



UNIVERSITÀ
DEGLI
STUDI
DI
FERRARA

**OGGETTO**

Procedura aperta comunitaria per l'affidamento servizi di architettura e ingegneria relativi al restauro e miglioramento sismico dei palazzi storici dell'Università degli Studi di Ferrara siti sull'asse di via Savonarola danneggiati dagli eventi sismici del maggio 2012.

LOTTO 1 Palazzo Renata di Francia
Palazzo Strozzi
Palazzo Tassoni Mirogli
LOTTO 2 Palazzo Gulinelli

PROPRIETA'

Università degli Studi di Ferrara
Via Savonarola, 9 - 44121 Ferrara

DATA

9 dicembre 2013

PROCEDURA

Procedura aperta sopra soglia comunitaria

CUP LOTTO 1: F78F13000080000

CIG LOTTO 1: 5467136758

CUP LOTTO 2: F78F13000090000

CIG LOTTO 2: 5467153560

AGGIORNAMENTI**ELABORATO**

Linee guida per la definizione degli interventi

**GRUPPO
DI LAVORO**

prof. CLAUDIO ALESSANDRI

prof. NERIO TULLINI

ing. FABIO MINGHINI

arch. MARIO MONTUORI

NOTE

Responsabile del
Procedimento

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA

Area edilizia, sicurezza, gare e patrimonio
via Savonarola, 9 - 44121 Ferrara

ing. Giuseppe Galvan

Dirigente Area Edilizia, Sicurezza, Gare e Patrimonio

ELABORATO

LG

**LINEE GUIDA PER LA DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI
AFFIDAMENTO SERVIZI DI ARCHITETTURA E INGEGNERIA RELATIVI AL RESTAURO E
MIGLIORAMENTO SISMICO DEI PALAZZI STORICI DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
FERRARA SITI SULL'ASSE DI VIA SAVONAROLA
DANNEGGIATI DAGLI EVENTI SISMICI DEL MAGGIO 2012**

CAPO 1 PREMESSA.....	3
Art. 1.1 - Documentazione di riferimento	3
CAPO 2 CONOSCENZA DEI MANUFATTI.....	5
Art. 2.1 - Generalità.....	5
Art. 2.2 - Identificazione della costruzione	6
Art. 2.3 - Caratterizzazione funzionale dell'edificio e dei suoi spazi.....	6
Art. 2.4 - Rilievo geometrico.....	6
Art. 2.5 - Analisi storica degli eventi e degli interventi subiti.....	8
Art. 2.6 - Il rilievo materico costruttivo e lo stato di conservazione	9
Art. 2.7 - La caratterizzazione meccanica dei materiali	13
Art. 2.8 - Caratterizzazione di intonaci e pitture murali	15
Art. 2.9 - Aspetti geotecnici.....	16
CAPO 3 VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ.....	17
Art. 3.1 - Individuazione e classificazione delle vulnerabilità	17
Art. 3.2 - Definizione degli Stati Limite da considerare nel calcolo	27
Art. 3.3 - Calcolo della struttura sotto carichi non sismici	27
Art. 3.4 - Verifica dei meccanismi locali sotto azioni sismiche	27
Art. 3.5 - Verifica dei meccanismi globali sotto azioni sismiche.....	30
Art. 3.6 - Risultati delle verifiche e definizione degli interventi.....	30
CAPO 4 PROGETTO DEGLI INTERVENTI.....	31

CAPO 1 PREMESSA

Art. 1.1 - Documentazione di riferimento

Il presente documento è stato sviluppato con l'intento di delineare un percorso di conoscenza in grado di elevare il livello di confidenza con organismi architettonici complessi, che agevoli la fase di comprensione degli aspetti figurativi da salvaguardare e valorizzare e guide nella valutazione e nella scelta del livello di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche, delle istanze di adeguamento funzionale ed impiantistico, oltre che di sostenibilità degli interventi stessi.

In particolare vengono forniti dei riferimenti grazie ai quali il progettista possa definire la propria proposta progettuale

coerentemente con la Normativa vigente, nel rispetto delle preesistenze e in sintonia con le attese della Committenza.

Le presenti Linee Guida sono state redatte facendo costante e puntuale riferimento alla seguente documentazione tecnica:

- [1] NTC, 2008. *Norme tecniche per le costruzioni*, D.M. 14 gennaio 2008 pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30.
- [2] Circolare n. 617, 2 febbraio 2009. *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*, pubblicata in G.U. n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27.
- [3] Linee Guida, 2011. *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale* secondo la D.P.C.M. del 9 febbraio 2011 pubblicata in G.U. n.47 del 26 febbraio 2011 - Supplemento ordinario n. 54.

L'impianto metodologico è stato sviluppato secondo la specifica letteratura in materia, con particolare riferimento a:

- [4] Carbonara, G., 1996. *Trattato di restauro architettonico*, Voll. II-III. UTET, Torino.



- [5] Giuffré, A., 1993. *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*. Laterza, Bari.
- [6] Dalla Negra, R.; Nuzzo, M., 2008. *L'architetto restaura. Guida al laboratorio di restauro architettonico*. Editrice Spring, Caserta.
- [7] *Performance-based approach to earthquake protection of cultural heritage in European and Mediterranean countries* – PERPETUATE Project, Progetto di Ricerca Europeo nell'ambito del FP7. Documenti disponibili online, www.perpetuate.eu.

Il seguente apparato documentario, predisposto dalla Ripartizione Edilizia dell'Università di Ferrara, ha costituito il preliminare supporto conoscitivo del patrimonio architettonico interessato:

- [8] Rilievo geometrico strutturale e definizione indagini specialistiche – Palazzo Tassoni-Mirogli (Elaborato RGT04), Complesso Strozzi (Elaborato RGT05), Palazzo Renata di Francia (Elaborato RGT06) del 25 novembre 2011. *Relazioni relative alla prima parte dello studio di vulnerabilità sismica di livello "0" dei tre complessi, a cura degli Ingg. Garutti M., Rizzato M. e Naliato A.*
- [9] Tavole grafiche allegate allo studio di cui sopra.

Con riferimento al Palazzo Renata di Francia, è stata consultata la pubblicazione:

- [10] Malvezzi, R., 2006. *Il palazzo rinascimentale ferrarese: studi di vulnerabilità sismica in riferimento al complesso di Renata di Francia*, Università di Ferrara, Tesi di Dottorato in Scienze dell'Ingegneria (XVIII Ciclo), Relatori: Tralli A., Alessandri C.

Infine, con riferimento ai processi conoscitivi rivolti alla conservazione delle tecniche costruttive tradizionali dell'edilizia storica ferrarese, si è fatto riferimento a:

- [11] Di Francesco, C.; Fabbri, R.; Bevilacqua, F., 2006. *Atlante dell'architettura ferrarese. Elementi costruttivi tradizionali*. Fondazione Cassa di Risparmio di Ferrara, Ferrara.

Le linee guida [3] rappresentano pertanto il supporto inderogabile alla redazione del presente documento. Nel seguito, il testo riportato in corsivo proviene senza modifiche da [3].

CAPO 2 CONOSCENZA DEI MANUFATTI

Art. 2.1 - Generalità

La conoscenza della costruzione storica in muratura è un presupposto fondamentale sia ai fini di una attendibile valutazione della sicurezza sismica attuale sia per la scelta di un efficace intervento di miglioramento. Le problematiche sono quelle comuni a tutti gli edifici esistenti, anche se nel caso del patrimonio culturale tutelato, ancora più importante risulta la conoscenza delle caratteristiche originarie della fabbrica, le modifiche intercorse nel tempo dovute ai fenomeni di danneggiamento derivanti dalle trasformazioni antropiche, all'invecchiamento dei materiali e agli eventi calamitosi; tuttavia, in relazione alla necessità di impedire perdite irrimediabili, l'esecuzione di una completa campagna di indagini può risultare troppo invasiva sulla fabbrica stessa. Si ha pertanto la necessità di affinare tecniche di analisi ed interpretazione dei manufatti storici mediante fasi conoscitive dal diverso grado di attendibilità, anche in relazione al loro impatto. Lo studio delle caratteristiche della fabbrica è teso alla definizione di un modello interpretativo che consenta, nelle diverse fasi della sua calibrazione, sia un'interpretazione qualitativa del funzionamento strutturale, sia l'analisi strutturale per una valutazione quantitativa. Il grado di attendibilità del modello sarà strettamente legato al livello di approfondimento ed ai dati disponibili. Il percorso della conoscenza può essere ricondotto alle seguenti attività:

- *l'identificazione della costruzione ed il rapporto della stessa con il contesto urbano circostante; l'analisi consiste in un primo rilievo schematico del manufatto e nell'identificazione di eventuali elementi di pregio (apparati decorativi fissi, beni artistici mobili) che possono condizionare il livello di rischio;*
- *il rilievo geometrico della costruzione nello stato attuale, inteso come completa descrizione stereometrica della fabbrica, compresi gli eventuali fenomeni fessurativi e deformativi;*
- *l'individuazione della evoluzione della fabbrica, intesa come sequenza delle fasi di trasformazione edilizia, dall'ipotetica configurazione originaria all'attuale;*
- *l'individuazione degli elementi costituenti l'organismo resistente, nell'accezione materica e costruttiva, con una particolare attenzione rivolta alle tecniche di realizzazione, ai dettagli costruttivi ed alla connessioni tra gli elementi;*
- *l'identificazione dei materiali, del loro stato di degrado, delle loro proprietà meccaniche;*
- *la conoscenza del sottosuolo e delle strutture di fondazione, con riferimento anche alle variazioni avvenute nel tempo ed ai relativi dissesti.*

Utile informazioni sul rilievo geometrico e sulle sequenze delle fasi di trasformazione sono riportate in [8] e [9].

In considerazione delle specifiche modalità di analisi strutturale dei meccanismi di collasso dei manufatti storici in muratura le indagini conoscitive dovranno concentrarsi prevalentemente sull'individuazione della storia del manufatto (specie in relazione agli eventi sismici pregressi), sulla geometria degli elementi strutturali, sulle tecniche costruttive e sui fenomeni di dissesto e di degrado.

Art. 2.2 - Identificazione della costruzione

In questa fase deve essere analizzato il rapporto del manufatto con l'intorno, attraverso la descrizione del Complesso Architettonico (CA) e la caratterizzazione dei rapporti spaziali e funzionali tra l'edificio ed eventuali manufatti contermini. Lo studio del tessuto dovrà consentire di ipotizzare la gerarchia costruttiva e le relazioni tra l'edificio ed il contesto. In particolare partendo dal concetto di Complesso Architettonico (CA), costituito dall'aggregazione di più corpi di fabbrica e definito spazialmente dalle strade che lo circoscrivono, si dovrà risalire ai Corpi di Fabbrica costituenti (CF), individuabili attraverso l'analisi dei prospetti visibili e l'articolazione plano-altimetrica. L'indagine potrà essere efficacemente condotta mediante il ricorso a tecniche macrostratigrafiche.

