

## ESEMPIO DI CARATTERIZZAZIONE DI ALCUNI PRODOTTI TIPICI DI RIPRISTINO AD ALTA DURABILITA'

		Legante per la fabbricazione in cantiere di calcestruzzi dotati di elevatissime resistenze meccanica e chimica con compensazione del ritiro e con eccezionale protezione contro la corrosione dei ferri d'armatura (MuCIS®).	Tricomponente cementizio fibrorinforzato. Ripristino, riparazione, costruzione di pavimentazioni industriali o opere in cls ad alta energia di deformazione.	Malta reoplastica bicomponente fibrorinforzata antiritiro ad altissima adesione e basso modulo elastico contenente inibitore di corrosione migratorio e MuCIS.	Malta reoplastica bicomponente fibrorinforzata antiritiro superadesiva contenente inibitore di corrosione migratorio e MuCIS.	Rivestimento elastoplastico impermeabilizzante protettivo anticorrosione ed anticarbonatazione.	Pittura metacrilica monocomponente in solvente per esterni trasparente o colorata, per opere civili e industriali.
Resistenza a Compressione	MPa	80	60	32	55	elastoplastico	n.d.
Resistenza a Flessione	MPa	12	13	8,5	11	elastoplastico	n.d.
MODULO ELASTICO	MPa	30.000	24.000	8.900	22.300	1	n.d.
Adesione al cls	MPa	3	3	2,6	2,9	1,3	2,5
Pull-out	MPa	>20	>20	>15	>20	n.d.	n.d.
Carbonatazione nel tempo	8 anni mm	0,1	0,1	2,5	0,1	0,1	vedi μ
	18 anni mm	0,2	0,1	12	0,1	0,1	vedi μ
	25 anni mm	0,5	0,3	14,5	0,2	0,2	vedi μ
Resist. alla penetrazione CO <sub>2</sub>	μ	11.000	15.000	1.006	14.600	62.000+135.000	2.500.000
Resist. alla diffusione VAPORE	μ	55	60	25	46	190+400	<15.000
① Res. GELO-DISGELO	gr/mq	40	300	= 0	= 0	= 0	= 0
② Permeab. ai CLORURI	Coulomb	300	440	280	105	= 0	= 0
Tipo conglomerato		CLS-betoncino	betoncino	malta fixo	malta fixo	rivestimento sottile	vernice
N. componenti		mono	tri	bic	bic	bic	mono
Spessori consigliati	mm	40-500	20-40	3-15	10-50	2	0,1
Applicazione		casserata/getti	casserata/getti	mano/spritz	mano/spritz	mano/spritz	mano/airless
Curing umido		SI	NO	NO	NO	NO	NO
Curing protetto		SE	SE	SE	SE	SE	SE
Presatura		normale	normale	accelerata	normale	normale	1h (20°C) secco
Indurimento		accelerato	normale	accelerato	normale	lento	n.d.
Compensazione ritiro		SI++	SI	SI+	SI+	SI+++	n.d.
Resa		350-400 Kg/mc	2,28 Kg/m <sup>2</sup> /mm	1,9 Kg/m <sup>2</sup> /mm	2,1 Kg/m <sup>2</sup> /mm	1,6 Kg/m <sup>2</sup> /mm	0,3+0,5 Kg/m <sup>2</sup>

1N/mm<sup>2</sup> = 1MPa = 10,19 Kg/cm<sup>2</sup>

**SE** in funzione delle condizioni applicative (pioggia - sole - temperatura - umidità - ecc...)

① Resistenza gelo-digelo in presenza di sale - SIA 1621/91 gr/mq (< 600 gr/mq = molto alta = requisito per cordoli autostradali)

② Permeabilità ai cloruri - Coulomb FHWA/RD/81 (100+1000 Coulomb = molto bassa)

**Progetto CARFIB integrato ai sistemi**  
**VHDRS<sup>®</sup> MuCis**

**4. I “SISTEMI” RAZIONALI DI RINFORZO CON COMPOSITI NELLE COSTRUZIONI**

Nel settore dell'ingegneria civile l'impiego dei materiali compositi sta diventando più frequente e il più attivo è certamente il CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE.

