

**MESSA IN SICUREZZA E MIGLIORAMENTO SISMICO
DI UN EDIFICIO IN C.A. DANNEGGIATO DA UNA FRANA
AD AGRIGENTO**

**SEISMICALLY IMPROVEMENT
OF A RESIDENTIAL RC BUILDING PARTIALLY COLLAPSED
DUE TO A LANDSLOW IN AGRIGENTO CITY**

Elio Lo Giudice,
Valentina Carlisi
Laboratorio DISMAT srl
92024 Canicattì (AG), Italia
eliologiudice@dismat.it
valecarlisi@libero.it

Gian Luigi Di Marco,
Roberta Mantione
Studio Tecnico Lo Giudice – Di Marco
92020 Racalmuto (AG), Italia
dimarco.gia@libero.it
robertamantione.rm@gmail.com

ABSTRACT

One of the main avenues of the city of Agrigento, named Viale della Vittoria, is located to the East of the city's historic center at the foot of the Atenea Rupe. On March 5, 2014, following the abundant rains that occurred in the previous days, a landslide occurred which resulted in the release of large-scale rock blocks and the collapse of a portion of the mighty slope retaining wall. The landslide invested a residential building called "CREA Ovest", causing considerable damage to the rc structures and, as a consequence, the competent authorities ordered the evacuation of the building. Descriptions of the safety operations and structures retrofitting of the building and the experimental methods used to monitor the construction phases are described in this paper.

SOMMARIO

Uno dei principali assi viari della città di Agrigento è costituito dal Viale della Vittoria, situato ad est del centro storico della città alle pendici della Rupe Atenea. Il 5 Marzo 2014, a seguito delle abbondanti piogge avvenute nei giorni precedenti, si verificò una frana che provocò il distacco di blocchi di calcarenite di grosse dimensioni e l'abbattimento di una porzione del poderoso muro di sostegno del pendio. La frana investì il fabbricato condominiale denominato "CREA Ovest", provocando ingenti danni alla struttura portante e in conseguenza di ciò fu disposto dalle Autorità Competenti lo sgombero dell'edificio. Si descrivono gli interventi di messa in sicurezza e di recupero delle strutture dell'edificio e le metodologie sperimentali adottate per monitorare le fasi costruttive.

1 PREMESSA

Nell'immediatezza dell'evento la Protezione Civile Provinciale di Agrigento intervenne, mettendo in atto un complesso di opere e presidi, al fine di mettere in sicurezza il versante e monitorare

l'edificio, delegando ai condomini i lavori atti a ripristinare le condizioni di sicurezza del fabbricato.

L'organismo strutturale presenta nove elevazioni fuori terra e copertura a due falde, la cui continuità è interrotta dai due torrioni del corpo scala e ascensore. La sagoma in pianta è quella di un rettangolo coprente una superficie di circa 750 m².



Fig. 1. Prospetto Nord

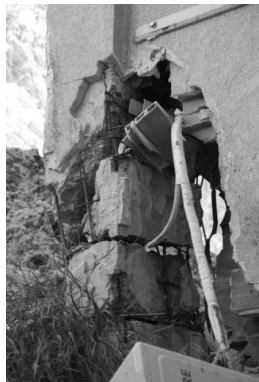


Fig. 2. Pilastro 55 – Piano primo



Fig. 3. Trave 51-52 impalcato piano ammezzato

2 FASI OPERATIVE DELL'INTERVENTO

La Protezione Civile di Agrigento impose che le operazioni di rimozione del materiale in adiacenza all'edificio e degli elementi strutturali collassati fossero precedute da un propedeutico intervento di messa in sicurezza nella configurazione variata dovuta al collasso di alcune porzioni dei telai.

La prima fase del lavoro ha interessato lo studio delle condizioni in cui versava l'opera tramite indagini visive, rilievo geometrico ed la predisposizione di un piano di indagini, in modo da determinare la prassi più idonea da attuare per il ripristino delle condizioni di sicurezza.