Informazioni utili all'individuazione dei diversi corpi di fabbrica sono riportate in [8].

Il livello di conoscenza sarà integrato dalla documentazione e comparazione delle cartografie storiche di Ferrara reperibili presso i fondi archivisti più appropriati.

Art. 2.3 - Caratterizzazione funzionale dell'edificio e dei suoi spazi

La conoscenza dell'opera non può prescindere dall'analisi, anche storica, dell'evoluzione funzionale dell'edificio e delle sue articolazioni, finalizzata a riconoscere quali utilizzazioni si siano succedute nel tempo ed in quali ambienti.

Questo livello di conoscenza deve essere integrato con la valutazione delle vocazioni d'uso che identificano gli ambienti secondo l'accertamento della presenza o meno di quei parametri (formali, decorativi, testimoniali) suscettibili di influire sul grado di trasformazione dei locali stessi.

Informazioni utili alla definizione delle vocazioni d'uso degli ambienti sono reperibili in [6].

Art. 2.4 - Rilievo geometrico

Le informazioni dedotte dal rilievo dovranno integrare quelle riportate in [8] e [9] allo scopo di fornire un quadro del (CA) nella sua interezza e dei dettagli costruttivi utili all'analisi di vulnerabilità. Tali informazioni saranno il necessario punto di partenza per il progetto di intervento.

Il rilievo dovrà essere riferito sia alla geometria complessiva dell'organismo che a quella degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con gli eventuali edifici in aderenza. La descrizione stereometrica della fabbrica comporta l'individuazione delle caratteristiche plano-altimetriche degli elementi costitutivi. Pertanto, ad ogni livello, andranno rilevate la geometria di

tutti gli elementi in muratura, delle volte (spessore e profilo), dei solai e della copertura (tipologia e orditura), delle scale (tipologia strutturale), la localizzazione delle eventuali nicchie, cavità, aperture richiuse (con quali modalità), canne fumarie, elementi estranei inclusi e la tipologia delle fondazioni.

La rappresentazione dei risultati del rilievo verrà effettuata attraverso piante, alzati e sezioni oltre che con particolari costruttivi di dettaglio. Completata questa operazione, si procederà, all'interno del rilievo geometrico complessivo, alla identificazione dello schema strutturale resistente. Poiché il rilievo geometrico serve a definire la geometria dei modelli di calcolo da utilizzare nell'analisi sismica, i vincoli ed i carichi agenti, è opportuno verificare che tutte le informazioni necessarie siano state rilevate. In particolare dovranno essere individuati i punti significativi per un modello di calcolo, quali imposte degli orizzontamenti e dei sistemi archivoltati, entità dell'appoggio degli stessi sulle murature d'ambito. Inoltre dovranno essere compiutamente determinabili le masse degli elementi e i carichi gravanti su ogni elemento di parete. La descrizione dei rapporti tra elementi potrà avvalersi di tecniche di lettura e restituzione proprie dell'analisi stratigrafica. La procedura potrà articolarsi in virtù delle caratteristiche tipologiche della fabbrica e del contesto territoriale e urbano di appartenenza. Le difficoltà del rilievo geometrico sono legate all'accessibilità di alcuni spazi, quali sottotetti, volumi tra false volte o controsoffitti e coperture, oppure all'eccessiva altezza degli elementi, come nel caso di campanili, torri, volte in una navata; tuttavia, sono disponibili strumenti che consentono un rapido rilievo e una restituzione accurata anche nel caso di elementi complessi, e tecniche di indagine diretta (endoscopia) o indiretta (termografia, georadar, ecc.) per gli spazi non accessibili. La restituzione tridimensionale dell'organismo può essere complessa, ma è certamente utile ai fini della modellazione. Il rilievo di stucchi, decorazioni ed elementi non strutturali, utile ai fini dell'individuazione delle caratteristiche dei beni artistici, non deve ostacolare la precisa conoscenza della geometria degli elementi architettonico-strutturali. Dovrà essere rilevato e rappresentato l'eventuale quadro fessurativo, in modo tale da consentire l'individuazione delle cause e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'organismo. Le lesioni saranno classificate secondo la loro geometria (estensione, ampiezza) ed il loro cinematisimo (distacco, rotazione, scorrimento, spostamento fuori dal piano). Successivamente, considerato che le fasi della conoscenza non sono sequenziali, potrà essere associato ad ogni lesione, o ad un insieme di lesioni, uno o più meccanismi di danno che siano compatibili con la geometria dell'organismo e della sua fondazione, con le trasformazioni subite, con i materiali presenti, con gli eventi subiti. In maniera similare le deformazioni andranno classificate secondo la loro natura (evidenti fuori piombo, abbassamenti, rigonfiamenti, spanciamenti, depressioni nelle volte, ecc.) ed associate, se possibile, ai rispettivi meccanismi di danno.

Pertanto, al fine di documentare il più possibile la preesistenza –identificandone geometria, forma e

materia– dovrà essere costituita una banca dati che, fornendo un'accurata conoscenza morfometrica degli immobili, possa fungere da riferimento obbligato per informazioni integrate, utili alle molteplici attività progettuali. Tale banca dati potrebbe essere costituita da un modello tridimensionale, il più possibile fedele all'oggetto reale, dal quale poter estrarre rappresentazioni bidimensionali (piane, sezioni, prospetti, ecc.), utili alle varie fasi della progettazione e definite nella scale di dettaglio richiesta. Tale livello di conoscenza dovrà essere integrato da un abaco delle tecniche seguite nella realizzazione di:

- apparati murari relativi a murature in elevazione, aperture di vani porta e finestra, di architravi, piattabande e cornicioni;
- tipologie diverse di orizzontamento di piano –volte in muratura, volte in canniccio, solai lignei;
- scale murature;
- impalcati di falda –coperture a falsi puntoni, a capriata lignea o metalliche;
- intonaci, pitture murali, apparati decorativi a stucco, fodere in carta o lapidei;
- pavimentazione interne ed esterne;
- elementi costituenti impianti tecnici storici –pozzi e cisterne, canne fumarie e camini;
- infissi vari quali portoni, porte, finestre ed inferriate metalliche.

Art. 2.5 - Analisi storica degli eventi e degli interventi subiti

Ai fini di una corretta individuazione del sistema resistente e del suo stato di sollecitazione è importante la ricostruzione dell'intera storia costruttiva del bene culturale tutelato, ossia del processo di costruzione e delle successive modificazioni nel tempo del manufatto. In particolare andrà evidenziata la successione realizzativa delle diverse porzioni di fabbrica, al fine di individuare le zone di possibile discontinuità e disomogeneità materiale, sia in pianta che in alzato (corpi aggiunti, sopraelevazioni, sostituzioni di orizzontamenti, ecc).

La storia dell'edificio può anche essere utilizzata come uno degli strumenti di controllo e verifica della risposta dell'edificio a particolari eventi naturali o antropici e delle eventuali conseguenti trasformazioni. Devono pertanto essere identificati gli eventi subiti, soprattutto quelli più significativi e traumatici, ed i corrispondenti effetti, accertabili per via documentale (fonti scritte o iconografiche) o tramite un rilievo analitico diretto del manufatto. Anche la storia della destinazione d'uso del bene può fornire indicazioni sulle azioni applicate in passato. La conoscenza della risposta della costruzione ad un particolare evento traumatico può consentire di identificare un modello qualitativo di comportamento, anche se devono essere tenute presenti le modifiche intercorse nella costruzione, in particolare proprio a seguito di quell'evento. Questa analisi sarà la guida per la definizione dei meccanismi di danno maggiormente critici e per la conseguente definizione di modelli di calcolo attendibili.

Ai fini della comprensione del comportamento attuale e per la definizione degli eventuali

interventi di miglioramento sismico è importante individuare la natura degli interventi di consolidamento già realizzati nel passato, la loro localizzazione e gli elementi strutturali coinvolti, il periodo di realizzazione e la verifica della loro efficacia nel tempo.

L'acquisizione di dati relativi a danneggiamenti subiti dal manufatto in occasione di eventi sismici pregressi, da mettere in relazione con l'azione sismica stessa, si configura come un metodo indispensabile per l'identificazione di porzioni od elementi particolarmente vulnerabili. Infine, la risposta del manufatto agli eventi sismici più recenti può essere utile per verificare l'efficacia degli interventi eseguiti nel passato.

Alcune informazioni sulla storia degli interventi subiti dai manufatti e sulle destinazioni d'uso recenti sono riportate in [8] e [9].

Dovranno in particolare essere analizzati i processi di stratificazione ed aggregazione intercorsi nel tempo nel (CA) - derivanti da trasformazioni antropiche, dall'invecchiamento dei materiali, da eventi calamitosi e da trasformazione edilizie – e che hanno contribuito alla configurazione dell'attuale assetto.



Pertanto, attraverso la definizione di un modello interpretativo, elaborato per mappe in falso colore su elaborazioni 3D e 2D, il (CA) sarà diacronicamente documentato in ogni suo aspetto anche attraverso la comparazione delle acquisizioni documentarie condotte presso le raccolte archivistiche più appropriate al soggetto. Tale processo dovrà contribuire anche alla datazione delle differenti tecniche costruttive che concorrono alla definizione dell'abaco di cui al punto 2.4.

