

Ripristino e rafforzamento pilastro c.a.

1 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

1.1 Premessa

La costruzione del fabbricato del Condominio di Via L. Guercio, 192 risale al 1967. Si sviluppa longitudinalmente tra Via L. Guercio e Via Romaldo per sei piani fuori terra e per due piani sottostrada (dislivello tra le due strade). Le destinazioni sono: locali commerciali al piano terra, ad abitazioni per i piani in elevazione ed il primo sottostrada ed a parcheggio al secondo sottostrada. L'edificio ha struttura portante costituita da telai in c.a. di travi e pilastri. I solai sono del tipo travetti in c.a. e pignatte di altezza 16+4. Le tamponature sono a doppia fodera con camera d'aria.

La struttura nella sua generalità si presenta senza particolari stati fessurativi sulle murature di tamponamento mentre solo in corrispondenza del pilastro d'angolo, oggetto di intervento, dello spigolo sud-ovest del fabbricato le superfici interne ed esterne della parete perimetrale presentano lesioni verticali.

Al piano garages il pilastro mostra, prevalentemente alla base, fessurazioni longitudinali e distacco del copriferro.

Al primo piano, al terzo e al quarto sono presenti anche lesioni orizzontali all'attacco della trave in c.a. con la sottostante tamponatura.

Al terzo piano e al sesto piano la parete interna, in corrispondenza del pilastro, risulta spicconata così come parte del calcestruzzo di ricoprimento dell'armatura del pilastro con messa a nudo dei ferri verticali e delle staffe.

Al terzo piano i ferri di armatura visibili presentano grosse scaglie ossidate con riduzione della sezione originaria. Il calcestruzzo in alcune zone si presenta alquanto degradato con qualche lesione che sembra estendersi verso l'interno del pilastro.

Al sesto piano i ferri di armatura visibili si presentano ossidati senza apprezzabili riduzioni della sezione originaria. Il calcestruzzo, al di sotto del ricoprimento dei ferri di armatura, si presenta integro.

Non sono presenti fessure significative nelle travi e nei solai dell'area relativo al pilastro in oggetto. Indagini più approfondite non sono state eseguite in quanto, il pilastro è esterno e i vani in corrispondenza sono abitati (quasi tutti camere da letto).

Alla luce di ciò ed in presenza di uno stato fessurativo "severo" al terzo piano è obbligatorio procedere ad opere di rafforzamento con tecniche adeguate.

Poiché gli altri pilastri non hanno evidenziato segni di degrado strutturale, si ritiene che, almeno in questa fase, non sia necessario prevedere interventi particolari su di essi.

Il progetto è stato intitolato "rafforzamento pilastro angolo sud-ovest del fabbricato" ed è finalizzato a garantire la sicurezza dell'edificio in condizioni non sismiche.

1.2 Visite in loco

Dalle visite nell'edificio è emerso il quadro riportato in premessa.

1.3 Materiali rilevati - Indagini di laboratorio

Le indagini finalizzate alla conoscenza delle caratteristiche tecnologiche del calcestruzzo e delle armature presenti che compongono il pilastro saranno effettuate dopo aver compartimentata la zona di lavoro dalle abitazioni, realizzato il ponteggio di servizio e liberato il pilastro dalla tamponatura laterale.

In fase di progetto per il calcestruzzo si è fatto riferimento a prove svolte con proprio sclerometro non estese a tutta la pilastrata per le ragioni su esposte. Per l'acciaio si sono utilizzate le caratteristiche del tipo meno performante in uso alla fine degli anni sessanta: acciaio Aq42 avente tensione di rottura maggiore di 4318 daN/cm² e tensione di snervamento maggiore di 2256 daN/cm² e allungamento maggiore del 20%.

1.4 Rinforzo strutturale

Il pilastro necessita di lavori urgenti di rafforzamento consistenti essenzialmente in una “fasciatura armata” che colleghi i piani sovrastanti la fondazione. Tale fasciatura sostituirà lo strato di copriferro da asportare (senza aumento della sezione) e sarà composta da uno strato di materiale cementizio speciale e, se necessario per il degrado delle armature presenti, da integrazione di armature filanti, staffe e retina di contenimento. Ciò permette di considerare, ai fini statici, un nuovo elemento strutturale “composto” in grado di contribuire ad assorbire le sollecitazioni provenienti dall'alto.

