



## **COLLASSO PARZIALE DI UN EDIFICIO IN C.A. AD AGRIGENTO**

E. Lo Giudice

*Dismat srl, Canicattì, Agrigento*

G. L. Di Marco

*Studio Tecnico Lo Giudice & Di Marco – Servizi per l'Ingegneria, Racalmuto, Agrigento*

R. Mantione

*Studio Tecnico Lo Giudice & Di Marco - Servizi per l'Ingegneria, Racalmuto, Agrigento*

V. Carlisi

*Dismat srl, Canicattì, Agrigento*

### **SOMMARIO**

Nel marzo del 2014, nella città di Agrigento, si è verificato un evento franoso che ha interessato il versante nord del viale prospiciente la Valle dei Templi; esso ha coinvolto nel suo evolversi un muro di sostegno in c.a. ed una porzione del banco calcarenitico sottostante. Il cedimento di questi ha investito violentemente un edificio a struttura in c.a. provocando il parziale collasso del telaio di facciata. Fortunatamente, all'ora in cui si è verificato l'impatto, nell'edificio si trovavano poche persone e la tragedia è stata scongiurata, ma i danni prodotti sono stati ingenti. La Protezione Civile è intervenuta immediatamente per ripristinare le condizioni di sicurezza del versante, delegando al condominio gli interventi di recupero strutturale del fabbricato. Lo stesso ente ha imposto inoltre che le operazioni di rimozione del materiale e degli elementi strutturali collassati fossero precedute da un propeedeutico intervento di messa in sicurezza dell'edificio. Si descrivono: lo scenario che ha provocato la frana, gli interventi di messa in sicurezza temporanea e di recupero strutturale. Vengono pure descritte le metodologie sperimentali adottate per monitorare le varie fasi costruttive e le prove di caratterizzazione dinamica impiegate in fase di collaudo statico.

### **1 PREMESSA**

Parte del centro storico della città di Agrigento è costruita alle pendici di un pendio calcarenitico, la Rupe Atenea. Il 5 Marzo 2014, a seguito delle abbondanti piogge che da giorni si registravano nella zona, una porzione del versante nord del pendio è franata su uno degli

assi principali della città, prospiciente la Valle dei Templi, Viale della Vittoria. La frana ha coinvolto nel suo evolversi un poderoso muro di sostegno in c.a. ed investì violentemente un edificio condominiale a nove elevazioni, provocando ingenti danni agli elementi strutturali e il parziale collasso del primo telaio.



**Figura 1.** Pilastro e travi collassate



**Figura 2.** Prospetto Nord dopo la rimozione delle macerie



**Figura 3.** Prospetto Nord dopo la frana

## **2 MISURE ADOTTATE PER FRONTEGGIARE L'EMERGENZA**

A seguito dell'evento franoso vi è stato il tempestivo intervento della Protezione Civile di Agrigento, che ha messo in atto una serie di disposizioni al fine di garantire la messa in sicurezza del versante e monitorare l'edificio condominiale.

L'intervento della Procura della Repubblica ha consentito l'inizio dei lavori sul versante in calcarenite e sulla porzione di muro di sostegno del pendio non crollati, delegando ai condomini i lavori atti a ripristinare le condizioni di sicurezza del fabbricato.

Fu imposto che le operazioni di rimozione del materiale in adiacenza all'edificio e degli e-

lementi strutturali crollati fossero precedute da un intervento di messa in sicurezza del fabbricato nella nuova configurazione variata dovuta al crollo di alcune porzioni del primo telaio.

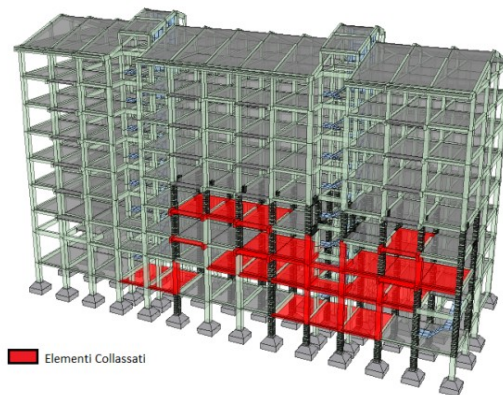
Le prime fasi di studio sono state rese particolarmente onerose a causa dello stato del cantiere e dall'impossibilità di raggiungere alcune aree del fabbricato sommerse dai detriti. Si è quindi scelto di procedere per fasi: primo passo è stata la conoscenza del fabbricato, in modo da determinare la prassi più idonea con cui agire; poi la redazione dei progetti per la messa in sicurezza temporanea e definitiva dell'edificio e la contestuale ricostruzione di tutti gli elementi crollati; infine il collaudo statico e la verifica della sicurezza globale dell'opera.

### 3 FASI DI INTERVENTO

#### 3.1 Messa in sicurezza temporanea

Gli interventi previsti dal progetto sono stati preceduti da una campagna di indagini, volta a conoscere posizione, tipologia e caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali dell'edificio e ad identificare in maniera puntuale gli elementi strutturali crollati o danneggiati.