Art. 2.6 - Il rilievo materico costruttivo e lo stato di conservazione

Il rilievo materico costruttivo deve permettere di individuare completamente l'organismo resistente della fabbrica, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi. Tale riconoscimento richiede l'acquisizione di informazioni spesso nascoste (sotto l'intonaco, sotto il pavimento, dietro a controsoffitti, ecc.), che può essere eseguita grazie a tecniche di indagine non distruttive di tipo indiretto o ispezioni dirette debolmente distruttive. Un aspetto rilevante è la scelta del numero, della tipologia e della localizzazione delle prove da effettuare. Speciale attenzione dovrà essere riservata alla

valutazione della qualità muraria, tenendo conto dei modi di costruire tipici del territorio ed individuando le caratteristiche geometriche e materiche dei singoli componenti, oltre che le modalità di assemblaggio. Di particolare importanza risulta essere:

- *la presenza di elementi trasversali (diatoni), di collegamento tra i paramenti murari; la forma, tipologia e dimensione degli elementi.*

Sarà necessario valutare a campione la presenza di diatoni, effettuando per tutti i piani almeno 3 saggi per ogni parete facente parte del sistema resistente e comunque non meno di 1 saggio ogni 20 m² di parete, indagando in ogni caso sia i maschi sia le fasce murarie. Le distanze verticali tra le posizioni dei saggi effettuati su una parete e la base della parete devono essere variate;

- *il riconoscimento di una disposizione regolare e pressoché orizzontale dei corsi;*
- *la buona tessitura, ottenuta tramite il regolare sfalsamento dei giunti;*
- *la natura delle malte ed il loro stato di conservazione.*

Da un esame a vista è immediato constatare come in molti paramenti i giunti di malta risultino ammalorati. Il progetto di miglioramento dovrà prevedere in questi casi interventi di ristilatura. La scelta delle composizioni delle malte da utilizzare per la ristilatura dovrà essere compatibile chimicamente e fisicamente con la natura delle malte esistenti. A tale scopo si rende necessario prelevare un certo numero di campioni di malta da sottoporre ad indagini di laboratorio. In particolare, sui campioni di malta dovranno essere effettuate analisi chimiche, diffrattometriche e granulometriche. Per ciascun piano degli edifici, si dovrà individuare per i prelievi di malta almeno una posizione per ogni porzione di muratura che presenti, sulla base dell'esame a vista, caratteristiche di omogeneità e comunque a non meno di una posizione per ogni 20 m² di parete. Le posizioni individuate per verificare la presenza di diatoni (vedi sopra) potranno essere utilizzate anche per i prelievi di malta. Una volta individuata la posizione di prelievo, si dovrà praticare nel giunto di malta un foro di diametro opportuno e profondità tale da consentire la valutazione delle possibili variazioni nelle caratteristiche della malta entro lo spessore della parete. Si dovrà infatti procedere al prelievo da almeno due diverse profondità di foratura, una dell'ordine del centimetro e l'altra non inferiore a 5 cm. Particolare attenzione dovrà essere dedicata all'individuazione, tramite le citate analisi chimico-fisiche, di porzioni di giunti di malta contenenti minerali argillosi. Questi infatti, essendo soggetti a rigonfiamento, dovranno essere rimossi prima della ristilatura. Infine, si dovranno rilevare eventuali sigillature dei giunti di malta realizzate per mezzo di "tappi" di cemento, anch'essi da rimuovere prima della ristilatura;

- *l'eventuale presenza di efflorescenze saline sulle superfici murarie.*

Si dovranno in particolare studiare con cura le cause che le hanno prodotte (ad es. perdite fognarie, attività antropiche, inquinamento, ecc.), allo scopo di porvi rimedio in sede di progetto. Di norma, la loro rimozione si rende necessaria, in quanto, al variare delle condizioni di umidità, potrebbero dar luogo a pressioni di ricristallizzazione tali da compromettere l'efficacia dell'intervento di ristilatura.

La lettura di uno schema strutturale di funzionamento della fabbrica necessita di una conoscenza dei dettagli costruttivi e delle caratteristiche di collegamento tra i diversi elementi:

- *tipologia della muratura (a paramento unico, a due o più paramenti) e caratteristiche costruttive (tessitura regolare o irregolare; con o senza collegamenti trasversali; eventuali disomogeneità dovute a inclusioni, riparazioni o chiusura di vani con blocchi e/o malta di diversa natura, ecc.).*

Dall'esame a vista è immediato constatare numerose inclusioni, riparazioni e chiusure di vani (Figura 2). È opportuno che queste vengano catalogate e tenute debitamente in conto nelle analisi di vulnerabilità.

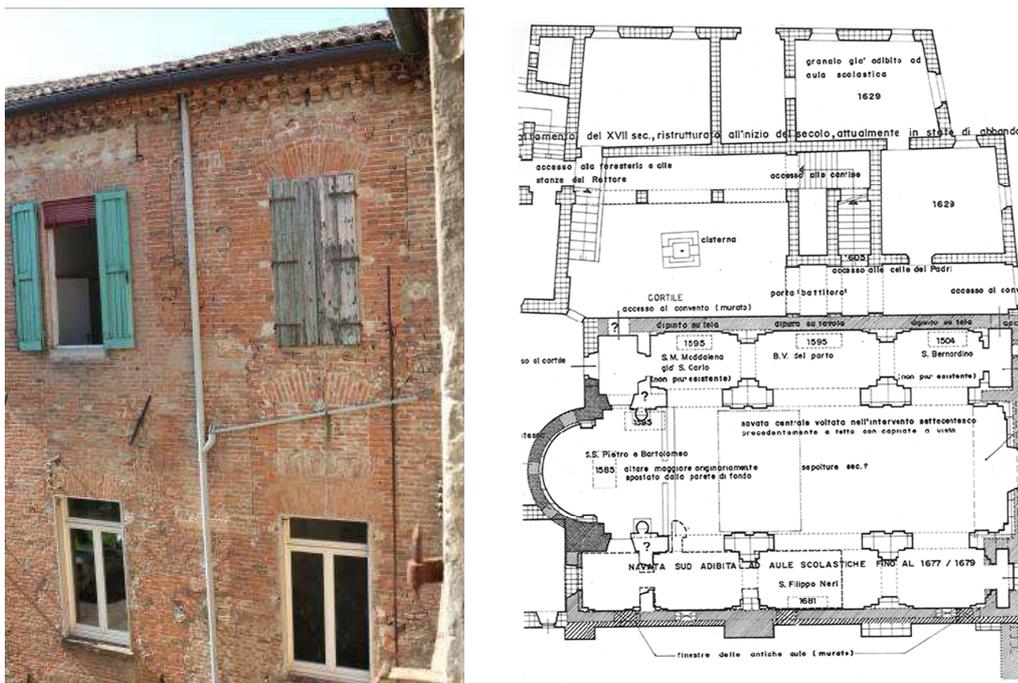


Figura 2. A sinistra: palazzo Strozzi, parete rivolta verso la corte interna. A destra: esemplificazione relativa alla rappresentazione della stratificazione in un (CA) della successione di aperture, richiudere ed aggiunte.

- *qualità del collegamento tra pareti verticali (ammorsamento nei cantonali e nei martelli, catene, ecc.).*

La qualità dell'ammorsamento dovrà essere verificata effettuando saggi in corrispondenza degli incroci fra le pareti. In generale, a tutti i piani, si dovrà procedere ad almeno 1 saggio per ogni incrocio se l'altezza di piano non supera i 5 m e ad almeno 2 saggi per ogni incrocio, in posizioni distanziate verticalmente fra loro di almeno 2.5 m, se l'altezza di piano supera ai 5 m. Se in corrispondenza di un incrocio sono presenti capichiaive, occorre verificare, almeno all'interno dello spessore della parete su cui agiscono i capichiaive, lo stato di conservazione delle catene. Di tali catene si dovrà valutare l'area della sezione trasversale. Infine, si dovrà procedere, per almeno il 10% delle catene individuate, al prelievo di uno spezzone da sottoporre a prova di trazione. In questa operazione, si dovranno privilegiare le catene di diversa sezione trasversale.

- *qualità del collegamento tra orizzontamenti (solai, volte e coperture) e pareti, con rilievo dell'eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento (catene, ecc.).*

Nel caso di catene atte ad eliminare spinte in regime di carico statico, come ad esempio nel caso delle catene delle volte, il tiro presente dovrà essere determinato sperimentalmente attraverso procedure di identificazione statiche o dinamiche. Da una semplice ispezione visiva è infatti possibile rendersi conto solamente di eventuali catene lasche. Le analisi di vulnerabilità per carichi sia statici che sismici dovranno tenere opportunamente conto del tiro misurato sperimentalmente. Eventuali differenze tra le risultanze sperimentali e il tiro calcolato sulla base dell'analisi dei carichi, che possono trarre origine da un quadro di patologia strutturale, dovranno essere opportunamente interpretate in vista del progetto degli interventi. Nel caso di catene atte a realizzare l'ancoraggio solaio-parete in assenza di cordoli, si dovrà valutare l'efficacia dell'ancoraggio anche sulla base di forma e dimensioni del capochiave in relazione a tipologia e qualità della muratura a diretto contatto del capochiave stesso nonché sulla base dell'interasse fra le catene. A tale proposito si precisa che, come riportato in [5], al fine dell'instaurarsi di un meccanismo resistente ad arco all'interno dello spessore della muratura è opportuno che l'interasse delle catene non superi il valore di 5–8 volte lo spessore stesso. Anche per queste catene si dovrà procedere al rilievo delle sezioni trasversali e al prelievo, da almeno il 10% di esse, di spezzoni da sottoporre a prove di trazione, privilegiando quelle di diversa sezione trasversale.

- *elementi di discontinuità determinati da cavedi, canne fumarie etc.*
- *tipologia degli orizzontamenti (solai, volte, coperture), con particolare riferimento alla loro rigidità nel piano;*
- *tipologia ed efficienza degli architravi al di sopra delle aperture.*

Da una semplice ispezione a vista, molti architravi risultano danneggiati (ad esempio quasi tutti quelli all'ultimo piano di Palazzo Strozzi). È necessario identificare e catalogare le diverse tipologie di architravi e valutarne il livello di ammorsamento alle estremità, anche allo scopo di chiarire l'efficacia delle fasce di piano al di sopra di porte e finestre. Si precisa che le fasce al di sotto delle finestre, generalmente sprovviste di elementi atti ad assorbire gli sforzi di trazione, risultano frequentemente inadatte a fornire aiuto ai maschi murari.

- *presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad equilibrare le spinte eventualmente presenti;*
- *presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità.*

La documentazione della consistenza materica e dello stato di conservazione dovrà essere predisposta su specifici elaborati grafici con i quali identificare le morfologie di degrado secondo un lessico univoco che, come codificato dalla norma UNI 11182/2006, costituisce l'anamnesi delle patologie esistenti. Le operazioni di indagini a vista e di mappatura dello stato conservativo saranno eseguite in concomitanza con le

operazioni di rilievo metrico-morfologico. Tutte le operazioni di rilievo ed analisi saranno accompagnate da uno specifico elaborato e da un’opportuna catalogazione fotografica ad alta definizione di tutte le superfici da documentare. In tal modo, verrà costruita una banca dati fotografica che, attraverso viste generali e di dettaglio, costituirà lo strumento utile alla caratterizzazione delle diverse morfologie di degrado, indispensabile alla prosecuzione del lavoro di elaborazione dati in laboratorio.

