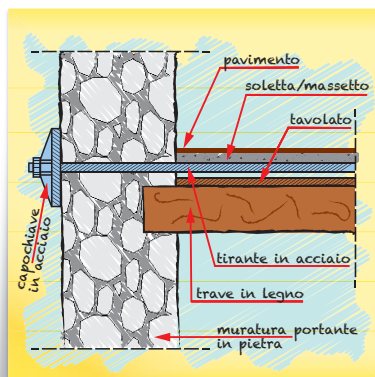


Giuliano Vecchi – Marco Giovannelli

CONSOLIDAMENTO STRUTTURE IN MURATURA

**METODI E TECNICHE DI INTERVENTO
PER EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA PORTANTE**

AGGIORNATO ALL'ORDINANZA C.D.P.C. 20 FEBBRAIO 2013, N. 52
RELATIVA AI CONTRIBUTI PER GLI INTERVENTI DI PREVENZIONE DEL RISCHIO SISMICO



SOFTWARE INCLUSO

PRINCIPALI NORME DI RIFERIMENTO

Glossario (principali termini tecnico-normativi), **F.A.Q.** (domande e risposte sui principali argomenti),

Test iniziale (verifica della formazione di base), **Test finale** (verifica dei concetti analizzati)



GRAFILL

INDICE

PREFAZIONE	p.	1
1. IL MATERIALE MURATURA	"	3
1.1. Introduzione.....	"	3
1.2. La classificazione delle tipologie murarie	"	3
1.3. Le caratteristiche meccaniche della muratura in genere.....	"	7
1.4. Le caratteristiche meccaniche delle murature esistenti secondo le NTC 2008 e relative circolari attuative.....	"	13
1.5. Conclusioni.....	"	18
2. CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E MORFOLOGICHE DEGLI EDIFICI IN MURATURA	"	19
2.1. Introduzione.....	"	19
2.2. Edifici in muratura della prima classe.....	"	20
2.3. Edifici della seconda classe.....	"	30
2.3.1. Edifici della seconda classe con pareti ben ammorsate.....	"	37
2.3.2. Comportamento nel piano della parete	"	38
2.3. Edifici della terza classe.....	"	42
2.4. Conclusioni	"	46
3. I DISSESTI NEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA	"	47
3.1. Introduzione.....	"	47
3.2. Lesioni da schiacciamento.....	"	47
3.3. Lesioni di distacco	"	53
3.4. Dissesti dovuti alle spinte	"	57
3.5. Dissesti dovuti a cedimenti in fondazione	"	59
3.6. Dissesti dovuti alle azioni sismiche.....	"	63
3.6.1. Meccanismi di I modo.....	"	63
3.6.2. Meccanismi di II modo	"	69
4. GLI INTERVENTI CLASSIFICABILI COME MIGLIORAMENTO O ADEGUAMENTO SISMICO	"	76
4.1. Introduzione.....	"	76
4.2. Miglioramento sismico	"	78
4.3. Adeguamento (o miglioramento) sismico ottenuto passando da un meccanismo di I modo ad uno di II modo	"	86

4.4.	Adeguamento sismico.....	p.	93
4.5.	Ulteriori interventi che possono consentire di raggiungere il miglioramento o l'adeguamento sismico di una struttura esistente.....	"	98
4.5.1.	Cambio dei carichi agenti da sollecitanti a resistenti	"	98
4.5.2.	Modifica della muratura portante ordinaria in muratura armata ..	"	99
4.5.3.	Inserimento di nuove strutture	"	99
4.5.4.	Incremento della capacità aggregante delle masse murarie	"	99
4.5.5.	Isolamento sismico alla base	"	100
4.6.	Conclusioni	"	100
5.	GLI INTERVENTI CLASSIFICABILI COME LOCALI	"	102
5.1.	Introduzione	"	102
5.2.	Inserimento di nuove strutture collegate all'esistente.....	"	103
5.3.	Apertura di nuovi vani nella muratura portante.....	"	105
5.4.	Rifacimento di solai di interpiano o di copertura con cordolo sommitale...	"	109
5.4.1.	Caso n. 1	"	114
5.4.2.	Caso n. 2.....	"	118
5.5.	Incatenamenti metallici.....	"	122
5.6.	Rifacimento architravi con profili metallici.....	"	125
5.7.	Realizzazione di balconi, gronde e sbalzi.....	"	127
5.8.	Perforazioni armate nelle croci di muro e scuci e cucì locale	"	128
5.9.	Conclusioni	"	129
6.	FONDI PER IL RISCHIO SISMICO	"	130
6.1.	Introduzione	"	130
6.2.	Ordinanza del C.D.P.C. 20 febbraio 2013, n. 52 (Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2012).....	"	131
6.3.	Il calcolo del punteggio per la priorità di intervento sugli edifici privati	"	140
6.4.	Esempio pratico	"	141
6.5.	Conclusioni	"	142
	APPENDICE A – NATURA DEI TERREMOTI	"	144
	APPENDICE B – CLASSIFICAZIONE SISMICA STORICA	"	150
	APPENDICE C – PIANO RIGIDO E PIANO DEFORMABILE.....	"	157
	APPENDICE D – LA LEGGE DI HOOKE	"	163
	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO	"	166
	Introduzione	"	166
	Requisiti minimi hardware e software	"	166
	Download del software e richiesta della password di attivazione	"	166
	Installazione ed attivazione del software	"	167

PREFAZIONE

Il testo è rivolto a tutti coloro che vogliono approfondire la conoscenza degli edifici in muratura portante, tra cui certamente i professionisti del settore civile (ingegneri, architetti, geometri, periti edili ecc.) e nasce dalla volontà di due colleghi prima universitari e poi professionali che hanno maturato esperienza nel settore, e che hanno voluto rileggere in chiave critica il delicato e sempre più attuale argomento degli edifici esistenti in muratura portante. Il libro è stato concepito per fornire a chiunque le nozioni base per esaminare le caratteristiche costruttive delle varie tipologie di edifici (capitoli 1 e 2) e per esaminare e cercare di capire le possibili insorgenze di quadri fessurativi (capitolo 3). In particolare, con riferimento a questi ultimi, è stata focalizzata l'attenzione sulle varie tipologie di lesioni possibili, al fine di capire il motivo della loro presenza ed individuare il criterio più appropriato di intervento di consolidamento che si può eseguire sulla struttura.

Infine sono state esaminate le varie tipologie previste dalla norma vigente per intervento locale, miglioramento o adeguamento sismico, con lo scopo di cercare di capire quali siano i casi in cui lo stesso possa essere classificato come locale e non “globale”, ovvero i casi in cui l'intervento strutturale comporti una sostanziale modifica del comportamento dell'edificio nei confronti delle azioni sismiche. Questa distinzione è molto importante, non solo dal lato analitico-computazionale, infatti gli interventi di miglioramento e adeguamento prevedono l'esecuzione dell'analisi sismica (lineare o non lineare) dell'intera struttura in oggetto, ma anche dal punto di vista dell'iter amministrativo, infatti per l'intervento classificato dal D.M. 14 gennaio 2008 come “locale” non è obbligatoria la redazione del collaudo statico (capitoli 4 e 5).

Infine viene dedicato un intero capitolo all'esame dell'Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile del 2014, che prevede lo stanziamento di fondi per la mitigazione del rischio sismico del patrimonio immobiliare esistente che include anche gli edifici privati.

Dopo il terremoto che ha colpito la Regione Abruzzo il 6 aprile 2009, è stato emanato il D.L. n. 39 del 28 aprile 2009, il quale, all'articolo 11, prevede un fondo per il finanziamento di interventi di mitigazione del rischio sismico su tutto il territorio nazionale.

La spesa autorizzata è di 44 milioni di euro per l'anno 2010, di 145,1 milioni di euro per il 2011, di 195,6 milioni di euro per ciascuno degli anni 2012, 2013 e 2014, di 145,1 milioni di euro per l'anno 2015 e di 44 milioni di euro per il 2016 per una cifra complessiva di quasi un miliardo di euro.

L'attuazione del fondo è affidata al Dipartimento della Protezione Civile ed è regolata attraverso ordinanze del Presidente del Consiglio dei Ministri, tra cui la prima è stata l'Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 52 del 2013, pubblicata nella *Gazzetta Ufficiale* il 28 febbraio 2013, relativa ai fondi per l'annualità 2013, e poi la 2014, che regola le modalità di finanziamento degli interventi di mitigazione del rischio sismico riguardanti anche il finanziamento di interventi su edilizia privata.

Per l'accesso al contributo occorre presentare una domanda presso il Comune di appartenenza che ha redatto il relativo bando e dove devono essere indicate le caratteristiche dell'edificio e la tipologia di intervento che si chiede venga finanziato. Sulla base delle informazioni reperibili da tale documento, le Regioni stilano una graduatoria di priorità per l'erogazione dei finanziamenti. Nel caso in cui venga concesso il contributo, il beneficiario deve provvedere a far redigere un progetto di ristrutturazione, coerente con la richiesta presentata, entro il termine di **novanta giorni** per gli interventi di rafforzamento locale e di **centottanta giorni** per gli interventi di miglioramento sismico o demolizione e ricostruzione. La scelta della tipologia di intervento indicata nella domanda va fatta con molta cautela in quanto, qualora il progetto non risulti coerente con la richiesta, nel caso di intervento che aumenti la sicurezza della costruzione, la relativa maggiore spesa rispetto al contributo assegnato, rimane a carico del soggetto proponente, invece nel caso di intervento in diminuzione della sicurezza, la Regione procede alla revoca del contributo concesso ed alla cancellazione del soggetto dalla graduatoria.

Per la compilazione corretta della domanda è opportuno allora che il privato sia assistito da un professionista che abbia delle specifiche capacità che gli permettano di capire quale sia la tipologia più opportuna di intervento nell'edificio in oggetto, senza preliminarmente alcun tipo di indagine, ma solo a seguito di un esame visivo della struttura.

GLI INTERVENTI CLASSIFICABILI COME MIGLIORAMENTO O ADEGUAMENTO SISMICO

4.1. Introduzione

Rientrano nella categoria del miglioramento o adeguamento, tutti quegli interventi che modificano in maniera sostanziale la massa, la rigidità e lo schema statico della struttura considerata, ovvero che variano il comportamento globale della stessa.

In particolare, per quanto riguarda l'adeguamento il §8.4.1 delle NTC 2008 dispone che «È fatto obbligo di procedere alla valutazione della sicurezza e, qualora necessario, **all'adeguamento della costruzione**, a chiunque intenda:

- a) *sopraelevare la costruzione;*
- b) *ampliare la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione;*
- c) *apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali in fondazione superiori al 10%; resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;*
- d) *effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente.*

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo.

Una variazione dell'altezza dell'edificio, per la realizzazione di cordoli sommitali, sempre che resti immutato il numero di piani, non è considerata sopraelevazione o ampliamento, ai sensi dei punti a) e b). In tal caso non è necessario procedere all'adeguamento, salvo che non ricorrano le condizioni di cui ai precedenti punti c) o d)».

Mentre per quanto riguarda il miglioramento il §8.4.2 delle NTC 2008 dice che «Rientrano negli interventi di miglioramento tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate.

È possibile eseguire interventi di miglioramento nei casi in cui non ricorrano le condizioni specificate al paragrafo 8.4.1.

Il progetto e la valutazione della sicurezza dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme».

Come meglio specificato nella C.M. n. 617/2009 al §C8.4.2: «In generale ricadono in questa categoria tutti gli interventi che, non rientrando nella categoria dell'adeguamento, fanno variare significativamente la rigidità, la resistenza e/o la duttilità dei singoli elementi o parti strutturali e/o introducono nuovi elementi strutturali, così che il comportamento strutturale locale o globale, particolarmente rispetto alle azioni sismiche, ne sia significativamente modificato. Ovviamente la variazione dovrà avvenire in senso migliorativo, ad esempio impegnando maggiormente gli elementi più resistenti, riducendo le irregolarità in pianta e in elevazione, trasformando i meccanismi di collasso da fragili a duttili».

Occorre precisare inoltre che, nei casi in cui sia sufficiente il solo miglioramento sismico ai sensi delle NTC 2008, su richiesta del committente dei lavori, si potrebbe raggiungere l'adeguamento sismico della struttura, anche se non obbligatorio.

Gli interventi che variano significativamente la rigidità della struttura nei confronti delle azioni orizzontali, sono sostanzialmente tutti quelli che interessano le strutture verticali, come ad esempio i classici consolidamenti con l'intonaco armato e l'iniezione di miscele leganti, infatti per essi la tabella C8A.2.2 della C.M. n. 617/2009, prevede dei coefficienti correttivi che vanno applicati oltre che ai parametri di resistenza anche ai moduli elastici E e G.

