Composites for civil constructions

Composite Solutions interviews Prof. Angelo Di Tommaso

What about the future of composites in the construction area? The building and civil engineering sectors stand for the third main growing market for the composites industry in the United States; in Europe such a brilliant situation is not expected, but certainly the fibre reinforced polymer composites (FRP) are being used more and more frequently. The qualities of composite materials which mainly influence the choice are the high specific resistance and the possibility to decrease the construction working time.
In Italy, Prof. Angelo Di Tommaso, AICO President (Italian Association for Composites) has been one of the pioneers in the use of fibre reinforced composites for the building sector, restructuring and recovery of damaged buildings because of earthquakes as well as in the reinforcement area of historical buildings using composite materials.

We asked his opinion on the current and future situation of composite materials in the building sector.

An United Nations projection foresees that the world's population will reach the amount of 9,6 billion people by 2050, and it is estimated that 70% of these people will live in town, compared with current 54% of them. This growth shows to be a huge challenge in terms of facilities, energy and environment. New large investments will be required and it will be essential to use sustainable building techniques and new construction materials. What do you think of composite materials in this context?

Nowadays (2016) the estimated world's population amounts to 7,4 billion; the growth estimates are really astonishing, especially the growth rate of town population, thus implying new constructions and old building restructuring works in large conurbations.

In the construction sector the problems are different depending on the various areas in the world.
As far as the Italian towns are concerned, one should distinguish the problems related to the new construction activities from those related to the maintenance of the existing buildings, especially the protected historical ones.

Compositi per le costruzioni civili

Composite Solutions intervista il Prof. Angelo Di Tommaso

Quale sarà il futuro dei compositi nelle costruzioni? Edilizia e ingegneria civile rappresentano il terzo più grande mercato in crescita per l'industria dei compositi negli Stati Uniti; in Europa le previsioni non sono a questo livello ma sicuramente i compositi polimerici rinforzati in fibra (FRP) vengono utilizzati sempre più frequentemente. Le qualità dei materiali compositi che influiscono maggiormente sulla scelta sono l'elevata resistenza specifica e la possibilità di ridurre i tempi di costruzione.
In Italia, il Prof. Angelo Di Tommaso, Presidente di AICO (Associazione Italiana Compositi), è stato uno dei pionieri nell'utilizzo dei compositi fibrorinforzati nell'edilizia, nel restauro e nel recupero di edifici lesi dai terremoti e nel rinforzo delle costruzioni storiche con materiali compositi.

Abbiamo chiesto la sua opinione sul presente e sul futuro dei materiali compositi nell'edilizia.

Una proiezione delle Nazioni Unite sostiene che la popolazione mondiale raggiungerà i 9,6 miliardi entro il 2050. E si stima che il 70% di queste persone vivrà in città, rispetto al 54% di oggi. Questa crescita presenta gigantesche sfide in termini di infrastrutture, energia e ambiente. Saranno necessari enormi nuovi investimenti e sarà fondamentale utilizzare tecniche di edilizia sostenibile e nuovi materiali

Fig. 1 - Formelle by Andrea Della Robbia (1435-1525). Façade of the Portico dello Spedale degli Innocenti. Florence (I). Restoration (2015)
"Formelle" di Andrea Della Robbia (1435-1525). Prospetto "Portico dello Spedale degli Innocenti. Firenze. Recupero (2015)

For this latter type of buildings, composites are essential even though there is a lively debate between the conservative purists who are against the use of new technologies and those who are for the structural preservation with monument evolution, especially in the seismic areas.
The "formelle" by Andrea Della Robbia of the Spedale degli Innocenti porch façade in Florence, which have been considered as vulnerable, have been provided with a carbon fabric substrate through the "vacuum" technique.
In many cases therefore, the problem is the cultural acceptance of the new techniques applied to the structural preservation of the artistic or architectural heritage, so not only a technical one.
After choosing the smart structural preservation technique through new friendly technologies, the use of the adequate composite materials has a huge application potential and the selection among many possibilities is a matter of fact.
Composites for the structural reinforcement of protected buildings are to be selected, according to current trends, following the criteria of the minimum production energy, least visual impact and of the use of renewable and natural raw material which can be recycled easily.