Gli eventuali altri pilastri, per il solo piano terra se fosse necessario intervenire, verrebbero trattati con una tecnica simile a quella descritta ma con particolare attenzione alla “cerchiatura” più che all'armatura longitudinale.

2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321) “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G. U. 21 marzo 1974 n. 76) “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- Decreto Ministero Infrastrutture Trasporti 14 gennaio 2008 (G. U. 4 febbraio 2008, n. 29 - Suppl.Ord.) “Norme tecniche per le Costruzioni”.
- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G.U. 26 febbraio 2009 n. 27 – Suppl. Ord.)
- “Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 14 gennaio 2008”.
- CNR DT204 2006 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato

3 - SCELTA INTERVENTI

Si ricorda che il calcestruzzo è una miscela di più elementi i cui componenti principali sono il cemento, gli aggregati, l'acqua e gli additivi. Ognuno di questi se utilizzato nella maniera scorretta potrebbe creare uno o più punti deboli. Ipotizzando anche di avere a disposizione i migliori prodotti presenti sul mercato, talvolta, per scarsa conoscenza o per altri motivi, vengono miscelati tra di loro con rapporti errati, ottenendo un prodotto difettoso alla stessa stregua che se venissero utilizzati “ingredienti” scadenti.

Le cause di tali difetti possono quindi derivare dalla miscela, da una sbagliata composizione o da un'errata messa in opera. Non essendo possibile né utile allo stato individuarne l'eziologia, si può concludere che esistano sicuramente difetti nel calcestruzzo aggravati da processi di carbonatazione.

Poiché il fenomeno, nel caso in esame, sembra diffuso nel pilastro alle varie altezze e in modo più evidente e più grave al terzo e al quarto piano probabilmente per infiltrazione di acque meteoriche dovuta alla scarsa inzeppatura della tamponatura, l'intervento di salvaguardia, non può consistere in una semplice ricostruzione della parte ammalorata, con protezione passivante dei ferri.

Considerato che nei casi indicati il degrado sembra esteso, diffuso e tale da non rappresentare una carenza della parte superficiale, ma anche un indicatore di difetto più profondo, si ritiene necessario prevedere un intervento che oltreché bloccare i processi di degrado esterni ed evidenti e ricostruire le parti mancanti con opportuno copriferro, costituisca di per sé un elemento con un proprio nucleo portante solido che contribuisca alla staticità della struttura non solo in termini di duttilità ma anche di resistenza.

Tra i vari metodi utilizzati allo scopo si è scelto quello di incamiciatura in calcestruzzi fibrorinforzati (HPFRC) ad elevatissime prestazioni che uniscono elevati valori di resistenza meccanica, con ottimali valori di duttilità e di resistenza a trazione costituendo un rinforzo strutturale altamente prestazionale ed una corretta efficacia come barriera anticarbonatazione ed antiossidazione nel miglioramento della durabilità nel tempo.

Questa tecnica si è dimostrata efficace per il rinforzo di pilastri esistenti in c.a. e nodi trave-pilastro.^{1 2 3}

La soluzione proposta, come già accennato, consiste nel getto attorno all'elemento strutturale, una volta eliminato il copri ferro e/o il calcestruzzo ammalorato, di una camicia in HPFRC di spessore contenuto entro i 30-40 mm.

La tecnica di rinforzo scelta si basa sull'adozione di un materiale più simile al calcestruzzo di base rispetto a qualsiasi altra soluzione, risolvendo il problema della compatibilità tra materiali diversi.

Il calcestruzzo fibrorinforzato per uso strutturale è previsto nella normativa italiana:

il DM 14 GENNAIO 2008 al paragrafo 8.6 Materiali recita " *Gli interventi sulle strutture esistenti devono essere effettuati con i materiali previsti dalle presenti norme; possono altresì essere utilizzati materiali non tradizionali purché nel rispetto di normative e documenti di comprovata validità, ovvero quelli elencati al cap.12*" fra cui le " Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato CNR DT204 2006

Le norme nazionali sul calcestruzzo fibrorinforzato (UNI 11039-1/2003) prescrivono un dosaggio minimo di fibre in **acciaio** di 25 kg/m³. Resta inteso che l'efficacia delle fibre, quali che siano le caratteristiche geometriche, va dimostrata dal fornitore sperimentalmente in termini di duttilità del composito.

Secondo le istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Calcolo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato, CNR-DT-204/2006, il dosaggio minimo di fibre per impieghi strutturali non deve essere inferiore allo 0.3% in volume.

