

Materiali compositi sostenibili e a bassa trasmittanza termica: cementi contenenti microfibre tessili di riciclo



Ogni anno una grande quantità di rifiuti tessili viene generata dal settore della moda. Recentemente questo fenomeno si è rapidamente accentuato a causa della diffusione del concetto della "fast fashion" basato su un modello economico lineare e sul consumo di massa di prodotti tessili. Reports statistici annuali, come ad esempio il report annuale italiano ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale) sulla produzione di rifiuti, confermano questa tendenza e dovrebbero essere considerati come monito per l'attuazione di pratiche più sostenibili e la ricerca di soluzioni di riciclo valide per ogni settore. In Italia il settore della moda gioca un ruolo importante nella produzione nazionale di rifiuti, precisamente è responsabile della produzione del 37.4% del totale dei rifiuti non pericolosi italiani [ISPRA2020]. A seconda dell'attività che li ha generati, i rifiuti tessili vengono classificati in rifiuti speciali e rifiuti urbani. I primi, stimati in Italia nella misura di 490.000 ton/anno [ISPRA 2020], vengono prodotti da attività industriali e comprendono scarti di processi industriali (fibre, fili, tessuti, ritagli) e prodotti tessili e d'abbigliamento invenduti o fuori moda. I secondi, invece, 146.000 ton/anno in Italia [ISPRA 2020], derivano prettamente dal post-consumo di famiglie e piccole attività. Attualmente una parte dei rifiuti tessili è riutilizzata o riciclata: i capi d'abbigliamento, sia derivanti da pre che da post

consumo, vengono raccolti e reimmessi nel mercato di seconda mano o devoluti in beneficenza; mentre fili, tessuti e ritagli tessili vengono selezionati, in base a colore e materiale, e riciclati per creare nuovi filati tessili sostenibili, pannelli termoisolanti per le costruzioni o imbottiture per elementi d'arredo di abitazioni e mezzi di trasporto. Tuttavia, tutti i restanti rifiuti tessili e, in particolare, le fibre tessili derivanti da processi industriali sono attualmente ancora conferiti in discarica. In questo contesto e con lo scopo di contribuire ad aumentare il quantitativo di rifiuti tessili potenzialmente riutilizzabili e riciclabili, abbiamo proposto di affrontare il problema delle fibre tessili di scarto valutandone una nuova applicazione. Nello specifico, ci si è incentrati sullo studio di microfibre tessili di scarto derivanti da attività di finissaggio di tessuti, ossia un processo industriale in grado di conferire particolari e desiderate proprietà alla superficie del tessuto. A titolo di esempio, il finissaggio potrebbe essere richiesto, all'interno del processo produttivo di tessuti, per promuovere proprietà estetiche, antibatteriche, autopulenti, antistatiche, idrofobiche, di resistenza alle macchie, di isolamento termico ecc...

Il lavoro di ricerca è stato condotto in collaborazione con un consorzio locale di quattro aziende dell'importante distretto tessile di Carpi (Modena, Italy) ed è stato parte del progetto "Investire in modalità riciclo" volto a promuovere uno sviluppo economicamente e socialmente sosteni-

bile del settore tessile locale. Le microfibre tessili di scarto sono state fornite direttamente da una delle aziende locali coinvolte nel progetto che opera nel settore del finissaggio, precisamente per il conferimento di proprietà estetiche e termoisolanti. Il trattamento superficiale è ottenuto attraverso la formazione di una lanugine fibrosa sulla superficie del tessuto ed al successivo taglio di essa ad una altezza desiderata. Conseguentemente a queste fasi, nell'aria viene generata una sospensione di microfibre che, per evitare la contaminazione ambientale, viene aspirata da un apposito sistema di filtraggio dell'aria. Le microfibre raccolte dall'impianto vengono successivamente compattate in bricchetti e conferite a discarica. Il quantitativo di microfibre di scarto generate esclusivamente dalla fase di finissaggio è stata quantificata dall'azienda intorno a 35 ton/anno e si stima che in Italia il valore si attesti a 5.000 ton/anno. Il costo totale di gestione dei rifiuti, il desiderio di ridurre l'impatto ambientale del processo e l'obiettivo di creare un nuovo business con prodotti di scarto, ha spinto le aziende del consorzio ad intraprendere un progetto di ricerca congiuntamente al Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari. La tematica comune da affrontare nel progetto era di trovare una nuova applicazione per questi rifiuti tessili, differente dalle applicazioni già consolidate e disponibili in commercio, sia per ridurre i costi aziendali dovuti alla gestione dei rifiuti sia per incrementare la



Fig.1: Microfibre tessili di scarto raccolte dal sistema di filtraggio dell'aria

sostenibilità del processo di finissaggio locale.

