

## L'influenza del copriferro sulla capacità portante di pilastri in c.a.

N. Augenti

*Dipartimento di Analisi e Progettazione Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italia*

**SOMMARIO:** Nel giugno del 2001 a Napoli, in zona Vomero, è crollata un'intera verticale di otto piani di un edificio residenziale in c.a. mentre erano in corso lavori di manutenzione straordinaria riguardanti i pilastri. Le indagini condotte dall'autore per conto dell'Autorità Giudiziaria, al fine di stabilire le cause del disastro, hanno fornito l'occasione e la possibilità di affrontare in maniera approfondita il problema dell'influenza del copriferro sulla capacità portante dei pilastri, attraverso sperimentazioni "al vero" su elementi delle strutture crollate. I risultati aprono una pagina nuova non solo sulla dinamica di molti dei passati dissesti ma soprattutto sul problema della manutenzione straordinaria delle strutture in c.a. esistenti, specie nelle zone di recente classificazione sismica.

**ABSTRACT:** On June 2001 a whole 8-stories high rise wing of a reinforced concrete framed residential building collapsed in Naples Vomero neighbourhood, while ground floor columns were under extraordinary maintenance. The investigations performed by the author for Judicial Authority's account to find out the disaster causes provided opportunity of dealing with the influence of steel bars concrete cover on column bearing capacity, testing some failed down structural elements. Results of the comparative evaluation suggest some interesting highlights not only about many past collapses, but mostly on repair and maintenance methods to employ on existing reinforced concrete structures in recent seismic classification areas.

### 1 INTRODUZIONE

Il giorno 26 giugno 2001, presso un edificio residenziale in conglomerato cementizio armato di otto piani nel quartiere Arenella di Napoli, si stavano eseguendo lavori di trasformazione del piano terra da garage in box auto individuali. In particolare erano in corso interventi di manutenzione straordinaria su nove pilastri consistenti nell'asportazione del copriferro, ammalorato o parzialmente divelto, e nel ripristino dello stesso. Nonostante già nelle settimane precedenti si fossero manifestati fenomeni di schiacciamento incipiente su due colonne, non solo i lavori di rimozione del copriferro erano proseguiti ma non era stata attuata neppure alcuna opera di assicurazione provvisoria: Durante la mattinata del citato giorno l'improvviso aggravamento dei dissesti aveva consigliato di sgomberare completamente l'edificio e, solamente pochi minuti dopo l'allontanamento delle ultime persone, crollava l'intera verticale interessata dagli interventi

Le indagini disposte dal Giudice per le Indagini Preliminari al fine di stabilire le cause del disastro, hanno permesso allo scrivente di studiare l'influenza del copriferro sulla capacità portante dei pilastri conducendo prove sperimentali su elementi strutturali residui del crollo.

### 2 PROVE DI ROTTURA SU ELEMENTI STRUTTURALI

Al fine di individuare la capacità portante per sollecitazione di compressione monoassiale dei pilastri crollati, sono stati estratti dalle colonne ancora in sito al piano terreno, due elementi contrassegnati con le sigle P3/T e P4/T. L'altezza di un metro è stata la massima consentita dall'integrità delle sezioni e dall'estensione dei residui del crollo. Tale operazione è stata possibile solamente per due dei nove pilastri appartenenti alla verticale interamente crollata. Si è ritenuta tale indagine particolarmente significativa non solo perché essa avrebbe consentito una

misurazione diretta della resistenza, ma anche perché avrebbe permesso di "tarare" i risultati delle prove su carote e quelli delle indagini non distruttive condotte sugli stessi elementi strutturali.

Successivamente, in una fase di approfondimento delle indagini, si è ritenuto necessario condurre un'ulteriore sperimentazione con lo scopo di valutare l'influenza della rimozione del copriferro sulla capacità portante dei pilastri. A tal fine, dalle uniche colonne ancora integre appartenenti alla zona parzialmente crollata (ved. Fotografia n.1) sono stati estratti quattro campioni utili della lunghezza di un metro e precisamente: un campione dal pilastro P9 al piano terreno (contrassegnato con la sigla P9/T); un campione dal pilastro P10 al primo piano (contrassegnato con la sigla P10/1); due campioni dal medesimo pilastro al piano terreno (contrassegnati con le sigle P10/T-A e P10/T-B).