Tale fase di conoscenza sarà preceduta da una ricognizione complessiva al fine di individuare le tipologie e le caratteristiche dei materiali che caratterizzano l’organismo architettonico. Assumendo come riferimento di base la norma UNI 11182/2006, sarà redatto un abaco costituito dall’elenco delle morfologie di degrado individuate e suddivise secondo le categorie codificate dalla norma. Le morfologie di degrado rilevate in situ saranno restituite sugli orto-foto-piani e sugli elaborati di prospetto e sezione degli elevati: a ciascun degrado saranno associati una campitura utile alla rappresentazione delle macro aree di degrado mappate ed un falso colore in relazione alla caratterizzazione del materiale. Un’ apposita legenda descriverà opportunamente le differenti forme di degrado e le relative cause mentre, attraverso un sistema di decodifica alfanumerico, verranno identificati gli interventi conservativi e di consolidamento che definiscono gli aspetti più propriamente progettuali. Le sezioni-prospetto, così predisposte a supporto delle restituzioni tematiche, saranno elaborate in formato “Autocad ®” in scala 1:50-1:20. Potrà essere in questo modo fornita un’adeguata interpretazione di dettaglio che permetterà di definire elaborati per ogni singola specificità o tematismo e di aggiornare i files (ad esempio nel corso dei lavori di restauro) con relativa semplicità. Le mappature, in tal modo predisposte, potranno facilmente costituire la base infografica di un sistema GIS che potrebbe divenire estremamente funzionale sia alle operazioni di progettazione, mediante georeferenziazione dei dati qualitativi e quantitativi, che in funzione di futuri piani di conservazione programmata e/o di gestione dell’organismo architettonico.

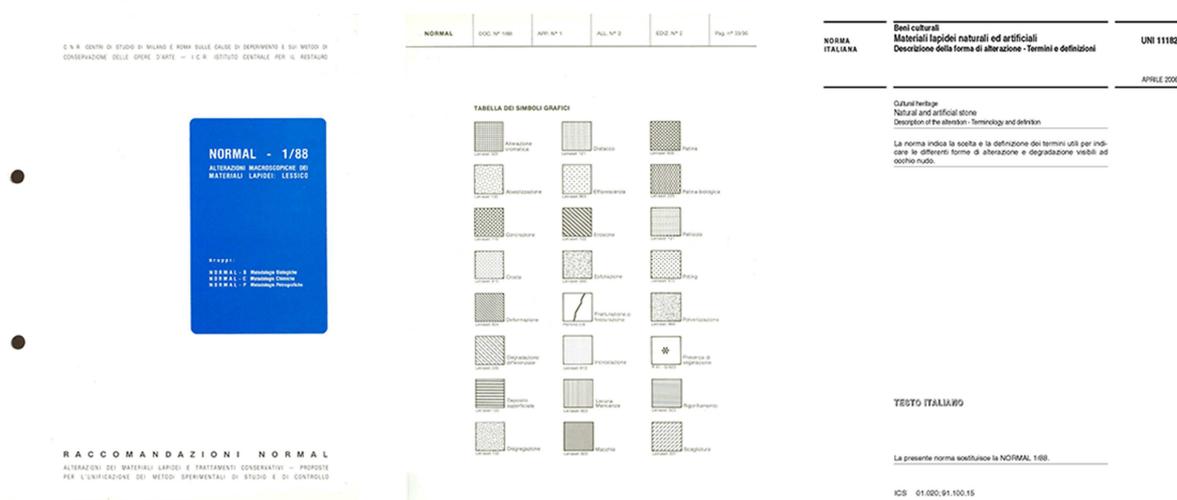


Figura 3. Nor.Ma.L. 1-88, Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei, aggiornato dall’UNI 11182/2006.

Art. 2.7 - La caratterizzazione meccanica dei materiali

Il rilievo visivo ed alcune indagini possono consentire di giungere ad una buona conoscenza e ad un giudizio sulla qualità dei materiali e del loro degrado. Tuttavia, in alcuni casi la

modellazione del comportamento strutturale, specie nei riguardi dell'azione sismica, richiede la conoscenza di parametri meccanici di deformabilità e resistenza dei materiali, ed in particolare della muratura. Tecniche diagnostiche non distruttive di tipo indiretto, quali prove soniche ed ultrasoniche, consentono di valutare l'omogeneità dei parametri meccanici nelle diverse parti della costruzione, ma non forniscono stime quantitative attendibili dei loro valori, in quanto essi vengono desunti dalla misura di altre grandezze.

La misura diretta dei parametri meccanici della muratura, in particolare di quelli di resistenza, non può essere eseguita, quindi, se non attraverso prove debolmente distruttive o distruttive, anche se su porzioni limitate. Le calibrazioni di prove non distruttive con prove distruttive possono essere utilizzate per ridurre l'invasività delle indagini di qualificazione.

La caratterizzazione degli elementi costituenti (malta e mattoni) può essere eseguita in sito o su campioni di piccole dimensioni, prelevati e successivamente analizzati in un laboratorio, di cui all'art. 59 del DPR 380/2001.

Per quanto riguarda le malte, oltre alle indagini chimico-fisiche effettuate sui prelievi (si veda il § Art. 2.6 -), possono essere eseguite diffusamente, tra le altre, prove sclerometriche e penetrometriche allo scopo di valutarne l'omogeneità; le composizioni determinate dalle analisi chimico-fisiche (§ Art. 2.6 -) dovranno servire alla ricostituzione della malta originaria, che dovrà essere quindi sottoposta a prove di compressione e di flessione a tre punti in accordo alla norma UNI EN 1015-11. Per quanto riguarda i mattoni, tramite opportune prove di laboratorio è possibile determinare, oltre alle caratteristiche fisiche, il modulo elastico e le resistenze a compressione e a trazione per flessione. Le prove fisiche e meccaniche sui mattoni devono essere conformi alla norma UNI EN 772.

Le caratteristiche meccaniche della muratura possono in via preliminare essere desunte dalle proprietà degli elementi costituenti facendo riferimento alle indicazioni contenute nel punto 11.10 di [1] o in altri documenti di riconosciuto valore scientifico e tecnico. Ai fini di una valutazione di vulnerabilità più attendibile e di una migliore calibrazione del progetto di miglioramento, la resistenza a compressione della muratura dovrà però essere determinata in laboratorio tramite prove dirette. Si dovranno pertanto prevedere, almeno per ciascuna delle tipologie murarie identificate sulla base della natura di malte e mattoni, prove di compressione su triplete. Le malte utilizzate per la realizzazione delle triplete saranno quelle ricostituite sulla base delle analisi chimico-fisiche. I mattoni utilizzati per la realizzazione delle triplete saranno quelli originali, prelevati in situ. In particolare, per ogni diverso accoppiamento malta-mattoni individuato in situ, si dovranno realizzare non meno di tre triplete da sottoporre a prova di compressione. La resistenza a compressione di calcolo per ogni tipologia di muratura individuata in situ sarà ottenuta dividendo i valori medi delle prove per il fattore di confidenza più appropriato in relazione alla conoscenza del manufatto raggiunta con le indagini (per la valutazione del fattore di confidenza si veda [3]) e per il coefficiente parziale di sicurezza della muratura, valutato di volta in volta sulla base del tipo di analisi che si intende effettuare (ad esempio lineare o non lineare).

Per la determinazione del peso specifico, dei moduli elastici longitudinale e a taglio e della resistenza a

taglio in assenza di compressione (coesione) si dovrà fare riferimento a norme o criteri di comprovata validità. Solo in via preliminare si potrà fare uso dei valori, opportunamente scelti sulla base delle tipologie e delle qualità murarie, riportati in [2], Tab. C8A.2.1 e C8A.2.2. Nel far ciò si dovrà tener conto, secondo le modalità indicate in [2], del Livello di Conoscenza raggiunto grazie alle indagini conoscitive svolte. Utili informazioni sulle metodologie più avanzate di indagine sono disponibili in [7].

La programmazione delle indagini e la interpretazione dei risultati va inquadrata in procedure di carattere più complessivo, nelle quali possa assumere significato anche l'impiego di un solo dato sperimentale. L'identificazione delle caratteristiche meccaniche potrà anche essere ottenuta per analogia con murature simili, tenendo conto, per quanto possibile, anche dei fenomeni di degrado.

Con riferimento alle strutture lignee, si dovrà procedere, da un lato, alla caratterizzazione delle specie legnose e, dall'altro, ad indagini in situ atte a verificarne lo stato di conservazione e a fornire una mappa del danneggiamento delle sezioni indagate. Le informazioni raccolte dovranno servire alla caratterizzazione strutturale degli elementi lignei, necessaria ai fini delle verifiche di resistenza e deformabilità. Per l'identificazione della specie legnosa si rimanda alla UNI 11118, mentre per la valutazione dello stato di conservazione e per la stima del profilo resistente degli elementi in opera si rimanda alla UNI 11119. Infine, per ulteriori indicazioni relative ai criteri da seguire per la valutazione preventiva e la definizione degli interventi sulle strutture lignee presenti negli edifici tutelati, si rimanda alla UNI 11138.

Nel caso delle capriate e dell'orditura secondaria della copertura le indagini diagnostiche in situ potranno essere eseguite tramite trapano resistografico. Per le capriate si dovranno indagare accuratamente le zone di appoggio sulla muratura. Indagini resistografiche dovranno essere eseguite anche sulle travi dei solai intermedi. Quando le travi non risultassero accessibili, si potranno, in via preliminare, indagare le testate sostenute dalle pareti perimetrali o affacciate sulle corti interne. A tale scopo si dovrà procedere alla rimozione temporanea delle porzioni di muratura comprese tra le testate delle travi e la superficie esterna delle pareti.

Ai fini di una calibrazione dei metodi visuali di caratterizzazione previsti dalla citata norma UNI 11119 si potranno effettuare prelievi in situ di elementi lignei, quali travi o travicelli, da sottoporre in laboratorio a prove statiche di flessione a tre o a quattro punti. Tali prove, a carattere non distruttivo, dovranno prevedere la misura in continuo dei carichi applicati e dei corrispondenti spostamenti di alcune sezioni. Le misure effettuate, associate all'utilizzo di opportuni modelli meccanici, potranno servire all'identificazione delle rigidità a flessione e a taglio degli elementi lignei. Allo scopo di limitare l'invasività delle indagini, si dovranno scegliere posizioni di prelievo accessibili con relativa facilità ed in grado di accogliere le necessarie opere temporanee di sostegno. Gli elementi prelevati dovranno essere catalogati ai fini di un ricollocamento nella loro posizione originaria al termine delle prove.

Art. 2.8 - Caratterizzazione di intonaci e pitture murali

Al fine di caratterizzare le superfici intonacate e verificare la presenza di pitture murali sotto strati di

scialbo o sotto nuovi intonaci, andrà progettata una campagna diagnostica mirata con la quale valutare lo stato conservativo a livello micro/macrosopico di superfici e campioni prelevati. Prima di eseguire il prelievo di saggi stratigrafici, saranno acquisite ed analizzate immagini in luce visibile, nel vicino infrarosso e nell'ultravioletto per ottenere informazioni su ridipinture, su interventi di restauro, su un eventuale disegno preparatorio, sulle tecniche artistiche. Gli esami effettuati nel dominio delle radiazioni visibili (luce radente e luce monocromatica di sodio; luce trasmessa; macrofotografia) contrassegneranno ogni ambiente oggetto di intervento. Nell'ipotesi di prelievo di saggi stratigrafici, i campioni andranno esaminati almeno con indagini di tipo cromatografiche, diffrattometriche e spettroscopiche.