E' importante sottolineare che solo per le fibre di acciaio il dosaggio minimo equivale alla garanzia di una prestazione meccanica adeguata una volta ottenuta sperimentalmente. La norma UNI 11039, infatti, stabilisce i parametri minimi di duttilità che si devono riscontrare nella specifica

¹ C. BESCHI, A. MEDA, P. RIVA, "Column and joint retrofitting with high performance fiber reinforced concrete jacketing", Journal of Earthquake Engineering, 15:7:2011), pp. 989-1014, ISSN: 1363-2469.

² RINFORZO DI NODI TRAVE-PILASTRO D'ANGOLO CON INCAMICIATURA IN CALCESTRUZZO FIBRO-RINFORZATO AD ELEVATE PRESTAZIONI C. BESCHI, Università di Bergamo A. MEDA, Università di Roma, Tor Vergata, P.RIVA, Università di Bergamo

³ RIPARAZIONE DI PILASTRI IN C.A. CON ARMATURE CORROSE MEDIANTE INCAMICIATURE IN CALCESTRUZZO AD ELEVATE PRESTAZIONI

S. Mostosi, A. Meda, Z. Rinaldi, P. Riva

prova definendo calcestruzzi “non rinforzati con fibre di acciaio” quei calcestruzzi per i quali si abbiano valori dell’indice di duttilità $D_o < 0.5$.

Il criterio viene confermato nella sostanza dalle Istruzioni CNR DT 204/2006.

I requisiti relativi alle fibre sono specificati dalla norma UNI EN 14889/2006 che detta le regole per la marcatura CE delle fibre stesse.

I vantaggi nell’utilizzo della tecnologia di rinforzo con calcestruzzi fibrorinforzati ad elevatissime prestazioni sono molteplici tra cui, nel caso in esame, quello di poter sfruttare la resistenza a trazione del materiale, la duttilità e la resistenza alla temperatura maggiore rispetto ad altri sistemi di applicazione.

L’intervento viene effettuato per tutta l’altezza del pilastro a partire dal piano della fondazione.

3.1 Interventi progettuali

Sinteticamente gli interventi previsti si possono così riassumere:

- Isolamento della zona di intervento dalle zone abitate mediante partizioni realizzate in cartongesso su montanti metallici;
- Approntamento ponteggi esterni dotati di piattaforma di elevazione carichi;
- Tagli della tamponatura per distaccare il pilastro;
- Saggi sulla resistenza del cls e sull’integrità delle armature;
- Messa in opera di idonea puntellatura per ridurre il carico permanente sul pilastro;
- Asportazione in profondità del calcestruzzo ammalorato da eseguirsi sul pilastro e sui nodi travi pilastro mediante idroscarifica fino al raggiungimento dello strato del cls con caratteristiche di buona solidità ed omogeneità e comunque non carbonato.
- Sigillature di eventuali lesioni presenti nella struttura;
- Trasporto dei materiali di risulta e conferimento a discarica;
- Passivazione delle armature;
- Integrazione delle armature particolarmente degradate (ferri verticali e staffe) in predisposti fori e scanalature all’interno del calcestruzzo;
- Predisposizione di armatura in rete d’acciaio fissata a connettori inghisati al pilastro nel caso che lo spessore di ripristino del calcestruzzo, dopo l’asportazione di quello ammalorato, risulti maggiore di 40 mm;
- Predisposizione casseforme a perfetta tenuta intorno al pilastro, in maniera da eseguire il getto per tappe non superiori ai 2 metri di quota;
- Getto di calcestruzzo fibrorinforzato con fibre in acciaio a norma CE mediante semplice colata dall’alto, del prodotto adeguatamente mescolato al fine di ottenere le prescritte caratteristiche di fluidità, auto livellazione, i valori fisicomeccanici e di duttilità, necessari all’ottenimento del rinforzo strutturale; il calcestruzzo sarà confezionato in cantiere mediante miscelazione con mescolatore così come previsto dalla relativa scheda tecnica;
- Protezione del getto mediante guaina protettiva per 2-3 giorni
- Scassero
- Ripristino compattatura, intonaco e pitturazione

3 - MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO

In base alle indagini svolte per i materiali caratterizzanti le strutture esistenti del pilastro prima del risanamento si ipotizzano i seguenti:

- **Calcestruzzo esistente**, senza l’effetto di confinamento visto l’eccessivo passo delle staffe, Tipo C16/20 (Rck 200)

- **Barre di acciaio liscio esistente tipo Aq42** (Tensione caratteristica di snervamento $R_{sk}=2300$ kg/cmq; Tensione caratteristica di rottura $R_{rk}=4200$ kg/cmq; Allungamento $A_s=20\%$).

