

L'ACCIAIO NEL RESTAURO DEL CONVENTO DI S. AGOSTINO A CORLEONE (PA)

STEEL IN S. AGOSTINO'S CONVENT RESTORING IN CORLEONE NEAR PALERMO

Nunzio Scibilia
Università degli Studi di Palermo
Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica
Palermo, Italia
scibilia@diseg.unipa.it

Mauro Cilia
Chimetec di Ragusa
Direttore tecnico
Ragusa, Italia
info@chimetec.com

ABSTRACT

This paper treats about some interventions of static and seismic improvement for the last part of S. Agostino's Convent restoring in the town of Corleone, near Palermo, that's classified as a II category seismic zone and where steel has been used in a lots of works.

In a more specific way, new attics, built with both steel and concrete, and interventions of active seam of walls, using steel ribbons, will be treated showing some details of the calculations and the constructive solutions adopted.

SOMMARIO

Costituiscono oggetto della memoria alcuni interventi di miglioramento statico e sismico adottati per il completamento del restauro del Convento di S. Agostino nel Comune di Corleone (PA), in zona sismica di II categoria, per cui si è fatto ampio ricorso all'acciaio.

In particolare sono esaminati i nuovi solai misti in acciaio e calcestruzzo e gli interventi di cucitura attiva delle murature facenti ricorso a bandelle di acciaio inox.

Si riportano alcuni dettagli dei calcoli di verifica e delle soluzioni costruttive adottate.

1 ANALISI SISMICA

La città di Corleone, distante 57 km circa da Palermo, appartiene alla Zona Sismica 77a (area di Corleone-Grisì), è caratterizzata da sequenze sismiche a bassa energia con ipocentri poco profondi e confina con l'area del Belice (ZS 77b) [1].

Nel corso dei secoli ha subito gli effetti dei più violenti terremoti siciliani, che, riferiti alla zona in esame, possono essere sintetizzati nella seguente tabella:

Anno	1693	1726	1740	1823	1876	1878	1940	1968	2002
Area epicentrale	Val di Noto	Palermo	Sciacca	Pollina	Corleone	Mineo	Palermo	Valle del Belice	Palermo
I _o	VII	VI	VI	VI	VI	VII	VI	VII	V

Tabella. 1: Sismi principali della Sicilia Occidentale.

Particolarmente violento è stato il terremoto della Valle del Belice che ha provocato il crollo ed il dissesto di numerosi edifici di carattere artistico-monumentale [11].

Tali azioni non hanno risparmiato il Convento di S. Agostino il quale ha subito, anch'esso, parecchi dissesti e lesioni tali da richiedere un primo lotto di interventi, di cui si parlerà in seguito, che vennero eseguiti utilizzando tecniche moderne (acciaio e cemento armato) senza tenere conto del valore storico-artistico del monumento.

2 CONFIGURAZIONE MORFOLOGICA

L'attuale Convento di S. Agostino è posto a Sud della piazza principale della città di Corleone, Piazza del Municipio, e prospetta sulle Vie Spatafora e S. Agostino.

Le origini del Complesso conventuale risalgono al XIV sec., "*Conventus Corleonensis Urbis Conighlione [...] extabat ante annum 1330*" riporta lo storico dell'Ordine Agostiniano P. Bonaventura Attardi nella sua pubblicazione del 1741 a proposito del Convento, restituendoci, quindi, la prima data documentata sul complesso.

L'Ordine, tuttavia, doveva già essere presente in epoche precedenti a Corleone, infatti nel 1200 esisteva già una Comunità Eremitica Agostiniana la cui chiesa doveva essere ubicata nella contrada di Nocille (a circa 6 miglia dall'attuale abitato) e solo successivamente fu trasferita nel centro urbano, nella sua attuale localizzazione.

Notizie più precise si hanno nel 1302 in un atto del notaio Bondi de Salis dove si legge di una chiesa dedicata a S. Agostino, mentre in un documento del 1319, del notaio Nicola de Monte Albano, si possono leggere dei lasciti alla suddetta chiesa.

Il complesso, che occupa un'area di circa 1350 mq, è costituito dal convento, che si articola attorno ad un chiostro di forma trapezoidale caratterizzato da grossi pilastri e circondato da un portico scandito da alte volte a crociera, e dalla Chiesa di S. Agostino, un tempo collegata al Convento.

