

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE
EMILIA-ROMAGNA
Azienda Ospedaliero - Universitaria di Bologna
IRCCS Istituto di ricovero e cura a carattere scientifico

POLICLINICO DI
SANT'ORSOLA



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

PROGETTO P/28/2018

PADIGLIONE n. 3 SEDE AMMINISTRATIVA

Interventi per la ricostruzione post sisma finanziati con il programma opere pubbliche
(L.R. n° 16/2012 art. 11)

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA



Spazio per autorizzazione Enti

DETERMINA

PROTOCOLLO
COMUNE P.G.

NUMERO
PROGRESSIVO

COMMITTENTE/PROPRIETA'

DIRETTORE GENERALE Dott.ssa Chiara GIBERTONI
DIRETTORE SANITARIO Dott.ssa Consuelo BASILI
DIRETTORE AMMINISTRATIVO Dott. Nevio SAMORE'

GESTIONE DEL PATRIMONIO

Resp.le Ing. Daniela PEDRINI

DIPARTIMENTO TECNICO

GRUPPO DI LAVORO:

Ing. Daniela PEDRINI
Arch. Alessandro PISA
Ing. Francesco Saverio MURGO
Ing. Elena GIRAU
Sig.ra Anita GARBIN
Per. Ind. Federica UGOLINI

INCARICHI ESTERNI



Ing. Massimo MAJOWIECKI

AGGIORNAMENTI

OGGETTO:

COMMESSA:

1

2

3

4

5

6

RELAZIONE TECNICA

DATA: Settembre 2021

SCALA:

DISEGNATO DA:

FILE:

TAVOLA :

GE.4

GESTIONE DEL PATRIMONIO
Ing. Daniela Pedrini

PROGETTO P/28/2018

Azienda Ospedaliero-Universitaria di Bologna
Policlinico di Sant'Orsola

Padiglione 3
SEDE AMMINISTRATIVA

**Interventi per la ricostruzione post sisma finanziati con il
programma opere pubbliche (L.R. n° 16/2012 art.11)**

Relazione Tecnica

Bologna, Settembre 2021

RELAZIONE TECNICA

Il presente elaborato riassume le fasi conoscitive, di attività di diagnosi ed analisi critica dello stato attuale e di danno/degrado e si conclude con la proposta di intervento al livello progettuale preliminare.

Per conferire una migliore leggibilità al progetto nel suo insieme, il documento è strutturato secondo l'ordine logico e cronologico delle attività che portano alla concezione degli interventi. Gli elaborati grafici di progetto sono da intendere quale parte integrante della presente relazione. Al fine di rispondere al requisito normativo sui contenuti del progetto di fattibilità tecnico economica l'insieme delle operazioni di "indagine e ricerca preliminari" è richiamato nell'elaborato "GE.5 – Indagini e ricerche preliminari" secondo l'ordine richiesto dalla norma. Infine, alcuni aspetti di maggior dettaglio sono demandati agli allegati.

1. CENNI STORICI

Il complesso "Padiglione 3 - Sede Amministrativa" si configura strutturalmente come "aggregato", un organismo complesso ed eterogeneo, risultato di una serie di ampliamenti, sopraelevazioni e accorpamenti, nonché ristrutturazioni e rimaneggiamenti, che partono dalla seconda metà del XI secolo, periodo di insediamento del Monastero di San Gregorio, e proseguono fino agli ultimi decenni del secolo scorso.

Il nucleo originario è costituito dalla Chiesa di San Gregorio e dai Chiostri adiacenti, il cui impianto è ancora ben visibile. All'inizio del Cinquecento l'edificio viene destinato ad usi assistenziali, quali ricovero e isolamento per infermi da epidemie; in questo periodo si rendono necessari i primi ampliamenti, presumibilmente le prime sopraelevazioni e ampliamenti attorno ai chiostri. Tra il 1665 ed il 1667 fu costruito, su progetto di Bartolomeo Belli, il portico - in gran parte tutt'ora esistente lungo l'attuale via Albertoni - che collegava la chiesa di San Gregorio al percorso extraurbano della via Emilia. Il portico è strutturalmente interconnesso all'edificio retrostante, quindi si configura come ampliamento dello stesso.

Agli inizi del XIX secolo sono registrati ulteriori ampliamenti e adattamenti, con la realizzazione di altre corti interne, documentate dalle rilevazioni nel Catasto Gregoriano.

Nel 1933 si ha notizia di nuovi ampliamenti, sopraelevazioni e adattamenti delle strutture del ricovero e di una radicale ristrutturazione della chiesa il cui originario volume fu suddiviso in due piani con la creazione di un solaio intermedio: nella parte inferiore si venne a creare la chiesa vera e propria, riaperta al culto, con uno spazio a tre navate illuminate da nuove finestre aperte sul lato nord; la parte superiore, illuminata anch'essa da nuove ampie finestre, fu destinata ad usi non religiosi, collegati alle necessità di ricovero.

Negli anni del secondo dopoguerra furono realizzati diversi lavori di adeguamento e ampliamento, tra i quali la sopraelevazione, eseguita nel 1959, di un piano a sbalzo delle ali sud e ovest della terza corte.

A partire dalla fine degli anni sessanta ed i primi anni settanta del Novecento si realizzarono altre importanti opere di ammodernamento ed adeguamento funzionale degli interni, mentre, tra il 1969 ed il 1972, per dar luogo alla costruzione dell'attiguo nuovo padiglione "Albertoni", si compì l'ultima radicale trasformazione del vecchio edificio con la demolizione di una porzione rilevante della quarta e quinta corte dell'ex ricovero.

L'articolata genesi storica dell'edificio si riscontra osservandone la conformazione planimetrica, la disomogeneità nei materiali impiegati e le irregolarità/singularità strutturali presenti.

A completamento delle informazioni storicamente rilevanti, si richiamano:

- il documento *"RS-relazione storica.pdf"*¹, contenuto in Allegato 1 e redatto dall'ing. Roberto Ballardini, al quale si rimanda per ulteriori approfondimenti e richiami bibliografici;
- il cap. 2 *"sintesi dei caratteri strutturali"* ed il cap. 3 *"caratterizzazione preliminare del sistema murario"* del presente elaborato (quest'ultimo con particolare riguardo alle valutazioni sulle fasi di accrescimento).

2. SINTESI DEI CARATTERI STRUTTURALI

Considerate le finalità del presente progetto di fattibilità tecnico-economica (riparazione dei danni da sisma e mitigazione delle vulnerabilità attivate - cfr. *"relazione generale"*) e la tipologia di danneggiamento presente, le indagini volte alla caratterizzazione dei materiali costitutivi e delle tecniche di esecuzione sono state rivolte, in un primo momento, principalmente alle strutture murarie verticali ed alle coperture. Successivamente, anche a seguito delle richieste di integrazione formulate dalla "Commissione Congiunta", sono state approfondite le indagini sullo stato di fatto, sia mediante un più accurato rilievo geometrico di alcune sezioni significative ai fini degli interventi proposti, sia mediante un più accurato rilievo materico-strutturale, sugli orizzontamenti (sia voltati che piani – indagando estesamente le diverse tipologie presenti) e sulle murature (approfondendo alcuni dei già numerosi saggi effettuati, al fine di indagare le proprietà lungo spessore murario). Si rimanda al cap. 2 *"materiali costitutivi e tecniche di esecuzione"* dell'elaborato "GE.5 – Indagini e ricerche preliminari" per ulteriori informazioni in merito.

L'organismo ha struttura portante in muratura, con archi e volte in muratura prevalenti negli orizzontamenti di primo livello, solai prevalentemente in legno in copertura e di tipologia variabile sugli orizzontamenti intermedi. Le tessiture murarie sono di natura differente, infatti si osservano murature in mattoni pieni e malta, murature in pietrame disordinato (ciottoli, pietre erratiche e irregolari).

In alcune porzioni del fabbricato sono presenti volumi interrati, presumibilmente nelle aree ad insediamento più antico (ampliamenti risalenti ai primi del Cinquecento). Ne conseguono significative difformità nei sistemi fondali dell'edificio: fondazioni in muratura ad arco rovescio, fondazioni superficiali in muratura di tipo continuo, fondazioni profonde su pali in corrispondenza di porzioni di fabbricato che in tempi recenti (1980/1990) sono state sottomurate.

La conformazione dell'organismo strutturale sopra descritto è per sua stessa natura alquanto vulnerabile, sicuramente nei confronti delle azioni sismiche ma, in diverse parti, anche nei confronti delle azioni "ordinarie", permanenti ed antropiche. Ciò ha fatto sì che, persino un sisma di modesta entità (quale si configura quello del maggio 2012, per i risentimenti registrati nel sito in esame, a notevole distanza dall'epicentro), abbia attivato numerosi meccanismi di danno e determinato quadri fessurativi diffusi ed in molti casi gravi.

Ai fini del presente lavoro si è ritenuto appropriato rivedere la suddivisione delle Unità Strutturali rispetto a quella formulata nella "VDS-DICAM-1°Liv.". In un contesto che vede numerose trasformazioni locali

¹ Il documento è contenuto nell'Allegato 1, al percorso *"..\3_Intervento su Tetti Biblioteca...\1_SCIA...\SCIA-PDF\..."*

successive al primo impianto (con sopraelevazioni, demolizioni, ampliamenti, etc.) e conseguente forte frammentazione delle tipologie costruttive e materiche localmente presenti, è stata adottata, quale guida principe per la delimitazione delle US, l'epoca di primo impianto (abbastanza riconoscibile nelle tipologie murarie prevalenti di piano terra), evitando altresì eccessive frammentazioni delle US stesse, che non troverebbero alcun riscontro in comportamenti dinamici autonomi.

Posto che la “regione Chiesa”, non oggetto di intervento, costituisce palesemente US indipendente, stanti le caratteristiche geometrico-spaziali (tipologie orizzontamenti, altezze dei vani, volumi degli ambienti, etc.) decisamente diverse da quelle dei restanti edifici, ne risulta la suddivisione delle zone oggetto di intervento come da immagine che segue.

Appare comunque doveroso evidenziare che, trattando il presente progetto “interventi locali”, la delimitazione delle US poco rileva ai fini della definizione e delle valutazioni sugli interventi stessi.



Individuazione delle unità strutturali componenti il Padiglione3.

Si evidenzia che alcuni elaborati e/o parti di elaborati riportano comunque le considerazioni sullo stato di fatto anche della “regione Chiesa”, ove ritenuto utile ai fini della comprensione dell'area oggetto di

intervento (evoluzione storica, caratteristiche materiche, lettura complessiva del quadro di danno, interazioni nei modelli numerici, etc.).

Si rimanda agli elaborati grafici della serie “Stato di fatto” per la definizione dei caratteri geometrici, per una più articolata descrizione del sistema strutturale individuato in via preliminare per le finalità di questa fase progettuale e per la descrizione del sistema di controsoffittature e tramezzature}. In questa sede ci si limita a rilevare che, come spesso accade negli edifici storici, l'impianto murario è in alcuni casi antecedente a quello degli orizzontamenti, questi ultimi essendo più frequentemente interessati da rimaneggiamenti su vasta area in tempi successivi all'impianto originario. L'apparato murario, d'altra parte, risulta assai più eterogeneo degli orizzontamenti, essendo interessato da più frequenti rimaneggiamenti locali, che vanno dall'immediato post-primo impianto ai più recenti interventi locali (si rimanda, in merito, alle acquisizioni termografiche effettuate in sede di approfondimento di indagine, riportata in allegato 7 “Integrazione indagini diagnostiche”).

