
Università degli Studi di Napoli Federico II

Facoltà di Ingegneria



Comunità Europea
Fondo Sociale Europeo

Dottorato di Ricerca
in Ingegneria delle Costruzioni

XVIII ciclo

Tesi di Dottorato

I materiali compositi fibrorinforzati
nel recupero degli edifici storici

Spiezia Pasquale

Novembre 2005

Coordinatore

Prof. Ing. F.M. Mazzolani

Tutor

Prof. Arch. Marina Fumo

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	1
1.1.	Scopo e metodologia della ricerca	1
2.	I MATERIALI COMPOSITI FIBRORINFORZATI.....	6
2.1.	Generalità	6
2.2.	Materiali compositi fibrorinforzati a fibre corte.....	10
2.2.1.	Le fibre di vetro	10
2.2.2.	Le fibre aramidiche	12
2.2.3.	Le fibre di carbonio.....	12
2.2.4.	Le fibre di polivinilalcol	12
2.3.	Materiali compositi fibrorinforzati a fibre lunghe	14
2.3.1.	Tipologia e classificazione delle fibre.....	17
2.3.2.	Le fibre di vetro	20
2.3.3.	Le fibre di carbonio.....	24
2.3.4.	Le fibre aramidiche	26
2.3.5.	Altre tipologie di fibre	29
2.4.	Le matrici.....	31
2.4.1.	Le resine, Generalità	31
2.4.2.	Le resine termoindurenti	32
2.4.3.	Le resine termoplastiche	34
2.4.4.	Proprietà delle resine	36
2.4.5.	Le resine in edilizia	38
2.4.6.	Le resine epossidiche	39
2.4.7.	Altri tipi di resine	40
2.5.	I materiali compositi FRP in edilizia	43
3.	IL RECUPERO DEGLI EDIFICI STORICI.....	52

3.1.	Tecniche e materiali nelle teorie del restauro	52
3.2.	Le tecniche innovative per il consolidamento strutturale	60
3.3.	I compositi fibrorinforzati in matrice organica	64
3.4.	Campi di impiego ricorrenti negli edifici antichi	67
3.5.	Modalità di applicazione	71
3.6.	Materiali compositi a matrice inorganica	74
3.7.	Classificazione dei prodotti in commercio	76
3.8.	La scelta della tecnica di intervento.....	78
3.8.1.	La compatibilità.....	80
3.8.2.	La durabilità.....	82
3.8.3.	La reversibilità	84
3.9.	Parametri di confronto.....	89
4.	SPERIMENTAZIONE	93
4.1.	Prove sperimentali per la valutazione della reversibilità.....	93
4.2.	Serie di provini realizzati.....	95
4.3.	Macchine di prova.....	96
4.4.	Modalità e condizioni di prova.....	99
4.5.	Serie LT – tessuto in fibra di carbonio su laterizio	100
4.5.1.	Analisi dei risultati della serie di test LT.....	106
4.5.2.	Conclusioni	109
4.6.	Serie MT – tessuto in fibra di carbonio su marmo.....	110
4.6.1.	Analisi dei risultati della serie di test MT.....	116
4.6.2.	Conclusioni	118
4.7.	Serie LL – lamina in fibra di carbonio su laterizio.....	120
4.7.1.	Analisi dei risultati della serie di test LL.....	128
4.7.2.	Conclusioni	129
4.8.	Serie ML – lamina in fibra di carbonio su lastra di marmo.....	130

4.8.1.	Analisi dei risultati della serie di test ML	136
4.8.2.	Conclusioni.....	136
4.9.	Test di valutazione dell'alterazione superficiale.....	138
4.9.1.	Analisi dei risultati ottenuti.....	143
5.	CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI.....	145
6.	BIBLIOGRAFIA	149
	APPENDICE A	159
	APPENDICE B	181
	APPENDICE C	209

1. INTRODUZIONE

1.1. Scopo e metodologia della ricerca

Lo scopo del presente lavoro è una analisi critica sull'impiego di materiali innovativi nel recupero del patrimonio edilizio di interesse storico, con particolare riferimento ai materiali compositi fibrorinforzati(FRP), in quanto materiali sempre più utilizzati ed in continua evoluzione.

La ricerca prende in esame le diverse fasi dell'intervento, dalla scelta del tipo di applicazione alla sua progettazione, realizzazione e controllo nel tempo, con lo scopo di fornire un contributo in relazione ai problemi connessi alla durabilità e reversibilità delle applicazioni nel lungo periodo.

L'attuale tendenza al riuso del patrimonio edilizio esistente ha spostato, almeno in parte, l'attenzione della ricerca dalle soluzioni per la nuova edificazione allo studio di tecniche e materiali destinati al recupero dell'esistente, in particolare dell'edificato di carattere storico.

La conseguenza più evidente è stato, negli ultimi anni, il proliferare di brevetti, tecniche e materiali specifici per esigenze caratteristiche dei cantieri di recupero, non solo di tipo strutturale, ma anche di carattere funzionale, si pensi ad esempio a tutte le linee di prodotti destinate al raggiungimento di adeguati livelli di comfort termigrometrico, come intonaci deumidificanti, isolanti, ecc...

In questo panorama i materiali compositi fibrorinforzati costituiscono una delle innovazioni che maggiormente hanno preso piede nel campo del recupero in Italia, al punto che oggi, in quasi tutti gli interventi di consolidamento di una certa importanza, sono presenti applicazioni di materiali FRP.

Per materiali compositi in generale si intendono dei materiali derivati dalla combinazione di due o più componenti di diversa natura allo scopo di raggiungere prestazioni più elevate rispetto ai singoli materiali costituenti, in particolare la

presente ricerca si concentra sui materiali compositi fibrorinforzati in matrice polimerica (FRP, Fiber Reinforced Polymer) con un breve accenno ai materiali fibrorinforzati in matrice cementizia (FRCM, Fiber Reinforced Cementitious Matrix)

La tecnologia dei materiali compositi fibrorinforzati non è nata per il campo edilizio ma per settori tecnologicamente più avanzati, come quello aeronautico, aerospaziale, meccanico, navale e della difesa, dove si ha un ritorno più rapido e consistente rispetto alle risorse impiegate in fase di messa a punto delle nuove tecnologie: telai in fibra di carbonio, scafi in fibra di vetro, giubbotti antiproiettile in kevlar sono di uso ampiamente diffuso da decenni.

Una volta che l'impiego degli FRP si è consolidato ed ha saturato questi settori di nicchia tutto il knowhow è stato esportato nel settore edilizio, meno avanzato dei precedenti e ancora in grado di assorbire grandi quantità dei nuovi prodotti dopo anni dalla loro entrata in produzione.

Questa non vuole essere una critica al fatto che gli FRP siano arrivati all'edilizia come sottoprodotto di tecnologie più avanzate, è naturale, in un campo regolato da leggi di mercato, che gli sforzi e i risultati vengano indirizzati inizialmente verso settori più redditizi, e successivamente estesi agli altri per trarne il massimo profitto.

Il passaggio all'edilizia non è comunque stato immediato, dovendo adattare i materiali ad applicazioni molto diverse da quelle per le quali erano stati progettati.

La ricerca inizialmente si è concentrata sulle proprietà meccaniche dei materiali, ovvero sulla capacità di migliorare il comportamento delle strutture su cui essi sono applicati. In generale si può affermare che, da questo punto di vista, mediante l'impiego di FRP si ottengono incrementi di resistenza e duttilità delle strutture, l'argomento sarà approfondito nei capitoli successivi.

Il passo successivo è quello di verificare la durabilità degli interventi, ovvero il comportamento a lungo termine dei materiali. Si sono riscontrati numerosi studi condotti in laboratorio in merito al comportamento del materiale sottoposto a cicli di

invecchiamento artificiale, tuttavia mancano monitoraggi estesi per applicazioni reali di materiali, e quindi dati sul comportamento del sistema materiale-supporto nelle reali condizioni di esercizio. Questo aspetto, come si esplicherà nei capitoli successivi, assume particolare rilevanza nel caso degli edifici di carattere storico, proprio in virtù delle particolarità che se ne vogliono preservare.

Sempre l'applicazione ad edifici di interesse storico ha posto l'attenzione su altri aspetti che esulano dal campo strettamente strutturale, per ricollegarsi a quelle che sono le teorie del restauro ed il concetto di sostenibilità in edilizia, si tratta delle caratteristiche di compatibilità delle applicazioni con il supporto originario e di reversibilità delle stesse.

La compatibilità delle applicazioni riguarda sia la compatibilità chimico-fisica dei materiali, che quella dell'applicazione con i valori storici, artistici ed estetici del manufatto originario. Mentre per il primo aspetto è possibile avere indicazioni esatte da discipline scientifiche quali la chimica, la tecnologia dei materiali, la fisica, il secondo aspetto è più difficile da valutare, a causa della mancanza di una scala oggettiva di misurazione di un concetto astratto come quello sopra esposto; in questo intervengono diversi fattori dalla scala più ampia delle teorie del restauro e delle indicazioni delle soprintendenze, fino a quella limitata al singolo caso, come la sensibilità e l'esperienza del progettista e le particolari condizioni dell'edificio oggetto di intervento.

La reversibilità riguarda la possibilità di eliminare gli effetti dell'intervento, riportando il manufatto alle stesse condizioni in cui si trovava prima del consolidamento. Anche in questo caso si evidenziano le stesse incertezze dovute alla mancanza della definizione oggettiva di una scala di reversibilità degli interventi. L'argomento sarà sviluppato nei capitoli successivi, cercando di mettere in risalto gli elementi che possono concorrere alla definizione di tale scala, ed evidenziando gli aspetti di reversibilità di alcune applicazioni.

Il lavoro svolto si è articolato in diverse fasi, per prima cosa si è effettuata una ricerca bibliografica ragionata, per arrivare alla definizione dello stato dell'arte nel campo dell'impiego degli FRP agli edifici storici, tale fase ha riguardato in particolare lo studio organico di risultati di ricerche nazionali ed internazionali sui diversi aspetti sopra illustrati. Tale ricerca è stata integrata da una selezione di casi di studio ritenuti di particolare interesse. I casi sono stati esaminati attraverso lo studio del materiale documentario disponibile, sopralluoghi, colloqui ed interviste con i soggetti interessati (progettisti, imprese, Soprintendenze).

La fase conoscitiva della ricerca è stata completata con la catalogazione dei diversi prodotti e dei sistemi di rinforzo proposti sul mercato dalle imprese produttrici, evidenziandone le diverse caratteristiche e modalità di impiego.

Il contributo personale alla ricerca riguarda una sperimentazione sulla reversibilità dei materiali compositi fibrorinforzati testando le modalità e gli effetti del distacco di alcune applicazioni di FRP su differenti supporti portati artificialmente a diversi livelli di invecchiamento. Un'ulteriore fase sperimentale è stata seguita, nell'ambito del programma Socrates-Erasmus, presso l'Universitatea Politehnica din Timisoara ed ha riguardato il comportamento di murature consolidate mediante wrapping con tessuti in FRP (fibre di carbonio e vetro) applicati su una singola faccia della parete; titolari di tale sperimentazione sono il Prof. Valeriu Stoian direttore del dipartimento di costruzioni ed il Dottore di Ricerca Tamas Nagy-György.

Scopo finale del lavoro è quello di fornire un quadro completo dello stato attuale dell'impiego di FRP nel recupero dell'edificato storico, in modo da fornire delle linee guida per la scelta del tipo di intervento ottimale in relazione ai singoli casi in esame, affiancando alle motivazioni di carattere puramente strutturale quelle, altrettanto importanti, relative alla reversibilità delle applicazioni ed alla loro compatibilità con il manufatto, nel senso esteso precedentemente chiarito.

2. I MATERIALI COMPOSITI FIBRORINFORZATI

2.1. Generalità

I materiali compositi, secondo la definizione generica comunemente utilizzata¹ sono costituiti da due o più materiali, o fasi, di natura diversa e macroscopicamente distinguibili ed almeno due delle fasi presentano caratteristiche fisiche e meccaniche sufficientemente diverse tra loro, in modo da impartire al composito proprietà differenti da quelle dei costituenti.

Spesso con la denominazione di materiali compositi si indicano quelli che invece sono correttamente definiti materiali compositi fibrorinforzati in matrice polimerica FRP (Fiber Reinforced polymer), costituiti da una matrice organica e fibre ad elevate proprietà meccaniche, che, per quanto detto, costituiscono un sottoinsieme dei materiali compositi.

Secondo la definizione data molti altri materiali rientrano nella categoria dei compositi, ad esempio il più diffuso è il calcestruzzo armato in cui cemento, inerti, acciaio ed eventuali additivi costituiscono le fasi di un prodotto finale che presenta caratteristiche proprie.

Lo tecnologia del rinforzo di materiali mediante l'uso di fibre risale a tempi molto antichi, la prima testimonianza di mattoni in terra cruda essiccata rinforzati con paglia si trova nella città di Çatal Hüyük, in Anatolia, datata dagli archeologi intorno al 6500 AC. Un esempio più vicino nel tempo e nello spazio è costituito da malte ed intonaci che gli antichi romani rinforzavano con fibre animali, secondo una tecnica che è stata utilizzata fino agli inizi del XX secolo.

¹ Cfr. CNR-DT 200/2004 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati", Roma, CNR 13 luglio 2004



Figura 1: gli scavi di Çatal Hüyük



Figura 2: Intonaco composito in un villaggio rumeno

Ancora oggi ci sono vaste regioni del mondo in cui si usano tecniche del tutto simili; in genere si tratta di aree povere di Africa, America del Sud ed Asia, ma non mancano esempi in alcune zone dell'Europa. Nei paesi più ricchi, invece, si assiste negli ultimi decenni ad una riscoperta di questi sistemi basati su materiali naturali, ma in genere si tratta di episodi legati al filone della bioarchitettura e costituiscono casi sporadici.

A partire dalla metà del XIX secolo si assiste ad una ricerca basata su sperimentazioni scientifiche su materiali rinforzati con fibre ed agli inizi del XX secolo viene messa a punto la prima macchina per la produzione di cemento-amianto, materiale composito largamente usato per tutto il secolo scorso, fino a quando è stato bandito a causa dell'accertata nocività delle fibre di amianto per l'organismo umano. Il successo iniziale del cemento amianto, rivelatosi un materiale dalle ottime caratteristiche e valido per un largo campo di impieghi, aveva già portato ad una ricerca di altre soluzioni simili che prevedessero l'uso di fibre di diversa natura; questo processo poi è stato accelerato dalla necessità di trovare un sostituto dell'amianto, quando ci si è resi conto della sua nocività.

Oggi si utilizzano fibre naturali (NFRC, natural fiber reinforced concrete), metalliche (SFRC, steel fiber reinforced concrete) e sintetiche (SNRFC, synthetic fiber reinforced concrete).

Delle fibre naturali si è già accennato in precedenza; le fibre metalliche presentano buone prestazioni, tuttavia hanno l'inconveniente di essere soggette a corrosione. Questo fenomeno è in parte limitato dall'ambiente alcalino costituito dal calcestruzzo che le circonda, tuttavia questa protezione non è affidabile per diversi motivi. Il calcestruzzo è in genere soggetto a ritiro e tende a fessurarsi, anche se spesso si tratta di microfessure si creano comunque delle vie di contatto tra le fibre e gli agenti aggressivi dell'ambiente esterno. La fessurazione è parzialmente limitata dalla presenza delle fibre stesse, inoltre è possibile realizzare un calcestruzzo con proprietà antiritiro, ma anche queste soluzioni non garantiscono dalla corrosione, infatti le fibre si trovano inglobate nell'impasto con pochi millimetri di copriferro e quindi vengono raggiunte dagli agenti esterni, anche nei calcestruzzi più compatti, avviando il processo di corrosione. Tale processo poi si autoalimenta in quanto le fibre stesse ossidandosi aumentano di volume causando fessurazioni nel calcestruzzo e quindi nuove vie di contatto con l'esterno.

Questi problemi, parzialmente risolti mediante l'impiego di fibre in acciaio inossidabile, hanno portato allo sviluppo di altre fibre strutturali, di natura sintetica, più resistenti agli attacchi chimici.

Inizialmente lo studio è stato rivolto alla messa a punto di un tipo di fibra che potesse sostituire quella di acciaio nel rinforzo del calcestruzzo, e successivamente si è sviluppato in altre direzioni fino agli attuali impieghi nei diversi tipi di materiali compositi.

Le fibre utilizzate oggi possono essere di diversa natura ed ottenute secondo diversi processi, presentando caratteristiche molto differenti in funzione delle variabili di produzione. In generale comunque presentano alcuni vantaggi rispetto alle fibre di acciaio: sono più durevoli, più leggere e consentono una maggiore lavorabilità dell'impasto.

Una prima classificazione dei materiali compositi fibrorinforzati può essere fatta in base alla geometria delle fibre: in funzione della lunghezza si distinguono compositi a fibra lunga o a fibra corta mentre in funzione della disposizione si distinguono i compositi a fibre orientate che presentano tutte le fibre orientate nella stessa direzione da quelli a fibre non orientate che presentano una disposizione casuale delle stesse.

2.2. Materiali compositi fibrorinforzati a fibre corte

Si definiscono materiali compositi a fibra corta quei materiali in cui la matrice organica o inorganica è rinforzata dalla presenza di uno o più materiali fibrosi di dimensioni ridotte. Le fibre possono essere lineari o piegate, con o senza fibrillature e si presentano disperse nella matrice in tutte le direzioni, creando in tal modo una tessitura multidirezionale distribuita che migliora il composito in termini di caratteristiche quali tissotropia, duttilità, resistenza a trazione, modulo elastico, durabilità, ritiro, resistenza agli urti, resistenza all'abrasione e resistenza al fuoco.

In generale l'aggiunta di fibre abbassa la lavorabilità e la fluidità del materiale, quindi è opportuno tenere conto di questo effetto, ad esempio intervenendo con l'impiego di fluidificanti.

Le fibre più utilizzate per la realizzazione di materiali compositi a fibre corte destinati al settore edile sono le fibre di vetro, le fibre di polivinilalcol, le fibre di carbonio e le fibre aramidiche, ciascuna con le sue caratteristiche peculiari che la rendono più o meno adatta ad i diversi impieghi; le stesse fibre sono utilizzate anche nella realizzazione di materiali compositi a fibre lunghe, pertanto nei paragrafi successivi saranno trattate solo nell'ottica dell'impiego nei compositi a fibra corta, per poi avere una trattazione più approfondita nel capitolo sui compositi a fibra lunga.

2.2.1. Le fibre di vetro

Le fibre di vetro sono prodotte per fusione, trafilatura e veloce raffreddamento di particolari vetri, generalmente composti di alluminio-boro silicati (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , B_2O_3 , Na_2O , ZrO_2) da cui derivano i vari tipi di prodotto in commercio caratterizzati da diverse proprietà.

Nella tabella 1 sono riportati i differenti tipi di fibra e le principali proprietà che li contraddistinguono.

TIPOLOGIE E CARATTERISTICHE DELLE FIBRE DI VETRO		
TIPO DI FIBRA	COMPONENTI	PROPRIETÀ CARATTERISTICHE
E-GLASS	Silicato di calcio	Ordinarie – uso generico
ECR-GLASS	Silicato di calcio in assenza di boro	Resistenza agli acidi
S-GLASS	Silicato di magnesio	Resistenza meccanica ed al calore
C-GLASS	Carbonato di Sodio-calce-borosilicato	Alta resistenza alla corrosione
AR-GLASS	Ossidi di alluminio calcio magnesio, zirconio e di torio	Resistenza agli alcali – uso in matrice cementizia
Tabella 1		

Le fibre di vetro presentano caratteristiche inferiori a quelle delle fibre aramidiche o di carbonio, ma hanno il vantaggio di un costo più basso: per questo motivo sono spesso utilizzate in combinazione con le altre per ottenere un rinforzo di proprietà intermedie e costi contenuti. Presentano comunque buone proprietà, quali un'ottima compatibilità con le matrici organiche, mentre hanno lo svantaggio di essere facilmente attaccate dagli alcali e quindi, per la maggior parte, sono incompatibili con matrici cementizie. Hanno inoltre lo svantaggio di una bassa resistenza a fatica e lo stesso modulo elastico, relativamente basso, può essere una caratteristica positiva o negativa in relazione alle proprietà volute nel composito risultante. Le più utilizzate in edilizia sono le fibre E-glass, più economiche ma con scarse proprietà meccaniche, e le S-glass che raggiungono resistenze paragonabili a quelle delle fibre di carbonio, ma con un modulo elastico sensibilmente più basso e con un costo molto elevato.

2.2.2. Le fibre aramidiche

Le fibre Aramidiche sono fibre polimeriche ad altissime prestazioni meccaniche ottenute per lavorazione di Poliammidi Aromatiche (in inglese ARomatic polyAMIDes) dalla cui contrazione deriva il nome "Aramid", si tratta quindi di fibre di derivate per sintesi da petrolio e gas naturale. Storicamente sono state prodotte per la prima volta con il nome commerciale di kevlar.

Presentano, in genere, elevati valori di resistenza meccanica sia a trazione che a taglio, modulo elastico inferiore a quello del carbonio a cui sono spesso accoppiate, elevata resistenza agli urti e una struttura stabile alle alte temperature. I valori di densità molto bassi portano al valore del rapporto resistenza peso più alto tra le fibre impiegate nei compositi.

2.2.3. Le fibre di carbonio

Le fibre di carbonio sono ottenute a partire da sostanze di natura organica dette "precursori": bitume, rayon, poliacrilonitrile (PAN); si trovano in commercio in diversi tipi, con forti escursioni di valore il modulo elastico che varia tra 230 e 700 GPa e la resistenza meccanica variabile tra 1500 e 5000 MPa.

In base a queste caratteristiche le fibre di carbonio si classificano in fibre ad alta resistenza e fibre di carbonio ad alto modulo, che costituiscono le due classi più utilizzate in edilizia, mentre la terza classe, fibre di carbonio ad altissimo modulo, sono usate in rarissimi casi.

2.2.4. Le fibre di polivinilalcol

Le fibre di polivinilalcol (PVA) sono state introdotte solo da poco tempo in edilizia, sebbene fossero già presenti da anni in altri campi di impiego. Generalmente

vengono utilizzate come rinforzo in malta cementizia, presentando un'alta compatibilità con la matrice. Le caratteristiche meccaniche mostrano un modulo elastico più elevato ed una resistenza più bassa rispetto alle altre fibre.

I principali vantaggi risiedono nella tixotropia che le fibre di PVA conferiscono alle malte cementizie e la resistenza che oppongono alle fessurazioni della malta, sia in fase di indurimento che in seguito.

2.3. Materiali compositi fibrorinforzati a fibre lunghe

I materiali compositi a fibra lunga rappresentano una evoluzione delle applicazioni dei compositi a fibra corta. Mentre in questi ultimi le fibre, disperse nella matrice secondo direzioni casuali, hanno il compito di migliorare le caratteristiche della matrice stessa o di conferirle nuove proprietà, nei compositi a fibra lunga invece la fibra svolge il vero e proprio ruolo di rinforzo strutturale e la matrice ha il compito di trasferire gli sforzi tra le fibre e dal supporto alle fibre, oltre alla funzione protettiva nei confronti delle fibre stesse.

La matrice può essere di natura organica o inorganica e si presenta generalmente come un continuo isotropo, mentre le fibre che costituiscono il rinforzo, ad eccezione di quelle di vetro, sono un materiale anisotropo, presentando proprietà differenti nelle diverse direzioni.

Le proprietà che caratterizzano un composito a fibre lunghe, secondo le istruzioni CNR-DT 200/2004 sono:

- geometria: forma, dimensioni e distribuzione delle dimensioni;
- disposizione: orientazione rispetto agli assi di simmetria del materiale, se essa è casuale (nel piano o nello spazio) il composito risulta avere caratteristiche simili a quelle di un materiale isotropo (quasi isotropo); in tutti gli altri casi il composito è anisotropo;
- concentrazione: frazione in volume, distribuzione della concentrazione (dispersione).

Le due fasi, matrice e rinforzo, contribuiscono in maniera determinante alle caratteristiche finali del composito; inoltre il materiale è caratterizzato dall'interfase, un terzo componente posto tra la fibra e la matrice con lo scopo di promuovere l'adesione tra le due fasi. Si tratta di un elemento che avvolge le fibre in uno strato sottilissimo, spesso monoatomico, e le rende compatibili con la matrice organica. L'interfase non contribuisce direttamente alla determinazione delle caratteristiche

meccaniche del composito, ma lo influenza pesantemente, in quanto l'interfaccia fibra-matrice rappresenta uno dei punti di maggiore criticità del sistema e la mancanza di adesione tra le due fasi costituisce una delle principali cause di cedimento strutturale del composito.

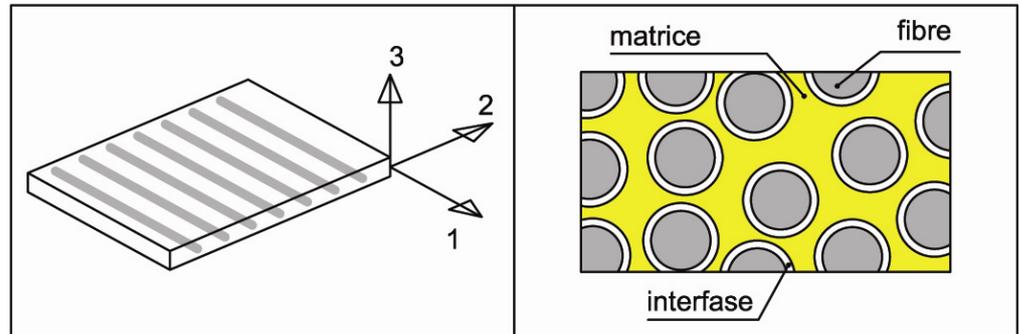


Figura 3 Sistema di riferimento per lamine e schema delle fasi in un composito.

Una prima classificazione dei compositi fibrorinforzati può essere fatta in maniera indipendente dalle caratteristiche delle fasi, distinguendo tra compositi monostrato o lamine, e compositi multistrato o laminati.

Le lamine presentano spessori contenuti nell'ordine dei decimi di millimetro e sono costituite da fibre disposte nel piano della lamina stessa; i laminati sono costituiti dalla sovrapposizione di più lamine dello stesso tipo, oppure possono essere laminati ibridi, cioè ottenuti sovrapponendo lamine costituite da materiali di natura diversa (ad esempio fibre sintetiche-alluminio) o diversi tipi di fibra (ad esempio carbonio-aramide).

In generale le lamine sono compositi di tipo anisotropo, non presentando fibre nella direzione ortogonale al piano della lamina. Posto un sistema di riferimento orientato convenzionalmente secondo gli assi naturali della lamina (come in figura 3), si hanno differenti proprietà nelle diverse direzioni. A titolo esemplificativo si riportano i valori indicativi del grado di anisotropia per alcuni tipi di laminati:

GRADO DI ANISOTROPIA DI LAMINATI UNDIRIZIONALI FIBRORINFORZATI				
	E1/E2	E1/G12	σ_1/σ_2	α_1/α_2
Carburo di silicio/ceramica	1.09	2.35	17.8	0.93
Boro/alluminio	1.71	5.01	11.6	0.30
Carburo di silicio/alluminio	1.73	5.02	17.0	0.52
Vetro-S/epossidica	2.44	5.06	28.0	0.23
Vetro-E/epossidica	4.42	8.76	17.7	0.13
Boro/epossidica	9.27	37.40	24.6	0.20
Carbonio/epossidica	13.60	19.10	41.4	-0.07
Aramide/epossidica	15.30	27.80	26.0	-0.07
Ei = modulo di elasticità normale; Gij = modulo di elasticità tangenziale; σ_1 = sforzo di rottura; α_i = coefficiente di dilatazione termica				
Tabella 2				

Le fibre maggiormente utilizzate per la produzione di materiali compositi a fibra lunga sono le fibre di vetro, di carbonio e aramidiche. Anche all'interno di ciascuna delle tre tipologie ci sono notevoli variazioni nelle proprietà delle fibre, in funzione del particolare processo produttivo seguito o dell'aggiunta di additivi modificatori delle caratteristiche del prodotto. In generale si può comunque dire che, in confronto agli altri materiali da costruzione, le fibre presentano elevati valori di resistenza ed un valore del modulo elastico variabile in un campo molto ampio. La bassa densità comporta che i valori di resistenza specifica (rapporto resistenza/densità) e modulo elastico specifico (rapporto modulo/densità) siano superiori a quelli dei materiali da costruzione tradizionali. Queste caratteristiche fanno propendere per la scelta di questi materiali nel caso di interventi strutturali, in particolare nel consolidamento di edifici antichi, poiché, a parità di resistenza, comportano un aumento di carico sulla struttura preesistente decisamente inferiore ad altri materiali come ad esempio l'acciaio.

Il tipo di fibra e di resina impiegato nel materiale composito ne determina le principali caratteristiche: i materiali stessi sono quindi classificati e denominati proprio in relazione ai componenti, distinguendo tra:

- GFRP (Glass Fiber Reinforced polymers): fibre di vetro in matrice polimerica
- AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymers): fibre aramidiche in matrice polimerica
- CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymers): fibre di carbonio in matrice polimerica
- FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix): materiali fibrorinforzati in matrice cementizia (inorganica), generalmente con fibre di carbonio.

Nella tabella 3 sono riportati i valori delle principali caratteristiche delle diverse fibre comparate con altri materiali da costruzione.

2.3.1. Tipologia e classificazione delle fibre

Le fibre utilizzate nella produzione di materiali compositi si presentano come filamenti continui molto sottili di materiale, al punto da poter essere considerati monodimensionali. Questa caratteristica comporta che le proprietà di rigidità e resistenza siano molto più alte di quelle degli stessi materiali in configurazione tridimensionale, a causa della minore densità di difetti tipica delle strutture monodimensionali.

Le dimensioni ridotte comportano la difficoltà di impiego e manipolazione, per cui sono poste in commercio in diverse forme:

- monofilament (filamento): elemento di base avente diametro di circa 10 μm ;
- tow (cavo da filatura) prodotto dalla macchina di filatura e costituito da un fascio comprendente un elevato numero di filamenti (migliaia) senza alcuna

torsione, destinato ad essere filato, ritorto o strappato per l'utilizzazione sotto forma di fibra discontinua;

- spun yarn (filo o filato) filo formato da filamenti tenuti insieme da torsione;
- rowing (filo assemblato): filo costituito da filati assemblati parallelamente e senza torsione.

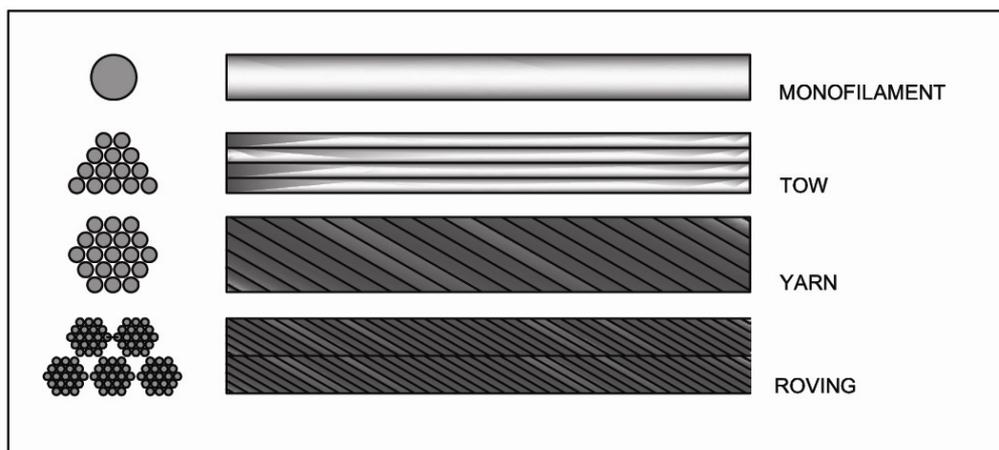


Figura 4: tipologie di fibre

Dall'unione di tow o yarn si ottengono dei tape in cui i fili possono essere cuciti, affiancati o fissati ad un supporto.

La classificazione è quella tipica dei materiali prodotti dall'industria tessile e anche le denominazioni derivano da questa: il Tex è l'unità di misura della massa lineare (titolo: massa per unità di lunghezza) ed è equivalente ad un grammo per chilometro di fibra. La vecchia unità di misura è il denier che equivale a 0,111 Tex.

Le fibre destinate al mercato dell'edilizia non si trovano in commercio, come yarn e rowing, ma assemblate in strutture più facilmente utilizzabili, come tessuti e nastri o all'interno di materiali compositi preformati in forma di lamine, profilati e barre.

Le fibre più diffuse nel settore edile sono quelle di carbonio, dotate di alta resistenza e alto valore del modulo elastico, mentre sono meno usate le fibre di vetro,

meno performanti, ma talvolta preferite per il loro costo minore, e le fibre aramidiche che abbinano ad una resistenza media una altissima resistenza agli urti ed un elevato assorbimento di energia in caso di rottura, ma hanno l'inconveniente di un costo molto elevato. Spesso si ricorre a compositi ibridi per combinare le caratteristiche positive delle diverse fibre disponibili.

Le principali proprietà che caratterizzano le fibre, in base alla loro funzione di parte resistente del composito, sono:

- Modulo elastico a trazione [MPa]
- Resistenza a trazione [MPa]
- Allungamento percentuale a rottura [%]
- Densità [g/cm³]

In realtà esistono molte altre proprietà che contraddistinguono le fibre, ma queste elencate consentono un immediato confronto tra le fibre stesse e in relazione agli altri materiali da costruzione, così come evidenziato in tabella 3.

COMPARAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELLE FIBRE						
FIBRE	Modulo elastico [GPa]	Resistenza a trazione [MPa]	Deforma z. ultima [%]	Coeff. di Poisson	Densità [g/cm ³]	Resistenza specifica
Aramidiche	62 – 180	3200 – 3600	1,5 – 5,5	0,35	1,44 – 1,47	2,18 – 2,50
Carbonio	240 -760	2400 – 5100	0,5 – 1,8	0,2	1,75-1,90	1,62 – 2,78
Vetro	72 – 87	3300 – 4500	3,5 – 5,5	0,2	2,5	1.32 – 1.78
Ac.FeB44K	210	540	20	0,3	7,850	0.07
Acciaio Armonico	210	1000 – 2000	5	0,3	7,850	0.12 – 0.15
Alluminio	75	500	10	0,33	2,800	0.18
Titanio	110	1200	14	0,34	4,500	0,27

Tabella 3

2.3.2. Le fibre di vetro

Le fibre di vetro sono utilizzate per la fabbricazione di materiali compositi dalle caratteristiche medio-alte. Sono prodotte per fusione, trafilatura e veloce raffreddamento di particolari vetri, generalmente composti di alluminio-boro silicati, a cui vengono aggiunti ossidi di alluminio e di altri ioni metallici per migliorarne alcune proprietà. In tabella 4 sono riportate le composizioni percentuali tipiche delle differenti fibre di vetro.

Nel processo produttivo i vari componenti vengono miscelati a secco e portati al punto di fusione di circa 1260°C, il vetro fuso passa dalla fornace (tank) alla filiera di platino (bushings) da cui viene fatto passare per gravità attraverso fori praticati nel fondo; i filamenti prodotti sono quindi raggruppati, eventualmente con una leggera torsione, in una treccia o fibra. I filati sono raccolti in roving, senza ritorcitura; quelli destinati all'impiego nel campo dell'ingegneria civile presentano un titolo superiore a 2000 Tex.

COMPOSIZIONE TIPICA DELLE FIBRE DI VETRO [%]									
Componenti	Standard	Res. Acidi			Res. alcali	Res. Mecc.		Appl. Elettr.	
		A	C	E-CR		R	S	D	quarzo
SiO ₂	53-55	70-72	60-65	58	60	60	60-65	73-74	100
Al ₂ O ₃	14-15,5	0-2,5	2-6	12-13	0,7		20-25		
CaO	20-25	5-9	14	21	5			0,5-0,6	
MgO			1-3	4,5			10		
B ₂ O ₃			2-7	<0,1			0-1,2	22-23	
F	0-0,7			<0,15					
Na ₂ O		12-15	8-10	0,6	14				
ZrO ₂					18				

Tabella 4

Le stesse fibre di vetro sono disponibili anche in fogli sottili, detti mat, costituiti da fibre lunghe o corte disposte nel piano in maniera casuale e tenute insieme da un legante chimico. I mat presentano larghezza variabile da 5 a 200 centimetri e una densità di massa di circa 0,5 kg/m².

Le norme ISO 1139:1973(E) e ISO 2078:1993(E) indicano la modalità di denominazione delle fibre di vetro:

- la prima lettera indica il tipo di vetro impiegato;
- la seconda lettera indica il tipo di fibra utilizzato (C=continuo, D=discontinuo);
- un numero indica il diametro nominale del filamento espresso in μm ;
- un numero separato da uno spazio indica la massa lineare delle fibre espressa in Tex;
- il senso ed il valore della torsione espresso in giri/metro (opzionale)
- il numero di fili costituenti ritorti (opzionale)
- il codice del produttore contenente informazioni aggiuntive (opzionale)



Figura 5: Yarn in fibra di vetro

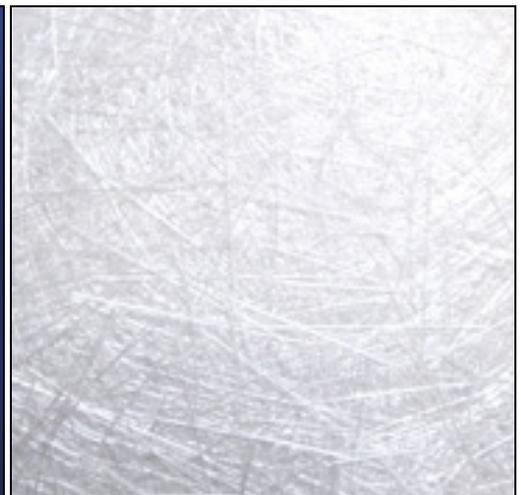


Figura 6: MAT in fibra di vetro

Tra i filati destinati alle applicazioni dell'ingegneria civile sono molto diffusi quelli caratterizzati dalle sigle EC5 10 x 2 (vetro E a fibra continua con diametro del filamento di 5 μm , massa lineare del filamento di 10 Tex e due filamenti) e SC5 4 x 2 (vetro S a fibra continua con diametro del filamento di 5 μm , massa lineare di 4 Tex e due filamenti).

I vantaggi delle fibre di vetro sono nella buona resistenza a trazione, all'impatto, agli attacchi chimici ed il costo contenuto; gli svantaggi sono legati al basso valore del modulo elastico (circa 70 GPa per le E-glass) in linea con le fibre aramidiche e molto inferiore a quello delle fibre di carbonio. Il valore basso del modulo elastico limita lo sfruttamento della resistenza a trazione delle fibre di vetro, che risultano peraltro idonee per il rinforzo di elementi in materiali molto deformabili come il legno. Per migliorarne le caratteristiche spesso vengono utilizzate insieme alle fibre di carbonio all'interno di compositi ibridi.

Un ulteriore svantaggio è quello della scarsa resistenza all'abrasione e alla fatica ed una scarsa adesione alle matrici polimeriche. Per ovviare a questi inconvenienti ed incrementare l'adesione alle matrici, le fibre vengono trattate con sostanze aventi una funzione compatibilizzante (processo di sizing): questo processo migliora le caratteristiche di durabilità e resistenza alla fatica, ma può favorire l'insorgere di tensioni dovute all'assorbimento dell'umidità.

Le fibre più utilizzate in ingegneria civile sono quelle di tipo "E", con basso valore del modulo elastico e costi molto bassi e quelle di tipo "S" con caratteristiche prestazionali migliori, paragonabili per resistenza alle fibre di carbonio, ma a costi più elevati rispetto alle E-glass.

Le fibre di vetro in generale risultano facilmente attaccabili in ambiente alcalino e, come tali, non sono adatte all'impiego in matrici cementizie o comunque in presenza di alcali. Per ovviare a questo inconveniente sono state messe a punto le fibre di tipo AR

(alkali resistant), ottenute con l'aggiunta di zirconio alla miscela di fusione, che presentano una buona resistenza agli alcali (figura 7).

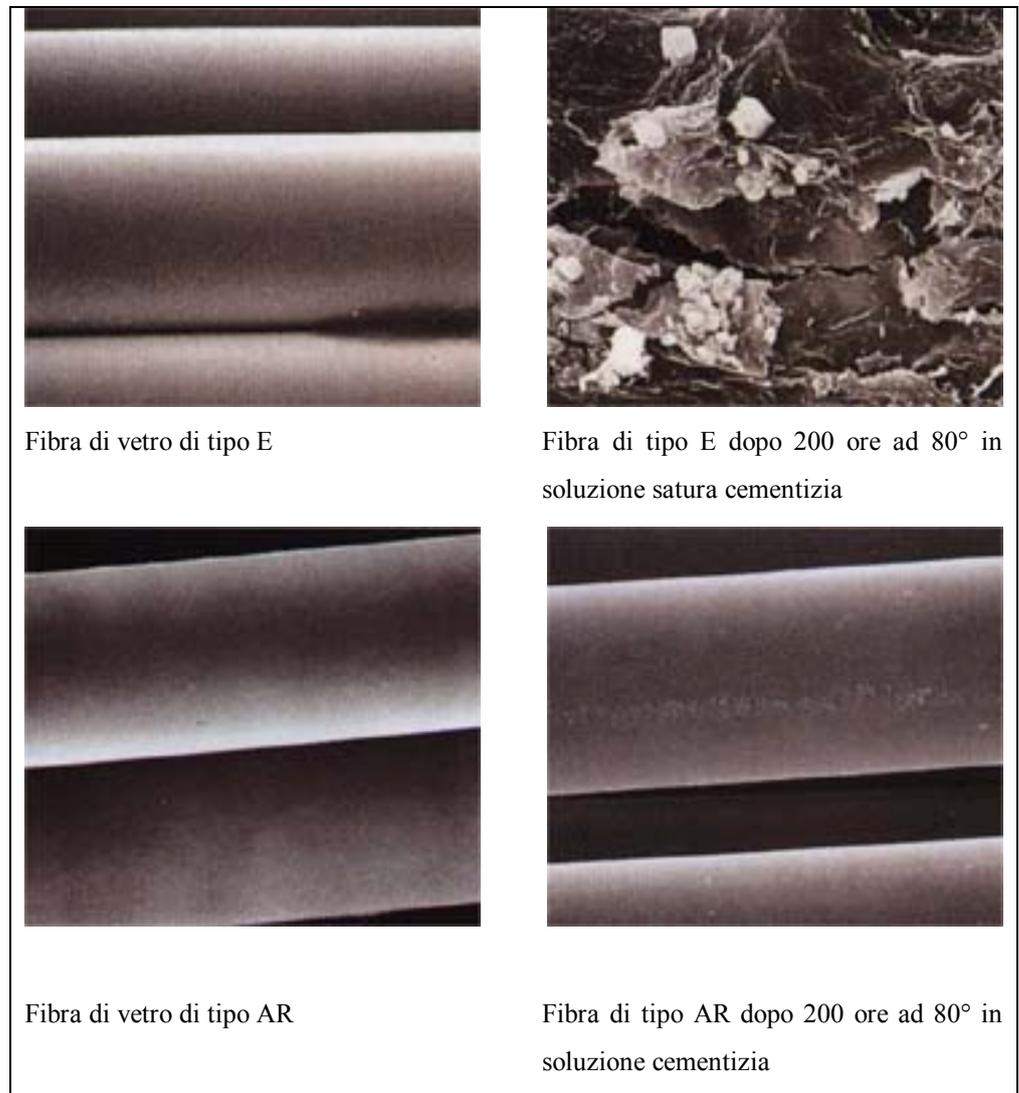


Figura 7: comparazione degli effetti di attacco alcalino su fibre di vetro di tipo E e fibre di vetro di tipo AR

2.3.3. Le fibre di carbonio

Le fibre di carbonio vengono utilizzate per la fabbricazione di compositi ad elevate prestazioni, essendo caratterizzate da un elevato valore di modulo elastico e di resistenza meccanica. Anche se le tensioni di rottura sono elevate il loro comportamento alla rottura è fragile, con un modesto assorbimento di energia.

I vantaggi principali rispetto alle fibre di vetro e aramidiche, oltre che nelle migliori proprietà meccaniche, risiedono nella maggiore resistenza a fatica, a scorrimento viscoso e nel minore decadimento prestazionale nel tempo.

Come per le altre fibre, anche quelle di carbonio sono state inizialmente messe sul mercato destinandole ad altri settori, intorno agli anni '60, e solo in seguito sono state applicate al campo dell'ingegneria civile.

La produzione avviene attraverso un processo detto pirolisi, ovvero la lavorazione ad alta temperatura e in assenza di ossigeno di sostanze organiche dette "precursori", tra cui i più utilizzati sono il poliacrilonitrile (PAN) ed il rayon.

Il processo prevede tre stadi:

- a) riscaldamento;
- b) ossidazione;
- c) carbonizzazione.

Nella prima fase le fibre di PAN vengono stabilizzate con un riscaldamento all'aria per 24 ore alla temperatura di 200 – 240 °C. In questa fase il calore rompe il legame trivalente esistente nella cella elementare del polimero tra azoto e carbonio, determinando la formazione di una struttura ciclica ad anello chiamata "tetraidropiridina". Successivamente, nel processo di ossidazione, la temperatura viene aumentata a 700°C, sempre in presenza di aria, e vengono rotti i legami carbonio-idrogeno con la formazione di anelli aromatici.

La carbonizzazione avviene in due stadi in assenza di aria. Nel primo stadio, tra 400 e 600°C, le catene formate nella fase precedente si fondono liberando idrogeno gassoso: il risultato è la formazione di polimeri a nastro, costituiti da tre catene di anelli aromatici che presentano alle estremità laterali atomi di azoto (N). Aumentando la temperatura, sempre in assenza di aria, fino a 1300 °C, gli atomi di azoto vengono espulsi in forma gassosa a seguito della progressiva fusione laterale dei polimeri a nastro per realizzare nastri sempre più larghi.

A questo punto le fibre possono essere sottoposte ad un ulteriore processo, la grafitizzazione, a 3000°C in atmosfera inerte, durante la quale la struttura cristallina delle fibre si avvicina a quella della grafite pura.

La struttura della grafite presenta atomi di carbonio in strutture piane, tenute insieme da forze trasversali di Van der Waals, molto più deboli dei legami covalenti che legano gli atomi nel piano. Questo spiega il comportamento anisotropo del materiale che, nella direzione delle strutture planari, presenta resistenza e modulo di elasticità normale molto superiori a quelli nella direzione trasversale.

In funzione dei parametri che intervengono nel processo produttivo si possono ottenere fibre di carbonio dalle differenti proprietà, con valori del modulo elastico variabili tra 230 e 700 GPa e resistenza ultima a trazione tra 1500 e 5000 MPa. La tabella 5 riporta la classificazione delle fibre di carbonio in funzione del valore del modulo elastico.

CLASSIFICAZIONE DELLE FIBRE DI CARBONIO IN FUNZIONE DEL MODULO ELASTICO		
DENOMINAZIONE	Sigla	Modulo elastico [GPa]
Standard Modulus	SM	E < 250
Intermediate Modulus	IM	E < 320
High Modulus	HM	E < 440
Ultra High Modulus	UHM	E > 440
Tabella 5		

Le tipologie di fibre più diffuse vengono denominate come carbonio ad alta tenacità (HT), ad alto modulo (HM) e ad altissimo modulo (UHM). I tre tipi differiscono per i valori delle proprietà meccaniche, come riportato nella tabella 6.

CLASSIFICAZIONE DELLE FIBRE DI CARBONIO IN FUNZIONE DEL MODULO ELASTICO					
	Alta tenacità	Alto modulo	Altissimo modulo	Acciaio FeB44K	Acciaio Armonico
Modulo elastico [GPa]	230	400	700	210	210
Resistenza a trazione [MPa]	5000	3000	1500	540	1000 – 2000
Deformazione ultima [%]	2.0	0.9	0.3	20	5
Densità [g/cm³]	1800	1850	2100	7850	7850
Resistenza specifica	2,68	1,62	0,71	0.07	0.12 – 0.15
Tabella 6					

Nelle applicazioni dell'ingegneria civile le fibre più utilizzate sono quelle standard o ad alta tenacità, con valori del modulo elastico inferiori a 250 GPa, mentre le fibre ad alto e altissimo modulo vengono utilizzate solo in casi particolari. Il modulo elastico elevato comporta un aumento del pregio e del costo delle fibre. La maggiore rigidità tuttavia non è sempre auspicabile, come nel caso in cui il decrescere dell'allungamento ultimo porta a fenomeni di rottura fragile.

2.3.4. Le fibre aramidiche

Le fibre Aramidiche sono fibre polimeriche ad altissime prestazioni meccaniche ottenute per lavorazione di Poliammidi Aromatiche (in inglese ARomatic

polyAMIDes, contratto in "Aramid"). Le poliammidi sono materiali polimerici ottenuti per policondensazione di diammine e acido dicarbossilico. Esse possono essere caratterizzate da una struttura "lineare" oppure contenere gruppi aromatici.

La struttura (o catena) lineare presenta i legami tra gli atomi di carbonio e i vari gruppi funzionali sviluppati prevalentemente lungo una linea. Tra le poliammidi a struttura lineare c'è il Nylon, uno dei primi materiali polimerici ad essere stato sintetizzato (1935).

Le poliammidi possono contenere nella loro struttura un certo numero di anelli aromatici; la presenza di questi anelli aromatici nella molecola di una poliammide comporta un incremento delle prestazioni meccaniche rispetto a quelle delle poliammidi lineari, in particolare del modulo di elasticità. Se il contenuto di anelli aromatici risulta maggiore dell'85% si parla di poliammidi aromatiche e, più propriamente, di ARAMIDI.

Le prime fibre aramidiche prodotte risalgono al 1961 e sono state commercializzate con la denominazione di NOMEX. Successivamente la DUPONT nel 1971 ha brevettato e commercializzato il kevlar, che a tutt'oggi costituisce la quasi totalità delle fibre aramidiche utilizzate nei materiali compositi.

Il kevlar presenta proprietà meccaniche superiori a quelle del Nomex e confrontabili con quelle di alcuni tipi di fibre in carbonio. I vari tipi esistenti in commercio si differenziano per la struttura chimica e per le prestazioni meccaniche. I più diffusi sono il kevlar 29 e il kevlar 39, mentre più recenti e meno diffuse sono le fibre denominate kevlar 149.

Le fibre aramidiche presentano una resistenza meccanica a trazione confrontabile con quella delle comuni fibre di carbonio, ma hanno un modulo elastico più basso, di valore intermedio tra quello delle fibre di vetro e di carbonio; la resistenza a compressione è circa 1/8 di quella a trazione. La densità è più bassa del carbonio, 1.4 g/cm³ contro 1.8 g/cm³ del carbonio, per cui le fibre aramidiche sono caratterizzate da

una più elevata resistenza specifica intesa come resistenza meccanica a trazione rapportata al peso specifico del materiale. Altre caratteristiche positive sono la resistenza a fatica maggiore delle fibre di vetro e la notevole resistenza all'impatto. Tale caratteristica è dovuta al fatto che l'aramide è un materiale scarsamente resistente a compressione: se sottoposta a flessione, mostra un comportamento caratterizzato da una plasticità pressoché infinita nella zona compressa. Tra gli svantaggi ricordiamo il comportamento viscoso e la sensibilità alla luce solare che può comportare una perdita di resistenza nell'ordine del 50%.

Le fibre aramidiche possono essere trovate in commercio sotto forma di yarn, rowing e tessuti, i materiali compositi fibrorinforzati con fibre aramidiche assumono la denominazione di AFRP.

CARATTERISTICHE DELLE FIBRE ARAMIDICHE					
		Kevlar 29	Kevlar 39	Kevlar 149	Acciaio FeB 44K
Densità	[g/cm³]	1,440	1,450	1,470	7,850
Modulo elastico	[GPa]	70	140	160	210
Resistenza a trazione	[MPa]	3600	3600	3200	540
Deformazione a rottura	[%]	3.06	1.09	1.05	20
Resistenza specifica	[MPa/Kg]	2.50	2.48	2.18	0.07

Tabella 7

Nel settore delle costruzioni civili, le fibre aramidiche sono per lo più impiegate sulle strutture in muratura dove un elevato modulo elastico del rinforzo non è necessario, anzi potrebbe costituire un inconveniente; non trovano invece grande impiego nel consolidamento delle strutture in cemento armato dove le fibre in carbonio

garantiscono, a parità di costi, un più alto modulo elastico e quindi maggiore capacità di assumere carichi e parità di deformazioni della struttura rinforzata.

2.3.5. Altre tipologie di fibre

Oltre alle fibre di vetro, di carbonio e aramidiche, esistono altre fibre, in genere destinate campi di applicazione diversi da quelli dell'ingegneria civile, ma che comunque in alcuni casi vengono utilizzate per specifici problemi.

Le fibre ceramiche sono usate soprattutto per impieghi con temperature che superano i 1000 °C e per la realizzazione di compositi speciali e sono caratterizzate da una struttura policristallina piuttosto che amorfa.

Si tratta di fibre molto costose perché prodotte ancora in piccoli quantitativi per applicazioni speciali, come nel campo dell'aerospaziale. I materiali impiegati sono il boro, il carburo di silicio, l'allumina, lo zirconio. Si trovano sotto forma di filamenti o fibre molto sottili (whiskers); i monofilamenti più grandi o multifilamenti si possono utilizzare per trasformazioni tessili (filati, corde, prepreg per i compositi).

Il boro è un metallo che presenta resistenza e modulo molto elevati. Le sue fibre sono ottenute mediante deposizione di microgranuli di boro su di un filo di tungsteno (diametro 12 - 17 micron) o di carbonio. Tra le fibre di rinforzo, quelle di boro sono le uniche ad avere elevata resistenza non solo a trazione, ma anche a compressione e flessione. Inoltre la fibra di boro presenta buona resistenza agli acidi e agli alcali, ottima resistenza ai solventi organici, ai raggi ultravioletti ed ai microrganismi. Si tratta di una fibra molto particolare, ottenuta con tecnologie sofisticate che comportano una produzione molto complessa, di conseguenza il suo costo è elevato; trova applicazione quasi esclusivamente in nicchie ristrette come quella dei compositi in grado di resistere a temperature elevatissime.

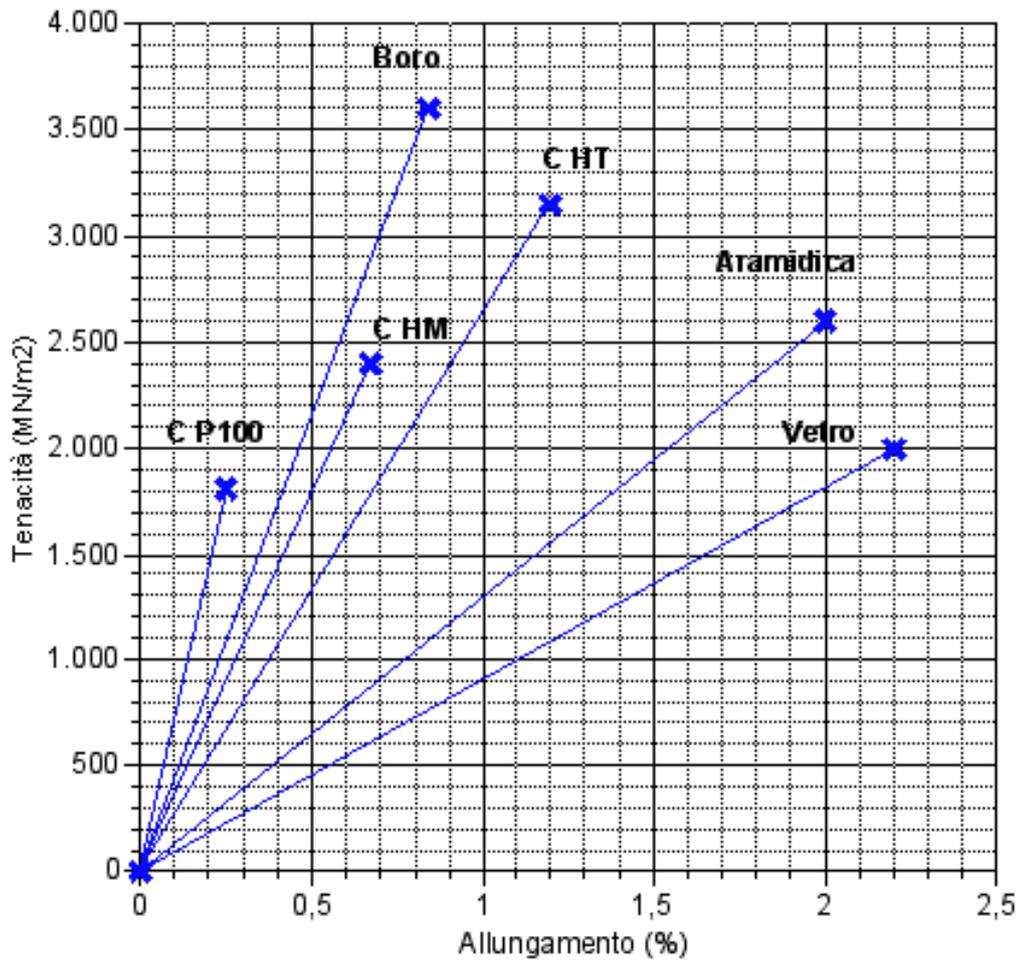


Figura 8: comparazione tra le diverse fibre

2.4. Le matrici

Le matrici più utilizzate per la realizzazione di materiali compositi fibrorinforzati sono quelle di natura organica, ovvero le resine. Meno diffuse sono le matrici inorganiche cementizie, metalliche e ceramiche, che però stanno assumendo un ruolo sempre più importante. In questo studio si soffermerà l'attenzione su quelle organiche proprio per il loro uso maggiormente consolidato, mentre si accennerà solo alle proprietà delle matrici cementizie, in quanto le più diffuse tra quelle inorganiche.