La casistica di impiego è molto varia e riguarda principalmente:

- a. **Incremento dei carichi sulla struttura** per esempio adeguamento alle norme dei ponti, modifica di destinazione di una struttura, etc.;
- b. **Errori di costruzione(o progettazione);**
- c. **Danneggiamento:** invecchiamento dei materiali, corrosione delle barre d'acciaio, incendi, collisioni di veicoli, etc.;
- d. **Miglioramento della risposta statica delle strutture:** riduzione delle deformazioni, controllo della ampiezza delle fessure, etc.;
- e. **Modifiche dello schema strutturale:** demolizioni di parti strutturali.
- f. **Dissesti:** cedimenti differenziali di fondazioni, cedimenti di catene, etc.

A fronte di una casistica di cause così varia si pone la necessità di una sempre più elevata specializzazione sia dei progettisti che le imprese. La comprensione del problema è spesso legata alla valutazione di innumerevoli fattori di carattere ambientale, strutturale e chimico-fisica dell'organismo strutturale in esame. Per tale motivo è necessario intervenire “restaurando” iniziando con un approccio razionale sulla valutazione delle cause e l'entità del degrado o danno subito.

Il restauro deve mirare, nel caso di strutture in c.a., al ripristino del copriferro interessato da processi di ammaloramento dovuto, ad esempio, a carbonatazione o aggressione da sali cloruri ovvero per esigenze legate a incremento di portanza degli elementi strutturali a seguito di danneggiamenti o per semplice “retrofit” a futuri eventi eccezionali.

Le soluzioni di intervento devono essere concepite secondo “sistemi” in grado di risolvere il problema del restauro compatibilmente all'entità della causa e alle caratteristiche fisico-meccaniche del supporto nonché alla durabilità.

Nell'ambito di tali problematiche, la Tecnochem Italiana ha intrapreso da anni ricerche nel settore della riparazione e protezione di strutture in c.a., restauro e consolidamenti di

murature sviluppando una gamma di sistemi in grado di risolvere in modo razionale e completo la vasta casistica dei problemi da affrontare.

La Tecnochem è da anni attiva in importanti progetti di ricerca dai quali sono nate innovazioni sia nel campo della protezione e rinforzo del cls con sistemi VHDRS<sup>®</sup> (Very High Durability Repair and Prevention System) la cui efficacia è principalmente legata all'ultima generazione di MuCis<sup>®</sup> (Multiple Corrosion Inhibiting Synergies). Tali sistemi costituiscono un presupposto importante ai fini della durabilità delle strutture e soprattutto requisito fondamentale ai fini di un successivo rinforzo con sistemi compositi CarFib. Innovazioni si trovano anche nel campo degli interventi su edifici in muratura sia per consolidamenti strutturali che protezioni superficiali. Una sintesi del sistema VHDRS<sup>®</sup>-CarFib è riportata nella successiva tabella I.

Nella seguente figura 6 viene riportata una comparazione delle principali caratteristiche meccaniche dei sistemi CarFib con quelle dell'acciaio tipo Fe B 44. Si può notare che mentre sotto il profilo delle rigidità il modulo dell'acciaio viene superato solo dalla fibra di carbonio, il limite di snervamento, invece, è inferiore al limite di crisi di tutti sistemi in fibra speciale. Per questi ultimi il comportamento meccanico è di tipo elasto-fragile, ossia elastico lineare fino a rottura.