Art. 2.9 - Aspetti geotecnici

L'accertamento del tipo e della consistenza del sistema di fondazione, unitamente alla caratterizzazione geotecnica del terreno compreso nel volume significativo di sottosuolo, costituiscono elementi necessari alla valutazione dell'azione sismica e dei suoi effetti sulla costruzione. Tutte le indagini e gli accertamenti dovranno essere preceduti da un accurato studio della documentazione disponibile per le costruzioni in esame. Alla luce di questi studi preventivi, è possibile predisporre un piano d'indagine per accertare forma, dimensioni e materiali costituenti le strutture di fondazione. Tra le possibili indagini, saranno preferiti i controlli non distruttivi. Le indagini geotecniche devono permettere la caratterizzazione fisicomeccanica dei terreni di fondazione, tramite prove in sito e di laboratorio, finalizzata all'individuazione di modelli geotecnici adatti alle analisi di risposta sismica locale.

Lo studio della documentazione relativa ai fabbricati in oggetto potrà essere integrata da informazioni dedotte dalla documentazione disponibile sui terreni di fondazione di edifici che sorgono nelle vicinanze. L'insieme di queste informazioni e le eventuali nuove indagini geotecniche dovranno essere utilizzate, tra l'altro, per la definizione della categoria del suolo di fondazione da adottare nella valutazione delle forze sismiche e per la verifica dei terreni nei confronti dei fenomeni di liquefazione.

Le metodologie d'indagine e la caratterizzazione geotecnica devono essere coerenti con i principi generali della progettazione geotecnica indicati nel Cap. 6 e nel punto 7.11 di [1].

CAPO 3 VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

Art. 3.1 - Individuazione e classificazione delle vulnerabilità

Il presente paragrafo riporta, non necessariamente in ordine di importanza, alcune potenziali fonti di vulnerabilità presenti negli edifici in esame. Di queste e di tutte quelle non espressamente citate ma che dovessero emergere nel corso delle campagne di indagine si dovrà tenere debitamente conto nelle analisi di rischio e nella successiva definizione degli interventi.

- È accertata la presenza di pareti in falso, si vedano ad esempio quelle evidenziate nella pianta del piano nobile di Palazzo Renata di Francia riportata in Figura 4. Occorre valutare la possibilità che in esse possano instaurarsi archi di scarico, sia in condizioni statiche sia in condizioni sismiche. Tale valutazione passa dalla verifica della presenza, alla quota del solaio da cui spiccano, di tiranti/catene di sezione adeguata. Nel calcolo sotto azioni sismiche si dovrà tenere conto della componente verticale.
- È accertata la presenza di volte di mattoni in foglio (Figura 12). Esse hanno riportato severi danni a seguito della sequenza sismica del maggio 2012.
- A Palazzo Renata di Francia e a Palazzo Gulinelli sono presenti loggiati poggianti su colonne e soggetti ai pesi dei piani soprastanti (Figura 6, Figura 7). Essi appaiono vulnerabili in quanto le azioni sismiche associate alle masse dei piani soprastanti non possono in alcun modo essere contrastate dalle colonne. Un'attenta valutazione della capacità delle pareti ai lati dei loggiati di fungere da sistemi di controvento è dunque necessaria, ma non sufficiente. Infatti, affinché tali sistemi possano agire come controvento è necessario che i solai soprastanti i loggiati siano dotati di una adeguata rigidità nel proprio piano e che siano opportunamente collegati alle pareti. Anche la resistenza dei solai nel proprio piano dovrà essere adeguatamente valutata e commisurata all'entità delle azioni da trasmettere. Si tenga presente che le sezioni trasversali rilevate per i solai del corridoio e dell'Aula Magna di Palazzo Renata di Francia sono quelle riportate in Figura 8a,b.
- A Palazzo Gulinelli, le criticità del loggiato sono aggravate dalla presenza di lesioni nelle pareti complanari all'allineamento delle colonne (Figura 9).
- A Palazzo Renata di Francia, nella parete dell'Aula Magna rivolta verso Via Savonarola, è presente una evidente lesione con andamento pressoché verticale, originatasi a seguito della sequenza sismica del maggio 2012.
- A Palazzo Renata di Francia, al piano nobile, la parete che affaccia sul ballatoio dello scalone monumentale e quelle ad essa ortogonali presentano lesioni originatesi a seguito della sequenza sismica del maggio 2012.
- A Palazzo Renata di Francia, al piano nobile, sono presenti finte pareti in incannucciato, che in alcuni casi presentano in aderenza fodere in laterizio.
- Quanto detto circa la verifica della capacità dei solai di trasferire le azioni orizzontali alle strutture verticali non vale evidentemente solo per i loggiati. Nel caso delle coperture, ad esempio, è

opportuno verificare se le azioni orizzontali trasferite dalle capriate alle pareti di supporto possano essere convogliate alle pareti in direzione ortogonale con funzione di controvento. A titolo esemplificativo, si segnala che a Palazzo Renata di Francia e a Palazzo Tassoni-Mirogli è accertata la presenza di controventi di falda metallici (Figura 10), posti in opera in anni recenti. Purtroppo essi non interessano tutti i campi di falda individuati dalle capriate, dando luogo a un irrigidimento solo parziale e non uniforme della copertura con il quale risulta difficile che possa verificarsi quanto detto sopra.

- Il problema della verifica di resistenza dei solai nel proprio piano e della loro capacità di trasferire gli sforzi alle strutture verticali è direttamente collegato alla necessità di garantire l'assorbimento degli sforzi di trazione. L'attuale disposizione degli incatenamenti non sembra essere in grado di assolvere completamente a questa funzione.
- Le unità di condizionamento dell'aria poste alla quota del sottotetto sono in genere caratterizzate da una massa non trascurabile. In Figura 11 è riportata un'immagine relativa al Palazzo Renata di Francia, dove tali unità sono sostenute da travi metalliche inserite nella muratura. Gli effetti prodotti dall'accelerazione sismica agente su tali masse dovranno essere opportunamente presi in conto. Analogamente, si dovranno valutare gli effetti prodotti dall'oscillazione di masse appese (Figura 12).
- Palazzo Gulinelli è sede di un quadro fessurativo importante, legato presumibilmente a dissesti fondali. L'interpretazione del quadro fessurativo e la comprensione dei meccanismi che l'hanno prodotto, ivi compresa la loro evoluzione nel tempo, risultano di fondamentale importanza per la progettazione degli interventi.
- Numerose fasce di piano appaiono lesionate. Inoltre, molte delle fasce sotto le finestre sono caratterizzate da uno spessore di muratura inferiore rispetto a quello della parete di appartenenza (nicchie). La effettiva capacità delle fasce di collaborare alla resistenza delle pareti nel loro piano dovrà essere accuratamente verificata in sede di modellazione strutturale.
- Le elevate altezze interpiano danno luogo in alcuni casi a snellezze significative per le pareti. Ciò pone la necessità di valutare accuratamente i possibili fenomeni di instabilità delle strutture verticali.
- A Palazzo Tassoni-Mirogli parte della copertura, avente struttura metallica, sembra essere spingente.
- A Palazzo Tassoni-Mirogli è accertata la presenza di elementi in c.a. posti alla quota di gronda e aggettanti verso l'interno, ben visibili ispezionando il sottotetto. Essi si trovano tra capriata e capriata e mancano di continuità in direzione longitudinale. Non hanno quindi funzione di cordolo sommitale, quanto piuttosto quella di contrappeso per la cornice esterna in muratura (Figura 13).
- Sono presenti numerose fonti di irregolarità strutturale, sia in pianta sia in elevazione. Si considerino ad esempio i casi della "torre" (Figura 14a) e della "torretta" (Figura 14b) di Palazzo Tassoni-Mirogli. È inoltre frequente il caso di corpi di fabbrica a diretto contatto senza l'interposizione di giunti strutturali, fatto che espone tra l'altro al rischio di martellamento. Si consideri ad esempio il complesso di Palazzo Strozzi, costituito da un insieme di corpi di fabbrica realizzati in tempi successivi e più volte rimaneggiati nel tempo.

- In alcuni casi gli orizzontamenti comprendono campi di solaio a quote diverse.
- Le pareti di spina all'ultimo piano dei palazzi in esame si presentano sistematicamente poco vincolate fuori dal proprio piano e sormontate da appoggi puntuali, generalmente snelli, per le strutture lignee della copertura (Figura 15, Figura 16). Per tali pareti si dovrà pertanto valutare accuratamente il rischio dell'instaurarsi di cinematismi di primo modo.
- A Palazzo Strozzi, la parete di testata rivolta a nord-est, al secondo piano, si presenta parzialmente distaccata dalle pareti ortogonali. La criticità, particolarmente evidente dal corridoio, è emersa a seguito della sequenza sismica del maggio 2012 (Figura 17).
- L'ammorsamento tra pareti ortogonali appare talvolta carente. Ciò può incrementare, in particolar modo per le pareti di facciata, la propensione al ribaltamento. La criticità può essere aggravata dalla presenza nelle pareti di controvento di aperture in vicinanza della parete di facciata (Figura 18).
- A seguito della sequenza del maggio 2012, Palazzo Tassoni-Mirogli presenta numerose significative lesioni sulle pareti. Le pareti dei vani scale, di elevata snellezza, presentano quadri fessurativi rilevanti. Le fasce di piano sono danneggiate, sia nella pareti perimetrali sia in quelle di spina. Alcune pareti presentano fuori piombo da tenere debitamente in conto nelle analisi dei cinematismi di ribaltamento. Le connessioni tra solai e pareti sono carenti e alcuni campi di solaio hanno subito traslazioni relative rispetto alle pareti di sostegno dell'ordine di qualche centimetro. Tali movimenti hanno causato danni alle sedi di appoggio (Figura 19).
- Il tiburio presente al di sopra dell'ufficio del Rettore potrebbe risultare vulnerabile in presenza di azione sismica.



Figura 4. Pianta del piano nobile di Palazzo Renata di Francia, con indicazione delle pareti in falso (Tav. 06 di [9]).