2.4.1. Le resine, Generalità

Genericamente si possono definire le resine come un prodotto organico, solitamente un polimero, naturale o di sintesi. Tra le molte applicazioni che esse trovano in vari settori, si vuole soffermare l'attenzione su quelle destinate alla realizzazione di materiali compositi.

La principale distinzione che si può fare è tra resine termoplastiche e termoindurenti, in funzione del loro comportamento al riscaldamento. Le resine termoplastiche possono essere fuse, con un'adeguata quantità di calore, forgiate secondo la forma desiderata e solidificate per raffreddamento; il processo di fusione e solidificazione può essere ripetuto senza che le caratteristiche della resina decadano sensibilmente.

Le resine termoindurenti invece durante la fase di reticolazione subiscono un processo chimico irreversibile e pertanto non possono essere riforgiate; sotto l'azione del calore, a differenza delle precedenti, degradano sensibilmente e successivamente solidificano sempre per azione del calore.

Per uno studio approfondito, che esula dagli scopi della presente ricerca, si rimanda a testi specialistici, alcuni dei quali sono riportati in bibliografia, mentre si riportano, in sintesi, le nozioni di base ritenute indispensabili per lo studio delle applicazioni nel campo dell'edilizia.

Le resine si differenziano per la diversa composizione chimica che ne determina le proprietà:

CLASSIFICAZIONE DELLE RESINE	
Resine termoindurenti	Resine termoplastiche
Alchidiche	Acriliche
Ammidiche	Policarbonati
Epossidiche	Poliesteriche termoplastiche
Fenoliche	Polifluoruri di vinile
Poliesteriche insature	Poliolefiniche (polietilene, polipropilene)
Poliuretaniche	Vinilesteriche
Siliconiche	

Tabella 8

2.4.2. Le resine termoindurenti

Queste resine subiscono un processo di trasformazione irreversibile nel processo di polimerizzazione, legato alla reticolazione covalente che le rende insolubili ed infusibili. Le più importanti dal punto di vista delle applicazioni commerciali sono le resine fenoliche e quelle ammidiche, mentre per il settore edile sono le resine epossidiche.

Le resine fenoliche sono prodotte dalla reazione della formaldeide con il fenolo, in presenza di catalizzatori che possono essere sia acidi che basici, la cui scelta determina le caratteristiche dei prodotti della reazione stessa.

Hanno largo utilizzo quali adesivi per il compensato ed in altre applicazioni industriali, che richiedano ottime proprietà adesive delle resine.

Le resine ammidiche sono prodotte dalla reazione di policondensazione dell'urea e della melamina con la formaldeide. Rispetto alle resine fenoliche, presentano un processo produttivo molto simile, ma il prodotto finale è una resina trasparente e di proprietà meccaniche più elevate, che però presenta gli svantaggi di una minore resistenza all'umidità ed al calore. Tra le resine ammidiche, quelle a base di melamina sono migliori ma più costose di quelle derivare dall'urea, a cui sono spesso mescolate per ragioni di economicità.

Le resine epossidiche derivano il loro nome dal materiale utilizzato per la produzione e dalla presenza di gruppi epossidici, agli estremi del polimero prima della reticolazione.

Le proprietà meccaniche, la flessibilità, l'adesione, e la resistenza chimica, ne fanno il prodotto più diffuso in edilizia quale adesivo strutturale, ma anche per altri usi come la realizzazione di schiume e di pavimenti industriali.

Le schiume poliuretatiche sono polimeri ottenuti attraverso la reazione tra diisocianato e un glicole. Nel processo di produzione i gruppi di isocianato in eccesso reagiscono con l'acqua producendo anidride carbonica che gonfia la schiuma nella fase di reticolazione.

Le resine poliestere insature sono prodotte a partire da un glicole e un acido attraverso un processo di polimerizzazione a passi, al composto viene aggiunto un inibitore per impedire una ulteriore polimerizzazione. L'aggiunta di un opportuno iniziatore porta alla formazione di un gel che in seguito dà luogo alla produzione del polimero finale. Il pregio di queste resine è la semplicità nell'uso dei componenti di base, il rapido tempo di polimerizzazione, le buone proprietà del prodotto finale e l'assenza di prodotti volatili quali scarti della reazione.

Le resine siliconiche sono polimeri a base silicio, prodotti attraverso reazioni di policondesazione a partire da intermedi organosiliconici. Il processo di reticolazione

porta a resine di caratteristiche estremamente diverse, usate come vernici isolanti o agenti impregnati.

Le resine alchidiche sono poliesteri di svariata composizione, quelli più comuni sono a base di ptalica e glicerolo; in genere sono modificate con l'aggiunta di acidi grassi. Possono essere suddivise in due famiglie, *laaquer* la cui polimerizzazione avviene con l'evaporazione del solvente e *varnish* la cui polimerizzazione comporta reazioni chimiche tra i componenti.

2.4.3. Le resine termoplastiche

Le resine termoplastiche hanno la caratteristica di subire un processo di polimerizzazione reversibile, ovvero possono essere fuse mediante l'apporto di calore e successivamente, attraverso il raffreddamento, subire una nuova solidificazione; durante questo processo non si hanno alterazioni chimiche nel materiale, tanto che il prodotto finale ottenuto non presenta sensibili decadimenti delle proprietà rispetto a quello iniziale.

I polimeri termoplastici in genere cristallizzano con difficoltà e comunque danno luogo a solidi che presentano zone amorfe e zone cristalline, queste ultime caratterizzate dalla loro temperatura di fusione (melting temperature, T_m). Le resine amorfe e le regioni amorfe delle resine parzialmente cristallizzate sono invece caratterizzate dalla temperatura di transizione vetrosa (glass transition temperature, T_g) alla quale passano dallo stato vetroso a quello gommoso.

Le resine acriliche sono prodotte principalmente attraverso l'utilizzo di cianodrina etilenica sottoposta a vari processi di natura chimica e fisica che influenzano le caratteristiche del prodotto finale. Esistono molti tipi di polimeri acrilici, tra cui i cianoacrilati sono largamente utilizzati come adesivo.

I policarbonati sono polimeri termoplastici cristallini che presentano proprietà meccaniche molto buone, in particolare alta resistenza agli urti. Altre caratteristiche

sono lo scarso assorbimento dell'umidità atmosferica, buona resistenza alle alte temperature e stabilità termica.

I poliesteri termoplastici ad elevato peso molecolare presentano alcune difficoltà nel processo produttivo legate alla necessità di utilizzare componenti di difficile produzione. Si utilizza glicole a basso peso molecolare attraverso un processo a due passi, nel primo si produce poliestere a basso peso molecolare, quindi, a temperatura più elevata, si provoca la condensazione delle molecole.

Tra i polimeri a base vinilesterica quello più utilizzato è il polivinilacetato, un polimero amorfo, sia come prodotto finito che come base per la produzione di altri polimeri. Gli usi principali sono nelle vernici e nelle resine adesive.

Il Polifluoruro di vinile presenta una struttura ad alta percentuale di cristallinità; è commercializzato sotto forma di pellicole, estremamente resistenti agli agenti chimici e atmosferici, al calore, all'abrasione e all'ossidazione. Per queste sue caratteristiche è impiegato nell'industria delle costruzioni come rivestimento superficiale.

I materiali poliolefinici più diffusi sono il polietilene e il polipropilene. Il polietilene ramificato, denominato polietilene a bassa densità, si ottiene a partire dall'etilene e si presenta come un solido con percentuale di cristallizzazione compresa tra il 50% e il 60%. Le proprietà fisico-chimiche e meccaniche sono dipendenti dal peso molecolare, dalla sua distribuzione e dalla conformazione delle ramificazioni delle catene che costituiscono il polimero. Le principali proprietà sono la resistenza a tutti gli agenti chimici e l'isolamento elettrico e viene largamente utilizzato in tutte quelle applicazioni che richiedono queste caratteristiche.

Il polietilene ad alta densità è ottenuto sempre a partire dall'etilene, ma attraverso un differente processo produttivo. Il materiale presenta un'elevata percentuale di cristallinità (intorno al 90%), che comporta maggiore resistenza e rigidità rispetto al polietilene a bassa densità, mentre la resistenza agli agenti chimici e la bassa

permeabilità è sostanzialmente la stessa. Gli utilizzi principali sono in forma di tubazioni, film, fogli e guaine.

Il polipropilene è prodotto attraverso la polimerizzazione del propilene con un processo simile a quello del polietilene ad alta densità. L'elevata percentuale cristallina conferisce elevata resistenza meccanica e rigidità, mentre la resistenza all'urto è molto variabile in funzione del processo produttivo. L'inerzia chimica è molto più bassa rispetto al polietilene: come tale è necessario prevedere opportune protezioni per un utilizzo in applicazioni esposte.

2.4.4. Proprietà delle resine

Le proprietà che caratterizzano le resine possono essere di natura chimica, fisica, meccanica, fino ad arrivare a proprietà di tipo commerciale che caratterizzano i prodotti normalmente reperibili sul mercato. Una scheda del tutto generica dovrebbe contenere le informazioni elencate nella tabella 9.

Quella proposta è una caratterizzazione indipendente dal tipo di resina e dalla particolare destinazione del prodotto; in appendice viene invece proposta una schedatura per resine destinate all'applicazione in edilizia, secondo un modello elaborato a partire da quello proposto dalle recenti istruzioni CRN-DT 200/2004.

PROPRIETÀ DELLE RESINE	
Proprietà chimico-fisiche	% di elementi volatili viscosità densità peso specifico flash point pH acidità massima contenuto massimo in acqua tempo di gelo temperatura di transizione vetrosa (Tg) temperatura di fusione assorbimento dell'umidità famiglia del polimero metodologie di polimerizzazione metodologie di lavorazione e formatura tossicità apparenza - colore compatibilità con altri materiali
Proprietà meccaniche	modulo elastico (trazione – compressione – torsione) tensione di snervamento (trazione – compressione – torsione) allungamento a rottura (trazione – compressione – torsione) resistenza all'impatto modulo elastico specifico
Caratteristiche commerciali	costo al kg tempo e modalità di stoccaggio principali produttori nomi commerciali
Tabella 9	

2.4.5. Le resine in edilizia

Le resine più utilizzate in edilizia, con la funzione di matrice per i materiali compositi fibrorinforzati, sono quelle termoindurenti, generalmente solo parzialmente polimerizzate e con consistenza fluida o pastosa. Grazie all'aggiunta di un reagente si avvia la reazione di polimerizzazione, o reticolazione, che le porta a solidificare assumendo una struttura vetrosa. I principali vantaggi sono la facilità di impregnazione delle fibre, dovuta alla bassa viscosità, la capacità di reticolare a temperatura ambiente, la buona resistenza agli attacchi chimici e l'assenza di una temperatura di fusione. Gli svantaggi sono il comportamento fragile a rottura, la scarsa resistenza alle alte temperature, che hanno un limite nella temperatura di transizione vetrosa, al di sopra della quale la resina prende lo stato solido, la sensibilità alle condizioni igrometriche in fase di messa in opera.

Le più utilizzate sono quelle epossidiche, seguite dalle resine di poliestere e vinilestere.

Gli aspetti negativi caratteristici delle resine termoindurenti hanno portato allo studio di matrici termoplastiche per i compositi. Queste sono caratterizzate da una temperatura di esercizio più alta, una maggiore tenacità rispetto alle resine termoindurenti e una maggiore resistenza agli agenti ambientali. Inoltre, se portate ad una temperatura adeguatamente alta, ovvero superiore a quella di transizione vetrosa T_g , per le resine amorfe, o alla temperatura di fusione T_m per le resine semicristalline, possono essere modellate secondo la forma desiderata e successivamente solidificate per raffreddamento, mantenendo inalterate le loro proprietà. La principale limitazione è rappresentata dalla difficoltà di impregnazione delle fibre a causa della loro viscosità elevata.

2.4.6. Le resine epossidiche

Le resine epossidiche sono il tipo di resina maggiormente utilizzato per le applicazioni nel settore edile e pertanto si ritiene opportuno un approfondimento della loro trattazione.

Si tratta di polieteri, che assumono il nome di resine epossidiche a causa della presenza di gruppi epossidici prima della reticolazione. I gruppi epossidici sono anelli costituiti da un atomo di ossigeno e due di carbonio (figura 9).

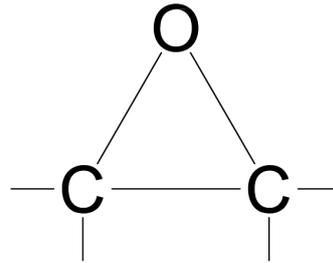


Figura 9: gruppo epossidico

La produzione avviene a partire dalla reazione di policondensazione tra l'epicloroidrina e il defenilpropano, in eccesso di epicloroidrina in modo da garantire la presenza dei gruppi epossidici agli estremi del polimero. Altre molecole utilizzabili in sostituzione del defenilpropano sono i glicoli, il glicerolo e l'idrochinone. Successivamente le resine vengono fatte reagire per condensazione o accoppiamento con vari materiali, quali composti amminici, come poliammine, poliammidi, fenol-formaldeide, urea-formaldeide, acidi e anidridi acide.

Possono anche subire processi di polimerizzazione cationica usando come catalizzatori degli acidi di Lewis come il BF₃.

Per i materiali compositi impiegati in edilizia la resina epossidica più utilizzata è il diglicedilietere del disfenolo A.

Il reagente principale così prodotto si presenta come un prepolimero epossidico, generalmente fluido a temperatura ambiente, la cui viscosità dipende dal grado di polimerizzazione in cui si trova. Al momento dell'impiego, al reagente principale viene aggiunto un agente reticolante, comunemente detto induritore, che di solito è costituito da un'ammina alifatica. La reazione non dà luogo a prodotti di scarto e può avvenire a temperatura ambiente o ad alta temperatura, influenzando in tal modo le proprietà del prodotto finale.

È evidente che la struttura della resina può essere variata intervenendo sulla composizione chimica del prepolimero di partenza, in modo da ottenere un prodotto finale dalle caratteristiche desiderate.

La temperatura massima di esercizio delle resine epossidiche è una delle criticità dell'applicazione: già per temperature superiori a 60°C è necessaria la scelta di resine particolari e comunque va tenuta in considerazione l'abbassamento delle caratteristiche meccaniche delle resine stesse.

La resina epossidica più utilizzata in edilizia è il diglicidil etero del bisfenolo A (DGEBA).

Confrontando le proprietà meccaniche delle resine epossidiche con quelle delle altre resine impiegate in edilizia non si rilevano differenze tanto elevate da giustificare la netta preponderanza d'impiego delle prime. Le ragioni sono invece da ricercare in altre caratteristiche come un basso ritiro, sia in fase di reticolazione che nel tempo, e la migliore interfaccia con le fibre, che comporta prestazioni migliori del composito finale.

2.4.7. Altri tipi di resine

Le resine poliesteri seguono quelle epossidiche per diffusione in edilizia. Si differenziano dalle epossidiche per alcune caratteristiche, in generale risultano meno soggette a fenomeni viscosi, ma hanno proprietà meccaniche inferiori.

I polimeri di base sono le poliesteri insature che contengono legami C=C in grado di sviluppare la reazione chimica. A temperatura ambiente si presentano allo stato solido e per essere utilizzate devono essere sciolte in un solvente che ne abbassi la viscosità e le renda lavorabili in modo da impregnare le fibre, Solitamente si utilizza stirene, contenente anch'esso legami C=C che permettono di creare i ponti di reticolazione tra le molecole di poliesteri. Questa reazione può avvenire a temperatura ambiente o ad alta temperatura, portando a matrici di caratteristiche differenti.

CARATTERISTICHE DELLE MATRICI ORGANICHE		
	POLIESTERE	EPOSSIDICHE
Densità [g/cm ³]	1,2	1,3-2,5
Modulo elastico [GPa]	4500	4500
Resistenza a flessione [MPa]	100	100
Deformazione a rottura [%]	2-5	2-5
Assorbimento acqua [%]	0,2	0,05-0,3

Tabella 10

Una caratteristica che accomuna le resine di natura organica è l'elevata tossicità che comporta la necessità di adottare procedure di sicurezza nell'impiego di questi prodotti.

I limiti delle resine termoindurenti sono nella modesta tenacità, nelle basse temperature di esercizio e nell'elevato assorbimento dell'umidità ambientale. Questo ha portato allo sviluppo di compositi in matrice termoplastica di cui si è già trattato, ma anche all'impiego di matrici di natura non organica, ovvero cementizia, metallica e ceramica.

In particolare le matrici cementizie negli ultimi anni sono oggetto di un continuo sviluppo, con la finalità di produrre una malta altamente compatibile con i supporti da rinforzare e capace di impregnare i tessuti in fibra di carbonio. Questo tipo di matrice presenta dei vantaggi notevoli rispetto alle matrici organiche:

- una migliore operatività in cantiere, essendo prodotti che non richiedono procedure particolari, ma del tutto simili a quelle delle malte tradizionali;
- permeabilità al vapore molto più elevata delle matrici polimeriche (fino a 50 volte);
- buona resistenza alle alte temperature, in linea con quella del supporto da rinforzare, non presentano quindi il problema della bassa temperatura massima di esercizio, tipico delle matrici organica;
- sono applicabili su supporti umidi;
- non richiedono la preparazione delle superfici con rasatura

Una caratteristica negativa risiede invece nelle condizioni ambientali della messa in opera, che dovrebbe avvenire in un intervallo di temperatura compreso tra 5°C e 35°C in quanto a temperature più alte si riduce notevolmente la lavorabilità della malta, mentre a temperature più basse si rallenta la presa. Questa criticità è comunque presente anche nelle resine organiche che hanno in linea di massima lo stesso intervallo di temperature ottimale per la preparazione e messa in opera.

2.5. I materiali compositi FRP in edilizia

Le fibre di rinforzo per materiali compositi destinati al mercato dell'edilizia non vengono commercializzate come yarn e rowing, ma assemblate in strutture più facilmente utilizzabili nei cantieri edili, come tessuti, nastri o all'interno di materiali compositi preformati in forma di lamine, profilati e barre.

I tessuti differiscono dai nastri essenzialmente per la loro dimensione, essendo i nastri di larghezza da 20 a 30 centimetri mentre i tessuti di larghezza superiore a 30 centimetri e fino a 120 – 130 centimetri. Nei tessuti, come nei nastri, vi è una direzione principale detta ordito (warp) ed una secondaria, detta trama (weft) ortogonale all'ordito².

I tessuti possono essere ottenuti a partire dal rowing, nel qual caso sono detti stuoia (woven rowing), oppure direttamente dalla tessitura di yarn, quando si richiede maggiore leggerezza e compattezza. In generale un laminato ottenuto a partire da un tessuto avrà una frazione in fibre minore rispetto a quella di un laminato composto da lamine unidirezionali a causa dell'ondulazione (crimp) delle fibre nel tessuto.

Una classificazione può essere fatta in base al tipo di tessitura in tela, batavia e raso:

- la tela (plain) è la più semplice, si presenta con un filo sopra ed uno sotto, ha una struttura più rigida ma è più difficile da impregnare con la resina a causa del crimp che arriva al 10%. Questo comporta una minore efficacia del rinforzo nel piano del laminato;
- il batavia (twill) presenta due fili sopra e due sotto, è più facile da impregnare rispetto alla tela presentando una minore ondulazione, ha però lo svantaggio di essere più difficile da maneggiare;

² Nel settore tessile si indica con ordito la direzione lungo la quale si arrotola il tessuto e trama quella ortogonale all'ordito.

- Il raso (satin) presenta più fili sopra ed uno sotto, è ancora più efficace del batavia, presentando un'ondulazione minima e quindi la massima rigidezza nel piano, ma anche più delicato da maneggiare in fase di realizzazione del laminato.

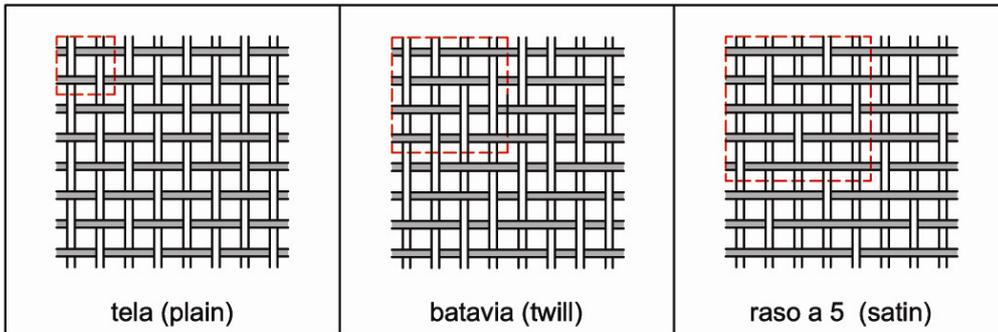


Figura 10: tipologie di tessuto

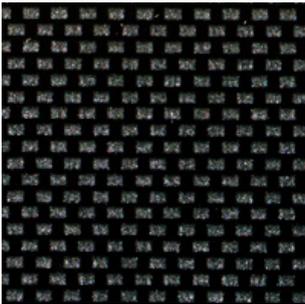


Figura 11: tessuto plain in fibra di carbonio

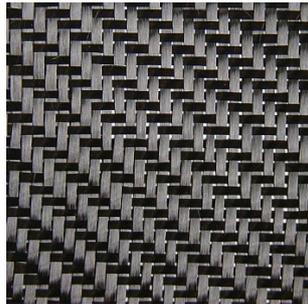


Figura 12: tessuto twill 2x2 in fibra di carbonio



Figura 13: tessuto satin-4 in fibra di carbonio

La classificazione proposta sopra è valida per tessuti bidirezionali, che presentano un ordito ed una trama, ma esistono anche altri tipi di disposizione delle fibre, in base a cui i tessuti si possono classificare in:

- tessuti unidirezionali, con fibre orientate in un'unica direzione ed allineate su di un piano;
- tessuti intrecciati convenzionali, la maggior parte dei tessuti più comunemente utilizzati sono intrecci convenzionali di trefoli di filamenti. La struttura intrecciata blocca i filamenti dell'ordito e della trama. I filamenti della trama e dell'ordito non sono completamente distesi ma, nel sovrapporsi alternativamente, si incurvano aumentando la deformabilità finale del tessuto;
- tessuti ad intreccio piano e mat, realizzati per tessuti da impregnare e ricoprire con una matrice polimerica al fine di eliminare l'incurvamento dei filamenti fuori dal piano del laminato e di ottenere un materiale con proprietà elastiche più uniformi. In questo tipo di struttura, i filamenti della trama sono solo appoggiati su quelli dell'ordito (non intrecciati con essi) e vengono successivamente cuciti fra loro con un filamento molto leggero. Le fibre possono essere disposte in modo ordinato (tese ed allineate) o disordinato (non allineate e curve come nei mat). In questo caso, d'altra parte, è difficile prevedere quali possano essere le caratteristiche meccaniche del risultante materiale;
- tessuti ad intreccio su più assi, o tessuti multiassiali, finalizzati all'ottenimento di una maggiore resistenza allo strappo ed agli sforzi di taglio, un esempio di tessuto intrecciato su più assi è quello triassiale nel quale i filamenti sono intrecciati con angoli di circa 60° .

La disposizione delle fibre ovviamente influenza le proprietà del tessuto: i tessuti unidirezionali, avendo tutte le fibre orientate secondo l'ordito, presentano un'elevata resistenza a trazione secondo quella direzione e sono pertanto anisotropi anche nel piano.

I tessuti bidirezionali presentano in genere le fibre disposte secondo due direzioni ortogonali (verticale ed orizzontale oppure inclinate a $\pm 45^\circ$) con caratteristiche uguali

nelle due direzioni (tessuti bilanciati) o differenti per quantità e tipo di fibre utilizzate nelle due direzioni (tessuti sbilanciati).

I tessuti multiassiali, con fibre disposte secondo più direzioni, possono arrivare ad essere quasi isotropi nel piano del tessuto.

Un'altra tipologia di tessuto è quella definita a largo intreccio, che si presenta come rete con maglie larghe da 3 a 6 millimetri che facilitano l'impregnazione del tessuto e consentono l'uso di una quantità ridotta di fibre.

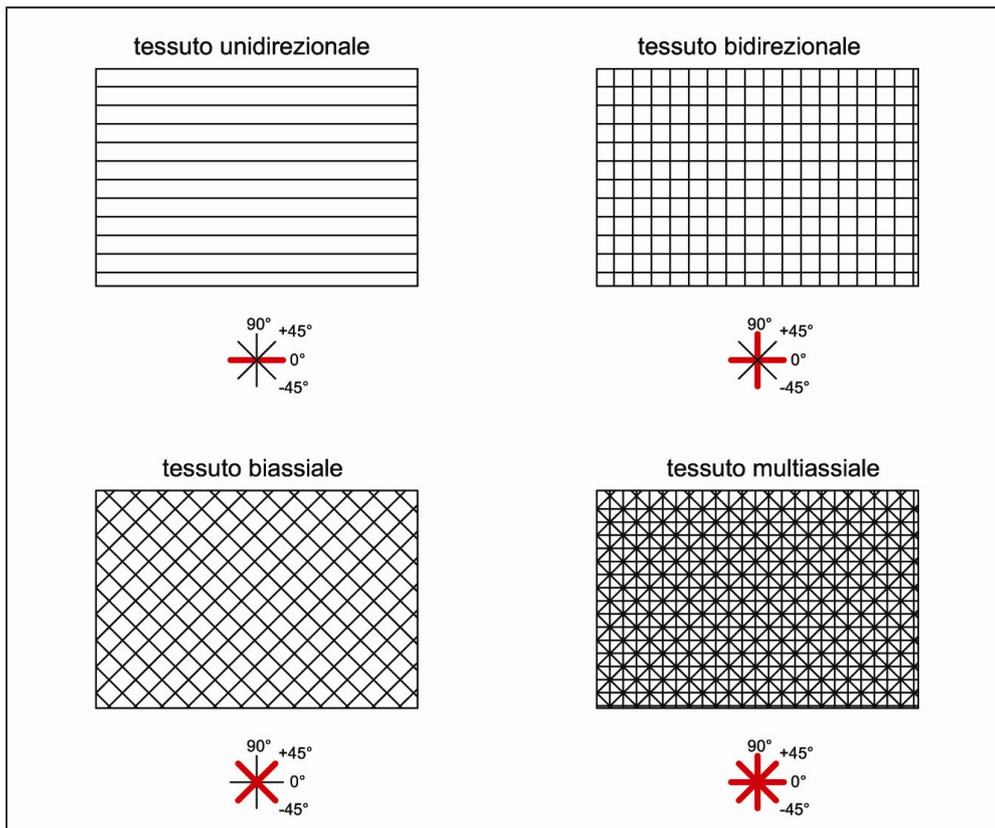


Figura 14: classificazione dei tessuti in funzione dell'orientamento delle fibre

Infine vi sono i tessuti ibridi, realizzati con differenti tipi di fibre al fine contenere i costi e di ottimizzare le prestazioni, combinando opportunamente le proprietà dei diversi materiali.

In generale la scelta del tipo di tessuto dipende da diversi fattori quali la sollecitazione cui si prevede sarà sottoposto il rinforzo, la natura del supporto da rinforzare le condizioni ambientali ed il costo dell'intervento. Ad esempio si utilizzano tessuti unidirezionali per assorbire sforzi di trazione in strutture soggette a flessione semplice o per cerchiare strutture sottoposte a compressione assiale, mentre si preferiscono tessuti multiassiali per strutture sottoposte a taglio, torsione, sollecitazioni composte o anche per sollecitazioni soggette a variazioni di direzione. Per la scelta del tipo di fibra invece si fa riferimento alla resistenza ed alla rigidità richieste dal progetto e alla qualità della sollecitazione (costante, ciclica, da impatto).

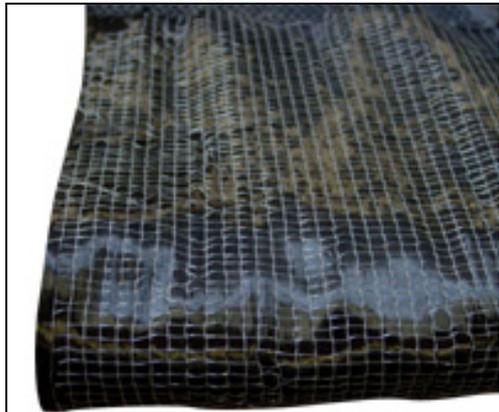


Figura 15: tessuto unidirezionale in fibra di carbonio

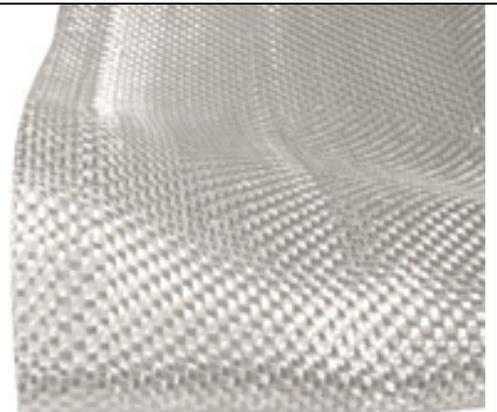
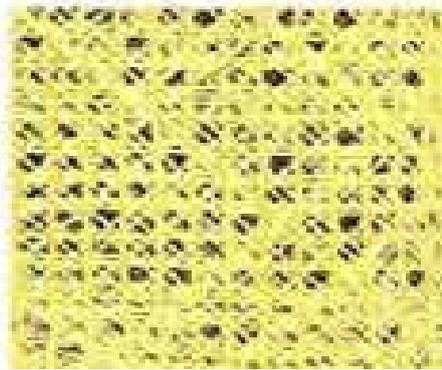
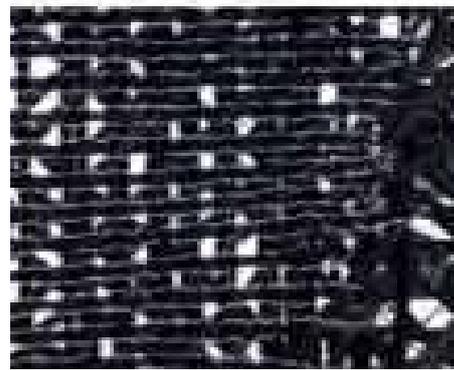
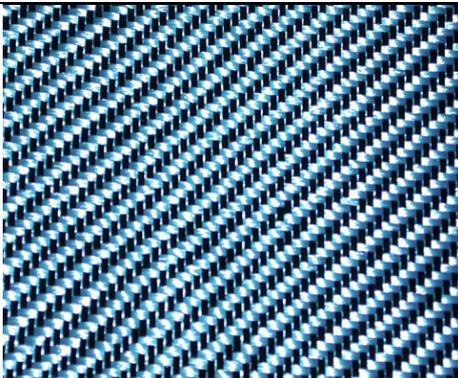


Figura 16: tessuto bidirezionale in fibra di vetro

**Figura 17:** nastro bidirezionale in kevlar**Figura 18:** nastro bidirezionale in carbonio**Figura 19:** tessuto quadriassiale in kevlar**Figura 20:** tessuto quadriassiale in carbonio**Figura 21:** tessuto ibrido kevlar-carbonio**Figura 22:** tessuto bidirezionale kevlar

Le fibre possono anche essere impiegate in compositi preformati, ovvero lamine, barre e profilati con sezione ad “L”, a “C”, doppio “T”, ecc.

Il processo produttivo che porta alla realizzazione di questi prodotti è un particolare tipo di estrusione, detto pultrusione, da cui questi compositi prendono anche il nome di pultrusi.

La pultrusione è un processo continuo articolato in tre fasi:

- a) formatura;
- b) impregnazione;
- c) consolidamento.

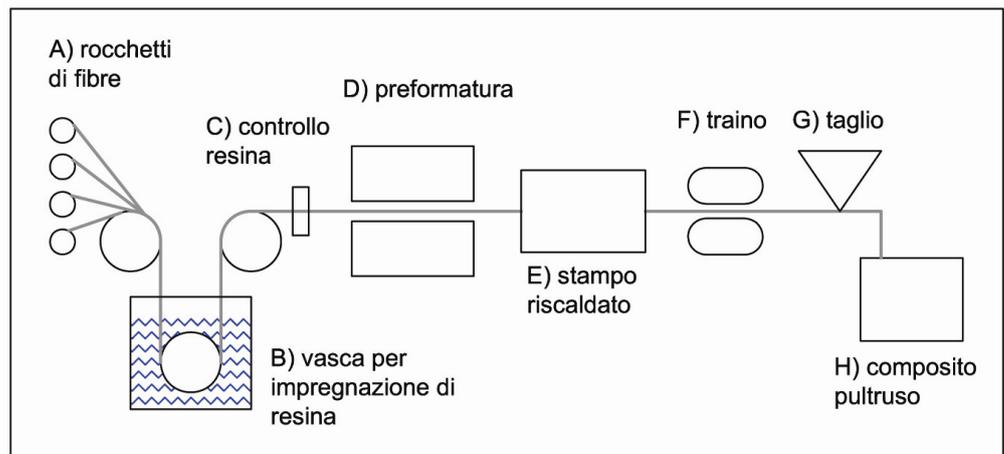


Figura 23: schema di funzionamento della pultrusione con impregnazione a bagno di resina

Il tipo di pultrusione più diffusa è quello a bagno di resina in vasca aperta, il cui schema è riportato in figura 23. Le fibre sono prelevate dai rocchetti ed immerse in una vasca contenente resina, dove avviene l'impregnazione; il fascio passa poi attraverso un dispositivo di controllo che rimuove la resina in eccesso e uno di preformatura fino a raggiungere lo stampo vero e proprio, dove avviene la formatura a caldo e sotto pressione, in modo da eliminare tutti i vuoti presenti, garantendo la continuità del materiale. All'uscita dallo stampo la resina viene solidificata ed il

materiale viene afferrato da un dispositivo di traino e convogliato verso una sega che lo taglia nella lunghezza voluta. È possibile aggiungere strati di mat o tessuti per rinforzare il composito in direzioni diverse da quella di traino.

Le lamine sono prodotte, nella maggior parte dei casi, con resina epossidica o vinilestere e sono in genere applicate a strutture che presentano un superficie piana e regolare.



Figura 24: pultrusione, bagno di resina



Figura 25: pultrusione, prodotto finito

Le barre si presentano con sezione solitamente circolare, buona resistenza alla trazione e una rigidità flessionale maggiore di quella dei tessuti. Il processo produttivo ordinario porta alla realizzazione di barre lisce, ma, al fine di migliorare l'aderenza delle barre, può essere realizzato un trattamento superficiale mediante sabbiatura o deformando la superficie laterale della barra stessa, ad esempio mediante l'avvolgimento di filamenti elicoidali. L'applicazione delle barre riguarda il consolidamento di murature mediante rinforzo a taglio, catene su strutture spingenti, assorbimento degli sforzi di trazione in strutture inflesse. Rispetto alle corrispondenti barre in acciaio presentano i vantaggi di una maggiore resistenza a parità di sezione, assenza di fenomeni di ossidazione e rilassamento, tipici invece degli elementi in acciaio.

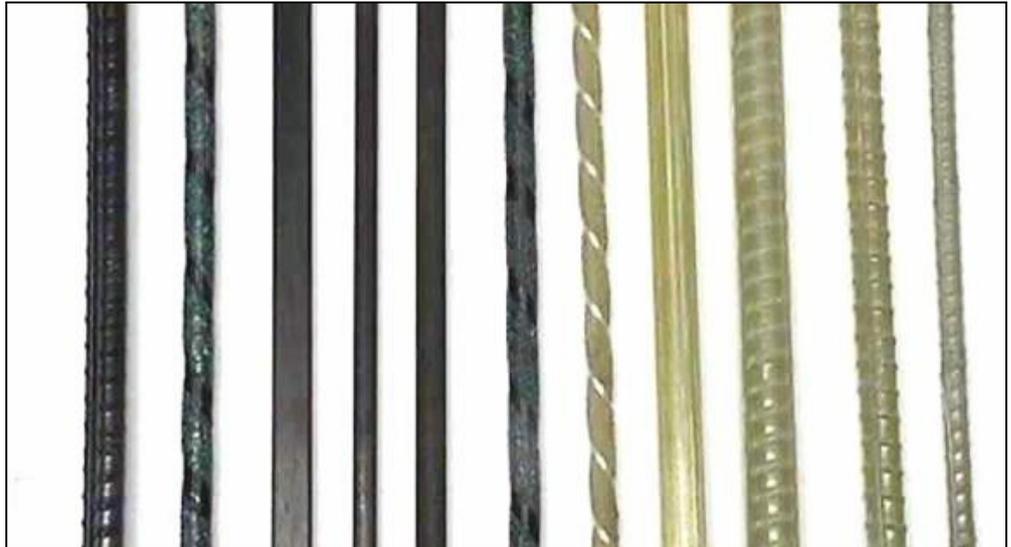


Figura 26: tipologie varie di barre pultruse

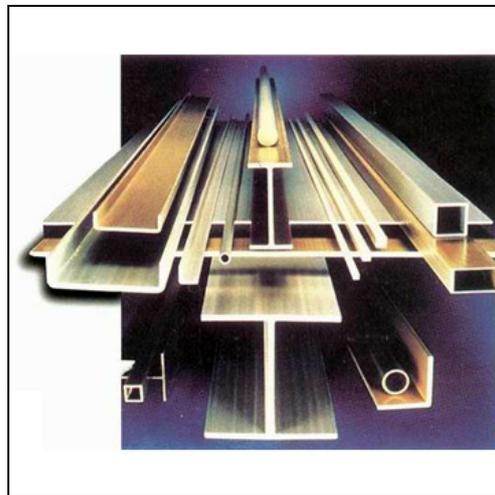


Figura 27: profilati pultrusi

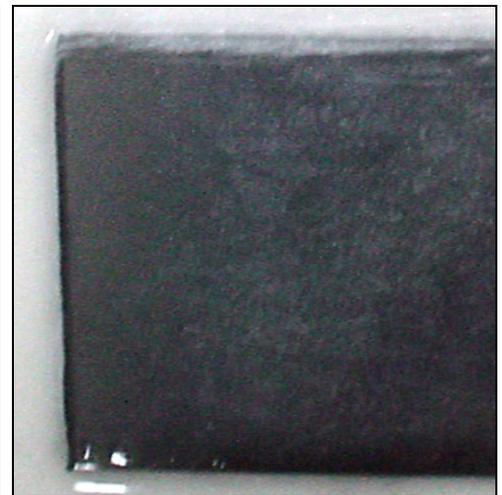


Figura 28: lamina in fibra di carbonio

3. IL RECUPERO DEGLI EDIFICI STORICI

3.1. Tecniche e materiali nelle teorie del restauro

La storia e le teorie del restauro, sviluppatasi nel corso di due secoli, hanno oggi raggiunto un elevato livello di rigore storico critico, distinguendosi tanto dai criteri di solo adeguamento funzionale e prestazionale quanto dalla semplice riprogettazione dei manufatti. Secondo la moderna concezione il restauro si riferisce a beni di valore culturale, storico o artistico ed al loro tessuto urbanistico, territoriale e paesistico, ed assume una conformazione *critico-conservativa*, privilegiando gli aspetti della tutela e della conservazione scrupolosa del bene, accettando l'attribuzione di funzioni compatibili con esso, secondo il concetto di conservazione integrata espresso nella Carta di Amsterdam³. Il riutilizzo compatibile del bene anzi si propone come mezzo insostituibile per la conservazione ed il buon mantenimento del bene nel tempo⁴.

Il restauro quindi non è più un restituire al manufatto le sue condizioni iniziali, ma anche dotarlo di nuove caratteristiche, che originariamente non possedeva, avvicinandosi alla definizione di recupero, che riguarda in senso più ampio, l'insieme di operazioni volte a riportare ad un certo livello prestazionale, anche superiore a quello originario, un qualunque manufatto esistente.

La definizione moderna di restauro è sintetizzata nel Testo unico del 1999, conosciuto come Legge Melandri e ripresa dal successivo Codice dei beni culturali e del paesaggio, secondo cui “per restauro si intende l'intervento diretto sulla cosa volto a mantenere l'integrità materiale e ad assicurare la conservazione e la protezione dei suoi valori culturali. Nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio

³ Cfr “la Carta di Amsterdam”, 1975 (Carta della conservazione integrata)

⁴ Giovanni Carbonara, “Trattato di restauro architettonico”, UTET, Torino 2004.

sismico in base alla normativa vigente il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale⁵.

Secondo questa definizione il restauro si differenzia dal recupero in quanto il primo interessa in maniera esclusiva gli edifici riconosciuti di interesse storico-artistico e quindi è regolato prevalentemente da ragioni di carattere culturale e di trasmissione della memoria mentre il secondo si rivolge, in generale, a tutto il patrimonio edilizio.

L'attuale normativa italiana, accoglie questi concetti, consentendo per gli edifici di carattere storico-artistico l'attuazione di interventi di miglioramento senza raggiungere il livello dell'adeguamento, antepoendo quindi le ragioni della tutela dei valori del manufatto. La differenza tra adeguamento e miglioramento è fondamentale:

- l'adeguamento prevede una serie di interventi estesi a tutto l'edificio, volti al raggiungimento dei livelli prestazionali minimi richiesti dalle norme in vigore. Questo spesso comporta la necessità di eseguire pesanti interventi di consolidamento estesi a tutta la struttura;
- il miglioramento permette un tipo di intervento meno invasivo, consistendo in un insieme di opere eseguite su singole parti della struttura, che conferiscano alla struttura stessa un livello prestazionale migliore di quello iniziale.

Mentre nel restauro si può quindi procedere con interventi di miglioramento, nell'ottica del recupero, ovvero di interventi realizzati su edifici non classificati come beni culturali, il tipo di intervento da realizzare generalmente rientra nel campo dell'adeguamento. La distinzione non è però così netta, spesso, per la salvaguardia delle vite umane o dell'edificio stesso, si ricorre ad interventi di adeguamento anche per i beni culturali. Allo stesso modo è possibile che un edificio non catalogato come

⁵ Cfr. Decreto Legislativo N.490 del 29 ottobre 1999 "Testo Unico sui beni culturali" Decreto Legislativo N.42 del 22 gennaio 2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio"

bene culturale presenti valori architettonici, culturali o artistici che è opportuno preservare anche al di là dei limiti della tutela imposta.

In questi casi non è possibile fornire regole di intervento valide in generale, ma resta affidata alla sensibilità del progettista la possibilità di ottenere i migliori risultati partendo dall'attenta analisi del singolo caso.

Per un recupero compatibile spesso risulta necessario intervenire sull'edificio, ai fini di garantire dei livelli prestazionali minimi che assicurino un corretto utilizzo ed adeguate condizioni di sicurezza. Questo di solito si traduce in una serie di interventi volti all'innalzamento della sicurezza strutturale, del comfort ambientale ed al miglioramento dell'impiantistica in generale.

La rifunzionalizzazione non è l'unico motivo di intervento sui beni culturali, ma vi sono anche ragioni di manutenzione ordinaria o straordinaria, interventi di riparazione a seguito di eventi calamitosi o di presidio statico in previsione di tali eventi, ecc...

Nell'ottica del moderno concetto di restauro tutti questi interventi devono essere caratterizzati da criteri di compatibilità, reversibilità, distinguibilità, rispetto dell'autenticità e criteri di minimo intervento⁶.

Una volta individuato il tipo di intervento che si intende eseguire, una delle scelte fondamentali nel progetto dell'intervento stesso riguarda il tipo materiali e di tecniche costruttive da impiegare, ovvero la scelta tra interventi di tipo tradizionale o innovativo.

I materiali e le tecniche "tradizionali" sono quelli il cui uso è legato ai modi di costruire tradizionali, consolidati nel tempo e spesso di carattere locale; come collocazione temporale si può prendere come riferimento l'epoca di costruzione dell'edificio, ma è un parametro del tutto indicativo e non vincolante.

⁶ Giovanni Carbonara, Op. Cit.

“Innovativi” sono invece quei materiali e quelle tecniche messe a punto e di utilizzo recente all’epoca dell’intervento.

Spesso si utilizza anche l’aggettivo “moderno” ad indicare materiali e tecniche applicative sviluppatasi a partire dalla rivoluzione industriale, ma che oramai, per l’uso consolidato, possono essere considerati come tradizionali. Da questo punto di vista ogni tecnica tradizionale è stata innovativa nel passato, così come ogni attuale tecnica innovativa può diventare tradizionale con il consolidarsi dell’uso nel tempo.

Tipicamente oggi le tecniche considerate tradizionali differiscono da quelle moderne per la non uniformità del prodotto finito, dovuta ad una serie di fattori antropici ed ambientali che non entrano nel processo produttivo industriale⁷.

Nel recupero tradizionale, antecedente l’epoca industriale, le scelte adottate dal progettista erano fondamentalmente dettate dal tipo di materiale disponibile sul posto e dalle capacità delle maestranze locali. Questo costituisce uno degli aspetti positivi dell’utilizzo delle tecniche tradizionali, in quanto l’uso di materiali locali per il recupero garantisce la compatibilità con quelli originari, in quanto di uguale provenienza; lo stesso vale per le tecniche esecutive, che in genere hanno un forte radicamento locale.

I materiali innovativi invece si presentano come un prodotto industriale, spesso non ancora esistente all’epoca originaria del manufatto, e comunque applicato secondo metodologie nuove. Questo fa nascere una serie di problematiche legate alla compatibilità dell’intervento con il manufatto preesistente da cui la diffidenza verso l’impiego di questi materiali.

Tale diffidenza è alimentata anche dagli insuccessi di alcuni tipi di applicazioni verificatisi nel secolo scorso, causati in genere da una scarsa conoscenza dei materiali

⁷ Giacomo Martines “tecniche moderne e tradizionali” a confronto”, in “Trattato di restauro architettonico”, AA.VV. a cura di Giovanni Carbonara, Torino UTET, 1996

nuovi e soprattutto del loro comportamento nel tempo. Problemi di questo genere oggi sono ancora più sentiti per diversi motivi, da una parte è aumentata la sensibilità verso la tutela dei manufatti, dall'altra i materiali innovativi presentano caratteristiche molto elevate, quindi vengono chiamati a svolgere ruoli molto importanti all'interno del manufatto con la conseguenza che una perdita di servizio nel tempo potrebbe causare danni irrimediabili.

Nonostante queste diffidenze siano diffuse anche all'interno delle soprintendenze che tutelano la conservazione dei beni culturali, l'uso dei materiali innovativi ha una sempre maggiore diffusione nel campo del recupero degli edifici storici. Questo fenomeno è dovuto a diversi fattori tra cui la scomparsa della produzione degli antichi materiali e delle maestranze capaci di metterli in opera, ma anche la richiesta di prestazioni che i materiali tradizionali non sono in grado di fornire e, non ultime, ragioni di mercato.

Per comprendere la relazione tra il restauro o il recupero, le tecniche costruttive e i materiali da impiegare, è interessante seguirne l'evoluzione attraverso l'intervallo di tempo che copre tutto il XX secolo, perché è quello in cui tale evoluzione a subito una forte accelerazione da una parte per l'evoluzione del concetto stesso di restauro e dall'altra per l'introduzione e diffusione a larga scala di un elevatissimo numero nuovi prodotti.

Fin dalle prime raccomandazioni redatte dai teorici del restauro, si trovano riferimenti alle tecniche e ai materiali da impiegare negli interventi sul patrimonio edilizio esistente. Il pensiero, in tal senso, è andato mutando nel corso degli anni in relazione ai cambiamenti del contesto culturale e delle innovazioni introdotte dal progresso tecnologico.

La Carta di Atene⁸, del 1931, si riferisce in maniera esplicita all’“...impiego giudizioso di tutte le risorse della tecnica moderna, e più specialmente del cemento armato...” che in quel contesto rappresentava il materiale innovativo cui si guardava con grande fiducia quale soluzione ottimale ai problemi strutturali legati al restauro edilizio. Nella realtà gli interventi in calcestruzzo armato si dimostrarono spesso meno efficaci del previsto, se non addirittura peggiorativi nel tempo, a causa anche di una tecnologia allo stadio iniziale, certamente molto meno raffinata di quella attuale.

A seguito dell'evoluzione del concetto stesso del restauro, oltre che della lezione scaturita dall'insuccesso del materiale “nuovo”, le indicazioni delle Carte del restauro si sono spostate sempre più nella direzione dell'impiego di tecniche e materiali tradizionali, pur non precludendo del tutto l'introduzione di innovazioni.

L'impiego di tecniche e materiali tradizionale, compatibili con l'esistente e testati dalla lunga esperienza applicativa, è auspicato già dalla Carta di Venezia⁹, del 1964, che nell'articolo 10 specifica che “quando le tecniche tradizionali si rivelano inadeguate, il consolidamento di un monumento può essere assicurato mediante l'ausilio di tutti i più moderni mezzi di struttura e di conservazione, la cui efficienza sia stata dimostrata da dati scientifici e sia garantita dall'esperienza”.

Nel 1972 la Carta Italiana del Restauro¹⁰ ammette l'uso dei materiali innovativi solo dietro autorizzazione del Ministero della Pubblica Istruzione, all'epoca competente nel settore dei beni culturali, e previo parere dell'Istituto Centrale del Restauro.

⁸ Cfr. Conferenza Internazionale di Atene, 1931 -“La Carta di Atene”, punto V

⁹ Cfr “La Carta di Venezia” 1964, Carta internazionale sulla conservazione e il restauro di monumenti e insiemi architettonici.

¹⁰ Cfr La Carta Italiana del Restauro del 1972

Anche la Carta di Cracovia¹¹ del 2000 sintetizza in maniera molto chiara questo concetto: si propone l'impiego di materiali e tecniche tradizionali non solo perchè collaudati e compatibili con l'edificio da restaurare, ma anche “essendo esse stesse una componente importante del patrimonio” da tutelare.

Tuttavia l'Articolo 10 presenta un'apertura verso tecniche e materiali innovativi, a condizione che siano “rigorosamente sperimentati, comparati ed adeguati alle reali necessità conservative”; un'altra indicazione data al progettista riguarda la reversibilità delle applicazioni, ovvero la possibilità di riportare il manufatto alle condizioni precedenti l'intervento di restauro, attraverso operazioni relativamente semplici.

Queste indicazioni, quindi, vengono incontro alle innovazioni che la ricerca scientifica ed il mercato mettono a disposizione del progettista, ma, allo stesso tempo, pongono un freno all'impiego di sistemi poco sperimentati per i quali non si hanno garanzie, in particolare riguardo al loro comportamento nel tempo.

Da questo breve excursus si evidenzia come sia mutato il pensiero dei teorici del restauro nell'arco di settanta anni, passando dalla fiducia incondizionata nei materiali moderni ad una riscoperta delle tecniche tradizionali ed infine ad una cauta riapertura nei confronti delle tecniche innovative.

Il compito del progettista è quello di individuare la soluzione ottimale per ogni particolare esigenza, muovendosi nel rispetto di quanto dettato dalle Carte, ma questo richiede la sensibilità proveniente da una adeguata formazione tecnico-culturale e la conoscenza tanto delle tecniche costruttive tradizionali quanto di quelle innovative, andando oltre, in questo secondo caso, alle indicazioni fornite dai produttori, che per

¹¹ Cfr. International conference “Cultural Heritage as Foundation of Development Civilisation”, 2000, “Kraków Charter”

ovvi motivi commerciali tendono ad evidenziare solo gli aspetti positivi dei nuovi materiali.

Il compito dei ricercatori, quindi, è quello di fornire agli operatori tutti gli strumenti indispensabili al raggiungimento del miglior risultato possibile in relazione al particolare problema affrontato, da queste considerazioni scaturiscono le motivazioni ed i proponimenti dello studio effettuato.

I materiali compositi fibrorinforzati oggi rappresentano quello che era il cemento armato ai tempi della Carta di Atene: da una parte ci sono le indiscutibili prestazioni che essi forniscono se utilizzati nella maniera corretta, dall'altra le incertezze legate ad una sperimentazione diretta ancora relativamente recente, ad esempio in merito alla durabilità delle applicazioni. Diviene quindi fondamentale avere a disposizione tutti gli strumenti di valutazione per la scelta delle applicazioni, e che è raggiungibile solo creando un'ampia banca dati in cui confluiscono i diversi contributi della ricerca scientifica, delle esperienze pratiche e di quel "continuo monitoraggio dei risultati ottenuti" auspicato ancora dalla Carta di Cracovia, al fine di studiare il comportamento nel tempo dei nuovi materiali e creare una conoscenza di base per le future applicazioni.

Questo risultato può essere raggiunto continuando le tante sperimentazioni che sono in corso ed affiancandone ulteriori. Tuttavia si rileva che la quasi totalità di queste sperimentazioni viene effettuata in laboratorio, attraverso simulazioni, più o meno raffinate, di situazioni reali. Per citare un esempio, il comportamento nel tempo viene studiato attraverso simulazioni in camere climatiche che riproducono in maniera accelerata gli effetti dell'invecchiamento con esposizione ad agenti atmosferici. Questo sicuramente può fornire indicazioni qualitative riguardo alla previsione degli effetti di lunga durata, ma per diversi limiti intrinseci nella simulazione stessa i risultati previsionali non possono essere rigorosi. È evidente come sia necessaria una osservazione condotta su casi reali, ma questa esigenza si scontra con ragioni di

carattere economico e pratico, per cui ad oggi sono ancora pochi gli studi fatti in tal senso.

Lo sviluppo della ricerca, quindi, necessita dello sforzo e della partecipazione di tutti i soggetti coinvolti nel restauro, le soprintendenze, i progettisti, i produttori e gli operatori, al fine di rendere disponibili conoscenze sempre più estese e rigorose che garantiscano la riuscita degli interventi nel rispetto della tutela degli edifici storici.

3.2. Le tecniche innovative per il consolidamento strutturale

Il processo edilizio si è sviluppato di pari passo con la civiltà, portando nei secoli ad un miglioramento delle capacità costruttive, che in alcuni casi hanno raggiunto punte di eccellenza semplicemente per affinamenti successivi, senza un vero e proprio fondamento di teoria o ricerca scientifica.

A partire dalla rivoluzione industriale lo sviluppo tecnologico è avvenuto in maniera esponenziale ed anche il settore delle costruzioni ha visto un'accelerazione del processo innovativo, pure se non paragonabile a quella di altri settori.

Risalgono a questo periodo le maggiori innovazioni introdotte nel campo dei materiali da costruzione, ovvero nella produzione e nelle applicazioni del ferro e del calcestruzzo armato, che hanno segnato una vera e propria svolta epocale nel modo di costruire. La tecnologia di questi materiali è stata notevolmente perfezionata nel corso del tempo, ed il loro uso si è talmente consolidato che oggi possono essere considerati sistemi tradizionali, anche se in continua evoluzione.

Negli corso del XX secolo hanno preso il sopravvento altri settori, da quello aeronautico-aerospaziale alla meccanica e l'elettronica, nei quali si è maggiormente concentrata la ricerca, che hanno pertanto avuto tassi di crescita molto maggiori del settore edile. Negli ultimi decenni si è assistito poi ad un trasferimento di tecnologie da questi settori privilegiati all'ingegneria civile con un passaggio di tecniche e materiali precedentemente sconosciuti al mondo delle costruzioni.

È il caso dei compositi fibrorinforzati in matrice organica, messi a punto e utilizzati inizialmente per altri settori in virtù delle proprie caratteristiche, e poi trasferiti al mercato dell'edilizia, quando ormai il loro uso era consolidato, se non superato, negli scopi originari. Ad esempio, fibre di vetro da decenni sono utilizzate per gli scafi delle barche, quelle di carbonio per tessuti ad elevata resistenza o in compositi per la realizzazione di componenti automobilistici o aeronautici mentre le fibre aramidiche hanno avuto i primi impieghi in campo militare, per la realizzazione di elementi protettivi.

L'uso di questi materiali in edilizia risale a circa venti anni, tuttavia possono essere considerati ancora in fase sperimentale richiedendo ulteriori approfondimenti sotto diversi aspetti, tuttavia le loro caratteristiche li rendono particolarmente interessanti per diversi utilizzi, prevalentemente in funzione del consolidamento strutturale.

L'Italia è all'avanguardia in questo campo in virtù del grande patrimonio edilizio esistente e delle relative esigenze di salvaguardia e conservazione, un campo di applicazione in cui i fibrorinforzati, se correttamente impiegati, riescono ad esprimere al meglio le loro proprietà.

I compositi a fibra corta si presentano in genere come il miglioramento di un materiale già esistente, a cui conferiscono proprietà aggiuntive, ad esempio l'aggiunta di fibre di vetro che si oppongono alla fessurazione delle malte. La vera innovazione è costituita invece dai materiali a fibra lunga, sfruttati tipicamente per assorbire sforzi di trazione nelle strutture. Si tratta di materiali fortemente anisotropi, generalmente molto resistenti a trazione e di resistenza trascurabile a compressione e taglio, utilizzati in maniera differente in funzione del tipo di supporto su cui sono applicati e della particolare sollecitazione a cui saranno sottoposti.

Negli edifici in cemento armato, almeno nelle prime applicazioni, venivano utilizzati in sostituzione dell'acciaio nella tecnica del "beton plaqué", quindi con lo scopo di assorbire gli sforzi di trazione nelle zone tese della struttura. Anche altri

utilizzi ricalcano quelli dell'acciaio, come le barre in materiale composito utilizzate come armature nel calcestruzzo armato e nelle perforazioni di consolidamento delle murature, o ancora i profilati in materiale composito dalle sezioni del tutto simili a quelle dei comuni profilati in acciaio. In questo tipo di impieghi lo scopo è fondamentalmente quello di raggiungere un grado di resistenza almeno pari a quello dell'acciaio, ma con peso proprio degli elementi decisamente inferiore. Un altro indiscutibile vantaggio è l'assenza di fenomeni di ossidazione nei compositi, a differenza di quanto accade per l'acciaio. A fronte di questi vantaggi ci sono però anche diversi inconvenienti, l'anisotropia ad esempio è un problema molto sentito per quelle applicazioni dove il materiale potrebbe essere sottoposto a sollecitazioni diverse dalla trazione, come può accadere per le barre ed i profilati, inoltre c'è da considerare il costo dei materiali che è ancora molto maggiore di quello dell'acciaio.