La cabina elettrica, denominata anche “cabina Albertoni”, è costituita da due corpi monopiano realizzati in aderenza, con strutture verticali in muratura di mattoni pieni e solaio/copertura in laterocemento.

Le plausibili carenze del sistema fondale, unitamente alla presenza di finestrate “a nastro” asimmetriche, hanno fatto sì che gli eventi sismici del 2012, pur con risentimenti al sito modesti, producessero danni molto gravi alle strutture nel fabbricato sud dei due citati (US cab.). La valutazione del rapporto benefici/costi ha portato a ritenere quale intervento più conveniente quello che prevede la demolizione e successiva fedele ricostruzione di detto fabbricato sud (in termini geometrici, previa creazione di giunto sismico - cfr. considerazioni svolte nei capitoli a seguire).

Conseguentemente, per la “cabina Albertoni” si è ritenuto inopportuno, in questa fase, dedicare risorse economiche all'esecuzione di saggi per la caratterizzazione delle strutture, limitandosi ad una rilevazione geometrica ed a documentarne lo stato di danno mediante le riprese fotografiche localizzate.

3. CARATTERIZZAZIONE PRELIMINARE DEL SISTEMA MURARIO

Il presente capitolo dettaglia il percorso conoscitivo svolto per la qualificazione delle murature anche ai fini di una preliminare e sommaria stima delle loro proprietà meccaniche.

L'origine è l'analisi storica (rif. “RS-relazione storica.pdf”, redatta dall'ing. Roberto Ballardini, già sopra richiamata, elaborata nell'ambito del progetto per “lavori di manutenzione straordinaria per rifacimento coperto e intervento provvisorio di messa in sicurezza mediante ripristino di lesioni diffuse nel padiglione 3, sede amministrativa, ala B”), da cui si trae una prima possibile mappa cronologica di accrescimento dell'aggregato.

L'attendibilità della mappatura, costruita sulla base del rilievo architettonico fornito dalla committenza e dell'analisi storica succitata, non è elevata, dovendosi tradurre informazioni talora solo descrittive in step evolutivi diacronici tridimensionalmente definiti, ma l'elaborazione è necessaria per la progettazione del numero e localizzazione delle prime indagini, da discriminarsi sulla varietà muraria attesa.

Segue l'identificazione quantitativa dei saggi programmati su ogni singolo passo costruttivo individuato, calibrata ad ottenere un significativo campionamento dei caratteri materico compositivi del paramento murario tipo, relativi alla specifica fase di sviluppo.

Il piano di indagini assume in situ carattere qualitativo potendosi saggiare, stante lo stato d'uso di gran parte dei locali e la non completa accessibilità, limitate porzioni del sistema murario, spesso indagabile solo su un lato del paramento.

I dati raccolti nella campagna di prove seguono restituiti in forma di schede che, oltre a dettagliare geometricamente e matericamente il paramento rilevato, riportano una serie di note, in ordine all'attendibilità/qualità dell'informazione, alle deduzioni ed estrapolazioni possibili, alla corrispondenza con quanto atteso.

L'analisi delle schede, con particolare riferimento alle note di correlazione, consente una revisione della mappatura della successione evolutiva della fabbrica, nonché una prima classificazione dei paramenti murari in ordine alle relative proprietà meccaniche.

Come annotato nelle schede trattasi di una classificazione ancora soggetta ad ampio margine di perfezionamento permanendo incertezze connesse all'elevatissimo grado di rimaneggiamento a cui è stata assoggettata la fabbrica dalla sua origine ad oggi.

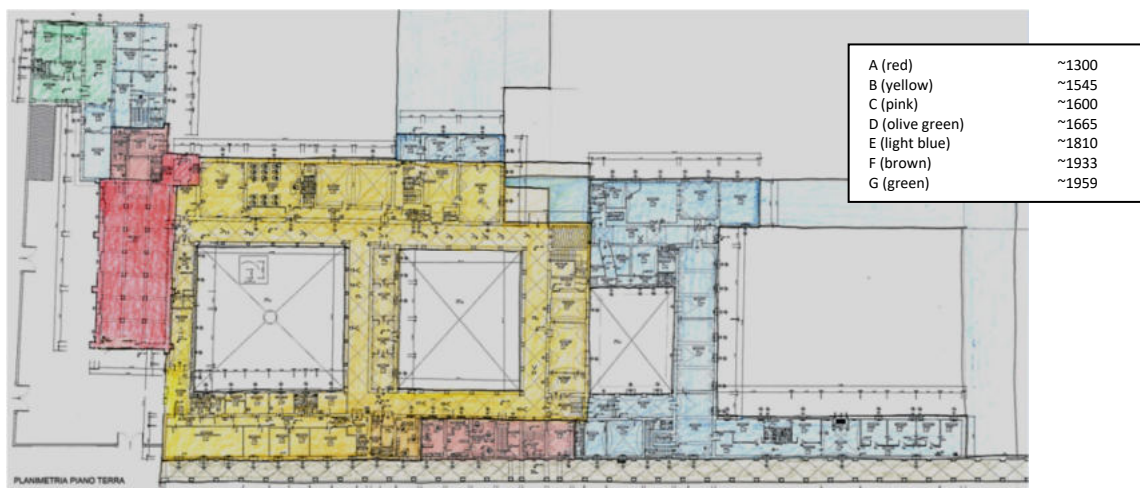
Conseguentemente i dati rilevati in tale fase preliminare hanno significato statistico e risultano funzionali solamente a valutazioni qualitative e numeriche di massima.

È implicito che nelle fasi progettuali successive sarà necessario implementare le rilevazioni svolte, tramite rimozioni diffuse di intonaco e generalizzate operazioni di battitura finalizzate all'individuazione specifica delle tipologie murarie presenti e alla localizzazione e qualificazione delle relative molteplici discontinuità. Sarà inoltre parallelamente auspicabile adeguata implementazione dell'analisi storica al fine di consentire maggiore e più precisa definizione delle tipologie murarie utilizzate in ogni singola fase di accrescimento.

Nelle fasi progettuali definitivo/esecutiva sarà possibile infine eseguire prove dirette di caratterizzazione meccanica dei materiali, qui preliminarmente classificati in applicazione dei parametri medi indicati da normativa e letteratura.

Prima mappa di accrescimento

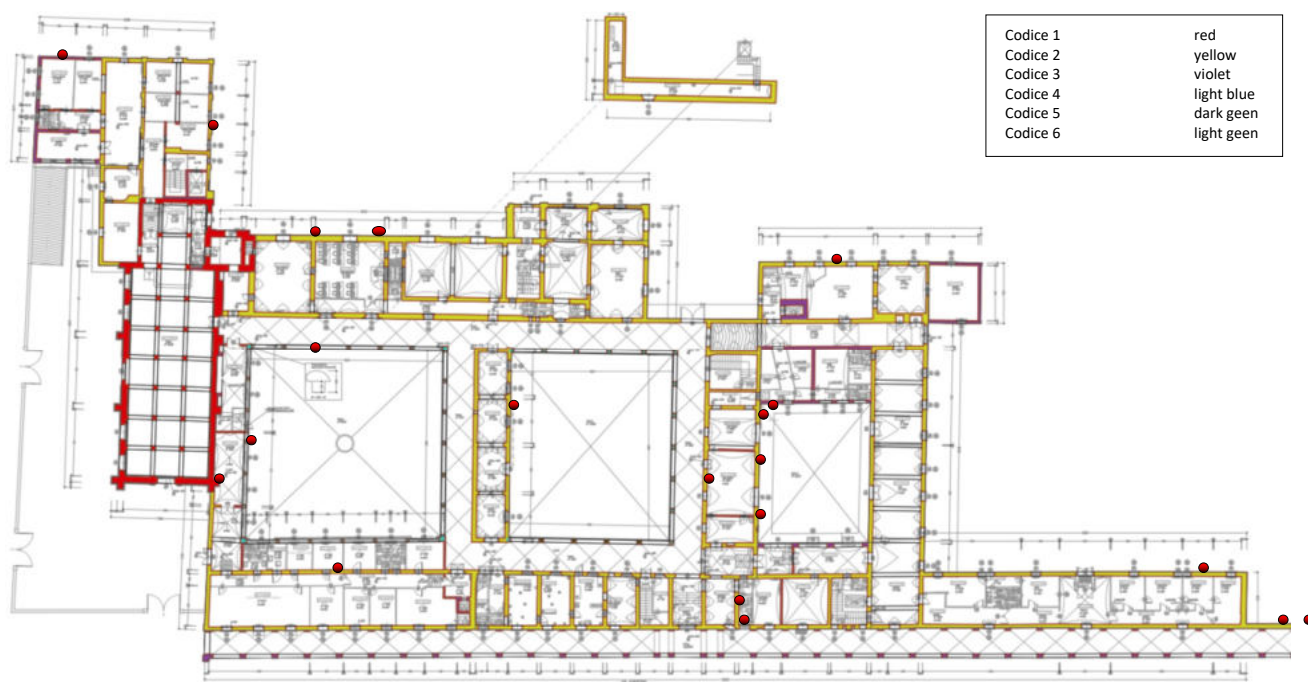
Si riportano di seguito, in relazione ai piani terra, primo e secondo, i passi costruttivi, così come estrapolati dalla relazione storica succitata, utilizzati per la pianificazione delle indagini.



Rilievo della qualità muraria

Si rimanda all'allegato 3 "*Schede rilievo murature*" per la restituzione della prima fase di indagine in forma di schede contenenti localizzazione del saggio, annotazioni e appunti funzionali all'estrapolazione dei dati raccolti, parametri geometrici e materici rilevati, immagine del saggio effettuato, codificazione del paramento.