Al tal fine si è ritenuto di procedere per fasi, secondo quanto segue:

1. Progetto di messa in sicurezza temporanea, nel quale si è fatto ampio ricorso alla carpenteria metallica;
2. Progetto di messa in sicurezza definitiva e interventi di ricostruzione delle parti collassate

con contestuale miglioramento strutturale;

3. Verifica della sicurezza finale e Collaudo Statico.

3 MESSA IN SICUREZZA TEMPORANEA

3.1 Generalità

La necessità di predisporre dei presidi per la sicurezza temporanea è stata dettata dall'esigenza di garantire la sicurezza durante lo sgombero delle macerie e dei massi ciclopici in adiacenza all'edificio. Preliminarmente è stato predisposto un piano d'indagine finalizzato alla conoscenza della posizione, tipologia e caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali dell'edificio e all'identificazione delle parti collassate. Da tali operazioni, rese particolarmente onerose dalle condizioni in cui versava il cantiere ovvero dall'impossibilità di raggiungere alcune aree dell'edificio, è emerso che gli elementi compromessi erano localizzati nel primo telaio longitudinale del prospetto Nord e in particolare nella porzione est.

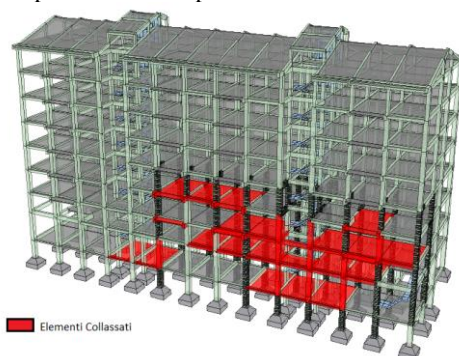
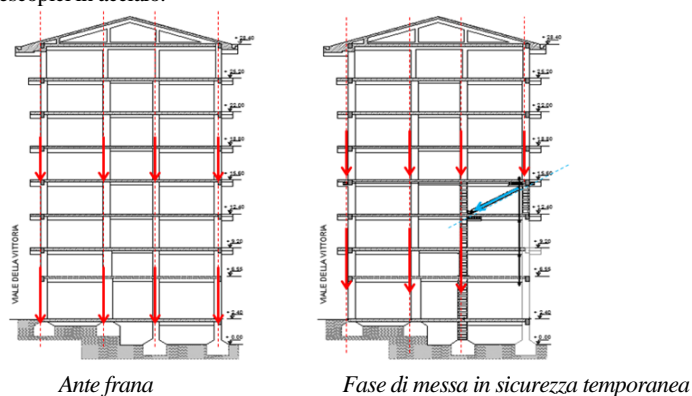


Fig. 4. Vista assonometrica con individuazione degli elementi collassati

Il progetto redatto ha previsto la canalizzazione del carico che gravava sulla porzione di struttura danneggiata sulla parte integra, vista l'impossibilità degli elementi collassati di assolvere alla loro funzione. L'approccio scelto, per lo studio del funzionamento statico, è denominato in letteratura *"Metodo del percorso di carico con deviazione"* [1]. La variazione della traiettoria del carico è stata ottenuta mediante l'inserimento di puntoni telescopici in acciaio.



La scelta di tale intervento è stata dettata dalle condizioni in cui si trovava l'opera, dalla richiesta di effettuare lavorazioni il meno invasive possibile e dalla tempestività con cui esso doveva essere effettuato.

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

- Cerchiature con elementi in acciaio in quei pilastri in cui si è riscontrato un notevole aumento del taglio;
- Rinforzi a taglio nelle travi ove convergevano i puntoni.

Il posizionamento altimetrico dei puntoni, è stato scelto in corrispondenza del piano in cui le strutture si presentavano integre; planimetricamente l'intervento ha interessato nove telai della quarta elevazione fuori terra. Ogni puntone era corredato da un martinetto idraulico che ha consentito di metterlo in contrasto con la struttura esistente, attivando così l'effettiva deviazione dei carichi.