Più interessanti sono applicazioni di altro tipo, come ad esempio la cerchiatura dei nodi nei telai di calcestruzzo armato, dove l'applicazione porta ad un aumento di duttilità del nodo costituendo un'interessante soluzione di retrofitting in zona sismica, o la cerchiatura di pilastri e pile da ponte, dove l'effetto di confinamento del calcestruzzo porta ad un aumento della resistenza a compressione della colonna.

Ancora più efficaci risultano essere le applicazioni negli edifici in muratura: in ragione del fatto che la principale carenza delle murature è la resistenza a trazione i compositi vengono utilizzati per assorbire tale sollecitazione. Un altro tipico intervento è quello di impedimento ai vari meccanismi di collasso che una struttura in muratura può subire; le applicazioni sono numerose e riguardano diversi elementi strutturali:

- consolidamento di volte ed archi all'intradosso o all'estradosso con materiali compositi FRP disposti contrastare le eventuali fessurazioni, impedendo la formazione di cerniere e quindi scongiurando il collasso della struttura;
- cerchiatura di pilastri e setti murari con aumento della duttilità e della resistenza a compressione dovuta all'effetto di confinamento;

- cerchiatura del tamburo alla base delle cupole per contenerne la dilatazione nel piano della circonferenza, assorbendo gli sforzi di trazione;
- cerchiatura al livello dell'imposta delle volte, con effetto di cordolo per l'eliminazione delle spinte orizzontali;
- cerchiatura in sommità degli edifici per garantire la connessione tra le pareti ortogonali ed evitare il ribaltamento delle stesse.

Particolarmente interessanti sono gli interventi che vedono l'applicazione di materiali compositi con la funzione di "presidio" rispetto alla sollecitazione sismica, in questo caso non viene alterato il funzionamento strutturale dell'edificio in condizioni di esercizio ordinarie, in quanto i rinforzi non sono chiamati a contribuire all'assorbimento delle sollecitazioni in tali condizioni. In caso di sollecitazioni eccezionali, come quelle dovute all'evento sismico, si innescano meccanismi che attivano la resistenza dei rinforzi di presidio, che quindi possono esplicare la propria funzione. Questo tipo di intervento consente un approccio corretto alla conservazione dell'edificio dal punto di vista del restauro, in quanto non svuota delle proprie funzioni le antiche parti strutturali, a differenza di quanto avviene con altri tipi di intervento, più invasivi, che tendono a sostituire la struttura esistente trasferendone le funzioni portanti a nuove strutture, come telai in calcestruzzo armato o acciaio.

Tuttavia, in un intervento di consolidamento con materiali innovativi, coesistono gli evidenti vantaggi ottenibili con una serie di problemi, legati al particolare materiale e alla modalità di applicazioni, che possono ridurre l'efficacia dell'intervento, fino a renderlo totalmente inconsistente. Risulta pertanto indispensabile un approfondimento sulle caratteristiche dei materiali e sulle tecniche di applicazione in funzione del tipo di consolidamento e del supporto su cui si dovrà operare, al fine di una corretta progettazione e realizzazione dell'intervento con materiali fibrorinforzati.

3.3. I compositi fibrorinforzati in matrice organica

I materiali compositi fibrorinforzati in matrice organica, trattati nell'ottica delle applicazioni di consolidamento su edifici antichi, sono quelli realizzati con fibre di rinforzo lunghe in matrice continua di natura polimerica, da cui deriva l'acronimo FRP (Fiber Reinforced Polymer); in genere si tratta di fibre ad elevate prestazioni meccaniche e bassa densità immerse in una matrice costituita da una resina termoindurente, epossidica o poliestere.

Nei capitoli precedenti sono state analizzate le proprietà dei singoli materiali, ora si vogliono sottolineare le proprietà e le modalità d'impiego dei sistemi di rinforzo, ovvero della combinazione dei materiali e della loro messa in opera.

Una prima classificazione può essere fatta in funzione dei tempi e modi di preparazione del composito. Si distinguono quindi:

- compositi preformati (pre-cured system), realizzati in stabilimento in varie forme attraverso procedimenti di pultrusione o laminazione e successivamente applicati alle strutture;
- sistemi impregnati in sito (wet lay-up system), realizzati in opera con tessuti di fibre impregnati con una resina che funge anche da adesivo con il supporto;
- sistemi preimpregnati (prepreg system), realizzati con tessuti preimpregnati con resina solo parzialmente polimerizzata che vengono applicati ai supporti con o senza l'aggiunta di ulteriore resina.

Il sistema composito FRP, secondo le definizioni date in precedenza, è costituito dalle fibre lunghe, che svolgono la funzione di rinforzo, e dalla resina che protegge le fibre stesse e trasferisce le sollecitazioni all'interno del sistema e tra il supporto ed il sistema stesso.

Le proprietà meccaniche di fibre e resina sono molto differenti, qualitativamente si può affermare che il sistema presenta proprietà intermedie rispetto a quelle dei singoli

componenti. Si riporta, a titolo di esempio, il confronto tra le proprietà di un composito e i materiali costituenti¹².

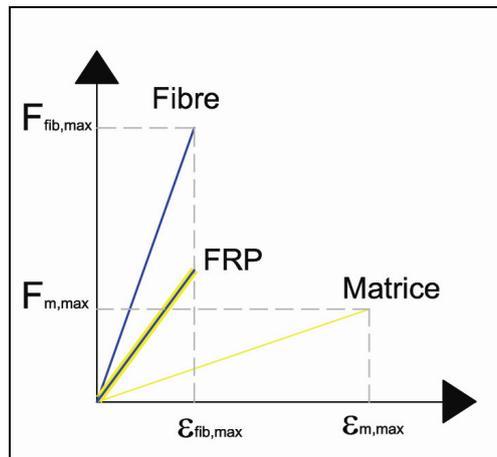


Figura 29: legame costitutivo di un composito e dei corrispondenti costituenti

CONFRONTO TRA PROPRIETÀ DI UN PRESORMATO E DELLE CORRISPONDENTI FIBRE						
	Modulo di elasticità normale [GPa]		Tensione di rottura [MPa]		Deformazione a rottura [%]	
	FRP	Fibre	FRP	Fibre	FRP	Fibre
	E_f	E_{fib}	f_f	f_{fib}	ϵ_{fu}	$\epsilon_{fib,u}$
CFRP basso modulo	160	210-230	2800	3500-4800	1,6	1,4-2,0
CFRP alto modulo	300	350-500	1500	2500-3100	0,5	0,4-0,9

Tabella 1

Per i materiali compositi a fibre lunghe è possibile anche una stima dei valori delle proprietà meccaniche a partire da quelle delle fasi costituenti¹³:

¹² Cfr CNR-DT 200/2004 “Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l’utilizzo di compositi fibrorinforzati”

$$E_f = V_{fib} \cdot E_{fib} + (1 - V_{fib}) \cdot E_m$$

$$f_f = V_{fib} \cdot f_{fib} + (1 - V_{fib}) \cdot f_m$$

Dove i simboli assumono i seguenti significati:

V_{fib} = frazione in volume delle fibre

E_{fib} = modulo di elasticità normale delle fibre

E_m = modulo di elasticità normale della matrice

I valori ricavati dalle relazioni precedenti sono del tutto indicativi e rappresentano una stima in eccesso di quelli reali, per una corretta progettazione è necessario fare riferimento a valori sperimentali. Questo è particolarmente evidente per i compositi impregnati in situ, dove non si riescono ad avere valori controllati della geometria del sistema proprio per le particolari modalità di realizzazione dello stesso. Per i compositi preformati invece il processo di produzione in stabilimento consente di avere un controllo sulla geometria del sistema e sulle frazioni volumetriche dei componenti, questo avvicina i valori stimati a quelli reali.

L'influenza dei valori delle frazioni volumetriche di matrice e fibre all'interno del composito è molto sentita sui valori di modulo di elasticità e tensione di rottura riferiti al sistema globale, perché il comportamento del sistema è sostanzialmente governato dalle caratteristiche delle fibre che sono molto più elevate di quelle della resina, tuttavia la quantità di resina influisce sulla sezione del composito e quindi comporta una variazione della superficie cui sono riferite le caratteristiche stesse. Ne consegue un abbassamento dei valori delle proprietà meccaniche del sistema all'aumentare della frazione di resina, tale diminuzione è compensata dall'aumento di sezione, tanto che riferendosi ai valori ultimi di rottura del sistema, in termini di forze e di prodotto del

¹³ *Ibid*

modulo elastico per la superficie, non si hanno variazioni sostanziali, dato il contributo minimo della resina.

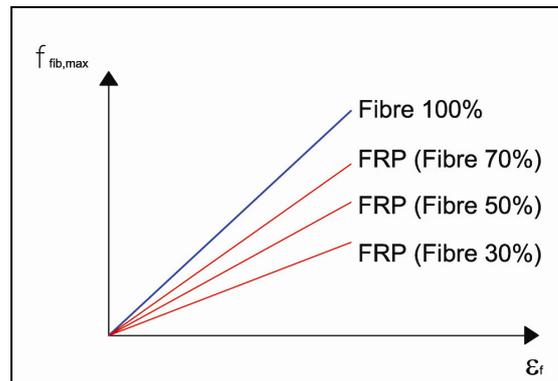


Figura 30: legame costitutivo di un composito in funzione della frazione volumetrica

Le proprietà meccaniche del sistema composito non dipendono solo da quelle dei singoli componenti attraverso le frazioni volumetriche, ma anche da altri fattori che non entrano nelle relazioni sopra descritte, quali l'aderenza tra fibre e matrice e l'allineamento delle fibre all'interno del composito, i valori desunti da prove sperimentali risultano pertanto gli unici realmente affidabili.

Per i sistemi preformati si fa riferimento ai dati forniti dal produttore in relazione alla sezione del composito, per i sistemi impregnati in situ, invece, si fa riferimento ai valori dell'area resistente del tessuto secco, non essendoci controllo sulla sezione finale del materiale messo in opera.

3.4. Campi di impiego ricorrenti negli edifici antichi

I materiali compositi presentano un'ampia versatilità di impiego, in forza dei numerosi tipi di sistemi che si possono realizzare mediante la combinazione dei vari elementi componenti. Una delle più apprezzate caratteristiche di questi materiali, infatti, è la progettabilità, intesa come la possibilità di combinare le diverse fasi, cioè

fibre, matrice e adesivo, in termini di quantità, qualità e modalità di realizzazione; in tal modo si può realizzare il materiale composito che si ritiene più adatto al singolo caso in esame. Questo comporta un'ottimizzazione della soluzione in funzione delle esigenze del caso che si riflette non solo nell'efficacia del consolidamento, ma anche in un sensibile risparmio economico.

Anche soffermando l'attenzione su edifici in muratura gli interventi possibili quindi sono molteplici; in generale consistono nella applicazione di tessuti, barre, lamine e reti su elementi strutturali con lo scopo prioritario di conseguire, per i singoli elementi o per l'intera struttura, un incremento di resistenza nei confronti delle azioni di sollecitazione e, quando possibile, un aumento dei valori degli spostamenti esibiti all'atto del collasso¹⁴.

Considerate le caratteristiche dei materiali compositi è evidente come l'impiego consista essenzialmente nell'assorbimento di sforzi di trazione, in quanto i rinforzi, per loro natura, rispondono male alla compressione a causa di fenomeni di instabilità locale delle fibre o del composito, con conseguente rottura dell'interfaccia per delaminazione. I rinforzi, quindi, hanno il fine di trasmettere gli sforzi di trazione all'interno del singolo elemento o tra elementi contigui, collegare diversi elementi, irrigidire elementi strutturali nel proprio piano, contrastare l'apertura di fessure, confinare gli elementi strutturali aumentandone la resistenza.

In tabella 2 si riportano in sintesi gli interventi tipici che vengono realizzati sui diversi elementi strutturali nell'ambito degli edifici in muratura.

¹⁴ Cfr CNR-DT 200/2004 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati"

TIPOLOGIE DI INTERVENTO SUGLI EDIFICI IN MURATURA	
Elemento strutturale	Finalità dell'intervento
Maschi murari	Incremento di resistenza
Archi e volte	Incremento di resistenza
Colonne e pilastri	Cerchiatura con Aumento di resistenza a compressione della struttura
solai	Irrigidimento nel piano e aumento della capacità portante
Struttura globale	Incatenamento/fasciatura della struttura
Strutture spingenti	Assorbimento della spinta
Elementi non strutturali	Conferimento di rigidezza e resistenza
Tabella 2	

I pannelli in muratura vengono consolidati al fine di conferire una maggiore resistenza e duttilità nei confronti di sollecitazioni agenti all'interno o fuori del piano della muratura. In generale per contrastare le azioni fuori del piano vengono applicate alla sommità del pannello strisce di composito che lo legano ai maschi murari ortogonali e ne evitano il ribaltamento, su tutta la superficie compositi con fibre verticali che si oppongono al collasso per flessione verticale e rinforzi con fibre orizzontali che conferiscono resistenza alla flessione orizzontale nelle fasce di muratura che possono essere interessate da questa sollecitazione. Le sollecitazioni nel piano del pannello sono rappresentate da pressoflessione e taglio, il consolidamento si esegue di norma applicando strisce di rinforzo verticale in zona tesa simmetricamente sulle due facce del pannello, incrementandone in tal modo la portanza; per contrastare il taglio vengono applicate due strisce secondo le diagonali del pannello su entrambe le facce.

Gli architravi si consolidano, in genere, con lamine applicate all'intradosso dell'elemento, mentre per le fasce di piano i rinforzi disposti parallelamente alla fascia svolgono la funzione di catena, l'applicazione può avvenire all'interno o all'esterno.

Per il rinforzo di elementi strutturali curvi si prendono in esame i possibili meccanismi di collasso; questo di norma avviene con la formazione di cerniere che si

manifestano come fessurazioni all'intradosso o all'estradosso delle strutture, a causa della scarsa resistenza a trazione della muratura. Il rinforzo quindi viene applicato a contrastare l'apertura di queste fessure e la conseguente formazione delle cerniere. Per gli archi impostati su pareti murarie il rinforzo può essere applicato all'intradosso, in modo da impedirne la fessurazione e quindi la formazione di cerniere all'estradosso, o viceversa all'estradosso, in modo da impedire l'apertura di cerniere all'intradosso; talvolta l'applicazione avviene su entrambe le superfici. Tra i due interventi è preferibile quello all'estradosso, perché per effetto della curvatura si attivano sul composito delle tensioni normali che all'estradosso tendono a schiacciare il rinforzo sulla muratura, mentre all'intradosso tendono a distaccarlo. Per questi tipi di intervento solitamente si utilizzano i tessuti che si adattano meglio alle superfici curve rispetto alle lamine. Quando l'arco è impostato su piedritti assume uno schema a portale per cui si rende necessario un ulteriore rinforzo con la funzione di catena, per impedire l'allontanamento delle imposte.

Le volte a botte si comportano essenzialmente come archi e pertanto vengono consolidate allo stesso modo, disponendo rinforzi lungo la direttrice diffusi per tutto lo sviluppo della volta stessa. L'intervento viene completato mediante la disposizione di strisce orizzontali, lungo la generatrice, che hanno il compito collegare i rinforzi ad arco.

Le cupole presentano tipicamente un quadro fessurativo con andamento delle lesioni lungo i meridiani dovute al regime membranale che per i carichi verticali sviluppa trazione nel piano dei paralleli, per contrastare queste sollecitazioni si dispongono rinforzi in circonferenze orizzontali lungo i paralleli. All'imposta della cupola e in corrispondenza della lanterna si aggiunge un regime flessionale che può portare al collasso di spicchi della cupola per allontanamento delle imposte o con un meccanismo ad imposte fisse. Nel primo caso il consolidamento avviene mediante rinforzi disposti lungo la circonferenza di imposta, che ne impediscono la

deformazione, nel secondo invece si applicano strisce lungo i meridiani o lungo i paralleli ma in corrispondenza delle reni della cupola.

Per le volte a doppia curvatura e a vela si può intervenire consolidando la gabbia muraria o in disponendo rinforzi in opposizione ai meccanismi di collasso. Le volte a crociera e a padiglione, derivate dall'intersezione di due volte a botte, si consolidano seguendone lo stesso criterio, con l'aggiunta di rinforzi che impediscono l'apertura delle tipiche lesioni lungo le curve di intersezione delle superfici curve di unghie e fusi.

Gli elementi strutturali soggetti a forti tensioni di compressione, come i pilastri, vengono consolidati mediante confinamento con rinforzi che si oppongono alla dilatazione trasversale dell'elemento. Si impiegano tessuti applicati come cerchiatura della superficie esterna dell'elemento o barre con cui si realizzano cuciture armate.

Altri interventi tipici negli edifici in muratura riguardano il consolidamento di strutture lignee e l'irrigidimento dei solai nel proprio piano. Sulle travi in legno si interviene applicando lamine mediante incollaggio sulla superficie di intradosso oppure operando in scanalature realizzate all'interno della trave, ma sempre in zona tesa; in questo secondo caso si possono utilizzare sia lamine o barre pultruse.

Infine si possono realizzare una serie di interventi su elementi non strutturali per dotarli di funzione strutturale e quindi a beneficio dell'intera struttura, oppure semplicemente per consolidarli, quando se ne vuole salvaguardare l'integrità.

3.5. Modalità di applicazione

I materiali compositi fibrorinforzati presentano caratteristiche meccaniche molto superiori a quelle delle strutture su cui vengono applicati e la riuscita di un intervento dipende in maniera molto forte dalla modalità con cui esso viene eseguito. Il collasso del sistema avviene, di solito, per distacco del rinforzo dalla superficie del supporto su cui è applicato, quindi l'aderenza all'interfaccia assume un ruolo di fondamentale importanza.

La prima operazione necessaria è quindi la preparazione del supporto che deve essere per lo meno regolarizzato e pulito. L'operazione richiede la rimozione di intonaci o altre finiture, malte degradate e polveri fino al raggiungimento della muratura; nel caso in cui questa sia particolarmente degradata si deve procedere preventivamente ad un consolidamento della zona in cui sarà applicato in composito. La preparazione si completa eliminando le irregolarità e stuccando le cavità in modo da ottenere una superficie piana; particolare attenzione deve essere posta negli angoli, che non devono essere mai a spigolo vivo ma conformati secondo una curva sufficientemente ampia da evitare la concentrazione di sforzi che potrebbe rompere localmente le fibre. Quando le superfici si presentano particolarmente irregolari si può interporre tra queste ed il composito uno strato regolarizzante realizzato con malte speciali.

Completata questa fase si passa all'impregnazione della superficie mediante un primer epossidico, con una o due applicazioni a pennello o rullo, che ha lo scopo di favorire l'aggrappaggio dell'adesivo al supporto.

Dopo i tempi di asciugatura del primer si può eventualmente procedere alla stesura dello strato rasante, oppure passare direttamente all'applicazione del composito. Questa avviene con una prima stesura di resina su cui viene poi applicato il tessuto secco avendo cura di stenderlo con le mani o meglio mediante rullo, successivamente si effettua la seconda stesura della stessa resina che deve essere poi regolarizzata con il rullo allo scopo di impregnare perfettamente il tessuto e di espellere eventuali bolle d'aria presenti. Se si vuole realizzare un composito a più strati basta ripetere l'operazione. A questo punto il composito viene lasciato indurire e non deve essere sottoposto a sollecitazioni prima che sia trascorso il tempo di completa reticolazione della resina.

L'applicazione dei compositi preformati avviene con modalità simili per quanto riguarda la preparazione del supporto, successivamente si stende l'adesivo su cui si

applica la lamina, esercitando una pressione sufficiente a far fuoriuscire l'adesivo in eccesso ed eventuali bolle d'aria.

La messa in opera è una delle fasi più critiche del consolidamento con fibrorinforzati, tanto da poter rendere del tutto inefficace il consolidamento, per questo motivo è importante attenersi rigorosamente alle indicazioni fornite dal produttore in merito alle modalità di esecuzione, pertanto gli operatori, che devono essere specializzati per il tipo di lavorazione, devono assolutamente rispettare alcune condizioni:

- i rapporti di miscelazione dei componenti indicati dalle schede tecniche del materiale;
- i tempi di lavorazione, compresi in genere fra trenta e quarantacinque minuti, non devono essere superati, pena forte decadimento delle prestazioni;
- l'intervallo di temperatura entro cui eseguire l'intervento, compreso tra 10°C e 35°C. Fuori da questo intervallo la stagionatura delle resine può avvenire in maniera anomala;
- le resine non devono essere applicate su supporti con grado di umidità superficiale superiore al 10%, in quanto valori più alti potrebbero impedire la penetrazione del primer e generare bolle d'aria, con conseguente diminuzione dell'aderenza;
- i materiali devono essere stoccati secondo le indicazioni e per un periodo superiore a quello massimo indicato dal produttore.

Quando l'applicazione viene eseguita in ambienti costantemente a bassa temperatura è opportuno provvedere al riscaldamento artificiale dei locali, così come per applicazioni esposte a pioggia o irraggiamento solare diretto e bene provvedere alla protezione mediante teli.

Vi sono anche altre raccomandazioni di carattere tecnico che è opportuno seguire per una buona riuscita dell'intervento. Si è già evidenziata la necessità di preparare

accuratamente la superficie eliminando parti incoerenti o ammalorate, regolarizzando le asperità e conformando adeguatamente gli spigoli. Inoltre si consiglia di prolungare sempre i rinforzi nelle zone compresse, in modo da avere un adeguato ancoraggio, la cui lunghezza non deve mai essere inferiore a 300mm, salvo il caso di adozione di sistemi alternativi di ancoraggio che devono essere attentamente progettati.

Effettuato il progetto dell'intervento in maniera corretta, il posizionamento dei rinforzi deve essere eseguito seguendone rigorosamente le indicazioni, in quanto si tratta di materiali fortemente anisotropi. In particolare, se si utilizzano tessuti unidirezionali all'insorgere nel composito di tensioni impreviste, non parallele alle fibre, la loro componente ortogonale graverebbe unicamente sulla resina che presenta basse caratteristiche di resistenza, è opportuno allora sovrapporre due applicazioni con le fibre non parallele in modo da garantire l'assorbimento di queste sollecitazioni.

Il trasporto deve avvenire senza danneggiamenti delle fibre o delle confezioni di resine e solventi, per garantire il mantenimento delle proprietà dei materiali e le norme minime di sicurezza. Per gli stessi motivi lo stoccaggio deve avvenire in ambiente a temperatura idonea, tra 10° e 25°C, ed con grado di umidità non superiore al 20%.

Importantissime sono le indicazioni riguardanti le procedure di sicurezza da seguire nell'applicazione, che deve sempre avvenire con guanti di gomma, mascherina, occhiali da lavoro infrangibili ed ogni altra precauzione per evitare il contatto delle resine con la pelle. È opportuna una adeguata ventilazione degli ambienti, una attenta pulizia degli utensili da lavoro e il lavaggio della persona appena lasciato il lavoro, anche per brevi pause.

3.6. Materiali compositi a matrice inorganica

Un sistema di consolidamento di più recente introduzione è costituito dai materiali compositi fibrorinforzati in matrice cementizia (FRCM, Fiber Reinforced Cementitious

Matrix), che costituiscono una evoluzione dei sistemi con matrice polimerica, messa a punto con particolare riguardo per le struttura in muratura.

Il rinforzo è costituito tessuto a largo intreccio, con filamenti in fibra di carbonio di sezione maggiore disposti secondo due direzioni ortogonali a formare una rete di maglia larga alcuni millimetri, in modo da facilitare l'impregnazione del tessuto, la rete è rinforzata da filamenti di polietilene più sottili. La matrice inorganica è costituita da legante pozzolanico stabilizzato e presenta il vantaggio di una altissima compatibilità chimica e fisica con le murature.

Vi sono anche altri vantaggi che privilegiano le matrice cementizia rispetto a quelle organiche:

- resiste bene al fuoco, almeno quanto la struttura su cui viene applicata, quindi non vi sono i problemi legati al decadimento di prestazioni dovuto alle alte temperature, tipico delle matrici polimeriche;
- è traspirante quindi non costituisce una barriera al vapore che potrebbe alterare in regime igrometrico della muratura;
- può essere messa in opera su supporti irregolari, fungendo essa stessa da rasante e consolidante della superficie
- può essere applicata a supporti umidi;
- non presenta le difficoltà di messa in opera tipiche delle matrici organiche, non richiede manodopera specializzata né particolari procedure di sicurezza, essendo priva di sostanza tossiche.

La procedura per una corretta applicazione prevede in primo luogo una preparazione della superficie di applicazione, con la rimozione di intonaci e tutte le parti incoerenti, compreso le malte degradate tra i conci. Se necessario si procede alla stilatura dei giunti e ad una regolarizzazione della superficie, quindi alla bagnatura della stessa.

Si applica un primo strato di malta, di 3-4 millimetri di spessore in cui viene posizionata la rete in fibra di carbonio, esercitando una pressione sufficiente affinché la malta possa penetrare attraverso la maglia. Segue un secondo strato di malta a ricoprire completamente il tessuto completando l'intervento. Si può migliorare l'efficacia del rinforzo applicando un secondo tessuto, con le fibre orientate a 45° rispetto al primo.

L'applicazione può essere fatta su una sola faccia della parete da consolidare o su entrambe ed ha l'effetto di aumentare la capacità portante della muratura.

3.7. Classificazione dei prodotti in commercio

I sistemi di rinforzo FRP sono prodotti e posti in commercio in diverse forme, si è già vista la classificazione nelle tre categorie di sistemi preformati, a secco e preimpregnati e le classificazioni in funzione della tipologia e disposizione delle fibre all'interno del composito o in relazione al tipo di matrice utilizzata. In tabella 3 si riportano le classificazioni dei prodotti comunemente utilizzati nel recupero edilizio, in Appendice B si riportano le schede tecniche dei prodotti più diffusi in commercio.

CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI COMPOSITI FIBRORINFORZATI A FIBRA LUNGA UTILIZZATI NEL RECUPERO EDILIZIO	
Parametro di confronto	tipologie
Tempi e modalità di messa in opera	<ul style="list-style-type: none"> • preformati (precured system) • preimpregnati (prepreg system) • impregnati in situ (wet lay-up system)
Tipo di fibra	<ul style="list-style-type: none"> • fibra aramidica (AFRP) <ul style="list-style-type: none"> ○ kevlar 29 ○ kevlar 39 ○ kevlar 149 • fibra di carbonio (CFRP) <ul style="list-style-type: none"> ○ alta tenacità (HT) ○ alto modulo (HM) ○ altissimo modulo (UHM) • fibra di vetro (GFRP) <ul style="list-style-type: none"> ○ standard (E-glass) ○ alta resistenza (S-Glass) ○ resistenti agli alcali (AR-Glass)
Orientazione delle fibre	<ul style="list-style-type: none"> • unidirezionali • bidirezionali • biassiali • multiassiali
Forma del prodotto (pultrusi)	<ul style="list-style-type: none"> • lamine • barre • profilati
Disposizione delle fibre (tessuti)	<ul style="list-style-type: none"> • tela • twill • raso
Tipo di matrice	<ul style="list-style-type: none"> • inorganica (FRCM) • organica (FRP) <ul style="list-style-type: none"> ○ resina epossidica ○ resina poliestere
Tabella 3	

3.8. La scelta della tecnica di intervento

Si è visto come l'evoluzione delle tecniche costruttive e di intervento e la ricerca di nuovi materiali abbiano cambiato l'approccio al progetto di consolidamento, mettendo a disposizione un'ampia varietà di soluzioni tra cui non sempre è facile riconoscere quella ottimale.

Quando il progetto interessa un edificio storico intervengono anche implicazioni legate ai valori artistici, architettonici e culturali che si intendono preservare. Le attuali teorie del restauro, come illustrato nel relativo paragrafo, privilegiano l'impiego di tecniche e materiali di tipo tradizionale in quanto parte integrante del patrimonio da tutelare e garanzia di riuscita dell'intervento in termini di efficacia e compatibilità con l'esistente.

Non sempre è possibile rispondere alle esigenze del progetto con interventi di tipo tradizionale, l'innalzamento dei livelli medi prestazionali degli edifici, in termini di comfort e sicurezza, richiedono spesso l'impiego di materiali ad alte prestazioni, risulta pertanto indispensabile il ricorso a sistemi innovativi.

In genere si decide di intervenire con materiali fibrorinforzati quando l'edificio presenta carenze dal punto di vista strutturale, che possono riguardare l'insufficiente capacità portante delle murature per sollecitazioni orizzontali o verticali, la scarsa connessione tra gli elementi strutturali, sollecitazioni statiche orizzontali dovute a strutture spingenti, eccessiva deformabilità dei diaframmi orizzontali che non svolgono la funzione di ripartire adeguatamente i carichi tra gli elementi verticali, bassa duttilità e resistenza di elementi puntuali come colonne e pilastri.

In tutti questi casi lo scopo dell'intervento è quello di eliminare le carenze della struttura, assicurando adeguati livelli di resistenza e duttilità sia ai singoli elementi strutturali che alla struttura globale.

Dopo avere svolto un'attenta analisi del manufatto si può effettuare una corretta scelta dell'intervento in ragione delle domande cui questo deve rispondere; quando si

opera su edifici di interesse storico vanno prese in esame una serie di esigenze di carattere generale, comuni per tutti i tipi di edifici, che sono quelle più strettamente legate all'aspetto strutturale dell'intervento. Si tratta di domanda di maggiore resistenza, maggiore duttilità, comportamento della struttura ottimizzato in relazione alle sollecitazioni di esercizio ed eccezionali, compatibilità delle applicazioni con la struttura preesistente, intesa come compatibilità meccanica, chimica e fisica.

Agli edifici storici competono anche altre caratteristiche dell'intervento che, pure presenti nei casi generici, assumono qui un carattere predominante: si tratta degli aspetti legati alla compatibilità, alla durabilità ed alla reversibilità dell'applicazione.

La Carta di Cracovia da questo punto di vista è molto chiara: possono essere introdotte innovazioni solo a condizione che tecniche e materiali siano ampiamente sperimentati e supportati da risultati certi in merito all'efficacia dell'intervento nel tempo, inoltre l'intervento deve garantire un elevato grado di reversibilità.

Tuttavia la Carta di Cracovia è l'espressione dell'orientamento attuale delle teorie del restauro, ma non ha forza di legge, quindi non comporta alcun obbligo da parte dei progettisti, anche quando il recupero interessa edifici tutelati. In questo caso sono le Soprintendenze a doversi esprimere in merito alla validità del progetto proposto, con il potere di veto su interventi ritenuti non in linea con le esigenze della tutela.

Nello svolgere questo compito le soprintendenze si muovono nello spirito delle teorie del restauro, manifestando diffidenza, più o meno giustificata, nei confronti delle tecniche innovative e richiedendo, come elementi necessari nella progettazione, le caratteristiche di compatibilità, durabilità e reversibilità. Questo atteggiamento è stato recepito dalle recenti normative italiane, la nuova Ordinanza per le costruzioni in zona sismica (OPCM 3274 del 20 Marzo 2003 modificata da OPCM 3431 - 3 Maggio 2005) in merito all'utilizzo dei materiali compositi fibrorinforzati rimanda al testo del CNR-DT 200/2004 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati"

che contiene un espresso riferimento agli edifici di carattere monumentale: “qualora il rinforzo strutturale riguardi costruzioni di interesse storico e monumentale, si richiede una valutazione critica dell'intervento rispetto ai canoni della conservazione e del restauro. Va dimostrata, in termini oggettivi, la reale efficacia dell'intervento, che deve prevedere soluzioni in grado di assicurare la compatibilità (fisico-chimica, costruttivo meccanica, strutturale), la durabilità e la reversibilità¹⁵”; questi tre aspetti diventano, quindi, parametri fondamentali per la valutazione della qualità dell'intervento.

3.8.1. La compatibilità

La compatibilità interessa il rapporto tra gli elementi di rinforzo ed il manufatto su cui vengono applicati e può assumere diversi significati. La compatibilità meccanica riguarda le eventuali alterazioni nel regime strutturale che vengono introdotte dall'intervento a causa, ad esempio, di concentrazioni di resistenza o rigidità in punti particolari dell'edificio. La valutazione deve essere accurata in quanto miglioramenti delle prestazioni ottenute sul singolo elemento strutturale, o comunque di carattere locale, potrebbero comportare un peggioramento del comportamento globale della struttura.

L'aspetto chimico-fisico invece riguarda le relazioni che si instaurano tra i materiali esistenti (malte, pietre, mattoni) e quelli applicati (le miscele per iniezioni, le malte per stuccatura dei giunti e, nel caso dei fibrorinforzati, gli adesivi e le matrici). Da questo punto di vista, ad esempio, risultano spesso incompatibili i cementi, per il

¹⁵ Cfr. CNR-DT 200/2004, paragrafo 3.1, punto (3)P

particolare tipo di degrado che presentano, tanto che oggi sono state perfezionate e impiegate malte di tipo tradizionale a base di calce idraulica naturale¹⁶.

Nell'applicazione dei fibrorinforzati a matrice polimerica assume una grande rilevanza l'aspetto della impermeabilità totale dell'applicazione, che altera il regime igrometrico della muratura, questo aspetto deve essere valutato attentamente sia in termini di degrado strutturale che l'umidità può causare sulle malte, conci ed intonaci, sia per effetti indesiderati di natura estetica che assumono grande importanza quando i manufatti hanno valore storico-artistico. Questi problemi possono riguardare ad esempio intonaci storici, rivestimenti maiolicati o affreschi e consistono in efflorescenze saline, distacchi di strati di finitura di dovuti alla tensione esercitata dal vapore, dilavamento, alterazioni cromatiche. I compositi in matrice inorganica, da questo punto di vista, presentano il vantaggio di avere una matrice altamente permeabile al vapore e quindi si comportano meglio di quelli a matrice polimerica.

Un altro tipo di compatibilità che interessa gli edifici di interesse storico è la compatibilità dell'intervento con i valori da tutelare, in senso più astratto. La Carta di Cracovia sottolinea l'opportunità di tutelare anche le tecniche costruttive tradizionali e questo implica la conservazione dell'elemento materiale e della sua funzione all'interno dell'organismo edilizio. Gli interventi fortemente invasivi invece tendono a sostituire funzionalmente l'elemento da consolidare con il rinforzo, che in questi casi non offre solo un contributo alla resistenza, ma si carica di tutta la funzione strutturale, svuotandone l'elemento preesistente anche quando questo è ancora perfettamente in grado di svolgere il proprio compito. Questo atteggiamento, se non

¹⁶ La norma UNI-ENV 459-1 (1993) "calci da costruzione. Definizioni, specifiche e criteri di conformità" definisce la calce idraulica naturale come quella ottenuta dalla cottura di calcari argillosi a temperatura non superiore a 1250°C

giustificato da motivazioni di forza maggiore, va evitato in quanto in quanto contrario alla moderna concezione del recupero, oltre che spesso inutile ed antieconomico.

3.8.2. La durabilità

La durabilità di un intervento è connessa al comportamento dei materiali nel tempo e costituisce uno dei punti critici delle applicazioni di tecniche innovative. Per i materiali compositi fibrorinforzati esistono numerose sperimentazioni in merito, condotte in laboratorio con macchine per la simulazione dell'invecchiamento¹⁷. I risultati di queste sperimentazioni sono incoraggianti, evidenziando un mantenimento delle proprietà meccaniche del materiale nel tempo, tuttavia vi sono problemi legati alla previsione delle particolari condizioni ambientali a cui saranno esposti i materiali: le fibre di vetro ad esempio soffrono gli attacchi degli alcali subendo forti cadute prestazionali se non opportunamente protette e la mancata previsione dell'esposizione a tale ambiente potrebbe essere causa del fallimento dell'intervento nel lungo periodo. L'efficacia della simulazione fornita dalle macchine costituisce un altro punto critico di queste sperimentazioni, in particolare non esistono correlazioni precise tra il tempo simulato nell'invecchiamento artificiale e il tempo reale, diversi studi mostrano risultati differenti, in funzione delle condizioni di esposizione e del materiale testato¹⁸, inoltre nelle sperimentazioni in laboratorio, per i limiti dimensionali imposti dalle macchine, si testano provini di materiale di piccole dimensioni, in condizioni molto diverse da quelle reali del materiale che invecchia insieme al supporto su cui è

¹⁷ A titolo di esempio si citano gli studi di F.Micelli, A.Nanni, A. La Tegola "Effects of conditioning environment on GFRP bars", 22nd SAMPE Europe International Conference CNIT Paris, 2001; "Prove di invecchiamento du nastri di composito applicati su murature" di A. Annunziata, A. Borri, M. Corradi, F.S. Guarino, J.M. Kenny

¹⁸ La maggior parte degli studi porta ad un fattore di correlazione compreso tra 10 e 15.

applicato, con una reciproca influenza sulle eventuali variazioni delle proprietà nel tempo.

Sono invece ancora poche le sperimentazioni dirette su materiali realmente applicati ed invecchiati naturalmente, questo sia per l'uso relativamente recente dei compositi FRP in rapporto ai lunghi periodi dell'invecchiamento naturale che per la difficoltà intrinseca del monitoraggio a lungo termine della struttura, che richiede lo spostamento delle attrezzature dal laboratorio al cantiere; i pochi studi effettuati comunque presentano risultati positivi^{ma} restano le incertezze legate alla mancanza di una quantità di dati sufficientemente ampia.

La riduzione delle proprietà meccaniche nel tempo può essere causata da diversi fattori ambientali, l'attacco degli alcali danneggia le resine ed è particolarmente dannoso per le fibre di vetro, l'umidità comporta un abbassamento della temperatura di transizione vetrosa delle resine, la loro plasticizzazione e l'abbassamento delle proprietà meccaniche, il calore abbassa le proprietà meccaniche delle resine, in particolare se viene superata la temperatura di transizione vetrosa, i cicli di gelo/disgelo degradano le resine e le interfacce tra resina e fibra e tra resina e supporto, le radiazioni ultraviolette, in genere, non costituiscono causa di degrado se non in combinazione con altri fattori. I materiali compositi FRP sono poco sensibili agli effetti di lunga durata dovuti ai carichi, presentando una buona resistenza ai fenomeni di fatica e scarsi fenomeni di viscosità e rilassamento che si manifestano prevalentemente nelle resine, in particolare in quelle termoplastiche.

Le istruzioni CNR-DT 200/2004 prevedono la durabilità come requisito fondamentale dell'intervento, rapportandola alla destinazione d'uso della struttura da rinforzare, alle condizioni ambientali previste, ai materiali messi in opera e a quelli esistenti, al tipo di rinforzo applicato, alla specializzazione delle maestranze, al controllo effettuato sulle realizzazioni, ad eventuali protezioni dal fuoco e alla manutenzione prevista. In funzione di questi fattori le istruzioni CNR suggeriscono dei

fattori di conversione che abbassano le caratteristiche dei materiali secondo la relazione:

$$X_d = \eta \cdot \frac{X_k}{\gamma_m}$$

Dove X_d è il valore di calcolo della generica caratteristica, X_k è il valore caratteristico della stessa proprietà, γ_m è un coefficiente parziale (maggiore dell'unità) che tiene conto del materiale e del tipo di applicazione ed η è il fattore di conversione (minore dell'unità) che tiene conto delle condizioni ambientali e di carico previste.

In tabella 4 sono riportati i fattori di conversione indicati dalle istruzioni del CNR, dall'esame dei valori si vede quanto siano rilevanti gli effetti di lunga durata sulle caratteristiche del materiale, che possono avere riduzioni che superano il 50% dei valori iniziali.

FATTORI DI CONVERSIONE AMBIENTALE η_a E DI CARICO η_l PER COMPOSITI FIBRORINFORZATI IN MATRICE EPOSSIDICA				
Tipo di fibra	Esposizione	η_a	carico	η_l
vetro	Interna	0,75	Persistente	0,30
	Esterna	0,65	Ciclico	0,50
	Amb. aggressivo	0,5		
aramidica	Interna	0,85	Persistente	0,50
	Esterna	0,75	Ciclico	0,50
	Amb. aggressivo	0,70		
carbonio	Interna	0,95	Persistente	0,80
	Esterna	0,85	Ciclico	0,50
	Amb. aggressivo	0,85		

Tabella 4

3.8.3. La reversibilità

La reversibilità è un altro requisito fondamentale per le applicazioni su edifici di valore storico artistico, tanto da essere spesso il fattore discriminante

nell'approvazione dei progetti da parte delle soprintendenze: in assenza di dati certi in merito alla durabilità degli interventi viene richiesta quantomeno l'attestazione da parte del progettista della possibilità di poter rimuovere l'applicazione senza causare traumi alla struttura.

I materiali compositi vantano una cosiddetta "reversibilità totale", essendo possibile la loro rimozione mediante l'uso di particolari diluenti appositamente studiati per resine impiegate.

La soluzione comunque non è così immediata, le stesse soprintendenze non hanno un sistema di valutazione oggettivo della reversibilità degli interventi, pertanto si affidano al giudizio del funzionario incaricato del caso specifico, che pur se conformato a delle linee guida di carattere generale, resta sempre un parere di natura soggettiva. Questo approccio al problema non sembra corretto, in quanto la mancanza di parametri oggettivi da una parte non garantisce la tutela del bene culturale, dall'altra vincola in maniera anomala la libertà di scelta del progettista.

Per prima cosa è necessario dare una definizione di reversibilità di un'operazione, che, in maniera astratta, può essere intesa come la possibilità di riportare il sistema su cui essa è stata effettuata alle identiche condizioni iniziali, ovvero antecedenti alla operazione stessa. Se si accetta questa definizione ne consegue che la di reversibilità totale è un livello non raggiungibile, ma solo un limite estremo cui la tecnologia applicativa può tendere.

Nel caso degli interventi di consolidamento, anche considerando la possibilità di rimuovere completamente l'applicazione senza lasciare alcuna traccia sull'elemento di supporto, non si raggiunge la reversibilità totale in quanto il sistema resta sbilanciato da un impegno economico che non può essere recuperato nemmeno nell'ipotesi di riciclo totale dei materiali, non potendo essere recuperato l'impegno energetico inteso come manodopera ed energia per il funzionamento delle macchine.

La valutazione di reversibilità quindi deve in qualche modo prescindere da questi fattori che tuttavia non possono essere trascurati nel giudizio globale sulla qualità dell'intervento.

Restringendo l'attenzione agli effetti delle applicazioni sul manufatto vanno presi in considerazione diversi parametri di valutazione che caratterizzano il supporto dopo le operazioni di preparazione, applicazione e rimozione del rinforzo:

- presenza di residui dell'applicazione difficilmente eliminabili dalle superfici, come tracce di primer, di resina, di adesivo o di malta rasante all'interno di microporosità o con dimensioni macroscopiche. Questo comporta alterazioni dell'aspetto delle superfici, quindi è da evitare per quelle parti che potrebbero in futuro essere lasciate in vista, ma c'è anche il problema di un'eventuale incompatibilità delle superfici, alterate da questi residui, con applicazioni future di nuovi tipi di rinforzo;
- preparazione delle superfici per l'applicazione dei tessuti e delle lamine, come levigature e rimozione delle parti incoerenti non possono comunque essere recuperate, costituendo un'alterazione permanente;
- conformazione delle superfici come l'arrotondamento degli spigoli per la corretta applicazione dei tessuti;
- interventi all'interno del volume dell'elemento, come perforazioni e tracce scavate per l'alloggiamento di barre, cavi, lamine e nastri;
- alterazioni cromatiche e materiche delle superfici a causa di reazioni chimico-fisiche del materiale antico con primer, adesivi, resine, solventi e calore;
- perdita della funzionalità strutturale dell'elemento affidata completamente o parzialmente al rinforzo e non recuperabile.

L'esistenza di uno o più di questi effetti costituisce un'alterazione permanente, che assume una diversa rilevanza a seconda del tipo di elemento considerato, dell'alterazione presente e della sua entità. In questi termini si può valutare un livello

di reversibilità, mettendo a punto una scala di valori che attraverso coefficienti caratterizzanti i diversi elementi, forniscano un valore del grado di reversibilità. La messa a punto di questo sistema costituirebbe una vera innovazione, rendendo oggettive le valutazioni in merito alla qualità dell'intervento.

Fissata una scala di tre livelli (basso, medio, alto), è possibile definire gli interventi accettabili in funzione dei livelli richiesti per ognuna delle tre caratteristiche, cioè compatibilità, reversibilità e prestazioni strutturali (considerato che quest'ultima contiene anche il dato sulla durabilità attraverso i fattori di conversione).

Le figure 3, 4 e 5 mostrano come, individuati i livelli di miglioramento strutturale e compatibilità richiesti (A e B), innalzando il livello di reversibilità richiesto da C a C₂ la scelta degli interventi possibili si restringe da D a D₂.

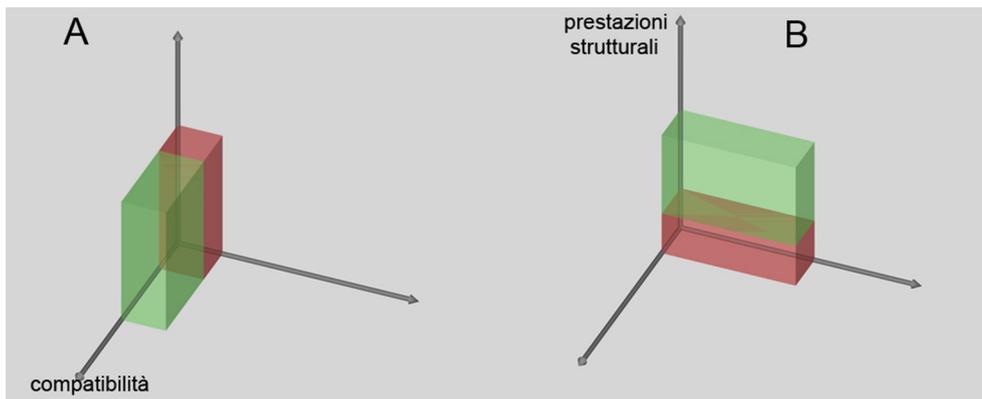


Figura 31: A) livello di compatibilità Medio-alto, B) livello di prestazioni strutturali medio-alto

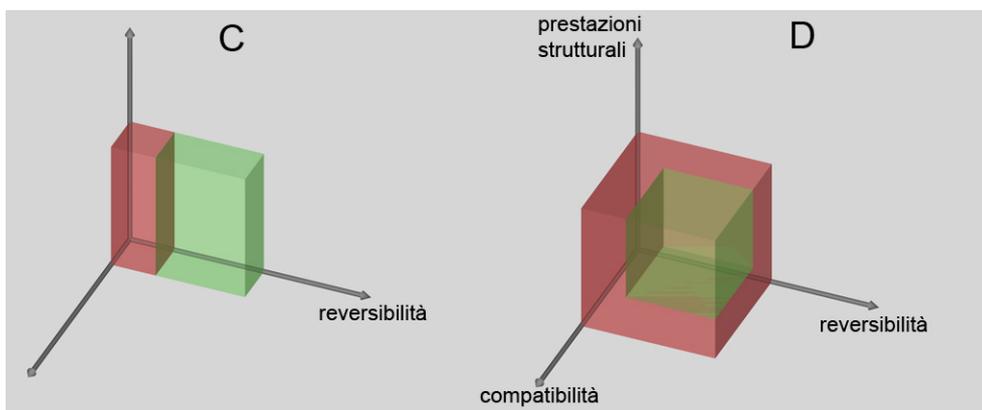


Figura 32: C) livello di reversibilità medio-alto D) dominio degli interventi accettabili

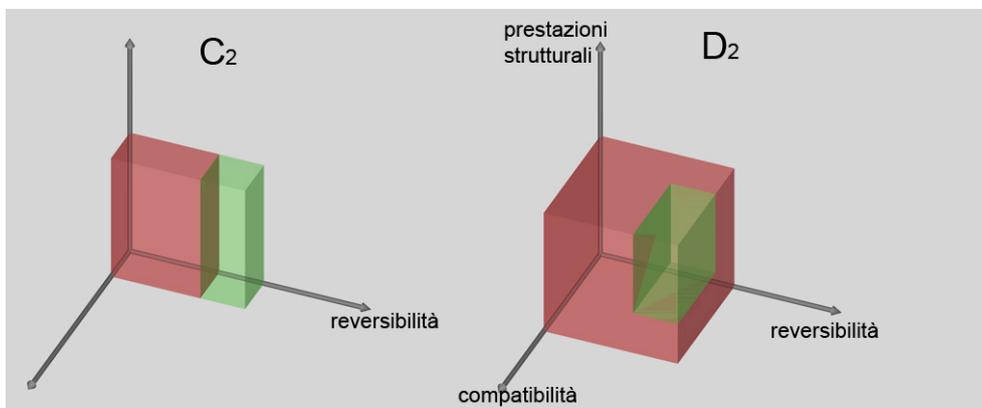


Figura 33: C₂) livello di reversibilità alto D₂) dominio degli interventi accettabili

3.9. Parametri di confronto

La diffusione degli interventi con materiali compositi nel campo del restauro e recupero edilizio ormai è un dato di fatto, pertanto si rende indispensabile una riflessione in merito alle caratteristiche di questi materiali confrontate con quelle dei potenziali concorrenti, al fine di evidenziarne i punti di forza e quelli di debolezza.

Gli interventi con FRP o FRCM presentano indubbiamente alcune caratteristiche molto positive nel consolidamento strutturale, sono materiali ad altissima resistenza e bassa densità, con spessori delle applicazioni che difficilmente superano il centimetro, pertanto ne consegue un incremento trascurabile di peso proprio della struttura, con evidenti vantaggi soprattutto in zona sismica. Gli interventi alternativi con acciaio o calcestruzzo armato a parità di risultato strutturale comportano notevoli aumenti di carichi, sono molto più invasivi e possono deturpare i valori architettonici del manufatto.

Il grado di reversibilità degli interventi innovativi non è certamente totale, ma si presenta generalmente più elevato rispetto a quello degli interventi con acciaio o calcestruzzo. Inoltre con i materiali compositi è possibile combinare i diversi fattori in modo da progettare il tipo di composito ottimale per il singolo intervento, in termini di resistenza e compatibilità con i supporti. La possibilità di applicare i rinforzi a secco è molto interessante quando si interviene su strutture affrescate, dove impregnazioni e colature d'acqua possono causare gravi danni alle opere d'arte, tuttavia in questo caso i compositi in matrice polimerica presentano l'inconveniente di costituire un diaframma completamente impermeabile al vapore, con la conseguente alterazione dell'equilibrio igrometrico della struttura, che nel tempo potrebbe causare danni altrettanto gravi, se non di entità maggiore. I compositi FRCM a differenza degli FRP sono altamente traspiranti, ma ripresentano il problema dell'applicazione "a umido".

Il tipo di rinforzo costituito dai fibrorinforzati è generalmente compatibile con i valori del manufatto contribuendo alla resistenza dell'insieme o costituendo un

presidio nei confronti delle sollecitazioni eccezionali, senza privare gli elementi strutturali preesistenti della loro funzione portante.

Altri vantaggi sono riscontrabili nella gestione del cantiere di recupero, che per gli interventi con compositi FRP è ridotto al minimo. I materiali, infatti, sono leggeri e poco ingombranti, pertanto possono essere agevolmente movimentati e messi in opera manualmente, senza l'ausilio di attrezzature pesanti, al punto che le operazioni possono essere svolte interrompendo solo parzialmente le attività nell'edificio da consolidare. La messa in opera però presenta lo svantaggio di richiedere maestranze specializzate, perché è una fase molto critica dell'intervento, in quanto errori nei dosaggi, nel posizionamento dei rinforzi o parametri ambientali non adeguati possono invalidare totalmente l'efficacia del rinforzo; la presenza di sostanze tossiche nei materiali impiegati richiede inoltre accurate procedure di sicurezza. Al contrario i sistemi tradizionali richiedono cantieri di dimensioni maggiori, attrezzature e macchinari pesanti, ma hanno il vantaggio di non richiedere manodopera specializzata o particolari procedure.

La resistenza al fuoco dei materiali compositi FRP è molto bassa, appena la temperatura del rinforzo supera quella di transizione vetrosa o di fusione delle resine si ha un netto calo delle proprietà meccaniche del sistema e dell'aderenza al supporto. Pertanto per le applicazioni in cui si prevede il rischio di esposizione all'incendio è necessario provvedere ad un'opportuna protezione mediante un rivestimento di adeguato spessore.

I costi dei materiali innovativi sono molto più elevati di quelli tradizionali, tuttavia il divario si attenua se si tiene conto dei costi totali dell'intervento, computando quindi i minori costi del cantiere, la durata più breve dell'intervento e quindi minore costo di manodopera e minori costi dovuti all'interruzione dell'uso dell'edificio.

Per quanto riguarda la durabilità degli interventi, mentre si hanno dati certi per quelli di tipo tradizionale, permangono alcuni dubbi sui materiali compositi, ma solo

attraverso l'uso ed il continuo monitoraggio si potranno avere dati sufficienti ad una corretta valutazione del comportamento nel lungo periodo; per il momento quindi questo aspetto resta un punto di debolezza.

La carenza di normativa tecnica è stata per anni uno dei punti a sfavore dell'applicazione di materiali fibrorinforzati, ma ora è stata superata dall'introduzione delle istruzioni CNR-DT 200/2004.

Nella tabella 5 viene proposta una comparazione dei principali vantaggi che si possono avere con l'applicazione di un particolare materiale in un intervento di recupero su un edificio di interesse storico-artistico. La comparazione è fatta considerando tutte le caratteristiche in positivo e con una scala di valori del tipo alto-medio-basso, in modo da poter effettuare un confronto più immediato.

CONFRONTO TRA LE CARATTERISTICHE DEI DIVERSI TIPI DI INTERVENTO				
Caratteristica	FRP	FRCM	acciaio	cls
Progettabilità del rinforzo	alta	alta	bassa	Bassa
Non invasività	alta	alta	media	Bassa
Possibilità di Spessori ridotti	alta	alta	media	Bassa
Applicazione senza incrementi di carico	alta	alta	bassa	bassa
Non alterazione dell'aspetto	alta	alta	media	media
Applicabilità in geometrie complesse	Alta*	alta	bassa	Alta
Leggerezza	alta	alta	bassa	bassa
Compatibilità con il supporto	media	alta	alta	bassa
Applicazione a secco	Alta	media	Alta	bassa
Traspirabilità e permeabilità	nulla	media	alta	Media
Resistenza meccanica	alta	alta	media	media
Rapporto resistenza/densità	alta	alta	media	Bassa
Resistenza al fuoco	bassa	alta	bassa	Alta
Rapidità di esecuzione	alta	alta	media	Bassa
Organizzazione del cantiere semplificata	alta	alta	media	Bassa
Economicità dell'intervento	bassa	bassa	media	Alta
Impiego di manodopera non specializzata	nulla	media	media	Alta
Tolleranza dei difetti di applicazione	bassa	media	media	Alta
Non tossicità degli elementi	Bassa	alta	alta	alta
Poca richiesta di manutenzione	alta	alta	bassa	alta
Resistenza agli attacchi chimici	Media**	media	bassa	Bassa
Durabilità degli interventi	***	***	media	Media
Reversibilità	alta	bassa	media	bassa

* non vale per i compositi preformati; ** dipende fortemente dal tipo di matrice e di fibra; *** negativa in considerazione della carenza di dati

Tabella 5

4. SPERIMENTAZIONE

4.1. Prove sperimentali per la valutazione della reversibilità

La possibilità di avere un'applicazione reversibile, ovvero rimuovibile in maniera piuttosto semplice, presenta indubbiamente degli aspetti positivi nel campo del consolidamento e recupero edilizio. In generale è evidente l'utilità di poter rimuovere l'applicazione nel caso di difetti di posa in opera. Di fronte a tale necessità la situazione ideale sarebbe quella della reversibilità totale, ovvero della possibilità di riportare il sistema alle esatte condizioni antecedenti alla messa in opera dell'applicazione; tale operazione, per essere cantierabile, dovrebbe anche avvenire con tempi e costi contenuti. Appare subito chiaro che la reversibilità totale sia un livello non raggiungibile, ma solo un limite estremo cui la tecnologia applicativa può tendere.

Questo aspetto è particolarmente sentito per le applicazioni su edifici di carattere storico-artistico, perché in questo caso la reversibilità è richiesta come dato di progetto dell'intervento stesso.

Al fine di caratterizzare la reversibilità delle applicazioni di materiali compositi fibrorinforzati è stata realizzata una serie di test in laboratorio.

Prima della predisposizione dei test si sono svolti alcuni incontri con produttori, fornitori ed applicatori di materiali FRP, per conoscere i loro sistemi di rimozione delle applicazioni.

In generale tutte le aziende produttrici presentano in catalogo un solvente (o diluente) capace di sciogliere le resine epossidiche e quindi facilitarne il distacco ma questa azione, è fortemente incrementata dal calore, tanto che probabilmente questo secondo fattore è quello determinante.

Questo trova conferma nell'esperienza di diversi applicatori intervistati che hanno riscontrato grandi difficoltà nella rimozione di un tipo di applicazione che presenta proprio nella elevata solidarizzazione con il supporto una delle sue caratteristiche

principali. Laddove non ci sono particolari impedimenti, gli operatori trovano più efficace ricorrere alla rimozione mediante spicconatura piuttosto che all'utilizzo di sistemi non distruttivi.

Questa soluzione, ovviamente, non è percorribile nel caso di edifici di interesse storico e comunque in casi in cui le condizioni stesse del supporto siano tali da non tollerare un intervento distruttivo; in questi casi il ricorso al sistema di rimozione non distruttivo è inevitabile.

