIO

STATO DI FATTO

Cinematismo n°: 1

Tipo: Rib. Multi

Pareti coinvolte: 1, 2, 3,

Quota: 18,00[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi(Z)$: 0,621

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0293 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,0834 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,036

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo α_0^* : 0,034 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 22 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			69	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,129 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,180 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 2,314[sec]

Spostamento spettrale du^* : 0,094[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota zero Δd , quota zero: 0,145 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota maggiore di zero Δd , quota sopraelev: 0,176 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematiso n°: 2

Tipo: Rib. Multi

Pareti coinvolte: 2, 3,

Quota: 21,36[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio ψ (Z): 0,737

PGA relativa al cinematiso nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0378 [g]

PGA relativa al cinematiso nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,0811 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,057

accelerazione spettrale di attivazione del cinematiso α_0^* : 0,052 [g]

Massa partecipante al cinematiso M^* : 15 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,153 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,214 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 1,895[sec]

Spostamento spettrale du^* : 0,097[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota zero Δd , quota zero: 0,123 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota maggiore di zero Δd , quota sopraelev: 0,186 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			70	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Cinematismo n°: 3

Tipo: Rib. Singolo

Pareti coinvolte: 3,

Quota: 24,72[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi(Z)$: 0,852

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0584 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,0718 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α : 0,117

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo a_0^* : 0,092 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 8 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,177 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,247 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 1,347[sec]

Spostamento spettrale du^* : 0,087[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero Δd , quota zero: 0,088 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota maggiore di zero Δd , quota sopraelev: 0,190 [m]

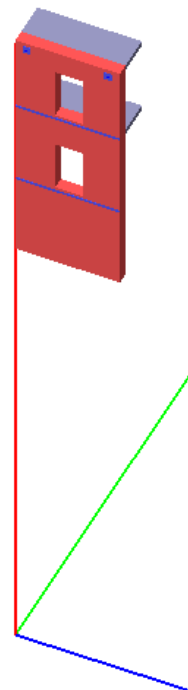
Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

PROGETTO

Rieseguendo il calcolo e considerando la presenza di un vincolo in corrispondenza dei due solai che saranno interessati dall'intervento di raddoppio del tavolato (linee blu dell'immagine a lato), e due vincoli puntuali sommitali, in corrispondenza delle catene, risulta che:

- ciascuna catena in sommità è soggetta ad un tiro pari a $N_{Ed} = 20,5$ kN;

- in corrispondenza del solaio di 4° piano i tasselli dovranno resistere ad una sollecitazione pari 1,19 kN/m; poiché i tasselli sono posti ad interasse pari a 25 cm, la sollecitazione massima su ciascuno di essi è pari a 0,3 kN, dunque inferiore al valore limite di resistenza massima a taglio e trazione consigliato da scheda tecnica, pari a 1,7 kN.



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			71	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

- in corrispondenza del solaio di 3° piano i tasselli dovranno resistere ad una sollecitazione pari 4,75 kN/m; poiché i tasselli sono posti ad interasse pari a 25 cm, la sollecitazione massima su ciascuno di essi è pari a 1,2 kN, dunque inferiore al valore limite di resistenza massima a taglio e trazione consigliato da scheda tecnica, pari a 1,7 kN.

→ LATO CORTO - SCALA

STATO DI FATTO

Cinematismo n°: 1

Tipo: Rib. Multi

Pareti coinvolte: 1, 2, 3,

Quota: 18,00[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi(Z)$: 0,621

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0326 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,0895 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,038

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo α_0^* : 0,037 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 22 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,128 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,179 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 2,251 [sec]

Spostamento spettrale du^* : 0,099 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero Δ_d , quota zero: 0,145 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota maggiore di zero Δ_d , quota sopraelev: 0,173 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematismo n°: 2

Tipo: Rib. Multi

Pareti coinvolte: 2, 3,

Quota: 21,36[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi(Z)$: 0,737

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0388 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,0833 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,057

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			72	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo a_0^* : 0,053 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 14 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,152 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,213 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 1,898 [sec]

Spostamento spettrale du^* : 0,099 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero Δ_d , quota zero: 0,123 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota maggiore di zero Δ_d , quota sopraelev: 0,186 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematismo n°: 3

Tipo: Rib. Singolo

Pareti coinvolte: 3,

Quota: 24,72 [m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio ψ (Z): 0,852

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0586 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,0721 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α 0: 0,117

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo a_0^* : 0,092 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 8 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,176 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,246 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 1,347 [sec]

Spostamento spettrale du^* : 0,087 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero Δ_d , quota zero: 0,088 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota maggiore di zero Δ_d , quota sopraelev:

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			73	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

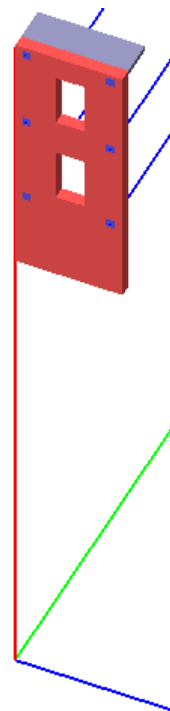
0,189 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

PROGETTO

Rieseguendo il calcolo e considerando la presenza di due vincoli puntuali in corrispondenza di ogni piano in corrispondenza delle catene, risulta che:

- ciascuna catena in sommità è soggetta ad un tiro pari a $N_{Ed} = 20,5 \text{ kN}$;
- ciascuna catena di 4° piano è soggetta ad un tiro pari a $N_{Ed} = 16,2 \text{ kN}$;
- ciascuna catena di 3° piano è soggetta ad un tiro pari a $N_{Ed} = 12,1 \text{ kN}$;



Poiché le catene e le piastre di ritegno al cinematismo di ribaltamento che verranno inserite hanno tutte uguale dimensione, nel seguito verrà verificata la catena e la piastra tipo maggiormente sollecitata.

→ **DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE CATENE**

La resistenza a trazione di una barra $\Phi 27$ è pari a:

$$F_{t,Rd} = f_{yk} \cdot A / \gamma_{M0} = 275 \cdot 572,56 / 1,05 = 149,96 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Considerando $a = b = 300 \text{ mm}$, le dimensioni della piastra di ancoraggio della catena sulle murature del porticato e $t = 400 \text{ mm}$ lo spessore della muratura, la resistenza a punzonamento della muratura nelle zone di ancoraggio è pari a:

$$B_{M,Rd} = f_{v0} \cdot (2 \cdot (b+t) + 2 \cdot (a+t)) \cdot t = 0,022 \cdot (2 \cdot (300+400) + 2 \cdot (300+400)) \cdot 400 = 24,64 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			74	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

La resistenza del muro nei confronti della penetrazione dell'ancoraggio, dovuta ad eccessiva pressione di contatto della piastra è pari a:

$$P_{M,Rd} = \sigma_r \cdot a \cdot b = 0,889 \cdot 300 \cdot 300 = 80,0 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Infine, detto t_p lo spessore della piastra, la sua resistenza a punzonamento è pari a:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d \cdot t_p \cdot f_{tk} / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot \pi \cdot 27 \cdot 15 \cdot 430 / 1,25 = 262,5 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Le catene poste in corrispondenza del vano scale verranno saldate al profilo perimetrale ad L dei solai a mezzo di una piastra avvitata al tavolato stesso. Nell'immagine seguente si riporta il dettaglio di ancoraggio delle catene.

2.10.4.Verifica a ribaltamento parete Sud – UNITA' STRUTTURALE 1

Analogamente a quanto fatto in precedenza, al presente capitolo viene eseguita la verifica a ribaltamento della parete affacciante sulla piazza della Cattedrale e contestualmente viene eseguita la verifica dei tasselli che andranno a collegare il tavolato ligneo alla muratura.

Le verifiche a ribaltamento sono state eseguite con un applicativo specifico del programma Pro Sap, chiamato Pro_Cinem e i risultati vengono riportati nel seguito della presente relazione.

STATO DI FATTO

Cinematismo n°: 1

Tipo: Rib. Multi

Pareti coinvolte: 1, 2, 3, 4,

Quota: 0,00[m]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0223 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,0245 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,017

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo α_0^* : 0,016 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 227 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD per cinematismo a quota zero: 0,084 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV per cinematismo a quota zero: 0,114 [g]

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			75	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 3,153[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,084[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota zero Δ_d , quota zero: 0,145 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota maggiore di zero Δ_d , quota sopraelev: 0,000 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematiso n°: 2

Tipo: Rib. Multi

Pareti coinvolte: 2, 3, 4,

Quota: 4,30[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi(Z)$: 0,190

PGA relativa al cinematiso nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0317 [g]

PGA relativa al cinematiso nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,0937 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,025

accelerazione spettrale di attivazione del cinematiso a_0^* : 0,023 [g]

Massa partecipante al cinematiso M^* : 174 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,044 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,062 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 2,686[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,087[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota zero Δ_d , quota zero: 0,145 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota maggiore di zero Δ_d , quota sopraelev: 0,053 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematiso n°: 3

Tipo: Rib. Multi

Pareti coinvolte: 3, 4,

Quota: 8,90[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi(Z)$: 0,394

PGA relativa al cinematiso nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0430 [g]

PGA relativa al cinematiso nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,0978 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,040

accelerazione spettrale di attivazione del cinematiso a_0^* : 0,035 [g]

Massa partecipante al cinematiso M^* : 116 [kN]

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			76	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,091 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,128 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 2,224[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,091 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota zero $\Delta_{d, \text{quota zero}}$: 0,145 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota maggiore di zero $\Delta_{d, \text{quota sopraelev.}}$: 0,095 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

Cinematiso n°: 4

Tipo: Rib. Singolo

Pareti coinvolte: 4,

Quota: 14,50[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\square(Z)$: 0,642

PGA relativa al cinematiso nel caso di analisi cinematica lineare: 0,1008 [g]

PGA relativa al cinematiso nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,1376 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,163

accelerazione spettrale di attivazione del cinematiso a_0^* : 0,135 [g]

Massa partecipante al cinematiso M^* : 50 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,149 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,209 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 1,183[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,098[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota zero $\Delta_{d, \text{quota zero}}$: 0,077 [m]

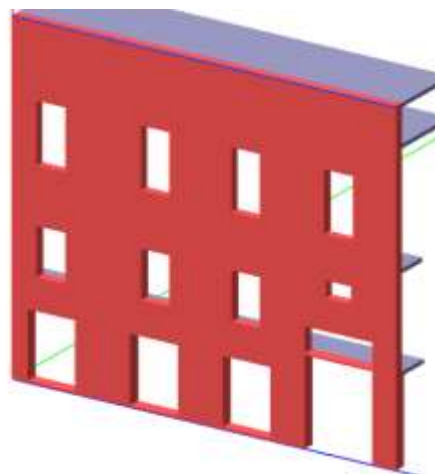
Domanda di spostamento nel caso di cinematiso a quota maggiore di zero $\Delta_{d, \text{quota sopraelev.}}$: 0,111 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data		
			77	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		

PROGETTO

Rieseguendo il calcolo e considerando la presenza di un vincolo diffuso in corrispondenza del fissaggio del tavolato alla muratura (linee blu dell'immagine a lato) risulta che i tasselli dovranno resistere ad una sollecitazione pari 5,9 kN/m; poiché i tasselli sono posti ad interasse pari a 20 cm, la sollecitazione massima su ciascuno di essi è pari a 1,2 kN, dunque inferiore al valore limite di resistenza massima a taglio e trazione consigliato da scheda tecnica, pari a 1,7 kN.



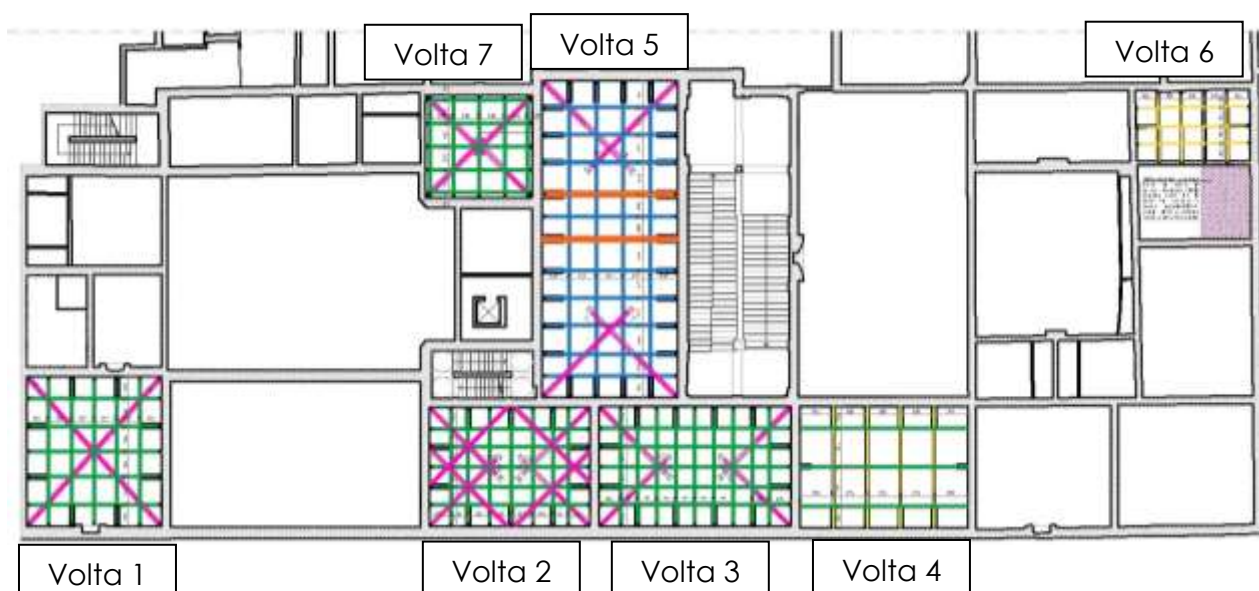
 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			78	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

2.10.5.Consolidamento volte in muratura con lamine in FRP – UNITA' STRUTTURALE 1

Al presente paragrafo viene verificato il rinforzo delle volte in mattoni in foglio realizzato con lamine di tessuto biassiale e quadriassiale in fibra di carbonio.

Per prima cosa sono state modellate le volte in muratura con il programma agli elementi finiti Pro-Sap. Dai modelli si sono ricavate le sollecitazioni massime agenti sulle volte, momenti e sforzo normale in SLU e SLV, presenti in chiave ed alle reni delle sezioni di volta. In funzione di tali sollecitazioni si è eseguita la verifica della sezione di muratura soggetta alle sollecitazione ed infine si è verificata la stessa sezione rinforzata con lamine in FRP.