Allo stesso tempo, l'utilizzo di materie prime di riciclo è una tematica urgente e molto attuale anche per il settore delle costruzioni. Negli ultimi decenni, infatti, la ricerca scientifica si è concentrata nello sviluppare materiali da costruzione sostenibili per ridurre l'impatto ambientale delle costruzioni civili sull'ambiente. Il nostro gruppo di ricerca è altamente coinvolto in questo ambito ed ha contribuito a vari studi incentrati sull'utilizzo di aggregati e fibre riciclati (vetro di scarto, rifiuti plastici, piastrelle di scarto, rifiuti organici, rifiuti di calcestruzzo da attività di Costruzione e Demolizione, rifiuti industriali ecc...) all'interno di matrici organiche ed inorganiche. Pertanto, lo scopo di questo lavoro era di coniugare le richieste di sostenibilità e riciclabilità sia del settore tessile che delle costruzioni introducendo le microfibre tessili all'interno di matrici cementizie, quindi creando materiali compositi sostenibili per le costruzioni.

Questa applicazione alternativa ed innovativa rientra nell'ambito dei sistemi cementizi fibrorinforzati (FRC), considerati come una promettente soluzione per l'ottimizzazione delle proprietà dei materiali cementizi da costruzione. Infatti, è stato affermato da vari studi scientifici e dalle recenti linee guida italiane CNR, che il rinforzo di matrici cementizie con fibre può promuoverne la riduzione del ritiro e della formazione e propagazione di fessurazioni durante sollecitazioni a trazione o

flessione. Le fibre, quindi, prevengono la degradazione precoce ed incrementano la capacità portante di manufatti a matrice cementizia promuovendo un effetto cucitura in corrispondenza delle fessure ed un comportamento duttile fino a rottura. Inoltre, si è evidenziato un incremento di resistenza a fatica, della resistenza all'impatto e resistenza termica.

Le fibre più comunemente impiegate all'interno di sistemi FRC sono quelle di vetro, carbonio, acciaio, polipropilene e aramide. Tuttavia, recentemente le fibre naturali e riciclate attraggono sempre più attenzione visto che apportano maggior sostenibilità al materiale FRC e contribuiscono ugualmente a migliorarne le proprietà. In questo contesto, visto che presentano una struttura simile a quella delle fibre naturali e che sono contemporaneamente una materia prima riciclata, le microfibre tessili di scarto oggetto di studio vengono considerate come una tipologia di rinforzo promettente per l'ottenimento di sistemi FRC sostenibili e performanti.

Deve essere evidenziato che ogniqualvolta si intenda impiegare una componente di riciclo in combinazione con altri materiali, essa debba essere approfonditamente caratterizzata per predirne il comportamento in miscela e l'influenza sulle proprietà del materiale composito finale. Le microfibre sono state, quindi, soggette ad una caratterizzazione di tipo fisico e composizionale ed i risultati sperimentali sono stati impiegati come dati input per il Mix Design di quattro differenti miscele cementizie contenenti differenti percentuali di fibre (da 1% a 4% in massa). Le principali evidenze composizionali e morfologiche sono state ottenute mediante spettroscopia infrarossa (Fourier Transformed Infrared analysis - FTIR), Microscopia Elettronica a Scansione (SEM) e microscopia ottica. Particolarmente rilevanti sono state le misure di densità, contenuto di umidità e assorbimento d'acqua per il controllo della lavorabilità allo stato fresco delle miscele composite. Per la

formulazione delle miscele non è stata considerata alcuna aggiunta di superfluidificante. Nonostante ciò, l'introduzione di fibre in misura maggiore del 4% in miscela avrebbe negativamente influito sulla lavorabilità dell'impasto e si sarebbe resa necessaria l'aggiunta di additivi superfluidificanti.

L'aumento del contenuto di fibre ha significativamente promosso la riduzione del fenomeno del ritiro che, in confronto a quello della miscela di riferimento non fibrorinforzata, ha raggiunto una riduzione massima dell'80% per la miscela contenente il 4% di fibre. Lo stesso trend di miglioramento è stato osservato anche per il test a flessione per tre punti. Infatti, all'aumentare del contenuto di fibre in miscela si è osservata una crescita lineare del massimo carico a flessione e, in particolare, sono stati osservati un miglioramento da 1.5 a 4 volte rispetto al valore associato alla miscela di riferimento ed un marcato miglioramento in termini di tenacità (fino a 7 volte il valore della miscela di riferimento). Dall'altra parte, la frattura indotta dal test a flessione, in corrispondenza della sezione di mezzzeria sollecitata del campione, ha beneficiato di una graduale riduzione di ampiezza grazie all'azione di cucitura promossa dall'aumento di contenuto di fibre di rinforzo.

