



Received: 21-03-2016  
Accepted: 30-03-2016

## Comparación entre redes de fibras sintéticas y redes de fibras de cáñamo para el refuerzo de muros de albañilería

### Comparison between synthetic fiber networks and hemp fiber networks for the reinforcement of masonry walls

Alessandra Vilardi

Master en Ingegneria dei sistemi edilizi, Scuola Politecnica di Palermo (alessandravilardi@alice.it)

---

**Resumen**— La existencia de una gran cantidad de edificios antiguos ha movilizó la investigación para estudiar nuevos sistemas de refuerzo a aquellas construcciones que sean dañadas por decadencia fisiológica o por terremoto. El presente documento demuestra la eficacia de un sistema de refuerzo innovador para los muros de mampostería, constituyentes los elementos estructurales de los edificios históricos. Se hace una comparación entre unas redes bidireccionales de fibras sintéticas tradicionales y las de fibras naturales, ambas pegadas a las dos fachadas del muro con matriz de mortero. El resultado muestra la aplicación de las fibras de cáñamo como refuerzo sísmico y una mayor compatibilidad de estas con el material que caracterizan los edificios antiguos.

**Palabras clave**— Fibras naturales; malla FRP; albañilería; técnicas de refuerzo.

---

**Abstract**- The existence of a large number of old buildings has mobilized research to study new systems of reinforcement to those buildings that are damaged by physiological decay or earthquake. This document demonstrates the effectiveness of an innovative reinforcement system for masonry walls, which are the structural elements of historic buildings. A comparison is made between bidirectional networks of traditional synthetic fibers and those of natural fibers, both glued to the two facades of the wall with mortar matrix. The result shows the application of hemp fibers as seismic reinforcement and a greater compatibility of these with the material that characterize the old buildings.

**Index Terms**— Natural fibers; FRP mesh; masonry; Reinforcement techniques.

---

#### I. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los edificios históricos presentes en los cascos antiguos de las ciudades están realizados de mampostería. Esta técnica de construcción se aplicó en la

A. Vilardi está en el Master en Ingegneria dei sistemi edilizi, Scuola Politecnica di Palermo, Italy.

antigüedad para los edificios residenciales y también para edificios cuyo uso estaba destinado a iglesias, torres y para edificios monumentales.

Los elementos estructurales de la construcción histórica no están constituidos por columnas y vigas, sino de paredes, a consecuencia su comportamiento mecánico es diferente. Además, los materiales usados para construir estas estructuras eran de mortero y bloque, cuya sinergia puede ser entendida como materiales compuestos.

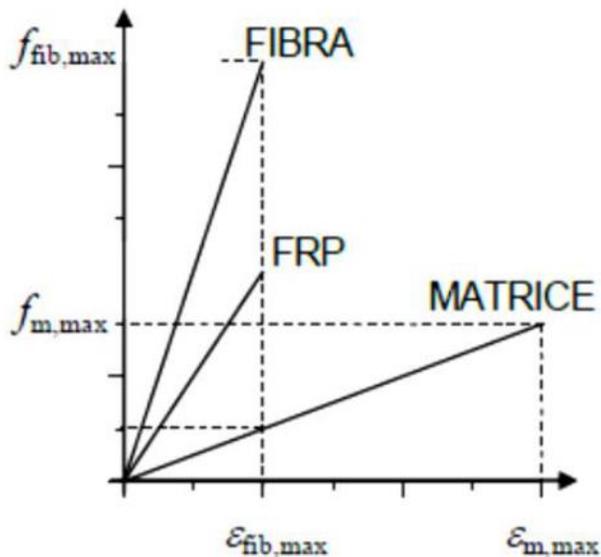


Fig. 1. Enlace constitutivo de fibras, matriz y correspondiente material compuesto.

Estas diferentes propiedades necesitan una investigación específica para desarrollar sistemas de refuerzo, en el caso de un eventual daño del edificio, debido a eventos sísmicos o por deterioro fisiológico.