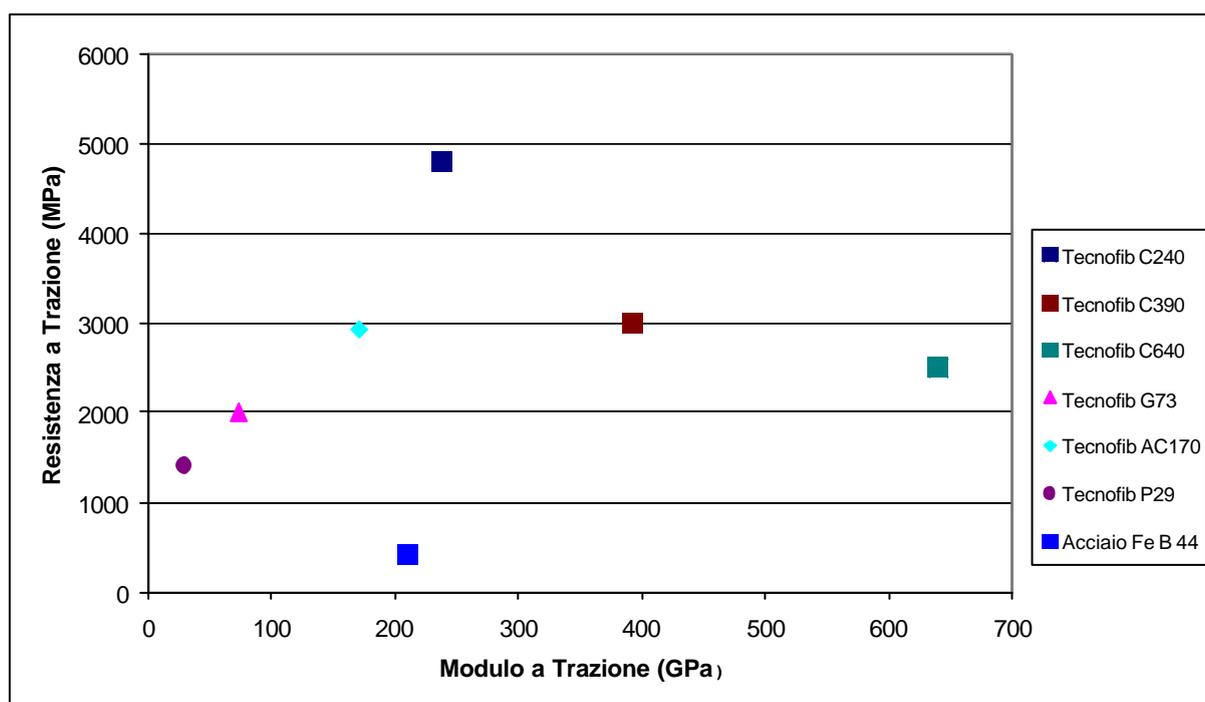


Fig. 6: Diagramma resistenza – modulo elastico dei sistemi CarFib

Tabella I: SISTEMA VHDRS®-CarFib

PRODOTTO	DESCRIZIONE	CARATTERISTICHE (peculiari)	IMPIEGO
<b>MuCis® Protezione ferro</b>	Boiaccia protettiva ad alto potere passivante per il trattamento dei ferri d'armatura contenente MuCis®	Resistenza a compressione: 25 Mpa Modulo elastico: 8000 Mpa Adesione al cls: > 1,5 MPa	Trattamento dei ferri di armatura dopo scarifica e prima del ripristino.
<b>MuCis® BS 38 bic</b>	Malta reoplastica bicomponente fibrorinforzata antiritiro ad altissima adesione e basso modulo elastico.	Resistenza a compressione: 8,5 Mpa Modulo elastico: 8900 Mpa Adesione al cls: 2,6 MPa	Rasature e ripristini anticorrosione per cls e murature.
<b>Tecnoepo R</b>	Stucco adesivo epossidico bicomponente a presa rapida, tixotropico per riparazioni, stuccature ed ancoraggio prigionieri.	Resistenza a trazione: ≥ 25 Mpa Modulo elastico: ≥ 7.5 Gpa Adesione al cl: > 3 MPa	Rasature e regolarizzazione di superfici in cls e murature.
<b>Tecnoepo 700</b>	Primer epossipoliamicco per la preparazione e consolidamento di superfici di strutture da rinforzare con sistemi CarFib	Resistenza a trazione: ≥ 25 Mpa Modulo elastico: ≥ 5.0 Gpa Adesione al cl: > 3 MPa	Primerizzazione della superficie che ospiterà il rinforzo in composito, previa regolarizzazione della stessa.
<b>Tecnoepo 701-Tecnoepo 701/L</b>	Adesivi epossidici per l'incollaggio di sistemi CarFib	Resistenza a trazione: ≥ 25 Mpa Modulo elastico: ≥ 5.0 Gpa Adesione al cl: > 3 MPa	Adesivo del composito per incollaggio al supporto. In caso di tessuto l'adesivo deve impregnare completamente i fili.
<b>Tecnofib C240</b>	Tessuto in fibra di carbonio unidirezionale termosaldato.	Resistenza a trazione: 4800 Mpa Modulo elastico: 240 Gpa Allungamento: 2 %	Rinforzi di strutture in c.a. e c.a.p., murature, strutture a guscio, archi murari, strutture di contenimento liquidi.
<b>Tecnofib C390</b>	Tessuto in fibra di carbonio unidirezionale termosaldato.	Resistenza a trazione: 3000 Mpa Modulo elastico: 400 Gpa Allungamento: 1,1 %	Rinforzi di strutture in c.a. e c.a.p., murature, strutture a guscio, archi murari, strutture di contenimento liquidi.
<b>Tecnofib C640</b>	Tessuto in fibra di carbonio unidirezionale termosaldato.	Resistenza a trazione: 2500 Mpa Modulo elastico: 640 Gpa Allungamento: 0.5 %	Rinforzi di strutture in c.a. e c.a.p., murature, strutture a guscio, archi murari, strutture di contenimento liquidi.
