

# Nuove tecnologie per le opere civili nell'impiantistica industriale

Fabio Parodi  
Cresco  
Civil Engineering

Una fibra sintetica strutturale incrementa la resistenza a flessione e a fatica, la duttilità e la durabilità del calcestruzzo

L'esecuzione di opere civili costituisce da sempre un momento delicato durante il processo di realizzazione o modifica di un impianto industriale. La presenza di questa fase all'interno del percorso critico delle attività e l'elevato rischio di imprevisti, legato alla natura stessa delle lavorazioni edili, generano sovente ritardi sui tempi di completamento degli investimenti, con conseguenti danni e ripercussioni negative. In taluni casi accade che forniture già programmate di macchine da installare debbano essere sospese o immagazzinate altre volte, che le lavorazioni non possano essere completate nell'arco delle finestre di fermata. In casi peggiori si arriva a compromettere il quadro economico di progetto.

Gli investitori più lungimiranti hanno da tempo preso in seria considerazione il problema, evitando di incappare nell'errore di trascurare le opere civili per il loro modesto valore intrinseco rispetto al budget complessivo e per la loro influenza sulle performance dell'impianto.

La scelta di una squadra di gestione efficiente, la scelta di un buon team di ingegneria e di un'impresa di costruzioni affidabile sono senz'altro le migliori azioni che possano essere adottate per contenere i rischi di cui si è detto.

L'attenzione al contenimento dei tempi di lavorazione è ormai un imperativo per i soggetti che operano con consuetudine nel settore. Anticipando le lavorazioni, infatti, è possibile aumentare le probabilità di recuperare preventivamente sugli imprevisti che inevitabilmente si presenteranno.



**Un'innovazione tecnologica nel campo dei materiali per le costruzioni promette interessanti vantaggi per stabilimenti, general contractor e imprese di costruzione. Le nuove fibre Ruredil X Fiber 54-Super, mescolate al calcestruzzo, consentono di ottenere un conglomerato resistente a trazione anche senza armatura di acciaio. Fondazioni per macchinari, vie rulli, elementi trasferitori, pipe rack, attrezzature su skid, aree di stoccaggio ad altre analoghe possono essere realizzati in modo molto più semplice e veloce rispetto al passato poiché, una volta predisposto lo scavo e i casseri, il processo costruttivo si completa con il solo getto del prodotto preconfezionato senza la laboriosa fase di orditura.**

## ***New Technologies for Civil Engineering in Industrial Plants***

***New technology in construction materials domain ensures benefits for plants, general contractors and builders. The new fibers Ruredil X Fiber 54-Super (RXF 54-Super), mixed with the concrete, generate an aggregate resistant to traction stresses even if without any steel reinforcement. From now on, foundations for equipments, roller tables, transfer cars, pipe racks, skids, storage yards and similar can be carried out easily and quickly. After excavation and formwork phases, a premixed concrete can be poured without any steel reinforcement.***



Progettisti e imprese specializzati dialogano su contenuti tecnici molto diversi da quelli tipici delle costruzioni civili ordinarie, con l'obiettivo comune di ridurre al minimo le attività "in opera". In questo modo si ottengono due benefici importanti: la riduzione dei tempi e degli imprevisti in cantiere e, soprattutto, il contenimento dei ri-



**Fig. 1 - Ruredil X Fiber 54-Super**

schì per la sicurezza delle maestranze. La progettazione verte allora su soluzioni prefabbricate o preassemblabili in sito, su geometrie che privilegino la semplicità delle casserature piuttosto che il risparmio di materiale e su tecniche che riducano i rischi per i lavoratori (contenimento dei tempi di permanenza all'interno di aree pericolose quali quelle di scavo o in prossimità di linee in funzione, sostituzione di attività che richiedano impiego di attrezzature taglienti o calde, protezione degli elementi costruttivi acuminati quali ad esempio le barre di armatura metallica ecc.).

Negli ultimi decenni sono stati ottenuti progressi interessanti per quanto riguarda sia i sistemi di cassetta sia i materiali da costruzione (specialmente per i calcestruzzi) sia per le tecniche di consolidamento del terreno e di protezione dei fronti di scavo.

Invece, quasi nulla è stato fatto sul secondo ingrediente fondamentale del calcestruzzo armato: l'armatura metallica di orditura e, sino ad oggi, pur di rispettare la grandiosa intuizione di Hennebique, ci si è sempre rassegnati con deferenza alla laboriosa preparazione e messa in opera delle barre di armatura.