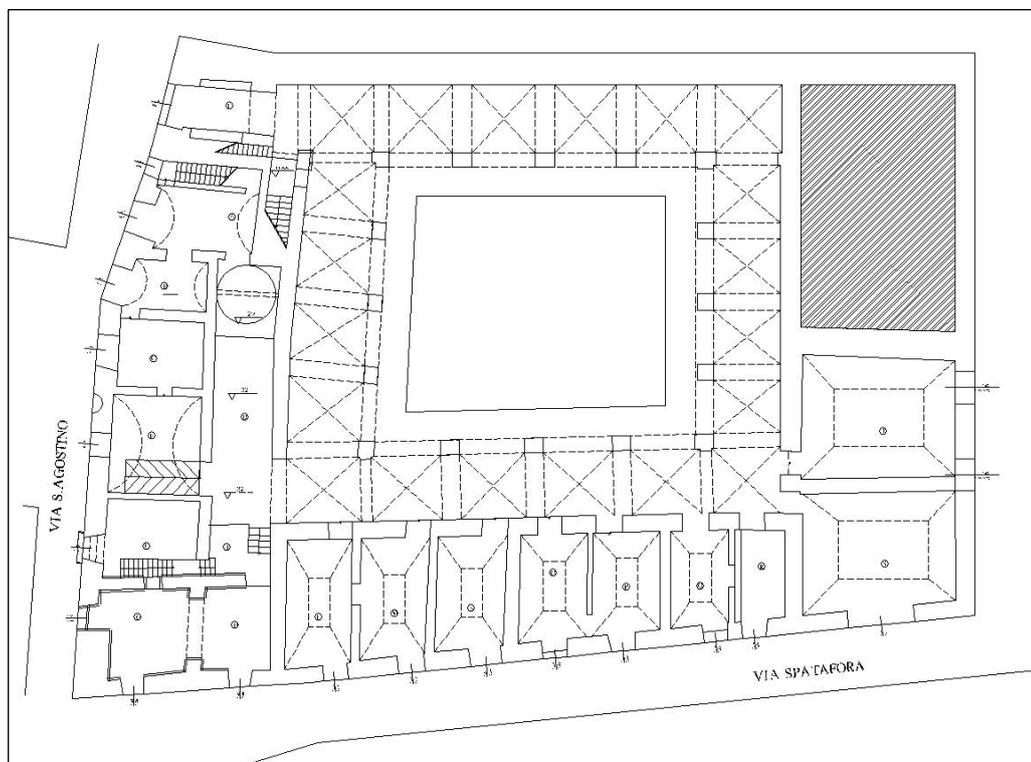


Fig. 1: Pianta dello stato di fatto al livello del chiostro (Livello B).

Il convento è costituito da quattro braccia dalla volumetria piuttosto semplice. Di questi, quello Est è in parte occupato dalla sagrestia, quello Nord dalla chiesa.

in evidenza, attraverso carotaggi, prelievi ed analisi chimico-fisiche, la caratterizzazione petrografica dei materiali lapidei.

Le murature sono costituite da pietrame calcarenitico di natura bioclastica-glauconitica, informe di piccola pezzatura e scarsamente cementato.

Le malte riscontrate sono principalmente di allettamento e di rinzafo, di colore biancastro o nocciola, di calce aerea carbonatata caricate con sabbia di composizione prevalentemente silicatica, circa 8/10, e secondariamente carbonatica, circa 2/10, con bassa concentrazione di solfati e con granulometria variabile e porosità medio-bassa.

Gli interventi eseguiti, seguendo l'attuale progetto, hanno fatto ampio ricorso all'acciaio al carbonio e inox che è stato utilizzato per le seguenti strutture:

- solai misti in acciaio e calcestruzzo a vari livelli;
- aumento della capacità portante dei maschi murari;
- interventi di consolidamento degli archi del loggiato;
- rifacimento degli architravi;
- nuove scale e ascensori.

I solai, in struttura mista acciaio-calcestruzzo, sono costituiti da profilati HEB con soletta in calcestruzzo dello spessore di 5 cm, gettata in opera su tavelloni e resa collaborante con l'impiego di connettori a piolo.