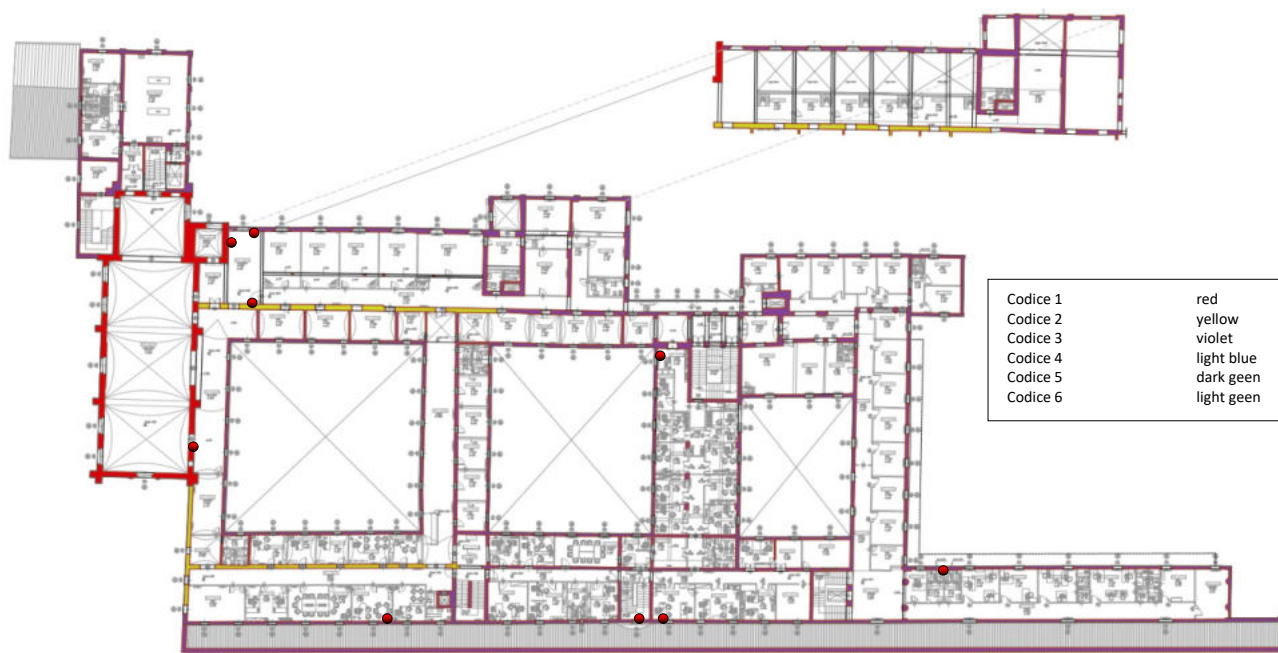
Seguono le piante di identificazione delle murature così come risultanti dalla citata prima fase di indagine e codificate in abaco più avanti riportato (a meno delle specificazioni aggiuntive derivanti dagli approfondimenti di indagine), implementate con la localizzazione dell'insieme delle indagini svolte. In relazione alle colonne murarie ed in cls dei due chiostri adiacenti la chiesa, se ne visualizza un particolare per la lettura del cromatismo e quindi del codice attribuito.



Pianta piano terra



Particolare colonnato chiostri lato via Albertoni



Pianta piano primo




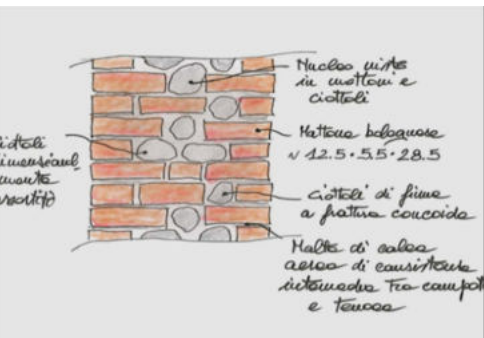

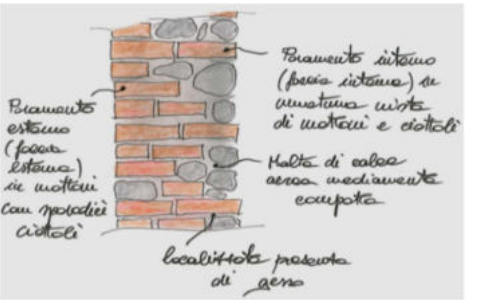

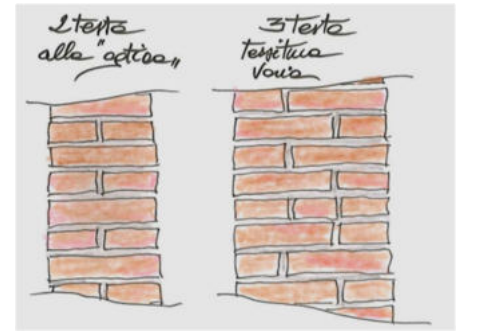
Pianta piano secondo


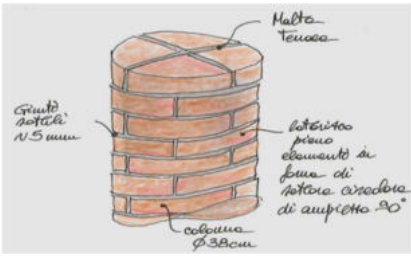

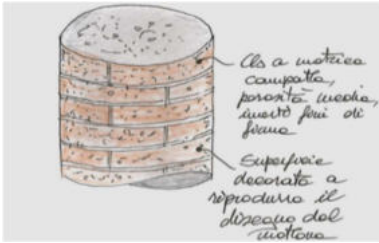

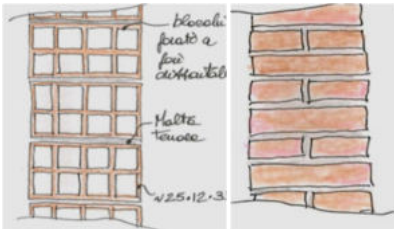
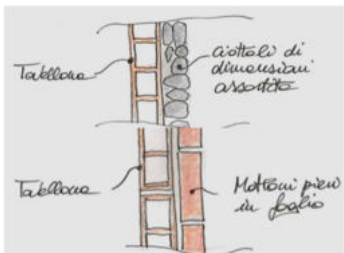

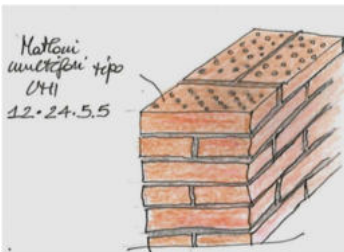
Alla prima schedatura è seguito, come sopra argomentato, un approfondimento di indagine principalmente mirato (per quanto riguarda il sistema murario) ad indagare le proprietà lungo spessore dei maschi, approfondendo alcuni dei già numerosi saggi effettuati in prima fase. L'esito di tale approfondimento è riassunto nell'allegato 7 "Integrazione indagini diagnostiche" al capitolo "schede murature (M), facendo riferimento al sub allegato 1 "Identificazione planimetrica delle indagini" per la localizzazione dei punti di indagine. In ordine alle indagini effettuate si costruisce un abaco ad hoc, riportato a seguire, in cui sono restituite le caratteristiche medie della muratura cui verranno associati specifici parametri meccanici.


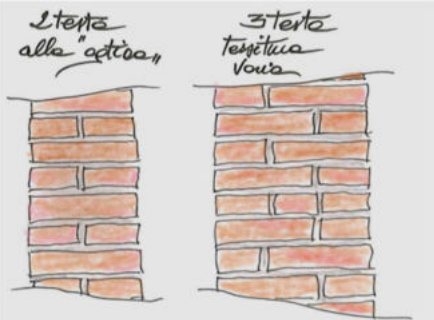
Per l'aggiornamento delle piante di identificazione delle murature così come risultanti a seguito dell'approfondimento di indagine, si rimanda agli elaborati grafici di "stato di fatto".

Abaco delle tipologie murarie: tipologia e schema tessitura

Il presente abaco raccoglie le tipologie murarie rilevate nel corso delle indagini sulle murature svolte sull'intero fabbricato in oggetto e calibrate sui vari corpi non coevi ad individuare i caratteri medi dei pannelli murari cui attribuire specifiche proprietà meccaniche. Si noti che non tutte le murature dell'abaco risulteranno implementate nelle calcolazioni. Le murature di cui ai codici 7 e 8 risultano infatti rispettivamente: considerata priva di capacità portante (cod.7), ed utilizzata per ricuciture locali, pertanto non caratterizzante il paramento nel suo complesso, (cod.8).

		<p>Muratura di due paramenti e nucleo centrale. Paramenti in mattoni pieni e localizzati ciottoli, nucleo in ciottoli parzialmente connesso da diatoni in laterizio.</p> <p>Apparecchiatura non sistematica con sfalsamento dei giunti solo parzialmente rispettato. Malta di calce aerea mediamente compatta.</p>	<p>C O D I C E</p> <p>1</p>
		<p>Muratura caratterizzata da materiali e tessiture diversi sulle due facce con faccia esterna in soli elementi laterizi o sporadica presenza di ciottoli, faccia interna del tipo misto in laterizio pieno e ciottoli. Sfalsamento dei giunti ad ampia variabilità. Malta di calce aerea di media consistenza.</p>	<p>C O D I C E</p> <p>2</p>
		<p>Muratura ad una, due o più teste composta di soli elementi laterizi organizzati secondo filari tipici.</p> <p>Sfalsamento dei giunti verticali e orizzontali rispettato.</p> <p>Malta di calce aerea di buona consistenza, nelle varie casistiche ricompresa tra compatta e tenace.</p> <p>Questa tipologia muraria è stata suddivisa in 3A e 3B in funzione della presenza o meno di diatoni</p>	<p>C O D I C E</p> <p>3</p>

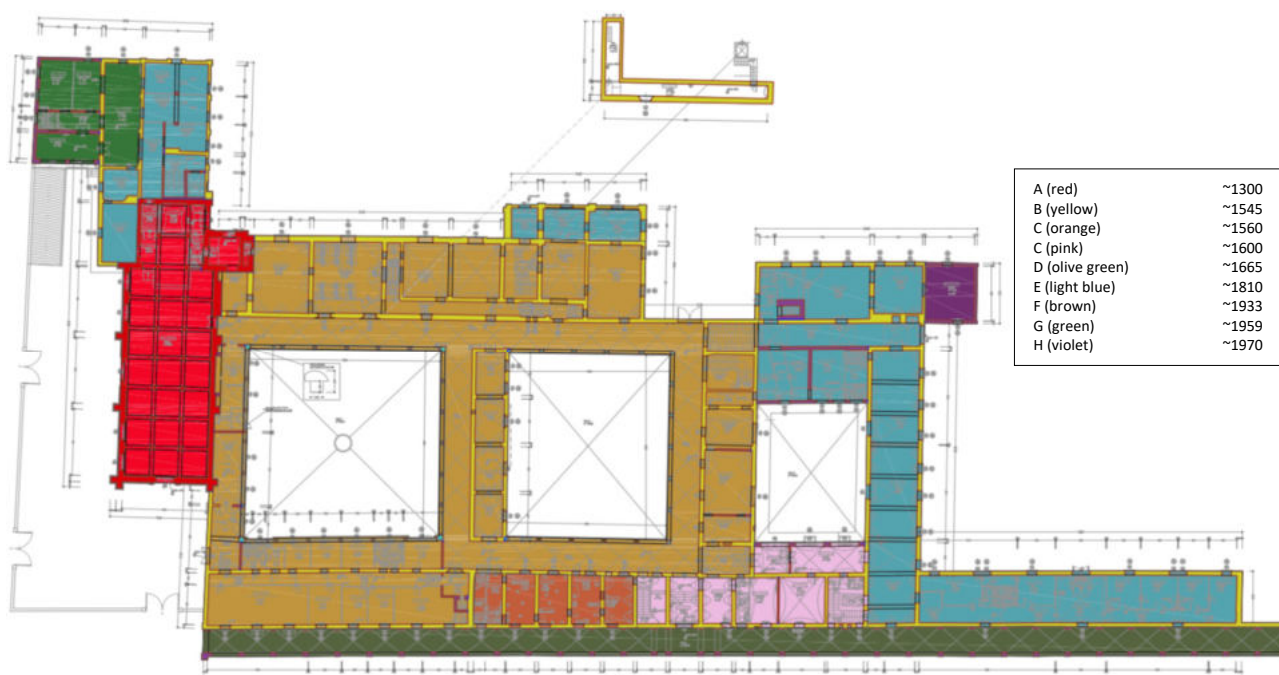
		<p>Muratura costituita da pezzi speciali in laterizio per la formazione di colonne cilindriche. Colonne ben apparecchiate, malta di calce aerea di qualità tenace, giunti sfalsati di metà dell'ampiezza elemento laterizio, spessore molto sottile.</p>	<p>C O D I C E</p> <p>4</p>
		<p>Colonne in calcestruzzo, sostitutive delle preesistenti in muratura. Calcestruzzo compatto mediamente poroso, inerti fini di fiume, localmente annidati, buon legame con la matrice, assenza di degrado apprezzabile.</p>	<p>C O D I C E</p> <p>5</p>
		<p>Muratura costituita da blocchi forati disposti a fori orizzontali. Il paramento è tipicamente discontinuo sullo sviluppo vedendo alternate porzioni in blocchi ad irrigidimenti in mattone pieno localizzati ai lati delle bucatore esterne.</p>	<p>C O D I C E</p> <p>6</p>
		<p>Muratura costituita da paramenti disaccoppiati l'uno, esterno, costituito alternativamente da ciottoli o mattoni pieni disposti in foglio, l'altro, interno da tavelloni in laterizio. Assenza di nucleo, connessione trasversale non rilevata. Giunti in malta di calce.</p>	<p>C O D I C E</p> <p>7</p>
		<p>Muratura costruita con l'utilizzo di mattoni del tipo UNI multicolori. Mattone non riconducibile a nessuno degli accrescimenti della fabbrica e rinvenuto solo localmente in corrispondenza di chiusure vani e/o tracce impiantistiche.</p>	<p>C O D I C E</p> <p>8</p>