L'estrazione dei campioni da sottoporre a prova è stata effettuata tagliando i pilastri mediante sega circolare per cemento armato, procedura che ha consentito di limitare i traumi al materiale e di ottenere superfici di estremità piane e pressoché parallele (ved. Fotografia n.2).



Fotografia n.01



Fotografia n.02

Va precisato, altresì, che gli elementi estratti presentavano i medesimi "difetti" delle strutture in sito, come l'isolata presenza di fori, scheggiature, zanche metalliche etc.: il significato della sperimentazione, d'altronde, era quello di individuare la resistenza degli elementi reali e non di elementi "perfetti" realizzati in laboratorio.

Dai tre tronchi di pilastri contrassegnati con le sigle P9/T, P10/1, P10/T-B è stato rimosso il copriferro mediante scalpellatura (ved. Fotografia n.3).

Tutte le prove di compressione monoassiale fino a rottura degli elementi estratti dai pilastri, sono state condotte presso il Laboratorio Ufficiale Prove Materiali e Strutture del Dipartimento di Scienza delle Costruzioni dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, impiegando una pressa idraulica Mohr e Federhaff da 500 t (ved. fotografia n.4).



Fotografia n.03



Fotografia n.04

### 3 ESAME DELLE PROVE

#### 3.1 Prova sull'elemento P3/T

L'elemento risultava così caratterizzato: dimensioni:  $30 \times 60 \times 100 \text{ cm}^3$ ; armature longitudinali  $3\varnothing 16 + 3\varnothing 18$  e staffe  $\varnothing 6/20$ . Il campione è stato sottoposto a prova di compressione monoassiale mediante incrementi di carico a gradino di circa 50 t fino a rottura. In corrispondenza di un carico effettivo di 137.06 t si verificava l'apertura di lesioni verticali al su due facce del campione, in prossimità delle armature longitudinali intermedie; tale fenomeno veniva evidenziato da un lieve calo di pressione della macchina di prova. La rottura avveniva in corrispondenza del carico di 350,15 t; una volta raggiunto tale valore, il danneggiamento del provino progrediva con la comparsa di ulteriori lesioni, mentre il carico si riduceva fino al valore di circa 172 t. L'esame dei risultati delle indagini ultrasoniche condotte nel corso della prova di rottura (con letture ad intervalli di 50 t) danno conto del comportamento manifestato dal provino. Al crescere del carico da 0 a 140 t la velocità di propagazione delle onde aumentava, in considerazione del fatto che la compressione esercitata sull'elemento ne faceva crescere la densità. L'inizio del fenomeno di fessurazione, e quindi di perdita della resistenza, era denunciato da una diminuzione della velocità di trasmissione oltre le 140 t e fino a 250 t: in corrispondenza di tale carico si manifestavano lesioni visibili ad occhio nudo; la velocità, come è ovvio, continuava a diminuire sino al carico di rottura.

#### 3.2 Prova sull'elemento P4/T

L'elemento risultava così caratterizzato: dimensioni:  $30 \times 50 \times 100 \text{ cm}^3$ ; armature longitudinali  $6\varnothing 16$  e staffe  $\varnothing 6/20$ . La prova di rottura per compressione monoassiale è stata condotta con la medesima procedura adottata per l'elemento P3/T. In corrispondenza del carico effettivo di 248.25 t apparivano lesioni verticali al centro di due facce del tronco di pilastro, in corrispondenza delle armature longitudinali intermedie. La rottura avveniva per 293,20 t; raggiunto tale valore, progrediva il danneggiamento, con apertura di lesioni diffuse, mentre il carico si riduceva. Le prove ultrasoniche condotte nel corso della prova indicano che la velocità di propagazio-

ne delle onde è aumentata, al crescere del carico da 0 t fino a 100 t. L'inizio del fenomeno di fessurazione, e quindi di perdita di resistenza del provino, si è manifestato a partire dalle 200 t; la diminuzione della velocità di trasmissione è proseguita fino alla rottura.