<b>Tecnofib AC170</b>	Tessuto in fibra ibrida di carbonio/aramide unidirezionale termosaldato.	Resistenza a trazione: 3800 Mpa Modulo elastico: 171 Gpa Allungamento: 2.5-3 %	Rinforzi di strutture soggette a vibrazioni, quali ponti, strutture ferroviarie, murature e strutture a guscio.
<b>Tecnofib G73</b>	Tessuto in fibra di vetro tipo AR unidirezionale termosaldato.	Resistenza a trazione: 2000 Mpa Modulo elastico: 73 Gpa Allungamento: 3,5 %	Rinforzo di murature, tamponature, strutture a guscio, colonne, solai.
<b>Tecnofib P29</b>	Tessuto in fibra di polivinilcol unidirezionale termosaldato	Resistenza a trazione: 1400 Mpa Modulo elastico: 29 Gpa Allungamento: 6 %	Rinforzo di murature, tamponature, strutture a guscio, colonne, solai.
<b>Tecnofib CW240</b>	Rete di carbonio bidirezionale termosaldato	Resistenza a trazione: 4800 Mpa Modulo elastico: 240 Gpa Allungamento: 2 %	Rinforzo di strutture a prevalente comportamento a lastra come solai, volte, pareti in muratura.
<b>Tecnoplate-serie</b>	Lamine di tessuto unidirezionale di carbonio in diversi formati.	Resistenza a trazione: 2400-3500 Mpa Modulo elastico: 177-270 Gpa Allungamento: 0,8-1,2 %	Rinforzi di strutture in c.a. e c.a.p., murature, strutture a guscio, archi murari, strutture di contenimento liquidi.

## 5. ALCUNI ASPETTI PROGETTUALI

Dal punto di vista progettuale i sistemi VHDRS<sup>®</sup>-CarFib offrono un ampio spettro di soluzioni legate alla compatibilità con il materiale originario, aderenza al supporto e trasmissione degli sforzi interni attraverso tensioni tangenziali all'interfaccia tra supporto e rinforzo nonché rigidità richiesta per la sicurezza.

Il meccanismo con cui essi agiscono è legato alla tipologia dell'elemento strutturale da consolidare e alla origine del degrado o dissesto da riparare. Nel caso delle murature, per esempio, le tipologie che di frequente richiedono un rinforzo sono archi o volte e setti murari.

Nelle strutture ad arco o volte è ben noto che la stabilità statica è garantita, almeno dal punto di vista teorico, dal centramento entro il terzo medio della sezione della curva delle pressioni. Tale presupposto è legato alla tipologia dell'arco (o volta) e soprattutto dalla distribuzione dei carichi esterni. Un sovraccarico concentrato, soprattutto in prossimità dei  $\frac{3}{4}$  della luce di un arco, o una azione orizzontale dovuta, ad esempio, al sisma può indurre, in alcune sezioni, una forte eccentricità alla curva delle pressioni e quindi può instaurare l'innescò di meccanismo con un cinematismo che è funzione delle