Until a short time ago composite materials have not been highly used in the building and construction sector but currently it seems that something is changing. Can you tell us what you think about this?
In the current building conversion and preservation sector in Italy the inorganic "composites", also reinforced with dry long or prepreg fibre have been more and more used.
Of course these materials do not comply with the classic definition of composites but they can be included in the large composites family although they are conceptually borderline. (Fig. 2a): for them a recent American standard has found the name of "FRCM system".

da costruzione. Come vede il ruolo dei materiali compositi in questo scenario?
Oggi la popolazione mondiale stimata è di 7,4 miliardi; le stime di crescita sono impressionanti e in special modo le crescite della popolazione delle città, il che implica nuove costruzioni e ristrutturazione di costruzioni esistenti nei grandi aggregati urbani. In edilizia i problemi differiscono se rapportati alle diverse aree del mondo. Per le città italiane bisogna distinguere le problematiche della nuova edilizia da quelle della conservazione della edilizia esistente e in particolare di quella storica tutelata. Per quest'ultima tipologia i compositi sono fondamentali anche se sono attuali i bracci di ferro fra i puristi conservatori che si oppongono all'uso delle nuove tecnologie e coloro che caldeggiano la conservazione strutturale con l'evoluzione del monumento, specialmente in zone sismiche.
Le formelle di Andrea Della Robbia della facciata del portico dello Spedale degli Innocenti a Firenze, giudicate in stato vulnerabile, sono state dotate di supporto di tessuto di carbonio con tecnica "vacuum" (Fig. 1). Il problema in molti casi è quindi di accettazione culturale delle nuove tecnologie applicate alla conservazione strutturale del bene artistico o architettonico e non solo tecnico.
Imboccata la via intelligente di conservazione strutturale con nuove tecnologie rispettose del bene esistente, l'uso dei compositi appropriati ha davanti enorme spazio applicativo: si configura infatti la scelta fra una miriade di possibilità. I compositi per il rinforzo strutturale della edilizia tutelata vanno scelti, secondo gli attuali orientamenti, col criterio della minima energia di produzione, del minimo impatto visivo e dell'utilizzo di materia prima naturale rinnovabile e di riciclo facilitato.

Fino a poco tempo fa i materiali compositi non hanno avuto grande utilizzo nel settore dell'edilizia e delle costruzioni, adesso sembra che ci sia in corso un cambiamento, vorremmo sapere la sua opinione a riguardo.
Nel settore della riconversione e conservazione dell'edilizia esistente, in Italia, stanno ricevendo molto favore i "compositi" a matrice inorganica e armatura con fibra lunga secca o pre-impregnata. Certamente questi materiali si allontanano dalla definizione classica di compositi ma possono essere inclusi nella grande famiglia dei compositi anche se essi sono al margine concettuale (Fig. 2a): per essi una recente norma americana ha coniato il nome di "sistema" FRCM".

As for new constructions a development of GFRP pultrusion profiles can be predicted for precise uses: highly humid zones, structure/magnetism interferences, structural integration due to their low weight, ancillary structures and temporary structures (Fig. 2b).

Could you tell us briefly the historical use of composite materials in the construction sector?

Composites in the building sector appeared early in 90s. The GFRP pultruded profiles are mainly chosen for new constructions and the pultruded and glued laminates for the structural reinforcement.

Early reinforcement and structural activities were carried out in Switzerland by Sika, directed by Prof. Urs Meier in 90s for the reinforcement of bridges and afterwards for the reinforcements in the building industry (Fig. 3a).

Also "all FRP" constructions are to be mentioned of small buildings and cycle tracks and footpaths in Scotland, Denmark and Switzerland as well as and in other European countries (Fig. 3b).

From 1996 on, also the protected building sector in Italy has been involved in the structural reinforcement using FRP composites, especially in seismic areas.

For example, the cathedral of Città di Castello, the church in Assisi and San Petronio church in Bologna, as well as the Gonzaga Tower in Bagnolo in Piano and the Ghirlandina Tower in Modena.

Even the FRCM composites have been used for interesting applications, from the Reconstruction of the Cathedral in Noto to the Reconstruction of the Arco Romano in Rimini. The reinforcements used are carbon nets with inorganic matrix.

FRP have been used in California

Fig. 2a - Pillars of the San Barnaba convent in Modena (I). Confirnement of the pillars with FRCM. Designer: A. Di Tommaso Products by Kerakoll Spa
Pilastri del sottotetto del convento di San Barnaba, Modena). Confinamento pilastri di muratura con FRCM. Progettista: A. Di Tommaso, prodotti forniti da Kerakoll SpA

Per le nuove costruzioni è presumibile uno sviluppo dei profili pultrusi di GFRP per utilizzazioni mirate: zone umide aggressive, interferenze struttura/magnetismo, integrazione strutturale per la loro leggerezza, strutture ancillari, strutture temporanee (Fig. 2b).

Potrebbe farci una breve storia dell'utilizzo dei materiali compositi nell'edilizia?

I compositi nell'edilizia fanno la loro comparsa nei primi anni '90. Sono privilegiati i profili pultrusi GFRP per le nuove costruzioni e le lamine pultruse ed incollate per il rinforzo strutturale. I primi interventi di rinforzo a strutture esistenti furono fatti in Svizzera a cura della Sika, curate dal Prof. Urs Meier negli anni '90, per il rinforzo di ponti e successivamente per rinforzi in edilizia (Fig. 3a).