		<p>Muratura costituita da paramento singolo ad una, due o più teste composta di soli elementi laterizi organizzati secondo filari tipici con presenza di diatoni. Sfalsamento dei giunti verticali e orizzontali rispettato. Giunti in malta cementizia buona</p>	<p>C O D I C E</p> <p>9</p>
---	--	---	--

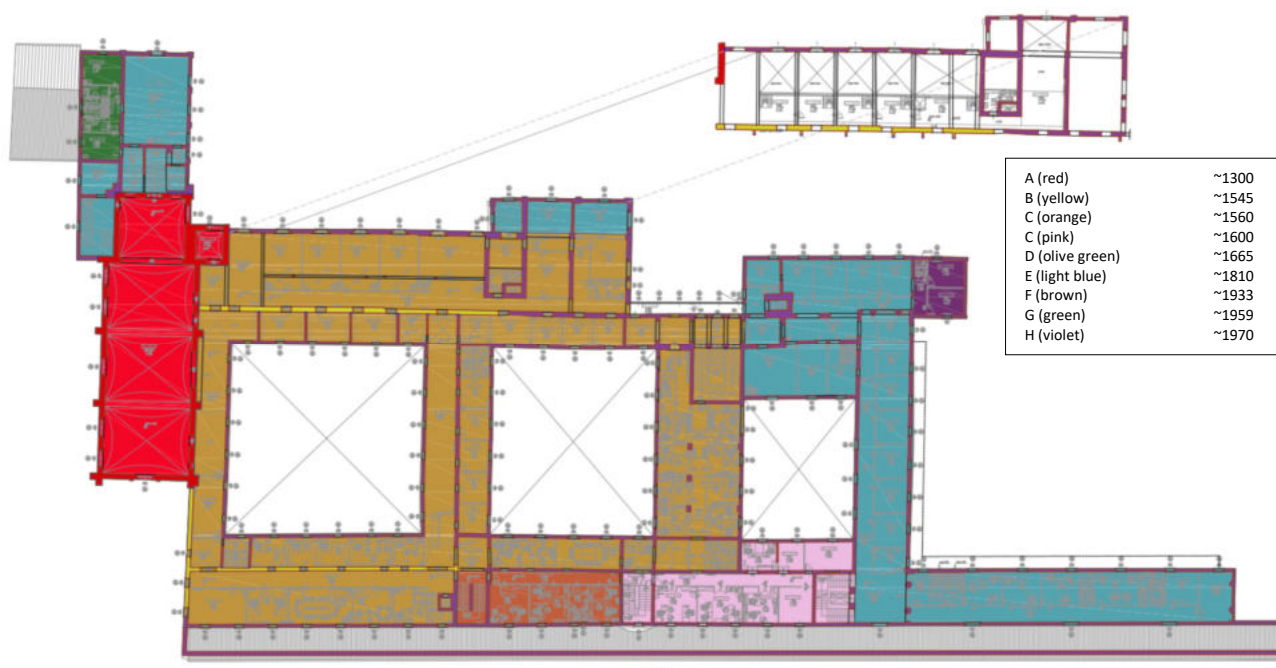
Nuova mappatura dell'ipotesi di accrescimento con codificazione dei pannelli murari

Ancora sulla base grafica del rilievo architettonico fornito dalla committenza, si esegue mappatura dei passi evolutivi così come ridefiniti a valle dei saggi. Si precisa, come suddetto, che trattasi comunque di un'interpretazione delle limitate fonti storiche disponibili ed eseguita a valle di un limitato numero di saggi, va pertanto assunta come prima ipotesi evolutiva da implementarsi ed affinarsi nelle fasi progettuali successive.

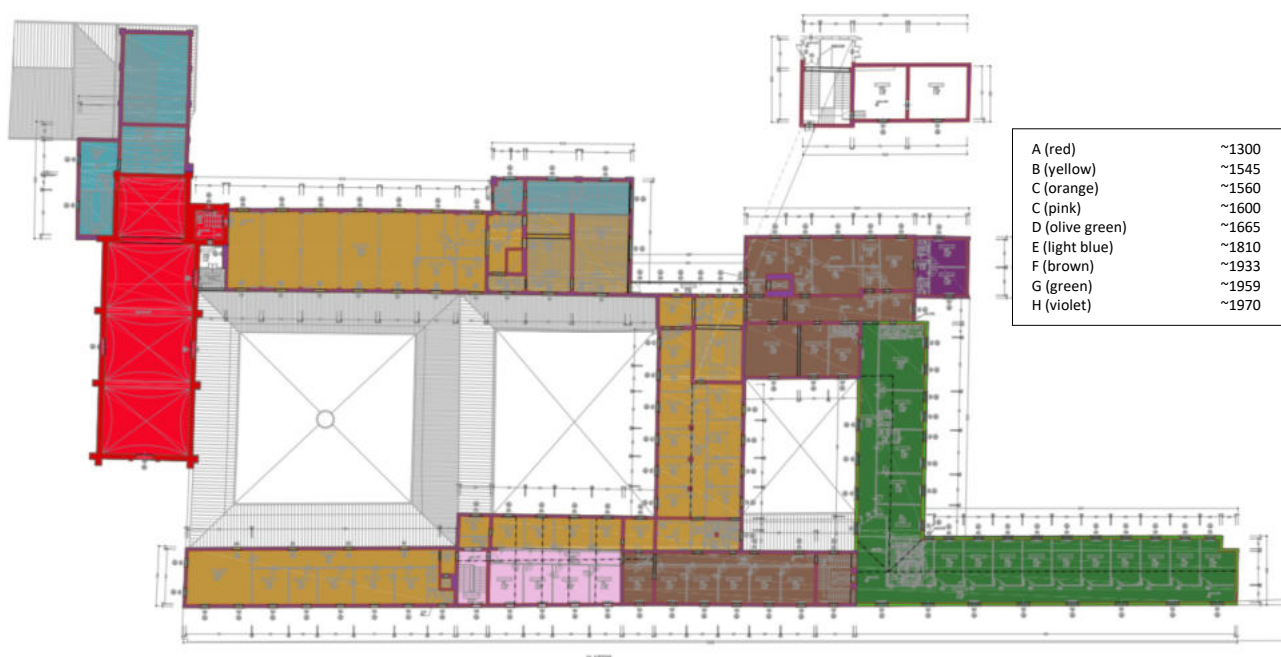
Nelle tre mappe che seguono, la legenda è da intendersi relativa alle sole campiture degli spazi interni, le campiture dei maschi murari indicano invece le tipologie murarie, per le quali si rimanda alle mappe successive.



Pianta piano terra



Pianta piano primo



Pianta piano secondo

Attribuzione dei parametri meccanici

Si riportano, a seguire, le considerazioni svolte in merito alle caratteristiche meccaniche delle murature. A valle della prima campagna di saggi e schedatura, per ogni tipologia muraria individuata, tenuto conto delle caratteristiche medie del pannello murario rilevato, si attribuiscono i valori di resistenza a compressione e

taglio, modulo elastico e peso specifico in applicazione dei parametri indicati in Circolare applicativa delle NTC 2018 (tabella C8.5.I, corretta con i coefficienti della tabella C8.5.II).

Successivamente, a seguito degli approfondimenti d'indagine, sono state affinate le valutazioni, implementando il metodo IQM (indice della qualità muraria) sviluppato dal prof. Antonio Borri, allineato ai dettami della circolare n.7/2019.

A seguire si riportano entrambe le valutazioni, anche per un confronto tra le due procedure, evidenziando sin d'ora che le valutazioni numeriche preliminari condotte in questa fase progettuale hanno fatto riferimento ai parametri calcolati con il metodo IQM (per le tipologie indagate). Non si specifica il parametro f_{v0} essendo che si ipotizzerà, stante pure le caratteristiche dei pannelli murari rilevati con particolare riferimento alla tessitura, generalmente irregolare, un meccanismo di rottura a taglio con fessurazione diagonale.

Nell'ambito delle prime valutazioni, le due tipologie murarie di riferimento sono rispettivamente "muratura in pietrame disordinata" e "muratura in mattoni pieni e malta di calce" per i quali la "Circolare Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7", fornisce i valori che seguono:

Estratto tabella C8.5.I					
Tipologia muraria	f (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	W (KN/m ³)
	min-max	min-max	min-max	min-max	
muratura in pietrame disordinata	1.0-2.0	0.018-0.032	690-1050	230-350	19
muratura in mattoni pieni e malta di calce	2.6-4.3	0.05-0.13	1200-1800	400-600	18

L'attribuzione dei parametri meccanici avviene, oltre che dall'assunzione dei valori minimi di range, sulla base di quanto segue:

- in relazione alle murature a sacco o miste (codici 1 e 2) i parametri vengono definiti tramite media pesata sulla base dello spessore,
- in relazione alle colonne in cls gli stessi vengono attribuiti, a favore di sicurezza, ipotizzando un calcestruzzo di modesta resistenza,
- in relazione alla muratura di cui al codice 6 (blocchi forati a fori orizzontali mista sullo sviluppo ad irrigidimenti in mattoni pieni), si determinano i parametri medi pesati sulle percentuali stimate di ogni tipologia, attribuendo al blocco forato parametri dedotti dalla letteratura tecnica².

cod	tabella C8.5.I (medie pesate)					coefficienti correttivi tabella C8.5.II			parametri utilizzati nelle calcolazioni (medie pesate con coefficienti correttivi)				
	f [N/mm ²]	τ_0 [N/mm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	W [KN/m ³]	giunti [>mm.13]	Malta buona	connessione trasversale	f [N/mm ²]	τ_0 [N/mm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	W [KN/m ³]
1	1,67	0,03	1133	378	18,58	SI	1	1,3	1,52	0,03	906	302	18,58
2	2,07	0,04	1290	430	18,33	SI	1	1,3	1,88	0,04	1032	344	18,33
3	2,6	0,05	1500	500	18		1,27	1,15	3,81	0,07	1912	637	18
4	2,6	0,05	1500	500	18		1,40	1,3	4,72	0,09	2096	699	18
5									15	0,4	25000	10416	25
6	1,70	0,04	1150	383	11		1	1	1,70	0,04	1150	383	11

² "Studio delle effettive caratteristiche di resistenza meccanica di blocchi a fori orizzontali" – Consorzio Poroton, in collaborazione con il laboratorio R'bk [Limana (BL)]

Tali parametri, a meno del γ materiale variabile in funzione della tipologia di analisi (e del fattore di confidenza, qui non precisato, stante che i dati non sono utilizzati come sopra detto), costituiscono l'input meccanico del modello.