Rientrano in questa categoria anche quegli interventi che modificano la distribuzione degli elementi verticali resistenti, come ad esempio l'inserimento di nuove pareti, e la realizzazione di nuove aperture o modifica di quelle esistenti.

In quest'ultimo caso, se l'intervento interessa una sola parete, adottando opportuni accorgimenti, si può comunque ricadere nell'intervento locale (si rimanda al capitolo successivo per ulteriori dettagli in proposito) in quanto si modifica sostanzialmente la parete.

Nel caso di miglioramento o adeguamento sismico è comunque obbligatoria la valutazione della sicurezza che deve riguardare la struttura nel suo insieme, da eseguire su modelli di calcolo tridimensionali che assumono come ipotesi, tra l'altro, il comportamento globale e scatolare della struttura, assumendo quindi che l'edificio abbia un comportamento, sotto le azioni sismiche, ascrivibile a meccanismi di II modo.

La veridicità di tale ipotesi si basa sulla inibizione di tutti i possibili meccanismi locali di collasso, qualora si è in presenza di un edificio appartenente alla prima od alla seconda classe, in quanto altrimenti la verifica globale non avrebbe senso, ovvero la valutazione della sicurezza verrebbe eseguita su un modello di calcolo che ipotizza un comportamento che di fatto non si concretizza.

Negli edifici della terza classe invece la presenza dei cordoli di piano e dei piani rigidi assicura comunque il comportamento globale della struttura.

Nel §8.3 delle NTC 2008 si elencano tutti i casi in cui una costruzione esistente debba essere sottoposta alla valutazione della sicurezza.

«Le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a valutazione della sicurezza quando ricorra anche una delle seguenti situazioni:

- *riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni), situazioni di funzionamento ed uso anomalo, deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione;*
- *provati gravi errori di progetto o di costruzione;*
- *cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione;*
- *interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidità.*

Qualora le circostanze di cui ai punti precedenti riguardino porzioni limitate della costruzione, la valutazione della sicurezza potrà essere limitata agli elementi interessati e a quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale.

La valutazione della sicurezza deve permettere di stabilire se:

- *l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;*
- *l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);*
- *sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.*

La valutazione della sicurezza dovrà effettuarsi ogni qual volta si eseguano gli interventi strutturali di cui al punto 8.4, e dovrà determinare il livello di sicurezza prima e dopo l'intervento.

Il Progettista dovrà esplicitare, in un'apposita relazione, i livelli di sicurezza attuali o raggiunti con l'intervento e le eventuali conseguenti limitazioni da imporre nell'uso della costruzione».

Volendo dare una definizione si può dire che la valutazione della sicurezza è un procedimento di calcolo numerico quantitativo volto alla determinazione di un coefficiente che rappresenta e quantifica la sicurezza dell'edificio nei confronti delle azioni statiche e sismiche previste dalla norma. Tale coefficiente, normalmente chiamato anche indice di rischio, nel caso in cui assume valori inferiori ad uno, indica che la struttura non è in grado di sostenere le azioni previste dalla norma, al contrario se è maggiore di uno significa che la struttura rispetta i requisiti minimi previsti dalla norma per gli edifici esistenti per resistere alle azioni di progetto.

L'indice di rischio, indicato nel seguito con I_r , è il rapporto tra la capacità e la domanda, dove la capacità, è l'entità massima delle azioni o spostamenti che la struttura è capace di sostenere con i margini di sicurezza richiesti dalle NTC, mentre la domanda è l'entità delle azioni o spostamenti massimi di progetto previsti dalla stessa norma.

L'indice di rischio, moltiplicato per cento, rappresenta la percentuale delle azioni che la struttura è in grado di sostenere rispetto a quelle di progetto previste dalla norma.

Nel caso di un intervento di adeguamento sismico, la valutazione della sicurezza deve essere finalizzata a verificare che la struttura abbia, a seguito degli interventi di progetto, un indice di rischio maggiore di uno:

$$I_r > 1$$

Nel caso di miglioramento, la valutazione della sicurezza deve essere eseguita due volte, dapprima considerando l'edificio nella situazione "pre intervento", ed in seguito nella situazione "post intervento". La valutazione pre intervento serve a stabilire quale è l'indice di rischio della struttura allo stato attuale, I_{rpre} , mentre la valutazione post intervento fornisce l'indice di rischio della struttura dopo l'esecuzione dell'intervento, I_{rpost} , da confrontare con I_{rpre} , verificando che risulti

$$I_{rpre} < I_{rpost} < 1$$

Nel seguito del capitolo verranno illustrati alcuni interventi eseguiti su edifici reali, in particolare un intervento di miglioramento e due interventi di adeguamento.

4.2. Miglioramento sismico

Si prende in esame un edificio strutturalmente formato da due parti costruite in tempi diversi; la parte più vecchia è stata realizzata in muratura di pietrame ed ha un piano interrato e due piani fuori terra, ha fondazioni in c.a., il primo ed il secondo impalcato sono realizzati con solai in acciaio e laterizio e la copertura è costituita da muretti a nido d'ape che poggiano sul solaio del secondo impalcato.

L'ampliamento successivo, invece, è stato realizzato con muratura in blocchi di tufo, con fondazioni in c.a., solaio di calpestio del piano rialzato realizzato con vespaio areato, secondo impalcato e una porzione della copertura in latero-cemento mentre la restante parte della copertura fu anch'essa realizzata a nido d'ape.

Le due porzioni, anche se costruite in tempi successivi, sono ben collegate fra loro, infatti non si riscontrano lesioni di distacco.

Le due parti del fabbricato rispecchiano quindi le tecnologie in uso all'epoca della loro costruzione, infatti la parte più vecchia ha tutte le caratteristiche di un edificio della seconda classe, mentre la porzione più recente presentando al secondo piano, impalcati in latero-cemento e cordoli in c.a., anche se solo su tre lati, è realizzata con la tecnologia propria degli edifici della terza classe.