Si annoverano anche costruzioni "all FRP" di piccoli edifici e passerelle ciclabili e pedonali in Scozia, Danimarca e Svizzera ed in altri paesi europei (Fig. 3b).

A partire dall'anno 1996 anche l'edilizia tutelata in Italia è stata oggetto di rinforzi strutturali con compositi FRP, specialmente in zone sismiche. Si menzionano i casi della cattedrale di Città di Castello, la basilica di Assisi, la basilica di San Petronio a Bologna, la torre dei Gonzaga a Bagnolo in Piano, la torre Ghirlandina di

Fig. 2b - S. Maria Paganica church, L'Aquila (I). Provisional cover in GFRP profiles. Designer: S. Russo and A. Adilardi. Contractor: Top Glass SpA, Osnago (LC), 2010
Chiesa di S. Maria Paganica, L'Aquila. Copertura provvisoria in profili GFRP. Progettisti: S. Russo e A. Adilardi. Contractor: Top Glass SpA, Osnago (LC), 2010

and in Japan especially for the reinforcement of various infrastructures.
Recently in Italy FRCMs have found different applications also for some infrastructures (Fig. 3c) and the reinforcement-like fabrics are based on PBO fibres or metal ones (AISI 304 or metals with protective cover).

How much useful and better are these products compared with other materials for antiseismic architecture and for the recovery of damaged constructions?

Fig. 3a - Footpath at the golf club of Aberfeldy (Scotland). Total lenght 113 m, free central light 63 m. Pillars and deck made in GFRP. Aramid fiber Stay-cable
Passerella pedonale nel golf Club di Aberfeldy (Scozia). Lunghezza totale m 113, luce libera centrale m 63. Piloni e deck in profili GFRP. Stralli in fibra aramidica.

Modena.
Anche i compositi FRCM hanno ricevuto in Italia interessanti applicazioni a partire dalla ricostruzione della Cattedrale di Noto, e poi dalla ricostruzione dell'arco Romano di Rimini. Le armature impiegate erano di reti di carbonio in matrice inorganica.
I compositi fibrorinforzati sono stati utilizzati in California ed in Giappone essenzialmente per il rinforzo di varie infrastrutture.
Recentemente in Italia gli FRCM hanno trovato varie applicazioni anche per

Fig. 3b - Restored building in Zurich (1996). Masonry wall reinforced with pultruded laminates in carbon bonded (FRP). Bonded in carbon (FRP)
Edificio ristrutturato a Zurigo (1996). Parete in muratura rinforzata con lamine pultruse in carbonio. In carbonio (FRP) incollate

They are very useful for the seismic reinforcement of existing buildings.
From a technical point of view they cannot be compared with other traditional materials: composites are more efficient and conceptually they are unrivalled due to their structural efficiency.
The bias are cultural as for the historical buildings and they are still very scarsely used due to the little designers' knowledge of their use for public infrastructures and buildings.
This sector is still not very much dealt with in the university training courses.
The prevention in seismic zones should consider these materials as essential for the manufacture of "collapse inhibitors"of masonry works which show specific structural weaknesses.
The example of churches is emblematic.

Last but not least: in which area do you foresee the main use of composites? Residential building, infrastructures, civil engineering?

Again I want to stress the difference between existing buildings and new ones.
As for the current residential and civil building sector in Italy the anti-seismic reinforcement is the main application area of polymer but also inorganic matrix composites.
If the historical buildings are protected, only the inorganic composites and those which are reinforced with material obtained from natural raw material can be used for a relevant application development.
Therefore, FRCMs could be widespread in the building sites.
The reinforcement fabrics of emerging FRCM composites are hybrid AISI 304 steel and basalt fibre Yarn.
As for the infrastructures, the structural reinforcement when the building is old can be considered as prone to a wide development activity: in this case the polymer matrix and carbon fibre or PBO based composites could be the main materials with the most relevant development.
For new constructions, the pultruded profiles slowly are gaining importance for the reconversion and/or enlargement of infrastructures (Fig. 5a) and for all FRP

alcune infrastrutture (Fig 3c) e i pseudo tessuti di armatura sono costituiti da fibre di PBO oppure metalliche (AISI 304 oppure metalli con coperture protettive).

Quanto sono utili e migliori di altri materiali per l'architettura antisismica e nel recupero delle costruzioni lesionate?