Recientemente la susceptibilidad de los edificios antiguos situados en zonas de alto nivel sísmico, como Italia o Japón, ha mostrado la formación de muchos daños estructurales. En concreto, la dificultad por estas estructuras de resistir al terremoto es conectada a las cargas horizontales que las invisten. En consecuencia, los daños que aparecen en las paredes de mampostería, se convierten en una posible causa del colapso del edificio.

Gracias a la investigación, se han desarrollado algunas técnicas de refuerzo y se sigue investigando para una mejora continua. Estos programas de investigación son debidos a la gran cantidad de estructuras de mampostería aún presentes en cualquier ciudad, sobre todo cuando se trata de edificios con valor histórico.

En los últimos años las estructuras de mampostería se han reforzado utilizando técnicas tradicionales, como el post-tensado, inyecciones de lechada, refuerzo lateral con una

mallita de acero y hormigón pegadas en las dos caras de la pared. Todas estas soluciones presentan algunos inconvenientes, que han restringido sus aplicaciones.

En particular, esas estructuras de mampostería situadas en zonas sísmicas deben ser rehabilitadas con sistemas de refuerzo más complejas. En este contexto, al contrario que los sistemas tradicionales mencionados anteriormente, entre algunas aplicaciones interesantes implican el uso de materiales compuestos, que no causan aumento significativo tanto en la masa de inercia como en la rigidez lateral.

La eficacia de los polímeros reforzados con fibra (FRP) se ha analizado en varios estudios.

Recientemente, en el sector de la construcción se encuentran unas redes bidireccionales compuestas, formadas por fibras sintéticas, como basalto, vidrio y carbono, utilizables tanto para reforzar edificios de hormigón como para los de mampostería.

Los mecanismos de colapso así como el efecto de red polimérica pegada con mortero de cal situada en el revoque de la pared, fueron estudiados por Dusi A. et al. (Dusi and Manzoni, 2011). La técnica consistía en hacer varias pruebas en paneles de mampostería, reforzadas y además en paredes no reforzadas con particular atención a la respuesta de estas a las cargas horizontales, ya que la idea es de producir un incremento de resistencia y ductilidad de la pared.



Fig. 2. Ejemplo de cuerdas que constituyen la red de cáñamo.

Últimamente, el enfoque de los estudios de investigación se centra sobre la sostenibilidad y la compatibilidad entre estructura y materiales de refuerzo.

Muchos sectores ya han utilizado el avance de las fibras naturales compuestas, mientras en la industria de la construcción aún no está tan difundida. De tal manera, los programas de investigación acaban de analizar aquellas fibras naturales que son las más aplicadas y económicas para el sector de la construcción, como el cáñamo, yute, lino.

El presente documento se centra en una red compuesta bidireccional hecha con fibras de cáñamo, creado como una red común de basalto o una de vidrio y aplicado con mortero a las fachadas de los muros de mampostería, con el fin de entender si un material con un menor impacto ambiental, menor coste y más similar al origen del material empleado en la construcción de los edificios históricos, puede responder bien a acciones mecánicas en términos de buena deformación y ductilidad.

TABLA I  
PARÁMETROS DE REDES CON DISTINTOS MATERIALES

	Esfuerzo de tracción (KN/m)	Modulo de Young (N/mm <sup>2</sup> )	Deformación axial última
<b>Red de vidrio</b>	45	72	2,0 %
<b>Red de basalto</b>	60	91	2,0 %
<b>Red de cáñamo (impregnada)</b>	20	21,3	2,0 %

La comparación se realiza entre las diferentes investigaciones experimentales que ya han analizado en las paredes de mamposterías (no reforzadas y reforzadas con redes compuestas bidireccionales) con prueba de compresión diagonal, de acuerdo con la normativa ASTM E519 - 81.

## II. MATERIALES

Las redes analizadas son las de fibras de vidrio, las de basalto y las de fibras de cáñamo.

