

Abstract

La *durabilità* e la *sostenibilità* dei materiali cementizi sono argomenti estremamente importanti nell'ambito dei materiali da costruzione. La durabilità è definita come l'abilità dei materiali cementizi a resistere nel tempo alle azioni di degrado, di attacco chimico, abrasione o qualunque altro processo di deterioramento. L'uso delle fibre consente di ovviare, seppur in modo parziale, al problema del comportamento fragile di tali materiali. È inoltre ampiamente dimostrato che le fibre, contrastando i fenomeni fessurativi, consentono di far fronte anche ai problemi legati alla durabilità. In letteratura sono state utilizzate diverse fibre, a seconda del composito da realizzarsi: fibre ad elevato modulo elastico vengono utilizzate per scopi strutturali (incremento di duttilità) mentre fibre con basso modulo sono utilizzate nel contrasto alla fessurazione. Nell'efficacia dell'azione esplicata dalle fibre gioca un ruolo fondamentale l'interazione fibra/matrice. Tre diverse tipologie di interazione sono riscontrabili: i) adesione di tipo fisica e/o chimica; ii) frizione e iii) ancoraggio meccanico dovuto alle deformazioni presenti sulla superficie delle fibre (ad esempio rilievi, uncini, scanalature ecc.). La sostenibilità può essere definita per tramite del concetto di sviluppo sostenibile, espresso nel 1987 dal rapporto Brundtland, come lo "*sviluppo che incontra i bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri*". Lo sviluppo sostenibile deve portare in conto la crescita economica, l'uguaglianza sociale e la protezione ambientale. L'industria delle costruzioni coinvolge tutti questi settori ed i principali problemi sono legati al consumo delle materie prime e all'emissione di CO₂ durante la produzione del cemento. Inoltre, anche la produzione della plastica e la sua relativa dismissione, pone alcuni problemi ambientali.

Detto ciò, viste le problematiche precedentemente esposte relative sia ai materiali cementizi che plastici, le ricerche di dottorato sono state dedicate allo studio della possibilità di utilizzare materiali *end-of-waste* (cioè materiali che hanno cessato di essere rifiuti e sono diventati materie prime seconde) per la produzione di fibre ed aggregati sintetici, caratterizzati da una migliore interazione di tipo meccanico con la matrice cementizia. A tale scopo, le fibre e gli aggregati sono stati prodotti in laboratorio attraverso un processo di *melt-extrusion foaming*, per ottenere una superficie scabra e porosa, capace di offrire posizioni di incastro per la matrice cementizia.

Inoltre, sono stati sperimentati sulle fibre anche due trattamenti chimici (idrolisi alcalina e deposizione tramite processo sol-gel di nano-silice), in maniera tale da incrementare l'affinità chimica con la pasta cementizia. Infine, considerando anche la necessità di ridurre il consumo delle materie prime, delle fibre e degli aggregati schiumati sono stati prodotti partendo da un materiale polimerico *end-of-waste* costituito da una miscela di poliolefine (HDPE, LDPE e PP).

L'idrolisi alcalina ha promosso la creazione di posizioni di incastro sulla superficie delle fibre ma il miglior comportamento è stato riscontrato per le fibre ricoperte di nano-silice in superficie. In questo caso è riconoscibile una più densa ITZ e sono stati osservati anche un gran numero di prodotti di idratazione tramite SEM. Le prove di pull-out hanno confermato le migliori prestazioni delle fibre trattate poiché è stato raggiunto un carico di pull-out più elevato oltre ad un incremento dell'energia di pull-out.

Successivamente, un processo di *foam extrusion* è stato utilizzato per produrre fibre polimeriche (sia vergini che riciclate) con una superficie ruvida, per incrementare la frizione meccanica con la malta cementizia. Ottimizzando la quantità di agente schiumante ed i parametri di processo è stato possibile produrre fibre con un'adeguata tessitura superficiale e diametro, tali da poter essere utilizzate per il rinforzo di una malta cementizia. Nonostante la riduzione di lavorabilità delle malte, all'aumentare della frazione volumetrica di fibre, le prove sperimentali hanno dimostrato che l'entità di tale riduzione è minore nel caso in cui vengano utilizzate fibre schiumate. Le proprietà meccaniche delle fibre diminuiscono all'aumentare della porosità delle fibre ma le proprietà meccaniche delle malte rinforzate con tali fibre (resistenza a compressione e flessione) non risultano influenzate dalla presenza delle fibre né dalla loro morfologia. La maggiore rugosità della superficie porta ad una migliore adesione fibra/matrice, come confermato dalle prove di pull-out. Lo studio della durabilità sulle malte fibro-rinforzate ha restituito buoni risultati nei confronti dell'assorbimento d'acqua per capillarità, attacco solfatico e fessurazione da ritiro plastico. In particolare, la lunghezza e la frazione volumetrica delle fibre sono dei parametri chiave nel controllo di tale fenomeno. Inoltre, i campioni di malta contenenti le fibre schiumate hanno mostrato un maggior controllo nei confronti della fessurazione da ritiro, ritardando l'apertura delle fessure e riducendo l'ampiezza delle stesse, grazie alla migliore adesione, rispetto alle malte contenenti fibre lisce.

Infine, a partire dai filamenti schiumati sono stati prodotti degli aggregati artificiali alleggeriti (LWAs). All'aumentare della sostituzione della sabbia naturale con LWAs, è stata ottenuta una marcata riduzione di densità. Inoltre, anche la lavorabilità e le proprietà meccaniche sono diminuite, ma è stato riscontrato un comportamento più duttile. La conducibilità termica e la resistenza al passaggio di vapor d'acqua diminuiscono all'aumentare della sostituzione di sabbia silicea, in maniera proporzionale alla riduzione di densità. Inoltre, l'uso della porosità degli aggregati come serbatoio d'acqua per l'*internal curing* ha riportato risultati promettenti.

In conclusione, i risultati di questo studio hanno dimostrato che l'utilizzo di fibre ingegnerizzate con una migliore adesione all'interfaccia fibra/matrice permette di ottimizzare (cioè di ridurre) la frazione volumetrica di fibre da utilizzare nelle malte cementizie. Le caratteristiche delle fibre schiumate possono di volta in volta essere cambiate ed ottimizzate, cambiando il processo di produzione. I vantaggi ottenuti sono sia in termini di controllo della fessurazione da ritiro plastico che nella lavorabilità allo stato fresco delle malte rinforzate, ma anche proprietà meccaniche e di durabilità del composito indurito. In aggiunta, utilizzando un materiale *end-of-waste*, può essere ottenuto un materiale più sostenibile. In particolare, sostituendo gli aggregati naturali con aggregati plastici, è possibile ridurre il consumo di materie prime e migliorare alcune proprietà della malta: in particolare densità, conducibilità termica e permeabilità al vapor d'acqua.