Sono stati realizzati interventi sistematici di cucitura attiva delle murature attraverso il metodo C.A.M. (Cucitura Attiva delle Murature), che sarà trattato più dettagliatamente, di cui la Chimetec ha la licenza per la Sicilia, consistente nell'avvolgere i maschi murari con un reticolo tridimensionale di nastri in acciaio inossidabile.

Gli architravi, versando in un avanzato stato di degrado, sono stati sostituiti con due o tre profilati IPE 120 in acciaio presentando una luce netta non superiore ai 2,00 metri.

La nuova scala in acciaio, di sette rampe, è sostenuta da una parete mista in c.a. e acciaio posta al centro del vano e comprende due colonne HEB220 poste alle estremità della parete in c.a. dello spessore di 22 cm. Le strutture delle rampe sono costituite da due travi principali HEB140, sostenute da mensole HEB140 uscenti dalle colonne e da lamiere piegate sostenute dalle travi principali. Al fine di limitare gli spostamenti orizzontali indotti da eventuali sismi la struttura è stata collegata lungo la direzione di minore inerzia alla muratura esistente e, dove possibile, ai solai di piano. Lungo l'altra direzione è stato predisposto un idoneo giunto sismico per evitare fenomeni di martellamento.

I due vani ascensore, previsti in progetto, sono stati realizzati con struttura in acciaio costituita da quattro colonne HEB220 collegate, ai vari piani di sbarco, da travi HEB140. Al fine di limitare gli spostamenti orizzontali, indotti da eventuali sismi, si è previsto sia l'uso di controventi concentrici verticali a croce di S. Andrea sia l'impiego di collegamenti di tipo pendolare con l'edificio esistente.

4 CUCITURA ATTIVA DELLE MURATURE (C.A.M.)

I maschi murari del complesso sono costituiti da pietrame calcarenitico informe di media pezzatura scarsamente cementato.

In interventi precedenti è stata effettuata l'iniezione di alcuni maschi murari, con miscele a base di calce, e la cucitura delle loro connessioni, tramite perforazioni armate con barre in fibra di carbonio. Nel progetto in esame, al fine di prevenire la formazione di eventuali meccanismi di collasso, per le parti maggiormente sollecitate si è effettuata una Cucitura Attiva delle Murature (metodo C.A.M.) che consiste nell'avvolgere i maschi murari da consolidare con un reticolo tridimensionale realizzato con tiranti costituiti da nastri di acciaio inossidabile pretesi sia in direzione longitudinale che trasversale.

I nastri d'acciaio realizzano un sistema continuo di tirantatura, in grado di adattarsi alle irregolarità della muratura, sia in orizzontale, lungo tutta la parete rinforzata, che in verticale, per tutta l'altezza.

Le forze di compressione contribuiscono a migliorare sia la resistenza a taglio che la resistenza flessionale dei singoli maschi murari e delle pareti nel loro insieme.

Tale intervento risponde ai più aggiornati criteri del restauro miranti alla affidabilità ed alla reversibilità delle operazioni eseguite ed è previsto sia dalla Circolare Ministeriale LL.PP. del 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. (Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16 gennaio 1996), sia dall'O.P.C.M. 3431.

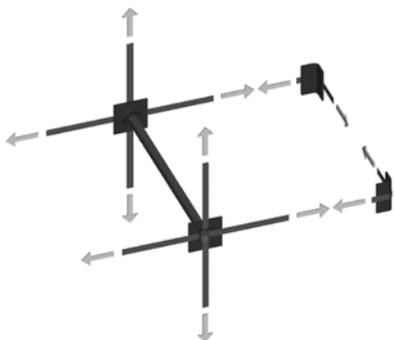


Fig. 3: Schema della disposizione base.

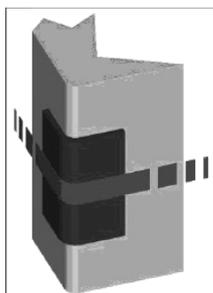


Fig. 4: Angolare in corrispondenza degli spigoli.