Per le valutazioni condotte in sede di approfondimento di indagine, si rimanda all'allegato 7 "Integrazione indagini diagnostiche", in questa sede si riassumono solo i parametri finali adottati come l'input meccanico (a meno del γ materiale variabile in funzione della tipologia di analisi) del modello semplificato utilizzato per la valutazione preliminare della sicurezza nei confronti delle azioni gravitazionali (si è adottato $FC = 1,35$ quale fattore di riduzione dei parametri minimi di range per le resistenze, mentre per i moduli elastici si adotta il valore medio di range).

cod	f [N/mm ²]	τ_o [N/mm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	W [kN/m ³]	Note
1						proprietà non utilizzata, presente solo in "regione Chiesa"
2	2,04	0,04	1586	513	18,3	metodo IQM
3a	3,68	0,07	2523	854	18	metodo IQM
3b	1,33	0,03	1128	372	18	metodo IQM
4	3,5	0,07	2096	699	18	tabella Circ. 219
5	11,11	0,30	25000	10416	25	colonne in cls
6	1,34	0,03	1137	375	11	metodo IQM
7						non utilizzata nelle analisi
8						non utilizzata nelle analisi
9	4,94	0,07	3183	988	18	metodo IQM

Si riafferma infine, che tale lavoro di indagine sulle murature, nello spirito della fase progettuale di "studio di fattibilità" nel quale è stato svolto, risulta finalizzato ad individuare le tipologie murarie dominanti e valutarne problematiche e vulnerabilità generali allo scopo di indirizzare le scelte progettuali e valutarne i costi di massima. Conseguentemente, come più volte ribadito, attende implementazione nelle successive fasi progettuali.

4. CARATTERIZZAZIONE PRELIMINARE DEL SISTEMA DI ORIZZONTAMENTI

Come anticipato, a seguito delle richieste di integrazione della Commissione Congiunta, sono state eseguite indagini aggiuntive, soprattutto a carico dei sistemi di orizzontamento (volte, solai, coperture). Rimandando all'allegato 7 "Integrazione indagini diagnostiche" ed agli elaborati di "stato di fatto" (oltre che alle tavole di progetto pertinenti) per una più puntuale restituzione degli esiti delle indagini, si riassumono a seguire le principali risultanze di interesse ai fini della definizione degli interventi in progetto:

- vulnerabilità del solaio in legno presente nella US2 (secondo impalcato, ala compresa tra chiostro centrale e chiostro sud) e le volte sottostanti. Il solaio in legno è realizzato con orditure risultate essere di sezione esigua rispetto alla luce coperta. Le travi principali inoltre gravano, oltre che su pareti ad una testa realizzate in falso sulle volte sottostanti, anche su tramezzature in foglio anch'esse, in alcuni casi, in falso

sulle volte sottostanti. La vulnerabilità è peraltro attivata dal sisma come evidenziato a commento del quadro di danno;

- vulnerabilità solaio in laterocemento tipo STIMIP. Alcuni dei solai rilevati sono realizzati mediante travetti in c.a. con interposti tavelloni in laterizio estradossalmente ed intradossalmente al travetto. Si rileva la forte sensibilità a sfondellamento della tipologia di solaio in parola, con manifeste rotture rilevate già in sede di sondaggio. La vulnerabilità è peraltro attivata dal sisma come evidenziato a commento del quadro di danno;
- vulnerabilità solaio in laterocemento realizzato in opera a secco. Questa tipologia di solaio (solaio di sottotetto), oltre ad essere una soluzione pesante per un solaio che non ha funzione portante, risulta particolarmente fragile, con travetti che coprono grandi luci. La vulnerabilità è peraltro attivata dal sisma come evidenziato a commento del quadro di danno;
- in ampie porzioni della fabbrica è stata riscontrata la presenza di cordolo perimetrale (cfr. elaborati grafici di “stato di fatto”), ciò ha consentito di rivedere (in riduzione) gli interventi di incatenamento previsti originariamente;
- i sistemi voltati sono risultati essere coerenti con le attese: spessori frequentemente ad una testa, anche se non mancano volte in foglio; assenza di particolari sistemi di rinforzo, anche se localmente si ritrova presenza di riempimenti/massetti compatti a dimostrazione di interventi recenti. Il rilievo geometrico di precisione nell’area con murature fuori-piombo ha suggerito tuttavia la previsione di un rinforzo locale estradossale anche delle volte in tale regione;
- le volte rampanti della scala monumentale, presente nell’angolo sud-est della US2, sono caratterizzate da struttura in muratura di esiguo spessore, localmente danneggiate e deformate, tra PT e P1, mentre tra P1 e P2 risultano in cls, con spessori maggiori, senz’altro di fattura relativamente recente;
- nelle coperture si confermano, e più approfonditamente documentano, le vulnerabilità già individuate (assenza di collegamenti, carente organizzazione delle orditure, etc.) ed i danni presenti, certamente prodotti/aggravati dal sisma (manifesti in sconnessioni del manto e delle orditure che hanno prodotto diffuse infiltrazioni ed ammaloramenti di strutture lignee e, spesso, dei sottostanti controsoffitti).

5. ANALISI DEL QUADRO DI DANNO E DI VULNERABILITA’

Si rimanda all’allegato 2 “*Relazione fotografica - di inquadramento e sul quadro di danneggiamento*” ed agli elaborati grafici dello “Stato di fatto” (serie EL.2.X) e “EL.3.1 – Riparazione di lesioni su murature e volte” per una puntuale documentazione e localizzazione dei danni registrati dall’aggregato Padiglione 3 ad opera degli eventi sismici del maggio 2012.

Ritenendo pleonastica una elencazione di quanto documentato fotograficamente e localizzato negli elaborati grafici, si richiamano brevemente: (i) al piano terra, la presenza di lesioni diffuse alle volte dei portici e da schiacciamento nelle colonne degli stessi; (ii) ai piani primo e secondo, anche in regioni differenziate tra i due livelli, lesioni nei solai, ai tramezzi, ai controsoffitti, ai sistemi voltati, ai confini volte/pareti, ai cannucciati, ai vani scala; (iii) sulle pareti in generale, lesioni da taglio nelle murature/architravi, da martellamenti, da schiacciamento, da meccanismi locali.

In questa sede si intende piuttosto fornire una lettura critica al danno riscontrato, evidenziando il legame tra quadro fessurativo e vulnerabilità attivate, per ciascuna tipologia di meccanismo. Ad ausilio della lettura/interpretazione del quadro di danno e di vulnerabilità è stato messo a punto un modello numerico dell’aggregato. Si rimanda all’allegato 4 – “*modello numerico*” per la descrizione dello stesso e per una sintesi dei risultati e delle considerazioni tratte ai fini del presente lavoro. Ai risultati del modello predisposto

nell'ambito del progetto di fattibilità si aggiungono quelli esposti nella "VDS-DICAM-1°Liv.". A seguire si riportano le considerazioni in merito a ciascuna tipologia di danno/meccanismo/vulnerabilità.

- *Meccanismi di rottura per carichi verticali* – Diverse sono le lesioni provocate dal sisma correlabili a carenze della capacità portante nei confronti dei carichi verticali (meccanismi attivati dalla componente verticale del sisma e/o dagli effetti flessionali che si sommano alla compressione). Quelle di più immediata lettura sono probabilmente le lesioni verticali o sub-verticali presenti nelle colonne dei portici ed in colonne/lesene inglobate nelle murature d'ambito, ma non sono le sole. In più parti della fabbrica si rilevano lesioni sub-verticali imputabili a stati tensionali verticali eccessivi. Le componenti verticali del sisma, unitamente agli incrementi delle tensioni locali indotte dai carichi laterali, hanno danneggiato gli elementi sottolineando lo scarso margine di sicurezza esistente.

Oltre che sulle strutture murarie, i meccanismi legati a carichi verticali (attivati/aggravati dalla componente verticale del sisma) si manifestano anche sui solai caratterizzati da scarsa capacità nei confronti delle azioni gravitazionali. Ne costituiscono un palese esempio il solaio in legno presente nella US2 (secondo impalcato, ala compresa tra chiostro centrale e chiostro sud) e le volte sottostanti. Il solaio in legno, infatti, è realizzato con orditure risultate essere di sezione esigua rispetto alla luce coperta. Le travi principali inoltre gravano, oltre che su pareti ad una testa realizzate in falso sulle volte sottostanti, anche su tramezzature in foglio anch'esse, in alcuni casi, in falso sulle volte sottostanti.

Tra le carenze nei confronti dei carichi verticali, le più pericolose sono quelle che non vedono possibilità di redistribuzione delle sollecitazioni: colonne (per la esiguità di area resistente su cui ridistribuire), pareti snelle (per la sensibilità ai fenomeni di instabilità), pareti con paramenti mal collegati (per la possibilità di meccanismi locali interni o persino disgregazioni dell'apparato murario prima ancora che possa essere attivata la capacità resistente del "maschio" - queste sono senz'altro le più "subdole"), elementi "in falso" (per l'imprevedibilità del loro comportamento - normalmente basato sulla formazione di "archi di scarico" il cui schema di vincolo risulta assai sensibile a condizioni locali e che gli stati sollecitativi indotti dal sisma possono rendere inefficace).

A completamento del quadro di vulnerabilità per carichi verticali, si richiamano i risultati dei modelli numerici sopra citati.

- *Meccanismi di primo modo (meccanismi locali) per azioni orizzontali* – Anche le, peraltro attese, carenze nei vincolamenti interni tra strutture orizzontali e verticali, nonché negli elementi di contrasto alle spinte, trovano conferma nel quadro di danneggiamento determinato dagli eventi del 2012, che vede l'attivazione di diversi meccanismi locali, con martellamenti degli elementi di copertura, tendenze al ribaltamento e flessione fuori piano delle pareti (nelle loro diverse forme), danneggiamenti nei terminali delle catene, etc.. In alcuni casi le deformazioni sono tali da segnalare pronunciati fuori-piombo nelle pareti (frutto anche di accumuli deformativi nel tempo). Anche le lesioni d'angolo e nei martelli murari sono di fatto inquadrabili in questa categoria di danneggiamento.

I soli vincolamenti presenti nell'aggregato sono quelli realizzati con interventi recenti (cfr. Allegato 1 "documentazione fornita dal committente") nei sottotetti/coperture relativi a (i) "chiesa di San Gregorio", (ii) zona "ufficio tecnico / archivio"; (iii) due ali del portico su corti interne (cfr. tavola di intervento sulle coperture, regioni non oggetto di intervento). La stessa, già citata, "VDS-DICAM-1°Liv." evidenziava carenze importanti in tal senso, attivate dal sisma del maggio 2012.

- Meccanismi nel piano delle pareti (meccanismi globali) per azioni orizzontali* – Sono correlabili a questa fattispecie le diverse lesioni presenti all'interno dei maschi murari e delle fasce di piano (architravi). Gli aspetti dimensionali e la qualità dei materiali (malte scadenti) e delle apparecchiature murarie (paramenti spesso non ben collegati) hanno fatto sì che alcuni meccanismi globali si siano attivati anche per un'azione sismica relativamente modesta.