Un altro problema legato alla reversibilità del materiale è quello delle condizioni finali del supporto, ovvero delle alterazioni che esso può subire a seguito dell'applicazione dei vari prodotti e della loro rimozione. In generale tale effetto è dovuto ad interazioni di carattere fisico-chimico tra il supporto ed i diversi prodotti con cui viene a contatto nel ciclo applicazione-rimozione, ovvero primer, resina epossidica, solvente, alta temperatura.

Eventuali alterazioni chimiche, fisiche o cromatiche della superficie del supporto possono manifestarsi immediatamente a seguito del distacco oppure nel tempo, per una diversa reazione agli agenti esterni (temperatura, umidità, luce, ...) delle superfici inalterate del manufatto rispetto a quelle sottoposte all'applicazione e successiva rimozione dei materiali.

Per verificare la reversibilità delle applicazioni di FRP sono stati eseguiti diversi test volti a caratterizzare le differenti condizioni di distacco delle resine dai supporti e le condizioni dei supporti stessi a seguito dell'applicazione e della rimozione del sistema di rinforzo.

A questo scopo sono stati predisposti due tipi test: il primo tipo è volto a misurare la variazione della forza di adesione delle resine al supporto in funzione della temperatura e della presenza di solvente, il secondo tipo è indirizzato alla caratterizzazione della stabilità del supporto a seguito del distacco dell'applicazione.

4.2. Serie di provini realizzati

La preparazione dei provini e l'esecuzione dei test è avvenuta nel laboratorio di prove sperimentali del Dipartimento di Ingegneria Edile (DINE) della Facoltà di Ingegneria di Napoli, con materiali messi a disposizione dalla ditta Maxfor, produttrice di sistemi di rinforzo in materiali FRP, materiali impiegati sono quelli elencati:

- Primer: armoprimer 200
- Tessuti: Armoshield-U
- Lamine: armoshield lamelle CFK 150/2000
- Resine: Armofix MTX / Armofix T
- Diluente: Pavisol E
- Supporti: laterizi ordinari da costruzione, marmo bianco di Carrara.

Per le schede tecniche dei materiali impiegati si rimanda alle schede relative, contenute nell'Appendice B.

Le prove di aderenza sono state eseguite misurando la forza di strappo di diversi tipi di materiali FRP applicati su differenti supporti; ogni serie è costituita da sei provini:

- Serie 1: (sigla LT) tessuto unidirezionale di fibra di carbonio (Maxfor Armoshield) in resina epossidica bicomponente (Maxfor Armofix MTX) applicata su mattoni in laterizio pieni con una superficie di aderenza di 25 cmq (5,00 x 5,00 cm);
- Serie 2: (sigla LL) lamella (maxfor Armoshield CFK lamelle) in fibra di carbonio applicata con stucco epossidico bicomponente (Maxfor Armofix T) su mattoni in laterizio pieni con una superficie di aderenza di 35,75 cmq (6,50 x 5,50 cm);

-
- Serie 3: (sigla MT) tessuto in fibra di carbonio bidirezionale in resina epossidica bicomponente (Maxfor Armofix MTX) applicata su lastra di marmo con una superficie di aderenza di 25 cmq (5,00 x 5,00 cm)
 - Serie 4: (sigla ML1-4) lamella (maxfor Armoshield CFK lamelle) in fibra di carbonio applicata con stucco epossidico bicomponente (Maxfor Armofix T) su lastra di marmo con una superficie di aderenza di 65 cmq (6,50 x 10,00 cm).
 - Serie 5: (sigla ML3-6) lamelle (maxfor Armoshield CFK lamelle) e tessuti (Maxfor Armoshield) applicati con resina epossidica bicomponente (Maxfor Armofix MTX) su differenti tipi di marmo al fine di valutare le alterazioni prodotte sul supporto.

4.3. Macchine di prova

Le macchine di prova utilizzate sono quelle del laboratorio del dipartimento di Ingegneria Edile della Facoltà di Ingegneria di Napoli, in particolare la camera climatica ELEKTRA challenge 250 ed il dinamometro LLOYD INSTRUMENTS modello LR10K di cui si riportano le schede tecniche:

SCHEDA DINAMOMETRO LLOYD INSTRUMENTS - LR10KPlus Series

Specifications
Force Range

LR10KPlus 10 kN (2248 lbf)

LR10KPlus-E 10 kN (2248 lbf)

Crosshead Speed 0.01 to 510 mm/min
(0.0004 to 20.08 in/min)

Speed Accuracy < 0.2%

Travel

LR10KPlus 975 mm (38.39 in)

LR10KPlus-E 1475 mm (58.07 in)

Load Resolution < 0.005% of loadcell
used (Maximum)

Extension Resolution < 0.1 micron

Data Sampling Rate 8 kHz

Extensometer Inputs Digital and
Analogue Extensometer

Data Outputs Digital - RS232, Analogue
10V dc max (Optional)

Load Measuring System Exceeds the
requirements of BS EN ISO 7500-1, ASTM
E4, DIN 51221.

Analysis Software NEXYGEN MT Data
Analysis Software and Ondio™
Applications Builder Software (Optional)

Supply Voltage 115/230V ac \pm 10% 50 -
60 Hz

Weight 105 kg (231 lb)

Width Between Columns 400 mm (15.75
in)

Operating Temp 5° to 35°C (40°F to 95°F)

SCHEMA TECNICA CAMERA CLIMATICA ELEKTRA challenge 250

Caratteristiche

- Capacità utile: 224 lt
- Dimensioni interne: 600x535x700 (LxPxH)
- Dimensioni esterne: 850x1460x1563 H
- Campo di temperatura: -40/+180°C
- Precisione di temperatura nel tempo: ±
- Velocità di variazione della temperatura
 - in salita: 3,9°C/min. da -40°C a +180
 - in discesa: 2,5°C/min. da +180°C a -40
- (valori medi senza carichi interni con T)
- Campo di umidità relativa: dal 10% al
- Campo del punto di rugiada: +2/+94°
- Precisione U.R.: ±1%...±3%
- Controllo con µPLC completo di tastierino
- posizionato sulla porta. Consente la programmazione di T e UR, nonché l'attivazione di tutte
- Tra le funzioni incorporate: * programmazione (*termostato)
- Dissipazione a -25°C: 400 Watt
- Rumorosità: 59 dB(A) misurata ad 1m
- Potenza elettrica: 7,7 KW (media 4,8 KW)
- Tensione alimentazione: 400V +6%/-10%
- Peso: 490 Kg

4.4. Modalità e condizioni di prova

Il tipo di prova realizzato tende a simulare le effettive condizioni presenti in un cantiere ordinario, questo ha richiesto lo studio di condizioni di prova non previste da normative o regolamenti.

Per quanto possibile si sono seguite le indicazioni di riferimento della normativa ASTM D 3039¹⁹ e d ASTM D 4541²⁰ tuttavia è stato necessario apportare alcune varianti, in quanto vi è una differenza concettuale tra i test regolati dalle norme e quelli che si volevano eseguire: il test di adesione classico tende a valutare la capacità della resina di aderire al supporto in condizioni standard. Le prove effettuate invece mirano a determinare la possibilità di staccare la resina dal supporto, in funzione di alcuni parametri variabili (temperatura e solvente). Un ulteriore vincolo era la modalità di prova, che prevedendo l'uso di solventi e calore avrebbe potuto causare il distacco all'interfaccia tra la testa del dinamometro e il composito prima del distacco tra il composito ed il supporto. Per questo motivo i provini sono stati realizzati in modo da poter effettuare il test fissando meccanicamente il provino direttamente al morsetto del dinamometro, senza uso di adesivi.

I test, anche se non regolati da standard di prova, sono stati effettuati in maniera da poter avere una comparazione oggettiva tra i risultati dei campioni di riferimento e quelli sottoposti ai diversi trattamenti.

Tutti i provini realizzati sono stati lasciati a stagionare per sette giorni in ambiente naturale, intervallo di tempo indicato dalla scheda tecnica del prodotto come tempo di completo indurimento. Successivamente i provini sono stati sottoposti ad invecchiamento artificiale per 48 ore in camera climatica, con cicli di simulazione

¹⁹ ASTM D 3039 "Standard test method for tensile properties of fiber-resin composites", approved Aug. 27, 1976, approved 1989

²⁰ ASTM D 4541 "Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers."

delle condizioni climatiche della città di Napoli. Si sottolinea che non esiste una correlazione precisa tra tempo di invecchiamento artificiale ed invecchiamento naturale, diversi studi nel campo propongono relazioni tra i due invecchiamenti che portano a risultati molto differenti, tuttavia, in prima approssimazione, si può assumere un fattore di conversione pari a 15, pertanto 48 ore di invecchiamento artificiale corrispondono a 30 giorni di invecchiamento naturale.

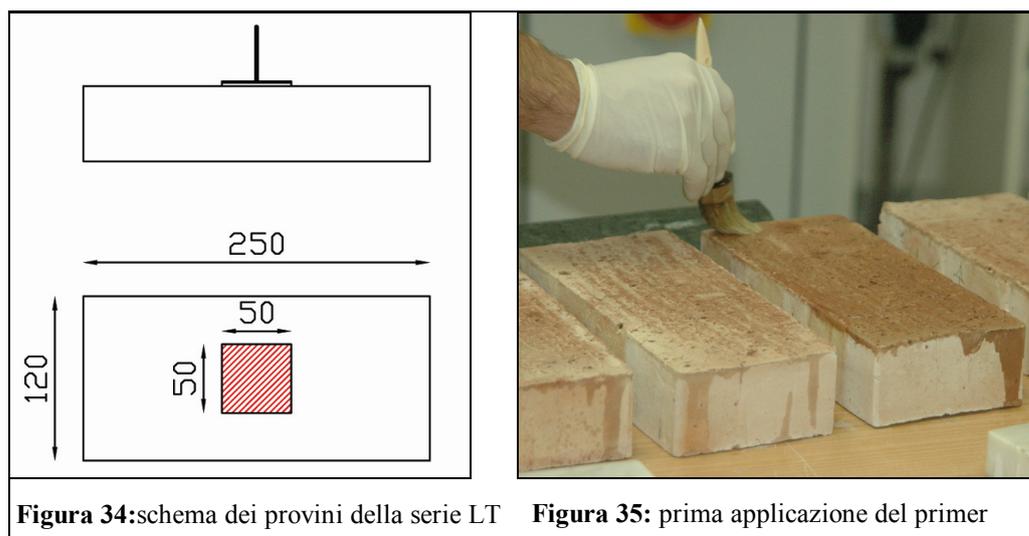
Questa approssimazione è accettabile nella sperimentazione descritta, in quanto lo scopo dell'invecchiamento artificiale è stato solo quello di favorire il completamento della reticolazione della resina, che normalmente evolve anche dopo il tempo di completo indurimento indicato dai produttori.

Tutte le operazioni sono state svolte in laboratorio, ad una temperatura di circa 20÷25°C ed umidità relativa compresa tra 50% e 60%.

4.5. Serie LT – tessuto in fibra di carbonio su laterizio

La serie LT è stata realizzata applicando il tessuto in fibra di carbonio unidirezionale Maxfor armoshield-U su comuni laterizi da costruzione delle dimensioni 5,5x12x25.

Il laterizio è stato preventivamente regolarizzato in superficie, pulito e impregnato con primer per resine epossidiche Maxfor Armoprimer 200, formulato con resine epossidiche disperse in solvente ad elevata fluidità capace di entrare in profondità nel supporto poroso impregnando e consolidando lo stesso.



Tra la superficie del laterizio ed il composito, prima dell'applicazione di quest'ultimo, è stata interposta una maschera che limitasse la superficie di contatto ad un quadrato 5,00x5,00 cm, in modo da evitare che eventuali sbavature nell'applicazione potessero portare ad una interfaccia di superficie differente tra i diversi campioni e quindi falsare i risultati del test. Successivamente si è proceduto alla seconda stesura di primer e dopo i tempi di asciugatura si sono applicati i tessuti. La resina impiegata è stata del tipo Maxfor Armofix MTX, un prodotto bicomponente, miscelato al momento dell'impiego nel rapporto di catalisi A/B=1/1,8 come indicato dal produttore.

I tessuti sono stati conformati in modo da consentire la presa del morsetto del dinamometro con forza di strappo baricentrica rispetto alla superficie di adesione (figure 1 e 4)



Figura 36: seconda applicazione del primer

Figura 37: applicazione del tessuto

Completato il ciclo di preparazione si sono eseguiti i test di distacco. La prova è stata eseguita con un dinamometro Lloyd Instruments modello LR10KPlus Series, in controllo di velocità a 10 mm/min bloccando i provini alla base del dinamometro e applicando il morsetto direttamente al tessuto di rinforzo.

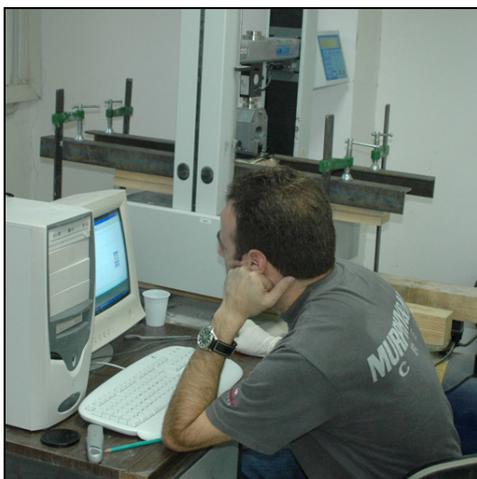


Figura 38 esecuzione dei test LT



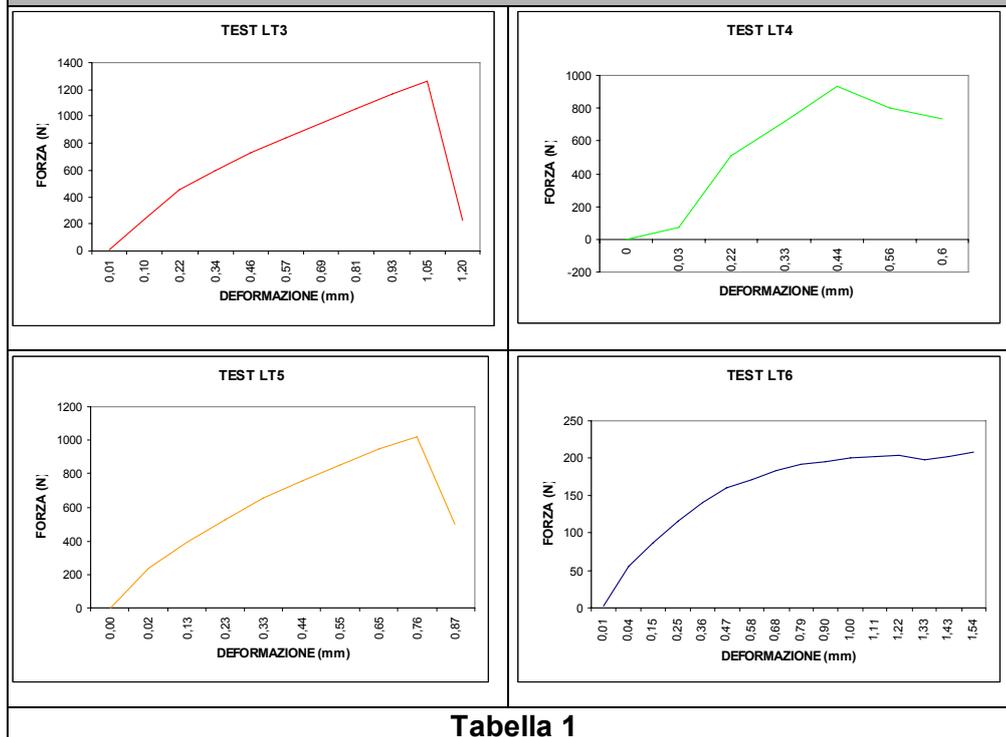
Figura 39: dettaglio del distacco

I primi due provini LT1 e LT2 sono andati perduti per rottura del laterizio prima che dell'interfaccia tra rinforzo e supporto, questo è stato causato dal layout dei vincoli che generavano flessione nel mattone. Risolto il problema mediante la modifica dei vincoli, sono stati effettuati i test sui quattro provini rimasti.

Il provino LT3 è stato testato come riferimento ed ha dato come forza massima di rottura il valore di 1259 N. Il provino LT4 è stato sottoposto all'applicazione di impacchi di diluente per 24 ore prima di essere testato, la forza di rottura in questo caso è stata di 936 N. Il provino LT3 è stato sottoposto a riscaldamento in camera climatica a 60°C per 2 ore, evidenziando una forza di strappo pari a 1023 N. Infine il provino LT4 è stato sottoposto a riscaldamento in camera climatica con temperatura fissata a 90°C per 5 ore e successivamente sottoposto al test di rottura che è avvenuta per una forza pari a 208 N.

In tabella 1 sono riportati i diagrammi forza/deformazione per i provini testati, mentre in figura 7 è riportata la sovrapposizione dei diagrammi per una più immediata lettura delle variazioni riscontrate.

La sintesi dei risultati ottenuti è riportata nella tabella 2, dove sono confrontati i risultati tra il provino campione ed i provini sottoposti a trattamento con il solvente o con il calore.

DIAGRAMMI FORZA / DEFORMAZIONE PER I TEST DELLA SERIE LT

Tabella 1
RIEPILOGO DEI RISULTATI DELLA SERIE LT

	LT3	LT4	LT5	LT6
	riferimento	solvente	60°C	90°C
sforzo massimo [N]	1259	936	1023	208
deformazione massima [mm]	1,04	0,44	0,86	1,65
variazione sforzo [%]	-	-26%	-19%	-83%
variazione deformazione [%]	-	-58%	-17%	59%

Tabella 2

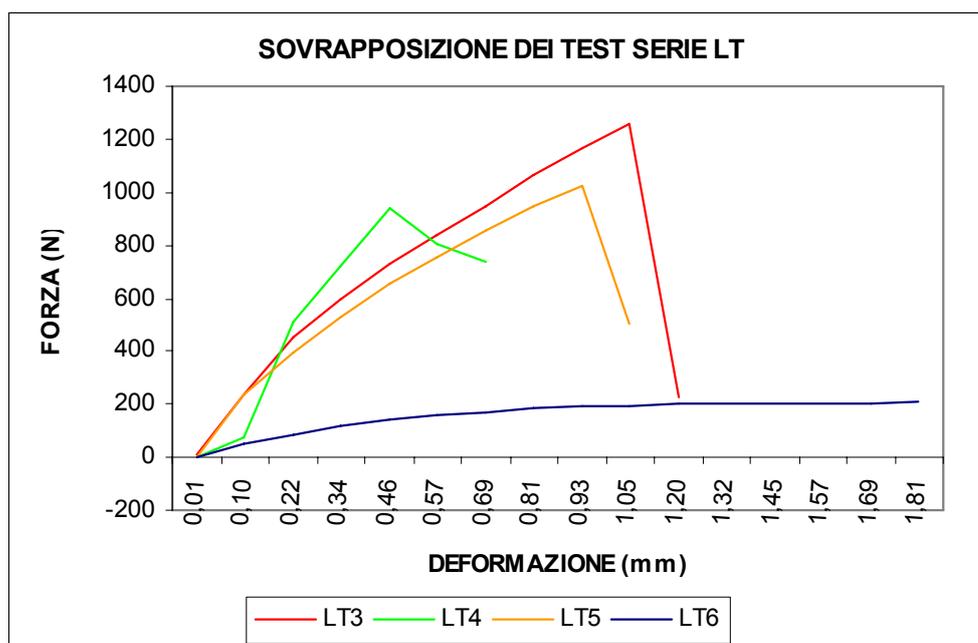


Figura 40: sovrapposizione dei diagrammi forza deformazione per la serie LT

ANALISI DEI PROVINI LT DOPO IL TEST		
PROVINO	TIPO DI ROTTURA	RILIEVI DOPO IL DISTACCO
LT3	Mista: Interfaccia resina/laterizio e resina/tessuto	Resina parzialmente attaccata al laterizio dopo il distacco
LT4	Interfaccia resina/laterizio	Piccole parti di laterizio strappate con la resina
LT5	Interfaccia resina/laterizio e nel laterizio	Distacco di una ampia superficie di laterizio
LT6	Resina	Superficie di contatto totalmente ricoperta da resina

Tabella 3

4.5.1. Analisi dei risultati della serie di test LT

La serie LT si è ridotta a quattro provini per la perdita dei primi due durante i test, questo ha comportato l'impossibilità di eseguire tutto il programma, tuttavia è stato possibile ricavare indicazioni interessanti dai risultati ottenuti:

- confrontando il risultato del provino di riferimento con il provino sottoposto a trattamento con il solvente si rileva una diminuzione del 26% della forza di strappo;
- il provino LT5, esposto ad una temperatura di 60°C ha presentato una forza di strappo di 1023 N, valore vicino a quello ottenuto mediante impregnazione con solvente, si ricorda che 60°C è la temperatura massima di esercizio generalmente indicata per le resine;
- il provino LT6, esposto alla temperatura di 90°C ha presentato una forza di strappo pari a 208 N, con una diminuzione dell'83% rispetto al valore di riferimento e del 77% rispetto al provino trattato con diluente
- le deformazioni rilevate non possono essere considerate rigorose per la deformabilità dei sistemi di fissaggio dei provini, pertanto le misurazioni andrebbero depurate dell'aliquota di deformazione subita del sistema stesso, tuttavia è possibile una analisi comparativa che mostra come il provino di riferimento, quello sottoposto a solvente e quello portato a 60° presentano un modulo elastico simile, leggermente inferiore per LT5 probabilmente a causa di un inizio di rammollimento delle resine; il provino sottoposto a 90° invece presenta un modulo elastico circa tre volte inferiore e quello degli altri, ed una deformazione a rottura molto maggiore;
- le modalità di rottura riportate in tabella 3 confermano che il punto debole dell'applicazione è all'interfaccia tra supporto e resina, il diluente, applicato esternamente al laminato, non riesce a raggiungere l'interfaccia con il

supporto, pertanto non riesce a svolgere il proprio ruolo di soluzione della matrice, il calore invece penetra tutto il corpo della matrice, rammollendola e abbassandone drasticamente le proprietà meccaniche tanto che la rottura avviene all'interno della resina stessa per tensioni molto inferiori di quelle di adesione della resina al laterizio.

SUPERFICI DI INTERFACCIA DEI PROVINI "LT" DOPO IL DISTACCO

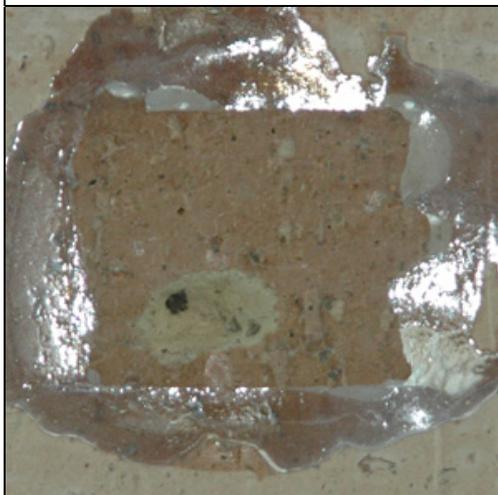


Figura 41: Superficie laterizio LT5



Figura 42: superficie composito LT5

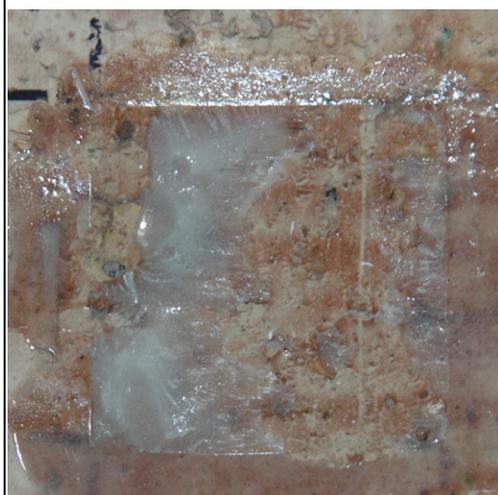


Figura 43: Superficie laterizio LT6



Figura 44: superficie composito LT6

4.5.2. Conclusioni

La serie di test LT ha mostrato la scarsa efficacia del diluente sulle resine completamente reticolate. L'applicazione di diluente ha comportato un degrado superficiale delle resine, che, però non ha raggiunto l'interfaccia con il supporto, che è risultata essere il punto debole dell'applicazione. Il diluente si è invece dimostrato efficace, nel corso della sperimentazione, per la rimozione della resina non ancora completamente indurita e per la pulitura delle superfici. Agli scarsi risultati ottenuti si aggiunge un tempo di applicazione lungo, che per il test è stato di 24; questo richiede il ricorso all'apposizione di impacchi, operazione resa problematica dalla elevata volatilità del diluente, che comporta la necessità di una continua somministrazione di prodotto, e dalla tossicità dei vapori del diluente stesso. Lo stesso risultato si è ottenuto sottoponendo il provino ad una temperatura di 60, mentre molto migliori sono stati i risultati ottenuti a 90°C.

Per le ragioni esposte la soluzione è poco pratica per le applicazioni in cantiere dove si rivela più efficace una rimozione facilitata dal calore senza fiamma.

4.6. Serie MT – tessuto in fibra di carbonio su marmo.

La serie MT è stata realizzata applicando il tessuto in fibra di carbonio bidirezionale Maxfor armoshield-B su lastre di marmo delle dimensioni di circa 15x20x3 cm.

Le lastre di marmo sono state preventivamente ripulite in superficie con carta abrasiva per rimuovere eventuali patine e depositi che avrebbero potuto vanificare l'adesione delle resine al supporto, successivamente la superficie è stata lavata ed impregnata con primer per resine epossidiche Maxfor Armoprimer 200, formulato con resine epossidiche disperse in solvente ad elevata fluidità capace di entrare in profondità nel supporto impregnando e consolidando lo stesso.

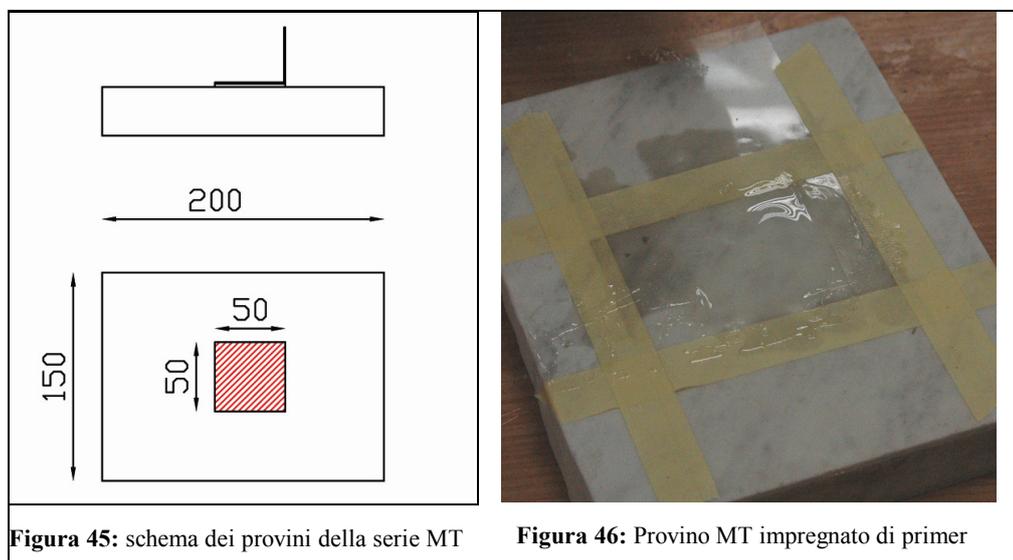


Figura 45: schema dei provini della serie MT

Figura 46: Provino MT impregnato di primer

Tra la superficie del marmo ed il composito, prima dell'applicazione di quest'ultimo, è stata interposta una maschera che limitasse la superficie di contatto ad un quadrato 5,00x5,00 cm, in modo da evitare che eventuali sbavature

nell'applicazione potessero portare ad una interfaccia di superficie differente tra i diversi campioni e quindi falsare i risultati del test. Successivamente si è proceduto alla seconda stesura di primer e dopo i tempi di asciugatura si sono applicati i tessuti. La resina impiegata è stata del tipo Maxfor Armofix MTX, un prodotto bicomponente, miscelato al momento dell'impiego nel rapporto di catalisi A/B=1/1,8 come indicato dal produttore.

I tessuti sono stati conformati in modo da consentire la presa del morsetto del dinamometro con forza di strappo eccentrica rispetto alla superficie di adesione (figure 12 e 15).



Figura 47: applicazione del composito

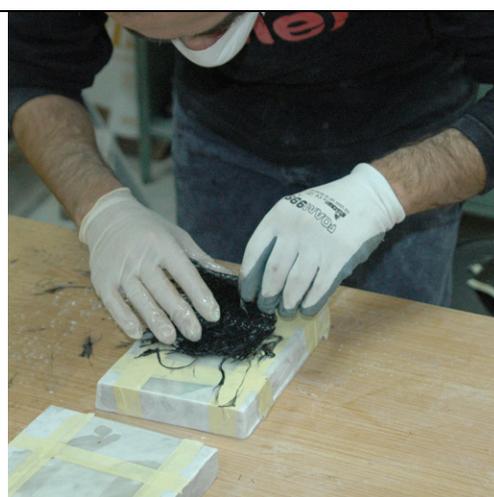
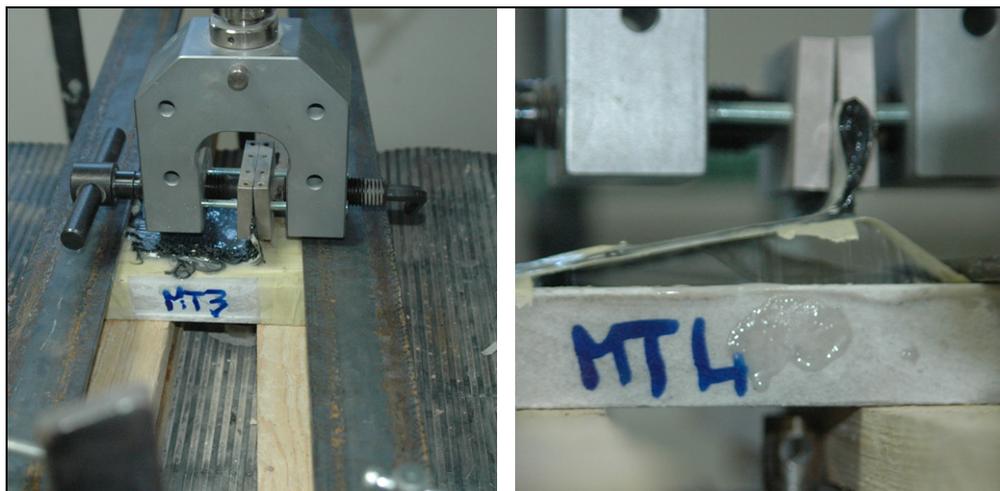


Figura 48: conformazione del tessuto

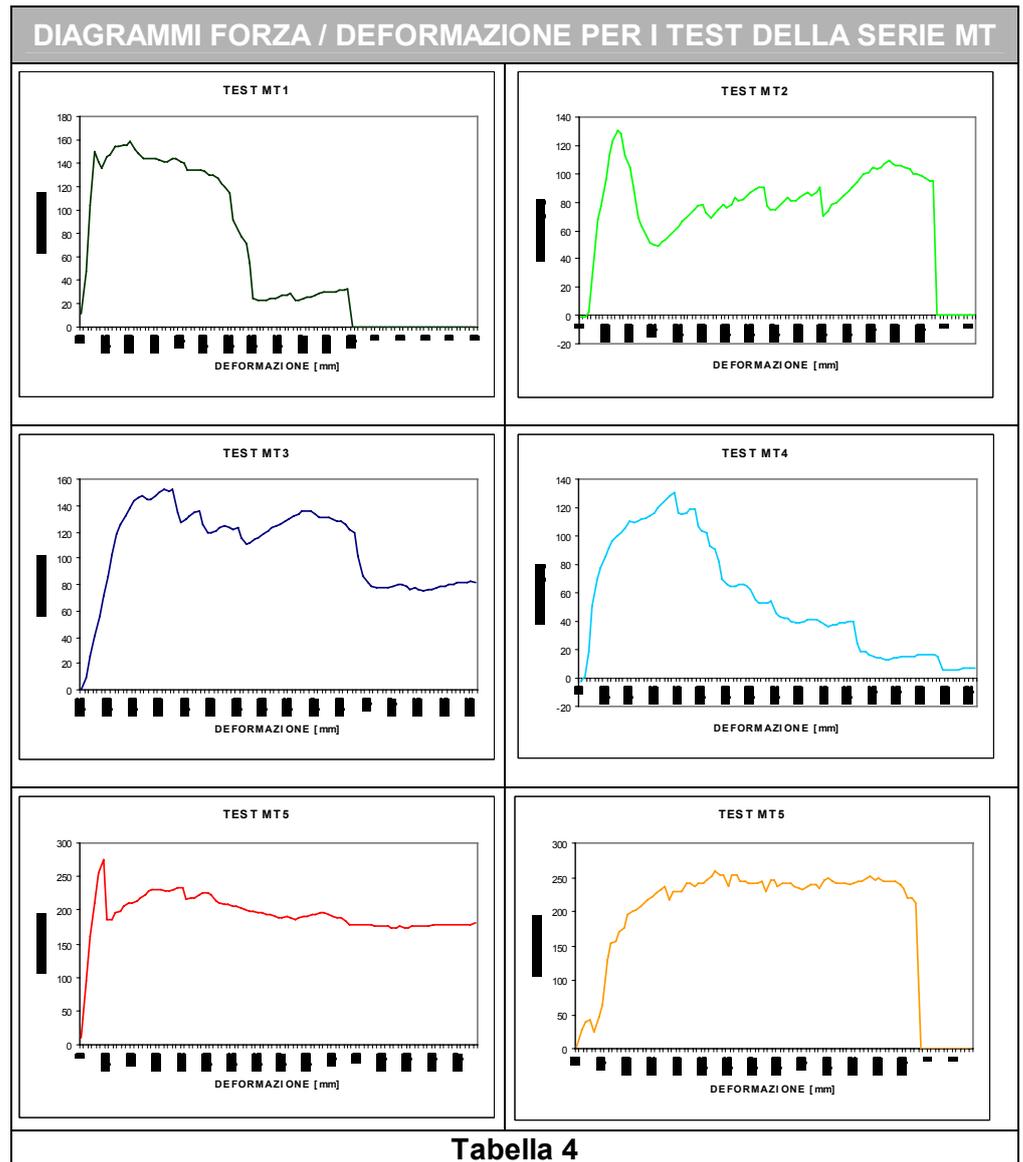
Completato il ciclo di preparazione si sono eseguiti i test di distacco. La prova è stata eseguita con un dinamometro Lloyd Instruments modello LR10KPlus Series, in controllo di velocità a 10 mm/min bloccando i provini alla base del dinamometro e applicando il morsetto direttamente al tessuto di rinforzo.

**Figura 49** esecuzione del test MT3**Figura 50:** dettaglio del distacco MT4

I primi due provini MT1 e MT2 sono stati testati in condizioni neutre per avere un parametro di riferimento, i risultati hanno evidenziato forze massime di rottura pari a 158 N e 130 N, con deformazioni corrispondenti pari a 1,58 e 0,99 mm, il diagramma dopo aver raggiunto il massimo segue un tratto ad andamento decrescente della forza.

I provini MT3 e MT4 sono stati testati dopo essere stati sottoposti a trattamento con diluente per 24 ore, ed hanno dato come forza massima di rottura rispettivamente i valori di 152 N e 130 N, anche in questo caso si è evidenziato un andamento del diagramma sforzo-deformazione simile a quello dei provini di riferimento.

I provini MT5 e MT6 sono stati sottoposti a riscaldamento in camera climatica con temperatura fissata a 50 °C per 3 ore e successivamente sottoposti al test di rottura che si sono verificate per una forza pari a 259 N e 275 N rispettivamente (si ricorda che 60°C è la temperatura massima di esercizio generalmente indicata per le resine). In questi due casi, il diagramma dopo aver raggiunto il massimo, segue un lungo tratto orizzontale, con deformazione crescente a sforzo costante, fino al distacco completo.



RIEPILOGO DEI RISULTATI DELLA SERIE MT						
	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6
	refer.	refer.	Solv.	Solv.	50°C	50°C
sforzo massimo [N]	158	130	152	130	259	275
deformazione a rottura [mm]	6,5	6,5	1,04	0,44	16	12,2
variazione sforzo [%]	144		6%	-10%	80%	90%
variazione deformazione [%]	6,50		53%	48%	146%	88%

Tabella 5

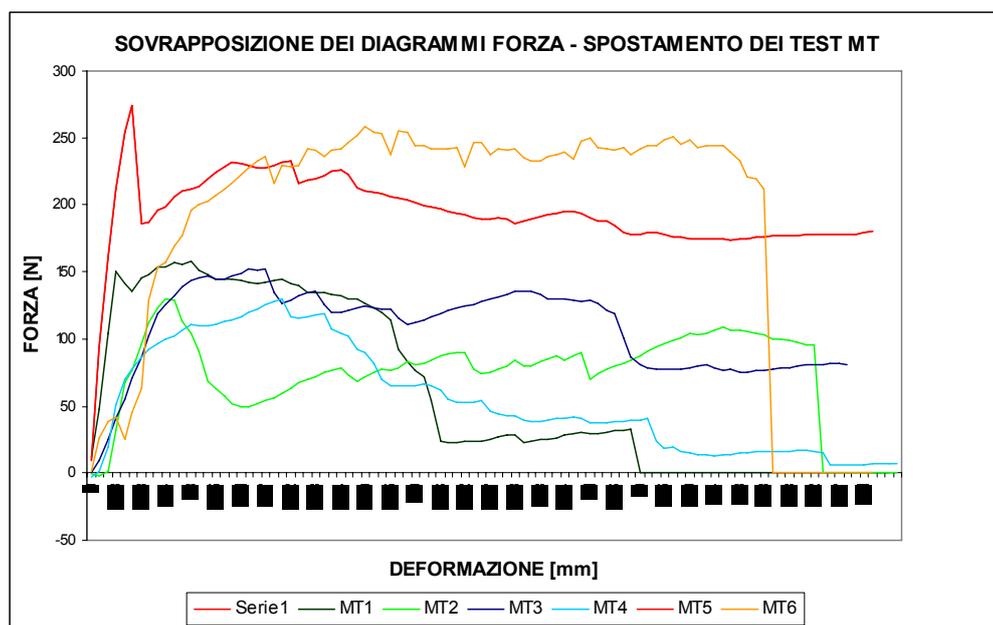


Figura 51: sovrapposizione dei diagrammi sforzo/deformazione per la serie MT

SUPERFICI DI INTERFACCIA DEI PROVINI "MT" DOPO IL DISTACCO



Figura 52: superficie marmo MT2

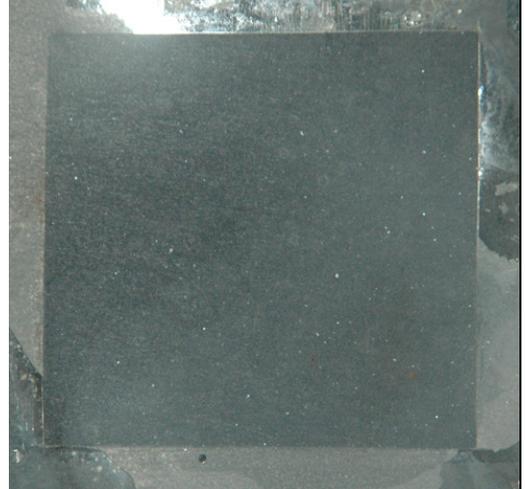


Figura 53: superficie tessuto MT2

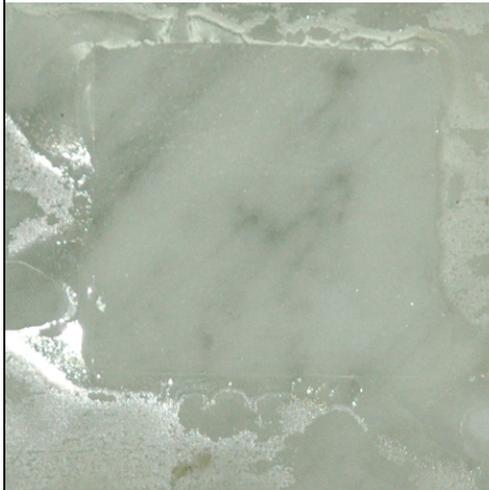


Figura 54: superficie marmo MT5

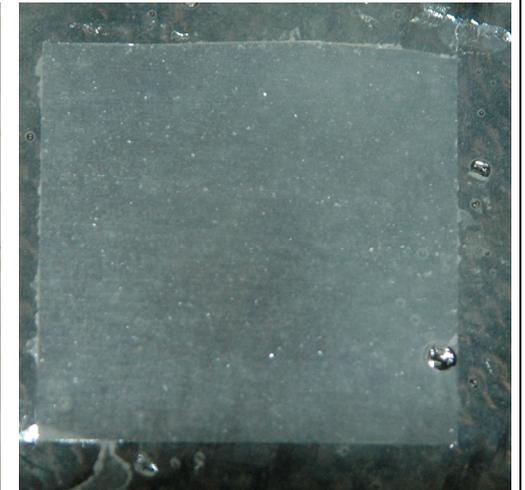


Figura 55: superficie tessuto MT5

ANALISI DEI PROVINI MT DOPO IL TEST		
PROVINO	TIPO DI ROTTURA	RILIEVI DOPO IL DISTACCO
MT1	Interfaccia resina-marmo	Piccole parti di marmo strappate con la resina
MT2	Interfaccia resina-marmo	Piccole parti di marmo strappate con la resina
MT3	Interfaccia resina-marmo	Piccole parti di marmo strappate con la resina
MT4	Interfaccia resina-marmo	Piccole parti di marmo strappate con la resina
MT5	Interfaccia resina-marmo	Piccole parti di marmo strappate con la resina
MT6	Interfaccia resina-marmo	Piccole parti di marmo strappate con la resina
Tabella 6		

4.6.1. Analisi dei risultati della serie di test MT

Il programma di test della serie MT è stato realizzato eseguendo due prove per ogni condizione, per avere una verifica dei risultati ottenuti; i test dei provini sottoposti a trattamento sono stati confrontati con la media dei risultati dei due provini di riferimento.

Dall'analisi dei risultati si sono ottenute le seguenti indicazioni:

- I due provini di riferimento, MT1 e MT2 presentano una variazione della forza massima di strappo pari al 15%, quindi non trascurabile, per il confronto con gli altri provini è stata considerata la media dei due risultati, al raggiungimento della tensione di rottura segue un tratto di softening durante il quale si completa il distacco del composito dal supporto, questo è da attribuire alla modalità di applicazione della forza di strappo che tende a sollevare il tessuto a partire da una estremità, quindi il distacco è graduale e avviene per

fasce successive della superficie di contatto. Questo spiega anche la forza di strappo molto più bassa rispetto ai provini della serie LT che presentavano una uguale superficie di contatto, infatti nei test LT la forza è baricentrica e si può considerare agente contemporaneamente su tutta la superficie, mentre nel caso MT, come osservato, la forza agisce solo su una porzione limitata della superficie, questo spiega come, anche con tensioni simili, si hanno valori della forza tanto distanti (circa 10 volte);

- I due provini MT3 e MT4 sottoposti a trattamento con diluente per 24 ore, hanno presentato risultati del tutto simili a quelli dei provini di riferimento, questo conferma la scarsa efficacia del diluente sulle resine reticolate;
- I provini MT5 e MT6, esposti ad una temperatura di 50°C hanno presentato forze di strappo superiori dell'80-90% rispetto a quelle dei provini di riferimento e a quelli trattati con solvente. I diagrammi sforzo/deformazione di entrambi i campioni presentano un lungo tratto orizzontale dopo il raggiungimento della forza massima di strappo, questo spiega l'aumento dello sforzo ultimo, in quanto la resina, leggermente rammollita dalla temperatura, presenta un comportamento meno fragile rispetto ai test di riferimento, la maggiore capacità di deformazione comporta, in relazione alla modalità di applicazione della forza, la possibilità di impegnare una sezione maggiore in quanto il distacco non avviene immediatamente al raggiungimento della tensione massima ma appunto segue un comportamento plastico, ne consegue che a parità di tensione massima di aderenza si ha una forza di strappo maggiore;
- le deformazioni rilevate risentono della deformabilità dei sistemi di fissaggio dei provini, pertanto le misurazioni andrebbero depurate da questa aliquota che comunque è meno sensibile rispetto alla serie di test LT, tuttavia è

possibile una analisi qualitativa dell'andamento delle deformazioni che conferma le osservazione del punto precedente;

- le modalità di rottura riportate in tabella 6 confermano che il punto debole dell'applicazione è all'interfaccia tra supporto e resina, il diluente, applicato esternamente al laminato, non riesce a raggiungere l'interfaccia con il supporto, anche se sono stati applicati impacchi proprio con questa finalità, pertanto non riesce a svolgere il proprio ruolo di soluzione della matrice, il calore invece penetra tutto il corpo della matrice, rammollendola e abbassandone le proprietà meccaniche tuttavia questo ha portato ad un incremento della forza di strappo per le ragioni sopra evidenziate.

4.6.2. Conclusioni

La serie di test MT ha confermato la scarsa efficacia del diluente sulle resine completamente reticolate. L'applicazione di diluente ha comportato un degrado superficiale delle resine, che, però non ha raggiunto l'interfaccia con il supporto, che è risultata essere il punto debole dell'applicazione. Il diluente si è invece dimostrato efficace, nel corso della sperimentazione, per la rimozione della resina non ancora completamente indurita e per la pulitura delle superfici, anche se in questo caso ha lasciato un alone opaco sul marmo generando conseguenze che saranno trattate nei test della seconda tipologia. Agli scarsi risultati ottenuti si aggiunge un tempo di applicazione lungo, che per il test è stato di 24; questo richiede il ricorso all'apposizione di impacchi, operazione resa problematica dalla elevata volatilità del diluente, che comporta la necessità di una continua somministrazione di prodotto, e dalla tossicità dei vapori del diluente stesso.

In questo caso, a differenza che nella serie LT, il calore somministrato al sistema (3 ore a 50°C) non ha giocato un ruolo favorevole, alzando la forza totale di strappo

invece che diminuirla. Questo fenomeno, dovuto alla variazione del comportamento del sistema innescata dal rammollimento delle resine andrebbe comunque approfondito con ulteriori test a livelli di temperatura differenti, in particolare superiori al limite massimo di esercizio delle resine, indicato solitamente nella temperatura di 60°.

4.7. Serie LL – lamina in fibra di carbonio su laterizio.

La serie LL è stata realizzata applicando una lamina in fibra di carbonio Maxfor armoshield Lamelle CFK su laterizio da costruzione di dimensioni ordinarie 5,5x12x25 cm.

I laterizi sono stati preventivamente ripuliti e regolarizzati in superficie con carta abrasiva per rimuovere eventuali patine e depositi che avrebbero potuto vanificare l'adesione delle resine al supporto, successivamente la superficie è stata lavata ed impregnata con primer per resine epossidiche Maxfor Armoprimer 200, capace di entrare in profondità nel supporto impregnando e consolidando lo stesso.

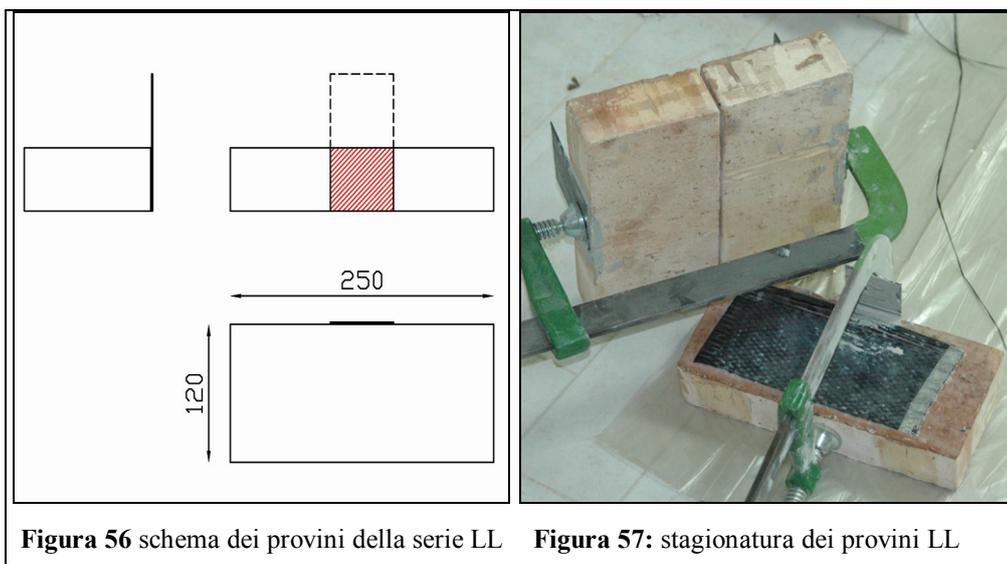


Figura 56 schema dei provini della serie LL **Figura 57:** stagionatura dei provini LL

La lamella è stata applicata alla superficie laterale del mattone per tutta la sua altezza, pertanto la superficie totale di adesione è risultata essere di dimensioni 5,5 (altezza del mattone) x 6,5 (larghezza della lamella).

Successivamente si è proceduto alla seconda stesura di primer e dopo i tempi di asciugatura si sono applicate le lamine. L'adesivo impiegato è stata del tipo Maxfor

Armofix T, uno stucco epossidico bicomponente, miscelato al momento dell'impiego nel rapporto di catalisi A/B=1/1 come da indicazioni del produttore.

Completato il ciclo di preparazione si sono eseguiti i test di distacco. La prova è stata eseguita con un dinamometro Lloyd Instruments modello LR10KPlus Series, in controllo di velocità a 10 mm/min bloccando i provini alla base del dinamometro e applicando il morsetto direttamente alla lamella.

I primi due provini LL1 e LL2 sono stati testati in condizioni neutre per avere un parametro di riferimento, i risultati hanno evidenziato forze massime di rottura pari a 1444 N e 1428 N, con deformazioni rispettivamente pari a 9,8 mm e 6,92 mm, i diagrammi, dopo un primo tratto con pendenza elevata, seguono un lungo tratto poco inclinato fino alla rottura dell'interfaccia, che avviene in maniera brusca al distacco della lamella dal supporto.



Figura 58: esecuzione del test LL6

Figura 59: fine del test LL6

I provini LL3 e LL4 sono stati testati dopo essere stati sottoposti ad immersione nel diluente per 24 ore, ed hanno dato come forza massima di rottura rispettivamente i valori di 1616 N e 1128 N, con deformazioni ultime rispettivamente di 11,63 mm e

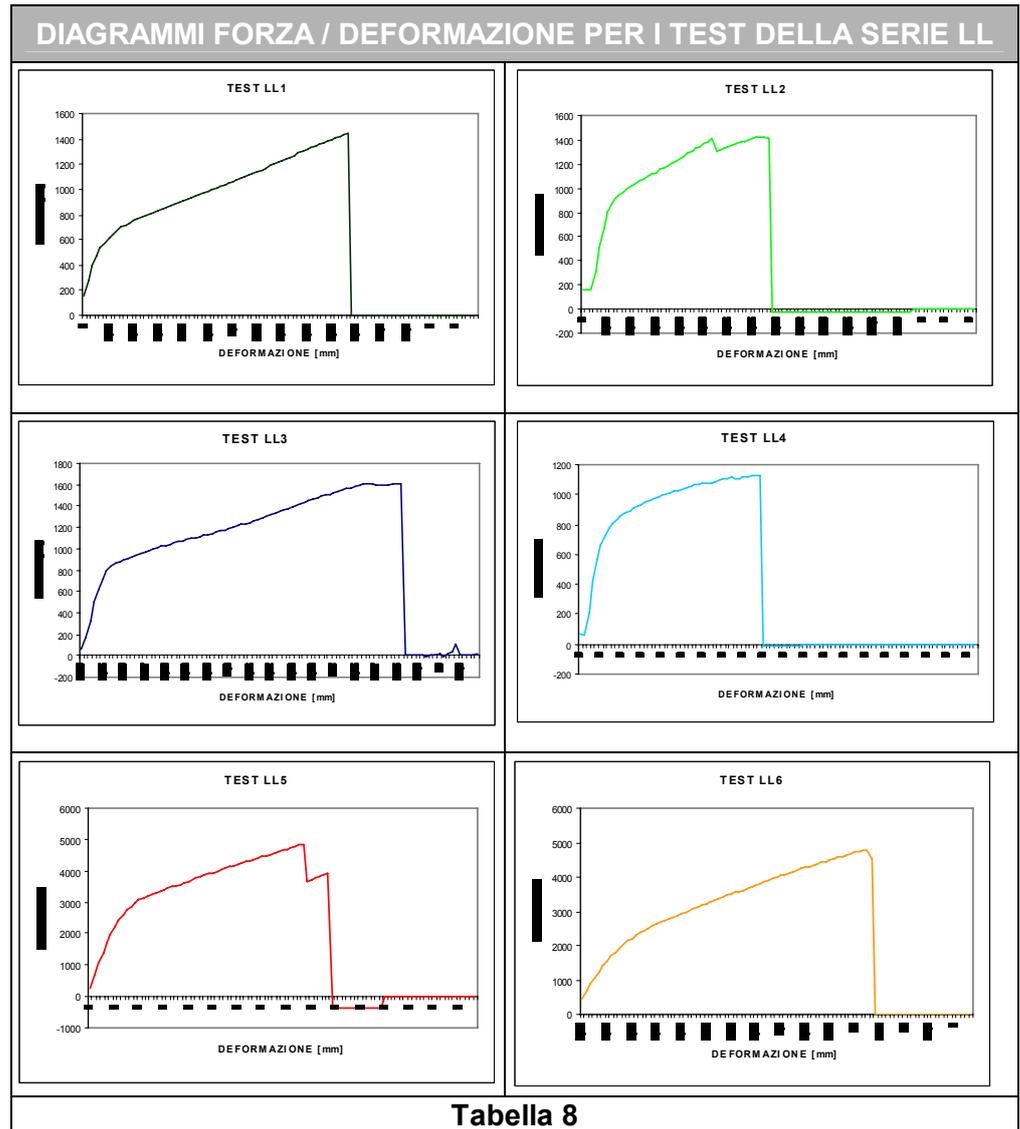
6,77 mm, anche in questo caso si è evidenziato un comportamento analogo a quello dei primi due provini

I provini LL5 e LL6 sono stati sottoposti a riscaldamento in camera climatica con temperatura fissata a 90 °C per 3 ore e successivamente sottoposti al test, arrivando a rottura per una forza pari a 4800 N e 4841 N rispettivamente con spostamenti pari a 8,89 mm e 10,72 mm.

In questi due casi, il diagramma presenta una pendenza maggiore rispetto ai test precedenti e la rottura con modalità simili ai quattro provini precedenti ma per valori molto maggiori.

Nella tabella 7 è riportato il riepilogo dei risultati ottenuti nei test della serie LL, mentre nelle pagine seguenti si riportano i diagrammi relativi ai singoli test eseguiti e la sovrapposizione degli stessi per un più immediato confronto.

