

Materiali compositi innovativi per il rinforzo strutturale: FRP, FRCM, CRM e FRC

Iter di qualificazione prodotto e accettazione in cantiere: adempimenti e opportunità nell'ambito del panorama normativo cogente

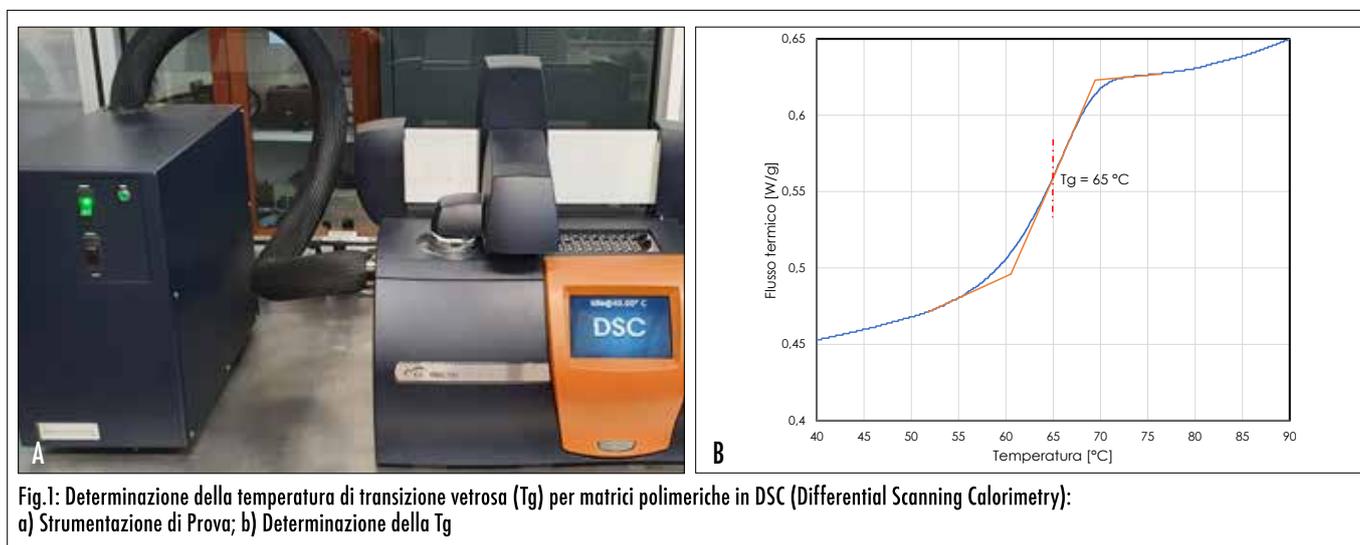


Fig.1: Determinazione della temperatura di transizione vetrosa (Tg) per matrici polimeriche in DSC (Differential Scanning Calorimetry): a) Strumentazione di Prova; b) Determinazione della Tg

Negli ultimi dieci anni, i materiali compositi applicati all'edilizia hanno avuto una rapida espansione in tutti quegli interventi inerenti al consolidamento strutturale e al miglioramento sismico degli edifici esistenti. La crescita esponenziale di questi sistemi di rinforzo strutturale è dovuta a molteplici fattori. Da un lato, gli eventi sismici che hanno colpito la penisola italiana nell'ultima decade (L'Aquila 2009, Emilia-Romagna 2012, Accumuli-Amatrice 2016) hanno aumentato la consapevolezza dell'opinione pubblica sulla necessità di andare a intervenire sul patrimonio pubblico esistente, con azioni mirate alla riduzione del rischio sismico e alla prevenzione di potenziali situazioni di pericolo. Dall'altro, il mondo della ricerca, in collaborazione con le aziende del settore, ha studiato le potenzialità di nuovi materiali innovativi per il rinforzo strutturale, i quali, grazie alla loro facilità di posa, adattabilità a diverse geometrie strutturali ed elevate performance meccaniche