Nel seguito viene esposto il procedimento per tutte le volte rinforzate il cui schema viene riportato nell'immagine seguente.



Si specifica che viene eseguita la sola verifica delle lamine poste parallelamente agli assi principali delle volte. Le lamine diagonali vengono messe in corrispondenza delle unghie delle volte in quanto punti di concentrazione delle tensioni.

VERIFICA STATICA - SLU

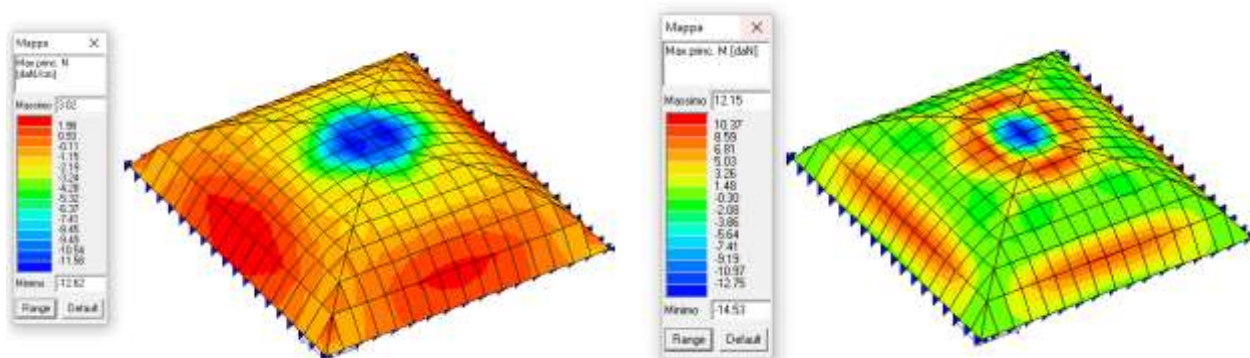
Nei modelli agli elementi finiti i carichi agenti sulle volte del sottotetto sono dati dal peso proprio delle volte in muratura, dallo strato di intonaco presente all'intradosso delle stesse e dallo strato di malta presente al loro estradosso, secondo la seguente analisi dei carichi:

CARICHI PERMANENTI SOLAIO - Volte in muratura Sottotetto	
Peso proprio solaio – volta in muratura	110 daN/m ²
Carico permanente (intonaco intradossale)	15 daN/m ²
Carico permanente (cappa di malta estradossale)	15 daN/m ²

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°	Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001	0				
			Doc. n° CRA14001-RSTR-INT					
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data		
			79	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		

Tali carichi vengono combinati agli SLU ed SLE per le verifiche di seguito riportate.

VOLTA 1



VERIFICA DELLA SEZIONE DI UNA VOLTA

DATI DI INPUT

Larghezza della sezione	b	150	cm
Spessore/altezza della sezione	t	4	cm
Livello di conoscenza della struttura	LC1		
Fattore di confidenza	FC	1,35	-
Resistenza caratteristica a compressione	f_{mk}	2,40	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_m	2,00	-
Valore di progetto della resistenza a compressione della muratura	f_{md}	0,89	MPa
Deformazione ultima di calcolo della muratura	ϵ_{mu}	0,35%	-
Modulo elastico della muratura	E_m	1200	MPa
Modulo elastico tangenziale secante	G	480	MPa
Deformazione della muratura a fine tratto lineare	ϵ_{m0}	0,07%	-
Sforzo normale massimo agente nella sezione di massima eccentricità	N_{Ed}	3,00	kN/m
Sforzo di taglio massimo agente sulla volta in muratura	V_{Ed}	0,00	kN/m
Momento flettente massimo agente nella sezione di massima eccentricità	M_{Ed}	0,15	kNm/m
Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali	f_{vk0}	0,06	MPa
Tensione normale media dei carichi verticali agenti nella sezione di verifica	σ_n	0,05	MPa
Resistenza caratteristica a taglio della muratura	f_{vk}	0,08	MPa
Valore di progetto della resistenza a taglio della muratura	f_{vd}	0,03	MPa
Eccentricità dell'azione assiale	e_{Sd}	5,00	cm
Verifica dell'eccentricità	$e_{Sd} \leq t/2$	NON VERIFICATO	

CARATTERISTICHE E DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI RINFORZO

Condizione di esposizione	INTERNA		
Fattore di conversione ambientale	η_a	0,95	-
Modulo elastico del composito	E_f	230000	MPa

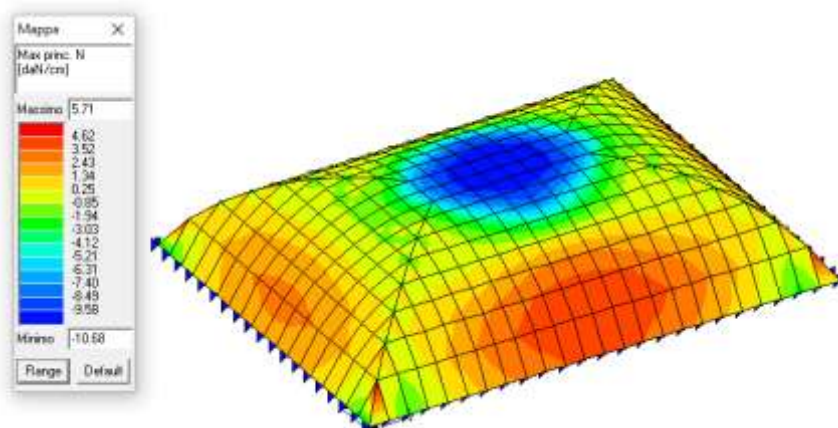
 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			80	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	

Resistenza caratteristica a trazione del composito	f_{fk}	3059	MPa
Deformazione caratteristica a rottura del composito	ϵ_{fk}	2,10%	-
Spessore del sistema di rinforzo	t_f	0,064	mm
Numero degli strati del sistema di rinforzo	n_f	1,0	-
Larghezza del sistema di rinforzo	b_f	200	mm
Lunghezza di ancoraggio	l_b	100	mm
Resistenza caratteristica a compressione dei blocchi di muratura	f_{bk}	20,00	MPa
Valore medio della resistenza a compressione dei blocchi di muratura	f_{bm}	19,75	MPa
Valore medio della resistenza a trazione dei blocchi di muratura	f_{btm}	1,98	MPa
Coefficiente correttivo relativo al tipo di muratura	k_G	0,031	
Valore di progetto dell'energia specifica di frattura	Γ_{fd}	0,143	MPa
Valore ultimo dello scorrimento tra FRP e supporto	s_u	0,40	-
Valore di progetto della massima tensione tangenziale di aderenza	f_{bd}	0,717	MPa
Coefficiente correttivo	γ_{Rd}	1,50	-
Lunghezza ottimale di ancoraggio	l_{ed}	150,00	mm
Coefficiente parziale di sicurezza per il distacco dal supporto	$\gamma_{f,d}$	1,50	-
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità	f_{fdd}	676,91	MPa
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità se $l_b < l_{ed}$	$f_{fdd,rid}$	601,70	MPa
coefficiente correttivo funzione della distanza dall'estremità libera	α	1,00	
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco intermedio	$f_{fdd,2}$	676,91	MPa
Deformazione massima nel sistema di rinforzo all'atto del distacco intermedio	ϵ_{fdd}	0,294%	-
Deformazione massima di progetto attribuibile al rinforzo FRP	ϵ_{fd}	0,294%	-

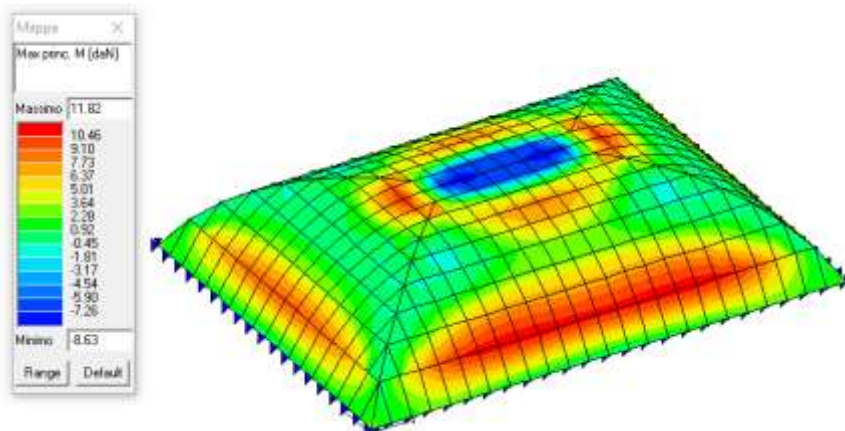
VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DELLA SEZIONE RINFORZATA

Area di materiale composito fibrorinforzato	A_f	12,80	mm ² /m
Momento flettente resistente di calcolo	$M_{Rd}(N_{Ed})$	0,28	kNm/m
Verifica di sicurezza a pressoflessione	$M_{Ed}/M_{Rd} \leq 1$	0,541	-

→ VOLTA 2



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			81	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		



VERIFICA DELLA SEZIONE DI UNA VOLTA

DATI DI INPUT

Larghezza della sezione	b	115	cm
Spessore/altezza della sezione	t	4	cm
Livello di conoscenza della struttura	LC1		
Fattore di confidenza	FC	1,35	-
Resistenza caratteristica a compressione	f_{mk}	2,40	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_m	2,00	-
Valore di progetto della resistenza a compressione della muratura	f_{md}	0,89	MPa
Deformazione ultima di calcolo della muratura	ϵ_{mu}	0,35%	-
Modulo elastico della muratura	E_m	1200	MPa
Modulo elastico tangenziale secante	G	480	MPa
Deformazione della muratura a fine tratto lineare	ϵ_{m0}	0,07%	-
Sforzo normale massimo agente nella sezione di massima eccentricità	N_{Ed}	4,25	kN/m
Sforzo di taglio massimo agente sulla volta in muratura	V_{Ed}	0,00	kN/m
Momento flettente massimo agente nella sezione di massima eccentricità	M_{Ed}	0,11	kNm/m
Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali	f_{vk0}	0,06	MPa
Tensione normale media dei carichi verticali agenti nella sezione di verifica	σ_n	0,09	MPa
Resistenza caratteristica a taglio della muratura	f_{vk}	0,10	MPa
Valore di progetto della resistenza a taglio della muratura	f_{vd}	0,04	MPa
Eccentricità dell'azione assiale	e_{sd}	2,68	cm
Verifica dell'eccentricità	$e_{sd} \leq t/2$	NON VERIFICATO	

CARATTERISTICHE E DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI RINFORZO

Condizione di esposizione	INTERNA		
Fattore di conversione ambientale	η_a	0,95	-
Modulo elastico del composito	E_f	230000	MPa
Resistenza caratteristica a trazione del composito	f_{fk}	3059	MPa
Deformazione caratteristica a rottura del composito	ϵ_{fk}	2,10%	-

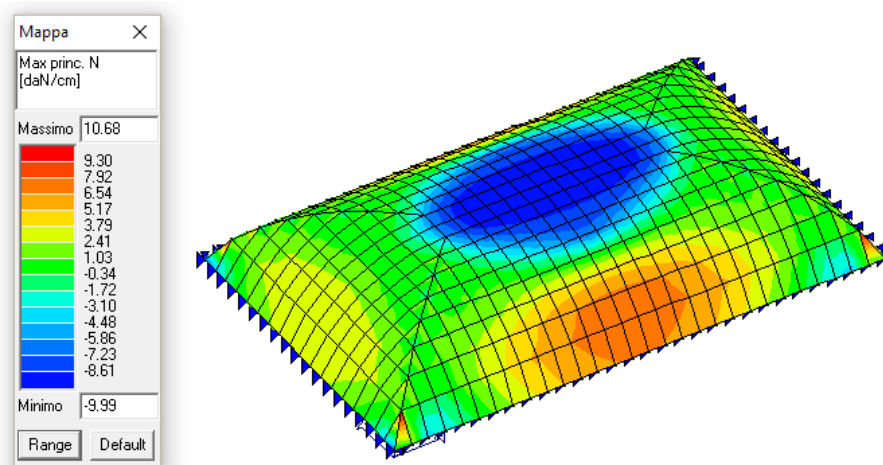
 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			82	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Spessore del sistema di rinforzo	t_f	0,064	mm
Numero degli strati del sistema di rinforzo	n_f	1,0	-
Larghezza del sistema di rinforzo	b_f	200	mm
Lunghezza di ancoraggio	l_b	100	mm
Resistenza caratteristica a compressione dei blocchi di muratura	f_{bk}	20,00	MPa
Valore medio della resistenza a compressione dei blocchi di muratura	f_{bm}	19,75	MPa
Valore medio della resistenza a trazione dei blocchi di muratura	f_{btm}	1,98	MPa
Coefficiente correttivo relativo al tipo di muratura	k_G	0,031	
Valore di progetto dell'energia specifica di frattura	Γ_{fd}	0,143	MPa
Valore ultimo dello scorrimento tra FRP e supporto	s_u	0,40	-
Valore di progetto della massima tensione tangenziale di aderenza	f_{bd}	0,717	MPa
Coefficiente correttivo	γ_{Rd}	1,50	-
Lunghezza ottimale di ancoraggio	l_{ed}	150,00	mm
Coefficiente parziale di sicurezza per il distacco dal supporto	$\gamma_{f,d}$	1,50	-
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità	f_{fdd}	676,91	MPa
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità se $l_b < l_{ed}$	$f_{fdd,rid}$	601,70	MPa
coefficiente correttivo funzione della distanza dall'estremità libera	α	1,00	
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco intermedio	$f_{fdd,2}$	676,91	MPa
Deformazione massima nel sistema di rinforzo all'atto del distacco intermedio	ϵ_{fdd}	0,294%	-
Deformazione massima di progetto attribuibile al rinforzo FRP	ϵ_{fd}	0,294%	-

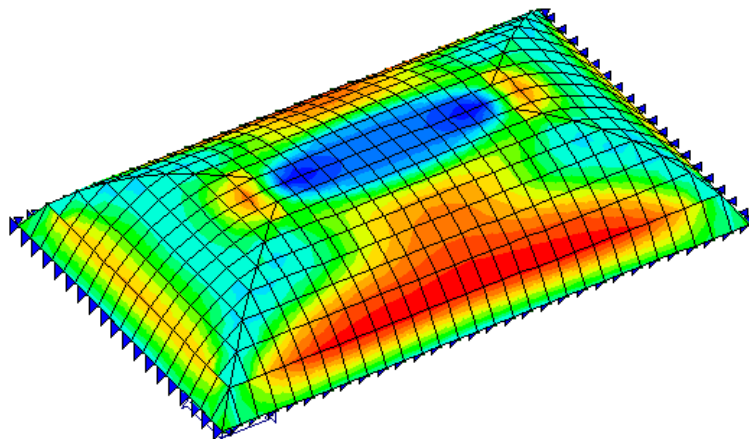
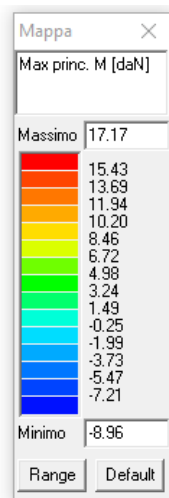
VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DELLA SEZIONE RINFORZATA