Tale "precocce" attivazione è da leggere con particolare cautela soprattutto negli elementi con scarse capacità ridistributive (si rimanda ai commenti già evidenziati al punto "*meccanismi di rottura per carichi verticali*"), quali sono le murature a sacco con paramenti non collegati.
- Danni da "effetti di aggregato" e da irregolarità plano-altimetriche* – Numerosi e diffusi sono i danneggiamenti imputabili ad irregolarità plano-altimetriche e costruttive. Ove non manifestatamente presenti lungo il confine teorico tra US, o in prossimità ad esso, il danneggiamento si ritrova nelle murature e/o negli orizzontamenti in prossimità di altre singolarità geometrico-costruttive.
- Manca di impalcato rigidi/resistenti e di incatenamenti di piano* – In aggiunta ai danni già segnalati come "meccanismi di primo modo", sono imputabili alle carenze in parola anche gran parte dei danni prodotti dal sisma nei solai e nelle volte, nonché alle interfacce tra questi e le pareti murarie.

Particolarmente sensibili, in tal senso, sono (oltre al solaio in legno già sopra citato) i solai in laterocemento tipo STIMIP e quelli realizzati in opera con laterizio armato a secco (cfr. paragrafo "*caratterizzazione preliminare del sistema di orizzontamenti*").

Anche gli incatenamenti intradossali di archi e volte hanno mostrato in più punti segni di cedimento in occasione del sisma del 2012 (in particolare nei tiranti dei portici prospicienti i chiostri), indice di condizioni precarie plausibilmente imputabili a degradi del metallo e/o della muratura nelle regioni di ancoraggio (capichave).
- Manca di collegamenti in copertura e tra copertura e murature* – Anche questa categoria di carenze è stata diffusamente denunciata dai danneggiamenti occorsi nel maggio 2012, con sconnessioni dei coperti e martellamenti/sfilamenti tra elementi lignei di copertura e murature. L'alta deformabilità nel piano degli orizzontamenti di coperto, unitamente alla labilità dei nodi, non consentono di leggere in modo diretto un quadro fessurativo a carico degli impalcato di copertura ma a testimonianza dell'attivazione dei meccanismi vi sono le lesioni orizzontali e sub-orizzontali presenti ai piani alti di diversi corpi, in prossimità delle imposte di coperto, oltre che le infiltrazioni di acque meteoriche registrate dopo il sisma in diversi punti dei soffitti sottotetto (quadro peraltro in evoluzione).

Le carenze dimensionali, la qualità dei materiali (difetti ed attacchi di insetti xilofagi a carico delle membrature lignee) e le tipologie costruttive (orditure lignee non collegate tra loro e piani di copertura in tavelle/tavelloni di laterizio spesso precariamente appoggiate) hanno senz'altro favorito i danneggiamenti nel maggio 2012.
- Carenze nei sistemi fondali* – Sebbene non sia agevole, in generale, rilevare e distinguere esattamente i danni prodotti dal sisma sui sistemi fondali (con effetti anche sulle sovrastrutture), appare ragionevole imputare parte dei danni visibili (tra quelli manifesti sotto forma di lesioni ed inclinazioni di parete) ai

meccanismi fondali attivati o peggiorati dal sisma, anche in considerazione delle importanti eterogeneità presenti, per terreni, tipologia e profondità.

- *Controsoffitti, arellati, tramezzature* – Le volte in cannuciatto sono state diffusamente danneggiate dal sisma del 2012 con lesioni di diversa entità, fino ad avere in alcuni casi aree significative interessate da crolli (ad es. nell’area adiacente alla chiesa – esclusa dalla perimetrazione di intervento ma ben rappresentativa della problematica presente anche nelle US oggetto del presente progetto). Localmente inoltre sono evidenti degradi dovuti a percolazioni dalle coperture (problematica riscontrata anche nei controsoffitti), che nelle situazioni più critiche hanno provocato anche distacchi di intonaco. Anche le tramezzature (mal collegate tra loro ed alle strutture, laterali e sommitali) sono state danneggiate, con demarcazione delle discontinuità costruttive, lesioni agli angoli e nelle linee di intersezione con gli orizzontamenti (solai di sottotetto – controsoffitti pesanti), oltre che con fessurazioni interne ai pannelli. Questi fenomeni sono stati particolarmente pronunciati nella US1 (all’estremità sud del padiglione, nella porzione di edificio parallela a via Albertoni - tramezzature) e presenti in misura minore nel resto del complesso.
- *Cabina elettrica su via Albertoni* – Le plausibili carenze del sistema fondale, con conseguenti stati tensionali anomali già prima del sisma, unitamente alla presenza di finestrature “a nastro” asimmetriche che rendono assai vulnerabile il sostegno dell’impalcato di copertura, hanno fatto sì che gli eventi sismici del maggio 2012, pur con risentimenti al sito modesti, producessero danni molto gravi alle strutture nel fabbricato sud. Si registrano infatti dislocazione dell’impalcato, lesioni alle murature e movimenti di corpo rigido (i danni sono chiaramente visibili nell’elaborato “EL.3.7 – Cabina elettrica (fabbricato sud)”).

Come anticipato in “*relazione generale*”, parte dei danni subiti a seguito degli eventi del maggio 2012 sono stati riparati con fondi propri e/o europei. Con tali fondi furono presidiate le situazioni più urgenti, da risolvere immediatamente per consentire l’uso, ove possibile, e/o salvaguardare porzioni di fabbricati la cui sicurezza era stata compromessa già nelle condizioni di esercizio ordinario (azioni permanenti ed “antropiche”). Tali situazioni si intendono già sanate e non sono state incluse né nella sintesi interpretativa sopra fornita, nel presente allegato, né nella documentazione/localizzazione riportata nell’allegato 2 “*relazione fotografica - di inquadramento e sul quadro di danneggiamento*”. In alcuni limitati casi, in occasione dei citati interventi, le lesioni minori sono state “coperte” al solo fine di evitare “effetti panico” negli utenti/dipendenti; in questi casi i danni di considerano “non riparati” e sono stati documentati (con simbologia che li distingue dagli altri) sia nella citata documentazione fotografica (allegato 2) che nelle tavole dello “Stato di fatto” (serie EL.2.X) e “EL.3.1 – Riparazione di lesioni su murature e volte

Trattasi comunque di interventi minimali, rispetto all’estensione del fabbricato e dei danni ancora presenti, di pura “messa in sicurezza”; ci si riferisce, in particolare a (ulteriori dettagli in tal senso sono forniti in Allegato 6 “*interventi recenti ed aree non utilizzabili*”):

- intervento con fondi EUSF - Codice 2352 “Intervento provvisorio di messa in sicurezza mediante ripristino di crepe determinate dagli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 del Padiglione 3 - Amministrazione e Biblioteca” (Importo finale € 392.663,79 IVA compresa);

- intervento con fondi aziendali “Intervento provvisorio di messa in sicurezza mediante ripristino di crepe determinate dagli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 del Padiglione 3 - Amministrazione e Biblioteca - Il° Stralcio - Rifacimento del coperto dei locali del piano primo Ala A e C soprastanti il portico dei chiostri del Padiglione 3 – Amministrazione” (Importo finale € 225.788,93 IVA compresa).

Con tali primi fondi sono stati realizzati i seguenti presidi:

- Messa in sicurezza del coperto in legno della Biblioteca;
- Messa in sicurezza di porzione di coperto in legno sopra gli uffici tecnici;
- Riparazione di nr.2 tiranti in acciaio posizionati nei portici esterni;
- Inserimento di nr. 4 tiranti all'interno dell'Ufficio Stampa.
- Sistemazione di lesioni localizzate sui paramenti murari maggiormente danneggiati.

Il quadro risultante dalla situazione di danno descritta in questo capitolo è quello di un aggregato caratterizzato da vulnerabilità importanti, in gran parte attivate, seppur in misura diversa, già dal modesto sisma del maggio 2012 (modesto in relazione ai risentimenti sul sito in esame).

I danni registrati, evidentemente, oltre a denunciare le vulnerabilità della fabbrica, le hanno accentuate ed hanno ridotto ulteriormente la capacità delle strutture, sia nei confronti delle azioni sismiche che di quelle “ordinarie”.

6. INDICAZIONE PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI PREVISTI

Il quadro fessurativo descritto al capitolo precedente è a carico sia delle strutture (verticali, orizzontali, voltate, di copertura) che degli elementi non strutturali (tramezzature, controsoffitti, arellati, etc.). Sono interessati sia meccanismi globali (comportamento nel piano di pareti ed orizzontamenti) che locali (nelle loro molteplici espressioni); questi ultimi, peraltro, compromettono il corretto funzionamento d'insieme della fabbrica, anticipando con crisi locali quello che dovrebbe essere il “funzionamento scatolare” della costruzione in muratura.

Risulta pertanto indispensabile intervenire per ripristinare la capacità pre-sisma e rinforzare la fabbrica nei suoi punti più deboli, quantomeno nei termini e con le finalità tipiche di “interventi locali” (ai sensi delle NTC-2018) e nel rispetto di quanto disposto dall'art.3, c.1 del “Regolamento” allegato all'ordinanza n.6 del 14 marzo 2017 della S.T.C.D. della Regione Emilia-Romagna (nel seguito “Regolamento”). Quest'ultima, si ricorda, dispone che *“oltre la riparazione del danno, si dovrà conseguire, tenendo conto del tipo e del livello del danno, un incremento della capacità dell'edificio di resistere al sisma mediante opere di rafforzamento locale progettate ai sensi del punto 8.4.3. delle Norme tecniche per le costruzioni”*³.

Non ci si può dunque limitare alla “ricucitura” dei quadri fessurativi. Pur nell'ambito di interventi classificabili come “riparazione o intervento locale”, risulta infatti indispensabile, oltre che la riparazione dei danni prodotti dal sisma, anche un consolidamento degli elementi/macroelementi interessati al fine di mitigare la vulnerabilità di meccanismi attivati già da un terremoto che, per i risentimenti registrati nel sito in esame, a notevole distanza dall'epicentro, è da ritenersi di modesta entità (periodo di ritorno breve). D'altra parte,

³ Il “punto 8.4.3. delle Norme tecniche per le costruzioni” qui citato è riferito alle NTC-2008; trattasi dunque di interventi di riparazione e/o interventi locali.

l'elevata vulnerabilità dei fabbricati in epigrafe rende senz'altro più complesso ed oneroso l'intervento di riparazione dei danni provocati dal sisma.

Si ricorda che il complesso in esame è soggetto a "tutela" e che gli interventi dovranno necessariamente essere rispettosi del valore storico-culturale del bene.

Resta inteso che l'elevata vulnerabilità dei fabbricati costituenti il Padiglione 3 "Sede Amministrativa" (così come documentata anche nella "VDS-DICAM-1°Liv.", alla quale si rimanda per maggiori dettagli) richiederebbe interventi ben più corposi/onerosi, idonei alla mitigazione anche delle vulnerabilità/meccanismi non attivati dal sisma del maggio 2012. Tali interventi, tuttavia, esulerebbero dalle finalità del "Regolamento", dunque dall'incarico affidato per la relazione del progetto di fattibilità tecnico-economica.