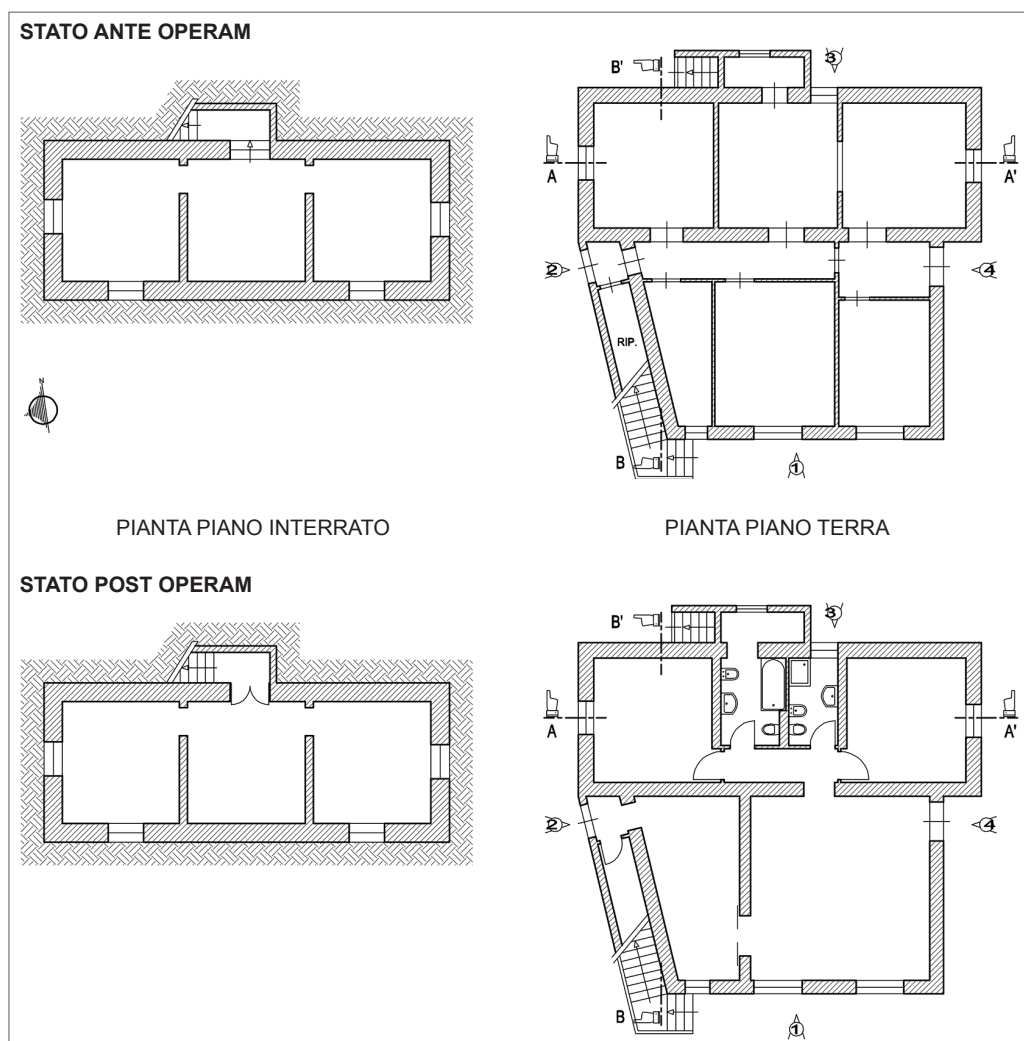


Figura 4.1. Pianta stato ante e post operam

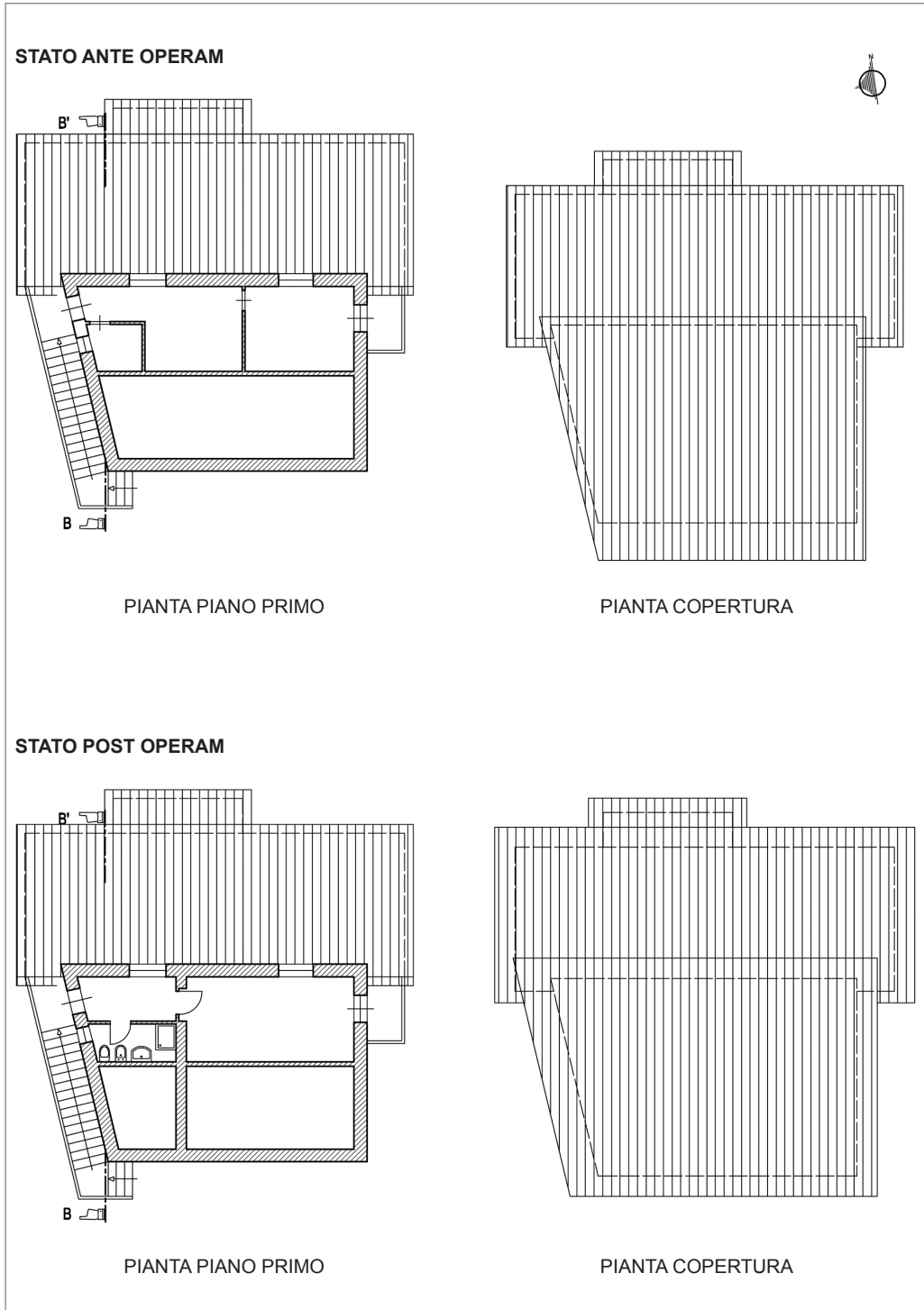


Figura 4.2. *Piante stato ante e post operam*

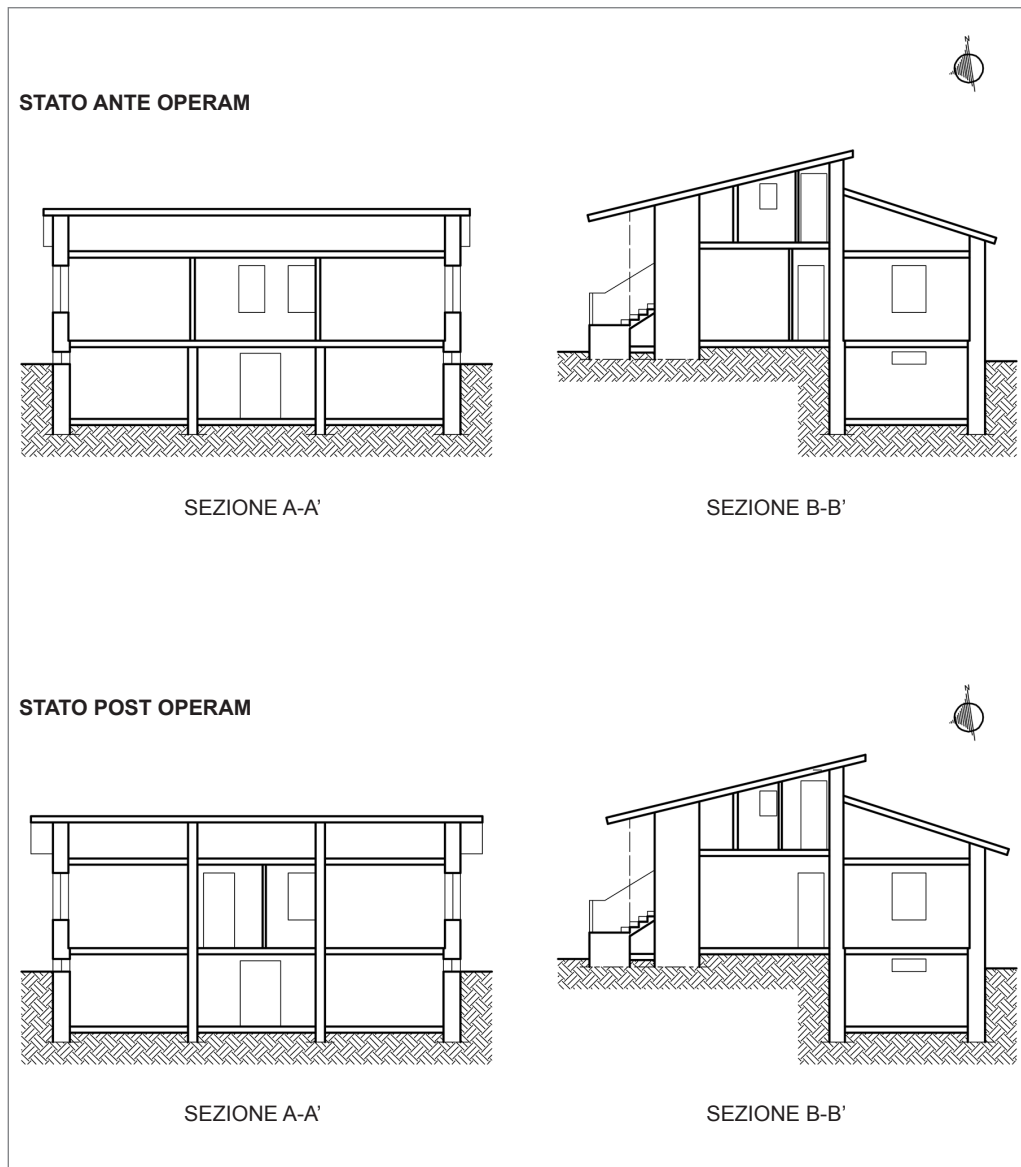


Figura 4.3. Sezioni stato ante e post operam

Gli interventi previsti in progetto sono i seguenti:

- Consolidamento dei solai in acciaio e laterizio mediante getto di soletta di spessore 5 cm in calcestruzzo armato con rete elettrosaldata filo 6/20/20, resa solidale alle travi sottostanti NP120 mediante la posa in opera di connettori metallici a piolo di altezza 40 mm. Per assicurare inoltre il collegamento del solaio con le murature perimetrali è prevista la realizzazione di perfori ad interasse 50 cm armati con barre f12, ancorate alla muratura ed annegate nel getto della soletta.

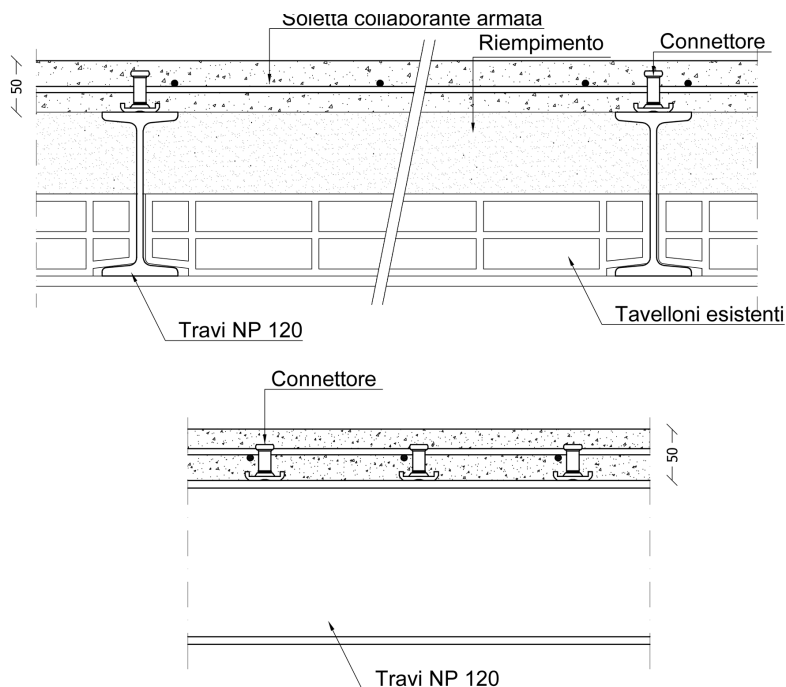


Figura 4.4. Particolare consolidamento solaio esistente

- Realizzazione di tre nuovi muri portanti in muratura di blocchi di laterizio semipieno, di cui (vedi figure precedenti):
 - due nella parte più vecchia dell'edificio ed impostati sui due muri in mattoni pieni a due teste che si trovano nel piano interrato, previa realizzazione di cordolo in c.a.;
 - il restante muro si realizzerà nella parte più recente del fabbricato e sarà direttamente fondato sul terreno mediante trave di fondazione in c.a. 70×50 previo getto di calcestruzzo magro con spessore minimo 10 cm.
- Posa in opera di incatenamenti metallici al fine di scongiurare l'instaurarsi di meccanismi locali di collasso delle pareti fuori del loro piano, e per migliorare il comportamento delle pareti nel loro piano; in particolare, tali incatenamenti sono previsti nella parte più antica del fabbricato in corrispondenza del primo e del secondo impalcato, mentre nella parte più recente verranno posti nei muri che si innestano nella parte più vecchia al fine anche di rafforzarne il collegamento (vedi Fig. 4.5).
- Demolizione della copertura a nido d'aape e della porzione in latero-cemento, e successiva ricostruzione con struttura in legno con travi principali (arcarecci) e orditura secondaria di travicelli 8×8 con sovrastante tavolato, pannello isolante ed impermeabilizzante e manto di copertura. Prima della posa in opera delle travi principali si realizzerà un cordolo perimetrale di coronamento ancorato alle murature sottostanti tramite perfori armati con barre di acciaio f12 (vedi Fig. 4.6).

Sulla base di quanto sopra esposto si può quindi affermare che, a seguito degli interventi previsti, si avrà certamente una variazione delle masse e delle rigidità rispetto alla situazione

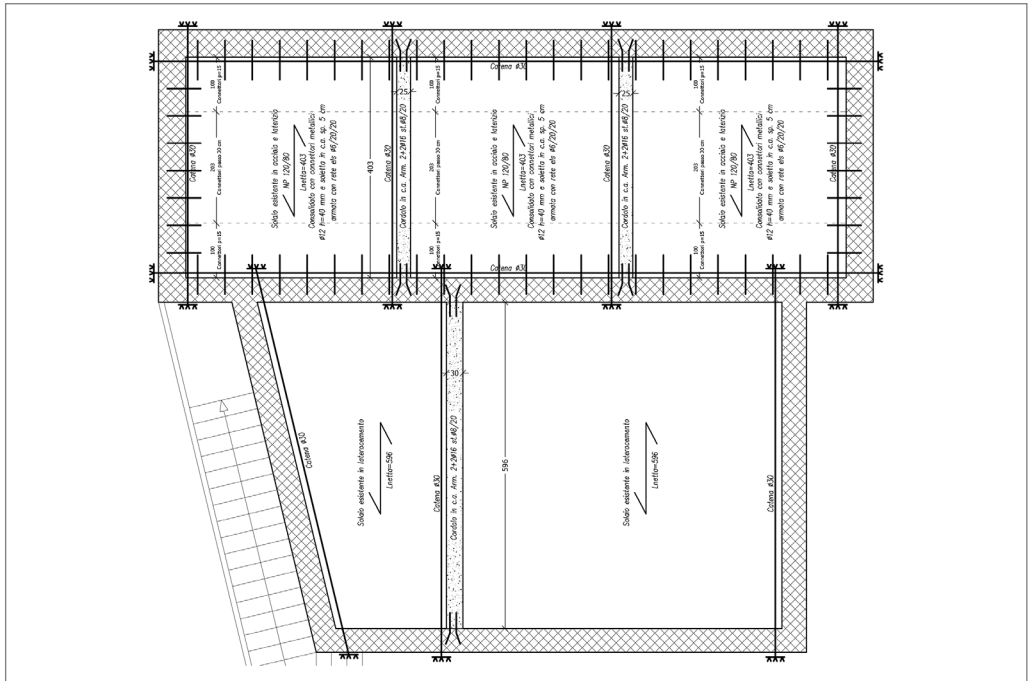


Figura 4.5. Carpenteria secondo impalcato

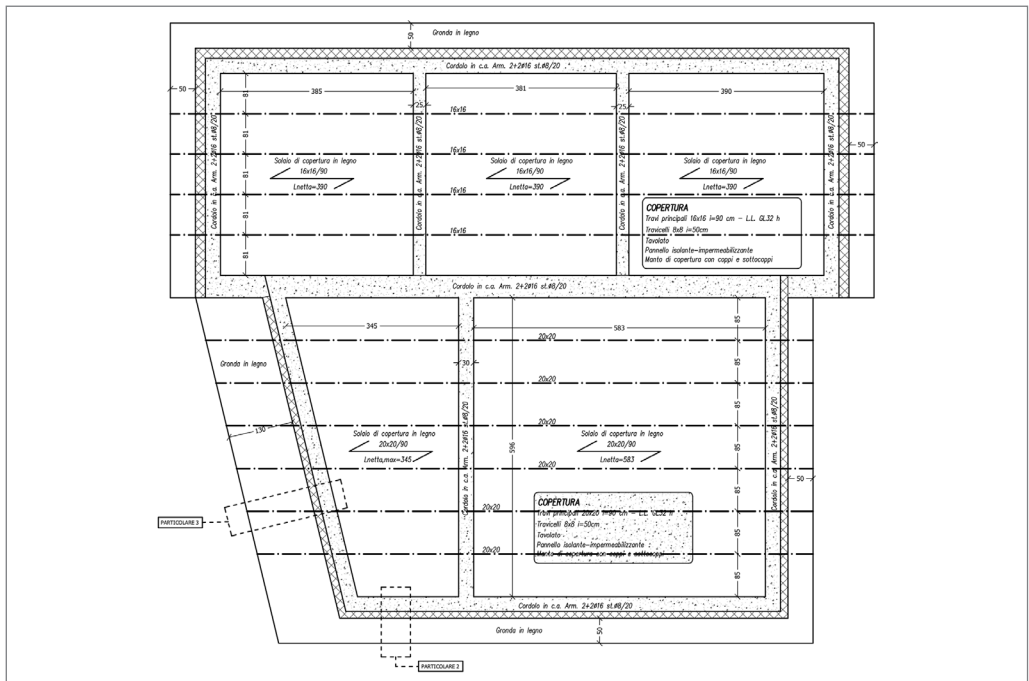


Figura 4.6. Carpenteria copertura

originaria, in quanto si inseriranno nuovi setti di controventamento e verranno demolite porzioni di copertura a nido d'ape, nonché si realizzerà l'irrigidimento di piano mediante il getto della soletta collaborante sugli impalcati in acciaio e laterizio. Per contro non sono previste sopraelevazioni, né ampliamenti con opere strutturalmente connesse, nonché variazioni di destinazioni d'uso del fabbricato.