Per la realizzazione dei risanamenti in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

malta bicomponente fibrorinforzata a ritiro compensato ad elevatissime prestazioni meccaniche e ad elevata duttilità da impiegarsi con fibre di acciaio rigide (tipo Fibre HPC della MAPEI S.p.A.), a base di cementi ad alta resistenza, aggregati selezionati, speciali additivi (tipo Planitop HPC della MAPEI S.p.A.).

La malta confezionata con le seguenti modalità: 100 parti di componente A (polvere) con 6,5 parti di componente B (Fibre HPC) (1,625 kg di fibre per ogni sacco da 25 kg) e 12-13 parti di acqua (3,0-3,2 l di acqua per ogni sacco da 25 kg);

avrà le seguenti caratteristiche meccaniche:

Resistenza a compressione (EN 12190) (MPa): 130 (dopo 28 gg)

Resistenza a flessione (EN 196/1) (MPa): 32 (dopo 28 gg)

Resistenza a trazione (BS 6319) (MPa): 8,5 (dopo 28 gg)

- trattamento passivante dei ferri d'armatura, mediante applicazione a pennello di doppia mano di malta cementizia anticorrosiva, monocomponente, a base di leganticementizi, polimeri in polvere e inibitori di corrosione tipo Mapefer 1K della MAPEI S.p.A.
- malta tissotropica bicomponente, a ritiro compensato e a presa normale, a basso modulo elastico (27 GPa), a base cementizia, aggregati selezionati, fibre metalliche (tipo Mapegrout FMR della MAPEI S.p.A.) per la ricostruzione di strutture degradate in calcestruzzo. Il prodotto dovrà rispondere ai requisiti minimi richiesti dalla EN 1504-3 per le malte strutturali di classe R4 e avere le seguenti caratteristiche prestazionali:
Resistenza a compressione (EN 12190) (MPa): > 64 (a 28 gg)
Resistenza a flessione (EN 196/1) (MPa): 11 (a 28 gg)
- resina epossidica bicomponente iperfluida, a bassissima viscosità ed esente da solventi (tipo Epojet LV della MAPEI S.p.A.) per il ripristino monolitico e consolidamento strutturale, mediante iniezione a bassa pressione o colatura, di microfessure nel calcestruzzo. Il prodotto dovrà rispondere ai requisiti minimi richiesti dalla EN 1504-5.
- resina epossidica bicomponente fluida, a bassa viscosità ed esente da solventi (tipo Epojet della MAPEI S.p.A.) per l'ancoraggio dell'armatura d'acciaio .
- Nuove barre di acciaio ad aderenza migliorata tipo Acciaio B450C (Resistenza caratteristica $F_{yk} = 450$ N/mm²).

I materiali caratterizzanti le strutture esistenti dei pilastri dopo il risanamento sono i seguenti:

- **Calcestruzzo esistente**, con l'effetto confinamento visto che verranno posizionate nuove staffe di contenimento con passo adeguato, Tipo C16/20 confinato (R_{ck} 150) (vedi il calcolo seguente delle caratteristiche del calcestruzzo confinato)
- **Barre di acciaio liscio esistente tipo Aq42**

4 - VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Nelle costruzioni esistenti le situazioni concretamente riscontrabili sono le più diverse ed è quindi impossibile prevedere regole specifiche per tutti i casi. Di conseguenza, il modello per la valutazione della sicurezza viene definito e giustificato in relazione al comportamento strutturale attendibile della costruzione, tenendo conto delle indicazioni generali di seguito esposte.

4.1 – ANALISI STORICO CRITICA

Il fabbricato oggetto dell'intervento come già detto è del 1967.

L'edificio ha struttura portante costituita da telai in C.A. di travi e pilastri. Il fabbricato si sviluppa per nove piani fuori terra più il torrino scale.

La struttura in questione, di recente ha evidenziato uno stato fessurativo del pilastro nell'angolo sud-ovest che, a seguito delle non approfondite indagini eseguite per le difficoltà operative già esposte, è risultato essere causato da un generalizzato deterioramento del calcestruzzo e da un arrugginimento delle armature.