Area di materiale composito fibrorinforzato	A_f	12,80	mm ² /m
Momento flettente resistente di calcolo	$M_{Rd}(N_{Ed})$	0,28	kNm/m
Verifica di sicurezza a pressoflessione	$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$	0,411	-

→ VOLTA 3



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°	Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001	0				
			Doc. n°	CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data		
			83	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		



VERIFICA DELLA SEZIONE DI UNA VOLTA

DATI DI INPUT

Larghezza della sezione
 Spessore/altezza della sezione
 Livello di conoscenza della struttura
 Fattore di confidenza
 Resistenza caratteristica a compressione
 Coefficiente parziale di sicurezza
 Valore di progetto della resistenza a compressione della muratura
 Deformazione ultima di calcolo della muratura
 Modulo elastico della muratura
 Modulo elastico tangenziale secante
 Deformazione della muratura a fine tratto lineare
 Sforzo normale massimo agente nella sezione di massima eccentricità
 Sforzo di taglio massimo agente sulla volta in muratura
 Momento flettente massimo agente nella sezione di massima eccentricità

b	109	cm
t	4	cm
LC1		
FC	1,35	-
f_{mk}	2,40	MPa
γ_m	2,00	-
f_{md}	0,89	MPa
ϵ_{mu}	0,35%	-
E_m	1200	MPa
G	480	MPa
ϵ_{m0}	0,07%	-
N_{Ed}	7,47	kN/m
V_{Ed}	0,00	kN/m
M_{Ed}	0,17	kNm/m

Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali
 Tensione normale media dei carichi verticali agenti nella sezione di verifica
 Resistenza caratteristica a taglio della muratura
 Valore di progetto della resistenza a taglio della muratura

f_{vk0}	0,06	MPa
σ_n	0,17	MPa
f_{vk}	0,13	MPa
f_{vd}	0,05	MPa

Eccentricità dell'azione assiale
 Verifica dell'eccentricità

e_{Sd}	2,28	cm
$e_{Sd} \leq t/2$	NON VERIFICATO	

CARATTERISTICHE E DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI RINFORZO

Condizione di esposizione
 Fattore di conversione ambientale
 Modulo elastico del composito
 Resistenza caratteristica a trazione del composito
 Deformazione caratteristica a rottura del composito

INTERNA		
η_a	0,95	-
E_f	230000	MPa
f_{fk}	3059	MPa
ϵ_{fk}	2,10%	-

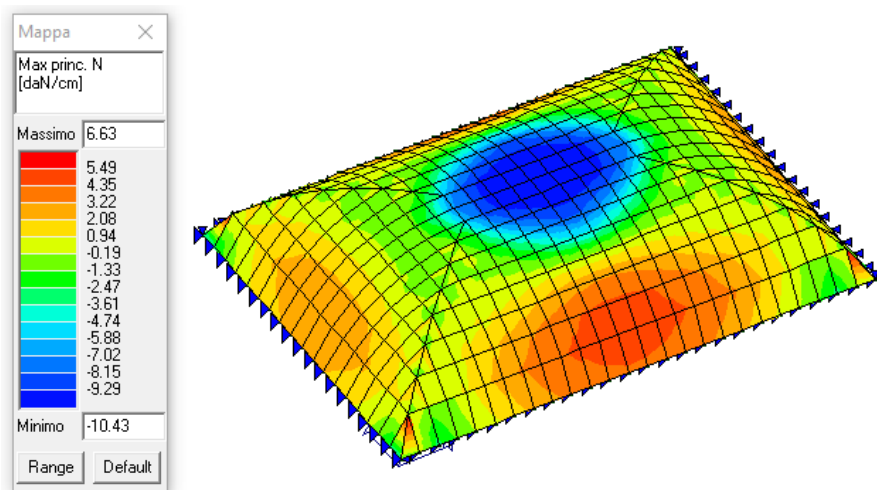
 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			84	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Spessore del sistema di rinforzo	t_f	0,064	mm
Numero degli strati del sistema di rinforzo	n_f	1,0	-
Larghezza del sistema di rinforzo	b_f	200	mm
Lunghezza di ancoraggio	l_b	100	mm
Resistenza caratteristica a compressione dei blocchi di muratura	f_{bk}	20,00	MPa
Valore medio della resistenza a compressione dei blocchi di muratura	f_{bm}	19,75	MPa
Valore medio della resistenza a trazione dei blocchi di muratura	f_{btm}	1,98	MPa
Coefficiente correttivo relativo al tipo di muratura	k_G	0,031	
Valore di progetto dell'energia specifica di frattura	Γ_{fd}	0,143	MPa
Valore ultimo dello scorrimento tra FRP e supporto	s_u	0,40	-
Valore di progetto della massima tensione tangenziale di aderenza	f_{bd}	0,717	MPa
Coefficiente correttivo	γ_{Rd}	1,50	-
Lunghezza ottimale di ancoraggio	l_{ed}	150,00	mm
Coefficiente parziale di sicurezza per il distacco dal supporto	$\gamma_{f,d}$	1,50	-
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità	f_{fdd}	676,91	MPa
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità se $l_b < l_{ed}$	$f_{fdd,rid}$	601,70	MPa
coefficiente correttivo funzione della distanza dall'estremità libera	α	1,00	
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco intermedio	$f_{fdd,2}$	676,91	MPa
Deformazione massima nel sistema di rinforzo all'atto del distacco intermedio	ϵ_{fdd}	0,294%	-
Deformazione massima di progetto attribuibile al rinforzo FRP	ϵ_{fd}	0,294%	-

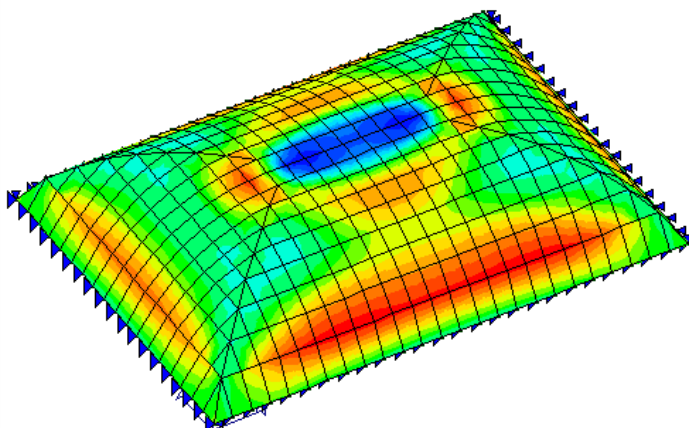
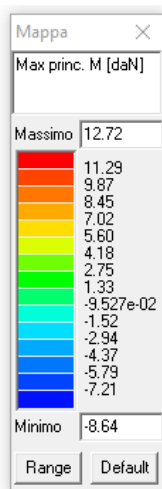
VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DELLA SEZIONE RINFORZATA

Area di materiale composito fibrorinforzato	A_f	12,80	mm ² /m
Momento flettente resistente di calcolo	$M_{Rd}(N_{Ed})$	0,28	kNm/m
Verifica di sicurezza a pressoflessione	$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$	0,613	-

→ VOLTA 4



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			85	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		



VERIFICA DELLA SEZIONE DI UNA VOLTA

DATI DI INPUT

Larghezza della sezione	b	195	cm
Spessore/altezza della sezione	t	4	cm
Livello di conoscenza della struttura	LC1		
Fattore di confidenza	FC	1,35	-
Resistenza caratteristica a compressione	f_{mk}	2,40	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_m	2,00	-
Valore di progetto della resistenza a compressione della muratura	f_{md}	0,89	MPa
Deformazione ultima di calcolo della muratura	ϵ_{mu}	0,35%	-
Modulo elastico della muratura	E_m	1200	MPa
Modulo elastico tangenziale secante	G	480	MPa
Deformazione della muratura a fine tratto lineare	ϵ_{m0}	0,07%	-
Sforzo normale massimo agente nella sezione di massima eccentricità	N_{Ed}	4,80	kN/m
Sforzo di taglio massimo agente sulla volta in muratura	V_{Ed}	0,00	kN/m
Momento flettente massimo agente nella sezione di massima eccentricità	M_{Ed}	0,12	kNm/m
Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali	f_{vk0}	0,06	MPa
Tensione normale media dei carichi verticali agenti nella sezione di verifica	σ_n	0,06	MPa
Resistenza caratteristica a taglio della muratura	f_{vk}	0,08	MPa
Valore di progetto della resistenza a taglio della muratura	f_{vd}	0,03	MPa
Eccentricità dell'azione assiale	e_{Sd}	2,50	cm
Verifica dell'eccentricità	$e_{Sd} \leq t/2$	NON VERIFICATO	

CARATTERISTICHE E DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI RINFORZO

Condizione di esposizione	INTERNA		
Fattore di conversione ambientale	η_a	0,95	-
Modulo elastico del composito	E_f	230000	MPa
Resistenza caratteristica a trazione del composito	f_{fk}	3059	MPa
Deformazione caratteristica a rottura del composito	ϵ_{fk}	2,10%	-
Spessore del sistema di rinforzo	t_f	0,064	mm

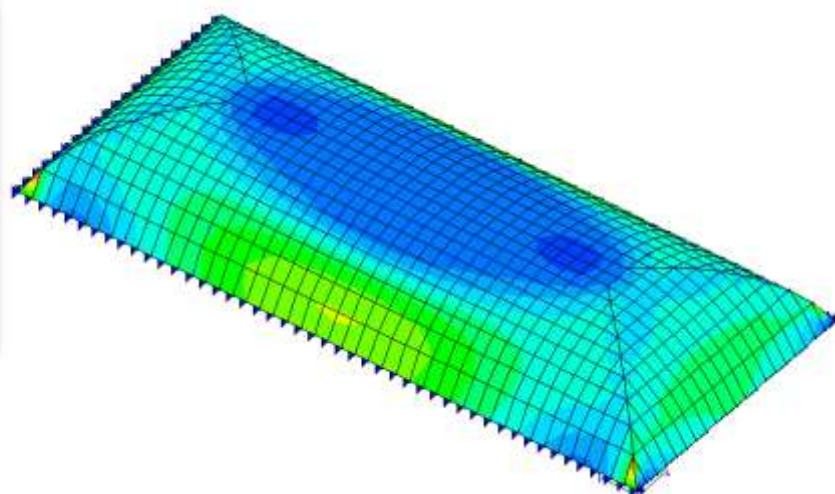
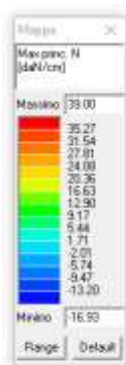
 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data			
			86	115	A.C. & O.V.	DIC.2017			

Numero degli strati del sistema di rinforzo	n_f	1,0	-
Larghezza del sistema di rinforzo	b_f	100	mm
Lunghezza di ancoraggio	l_b	100	mm
Resistenza caratteristica a compressione dei blocchi di muratura	f_{bk}	20,00	MPa
Valore medio della resistenza a compressione dei blocchi di muratura	f_{bm}	19,75	MPa
Valore medio della resistenza a trazione dei blocchi di muratura	f_{btm}	1,98	MPa
Coefficiente correttivo relativo al tipo di muratura	k_G	0,031	
Valore di progetto dell'energia specifica di frattura	Γ_{fd}	0,143	MPa
Valore ultimo dello scorrimento tra FRP e supporto	s_u	0,40	-
Valore di progetto della massima tensione tangenziale di aderenza	f_{bd}	0,717	MPa
Coefficiente correttivo	γ_{Rd}	1,50	-
Lunghezza ottimale di ancoraggio	l_{ed}	150,00	mm
Coefficiente parziale di sicurezza per il distacco dal supporto	$\gamma_{f,d}$	1,50	-
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità	f_{fdd}	676,91	MPa
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità se $l_b < l_{ed}$	$f_{fdd,rid}$	601,70	MPa
coefficiente correttivo funzione della distanza dall'estremità libera	α	1,00	
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco intermedio	$f_{fdd,2}$	676,91	MPa
Deformazione massima nel sistema di rinforzo all'atto del distacco intermedio	ϵ_{fdd}	0,294%	-
Deformazione massima di progetto attribuibile al rinforzo FRP	ϵ_{fd}	0,294%	-

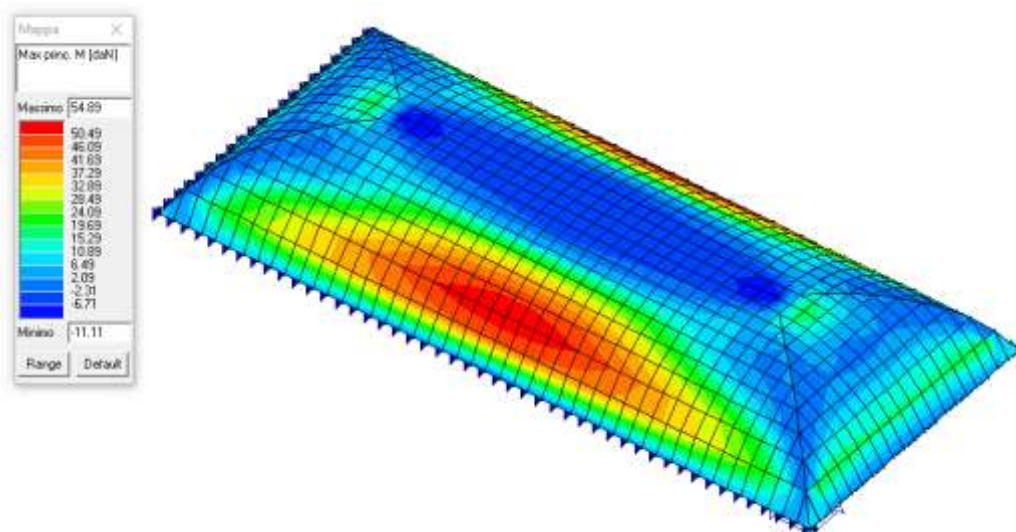
VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DELLA SEZIONE RINFORZATA

Area di materiale composito fibrorinforzato	A_f	6,40	mm ² /m
Momento flettente resistente di calcolo	$M_{Rd}(N_{Ed})$	0,14	kNm/m
Verifica di sicurezza a pressoflessione	$M_{Ed}/M_{Rd} \leq 1$	0,866	-