Si può concludere allora che l'intervento in questione, ai sensi del §8.4.3 del D.M. 14 gennaio 2008 può essere inquadrato come intervento di miglioramento sismico.

Ricordiamo che in merito a tale argomento al §C8.4.2 la C.M. n. 617/2009 dice che *«In generale ricadono in questa categoria (miglioramento sismico, n.d.a.) tutti gli interventi che, non rientrando nella categoria dell'adeguamento, fanno variare significativamente la rigidezza, la resistenza e/o la duttilità dei singoli elementi o parti strutturali e/o introducono nuovi elementi strutturali, così che il comportamento strutturale locale o globale, particolarmente rispetto alle azioni sismiche, ne sia significativamente modificato. Ovviamente la variazione dovrà avvenire in senso migliorativo, ad esempio impegnando maggiormente gli elementi più resistenti, riducendo le irregolarità in pianta e in elevazione, trasformando i meccanismi di collasso da fragili a duttili».*

Ai fini della dimostrazione del miglioramento conseguito, occorre valutare l'indice di rischio "pre" e "post" intervento. Per la determinazione di tale parametro nella situazione pre intervento, avendo a che fare, almeno in parte, con un edificio della seconda classe, è stata eseguita l'analisi di un possibile meccanismo di collasso locale relativo alle pareti che si trovano nelle condizioni più sfavorevoli ai fini del meccanismo locale di ribaltamento, ossia quelle in corrispondenza del lato corto della parte più vecchia del fabbricato. L'analisi è stata eseguita solo sulla parte fuori terra della parete, che quindi consta sostanzialmente di un piano, più una piccola parte superiore in corrispondenza del sottotetto.

Cinematismo di collasso fuori dal piano per parete muraria a 2 piani
 Cerniera in corrispondenza del piano 1
 PGA sostenibile dal meccanismo = 0.078 g
 PGA richiesta per SLV = 0.258 g

Cinematismo attivato: VERIFICA NON SODDISFATTA

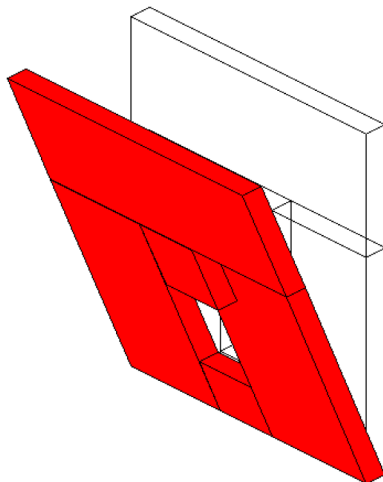


Figura 4.7. Meccanismo locale di collasso: ribaltamento della parete

A seguito dell'analisi del meccanismo di collasso locale si evince che la capacità dell'edificio espressa in termini di Pga sostenibile è pari a 0.078 g, a fronte di una domanda pari a 0.258 g, di conseguenza l'indice di rischio allo stato attuale è pari a $I_{r,pre} = 0.078/0.258 = 0.30 (< 1)$.

Gli interventi previsti in progetto consentono di mutare il comportamento dell'edificio, passando da un meccanismo di I modo ad un meccanismo di II modo, quindi per valutare la capacità della struttura nello stato "post intervento" è stato eseguito un calcolo non lineare attraverso un modello tridimensionale della struttura, in quanto ora con ragionevole certezza l'edificio ha un comportamento globale e non locale, in fase sismica, trattandosi in pratica di un edificio originariamente della seconda classe ed ora trasformato in uno della terza.

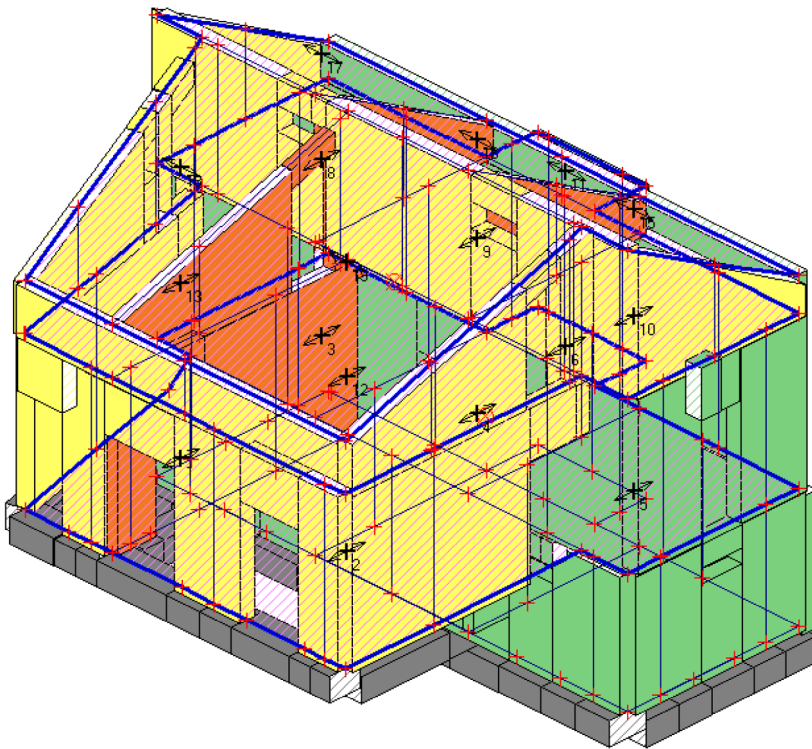


Figura 4.8. Modello tridimensionale della struttura

I risultati ottenuti sono sintetizzati nella seguente tabella:

$$(\alpha)_V = (PGA_{CLV} / PGA_{DLV}) [5] = 0.628 \quad - \quad (\alpha)_D = (PGA_{CLD} / PGA_{DLD}) [5] = 1.553$$

N°curva	Distr.	Direz.	Mt	FW	q*	q	PGA,CLV	TR,CLV	PVR,CLV	aV,PGA	aV,TR	PGA,CLD	TR,CLD	PVR,CLD	aD,PGA	aD,TR
1	A	+X	0.407	1.134	3.750	0.253	448	10.559	0.981	0.943	0.253	448	10.551	2.456	8.960	
2	A	-X	0.406	1.137	3.750	0.251	438	10.797	0.973	0.922	0.251	439	10.766	2.437	8.780	
3	A	+Y	0.627	0.580	3.750	0.449	>=2475	2	1.740	5.211	0.449	>=2475	2	4.359	49.500	
4	A	-Y	0.635	0.579	3.750	0.449	>=2475	2	1.740	5.211	0.449	>=2475	2	4.359	49.500	
5	E	+X	0.513	1.534	3.750	0.162	139	30.277	0.628	0.293	0.160	137	30.572	1.553	2.740	
6	E	-X	0.512	1.536	3.750	0.162	139	30.277	0.628	0.293	0.160	137	30.572	1.553	2.740	
7	E	+Y	0.799	0.745	3.750	0.449	>=2475	2	1.740	5.211	0.449	>=2475	2	4.359	49.500	
8	E	-Y	0.803	0.747	3.750	0.449	>=2475	2	1.740	5.211	0.449	>=2475	2	4.359	49.500	

Figura 4.9. Risultati analisi statiche non lineari

Dal tabulato di Fig. 4.9 si evince che il valore dell'indice di rischio “*post intervento*” è pari a $I_{rpost} = 0.628$ (in figura indicato con aV,PGA), pari al valore minimo ricavato dalle varie analisi non lineari eseguite, e definito come in precedenza (rapporto tra capacità e domanda in termini di P_g). Risulta quindi verificata la seguente disuguaglianza

$$I_{rpre} = 0.30 < I_{rpost} = 0.628 < 1.000$$

L'intervento presentato è quindi classificabile come “miglioramento sismico” ai sensi delle NTC 2008.

4.3. Adeguamento (o miglioramento) sismico ottenuto passando da un meccanismo di I modo ad uno di II modo

Si analizza di seguito il caso di una struttura esistente in muratura portante in cui si cerca di ottenere l'adeguamento alla normativa sismica vigente.

Trattasi di un edificio esistente in muratura portante caratterizzato da estrema semplicità sia nella geometria della pianta a forma rettangolare, sia nei caratteri formali e stilistici. Le dimensioni esterne sono di circa 14.30×10.30 m.

È di fatto un'antica chiesa rurale costituita da unica navata con adiacente corpo costituito da due ambienti posti su due livelli con una scala ad unica rampa che porta a quelli superiori.

Un piccolo campanile a vela è posto al centro della facciata in continuità con la parete perimetrale; la campana in bronzo è ancora in loco.

L'edificio, nonostante sia stato restaurato nel 1930, si presenta in cattivo stato di conservazione; l'angolo a sud-est è gravemente compromesso da un punto di vista statico e necessita di interventi anche in fondazione.

La copertura della navata era costituita da una volta a botte portante realizzata in muratura di laterizio in foglio, poi totalmente crollata tanto che rimane solo parte di quella soprastante l'altare.

Le murature sono in pietrame e calce, intonacate sia internamente che esternamente, e presentano in più punti fessurazioni e distacchi come meglio descritto nel paragrafo seguente. Dette murature sono costituite da blocchi non squadri di spessore variabile da un minimo di circa cm. 60 ad un massimo di circa cm 100.

I solai di piano sono costituiti da travi in legno e tavolato; sul tavolato è presente uno strato di malta e sulla stessa è presente una pavimentazione in cotto a piastelle e quadrotti.

Il tetto è invece costituito da un sistema semplice di travature in legno sul quale sono posti i travicelli che portano le piastelle in laterizio.

Tutti gli elementi che costituiscono il manufatto sia strutturali (murature, intonaci, solai, tetto) che di finitura (pavimenti, tinteggiature, infissi, manto di copertura) si presentano complessivamente in cattive condizioni di conservazione e manutenzione.

Parte del tetto, in occasione dei lavori del 1930, è stato rimaneggiato e parte dell'originario pianellato è stato sostituito con tavelloni in laterizio. Anche gli sporti di gronda sono stati in parte ricostituiti con tavole di legno al posto delle originarie piastelle in cotto ancora in parte presenti.

Alla parete di fondo è addossato l'altare maggiore, realizzato in muratura e stucco policromo e datato alla fine del XIX secolo.

Le pareti laterali presentano tratti affrescati caratterizzati da disegni a semplice geometria di non particolare pregio stilistico.