Con il presente intervento si intende porre riparo agli inconvenienti riscontrati procedendo ad un risanamento corticale delle strutture danneggiate

4.2 – RILIEVO

Il rilievo geometrico-strutturale è riferito solo alla zona dell'angolo sud-ovest. Nel rilievo è stato rappresentato la situazione attuale che sembra non aver avuto modificazioni intervenute nel tempo, come desunte dall'analisi storico-critica.

Solo a qualche piano è stato possibile rilevare le geometrie degli elementi strutturali senza però poter determinare, per le difficoltà oggettive esposte i quantitativi delle armature, le proprietà meccaniche dei materiali, i collegamenti.

Così solo in qualche caso sono stati individuati i difetti nei particolari costruttivi(eccessivo passo delle staffe).

In base a quanto indicato si può definire che le Verifiche in-sito non sono state esaustive (basate solo su rilievi di tipo visivo effettuati senza ricorrere a rimozione dell'intonaco e saggi sulle strutture che consentissero di esaminarne le caratteristiche sia in superficie che in profondità).

4.3 – CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

Particolare attenzione è riservata alla valutazione della qualità del calcestruzzo, con riferimento agli aspetti legati al rispetto o meno della "regola dell'arte".

L'esame della qualità del calcestruzzo eseguita può essere ricondotta nella tipologia "Indagini in-sito non approfondite". Infatti non sono state eseguite prove dirette in quanto gli ambienti sono abitati. Le informazioni sulle proprietà dei materiali, eccettuato le indagini sclerometriche, sono state ottenute dalla letteratura, o dalle regole in vigore all'epoca della costruzione.

4.4 – AZIONI

In fase di schematizzazione dell' elemento da verificare si è tenuto conto dei carichi su di esso gravanti considerando gli elementi costruttivi sovrastanti. Lo scopo del presente intervento è quello di ripristinare la condizione di piena sicurezza a carichi verticali (non sismici) dell' elemento su cui si interviene. Naturalmente con il rinforzo si è ottenuto anche un lieve miglioramento sismico, che però non raggiunge mai la sicurezza prevista dalla normativa vigente per gli interventi di adeguamenti.

Si è quindi provveduto ad eseguire le verifiche per i carichi verticali, così come venivano eseguite all'epoca del manufatto, ma tenendo conto dei criteri di verifica della nuova normativa, eseguendo un calcolo di verifica prima e dopo l'intervento con il metodo semiprobabilistico agli stati limite e con l'applicazione dei coefficienti di sicurezza attualmente in vigore.

5 - TERRENO DI FONDAZIONE

Visto il tipo di lavoro che si vuole eseguire, già ampiamente esposto in precedenza, che non implica interventi in fondazione e/o aumento dei carichi, non è necessario eseguire indagini geologiche e tantomeno eseguire un'analisi geotecnica.

6 - ANALISI DEI CARICHI

La valutazione dei carichi e dei sovraccarichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni del Decreto Ministero Infrastrutture Trasporti 14 gennaio 2008 (G. U. 4 febbraio 2008, n. 29 - Suppl.Ord.) "Norme tecniche per le Costruzioni".

La valutazione dei carichi permanenti è effettuata sulle dimensioni definitive rilevate in loco.

Le analisi effettuate, corredate da dettagliate descrizioni, sono riportate di seguito:

Peso proprio del solaio di tipo misto c.a. e laterizi 16+4	=	250 kg/mq	(G1)
Peso pavimento + incidenza tramezzi	=	150 kg/mq	(G2)
Peso proprio copertura di tipo misto c.a. e laterizi 16+4	=	250 kg/mq	(G1)
Peso massetto pendenza e impermeabilizzazione	=	100 kg/mq	(G2)

Carico di esercizio solai piani abitabili	=	200 kg/mq	(Q)
Carico di esercizio solaio copertura non praticabile	=	50 kg/mq	(Q)
Carico neve (zona III quota as=4 m.s.m.)	=	48 kg/mq	(Qs)

Totale carichi permanenti solai abitabili

Valore caratteristico		G1k= 250 daN/m ²
Valore di calcolo	250×1.3	G1d =325 daN/m ²
Carichi permanenti non strutturali		
Valore caratteristico		G2k= 150 daN/m ²
Valore di calcolo	150×1.5	G2d= 225 daN/m ²