RIEPILOGO DEI RISULTATI DELLA SERIE LL						
	LL1	LL2	LL3	LL4	LL5	LL6
	rifer.	rifer.	Solv.	Solv.	90°C	90°C
sforzo massimo [N]	1444	1428	1616	1129	4800	4841
deformazione a rottura [mm]	9,8	6,92	11,63	6,77	8,89	10,72
variazione sforzo [%]	1436		13%	-21%	234%	237%
variazione deformazione [%]	8,36		39%	-19%	6%	28,2%
Tabella 7						



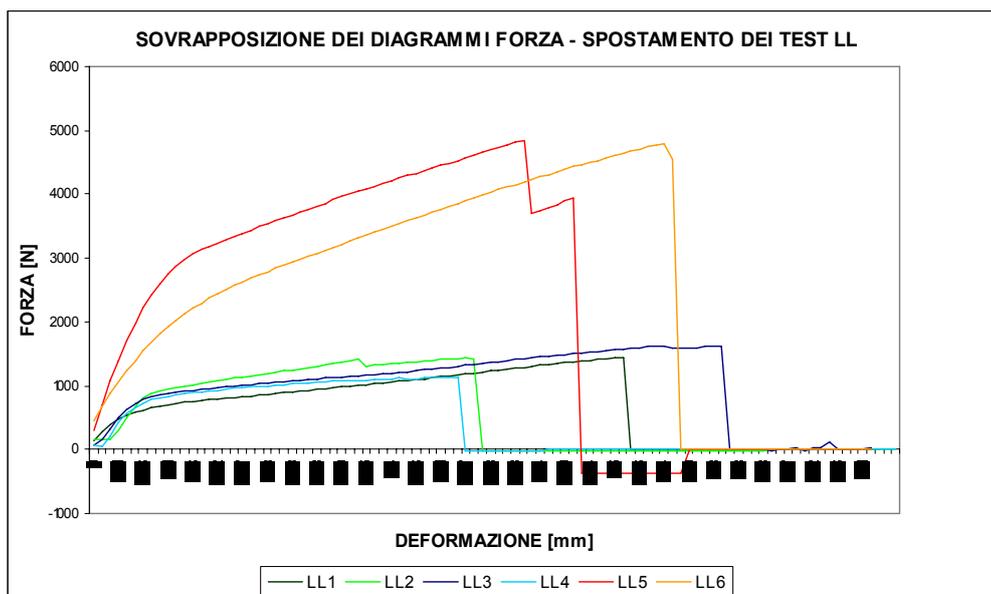


Figura 60: sovrapposizione dei diagrammi sforzo/deformazione per la serie LL

ANALISI DEI PROVINI LL DOPO IL TEST		
PROVINO	TIPO DI ROTTURA	RILIEVI DOPO IL DISTACCO
MT1	Interfaccia lamella-resina parzialmente laterizio-resina	residui di resina sulla superficie della lamella aventi conformazione irregolare, un'area macroscopica è stata caratterizzata da distacco all'interfaccia tra resina dal laterizio
MT2	Interfaccia lamella-resina	Residui di resina dalla conformazione irregolare diffusi su tutta la superficie della lamella
MT3	Interfaccia lamella-resina	Residui di resina diffusi su tutta la superficie della lamella, il distacco ha interessato parzialmente anche il laterizio, da cui sono stati strappati dei frammenti rimasti attaccati alla lamella
MT4	Interfaccia lamella-resina parzialmente laterizio-resina	residui di resina dalla conformazione irregolare su gran parte della superficie della lamella, due aree macroscopiche sono state caratterizzate da distacco della resina dal laterizio
MT5	interfaccia lamella-resina e interno resina	La rottura è avvenuta prevalentemente all'interno della resina e parzialmente per distacco all'interfaccia tra la resina e la lamella
MT6	interfaccia lamella-resina e interno resina	La rottura è avvenuta prevalentemente all'interno della resina e parzialmente per distacco all'interfaccia tra la resina e la lamella

Tabella 9

SUPERFICI DI INTERFACCIA DEI PROVINI "MT" DOPO IL DISTACCO

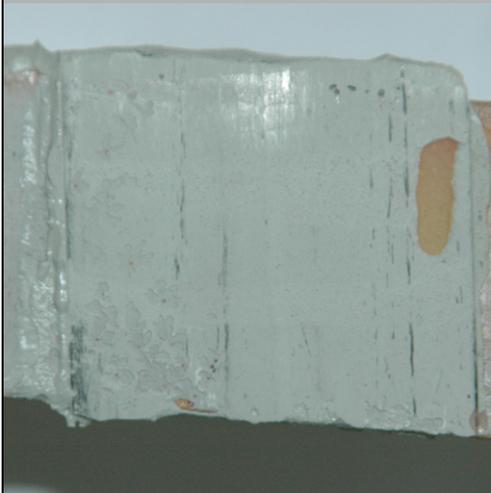


Figura 61: interfaccia laterizio LL1



Figura 62: interfaccia lamella LL1

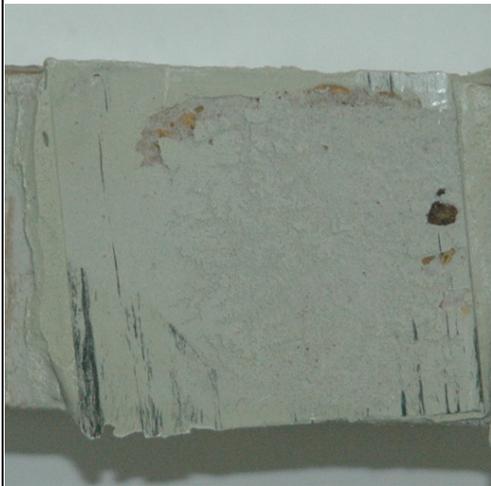


Figura 63: interfaccia laterizio LL3

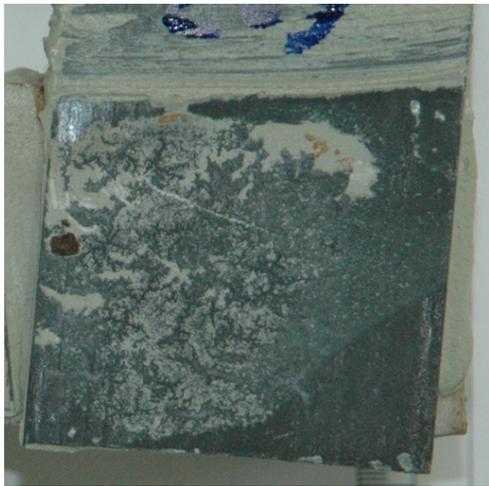


Figura 64: interfaccia lamella LL3

SUPERFICI DI INTERFACCIA DEI PROVINI "MT" DOPO IL DISTACCO

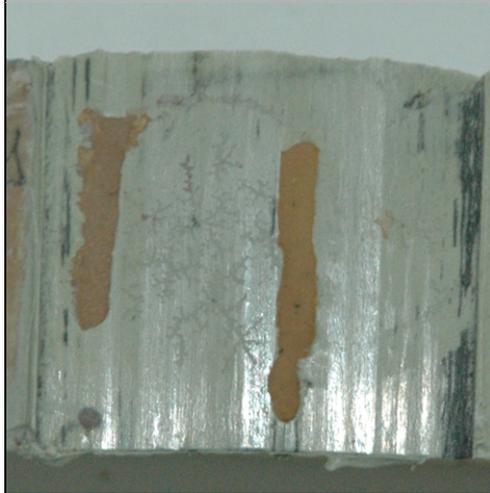


Figura 65: interfaccia laterizio LL4



Figura 66: interfaccia lamella LL4



Figura 67: interfaccia laterizio LL6



Figura 68: interfaccia lamella LL6

4.7.1. Analisi dei risultati della serie di test LL

Il programma di test della serie LL è stato realizzato eseguendo due prove per ogni condizione, in modo da avere una verifica dei risultati ottenuti; i test dei provini sottoposti a trattamento sono stati confrontati con la media dei risultati dei due provini di riferimento per verificare la variazione di comportamento dovuta all'applicazione di diluente e all'esposizione ad alta temperatura.

Dall'analisi dei risultati si sono ottenute le seguenti indicazioni:

- I due provini di riferimento, LL1 e LL2 presentano una variazione della forza massima di strappo pari al 1,2%, per il confronto con gli altri provini è stata considerata la media dei due risultati. La forza sale rapidamente fino a un valore pari a circa il 50% di quella ultima, per poi crescere lentamente lungo un tratto poco pendente che porta ad una deformazione molto elevata. Si è osservato che parte di questa deformazione è dovuta alla rotazione del laterizio, a causa di un non perfetto fissaggio alla macchina; non è stato possibile rimediare a questo inconveniente a causa della mancanza di apparecchi di fissaggio idonei che andrebbero studiati per il caso particolare, tuttavia è possibile considerare i valori della deformazione per una analisi comparativa dei provini testati nelle medesime condizioni. La rottura arriva improvvisa, con il distacco istantaneo della lamella;
- I due provini LL3 e LL4 sottoposti ad immersione nel diluente per 24 ore, hanno presentato risultati in media simili a quelli dei provini di riferimento, sia in termini di sforzo ultimo che di deformazione massima, questo conferma la scarsa efficacia del diluente sulle resine reticolate;
- I provini LL5 e LL6, esposti ad una temperatura di 90°C hanno presentato forze di strappo superiori dell'230% rispetto a quella media dei provini di riferimento e a quelli trattati con solvente;

- le deformazioni rilevate risentono della deformabilità dei sistemi di fissaggio dei provini, pertanto le misurazioni andrebbero depurate da questa aliquota, la rotazione del laterizio porta la forza di trazione ad uscire dal piano della lamella, pertanto si genera una componente della forza ortogonale al piano della lamella la cui entità è funzione della rotazione stessa, per avere risultati rigorosi questo fenomeno andrebbe evitato, ma essendo presente in tutti i test eseguiti resta possibile l'analisi comparativa;
- le modalità di rottura riportate in tabella 6 confermano che, in condizioni di esercizio, il punto debole dell'applicazione è all'interfaccia tra supporto e resina, il diluente, anche con i provini immersi per 24 ore, non riesce a svolgere il proprio ruolo di soluzione della matrice.

4.7.2. Conclusioni

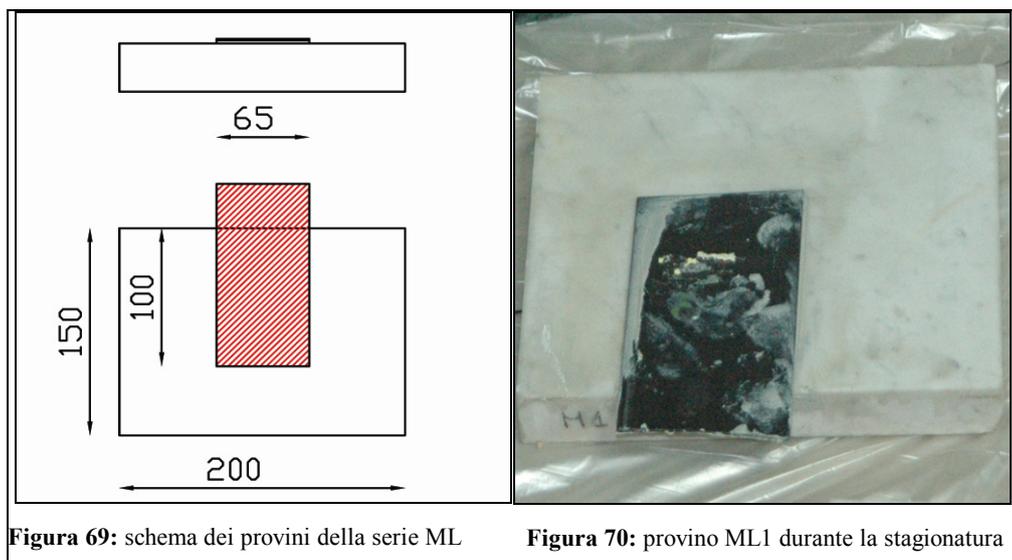
La serie di test LL ha confermato la scarsa efficacia del diluente sulle resine completamente reticolate. L'applicazione di diluente su questo tipo di resina (Armofix T) non ha comportato nemmeno il degrado superficiale riscontrato nei test precedenti. Anche in questo caso l'interfaccia, che si è dimostrata il punto critico dell'applicazione, non è stata raggiunta dal diluente nonostante il lungo periodo di immersione.

Il tempo e le modalità di applicazione per immersione risultano poco ripetibili nella pratica di cantiere, anche in considerazione dalla tossicità dei vapori del diluente stesso, d'altra parte in questo caso, anche il calore somministrato al sistema (3 ore a 90°C) non ha giocato un ruolo favorevole, alzando la forza totale di strappo invece che diminuirla. Lo studio di questo fenomeno, dovuto alla variazione del comportamento del sistema innescata dal rammollimento delle resine andrebbe comunque approfondito con ulteriori test.

4.8. Serie ML – lamina in fibra di carbonio su lastra di marmo

La serie ML è stata realizzata applicando una lamina in fibra di carbonio Maxfor armoshield Lamelle CFK su lastre di marmo bianco di Carrara di dimensioni 15x20x3 cm.

La superficie delle lastre di marmo è stata preventivamente ripulita e regolarizzata con carta abrasiva per rimuovere eventuali patine e depositi che avrebbero potuto vanificare l'adesione delle resine al supporto, successivamente la superficie è stata lavata ed impregnata con primer per resine epossidiche Maxfor Armoprimer 200, capace di entrare in profondità nel supporto impregnando e consolidando lo stesso.



La lamella è stata applicata sulla faccia superiore della lastra, con una superficie di adesione pari a 10x6,5cm.

La resina impiegata è stata del tipo Maxfor Armofix T, uno stucco epossidico bicomponente per incollaggi strutturali, miscelato al momento dell'impiego nel rapporto di catalisi A/B=1/1 come da indicazioni del produttore.

I provini ML1 e ML2, appartengono alla serie ML, realizzata secondo diverse modalità con la finalità di eseguire prove di caratterizzazione cromatica; questo spiega il numero di provini ridotto a soli due.

Completato il ciclo di preparazione si sono eseguiti i test di distacco. La prova è stata eseguita con un dinamometro Lloyd Instruments modello LR10KPlus Series, in controllo di velocità a 10 mm/min bloccando i provini alla base del dinamometro e applicando il morsetto direttamente alla lamella.

Il provino ML1 è stato testato in condizioni neutre per avere un parametro di riferimento, la rottura è avvenuta per forza di trazione pari a 3337 N con una deformazione a rottura di 3,78mm , il diagramma forza/deformazione si presenta, quasi lineare fino alla rottura che avviene in maniera fragile.



Figura 71: dettaglio del test ML1



Figura 72: esecuzione del test ML2

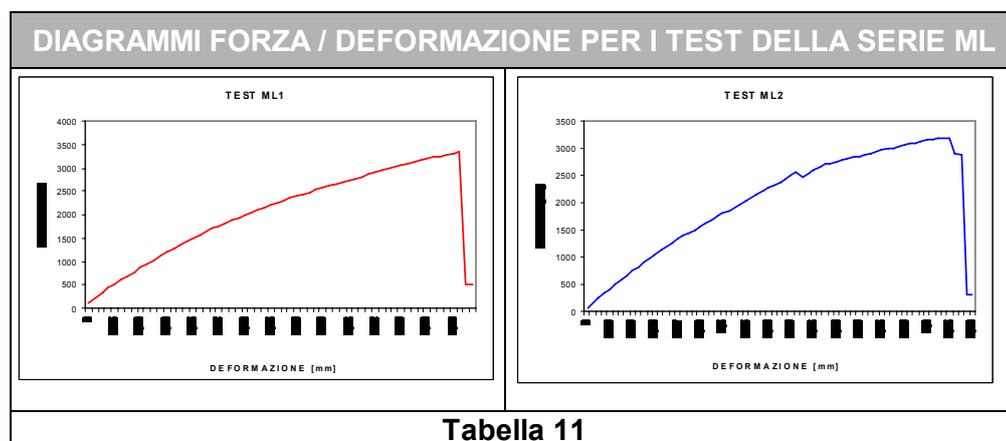
Il provino ML2 è stato testato dopo essere stato sottoposto ad immersione nel diluente per 5 ore, ed ha dato come forza massima di rottura il valore di 3202 N, con deformazione ultima di 4,32 mm, anche in questo caso si è rilevata un andamento

crescente quasi lineare del diagramma forza-deformazione, fino alla rottura fragile dell'interfaccia.

Nella tabella 10 è riportato il riepilogo dei risultati ottenuti nei test della serie ML, mentre nelle pagine seguenti si riportano i diagrammi relativi ai singoli test eseguiti e la sovrapposizione degli stessi per un più immediato confronto.

RIEPILOGO DEI RISULTATI DELLA SERIE ML		
	ML1	ML2
	riferimento	Solvente
sforzo massimo [N]	3337	3203
deformazione a rottura [mm]	3,78	4,32
variazione sforzo [%]		-4%
variazione deformazione [%]		14%

Tabella 10



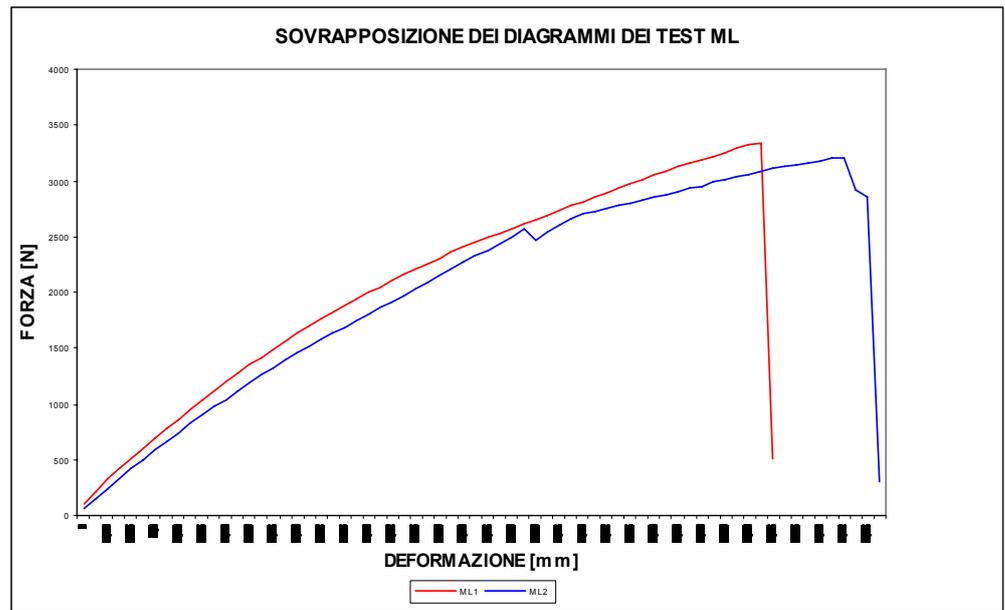


Figura 73: sovrapposizione dei diagrammi sforzo/deformazione per la serie ML

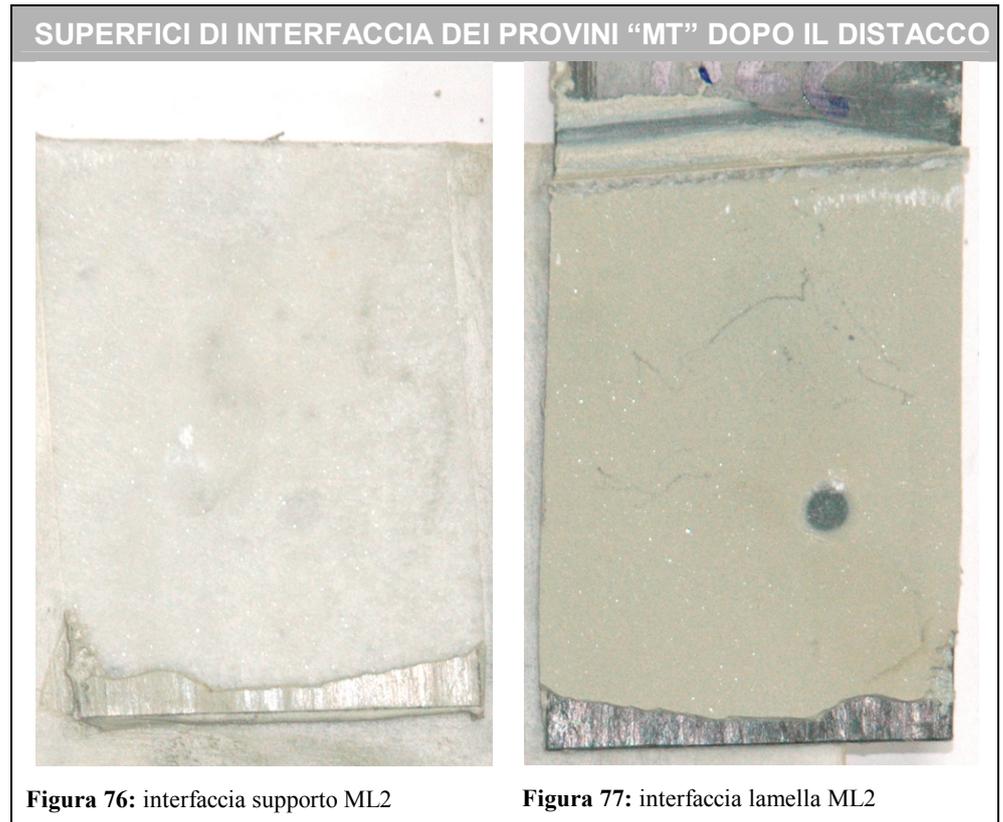
SUPERFICI DI INTERFACCIA DEI PROVINI "MT" DOPO IL DISTACCO



Figura 74:interfaccia lamella ML1



Figura 75: interfaccia supporto ML1



ANALISI DEI PROVINI ML DOPO IL TEST		
PROVINO	TIPO DI ROTTURA	RILIEVI DOPO IL DISTACCO
ML1	Interfaccia marmo-resina	Asportazione di un sottile strato superficiale della lastra di marmo
ML 2	Interfaccia marmo-resina	Asportazione di un sottile strato superficiale della lastra di marmo

Tabella 12

4.8.1. Analisi dei risultati della serie di test ML

La prova è stata eseguita simulando condizioni realisticamente ripetibili in cantiere, quindi il trattamento con solvente è stato limitato, rispetto alle serie di test precedenti, a sole cinque ore.

Dall'analisi dei risultati si sono ottenute le seguenti indicazioni:

- Il test di riferimento ed il test di prova hanno fornito valori molto simili tanto in termini di forza massima di distacco e deformazione ultima, al punto da poter affermare che il diluente, applicato con le modalità tipiche del cantiere, non ha avuto effetti rilevanti;
- le deformazioni rilevate non risentono della deformabilità dei sistemi di fissaggio dei provini, pertanto forniscono risultati attendibili in termini di spostamento massimo e modulo elastico del sistema;
- le modalità di rottura riportate in tabella 6 confermano che, in condizioni di esercizio, il punto debole dell'applicazione è all'interfaccia tra supporto e resina, il diluente, non riuscendo a raggiungere questa interfaccia non ha svolto il proprio ruolo di soluzione della matrice,

4.8.2. Conclusioni

La serie di test LL ha confermato la scarsa efficacia del diluente sulle resine completamente reticolate. L'applicazione di diluente su questo tipo di adesivo (Armofix T) non ha comportato nemmeno il degrado superficiale riscontrato nei test precedenti. Anche in questo caso l'interfaccia, che si è dimostrata il punto critico dell'applicazione. Il diluente si è invece dimostrato efficace, nel corso della sperimentazione, per la rimozione della resina non ancora completamente indurita e per la pulitura delle superfici.

Il tempo e le modalità di applicazione adottati nel test sono normalmente ripetibili nella pratica di cantiere, ma non hanno portato a risultati concreti.

4.9. Test di valutazione dell'alterazione superficiale

Nella definizione della reversibilità di un intervento, oltre alla possibilità di rimuovere l'applicazione in maniera relativamente semplice, va preso in considerazione anche lo stato in cui si ritrova il supporto a seguito dell'applicazione e della rimozione del sistema, e quindi delle sostanze, più o meno aggressive con cui è venuto a contatto e dell'eventuale esposizione ad alte temperature. La valutazione dell'alterazione superficiale prende in considerazione diversi fattori, chimico-fisici, materici e cromatici.

L'importanza di questo aspetto è evidente nel caso di edifici di interesse storico-artistico, dove anche l'aspetto superficiale dei manufatti costituisce un valore da tutelare, in particolare per quegli elementi interessati da un consolidamento ma che potrebbero essere lasciati in vista in seguito ad una futura rimozione dell'applicazione, come intradossi di archi e volte, pilastri e murature.

Nel ciclo di applicazione e rimozione di un rinforzo la superficie del supporto viene sottoposta ad attacchi di differente natura, in primo luogo c'è la fase di regolarizzazione e pulitura, che inevitabilmente comporta la rimozione delle patine che talvolta invece si preferirebbe conservare come segno dell'invecchiamento del manufatto. Successivamente la superficie viene a contatto con una serie di agenti aggressivi che vanno dalle sostanze chimiche più o meno attive alle alte temperature che possono essere causate dal processo di reticolazione della resina o dal calore utilizzato in fase di rimozione. Per tutto il periodo di applicazione del rinforzo, inoltre, la superficie è schermata rispetto agli agenti esterni, data la sostanziale impermeabilità del rinforzo.

L'alterazione materica della superficie, a seguito del distacco, dipende dal materiale costituente il supporto, dal tipo di adesivo impiegato e da come avviene il distacco. Possono riscontrarsi residui di resina sulla superficie, asportazioni di parti più o meno estese insieme al rinforzo, variazioni della finitura superficiale. In parte

questi fenomeni sono stati già osservati e descritti durante i test di valutazione della forza di strappo.

Diverso è il caso dell'alterazione cromatica della superficie che può manifestarsi in maniera immediata, cioè subito dopo il distacco, oppure nel tempo, a causa di residui dell'applicazione non asportabili che alterano l'invecchiamento del supporto. Il primer impiegato, infatti, per sua natura è molto fluido ed ha proprio lo scopo di penetrare a fondo nelle porosità del materiale per favorire l'adesione della resina, questo, però comporta la difficoltà, se non l'impossibilità, di rimozione dello stesso; situazione analoga si manifesta per i prodotti diluenti epossidici eventualmente utilizzati per favorire il distacco.

Per cercare di valutare questo effetto sono state realizzate delle prove in laboratorio, consistenti nella misurazione colorimetrica delle superfici in condizioni iniziali e a seguito di cicli di applicazione e rimozione dei rinforzi.

Tali prove non sono normalizzate, quindi si è proceduto ricreando quelle che possono essere condizioni standard: le operazioni in laboratorio sono avvenute ad una temperatura tra 20°C e 25°C ed umidità relativa compresa tra il 50% ed il 60%. I provini utilizzati sono gli stessi delle serie MT e ML delle prove strappo, cui sono stati aggiunti altri provini in accoppiata marmo-lamella, le matrici utilizzate sono lo stucco epossidica Maxfor Armofix T per i provini ML1 e ML2 e la resina epossidica Maxfor Armofix MTX per tutti gli altri provini.

Prima di essere testati i provini sono stati sottoposti al ciclo di invecchiamento descritto nei paragrafi precedenti.

La strumentazione di prova utilizzata per le misurazioni è uno spettrofotometro Konica-Minolta modello 2600d, con lettura del colore nello spazio Lab.

Il CIE Lab è un modello tridimensionale di colore in cui le differenze di colore che si percepiscono corrispondono alle distanze misurate in modo colorimetrico. L'asse "a" si estende dal verde (-a) al rosso (+a) e l'asse b dal blu (-b) al giallo (+b). La

luminosità, o luminanza, (L) diminuisce andando dall'alto verso il basso del modello tridimensionale. I colori sono quindi rappresentati da valori numerici. Il modello lab ha il vantaggio di avere colori più compatibili con i colori percepiti dall'occhio umano. Con il modello CIE Lab, la luminanza di colore (L), tonalità e saturazione (a , b) possono essere rivisti singolarmente.

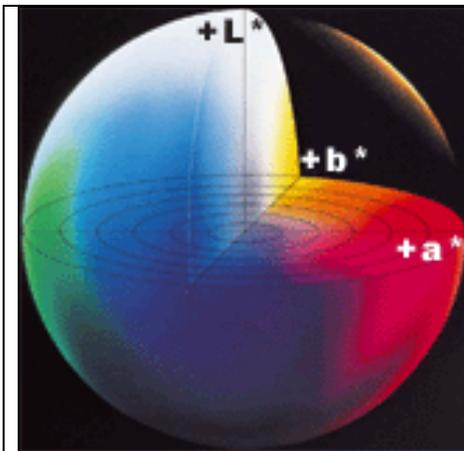


Figura 45: spazio 3D dei colori lab

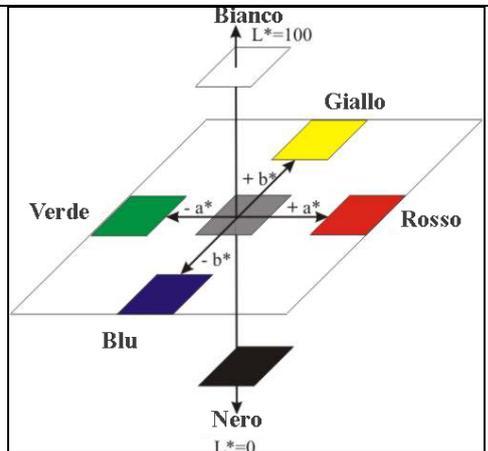


Figura 46: schema delle coordinate lab

La valutazione è stata effettuata mediante letture colorimetriche della superficie in diversi punti privi di venature, per non alterare il risultato ottenuto, in generale per ogni provino si sono effettuate letture in punti non interessati dagli interventi e letture in punti sottoposti a tutto il ciclo, in alcuni casi si sono anche effettuate letture in punti trattati solo con primer.

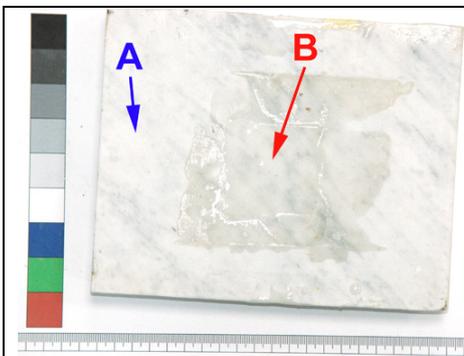


Figura 47: punti di lettura provini MT

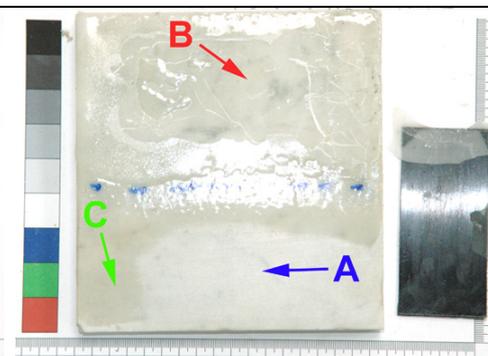


Figura 48: punti di lettura provini ML

I risultati delle letture effettuate sono riportati nelle tabelle seguenti:

RISULTATI DELLE LETTURE IN CONDIZIONI SCE				
LETTURA		COORDINATE		
PROVINO	PUNTO	l	a	b
MT1	A	82,24	-0,85	0,45
	B	86,36	-0,82	-0,46
MT2	A	81,76	-0,65	0,8
	B	87,04	-0,65	-0,54
MT3	A	77,23	-0,78	0,54
	B	85,98	-0,64	1,56
MT4	A	81,47	-0,9	1,21
	B	84,11	-0,76	-0,79
MT5	A	79,86	-1,05	2,14
	B	83,92	-0,76	1,1
MT6	A	82,67	-0,89	1,88
	B	88,77	-0,57	0,89
ML3	A	75,37	-0,43	3,99
	B	75,99	-0,36	2,76
	C	83,02	-0,62	0,64
ML4	A	74,89	-0,47	3,93
	B	68,96	-0,43	4,73
	C	79,68	-0,71	2,11
ML1	A	86,2	-0,74	4,76
	B	82,96	-0,84	5,14
ML2	A	83,62	-0,48	4,12
	B	76,63	-0,29	3,6

Tabella 13

RISULTATI DELLE LETTURE IN CONDIZIONI SCI				
LETTURA		COORDINATE		
PROVINO	PUNTO	l	a	b
MT1	A	82,06	-0,83	0,44
	B	86,17	-0,79	-0,45
MT2	A	81,63	-0,63	0,79
	B	86,9	-0,62	-0,54
MT3	A	77,09	-0,76	0,54
	B	85,85	-0,61	1,57
MT4	A	81,25	-0,88	1,2
	B	83,9	-0,74	-0,78
MT5	A	79,68	-1,02	2,13
	B	83,74	-0,74	1,1
MT6	A	82,54	-0,86	1,88
	B	88,64	-0,54	0,9
ML3	A	75,25	-0,4	3,97
	B	75,92	-0,32	2,72
	C	82,89	-0,59	0,63
ML4	A	74,81	-0,44	3,91
	B	68,87	-0,4	4,68
	C	79,48	-0,69	2,1
ML1	A	86,13	-0,7	4,74
	B	82,88	-0,81	5,14
ML2	A	83,54	-0,45	4,11
	B	76,53	-0,27	3,59

Tabella 14

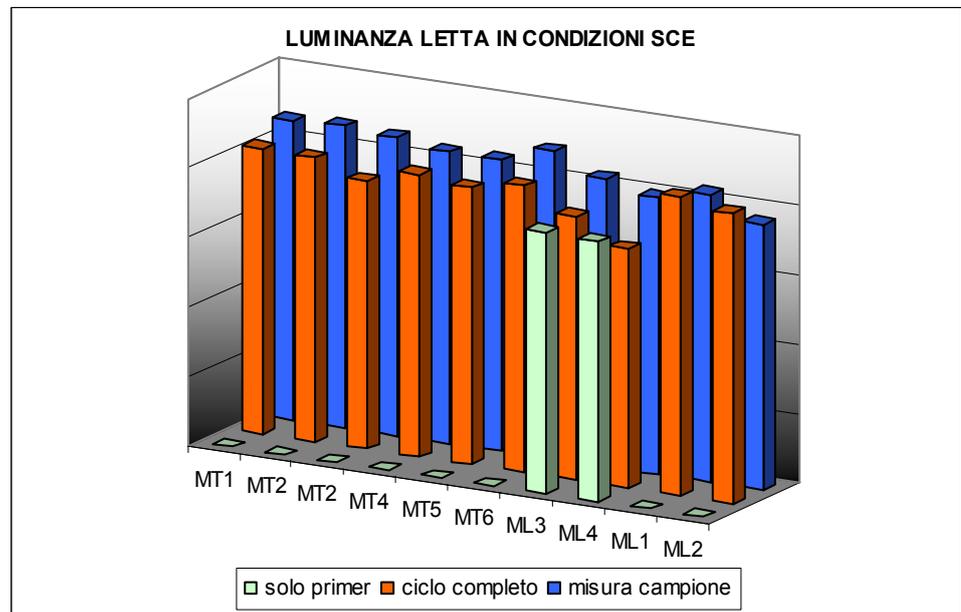


Figura 49: confronto tra i valori di luminanza letti su superficie campione e sulla superficie alterata

4.9.1. Analisi dei risultati ottenuti

I provini della serie MT, su cui era stato applicato un tessuto di fibre di carbonio con resina epossidica hanno manifestato una diminuzione della luminanza superficiale, senza una sostanziale variazione di colore.

I provini ML3 e ML4 sono stati testati con l'applicazione di lamella in fibra di carbonio e resina epossidica, anche in questo caso, le letture hanno evidenziato la diminuzione di luminanza della superficie, inoltre sono state effettuate letture su aree interessate dalla applicazione di solo primer, che hanno mostrato diminuzioni di luminanza il linea con i valori riscontrati per le aree sottoposte a ciclo completo di rinforzo e distacco.

Sui due provini ML1 e ML2 si è applicata una lamina in fibra di carbonio con uno stucco epossidica. In questo caso il distacco della lamina ha comportato la rimozione di un sottile strato di supporto, che in questo modo è stato parzialmente ripulito dalla patina causata da primer e resine. Lo stucco epossidico utilizzato, a differenza della resina dei casi precedenti, non è trasparente, ma ha un colore tendente al verde-grigio, e durante la fase di applicazione ha sporcato la superficie di confronto.

Questo spiega le letture di luminanza più elevata in corrispondenza della superficie sotto la lamina, rispetto a quella di riferimento.

In sintesi i test hanno evidenziato un generale calo dei valori di luminanza per le resine trasparenti, mentre per lo stucco epossidica, ha anche comportato una leggera alterazione tonalità e della saturazione del colore della superficie. Tali variazioni, comunque, sono di piccola entità, quindi si può affermare che da questo punto di vista le resine testate hanno evidenziato un elevato grado di reversibilità.

I risultati illustrati si riferiscono a misurazioni effettuate immediatamente a seguito della rimozione del composito, resta l'incertezza riguardo al diverso invecchiamento delle superfici pulite rispetto a quelle che presentano residui dell'applicazione, pertanto si continuerà il monitoraggio dei campioni per valutare eventuali alterazioni nel lungo periodo

5. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Il tema del recupero del patrimonio edilizio esistente è di grande attualità oramai da diversi anni, ma presenta una continua evoluzione, per le tante variabili che lo caratterizzano, dalla sensibilità nei confronti dei manufatti esistenti, tutelati o no, alle innovazioni continuamente proposte nel campo dei materiali e delle tecniche di intervento.

La ricerca è stata impostata focalizzando l'attenzione sul tema specifico dell'utilizzo dei materiali compositi fibrorinforzati nel recupero degli edifici di interesse storico-artistico, con particolare attenzione ai tipi ed agli aspetti tecnologici delle applicazioni, alle tipologie di prodotti in commercio ed alle problematiche che caratterizzano gli interventi sull'edilizia storica, con l'obiettivo di razionalizzare tutte le conoscenze nel campo, organizzandole in una sintesi che partendo dalla descrizione dei materiali e delle loro caratteristiche, ne analizza le più diffuse modalità applicative e le proprietà dei sistemi di rinforzo ottenuti.

Questa fase dello studio è stata condotta attraverso il reperimento di fonti bibliografiche, con l'analisi critica di ricerche, sperimentazioni e casi di studio presenti in letteratura ed il confronto dei prodotti disponibili in commercio, con le loro particolari caratteristiche e campi di impiego. Allo studio di tipo teorico è stato affiancata una ricerca "sul campo", basata su incontri con figure coinvolte a diverso titolo nel settore e soprattutto su sopralluoghi in cantiere, che hanno offerto la possibilità di riscontrare gli effettivi problemi legati alla messa in opera dei materiali compositi.

Le conoscenze acquisite in questa fase sono state sistematizzate nella schedatura e nel confronto dei prodotti in commercio, nella schedatura di casi di studio ritenuti più interessanti e rappresentativi delle problematiche individuate e nella individuazione di modalità e raccomandazioni relative alle fasi operative degli interventi.

La diffusione delle applicazioni di materiali compositi fibrorinforzati ad edifici di storici ha indirizzato lo studio verso alcuni aspetti che sono caratteristici di questo campo: la compatibilità, la durabilità e la reversibilità degli interventi.

Si è riscontrata una carenza di base sia nella definizione dei livelli minimi richiesti per queste caratteristiche, sia nella individuazione di parametri oggettivi per la loro valutazione. In considerazione del fatto che questa situazione non garantisce la tutela degli edifici storici, tanto meno la libertà di scelta del progettista, si è cercato di analizzare questi aspetti in maniera critica, per evidenziarne le esigenze e, dove possibile, individuarne le risposte.

Questo è stato fatto attraverso lo studio teorico e una serie di colloqui con tecnici e funzionari di Soprintendenze, con lo scopo di individuare per ciascuno degli aspetti di compatibilità, durabilità e reversibilità, un criterio, o quanto meno dei parametri, che ne consentissero la valutazione oggettiva in rapporto ai livelli richiesti dagli edifici tutelati.

La ricerca ha portato alla conclusione che è possibile realizzare una scala di valori del grado di compatibilità dell'intervento dal punto fisico-chimico e meccanico attraverso il ricorso alle conoscenze provenienti da altre discipline quali la chimica, la tecnologia dei materiali e la scienza delle costruzioni, mentre dal punto di vista della tutela dei valori storici, il compito investe principalmente le soprintendenze ed i teorici del restauro.

Il tema della durabilità ha evidenziato invece aspetti ancora da approfondire, attraverso lo studio degli effetti dell'invecchiamento sui materiali applicati in casi reali e la raccolta delle relative informazioni in una banca dati dalla quale sarà possibile desumere, con validità statistica, indicazioni in merito al comportamento dei materiali nel tempo.

Infine, partendo dalla definizione del concetto di reversibilità, si sono individuati tutti gli aspetti che la caratterizzano e si è cercato di fissare dei criteri oggettivi di valutazione del grado raggiunto dai diversi tipi di intervento.

Il tema della reversibilità è stato ulteriormente sviluppato in una serie di prove sperimentali, volte alla valutazione e alla caratterizzazione del distacco di applicazioni di materiali compositi a diversi supporti. Le prove sono state indirizzate alla misura della forza di distacco delle applicazioni in diverse condizioni ed alla valutazione delle alterazioni prodotte nel supporto a seguito dell'applicazione e rimozione del composito.

I risultati ottenuti confermano l'elevata reversibilità dei fibrorinforzati in matrice polimerica, ma lasciano alcuni dubbi: I prodotti diluenti per le resine si sono rivelati sostanzialmente inefficaci sulle matrici completamente reticolate, che invece sono sensibili al calore che ne facilita il distacco dai supporti.

I test effettuati, però, hanno evidenziato un diverso comportamento tra differenti tipi di adesivi utilizzati: mentre la resina ha subito un rammollimento ed una diminuzione di resistenza, lo stucco non ha manifestato rammollimento, evidenziando, ad alta temperatura, un incremento della forza di strappo e una variazione del meccanismo della rottura, che si è spostata dall'interfaccia adesivo-aderendo all'interno dell'adesivo.

Gli sviluppi in tal senso, che costituiscono il programma di lavoro per il prossimo futuro, sono indirizzati alla caratterizzazione di questo fenomeno attraverso una più ampia serie di test volta alla individuazione, per i diversi tipi di adesivo, di curve sperimentali che leghino la temperatura di esposizione alla forza di adesione del composito al supporto.

Un'altra linea di sviluppo riguarda il monitoraggio previsto sui provini utilizzati per la valutazione dell'alterazione cromatica superficiale, al fine di verificare eventuali anomalie di invecchiamento delle superfici sottoposte al ciclo di applicazione e

rimozione dei compositi, in confronto alle superfici non interessate da questo processo. In tal modo si avranno, quindi, informazioni in merito all'evoluzione del fenomeno nel tempo.

La ricerca effettuata, in definitiva, non si può considerare esaustiva riguardo a tutte le problematiche legate all'impiego dei compositi fibrorinforzati nel recupero edilizio, per il gran numero di variabili in gioco e per la continua evoluzione del settore, tanto meno ha la pretesa di essere conclusiva per gli aspetti affrontati, ma costituisce una sintesi organica del tema e un contributo alla definizione di un metodo di scelta e di valutazione della qualità degli interventi innovativi sul patrimonio edilizio storico.

6. BIBLIOGRAFIA

1. AA. VV. - "Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post-sismica degli edifici, Roma, Edizioni Dei (1999);
2. AA. VV., "Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post-sismica degli edifici", Edizioni Dei, Roma 1999;
3. AA. VV., Atlante di architettura, Hoepli, Milano, 1993;
4. AA. VV., Manuale del recupero delle antiche tecniche costruttive Napoletane, CUEN, Napoli 1993;
5. AA.VV. – Comportamento statico e sismico delle strutture murarie. *Collana di ingegneria strutturale* (1982);
6. AA.VV. – Il Manuale dei materiali per l'Ingegneria, a cura di IMAT, McGraw-Hill, s.d;
7. AA.VV. – Il Manuale del Restauro architettonico, a cura di L. Zevi, Roma , Mancosu, (2001);
8. AA.VV. – Prodotti hi-tech per il recupero edilizio, Recuperare l'edilizia, n° 18, (novembre 2000);
9. AA.VV. – Theoretical and practical modules on the use and design of FRP reinforcement for structures. *Proceedings of the 'Intensive Programme on FRP reinforcement', Ghent University* (2002);
10. AA.VV. "Materiale, elementi si structuri composite pentri constructii" 26-27 maggio 2005, Timisoara (Romania);
11. AA.VV.- Evaluation and Strengthening of existing masonry structures, PRO 3, Proceedings of the Joint International Workshop , proposed by RILEM TC 127- MS and CIB W23, Padua , Italy, 28-29 June 1995, Edited by Binda L., Modena C., RILEM publications, France;

12. Aiello M. A. De Lorenzis L., Galati N., La Tegola A., "Bond between FRP laminates ad curved concrete substrates with anchoring composite spikes", Proceedings of the first international conference on innovative materials and technologies for construction and restoration, Lecce, June 2004;
13. Al-Chaar G. K., Hasan H.A., "Masonry bearing and shear walls retrofitted with overlay composite materials", USACERL Technical Report 1998;
14. Angeloni E. Celestini G., "Compositi FRP, linee guida per il rinforzo strutturale" NCT Global Media Editore, Perugia 2002;
15. Ascione L, Feo L., "Interaction stresses in reinforced concrete beams strengthened with FRP plates", Advancing with composites 2000, Milano 2000;
16. Atti convegno "Proceedings of the First International Conference on Innovative Materials and Technologies for Constuction and Restoration" - Lecce 6-9 June 2004;
17. Atti della Conferenza AICO "I materiali compositi fibrosi nelle costruzioni: progettazioni, realizzazioni e normative", Bologna 14 ottobre 1999;
18. Atti XI Convegno Nazionale ANIDIS "L'Ingegneria Sismica in Italia"- Genova 25-29 gennaio 2004, Servizi Grafici Editoriali, Padova gennaio 2004;
19. Augenti N. – Il consolidamento delle pareti murarie mediante polimeri fibro-rinforzati. *Atti del convegno 'Meccanica delle strutture in muratura rinforzate con FRP'* (2000);
20. Augenti N. – Il calcolo sismico degli edifici in muratura. *UTET* (2000);
21. Augenti N., Clemente P., Marano A., AA.VV.– Comportamento di pannelli in muratura "ben organizzata". *Costruire in laterizio* (1997);

22. Avorio A. ,Borri A. ,Corradi M., Celestini G. (1999).“Miglioramento sismico: sperimentazione e analisi sull’utilizzo dei materiali compositi nelle costruzioni in muratura”, in L’Edilizia, De Lettera editore, n.9-10 settembre-ottobre 1999, anno XIII, pg 60-71;
23. Avorio A. –Borri A.– Corradi M. a cura di – Ricerche per la ricostruzione. Regione dell’Umbria, Roma DEI Tipografia del Genio Civili (2002);
24. Avorio A., Borri A. – Problemi di collegamento tra materiali FRP e strutture murarie. *Atti del convegno ‘Meccanica delle strutture in muratura rinforzate con FRP’* (2000);
25. Avorio A., Borri, A., Bottardi, M. (2000). “Theoretical Analysis and a case study of historical masonry vault strengthened by using advanced FRP” 3rd International Conference Advanced Composite Materials in Bridge and Structures – proceedings, August Ottawa-Canada, 15-18 2000;
26. Balsamo A, Bandera D., Prota A., “Strengthening of rectangular columns using GFRP”, Proceedings of the first international conference on innovative materials and technologies for construction and restoration, Lecce, June 2004;
27. Balsamo A. , “Sorella resina salva San Francesco” enco journal N.15;
28. Barbieri A., Di Tommaso A., Focacci F., “Preliminary investigation on the structural behaviour of timber beams strenghtened with FRP”, Proceedings of the first international conference on innovative materials and technologies for construction and restoration, Lecce, June 2004;
29. Benedetti D., Benzoni G.M.– Esperienze a taglio su pannelli in tufo. *Ingegneria sismica* (1985);
30. Blaschko M. – Anchoring device for FRP strips. *The composites in civil engineering* (2001);

31. Bocca P.G., Grazzini A. “long term mechanical interaction between strengthening material and pre-existing structures”, ”, Proceedings of the first international conference on innovative materials and technologies for construction and restoration, Lecce, June 2004;
32. Borri A. a cura di – Rinforzo delle strutture con materiali compositi, Roma DEI Tipografia del Genio Civile (2004);
33. Borri A.– Corradi M. –Vignoli A. – Tecniche di rinforzo delle murature. Risultati di sperimentazioni eseguite su edifici interessati dal sima umbro-marchigiano del 1997-98 – L’Edilizia n° 576 (2000);
34. Borri A., Corradi M., Celestini G. (2000) “Sul problema dell’ancoraggio di barre in composito in edifici in muratura”, Atti del Convegno Nazionale “Mechanics of Masonry Structures strengthened with FRP Materials: Modeling, Testing, Design, Control” 7-8 Dicembre 2000, Venezia, pp.167-178, Edizioni Cortina, Padova;
35. Borri A., Corradi M., Vignoli A., “Seismic upgrading of masonry structures with FRP”;
36. Carotti, Rimoldi P., “Prontuario di ingegneria Edile e strutturale” – UTET, Torino 2000;
37. Carpinteri A., Chiaia B., Bocca P. – Size dependence of strength and fracture properties of brick masonry walls. *Journal of engineering mechanics* (1997);
38. Christensen J.B., Gilstrap J., Dolan C.W.– Composite materials reinforcement of existing masonry walls. *Journal of architectural engineering* (1996);
39. Ciampoli M., Mele M. – Il calcolo delle pareti murarie e duttilità strutturale;

40. CNR, “Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati” CNR-DT 200/2004, Roma, 13 luglio 2004;
41. Collepardi M.– Coppola L.– Materiali negli edifici storici. Degrado e restauro, Spregiano (TV), Enco Engineering Concrete (1990);
42. Collepardi M., Corrado M., Guella M.S., Proprietà degli impasti per il consolidamento ed il ripristino strutturale di costruzioni ammalorate, Giornate AICAP, Venezia (1977);
43. Conferenza AICO "I materiali compositi fibrosi nelle costruzioni: progettazioni, realizzazioni e normative”, Bologna 14 ottobre 1999;
44. Cosenza E., Lazzaro, F., Pecce M.R. – Alcune osservazioni sul progetto delle travi pultruse in materiale composito. *Atti del 10° congresso 'Nuova tecnologia edilizia per l'Europa'* (1994);
45. Cosenza E., Manfredi G., Occhiuzzi A., Pecce M.R – Comportamento dell'interfaccia tra tessuti in FRP e muratura di tufo. *Atti del convegno 'Meccanica delle strutture in muratura rinforzate con FRP'* (2000);
46. COST C12 – WG2 – Relazione finale – Innsbruck gennaio 2005;
47. Costruire l'architettura: i materiali, i componenti, le tecniche, Napoli 12-13 ottobre 2001, Luciano editore, Napoli 2001;
48. De Lorenzis L., Nanni A, La Tegola A, “strengthening of reinforced concrete structures with near surface mounted FRP rods”, International meeting on composite materials, PLAST 2000, Milano, 9-11 maggio 2000;
49. Di Tommaso A., Focacci F. – Strengthening Historical Monuments with FRP: a Design Criteria Review;
50. Elgawady M.A., Lestuzzi P. , Badoux M. – Dynamic In-Plane Behavior of URM Wall Upgraded with Composites, Proceedings of the third International

- Conference on Composites in Infrastructures, San Francisco, California, USA 2002;
51. Faella C., Martinelli E., Paciello S., Nigro E., “Experimental test and theoretical models on tuff masonry briks and culumns confined with CFRP sheets”, Proceedings of the first international conference on innovative materials and technologies for construction and restoration, Lecce, June 2004;
 52. Faella G., Manfredi G., Realfonzo R. – Experimental evaluation of mechanical properties of old tuff masonry subjected to axial loading. *Proceedings of the 9th International Brick/Block Masonry Conference* (1991);
 53. Frigione M., Lettieri M., Mecchi A.M., “Factors affecting the durability in service of epoxy resins employed for restoration of historical buildings”, Proceedings of the first international conference on innovative materials and technologies for construction and restoration, Lecce, June 2004;
 54. Gergely J., Young D.T., - In-plane and Out-of-plane Behaviour of Unreinforced CMU Walls Retrofitted with Composites, Second International Conference on Engineering materials, San Jose, July 2000;
 55. Giangreco Elio, “Ingegneria delle strutture” – UTET, Torino 2002;
 56. Giovanetti F., Manuale del recupero del centro storico di Palermo, Flaccovio Editore, Palermo 1999;
 57. Hay S., Svecova D., Bakht B., “The effectiveness of diagonal versus vertical GFRP sheets for shear strengthening of timber”; Proceedings of the first international conference on innovative materials and technologies for construction and restoration, Lecce, June 2004;
 58. Il Recupero degli edifici antichi, manualistica e nuove tecnologie, Napoli 29-30 ottobre 1993, Clean Edizioni, Napoli 1993;

59. Khelifi O., Nanni A., “Effects of Different Coating on the Durability of Thermoplastic E-Glass FRP Bars”, Proceedings of the first international conference on innovative materials and technologies for construction and restoration, Lecce, June 2004;
60. Laurenço P.B.– Computations on historic masonry structures. *Progress in Structural Engineering and Materials* (2002);
61. Mantegazza G., Penna A.M. , Rota Rossi Doria P. – Malte sintetiche pozzolaniche per intonaci in ambienti aggressivi, Atti del IV Congresso Nazionale ASSIRCO, Prato 1992, Roma, Kappa 1992;
62. Masciari - Genovese. 1915. *Trattato di Costruzioni Antisismiche*. Milano: Hoepli;
63. Micelli F., La Tegola A, “Durability of GFRP rods in water and alkaline solution”, Proceedings of the first international conference on innovative materials and technologies for construction and restoration, Lecce, June 2004;
64. Mola E. , Tsionis G., Taucer F., Pinto A., “The Molise (Italy) earthquakes of 32 October and 1 November 2001: report and analysis from a field mission”, ELSA;
65. Nagy-György T., Stoian V., Gergely J., Dan D., Masonry walls retrofitted with composites”, COST C12 – WG2, Datasheet II. 3.2.6.1, 2004;
66. Nagy-György T., Stoian V., Gergely J., Dan D., Reinforced concrete walls strengthened with CFRP composites”, COST C12 – WG2, Datasheet II. 3.2.5.2, 2004;
67. Nanni A., Bradford N. – FRP jacketed concrete under uniaxial compression, *Construction and Building Materials*, (1995);
68. Page A.W., Samarasinghe W. , Hendry A.W. – The failure of masonry shear walls. *International Journal of masonry Construction* (1990);

69. Pascale G. , Bonfiglioli B., Stratford T., Manfroni O. – Rinforzo a taglio di pannelli in muratura mediante GFRP: primi risultati sperimentali. *Atti del convegno 'Meccanica delle strutture in muratura rinforzate con FRP'* (2000);
70. Pilakoutas K. – Failure Analysis of Industrial Composite Materials. *McGraw-Hill Professional Engineering* (1999);
71. Sheppard P. F., Tercelj S.– Determination of the seismic resistance of an historical brick-masonry building by laboratory of cut-out wall elements. *7th I.B.Ma.C.* (1985).
72. Shy-Wen J. Chen – Cyclic loading test of masonry single piers. *Earthquake engineering research center report* (1978);
73. Stoian V., Nagy-György T - Expertiza tehnică și Proiect Tehnic de consolidare la Tipografia Arhidiecezană Timișoara, raport de expertiză, 2003;
74. Stoian V., nagy-gyÖrgy T., Dan D., gergely J, - Retrofitting the shear capacity of the masonry walls using CFRP composite overlays, The SE 40EE International Conference in Earthquake Engineering, Skopje, Macedonia 2003;
75. Stoian V., Nagy-György T., Dan D., Gergely J., Dăescu C., “Composite Materials for Constructions”, Ed. Politehnica, Timișoara;
76. Tan K.H. – Detailing of FRP reinforcement: an overview. *The composites in civil engineering* (2001);
77. Tan K.H., Patoary M.K.H. – Anchorage systems for FRP reinforced masonry wall. *The composites in civil engineering* (2001);
78. Triantafillou T.C. - Strengthening of historic masonry structures with composite materials. *Materials and Structures* (1997);
79. Triantafillou T.C. – Strengthening of masonry structures using epoxy-bonded FRP Laminates. *Journal of composites for construction* (1998);

80. Triantafillou T.C.– Composites: a new possibility for the shear strengthening of concrete, masonry and wood. *Composites Science and Technology* (1998);
81. Troli R. , “Le fibre aramidiche nei materiali FRP” – enco journal N.18;
82. Troli R., “Forme di utilizzo dei materiali FRP nel rinforzo strutturale - I tessuti” – enco journal N.19;
83. Troli R., “FRP: molto più che un cerotto” – enco journal N.13;
84. TROLI R., “Le fibre di carbonio nei materiali ad altissime prestazioni” – enco journal N.17;
85. Valluzzi M.R., Tinazzi D., Modena C.– Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates. *Construction and Building Materials* (2002);
86. Valluzzi M.R., Tinazzi D., Modena C., “Bond of CFRP strips embedded in lime mortar”, Proceedings of the first international conference on innovative materials and technologies for construction and restoration, Lecce, June 2004;
87. Yang X., Nanni A., Chen G. “Effect of corner radius on the performance of externally bonded FRP reinforcement”, proceedings of FRPRCS-5, Non metallic reinforcement for concrete structures, Cambridge, UK, 2001;

Siti Web

88. <http://fib.epfl.ch/>
89. <http://gndt.ingv.it>
90. www.cenorm.be
91. www.cnr.it
92. www.afnor.fr
93. www.aico-compositi.it
94. www.astm.org

95. www.buildingitaly.com
96. www.cibworld.nl
97. www.din.de
98. www.edgest.com/index.html
99. www.edilportale.com
100. www.enco-journal.com
101. www.fiberline.com
102. www.fibrwrapconstruction.com/
103. www.frp.at/index.htm
104. www.hardcorecomposites.com/
105. www.ict.cnr.it
106. www.infobuild.it
107. www.isiscanada.com/highres.htm
108. www.iso.ch
109. www.kajima.co.jp/welcome.html
110. www.ksci.com/
111. www.mapei.it/
112. www.masterbuilders.com/
113. www.maxfor.com/
114. www.modulo.it
115. www.pultrude.com/
116. www.reinforcement.ch
117. www.shef.ac.uk/~tmrnet/
118. www.sika.com/
119. www.stresshead.ch/
120. www.uni.com

APPENDICE A

Sperimentazione in Romania sul consolidamento di una parete in muratura

Lo studio delle applicazioni dei rinforzi in materiali compositi agli edifici in muratura passa necessariamente attraverso l'analisi di risultati di ricerche e sperimentazioni che sono state realizzate, o si stanno realizzando, nei centri di ricerca del settore. L'Italia, da questo punto di vista, è all'avanguardia, in virtù del suo vastissimo patrimonio di edilizia storica e dell'interesse diffuso alla tutela di questo patrimonio. Anche in altre nazioni vi sono interessanti ricerche e, nel corso del presente studio, si è avuta la possibilità di partecipare ad una di queste, nell'ambito del progetto Socrates-Erasmus 2004/05.

Si tratta di una sperimentazione sul comportamento di murature in mattoni consolidate mediante wrapping con tessuti in FRP (fibre di carbonio e vetro) applicati su una singola faccia della parete; tale sperimentazione è in corso già da anni presso l'Universitatea Politehnica din Timisoara, a cura del Dottore di Ricerca in ingegneria Tamas Nagy-György, appartenente al dipartimento di costruzioni, diretto dal Prof. Valeriu Stoian.

Oltre all'interesse dal punto di vista economico questa sperimentazione presenta anche un forte interesse nell'ottica del presente studio, ovvero del recupero di edifici di interesse storico-artistico, infatti spesso negli interventi sugli edifici storici capita di non poter intervenire su una delle due facce della muratura, a causa della presenza di intonaci di pregio, affreschi o altre decorazioni da tutelare. La possibilità di operare su una sola faccia, in questi casi, rappresenta una soluzione molto interessante, soprattutto se l'intervento può essere limitato solo ad una parte della faccia, in modo da non renderla totalmente impermeabile al vapore.

I risultati dei test dimostrano la possibilità di recuperare la portanza della parete con questo tipo di intervento, tanto da avere già applicazioni del sistema in casi reali (cfr. Appendice C, scheda CS3).