Las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio GFRP y de la fibra de basalto BFRP fueron comprobadas por el fabricante.

Sobre la red compuesta de fibra de cáñamo, se ha creado siguiendo todos los procesos necesarios para definir sus habilidades. Es una malla compuesta de cuerdas de cáñamo impregnadas con una resina epoxi de baja viscosidad. Cada cordón se obtiene retorciendo tres hilos individuales de cáñamo, de tamaño igual a 400 tex. Las muestras de cuerdas de cáñamo secas se ensayaron a tensión uniaxial. Se debe aclarar que la red de cáñamo ha sido realizada totalmente a mano. Más detalles se indican en Menna et al. (2015).

Al final del proceso de fabricación, la red seca se ha sido sumergida en resina epoxi de baja viscosidad por largo tiempo, con el resultado final del cable de cáñamo con superficie rugosa. Todo el proceso de producción ha permitido comparar red investigación experimental con los ya existentes en comercio. Varias pruebas se aplicaron a las redes hasta determinar los datos característicos que aquí abajo se indican.

En cuanto a los paneles de mampostería que se han ensayado en la prueba de compresión diagonal, se han considerado las siguientes muestras:

- 9 muestras constituidas de Toba napolitana (360 mm x 250 mm x 115 mm) y mortero a base puzolánico (espesor de 10 mm), extraído por (Menna et al., 2015).
- 6 paneles hechos de bloques de Toba napolitana amarilla (NYT) (390 mm x 250 mm x 115 mm) y mortero a base de cal y puzolana como juntas horizontales (espesor de

10-12 mm), extraídos por (Menna et al., 2015).

- 6 paneles de ladrillo (250 mm x 120 mm x 250 mm) con mortero a base de cal y puzolana como juntas horizontales (espesor de 10-12 mm), datos extraídos por (Menna et al., 2015).

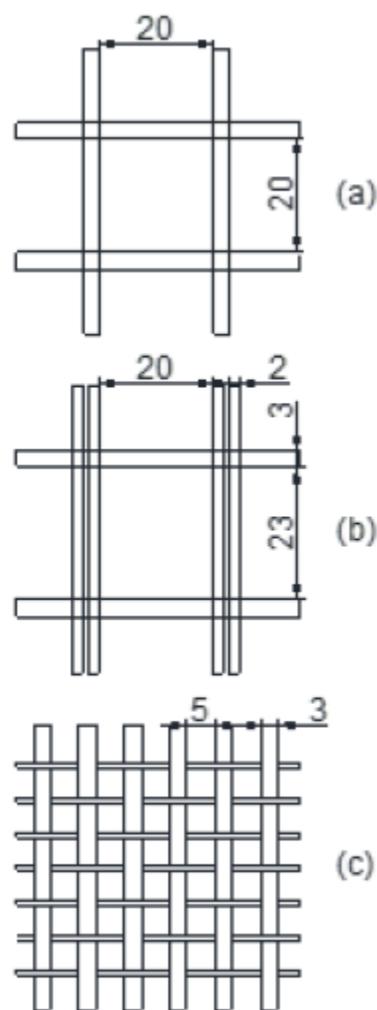


Fig. 3. Dimensiones (mm) de Hemp (a), Glass (b) y Basalt (c) FRP red.

El primer grupo de paneles tiene las juntas de mortero de 10-15 mm y dimensión global de 1000 x 1000 x 250 mm. El segundo y tercer grupo de paredes tiene una dimensión final de 1200 x 1200 x 250 mm.