Totale carichi permanenti solaio copertura

Valore caratteristico		G1k= 250 daN/m ²
Valore di calcolo	250×1.3	G1d =325 daN/m ²
Carichi permanenti non strutturali		
Valore caratteristico		G2k= 100 daN/m ²
Valore di calcolo	100×1.5	G2d= 150 daN/m ²

Carichi variabili

Valore caratteristico (p.abitabile)		Q1k= 200 daN/m ²
Valore di calcolo (p.abitabile)	200×1.5	Q1d= 300 daN/m ²

Valore caratteristico (c.non praticabile)		Q1k= 50 daN/m ²
Valore di calcolo (c.non praticabile)	200×1.5	Q1d= 75 daN/m ²

Il rompanto è realizzato con doppia fodera di mattoni forati (8+10) con camera d'aria e intonaco sulle facce esterne.

Peso proprio di un metro quadro di rompanto

valore caratteristico	120 daN/m ²
valore di calcolo	120 x 1.5 = 180 daN/m ²

trave 25x50

valore caratteristico	0.3x0.5x2500=312 daN/m
valore di calcolo	312x1.3 =406 daN/m

pilastro 40x60

valore caratteristico $0.4 \times 0.6 \times 2500 = 600$ daN/m
valore di calcolo $600 \times 1.3 = 780$ daN/m

pilastro 30x60

valore caratteristico $0.3 \times 0.6 \times 2500 = 450$ daN/m
valore di calcolo $450 \times 1.3 = 585$ daN/m

pilastro 25x60

valore caratteristico $0.25 \times 0.6 \times 2500 = 375$ daN/m
valore di calcolo $375 \times 1.3 = 487$ daN/m

pilastro 25x50

valore caratteristico $0.25 \times 0.5 \times 2500 = 313$ daN/m
valore di calcolo $313 \times 1.3 = 406$ daN/m

pilastro 25x40

valore caratteristico $0.25 \times 0.4 \times 2500 = 250$ daN/m
valore di calcolo $250 \times 1.3 = 325$ daN/m

7 - VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Così come previsto al punto 8,3 del D.M.08 e nella relativa Circolare "la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguite con riferimento ai soli S.L.U.", ed in particolare, "possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (S.L.V.).

Non essendoci l'obbligo normativo e la volontà della committenza di valutare l'intervento dal punto di vista sismico, tale analisi non è stata svolta. Inoltre è da considerare che il fabbricato risale agli anni '70, periodo durante il quale non esisteva ancora una normativa che teneva conto del fenomeno sismico, e quindi non avrebbe senso l'adeguamento del singolo elemento in oggetto al sisma visto che il resto del fabbricato risulterebbe, in ogni caso non verificato alle sollecitazioni sismiche.

Di seguito sono riportati gli stralci degli schemi strutturali del primo impalcato dove è evidenziato il pilastro prima dell'intervento e dopo il risanamento.

8 - AZIONI SULLA STRUTTURA - CARICO SUL PILASTRO

Nel valutare i carichi che vengono trasmessi al pilastro a ciascun piano si tiene presente la sequenza di trasmissione del carico, dal solaio alla trave e quindi al pilastro. Si è così proceduto ad individuare l'area di influenza del pilastro, senza maggiorazione in quanto pilastro di estremità nei due sensi.

I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008.

Le azioni introdotte sono combinate con i carichi variabili mediante la combinazione di carico di seguito descritta; da esse si ottengono i valori probabilistici da impiegare successivamente nelle verifiche.

Poiché è improbabile che su ogni parte dell'edificio gravi il massimo carico variabile, si è ritenuto opportuno considerare mediamente su ogni piano un carico variabile pari al 90% di quello di calcolo.