Ai puntoni è stato accoppiato un doppio sistema di barre Dywidag, due verticali e due orizzontali, che sono state opportunamente tesate per assicurarsi che assolvessero la loro funzione. Le barre verticali hanno permesso di agganciare i piani al di sotto dei puntoni, ove erano presenti elementi portanti collassati; mentre quelle orizzontali hanno assorbito tutta la componente dovuta all'inserimento del puntone.

3.2 Rinforzo dei pilastri

I pilastri 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 della resistenza a taglio e della capacità portante assiale. Sono stati impiegati quattro angolari LU 70x7 disposti lungo l'intera lunghezza del pilastro e calastrelli aventi spessore di 7 mm e altezza di 100 mm, con un passo di 300 mm.

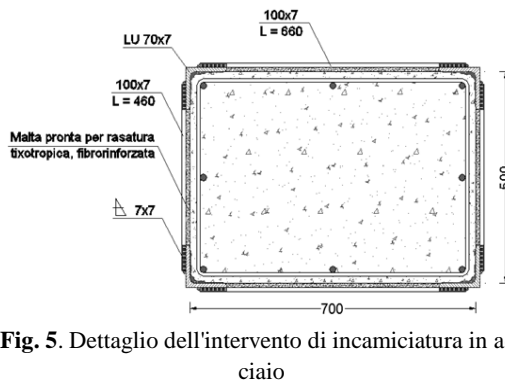


Fig. 5. Dettaglio dell'intervento di incamiciatura in acciaio



Fig. 6. Vista della pilastrata d'angolo dopo l'intervento

Le fasi dell'intervento hanno previsto:

- Puntellamento delle travi e del solaio gravanti sul pilastro, per permettere lo scarico dell'elemento;
- Demolizione del copriferro del calcestruzzo;
- Demolizione dei tramezzi o dei tamponamenti confinanti con il pilastro per consentirne l'aumento della sezione e agevolare le lavorazioni successive;
- Smusso degli spigoli;

- Collocazione degli angolari e loro temporaneo bloccaggio con morsetti;
- Rasatura con malta delle facce del pilastro per l'intero spessore degli angolari;
- Saldatura a cordone d'angolo delle bande.

3.2 Rinforzo a taglio delle travi

Il rinforzo a taglio delle travi, nella porzione vicina al nodo in cui converge il puntone, è stato ottenuto 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 mediante barre filettate $\phi 20$ inghisate al cls con ancorante chimico.

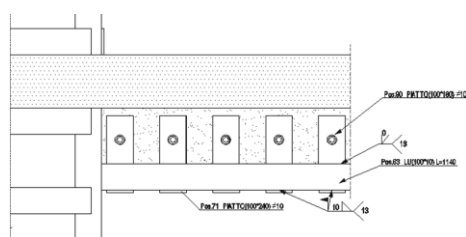


Fig. 7. Dettaglio intervento rinforzo delle travi

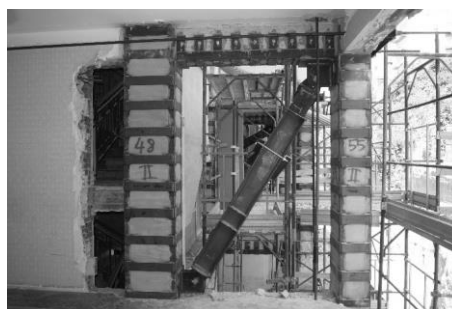


Fig. 8. Vista dell'intervento di incamiciatura

3.4 Puntoni telescopici

Gli elementi provvisori che hanno consentito di effettuare la deviazione del carico dal primo al secondo telaio, tramite la loro messa in tensione, sono i puntoni telescopici.

In totale sono stati impiegati undici puntoni: nove della tipologia A (puntone telescopico) nei telai del piano secondo e due della tipologia B (puntone di rinvio) nel vano scala del primo piano. Entrambi sono stati realizzati utilizzando profili UPN accoppiati, rispettivamente di dimensioni 300 e 240 mm, per i montanti e calastrelli di dimensioni 100x15 mm ad interasse rispettivamente di 400 e 300 mm; l'elemento telescopico è stato realizzato con profili HEB.