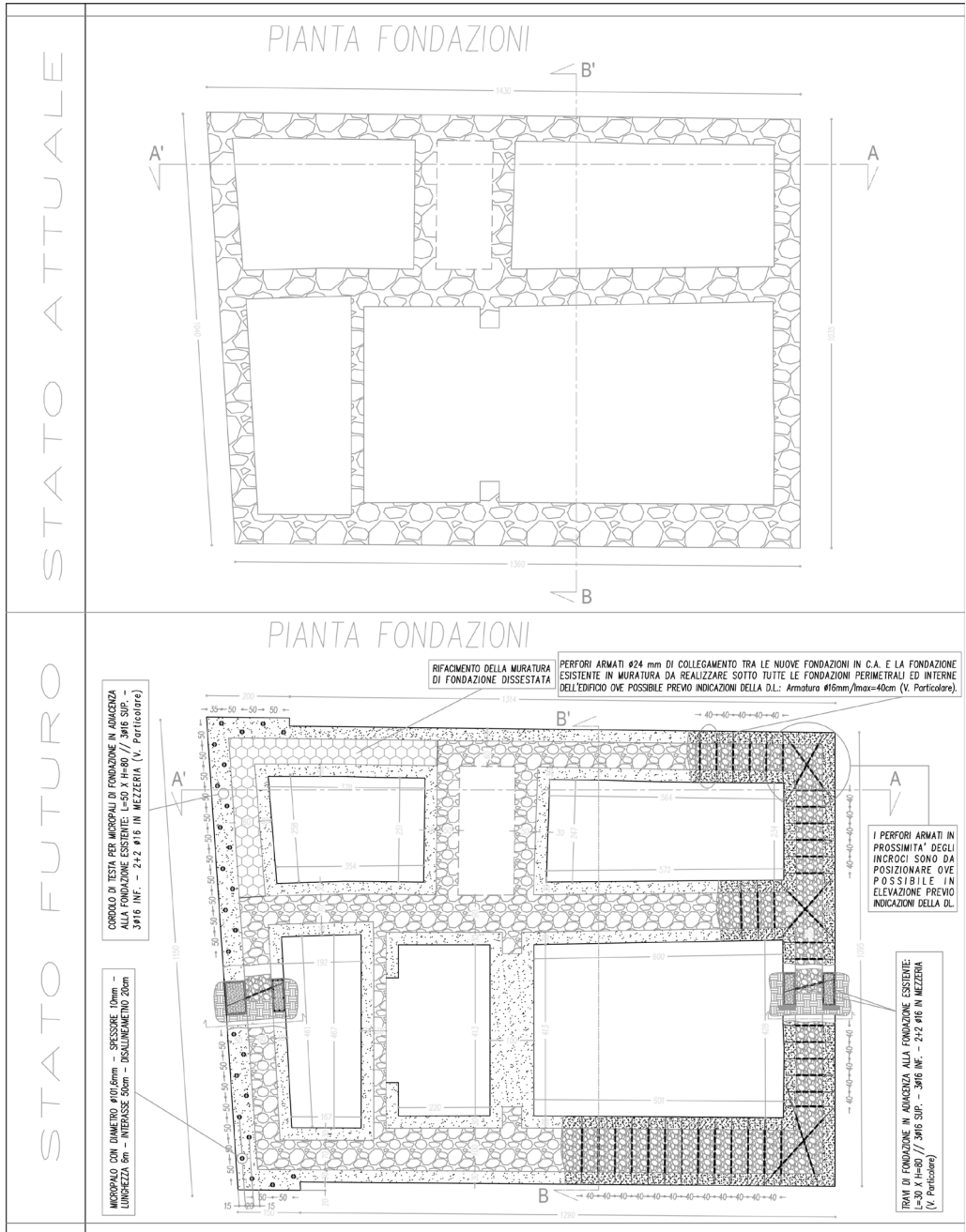


Figura 4.10. Pianta delle fondazioni

L'edificio, sebbene sia una ex Chiesa rurale, ha le caratteristiche di un edificio della seconda classe con le strutture murarie che si presentano in cattive condizioni soprattutto per il degrado che ha subito l'originaria malta di calce utilizzata come legante, inoltre uno degli spigoli della scatola muraria, quello esposto a sud, si è distaccato formando un "cuneo" d'angolo tipico dei cedimenti di fondazione.

In tale angolo il terreno subisce un netto salto di quota e ciò si ritiene abbia contribuito a determinare una locale situazione di instabilità.

Evidentemente questo fenomeno di cedimento si era già manifestato tanto che in passato vi si era posto rimedio realizzando, proprio sotto l'angolo dell'edificio, un muro di pietrame a secco che evidentemente non si è rivelato sufficiente ad arginare il cedimento della struttura.

Oltre a questo fenomeno localizzato sono presenti in più punti delle fessure verticali di consistente entità; gran parte della volta a botte sulla navata è crollata ed ha messo in luce la struttura del tetto che presenta delle gravi deficienze di ordine statico cui in passato si è dato rimedio con un puntello verticale che sorregge la trave di colmo appoggiandosi sul cornicione della navata (vedi Fig. 4.10).

Questa situazione ha fatto sì che per raggiungere le finalità dell'adeguamento sismico richieste dal Committente, si sia elaborato un progetto strutturale in cui prima di tutto potessero essere messe in condizioni di sicurezza le fondazioni prevedendo sia un sistema complessivo di sottofondazioni, che ingabbiano ed includono quelle esistenti, sia un intervento più consistente, esternamente al manufatto sul lato est, mediante l'impiego della tecnica della fondazione profonda costituita da micropali (vedi Figg. 4.11-12).

Gli ulteriori interventi sono costituiti da un insieme di provvedimenti tesi a migliorare il comportamento scatolare della struttura stessa, necessario per contrastare le sollecitazioni sismiche, tenendo conto delle prescrizioni della Soprintendenza per Beni Architettonici e Culturali e riguardano essenzialmente:

- il rinforzo degli innesti dei maschi murari, da eseguire mediante perforazioni della muratura con attrezzi a rotazione di diametro opportuno e poste a distanza di circa 100 cm e successiva iniezione con miscela di malta idraulica ed armatura delle perforazioni con barre ad aderenza migliorata di diametro opportuno.
- il miglioramento del funzionamento statico delle strutture lignee dei solai di piano e del tetto prevedendo la realizzazione di un cordolo sommitale in c.a. di limitate dimensioni e quindi su parte dello spessore murario, prevedendo anche il collegamento del cordolo con i muri sottostanti mediante perforazioni armate di opportuna lunghezza e distanza, con miscela di malta idraulica con barre in acciaio ad aderenza migliorata;
- il consolidamento della volta sopra l'altare mediante la realizzazione di una cappa in cls previa pulizia e sigillatura dell'estradosso e posa di rete elettrosaldata;
- il rifacimento dei solai lignei e di copertura, con opportune travature e tavolati;
- la posa in opera di catene o tiranti metallici alla quota dei solai di piano;
- ricostruzione delle piattabande dei vani porta e finestra con travi lignee di opportuna lunghezza ed ancoraggio dentro i maschi murari;
- il rifacimento dei solai lignei di copertura, con opportune travature e tavolati, conservando la geometria del tetto esistente per espressa richiesta della Soprintendenza, tenendo sempre ad evitare di incidere sui caratteri morfologici dell'edificio storico (vedi Fig. 4.13).

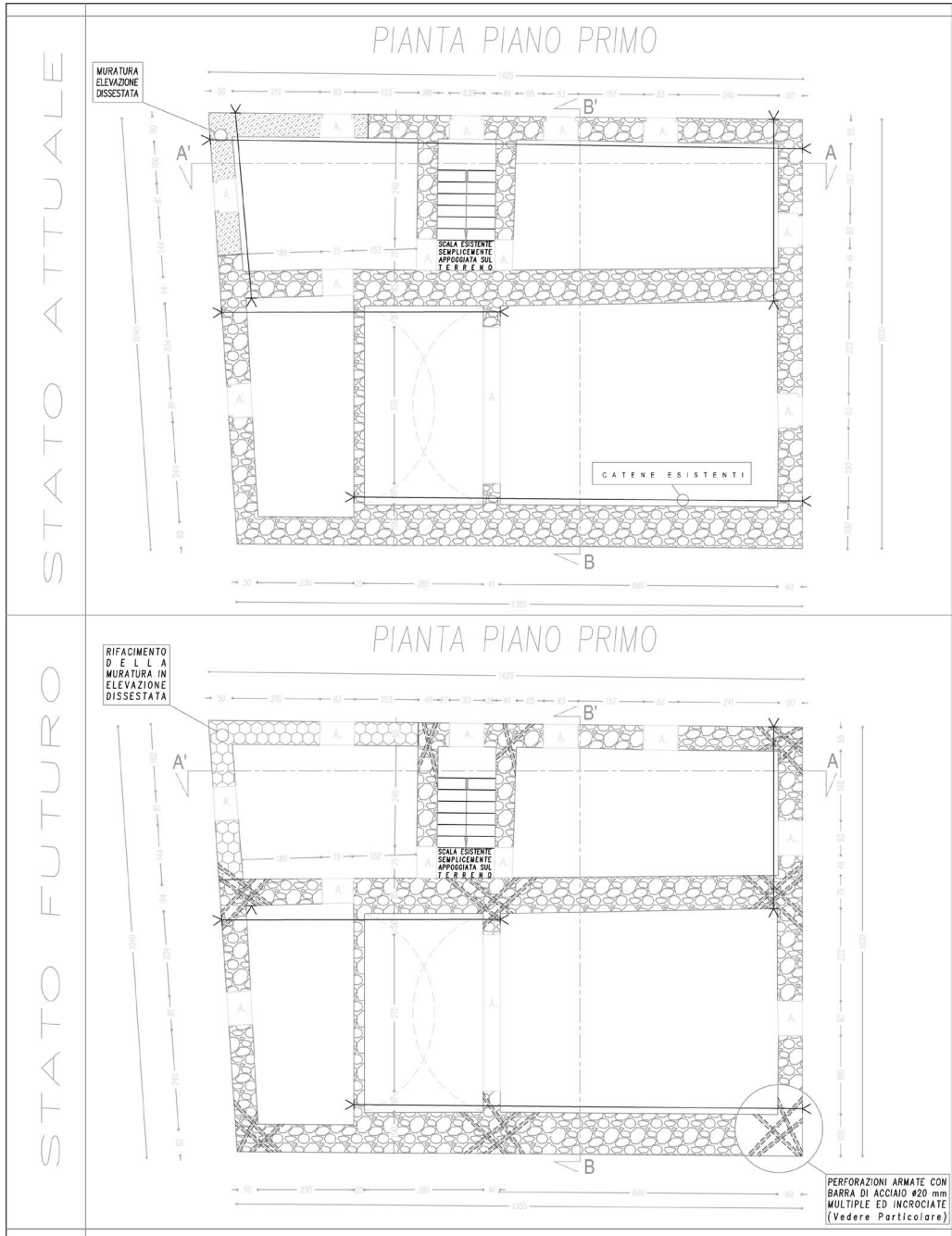


Figura 4.12. Pianta seconda elevazione

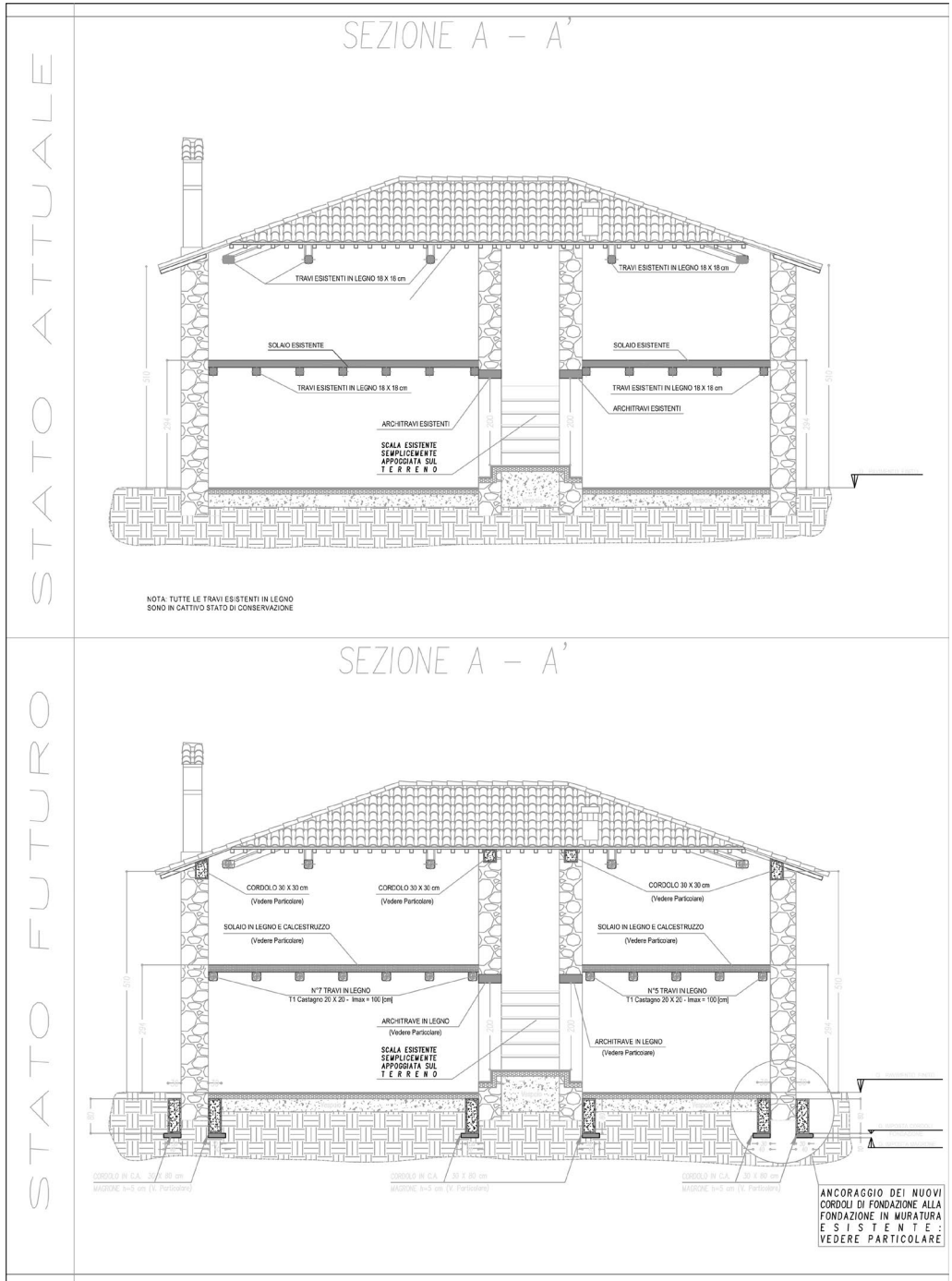


Figura 4.13. Sezione tipo

A seguito degli interventi descritti è stato possibile eseguire la valutazione della sicurezza dell'edificio mettendo a punto un modello di calcolo tridimensionale che rappresenta in modo adeguato le effettive distribuzioni spaziali di massa, rigidezza e resistenza.