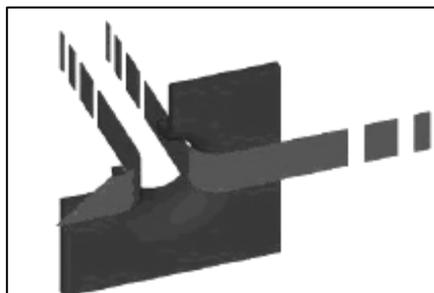


Fig. 5: Piastra imbutita in corrispondenza dei fori.

In tale metodologia le bandelle metalliche sono poste in opera secondo un reticolo a maglie regolari attraverso fori trasversali da praticare nella muratura. All'estremità di ogni foro è posta una piastra imbutita ripartitrice in acciaio ed in corrispondenza degli spigoli sono posti angolari ripartitori ad L smussati anch'essi in acciaio.

La chiusura delle maglie viene effettuata attraverso un'apposita macchina in grado di imprimere ai nastri la pretensione prefissata.

I nastri in acciaio hanno spessore di 0.8 mm e larghezza di 19 mm e attraversano fori di diametro di circa 35 mm. Ogni singola maglia è chiusa su sé stessa e può essere costituita da uno o più nastri sovrapposti. Alle estremità di ogni foro sarà posizionata, a diretto contatto con il paramento murario, la piastra imbutita, allettata con malta, di dimensioni minime 125x125 mm e spessore minimo di 4 mm. In corrispondenza degli spigoli saranno posti in opera, a diretto contatto con il paramento murario, angolari ripartitori in acciaio inossidabile a spigoli smussati con raggio superiore ad 8 mm, allettati anch'essi con malta, aventi ali di dimensioni minime 60x125 mm e spessore minimo 4 mm. La chiusura di tutti i fori ad entrambe le estremità verrà eseguita con schiuma poliuretanic, per una profondità minima di 10 cm.

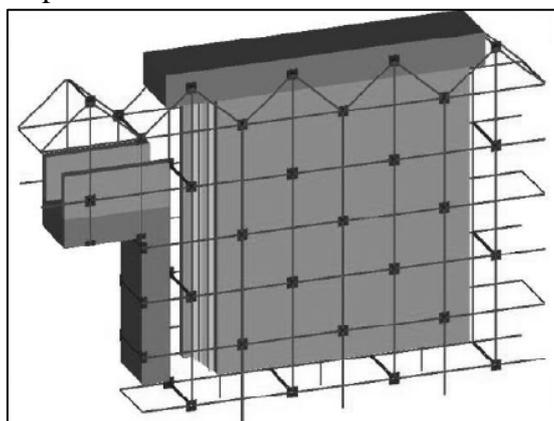


Fig. 6: Schema del reticolo

L'applicazione del sistema di tiranti attivi è finalizzato a conseguire i seguenti obiettivi per il miglioramento del comportamento strutturale:

- incremento della resistenza a compressione degli elementi strutturali, attraverso il contenimento della dilatazione della sezione trasversale;

- incremento della resistenza a taglio indotto dalla presollecitazione verticale;
- incremento della duttilità.

I vantaggi più significativi di questo metodo sono:

- ruolo attivo dell'armatura che imprimendo uno stato di precompressione alla muratura ne ritarda la formazione di lesioni e sconnessioni, aumentandone la resistenza;
- l'utilizzo dell'acciaio inox garantisce una consistente duttilità d'insieme, incrementando le riserve di sicurezza nelle condizioni limite di lavoro della struttura;
- la tecnologia è reversibile;
- l'acciaio inox garantisce l'affidabilità nel tempo del sistema;
- l'efficacia delle legature trasversali e dei collegamenti tra avvolgimenti adiacenti è assicurato meccanicamente in maniera totalmente controllabile ed affidabile;
- facilità di realizzazione ed affidabilità dei collegamenti in verticale anche tra piani successivi e senza demolizione dei solai, con miglioramento delle caratteristiche flessionali delle pareti anche per azioni fuori piano;
- consente l'adozione di intonaci tradizionali, senza l'alterazione delle masse strutturali;
- il sistema risolve il problema delle connessioni tra pareti ortogonali, l'incatenamento di pareti non rettilinee ed i collegamenti dei cordoli alle pareti.