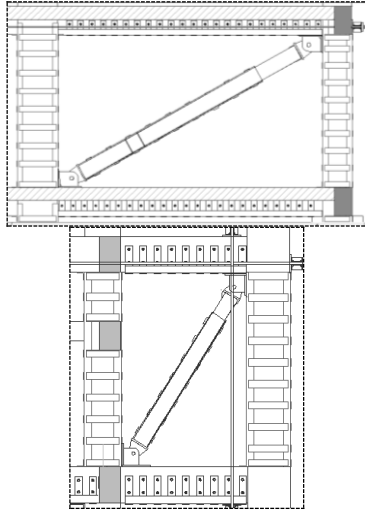


Fig. 9. Puntoni telescopici Tipo A e Tipo B

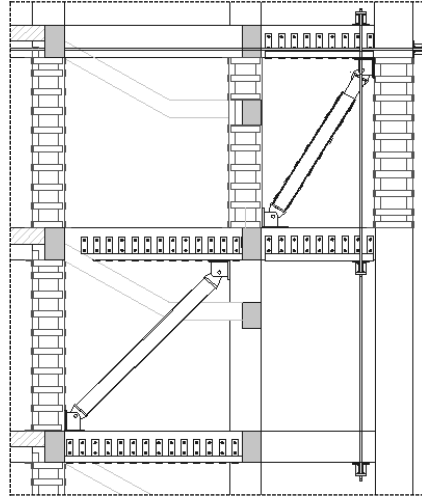


Fig. 10. Puntoni telescopico di rinvio.

La portata del martinetto è stata calibrata in funzione delle sollecitazioni ricavate dal modello post-intervento.

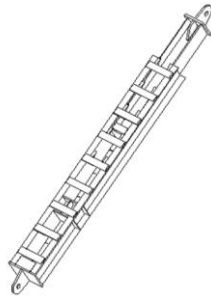


Fig. 11. Puntone telescopico -
assonometria



Fig. 12. Vista puntoni telescopici primo e secondo
telaio

I nodi del puntone sono stati progettati come cerniere flessionali realizzati con perni e piastre opportunamente dimensionati collegati agli elementi in c.a. esistenti. I due puntoni di rinvio fissi sono stati inseriti nei telai che racchiudono il corpo scala, vista l'impossibilità di rinforzare i primi pilastri utili, sommersi dal materiale proveniente dalla frana.

La struttura provvisoria è stata completata con il posizionamento di due coppie di barre Dywidag ϕ 26,5, la cui tesatura è stata realizzata mediante serraggio dei dadi con chiave dinamometrica ed utilizzando le apposite tabelle.

Durante la fase di messa in sicurezza temporanea è stato previsto il monitoraggio tramite rete di inclinometri e velocimetri collegati in remoto e dotati di soglie di allarme.

Nella fase di messa in tensione degli elementi provvisori, che è avvenuta seguendo step predefiniti, è stato approntato il monitoraggio inclinometrico dell'intera struttura collocando gli inclinometri in tutti i nodi trave-pilastro in cui dovevano convergere i puntoni. Contestualmente è stato pre-

disposto il monitoraggio delle barre Diwydag tramite il posizionamento di estensimetri elettrici, con lo scopo di controllarne lo stato tensionale.

4 MESSA IN SICUREZZA DEFINITIVA

L'intervento al §3 ha permesso lo sgombero delle macerie e dei massi di calcarenite e del muro di sostegno in adiacenza all'edificio, procedendo con la ricostruzione degli elementi strutturali crollati.



Fig. 13. Vista del prospetto Nord



Fig. 14. Ricostruzione elementi crollati

In questa seconda fase si è provveduto alla rimozione delle parti di struttura crollate o danneggiate e la successiva ricostruzione con materiali aventi caratteristiche meccaniche adeguate. Ricostruiti tutti gli elementi danneggiati, si è proceduto allo smontaggio dapprima delle barre verticali successivamente del puntone e per ultimo le barre orizzontali; la rimozione delle varie parti ha permesso di far confluire i carichi nei nuovi elementi in c.a.