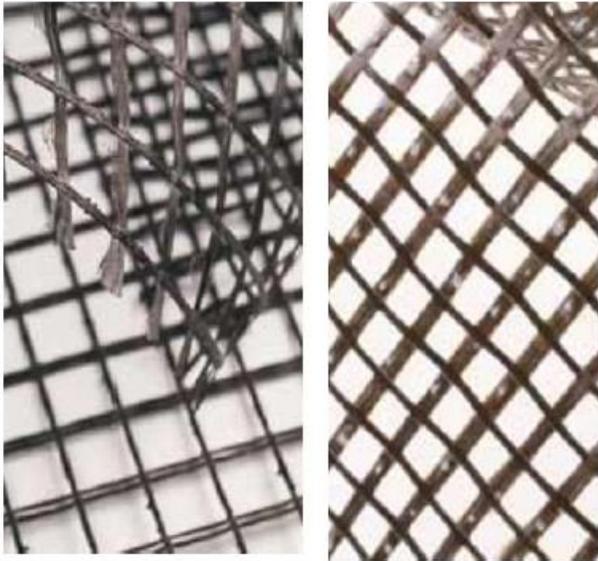


Fig. 4. Red FRP de vidrio (izquierda) y red FRP de basalto (derecha).

### III. RESULTADOS

En el caso de estudio, el comportamiento mecánico de los paneles de mampostería se analiza con la prueba de compresión diagonal, con el objetivo de evaluar el rendimiento del sistema de refuerzo.

La predicción de la intensidad del panel de mampostería sujeto a fuerzas laterales en el plano, es de relevante importancia para una planificación sísmica y también para evaluar el comportamiento de los edificios ordinarios de mampostería. En general, si se quiere focalizar el análisis en la determinación de la fuerza y de la ductilidad, se tiene que realizar pruebas experimentales capaces de simular la realidad cuanto más parecido posible.

El procedimiento aquí estudiado consiste en aplicar un refuerzo en ambas las fachadas del panel aplicando primero una capa de mortero y a continuación, la red compuesta (anclada con elementos adecuados al panel), y sobre esta una otra capa de mortero. El comportamiento de un eventual fallo depende de la compatibilidad, del tipo de fibras y del mortero usado como adhesivo.

De acuerdo con lo regulado en CNR-DT 200 (2004), un sistema de refuerzo en los edificios de mampostería se puede hacer con la condición de mantener la ductilidad de la estructura (Garofano, 2011). Por lo tanto, el aspecto más importante no está en utilizar materiales que tienen valores altos de rigidez, pero los que sus propias características sean cuanto más similares a las de la pared de mampostería que se tiene que rehabilitar.

Recientemente (Lignola et al., 2009), se han propuesto modelos de análisis simplificados para evaluar el rendimiento mecánico de muros de mampostería reforzados con los sistemas innovadores más difundidos (Parisi et al., 2013), con el fin de predecir la contribución de los FRP a la repartición de las solicitaciones cuando hay una acción lateral que actúa sobre los muros de mampostería (Calderini et al., 2010).

La CNR 200/2004 ha regulado el refuerzo de la pared de mampostería usando FRP. El objetivo consiste en una mejora de su capacidad de soporte y de ductilidad (Chiostrini et al., 2000), resistiendo a las cargas que actúan en el plano o fuera del plano.

Los especímenes con la red de GFRP y aquellas con la red de BFRP, que pertenecen al mismo análisis experimental, están reforzados con una matriz de cal; mientras las muestras en las que se aplica la red de HFRP, se utiliza cal hidráulica natural para un tipo de ensayo y mortero de puzolana para otro ensayo.

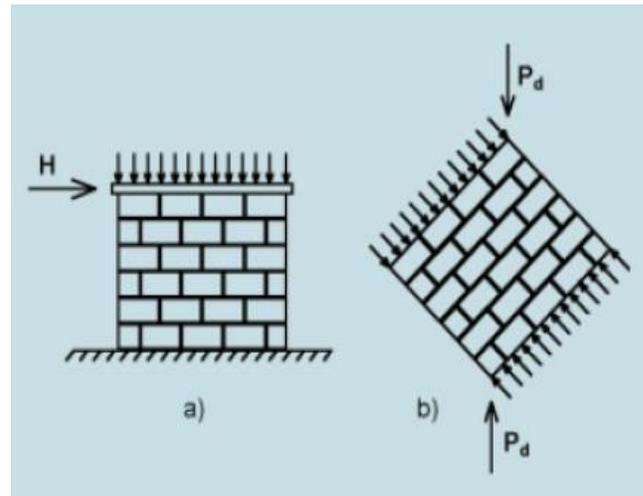


Fig. 5. Esquema de prueba de compresión diagonal.