La programmazione della fase di messa in sicurezza temporanea è stata di fondamentale importanza vista la necessità di garantire la sicurezza sia degli operatori sia dell'edificio durante le fasi di sgombero delle macerie.

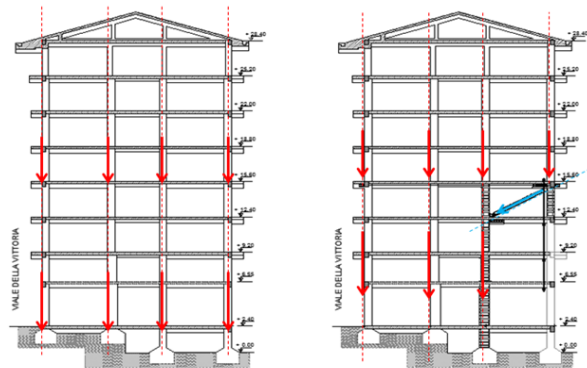


**Figura 4.** Vista assonometrica con individuazione degli elementi crollati

A seguito del rilievo e delle indagini preliminari svolte è emerso che gli elementi crollati, che non erano oramai in nessun modo in grado di assolvere funzione statica, erano localizzati nella porzione est del primo telaio, e comprendevano porzioni o intere pilastrate e travi e campi di solaio (in Figura 4 sono indicati in rosso tutti gli elementi compromessi).

Di conseguenza si è scelto di affrontare la prima fase mediante un approccio denominato in letteratura tecnica "*Metodo del percorso di carico con deviazione* [1]; la deviazione del carico dal

telaio collassato a quello adiacente integro, è stata raggiunta tramite l'installazione di una serie di dispositivi provvisori e la realizzazione di interventi di rinforzo. In Figura 5b viene rappresentata schematicamente la configurazione nella fase di messa in sicurezza temporanea, in cui il carico, mediante il posizionamento dei puntoni telescopici, è stato fatto fluire all'interno del secondo telaio. Tale tipologia di intervento è stata preferita ai classici metodi utilizzati per la tempestività con cui poteva essere messa in atto e per l'esecuzione di operazioni poco invasive rispetto al danno presente.

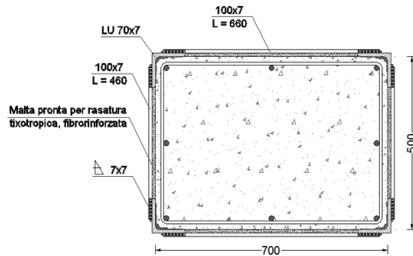


**Figura 5.a – 5.b** Confronto tra la configurazione Ante-frana e nella fase di messa in sicurezza temporanea

Inizialmente è stato previsto il rinforzo di tutti gli elementi che dovevano assorbire una sollecitazione maggiore di quella *ante - frana*, tramite:

- Cerchiature con elementi in acciaio nei pilastri;
- Rinforzi a taglio nelle travi ove convergevano i puntoni.

I pilastri dal piano seminterrato fino ai nodi in cui dovevano convergere i puntoni telescopici, e comunque tutti quelli del primo telaio in adiacenza ad elementi collassati, sono stati oggetto di un intervento di rinforzo che ha permesso di ottenere un aumento sia della resistenza a taglio che della capacità portante assiale per effetto del confinamento. Questo è stato ottenuto tramite quattro angolari LU 70x7 disposti lungo l'intera lunghezza del pilastro e calastrelli aventi spessore di 7 mm e altezza di 100 mm, da saldare direttamente sugli angolari con un passo di 300 mm.



**Figura 6.** Dettaglio dell'intervento di incamiciatura in acciaio



**Figura 7.** Vista dei pilastri incamiciati-piano secondo

Nelle zone di convergenza del puntone anche le travi sono state opportunamente rinforzate a taglio tramite l'inserimento di angolari LU 100x10 nei vertici dell'intradosso della trave e di bande aventi spessore di 10 mm e altezza di 100 mm, da saldare direttamente sugli angolari con un passo di 200 mm; quest'ultime vengono fissate alla trave con barre filettate  $\phi 20$  attraverso ancoraggi chimici.



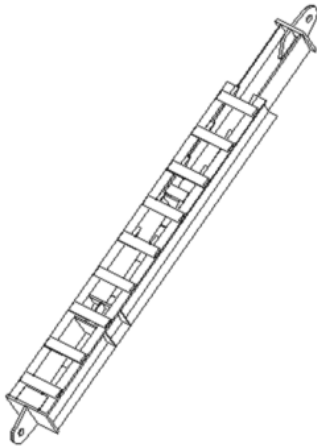
**Figura 8.** Vista Telai trasversali I e II – piano secondo



**Figura 9.** Vista dell'intervento di incamiciatura su travi e pilastri

Successivamente la variazione della traiettoria del carico è stata ottenuta mediante l'inserimento di nove puntoni telescopici in carpenteria metallica al piano secondo e due puntoni di rinvio nel vano scala del piano primo. Le operazioni di messa in contrasto sono state eseguite tramite l'utilizzo di un martinetto idraulico, cui ogni puntone era dotato.