→ VOLTA 5



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°						
			CRA14001-RSTR-INT						
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			87	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		



VERIFICA DELLA SEZIONE DI UNA VOLTA

DATI DI INPUT

Larghezza della sezione	b	158	cm
Spessore/altezza della sezione	t	4	cm
Livello di conoscenza della struttura	LC1		
Fattore di confidenza	FC	1,35	-
Resistenza caratteristica a compressione	f_{mk}	2,40	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_m	2,00	-
Valore di progetto della resistenza a compressione della muratura	f_{md}	0,89	MPa
Deformazione ultima di calcolo della muratura	ϵ_{mu}	0,35%	-
Modulo elastico della muratura	E_m	1200	MPa
Modulo elastico tangenziale secante	G	480	MPa
Deformazione della muratura a fine tratto lineare	ϵ_{m0}	0,07%	-
Sforzo normale massimo agente nella sezione di massima eccentricità	N_{Ed}	16,90	kN/m
Sforzo di taglio massimo agente sulla volta in muratura	V_{Ed}	0,00	kN/m
Momento flettente massimo agente nella sezione di massima eccentricità	M_{Ed}	0,55	kNm/m
Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali	f_{vk0}	0,06	MPa
Tensione normale media dei carichi verticali agenti nella sezione di verifica	σ_n	0,18	MPa
Resistenza caratteristica a taglio della muratura	f_{vk}	0,13	MPa
Valore di progetto della resistenza a taglio della muratura	f_{vd}	0,05	MPa
Eccentricità dell'azione assiale	e_{Sd}	3,25	cm
Verifica dell'eccentricità	$e_{Sd} \leq t/2$	NON VERIFICATO	

CARATTERISTICHE E DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI RINFORZO

Condizione di esposizione	INTERNA		
Fattore di conversione ambientale	η_a	0,95	-
Modulo elastico del composito	E_f	230000	MPa
Resistenza caratteristica a trazione del composito	f_{fk}	3059	MPa

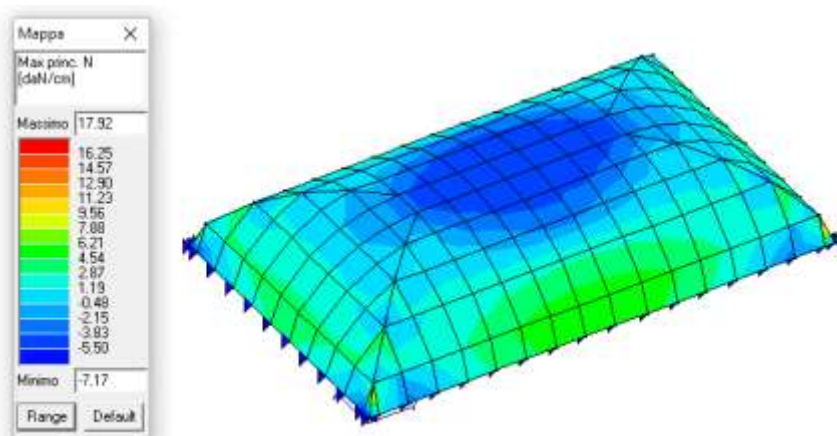
 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			88	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Deformazione caratteristica a rottura del composito	ϵ_{fk}	2,10%	-
Spessore del sistema di rinforzo	t_f	0,064	mm
Numero degli strati del sistema di rinforzo	n_f	2,0	-
Larghezza del sistema di rinforzo	b_f	200	mm
Lunghezza di ancoraggio	l_b	100	mm
Resistenza caratteristica a compressione dei blocchi di muratura	f_{bk}	20,00	MPa
Valore medio della resistenza a compressione dei blocchi di muratura	f_{bm}	19,75	MPa
Valore medio della resistenza a trazione dei blocchi di muratura	f_{btm}	1,98	MPa
Coefficiente correttivo relativo al tipo di muratura	k_G	0,031	
Valore di progetto dell'energia specifica di frattura	Γ_{fd}	0,143	MPa
Valore ultimo dello scorrimento tra FRP e supporto	s_u	0,40	-
Valore di progetto della massima tensione tangenziale di aderenza	f_{bd}	0,717	MPa
Coefficiente correttivo	γ_{Rd}	1,50	-
Lunghezza ottimale di ancoraggio	l_{ed}	150,00	mm
Coefficiente parziale di sicurezza per il distacco dal supporto	$\gamma_{f,d}$	1,50	-
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità	f_{fdd}	478,65	MPa
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità se $l_b < l_{ed}$	$f_{fdd,rid}$	425,46	MPa
coefficiente correttivo funzione della distanza dall'estremità libera	α	1,00	
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco intermedio	$f_{fdd,2}$	478,65	MPa
Deformazione massima nel sistema di rinforzo all'atto del distacco intermedio	ϵ_{fdd}	0,208%	-
Deformazione massima di progetto attribuibile al rinforzo FRP	ϵ_{fd}	0,208%	-

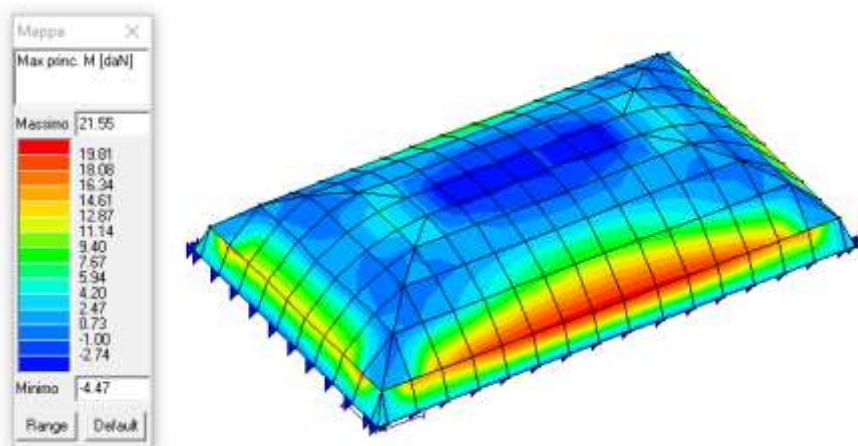
VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DELLA SEZIONE RINFORZATA

Area di materiale composito fibrorinforzato	A_f	25,60	mm ² /m
Momento flettente resistente di calcolo	$M_{Rd}(N_{Ed})$	0,59	kNm/m
Verifica di sicurezza a pressoflessione	$M_{Ed}/M_{Rd} \leq 1$	0,935	-

→ VOLTA 6



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			89	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		



VERIFICA DELLA SEZIONE DI UNA VOLTA

DATI DI INPUT

Larghezza della sezione	b	140	cm
Spessore/altezza della sezione	t	4	cm
Livello di conoscenza della struttura	LC1		
Fattore di confidenza	FC	1,35	-
Resistenza caratteristica a compressione	f_{mk}	2,40	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_m	2,00	-
Valore di progetto della resistenza a compressione della muratura	f_{md}	0,89	MPa
Deformazione ultima di calcolo della muratura	ϵ_{mu}	0,35%	-
Modulo elastico della muratura	E_m	1200	MPa
Modulo elastico tangenziale secante	G	480	MPa
Deformazione della muratura a fine tratto lineare	ϵ_{m0}	0,07%	-
Sforzo normale massimo agente nella sezione di massima eccentricità	N_{Ed}	5,70	kN/m
Sforzo di taglio massimo agente sulla volta in muratura	V_{Ed}	0,00	kN/m
Momento flettente massimo agente nella sezione di massima eccentricità	M_{Ed}	0,21	kNm/m
Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali	f_{vk0}	0,06	MPa
Tensione normale media dei carichi verticali agenti nella sezione di verifica	σ_n	0,10	MPa
Resistenza caratteristica a taglio della muratura	f_{vk}	0,10	MPa
Valore di progetto della resistenza a taglio della muratura	f_{vd}	0,04	MPa
Eccentricità dell'azione assiale	e_{Sd}	3,68	cm
Verifica dell'eccentricità	$e_{Sd} \leq t/2$	NON VERIFICATO	

CARATTERISTICHE E DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI RINFORZO

Condizione di esposizione	INTERNA		
Fattore di conversione ambientale	η_a	0,95	-
Modulo elastico del composito	E_f	230000	MPa
Resistenza caratteristica a trazione del composito	f_{fk}	3059	MPa
Deformazione caratteristica a rottura del composito	ϵ_{fk}	2,10%	-
Spessore del sistema di rinforzo	t_f	0,064	mm
Numero degli strati del sistema di rinforzo	n_f	1,0	-

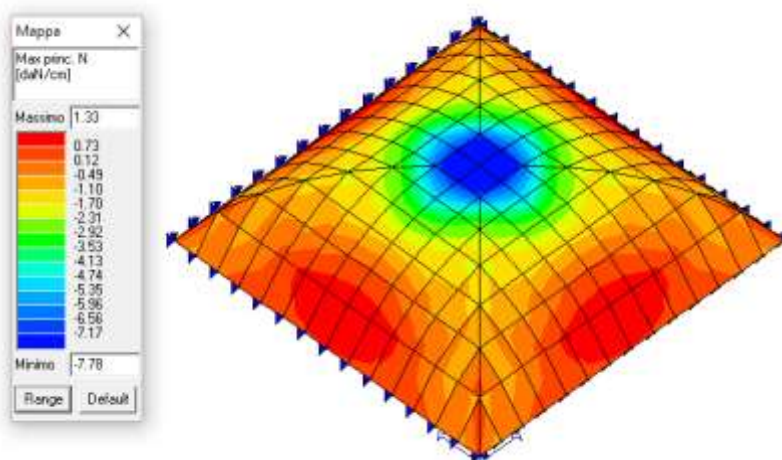
 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			90	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Larghezza del sistema di rinforzo	b_f	200	mm
Lunghezza di ancoraggio	l_b	100	mm
Resistenza caratteristica a compressione dei blocchi di muratura	f_{bk}	20,00	MPa
Valore medio della resistenza a compressione dei blocchi di muratura	f_{bm}	19,75	MPa
Valore medio della resistenza a trazione dei blocchi di muratura	f_{btm}	1,98	MPa
Coefficiente correttivo relativo al tipo di muratura	k_G	0,031	
Valore di progetto dell'energia specifica di frattura	Γ_{fd}	0,143	MPa
Valore ultimo dello scorrimento tra FRP e supporto	s_u	0,40	-
Valore di progetto della massima tensione tangenziale di aderenza	f_{bd}	0,717	MPa
Coefficiente correttivo	γ_{Rd}	1,50	-
Lunghezza ottimale di ancoraggio	l_{ed}	150,00	mm
Coefficiente parziale di sicurezza per il distacco dal supporto	$\gamma_{f,d}$	1,50	-
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità	f_{fdd}	676,91	MPa
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità se $l_b < l_{ed}$	$f_{fdd,rid}$	601,70	MPa
coefficiente correttivo funzione della distanza dall'estremità libera	α	1,00	
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco intermedio	$f_{fdd,2}$	676,91	MPa
Deformazione massima nel sistema di rinforzo all'atto del distacco intermedio	ϵ_{fdd}	0,294%	-
Deformazione massima di progetto attribuibile al rinforzo FRP	ϵ_{fd}	0,294%	-

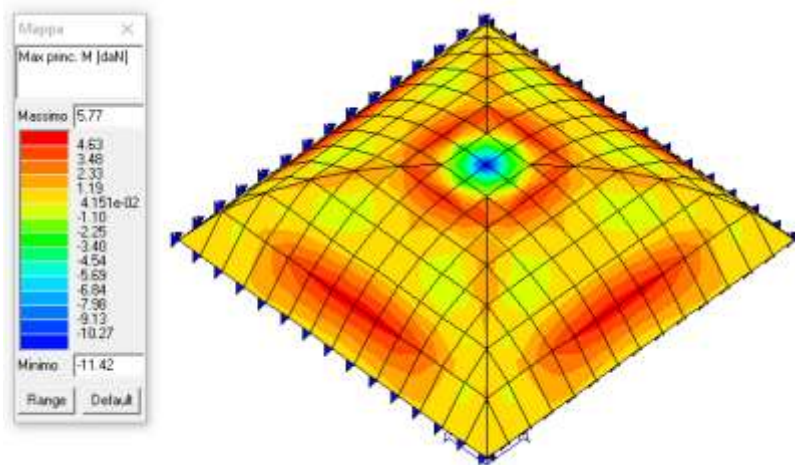
VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DELLA SEZIONE RINFORZATA

Area di materiale composito fibrorinforzato	A_f	12,80	mm ² /m
Momento flettente resistente di calcolo	$M_{Rd}(N_{Ed})$	0,28	kNm/m
Verifica di sicurezza a pressoflessione	$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$	0,757	-

→ VOLTA 7



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°	Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001	0				
			Doc. n°	CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data		
			91	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		



VERIFICA DELLA SEZIONE DI UNA VOLTA

DATI DI INPUT

Larghezza della sezione	b	160	cm
Spessore/altezza della sezione	t	4	cm
Livello di conoscenza della struttura	LC1		
Fattore di confidenza	FC	1,35	-
Resistenza caratteristica a compressione	f_{mk}	2,40	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_m	2,00	-
Valore di progetto della resistenza a compressione della muratura	f_{md}	0,89	MPa
Deformazione ultima di calcolo della muratura	ϵ_{mu}	0,35%	-
Modulo elastico della muratura	E_m	1200	MPa
Modulo elastico tangenziale secante	G	480	MPa
Deformazione della muratura a fine tratto lineare	ϵ_{m0}	0,07%	-
Sforzo normale massimo agente nella sezione di massima eccentricità	N_{Ed}	1,30	kN/m
Sforzo di taglio massimo agente sulla volta in muratura	V_{Ed}	0,00	kN/m
Momento flettente massimo agente nella sezione di massima eccentricità	M_{Ed}	0,12	kNm/m
Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali	f_{vk0}	0,06	MPa
Tensione normale media dei carichi verticali agenti nella sezione di verifica	σ_n	0,02	MPa
Resistenza caratteristica a taglio della muratura	f_{vk}	0,07	MPa
Valore di progetto della resistenza a taglio della muratura	f_{vd}	0,03	MPa
Eccentricità dell'azione assiale	e_{sd}	9,23	cm
Verifica dell'eccentricità	$e_{sd} \leq t/2$	NON VERIFICATO	

CARATTERISTICHE E DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI RINFORZO

Condizione di esposizione	INTERNA		
Fattore di conversione ambientale	η_a	0,95	-
Modulo elastico del composito	E_f	230000	MPa
Resistenza caratteristica a trazione del composito	f_{fk}	3059	MPa
Deformazione caratteristica a rottura del composito	ϵ_{fk}	2,10%	-