stanno avendo una diffusione esponenziale nel settore edile. Tali sistemi innovativi possono essere classificati in quattro categorie principali in base alla natura del composito e alle finalità applicative: sistemi FRP (Fiber Reinforced Polymer), sistemi FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix), sistemi CRM (Composite Reinforced Mortar) e sistemi FRC (Fiber Reinforced Concrete). Se a questi due fattori, si vanno ad aggiungere le agevolazioni fiscali (e.g. Superbonus 110% [1]) che sono state recentemente adottate dal Governo Italiano per incentivare, tra gli altri, gli interventi di miglioramento sismico del costruito, si può ben capire come l'interesse del mercato si stia indirizzando verso questi nuovi sistemi di rinforzo strutturale e all'iter necessario per la loro qualificazione e accettazione in cantiere. I sistemi FRP, FRCM, CRM e FRC, rientrando nella categoria dei materiali e prodotti per uso strutturale, devono rispondere ai requisiti previsti dal Capitolo 11 delle Norme Tecniche per le

Costruzioni (NTC 2018) [2], tali materiali devono essere identificati univocamente a cura del Fabbricante, qualificati sotto la responsabilità del Fabbricante e accettati dal Direttore dei Lavori. Nello specifico, per quanto riguarda l'identificazione e la qualificazione, possono configurarsi i seguenti casi:

- materiali e prodotti per i quali sia disponibile - per l'uso strutturale previsto - una norma Europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato su GUUE (Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea);
- materiali e prodotti per uso strutturale - per i quali non sia disponibile una norma Europea armonizzata oppure la stessa ricada nel periodo di coesistenza - per i quali sia invece prevista la qualificazione con le modalità e le procedure indicate nelle NTC 2018 [2];
- materiali e prodotti per uso strutturale non ricadenti in una delle tipologie a o b. In tali casi il Fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base



Fig.2: Determinazione della resistenza a trazione di un composito FRP impregnato in situ

della pertinente "Valutazione Tecnica Europea" (ETA) [3] [4], oppure dovrà ottenere un "Certificato di Valutazione Tecnica" (CVT) rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLLPP), previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale (STC), anche sulla base di Linee Guida approvate dal CSLLPP.

I sistemi FRP, FRCM, CRM e FRC ricadono nel caso c ed e, pertanto, al fine della loro qualificazione si dovrà pervenire o all'ETA (documento di validità Europea) oppure al CVT (certificato con valenza sul solo territorio nazionale). L'ETA rientra tra gli iter di certificazione effettuati su base volontaria e contiene le prestazioni misurate sul prodotto / materiale / sistema di riferimento al fine di garantire il rispetto dei requisiti essenziali previsti dal Reg.to CPR (EU) 305/11 [3] a tutela del consumatore/utilizzatore finale. Anche il CVT è un documento di natura volontaria e permette la commercializzazione del prodotto a livello nazionale. Il CVT per i prodotti FRP, FRCM, CRM e FRC ha riscosso particolare interesse negli ultimi due anni, in seguito all'uscita delle quattro Linee Guida italiane per l'identificazione, la qualificazione e il controllo di accettazione in cantiere di tali sistemi. Le Linee Guida riguardanti FRCM, CRM e FRC sono di nuova pubblicazione, mentre nel caso dei sistemi FRP si tratta della pubblicazione di un documento aggiornato che sostituisce la versione

precedente datata 2015. I quattro documenti presentano una struttura simile e riportano la definizione del campo di applicazione dei sistemi oggetto della normativa, una descrizione delle prove iniziali di tipo (ITT) da svolgere presso un Laboratorio Ufficiale Autorizzato secondo l'art. 59 del DPR 380/2001 [5] e un quadro sintetico delle procedure necessarie per l'accettazione in cantiere di tali sistemi. Il CVT ha una durata di 5 anni dalla data del rilascio e può essere rinnovato su richiesta del Fabbricante, attraverso la presentazione al STC di idonea documentazione. Per i sistemi FRP il CVT è divenuto obbligatorio a partire dal 29 maggio 2020 e il suo ottenimento è necessario per poter impiegare tali sistemi per usi strutturali. Le Linee Guida per i sistemi FRP prendono in considerazione diverse tipologie di fibre: carbonio, vetro, basalto, aramide e acciaio ad alta resistenza. Tali fibre devono essere impiegate con una matrice polimerica termoidurente, mentre sono escluse dalle Linee Guida le matrici polimeriche di natura termoplastica. Il numero e la tipologia dei provini necessari per la qualificazione varia in base alle modalità di realizzazione del sistema: in generale per i sistemi impregnati in situ - costituiti cioè da tessuti secchi impregnati in cantiere al momento dell'applicazione sul substrato - il numero di prove da eseguire è maggiore rispetto ai sistemi preformati - costituiti invece da lamine o nastri pultrusi che vengono direttamente posati e incol-