Specialmente per quelle opere che presentano geometrie particolarmente complesse (fori, minimi cambi di quota, cunicoli ecc.) il tempo dedicato alla fase di orditura può arrivare a rappresentare il 40% del tempo totale e può costituire, dopo la fase di scavo, la seconda minaccia di imprevisto. Infatti, la piepiegatura delle barre di

armatura, se consente di contenere i tempi di lavorazione in sito, si traduce spesso in errori di fornitura o di incompatibilità tra la soluzione teorica e quella reale.

Mi sono chiesto, giocando un pò, come reagirebbe uno di quegli operatori che hanno provato sul campo le difficoltà appena descritte di fronte a una promessa come questa: "Se hai la necessità di realizzare fondazioni in calcestruzzo per macchinari, vie rulli, elementi trasferitori, *pipe rack*, attrezzature su skid, aree di stoccaggio ecc. da oggi potrai ridurre i tempi di lavorazione del 30%, limitare enormemente i tuoi imprevisti e migliorare le condizioni di sicurezza del cantiere. Ti basterà predisporre lo scavo, i casseri, fissare gli *embedded* e gettare il calcestruzzo. No, non ho dimenticato nulla. Perché il calcestruzzo, già preconfezionato con un nuovo prodotto in centrale di betonaggio, sarà certificato e capace di resistere alle sollecitazioni senza alcuna armatura metallica. E quel che è ancora più straordinario è che, oltre a tutto questo, risparmierai circa il 5% sul costo del materiale."

### Caratteristiche meccaniche della nuova fibra per calcestruzzo

Da pochi mesi e in altre parole da quando, dopo studi che per esperienza diretta definirei "maniacali" e "infiniti", la società italiana Ruredil Spa ha introdotto nella sua gamma di prodotti una nuova fibra per il rinforzo del calcestruzzo con le performance appena descritte. Si tratta del Ruredil X Fiber 54-Super (RXF 54-Super), una fibra sintetica strutturale ad alte prestazioni, progettata per migliorare la durabilità e le proprietà meccaniche del calcestruzzo e adatta per sostituire, in particolari contesti, l'orditura metallica del calcestruzzo armato.

RXF 54-Super (**figura 1**) è una fibra ibrida, costituita cioè da un monofilamento non fibrillato a base di una miscela speciale di polimeri poliolefinici e da una fibra fibrillata di polipropilene, in grado di ridurre, e in alcuni casi eliminare totalmente, il ritiro plastico.

RXF 54-Super incrementa la resistenza a flessione, la duttilità, la resistenza alla fatica e la durabilità del calcestruzzo. A differenza delle fibre metalliche, non si corrode, non è magnetica, è resistente al 100% agli acidi, alle basi e in genere a tutti gli aggressivi, essendo chimicamente inerte.

**Tab. 1 - Valori caratteristici  $f_{FK}$  in Mpa in funzione della classe del calcestruzzo e del dosaggio di fibre**

		Dosaggio di fibre, $V_f$ (kg/m <sup>3</sup> )						
		1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
Classe Calcestruzzo	C20/25	0.11	0.14	0.18	0.21	0.25	0.29	0.32
	C25/30	0.14	0.18	0.23	0.27	0.32	0.37	0.41
	C30/35	0.17	0.22	0.28	0.34	0.39	0.45	0.50
	C35/40	0.20	0.26	0.33	0.40	0.46	0.53	0.59
	C40/45	0.23	0.30	0.38	0.46	0.53	0.61	0.68

Inoltre, è conforme alla norma UNI EN 14889-2 per applicazioni strutturali nel calcestruzzo, nelle malte e nelle malte da iniezione.

Le fibre RXF 54-Super possono essere impiegate in ogni tipo di calcestruzzo e per ogni classe di esposizione per i quali viene progettato (in accordo con la EN206).

Per la sua inerzia chimica, può essere utilizzata vantaggiosamente nel confezionamento di calcestruzzi per ambienti fortemente aggressivi, quale quello marino e dell'industria chimica e metallurgica.

Le fibre RXF 54-Super possono sostituire l'acciaio di armatura calcestruzzo in strutture di fondazione diretta o poggianti su elementi profondi (pali, micropali, diaframmi ecc.).

Le fondazioni che si prestano a essere armate con le fibre sono quelle a sviluppo prevalentemente planare o nastroformi; la fibra però non è idonea a sostituire l'armatura metallica di strutture intelaiate.

