

ADEGUAMENTO SISMICO DI UN CAPANNONE IN C.A. CON COPERTURA A VOLTA

THE SEISMICAL RETROFITTED OF AN RC INDUSTRIAL BUILDING WITH VOULT STRUCTURE

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

The Directors of a gas distribution company, in compliance with D.D.G. n. 1372 of December 28, 2005, has undertaken a control of the structures of the buildings located in the industrial plant in the city of Mazara del Vallo (TP). The experimental program, including static and dynamic test, and the carried out numerical analysis have highlighted the need to implement seismic improvement according to the current Technical Standard. This paper describes the seismic improvement works through the use of integrative steel structures, tier rods and post-compression with external unbonded tendons. Finally the performed dynamic test showed the effectiveness of the structural intervention.

SOMMARIO

La Direzione Tecnica di una azienda di distribuzione di gas, nel rispetto del disposto normativo D.D.G. n. 1372 del 28/12/2005, ha intrapreso un'attività di controllo delle strutture degli edifici presenti all'interno dello stabilimento di produzione nella città di Mazara del Vallo (TP). I controlli sperimentali eseguiti, che includono prove di carico statiche e di caratterizzazione dinamica, e le analisi numeriche svolte hanno evidenziato l'esigenza di attuare interventi di miglioramento sismico secondo l'attuale Norma Tecnica. In questo articolo viene descritto l'intervento di miglioramento sismico mediante l'uso di strutture metalliche, catene reggispinta ed di postcompressione con cavi esterni. Infine si descrivono la prova di caratterizzazione dinamica a seguito dell'intervento effettuato e le differenze con i risultati pre-intervento.

1 DESCRIZIONE DEL FABBRICATO E SCHEMA STRUTTURALE

Si tratta di un capannone con copertura a volta con spinta eliminata sorretta da pilastri in c.a. avente dimensione in pianta di 12x40 m. La volta con luce di 12.0 m è il latero-cemento, la spinta viene assorbita da catene dotate di tenditore, disposte ad un interasse di 4.0 m. La copertura a sua volta è sostenuta da pilastri perimetrali per il tramite di una trave di bordo.



Fig. 1 Vista d'insieme del capannone di imbottigliamento

La struttura nel suo complesso pur non presentando gravi segni di dissesto mostrava in alcune sue parti strutturali serie manifestazioni di degrado; in particolare, alcuni pilastri presentavano la fessurazione dello strato corticale avente funzione di copriferro mentre i pilastrini della copertura erano presentavano degrado causato da infiltrazione d'acqua.



Fig. 2 Degrado dei pilastrini della copertura



Fig. 3 Degrado pilastro perimetrale

2 SCOPO DEL LAVORO E MOTIVAZIONI DELL'INTERVENTO

A seguito delle analisi di sicurezza condotte secondo il § 8.3 delle NTC 2008 la struttura è risultata inadeguata a sostenere non soltanto le azioni provenienti dai carichi sismici, ma soprattutto dai carichi verticali e accidentali. È stato dunque previsto un progetto di *adeguamento sismico* ai sensi del § 8.4.1 in cui si è fatto ampio ricorso alla carpenteria metallica.

3 PIANO D'INDAGINE E RISULTATI SPERIMENTALI

Sono state previste:

- n. 2 Estrazione di barre d'armatura con relativa prova di trazione;
- n. 4 Carotaggi con estrazione di campioni sottoposti a prova di compressione;
- n. 1 Prelievo di polveri per valutare la presenza di attacco da parte di ioni cloruro e di ioni solfato;
- n. 3 Prova dinamica sulle catene reggispinta.

Di particolare interesse sono state le prove dinamiche effettuate per determinare la sollecitazione delle catene reggispinta, di seguito si riportano lo spettro di risposta tipico e la tabella riassuntiva dei valori dello sforzo stimato per tutte le catene.

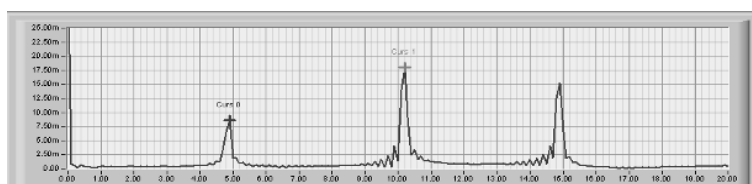


Fig. 4 Spettro delle frequenze registrate dall'accelerometro

Condizioni di vincolo		Modo di vibrare	ω	f	Carico assiale
Primo estremo	Secondo estremo	n	[rad/sec]	[Hz]	N [k]
Appoggio	Appoggio	1	30.788	4.9	51590.00
Appoggio	Appoggio	2	64.089	10.2	54712.02
Appoggio	Appoggio	3	93.622	14.9	49758.51
Valore Medio carico sulla fune					52020.18 N

Fig. 5 Sintesi dei risultati



Fig. 6 Posizionamento dell'accelerometro sulla catena

4 FASI DELL'INTERVENTO E METODOLOGIE IMPIEGATE

4.1 Intervento di rinforzo dei pilastri

L'intervento di rinforzo su tutti i pilastri ha permesso di conseguire l'aumento della resistenza a pressoflessione e a taglio, mediante confinamento ottenuto con quattro profili angolari 80x80 disposti lungo l'intera lunghezza del pilastro e collegate da calastrelli aventi spessore di 8 mm e altezza di 80 mm, saldati direttamente sugli angolari con un passo di 280 mm.