Essendo gli impalcati, compreso quello di copertura realizzati in legno, gli stessi sono stati considerati deformabili nel loro piano, quindi incapaci di distribuire le azioni sismiche in funzione della rigidezza dei setti murari. Per tener conto di ciò l'analisi sismica (statica non lineare) è stata eseguita per paramenti murari, ossia esaminando separatamente i telai che costituiscono la struttura e considerando le azioni sismiche generate dalle masse effettivamente agenti sul singolo telaio.

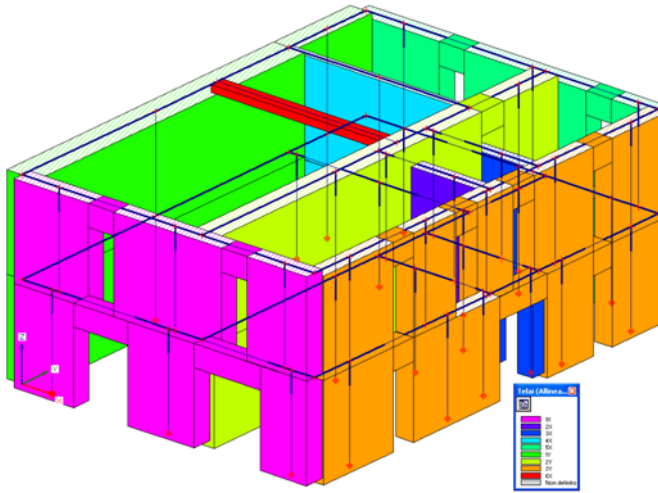


Figura 4.14. Modello di calcolo agli elementi finiti con indicazione dei telai

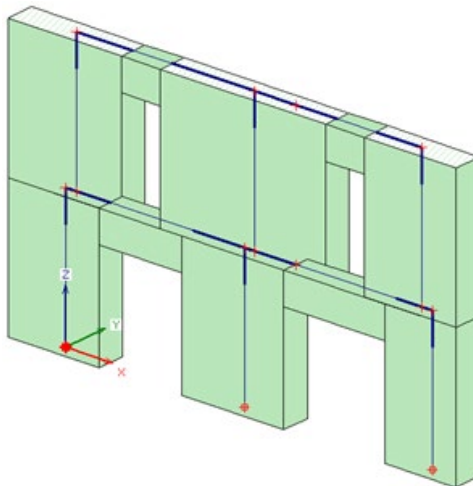


Figura 4.15. Es. telaio allineamento 1x

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa dei risultati dell'analisi statica non lineare eseguita per i vari telai che compongono la struttura.

PGA[g]-TR[mm]-PVR[%] Dati in input: SLV,PGA,DLV = 0.209 g, TR,DLV = 475 -SLD) PGA,DLD = 0.082 g, TR,DLD = 50
(alfa)V = (PGA,CLV / PGA,DLV) [14] = 1.187 - (alfa)D = (PGA,CLD / PGA,DLD) [3] = 2.024

N°curva	Distr.	Direz.	Mt	F/W	q*	q	PGA,CLV	TR,CLV	PVR,CLV	aV,PGA	aV,TR	PGA,CLD	TR,CLD	PVR,CLD	aD,PGA	aD,TR
1 [P.1]	B	+X		0.374	1.312	1.931	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.181	326	14.200	2.207	6.520
2 [P.1]	B	-X		0.390	1.250	1.995	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.212	499	9.528	2.585	9.980
3 [P.1]	E	+X		0.381	1.414	2.574	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.166	260	17.484	2.024	5.200
4 [P.1]	E	-X		0.385	1.382	1.927	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.174	290	15.848	2.122	5.800
5 [P.2]	B	+X		0.385	1.162	1.973	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.222	567	8.443	2.707	11.340
6 [P.2]	B	-X		0.385	1.163	1.973	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.222	567	8.443	2.707	11.340
7 [P.2]	E	+X		0.420	1.268	2.145	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.354	>=2475	2	4.317	49.500
8 [P.2]	E	-X		0.420	1.269	2.145	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.354	>=2475	2	4.317	49.500
9 [P.3]	B	+X		0.395	1.119	1.800	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.232	656	7.342	2.829	13.120
10 [P.3]	B	-X		0.395	1.120	1.800	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.232	656	7.342	2.829	13.120
11 [P.3]	E	+X		0.432	1.215	1.960	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.354	>=2475	2	4.317	49.500
12 [P.3]	E	-X		0.432	1.217	1.960	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.354	>=2475	2	4.317	49.500
13 [P.4]	B	+X		0.272	2.206	2.280	0.315	1691	2.914	1.507	3.560	0.354	>=2475	2	4.317	49.500
14 [P.4]	B	-X		0.260	2.179	1.800	0.248	792	6.115	1.187	1.667	0.172	286	16.028	2.098	5.720
15 [P.4]	E	+X		0.272	2.313	2.281	0.294	1369	3.588	1.407	2.882	0.354	>=2475	2	4.317	49.500
16 [P.4]	E	-X		0.260	2.284	1.800	0.249	808	6	1.191	1.701	0.171	281	16.275	2.085	5.620
17 [P.5]	B	+X		0.478	0.876	2.424	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.313	1674	2.943	3.817	33.480
18 [P.5]	B	-X		0.493	0.836	2.399	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.336	2103	2.350	4.098	42.060
19 [P.5]	E	+X		0.483	0.978	2.416	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.252	832	5.832	3.073	16.640
20 [P.5]	E	-X		0.487	0.950	2.034	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.256	883	5.505	3.122	17.660
21 [P.6]	B	+X		0.487	0.846	1.800	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.266	981	4.968	3.244	19.620
22 [P.6]	B	-X		0.487	0.846	1.800	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.266	981	4.968	3.244	19.620
23 [P.6]	E	+X		0.485	0.917	1.800	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.240	727	6.649	2.927	14.540
24 [P.6]	E	-X		0.485	0.917	1.800	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.240	727	6.649	2.927	14.540
25 [P.7]	B	+X		0.459	0.882	1.800	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.303	1508	3.261	3.695	30.160
26 [P.7]	B	-X		0.456	0.895	1.800	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.304	1525	3.226	3.707	30.500
27 [P.7]	E	+X		0.456	0.969	1.992	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.270	1042	4.687	3.293	20.840
28 [P.7]	E	-X		0.458	0.974	2.045	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.282	1198	4.088	3.439	23.960
29 [P.8]	B	+X		0.404	1.052	1.912	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.200	426	11.076	2.439	8.520
30 [P.8]	B	-X		0.403	1.052	1.912	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.201	431	10.981	2.451	8.620
31 [P.8]	E	+X		0.401	1.143	1.873	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.195	342	13.606	2.256	6.840
32 [P.8]	E	-X		0.401	1.142	1.912	0.354	>=2475	2	1.694	5.211	0.185	342	13.606	2.256	6.840

Figura 4.16

Da questa si evince che l'indice di rischio minimo (indicato in tabella con aV,PGA) è pari a 1.187, quindi:

$$I_{post} = 1.187 > 1.000$$

da cui l'intervento presentato è classificabile come "adeguamento sismico" ai sensi delle NTC 2008.

Occorre quindi osservare che si è ottenuto l'adeguamento sismico della struttura solo ed esclusivamente cercando di ottenere un comportamento scatolare della stessa, infatti tutti gli interventi sono eseguiti in tal senso, (non ci sono interventi volti ad incrementare la resistenza e rigidità dei maschi murari, ossia delle strutture verticali). In questo caso non è stato necessario riportare il calcolo dell'indice di rischi della struttura "ante operam" in quanto si è ottenuto l'adeguamento della resistenza della struttura alle azioni di progetto secondo le norme tecniche vigenti.

4.4. Adeguamento sismico

Si riporta ora un altro esempio di intervento classificabile come "di adeguamento sismico", eseguito su un edificio costruito interamente in muratura di pietrame, a pianta rettangolare con dimensioni planimetriche di circa 10.2 m × 11.7 m, ed una altezza totale in corrispondenza della linea di gronda di circa 6.3 m.

Inizialmente il fabbricato aveva la copertura in legno, ma verso la fine degli anni '90 venne rifatta la copertura con muricci a nido d'ape poggiati su un nuovo solaio in latero-cemento

costituito da travetti precompressi con interposte pignatte in laterizio, annessi inoltre dentro un nuovo cordolo di coronamento a tutto spessore della muratura armato con $4\phi 16$ e staffe $\phi 8$ ogni 25 cm. Di fatto quindi, il rifacimento della copertura ha comportato la realizzazione di due nuovi solai, quello di sottotetto e quello del tetto, in sostituzione della precedente sola copertura in legno, quindi tale lavorazione può essere verosimilmente assimilata ad una sopraelevazione.

In pratica il fabbricato nasce come classico edificio della seconda classe, ma la costruzione del nuovo solaio di copertura in latero-cemento, nonché la realizzazione del cordolo sommitale lo fa diventare un misto tra la seconda e la terza classe.

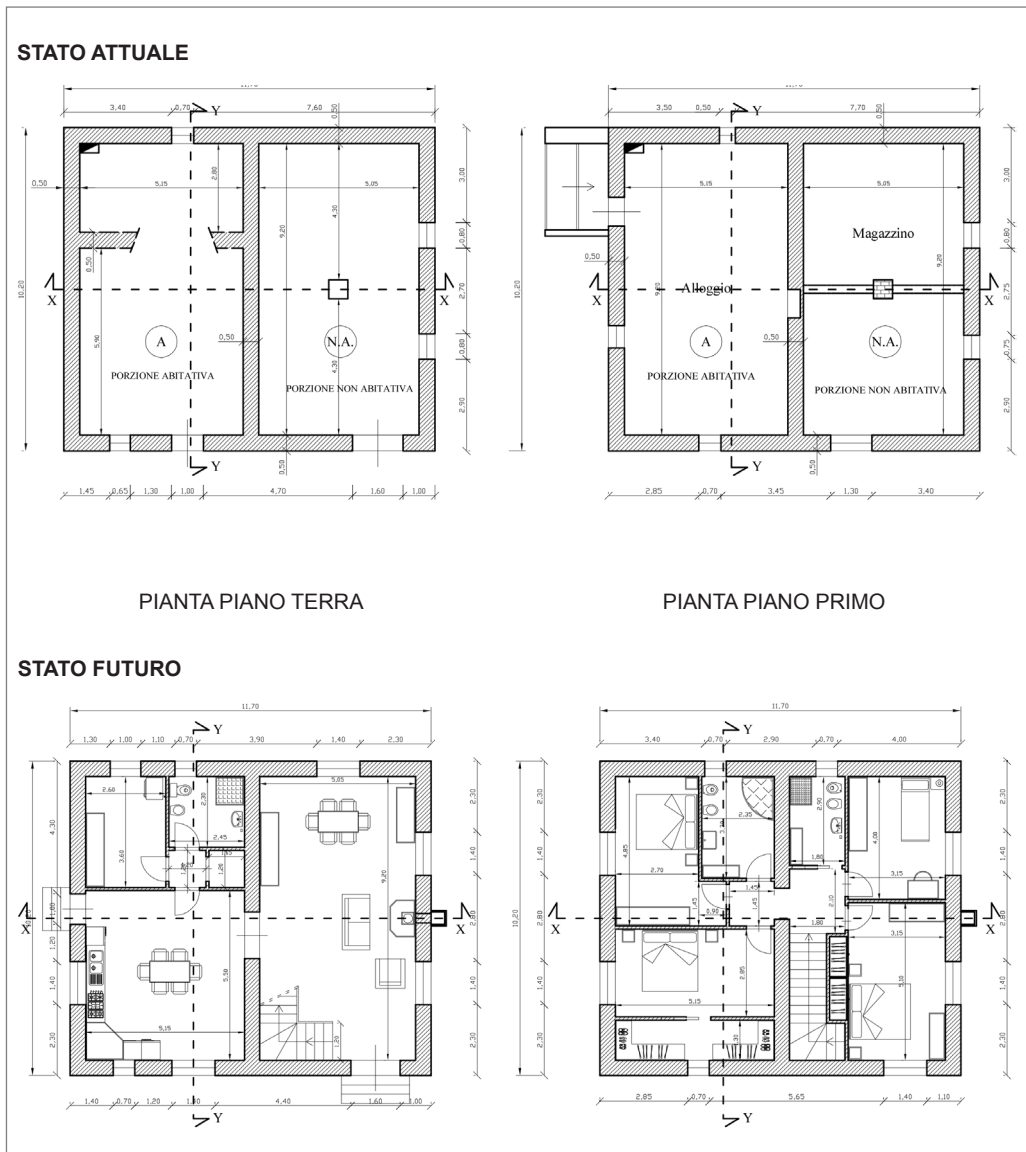


Figura 4.17. Piante stato ante e post operam

Il progetto architettonico, oltre alla ristrutturazione totale del fabbricato, era stato predisposto inoltre per il cambio di destinazione d'uso di una porzione del piano terra e del piano primo, da magazzino ad abitazione.