Fig.3: Determinazione della resistenza a trazione di un composito FRCM



Fig.4: Prova in temperatura di un composito FRCM

lati al substrato. Per entrambe le modalità di realizzazione dei sistemi FRP, le prove sono mirate alla definizione della temperatura di transizione della matrice polimerica (fig.1) e alla determinazione delle proprietà meccaniche a trazione del composito, sia allo stato tal quale (fig.2) che dopo cicli di invecchiamento simulanti la condizione d'uso in esercizio. Per i sistemi FRCM il CVT diventerà obbligatorio a partire dall'8 gennaio 2021. Le Linee Guida per i sistemi FRCM - oltre alle tipologie di fibre considerate nei sistemi FRP - includono anche i tessuti in PBO, prendendo in considerazione i sistemi il cui spessore è compreso - nel caso di una singola rete - tra 5 e 15 mm, al netto del livellamento del supporto. Nel caso di più reti lo spessore massimo non può essere superiore a 30 mm. Il numero e la tipologia di prove necessarie per la qualificazione variano in base alla natura delle fibre e alla tipologia di supporto per il quale il prodotto vuole essere qualificato. Le prove sono mirate alla determinazione delle proprietà meccaniche a trazione del composito (fig.3) [6] e del tessuto, sia allo stato tal quale che dopo cicli di invecchiamento. Sono inoltre necessarie prove per valutare il comportamento del materiale alle sollecitazioni termiche (fig.4) e prove di distacco dal supporto per verificare l'aderenza del composito al substrato (muratura di mattoni, pietra, tufo o calcestruzzo) (fig.5) [7]. Per le fibre di acciaio ad alta resistenza, le Linee Guida prevedono che siano effettuati - oltre alle prove sopra citate - anche test di trazione sul tessuto piegato. Per i sistemi CRM, come per i sistemi FRP, il CVT è divenuto obbligatorio a partire dal 29 maggio 2020.

Le Linee Guida per i sistemi CRM prevedono la qualifica dei diversi elementi che



Fig.5: Prova di distacco dal supporto per un composito FRCM

concorrono alla realizzazione del rinforzo strutturale, ossia reti preformate, angolari in rete preformata, connettori, malte per uso strutturale.

Come nel caso degli FRP, la matrice polimerica impiegata nelle reti, negli angolari e nei connettori del sistema CRM, deve essere termoindurente. Lo spessore del sistema CRM è compreso, di norma, tra i 30 e i 50 mm, al netto del livellamento del supporto. Le prestazioni di cui è richiesta la verifica sono la resistenza meccanica a trazione della rete in FRP e dei connettori del sistema CRM, sia allo

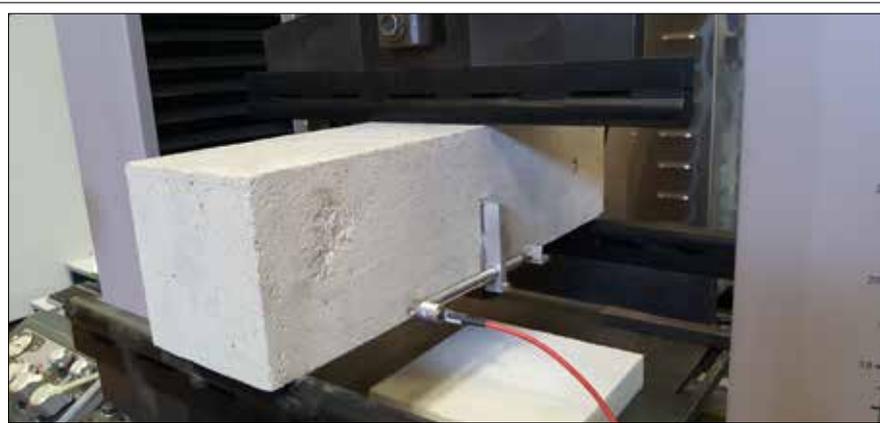


Fig.8: Prova di flessione su calcestruzzo fibrorinforzato

stato tal quale che dopo cicli di invecchiamento simulanti la condizione d'uso in esercizio. In aggiunta, siccome l'efficacia del sistema è garantita dalla connessione della rete alla muratura, sono previste delle prove volte a determinare la forza di estrazione del connettore dal substrato al quale è applicato (fig.6). Per i sistemi FRC non è ancora stata definita una data nella quale il CVT diverrà obbligatorio.