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			92	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Spessore del sistema di rinforzo	t_f	0,064	mm
Numero degli strati del sistema di rinforzo	n_f	1,0	-
Larghezza del sistema di rinforzo	b_f	200	mm
Lunghezza di ancoraggio	l_b	100	mm
Resistenza caratteristica a compressione dei blocchi di muratura	f_{bk}	20,00	MPa
Valore medio della resistenza a compressione dei blocchi di muratura	f_{bm}	19,75	MPa
Valore medio della resistenza a trazione dei blocchi di muratura	f_{btm}	1,98	MPa
Coefficiente correttivo relativo al tipo di muratura	k_G	0,031	
Valore di progetto dell'energia specifica di frattura	Γ_{fd}	0,143	MPa
Valore ultimo dello scorrimento tra FRP e supporto	s_u	0,40	-
Valore di progetto della massima tensione tangenziale di aderenza	f_{bd}	0,717	MPa
Coefficiente correttivo	γ_{Rd}	1,50	-
Lunghezza ottimale di ancoraggio	l_{ed}	150,00	mm
Coefficiente parziale di sicurezza per il distacco dal supporto	$\gamma_{f,d}$	1,50	-
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità	f_{fdd}	676,91	MPa
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità se $l_b < l_{ed}$	$f_{fdd,rid}$	601,70	MPa
coefficiente correttivo funzione della distanza dall'estremità libera	α	1,00	
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco intermedio	$f_{fdd,2}$	676,91	MPa
Deformazione massima nel sistema di rinforzo all'atto del distacco intermedio	ϵ_{fdd}	0,294%	-
Deformazione massima di progetto attribuibile al rinforzo FRP	ϵ_{fd}	0,294%	-

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DELLA SEZIONE RINFORZATA

Area di materiale composito fibrorinforzato	A_f	12,80	mm ² /m
Momento flettente resistente di calcolo	$M_{Rd}(N_{Ed})$	0,28	kNm/m
Verifica di sicurezza a pressoflessione	$M_{Ed}/M_{Rd} \leq 1$	0,433	-

VERIFICA SISMICA – SLV

Di seguito verrà valutato il comportamento della VOLTA 5, ritenuta maggiormente rappresentativa in quanto è la volta di maggior dimensioni e che ha manifestato il maggior stato di danneggiamento, soggetto alla forza sismica orizzontale valutata secondo le indicazioni del §7.2.3 delle NTC '08, in quanto le volte in muratura presenti nel sottotetto dell'unità strutturale 1 possono essere considerati come elementi strutturali "secondari", come definito dalla normativa stessa.

In particolare, la forza orizzontale agente sulla volta, utile a valutare gli effetti dell'azione sismica sulla volta stessa, viene calcolata secondo la seguente formulazione:

$$F_{\alpha} = (S_{\alpha} \cdot W_{\alpha}) / q_{\alpha} = 0,476 \cdot 263 / 1 = 125 \text{ kN}$$

Dove:

W_{α} è il peso dell'elemento = 263 kN

q_{α} è il fattore di struttura per l'elemento, a favore di sicurezza = 1,0

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			93	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

S_a è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento strutturale subisce durante il sisma data dall'espressione:

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \left[\frac{3 \cdot \left(1 + \frac{Z}{H}\right)}{1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2} - 0,5 \right] = 0,156 \cdot 1,46 \cdot \left[\frac{3 \cdot \left(1 + \frac{16}{22}\right)}{1 + \left(1 - \frac{0,51}{0,51}\right)^2} - 0,5 \right] = 0,476 > \alpha \cdot S = 0,156 \cdot 1,46 = 0,23$$

In cui: α è il rapporto tra l'accelerazione massima del terreno a_g su sottosuolo tipo A da considerare nello stato limite in esame e l'accelerazione di gravità $g = 0,156$

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche = 1,46

T_a è il periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento strutturale secondario, che a favore di sicurezza viene assunto uguale a T_1

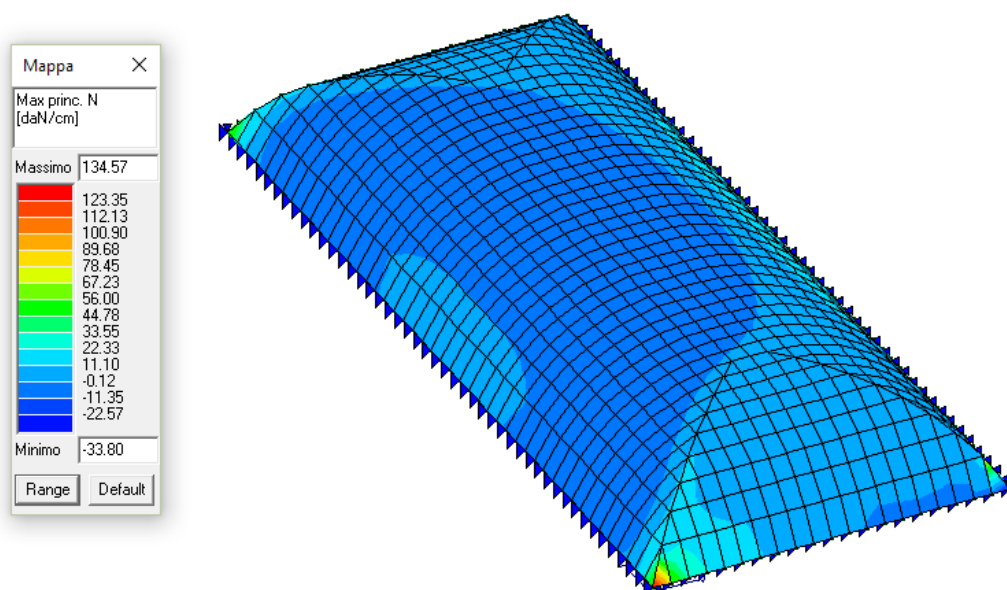
T_1 è il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione = $C_1 \cdot H^{3/4} = 0,05 \cdot 22^{3/4} = 0,51$ s

Z è la quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione = 16,00 m

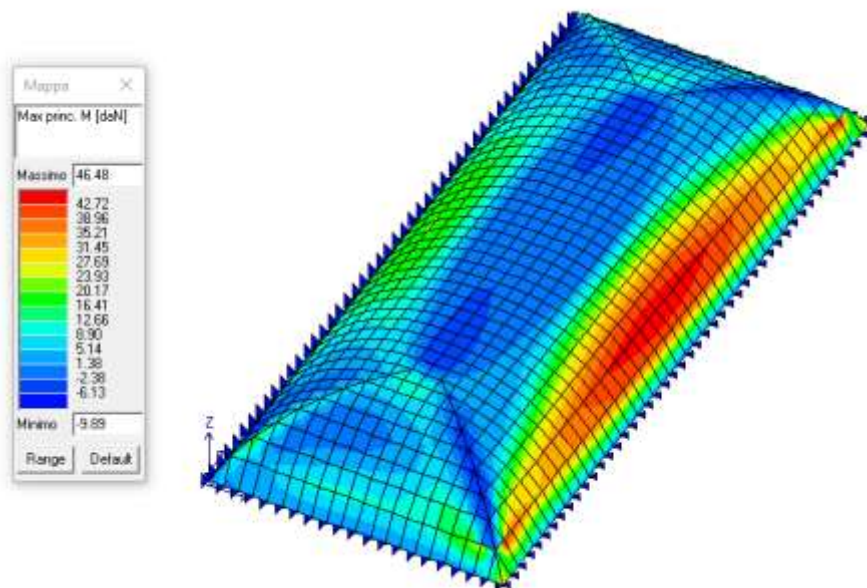
H è l'altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione = 22,00 m

La forza F_a così calcolata, è stata applicata al modello agli elementi finiti, in direzione X ed in direzione Y, e da questo, analogamente a quanto fatto per le valutazioni statiche, si sono ricavate le sollecitazioni massime con le quali viene poi eseguita la verifica della sezione composta muratura – FRP.

DIREZIONE SISMA X



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			94	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	



VERIFICA DELLA SEZIONE DI UNA VOLTA

DATI DI INPUT

Larghezza della sezione	b	158	cm
Spessore/altezza della sezione	t	4	cm
Livello di conoscenza della struttura	LC1		
Fattore di confidenza	FC	1,35	-
Resistenza caratteristica a compressione	f_{mk}	2,40	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_m	2,00	-
Valore di progetto della resistenza a compressione della muratura	f_{md}	0,89	MPa
Deformazione ultima di calcolo della muratura	ϵ_{mu}	0,35%	-
Modulo elastico della muratura	E_m	1200	MPa
Modulo elastico tangenziale secante	G	480	MPa
Deformazione della muratura a fine tratto lineare	ϵ_{m0}	0,07%	-
Sforzo normale massimo agente nella sezione di massima eccentricità	N_{Ed}	11,00	kN/m
Sforzo di taglio massimo agente sulla volta in muratura	V_{Ed}	0,00	kN/m
Momento flettente massimo agente nella sezione di massima eccentricità	M_{Ed}	0,46	kNm/m
Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali	f_{vk0}	0,06	MPa
Tensione normale media dei carichi verticali agenti nella sezione di verifica	σ_n	0,12	MPa
Resistenza caratteristica a taglio della muratura	f_{vk}	0,11	MPa
Valore di progetto della resistenza a taglio della muratura	f_{vd}	0,04	MPa
Eccentricità dell'azione assiale	e_{sd}	4,18	cm
Verifica dell'eccentricità	$e_{sd} \leq t/2$	NON VERIFICATO	

CARATTERISTICHE E DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI RINFORZO

Condizione di esposizione	INTERNA
---------------------------	---------

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data		
			95	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		

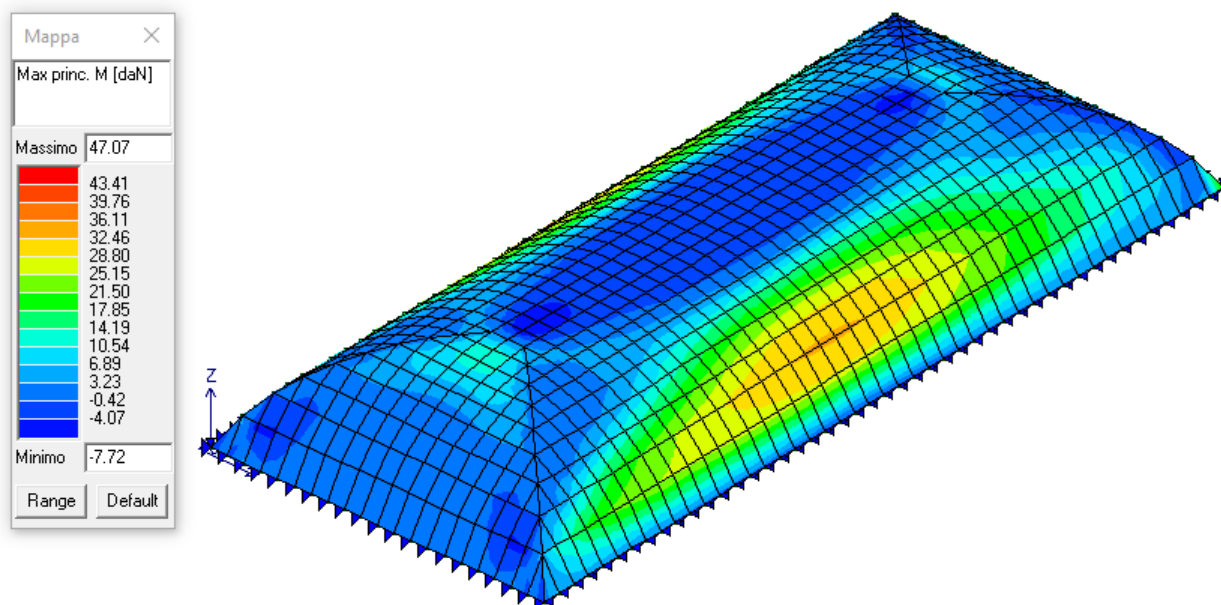
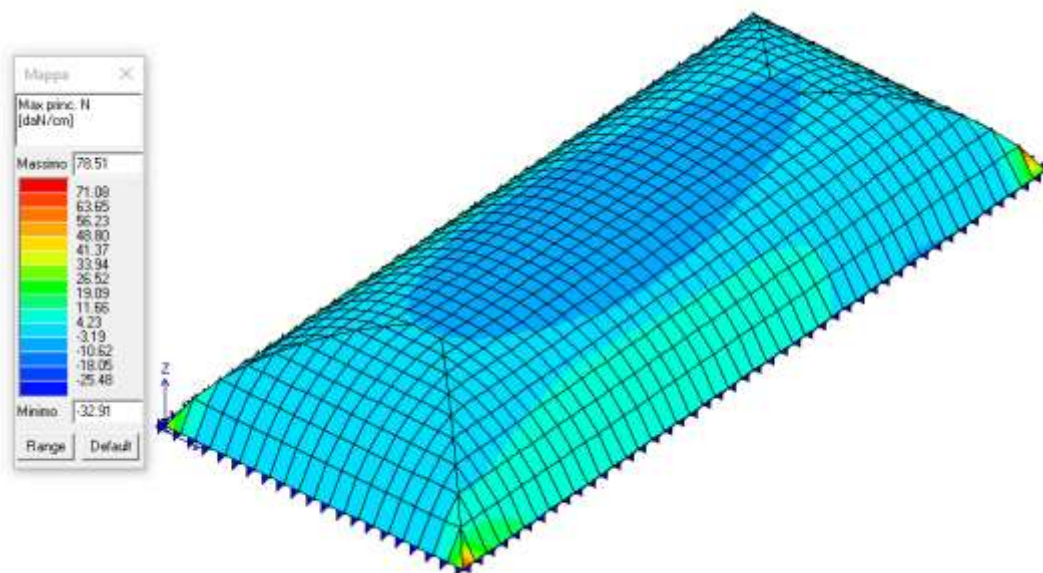
Fattore di conversione ambientale	η_a	0,95	-
Modulo elastico del composito	E_f	230000	MPa
Resistenza caratteristica a trazione del composito	f_{fk}	3059	MPa
Deformazione caratteristica a rottura del composito	ε_{fk}	2,10%	-
Spessore del sistema di rinforzo	t_f	0,064	mm
Numero degli strati del sistema di rinforzo	n_f	2,0	-
Larghezza del sistema di rinforzo	b_f	200	mm
Lunghezza di ancoraggio	l_b	100	mm
Resistenza caratteristica a compressione dei blocchi di muratura	f_{bk}	20,00	MPa
Valore medio della resistenza a compressione dei blocchi di muratura	f_{bm}	19,75	MPa
Valore medio della resistenza a trazione dei blocchi di muratura	f_{btm}	1,98	MPa
Coefficiente correttivo relativo al tipo di muratura	k_G	0,031	
Valore di progetto dell'energia specifica di frattura	Γ_{fd}	0,143	MPa
Valore ultimo dello scorrimento tra FRP e supporto	s_u	0,40	-
Valore di progetto della massima tensione tangenziale di aderenza	f_{bd}	0,717	MPa
Coefficiente correttivo	γ_{Rd}	1,50	-
Lunghezza ottimale di ancoraggio	l_{ed}	150,00	mm
Coefficiente parziale di sicurezza per il distacco dal supporto	$\gamma_{f,d}$	1,50	-
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità	f_{fdd}	478,65	MPa
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità se $l_b < l_{ed}$	$f_{fdd,rid}$	425,46	MPa
coefficiente correttivo funzione della distanza dall'estremità libera	α	1,00	
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco intermedio	$f_{fdd,2}$	478,65	MPa
Deformazione massima nel sistema di rinforzo all'atto del distacco intermedio	ε_{fdd}	0,208%	-
Deformazione massima di progetto attribuibile al rinforzo FRP	ε_{fd}	0,208%	-