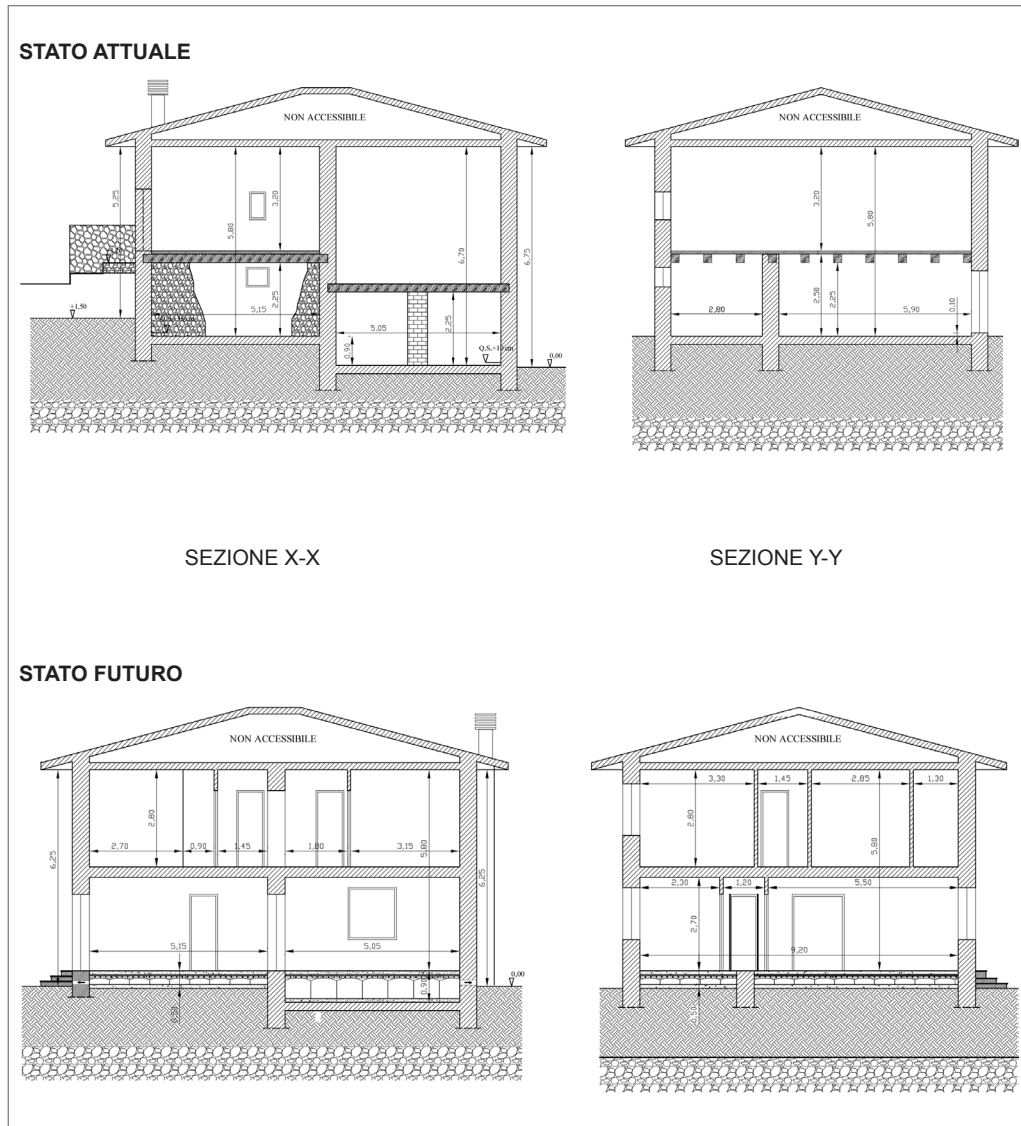


Figura 4.18. Sezioni stato ante e post operam

Dal punto di vista strutturale l'intervento in progetto prevede:

- la demolizione del solaio in legno di interpiano e rifacimento dello stesso in acciaio e laterizio ad una quota maggiore rispetto a quella attuale al fine di avere sia al piano terra che al piano primo dei locali con altezza minima di 2,7 m; per assicurare inoltre il collega-

- mento del solaio con le murature perimetrali sono previsti dei perfori ad interasse 50 cm armati con barre $\phi 12$, ancorate alla muratura ed annegate nel getto della soletta;
- la modifica dell'assetto delle aperture nella muratura portante mediante realizzazione di nuove aperture e modifica di aperture esistenti, al fine di ottenere un adeguamento funzionale dell'edificio in virt  della nuova destinazione d'uso dello stesso;
 - la posa in opera di incatenamenti metallici al fine di scongiurare l'instaurarsi di meccanismi locali di collasso delle pareti fuori del loro piano, e per migliorare il comportamento delle pareti nel loro piano (in questo caso, in virt  del fatto che   presente il cordolo di coronamento, il meccanismo di collasso che si potrebbe verificare   quello di flessione verticale);
 - un intervento di ristilatura dei giunti di malta eseguito in profondit  su entrambi i lati della muratura, al fine anche di migliorare le caratteristiche meccaniche della stessa, visto lo spessore non elevato della muratura;
 - la realizzazione di sottofondazioni in c.a., in quanto quelle attuali erano molto superficiali;
 - la realizzazione di una scala interna per l'accesso al piano primo.

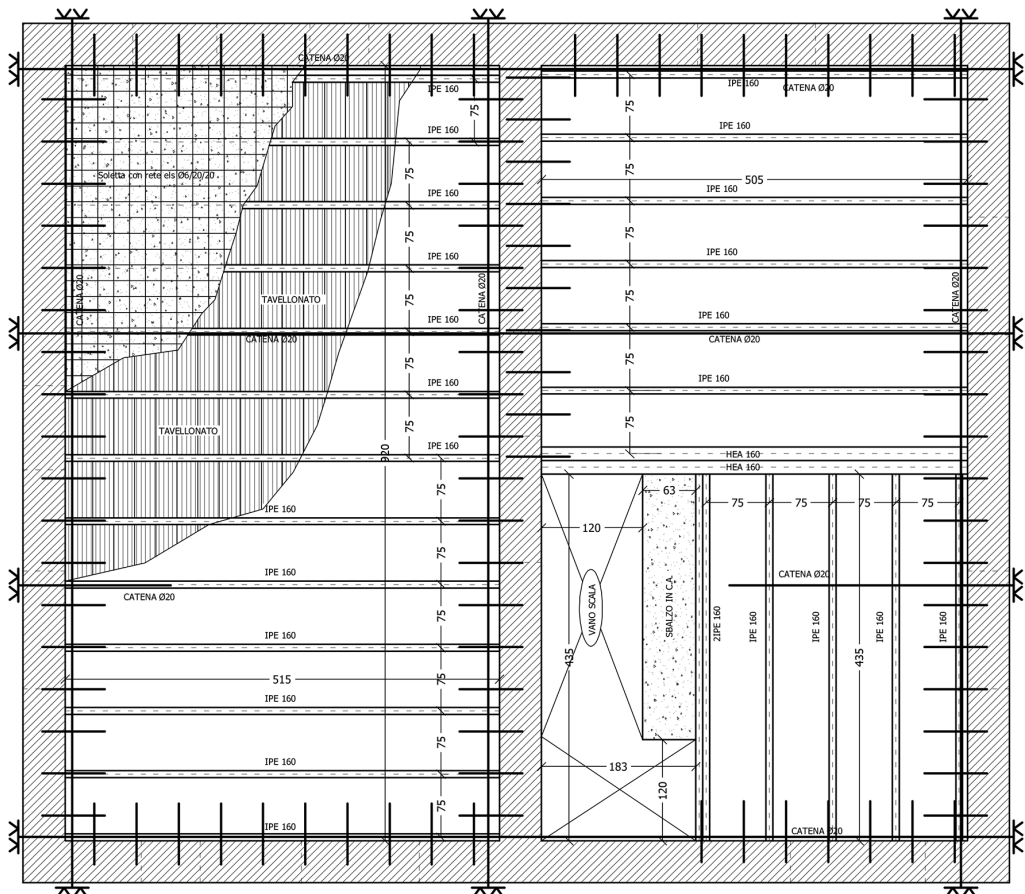


Figura 4.19. Stato di progetto: carpenteria primo impalcato

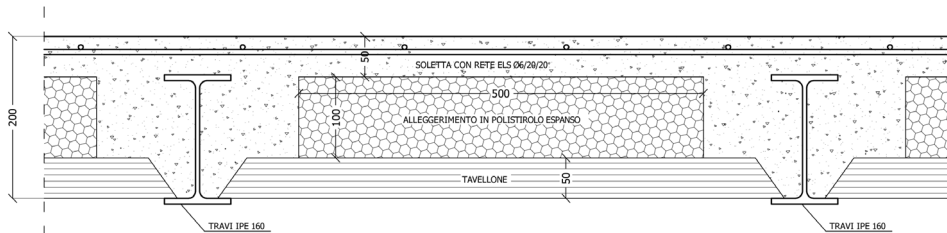


Figura 4.20. Sezione del solaio

Sulla base di quanto sopra esposto, considerando che:

- il rifacimento del solaio di copertura alla fine degli anni '90 ha di fatto comportato una sopraelevazione dell'edificio;
- con l'intervento in progetto si procede, oltre alla ristrutturazione, anche ad un parziale cambio d'uso dell'edificio,

ai sensi del §8.4.1 delle NTC 2008 l'intervento in oggetto non può che essere inquadrato come intervento di adeguamento sismico.

La valutazione della sicurezza è stata quindi eseguita adottando un modello tridimensionale agli elementi finiti della struttura avendo la ragionevole certezza che l'edificio avrà un comportamento globale, e non locale, in fase sismica, trattandosi, anche in questo caso, di un edificio originariamente della seconda classe ed ora trasformato in uno della terza.