Le Linee Guida per i sistemi FRC definiscono l'iter di qualifica per tutti quei prodotti costituiti da una matrice cementizia

additivata con fibre corte discontinue, cui può aggiungersi armatura ordinaria o da precompressione. Tali materiali devono essere caratterizzati da un dosaggio minimo delle fibre al loro interno non inferiore allo 0,3% in volume.

Le fibre discontinue devono essere marcate CE, in accordo con le norme Europee armonizzate EN 14889-1 (per le fibre realizzate in acciaio) e EN 14889-2 (per le fibre in materiale polimerico). Le prove previste dalle Linee Guida sono finalizzate alla verifica della resistenza meccanica a compressione, trazione (fig.7) e flessione (fig.8) del calcestruzzo fibrorinforzato, sia allo stato tal quale che dopo cicli di invecchiamento simulanti la condizione d'uso in esercizio. Oltre alle prove iniziali di tipo (ITT), le quattro Linee Guida prevedono che il Direttore Lavori, in fase di accettazione del materiale in cantiere, predisponga delle prove atte a verificare la conformità del materiale impiegato. Con questo ulteriore livello di controllo delle prestazioni, si hanno tutte le garanzie per la messa in opera di un sistema di rinforzo che risponda a tutti i requisiti normativi. Grazie a questo iter di qualificazione, i Fabbricanti hanno a disposizione uno strumento per certificare i rinforzi strutturali di nuova generazione e garantire sul mercato i propri prodotti. Questo costituisce una leva strategica sul mercato in termini sia di garanzia che di differenziazione dei propri prodotti, in un momento storico in cui si registra una crescita esponenziale di questo segmento di mercato del settore costruzioni.



Fig.6: Prova di estrazione di un connettore dal supporto murario



Fig.7: Prova di trazione su calcestruzzo fibrorinforzato

CertiMaC | Organismo di Ricerca, Certificazione e Prove sui Materiali fondato e partecipato da ENEA e CNR. Organismo notificato n° 2685 ai sensi del Reg.to CPR (EU) 305/11 e Laboratorio Ufficiale Autorizzato dal CSLP per la qualificazione dei materiali compositi ad uso strutturale (protocollo n. 2107 del 28/02/2020)

Innovative composite materials for structural strengthening: FRP, FRCM, CRM and FRC

Product qualification and acceptance on site: requirements and opportunities within the Italian mandatory regulatory framework

In the last ten years, composite materials applied to the construction sector have had a rapid growth in the interventions related to structural consolidation and seismic improvement of existing buildings.

The exponential rise of these structural strengthening systems is a result of multiple factors.

On the one hand, the seismic events that hit the Italian peninsula in the last decade (L'Aquila 2009, Emilia-Romagna Region 2012, Accumuli-Amatrice 2016) have increased public awareness on the necessity for interventions on the existing public heritage, with actions aimed at reducing seismic risk and at preventing potential dangerous situations.

On the other hand, the research world and the construction companies have explored the potentialities of new innovative materials for structural reinforcement, which - thanks to their ease of installation, adaptability to different structural geometries and high mechanical performance - are obtaining an exponential diffusion in the sector. These innovative systems can be classified into four main categories according to the nature of the composite and the application purposes: FRP (Fiber Reinforced Polymer) systems, FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix) systems, CRM (Composite Reinforced Mortar) systems and FRC (Fiber Reinforced Concrete) systems. If we combine these two factors with the fiscal benefits (for example the Superbonus 110% [1]) recently adopted by the Italian Government to promote - among others - the seismic improvement of buildings, we can further understand how the interest of the market is increasingly looking at these new strengthening systems and at the procedure for their qualification and acceptance on site.

The FRP, FRCM, CRM and FRC systems are included in the category of

materials and products for structural use and therefore must meet the requirements of Chapter 11 of the Technical Standards for Construction (NTC 2018) [2].