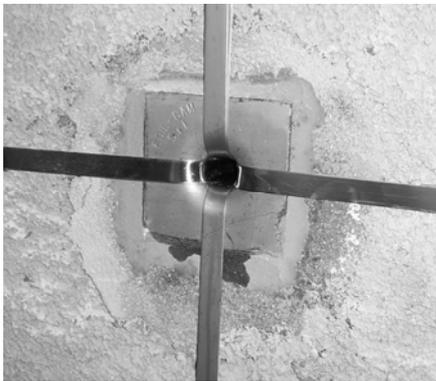


Fig. 7: Piastra imbutita.



Fig. 8: Angolare ripartitore.

A titolo di esempio si riporta il calcolo dell'incremento della resistenza allo scorrimento ottenuto con una maglia 0.75x0.75 m con n° 2 nastri in acciaio inox.

Per i calcoli di verifica si sono considerati i seguenti materiali:

- Muratura in pietrame grossolanamente squadrato:

$$f_{bk} = 1.50 \text{ N/mm}^2; \quad f_{vk0} = 0.04 \text{ N/mm}^2 \quad (40 \text{ kN/m}^2)$$

$$E = 1000 f_{bk} = 1500 \text{ N/mm}^2$$

$$G = 0.4 E = 600 \text{ N/mm}^2$$

- Nastri di acciaio inox:

La resistenza a snervamento e a rottura si assume rispettivamente superiori a 220 e 550 MPa; mentre l'allungamento a rottura è non inferiore al 40%.

La sezione trasversale di ogni nastro è pari a 15.2 mm² e la tensione di trazione è pari a 220 MPa di conseguenza ogni nastro è in grado di esercitare una forza di snervamento di $F_y = 3300 \text{ N}$.

Pertanto la forza di snervamento unitaria sarà: $3,30 \times 2 \times 2 / 0.75 = 17.6 \text{ kN/m}$.

La presenza delle cuciture viene computata sommando alla resistenza a taglio espressa dalle note formule e il contributo dovuto ai nastri sia orizzontali e verticali considerando i cinematismi di rottura applicando il PLV.

Criterio di rottura per taglio-presso flessione

La rottura per presso flessione, generalmente, si manifesta prima mediante lo schiacciamento del piede della parete e dopo, per pareti molto snelle, mediante il rocking, ossia il ribaltamento dell'intero maschio murario. Si è tenuto conto della resistenza a presso flessione del pannello adottando un legame costitutivo parabola-rettangolo a compressione ed elasto fragile a trazione

Criterio di rottura per taglio-fessurazione

$$f_V = \tau_k \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0 + \sigma_{pv} + \sigma_{p0}}{p \cdot \tau_k} + \frac{\sigma_{p0} \cdot (\sigma_0 + \sigma_{pv})}{p^2 \cdot \tau_k^2}}$$

$$\Delta f_V = \frac{F_y}{b \cdot t} \cdot \left(N_o \cdot \frac{h}{h_{eq}} + N_v \cdot \frac{1}{\lambda} \right)$$