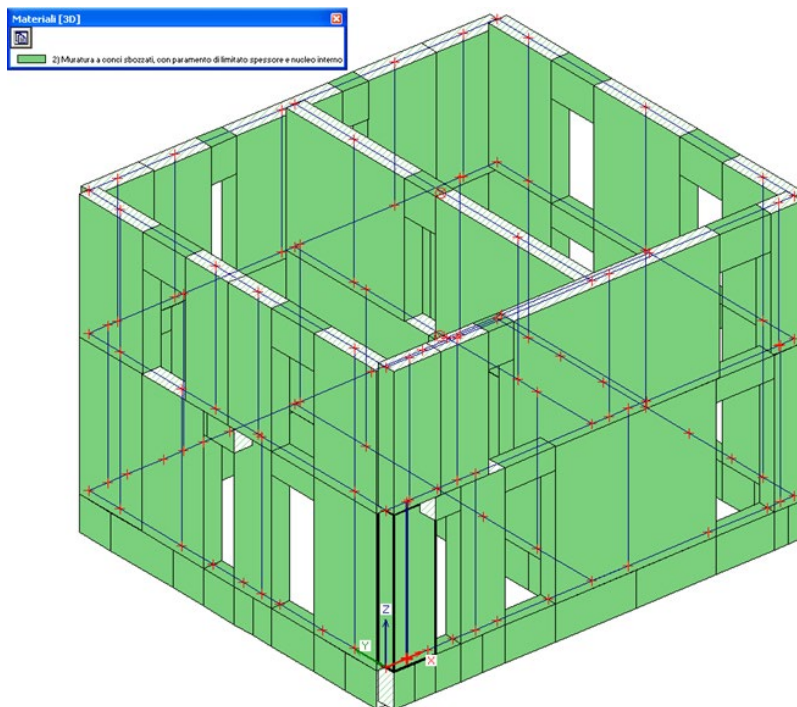


Figura 4.21. Modello matematico di calcolo tridimensionale della struttura

Ottenendo i seguenti risultati.

(alfa)V = (PGA,CLV / PGA,DLV) [9] = 1.193 - (alfa)D = (PGA,CLD / PGA,DLD) [9] = 2.911

N°curva	Distr.	Direz.	Mt	FW	q*	q	PGA,CLV	TR,CLV	PVR,CLV	aV,PGA
1	A	+X	+	0.507	1.007	3.750	0.240	876	5.546	1.218
2	A	+X	-	0.516	0.954	3.750	0.242	900	5.405	1.228
3	A	-X	+	0.516	0.954	3.750	0.242	900	5.405	1.228
4	A	-X	-	0.507	1.007	3.750	0.240	876	5.546	1.218
5	A	+Y	+	0.524	1.123	2.585	0.320	2267	2.181	1.624
6	A	+Y	-	0.535	1.094	3.245	0.325	2363	2.094	1.650
7	A	-Y	+	0.535	1.094	3.245	0.325	2363	2.094	1.650
8	A	-Y	-	0.524	1.123	2.585	0.320	2267	2.181	1.624
9	E	+X	+	0.507	1.046	3.750	0.235	822	5.904	1.193
10	E	+X	-	0.516	1.012	3.750	0.238	843	5.758	1.208
11	E	-X	+	0.516	1.012	3.750	0.238	843	5.758	1.208
12	E	-X	-	0.507	1.046	3.750	0.235	822	5.904	1.193
13	E	+Y	+	0.524	1.148	2.585	0.296	1747	2.821	1.503
14	E	+Y	-	0.535	1.113	3.245	0.297	1767	2.790	1.508
15	E	-Y	+	0.535	1.113	3.245	0.297	1767	2.790	1.508
16	E	-Y	-	0.524	1.148	2.585	0.296	1747	2.821	1.503

Figura 4.22. Risultati analisi statiche non lineari

Dalla tabella riepilogativa precedente si evince che il valore dell'indice di rischio "post intervento" è pari a $I_{r,post} = 1.193$ (in figura indicato con aV,PGA), pari al valore minimo ricavato dalle varie analisi non lineari eseguite, e definito come in precedenza (rapporto tra capacità e domanda in termini di Pga). Risulta quindi verificata la disuguaglianza:

$$I_{r,post} = 1.193 > 1.00$$

e di conseguenza l'intervento è classificabile come adeguamento ai sensi delle NTC 2008.

4.5. Ulteriori interventi che possono consentire di raggiungere il miglioramento o l'adeguamento sismico di una struttura esistente

Si vogliono descrivere di seguito una serie di possibili interventi su edifici esistenti in muratura che, se opportunamente progettati ed eseguiti, possono consentire il raggiungimento di un miglioramento e/o adeguamento sismico.

4.5.1. Cambio dei carichi agenti da sollecitanti a resistenti

Si può pensare di incrementare alcuni carichi permanenti oppure di cambiare le zone su cui gli stessi gravano facendo in modo di trasformarli da sollecitanti in resistenti, nel senso che incrementando il carico verticale su alcuni setti se ne può aumentare la resistenza a pressoflessione e taglio (vedi capitolo 1).

Questo si può ottenere:

- predisponendo una diversa orditura dei solai rispetto all'esistente;
- realizzando dei nuovi muri portanti il solaio;
- irrigidendo i solai nel loro piano, "cucendoli" ai muri portanti,
- disponendo nuove travi porta-solaio.

4.5.2. Modifica della muratura portante ordinaria in muratura armata

Se si è in presenza di muratura sufficientemente compatta ma carente, anche per vetustà della malta, di adeguate proprietà meccaniche, queste possono essere incrementate mediante l'applicazione di nuovi materiali resistenti a trazione aderenti alla muratura.

Per esempio si possono applicare dei rinforzi esterni per incollaggio epossidico alla superficie muraria, oppure dei rinforzi interni tramite inghisaggio di armatura con malta o con resina epossidica alla muratura.

L'acciaio è certamente il materiale principale per tradizione, resistenza e durata per questo tipo di interventi, però in questi ultimi anni si sono sviluppati nuovi materiali rinforzanti che possono essere utilizzati in modo alternativo, funzionale e vantaggioso, come per esempio nastri in FRP da incollare sulla superficie muraria esterna.

Senza mai dimenticare che per le strutture in muratura portante la sicurezza dipende essenzialmente dalla geometria, si ritiene che il rinforzo in composito deve garantire soltanto un incremento di portanza nei casi in cui, per diversi motivi, non sia possibile l'impiego del più tradizionale (e noto) acciaio che continua a rappresentare una valida alternativa in quei casi in cui deve essere mantenuta la faccia a vista della muratura.

Le armature in acciaio possono più o meno facilmente essere inserite all'interno di un maschi murario, previa realizzazione di opportuna carotatura dello stesso con mezzo a bassa rotazione e successivo avvolgimento con malta.

In casi particolari, a differenza di quanto consentono i compositi, le armature in acciaio possono essere pre-tese molto meglio delle armature in FRP e ciò consente alla muratura di incrementare la sua rigidità e quindi quella dell'edificio di cui fa parte, migliorando anche la portanza complessiva dello stesso.

In questa tipologia rientrano anche gli interventi di cucitura o legatura degli incroci d'angolo dei maschi murari o dei solai di piano alle murature perimetrali, che consentono, in generale, il miglioramento e/o l'avvicinamento al comportamento scatolare globale dell'edificio, obiettivo cardine per la resistenza ottimale in fase sismica.

4.5.3. Inserimento di nuove strutture

A volte può essere opportuno, se possibile, migliorare l'organismo strutturale esistente, ovvero modificare lo schema statico dell'intero corpo di fabbrica mediante l'inserimento di strutture portanti nuove ricollegate a quelle esistenti con l'obiettivo di ridurre l'eccentricità del centro delle rigidità rispetto al baricentro delle masse e fare così in modo che le azioni accidentali diano luoghi a sollecitazioni e spostamenti inferiori.

4.5.4. Incremento della capacità aggregante delle masse murarie

Spesso gli edifici esistenti hanno un materiale legante della muratura che ha ormai, sin dall'origine per vetustà o quantitativi minimi, scarse proprietà meccaniche di resistenza pertanto, se la tipologia del paramento murario lo consente, è necessario intervenire per ridurre la fisiologica tendenza della muratura a disgregarsi sotto carico.

Una prima soluzione è l'iniezione del paramento murario con malta e/o resina e contemporanea messa in opera di chiodature e placcaggi del muro su ambo i lati.

Questa tecnologia consente di contrastare la tendenza del pannello murario, sottoposto a sforzi di compressione e pressoflessione, a:

- disgregare i paramenti murari perdendo il comportamento monolitico;
- a vedersi formare fessure ad andamento parallelo allo sforzo normale;
- a vedersi formare, man mano che il carico aumenta, un meccanismo a tre cerniere con traslazione verso l'esterno della sua mezzeria, a partire dagli elementi di testa e di piede che sono presso-inflessi;
- a vedersi disgregato in quanto il carico è maggiore della coesione esercitata della tessitura muraria.

Tale intervento è tanto più necessario quanto più la muratura è costituita da materiale sciolto, incoerente o poco coesivo, tuttavia sarebbe opportuno non abusare di tale tecnologia perché a volte il suo impiego può rivelarsi inutile, come nel caso di pietre sbazzate o materiale estremamente compatto, coeso o di grandi dimensioni, oppure sovradimensionato rispetto alle reali esigenze.

4.5.5. Isolamento sismico alla base

Un edificio esistente in muratura, se costituito da un corpo di fabbrica indipendente e sufficientemente lontano da altri fabbricati, potrebbe veder crescere rapidamente il proprio indice di rischio, se viene sconnessa dalla fondazione la sovrastruttura.

Questa tecnica di fatto funge da filtro delle azioni sismiche il cui effetto verrebbe assorbito dalle sole fondazioni in quanto comporta un grande aumento del periodo proprio della struttura sovrastante che fa sì che la stessa in fase sismica continua a spostarsi, anche di molto, ma lentamente.

Di contro l'impiego di tale tecnologia, sebbene nota, al momento non è troppo diffusa ed ha comunque dei costi ancora elevati in quanto si deve realizzare un taglio drastico tra il pannello murario e la fondazione originaria, per poi inserire tra i due, sollevando il primo con opportuni martinetti idraulici, diversi isolatori sismici che hanno capacità deformative elevate ma che vanno bene progettate, tarate, e verificate in esercizio.

4.6. Conclusioni

A conclusione del presente capitolo si vogliono riportare alcune osservazioni e critiche su alcuni interventi usuali.

Spesso si ricorre a tecnologie di intervento sovradimensionate o addirittura inutili per conseguire l'adeguamento statico e/o sismico mediante la riparazione delle fessure, oppure l'iniezione di malta o di resina, il scuci e cuci, l'inserimento diffuso di chiodatura ed armature, il riempimento dei vuoti mediante iniezione, il placcaggio del pannello murario mediante paretine in conglomerato cementizio o reti in materiale composito o acciaio.

Queste tecniche, se non tarate opportunamente ed usate "tout-court" sono costose e molto invasive in termini di conservazione ed inoltre non sono giustificabili in termini di restauro, soprattutto per i beni storico-artistici.

Per esempio la riparazione di una fessura su un maschi murario non fa altro che traslare le zone preposte a fessurarsi dalla zona riparata alle compagini limitrofe in condizioni naturali; si ottiene quindi in tal modo un irrilevante incremento di portanza statica ed un incremento di capacità di resistenza sismica trascurabile rispetto all'onere.

La riparazione delle singole fessure in quanto tale è certamente sconsigliabile, certamente non lo è la riparazione diffusa e il più omogenea possibile.

Il riempimento dei vuoti incrementa la portanza statica solo nelle murature con materiale sciolto, diversamente è inutile, poiché un elemento murario lavora per massa.

Il placcaggio del pannello murario con paretine in cls solidarizzate con esso oppure l'applicazione di reti in composito sull'intera superficie, funziona pienamente sul piano strutturale, in quanto fa aumentare la portanza e la capacità dissipativa ma tende ad escludere le murature dalla loro funzione principale che è la portanza; inoltre nasconde l'esistente e diminuisce le capacità traspiranti dei paramenti.

Si può affermare allora che per conseguire un buon risultato in termini di restauro strutturale che porti o al miglioramento sismico o all'adeguamento, è bene cercare di conservare il più possibile il comportamento originario del corpo di fabbrica conservando il suo organismo strutturale ed impiegando tecnologie che siano garanti dell'aspetto storico architettonico; contestualmente si deve fare in modo di dare nuova vita utile ai materiali che devono contribuire sia alla resistenza statica in esercizio (che è poi la più frequente), sia alla giusta sicurezza in caso si esplicino azioni puntuali violente come i terremoti.

Gli esempi riportati nei paragrafi precedenti non fanno che confermare fortemente quanto appena esposto, infatti nei vari casi si è riusciti a conseguire l'obiettivo prefissato (miglioramento o adeguamento), riducendo al minimo gli interventi volti ad incrementare rigidità e resistenza dei maschi murari, basando soprattutto la strategia dell'intervento sulla eliminazione delle carenze nei collegamenti tra pareti e tra pareti ed impalcati, perseguendo il comportamento scatolare della struttura che di fatto è "il mezzo" più potente che il progettista ha a disposizione.

L'auspicio è che la conservazione strutturale esplicita da uno strutturista sia la via che porta contestualmente alla conservazione storico-architettonica perseguita da un Architetto, consentendo all'Ingegnere stesso di perseguire il restauro con la propria azione professionale e non più a subirlo, come spesso accade.