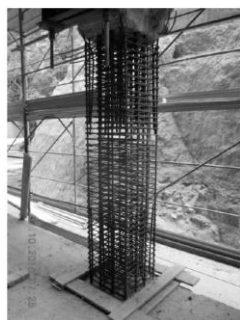


Fig. 15. Vista pilastro 53 durante la ricostruzione Fig. 16. Vista pilastro 53 dopo la ricostruzione

Il monitoraggio inclinometrico dell'intera struttura si è protratto durante l'intera fase di messa in sicurezza definitiva, con l'obiettivo di controllare eventuali variazioni della configurazione dell'edificio.

In fase di smontaggio dei puntoni telescopici è stato predisposto il monitoraggio dei pilastri del primo telaio mediante trasduttori di spostamento di 300 mm. Gli strumenti sono stati applicati sui pilastri soggetti al nuovo carico dovuto allo smontaggio dei puntoni, per valutarne la deformazione.

Il monitoraggio della struttura si è concluso con lo svolgimento di una prova dinamica sperimentale, al fine di identificarne il comportamento post-intervento.

La campagna di indagini dinamiche ha impiegato come forzante l'eccitazione ambientale, per le acquisizioni accelerometriche sono stati 15 sensori (PCB 393-A03 e PCB 393-C03) collegati ad una centralina di acquisizione a 24 bit con convertitore Analogico/Digitale (N.I. C-Daq 9172+4 USB9234) la durata di acquisizione è stata di 2400 sec.

Viste le notevoli dimensioni della struttura e di conseguenza il numero elevato di DOFs da misurare, è stato necessario predisporre tre set up di prova ed effettuare acquisizioni in momenti successivi fino a coprire tutti i punti di misura necessari per la corretta valutazione del comportamento della struttura.

Le indagini effettuate hanno consentito di individuare le caratteristiche dinamiche dell'edificio, in termini di frequenze proprie, deformata modale e smorzamento. Queste sono state messe a confronto con quelle determinate dal modello FEM della struttura, realizzato in fase progettuale, considerando sia gli elementi ricostruiti che quelli oggetto di rinforzo.

La tabella riporta il confronto dei dati sperimentali con i risultati numerici:

Table 1. Confronto tra i dati sperimentali e quelli teorici

	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

5 CONCLUSIONI

L'intervento effettuato nell'edificio condominiale CREA Ovest sito in Agrigento, è stato di complessa realizzazione in considerazione: della posizione centrale dell'opera, delle condizioni in cui versava il cantiere, della tempestività con cui tali operazioni dovevano essere svolte e della necessità che esso fosse poco invasivo. Da tali motivi è scaturita la scelta dell'utilizzo della carpenteria metallica in tutte le fasi lavorative.

La valutazione della sicurezza dell'edificio ha permesso infine di determinare la massima azione sismica dopo l'ultimazione dei lavori; tale parametro confrontato con quello dedotto in configurazione ante-frana ha permesso di classificare l'intervento come "miglioramento sismico".

REFERENCES

- [1] Cfr. " *Il metodo del percorso del carico*" di Fabrizio Palmisano, Amedeo Vitone, Claudia Vitone, 2013
- [2] CNR 10011 – Costruzioni di acciaio – Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione- Giugno 2008
- [3] Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 14/01/2008
- [4] Circolare Ministeriale n°617 del 02/02/2009
- [5] G. Ballio, F.M. Mazzolani, Strutture in acciaio, 1987, Hoepli
- [6] C. Bernuzzi, F.M. Mazzolani, Edifici in acciaio, 2007, Hoepli

KEYWORDS

Asta telescopica, Metodo del percorso di carico con deviazione, Miglioramento sismico, Estensimetri elettrici, Inclinatori.