Obiettivo della ricerca:

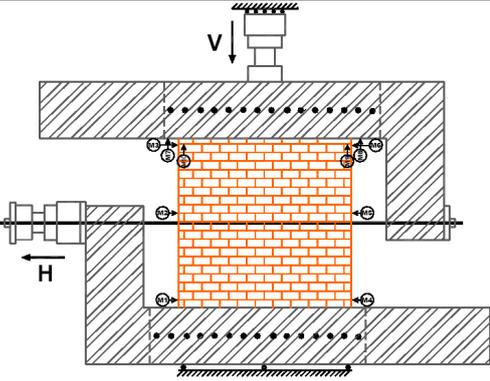
studio di una parete in muratura di mattoni pieni sottoposta ad una sollecitazione di compressione costante sollecitata da una forza di taglio crescente secondo legge monotona, consolidata con tessuti di materiale composito fibrorinforzato applicati su una sola faccia della parete stessa. La ricerca è stata impostata allo scopo di caratterizzare il comportamento a taglio delle pareti consolidate su una sola faccia, anche al fine di ottimizzare il rapporto tra costi dell'intervento e risultati ottenuti in termini di recupero della capacità portante e della capacità di deformazione della muratura.

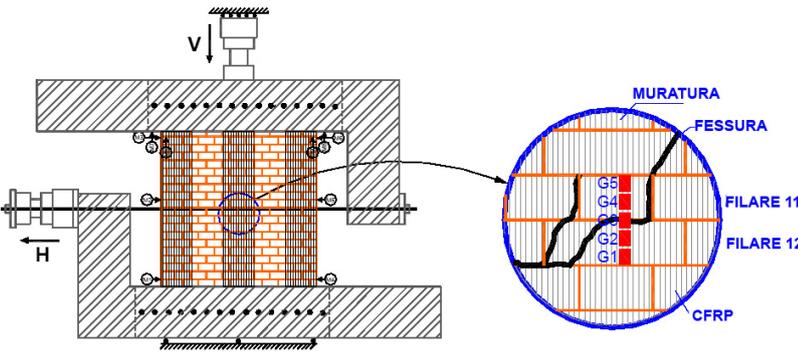
Titolari della ricerca:

Universitatea Politehnica din Timisoara, Facultatea de Constructii si Arhitectura;
Prof. Valeriu Stoian, PhD Tamás Nagy-György.

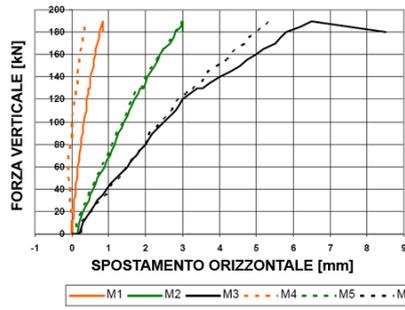
Fasi esecutive:

- realizzazione della parete 150x150 cm
- test a rottura della parete non consolidata (indicato con UM#)
- ripristino della parete mediante sarcitura delle lesioni con malta cementizia ed applicazione del rinforzo in FRP
- test a rottura della parete consolidata (indicato con RM#)
- comparazione dei risultati ottenuti e valutazione delle variazioni di comportamento tra la parete prima e dopo il consolidamento.

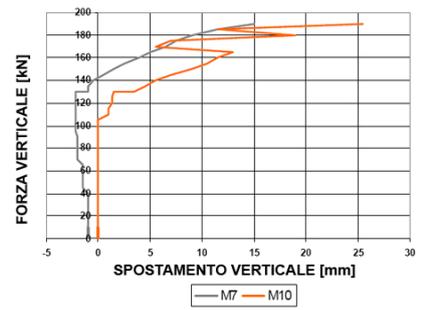
TEST UM1			
 <p style="text-align: center;">Layout del test UM1</p>		<p>UM1</p> <p>V= 200 kN Malta: 16,9 N/mm² H > step 5kN > rottura H= 65 kN > 1° crack H= 125 kN > 2° crack H= 140 kN > 1° lesione H= 160 kN > 2° lesione H= 190 kN > Rottura Spost. Or. Max = 8 mm</p>	
CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEI MATERIALI UTILIZZATI			
Componenti sistema	Fibra	Resina Impregnante	Res. Cor. Sup.
Denominazione prodotto	SikaWrap Hex 230C	SikaDur 330	SikaDur 30
Modulo elastico [N/mm ²]	231000	3800	12800
Resistenza a trazione [N/mm ²]	3500	30	24
Resistenza a compressione [N/mm ²]	-	-	85
Deformazione spec. Ult [%]	1.7	-	-
 <p style="text-align: center;">Parete UM1 prima del test</p>		 <p style="text-align: center;">Parete UM1 dopo la rottura</p>	

TEST RM1	
 <p style="text-align: center;">Layout del test RM1</p>	
<p>Consolidamento UM1 >> RM1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiali: Tessuto in fibra di carbonio unidirezionale in resina epossidica • Disposizione: tre fasce verticali da 30 cm • Applicazione: su singola faccia • Sarcitura lesioni: malta cementizia • Stagionatura: 7 giorni 	<p>RM1</p> <p>V= 200 kN Malta: 16,9 N/mm² H > step 5kN > rottura H= 115 kN >> 1° crack H= 120 kN >> riap. Les. H= 125 kN >> 1° debon. H= 145 kN >> ROTTURA Spost. Or. Max = 19 mm</p>
	
<p>Consolidamento Parete UM1: Impregnazione dei tessuti e applicazione alla parete</p>	<p>Parete RM1 dopo la rottura</p>

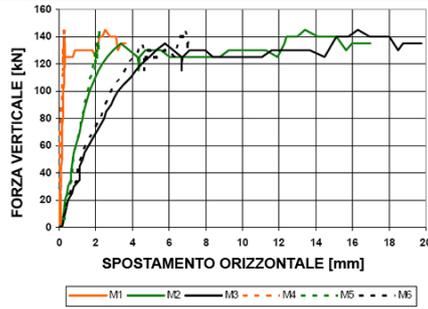
RISULTATI DEI TEST RM1 – UM1



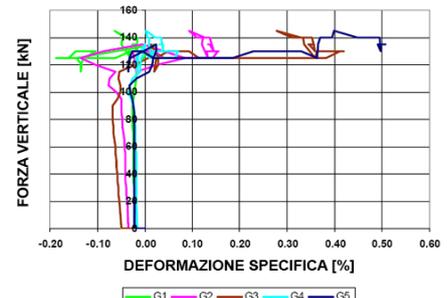
UM1: diagramma forza-spostamento orizz.



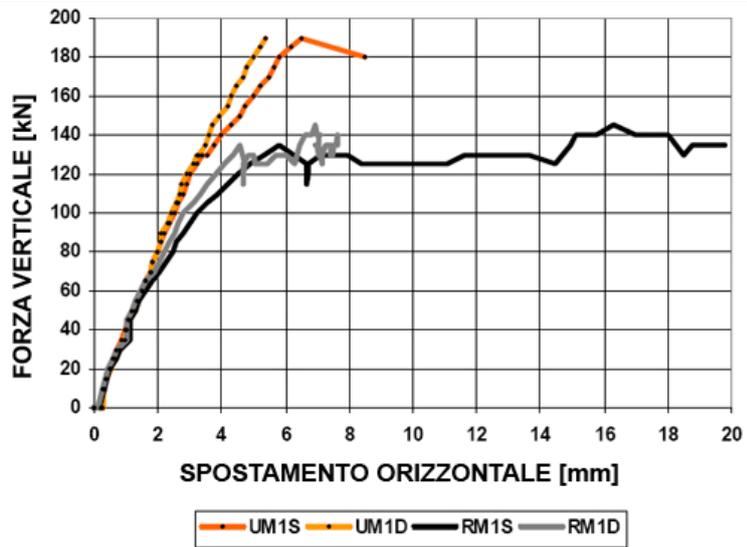
UM1: diagramma forza-spostamento



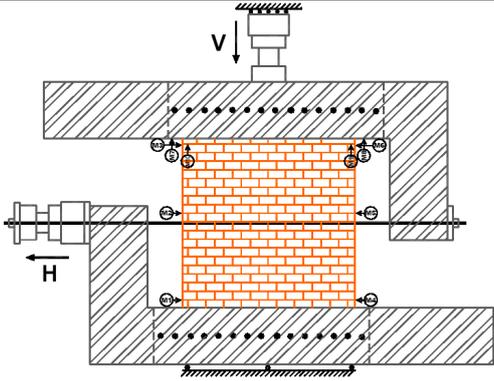
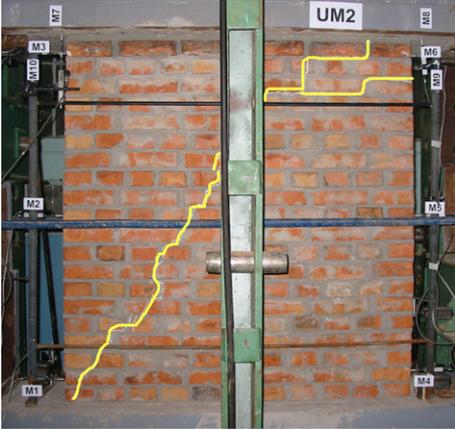
RM1: diagramma forza-spostamento orizz.



RM1: deformazione specifica nel composito

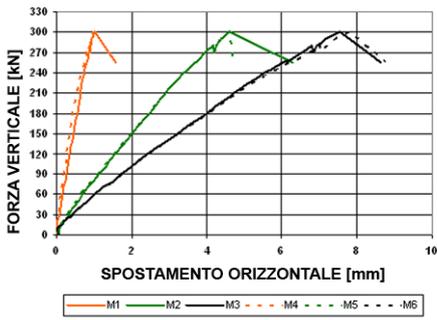


Sovrapposizione dei diagrammi forza-spostamento per i test UM1-RM1

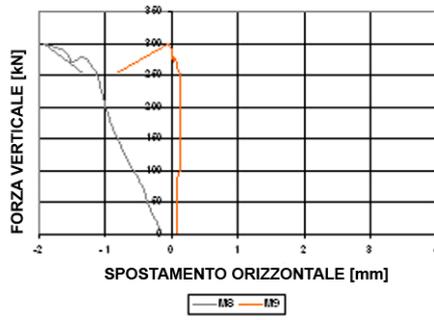
TEST UM2			
 <p style="text-align: center;">Layout del test UM2</p>		<p>UM2</p> <p>V= 300 kN</p> <p>Malta: 13,1 N/mm²</p> <p>H > step 5kN > rottura</p> <p>H= 300 kN >> ROTTURA</p> <p>Spost. Or. Max = 8,7 mm</p>	
CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEI MATERIALI UTILIZZATI			
Componenti sistema	Fibra	Resina Impregnante	Res. Cor. Sup.
Denominazione prodotto	SikaWrap Hex 103C	SikaDur 306	SikaDur 30
Modulo elastico [N/mm ²]	231000	3120	12800
Resistenza a trazione [N/mm ²]	3500	72	24
Resistenza a compressione [N/mm ²]	-	-	85
Deformazione spec. Ult [%]	1.5	-	-
 <p style="text-align: center;">Parete UM2 prima del test</p>		 <p style="text-align: center;">Parete UM2 dopo la rottura</p>	

TEST RM3	
<p style="text-align: center;">Layout del test RM3</p>	
<p>Consolidamento UM2 >> RM3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiali: Tessuto in fibra di carbonio unidirezionale in resina epossidica • Disposizione: tre fasce verticali da 30 cm • Applicazione: su singola faccia • Sarcitura lesioni: malta cementizia • Stagionatura: 7 giorni 	<p>RM3</p> <p>V= 300 kN Malta: 17,5 N/mm² H > step 5kN > rottura H= 155 kN >> 1° crack H= 260 kN >> riapertura lesione H= 280 kN >> lesioni nei filari 2-3 sup. H= 375 kN >> ROTTURA Spost. Or. Max = 17,5mm</p>
<p style="text-align: center;">Consolidamento Parete UM2: primer</p>	<p style="text-align: center;">Parete RM3 dopo la rottura</p>

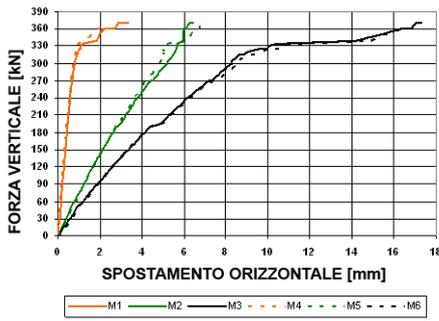
RISULTATI DEI TEST RM3 – UM2



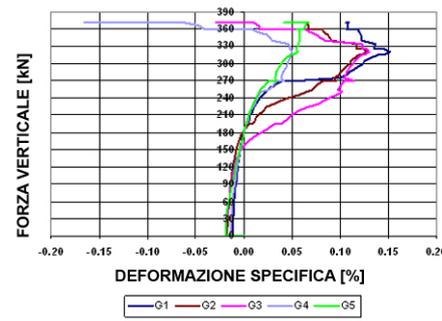
UM2: diagramma forza-spostamento orizz.



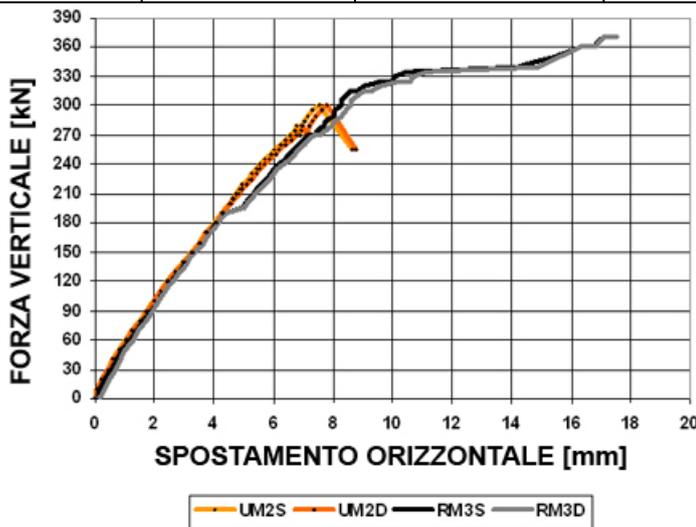
UM2: diagramma forza-spostamento



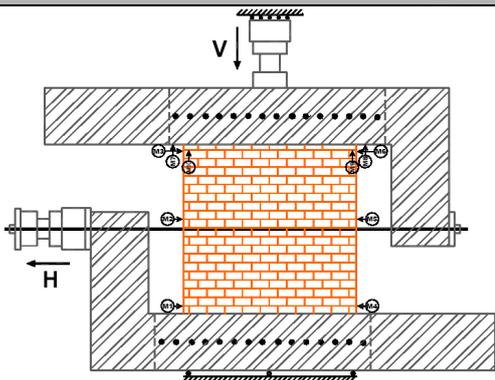
RM3: diagramma forza-spostamento orizz.

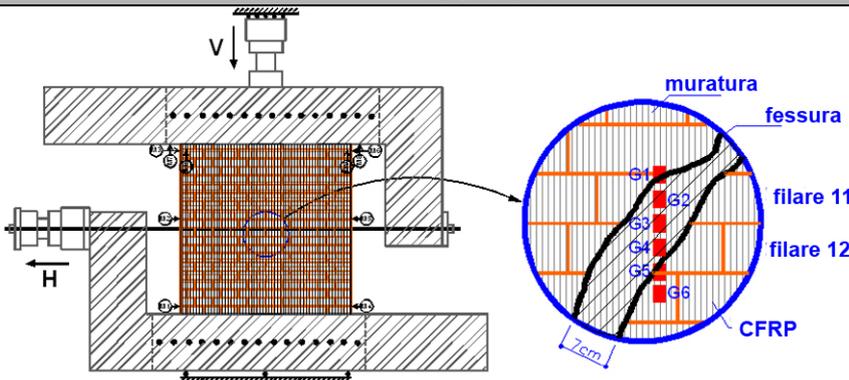


RM3: deformazione specifica nel composito

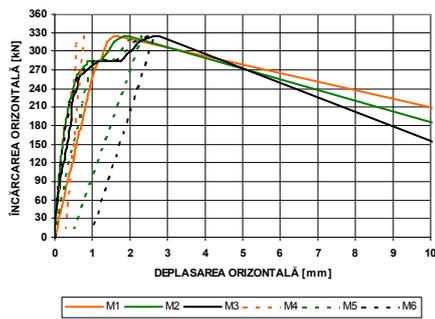


Sovrapposizione dei diagrammi forza-spostamento per i test UM2 - RM3

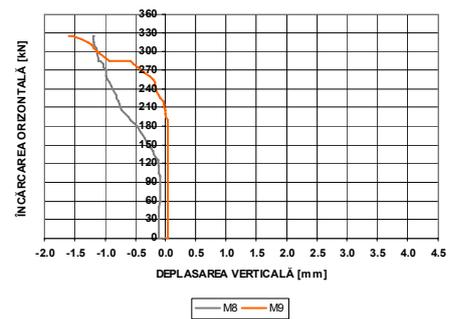
TEST UM3			
 <p style="text-align: center;">Layout del test UM3</p>		<p>UM3</p> <p>V= 300 kN Malta: 14,9 N/mm² H > step 5kN > rottura H= 100 kN >> 1° fessura H= 325 kN >> ROTTURA Spost. Or. Max = 3 mm</p>	
CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEI MATERIALI UTILIZZATI			
Componenti sistema	Fibra	Resina Impregnante	Res. Cor. Sup.
Denominazione prodotto	SikaWrap Hex 230C	SikaDur 330	SikaDur 30
Modulo elastico [N/mm ²]	231000	3800	12800
Resistenza a trazione [N/mm ²]	3500	30	24
Resistenza a compressione [N/mm ²]	-	-	85
Deformazione spec. Ult [%]	1.7	-	-
 <p style="text-align: center;">Parete UM3 prima del test</p>		 <p style="text-align: center;">Parete UM3 dopo la rottura</p>	

TEST RM4	
 <p style="text-align: center;">Layout del test RM4</p>	
<p>Consolidamento UM3 >> RM4</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiali: Tessuto in fibra di carbonio unidirezionale in resina epossidica • Disposizione: verticale tutta la parete • Applicazione: su singola faccia • Sarcitura lesioni: malta cementizia • Stagionatura: 7 giorni 	<p>RM4</p> <p>V= 300 kN Malta: 14,9 N/mm^q H > step 5kN > rottura H= 100 kN >> 1° crack H= 135 kN >> 1° fessura H= 165 kN >> 2° fessura H= 270 kN >> ROTTURA Spost. Or. Max = 9,5 mm</p>
 <p style="text-align: center;">Consolidamento Parete UM3: rasatura</p>	 <p style="text-align: center;">Parete RM4 dopo la rottura</p>

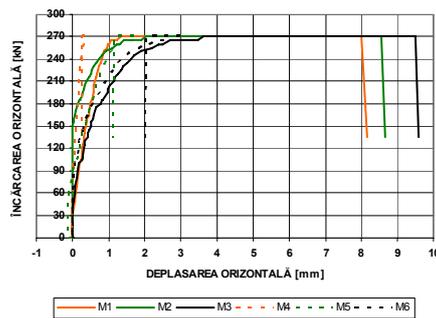
RISULTATI DEI TEST UM3 – RM4



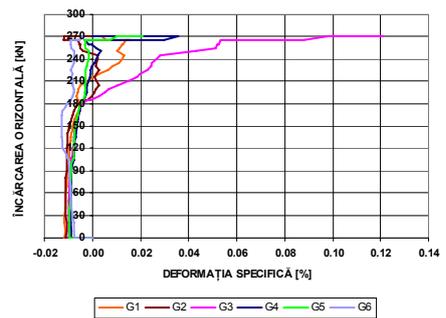
UM3: diagramma forza-spostamento orizz.



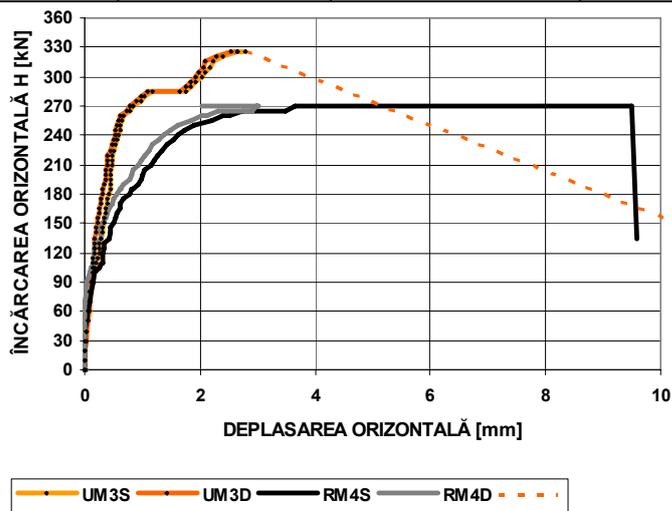
UM3: diagramma forza-spostamento



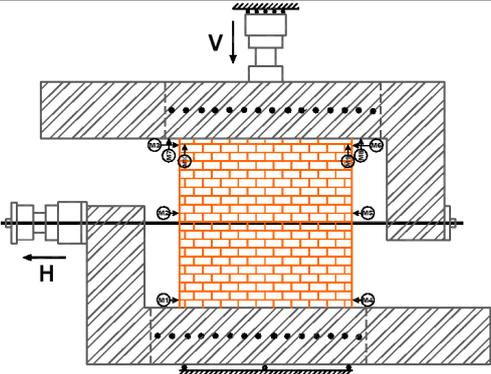
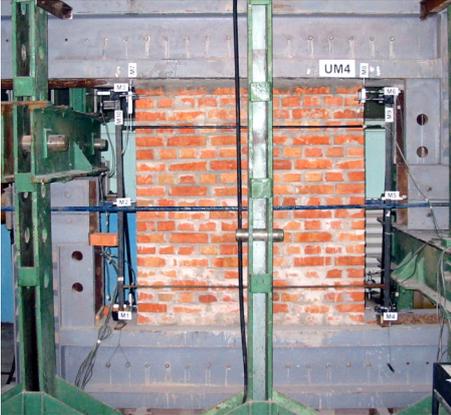
RM4: diagramma forza-spostamento orizz.

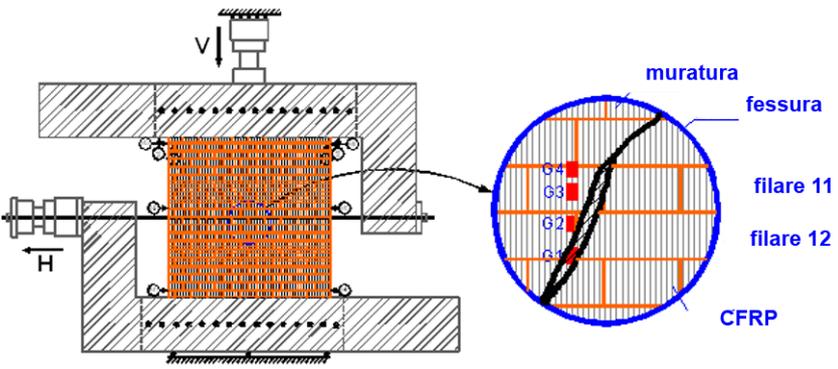


RM4: deformazione specifica nel composito

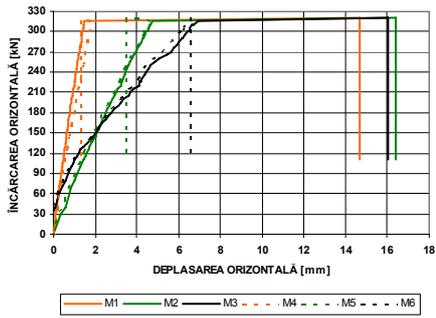


Sovrapposizione dei diagrammi forza-spostamento per i test UM3 - RM4

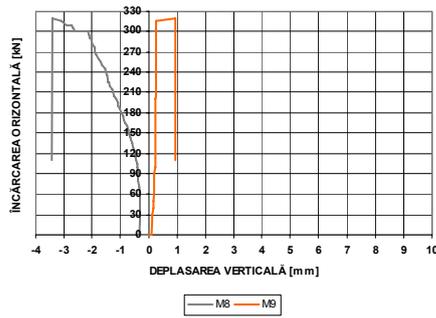
TEST UM4			
 <p style="text-align: center;">Layout del test UM4</p>		<p>UM4</p> <p>V= 300 kN Malta: 13,1 N/mm² H > step 5kN > rottura H= 170 kN >> 1° fessura H= 320 kN >> ROTTURA Spost. Or. Max = 16 mm</p>	
CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEI MATERIALI UTILIZZATI			
Componenti sistema	Fibra	Resina Impregnante	Res. Cor. Sup.
Denominazione prodotto	SikaWrap Hex 100G	SikaDur 306	SikaDur 30
Modulo elastico [N/mm ²]	72400	3120	12800
Resistenza a trazione [N/mm ²]	2250	72	24
Resistenza a compressione [N/mm ²]	-	-	85
Deformazione spec. Ult [%]	3.7	-	-
 <p style="text-align: center;">Parete UM4 prima del test</p>		 <p style="text-align: center;">Parete UM4 dopo la rottura</p>	

TEST RM5	
 <p style="text-align: center;">Layout del test RM5</p>	
<p>Consolidamento UM4 >> RM5</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiali: Tessuto in fibra di vetro unidirezionale in resina epossidica • Disposizione: verticale tutta la parete • Applicazione: su singola faccia • Sarcitura lesioni: malta cementizia • Stagionatura: 7 giorni 	<p>RM5</p> <p>V= 300 kN Malta: 13,1 N/mm^q H > step 5kN > rottura H= 265 kN >> 1° fessura H= 315 kN >> 2° fess. (v) H= 330 kN >> ROTTURA Spost. Or. Max = 40 mm</p>
 <p style="text-align: center;">Consolidamento Parete UM4: tessuti GFRP</p>	 <p style="text-align: center;">Parete RM5 dopo la rottura</p>

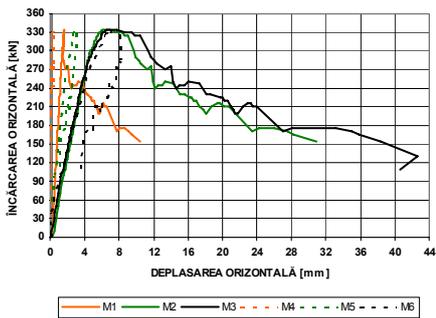
RISULTATI DEI TEST UM4 – RM5



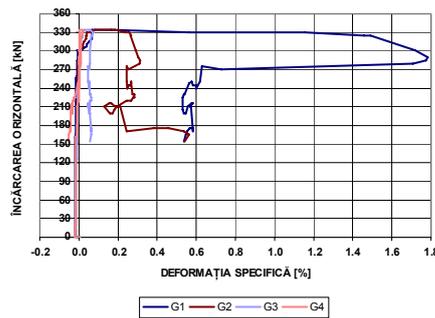
UM4: diagramma forza-spostamento orizz.



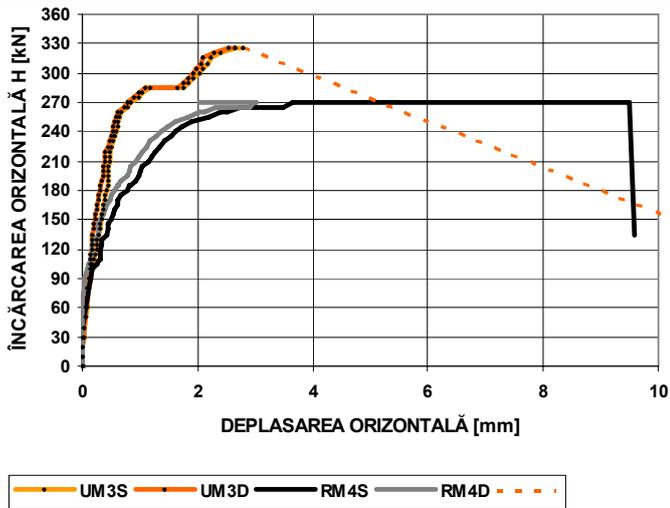
UM4: diagramma forza-spostamento



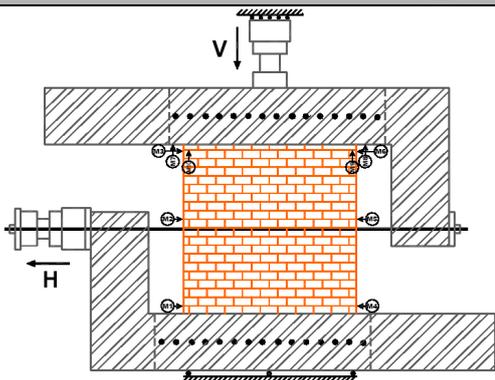
RM5: diagramma forza-spostamento orizz.



RM5: deformazione specifica nel composito

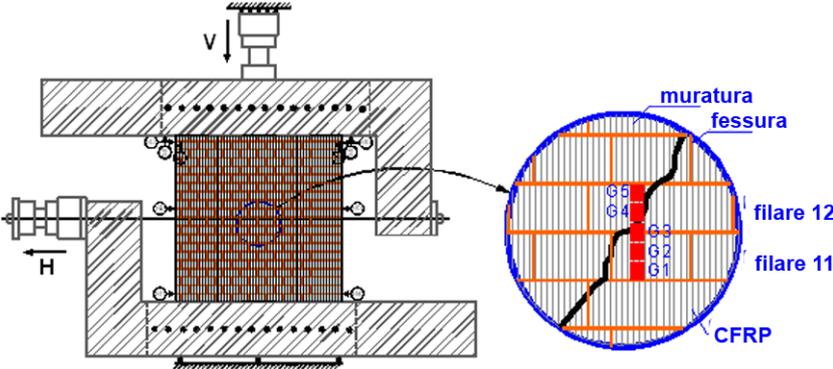


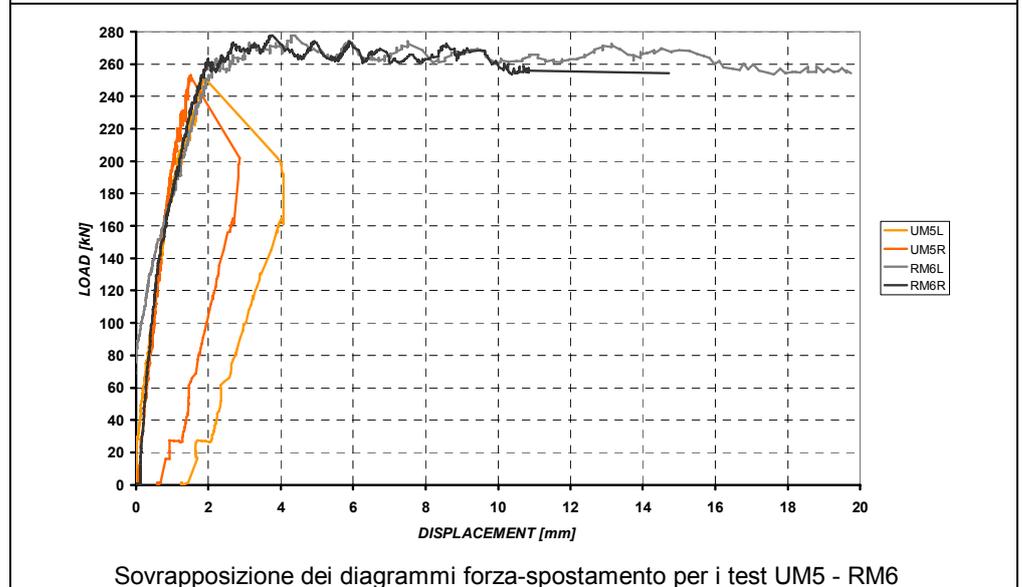
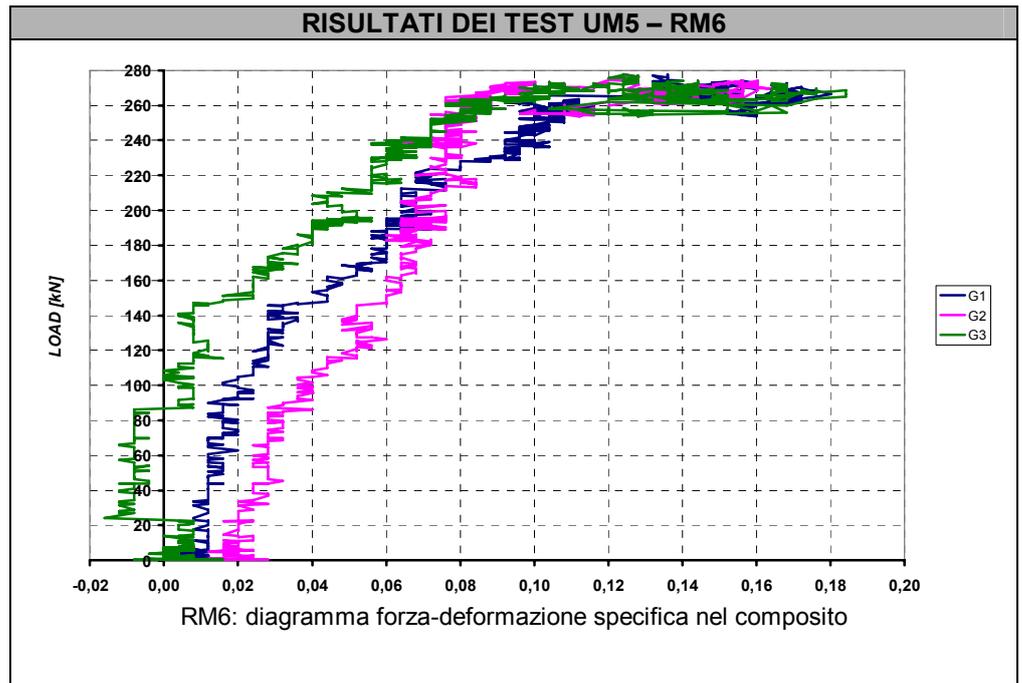
Sovrapposizione dei diagrammi forza-spostamento per i test UM4 - RM5

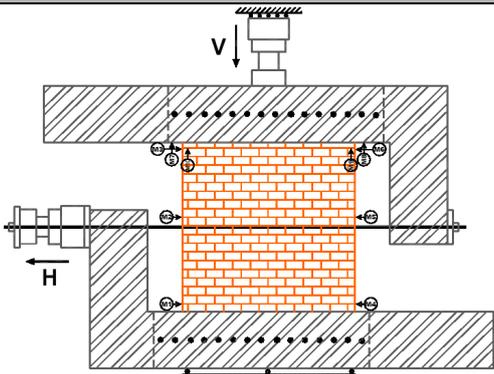
TEST UM5	
 <p style="text-align: center;">Layout del test UM5</p>	<p>UM5</p> <p>V= 300 kN Malta: 15,2 N/mm² H > step 5kN > rottura H= 180 kN >> 1° fessura H= 250 kN >> ROTTURA Spost. Or. Max = 3,5 mm</p>

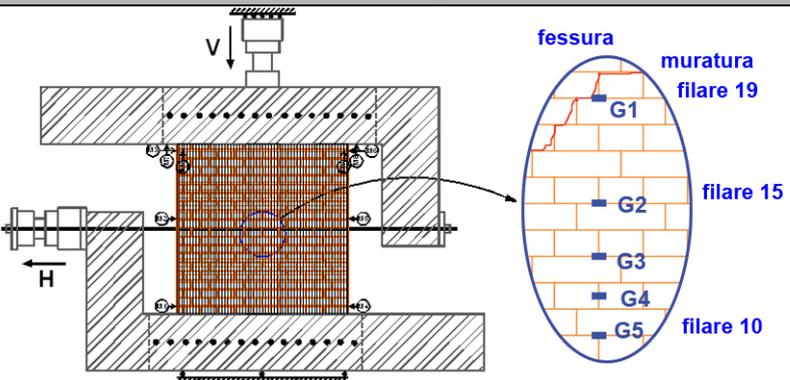
CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEI MATERIALI UTILIZZATI			
Componenti sistema	Fibra	Resina Impregnante	Res. Cor. Sup.
Denominazione prodotto	SikaWrap Hex 103G	SikaDur 306	SikaDur 30
Modulo elastico [N/mm ²]	231000	3120	12800
Resistenza a trazione [N/mm ²]	3900	72	24
Resistenza a compressione [N/mm ²]	-	-	85
Deformazione spec. Ult [%]	1,5	-	-

 <p style="text-align: center;">Parete UM5 prima del test</p>	 <p style="text-align: center;">Parete UM5 dopo la rottura</p>
--	--

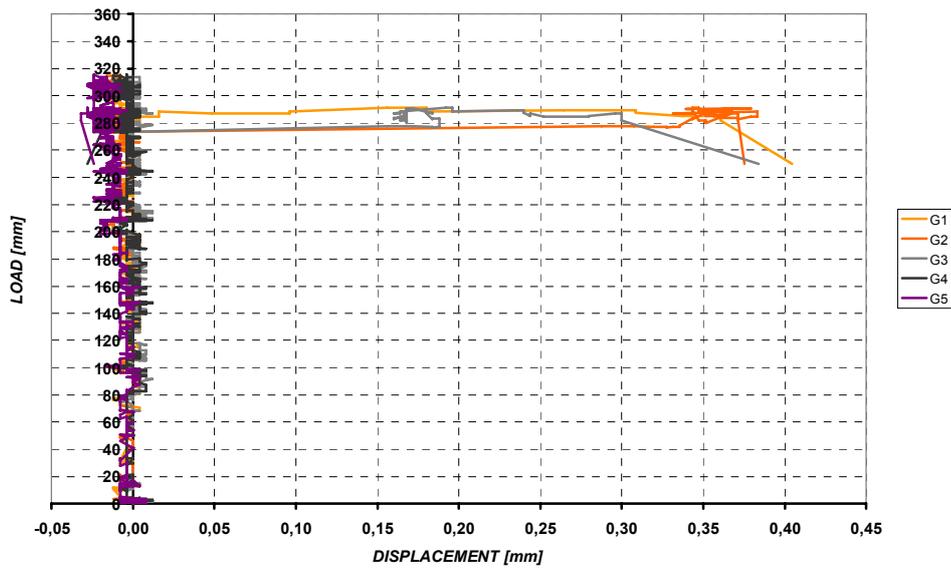
TEST RM6	
 <p style="text-align: center;">Layout del test RM6</p>	
<p>Consolidamento UM5 >> RM6</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiali: Tessuto in fibra di carbonio unidirezionale in resina epossidica • Disposizione: orizzontale tutta la parete • Applicazione: su singola faccia • Sarcitura lesioni: malta cementizia • Stagionatura: 7 giorni 	<p>RM6</p> <p>V= 300 kN Malta: 15,2 N/mm^q H > step 5kN > rottura H= 160 kN >> 1° crack H= 220 kN >> apertura lesione H= 275 kN >> ROTTURA Spost. Or. Max = 12 mm</p>
 <p style="text-align: center;">Consolidamento Parete UM5: tessuti GFRP</p>	 <p style="text-align: center;">Parete RM6 dopo la rottura</p>



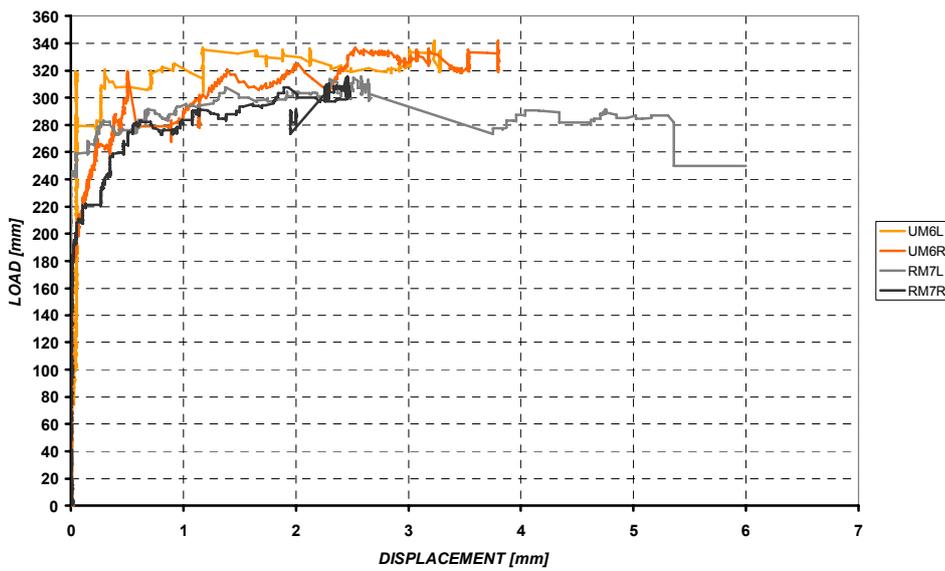
TEST UM6			
 <p>Layout del test UM6</p>		<p>UM6</p> <p>V= 300 kN Malta: 15,6 N/mm² H > step 5kN > rottura H= 240 kN >> 1° fessura H= 330 kN >> ROTTURA Spost. Or. Max = 3,8 mm</p>	
CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEI MATERIALI UTILIZZATI			
Componenti sistema	Fibra	Resina Impregnante	Res. Cor. Sup.
Denominazione prodotto	SikaWrap Hex 100G	SikaDur 306	SikaDur 30
Modulo elastico [N/mm ²]	72400	3120	12800
Resistenza a trazione [N/mm ²]	2250	72	24
Resistenza a compressione [N/mm ²]	-	-	85
Deformazione spec. Ult [%]	3,7	-	-
 <p>Parete UM6 prima del test</p>		 <p>Parete UM6 dopo la rottura</p>	

TEST RM7	
 <p style="text-align: center;">Layout del test RM7</p>	
<p>Consolidamento UM6 >> RM7</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiali: Tessuto in fibra di vetro unidirezionale in resina epossidica • Disposizione: orizzontale tutta la parete • Applicazione: su singola faccia • Sarcitura lesioni: malta epossidica • Stagionatura: 7 giorni 	<p>RM7</p> <p>V= 300 kN Malta: 15,6 N/mm² H > step 5kN > rottura H= 190 kN >> 1° crack H= 210 kN >> apertura lesione H= 300 kN >> ROTTURA Spost. Or. Max = 6 mm</p>
 <p>Parete UM6: applicazione straingauges</p>	 <p>Parete RM7 dopo la rottura</p>

RISULTATI DEI TEST UM6 – RM7

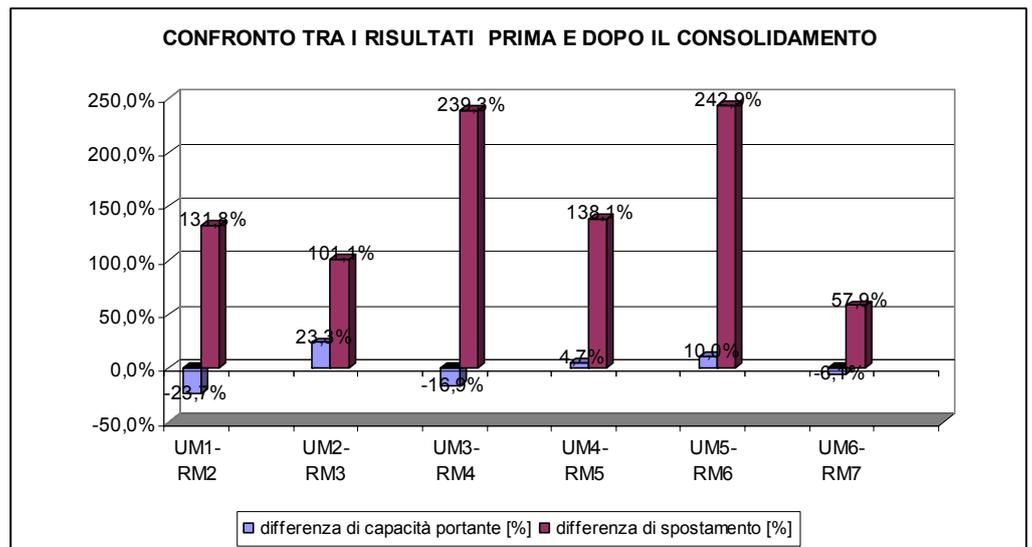


RM7: diagramma forza-deformazione specifica nel composito



Sovrapposizione dei diagrammi forza-spostamento per i test UM6 - RM7

TABELLA RIEPILOGATIVA DEI TEST UM-RM												
	UM1	RM1	UM2	RM3	UM3	RM4	UM4	RM5	UM5	RM6	UM6	RM7
sistema di consolidamento	103C		103C		103C		100G		103C		100G	
Resistenza a trazione delle fibre [N/mm ²]	3900		3.900		3.900		2.250		3.900		2.250	
modulo di elasticità delle fibre [N/mm ²]	231000		231.000		231.000		72.400		231.000		72.400	
allungamento a rottura fibre [%]	1,7		1,50		1,50		3,70		1,50		3,70	
resistenza della malta [N/mm ²]	16,90		13,10		14,90		13,10		0,63		15,60	
resistenza dei mattoni [N/mm ²]	10,60		9,50		9,50		9,50		9,50		9,50	
carico verticale costante V [kN]	200		300		300		300		300		300	
Forza massima orizzontale H [kN]	190	145	300	370	325	270	320	335	250	275	330	310
differenza di capacità portante [%]	-23,7		23,33		-16,92		4,69		10,00		-6,06	
spostamento orizzontale max [mm]	8,5	19,7	8,70	17,5	2,80	9,50	16,0	38,1	3,50	12,0	3,80	6,00
differenza di spostamento [%]	131,8		101,1		239,3		138,1		242,86		57,89	
deformazione specifica max. composito [%]		0,5		0,15		0,12		1,78	-	0,18	-	0,40



APPENDICE B

Selezione dei casi di studio

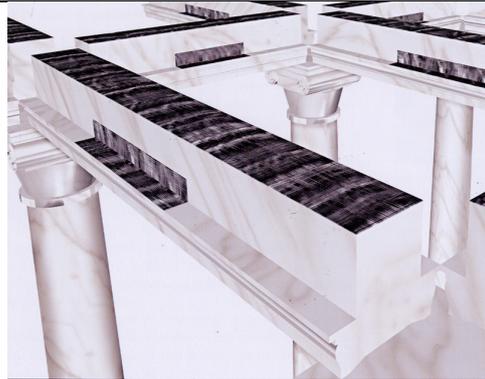
Viene di seguito riportata una selezione dei casi di studio presi in esame attraverso studio diretto o riscontrati in letteratura.

La selezione segue il criterio di coprire con almeno un esempio le diverse categorie di intervento possibili mediante applicazioni di materiali compositi fibrorinforzati negli edifici in muratura.

DUOMO DI NAPOLI	
CS1	Ripristino e consolidamento del cassettonato marmoreo della cripta
Località	Napoli
Anno intervento	1998
Durata intervento	30 giorni
Estensione intervento	200 m di lamine in fibra di carbonio
Committente	Curia
Tipo FRP impiegato	Lamine e barre in fibra di carbonio
Descrizione dell'edificio:	
<p>La cattedrale di Napoli sorge nel cuore della città greco romana, tra il "decumano" superiore (via Anticaglia) e il "decumano" maggiore (via Tribunali) e tra due "cardini" ossia l'attuale via Duomo e l'attuale vico Sedil Capuano.</p>	
	
Dissesto:	
Fessurazioni di alcune delle travi marmoree che reggono il cassettonato e nei capitelli di alcune colonne	
Causa:	
Cedimento in fondazione delle colonne che sorreggono le travi	

Descrizione dell'intervento:

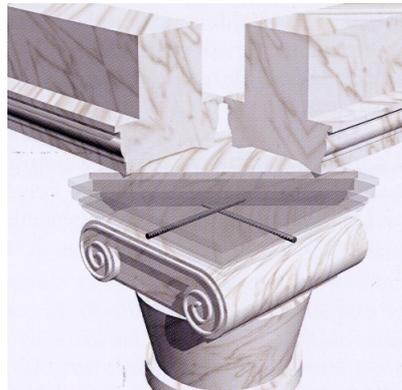
L'intervento ha previsto la cucitura delle lesioni mediante barre in fibra di carbonio ed il rinforzo delle travi mediante lamine incollate all'estradosso e sulle superfici laterali, data la necessita di mantenere a vista l'intradosso scolpito. I capitelli sono stati consolidati mediante iniezioni di resina epossidica armate con barre di fibra di carbonio, infine le lastre del cassettonato sono state rinforzate mediante pannelli sandwich in fibra di vetro.



Consolidamento delle travi all'estradosso



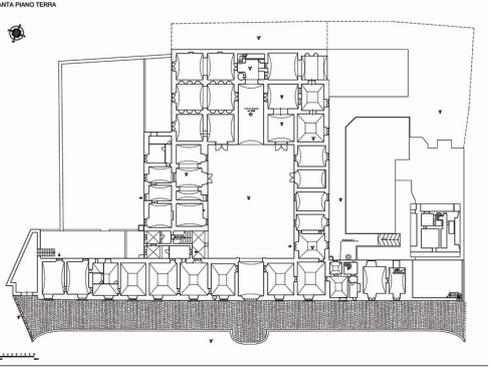
Cuciture armate delle lesioni



consolidamento del capitello



pannello di rinforzo sulle lastre del cassettonato

CS2		PALAZZO DUCALE A PALMA CAMPANIA Ripristino e consolidamento dei solai in legno	
Località		Palma Campania (NA)	
Anno intervento		2005	
Durata intervento		60 giorni	
Estensione intervento		500 m di barre in fibra di vetro	
Committente		Privato	
Tipo FRP impiegato		Barre in fibra di vetro e resina epossidica	
Descrizione dell'edificio:			
<p>Il palazzo ducale è l'antica residenza di caccia degli Aragona. L'edificio è realizzato in muratura portante di tufo. Il primo impalcato è costituito da volte in pietra di tufo, mentre gli altri sono realizzati con solai in legno</p>			
			
Dissesto:			
Degrado dei solai in legno, eccessiva deformabilità, resistenza ridotta.			
Causa:			
Umidità da infiltrazione, adeguamento normativo.			

Descrizione dell'intervento:

L'intervento è stato eseguito rimuovendo tutti gli strati di finitura del solaio ed alloggiando le barre in fibra di vetro all'interno di tracce scavate operando all'estradosso della trave. Al di sopra del tavolato è stata realizzata una soletta armata in calcestruzzo leggero strutturale, connessa alle travi mediante connettori.



Estradosso del solaio dopo la rimozione del massetto



Traccia per l'alloggiamento delle barre in fibra di vetro



Intradosso del solaio di copertura



Riposizionamento del tavolato

CS3	MONDOVA NOUA Consolidamento di un edificio in muratura di mattoni	
Località	Mondova Noua (Romania)	
Anno intervento	2004	
Durata intervento	60 giorni	
Estensione intervento	800 mq di tessuti in fibra di carbonio	
Committente	Pubblico	
Tipo FRP impiegato	Tessuti unidirezionali in fibra di carbonio Sikadur	
Descrizione dell'edificio: L'edificio ha pianta rettangolare regolare, realizzato negli anni settanta è destinato a case di abitazione popolari.		
		
Dissesto: Quadro fessurativo diffuso nei setti in muratura di mattoni pieni.		
Causa: Probabile cedimento in fondazione e/o azione sismica.		

Descrizione dell'intervento:

l'intervento è stato eseguito applicando nastri in fibra di carbonio sulla faccia delle murature in mattoni rivolte verso l'interno dell'edificio. Le strisce di rinforzo sono state alternate a porzioni di muratura libera, in modo da impegnare solo metà della superficie. L'intervento è stato realizzato quasi esclusivamente operando dall'interno, senza necessità di ponteggi.



Applicazione dei tessuti



Applicazione dei tessuti



Applicazione dei tessuti



Applicazione dei tessuti

CS4	BANCA NATIONALA A ROMANIEI Consolidamento degli architravi	
Località	Timisoara (Romania)	
Anno intervento	2005	
Durata intervento	In corso	
Estensione intervento	500 ml di nastri in fibra di carbonio	
Committente	Banca Nazionale della Romania	
Tipo FRP impiegato	Tessuti unidirezionali in fibra di carbonio Sikadur	
Descrizione dell'edificio: L'edificio è realizzato con struttura portante in muratura di mattoni pieni ed è utilizzato come sede della Banca Nazionale della Romania nella città di Timisoara.		
		
Dissesto: Architravi di finestre e balconi lesionati in più punti		
Causa: Degrado delle malte, carenza strutturale		

Descrizione dell'intervento:

l'intervento prevede l'applicazione di compositi in fibra di carbonio e resina epossidica all'intradosso delle piattabande e risvoltati lungo le facce verticali del vano. Ulteriori fasce di rinforzo sono previste sulle due facce verticali della piattabanda, il tutto ricucito da strisce trasversali a "C" che partono dalla faccia esterna e raggiungono quella interna.



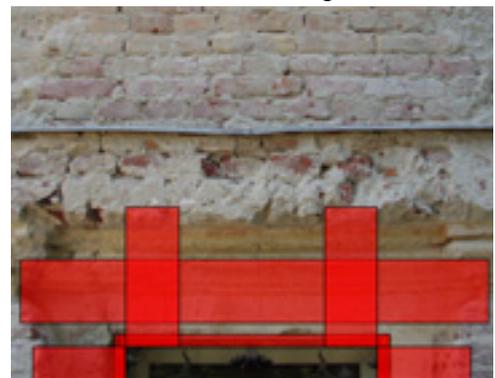
Architrave lesionato in mezzeria



Architrave lesionato agli estremi



Applicazione dei tessuti

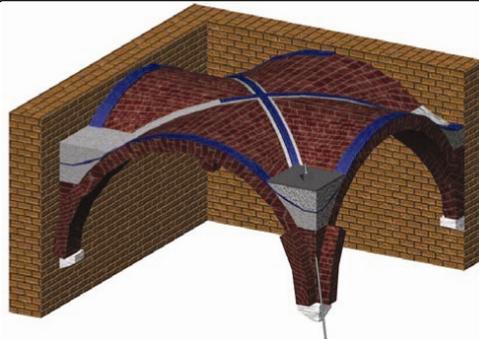


Schema di applicazione dei nastri CFRP

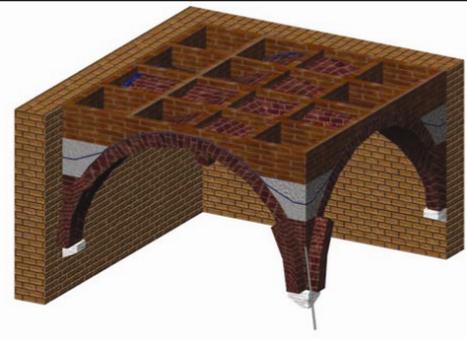
CS5		PALAZZO COMUNALE DI ASSISI	
		Miglioramento sismico delle volte	
Località		Assisi (PG)	
Anno intervento		1998	
Durata intervento		Nd	
Estensione intervento		Circa 500 ml di nastri in fibra di carbonio	
Committente		Comune di Assisi	
Tipo FRP impiegato		Nastri unidirezionali in fibra di carbonio	
Descrizione dell'edificio:			
L'edificio si affaccia sulla piazza centrale di Assisi ed è costituito da diversi blocchi realizzati ed uniti in più fasi, nel corso dei secoli, fino ad assumere l'aspetto attuale.			
		<p>Assisi Piazza del Comune</p>	
Dissesto:			
Quadro fessurativo diffuso nelle volte a crociera del piano terra e nelle volte affrescate ai piani superiori			
Causa:			
Sisma Umbro-marchigiano del 1997			

Descrizione dell'intervento:

Sulle volte a crociera del piano terra è stato eseguito un intervento con svuotamento dei rinfianchi delle volte, regolarizzazione delle superfici e posizionamento dei nastri in fibra di carbonio, con particolare attenzione agli ancoraggi in corrispondenza dei peducci delle volte. Le volte consolidate all'ultimo livello non hanno funzione portante, ma solo quella di controsoffittatura affrescata, anche in questo caso è stata effettuata una regolarizzazione della superficie mediante malta speciale e successivamente l'applicazione dei nastri.



Posizionamento e ancoraggio dei nastri



Completamento mediante frenelli



Estradosso delle volte consolidate



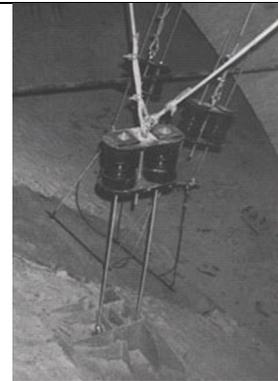
Intradosso affrescato delle volte

CS6	BASILICA DI SAN FRANCESCO AD ASSISI Intervento sulle volte	
Località	Assisi (PG)	
Anno intervento	1997	
Durata intervento	Nd	
Estensione intervento	Nd	
Committente	Curia	
Tipo FRP impiegato	Nastri bidirezionali in fibra aramidica	
Descrizione dell'edificio:		
<p>La basilica superiore costituisce la parte più alta del complesso monumentale dedicato a San Francesco d'Assisi. In pianta presenta un'unica navata che si incrocia con il transetto ed è realizzata in forme tipicamente gotiche-francescane.</p>		
		
Dissesto:		
Crollo parziale delle volte a crociera in prossimità della facciata e del transetto		
Causa:		
Sisma Umbro-marchigiano del 1997, concentrazione di rigidità in punti particolari (facciata e transetto), appesantimento dovuto a detriti sciolti nei rinfianchi		

Descrizione dell'intervento:

L'intervento di recupero si è svolto in più fasi: rimozione del riempimento, risarcitura delle lesioni, placcaggio con materiale composito, sospensione della volta. L'utilizzo di FRP per le operazioni di "legatura" e "sospensione" della volta ha risposto in maniera positiva alle difficoltà presentate dal caso, in particolare alla necessità di un intervento rapido, alla preservazione degli affreschi all'intradosso sia da percolazioni di materiali che di acqua di bagnatura, alla necessità di non incrementare i carichi e non causare ulteriori traumi sulla struttura esistente.