Todos los resultados, tanto para la investigación experimental (Balsamo et al., 2014) como para la mencionada en Menna et al. (2015) se llevan a cabo de acuerdo con la ASTM E519 - 81.

$$\tau = \frac{0.707 P}{A_n}$$

$$A_n = \frac{l + h}{2} \cdot t \cdot n = d \cdot t \cdot n$$

donde  $l$ ,  $h$  y  $t$  son respectivamente: la anchura, la altura y el espesor y  $n$  es el porcentaje del área total ocupada por unidad de piedra. Además,  $d$  es la dimensión media del lado cuando la muestra no es un cuadrado perfecto (normal requisito del panel para la mencionada normativa) y consideramos la ductilidad como:

$$\mu = \frac{\gamma_u}{\gamma_{el}}$$

TABLA II  
RESULTADOS DE Menna et al. (2015) y Michele (2012)

Espécimen	Red	Refuerzo	Matriz	T <sub>max</sub> [MPa]	T <sub>u</sub> [MPa]	γ <sub>el</sub> [%]	γ <sub>u</sub> [%]	μ
PGG1	Vidrio	2 lados	Cal	0.44	0.36	0.23	1.12	4.86
PGG2				0.53	0.42	0.53	1.91	3.6
PGG3				0.58	0.46	0.28	1.64	5.85
PBB1	Basalto	2 lados	Cal	0.39	0.31	1.23	2.98	2.42
NYT-HFC- PT 1	Cáñamo	2 lados	Puzolanica	0.454	0.363	0.281	1.599	5.68
NYT-HFC- PT 2	Cáñamo	2 lados		0.540	0.432	0.178	0.807	4.52
NYT-HFC- MW 1	Cáñamo	2 lados	Cal hidráulica natural	0.766	-	0.041	-	1
NYT-HFC- MW 2	Cáñamo	2 lados		0.737	0.590	0.063	0.488	7.11
C-HFC-PT 1	Cáñamo	2 lados	Puzolanica	0.721	0.577	0.124	1.103	8.90
C-HFC-PT 2	Cáñamo	2 lados		0.777	0.622	0.152	1.505	5.97
C-HFC- MW 1	Cáñamo	2 lados	Cal hidráulica natural	0.736	0.589	0.078	2.511	32.19
C-HFC-MW 2	Cáñamo	2 lados		0.739	0.631	-	-	-

TABLA III  
LEYENDA DE LA TABLA 2 (Menna et al., 2015 – Michele, 2012)

<b>PGG serie</b>	Refuerzo de muro de Neapolitan Tuff con GFRP red y matriz de cal por [2]
<b>PBBB serie</b>	Refuerzo de muro de Neapolitan Tuff con BFRP red y matriz de cal por [2]
<b>NYT – HFC- PT serie</b>	Refuerzo de Yellow Neapolitan Tuff con FRP red de cáñamo y matriz de matriz puzolánica por [3]
<b>NYT- HFC- MW serie</b>	Refuerzo de muro de Yellow Neapolitan Tuff con FRP red de canamo y matriz de cal hidráulica natural por [3]
<b>C-HFC- PT serie</b>	Refuerzo de muro de albañilería con FRP red de cáñamo y matriz de puzolana por [3]
<b>C- HFC- MW serie</b>	Refuerzo de muro de albañilería con FRP red de cáñamo y matriz de cal hidráulica natural por [3]