These strengthening materials shall be uniquely identified by the Manufacturer, qualified under the responsibility of the Manufacturer and accepted by the Director of Works. Specifically, in terms of identification and qualification, the following cases may occur:

- a) materials and products for which a harmonized European standard is available for their intended structural use, whose reference is published in the Official Journal of the European Union (OJEU);
- b) materials and products for structural use for which a harmonized European standard is not available or the same falls within the coexistence period, for which the qualification with the modalities and procedures indicated in NTC 2018 is foreseen [2];
- c) materials and products for structural use not covered by one of the types a or b. In these cases, the Manufacturer is required to obtain the CE marking on the basis of the relevant "European Technical Assessment" (ETA) [3] [4], or to obtain a "Technical Assessment Certificate" (CVT) issued by the President of the Superior Council of Public Works (CSLLPP), after investigation by the Central Technical Service (STC), also on the basis of Guidelines approved by the CSLLPP.

The FRP, FRCM, CRM and FRC systems fall under case c, therefore, for their qualification, it is necessary to obtain the ETA (European validity document) or the CVT (certificate with national validity only).

The ETA is among the certification procedures carried out on a voluntary basis and contains the performance measured on the product/material/system in order to ensure the compliance with

the essential requirements of Regulation CPR (EU) 305/11 [3] for the consumer/end-user protection. The CVT is likewise a voluntary document and allows the marketing of the product on a national level.

The CVT for FRP, FRCM, CRM and FRC products has gained particular interest in the last two years, following the publication of the Italian Guidelines for the identification, qualification and acceptance on-site control of these systems.

The Guidelines concerning FRCM, CRM and FRC have been recently published, whereas for FRP systems there has been an update of the previous version dated 2015. All four documents have a similar structure and contain the definition of the scope of the systems covered by the regulations, a description of the initial type tests (ITT) to be carried out by an official authorised laboratory according to art. 59 of Presidential Decree 380/2001 [5] and a summary of the procedures required for the acceptance on site.

The CVT is valid for a period of 5 years from the date of issue and may be renewed upon request of the Manufacturer by submitting the appropriate documentation to the STC.

For FRP systems, the CVT became mandatory from 29 May 2020 and its attainment is required in order to use these systems for structural purposes. The Guidelines for FRP systems take into consideration different types of fibers: carbon, glass, basalt, aramid and high strength steel.

These fibers must be used with a thermosetting polymeric matrix, while thermoplastic polymeric matrices are excluded from the Guidelines.

The number and type of specimens required for qualification varies according to the way the system is made. In general for in-situ impregnated systems - i.e. made up of dry fabrics impregnated on site at the time of application

on the substrate - the number of tests to be carried out is higher than for preformed systems - made up instead of foils or pultruded strips that are directly laid and glued to the substrate. For both FRP systems, tests are aimed at defining the transition temperature of the polymeric matrix (fig.1), and at determining the tensile mechanical properties of the composite, both in the unconditioned state (fig.2) and after ageing cycles simulating the operating condition.

For FRCM systems the CVT will become mandatory from 8 January 2021. The Guidelines for FRCM systems, in addition to the fiber types considered in FRP systems, include PBO fabrics. The Guidelines for FRCM systems take into consideration systems whose thickness is included, in the case of a single mesh, between 5 and 15 mm, excluding the substrate levelling. In the case of several meshes the maximum thickness cannot exceed 30 mm.

The number and type of tests required for qualification varies according to the nature of the fibers and the type of substrate for which the product is intended to be qualified. The tests are aimed at determining the tensile mechanical properties of the composite (fig.3) [6] and the fabric, both in the unconditioned state and after ageing cycles.

Tests are also necessary to assess the material's behaviour under thermal stress (fig.4). For high-strength steel fibres, tensile tests on the bent fabric are also required. In order to verify the adhesion of the composite to the substrate, the Guidelines also provide bond tests in order to investigate the adhesion between the FRCM system and different types of substrate: brick, stone, tuff or concrete (fig. 5) [7]. For CRM systems, as for FRP systems, the CVT became mandatory from 29 May 2020. The Guidelines for CRM systems require the qualification of the different elements that contribute to the realization of the structural reinforcement - i.e. preformed nets, preformed corner nets, connectors, mortars for structural use.