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DELLA SEZIONE RINFORZATA

Area di materiale composito fibrorinforzato	A_f	25,60	mm ² /m
Momento flettente resistente di calcolo	$M_{Rd}(N_{Ed})$	0,59	kNm/m
Verifica di sicurezza a pressoflessione	$M_{Ed}/M_{Rd} \leq 1$	0,782	-

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°	Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001	0			
			Doc. n°	CRA14001-RSTR-INT			
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data	
			96	115	A.C. & O.V.	DIC.2017	

DIREZIONE SISMA Y



VERIFICA DELLA SEZIONE DI UNA VOLTA

DATI DI INPUT

Larghezza della sezione
 Spessore/altezza della sezione
 Livello di conoscenza della struttura
 Fattore di confidenza

b	158	cm
t	4	cm
LC1		
FC	1,35	-

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			97	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Resistenza caratteristica a compressione	f_{mk}	2,40	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_m	2,00	-
Valore di progetto della resistenza a compressione della muratura	f_{md}	0,89	MPa
Deformazione ultima di calcolo della muratura	ϵ_{mu}	0,35%	-
Modulo elastico della muratura	E_m	1200	MPa
Modulo elastico tangenziale secante	G	480	MPa
Deformazione della muratura a fine tratto lineare	ϵ_{m0}	0,07%	-
Sforzo normale massimo agente nella sezione di massima eccentricità	N_{Ed}	18,00	kN/m
Sforzo di taglio massimo agente sulla volta in muratura	V_{Ed}	0,00	kN/m
Momento flettente massimo agente nella sezione di massima eccentricità	M_{Ed}	0,39	kNm/m
Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali	f_{vk0}	0,06	MPa
Tensione normale media dei carichi verticali agenti nella sezione di verifica	σ_n	0,19	MPa
Resistenza caratteristica a taglio della muratura	f_{vk}	0,14	MPa
Valore di progetto della resistenza a taglio della muratura	f_{vd}	0,05	MPa
Eccentricità dell'azione assiale	e_{Sd}	2,17	cm
Verifica dell'eccentricità	$e_{Sd} \leq t/2$	VERIFICATO	

CARATTERISTICHE E DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI RINFORZO

Condizione di esposizione	INTERNA		
Fattore di conversione ambientale	η_a	0,95	-
Modulo elastico del composito	E_f	230000	MPa
Resistenza caratteristica a trazione del composito	f_{fk}	3059	MPa
Deformazione caratteristica a rottura del composito	ϵ_{fk}	2,10%	-
Spessore del sistema di rinforzo	t_f	0,064	mm
Numero degli strati del sistema di rinforzo	n_f	2,0	-
Larghezza del sistema di rinforzo	b_f	200	mm
Lunghezza di ancoraggio	l_b	100	mm
Resistenza caratteristica a compressione dei blocchi di muratura	f_{bk}	20,00	MPa
Valore medio della resistenza a compressione dei blocchi di muratura	f_{bm}	19,75	MPa
Valore medio della resistenza a trazione dei blocchi di muratura	f_{btm}	1,98	MPa
Coefficiente correttivo relativo al tipo di muratura	k_G	0,031	
Valore di progetto dell'energia specifica di frattura	Γ_{fd}	0,143	MPa
Valore ultimo dello scorrimento tra FRP e supporto	s_u	0,40	-
Valore di progetto della massima tensione tangenziale di aderenza	f_{bd}	0,717	MPa
Coefficiente correttivo	γ_{Rd}	1,50	-
Lunghezza ottimale di ancoraggio	l_{ed}	150,00	mm
Coefficiente parziale di sicurezza per il distacco dal supporto	$\gamma_{f,d}$	1,50	-
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità	f_{fdd}	478,65	MPa
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco d'estremità se $l_b < l_{ed}$	$f_{fdd,rid}$	425,46	MPa
coefficiente correttivo funzione della distanza dall'estremità libera	α	1,00	
Tensione di progetto del rinforzo nei riguardi del distacco intermedio	$f_{fdd,2}$	478,65	MPa
Deformazione massima nel sistema di rinforzo all'atto del distacco intermedio	ϵ_{fdd}	0,208%	-
Deformazione massima di progetto attribuibile al rinforzo FRP	ϵ_{fd}	0,208%	-

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			98	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DELLA SEZIONE RINFORZATA

Area di materiale composito fibrorinforzato	A_f	25,60	mm ² /m
Momento flettente resistente di calcolo	$M_{Rd}(N_{Ed})$	0,59	kNm/m
Verifica di sicurezza a pressoflessione	$M_{Ed}/M_{Rd} \leq 1$	0,663	-

2.10.6. Verifica catene – UNITA' STRUTTURALE 2

Analogamente a quanto fatto in precedenza, al presente capitolo viene eseguita la verifica a ribaltamento della parete sommitale dell'unità strutturale 2, che può costituire un pericolo per l'unità strutturale ad essa adiacente e avente quota inferiore. Contestualmente si è eseguito il dimensionamento delle catene metalliche che andranno ad impedire l'instaurarsi del cinematismo di ribaltamento in oggetto.

Le verifiche a ribaltamento sono state eseguite con un applicativo specifico del programma Pro Sap, chiamato Pro_Cinem e i risultati vengono riportati nel seguito della presente relazione.

STATO DI FATTO

Cinematismo n°: 1

Tipo: Rib. Singolo

Pareti coinvolte: 1,

Quota: 13,00[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi(Z)$: 0,695

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,0218 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,0662 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,046

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo α_0^* : 0,037 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 20 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 1

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,069 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,153 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,099 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,223 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Non Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 1,749 [sec]

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			99	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Spostamento spettrale d_u^* : 0,058[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematisimo a quota zero Δ_d , quota zero: 0,097 [m]

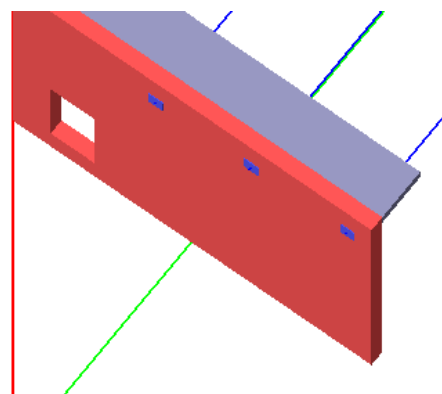
Domanda di spostamento nel caso di cinematisimo a quota maggiore di zero Δ_d , quota sopraelev: 0,117 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Non Verificato**

PROGETTO

Rieseguendo il calcolo e considerando la presenza di tre vincoli puntuali sommitali, in corrispondenza delle catene, risulta che:

- ciascuna catena in sommità è soggetta ad un tiro pari a $N_{Ed} = 21,37$ kN;



→ DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE CATENE

La resistenza a trazione di una barra $\Phi 27$ è pari a:

$$F_{t,Rd} = f_{yk} \cdot A / \gamma_{M0} = 275 \cdot 572,56 / 1,05 = 149,96 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Considerando $a = b = 350$ mm, le dimensioni della piastra di ancoraggio della catena sulle murature del porticato e $t = 350$ mm lo spessore della muratura, la resistenza a punzonamento della muratura nelle zone di ancoraggio è pari a:

$$B_{M,Rd} = f_{v0} \cdot (2 \cdot (b+t) + 2 \cdot (a+t)) \cdot t = 0,022 \cdot (2 \cdot (350+350) + 2 \cdot (350+350)) \cdot 350 = 23,10 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

La resistenza del muro nei confronti della penetrazione dell'ancoraggio, dovuta ad eccessiva pressione di contatto della piastra è pari a:

$$P_{M,Rd} = \sigma_r \cdot a \cdot b = 0,889 \cdot 350 \cdot 350 = 108,9 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Infine, detto t_p lo spessore della piastra, la sua resistenza a punzonamento è pari a:

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			100	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d \cdot t_p \cdot f_{tk} / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot \pi \cdot 27 \cdot 15 \cdot 430 / 1,25 = 262,5 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

2.10.7.Verifica a ribaltamento facciata corte interna – UNITA' STRUTTURALE 1

Analogamente a quanto fatto nei paragrafi precedenti, nel seguito verrà eseguita la verifica a ribaltamento della facciata presente sulla corte interna dell'unità strutturale 1, al fine di poter eseguire il dimensionamento delle barre sommitali da inserire contestualmente alla realizzazione del cordolo in muratura armata, tenendo conto della presenza delle catene del porticato.

PROGETTO

Cinematismo n°: 1

Tipo: Fles. Verticale singola

Pareti coinvolte: 1,

Quota: 0,00[m]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 4,8538 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 1,9843 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 2,304

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo a_0^* : 3,541 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 60 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 0,482

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD per cinematismo a quota zero: 0,084 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV per cinematismo a quota zero: 0,114 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 0,212[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,083[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero $\Delta_{d, \text{quota zero}}$: 0,007 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota maggiore di zero $\Delta_{d, \text{quota sopraelev}}$: 0,000 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Verificato**

Cinematismo n°: 2

Tipo: Fles. Verticale singola

Pareti coinvolte: 2,

Quota: 9,10[m]

Primo modo di vibrare normalizzato ad 1 in sommità dell'edificio $\psi(Z)$: 0,403

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			101	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica lineare: 0,4644 [g]

PGA relativa al cinematismo nel caso di analisi cinematica non lineare: 0,1948 [g]

Moltiplicatore di collasso dei carichi orizzontali α_0 : 0,282

accelerazione spettrale di attivazione del cinematismo a_0^* : 0,389 [g]

Massa partecipante al cinematismo M^* : 75 [kN]

Frazione di massa partecipante della struttura e^* : 0,536

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLD

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota zero): 0,084 [g]

Accelerazione di riferimento allo SLD (a quota diversa da zero): 0,093 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLD: **Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica lineare allo SLV

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota zero): 0,114[g]

Accelerazione di riferimento allo SLV (a quota diversa da zero): 0,131 [g]

Stato di verifica dell'analisi cinematica lineare allo SLV: **Verificato**

Risultati della verifica con analisi cinematica non lineare allo SLV

Periodo secante T_s : 0,704[sec]

Spostamento spettrale d_u^* : 0,102[m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota zero $\Delta_{d, \text{quota zero}}$: 0,046 [m]

Domanda di spostamento nel caso di cinematismo a quota maggiore di zero $\Delta_{d, \text{quota sopraelev}}$: 0,082 [m]

Stato di verifica dell'analisi cinematica non lineare allo SLV: **Verificato**

Dalla verifica a ribaltamento risulta che le catene sono sollecitate da uno sforzo di trazione pari a 74 kN che è minore di quello utilizzato al § 2.10.1 della presente relazione e dunque si ritiene la loro verifica soddisfatta.

Per quanto riguarda invece il vincolo sommitale, risulta che esso è soggetto ad una azione orizzontale pari a 52 kN. Avendo posto le barre M12 ad un passo di 40 cm, implica che ciascuna di esse dovrà sopportare un sforzo tagliante pari a $T_{Ed} = 1,55$ kN, minore del carico massimo consigliato per i tasselli scelti, pari a 1,7 kN.

2.10.8.Verifica dei collegamenti dell'orditura lignea di copertura

Di seguito vengono eseguite le verifiche dei collegamenti tra l'orditura lignea secondaria e le capriate e delle piastre da porre sui nodi delle capriate. Si specifica che verrà eseguita una verifica tipo per ogni tipologia di collegamento.

VERIFICA NODI CAPRIATA

Tale verifica viene eseguita sia allo stato limite ultimo che allo stato limite di salvaguardia della vita. In particolare è stato realizzato un modello agli elementi finiti della capriata tipo, a cui sono stati assegnati i carichi statici dati dal coperto, considerando un'interasse

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			102	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

di influenza pari a $i = 3,25$ m e il carico sismico calcolato secondo quanto previsto al § 7.2.3 delle NTC '08.