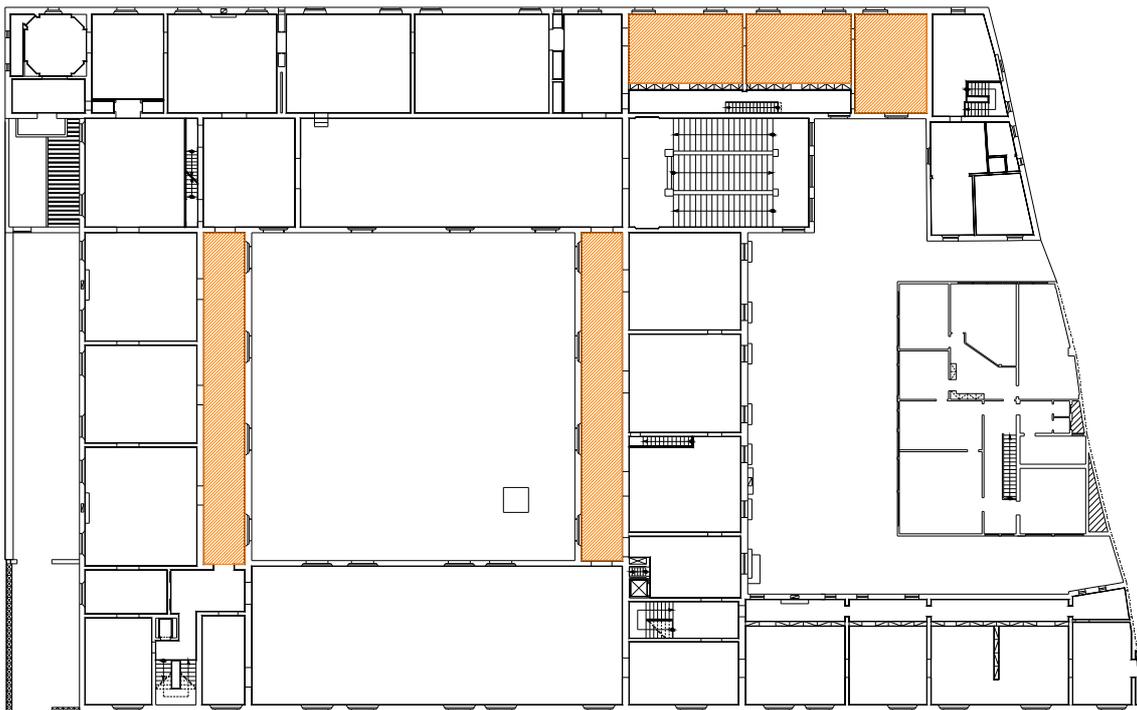


Figura 5. Pianta del piano nobile di Palazzo Renata di Francia, con indicazione degli ambienti con soffitto di volte di mattoni in foglio.



Figura 6. Il loggiato di Palazzo Renata di Francia che affaccia su Parco Pareschi. Sullo sfondo, il cortile interno.



Figura 7. Il loggiato di Palazzo Gulinelli.

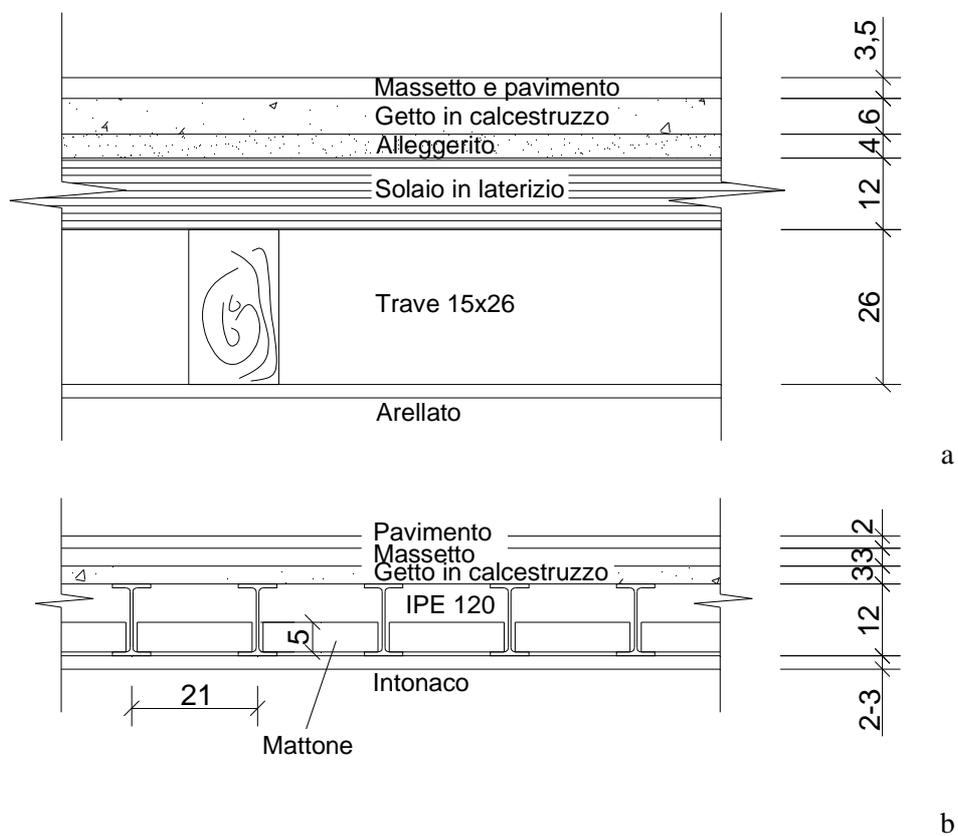


Figura 8. Solai del corridoio (a) e dell'Aula Magna (b) di Palazzo Renata di Francia.



Figura 9. Palazzo Gulinelli, lesioni in una parete complanare all'allineamento di colonne del loggiato.



Figura 10. Controventi di falda metallici nella copertura di Palazzo Tassoni-Mirogli.

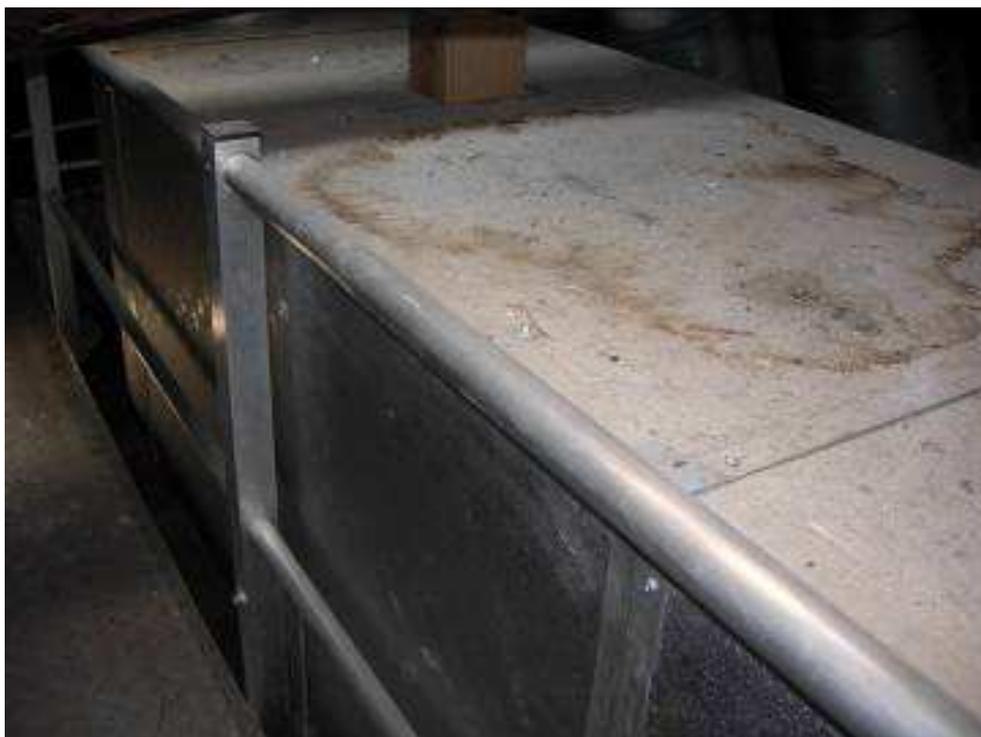


Figura 11. Unità di condizionamento dell'aria nel sottotetto di Palazzo Renata di Francia.



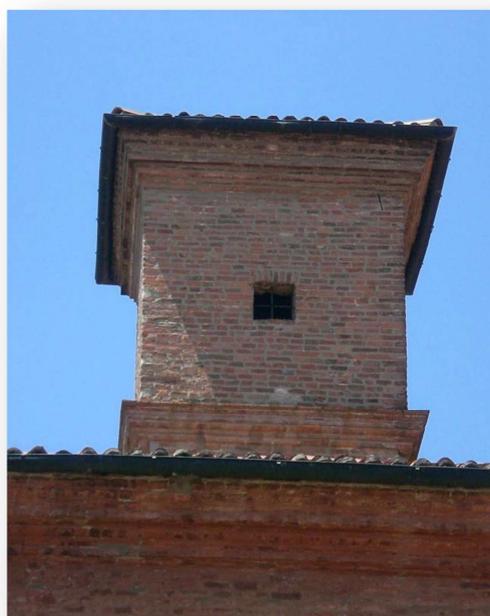
Figura 12. Soffitto dell'Aula Magna di Palazzo Renata di Francia.



Figura 13. Contrappeso in c.a. alla quota di gronda di Palazzo Tassoni-Mirogli.



a



b

Figura 14. La torre (a) e la torretta (b) di Palazzo Tassoni-Mirogli.

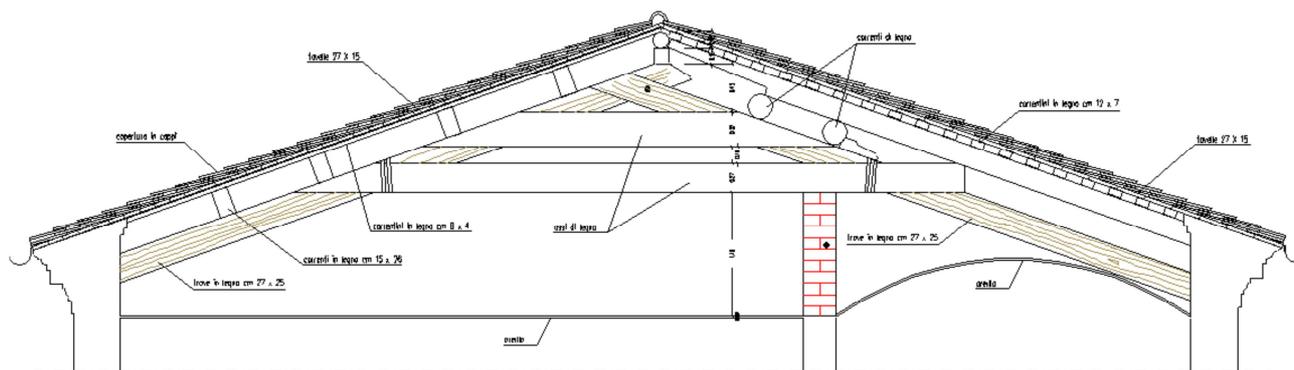


Figura 15. Sezione trasversale della copertura di un'ala di palazzo Strozzi, da cui si nota la parete di spina con un appoggio puntuale per le strutture lignee (immagine tratta dall'Elaborato RGT05 di [8]).