As in the case of FRP, the polymeric matrix used in the nets, corners and connectors of the CRM system has to be thermosetting. The thickness of the CRM system is normally between 30 and 50 mm, excluding the levelling of the substrate. The mechanical tensile strength of the FRP net and of the connectors of the CRM system is tested, both in the unconditioned state

and after ageing cycles simulating the operating conditions. In addition, since the effectiveness of the system is guaranteed by the connection of the mesh to the masonry, additional tests are required in order to determine the pull-out load of the connector from the substrate to which it is applied (fig.6). A date by which the CVT will become mandatory for FRC systems has not yet been defined. The Guidelines for FRC systems define the qualification process for all those products consisting of a cement matrix with the addition of short discontinuous fibers, to which ordinary or prestressing reinforcement may be added.

These materials shall be characterised by a minimum dosage of fibres of not less than 0.3% in volume.

Discontinuous fibers shall be CE marked in accordance with harmonised European standards EN 14889-1 (for steel fibres) and EN 14889-2 (for polymer fibres). The tests described in the Guidelines are aimed at verifying the compressive, tensile (fig.7) and flexural (fig.8) strength of fibre-reinforced concrete, both in the unconditioned state and after ageing cycles simulating the condition of use in operation. In addition to the initial type tests (ITT), the Guidelines require the Building Site Manager, when accepting the material on site, to carry out tests to verify the conformity of the material used. With this additional level of performance control, all guarantees are provided for the implementation of a reinforcement system that satisfies all regulatory requirements. Thanks to this qualification process, Manufacturers have at their disposal a system to certify the new generation of structural reinforcements and guarantee their products on the market. This constitutes a strategic lever on the market in terms of both guarantee and differentiation of products, in a historical moment in which there is an exponential growth of this market segment in the construction sector.

CertiMaC | Research Centre, Materials Certification and Innovation Laboratory founded by ENEA and CNR. It is recognised by the EU and Italian Ministry as Notified Body n° 2685 according to The Construction Products Regulation (CPR (EU) 305/11). It is an Official Laboratory Authorized by the Italian High Council of Public Works for the characterization of composite materials for structural use (protocol n. 2107 of 28/02/2020)

REFERENCES

- [1] Law Decree 19 may 2020, number 34 - Article 119. The Decree, in addition to the incentives related to the energy efficiency of the building envelope, includes also the interventions aimed at the reduction of the seismic risk.
- [2] Italian technical standard of construction (NTC 2018). Decree of the Ministry of Infrastructure and Transport. 17 January 2018.
- [3] Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council. 9 March 2011.
- [4] <https://www.eota.eu/en-GB/content/home/2/>
- [5] They can be considered official laboratories according to Art. 59 of Presidential Decree 380/2011: a) the laboratories of university institutes, polytechnics and engineering faculties or architecture faculties; b) the building science laboratory of the institute of fire and civil protection (Rome); c) laboratories authorized by the Ministry of Infrastructure and Transport.
- [6] De Santis S., Ceroni F., de Felice G., Fagone M., Ghiassi B., Kwiecien A., Lignola G.P., Morganti M., Santandrea M., Valluzzi M.R., Viskovic A. (2017). "Round Robin Test on tensile and bond behaviour of Steel Reinforced Grout systems". *Composites Part B: Engineering*, 127, 100-120.
- [7] Santandrea M., Focacci F., Mazzotti C., Ubertini F., Carloni C. (2020). "Determination of the interfacial cohesive material law for SRG composites bonded to a masonry substrate". *Engineering Failure Analysis*, 111.

All the mentioned figures refer to the Italian version

Fig.1: Determination of glass transition temperature (T_g) for polymeric matrices using Differential Scanning Calorimetry (DSC): a) Test Instrumentation; b) Determination of T_g

Fig.2: Determination of the tensile strength of an in situ impregnated FRP composite

Fig.3: Determination of the tensile strength of a FRCM composite

Fig.4: Test at high temperature for a FRCM composite

Fig.5: Bond test for a FRCM composite

Fig.6: Pull-out test of a connector from the masonry substrate

Fig.7: Tensile test on fibre-reinforced concrete

Fig.8: Three-point bending test on fibre-reinforced concrete