

Riassunto

La ricerca teorica e sperimentale effettuata nell'ambito di questa tesi fornisce un contributo alla comprensione del comportamento strutturale degli elementi in calcestruzzo fibro-rinforzato ad altissime prestazioni (*ultra high performance fibre reinforced concrete*, UHPFRC).

L'UHPFRC è studiato in quanto materiale cementizio innovativo, capace di offrire possibilità di innovazione specifiche nell'ambito della concezione dei ponti. La composizione ottimale del materiale gli conferisce una resistenza alla compressione elevata e, allo stesso tempo, una resistenza ed una duttilità non trascurabili in trazione, grazie alla microfessurazione. Negli elementi inflessi ciò permette di riprendere sforzi di trazione considerevoli, anche in assenza di armature tradizionali. Grazie anche alla durabilità del materiale nei confronti dell'aggressività ambientale, è possibile realizzare elementi strutturali di spessore molto contenuto.

Questa ricerca si concentra principalmente sul comportamento e sul dimensionamento in flessione di travi e piastre in UHPFRC senza armature tradizionali. Il punzonamento è altresì analizzato, quale possibile modalità di rottura. Una differenza importante rispetto ad altri tipi di calcestruzzo risiede nel fatto che, per un uso strutturale efficace dell'UHPFRC, sono necessari modelli meccanici che tengano in considerazione il suo comportamento in trazione. Modelli di tipo analitico e numerico sono stati sviluppati nell'ambito di questa ricerca per simulare la risposta non lineare in flessione di travi e piastre in UHPFRC. Grazie a tali modelli è possibile descrivere il comportamento degli elementi in stato di servizio, ma anche prevederne il carico di rottura. Tanto per la flessione quanto per il punzonamento, la ricerca teorica è sostenuta dai risultati di prove di laboratorio su travi e piastre realizzate in BSI®, un particolare tipo di UHPFRC rinforzato con il 2.5 % in volume di fibre metalliche di lunghezza pari a 20 mm.

Il modello analitico di trave inflessa considera sia la fase di multi-microfessurazione in trazione del materiale sia la propagazione di una fessura macroscopica con comportamento tensione-apertura di fessura degradante (*softening*). La multi-microfessurazione è idealizzata con un comportamento pseudo-plastico in trazione, mentre l'analisi della macro-fessura si basa sulle ipotesi di un modello a fessura coesiva. I risultati concordano con i dati sperimentali e con i risultati di modellazioni numeriche effettuate con il metodo degli elementi finiti. Basandosi sui risultati teorici e sperimentali, si dimostra che la multi-microfessurazione controlla il comportamento pre-picco e la resistenza flessionale. La fase di propagazione della macro-fessura apporta soltanto un contributo marginale alla resistenza flessionale, ma svolge, negli elementi sottili, un ruolo di rilievo per lo sviluppo della duttilità in flessione. I risultati teorici mostrano che, in presenza di deformazioni importanti in fase pseudo-plastica, l'effetto di scala sulla resistenza in flessione è molto meno importante per un UHPFRC che per altri materiali quasi-fragili. Se la fase pseudo-plastica è poco estesa, gli elementi sottili possono sviluppare resistenza e duttilità simili a quelle sviluppate da un materiale con deformazioni in fase pseudo-plastica più importanti: ciò è reso possibile dalla diminuzione lenta e progressiva delle tensioni nella fase *softening*. Nel caso di elementi spessi ed in assenza di fase pseudo-plastica, tuttavia, il comportamento si avvicina al comportamento tipico dei materiali quasi-fragili, con effetto di scala importante.

Nel caso di travi staticamente determinate o di piastre, si dimostra che per elementi sottili (spessore inferiore a 100 mm) la duttilità in trazione permette una redistribuzione efficace degli sforzi interni, con aumento rilevante della resistenza ultima e sviluppo di un comportamento simile ad un meccanismo plastico. Inoltre, rotazioni di entità significativa possono svilupparsi nella fase post-fessurativa, pur mantenendo una resistenza flessionale quasi costante. La teoria della plasticità può pertanto essere applicata per il calcolo della capacità portante di travi e piastre sottili. La definizione di un approccio per predire il momento resistente plastico permette di stimare in modo semplice il carico di rottura di elementi staticamente determinati. I risultati dell'analisi concordano con i risultati di prove su piastre di diverso spessore. A causa dell'effetto di scala importante che interessa la duttilità in flessione, tuttavia, la capacità di rotazione di elementi in UHPFRC spessi (> 100 mm) è limitata, e la teoria della plasticità non può essere utilizzata.

La ricerca sperimentale e teorica sulla rottura per punzonamento di piastre sottili in UHPFRC evidenzia l'influenza dei parametri strutturali, quali geometria e condizioni d'appoggio, sulla resistenza al taglio. Da un punto di vista teorico, l'apertura della fessura critica per la resistenza al taglio é espressa in funzione della rotazione nella piastra. É così possibile formulare un modello di calcolo che permette di esprimere il contributo delle fibre alla resistenza al taglio in funzione dei parametri strutturali. Per elementi snelli, tale approccio permette una predizione più precisa e più prudente di quella ottenuta utilizzando le norme esistenti.

Nell'ambito di un'applicazione strutturale dell'UHPFRC nella concezione dei ponti, si considera il concetto di piastra nervata. Sulla base dei risultati teorici e sperimentali, si dimostra che piastre sottili in UHPFRC (40-60 mm) senza armature tradizionali possono essere utilizzate come parti di piastre nervate di ponte stradale, poiché forniscono una resistenza alla flessione ed al punzonamento sufficiente per riprendere i carichi di traffico applicati localmente e trasmetterli agli elementi portanti principali. Con nervature precomprese, le piastre nervate in UHPFRC possono offrire una grande resistenza riducendo al contempo, ed in modo considerevole, il peso proprio della struttura. Questo concetto é interessante per la realizzazione di nuove strutture, ma anche nell'ambito del ripristino o dell'ampliamento di strutture esistenti.

Parole chiave: calcestruzzo fibro-rinforzato ad altissime prestazioni, trave, piastra, elementi sottili, struttura, ponte, piastra nervata, flessione, punzonamento, dimensionamento, calcolo plastico, fessurazione, comportamento in trazione, comportamento softening in trazione, resistenza flessionale, duttilità, effetto di scala