### Caratteristiche del calcestruzzo rinforzato con la nuova fibra

Per la caratterizzazione del calcestruzzo con fibre RXF 54-Super, in accordo con il criterio descritto nell'Appendice A delle linee guida CNR DT204, sulla base di risultati sperimentali eseguiti in conformità con le istruzioni UNI 11039, UNI EN 14651, ASTM C1018 e Rilem TC 162 TDF, sono state determinate le resistenze  $f_{FTU}$  secondo l'approccio del modello rigido-plastico.

I corrispondenti valori  $i f_{FTk}$  relativamente ad alcune classi di calcestruzzo e ad alcuni dosaggi di fibre sono riassunti nella **tabella 1**.

I valori della tabella sono da intendersi come caratteristici per l'utilizzo relativamente al caso della flessione in piastre su suolo elastico, nel senso specificato nell'Appendice D delle citate istruzioni CNR.

A partire dalla resistenza caratteristica (tabella 1),

h = 300 mm		Dosaggio di fibre, $V_f$ (kg/m <sup>3</sup> )						
		1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
Classe Calcestruzzo	<b>C20/25</b>	3.63	4.82	6.00	7.18	8.36	9.53	10.69
	<b>C25/30</b>	4.65	6.17	7.69	9.20	10.70	12.42	13.69
	<b>C30/35</b>	5.67	7.53	9.38	11.22	13.05	14.87	16.68
	<b>C35/40</b>	6.69	8.88	11.06	13.23	15.65	17.56	19.68
	<b>C40/45</b>	7.71	10.24	12.75	15.25	17.74	20.21	22.67

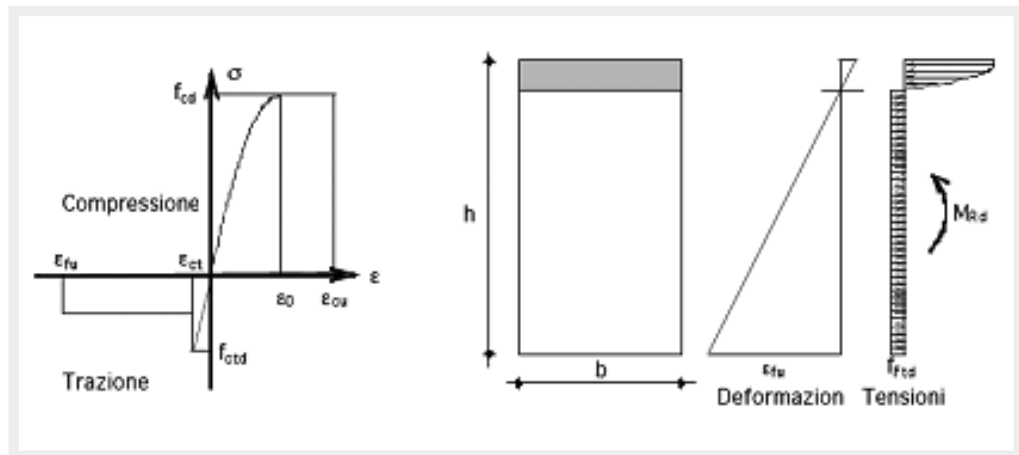
**Tab. 2 – Momenti resistenti di calcolo**

h = 400 mm		Dosaggio di fibre, $V_f$ (kg/m <sup>3</sup> )						
		1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
Classe Calcestruzzo	<b>C20/25</b>	6.45	8.57	10.67	12.77	14.86	16.93	19.37
	<b>C25/30</b>	8.26	10.97	13.67	16.36	19.03	21.69	24.33
	<b>C30/35</b>	10.07	13.38	16.67	19.94	23.20	26.43	29.66
	<b>C35/40</b>	11.89	15.79	19.67	23.52	27.36	31.18	34.98
	<b>C40/45</b>	13.70	18.20	22.66	27.11	31.53	35.93	40.31

h = 500 mm		Dosaggio di fibre, $V_f$ (kg/m <sup>3</sup> )						
		1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
Classe Calcestruzzo	<b>C20/25</b>	10.07	13.38	16.68	19.95	23.21	26.46	29.69
	<b>C25/30</b>	12.91	17.15	21.36	25.56	29.73	33.88	38.02
	<b>C30/35</b>	15.74	20.91	26.05	31.16	36.24	41.30	46.34
	<b>C35/40</b>	18.58	24.67	30.73	36.76	42.75	48.72	54.66
	<b>C40/45</b>	21.41	28.43	35.41	42.36	49.26	56.14	62.98