Ripulito l'estradosso della volta, il primo passo è stato quello di individuare tutte le lesioni e successivamente, in funzione del quadro fessurativo, è stato progettato il numero e la posizione delle fasce di rinforzo. Per queste ultime è stato utilizzato un tessuto multiassiale di fibre aramidiche applicato con resina epossidica a consistenza tixotropica previa stesura di uno strato di primer in resina fluida, avente la funzione regolarizzare la superficie di contatto e di inglobare le particelle di polvere ancora presenti dopo la pulitura. Infine le volte sono state sospese alla copertura con cavi ancorati a piastre di materiale composito realizzate in situ per adattarsi al meglio alla curvatura dell'estradosso.



Applicazione dei nastri e apparecchi di sospensione delle volte

CS7	CAMPANILE DI SERRA SAN QUIRICO Consolidamento del campanile	
Località	Serra San Quirico (AN)	
Anno intervento	2002	
Durata intervento	Nd	
Estensione intervento	Nd	
Committente	Soprintendenza Beni Artistici e Paesaggio delle Marche	
Tipo FRP impiegato	Mapewrap 11, Mapewrap 31, Mapewrap C UNI-AX 600/20, Mapewrap C UNI-AX 600/40, Mapewrap C QUADRI-AX 760/48, ADESILEX PG1, EPOJET.	
Descrizione dell'edificio: Il campanile risale al XV secolo, alta 32 metri e dal peso complessivo di circa 1.100 tonnellate, realizzato in muratura composta da malte a base di calce, mattoni pieni e pietre.		
		
Dissesto: Lesioni passanti e un cattivo stato di conservazione generalizzato, fuori piombo delle pareti verticali.		
Causa: Degrado dei materiali e danni dovuti al sisma		

Descrizione dell'intervento:

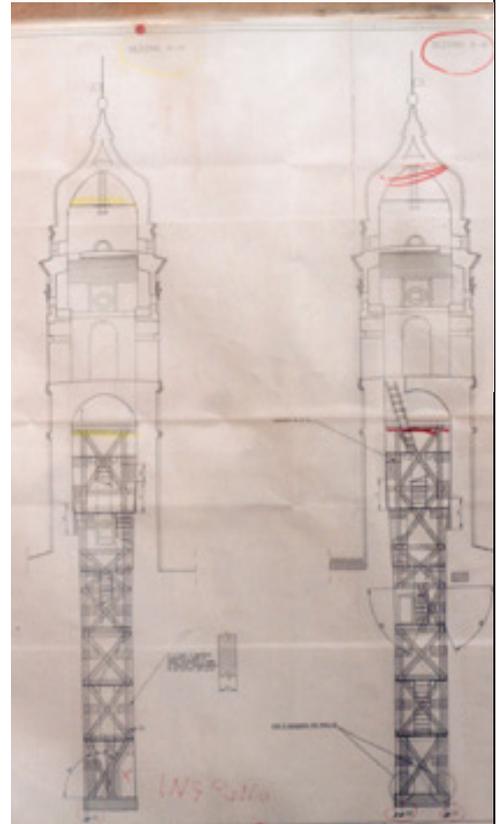
È stato realizzato sulle quattro pareti un traliccio tridimensionale formato da elementi verticali ed inclinati in tessuto di carbonio. Inoltre sono state applicate delle strisce orizzontali continue in tessuto quadriassiale fra le pareti. Questo ha permesso anche di rispettare le travi in legno dei solai intermedi esistenti, che non sono state rimosse neppure durante l'esecuzione dell'intervento. Ad altezze intermedie sono state predisposte delle piastre metalliche nell'angolo fra due pareti e lungo i muri in modo da conferire resistenza a trazione alla muratura.



Incollaggio dei tessuti in fibra di carbonio



Piastra metallica di ancoraggio il fondazione



Progetto dell'intervento

CS8	PALAZZO KOCH Confinamento e rinforzo del vano scale	
<u>Località</u>	Roma	
<u>Anno intervento</u>	2001	
<u>Durata intervento</u>	30 giorni	
<u>Estensione intervento</u>	133 mq di tessuto; 110 m di barre	
<u>Committente</u>	S.C.R Società Costruzioni Riunite, Roma	
<u>Tipo FRP impiegato</u>	KQX360, AFRP quadriassiale: SEAL; HM, AFRP in barre: SEAL	
Descrizione dell'edificio: L'edificio è stato costruito tra il 1886 ed il 1904 su progetto dell'architetto G. Koch, per ospitare la Banca D'Italia. La scala oggetto dell'intervento è realizzata con gradini scolpiti in pietra serena.		
		
Dissesto: nessun dissesto visibile.		
Causa: salvaguardia dalla rottura locale degli elementi lapidei e da eventuali dissesti non visibili.		

<p>Descrizione dell'intervento:</p> <p>Incollaggio di tessuto aramidico quadriassiale all'intradosso di pianerottoli e volte per sostenere gli elementi in caso di collasso. Il reticolo di nastri è stato ancorato alle murature perimetrali mediante barre in fibra aramidica di tipo HM unidirezionale, alloggiato all'interno di perforazioni</p>	
	
<p>Interserzione pianerottolo-rampa</p>	<p>Rinforzo lungo la rampa</p>
	
<p>Ancoraggio nei muri perimetrali</p>	<p>Rinforzo del pianerottolo</p>

CS9	VILLA MONTICELLI Interventi su volte e pareti in muratura di laterizio	
<u>Località</u>	Ponte Rio Perugia	
<u>Anno intervento</u>	2000	
<u>Durata intervento</u>	2 mesi	
<u>Estensione intervento</u>	123 mq di fibre di carbonio	
<u>Committente</u>	Privati	
<u>Tipo FRP impiegato</u>	MBrace C1-30, CFRP ad alta resistenza: MAC	
Descrizione dell'edificio:		
<p>Villa Monticelli, complesso architettonico di rilevante interesse storico e culturale, sorge nella periferia di Perugia. La struttura è realizzata in muratura portante con orizzontamenti costituiti da volte in mattoni.</p>		
		
Dissesto:		
L'edificio principale, risalente al trecento, risultava lesionato principalmente nelle volte e nelle murature perimetrali.		
Causa:		
Sisma del 1997.		

Descrizione dell'intervento:

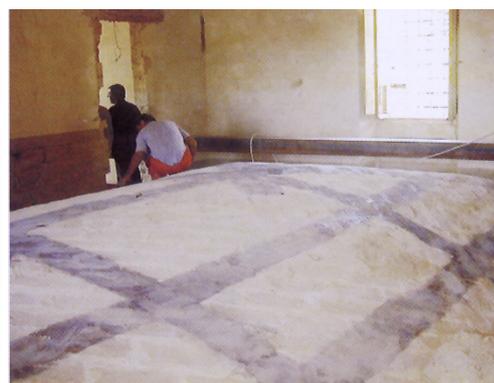
L'intervento è stato mirato al raggiungimento di diversi obiettivi:

- ripristino, recupero e consolidamento di maschi murari esterni fessurati e degradati mediante risarcitura e iniezioni di fessure;
- incatenamenti della muratura mediante nastri in fibra di carbonio lungo direttrici orizzontali al fine di conferirle resistenza a trazione, sia in sezioni specifiche sia nel suo complesso, senza modificare le sezioni e incrementare le masse murarie;

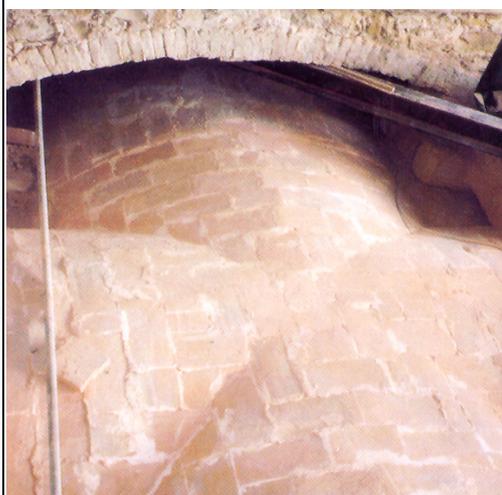
rinforzo delle volte in muratura all'estradosso mediante nastri di fibra di carbonio dello spessore di 10 cm.



“Cordoli” in fibra di carbonio



Messa in opera dei rinforzi



Volta a crociera prima dell'applicazione



Volta a crociera rinforzata

OSPEDALE UMBERTO I	
CS10	Interventi su volte e pareti portanti in muratura di laterizio
Località	Roma
Anno intervento	1999
Durata intervento	20 giorni
Estensione intervento	105 mq di fibre di carbonio
Committente	Amministrazione Ospedale Umberto I (Roma)
Tipo FRP impiegato	MBrace C1-30, CFRP ad alta resistenza: MAC
Descrizione dell'edificio:	
L'oggetto dell'intervento riguarda l'edificio d'ingresso da via del policlinico dell' Ospedale Umberto I di Roma.	
	
Dissesto:	
L'edificio risultava lesionato principalmente nella volta in muratura di mattoni posta al primo piano.	
Causa:	
nd	

Descrizione dell'intervento:

L'intervento si è svolto secondo due linee d'azione. Da una parte si è proceduto al rinforzo della volta in muratura mediante l'impiego di fibre di carbonio posizionate all'intradosso secondo le linee di progetto.

Dall'altra si è provveduto alla predisposizione di un'armatura orizzontale continua a livello delle pareti portanti trasversali e ancorati alle pareti attraverso coppie di tasche passanti sulla muratura.



Una delle lesioni nelle reni delle volte



Fase di preparazione della superficie



Consolidamento all'intradosso della volta



Applicazione dello strato protettivo

CONVENTO DELL'ORDINE DEI PADRI CARMELITANI DELL'ANTICA OSSERVANZA Confinamento della muratura esterna perimetrale	
Località	Nocera Umbra (Pg)
Anno intervento	2000
Durata intervento	18 giorni
Estensione intervento	circa 208 mq
Committente	Provincia romanda dell'Ordine dei Carmelitani -Roma
Tipo FRP impiegato	MBrace C1-30, CFRP ad alta resistenza: MAC
Descrizione dell'edificio: Il complesso è costituito da edifici con strutture murarie in pietrame, a due o tre livelli; la conformazione si presenta regolare sia in planimetria che in alzata.	
	
Dissesto: Struttura in grave stato dissesto generale	
Causa: Sisma umbro-marchigiano del 1997	

Descrizione dell'intervento:

il progetto ha previsto la realizzazione di una cerchiatura a livello degli orizzontamenti e di un rinforzo dei pannelli murari esterni rispetto alle sollecitazioni del piano.

Per la cerchiatura sono stati impiegati nastri larghi 20 cm disposti orizzontalmente mentre, per ottenere un confinamento efficace dei maschi murari delimitati dalle aperture, sono state disposte sia fasce orizzontali che verticali, anch'esse in carbonio, alte 10 cm.



Consolidamento delle murature



Dettaglio del consolidamento nell'angolo



Consolidamento degli archi nel cortile interno



Dettaglio del consolidamento all'intradosso degli archi in muratura

CINEMA TEATRO DANTE	
Risanamento e confinamento della capriata lignea	
Località	Sansepolcro (AR)
Anno intervento	2001
Durata intervento	15 giorni
Estensione intervento	circa 18 mq
Committente	Accademia dei Risorti R.r.l.
Tipo FRP impiegato	MBrace G60 AR, GFRP MAC
Descrizione dell'edificio:	
l'edificio sede del Teatro Dante è tutelato dalla Soprintendenza ai Beni Artistici e Monumentali di Arezzo. La struttura è realizzata in muratura portante e coperta da un tetto con struttura lignea a capriate	
	
Dissesto:	
Degradamento delle capriate lignee particolarmente accentuato in corrispondenza delle testate	
Causa:	
Infiltrazioni di acqua	

Descrizione dell'intervento:

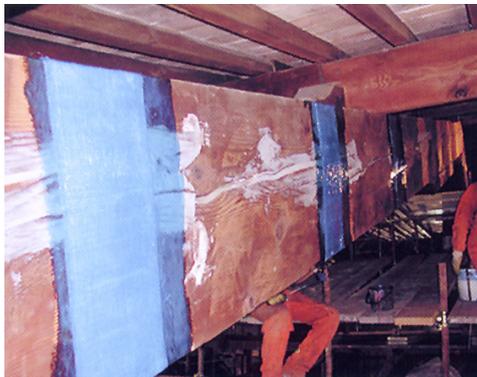
l'intervento è stato eseguito senza effettuare lo smontaggio del tetto, mediante una fasciatura degli elementi lignei in modo da evitare l'apertura delle fessure con un effetto di confinamento. Per le cerchiature sono stati impiegati nastri unidirezionali in fibra di vetro e resina epossidica. Una ulteriore fase dell'intervento ha riguardato la ricostruzione della testata ammalorata, mediante rimozione di tutte le parti degradate e l'inserimento di barre in fibra di vetro che hanno fatto da armatura al getto di resina epossidica, ricollegando la parte ricostruita con quella preesistente.



Applicazione del rinforzo sulle capriate



Applicazione dello strato protettivo



Rinforzi in fibra di vetro del puntone

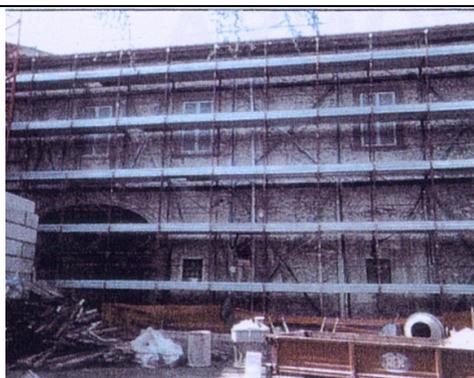


Barre in fibra di vetro per la ricostruzione della testata

VILLA PRIVATA	
CS13	Rinforzo antisismico delle pareti in muratura
Località	Travalle (FI)
Anno intervento	2004
Durata intervento	nd
Estensione intervento	circa 300 ml di nastro
Committente	Privato
Tipo FRP impiegato	Tessuti in fibra di carbonio Maxfor Armoshield, barre in fibra di carbonio Maxfor Armoshield BC12F20, resine Maxfor Armofix MTX, Armofix T
Descrizione dell'edificio:	
L'edificio è costituito da una villa padronale con struttura portante in muratura e tetto a falde con struttura lignea	
	
Dissesto:	
Quadro fessurativo diffuso	
Causa:	
Rinforzo antisismico della struttura muraria	

Descrizione dell'intervento:

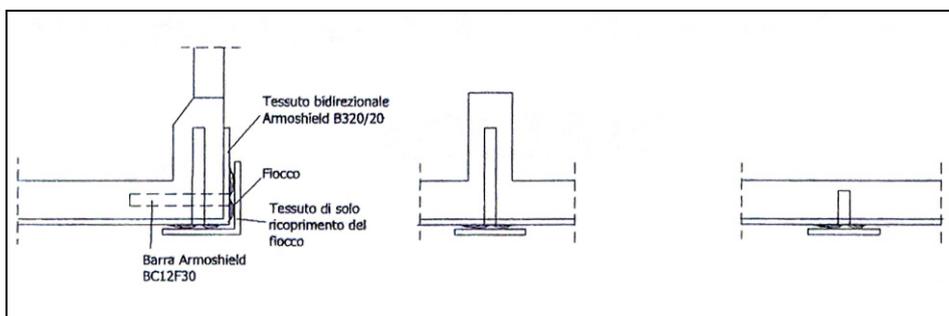
Il progetto ha previsto il rinforzo antisismico mediante la creazione di cordoli per contenere le azioni orizzontali e sistemi di controventamento per assorbire gli sforzi di taglio, mediante l'applicazione di nastri in fibra di carbonio. Si è proceduto prima ad una sigillatura ed iniezione delle lesioni con malta e stucchi idonei, successivamente è stata preparata la superficie di supporto mediante la rimozione di intonaco, pulitura e depolveratura, rasatura mediante malta strutturale, applicazione di primer e del sistema composito di rinforzo. Particolare attenzione è stata posta negli ancoraggi del rinforzo alla struttura.



Cantiere durante l'applicazione dei rinforzi



Dettaglio di uno dei nodi del sistema di rinforzo



Particolari degli ancoraggi realizzati con barre in fibra di carbonio e fiocco, inserite all'interno in corrispondenza di cantonali e martelli e lungo le murature perimetrali

APPENDICE C

Schedatura dei prodotti più diffusi in commercio in Italia e tabelle comparative.

T-1**MAPEI MAPEWRAP C UNI-AX****Descrizione sistema**

Sistema per riparazione e confinamento di elementi strutturali in calcestruzzo e per l'adeguamento antisismico di strutture poste in zone a rischio

Immagine
non
disponibile

Nome commerciale MAPEWRAP C UNI-AX
 Tipo di armatura TESSUTO UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama
 Tipo di filato ordito CARBONIO AD ALTA RESISTENZA

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		1,8	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	300-600	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito trama	230.000	MPa	
			MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	4830	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,166 – 0.333	mm	
Lunghezza nastro		50	m	
Altezza nastro		10-20-40	cm	

Condizioni di stoccaggio

Immagazzinare in luogo coperto e asciutto

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Sistema ad umido: applicare mapewrap primer1, applicazione del rasante mapewrap 11 o mapewrap 12, impregnazione del tessuto con mapewrap 21, posa in opera del tessuto.

Sistema a secco: applicare mapewrap primer1, applicazione del rasante mapewrap 11 o mapewrap 12, applicare una prima mano della resina mapewrap 31, posa in opera del tessuto, applicare la seconda mano di mapewrap 31.

T-2	MAPEI MAPEWRAP C UNI-AX HM
------------	-----------------------------------

Descrizione sistema

Sistema per riparazione e confinamento di elementi strutturali in calcestruzzo e per l'adeguamento antisismico di strutture poste in zone a rischio

Nome commerciale MAPEWRAP C UNI-AX HM
 Tipo di armatura TESSUTO UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama CARBONIO AD ALTO MODULO
 Tipo di filato ordito



Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama	Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato	1,82	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama	N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	300-600	
	Ordito trama	390.000	MPa MPa
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	4410	MPa
	Trama		MPa
Deformazione a rottura	Ordito	1,1	%
	trama		%
Spessore	0,164 – 0,329	mm	
Lunghezza nastro	50	m	
Altezza nastro	10-20-40	cm	

Condizioni di stoccaggio

Immagazzinare in luogo coperto e asciutto

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Sistema ad umido: applicare mapewrap primer1, applicazione del rasante mapewrap 11 o mapewrap 12, impregnazione del tessuto con mapewrap 21, posa in opera del tessuto.

Sistema a secco: applicare mapewrap primer1, applicazione del rasante mapewrap 11 o mapewrap 12, applicare una prima mano della resina mapewrap 31, posa in opera del tessuto, applicare la seconda mano di mapewrap 31.

T-3		MAPEI MAPEWRAP C BI-AX		
Descrizione sistema		<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> Immagine non disponibile </div>		
Sistema bidirezionale bilanciato indicato per riparazioni ed integrazioni di sezioni resistenti a flessione e taglio				
Nome commerciale	MAPEWRAP C BI-AX			
Tipo di armatura	TESSUTO BIDIREZIONALE			
Tipo di filato trama	CARBONIO AD ALTA RESISTENZA			
Tipo di filato ordito				
Caratteristiche del tessuto				
			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		1,79	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	119-180	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	119-180	g/ m ²	
	Totale	238-360	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	230.000	MPa	
	trama	230.000	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	4800	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama	4800	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2,1	%	ISO 4606:1995(E)
	trama	2,1	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,064 – 0,10	mm	
Lunghezza nastro		50	m	
Altezza nastro		20-40	cm	
Condizioni di stoccaggio				
Immagazzinare in luogo coperto e asciutto				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Riferimento alla scheda tecnica delle resine.				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
Sistema ad umido: applicare mapewrap primer1, applicazione del rasante mapewrap 11 o mapewrap 12, impregnazione del tessuto con mapewrap 21, posa in opera del tessuto.				
Sistema a secco: applicare mapewrap primer1, applicazione del rasante mapewrap 11 o mapewrap 12, applicare una prima mano della resina mapewrap 31, posa in opera del tessuto, applicare la seconda mano di mapewrap 31.				

T-4		MAPEI MAPEWRAP C QUADRI-AX		
Descrizione sistema				Immagine non disponibile
Sistema quadriassiale bilanciato per riparazione e per l'adeguamento antisismico di strutture dove è difficoltoso prevedere puntualmente l'andamento delle isostatiche di trazione.				
Nome commerciale	MAPEWRAP C QUADRI-AX			
Tipo di armatura	TESSUTO QUADRIASSIALE			
Tipo di filato trama	CARBONIO AD ALTA RESISTENZA			
Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito		Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama		Tex	
Densità filato		1,79	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito		N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama		N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	380-760	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	230.000	MPa	
	trama	230.000	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	4800	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama	4800	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2,1	%	ISO 4606:1995(E)
	Trama	2,1	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore	0,064 – 0,10		mm	
Lunghezza nastro	50		m	
Altezza nastro	20-40		cm	
Condizioni di stoccaggio				
Immagazzinare in luogo coperto e asciutto				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Riferimento alla scheda tecnica delle resine.				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
Sistema ad umido: applicare mapewrap primer1, applicazione del rasante mapewrap 11 o mapewrap 12, impregnazione del tessuto con mapewrap 21, posa in opera del tessuto.				
Sistema a secco: applicare mapewrap primer1, applicazione del rasante mapewrap 11 o mapewrap 12, applicare una prima mano della resina mapewrap 31, posa in opera del tessuto, applicare la seconda mano di mapewrap 31.				

T-5		MAPEI MAPEWRAP G UNI-AX		
Descrizione sistema		Immagine non disponibile		
Tessuto unidirezionale per rinforzo e confinamento di strutture in muratura e calcestruzzo, si presta per la riparazione e l'adeguamento antisismico di strutture in muratura e calcestruzzo.				
Nome commerciale	MAPEWRAP G UNI-AX			
Tipo di armatura	TESSUTO UNIDIREZIONALE			
Tipo di filato trama	FIBRA DI VETRO E-GLASS			
Tipo di filato ordito	FIBRA DI VETRO E-GLASS			
Caratteristiche del tessuto				
			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		2,62	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	900	g/ m ²	
	Ordito	80.700	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	trama		MPa	
	Ordito	2560	MPa	ISO 4606:1995(E)
Deformazione a rottura	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
	Ordito	3-4	%	ISO 4606:1995(E)
Spessore	Trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Lunghezza nastro		0,48	mm	
Altezza nastro		50	m	
		30-60	cm	
Condizioni di stoccaggio				
Immagazzinare in luogo coperto e asciutto				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Riferimento alla scheda tecnica delle resine.				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
Sistema ad umido: applicare mapewrap primer1, applicazione del rasante mapewrap 11 o mapewrap 12, impregnazione del tessuto con mapewrap 21, posa in opera del tessuto.				
Sistema a secco: applicare mapewrap primer1, applicazione del rasante mapewrap 11 o mapewrap 12, applicare una prima mano della resina mapewrap 31, posa in opera del tessuto, applicare la seconda mano di mapewrap 31.				

T-6	MAPEI MAPEWRAP G QUADRI-AX
------------	-----------------------------------

Descrizione sistema

Tessuto quadriassiale per riparazione e adeguamento antisismico di strutture in muratura e calcestruzzo dove è difficoltoso prevedere l'andamento puntuale delle isostatiche di trazione.

Nome commerciale MAPEWRAP G QUADRI-AX
 Tipo di armatura TESSUTO QUADRIASSIALE
 Tipo di filato trama
 Tipo di filato ordito FIBRA DI VETRO E-GLASS



Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	600	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama	1200	Tex	
Densità filato		2,6	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito		N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama		N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	1.140	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	73.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	2.600	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	3,5-4	%	ISO 4606:1995(E)
	Trama	3,5-4	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		1,096	mm	
Lunghezza nastro		50	m	
Altezza nastro		30-60	cm	

Condizioni di stoccaggio

Immagazzinare in luogo coperto e asciutto

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Sistema ad umido: applicare mapewrap primer1, applicazione del rasante mapewrap 11 o mapewrap 12, impregnazione del tessuto con mapewrap 21, posa in opera del tessuto.

Sistema a secco: applicare mapewrap primer1, applicazione del rasante mapewrap 11 o mapewrap 12, applicare una prima mano della resina mapewrap 31, posa in opera del tessuto, applicare la seconda mano di mapewrap 31.

T-7		CARBOSTRU® BDHR400		
Descrizione sistema		Immagine non disponibile		
Tessuto in fibra di carbonio bidirezionale bilanciato (0°-90°) ad alta resistenza con un peso di 400gr/m ² (200gr/ m ² a 0° e 200gr/ m ² a 90°) e spessore di calcolo di 0,11mm riferito alla fibra pura				
Nome commerciale	CARBOSTRU BDHR400			
Tipo di armatura	TELA BIDIREZIONALE BILANCIATA			
Tipo di filato trama	FIBRA DI CARBONIO			
Tipo di filato ordito	FIBRA DI CARBONIO			
Caratteristiche del tessuto				
			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		1,79	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	200	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	200	g/ m ²	
	Totale	400	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	235.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	4200	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	1,75	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,11	mm	
Lunghezza nastro			m	
Altezza nastro		7-10-20	cm	
Condizioni di stoccaggio				
Il tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Riferimento alla scheda tecnica delle resine.				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
I compositi a più strati, vengono realizzati mediante il VACUUM SYSTEM, che consiste nel mantenere sotto vuoto spinto il composito durante la fase di polimerizzazione della resina. Tale tecnica è largamente diffusa nell'industria aeronatica, navale ed automobilistica, ma rappresenta una novità nel campo dell'ingegneria civile, in quanto il "vuoto" viene creato direttamente in situ sull'elemento da rinforzare.				

T-8	CARBOSTRU® UDHR400
------------	---------------------------

Descrizione sistema

Tessuto in fibra di carbonio unidirezionale ad alta resistenza con un peso di 400gr/m² ed uno spessore di calcolo di 0,22mm riferito alla fibra pura

Nome commerciale CARBOSTRU UDHR800
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO



Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito		Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama		Tex	
Densità filato		1,79	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito		N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama		N°/cm	
Massa	Ordito	400	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	400	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	235.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	4200	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	1,75	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,22	mm	
Lunghezza nastro			m	
Altezza nastro		7-10-20	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

I compositi a più strati, vengono realizzati mediante il VACUUM SYSTEM, che consiste nel mantenere sotto vuoto spinto il composito durante la fase di polimerizzazione della resina. Tale tecnica è largamente diffusa nell'industria aeronatica, navale ed automobilistica, ma rappresenta una novità nel campo dell'ingegneria civile, in quanto il "vuoto" viene creato direttamente in situ sull'elemento da rinforzare.

T-9	CARBOSTRU® UDHR800
------------	---------------------------

Descrizione sistema

Tessuto in fibra di carbonio unidirezionale ad alta resistenza con un peso di 800gr/m² ed uno spessore di calcolo di 0,45mm riferito alla fibra pura

Immagine
non
disponibile

Nome commerciale CARBOSTRU UDHR800
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		1,79	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	800	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	800	g/ m ²	
	Ordito	235.000	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	trama		MPa	
	Ordito	4200	MPa	ISO 4606:1995(E)
Deformazione a rottura	Ordito	1,75	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,45	mm	
Lunghezza nastro			m	
Altezza nastro		7-10-20	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

I compositi a più strati, vengono realizzati mediante il VACUUM SYSTEM, che consiste nel mantenere sotto vuoto spinto il composito durante la fase di polimerizzazione della resina. Tale tecnica è largamente diffusa nell'industria aeronatica, navale ed automobilistica, ma rappresenta una novità nel campo dell'ingegneria civile, in quanto il "vuoto" viene creato direttamente in situ sull'elemento da rinforzare.

T-10	CARBOSTRU® UDHM300
-------------	---------------------------

Descrizione sistema

Tessuto in fibra di carbonio unidirezionale ad alto modulo con un peso di 300gr/m² ed uno spessore di calcolo di 0,16mm riferito alla fibra pura

Nome commerciale CARBOSTRU UDHM400
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO



Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama	Tex	
Densità filato	1,79	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama	N°/cm	
Massa	Ordito	300	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
	Totale	300	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	390.000	MPa
	trama	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	3000	ISO 4606:1995(E)
	Trama	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	0,8	ISO 4606:1995(E)
	trama	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore	0,16	mm	
Lunghezza nastro		m	
Altezza nastro	10-15-25	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

I compositi a più strati, vengono realizzati mediante il VACUUM SYSTEM, che consiste nel mantenere sotto vuoto spinto il composito durante la fase di polimerizzazione della resina. Tale tecnica è largamente diffusa nell'industria aeronatica, navale ed automobilistica, ma rappresenta una novità nel campo dell'ingegneria civile, in quanto il "vuoto" viene creato direttamente in situ sull'elemento da rinforzare.

T-11	CARBOSTRU® UDHM400
-------------	---------------------------

Descrizione sistema

Tessuto in fibra di carbonio unidirezionale ad alto modulo con un peso di 400gr/m² ed uno spessore di calcolo di 0,23mm riferito alla fibra pura

Immagine
non
disponibile

Nome commerciale CARBOSTRU UDHM400
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		1,79	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	400	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	400	g/ m ²	
	Ordito trama	390.000	MPa MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	3000	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	0,8	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,23	mm	
Lunghezza nastro			m	
Altezza nastro		10-15-25	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

I compositi a più strati, vengono realizzati mediante il VACUUM SYSTEM, che consiste nel mantenere sotto vuoto spinto il composito durante la fase di polimerizzazione della resina. Tale tecnica è largamente diffusa nell'industria aeronatica, navale ed automobilistica, ma rappresenta una novità nel campo dell'ingegneria civile, in quanto il "vuoto" viene creato direttamente in situ sull'elemento da rinforzare.

T-12	SACEN MULTITEX KQX 230
-------------	-------------------------------

Descrizione sistema

Tessuto multiassiale (0° / 90° / ±45°) a grammatura bilanciata, a fibre non intrecciate, a base di filati in aramide con legatura in poliestere (tricot)

Nome commerciale KQX 230
 Tipo di armatura TESSUTO MULTIASSIALE
 Tipo di filato trama FIBRA ARAMIDICA (TAWRON)
 Tipo di filato ordito



Caratteristiche del tessuto		Unità di misura		Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	0°-90°	252-252	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	± 45°	252-252	Tex	
Densità filato		1,44	g/cm ³	
N° di fili/cm	0°-90°	2,301	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	± 45°	2,301	N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	249	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	115.000	MPa	
	trama	115.000	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	3150	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama	3150	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2,6	%	ISO 4606:1995(E)
	trama	2,6	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore			mm	
Lunghezza nastro		50	m	
Altezza nastro		127	cm	

Condizioni di stoccaggio

Non disponibili

Precauzioni d'uso e sicurezza

Non disponibili

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Non disponibili

T-13		SACEN MULTITEX KQX 360		
Descrizione sistema		Immagine non disponibile		
Tessuto multiassiale (0° / 90° / ±45°) a grammatura bilanciata differenziata, a fibre non intrecciate, a base di filati in aramide con legatura in poliestere (tricot)				
Nome commerciale	KQX 360			
Tipo di armatura	TESSUTO MULTIASSIALE			
Tipo di filato trama	FIBRA ARAMIDICA (TAWRON)			
Tipo di filato ordito	FIBRA ARAMIDICA (TAWRON)			
Caratteristiche del tessuto				
			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	0°	805	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	± 45°-90°	168	Tex	
Densità filato		1,44	g/cm ³	
N° di filii/cm	0°	2,36	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	± 45°-90°	3,39	N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	360	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	115.000	MPa	
	trama	121.000	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	3150	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama	3150	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2,6	%	ISO 4606:1995(E)
	trama	2	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore			mm	
Lunghezza nastro		50	m	
Altezza nastro		127	cm	
Condizioni di stoccaggio				
Non disponibili				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Non disponibili				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
Non disponibili				

T-14	SACEN MULTITEX CQX 386
-------------	-------------------------------

Descrizione sistema

Tessuto multiassiale (0° / 90° / ±45°) a grammatura bilanciata, a fibre non intrecciate, a base di filati in carbonio con legatura in poliestere (tricot)

Nome commerciale CQX 386
 Tipo di armatura TESSUTO MULTIASSIALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO 12KUTS
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO 12KUTS



Caratteristiche del tessuto		Unità di misura		Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	0°-90°	804	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	± 45°	804	Tex	
Densità filato		1,80	g/cm ³	
N° di fili/cm	0°-90°	2,301	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	± 45°	2,301	N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	380	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	240.000	MPa	
	trama	240.000	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	3150	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama	4810	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2	%	ISO 4606:1995(E)
	trama	2	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore			mm	
Lunghezza nastro		50	m	
Altezza nastro		127	cm	

Condizioni di stoccaggio

Non disponibili

Precauzioni d'uso e sicurezza

Non disponibili

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Non disponibili

T-15		SACEN MULTITEX UNIQ 300		
Descrizione sistema				Immagine non disponibile
Tessuto ibrido bidirezionale (0° / 90°) a grammatura bilanciata, a fibre non intrecciate, a base di filati in carbonio e vetro E-glass con legatura in poliestere (tricot)				
Nome commerciale	UNIQ 300			
Tipo di armatura	TESSUTO IBRIDO BIDIREZIONALE			
Tipo di filato trama	E-GLASS PPG HYBON CELL			
Tipo di filato ordito	FIBRA DI CARBONIO 12KUTS			
Caratteristiche del tessuto				
			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	804	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	Trama	275	Tex	
Densità filato		1,80	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	3,5	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	Trama	1,66	N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale		g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	240.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito		MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama	4810	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito		%	ISO 4606:1995(E)
	trama	2	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore			mm	
Lunghezza nastro		50	m	
Altezza nastro		20-35	cm	
Condizioni di stoccaggio				
Non disponibili				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Non disponibili				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
Non disponibili				

T-16	SACEN MULTITEX UNIQ 800
-------------	--------------------------------

Descrizione sistema

Tessuto ibrido bidirezionale (0° / 90°) a grammatura bilanciata, a fibre non intrecciate, a base di filati in carbonio e vetro E-glass con legatura in poliestere (tricot)



Nome commerciale UNIQ 800
 Tipo di armatura TESSUTO IBRIDO BIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama E-GLASS PPG HYBON CELL
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO 12KUTS

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	804	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	Trama	275	Tex	
Densità filato		1,80	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	6	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	Trama	1,66	N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale		g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	240.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito		MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama	4810	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito		%	ISO 4606:1995(E)
	trama	2	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore			mm	
Lunghezza nastro		50	m	
Altezza nastro		127	cm	

Condizioni di stoccaggio

Non disponibili

Precauzioni d'uso e sicurezza

Non disponibili

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Non disponibili

T-17

SACEN MULTITEX UNIQ 336

Descrizione sistema

Tessuto unidirezionale a due strati sovrapposti (0° / 0°) a grammatura bilanciata, a fibre non intrecciate, a base di filati in aramide con legatura in poliestere (tricot)

Immagine
non
disponibile

Nome commerciale UNIQ 336
 Tipo di armatura TESSUTO SOVRAPPOSTO UNIDIREZ.
 Tipo di filato trama
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO 12KUTS

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	860	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	Ordito	260	Tex	
Densità filato		1,44	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	3xh	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	Ordito	3xh	N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	344	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	99	GPa	
	Ordito	111	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	2835	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Ordito	3127	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2,8	%	ISO 4606:1995(E)
	Ordito	2,7	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore			mm	
Lunghezza nastro		50	m	
Altezza nastro		variabile	cm	

Condizioni di stoccaggio

Non disponibili

Precauzioni d'uso e sicurezza

Non disponibili

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Non disponibili

T-18	SACEN MULTITEX UNIQ 344
-------------	--------------------------------

Descrizione sistema

Tessuto unidirezionale a fibre non intrecciate, a base di filati in aramide con legatura in poliestere (tela)



Nome commerciale UNIQ 344
 Tipo di armatura TESSUTO UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama
 Tipo di filato ordito ARAMIDICA (TAWRON 220 HM8050)

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	860	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	Trama		Tex	
Densità filato		1,44	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	4XH	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	Trama		N°/cm	
Massa	Ordito	352	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	352	g/ m ²	
	Ordito	99.000	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	trama		MPa	
	Ordito		MPa	ISO 4606:1995(E)
Deformazione a rottura	Trama	2835	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
	Ordito		%	ISO 4606:1995(E)
Spessore	trama	2,8	%	ISO 13934-1:1999(E)
	Ordito			
Lunghezza nastro		50	mm	
Altezza nastro		variabile	m	
			cm	

Condizioni di stoccaggio

Non disponibili

Precauzioni d'uso e sicurezza

Non disponibili

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Non disponibili

T-19		SACEN MULTITEX WRK 385		
Descrizione sistema		<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> Immagine non disponibile </div>		
Tessuto ibrido bidirezionale (0° / 90°) a grammatura differenziata a base di filati di aramide tessuti a tela				
Nome commerciale	WRK 385			
Tipo di armatura	TESSUTO BIDIREZIONALE			
Tipo di filato trama	ARAMIDICA TAWRON 2200 HM1610			
Tipo di filato ordito	ARAMIDICA TAWRON 2200 HM2420			
Caratteristiche del tessuto				
			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	260	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	Trama	164	Tex	
Densità filato		1,44	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	10xh	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	Trama		N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	385	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	110.000	MPa	
	trama	102.000	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	3127	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama	3023	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2,7	%	ISO 4606:1995(E)
	trama	2,8	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore			mm	
Lunghezza nastro		50	m	
Altezza nastro		variabile	cm	
Condizioni di stoccaggio				
Non disponibili				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Non disponibili				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
Non disponibili				

T-20	ECT (EDYL COMPOSITES TECHNOLOGY) CONCRETEx C320 UHT
-------------	--

Descrizione sistema

Nastro unidirezionale in fibra di carbonio per consolidamento strutturale



Nome commerciale C 320 U-HT
 Tipo di armatura TESSUTO UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO
 Tipo di filato ordito

Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	Trama	Tex	
Densità filato	1,80	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	Trama	N°/cm	
Massa	Ordito	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
	Totale	300 g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	240.000 MPa	
	trama	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	6400 MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2 %	ISO 4606:1995(E)
	trama	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore	0.177	mm	
Lunghezza nastro		m	
Altezza nastro		cm	

Condizioni di stoccaggio

Non disponibili

Precauzioni d'uso e sicurezza

Non disponibili

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Non disponibili

T-21

ECT (EDYL COMPOSITES TECHNOLOGY) CONCRETEx C220 UHT

Descrizione sistema

Nastro unidirezionale in fibra di carbonio per consolidamento strutturale

Immagine
non
disponibile

Nome commerciale C 220 U-HT
 Tipo di armatura TESSUTO UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito		Tex	ISO 1889:1997 (E)
	Trama		Tex	
Densità filato		1,80	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito		N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	Trama		N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	200	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	240.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	4000	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0.111	mm	
Lunghezza nastro			m	
Altezza nastro			cm	

Condizioni di stoccaggio

Non disponibili

Precauzioni d'uso e sicurezza

Non disponibili

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Non disponibili

T-22	ECT (EDYL COMPOSITES TECHNOLOGY) CONCRETEx C160 UHT
-------------	--

Descrizione sistema

Nastro unidirezionale in fibra di carbonio per consolidamento strutturale



Nome commerciale C 160 U-HT
 Tipo di armatura TESSUTO UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO
 Tipo di filato ordito

Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	Trama	Tex	
Densità filato	1,80	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	Trama	N°/cm	
Massa	Ordito	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
	Totale	140 g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	240.000	MPa
	trama		
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	2800	ISO 4606:1995(E)
	Trama		ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2	ISO 4606:1995(E)
	trama		ISO 13934-1:1999(E)
Spessore	0.078	mm	
Lunghezza nastro		m	
Altezza nastro		cm	

Condizioni di stoccaggio

Non disponibili

Precauzioni d'uso e sicurezza

Non disponibili

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Non disponibili

T-23	MAXFOR ARMOSHIELD - U
-------------	------------------------------

Descrizione sistema

Il sistema ARMOSHIELD é costituito da nastri in fibra di carbonio ad alta densità resi solidali al supporto con speciali formulati resinosi di elevate prestazioni meccaniche.

Immagine
non
disponibile

Nome commerciale MAXFOR ARMOSHIELD - U
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		1,8	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	330 -500	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	330-500	g/ m ²	
	Ordito	235.000	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	trama		MPa	
	Ordito	3530	MPa	ISO 4606:1995(E)
Deformazione a rottura	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
	Ordito	1,5	%	ISO 4606:1995(E)
Spessore			%	ISO 13934-1:1999(E)
Lunghezza nastro		1,8-2,8	mm	
Altezza nastro		50-100	m	
		5-10-20-50-100	cm	

Condizioni di stoccaggio

L'ARMOSHIELD tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il sistema conferisce particolari caratteristiche di resistenza alla struttura su cui viene applicato sia sotto forma di placcaggio che di wrapping (fasciatura), incrementando la resistenza, la portanza, la duttilità senza sovraccarico della struttura, dove sia necessario migliorare o ripristinare la statica. L'applicazione varia in funzione del tipo di supporto e delle condizioni dello stesso. In generale il ciclo necessita di un primer, una rasatura, un incollaggio ed una saturazione. In taluni casi può essere richiesta una protezione finale.

T-24	ARMOSHIELD BIASSIALE +-45°T
-------------	------------------------------------

Descrizione sistema

Il sistema ARMOSHIELD impiega tessuti in fibra di carbonio biassiali (con fibre inclinate a 45°) resi solidali al supporto con formulati epossidici caratterizzati da elevate prestazioni meccaniche.



Nome commerciale ARMOSHIELD Biassiale +-45°T
 Tipo di armatura TELA BIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO
 Tipo di filato ordito

Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama	Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato	1,8	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama	N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
	Totale	450-600 g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	235.000 MPa	
	trama	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	3530 MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	1,5 %	ISO 4606:1995(E)
	trama	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore	0,12-0,16	mm	
Lunghezza nastro		m	
Altezza nastro	5-100	cm	

Condizioni di stoccaggio

L'ARMOSHIELD tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il sistema conferisce particolari caratteristiche di resistenza alla struttura su cui viene applicato sia sotto forma di placcaggio che di wrapping (fasciatura), incrementando la resistenza, la portanza, la duttilità senza sovraccarico della struttura, dove sia necessario migliorare o ripristinare la statica. L'applicazione varia in funzione del tipo di supporto e delle condizioni dello stesso. In generale il ciclo necessita di un primer, una rasatura, un incollaggio ed una saturazione. In taluni casi può essere richiesta una protezione finale.

T-25		ARMOSHIELD BILANCIATO-B		
Descrizione sistema		Immagine non disponibile		
Il sistema ARMOSHIELD impiega tessuti in fibra di carbonio bidirezionali bilanciati ad alta densità, resi solidali al supporto con formulati epossidici caratterizzati da elevate prestazioni meccaniche.				
Nome commerciale	ARMOSHIELD BILANCIATO-B			
Tipo di armatura	TELA BIDIREZIONALE			
Tipo di filato trama	FIBRA DI CARBONIO			
Tipo di filato ordito	FIBRA DI CARBONIO			
Caratteristiche del tessuto				
			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito		Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama		Tex	
Densità filato		1,8	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito		N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama		N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	320-600	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	235.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	3530	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	1,5	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,11-0,21	mm	
Lunghezza nastro		50-100	m	
Altezza nastro		5-100	cm	
Condizioni di stoccaggio				
L'ARMOSHIELD tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Riferimento alla scheda tecnica delle resine.				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
Il sistema conferisce particolari caratteristiche di resistenza alla struttura su cui viene applicato sia sotto forma di placcaggio che di wrapping (fasciatura), incrementando la resistenza, la portanza, la duttilità senza sovraccarico della struttura, dove sia necessario migliorare o ripristinare la statica. L'applicazione varia in funzione del tipo di supporto e delle condizioni dello stesso. In generale il ciclo necessita di un primer, una rasatura, un incollaggio ed una saturazione. In taluni casi può essere richiesta una protezione finale.				

T-26	CARBOFLEX GB 800
-------------	-------------------------

Descrizione sistema

Il sistema CARBOFLEX é costituito da tessuto biassiale (con fibre inclinate a 45°)resi solidali al supporto resina epossidica.



Nome commerciale CARBOFLEX GB 800
 Tipo di armatura TELA BIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI VETRO E-GLASS
 Tipo di filato ordito

Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama	Tex	
Densità filato	2,56	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama	N°/cm	
Massa	Ordito	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	800	
	Ordito	74.000	MPa
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	trama		MPa
	Ordito	3400	MPa
Deformazione a rottura	Ordito	4,5	%
	trama		%
Spessore	0,156	mm	
Lunghezza nastro		m	
Altezza nastro	127	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il CARBOFLEX tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il sistema conferisce particolari caratteristiche di resistenza alla struttura su cui viene applicato, incrementando la resistenza, la portanza, la duttilità senza sovraccarico della struttura, dove sia necessario migliorare o ripristinare la statica. L'applicazione a basse temperature è resa possibile da uno speciale adesivo epossidico.

T-27		CARBOFLEX UD 600		
Descrizione sistema		<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> Immagine non disponibile </div>		
Il sistema di rinforzo è costituito da nastri e tessuti unidirezionali in fibra di carbonio, leggermente pre-impregnati con resina epossidica.				
Nome commerciale	CARBOFLEX UD 600			
Tipo di armatura	TELA UNIDIREZIONALE			
Tipo di filato trama	FIBRA DI CARBONIO			
Tipo di filato ordito	FIBRA DI CARBONIO			
Caratteristiche del tessuto				
			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		1,79	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	600	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama Totale	600	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	240.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	4500	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	1,5	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,34	mm	
Lunghezza nastro		20-30-100	m	
Altezza nastro		127	cm	
Condizioni di stoccaggio				
Il CARBOFLEX tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Riferimento alla scheda tecnica delle resine.				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
Il sistema conferisce particolari caratteristiche di resistenza alla struttura su cui viene applicato, incrementando la resistenza, la portanza, la duttilità senza sovraccarico della struttura, dove sia necessario migliorare o ripristinare la statica. L'applicazione a basse temperature è resa possibile da uno speciale adesivo epossidico.				

T-28	CARBOFLEX UD 800
-------------	-------------------------

Descrizione sistema

Il sistema di rinforzo è costituito da nastri e tessuti unidirezionali in fibra di carbonio Tenax Uts 12K, leggermente pre-impregnati con resina epossidica.

Nome commerciale CARBOFLEX UD 800
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO



Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama	Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato	1,79	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama	N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito 800	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale 800	g/ m ²	
	Ordito 240.000	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	trama	MPa	
	Ordito 4500	MPa	ISO 4606:1995(E)
Deformazione a rottura	Trama	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
	Ordito 1,5	%	ISO 4606:1995(E)
Spessore	0,449	mm	ISO 13934-1:1999(E)
Lunghezza nastro		m	
Altezza nastro	20	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il CARBOFLEX tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il sistema conferisce particolari caratteristiche di resistenza alla struttura su cui viene applicato, incrementando la resistenza, la portanza, la duttilità senza sovraccarico della struttura, dove sia necessario migliorare o ripristinare la statica. L'applicazione a basse temperature è resa possibile da uno speciale adesivo epossidico.

T-29		CARBOFLEX UD 800-ARAMIDICA																																																																													
Descrizione sistema		Immagine non disponibile																																																																													
Il sistema di rinforzo è costituito da nastri e tessuti unidirezionali in fibra aramidica ad alto modulo(HM), leggermente pre-impregnati con resina epossidica.																																																																															
Nome commerciale	CARBOFLEX UD 800-ARAMIDICA																																																																														
Tipo di armatura	TELA UNIDIREZIONALE																																																																														
Tipo di filato trama	FIBRA DI CARBONIO																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Caratteristiche del tessuto</th> <th></th> <th>Unità di misura</th> <th>Metodo di prova e normativa di riferim</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Titolo filato</td> <td>Ordito trama</td> <td></td> <td>Tex Tex</td> <td>ISO 1889:1997 (E)</td> </tr> <tr> <td>Densità filato</td> <td></td> <td>1,44</td> <td>g/cm³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N° di fili/cm</td> <td>Ordito trama</td> <td></td> <td>N°/cm N°/cm</td> <td>ISO 4602:1997 (E)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Massa</td> <td>Ordito</td> <td>805</td> <td>g/ m²</td> <td rowspan="2">ISO 3374:2000 (E)</td> </tr> <tr> <td>Trama</td> <td></td> <td>g/ m²</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Modulo di elasticità norm. a trazione</td> <td>Totale</td> <td>805</td> <td>g/ m²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ordito</td> <td>99.000</td> <td>MPa</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)</td> <td>trama</td> <td></td> <td>MPa</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ordito</td> <td>2930</td> <td>MPa</td> <td>ISO 4606:1995(E)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Deformazione a rottura</td> <td>Trama</td> <td></td> <td>MPa</td> <td>ISO 13934-1:1999(E)</td> </tr> <tr> <td>Ordito</td> <td>2,9</td> <td>%</td> <td>ISO 4606:1995(E)</td> </tr> <tr> <td>Spessore</td> <td>trama</td> <td></td> <td>%</td> <td>ISO 13934-1:1999(E)</td> </tr> <tr> <td>Lunghezza nastro</td> <td></td> <td>0,559</td> <td>mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altezza nastro</td> <td></td> <td></td> <td>m</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>20</td> <td>cm</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim	Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)	Densità filato		1,44	g/cm ³		N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)	Massa	Ordito	805	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)	Trama		g/ m ²	Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	805	g/ m ²		Ordito	99.000	MPa		Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	trama		MPa		Ordito	2930	MPa	ISO 4606:1995(E)	Deformazione a rottura	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)	Ordito	2,9	%	ISO 4606:1995(E)	Spessore	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)	Lunghezza nastro		0,559	mm		Altezza nastro			m				20	cm	
Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim																																																																											
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)																																																																											
Densità filato		1,44	g/cm ³																																																																												
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)																																																																											
Massa	Ordito	805	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)																																																																											
	Trama		g/ m ²																																																																												
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	805	g/ m ²																																																																												
	Ordito	99.000	MPa																																																																												
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	trama		MPa																																																																												
	Ordito	2930	MPa	ISO 4606:1995(E)																																																																											
Deformazione a rottura	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)																																																																											
	Ordito	2,9	%	ISO 4606:1995(E)																																																																											
Spessore	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)																																																																											
Lunghezza nastro		0,559	mm																																																																												
Altezza nastro			m																																																																												
		20	cm																																																																												
Condizioni di stoccaggio																																																																															
Il CARBOFLEX tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.																																																																															
Precauzioni d'uso e sicurezza																																																																															
Riferimento alla scheda tecnica delle resine.																																																																															
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo																																																																															
Il sistema conferisce particolari caratteristiche di resistenza alla struttura su cui viene applicato, incrementando la resistenza, la portanza, la duttilità senza sovraccarico della struttura, dove sia necessario migliorare o ripristinare la statica. L'applicazione a basse temperature è resa possibile da uno speciale adesivo epossidico.																																																																															

T-30	MBRACE FIBRE C1-30 (Modern Advanced Concrete)
-------------	--

Descrizione sistema

Il sistema MBRACE è costituito da un tessuto unidirezionale di fibra di carbonio ad alta resistenza impregnato in situ con una matrice polimerica.

Nome commerciale MBRACE FIBRE C1-30
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO



Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama	Tex	
Densità filato	1,82	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama	N°/cm	
Massa	Ordito	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	330-500	
	Ordito	230.000	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	trama	MPa	ISO 4606:1995(E) ISO 13934-1:1999(E)
	Ordito	MPa	
Deformazione a rottura	Ordito	1,5	ISO 4606:1995(E) ISO 13934-1:1999(E)
	trama	%	
Spessore	0,165	mm	
Lunghezza nastro	100	m	
Altezza nastro	50	cm	

Condizioni di stoccaggio

Conservare i tessuti in luogo coperto, fresco e asciutti, non esposti al sole e lontani da fiamme libere

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il sistema MBRACE viene maggiormente usato per i rinforzi flessionali (placcaggio), per il confinamento a compressione (fasciatura) di elementi in calcestruzzo, legno e per il rinforzo di pannelli e volte in muratura.

T-31	MBRACE FIBRE C5-30 (Modern Advanced Concrete)
-------------	--

Descrizione sistema

Il sistema MBRACE è costituito da un tessuto unidirezionale di fibra di carbonio ad altissimo modulo impregnato in situ con una matrice polimerica.

Immagine
non
disponibile

Nome commerciale MBRACE FIBRE C5-30
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		1,82	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama Totale		g/ m ² g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	390.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	3000	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	0,8	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,165	mm	
Lunghezza nastro		100	m	
Altezza nastro		50	cm	

Condizioni di stoccaggio

Conservare i tessuti in luogo coperto, fresco e asciutti, non esposti al sole e lontani da fiamme libere

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il sistema MBRACE viene maggiormente usato per i rinforzi flessionali (placcaggio), per il confinamento a compressione (fasciatura) di elementi in calcestruzzo, legno e per il rinforzo di pannelli e volte in muratura.

T-32	MBRACE FIBRE C8-30 (Modern Advanced Concrete)
-------------	--

Descrizione sistema

Il sistema MBRACE è costituito da un tessuto unidirezionale di fibra di carbonio ad altissimo modulo impregnato in situ con una matrice polimerica.

Nome commerciale MBRACE FIBRE C8-30
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO



Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama	Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato	2,10	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama	N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	g/ m ²	
	Ordito trama	640.000 MPa MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	1900	ISO 4606:1995(E)
	Trama	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	0,3	ISO 4606:1995(E)
	trama	% %	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore	0,143	mm	
Lunghezza nastro	100	m	
Altezza nastro	50	cm	

Condizioni di stoccaggio

Conservare i tessuti in luogo coperto, fresco e asciutti, non esposti al sole e lontani da fiamme libere

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il sistema MBRACE viene maggiormente usato per i rinforzi flessionali (placcaggio), per il confinamento a compressione (fasciatura) di elementi in calcestruzzo, legno e per il rinforzo di pannelli e volte in muratura.

T-33	MBRACE FIBRE G-55AR (Modern Advanced Concrete)
-------------	---

Descrizione sistema

Il sistema di rinforzo è costituito da un tessuto bidirezionale bilanciato (50% direzione principale, 50% direzione secondaria) in fibra di vetro, con una matrice di resina epossidica.

Immagine
non
disponibile

Nome commerciale MBRACE FIBRE G-73AR
 Tipo di armatura TELA BIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI VETRO
 Tipo di filato ordito FIBRA DI VETRO

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		2,6	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama Totale		g/ m ² g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	65.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	1700	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2,8	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,115	mm	
Lunghezza nastro		100	m	
Altezza nastro		100	cm	

Condizioni di stoccaggio

Conservare i tessuti in luogo coperto, fresco e asciutti, non esposti al sole e lontani da fiamme libere

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il sistema MBRACE viene maggiormente usato per i rinforzi flessionali (placcaggio), per il confinamento a compressione (fasciatura) di elementi in calcestruzzo, legno e per il rinforzo di pannelli e volte in muratura.

T-34	MBRACE FIBRE G-60AR (Modern Advanced Concrete)
-------------	---

Descrizione sistema

Il sistema MBRACE è costituito da un tessuto unidirezionale di fibra di vetro impregnato in situ con una matrice polimerica epossidica.

Nome commerciale MBRACE FIBRE G-60AR
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI VETRO
 Tipo di filato ordito FIBRA DI VETRO



Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama	Tex	
Densità filato	2,6	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama	N°/cm	
Massa	Ordito	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
	Totale	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	65.000	MPa
	trama		
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	1700	ISO 4606:1995(E)
	Trama		ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2,8	ISO 4606:1995(E)
	trama		ISO 13934-1:1999(E)
Spessore	0,230	mm	
Lunghezza nastro	100	m	
Altezza nastro	50	cm	

Condizioni di stoccaggio

Conservare i tessuti in luogo coperto, fresco e asciutti, non esposti al sole e lontani da fiamme libere

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il sistema MBRACE viene maggiormente usato per i rinforzi flessionali (placcaggio), per il confinamento a compressione (fasciatura) di elementi in calcestruzzo, legno e per il rinforzo di pannelli e volte in muratura.

T-35	MBRACE FIBRE G-73AR (Modern Advanced Concrete)
-------------	---

Descrizione sistema

Il sistema di rinforzo è costituito da un tessuto bidirezionale sbilanciato (70% direzione principale, 30% direzione secondaria) in fibra di vetro alcali resistente.

Immagine
non
disponibile

Nome commerciale MBRACE FIBRE G-73AR
 Tipo di armatura TELA BIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama
 Tipo di filato ordito FIBRA DI VETRO

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		2,6	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama Totale		g/ m ² g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	65.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	1700	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2,8	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,161	mm	
Lunghezza nastro		100	m	
Altezza nastro		100	cm	

Condizioni di stoccaggio

L'ARMOSHIELD tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il sistema MBRACE viene maggiormente usato per i rinforzi flessionali (placcaggio), per il confinamento a compressione (fasciatura) di elementi in calcestruzzo, legno e per il rinforzo di pannelli e volte in muratura.

T-36	MBRACE FIBRE ARAMIDE (Modern Advanced Concrete)
-------------	--

Descrizione sistema

Il sistema MBRACE è costituito da un tessuto unidirezionale di fibra aramidica impregnato in situ con una matrice polimerica epossidica.



Nome commerciale MBRACE FIBRE ARAMIDE
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA ARAMIDICA
 Tipo di filato ordito FIBRA ARAMIDICA

Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama	Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato	1,44	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama	N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	g/ m ²	
	Ordito trama	MPa MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	2100	MPa
	Trama		MPa
Deformazione a rottura	Ordito	2	%
	trama		%
Spessore	0,214	mm	
Lunghezza nastro	100	m	
Altezza nastro	50	cm	

Condizioni di stoccaggio

Conservare i tessuti in luogo coperto, fresco e asciutti, non esposti al sole e lontani da fiamme libere

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il sistema MBRACE viene maggiormente usato per i rinforzi flessionali (placcaggio), per il confinamento a compressione (fasciatura) di elementi in calcestruzzo, legno e per il rinforzo di pannelli e volte in muratura.