In aggiunta, dato che le microfibre tessili di scarto possiedono potenzialmente una bassa conduttività termica, sono state condotte misure tramite l'impiego di un termoflussimetro (Heat Flow Meter - HFM) per evidenziare un potenziale miglioramento della capacità di isolamento termico per FRC con crescenti contenuti di fibre. Come previsto, è stata osservata una riduzione lineare della conduttività termica all'aumentare del contenuto di fibre in miscela e, straordinariamente, considerando l'aggiunta del 4% di microfibre tessili il potere isolante termico è stato quasi raddoppiato in confronto a quello della miscela di riferimento non fibrorinforzata.

In conclusione, la fattibilità di riciclare microfibre tessili di scarto è stata verificata sperimentalmente ed ha prodotto risultati promettenti per la realizzazione di materiali compositi da costruzione sostenibili. L'obiettivo principale di trovare nuove applicazioni per i rifiuti tessili speciali è stato raggiunto e le aziende coinvolte nel progetto hanno potuto valutare una nuova soluzione vantaggiosa in termini ambientali ed economici per la gestione delle proprie microfibre tessili di scarto derivanti da attività di finissaggio di tessuti.

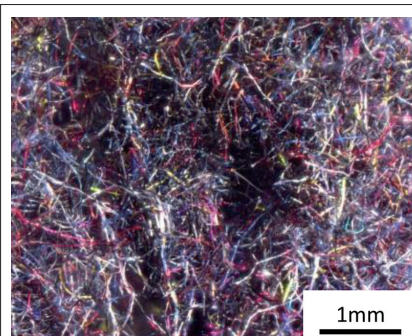


Fig.2: Microfibre tessili di scarto in esame

Sustainable and thermal insulating composite materials: cements containing recycled textile microfibres

Every year a large amount of textile waste is generated by the fashion sector. Recently this phenomenon has rapidly worsened due to the spread of the “fast fashion” concept, based on a linear economic model and mass consumption. Annual statistical reports, i.e. ISPRA Italian annual report of waste production, confirm this trend and should be regarded as warning data toward more sustainable practices and recycling solutions in all fields.

The Italian fashion sector plays an important role in national waste production; namely, it is responsible for the production of the 37.4% of the total Italian non-hazardous waste [ISPRA2020]. Depending on the activities that generated it, textile waste is classified into special and urban waste. The first, evaluated at around 490.000 ton/year in Italy [ISPRA2020], is generated by industries and collects industrial processing waste (fibres, yarns, fabrics, scraps) and unsold or old-fashioned clothes. Whereas the latter, 146.000ton/years in Italy [ISPRA2020], derives from the post-consumption of families and small activi-

ties. Actually, a part of them is reused or recycled: clothes, both from pre and post-consumer use, are collected and resold in the second-hand market or donated to charity; yarns, fabrics and scraps are selected depending on colours and materials and recycled to create new sustainable textile yarns, thermal insulating panels for buildings and as upholstery for home and transports furniture. However, all the other textile wastes and, in particular, fibres resulting from industrial processes are actually still disposed to landfill.

With this in mind and aiming to contribute to the amount increase of potentially reusable and recyclable textile waste, we proposed to face this problem by considering a new application of waste textile fibre.

Precisely, we focused on the issue of waste textile microfibres deriving from the finishing process of fabrics. The finishing of fabrics is an industrial process involved to confer particular and desired properties to the fabric surface. For example, it might be required in the fabrics production process to promote aesthetics properties, antibacterial effect, self-cleaning

capacity, anti-static properties, stain resistance, hydrophobicity, heat insulation etc.

The research work was carried out in collaboration with a consortium of four local companies of the Carpi (Modena, Italy) textile district and it was part of the project “Invest in recycling mode” aimed at promoting the eco- and social sustainability of local industrial development.

The waste microfibres from finishing were furnished directly by one of the involved companies that mainly operates in the finishing of fabrics sector and precisely in conferring aesthetics and thermal insulating properties to textile surfaces.

