

SCHEDA PROGETTO

Titolo: Ripristino e rafforzamento pilastro c.a. angolo sud-ovest fabbricato

Settore: Recupero strutturale

Luogo: Salerno

Committente: Condominio Via L.Guercio,192

Progettista: ing. Emilio Ricco - Salerno -

Impresa: Luigi Bottone - Fisciano - (SA)

Monitoraggio decompressione pilastro: Cutino Sistemi di pesatura - Lancusi - (SA)

Fornitore prodotti Mapei : Edilsaba - Baronissi - (SA)

Prodotti utilizzati:

Fibre HPC della MAPEI S.p.A

Malta premiscelata colabile Planitop HPC della MAPEI S.p.A

Malta cementizia tissotropica Mapegrout FMR della MAPEI S.p.A.

Trattamento passivante dei ferri d'armatura, mediante applicazione di Mapefer 1K della MAPEI S.p.A.

1 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

La pilastrata costituita da nove livelli necessitava di lavori urgenti di rafforzamento consistenti essenzialmente in una "fasciatura armata" che collegasse i piani sovrastanti la fondazione. Tale fasciatura ha sostituito lo strato di copriferro asportato (senza aumento della sezione) ed è scomposta 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 ha permesso di considerare, ai fini statici, un nuovo elemento strutturale "composto" in grado di contribuire ad assorbire le sollecitazioni provenienti dall'alto.

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 INTERVENTO

Considerato che il degrado del calcestruzzo sembrava esteso, diffuso e tale da non rappresentare una carenza della parte superficiale, ma anche un indicatore di difetto più profondo, si è ritenuto necessario prevedere un intervento che oltretutto bloccherebbe i processi di degrado esterni ed evidenti e ricostruire le parti mancanti con opportuno copriferro, costituisse di per sé un elemento con un proprio nucleo portante solido che contribuisse 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 adottata, 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 previo decompressione della pilastrata ai vari livelli di circa il 30% del carico portato dal pilastro.

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 è stato effettuato per tutta l'altezza del pilastro a partire dal piano della fondazione.

3.1 Interventi progettuali

Sinteticamente gli interventi 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;

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

- 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 sono ipotizzati 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 $F_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$).

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 (fck 16) (vedi il calcolo seguente delle caratteristiche del calcestruzzo confinato)
- **Barre di acciaio liscio esistente tipo Aq42**

4 - VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

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 è inteso porre riparo agli inconvenienti riscontrati procedendo ad un risanamento corticale delle strutture danneggiate

4.2 – 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 stato quello di ripristinare la condizione di piena sicurezza a carichi verticali (non sismici) dell' elemento su cui si interveniva. 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 - 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.

6 - AZIONI SULLA STRUTTURA - CARICO SUL PILASTRO

Nel valutare i carichi che vengono trasmessi al pilastro a ciascun piano si è tenuta presente la sequenza di trasmissione del carico, dal solaio alla trave e quindi al pilastro.

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

7 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 $f_{Ftd} = 8,5 / 1,5 = 5,66 \text{ MPa}$.

8 - VERIFICHE

8.1 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 inelastico 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.

8.2 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.".

Ing. Emilio Ricco