Criterio di rottura per taglio-scorrimento

$$f_V = f_{vk0} + \mu \cdot \sigma_0$$

$$\Delta f_v = 2 \cdot \frac{F_y}{b \cdot t} \cdot (N_o + \mu \cdot N_v)$$

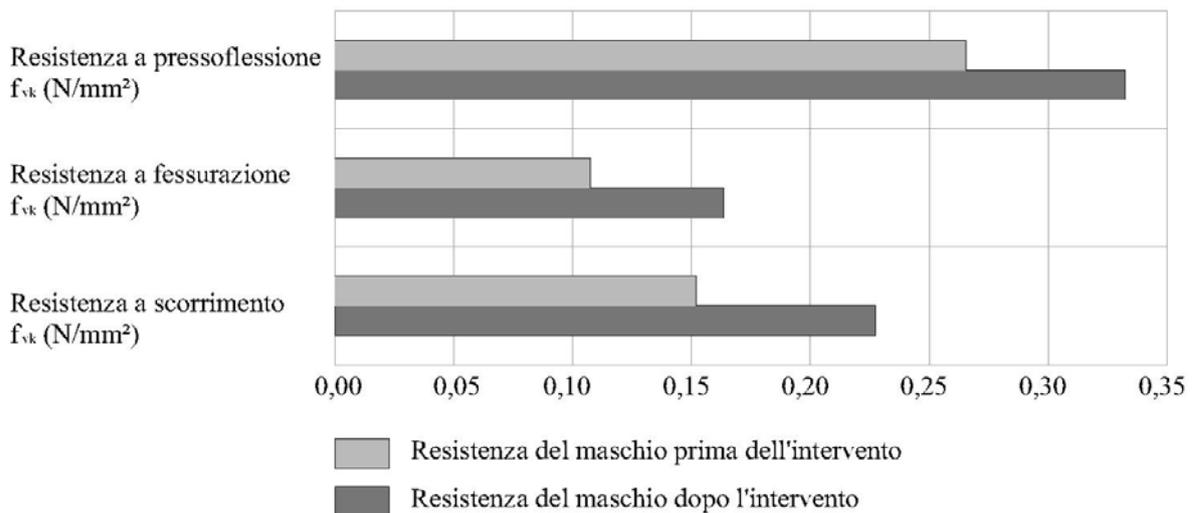


Tabella 2: Aumento della resistenza di maschi murari prima e dopo l'intervento di cucitura.

5 INTERVENTI SUGLI ARCHI DEL LOGGIATO CON IL METODO C.A.M.

Il porticato è delimitato da pilastri collegati tra loro da archi a tutto sesto. In lavori precedenti gli archi sono stati rivestiti da pareti in cemento armato ed appesi ad un cordolo in c.a. posto superiormente. L'intervento proposto per detti archi consiste nella realizzazione di cuciture metalliche presollecitate, poste in opera secondo un andamento radiale, utilizzando nastri in acciaio inossidabile. Ogni singola maglia è chiusa su se stessa ed è costituita da quattro nastri sovrapposti. La chiusura delle singole maglie viene effettuata per mezzo di apposita macchina. Così come per i maschi murari, alle estremità di ogni foro, sono posizionate, a diretto contatto con il paramento murario, una piastra imbutita e centine angolari in acciaio inossidabile allettati con malta.

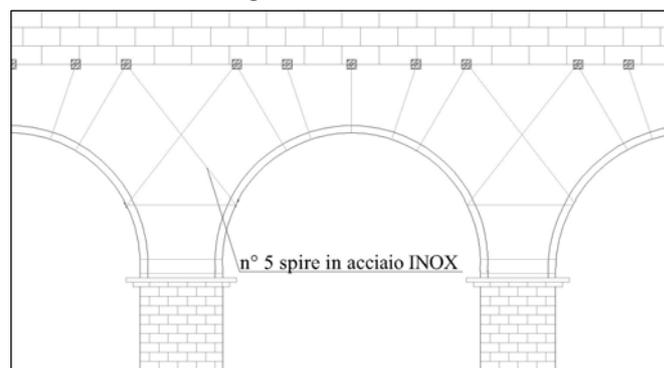


Fig. 8: Schema di intervento tipo C.A.M. sugli archi del loggiato.

Le cerchiature incrementano la resistenza allo schiacciamento degli elementi strutturali sottoposti ad eccessiva compressione. Infatti, l'azione di confinamento induce un benefico stato di compressione triassiale, che aumenta il carico di collasso e la relativa duttilità.

Quest'intervento crea una struttura mista arco + cordolo, con armatura sovrastante (l'armatura del cordolo) ed elementi (i nastri in acciaio) che collegano le due parti.