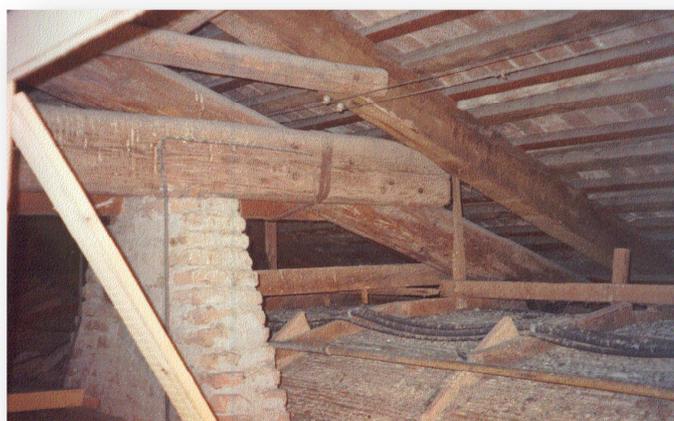


Figura 16. Immagine di una delle capriate del tipo di Figura 15 (tratta dall'Elaborato RGT05 di [8]).



Figura 17. Secondo piano di Palazzo Strozzi. Quadro fessurativo della parete di testata a nord-est all'intersezione con le pareti che delimitano il corridoio.



Figura 18. Palazzo Tassoni-Mirogli. Quadro fessurativo in una parete ortogonale ad una parete perimetrale, con parziale mobilitazione di un cuneo di distacco.



Figura 19. Palazzo Tassoni-Mirogli. Parziale sfilamento di una trave lignea dalla parete di supporto, localmente danneggiata a causa del martellamento. La stessa parete presenta lesioni agli incroci con le pareti ortogonali.

Art. 3.2 - Definizione degli Stati Limite da considerare nel calcolo

Si dovranno considerare sia gli Stati Limite Ultimi sia quelli di Esercizio. Le verifiche di sicurezza dovranno essere condotte con riferimento sia alle combinazioni di carico non sismiche, ivi comprese quelle eccezionali (ad es. incendio) sia a combinazioni di carico che includono il sisma. In particolare, in quest'ultimo caso, le verifiche da effettuare per i diversi Stati Limite sono funzione della Classe d'Uso così come specificato in [2].

Art. 3.3 - Calcolo della struttura sotto carichi non sismici

Particolare attenzione dovrà essere dedicata alla valutazione:

- delle azioni trasmesse ai terreni di fondazione, della loro resistenza e della loro attitudine a manifestare cedimenti in grado di causare dissesti alle strutture in elevazione;
- della deformabilità di solai, volte e coperture;
- degli stati di sforzo nelle strutture murarie, tenendo conto delle singolarità presenti nel tessuto murario (inclusioni realizzate con materiali diversi da quelli originari e quindi potenzialmente caratterizzate da diverse rigidezze, presenza di aperture tamponate, riduzioni di sezione dovute alla presenza di fori, nicchie e canalizzazioni, ecc.) e della reale distribuzione dei carichi.

Art. 3.4 - Verifica dei meccanismi locali sotto azioni sismiche

La descrizione stereometrica (§ Art. 2.4 -) potrà essere utilizzata per ricavare rappresentazioni

tridimensionali degli edifici o di loro parti o macroelementi. Tali rappresentazioni assumono importanza fondamentale nella verifica dei cinematismi di ribaltamento. Infatti, dove il meccanismo non interessi singole pareti o sia legato alla formazione di cerniere inclinate rispetto all'orizzontale, la modellazione tridimensionale del cinematismo diviene imprescindibile.

Le verifiche dovranno tenere conto dei seguenti aspetti fondamentali.

La configurazione delle cerniere che attivano un dato meccanismo dipende fortemente dalla qualità muraria. Risulta pertanto di primaria importanza la fase di rilievo di cui al § CAPO 2 . Cerniere inclinate o non rettilinee possono instaurarsi a causa del degrado della muratura o originarsi a partire dalle lesioni presenti. Inoltre, la geometria dei macroelementi soggetti ai cinematismi è influenzata dal grado di ammorsamento tra le pareti e dal grado di connessione trasversale all'interno di un singolo paramento. Le verifiche dei meccanismi di primo modo dovranno essere eseguite in generale attraverso analisi cinematiche non lineari, così come sono codificate in [2]. Analisi cinematiche lineari potranno essere utilizzate in via preliminare per definire una scala delle vulnerabilità utile per le successive analisi non lineari. In generale si dovranno prendere in considerazione tutti i meccanismi significativi che possono interessare le pareti interne ed esterne, con riferimento ai meccanismi di espulsione (Figura 20a) e a quelli di ribaltamento (Figura 20b) di un singolo piano, di due piani e così via. Le analisi dovranno in generale tenere conto del comportamento non lineare della muratura, delle catene metalliche e di ogni altro elemento appartenente alla catena cinematica, nonché del grado di collegamento trasversale fra i paramenti, dell'ammorsamento tra pareti ortogonali e del quadro fessurativo presente.

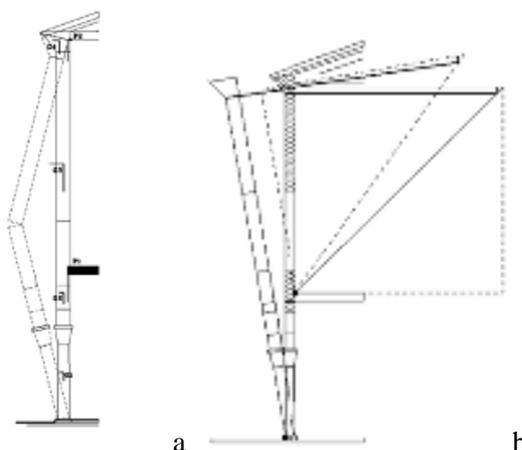


Figura 20. Meccanismi di espulsione (a) e ribaltamento (b).

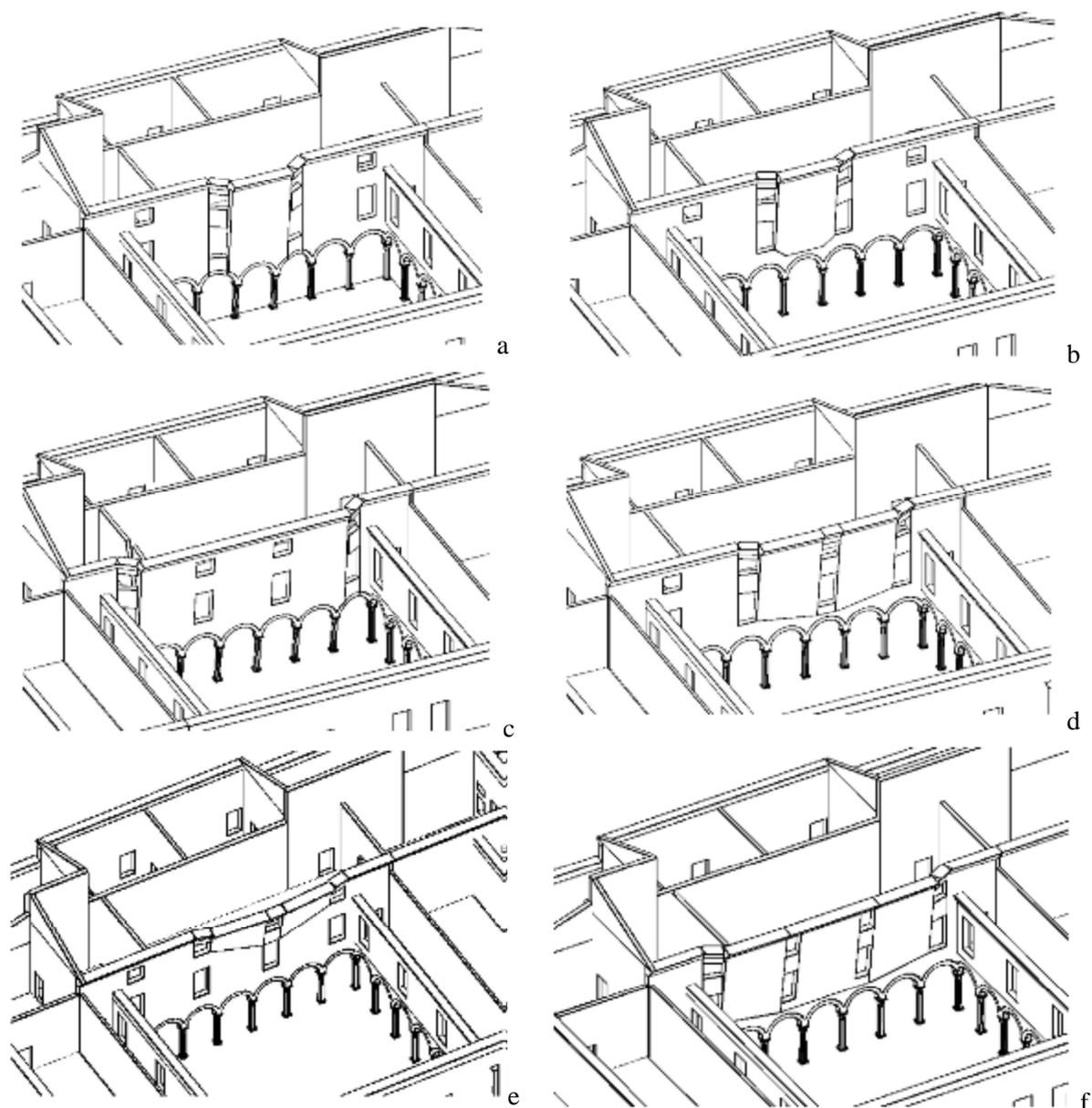


Figura 21. Alcuni meccanismi di primo modo per una parete di Palazzo Renata di Francia che affaccia sul cortile interno (da [10]);

- a: ribaltamento della porzione centrale della parete attorno ad una cerniera passante per la base dei pilastri;**
- b: ribaltamento della porzione centrale attorno ad una cerniera posta alla quota del primo piano;**
- c: ribaltamento dell'intera parete attorno ad una cerniera passante per la base dei pilastri;**
- d: ribaltamento della porzione centrale attorno a cerniere inclinate congiungenti il solaio del primo piano con gli spigoli inferiori delle aperture;**
- e: ribaltamento della porzione centrale attorno a cerniere inclinate congiungenti il solaio del secondo piano con gli spigoli inferiori delle aperture;**
- f: ribaltamento dell'intera parete attorno a cerniere inclinate congiungenti il solaio del primo piano con gli spigoli inferiori delle aperture.**

A titolo esemplificativo, in Figura 21 sono riportati alcuni possibili cinematismi di ribaltamento per una parete di Palazzo Renata di Francia, che mobilitano macroelementi di geometria e massa diverse. Per tenere conto della possibile variabilità nella qualità del tessuto murario, delle connessioni tra paramenti, della presenza o dell'assenza di elementi di ritegno, per ogni parete si dovranno poi prevedere analisi di cinematismi di ribaltamento parziale di macroelementi di un piano, due piani e così via, con passo non

superiore a 2 metri lineari dello sviluppo in pianta della parete.