### 3.3 Prova sull'elemento P9/T

Prima di procedere alla rimozione dello strato di calcestruzzo copriferro l'elemento presentava dimensioni  $44.5 \times 50 \times 99 \text{ cm}^3$ . La scalpellatura della superficie laterale è stata eseguita su una zona centrale di altezza pari a circa 63 cm, lasciando integre due fasce di estremità superiore alta circa 18 cm. In corrispondenza della parte scalpellata è stato misurato un perimetro medio della sezione trasversale di 165 cm e un'area media di  $1702 \text{ cm}^2$ . La rimozione del copriferro ha messo in evidenza tre staffe  $\varnothing 6$  e armature longitudinali costituite da  $2\varnothing 18 + 2\varnothing 20$  negli angoli e da  $4\varnothing 14$  al centro dei lati. Durante la prova di compressione monoassiale, in corrispondenza di un carico effettivo di 146.35 t, una barra intermedia del provino ha iniziato a instabilizzarsi, spingendo in fuori le staffe; in tali condizioni risultavano visibili lesioni anche sulle fasce estreme del copriferro non scalpellato. Al carico costante di 146.35 t è comparsa una lesione verticale su una delle facce laterali; tale valore è stato mantenuto immutato per 20 minuti, fino a quando il danneggiamento è sembrato essersi stabilizzato; incrementando ulteriormente il carico, a 197.30 t compariva una lesione verticale sulla superficie frontale; tale valore si manteneva costante per 15 minuti per poi incrementarlo. In corrispondenza della rottura effettiva che si verificava a 299.20 t, l'armatura longitudinale centrale appariva completamente instabilizzata verso l'esterno, così come quella centrale della superficie laterale ove era comparsa la lesione verticale; altre barre si instabilizzavano a carico costante e compariva una lesione diagonale; il danneggiamento evolveva a vista d'occhio mentre il carico era costante a 299.20 t da 4 min e si apriva la staffa intermedia. Il carico decresceva fino a 125 t e quindi si riusciva ad aumentare nuovamente la pressione, solamente fino a un carico di 146 t quando si produceva la rottura definitiva del campione (ved. Fotografia n.05).

### 3.4 Prova sull'elemento P10/T-A

L'elemento risultava così caratterizzato: dimensioni della sezione  $29.5 \times 40.5 \times 98.5 \text{ cm}^3$ ; armature longitudinali  $4\varnothing 16 + 2\varnothing 14$  e staffe  $\varnothing 6/20$ . Il campione è stato sottoposto a prova di compressione monoassiale dopo essere stato "strumentato" per la misura delle componenti di spostamento verticale che sono state rilevate in corrispondenza di incrementi del carico pari a 10 t ovvero, per carico costante, ad intervalli di un minuto. Al fine di simulare lo stato effettivo di sollecitazione del pilastro in un edificio reale, è stata data disposizioni ai tecnici del Laboratorio di mantenere costante il valore del carico in prossimità delle condizioni di collasso, compensando le diminuzioni registrate dalla macchina di prova con incrementi della pressione. In corrispondenza di 147.20 t è comparsa una lesione verticale sulla superficie posteriore del provino; tale valore del carico è stato mantenuto costante per 10 minuti; incrementi successivi hanno prodotto il collasso per 309.20 t nel volgere di un solo minuto.

### 3.5 Prova sull'elemento P10/T-B

Il campione è stato prelevato dallo stesso pilastro precedente; prima di procedere alla rimozione dello strato di calcestruzzo copriferro l'elemento presentava dimensioni  $30 \times 40 \times 102 \text{ cm}^3$ . La scalpellatura della superficie laterale è stata eseguita per l'intera altezza del campione. Dopo l'asportazione del copriferro sono state rilevate armature longitudinali costituite da  $4\varnothing 16 + 2\varnothing 12$  e cinque staffe  $\varnothing 6$ , delle quali le prime tre dall'alto erano inclinate rispetto all'orizzontale. Sul campione scalpellato, è stato rilevato un perimetro medio della sezione trasversale pari a 113 cm e un'area media pari a circa  $800 \text{ cm}^2$ . La prova è stata effettuata con le stesse modalità adottate per il campione precedente (ved. Fotografia n.06). Il carico è stato incrementato fino a 48.42 t e mantenuto costante per 5 minuti; durante l'incremento successivo, in corrispondenza del carico di 67.95 t l'armatura longitudinale intermedia ha cominciato a instabilizzarsi spingendo le staffe verso l'esterno; sulla faccia posteriore due staffe hanno mostra-

to segni di distacco. Tale valore del carico è stato mantenuto costante per 7 minuti, poi è stato portato a 77.71 t e successivamente a 87.47 t. Dopo 2 minuti sotto carico costante, la barra longitudinale centrale si presentava molto deformata verso l'esterno. Si è incrementato il carico fino a 97.23 t e in corrispondenza di tale valore, a carico costante, si è instabilizzata anche l'armatura longitudinale intermedia della faccia posteriore. La rottura è avvenuta a 105.20 t in 15 secondi.