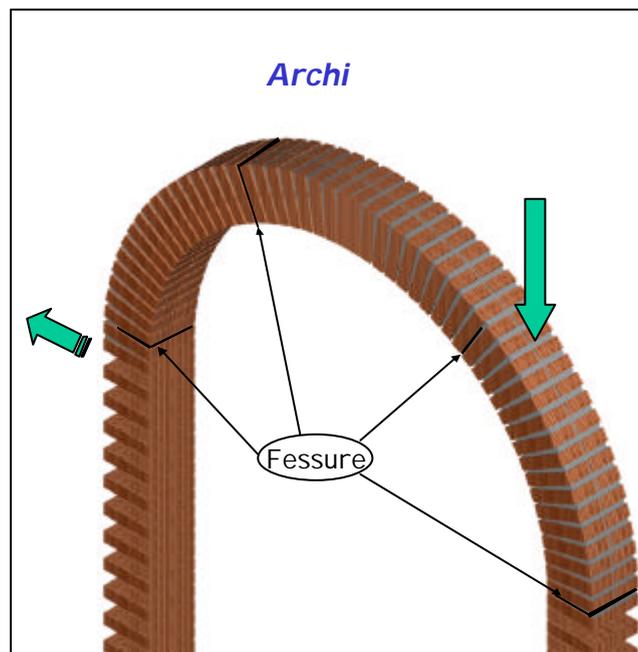


Fig. 7: Fessurazione arco

cerniere che si formeranno. E' ovvio che in una struttura ad asse curvilineo, nell'ipotesi

di inamovibilità delle imposte, il primo meccanismo che si può formare è quello induce almeno 4 cerniere in altrettante sezioni distinte con un grado di labilità pari al minimo: ossia 1. Le cerniere avranno il loro asse in prossimità del profilo interno ed esterno dell'arco in modo alternato e pertanto dal punto di vista meccanico basterà impedire l'innescò di almeno una di esse per limitare il grado di libertà della struttura e quindi trasformarla al più in un arco a 3 cerniere (fig. 7).

L'intervento può consistere, dunque, nel fare aderire alla superficie estradossale o intradossale dell'arco opportuni strati di tessuti di fibra speciale, purché sia stato preparato opportunamente il supporto (fig. 8).

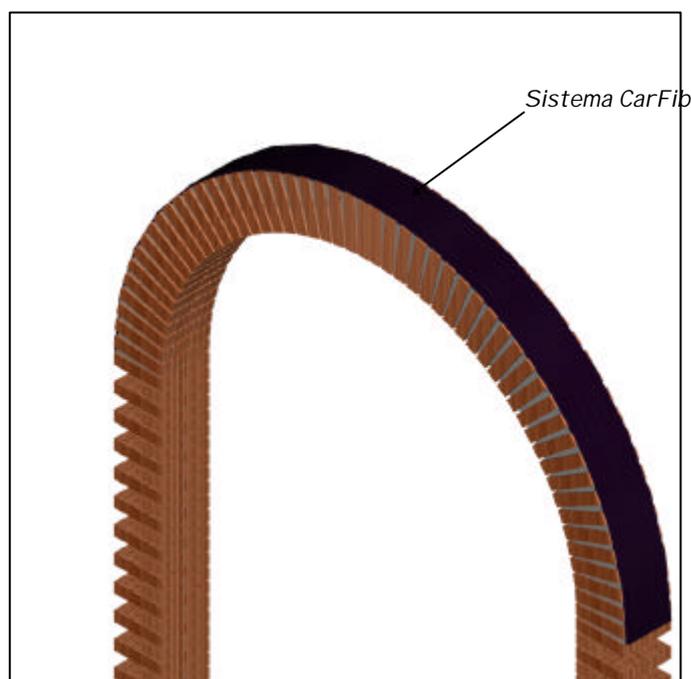


Fig. 7: Rinforzo con sistema CarFib

Nelle strutture in c.a. cause di dissesto unitamente a quelle di degrado del cls possono indurre una riduzione della resistenza flessionale negli elementi trave con conseguente formazione di evidenti fessure. Un sistema VHDRS<sup>®</sup> realizza un presupposto importante ai fini della durabilità della struttura e soprattutto requisito fondamentale ai fini di un successivo rinforzo con sistemi CarFib (vedi figg. 8-9).