Art. 3.5 - Verifica dei meccanismi globali sotto azioni sismiche

La verifica dei meccanismi globali dovrà in generale essere svolta attraverso analisi non lineari tridimensionali. Per la modellazione numerica degli elementi strutturali si dovrà tenere conto di legami costitutivi di comprovata validità, quali quelli riportati dalle vigenti norme, [1]. I pannelli murari, ad esempio, dovranno essere modellati facendo opportuno riferimento a legami costitutivi non lineari per i meccanismi di pressoflessione, taglio per fessurazione diagonale e taglio-scorrimento. Nel caso di analisi non lineari statiche (pushover), si dovrà porre particolare cura nell'individuazione delle Unità Strutturali così come definite in [1] e si dovrà tenere debitamente conto degli effetti prodotti dal comportamento delle Unità Strutturali adiacenti.

Analisi di tipo lineare potranno essere utilizzate in via preliminare per definire una scala delle vulnerabilità utile per le successive analisi non lineari. A tale fine si potrà fare riferimento a modelli semplificati, quali ad esempio quello codificato dalle Linee Guida [3] per “palazzi, ville ed altre strutture con orizzontamenti intermedi”, purché venga preventivamente verificato il soddisfacimento delle ipotesi alla base dei modelli stessi.

Art. 3.6 - Risultati delle verifiche e definizione degli interventi

Per ogni Stato Limite considerato, i risultati delle verifiche per carichi non sismici dovranno essere espressi in funzione del rapporto tra la resistenza e la sollecitazione. I risultati delle verifiche per combinazioni di carico comprendenti l'azione sismica dovranno essere espressi in funzione dell'indice di sicurezza e del corrispondente fattore di accelerazione, così come risultano definiti in [3].

Ciascuna analisi relativa allo stato di fatto che non conduce al soddisfacimento delle verifiche di sicurezza dovrà essere sistematicamente ripetuta a seguito della progettazione di ogni intervento. La definizione complessiva del progetto degli interventi risulterà da un processo iterativo al termine del quale si dovrà fornire numericamente il livello di sicurezza raggiunto dagli edifici in esame. Tale livello di sicurezza dovrà essere preventivamente concordato con l'Università degli Studi di Ferrara.

CAPO 4 PROGETTO DEGLI INTERVENTI

Il progetto di lavori riguardanti il patrimonio storico costruito d'interesse culturale, secondo le disposizioni della normativa vigente in materia di progettazione di lavori pubblici, è articolato in tre livelli (progetto preliminare, definitivo, esecutivo). Fermo restando che bisognerà operare nell'ambito del quadro normativo vigente, si forniscono alcune specifiche relative ai differenti livelli della progettazione:

A livello di progetto preliminare, deve essere effettuata una valutazione preliminare della sicurezza sismica della costruzione nel suo stato attuale, che può essere conseguita con gli strumenti di valutazione del livello LV1. La relazione illustrativa relativamente alla costruzione nello stato attuale, oltre a quanto già prescritto dalle vigenti disposizioni, deve perciò descrivere la sua storia sismica ed il comportamento sismico accertato su base qualitativa, mentre la relazione tecnica deve riportare la valutazione della sicurezza sismica attraverso i modelli semplificati di livello LV1. Al fine di strutturare ed uniformare il processo di acquisizione della conoscenza del manufatto, è possibile fare riferimento ai moduli illustrati nell'Allegato A di [3].

Per quanto attiene le scelte di carattere architettonico, il livello preliminare della progettazione sarà corredato da una relazione programmatica illustrativa del quadro delle conoscenze sviluppato per settori d'indagine e dei metodi di intervento, alla quale saranno allegati i necessari schemi grafici a supporto della campagna diagnostica condotta *in situ* e delle analisi scientifiche condotte in laboratorio. Tale documentazione fornirà gli elementi idonei a comporre uno studio di fattibilità che offra gli elementi di giudizio per le scelte dei tipi e dei metodi di intervento, da approfondire nel progetto definitivo, nonché per la stima del costo di intervento.

Il quadro delle conoscenze consisterà in una lettura dello stato attuale del (CA) e nell'identificazione dei tipi di indagine da implementare per la conoscenza del manufatto e del suo contesto storico e ambientale e che riguardano:

- l'analisi storico-critica; i materiali e le tecniche costruttive; il rilievo del (CA);
- la diagnostica sul campo e sul territorio;
- l'identificazione del comportamento strutturale e l'analisi del degrado e dei dissesti;
- l'individuazione di eventuali apporti da altre discipline afferenti.

Pertanto, in ragione della complessità, dello stato di conservazione e dei caratteri storico-artistici del (CA), il progetto preliminare dovrà comprendere quelle ricerche e quelle indagini che sono strettamente necessarie ad una prima reale identificazione delle scelte di intervento, delle motivazioni metodologiche e dei relativi costi di intervento.

Nella successiva fase di progettazione definitiva devono essere valutate sia la sicurezza attuale che quella conseguita a seguito dell'intervento, attraverso il livello di valutazione LV2 o LV3, a seconda che l'intervento sia locale o di riparazione, o interessi il miglioramento sismico

dell'intera costruzione. La relazione tecnica specialistica, oltre a quanto già prescritto dalle vigenti disposizioni, deve: definire l'azione sismica di riferimento adottata per il sito; illustrare i risultati delle analisi diagnostiche svolte sul manufatto, al fine della lettura materico costruttiva, della caratterizzazione dei materiali, dell'interpretazione dei dissesti e dell'individuazione dei possibili meccanismi di danno sismico; illustrare il modello meccanico della struttura adottato per l'analisi sismica, motivando la scelta del tipo di analisi svolta, ed inquadrarlo secondo i previsti livelli di valutazione LV2 o LV3; fornire il giudizio finale sulla efficacia dell'intervento, non solo attraverso considerazioni qualitative ma anche sulla base di un confronto tra la capacità della struttura, che risulta dai modelli di calcolo, e la domanda derivante dall'azione sismica di riferimento.

In termini di scelte più propriamente di carattere architettonico, il progetto definitivo indagherà il (CA) con riferimento al suo insieme ed al contesto ambientale in cui è inserito, approfondendo gli apporti disciplinari, di cui al cap. 2, attraverso l'elaborazione di una specifica documentazione riguardante:

- l'identificazione della costruzione;
- la caratterizzazione funzionale dell'edificio e dei suoi spazi;
- il rilievo geometrico;
- l'analisi storica degli eventi e degli interventi subiti;
- il rilievo materico costruttivo e lo stato di conservazione;
- la caratterizzazione meccanica dei materiali;
- la caratterizzazione di intonaci e pitture murali;
- gli aspetti geotecnici.

A questa sarà affiancata una relazione illustrativa degli indirizzi culturali e delle compatibilità tra progetto e funzione attribuita al bene attraverso una conoscenza compiuta delle vocazioni d'uso dello stato di fatto. Tale relazione costituirà il naturale supporto ai grafici di progetto, elaborati nelle scale di rappresentazione più opportune. Tali elaborati contribuiranno ad individuare le scelte a carattere architettonico sintetizzando le priorità degli interventi nell'elaborazione dello Stato Sovrapposto che identificherà in rosso i nuovi apporti del progetto ed in giallo le demolizioni previste. Al fine di illustrare gli interventi progettuali che risolvono le esigenze di tutela ed i fattori di degrado, dovranno essere predisposti opportuni elaborati nei quali associare le aree di degrado mappate al falso colore del materiale con una apposita codifica alfanumerica identificativa degli interventi conservativi e di consolidamento. Infine, per meglio illustrare gli esiti attesi dalle scelte progettuali proposte, dovranno essere predisposti *rendering* tridimensionali inseriti in riprese fotografiche dello stato esistente.

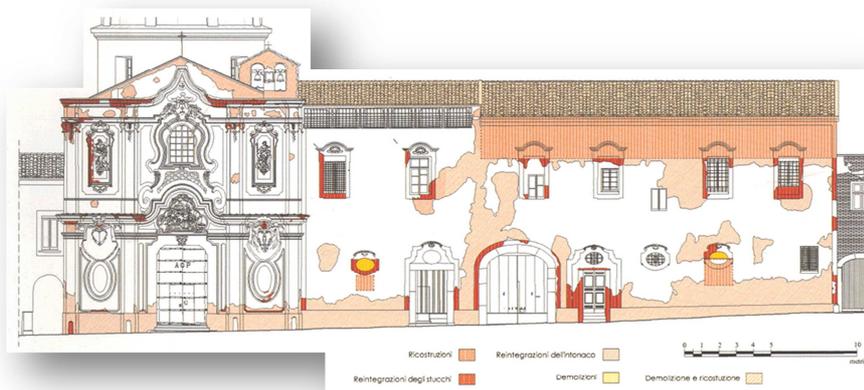


Figura 22. Esempificazione dello Stato Sovrapposto elaborato su di un alzato (da [6]);

Il progetto esecutivo deve precisare le modalità esecutive delle operazioni tecniche da eseguire ed indicare i controlli da effettuare in cantiere, con riferimento alla corretta esecuzione ed all'efficacia degli interventi eseguiti, e nella fase post intervento, nell'ambito di programmi di manutenzione e controllo. È peraltro necessario che, nel corso dei lavori, siano predisposti elaborati che illustrino in dettaglio gli interventi così come eseguiti sulla costruzione.

Il progetto esecutivo definirà in modo compiuto i materiali, i mezzi d'opera e le tecniche di intervento, prescrivendo le modalità esecutive e la scansione cronologica delle operazioni tecniche relative agli apparati decorativi, alle strutture, agli impianti tecnologici, alle scelte funzionali-distributive. inoltre, indicherà quali verifiche andranno predisposte in cantiere nel



Figura 23. Esempificazione relativa alla predisposizione degli interventi di progetto (da [6]);

corso della prima fase di avvio dei lavori. Infine, esso potrà essere redatto per stralci successivi di intervento, entro il quadro tracciato dal progetto definitivo, facendo uso, ove necessario, di nuovi approfondimenti di indagine a completamento delle analisi e delle ricerche svolte in precedenza.