Fotografia n.05



Fotografia n.06

### 3.6 Prova sull'elemento P10/1

Il campione è stato prelevato dal pilastro da cui erano stati estratti gli elementi precedenti, ma al primo piano; prima di procedere alla rimozione dello strato di calcestruzzo copriferro l'elemento presentava dimensioni  $30 \times 40 \times 99.7 \text{ cm}^3$ . La scalpellatura della superficie laterale è stata eseguita per l'intera altezza del campione. Dopo l'asportazione del copriferro, risultavano in evidenza le armature longitudinali costituite da  $4\varnothing 16 + 2\varnothing 12$ . Sul campione scalpellato è stata rilevato un perimetro medio della sezione trasversale pari a 111 cm e un'area media pari a  $772 \text{ cm}^2$ ; risultavano presenti cinque staffe  $\varnothing 6$  delle quali le prime tre dal basso si presentavano inclinate; la prima in basso era spezzata nel tratto centrale della faccia posteriore del campione.

La prova è stata effettuata con le stesse modalità utilizzate per i due campioni precedenti. In corrispondenza del carico di 48.42 t, è iniziata l'instabilità della barra longitudinale intermedia della faccia anteriore; il carico è stato mantenuto costante per 5 minuti; si è proceduto poi fino a 67.95 t e si mantenuto tale valore costante per altri 5 minuti. Un ulteriore incremento ha portato il carico a 77.71 t, mantenuto costante per 2 minuti; con gli incrementi successivi sono stati raggiunti valori di 87.47 t e 97.23 t che sono stati mantenuti costanti per 10 minuti. Aumentando il carico, a 117.16 t è comparsa una lesione verticale sulla faccia posteriore, mentre la rottura si è verificata per 137.06 t.

#### 4 RESISTENZE MISURATE

I risultati numerici della sperimentazione sono sintetizzati nella Tabella 01 ove sono riportati, per ciascun elemento:

- nella 1<sup>a</sup> colonna → la sigla identificativa del campione;
- nella 2<sup>a</sup> colonna → la larghezza "a" della sezione;
- nella 3<sup>a</sup> colonna → l'altezza "b" della sezione;
- nella 4<sup>a</sup> colonna → l'area "A" della sezione integra;
- nella 5<sup>a</sup> colonna → l'area "A<sub>rid</sub>" della sezione ridotta dalla scalpellatura;
- nella 6<sup>a</sup> colonna → il carico "N<sub>f</sub>" di prima fessurazione;
- nella 7<sup>a</sup> colonna → la tensione "f<sub>f</sub>" di prima fessurazione;
- nella 8<sup>a</sup> colonna → il carico "N<sub>r</sub>" di rottura;
- nella 9<sup>a</sup> colonna → la tensione "f<sub>r</sub>" di rottura.

Tabella 01

Campione	a [cm]	b [cm]	A [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>rid</sub> [cm <sup>2</sup> ]	N <sub>f</sub> [kN]	f <sub>f</sub> [MPa]	N <sub>r</sub> [kN]	f <sub>r</sub> [MPa]
P9/T	50,0	44,5	2225	1702	1436	8,44	2935	17,25
P10/T-A	29,5	40,5	1195		1444	12,09	3033	25,39
P10/T-B	29,5	40,0	1180	800	667	8,33	1032	12,90
P10/1	29,5	40,0	1180	772	475	6,15	1345	17,42

Per tali elementi, sono state altresì eseguite prove di compressione su carote, nonchè indagini microsismiche e sclerometriche.