Sono enormemente utili per il rinforzo sismico delle costruzioni esistenti. Dal punto di vista tecnico non sono paragonabili ad altri materiali della tradizione: i compositi sono più efficienti e concettualmente non hanno rivali per efficacia strutturale. Le remore sono culturali per l'edilizia storica e sono ancora poco utilizzate per mancanza di conoscenze da parte dei progettisti nei casi di infrastrutture e edilizia di interesse sociale. Il settore è ancora poco trattato nei corsi universitari.
La prevenzione in zone sismiche dovrebbe considerare questi materiali come essenziali per la costituzione di "inibitori di collasso" delle costruzioni in muratura le quali presentano specifiche vulnerabilità strutturali. Emblematico il caso delle chiese.

Last but not least: dove vede il maggiore impiego dei compositi? Edilizia residenziale, infrastrutture, ingegneria civile?

Ancora una volta devo distinguere fra costruzioni esistenti e nuove costruzioni.
Per l'edilizia residenziale e sociale esistente in Italia, il rinforzo antisismico è la sede del maggior uso appropriato di compositi a matrice polimerica ed anche a matrice inorganica. Se l'edilizia storica è tutelata, solo i compositi a matrice inorganica e fibrati con materiale derivante da materia prima naturale sono candidati allo sviluppo applicativo rilevante. Quindi gli FRCM sono suscettibili di grande diffusione nei cantieri edili. I tessuti di armatura dei compositi FRCM emergenti sono ibridi di acciai AISI 304 e Yarn di fibra basaltica.
Per le infrastrutture il rinforzo strutturale in conseguenza di vetustà della costruzione può considerarsi con ampie prospettive di sviluppo: in questo caso i compositi a matrice polimerica e fibra di carbonio o PBO sono i candidati al maggiore sviluppo.
Per le nuove costruzioni i profili pultrusi lentamente si fanno strada per riconversione e/o ampliamenti di infrastrutture e per "all FRP" passerelle ciclo-pedonali nonchè per le strutture di protezione provvisoria o ancillari di post sisma.
Le armature del calcestruzzo con barre pultruse

cycle tracks and footpaths (as well as for post-earthquake temporary or ancillary protection structures.

The concrete reinforcements with pultruded bars are unrivalled in aggressive environments and where there are potential magnetic inductions.

As for civil engineering in general, tanks and containers in aggressive environments as well as the magnetic fields interference-free installations will be certainly used for more and more applications.

The guidelines and the technical data sheets issued by the selected authorities are now available for the main composites application sectors in the civil constructions sector.

The most important Italian, USA and Canadian directives are the following ones:

- Instructions for designing ...through the use of fibre reinforced composite materials CNR-DT-200 R1/2012
- ACI-440.2R-08: "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", American Concrete Institute (ACI), committee 440, 2008.
- ISIS Design Manual No. 4: "FRP Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures". ISIS Canada Corporation, 2008
- ACI-549.4R-13 Guide to Design and Construction of externally bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and strengthening Concrete and Masonry Structures. American Concrete Institute (ACI), committee 549.
- CSLP, Board of Public Works, Italian – Guidelines for the Identification, qualification and control for the approval of polymer based fibre reinforced composites (FRP) to be used for the structural consolidation of current constructions, Rome 2015.
- Report EUR 27666 EN – Prospect for new guidance in the Design of FRP – JRC 2016.

non hanno rivali in ambienti aggressivi e ove sono presenti potenziali induzioni magnetiche.

Per la ingegneria civile in genere i serbatoi e i contenitori in ambiente aggressivo e le installazioni senza interferenza dei campi magnetici sono senz'altro candidate ad applicazioni sempre crescenti.

Le linee guida ed i documenti tecnici emanati da enti sono ormai disponibili per i principali settori di applicazione dei compositi al campo delle costruzioni civili.

I principali documenti normativi Italiani, USA e Canadesi di riferimento sono:

- *Istruzioni per la Progettazione … mediante l'utilizzo di materiali compositi fibrorinforzati CNR- DT-200 R1/2012*
- *ACI-440.2R-08: "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", American Concrete Institute (ACI), committee 440, 2008;*
- *ISIS Design Manual No. 4: "FRP Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures". ISIS Canada Corporation, 2008.*
- *ACI-549.4R-13 Guide to Design and Construction of externally bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Sistems for Repair and strengthening Concrete and Masonry Structures. American Concrete Institute (ACI), committee 549*
- *CSLP, Consiglio Superiore Lavori Pubblici, Italiano - Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti, Roma 2015*
- *Report EUR 27666 EN – Prospect for new Guidance in the Design of FRP. – JRC 2016.*

Fig. 3b - Arch of a railway bridge, Rome-Naples line, reinforced with FRCM.
Designer: F. Focacci et al., products by Ruredil SpA.
Arcata di ponte ferroviario, linea Roma-Napoli, rinforzata con FRCM.
Progettista: F.Focacci et al., materiale Ruredil SpA