Facendo riferimento all'analisi dei carichi di copertura riportata al paragrafo § 2.6 della presente relazione, si ha che i carichi distribuiti sui puntoni della capriata per le verifiche statiche sono i seguenti:

$$q_{perm} = G_k \cdot i = 1,60 \cdot 3,25 = 5,2 \text{ kN/m}$$

$$q_{var,neve} = Q_k \cdot i = 0,8 \cdot 3,25 = 2,6 \text{ kN/m}$$

Per quanto riguarda invece l'azione sismica si ha:

$$F_a = (S_a \cdot W_a) / q_a = 0,569 \cdot 5,2 / 1 = 2,96 \text{ kN/m}$$

Dove:

W_a è il peso dell'area di influenza agente sulla capriata lignea = 5,2 kN/m

q_a è il fattore di struttura per l'elemento, a favore di sicurezza = 1,0

S_a è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento strutturale subisce durante il sisma data dall'espressione:

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \left[\frac{3 \cdot \left(1 + \frac{Z}{H}\right)}{1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2} - 0,5 \right] = 0,156 \cdot 1,46 \cdot \left[\frac{3 \cdot \left(1 + \frac{22}{22}\right)}{1 + \left(1 - \frac{0,51}{0,51}\right)^2} - 0,5 \right] = 0,569 > \alpha \cdot S = 0,156 \cdot 1,46 = 0,23$$

In cui: α è il rapporto tra l'accelerazione massima del terreno a_g su sottosuolo tipo A da considerare nello stato limite in esame e l'accelerazione di gravità $g = 0,156$

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche = 1,46

T_a è il periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento strutturale secondario, che a favore di sicurezza viene assunto uguale a T_1

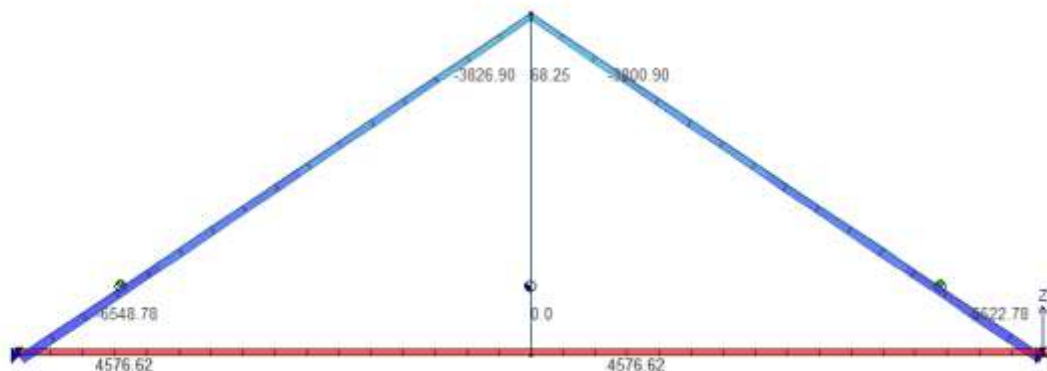
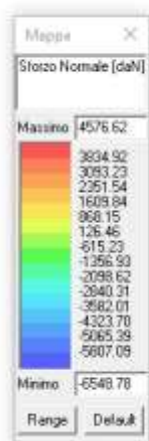
T_1 è il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione = $C_1 \cdot H^{3/4} = 0,05 \cdot 22^{3/4} = 0,51$ s

Z è la quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione = 22,00 m

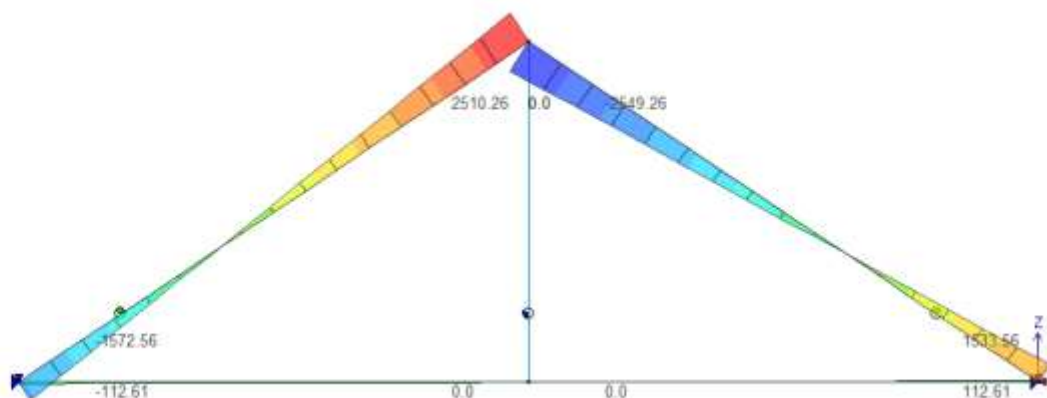
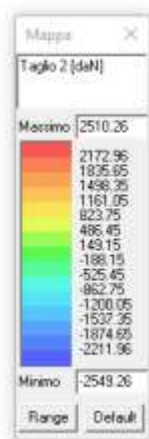
H è l'altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione = 22,00 m

Dalle analisi risultano le seguenti sollecitazioni statiche e sismiche:

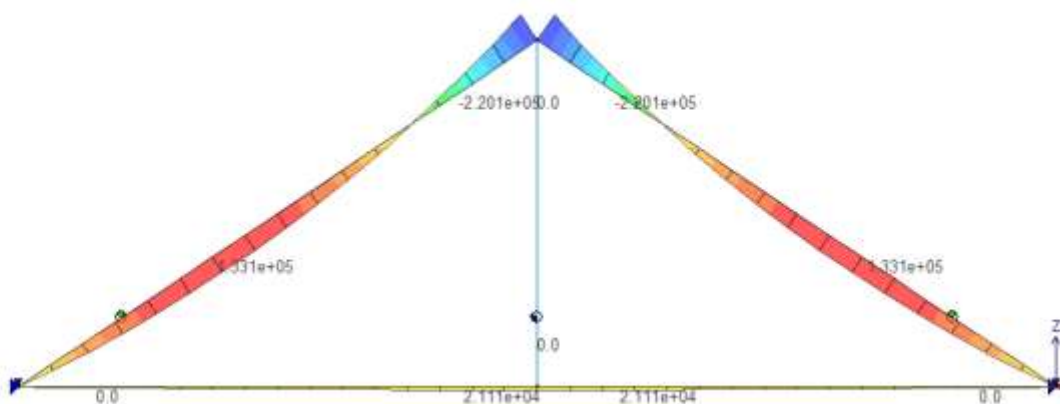
 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°	Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001	0				
			Doc. n° CRA14001-RSTR-INT					
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato	Data		
			103	115	A.C. & O.V.	DIC.2017		



Sforzo Normale - STATICO

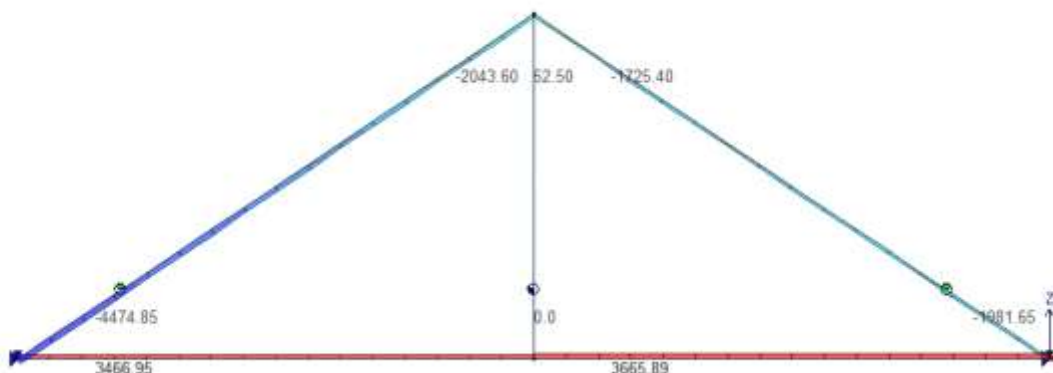
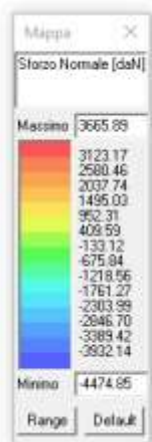


Taglio - STATICO

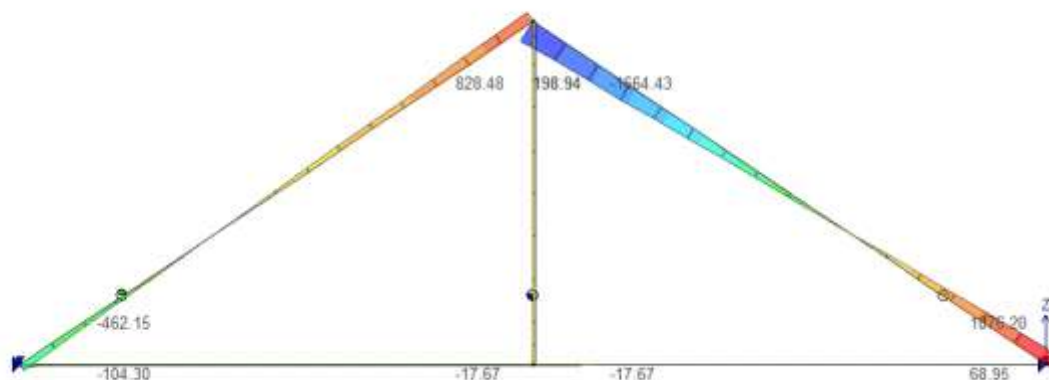
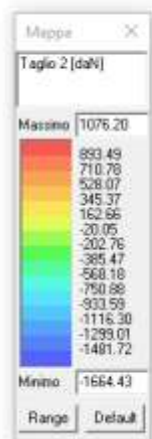


Momento - STATICO

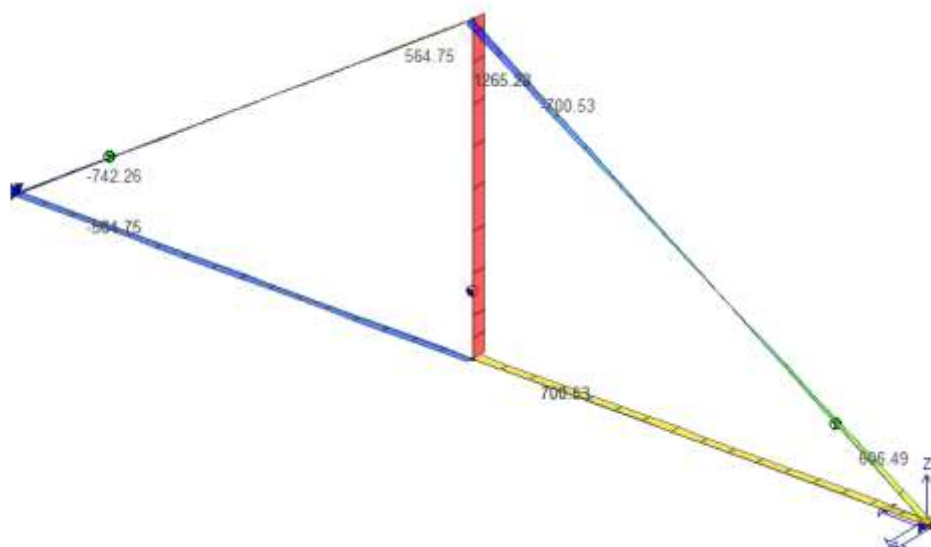
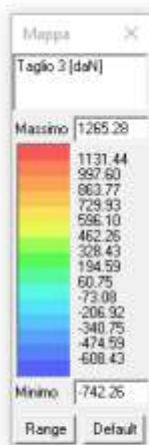
 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			104	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		



Sforzo Normale - SISMICO

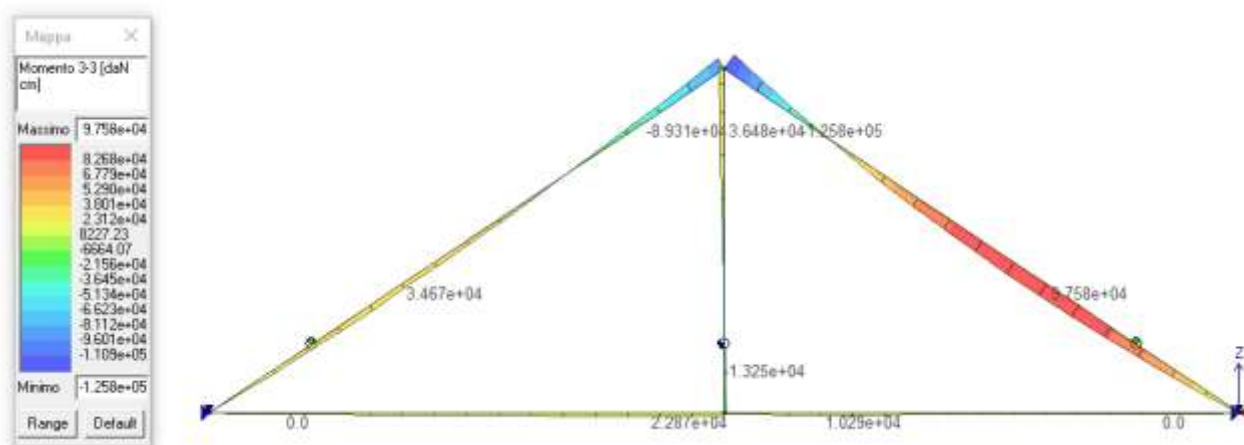


Taglio nel piano della reticolare – SISMICO

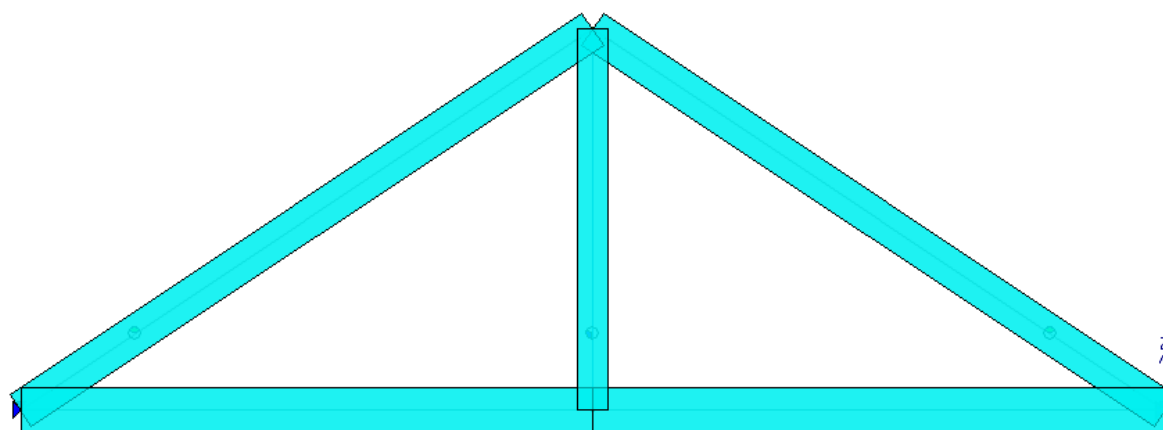


Taglio ortogonale al piano della reticolare – SISMICO

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°						
			CRA14001-RSTR-INT						
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			105	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		



Momento nel piano della reticolare – SISMICO



Risultati delle verifiche agli stati limite (in azzurro elementi verificati, in rosso elementi non verificati)

Come si può osservare dall'immagine soprastante, le verifiche degli stati limite vengono soddisfatte sia dal punto di vista statico che dal punto di vista sismico.

Poiché le piastre e le viti di collegamento dei nodi delle capriate previste da progetto sono un presidio di sicurezza al fine di mantenere collegate le varie parti della capriata di seguito vengono eseguite le verifiche degli elementi metallici di collegamento nei confronti dell'azione tagliente agenti ortogonalmente al piano della capriata.