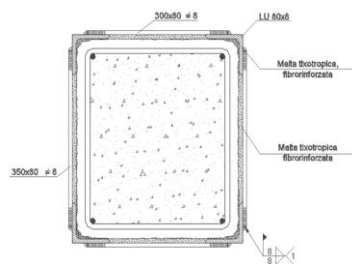


Fig. 7 Dettaglio incamiciatura in acciaio



Fig. 8 Esempio rinforzo pilastro perimetrale

In corrispondenza del giunto tecnico è stata prevista la solidarizzazione dei due pilastri adiacenti utilizzando per entrambi lo stesso sistema di confinamento in acciaio in corrispondenza dei due lati lunghi del pilastro al fine di evitare un pericoloso fenomeno di "martellamento" dell'una parte del fabbricato sull'altra in caso di evento sismico.

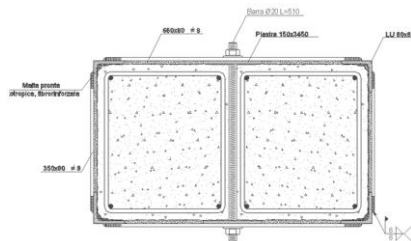


Fig. 9 Dettaglio solidarizzazione pilastri centrali



Fig. 10 Rinforzo pilastri centrali

4.2 Inserimento dei controventi di parete in acciaio

Tale intervento ha comportato l'inserimento di una struttura ausiliaria che lavorasse in parallelo con quella esistente per fronteggiare l'azione sismica. Esso ha previsto l'utilizzo di due controventi di tipo a "Croce di S. Andrea" disposti nel campo centrale del lato più lungo della struttura. Le aste sono state realizzate con profili accoppiati UPN 160 collegati ai telai in c.a. mediante piastre e barre filettate. Tutti i collegamenti sono stati di tipo bullonato.



Fig. 11 Vista frontale controvento parete



Fig. 12 Fissaggio alla testa del pilastro

4.3 Intervento di rinforzo a taglio e torsione della trave perimetrale

Dall'analisi statica sulle travi è emersa l'inadeguatezza dell'armatura trasversale dunque l'intervento ha previsto l'inserimento di staffe assemblate in opera, costituite da piattine larghe 40 mm e spessore di 5 mm, fissate superiormente e inferiormente da tasselli ad espansione aventi diametro M20 e lunghezza di 170 mm. Poiché le piattine non arrivano sino all'intradosso della trave a causa della pensilina, per fronteggiare le azioni di scorrimento, sono stati inseriti dei tasselli chimici inghisati all'intradosso della stessa.

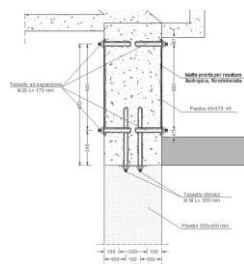


Fig. 13 Dettaglio costruttivo



Fig. 14 Intervento su trave perimetrale

4.4 Sostituzione delle catene con nuovi tiranti post-tesi

Le catene presenti alla base della volta in c.a., aggredite dalla corrosione, sono state sostituite con dei nuovi tiranti del diametro \varnothing di 24 mm e post-tesi dopo il montaggio. Questi sono stati inseriti in posizione intermedia sulle travi ad un'altezza, rispetto al baricentro della sezione, tale da diminuire gli effetti torcenti indotti su di esse dalla copertura a volta.

5.5 Rinforzo dei due telai di testata della trave perimetrale tramite post-tensione
È stato previsto un sistema di post-tensione esterna nelle travi perimetrali di testata al fine di diminuire l'elevato sforzo di trazione a cui erano sottoposte ed in considerazione della ridotta quantità di armatura longitudinale presente. L'intervento ha previsto l'applicazione di due piastre ancorate alle estremità delle travi, tramite tasselli chimici opportunamente disposti, in cui erano presenti i fori per l'alloggiamento di sei trefoli tipo compatto inguainato. Il tiro è stato realizzato tramite coppie di martinetti monotrefoli.

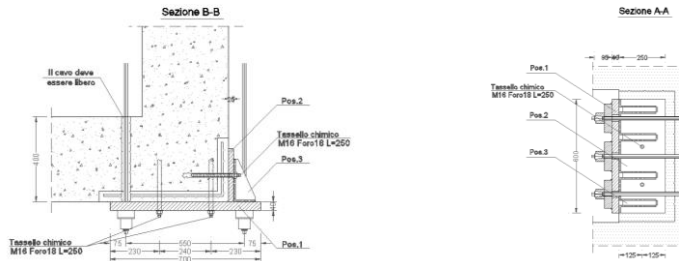


Fig. 15 Particolari del sistema di post-compressione



Fig. 16 Installazione trefoli



Fig. 17 Trefoli post-tesi

4.6 Interventi di ristrutturazione e rifinitura

Questi interventi hanno interessato l'impermeabilizzazione della copertura con guaina bituminosa e la sostituzione degli infissi presenti sui due portali di testata aggrediti da uno stato avanzato di degrado. Si è prevista inoltre la ricostruzione del copriferro dei pilastri della volta con preventivo trattamento dei ferri con inibitore di corrosione.