The surface treatment is achieved by creating a heating fluff on the fabric surface and cutting off the fibrous fluff at a desired high. As a consequence of this process, a suspension of microfibres in the air is generated, so an air filtering system is required to collect it and avoid environmental contamination. Microfibres are then mechanically compacted and disposed to landfill. The amount of waste microfibres produced solely from the finishing phase

was computed by the company at around 35ton/years and it's estimated that 5.000ton/years are produced in Italy. The total cost of waste management, the desire to reduce process environmental impact and the objective to create new business with waste products pushed the consortium's companies to start a research project in collaboration with the Department of Engineering Enzo Ferrari.

The common project issue to address was to find a new application for this textile waste, different from the well-established and commercially available applications, in order to reduce the company's cost due to waste disposal and increase the sustainability of the finishing process.

On the other hand, the use of recycled raw materials is an urgent and actual issue also for the construction sector. Indeed, in the last decade, the scientific research has focused on developing sustainable building materials to reduce the impact of constructions on the environment. Our research group is highly involved in this area and contributed to several works focused on the use of recycled aggregates and fibres (glass waste, plastic waste, tile waste, organic waste, Construction and Building concrete waste, industrial waste etc.) into organic and inorganic matrices.

Therefore, the work aimed to match the textile and construction sector demands of sustainability and recyclability by introducing the waste textile microfibrils into a cementitious matrix; thus in creating a sustainable composite building material.

This alternative and innovative application deals with Fibre Reinforced Cement (FRC) systems that are considered as a promising solution toward the optimization of cementitious materials properties. Indeed, it has been confirmed by several research works and recent CNR Italian guidelines, that fibre reinforcement might promote the reduction of shrinkage phenomenon, crack formation and crack propagation of cementitious matrix during tensile or bending loading. Thus, fibres prevent cementitious matrix early degradation and increase the bearing capacity of cement-based products by promoting a crack bridging effect and ductile behaviour during failure. In addition, others highlighted an increase of resistance to fatigue, impact resistance and resistance to thermal

stress. Generally, glass, carbon, steel, polypropylene and aramid fibres are the most commonly employed in FRC. However, natural fibres and recycled fibres are recently getting more attractive since they provide sustainability to the FRC material and enhance its properties as well.

In this contest, the involved waste textile microfibrils are considered a promising reinforcement toward more sustainable and performant FRC systems since they have a structure similar to natural fibres and are simultaneously a secondary raw material.

It must be stated that whenever a recycled component is intended to be used in combination with other materials, it must be fully characterized to predict its behaviour in the mix and its influence on the final composite material properties. Thus, the microfibrils were subjected to physical and compositional characterization and the experimental results were used as input data for the mix design of four different cement mixtures containing different fibre content (from 1%wt. to 4%wt.).

The most important compositional and morphological evidence of the recycled fibres was achieved through Fourier Transformed Infrared analysis (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM) and optical microscopy.

Whereas density, humidity content and water absorption measurements were highly involved in controlling the fresh workability of composites mixtures.

No superplasticizer addition was considered for the designed mixtures due to their good workability capacity. Nevertheless, the introduction of fibre content greater than 4%wt. would have required it since fresh paste workability was negatively affected by it.

The increase of fibre content significantly promoted the shrinkage reduction which, compared with that of the reference non-reinforced mixture, reached the maximum reduction by 80% for 4wt.% fibre content.

The same enhancement trend was observed for the three-point bending test. Indeed, the measured maximum bending load linearly increased with the growth of fibre content and, in particular, an enhancement from 1.5 to 4 times the maximum bending load of non-reinforced reference and a marked increase in toughness (up to



Fig.3: Campioni compositi per la misurazione della conduttività termica

7 times the reference one) were observed.

On the other hand, the mid-span crack induced by the bending test gradually decreased in width due to an effective crack wedging effect promoted by increasing fibre reinforcement.

Moreover, since the waste textile microfibrils were supposed to own a low thermal conductivity, measurements were performed by using a Heat Flow Meter to eventually highlight an enhancement of thermal insulating capacity of FRC for increasing fibre content in mixture. As expected, a linear reduction in thermal conductivity was observed for growing fibre content in the mix.

Outstandingly, by considering the introduction of fibres by 4%wt. the thermal insulating power was almost doubled compared to the non-reinforced mixture.

In conclusion, the feasibility of recycling waste textile microfibrils was experimentally assessed and resulted in promising data toward the sustainability of composite building materials. The main goal of finding new applications for special textile waste was reached and the companies involved in the project could evaluate a new environmental and economically advantageous solution to manage their waste textile microfibrils deriving from the finishing of fabrics.

All the mentioned figures refer to the Italian version

Fig.1: Waste textile microfibrils collected by the air filtering system

Fig.2: Waste textile microfibrils under investigation

Fig.3: Composites samples for thermal conductivity measurements