#### 5 INFLUENZA DEL COPRIFERRO

Confrontando le capacità portanti del pilastro P10 al piano terreno prima e dopo la scalpellatura, si rileva che lo sforzo normale sopportabile si riduce al 34 % circa (1032 kN rispetto a 3033 kN) a fronte di una area della sezione trasversale che è stata ridotta al 68 % circa della sezione originaria (800 cm<sup>2</sup> rispetto a 1180 cm<sup>2</sup>). In altri termini la capacità portante del pilastro non è diminuita proporzionalmente all'area, ma la sezione di copriferro asportata ha inciso in misura pressochè doppia rispetto a quella della sua superficie. Tale comportamento, del tutto prevedibile, conferma che la funzione del copriferro va ben al di là del semplice apporto di sezione resistente, assumendo importanza determinante per il contenimento del calcestruzzo del nucleo e delle barre di armatura, longitudinali e trasversali. Come si è osservato nel corso delle prove, la perdita di resistenza dei pilastri coincide sempre con l'instabilità delle armature longitudinali che viene favorita dall'assenza di copriferro, dal danneggiamento dello stesso, dall'apertura delle staffe. Tale fenomeno, nei pilastri integri ha origine con l'espulsione del copriferro, mentre in assenza di questo si verifica per valori del carico notevolmente più bassi non essendo più necessaria l'energia di frattura dello strato superficiale di calcestruzzo.

Il confronto "diretto" compiuto tra le resistenze dei due campioni estratti dallo stesso pilastro P10 del piano terreno (uno scalpellato e l'altro no) è stato possibile nel caso di una sola colonna. Per il pilastro P9 dello stesso livello è stato, invece, possibile solamente un confronto indiretto tra la resistenza (17,25 MPa) del campione scalpellato (misurata attraverso la prova di rottura del tronco di colonna) e la media tra la resistenza desunta da prove di compressione su carote (24,70 MPa) e quella dedotta da prove sclerometriche (25,06 MPa). A fronte di un'area ridotta al 76,5 % della sezione originaria (1702 cm<sup>2</sup> rispetto a 2225 cm<sup>2</sup>), la capacità portante della colonna si è ridotta al 53% circa.

Considerazioni analoghe sono state possibili anche per il pilastro P10 del primo piano.

Indipendentemente dalle prove innanzi descritte, però, l'autore della presente nota ha potuto assistere personalmente in più occasioni (nel corso dei lavori di manutenzione strutturale di edifici in c.a.) a fenomeni di incipiente collasso di colonne la cui superficie esterna era stata scappellata per procedere ad interventi di consolidamento o ripristino.

Come hanno dimostrato le sperimentazioni condotte, per un pilastro che manifesti i sintomi di un incipiente collasso è sufficiente la sola presenza del carico costante costituito dalle azioni verticali ad esso applicate per dare luogo a un progressivo aggravamento delle sue condizioni che, in assenza di tempestivi interventi di assicurazione, può dare luogo al completo collasso dell'elemento nel volgere di breve tempo. In zone sismiche, ovviamente, il fenomeno risulta ancor più pericoloso in considerazione del fatto che già piccoli incrementi di carico verticale dovuti alle azioni sussultorie possono produrre effetti disastrosi su edifici i cui pilastri risultino, anche parzialmente, privi o privati del copriferro.

## 6 CONCLUSIONI

Le prove condotte dimostrano come l'asportazione dello strato di calcestruzzo copriferro possa essere causa di riduzione anche notevole della portata dei pilastri (superiore alla semplice riduzione di area della sezione) e possa produrre la crisi dell'elemento sotto l'azione di carichi ordinari, fino a quel momento sopportati senza danno. Mentre le staffe, infatti, costituiscono vincolo discreto per le armature longitudinali, il copriferro rappresenta per queste ultime vincolo continuo: la sua rimozione, pertanto, può generare per le colonne di un edificio situazioni di rischio imprevedibili.

Tali constatazioni hanno importanti ricadute sotto l'aspetto pratico nei riguardi di quelli che sono considerati comunemente interventi di manutenzione strutturale privi di rischio. Essi sono, pertanto, da valutare con particolare attenzione sia per gli edifici costruiti nelle zone di nuova classificazione sismica e caratterizzati da ammaloramento degli strati superficiali di calcestruzzo, sia per quelli che a causa di azioni telluriche hanno subito diffusi danneggiamenti del copriferro.

Occorre, in definitiva, non solo rivalutare la funzione "portante" del copriferro (la cui integrità e manutenzione vengono spesso trascurate), ma porre particolare attenzione agli interventi di rimozione e ricostruzione dello stesso che vanno eseguiti con la necessaria prudenza e competenza.