Si ha pertanto

Piano	area di influenza o lunghezza	G1d + G2d + 0.9 Q1d	
piano 8 (6°) sezione pilastro 25x40			
solaio	4.26x5.90/4	325 + 150 + 75	= 3456
solaio	0.70x5.90/2	325 + 150 + 75	= 2065
solaio	4.26x0.70/2	325 + 150 + 75	= 820
trave (25x50)	4.26/2	406	= 864
trave (25x50)	5.90/2	406	= 1198
p. proprio (25x40)	3.25	293	= 952
		piano 8	tot. 9355 daN
piano 7 (5°) sezione pilastro 25x40			
dal piano 8			9355 daN
solaio	4.26x5.90/4	325 + 225 + 0.9x300	= 5152
tamponatura	4.26x2.95/2	0.80 x 180	= 905
tamponatura	5.90x2.95/2	180	= 1566
t trave (25x50)	4.26/2	406	= 864
trave (25x50)	5.90/2	406	= 1198
p. proprio (25x40)	3.25	390	= 1267
		piano 8	= 11242 tot 20597 daN
piano 6 (4°) sezione pilastro 25x40			
dal piano 7			20597 daN
solaio	4.26x5.90/4	325 + 225 + 0.9x300	= 5152
tamponatura	4.26x2.95/2	0.80 x 180	= 905
tamponatura	5.90x2.95/2	180	= 1566
trave (25x50)	4.26/2	406	= 864
trave (25x50)	5.90/2	406	= 1198
p. proprio (25x40)	3.25	390	= 1267
		piano 7	= 11242 tot 31839 daN
piano 5 (3°) sezione pilastro 25x40			
dal piano 6			31839 daN
solaio	4.26x5.90/4	325 + 225 + 0.9x300	= 5152
tamponatura	4.26x2.95/2	0.80 x 180	= 905
tamponatura	5.90x2.95/2	180	= 1566
trave (25x50)	4.26/2	406	= 864
trave (25x50)	5.90/2	406	= 1198
p. proprio (25x40)	3.25	390	= 1267
		piano 6	= 11242 tot 43081 daN
piano 4 (2°) sezione pilastro 25x50			
dal piano 5			43081 daN
solaio	4.26x5.90/4	325 + 225 + 0.9x300	= 5152
tamponatura	4.26x2.95/2	0.80 x 180	= 905
tamponatura	5.90x2.95/2	180	= 1566
trave (25x50)	4.26/2	406	= 864
trave (25x50)	5.90/2	406	= 1198
p. proprio (25x50)	3.25	406	= 1320
		piano 5	= 11295 tot. 54376 daN

piano 3 (1°) sezione pilastro 25x50						
dal piano 4						54376 daN
solaio	4.26x5.90/4	325 + 225 + 0.9x300	=	5152		
tamponatura	4.26x2.95/2	0.80 x 180	=	905		
tamponatura	5.90x2.95/2	180	=	1566		
trave (25x50)	4.26/2	406	=	864		
trave (25x50)	5.90/2	406	=	1198		
p. proprio (25x50)	3.25	406	=	1320		
		piano 4	=	11295	tot.	65671 daN
piano 2 (0°) sezione pilastro 25x60						
dal piano 3						65671 daN
solaio	4.26x(5.90+0.50)/4	325 + 225 + 0.9x300	=	5589		
tamponatura	4.26x3.60/2	0.80 x 180	=	1104		
tamponatura	5.90x3.60/2	180	=	1912		
trave (25x50)	4.26/2	406	=	864		
trave (25x50)	5.90/2	406	=	1198		
p. proprio (25x60)	4.40	487	=	2142		
		piano 3	=	12809	tot.	78480 daN
piano 1 (-1°) sezione pilastro 30x60						
dal piano 2						78480 daN
solaio	4.26x(5.90+0.50)/4	325 + 225 + 0.9x300	=	5589		
tamponatura	4.26x3.60/2	0.80 x 180	=	1104		
tamponatura	5.90x3.60/2	180	=	1912		
trave (25x50)	4.26/2	406	=	864		
trave (25x50)	5.90/2	406	=	1198		
p. proprio (30x60)	4.40	585	=	2574		
		piano 1	=	13241	tot.	91721 daN
terra (-2) sezione pilastro 40x60						
dal piano 1						91721 daN
solaio	4.26x5.90/4 + 3.50x5.90/4	325 + 225 + 0.9x300	=	9385		
tamponatura	4.26x3.80/2	0.80 x 180	=	1163		
tamponatura	5.90x3.80/2	180	=	2018		
trave (25x50)	4.26/2	406	=	864		
trave (25x50)	5.90/2	406	=	1198		
p. proprio (40x60)	4.4	780	=	3432		
		piano terra	=	18060	tot.	109781 daN

9 CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI PER IL CALCOLO

Le verifiche sono state svolte secondo il D.M. 14 gennaio 2008.

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo viene valutata secondo il punto 4.1.2.1.1.1. del D.M. 14 gennaio 2008.