4.7 Prova di caratterizzazione dinamica

La determinazione sperimentale delle frequenze proprie della struttura sono state valutate prima e dopo l'intervento; ciò ha permesso di verificare tra l'altro l'efficacia degli interventi attuati.

Le prove condotte sotto forzante di tipo impulsiva hanno restituito, dopo opportune elaborazioni dei segnali acquisiti, le frequenze proprie della struttura (vedi Figura 18).

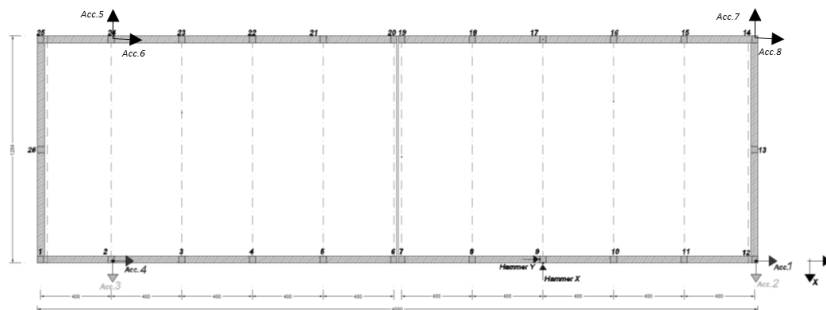


Fig. 18 Schema posizionamento strumentazione

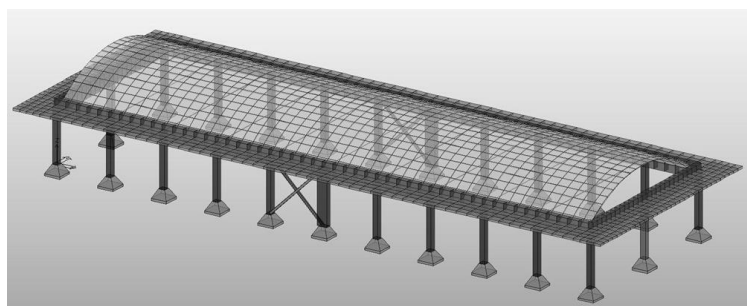


Fig. 19 Vista assonometrica del modello FEM post-intervento

Tabella 1 Confronto frequenze ante intervento

Frequenze sperimentali (Hz)	Frequenze teoriche (Hz)	Differenza (%)	
f_1 (lato corto)	3.3	3.4	+3.03
f_2 (torsionale)	4.6	4.52	-1.74
f_3 (lato lungo)	4.8	5.04	+5.00

Tabella 2 Confronto frequenze post intervento

Frequenze sperimentali (Hz)	Frequenze teoriche (Hz)	Differenza (%)	
f_1 (lato corto)	4.1	3.96	-3.42
f_2 (torsionale)	6.6	5.75	-12.88
f_3 (lato lungo)	9.2	9.17	-0.33

Dal confronto dei dati sperimentali ottenuti nelle due fasi è possibile rilevare un incremento delle frequenze fondamentali di vibrazione della struttura a seguito degli interventi di adeguamento sismico.

5 CONCLUSIONI

Le risultanze sperimentali e le analisi svolte su un capannone in c.a. con copertura a volta a spinta eliminata hanno consigliato di attuare un intervento di adeguamento sismico delle strutture in cui si è fatto ampio ricorso alla carpenteria metallica.

A supporto delle operazioni di collaudo statico è stata eseguita una prova di caratterizzazione dinamica i cui risultati, confrontati con quelli ottenuti da un'analoga prova sulla struttura originaria, hanno consentito di valutare l'efficacia degli interventi attuati.

REFERENCES

- [1] Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 – D.M. 14/01/2008
- [2] Circolare 02 Febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP., Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008
- [3] CNR UNI 10011, Costruzioni in acciaio – Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.
- [4] G. Ballio, F. M. Mazzolani, Strutture in acciaio Sistemi strutturali - Sicurezza e carichi – Materiali - Unioni e collegamenti - Resistenza e stabilità, Hoepli, 1988
- [5] C. Bernuzzi, Progetto e verifica delle strutture in acciaio secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni e l'Eurocodice 3 (UNI EN 1993), Hoepli, 2011
- [6] D. J. Ewins, Modal testing: Theory, practice and application, Research Studies Press Ltd., England, 2000.

KEYWORDS

Adeguamento sismico, rinforzo strutturale, precompressione esterna, caratterizzazione dinamica, analisi modale operativa.