Quanto sopra premesso, si elencano di seguito gli interventi previsti in via preliminare, da dettagliare - ed eventualmente ricalibrare - nelle fasi progettuali successive a valle degli approfondimenti di indagine più volte citati, illustrando le finalità primarie dei medesimi.

Riparazione e consolidamento delle strutture murarie

- ***Riparazione dei quadri fessurativi e chiusura nicchie/cavedi, risoluzione di singolarità.*** Si prevede che le lesioni isolate, ma anche le singolarità costruttive presenti nelle forme "consuete" di nicchie, cavedi, vani chiusi in maniera non efficace, etc., siano riparate/consolidate con interventi tradizionali di cuciscuci o, nei casi di lesioni lievi e medie, con iniezioni semplici di malta, eventualmente coadiuvate dall'uso di cunei in metallo/laterizio per il ripristino degli stati sollecitativi.
Per la localizzazione degli interventi si rimanda alla rappresentazione del quadro di danno, da integrare nelle successive fasi progettuali anche con l'individuazione puntuale delle citate "singolarità". (elaborato "EL.3.1 – Riparazione di lesioni su murature e volte")
- ***Riparazione dei quadri fessurativi diffusi.*** Le regioni murarie interessate da quadri fessurativi minori ma diffusi, tipicamente segno di qualità assai modeste di malte e tessiture, potranno essere più propriamente trattate con tecniche di ristilatura profonda dei giunti, semplice o armata, anche in funzione delle tessiture localmente riscontrate.
In questa sede si individuano, quali elementi possibilmente interessati dalla lavorazione, gran parte delle murature a sacco con paramento a vista o senza diatonature elaborati grafici si omette esplicita localizzazione, ritenendo che quella citata costituisca solo esemplificazione di una situazione ben più diffusa che emergerà a valle degli approfondimenti di indagine e delle rimozioni di intonaco, anche in corso d'opera (di ciò dovrà tener conto il progetto definitivo/esecutivo). (elaborato "EL.3.1 – Riparazione di lesioni su murature e volte")
- ***Rinforzo pareti in muratura.*** Questa categoria di interventi intende porre rimedio a danni e carenze correlabili a: (i) paramenti murari scollegati o mal collegati, in murature sostanzialmente qualificabili "a sacco" o comunque a paramenti non collegati; (ii) snellezze eccessive di pareti, con particolare riferimento a quelle di spessore assai esiguo, tipicamente tessute ad "una testa"; (iii) situazioni di muri

strutturalmente significativi sostenuti “in falso” da archi, travi, volte, solai; (iv) altre pareti con carenze importanti in termini di rapporto capacità/domanda nei confronti delle azioni gravitazionali.

Diverse carenze sono spesso co-presenti all’interno dei medesimi elementi costruttivi. Si intende che in tali casi gli interventi dovranno essere integrati ed ottimizzati, sia dal punto di vista dei costi che della tutela. Ai fini della progettazione preliminare, si individuano possibili soluzioni tipologiche corrispondenti alle singole problematiche. Alla prima forma di carenza si potrà porre rimedio, in generale, mediante l’uso di “tirantini antiespulsivi” e/o diatonature, realizzabili con diverse tecnologie. Alla seconda, si potrà far fronte mediante fasce di intonaco armato (ad es. con reti in fibra e malta di calce) o mediante lesene stabilizzatrici in muratura, legno, metallo. Le murature “in falso” potranno essere trattate, ove possibile, mediante realizzazione di sottostanti pareti che riportino al direttamente suolo i carichi da esse trasmesse, negli altri casi, con elementi di ripartizione del carico (metallici o in muratura) ed il rinforzo del solaio di appoggio. Infine, le residue carenze importanti in termini di rapporto capacità/domanda nei confronti delle azioni gravitazionali - posto che gran parte di queste, così come desunte dal modello di calcolo preliminare, risultano a carico di pareti già affette da almeno una delle altre tre forme di vulnerabilità appena citate, quindi di specifico intervento di rinforzo – potranno essere risolte con interventi di varia natura, secondo la tipologia costruttiva della parete stessa (iniezioni di malta, intonaci armati, lesenature, cuci-scuci diffusi, stilature profonde, etc.).

Nell’elaborato grafico “EL.3.2 - “Consolidamento murature” è fornita una localizzazione di larga massima correlando le quattro tipologie di intervento citate, rispettivamente, a: (i) tipologia muraria, tipicamente individuata come a paramenti separati; (ii) spessore delle murature, così come dedotto dai rilievi disponibili; (iii) evidenza di pareti “in falso”; (iv) risultanze del modello numerico, al quale si rimanda in Allegato 4. Per quest’ultima fattispecie si è ritenuto opportuno distinguere le murature in mattoni pieni regolarmente tessute da quelle miste, per la plausibilmente diversa tecnologia applicabile. (elaborato “EL.3.2 – Consolidamento murature”)

Si rimanda a quanto già sottolineato in premessa di Allegato 4 - “*modello numerico*” - in merito alla necessità di definire la localizzazione degli interventi a valle degli approfondimenti conoscitivi e di modellazione che dovranno essere condotti in sede di progetto definitivo-esecutivo e/o dei raccomandati approfondimenti della valutazione della sicurezza.

- **Rinforzo colonne in muratura.** Considerato lo stato fessurativo e deformativo che caratterizza un numero importante di colonne murarie, si opta per un consolidamento di tutte quelle soggette a stati sollecitativi significativi, a prescindere dalla formale verifica di sicurezza nei confronti delle azioni gravitazionali (in diversi casi comunque non soddisfacente).

Le colonne su cui si ipotizza di intervenire sono localizzate nell’elaborato grafico “EL.3.4 – Interventi su chiostri, soppalco e pareti con ampia specchiatura”.

- **Consolidamenti localizzati delle fondazioni.** L’intervento intende porre rimedio alla probabile concausa (carenze fondali attivate/peggiorate dal sisma e meccanismi di primo modo) di rotazioni di pareti e colonne, con particolare riferimento a due lati di uno dei chiostri interni.

Si potrà intervenire con soluzioni tradizionali, superficiali o semi-profonde (micropali di modesta profondità), curando il collegamento alle strutture esistenti mediante idonea cordolatura e previa verifica locale della geometria fondale esistente e del terreno.

L’intervento è localizzato nell’elaborato grafico “EL.3.4 – Interventi su chiostri, soppalco e pareti con ampia specchiatura”

- **Stabilizzazione pareti di grande luce.** Gran parte della fabbrica è caratterizzata da strutture murarie portanti sostanzialmente monodirezionali, con pareti alquanto rade in direzione ortogonale a quella principale (spesso solo quelle di “testata”). Gli effetti di questa vulnerabilità sono stati chiaramente palesati (significativamente ad opera degli eventi sismici del 2012), oltre che nella produzione dei “fuori-piombo” della parete sud-ovest del chiostro nord, anche nella formazione di lesioni orizzontali a mezz’altezza di diverse pareti (ad es. al primo piano dell’ala a est del chiostro nord), e possono potenzialmente interessare numerose altre porzioni della fabbrica. Nello spirito di offrire adeguato vincolo fuori piano a tali pareti, si prevede la realizzazione di lesene metalliche stabilizzanti, che irrobustiscano la capacità a flessione fuori piano delle pareti più ampie

Si rileva che l’intervento non viene esteso a tutte le pareti che ne avrebbero esigenza, ma viene limitato alle regioni maggiormente danneggiate e, almeno parzialmente, inagibili (ove, peraltro, comporta lavorazioni di finitura connessa relativamente limitate - si rimanda all’elaborato grafico “EL.3.4 – Interventi su chiostri, soppalco e pareti con ampia specchiatura” per la localizzazione dei rinforzi in parola). In altre regioni dell’aggregato, si potrà utilmente intervenire in occasione di più sistematici interventi di miglioramento e/o di manutenzioni straordinarie che consentano di limitare il rapporto tra costo delle finiture connesse e quello delle opere strutturali.

Nello spirito di un intervento locale, le citate lesene sono concepite come elemento di collegamento tra le pareti e gli orizzontamenti inferiore e superiore, con primaria funzione di stabilizzazione fuori piano dei maschi murari e senza variazione della rigidezza d’assieme. Essi, tuttavia, potranno essere agevolmente trasformati, in occasione di futuri interventi di miglioramento, in elementi controventanti efficaci anche in termini rigidità/capacità sismo-resistente globale (trasformandoli ad es. in controventi a “K”, a croce di S.Andrea, a telaio⁴). Inoltre, ancora in occasione di futuri interventi di miglioramento, il collegamento delle sommità dei telai di un’ala mediante, ad es., croci di S.Andrea, potrebbe agevolare la realizzazione di impalcati semirigidi già ben collegati alle pareti. La fase progettuale definitiva-esecutiva dovrà tener conto e favorire tali potenzialità mediante opportuno studio tipologico e di dettaglio.

A completamento degli interventi con l’obiettivo indicato in questo paragrafo, si prevede la demolizione del grande soppalco-archivio presente al primo piano, nella regione “ufficio tecnico”, con trasferimento degli usi attuali al piano interrato⁵. Sarà trasferito al piano interrato anche l’archivio presente al piano secondo nella medesima regione (area biblioteca, ora inagibile) Ai fini degli obiettivi qui in oggetto, si evidenzia non solo che lo spostamento di grandi masse dai piani alti all’interrato è già di per sé un intervento migliorativo della capacità sismica e statica della costruzione, ma anche che l’eliminazione del grande soppalco intermedio al piano primo protegge le pareti limitrofe da azioni inerziali fuori piano (martellamenti) potenzialmente assai pericolose. (elaborato “EL.3.4 – Interventi su chiostri, soppalco e pareti con ampia specchiatura”)

Riparazione e consolidamento degli orizzontamenti e degli incatenamenti/conessioni

- **Riparazione e ripristino, o sostituzione, dei tiranti nei chiostri.** I danneggiamenti ed i degradi che hanno interessato i tiranti, sotto i portici (aperti o tamponati) prospicienti i chiostri interni, saranno risolti

⁴ Quest’ultimo schema essendo ad es. realizzabile mediante irrigidimento dei nodi, gli altri mediante l’inserimento di aste aggiuntive.

⁵ Pur trattandosi di intervento su un orizzontamento, viene elencato tra gli interventi sulle murature proprio in ragione del ruolo ad esso affidato.

mediante riparazione o sostituzione delle catene interessate, previo approfondimento di indagine che individui gli elementi su cui intervenire (con prove di tesatura ed ispezione dei capichiave).

L'intervento è previsto, in questa sede, su una percentuale degli elementi complessivamente presenti nella regione localizzata nell'elaborato grafico "EL.3.4 – Interventi su chiostrì, soppalco e pareti con ampia specchiatura".

- **Incatenamenti e diaframmi semirigidi di piano.** Gli interventi qui illustrati hanno il primario compito di fungere da incatenamento di piano, pur senza introdurre rigidità tali da modificare il comportamento dinamico della costruzione. L'obiettivo è sia quello di migliorare la risposta nei confronti di meccanismi di primo modo, sia quello di mitigare gli effetti di interazione tra le diverse parti dell'edificio (distribuendo l'energia da martellamento tra US), essendo improponibile la creazione di giunti sismicamente efficaci, tanto più che la stessa suddivisione delle US è qui (più del solito) piuttosto convenzionale.