En general, la tensión de la pared de mampostería reforzada con red de fibras sintéticas (vidrio y basalto) ha aumentado considerablemente, comprobando este resultado con la misma

muestra no reforzada. También se ha demostrado que este sistema no produce ningún cambio de la masa, que constituye una ventaja relevante comparada con los sistemas de refuerzo tradicionales. Por otro lado, mirando a los resultados

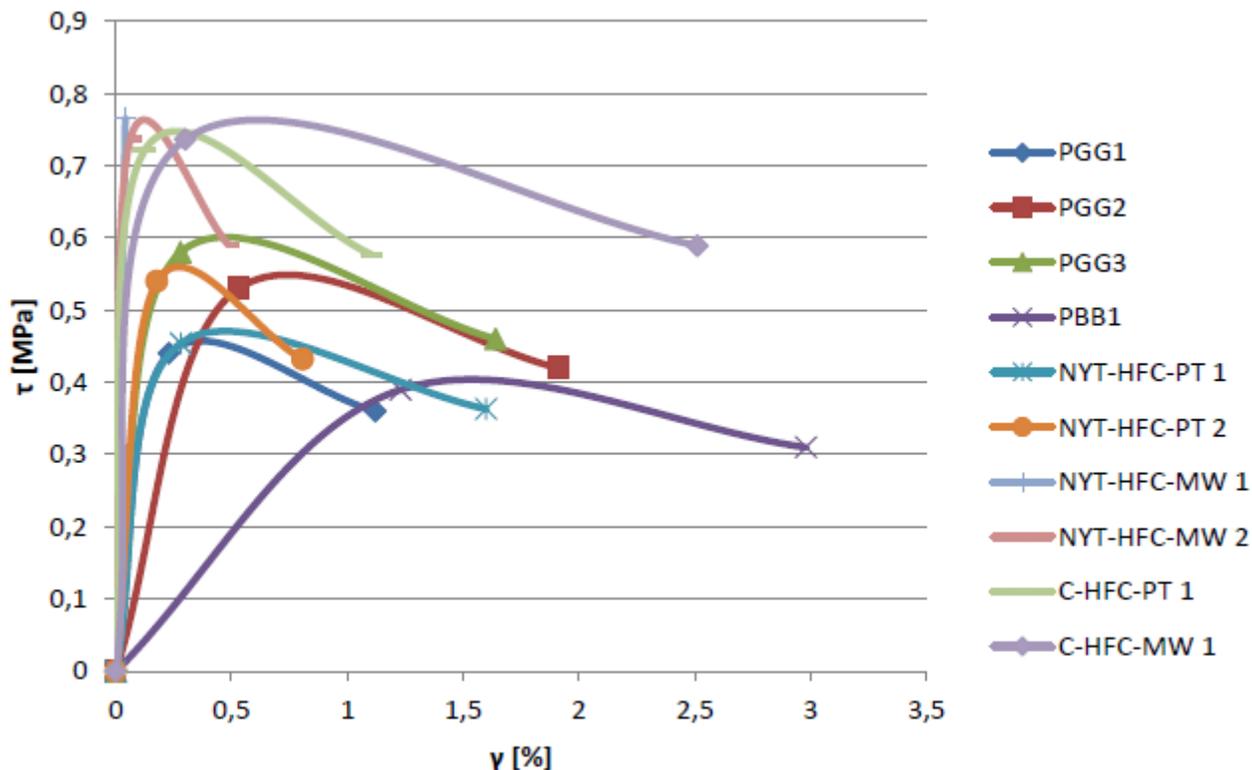


Fig. 6. Resultados referidos a la tabla 1.

conseguidos con la red de fibra natural, está claro cómo este último sistema aparece también muy competitivo y por eso utilizable en igual manera de aquellos sistemas actualmente más comercializados en el sector de la construcción.

Haciendo una comparación de la serie HFC-PT con la de HFC - MW, la prueba experimental ha mostrado la formación de una grieta más grande para la segunda serie. Este significa que la serie cuya red de cáñamo se pega a la pared con matriz de cal hidráulica natural tiene un comportamiento más frágil.