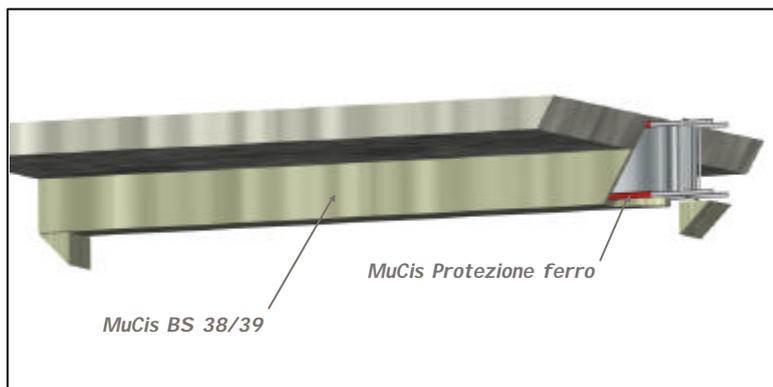


Fig. 8: Riparazione con sistema VHDRS<sup>®</sup>

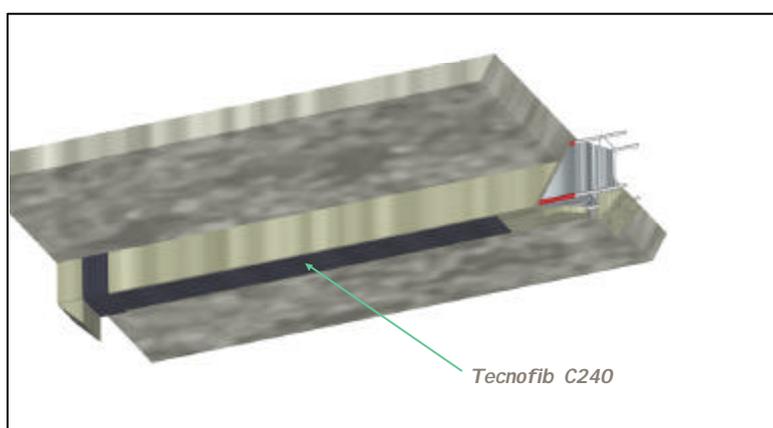


Fig. 9: Rinforzo con sistema CarFib

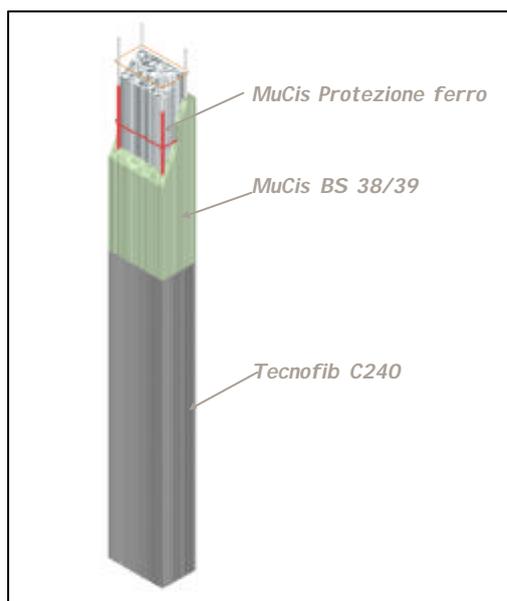


Fig. 10: Rinforzo con sistema VHDRS<sup>®</sup>-CarFib dei pilastri

## **6. CONCLUSIONI**

I sistemi di riparazione e rinforzo con materiali compositi rappresentano tutt'oggi una innovativa frontiera nel campo del restauro. Essi hanno portato un sostanziale miglioramento alle tecniche di restauro soprattutto nei riguardi del rispetto architettonico dell'opera. Costituisce un campo in continua evoluzione e necessita tutt'oggi di una normativa di unificazione. Tuttavia esperienze sul campo hanno già dato importanti risultati che attestano la validità del metodo.

Gli aspetti progettuali esaminati costituiscono un breve indirizzo all'uso di tali sistemi nell'ambito, ad esempio, delle murature che pertanto dovrà essere esaminato dal punto di vista tecnico caso per caso.