h = 600 mm		Dosaggio di fibre, $V_f$ (kg/m <sup>3</sup> )						
		1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
Classe Calcestruzzo	<b>C20/25</b>	14.51	19.27	24.01	28.73	33.43	38.10	42.76
	<b>C25/30</b>	18.59	24.69	30.76	36.80	42.81	48.79	54.75
	<b>C30/35</b>	22.67	30.11	37.51	44.87	52.19	59.48	66.73
	<b>C35/40</b>	26.75	35.53	44.25	52.93	61.57	70.16	78.71
	<b>C40/45</b>	30.01	39.86	49.65	59.38	69.07	78.70	88.29

**Fig. 2 – Analisi sezionale**



la resistenza di calcolo si può valutare come:

$$f_{fd} = \frac{f_{Ftk}}{\gamma_F} \quad (1)$$

in cui  $\gamma_F$  è il coefficiente parziale di sicurezza (pari a 1,3 o 1,5 dipendentemente dal tipo di controllo di qualità sul materiale, secondo le citate istruzioni).

Considerando una sezione di larghezza unitaria ( $b = 1$  m) e altezza  $h$  tra 0,3 e 0,6 m, con riferimento allo schema della **figura 2** (analisi sezionale) si hanno i momenti resistenti di calcolo della **tabella 2**.

Una stima del momento resistente di calcolo di una sezione rettangolare di larghezza  $b$  e altezza  $h$  può essere ottenuta con la relazione:

$$M_{Rd} = 0.48 \cdot bh^2 \cdot f_{Ftd} \quad (2)$$

Nel caso delle piastre inflesse, la verifica flessionale allo "stato limite ultimo" comporta il soddisfacimento della disuguaglianza:

$$\left( \frac{m_{Sdx}}{m_{Rd}} \right)^2 + \left( \frac{m_{Sdy}}{m_{Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (3)$$

in cui, in un sistema di riferimento con il piano  $xy$  nel piano della piastra,  $m_x$  ed  $m_y$  sono i momenti flettenti agenti per unità di lunghezza secondo gli assi  $x$  e  $y$  ed  $M_{Rd}$  è il momento resistente relativo a una sezione rettangolare di larghezza unitaria e altezza pari allo spessore della piastra, valutabile con i dati della tabella 2 o con l'equazione (2) ponendo  $b = 1$  e  $h$  pari allo spessore della piastra.

Si rimarca che i momenti agenti,  $m_{Sdx}$  ed  $m_{Sdy}$ ,

sono relativi a una combinazione di carico allo stato limite ultimo. La determinazione di queste sollecitazioni utilizzando per la piastra un modello elastico lineare sottostima le effettive capacità di resistenza in quanto non tiene conto della redistribuzione delle sollecitazioni dopo la fessurazione del calcestruzzo.

Non è ancora dato di sapere se questa piccola "rivoluzione" supererà le resistenze di un ambiente conservatore come è quello delle costruzioni. Si confida che le persone orientate all'innovazione e che, specialmente di questi tempi, stanno lottando sul centesimo di euro per far quadrare i propri conti trovino interessante quanto riportato in questo articolo e ne possano trarre da subito benefici tangibili. Ritengo debba essere questo il fine ultimo della ricerca. ■



Dopo aver condotto studi a Genova e a Parigi, **Fabio Parodi** si è laureato a 24 anni con lode e dignità stampa presso l'Università degli Studi di Genova in ingegneria edile. Tra il 2004 e il 2006 è stato professore a contratto presso l'Ateneo genovese.

Insieme a due soci (Antonio Parodi e Marco Panzano) ha costituito nel 2001 uno studio professionale di ingegneria civile, oggi chiamato Cresco Civil Engineering. Dallo scorso anno lo studio è associato ad Animp e Oice e opera in tre sedi (Genova, Chiavari e Bruxelles) svolgendo, in regime di qualità UNI EN ISO 9001, servizi di ingegneria civile per committenti di grande prestigio (Ansaldo Nucleare, Dufenco, Tenova, Paul Wurth ecc.) su importanti commesse in molti paesi (27 paesi a fine 2009) nei settori della siderurgia, dell'energia e dell'oil & gas.