La stabilità del porticato è migliorata, infine, per la presenza dei tiranti radiali che attribuiscono agli archi un carico minore rispetto a quello che avrebbero senza rinforzi.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] ANTICHI B., ARENA L., AZZARO R., BARBARO M.S., RIGANO R., “*Sismicità e zonizzazione sismogenetica in Sicilia occidentale*”, Atti 17° Convegno nazionale GNGTS (1999).
- [2] AQUILINO M., GALLO CURCIO A., PICCARRETA F., “*Analisi sperimentale di pannelli murari diversamente consolidati*”, Atti del I Congresso Nazionale ASSIRCCO, Verona (1981).
- [3] AUGENTI N., “*Il calcolo sismico degli edifici in muratura*”, UTET Editore (2000).
- [4] AUGENTI N., “*Le costruzioni in muratura nell’Ordinanza n° 3274 del 20/03/2003*”, Atti del XI Convegno Nazionale L’ingegneria sismica in Italia, Genova (2004).
- [5] BALLARDINI R., “*Nuovi orientamenti per i progetti di restauro architettonico in zona sismica*”, II Seminario Nazionale di Studio su: La protezione del patrimonio culturale, la questione sismica, Cangemi Editore, Roma (1997).
- [6] BOSCOTRECASE L., PICCARRETA F., “*Edifici in muratura in zona sismica: nuove costruzioni – consolidamento dell’esistente*”, Dario Flaccovio Ed. (2006).
- [7] BRAGA F., “*Commentario al D.M. 16-01-96 del Ministero LL.PP.*”, Potenza (1997).
- [8] DOLCE M., MARTELLI A., PANZA G., “*Proteggersi dal terremoto: le moderne tecnologie e metodologie e la nuova normativa sismica*”, 21^{simo} SECOLO (2004).
- [9] GALASCO A., PENNA A., “*Valutazione della risposta sismica di edifici irregolari in muratura*”, Atti del XII Convegno L’ingegneria sismica in Italia, Pisa (2007).
- [10] GIUFFRÈ A., “*Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*”, Roma, Bari, (2003).
- [11] GUIDOBONI E., MARIOTTI D., “*Gli effetti dei terremoti a Palermo*”, Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo, Edizioni Laterza (1999).
- [12] MASTRODICASA S., “*Dissesti statici delle strutture edilizie*”, Milano, (1978).
- [13] MAZZOLANI F.M., “*Earthquake protection of historical buildings*” Atti del workshop Materiali ed approcci innovativi per il progetto in zona sismica e la mitigazione della vulnerabilità delle strutture. Fisciano (SA) 12-13 febbraio 2007.
- [14] MELE E., DE LUCA A., GIAGNUOLO C., “*L’effetto di alcuni interventi di adeguamento sismico sul comportamento di edifici in muratura*”, Atti del IX convegno nazionale L’ingegneria sismica in Italia, Torino (1999).
- [15] Min. BB. CC. AA., “*Norme tecniche per la redazione di progetti di restauro relativi a beni architettonici di valore storico artistico in zona sismica*”.
- [16] Min. delle Infrastrutture e dei Trasporti, DM 14/09/2005 “*Norme tecniche per le costruzioni*”.
- [17] OPCM del 03/05/2005 n.3431
- [18] REGIONE UMBRIA, “*Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post sismica degli edifici*”, DEI Editore (2000).
- [19] SANTORO L., “*Riabilitazione Progetto di strutture in acciaio*” (V Edizione), Dario Flaccovio Editore (2007).
- [20] SANTORO L., “*Verifiche tecniche di edifici in zona sismica*”, Dario Flaccovio Editore (2005).
- [21] SCIBILIA N., “*Le strutture in acciaio del Teatro Massimo di Palermo*” Atti del XIII Congresso C.T.A. Abano Terme 1991.

- [22] SCIBILIA N., “*Progetto di strutture in acciaio*” (V Edizione), Dario Flaccovio Editore (2007).
- [23] TUBI N., “*Armature e rinforzi nelle murature*”, Maggioli Editore (2006).
- [24] ZINGONE G., “*Il restauro strutturale di edifici storici in zona sismica*”, II Seminario Nazionale di Studio La protezione del patrimonio culturale, la questione sismica, Cangemi Editore, Roma (1997).
- [25] M. Dolce, D. Nigro, F.C. Ponzo, R. Marnetto: Rafforzamento delle strutture murarie. Il sistema CAM di Cuciture Attive per la Muratura X *Congresso Nazionale “L’ingegneria Sismica in Italia”*, Potenza-Matera 9-13 settembre 2001
- [26] M. Dolce, A. Masi, T. Cappa, D. Nigro, M. Ferrini, Experimental Evaluation of the Effectiveness of Local Strengthening on Columns of R/C Existing Structures, *FIB Symposium*, 6-9 maggio 2003, Atene
- [27] M. Dolce, D.Liberatore, C. Moroni, G. Perillo, G. Spera, A. Cacosso: Manuale delle opere provvisorie urgenti post-sisma. Dipartimento Protezione Civile Ufficio Servizio Sismico Nazionale e l’Università degli Studi della Basilicata

PAROLE CHIAVE

Muratura, edifici monumentali, miglioramento sismico, cucitura attiva con nastri di acciaio inox.