En el caso de la serie HFC-PT, se ha demostrado la eficacia de su sistema de refuerzo porque las cuerdas de cáñamo alcanzan la máxima resistencia posible a la tracción. Este comportamiento es tal vez debido a la baja rigidez de la red de cáñamo, es decir que la buena compatibilidad entre esta nueva red de fibras naturales (Toledo et al. , 2003), el mortero y pared de mampostería ha llevado a cabo un óptimo incremento de refuerzo.

El esfuerzo de corte y la ductilidad han producido importantes resultados numéricos, que permiten que la red de HFRP sea comercializada como un buen sistema de refuerzo para los paneles de mampostería.

#### IV. CONCLUSIONES

La aplicación del sistema de las redes de FRP sobre un muro de mampostería en la presente investigación, ensayada a

través de una prueba de compresión diagonal, ha demostrado claramente su eficacia, en términos de tensión y de ductilidad.

Naturalmente, la presencia de los conectores metálicos (utilizados para anclar la red de GFRP y la de BFRP) y de los conectores de la red de HFRP (utilizados para la red del mismo material) ha generado un aumento significativo de la resistencia.

Por último, la red bidireccional de fibras de cáñamo, que constituye la más innovadora entre las estudiadas en el presente documento, ha producido buenos resultados en términos de buenas características de resistencia y de versatilidad, porque una vez que esta se aplica a los dos lados del panel de mampostería, sea este de toba napolitana o de ladrillo, la deformación última del sistema reforzado es elevada.

Además, comparando su comportamiento con las redes comerciales de GFRP y de BFRP, el rendimiento mecánico es alto. En particular, una vez aplicado el refuerzo a los paneles de ladrillo (serie MW HFC) se han verificados incrementos en términos de resistencia al corte, alcanzando valores similares a los sistemas basados en material sintético comercial (serie PGG y PBB).

En conclusión, se ha aclarado la eficacia de la red bidireccional de fibras de cáñamo como sistema de refuerzo estructural y también con la ventaja de un menor impacto

ambiental e incremento de la ductilidad, gracias a la sinergia de los materiales que colaboran al sistema de refuerzo.

#### REFERENCES

- Balsamo A., Iovinella I., Morandini G. (2014). FRG strengthening systems for masonry building, NZSEE Conference.
- Calderini C., Cattari S., Lagomarsino S. (2010). The use of the diagonal compression test to identify the shear mechanical parameters of masonry, *Construction and building materials* – 24, 677-685.
- Chiostrini S., Galano L., Vignoli A. (2000). On the the determination of strength of ancient masonry walls. *Proceedings of the Research Conference on Earthquake Eng.*, 2564..
- CNR-DT 200/2004, Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie.
- Dusi A., Manzoni E. (2011). Seismic retrofit of masonry buildings with polymer grid, NZSEE Conference.
- Garofano Angelo (2011). Structural behaviour of masonry walls strengthened with mortar laeyers reinforced with FRP grids. TESIS
- Lignola G. P., Prota A., Manfredi G. (2009). Nonlinear analyses of tuff walls strengthened cementitious matrix – grid composites, 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000007.
- Menna C., Asprone D., Durante M., Zinno A., Balsamo A., Prota A. (2015). Structural behaviour of masonry panels strengthened with an innovative hemp fibre composite grid, *Construction and Building Materials* – 100, 111-121.
- Michele Vinci. (2012). *Metodi di calcolo e tecniche di consolidamento per edifici in muratura*. Dario Flaccovio Editore.
- Parisi F., Iovinella I., Balsamo A., Augenti N., Prota A. (2013). In-plane behaviour of tuff masonry strengthened with inorganic matrix-grid composite, 45, 1657-1666.
- Toledo Filho R., Ghavami K., England G. L., Scrinever K. L. (2003). Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability. -10.1016/S0958-9465(02)00018-5.



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.