Si prevedono due diverse tipologie di intervento: (i) in generale, si propone l'inserimento di classici incatenamenti metallici, realizzabili all'estradosso degli impalcati, sotto-pavimento, essendo le pavimentazioni ormai ampiamente rimaneggiate negli interventi di manutenzione più recenti e senza alcun pregio storico (in sede di progetto definitivo-esecutivo si dovrà meglio calibrare la soluzione di dettaglio zona per zona); si potrà valutare localmente l'impiego di fasce in FRCM (anch'esse in estradosso solaio, sotto-pavimento) in luogo delle catene metalliche, con pari funzione e assetto distributivo; si prevedono ancoraggi locali sui travetti o nei massetti, ad integrazione degli incatenamenti passanti, così da poter ridurre il numero di questi ultimi (ii) si inseriscono incatenamenti perimetrali da realizzarsi con piatti metallici correnti lungo lo sviluppo delle pareti esterne (nei tratti in cui non sia già presente un cordolo perimetrale), in alternativa ai piatti metallici, in sede di progetto definitivo-esecutivo, si potrà valutare l'impiego di fasce in FRCM, nelle regioni ove la finitura (faccia a vista o intonaci antichi) non abbia valore degno di tutela.

Si prevede inoltre il consolidamento di alcuni orizzontamenti per eliminare le criticità sui solai precedentemente elencate. In alcuni casi il consolidamento dell'orizzontamento, attraverso la realizzazione di diaframmi semirigidi può fungere anche, con adeguato ancoraggio alle pareti perimetrali, da incatenamento locale. (elaborato "EL.3.3 – Interventi su volte e solai ed incatenamenti")

- **Riparazione e consolidamento di archi e volte strutturali.** Si prevede che le lesioni isolate siano riparate/consolidate con interventi tradizionali mediante iniezioni semplici di malta, eventualmente coadiuvate dall'uso di cunei in metallo/laterizio per il ripristino degli stati sollecitativi. (elaborato "EL.3.1 – Riparazione di lesioni su murature e volte")

Per la localizzazione degli interventi si rimanda alla rappresentazione del quadro di danno, da confermare/integrare nelle successive fasi progettuali.

Si precisa che, in sede di progetto di fattibilità tecnico-economica, si è optato per non intervenire, in generale, con consolidamenti estradosali delle volte, riservando questo tipo di intervento a limitatissime aree in cui gli stati fessurativi e deformativi lo rendano indispensabile. Tuttavia, l'opportunità di intervenire più diffusamente mediante consolidamenti estradosali delle volte potrà essere rivalutata a seguito degli approfondimenti di indagine (conoscitive e numeriche) da effettuare nelle successive fasi progettuali.

Si rileva inoltre la necessità di rinforzare le prime rampe in muratura dello scalone principale (le restanti rampe sono realizzate in c.a.), risultate di sezione esigua ed affette da deformazioni localmente rilevanti, mediante placcaggio intradosale con rete diffusa in fibra naturale di basalto ed acciaio inox e malta a base di calce idraulica naturale. (elaborato "EL.3.3 – Interventi su volte e solai ed incatenamenti")

- **Riparazione/consolidamento di solai.** In relazione alle vulnerabilità individuate ed attivate dal sisma nella forma di stati fessurativi diffusi, si intende intervenire su alcuni orizzontamenti particolarmente critici, come sopra segnalati: (i) rinforzo dei solai tipo STIMIP (a camera d'aria con cartelle estradossali ed intradossali in laterizio) con cappetta estradossale fibro-rinforzata e sostituzione delle cartelle inferiori con pannelli in cartongesso anti-sfondellamento fissati alla struttura principale; (ii) consolidamento del solaio in legno con tecnica a secco "legno-su-legno" (unitamente al rinforzo delle pareti di appoggio come già riportato per gli interventi di rinforzo delle pareti in muratura); (iii) sostituzione di solaio di sottotetto fragile in laterocemento con nuovo solaio ligneo leggero. (elaborato "EL.3.3 – Interventi su volte e solai ed incatenamenti")

Riparazione e consolidamento coperture

- **Riparazione, revisione, razionalizzazione di coperture in legno.** Un appropriato comportamento delle coperture ed il loro corretto collegamento alle murature è, insieme alla presenza di incatenamenti, la "regola dell'arte" per antonomasia nella concezione di un edificio storico in muratura. La finalità di questa famiglia di interventi è dunque palese, congiuntamente alla necessità di riparare i danni prodotti dal sisma del 2012.

Si prevedono due diverse modalità di intervento, in funzione dello stato delle orditure primarie, fermo restando il "non-intervento" nelle porzioni di coperto recentemente revisionate/rafforzate: (i) un intervento più leggero nelle regioni caratterizzate da un buon stato delle orditure principali, in cui si curerà principalmente il collegamento tra orditure lignee e tra queste e le murature, in aggiunta alla realizzazione di un piano semirigido in doppio assito o soluzioni equivalenti; (ii) un intervento più importante laddove, oltre a quanto previsto al punto precedente, si renda necessaria una revisione/razionalizzazione dello schema statico delle orditure primarie/secondarie anche con rinforzo/sostituzione di membrature inidonee e/o degradate.

La localizzazione delle previsioni di progetto preliminare è riportata nell'elaborato grafico "EL.3.5 – Interventi sulle coperture".

- **Riparazione, revisione, sostituzione di coperture in laterocemento.** Nei casi di coperture in laterocemento, le vulnerabilità sismiche sono rappresentate primariamente dalle carenze di collegamento alle sottostanti strutture murarie (inefficace ancoraggio cordolo-muratura), dal peso proprio della tipologia costruttiva e dalla tipologia stessa, in alcuni casi con connessioni interne assai delicate e fragili.

Queste ultime due problematiche sono state ritenute particolarmente gravose in gran parte della US1: nella zona ad "L", perché il coperto grava su una parete in falso su soletta a sbalzo, in un corpo di fabbrica già di per sé particolarmente snello in elevazione per il basso rapporto base/altezza e al confine con le coperture lignee; e nella appendice sud-est, per eterogeneità di comportamento con i coperti adiacenti in legno. In queste due situazioni si prevede la sostituzione del coperto in laterocemento con una più leggera soluzione in legno. Nel caso della porzione ad "L" della US1, sarebbe stata auspicabile la ricostruzione dell'intero secondo piano, con eliminazione della porzione a sbalzo ed adozione di soluzioni leggere anche per le strutture verticali: ma tale intervento esula evidentemente dalle finalità del "Regolamento". In sede di progetto definitivo-esecutivo si potrà valutare l'opportunità di predisporre una tale più radicale soluzione, da implementare in occasione di futuri e/o separati interventi di miglioramento.

Negli altri casi, sulle coperture in laterocemento, si prevede un intervento leggero di revisione/miglioramento delle condizioni di ancoraggio alle murature e di eliminazione delle spinte, oltre ad una “ripassatura” del manto.

La localizzazione delle due tipologie di intervento è riportata nell’elaborato grafico “EL.3.5 – Interventi sulle coperture”.

Riparazione e consolidamento arellati e controsoffitti

- ***Riparazione e consolidamento degli arellati.*** Ove non già riparati e consolidati-gli arellati si presentano diffusamente fessurati e necessitano di riparazione e consolidamento.
Si prevede di intervenire con soluzioni tradizionali, mediante rasature in gesso armate con tessuti naturali, risanamento e ripristino delle orditure lignee, inserimento di tirantature delle stesse alle strutture sovrastanti.
La localizzazione dell’intervento è riportata nell’elaborato grafico “EL.3.6 – Riparazione/consolidamento cannucciati, controsoffitti, tramezzi, elementi non strutturali”.
- ***Controllo ed eventuale riparazione dei controsoffitti in pannelli leggeri.*** Per i controsoffitti leggeri, di “moderna” (anche se ormai datata) concezione e realizzazione, si prevede una verifica sistematica delle pendinature e dello stato di conservazione e di appoggio dei pannelli, con consolidamento/riparazione ove necessario.
L’intervento, di verifica completa e di rinforzo ove necessario, interessa tutti i controsoffitti di questa tipologia. Per la sua localizzazione si rimanda all’elaborato grafico “EL.3.6 – Riparazione/consolidamento cannucciati, controsoffitti, tramezzi, elementi non strutturali”

Aspetti puntuali e singolari, finiture connesse, restauri, lavorazioni accessorie

- ***Risanamenti.*** Lo spostamento degli archivi richiede anche un risanamento da muffe ed efflorescenze degli ambienti che dovranno ospitare la nuova funzione, al piano interrato.
Per la localizzazione dell’intervento si rimanda all’elaborato grafico “EL.3.6 – Riparazione/consolidamento cannucciati, controsoffitti, tramezzi, elementi non strutturali”.
- ***Altri elementi non strutturali.*** Si prevede la stabilizzazione di elementi non strutturali esterni svettanti nonché dei tramezzi interni particolarmente snelli (il criterio di localizzazione dovrà essere confermato/rivisto in sede di progetto definitivo-esecutivo, a valle degli approfondimenti conoscitivi e previa verifica puntuale) (elaborato “EL.3.6 – Riparazione/consolidamento cannucciati, controsoffitti, tramezzi, elementi non strutturali”)
- ***Finiture connesse interne ed esterne.*** Si prevede che gli interventi strutturali siano comprensivi di tutte le opere non strutturali connesse alla loro realizzazione: riparazione e ripristino/integrazione degli intonaci, esecuzione delle tinteggiature, riparazione e ripristino dei sistemi di smaltimento delle acque, ripristino impianti, controsoffitti e finiture, etc..
Le successive fasi progettuali dovranno aver cura di adottare tipologie di intervento e dettagli costruttivi che minimizzino l’incidenza delle opere non strutturali connesse, particolarmente nelle aree a maggior grado di dotazione impiantistica, di arredo, di finitura.

- **Restauro elementi decorativi.** Si prevede il restauro degli elementi decorativi danneggiati e/o interessati dagli interventi strutturali, da definire in sede di progettazione definitivo-esecutiva a cura di figure specializzate
- **Lavorazioni accessorie.** Si prevede la realizzazione dei ponteggi e delle altre opere provvisorie necessarie all'esecuzione dei lavori in condizioni di sicurezza. Si prevede altresì che vengano ricomprese le spese per i traslochi e per il trasferimento temporaneo delle attività.

Cabina elettrica

- **Demolizione e ricostruzione della cabina elettrica.** Come anzi detto, motivato e documentato, della parte di cabina elettrica prospiciente via Albertoni si prevede la demolizione e la ricostruzione dell'unità strutturale sud (quella fortemente danneggiata e strutturalmente separata dalla restante parte), inclusa la realizzazione delle finiture necessarie. La ricostruzione avverrà con fedele riproduzione della geometria attuale (fatta salva la creazione di adeguato giunto sismico), con struttura verticale in muratura armata, consolidamento dell'apparato fondale e solaio-copertura in latero-cemento. elaborato "EL.3.7 – Cabina elettrica (fabbricato sud)"
- **Smontaggio e rimontaggio/ricostruzione impianti.** Si prevede lo smontaggio degli impianti esistenti ed il loro recupero (con rimontaggio nella nuova struttura) ove compatibile con le norme e le tecnologie vigenti/correnti (si rileva che gran parte dell'impiantistica è attualmente collocata nel prefabbricato provvisoriamente collocato in esterno a causa dei danni su quello oggetto di intervento). Le restanti componenti impiantistiche dovranno essere smaltite e ricostruite con nuove forniture.