I dispositivi provvisori comprendevano anche un doppio sistema di barre Dywidag; le barre verticali hanno permesso di appendere i piani al di sotto dei puntoni, ove erano presenti elementi portanti crollati che non svolgevano la loro funzione statica; mentre quelle orizzontali hanno assorbito tutta la componente dovuta all'inserimento del puntone.



**Figura 10.** Puntone telescopico - assonometria



**Figura 11.** Vista della pilastrata d'angolo dopo l'intervento

Gli undici puntone installati erano di due tipi: A (puntone telescopico) e B (puntone di rinvio), entrambi realizzati utilizzando profili UPN accoppiati; l'elemento telescopico è stato realizzato con profili HEB.

Tutte le operazioni effettuate durante la fase di messa in sicurezza temporanea sono state monitorate mediante l'impiego di tecniche sperimentali.

Durante la fase di messa in tensione dei puntone telescopici, avvenuta seguendo un rigido protocollo, aumentando secondo step predefiniti di volta in volta la tensione, è stato approntato il monitoraggio inclinometrico dell'intera struttura collocando la strumentazione in tutti i nodi trave-pilastro in cui dovevano convergere i puntone, al fine di controllarne eventuali rotazioni. Contestualmente è stato predisposto il monitoraggio delle barre Diwydag tramite il posizionamento di estensimetri elettrici, aventi lo scopo di controllare lo stato tensionale degli elementi.

La messa in tensione dei puntone telescopici ha permesso lo sgombero delle macerie e dei massi ciclopici di calcarenite e di c.a. in adiacenza all'edificio.

### **3.2 Fase di messa in sicurezza definitiva**

La fase finale delle lavorazioni, "messa in sicurezza definitiva", ha previsto la preventiva demolizione degli elementi collassati, i quali grazie alla messa in tensione dei puntone non assolvevano ormai alcuna funzione portante, e la successiva ricostruzione di questi con materiali aventi caratteristiche meccaniche adeguate.



**Figura 12.** Vista del prospetto Nord



**Figura 13** Ricostruzione elementi collassati

La continuità tra gli elementi esistenti e quelli ricostruiti è stata ottenuta predisponendo degli inghisaggi tramite ancorante chimico e barre ad aderenza migliorata.

Dopo la ricostruzione degli elementi collassati si è proceduto allo smontaggio, seguendo un accurato protocollo, di tutti i dispositivi provvisori; in particolare si è previsto: lo smontaggio delle barre verticali per prime, successivamente dei puntoni telescopici e infine delle barre orizzontali, a questo punto i carichi sono nuovamente confluiti negli elementi del primo telaio, ripristinando le condizioni di servizio dell'edificio.



**Figura 14.** Vista pilastro 53 durante la ricostruzione



**Figura 15.** Vista pilastro 53 dopo la ricostruzione

Il piano sperimentale di monitoraggio è stato mantenuto fino alle fasi conclusive; particolare attenzione e puntualità hanno necessitato le fasi di smontaggio dei puntoni. A tal proposito i pilastri del primo telaio sono stati monitorati, durante le fasi di smontaggio, tramite trasduttori di spostamento, con l'obiettivo di valutare eventuali deformazioni.

La campagna di indagini sperimentali è stata completata da una prova dinamica; i parametri sperimentali sono stati messi a confronto con quelli ottenuti dal modello FEM della struttu-

ra, realizzato considerando gli elementi rinforzati e quelli ricostruiti; tale confronto (si veda tabella1) ha mostrato l'ottima rispondenza dei dati numerici a quelli sperimentali.

	$f_1$ [Hz]	$f_2$ [Hz]	$f_3$ [Hz]	$f_4$ [Hz]
Frequenze Sperimentali	0.89	1.23	3.40	3.61
Frequenze Teoriche	0.96	1.18	3.15	3.59
Differenza percentuale [%]	7.3	4.2	7.9	0.6

**Tabella 1** Confronto tra i dati sperimentali e quelli teorici

#### 4 CONCLUSIONI

La conseguenza del collasso parziale di una struttura in c.a. di tipo intelaiato ha imposto la scelta di tecniche e tecnologie non standard, mediante le quali si è riusciti a deviare il percorso dei carichi e a realizzare un complesso di presidi ed opere atte a mettere in sicurezza la struttura stessa.

La tempestività d'intervento, le difficoltà operative di cantiere e la necessità di interventi poco invasivi sono stati i fattori determinanti per le scelte progettuali effettuate e la redazione del progetto esecutivo.

Il collaudo statico dell'opera ha consentito di concludere tutte le operazioni di cantiere e ha permesso il dissequestro dell'area e dell'immobile, che è tornato ad essere nuovamente fruibile per i condomini.

Infine la valutazione della sicurezza dell'edificio nella configurazione ante-frana e post-intervento ha permesso di comparare la massima azione sismica nei due casi, è stato quindi possibile appurare un miglioramento del comportamento globale nel nuovo assetto strutturale pari al 15%, classificando l'intervento come "miglioramento sismico".