Il taglio agente nel nodo puntone-catena $T_{Ed,1} = 7 \text{ kN}$

Il taglio agente nel nodo puntoni-monaco $T_{Ed,2} = 19 \text{ kN}$

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			106	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

→ Collegamento puntone-catena:

Da scheda tecnica ogni vite tipo HBS Rothoblass (o prodotto ad analoghe prestazioni) diametro 6 mm e lunghezza $L = 60$ mm, ha resistenza caratteristica massima a taglio e trazione è pari a 2,6 kN, ovvero resistenza di progetto pari a 1,39 kN, assumendo un $k_{mod} = 0,8$ e $\gamma_m = 1,5$. Da modello, la sollecitazione massima agente su ciascuna della viti è pari a 0,58 kN, dunque inferiore al valore limite di resistenza.

Resistenza di calcolo a taglio del piatto avente spessore 4 mm

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot f_{yk} / (\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}) = 6 \cdot 50 \cdot 4 \cdot 275 / (1,05 \cdot \sqrt{3} \cdot 10^3) = 181,4 \text{ kN} > T_{Ed,1} = 7 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

→ Collegamento puntoni-monaco:

Da scheda tecnica ogni vite tipo HBS Rothoblass (o prodotto ad analoghe prestazioni) diametro 6 mm e lunghezza $L = 60$ mm, ha resistenza caratteristica massima a taglio e trazione è pari a 2,6 kN, ovvero resistenza di progetto pari a 1,39 kN, assumendo un $k_{mod} = 0,8$ e $\gamma_m = 1,5$. Da modello, la sollecitazione massima agente su ciascuna della viti è pari a 1,05 kN, dunque inferiore al valore limite di resistenza.

Resistenza di calcolo a taglio del piatto avente spessore 4 mm

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot f_{yk} / (\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}) = 2 \cdot 70 \cdot 6 \cdot 275 / (1,05 \cdot \sqrt{3} \cdot 10^3) = 127 \text{ kN} > T_{Ed,2} = 19 \text{ kN} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

VERIFICA COLLEGAMENTO ORDITURA SECONDARIA A CAPRIATE

Di seguito verrà valutata l'efficacia del collegamento travi secondarie a capriate da eseguirsi in maniera diffusa sull'orditura lignea del coperto.

In particolare, la forza orizzontale agente su ciascuna trave secondaria, utile a valutare gli effetti dell'azione sismica sul collegamento stesso, viene calcolata secondo la seguente formulazione:

$$F_a = (S_a \cdot W_a) / q_a = 0,569 \cdot 3,2 / 1 = 1,82 \text{ kN}$$

Dove:

W_a è il peso dell'area di influenza agente sulla trave lignea secondaria = 3,2 kN

q_a è il fattore di struttura per l'elemento, a favore di sicurezza = 1,0

S_a è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento strutturale subisce durante il sisma data dall'espressione:

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \left[\frac{3 \cdot \left(1 + \frac{Z}{H}\right)}{1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2} - 0,5 \right] = 0,156 \cdot 1,46 \cdot \left[\frac{3 \cdot \left(1 + \frac{22}{22}\right)}{1 + \left(1 - \frac{0,51}{0,51}\right)^2} - 0,5 \right] = 0,569 > \alpha \cdot S = 0,156 \cdot 1,46 = 0,23$$

In cui: α è il rapporto tra l'accelerazione massima del terreno a_g su sottosuolo tipo A da considerare nello stato limite in esame e l'accelerazione di gravità $g = 0,156$

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			107	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche = 1,46

T_0 è il periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento strutturale secondario, che a favore di sicurezza viene assunto uguale a T_1

T_1 è il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione = $C_1 \cdot H^{3/4} = 0,05 \cdot 22^{3/4} = 0,51$ s

Z è la quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione = 22,00 m

H = è l'altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione = 22,00 m

La forza F_d è la forza tagliante a cui ciascuna vite deve resistere. Da scheda tecnica ogni vite tipo VGS Rothoblass (o prodotto ad analoghe prestazioni) diametro 11 mm e lunghezza $L = 250$ mm, ha resistenza caratteristica massima a taglio pari a 9,72 kN, ovvero resistenza di progetto pari a 6,5 kN, assumendo un $k_{mod} = 1$ e $\gamma_m = 1,5$. Poiché F_d è pari a 1,82 kN si ritiene che le viti siano adeguatamente dimensionate.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			108	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

3.Relazione sui materiali

3.1.Elenco dei materiali impiegati e loro modalità di posa in opera

I materiali usati sono:

3.1.1.Acciaio per carpenterie metalliche

Acciaio S275 che dovrà essere marcato CE e fornito da carpenteria in possesso della certificazione UNI EN 1090.

3.1.2.Legno strutturale

Legno per raddoppio tavolato tipo C24 controllato e certificato (vedere par. 11.7 NTC 2008)

3.1.3.Muratura portante per integrazioni o sostituzioni

Si utilizza una muratura portante composta da:

laterizi pieni;
malta M5 a base calce priva di cemento.

3.1.4.Tessuto in FRP

Tessuto quadri e bi-direzionale per il rinforzo "armato" locale di supporti in muratura.

3.2.Valori di calcolo

3.2.1. Acciaio per carpenterie metalliche

Tipo di acciaio	=	S275
Modulo elastico	E	= 210000 N/mm ²
Densità	ρ	= 7850 kg/m ³
Tensione caratteristica di snervamento	f _{yk}	= 275 N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura	f _{tk}	= 430 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza del materiale	γ _M	= 1.05
Tensione di snervamento di progetto	f _{yd}	= 261,9 N/mm ²
Classe di esecuzione	=	EXC2

Per il valore della tensione di snervamento di calcolo si utilizza 4.2.4 del § 4.2.4.1.1.3 del D.M. 14/01/2008:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M}$$

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			109	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

3.2.2. Legno strutturale

Modulo elastico parallelo medio	$E_{0,mean}$	= 11000	MPa
Modulo elastico parallelo caratteristico	$E_{0,05}$	= 7400	MPa
Modulo di taglio medio	G_{mean}	= 690	MPa
Resistenza caratteristica a flessione	$f_{m,k}$	= 24,00	MPa
Resistenza a trazione // alle fibre	$f_{t,0,k}$	= 14,00	MPa
Resistenza a compr. // alle fibre	$f_{c,0,k}$	= 21,00	MPa
Resistenza a trazione ort. alle fibre	$f_{t,90,k}$	= 0,50	MPa
Resistenza a compr. // alle fibre	$f_{c,90,k}$	= 2,50	MPa
Resistenza a taglio e torsione	$f_{v,k}$	= 2,50	MPa

3.2.3. Muratura portante per integrazioni o sostituzioni

Le murature portanti sono composte da:

- laterizi pieni. Le caratteristiche meccaniche degli elementi in questione sono le seguenti:
fbk = 25,0 MPa (in direzione del carico);
- malta Tipo M5 –a base calce priva di cemento.

Nel caso siano presente tensioni di compressione, la resistenza caratteristica a taglio può essere calcolata come segue (§ 11.10.3.3 del D.M. 14/01/2008):

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_n$$

dove: σ_n = tensione normale media dovuta ai carichi verticali agenti nella sezione di verifica.

Per i valori di calcolo delle resistenze a compressione e a taglio si usano le 4.5.2 e 4.5.3 reperibili al § 4.5.6.1 del D.M. 14/01/2008:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M}$$

dove γ_M è il coefficiente di sicurezza del materiale e vale 3 (vedi tab. 4.5.II del D.M. 14/01/2008).

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0			
			Doc. n° CRA14001-RSTR-INT					
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data	
			110	115	A.C. & O.V.		DIC.2017	

3.2.4. Tessuto in FRP

- tessuto per rinforzi diagonali delle volte

Tipo di tessuto	=	quadriassiale
Materiale	=	fibra di carbonio
Modulo elastico	E	= 230000 N/mm ²
Grammatura	=	380 g/m ²
Resistenza meccanica a trazione	f _k	= 4800 N/mm ²
Allungamento a rottura	ε	= 2,1 %
Area resistente per unità di larghezza	=	53,1 mm ² /m
Adesione al calcestruzzo	>	3 (rottura calcestruzzo)

- tessuto per rinforzi longitudinali e radiali delle volte

Tipo di tessuto	=	biassiale
Materiale	=	fibra di carbonio
Modulo elastico	E	= 230000 N/mm ²
Grammatura	=	380 g/m ²
Resistenza meccanica a trazione	f _k	= 4800 N/mm ²
Allungamento a rottura	ε	= 2,1 %
Area resistente per unità di larghezza	=	64,2 mm ² /m
Adesione al calcestruzzo	>	3 (rottura calcestruzzo)

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			111	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

4.Elaborati grafici esecutivi e particolari costruttivi

4.1.Rilievo geometrico strutturale

Si vedano gli elaborati grafici, tavole PS_01, PS_02, PS_03, PS_04°, PS_04b, PS_05a, PS_05b, PS_06a, PS_06b, PS_06c, PS_06d e PS_06e, nonché gli elaborati architettonici.

4.2.Documentazione fotografica

Si rimanda agli elaborati del progetto architettonico.

4.3.Quadro fessurativo e di degrado

Si rimanda agli elaborati del progetto architettonico.

4.4.Elaborati grafici generali e particolari costruttivi

Si vedano gli elaborati grafici, tavole PS_01, PS_02, PS_03, PS_04°, PS_04b, PS_05a, PS_05b, PS_06a, PS_06b, PS_06c, PS_06d e PS_06e.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			112	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

5. Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera

5.1. Premessa

Il piano di manutenzione è il documento complementare al progetto esecutivo che prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaboratori progettuali esecutivi effettivamente realizzati, l'attività di manutenzione dell'intervento al fine di mantenere nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico.

Il piano di manutenzione è costituito dai seguenti documenti operativi:

- il manuale d'uso;
- il manuale di manutenzione comprensivo del programma di manutenzione.

5.2. Manuale d'uso

Il manuale d'uso si riferisce all'uso delle parti più importanti dell'opera, con particolare riferimento alle parti che possono generare rischi per un uso scorretto. Il manuale d'uso contiene informazioni sulla collocazione delle parti interessate nell'intervento, la loro rappresentazione grafica, descrizione e modalità di uso corretto.

Struttura n. 1 - Pareti in muratura portante

Descrizione:

Strutture verticali portanti realizzate in mattoni e malta.

Collocazione:

Vedi tavole disegni esecutivi

Rappresentazione grafica:

Vedi tavole particolari costruttivi

Modalità d'uso corretto:

Trasferire le sollecitazioni statiche e sismiche trasmesse dai piani della sovrastruttura al piano di fondazione.

Struttura n. 2 - Pareti interne in muratura portante

Descrizione:

Strutture verticali portanti realizzate in mattoni e malta con finitura di intonaco.

Collocazione:

Vedi tavole disegni esecutivi

Rappresentazione grafica:

Vedi tavole particolari costruttivi

Modalità d'uso corretto:

Trasferire le sollecitazioni statiche e sismiche trasmesse dai piani della sovrastruttura al piano di fondazione.

Struttura n. 3 - Travi in legno

Descrizione:

Strutture orizzontali o inclinate che trasferiscono i carichi a pilastri o pareti.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			113	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Collocazione:

Vedi tavole disegni esecutivi

Rappresentazione grafica:

Vedi tavole particolari costruttivi

Modalità d'uso corretto:

Trasferire i carichi dei solai alle strutture verticali.

5.3.Manuale di manutenzione

Il manuale di manutenzione si riferisce alla manutenzione delle parti più importanti dell'intervento. Esso contiene il livello minimo accettabile delle prestazioni, le anomalie riscontrabili, le manutenzioni eseguibili direttamente dall'utente e quelle che non lo sono.

Il programma di manutenzione fissa delle manutenzioni e dei controlli da eseguire in seguito a scadenze preventivamente fissate.

Struttura n. 1 - Pareti in muratura portante

Collocazione:

Vedi tavole disegni esecutivi

Rappresentazione grafica:

Vedi tavole particolari costruttivi

Livello minimo delle prestazioni:

Resistenza alle sollecitazioni di progetto. Realizzazione con materiali conformi dalle prescrizioni di progetto.

Anomalie riscontrabili:

Deterioramento dei mattoni per esposizione agli agenti atmosferici; disgregazione della superficie dei giunti in malta.

Tipo di controllo:

Controllo a vista

Periodicità dei controlli e operatore:

Ogni anno, effettuato dall'utente

Tipo di intervento:

Sostituzione localizzata di mattoni con cuci-scuci; stuccatura delle fughe con malte per riparazione.

Periodicità degli interventi e operatore:

Quando necessario, effettuato da personale specializzato

Struttura n. 2 - Pareti interne in muratura portante

Collocazione:

Vedi tavole disegni esecutivi

Rappresentazione grafica:

Vedi tavole particolari costruttivi

Livello minimo delle prestazioni:

Resistenza alle sollecitazioni di progetto. Realizzazione con materiali conformi dalle prescrizioni di progetto.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			114	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

Anomalie riscontrabili:

Deterioramento dell'intonaco per risalite di umidità.

Tipo di controllo:

Controllo a vista

Periodicità dei controlli e operatore:

Ogni anno, effettuato dall'utente

Tipo di intervento:

Rifacimento totale o parziale dell'intonaco.

Periodicità degli interventi e operatore:

Quando necessario, effettuato da personale specializzato

Struttura n. 3 – Travi in legno

Collocazione:

Vedi tavole disegni esecutivi

Rappresentazione grafica:

Vedi tavole particolari costruttivi

Livello minimo delle prestazioni:

Resistenza alle sollecitazioni di progetto. Realizzazione con legno conforme dalle prescrizioni di progetto.

Anomalie riscontrabili:

Deterioramento per esposizione agli agenti atmosferici; attacco da parte di parassiti.

Tipo di controllo:

Controllo a vista

Periodicità dei controlli e operatore:

Ogni anno, effettuato dall'utente

Tipo di intervento:

Applicazione di prodotti protettivi impregnanti; trattamento con prodotti antitarlo

Periodicità degli interventi e operatore:

Quando necessario, effettuato da personale specializzato

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	PALAZZO ARCIVESCOVILE Riparazione e rafforzamento locale post sisma del Palazzo Arcivescovile Arcidiocesi di Ferrara Comacchio PROGETTO ESECUTIVO	CRA14001		0				
			Doc. n°		CRA14001-RSTR-INT				
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE, RELAZIONE SUI MATERIALI, PIANO DI MANUTENZIONE OPERE STRUTTURALI			Fg.	Di	Compilato		Data		
			115	115	A.C. & O.V.		DIC.2017		

6 Valutazioni geotecniche e prove sui materiali

6.1.Relazione sulla caratterizzazione meccanica del terreno

Si veda la relazione geologica specifica (allegato C alla presente relazione).

6.2.Relazione sulla caratterizzazione meccanica del legno

Si veda la relazione sui materiali relativa alle prove eseguite in sito, riportata in allegato A.