RESISTENZA A COMPRESSIONE DEL CALCESTRUZZO E DEL MICROCALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO

Il valore di f_{cd} viene calcolato sulla base delle limitate indagini svolte sulla struttura salvo verifica con indagini di laboratorio su prelievi di carote in fase di realizzazione, utilizzando opportuni coefficienti di sicurezza in funzione del livello di conoscenza che verrà raggiunto.

In questa fase in funzione di quanto precedentemente scritto, si considera la classe C16/20 con $f_{cd} = 0,85 \times 16/1,5$

Il valore di f_{Fck} del materiale di rinforzo (Rck130) viene ipotizzato pari alla classe massima consentita dal D.M. 14 gennaio 2008 non volendo procedere con la richiesta di autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Pertanto la classe considerata è la classe C70/85 per cui

$$f_{Fcd} = 0,85 \cdot 70/1,5 = 39,7 \text{ MPa}$$

RESISTENZA DI CALCOLO DELL'ACCIAIO

La resistenza di calcolo dell'acciaio Aq42 è data da:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 2256/1,15 = 1961 \text{ daN/cm}^2$$

dove:

- γ_s è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio pari a 1,15;

- f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio superiore a 2256 daN/cm².

RESISTENZA A TRAZIONE DEL MICROCALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO

Il calcestruzzo fibrorinforzato marcato CE, con comportamento incrudente a trazione, ha resistenza a trazione, valutata come previsto dal documento tecnico CNR DT204-2006 al capitolo 9, pari $f_{Ftk} = 8,5 \text{ MPa}$ (dopo 28 giorni) per cui $f_{Ftd} = 8,5/1,5 = 5,66 \text{ MPa}$.

10 - VERIFICHE

10.1 Stato Limite di Salvaguardia della Vita

Le azioni sul pilastro sono state cumulate in modo da determinare la condizione di carico tale da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli, come consentito dalle norme vigenti.

Per la verifica del pilastro al piano 5 (dimensioni 25x40) con un foglio di calcolo sono stati elaborati i diagrammi di iterazione M-N prima e dopo l'intervento con indicazione del punto di verifica corrispondente a $N = 43081 \text{ daN}$ e $M = N \cdot e = 43081 \cdot 0,02 = 861,6 \text{ daN m}$ (e , eccentricità, pari almeno a $0,05h \geq 20 \text{ mm}$ con h altezza della sezione) (NTC08m punto 4.1.2.1.2.4).

Per la sezione non rinforzata, il diagramma M-N è stato calcolato seguendo il classico approccio semplificato: resistenza a trazione del calcestruzzo nulla; perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo; compressione nel calcestruzzo modellata utilizzando uno stress-block rettangolare.

Per l'HPFRC sono state adottate le stesse ipotesi. Inoltre, poiché il materiale è caratterizzato da un comportamento incrudente a trazione, è stata presa in considerazione la resistenza a trazione del calcestruzzo fibrorinforzato, assumendo una distribuzione degli sforzi costante, una deformazione ultima a trazione pari all'1% e perfetta aderenza tra la camicia in HPFRC e il substrato. Le curve sono state tracciate considerando per i materiali i valori di progetto, come prescritto dalle norme ed indicati nel paragrafo precedente.

Dai risultati riportati di seguito è possibile osservare un notevole aumento della resistenza, grazie all'applicazione della camicia in HPFRC e che il punto di "verifica" è abbondantemente all'interno del dominio.

10.2 Stati Limite di Esercizio

Non sono state eseguite verifiche allo S.L.E così come previsto al punto 8,3 del D.M.08 e nella relativa Circolare che recita: "la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguite con riferimento ai soli S.L.U.".

11 - CONCLUSIONI

La presente relazione rappresenta il progetto di ripristino e rafforzamento del pilastro redatto sulla base delle previsioni effettuate senza il supporto di indagini approfondite non eseguite per le ragioni su esposte.

Pertanto le opere previste potranno subire varianti in corso d'opera poiché solo dopo aver svolto le demolizioni delle murature adiacenti al pilastro e l'asportazione degli intonaci, sarà possibile accertare le armature e la loro condizione nonché lo stato del calcestruzzo mediante indagini dirette con prelievi di carote e quindi verificare le previsioni. Eventualmente fosse necessario procedere ad altri tipi di lavori essi sarebbero oggetto di "variante in corso d'opera".

Ing. Emilio Ricco