T-37		RUREDIL REPLARK 20		
Descrizione sistema		<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; text-align: center; vertical-align: middle;"> Immagine non disponibile </div>		
Sistema di rinforzo costituito da un foglio di fibre di carbonio pre-impregnato con resina epossidica è facilmente applicabile, leggero e duraturo.				
Nome commerciale	RUREDIL REPLARK 20			
Tipo di armatura	TELA UNIDIREZIONALE			
Tipo di filato trama	FIBRA DI CARBONIO			
Tipo di filato ordito	FIBRA DI CARBONIO			
Caratteristiche del tessuto				
			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		n.d.	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	200	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	200	g/ m ²	
	Ordito	230.000	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Trama		MPa	
	Ordito	>=3400	MPa	ISO 4606:1995(E)
Deformazione a rottura	Ordito	>=1,30	%	ISO 13934-1:1999(E)
	Trama		%	ISO 4606:1995(E)
Spessore		0,167	mm	
Lunghezza nastro		n.d.	m	
Altezza nastro		25	cm	
Condizioni di stoccaggio				
Il RUREDIL tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Riferimento alla scheda tecnica delle resine.				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
L'applicazione va eseguita a temperature non inferiori ai 10°C e, qualora all'aperto, il rinforzo va protetto da pioggia, polvere ed umidità. Tale sistema riesce a fornire prestazioni meccaniche che a parità di peso sono cinque volte superiori a quelle dell'acciaio, con carichi inferiori dell'80%.				

T-38	RUREDIL X FAB KC50
-------------	---------------------------

Descrizione sistema

Sistema di rinforzo costituito da un tessuto di fibre di carbonio e fibre aramidiche da applicare su supporti asciutti mediante l'utilizzo di una matrice epossidica ad alto potere impregnante.

Nome commerciale RUREDIL X FAB KC50
 Tipo di armatura TELA BIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA ARAMIDICA
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO



Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito		Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama		Tex	
Densità filato		n.d.	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito		N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama		N°/cm	
Massa	Ordito	190	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	190	g/ m ²	
	Totale	380	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	168.000	MPa	
	Trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	n.d.	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama	n.d.	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	n.d.	%	ISO 4606:1995(E)
	Trama	n.d.	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,112	mm	
Lunghezza nastro		n.d.	m	
Altezza nastro		50	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il RUREDIL tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

L'elevata deformabilità flessionale del tessuto ne consente l'applicazione su superfici di geometria complessa ma l'efficacia del rinforzo viene massimizzata su superfici regolari e prive di asperità.

T-39		RUREDIL X MESH C10																																																																										
Descrizione sistema		<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> Immagine non disponibile </div>																																																																										
Il sistema di rinforzo FCRM è costituito da una rete di fibra di carbonio annegata in una matrice inorganica stabilizzata, risulta essere compatibile con tutti i supporti.																																																																												
Nome commerciale	RUREDIL X MESH C10																																																																											
Tipo di armatura	TELA BIDIREZIONALE																																																																											
Tipo di filato trama	FIBRA DI CARBONIO																																																																											
Tipo di filato ordito	FIBRA DI CARBONIO																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Caratteristiche del tessuto</th> <th></th> <th>Unità di misura</th> <th>Metodo di prova e normativa di riferim</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Titolo filato</td> <td>Ordito trama</td> <td></td> <td>Tex Tex</td> <td>ISO 1889:1997 (E)</td> </tr> <tr> <td>Densità filato</td> <td></td> <td>n.d.</td> <td>g/cm³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N° di fili/cm</td> <td>Ordito trama</td> <td></td> <td>N°/cm N°/cm</td> <td>ISO 4602:1997 (E)</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Massa</td> <td>Ordito</td> <td>168</td> <td>g/ m²</td> <td rowspan="3">ISO 3374:2000 (E)</td> </tr> <tr> <td>Trama</td> <td>46</td> <td>g/ m²</td> </tr> <tr> <td>Totale</td> <td>214</td> <td>g/ m²</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Modulo di elasticità norm. a trazione</td> <td>Ordito</td> <td>240.000</td> <td>MPa</td> <td rowspan="2"></td> </tr> <tr> <td>trama</td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)</td> <td>Ordito</td> <td></td> <td>MPa</td> <td>ISO 4606:1995(E)</td> </tr> <tr> <td>Trama</td> <td></td> <td>MPa</td> <td>ISO 13934-1:1999(E)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Deformazione a rottura</td> <td>Ordito</td> <td>n.d.</td> <td>%</td> <td>ISO 4606:1995(E)</td> </tr> <tr> <td>trama</td> <td>n.d.</td> <td>%</td> <td>ISO 13934-1:1999(E)</td> </tr> <tr> <td>Spessore</td> <td></td> <td>0,047</td> <td>mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lunghezza nastro</td> <td></td> <td>n.d.</td> <td>m</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altezza nastro</td> <td></td> <td>100</td> <td>cm</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim	Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)	Densità filato		n.d.	g/cm ³		N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)	Massa	Ordito	168	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)	Trama	46	g/ m ²	Totale	214	g/ m ²	Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	240.000	MPa		trama		MPa	Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito		MPa	ISO 4606:1995(E)	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)	Deformazione a rottura	Ordito	n.d.	%	ISO 4606:1995(E)	trama	n.d.	%	ISO 13934-1:1999(E)	Spessore		0,047	mm		Lunghezza nastro		n.d.	m		Altezza nastro		100	cm	
Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim																																																																								
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)																																																																								
Densità filato		n.d.	g/cm ³																																																																									
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)																																																																								
Massa	Ordito	168	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)																																																																								
	Trama	46	g/ m ²																																																																									
	Totale	214	g/ m ²																																																																									
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	240.000	MPa																																																																									
	trama		MPa																																																																									
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito		MPa	ISO 4606:1995(E)																																																																								
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)																																																																								
Deformazione a rottura	Ordito	n.d.	%	ISO 4606:1995(E)																																																																								
	trama	n.d.	%	ISO 13934-1:1999(E)																																																																								
Spessore		0,047	mm																																																																									
Lunghezza nastro		n.d.	m																																																																									
Altezza nastro		100	cm																																																																									
Condizioni di stoccaggio																																																																												
Il RUREDIL tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.																																																																												
Precauzioni d'uso e sicurezza																																																																												
Riferimento alla scheda tecnica delle resine.																																																																												
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo																																																																												
Il sistema è applicabile su supporti umidi e presenta un'elevata permeabilità al vapor d'acqua, circa 40 volte superiore a quella dei sistemi in matrici resinose, e ciò ne garantisce l'applicabilità a strutture di fregio, con stucchi o affreschi.																																																																												

T-40	BETONTEX-FTS BIAX
-------------	--------------------------

Descrizione sistema

Sistema di rinforzo costituito da nastri e tessuti in fibra carbonio ad alta tenacità e leggerezza, legati da una leggerissima trama di vetro termofissata a caldo.



Nome commerciale BETONTEX-FTS BIAX
 Tipo di armatura TELA BIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO

Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama	Tex	
Densità filato	1,8	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama	N°/cm	
Massa	Ordito	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	700	
	Ordito	240.000	MPa
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	trama		MPa
	Ordito	4800	MPa
Deformazione a rottura	Ordito	2	%
	trama		%
Spessore	0,169	mm	
Lunghezza nastro		m	
Altezza nastro	50-100	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il BETONTEX tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Questo sistema è particolarmente indicato per il rinforzo esteso in due direzioni di ampie superfici murarie. Vengono utilizzati mediante laminazione diretta sul substrato da rinforzare, con contemporanea impregnazione mediante resine di tipo epossidico con reticolazione a freddo o a bassa temperatura (5-40°C). Il carico di rottura e' diverso a seconda della direzione.

T-41		BETONTEX-FTS GK310 U-HT CARBON ARAMID		
Descrizione sistema		Immagine non disponibile		
Sistema di rinforzo costituito da nastri e tessuti unidirezionali di carbonio o di fibre ad alto modulo, legati da una leggerissima trama di vetro termofissata a caldo.				
Nome commerciale	BETONTEX-FTS GK310 U-HT CARBON ARAMID			
Tipo di armatura	TELA UNIDIREZIONALE			
Tipo di filato trama				
Tipo di filato ordito	IBRIDO IN CARBONIO E ARAMIDICA			
Caratteristiche del tessuto				
			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		1,62	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	275	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	275	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	171.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	3800	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2,5-3	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,169	mm	
Lunghezza nastro			m	
Altezza nastro		20-100	cm	
Condizioni di stoccaggio				
Il BETONTEX tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Riferimento alla scheda tecnica delle resine.				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
Questo sistema è particolarmente indicato per il recupero di opere murarie in generale. Vengono utilizzati mediante laminazione diretta sul substrato da rinforzare, con contemporanea impregnazione mediante resine di tipo epossidico con reticolazione a freddo o a bassa temperatura (5-40°C).				

T-42	BETONTEX-FTS VV320 U-HT
-------------	--------------------------------

Descrizione sistema

Sistema di rinforzo costituito da nastri e tessuti unidirezionali di carbonio o di fibre ad alto modulo, legati da una leggerissima trama di vetro termofissata a caldo.



Nome commerciale BETONTEX-FTS VV320 U-HT
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI VETRO E
 Tipo di filato ordito FIBRA DI VETRO E

Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama	Tex	
Densità filato	2,5	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama	N°/cm	
Massa	Ordito	300	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
	Totale	300	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	73.000	MPa
	trama	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	2000	ISO 4606:1995(E)
	Trama	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	3,5	ISO 4606:1995(E)
	trama	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore	0,177	mm	
Lunghezza nastro		m	
Altezza nastro	20-100	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il BETONTEX tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Questo sistema è particolarmente indicato per il recupero di opere murarie in generale. Vengono utilizzati mediante laminazione diretta sul substrato da rinforzare, con contemporanea impregnazione mediante resine di tipo epossidico con reticolazione a freddo o a bassa temperatura (5-40°C).

T-43	BETONTEX-FTS GV330 U-HT
-------------	--------------------------------

Descrizione sistema

Sistema di rinforzo costituito da nastri e tessuti unidirezionali di carbonio o di fibre ad alto modulo, legati da una leggerissima trama di vetro termofissata a caldo.

Immagine
non
disponibile

Nome commerciale BETONTEX-FTS GV330 U-HT
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO 12K
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO 12K

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		1,8	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	320	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	320	g/ m ²	
	Ordito trama	240.000	MPa MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	4800	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	2	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,177	mm	
Lunghezza nastro			m	
Altezza nastro		20-100	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il BETONTEX tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Questo sistema è particolarmente indicato per il recupero di opere murarie in generale. Vengono utilizzati mediante laminazione diretta sul substrato da rinforzare, con contemporanea impregnazione mediante resine di tipo epossidico con reticolazione a freddo o a bassa temperatura (5-40°C).

T-44	BETONTEX-FTS PVA220 U-HT
-------------	---------------------------------

Descrizione sistema

Sistema di rinforzo costituito da nastri e tessuti unidirezionali di carbonio o di fibre ad alto modulo, legati da una leggerissima trama di vetro termofissata a caldo.



Nome commerciale BETONTEX-FTS PVA220 U-HT
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI POLIVINILALCOL HT
 Tipo di filato ordito FIBRA DI POLIVINILALCOL HT

Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito	Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama	Tex	
Densità filato	1,3	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito	N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama	N°/cm	
Massa	Ordito	200 g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
	Totale	200 g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	29.000 MPa	
	trama	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	1400 MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama	MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	6 %	ISO 4606:1995(E)
	trama	%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore	0,153	mm	
Lunghezza nastro		m	
Altezza nastro	20-100	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il BETONTEX tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Questo sistema è particolarmente indicato per il recupero di opere murarie in generale. Vengono utilizzati mediante laminazione diretta sul substrato da rinforzare, con contemporanea impregnazione mediante resine di tipo epossidico con reticolazione a freddo o a bassa temperatura (5-40°C).

T-45		BETONTEX-FTS WIRE RC225 TH12		
Descrizione sistema		Immagine non disponibile		
Sistema di rinforzo costituito da nastri e tessuti in fibra carbonio ad alta tenacità e leggerezza, legati da una leggerissima trama di vetro termofissata a caldo.				
Nome commerciale	BETONTEX-FTS WIRE RC225 TH 12			
Tipo di armatura	TELA BIDIREZIONALE			
Tipo di filato trama	FIBRA DI CARBONIO			
Tipo di filato ordito	FIBRA DI CARBONIO			
Caratteristiche del tessuto				
			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		1,78	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Trama		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Totale	200	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	240.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	4800	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	1,5-2	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,169	mm	
Lunghezza nastro			m	
Altezza nastro		50-100	cm	
Condizioni di stoccaggio				
Il BETONTEX tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Riferimento alla scheda tecnica delle resine.				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
Questo sistema è particolarmente indicato per il rinforzo esteso in due direzioni di ampie superfici murarie. Vengono utilizzati mediante laminazione diretta sul substrato da rinforzare, con contemporanea impregnazione mediante resine di tipo epossidico con reticolazione a freddo o a bassa temperatura (5-40°C).				

T-46	KIMITECH CB 320
-------------	------------------------

Descrizione sistema

Il sistema KIMITECH é realizzato con un tessuto unidirezionale in fibra di carbonio impregnato con prodotti epossidici ad alta resistenza, con elevato potere di impregnazione e ritiro nullo all'indurimento.

Nome commerciale KIMITECH CB 320
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO
 Tipo di filato ordito



Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito		Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama		Tex	
Densità filato		1,8+-0,1	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito		N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama		N°/cm	
Massa	Ordito	320+-10	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	320+-10	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	230.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	4510	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	1,9+-0,1	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,045	mm	
Lunghezza nastro			m	
Altezza nastro		100	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il KIMITECH tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Viene utilizzato per consolidamenti strutturali collaboranti ad alta resistenza di pareti e volte in muratura. L'applicazione varia in funzione del tipo di supporto e delle condizioni dello stesso. In generale il ciclo necessita di un primer, una rasatura, un incollaggio ed una saturazione. In taluni casi può essere richiesta una protezione finale.

T-47	KIMITECH CB 1200
-------------	-------------------------

Descrizione sistema

Il sistema KIMITECH é realizzato con un tessuto unidirezionale in fibra di carbonio impregnato con prodotti epossidici ad alta resistenza, con elevato potere di impregnazione e ritiro nullo all'indurimento.

Nome commerciale KIMITECH CB 1200
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO

Immagine
non
disponibile

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito		Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama		Tex	
Densità filato		1,9+-0,1	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito		N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama		N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	1200+-10	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	230.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	4510	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	1,9+-0,1	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,045	mm	
Lunghezza nastro			m	
Altezza nastro		100	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il KIMITECH tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Viene utilizzato per consolidamenti strutturali collaboranti ad alta resistenza di pareti e volte in muratura. L'applicazione varia in funzione del tipo di supporto e delle condizioni dello stesso. In generale il ciclo necessita di un primer, una rasatura, un incollaggio ed una saturazione. In taluni casi può essere richiesta una protezione finale.

T-48	KIMITECH LP 300
-------------	------------------------

Descrizione sistema

Il sistema KIMITECH é realizzato con un tessuto di armatura bidirezionale in fibra di vetro impregnato con resina epossidica ad alta resistenza, con elevato potere di impregnazione e ritiro nullo all'indurimento.

Nome commerciale KIMITECH LP 300
 Tipo di armatura TELA BIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI VETRO
 Tipo di filato ordito FIBRA DI VETRO



Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito		Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama		Tex	
Densità filato		2,6+-0,1	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito		N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama		N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	810+-10	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	71.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	2900	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	4,5+-0,5	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,156	mm	
Lunghezza nastro			m	
Altezza nastro		100	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il KIMITECH tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Viene utilizzato per consolidamenti strutturali collaboranti ad alta resistenza di pareti e volte in muratura. L'applicazione varia in funzione del tipo di supporto e delle condizioni dello stesso. In generale il ciclo necessita di un primer, una rasatura, un incollaggio ed una saturazione. In taluni casi può essere richiesta una protezione finale.

T-49		KIMITECH LP 800		
Descrizione sistema		Immagine non disponibile		
Il sistema KIMITECH é realizzato con un tessuto di armatura bidirezionale in fibra di vetro impregnato con resina epossidica ad alta resistenza, con elevato potere di impregnazione e ritiro nullo all'indurimento.				
Nome commerciale	KIMITECH LP 800			
Tipo di armatura	TELA BIDIREZIONALE			
Tipo di filato trama				
Tipo di filato ordito	FIBRA DI VETRO			
Caratteristiche del tessuto				
			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito		Tex	ISO 1889:1997 (E)
	trama		Tex	
Densità filato		2,6+-0,1	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito		N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
	trama		N°/cm	
Massa	Ordito		g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
	Totale	810+-10	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	71.000	MPa	
	trama		MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	2900	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
Deformazione a rottura	Ordito	4,5+-0,5	%	ISO 4606:1995(E)
	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Spessore		0,156	mm	
Lunghezza nastro			m	
Altezza nastro		100	cm	
Condizioni di stoccaggio				
Il KIMITECH tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Riferimento alla scheda tecnica delle resine.				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
Viene utilizzato per consolidamenti strutturali collaboranti ad alta resistenza di pareti e volte in muratura. L'applicazione varia in funzione del tipo di supporto e delle condizioni dello stesso. In generale il ciclo necessita di un primer, una rasatura, un incollaggio ed una saturazione. In taluni casi può essere richiesta una protezione finale.				

T-50	KIMITECH ST 160
-------------	------------------------

Descrizione sistema

Il sistema KIMITECH é realizzato con un tessuto bidirezionale in fibra di carbonio impregnato con prodotti epossidici ad alta resistenza, con elevato potere di impregnazione e ritiro nullo all'indurimento.

Nome commerciale KIMITECH ST 160
 Tipo di armatura TELA BIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO
 Tipo di filato ordito



Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama	Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato	1,78+- 0,1	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama	N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	g/ m ²	
	Totale	160+-10 g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito	230.000	MPa
	trama		MPa
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito	3850	MPa
	Trama		MPa
Deformazione a rottura	Ordito	1,7+-0,1	%
	trama		%
Spessore	0,045		mm
Lunghezza nastro			m
Altezza nastro	100		cm

Condizioni di stoccaggio

Il KIMITECH tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Viene utilizzato per consolidamenti strutturali collaboranti ad alta resistenza di pareti e volte in muratura. L'applicazione varia in funzione del tipo di supporto e delle condizioni dello stesso. In generale il ciclo necessita di un primer, una rasatura, un incollaggio ed una saturazione. In taluni casi può essere richiesta una protezione finale.

T-51	KIMITECH VR 300
-------------	------------------------

Descrizione sistema

Il sistema KIMITECH é realizzato con un tessuto unidirezionale in fibra di vetro impregnato con prodotti epossidici ad alta resistenza, con elevato potere di impregnazione e ritiro nullo all'indurimento.

Immagine
non
disponibile

Nome commerciale KIMITECH VR 300
 Tipo di armatura TELA UNIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama
 Tipo di filato ordito FIBRA DI VETRO

Caratteristiche del tessuto			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		2,6+-0,1	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	320+-10	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	320+-10	g/ m ²	
	Ordito	71.000	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	trama		MPa	
	Ordito	2900	MPa	ISO 4606:1995(E)
Deformazione a rottura	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
	Ordito	4,5+-0,5	%	ISO 4606:1995(E)
Spessore			%	ISO 13934-1:1999(E)
Lunghezza nastro	0,114		mm	
Altezza nastro		20-50	m	
			cm	

Condizioni di stoccaggio

Il KIMITECH tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Viene utilizzato per consolidamenti strutturali collaboranti ad alta resistenza di pareti e volte in muratura. L'applicazione varia in funzione del tipo di supporto e delle condizioni dello stesso. In generale il ciclo necessita di un primer, una rasatura, un incollaggio ed una saturazione. In taluni casi può essere richiesta una protezione finale.

T-52	SIKAWRAP 160 C
-------------	-----------------------

Descrizione sistema

Il sistema SIKA é costituito da nastri in fibra bidirezionale di carbonio ad alta densità resi solidali al supporto con resine epossidiche bicomponenti di elevate prestazioni meccaniche.

Nome commerciale SIKAWRAP 160 C
 Tipo di armatura TELA BIDIREZIONALE
 Tipo di filato trama FIBRA DI CARBONIO
 Tipo di filato ordito FIBRA DI CARBONIO



Caratteristiche del tessuto		Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama	Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato	1,77	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama	N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito 230	g/ m ²	
	Trama 230	g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Ordito 238.000	MPa	ISO 3374:2000 (E)
	Trama	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	Ordito 3950	MPa	ISO 4606:1995(E)
	Trama	MPa	
Deformazione a rottura	Ordito 1,55	%	ISO 4606:1995(E)
	trama	%	
Spessore	0,10	mm	ISO 13934-1:1999(E)
Lunghezza nastro		m	
Altezza nastro	60	cm	

Condizioni di stoccaggio

Il SIKA tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.

Precauzioni d'uso e sicurezza

Riferimento alla scheda tecnica delle resine.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il sistema è particolarmente indicato per cerchiatura dei pilastri in muratura di mattoni, a sezione circolare o rettangolare, e per rinforzi strutturali continui su opere con superfici non planari.

T-53		SIKAWRAP HEX 230 C		
Descrizione sistema		Immagine non disponibile		
Il sistema SIKA é costituito da nastri in fibra di carbonio ad alta densità resi solidali al supporto con resine epossidiche bicomponenti di elevate prestazioni meccaniche.				
Nome commerciale	SIKAWRAP HEX 230 C			
Tipo di armatura	TELA UNIDIREZIONALE			
Tipo di filato trama	FIBRA DI CARBONIO			
Tipo di filato ordito	FIBRA DI CARBONIO			
Caratteristiche del tessuto				
			Unità di misura	Metodo di prova e normativa di riferim
Titolo filato	Ordito trama		Tex Tex	ISO 1889:1997 (E)
Densità filato		1,77	g/cm ³	
N° di fili/cm	Ordito trama		N°/cm N°/cm	ISO 4602:1997 (E)
Massa	Ordito	230	g/ m ²	ISO 3374:2000 (E)
	Trama		g/ m ²	
Modulo di elasticità norm. a trazione	Totale	230	g/ m ²	
	Ordito	230.000	MPa	
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	trama		MPa	
	Ordito	3500	MPa	ISO 4606:1995(E)
Deformazione a rottura	Trama		MPa	ISO 13934-1:1999(E)
	Ordito	1,5	%	ISO 4606:1995(E)
Spessore	trama		%	ISO 13934-1:1999(E)
Lunghezza nastro		0,13	mm	
Altezza nastro			m	
		60	cm	
Condizioni di stoccaggio				
Il SIKA tessuto si conserva al riparo a tempo illimitato.				
Precauzioni d'uso e sicurezza				
Riferimento alla scheda tecnica delle resine.				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo				
Il sistema è particolarmente indicato per cerchiatura dei pilastri in muratura di mattoni, a sezione circolare o rettangolare, e per rinforzi strutturali continui su opere con superfici non planari.				

P-1		MBRACE FRP LAMINATE HM (ALTO MODULO)			
Descrizione: Lamina pultrusa in fibra di carbonio prodotta in versione ad alto modulo.					
Nome commerciale	MBRACE FRP LAMINATE HM			Immagine non disponibile	
Tipo di fibra	Carbonio				
Tipo di resina	Epossidica				
Tecnologia di produzione	Pultrusione				
Marchiatura	ISO9001				
Altro					
Caratteristiche geometriche e fisiche			Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Spessore (lamina)		1,4	mm		
Larghezza		50-100	mm		
Lunghezza			m		
Geometria della sezione					
Area nominale			mm ²		
Perimetro nominale			mm		(1)
Colore		Nero			
densità	Fibra		g/cm ³	ISO 1183-1:2004 (E)	(2)
	Matrice		g/cm ³		
Contenuto in fibra	In peso		%	ISO 11667:1997 (E)	
	In volume		%		
Temperatura di transizione vetrosa			°C		
Temperatura massima di utilizzo			°C		
Conducibilità elettrica			S/m		
Proprietà			Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Modulo di elasticità normale a trazione		200	GPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Resistenza a trazione		2750	MPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Deformazione a rottura a trazione		1,4	%	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Modulo di elasticità normale a compressione			GPa	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a compressione			Mpa	ISO 14126:1999 (E)	
Deformazione a rottura a compressione			%	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a creep			%	ISO 899-1:2003 (E)	
Rilassamento (barre, cavi)					
Aderenza: tensione tangenziale				Prova di pull-out	
NOTE: 1) valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio 2) valore utile per il calcolo della frazione in peso della fibra quando è nota quella in volume e viceversa					
Condizioni di stoccaggio Le LAMELLE si conservano al riparo a tempo illimitato					
Precauzioni d'uso e sicurezza Nella fase applicativa usare guanti di gomma; evitare il contatto della pelle, delle mucose e degli occhi con la resina, in caso di contatto lavare abbondantemente la parte con acqua e sapone neutro. Usare occhiali da lavoro.					
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo La lamina presenta su una delle facce un rivestimento di sabbia al quarzo per consentire l'applicazione di intonaci o rivestimenti protettivi.					

P-2		MBRACE FRP LAMINATE LM (BASSO MODULO)			
Descrizione: Lamina pultrusa in fibra di carbonio prodotta in versione a basso modulo.					
Nome commerciale	MBRACE FRP LAMINATE LM		Immagine non disponibile		
Tipo di fibra	Carbonio				
Tipo di resina	Epossidica				
Tecnologia di produzione	Pultrusione				
Marchiatura	ISO9001				
Altro					
Caratteristiche geometriche e fisiche					
Spessore (lamina)		1,4	mm		
Larghezza		50-100	mm		
Lunghezza			m		
Geometria della sezione					
Area nominale			mm ²		
Perimetro nominale			mm	(1)	
Colore		Nero			
densità	Fibra		g/cm ³	ISO 1183-1:2004 (E) (2)	
	Matrice		g/cm ³		
Contenuto in fibra	In peso		%	ISO 11667:1997 (E)	
	In volume		%		
Temperatura di transizione vetrosa			°C		
Temperatura massima di utilizzo			°C		
Conducibilità elettrica			S/m		
Proprietà					
Modulo di elasticità normale a trazione		165	GPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Resistenza a trazione		3000	MPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Deformazione a rottura a trazione		1,8	%	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Modulo di elasticità normale a compressione			GPa	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a compressione			Mpa	ISO 14126:1999 (E)	
Deformazione a rottura a compressione			%	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a creep			%	ISO 899-1:2003 (E)	
Rilassamento (barre, cavi)					
Aderenza: tensione tangenziale				Prova di pull-out	
NOTE: 1) valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio 2) valore utile per il calcolo della frazione in peso della fibra quando è nota quella in volume e viceversa					
Condizioni di stoccaggio Le LAMELLE si conservano al riparo a tempo illimitato					
Precauzioni d'uso e sicurezza Nella fase applicativa usare guanti di gomma; evitare il contatto della pelle, delle mucose e degli occhi con la resina, in caso di contatto lavare abbondantemente la parte con acqua e sapone neutro. Usare occhiali da lavoro.					
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo La lamina presenta su una delle facce un rivestimento di sabbia al quarzo per consentire l'applicazione di intonaci o rivestimenti protettivi.					

P-3		RUREDIL X LAM 50		
Descrizione: Sistema di rinforzo costituito da una lamina pultrusa in fibra di carbonio, possiede una notevole resistenza, leggerezza e durabilità				
Nome commerciale	RUREDIL X LAM 50	Immagine non disponibile		
Tipo di fibra	Carbonio			
Tipo di resina	Epossidica bicomponente			
Tecnologia di produzione	Pultrusione			
Marchiatura				
Altro				
Caratteristiche geometriche e fisiche				
Spessore (lamina)		1,4	mm	
Larghezza		50	mm	
Lunghezza		n.d.	m	
Geometria della sezione				
Area nominale			mm ²	
Perimetro nominale			mm	(1)
Colore		Nero		
densità	Fibra	1,6	g/cm ³	ISO 1183-1:2004 (E)
	Matrice		g/cm ³	
Contenuto in fibra	In peso		%	ISO 11667:1997 (E)
	In volume		%	
Temperatura di transizione vetrosa			°C	
Temperatura massima di utilizzo			°C	
Conducibilità elettrica			S/m	
Proprietà				
Modulo di elasticità normale a trazione		140	GPa	ISO 527-4,5:1997 (E)
Resistenza a trazione		>=2000	MPa	ISO 527-4,5:1997 (E)
Deformazione a rottura a trazione		1,3	%	ISO 527-4,5:1997 (E)
Modulo di elasticità normale a compressione			GPa	ISO 14126:1999 (E)
Resistenza a compressione			Mpa	ISO 14126:1999 (E)
Deformazione a rottura a compressione			%	ISO 14126:1999 (E)
Resistenza a creep			%	ISO 899-1:2003 (E)
Rilassamento (barre, cavi)				
Aderenza: tensione tangenziale				Prova di pull-out
NOTE: 1) valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio 2) valore utile per il calcolo della frazione in peso della fibra quando è nota quella in volume e viceversa				
Condizioni di stoccaggio Le LAMELLE si conservano al riparo a tempo illimitato				
Precauzioni d'uso e sicurezza Nella fase applicativa usare guanti di gomma; evitare il contatto della pelle, delle mucose e degli occhi con la resina, in caso di contatto lavare abbondantemente la parte con acqua e sapone neutro. Usare occhiali da lavoro.				
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo per applicazioni con lunghezze significative, è opportuno puntellare il rinforzo per favorire l'adesione della lamella al supporto.				

P-4	SIKA CARBODUR-H
------------	------------------------

Descrizione: Lamina pultrusa in fibra di carbonio prodotta in versione a medio modulo di elasticità.

Nome commerciale	SIKA CARBODUR-H	Immagine
Tipo di fibra	Carbonio	non
Tipo di resina	Epossidica bicomponente	disponibile
Tecnologia di produzione	Pultrusione	
Marchiatura	ISO9001	
Altro		

Caratteristiche geometriche e fisiche			Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Spessore (lamina)		1,4	mm		
Larghezza		50	mm		
Lunghezza			m		
Geometria della sezione					
Area nominale			mm ²		
Perimetro nominale			mm		(1)
Colore		Nero			
densità	Fibra	1,6	g/cm ³	ISO 1183-1:2004 (E)	(2)
	Matrice		g/cm ³		
Contenuto in fibra	In peso		%	ISO 11667:1997 (E)	
	In volume		%		
Temperatura di transizione vetrosa			°C		
Temperatura massima di utilizzo			°C		
Conducibilità elettrica			S/m		
Proprietà			Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Modulo di elasticità normale a trazione		>300	GPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Resistenza a trazione		>1300	MPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Deformazione a rottura a trazione		>0,45	%	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Modulo di elasticità normale a compressione			GPa	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a compressione			Mpa	ISO 14126:1999 (E)	
Deformazione a rottura a compressione			%	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a creep			%	ISO 899-1:2003 (E)	
Rilassamento (barre, cavi)					
Aderenza: tensione tangenziale				Prova di pull-out	

NOTE: 1) valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio
2) valore utile per il calcolo della frazione in peso della fibra quando è nota quella in volume e viceversa

Condizioni di stoccaggio Le LAMELLE si conservano al riparo a tempo illimitato

Precauzioni d'uso e sicurezza Nella fase applicativa usare guanti di gomma; evitare il contatto della pelle, delle mucose e degli occhi con la resina, in caso di contatto lavare abbondantemente la parte con acqua e sapone neutro. Usare occhiali da lavoro.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo La lamina presenta su una delle facce un rivestimento di sabbia al quarzo per consentire l'applicazione di intonaci o rivestimenti protettivi.

P-5		SIKA CARBODUR-M			
Descrizione: Lamina pultrusa in fibra di carbonio prodotta in versione a medio modulo di elasticità.					
Nome commerciale	SIKA CARBODUR-M			Immagine non disponibile	
Tipo di fibra	Carbonio				
Tipo di resina	Epossidica bicomponente				
Tecnologia di produzione	Pultrusione				
Marchiatura	ISO9001				
Altro					
Caratteristiche geometriche e fisiche					
			Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Spessore (lamina)		1,2-1,4	mm		
Larghezza		60-120	mm		
Lunghezza			m		
Geometria della sezione					
Area nominale			mm ²		
Perimetro nominale			mm		(1)
Colore		Nero			
densità	Fibra	1,6	g/cm ³	ISO 1183-1:2004 (E)	(2)
	Matrice		g/cm ³		
Contenuto in fibra	In peso		%	ISO 11667:1997 (E)	
	In volume		%		
Temperatura di transizione vetrosa			°C		
Temperatura massima di utilizzo			°C		
Conducibilità elettrica			S/m		
Proprietà					
			Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Modulo di elasticità normale a trazione		>210	GPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Resistenza a trazione		>2400	MPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Deformazione a rottura a trazione		>1,2	%	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Modulo di elasticità normale a compressione			GPa	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a compressione			Mpa	ISO 14126:1999 (E)	
Deformazione a rottura a compressione			%	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a creep			%	ISO 899-1:2003 (E)	
Rilassamento (barre, cavi)					
Aderenza: tensione tangenziale				Prova di pull-out	
NOTE: 1) valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio 2) valore utile per il calcolo della frazione in peso della fibra quando è nota quella in volume e viceversa					
Condizioni di stoccaggio Le LAMELLE si conservano al riparo a tempo illimitato					
Precauzioni d'uso e sicurezza Nella fase applicativa usare guanti di gomma; evitare il contatto della pelle, delle mucose e degli occhi con la resina, in caso di contatto lavare abbondantemente la parte con acqua e sapone neutro. Usare occhiali da lavoro.					
Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo La lamina presenta su una delle facce un rivestimento di sabbia al quarzo per consentire l'applicazione di intonaci o rivestimenti protettivi.					

P-6	SIKA CARBODUR-S
------------	------------------------

Descrizione: Lamina pultrusa in fibra di carbonio prodotta in versione a basso modulo di elasticità.

Nome commerciale	SIKA CARBODUR-S	Immagine
Tipo di fibra	Carbonio	non
Tipo di resina	Epossidica bicomponente	disponibile
Tecnologia di produzione	Pultrusione	
Marchiatura	ISO9001	
Altro		

Caratteristiche geometriche e fisiche			Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Spessore (lamina)		1,2-1,4	mm		
Larghezza		50-150	mm		
Lunghezza			m		
Geometria della sezione					
Area nominale			mm ²		
Perimetro nominale			mm		(1)
Colore		Nero			
densità	Fibra	1,5	g/cm ³	ISO 1183-1:2004 (E)	(2)
	Matrice		g/cm ³		
Contenuto in fibra	In peso		%	ISO 11667:1997 (E)	
	In volume		%		
Temperatura di transizione vetrosa			°C		
Temperatura massima di utilizzo			°C		
Conducibilità elettrica			S/m		
Proprietà			Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Modulo di elasticità normale a trazione		>165	GPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Resistenza a trazione		2750	MPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Deformazione a rottura a trazione		>1,7	%	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Modulo di elasticità normale a compressione			GPa	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a compressione			Mpa	ISO 14126:1999 (E)	
Deformazione a rottura a compressione			%	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a creep			%	ISO 899-1:2003 (E)	
Rilassamento (barre, cavi)					
Aderenza: tensione tangenziale				Prova di pull-out	

NOTE: 1) valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio
2) valore utile per il calcolo della frazione in peso della fibra quando è nota quella in volume e viceversa

Condizioni di stoccaggio Le LAMELLE si conservano al riparo a tempo illimitato

Precauzioni d'uso e sicurezza Nella fase applicativa usare guanti di gomma; evitare il contatto della pelle, delle mucose e degli occhi con la resina, in caso di contatto lavare abbondantemente la parte con acqua e sapone neutro. Usare occhiali da lavoro.

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo La lamina presenta su una delle facce un rivestimento di sabbia al quarzo per consentire l'applicazione di intonaci o rivestimenti protettivi.

P-7	MAXFOR Armoshield LAMELLE CFK 150/2000
------------	---

Descrizione: Le lamelle prefabbricate in CFK sono prodotte con la tecnica della pultrusione. In un processo continuo le fibre vengono immerse nella matrice epossidica, che viene fatta indurire al calore.

Nome commerciale	Armoshield LAMELLE CFK 150/2000	Immagine non disponibile
Tipo di fibra	Carbonio	
Tipo di resina	Epossidica	
Tecnologia di produzione	Pultrusione	
Marchiatura	ISO9001	
Altro		

Caratteristiche geometriche e fisiche		Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Spessore (lamina)	1,2-1,4	mm		
Larghezza	24-120	mm		
Lunghezza	150	m		
Geometria della sezione				
Area nominale		mm ²		
Perimetro nominale		mm		(1)
Colore	Nero			
densità	Fibra	g/cm ³	ISO 1183-1:2004 (E)	(2)
	Matrice	g/cm ³		
Contenuto in fibra	In peso	70	ISO 11667:1997 (E)	
	In volume	%		
Temperatura di transizione vetrosa		°C		
Temperatura massima di utilizzo		°C		
Conducibilità elettrica		S/m		
Proprietà		Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Modulo di elasticità normale a trazione	150	GPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Resistenza a trazione	2500	MPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Deformazione a rottura a trazione	1,2	%	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Modulo di elasticità normale a compressione		GPa	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a compressione		Mpa	ISO 14126:1999 (E)	
Deformazione a rottura a compressione		%	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a creep		%	ISO 899-1:2003 (E)	
Rilassamento (barre, cavi)				
Aderenza: tensione tangenziale			Prova di pull-out	

NOTE: 1) valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio
 2) valore utile per il calcolo della frazione in peso della fibra quando è nota quella in volume e viceversa

Condizioni di stoccaggio Le LAMELLE CFK si conservano al riparo a tempo illimitato

Precauzioni d'uso e sicurezza

Fare riferimento alla scheda tecnica della resina

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo Le principali applicazioni delle lamelle CFK ARMOSHIELD sono nel rinforzo di strutture inflesse, in particolare dei c.a. ammalorati o con insufficiente capacità portante per nuove destinazioni d'uso, modifiche normative, eventi sismici.

P-8	DEGUSSA CC MBAR GALILEO
------------	--------------------------------

Descrizione: barra pultrusa in fibra di carbonio ad aderenza migliorata ottenuta mediante sabbatura e spiratura

Nome commerciale	MBAR GALILEO	Immagine
Tipo di fibra	Carbonio	non
Tipo di resina	Epossidica	disponibile
Tecnologia di produzione	Pultrusione	
Marchiatura		
Altro		

Caratteristiche geometriche e fisiche		Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Spessore (lamina)		mm		
Larghezza		7,5 mm		
Lunghezza		12 m		
Geometria della sezione				
Area nominale		44 mm ²		
Perimetro nominale		mm		(1)
Colore		Grigio		
densità	Fibra	g/cm ³	ISO 1183-1:2004 (E)	(2)
	Matrice	g/cm ³		
Contenuto in fibra	In peso	%	ISO 11667:1997 (E)	
	In volume	%		
Temperatura di transizione vetrosa		149 °C		
Temperatura massima di utilizzo		°C		
Conducibilità elettrica		S/m		
Proprietà		Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Modulo di elasticità normale a trazione		130 GPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Resistenza a trazione		1800 MPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Deformazione a rottura a trazione		1,8 %	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Modulo di elasticità normale a compressione		GPa	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a compressione		Mpa	ISO 14126:1999 (E)	
Deformazione a rottura a compressione		%	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a creep		%	ISO 899-1:2003 (E)	
Rilassamento (barre, cavi)				
Aderenza: tensione tangenziale			Prova di pull-out	

NOTE: 1) valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio
2) valore utile per il calcolo della frazione in peso della fibra quando è nota quella in volume e viceversa

Condizioni di stoccaggio conservare in luogo coperto fresco e asciutto 5°C-30°C lontano da fiamme

Precauzioni d'uso e sicurezza
non disponibili

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Applicare in zona tesa nella tecnica di integrazione delle armature senza aumento di sezione, con l'adesivo epossidico concrevis pasta o con aumento di sezione con malta ad alta resistenza.

P-9	DEGUSSA CC MBAR LEONARDO 8 mm
------------	--------------------------------------

Descrizione: barra pultrusa in fibra di carbonio ad aderenza migliorata ottenuta mediante sabbiatura e spiratura

Nome commerciale	MBAR LEONARDO 8mm	Immagine
Tipo di fibra	Carbonio	non
Tipo di resina	Epossidica	disponibile
Tecnologia di produzione	Pultrusione	
Marchiatura		
Altro	Esiste un modello da 10 mm	

Caratteristiche geometriche e fisiche			Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Spessore (lamina)			mm		
Larghezza		8	mm		
Lunghezza		12	m		
Geometria della sezione					
Area nominale		50,26	mm ²		
Perimetro nominale			mm		(1)
Colore		Grigio			
densità	Fibra		g/cm ³	ISO 1183-1:2004 (E)	(2)
	Matrice		g/cm ³		
Contenuto in fibra	In peso		%	ISO 11667:1997 (E)	
	In volume		%		
Temperatura di transizione vetrosa		149	°C		
Temperatura massima di utilizzo			°C		
Conducibilità elettrica			S/m		
Proprietà			Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Modulo di elasticità normale a trazione		200	GPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Resistenza a trazione		2300	MPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Deformazione a rottura a trazione		1,5	%	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Modulo di elasticità normale a compressione			GPa	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a compressione			Mpa	ISO 14126:1999 (E)	
Deformazione a rottura a compressione			%	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a creep			%	ISO 899-1:2003 (E)	
Rilassamento (barre, cavi)					
Aderenza: tensione tangenziale				Prova di pull-out	

NOTE: 1) valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio
 2) valore utile per il calcolo della frazione in peso della fibra quando è nota quella in volume e viceversa

Condizioni di stoccaggio conservare in luogo coperto fresco e asciutto 5°C-30°C lontano da fiamme

Precauzioni d'uso e sicurezza
 non disponibili

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Applicare in zona tesa nella tecnica di integrazione delle armature senza aumento di sezione, con l'adesivo epossidico concrevisse pasta o con aumento di sezione con malta ad alta resistenza.

P-10	DEGUSSA CC MBAR RAFFAELLO
-------------	----------------------------------

Descrizione: barra pultrusa in fibra aramidica, ad elevata resistenza al calore, non corrodibile, permeabile ai campi magnetici, ader. migl.

Nome commerciale	MBAR RAFFAELLO	Immagine
Tipo di fibra	Aramidica	non
Tipo di resina	Novolacca epossivinilestere	disponibile
Tecnologia di produzione	Pultrusione	
Marchiatura		
Altro		

Caratteristiche geometriche e fisiche		Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Spessore (lamina)		mm		
Larghezza		5,5 mm		
Lunghezza		50 m		
Geometria della sezione				
Area nominale		23 mm ²		
Perimetro nominale		mm		(1)
Colore		Giallo		
densità	Fibra	g/cm ³	ISO 1183-1:2004 (E)	(2)
	Matrice	g/cm ³		
Contenuto in fibra	In peso	%	ISO 11667:1997 (E)	
	In volume	%		
Temperatura di transizione vetrosa		149 °C		
Temperatura massima di utilizzo		°C		
Conducibilità elettrica		S/m		
Proprietà		Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Modulo di elasticità normale a trazione		50 GPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Resistenza a trazione		1200 MPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Deformazione a rottura a trazione		2,8 %	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Modulo di elasticità normale a compressione		GPa	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a compressione		Mpa	ISO 14126:1999 (E)	
Deformazione a rottura a compressione		%	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a creep		%	ISO 899-1:2003 (E)	
Rilassamento (barre, cavi)				
Aderenza: tensione tangenziale			Prova di pull-out	

NOTE: 1) valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio

2) valore utile per il calcolo della frazione in peso della fibra quando è nota quella in volume e viceversa

Condizioni di stoccaggio conservare in luogo coperto fresco e asciutto 5°C-30°C lontano da fiamme

Precauzioni d'uso e sicurezza

non disponibili

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Rinforzo di murature con iniezioni armate e di volte con cappa armata con caratteristiche di non interferenza elettromagnetica

P-11	DEGUSSA CC MBAR JOINT
-------------	------------------------------

Descrizione: barretta pultrusa rettangolare in fibra di carbonio ad aderenza migliorata ottenuta mediante sabbiatura

Nome commerciale	MBAR JOINT	Immagine non disponibile
Tipo di fibra	Carbonio	
Tipo di resina	Epossidica	
Tecnologia di produzione	Pultrusione	
Marchiatura		
Altro		

Caratteristiche geometriche e fisiche		Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Spessore (lamina)		1,5	mm	
Larghezza		5	mm	
Lunghezza			m	
Geometria della sezione				
Area nominale		7,5	mm ²	
Perimetro nominale			mm	(1)
Colore		Grigio		
densità	Fibra		g/cm ³	ISO 1183-1:2004 (E)
	Matrice		g/cm ³	
Contenuto in fibra	In peso		%	ISO 11667:1997 (E)
	In volume		%	
Temperatura di transizione vetrosa		149	°C	
Temperatura massima di utilizzo			°C	
Conducibilità elettrica			S/m	
Proprietà		Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Modulo di elasticità normale a trazione		70	GPa	ISO 527-4,5:1997 (E)
Resistenza a trazione		1300	MPa	ISO 527-4,5:1997 (E)
Deformazione a rottura a trazione		1,8	%	ISO 527-4,5:1997 (E)
Modulo di elasticità normale a compressione			GPa	ISO 14126:1999 (E)
Resistenza a compressione			Mpa	ISO 14126:1999 (E)
Deformazione a rottura a compressione			%	ISO 14126:1999 (E)
Resistenza a creep			%	ISO 899-1:2003 (E)
Rilassamento (barre, cavi)				
Aderenza: tensione tangenziale				Prova di pull-out

NOTE: 1) valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio
 2) valore utile per il calcolo della frazione in peso della fibra quando è nota quella in volume e viceversa

Condizioni di stoccaggio conservare in luogo coperto fresco e asciutto 5°C-30°C lontano da fiamme

Precauzioni d'uso e sicurezza
 non disponibili

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Progettata per il giunto armato, inserire entro il giunto di malta precedentemente tagliato ad una profondità di 2 cm e riempire con resina o malta ad alta resistenza.

P-12	MAPEI CARBOPLATE E 170
-------------	-------------------------------

Descrizione: Riparazione e rinforzo di elementi strutturali e adeguamento antisismico di strutture poste in zona a rischio.

Nome commerciale	CARBOPLATE E 170	Immagine
Tipo di fibra	CARBONIO	non
Tipo di resina	EPOSSIDICA	disponibile
Tecnologia di produzione	PULTRUSIONE	
Marchiatura		
Altro		

Caratteristiche geometriche e fisiche		Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Spessore (lamina)	1,4	mm		
Larghezza	50-100-150	mm		
Lunghezza	25	m		
Geometria della sezione				
Area nominale	70-140-210	mm ²		
Perimetro nominale		mm		(1)
Colore	Nero			
densità	Fibra	g/cm ³	ISO 1183-1:2004 (E)	(2)
	Matrice	g/cm ³		
Contenuto in fibra	In peso	68	ISO 11667:1997 (E)	
	In volume	%		
Temperatura di transizione vetrosa		°C		
Temperatura massima di utilizzo		°C		
Conducibilità elettrica		S/m		
Proprietà		Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Modulo di elasticità normale a trazione	170	GPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Resistenza a trazione	>3100	MPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Deformazione a rottura a trazione	2	%	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Modulo di elasticità normale a compressione		GPa	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a compressione		Mpa	ISO 14126:1999 (E)	
Deformazione a rottura a compressione		%	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a creep		%	ISO 899-1:2003 (E)	
Rilassamento (barre, cavi)				
Aderenza: tensione tangenziale			Prova di pull-out	

NOTE: 1) valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio
2) valore utile per il calcolo della frazione in peso della fibra quando è nota quella in volume e viceversa

Condizioni di stoccaggio conservare in luogo coperto e asciutto

Precauzioni d'uso e sicurezza

Vedi scheda resina

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

La superficie deve essere perfettamente pulita, asciutta, resistente e regolare. Eliminare dal sottofondo, mediante sabbiatura, residui di olio disarmante, vernici o pitture e lattime di cemento.

P-13	MAPEI CARBOPLATE E 250
-------------	-------------------------------

Descrizione: Riparazione e rinforzo di elementi strutturali e adeguamento antisismico di strutture poste in zona a rischio.

Nome commerciale	CARBOPLATE E 250	Immagine
Tipo di fibra	CARBONIO	non
Tipo di resina	EPOSSIDICA	disponibile
Tecnologia di produzione	PULTRUSIONE	
Marchiatura		
Altro		

Caratteristiche geometriche e fisiche			Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Spessore (lamina)		1,4	mm		
Larghezza		50-100-150	mm		
Lunghezza		25	m		
Geometria della sezione					
Area nominale		70-140-210	mm ²		
Perimetro nominale			mm		(1)
Colore		Nero			
densità	Fibra		g/cm ³	ISO 1183-1:2004 (E)	(2)
	Matrice		g/cm ³		
Contenuto in fibra	In peso	65	%	ISO 11667:1997 (E)	
	In volume		%		
Temperatura di transizione vetrosa			°C		
Temperatura massima di utilizzo			°C		
Conducibilità elettrica			S/m		
Proprietà			Unità di misura	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Modulo di elasticità normale a trazione		250	GPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Resistenza a trazione		2500	MPa	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Deformazione a rottura a trazione		2	%	ISO 527-4,5:1997 (E)	
Modulo di elasticità normale a compressione			GPa	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a compressione			Mpa	ISO 14126:1999 (E)	
Deformazione a rottura a compressione			%	ISO 14126:1999 (E)	
Resistenza a creep			%	ISO 899-1:2003 (E)	
Rilassamento (barre, cavi)					
Aderenza: tensione tangenziale				Prova di pull-out	

NOTE: 1) valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio
 2) valore utile per il calcolo della frazione in peso della fibra quando è nota quella in volume e viceversa

Condizioni di stoccaggio conservare in luogo coperto e asciutto

Precauzioni d'uso e sicurezza

Vedi scheda resina

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

La superficie deve essere perfettamente pulita, asciutta, meccanicamente resistente e regolare. Eliminare dal sottofondo, mediante sabbiatura, residui di olio disarmante, vernici o pitture e lattime di cemento.

R-1	MAXFOR ARMOFIX - T	
------------	---------------------------	--

Descrizione bicomponente a base di resine epossidiche con particolari cariche e agenti tixotropici, può essere impiegato quale adesivo e stucco.

Nome commerciale	Armofix-T	Immagine
Tipo (componenti)	Bicomponente	non
Consistenza	Pasta	disponibile
Tipologia di utilizzo	Adesivo e stucco per rasature	
Altro		

Caratteristiche della resina non miscelata		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Colore			grigio		
Viscosità a 25°		Pa*s		ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)	1
Indice di tixotropia				ASTM D2196-99	1
Densità		g/cm ³	1,60	ISO 1675:1985(E)	
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%	50		
	Comp. B	%	50		
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi	12		
	Temperat	°C	>0		
Caratteristiche della resina miscelata					
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	20-30	ISO 10364:1993 E)	2
Tempo di gelo	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)	3
	a 20°C	min		ISO 2523:2001 (E)	
	a 35°C	min		ISO 15040:1999 (E)	
Temperatura minima di applicazione		°C	5		
Picco esotermico	Tempo	min		ISO 12114:1997 (E)	
	Temperat	°C			
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	min		ISO 12114:1997 (E)	
	a 20°C	gg	7		
	a 35°C	min			
Proprietà della resina reticolata	1h/ 70° C		5g/22°C		
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)	
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)	
Temper. Di transizione vetrosa, T _g		°C		ISO11357-2:1999 (E)	
Mod.di elasticità norm. a trazione		GPa	3500	ISO 527:1993 (E)	
Resistenza a trazione		MPa	24	ASTM D 638	
Deformazione a rottura a trazione		%		ISO 527:1993 (E)	

NOTE: 1) resine non tixotropiche viscosimetro di Garner; resine tixotropiche viscosimetro Brookfield

2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti

3) tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel

Condizioni di miscelazione Prelevare i componenti A e B nel rapporto di catalisi e miscelare con la spatola o con trapano a basso numero di giri e idoneo dispersore fino ad ottenere un impasto omogeneo e privo di striature.

Condizioni di applicazione applicato su entrambe le superfici da rendere fra loro solidali e le stesse verranno fatte aderire esercitando una energetica pressione con l'eventuale ausilio di morsetti. Le sbavature ai bordi andranno rimosse immediatamente con stracci ed acqua o acqua ed alcool denaturato.

Condizioni di stoccaggio ARMOFIX T-F si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 12 mesi. Proteggere dal gelo.

Precauzioni d'uso e sicurezza Usare guanti di gomma a manica lunga sia durante il lavoro che la pulizia dei diversi utensili. Evitare il contatto con la pelle, le mucose o gli occhi, in caso di contatto accidentale, lavare abbondantemente la parte imbrattata con acqua e sapone neutro. Lavare bene con acqua e sapone le mani e le braccia, sia prima di lasciare il lavoro che durante le interruzioni per i pasti giornalieri o per andare ai servizi igienici. Astenersi dall'utilizzare qualsiasi tipo di solvente per pulire mani, braccia o altre parti del corpo. Usare occhiali da lavoro neutri infrangibili.

R-2	ARMOFIX F	
------------	------------------	--

Descrizione formulato a base di resine epossidiche appositamente formulato con particolari cariche e agenti tixotropici.

Nome commerciale	ARMOFIX F	Immagine
Tipo (componenti)	Bicomponente	non
Consistenza	fluida	disponibile
Tipologia di utilizzo	Adesivo e iniezioni	
Altro		

Caratteristiche della resina non miscelata		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. Di riferimento	
colore			grigio		
Viscosità a 25°		Pa*s		ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)	1
Indice di tixotropia				ASTM D2196-99	1
Densità		g/cm ³	1,4	ISO 1675:1985(E)	
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%			
	Comp. B	%			
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi	12		
	Temperat	°C	>0		
Caratteristiche della resina miscelata					
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	60	ISO 10364:1993 E)	2
Tempo di gelo	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)	3
	a 20°C	min		ISO 2523:2001 (E)	
	a 35°C	min		ISO 15040:1999 (E)	
Temperatura minima di applicazione		°C	5		
Picco esotermico	Tempo	min		ISO 12114:1997 (E)	
	Temperat	°C			
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	min		ISO 12114:1997 (E)	
	a 20°C	gg	7		
	a 35°C	min			
Proprietà della resina reticolata		1h/ 70° C	5g/22°C		
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)	
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)	
Temper. Di transizione vetrosa, Tg		°C		ISO11357-2:1999 (E)	
Mod.di elasticità norm. A trazione		GPa	3500	ISO 527:1993 (E)	
Resistenza a trazione		MPa	20	ASTM D 638	
Deformazione a rottura a trazione		%	12,6	ISO 527:1993 (E)	

NOTE: 1) resine non tixotropiche viscosimetro di Garner; resine tixotropiche viscosimetro Brookfield

2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti

3)tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel

Condizioni di miscelazione Prelevare i componenti A e B nel rapporto di catalisi e miscelare con la spatola o con trapano a basso numero di giri e idoneo dispersore fino ad ottenere un impasto omogeneo e privo di striature.

Condizioni di applicazione applicato su entrambe le superfici da rendere fra loro solidali e le stesse verranno fatte aderire esercitando una energetica pressione con l'eventuale ausilio di morsetti. Le sbavature ai bordi andranno rimosse immediatamente con stracci ed acqua o acqua ed alcool denaturato.

Condizioni di stoccaggio ARMOFIX T-F si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 12 mesi. Proteggere dal gelo.

Precauzioni d'uso e sicurezza Usare guanti di gomma a manica lunga sia durante il lavoro che la pulizia dei diversi utensili. Evitare il contatto con la pelle, le mucose o gli occhi, in caso di contatto accidentale, lavare abbondantemente la parte imbrattata con acqua e sapone neutro. Lavare bene con acqua e sapone le mani e le braccia, sia prima di lasciare il lavoro che durante le interruzioni per i pasti giornalieri o per andare ai servizi igienici. Astenersi dall'utilizzare qualsiasi tipo di solvente per pulire mani, braccia o altre parti del corpo. Usare occhiali da lavoro neutri infrangibili.

R-3		ARMOFIX I		
Descrizione formulato epossidico con elevate caratteristiche di diffusione e bagnatura del supporto.				
Nome commerciale	ARMOFIX I	Immagine non disponibile		
Tipo (componenti)	Bicomponente			
Consistenza	Fluida			
Tipologia di utilizzo	Adesivo			
Altro				
Caratteristiche della resina non miscelata		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. di riferimento
Colore			giallino	
Viscosità a 25°		Pa*s	4-6	ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)
Indice di tissotropia				ASTM D2196-99
Densità		g/cm ³	1,05	ISO 1675:1985(E)
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%		
	Comp. B	%		
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi	12	
	Temperat	°C	>0	
Caratteristiche della resina miscelata				
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	90	ISO 10364:1993 E
Tempo di gelo	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)
	a 20°C	min		ISO 2523:2001 (E)
	a 35°C	min		ISO 15040:1999 (E)
Temperatura minima di applicazione		°C	10	
Picco esotermico	Tempo	min		
	Temperat	°C		ISO 12114:1997 (E)
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	min		
	a 20°C	gg	7	ISO 12114:1997 (E)
	a 35°C	min		
Proprietà della resina reticolata		1h/ 70° C	5g/22°C	
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)
Temper. Di transizione vetrosa, Tg		°C		ISO11357-2:1999 (E)
Mod.di elasticità norm. a trazione		GPa	2415	ISO 527:1993 (E)
Resistenza a trazione		MPa	61	ASTM D 638
Deformazione a rottura a trazione		%		ISO 527:1993 (E)
NOTE: 1) resine non tissotropiche viscosimetro di Garner; resine tissotropiche viscosimetro Brookfield				
2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti				
3)tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel				
Condizioni di miscelazione Prelevare i componenti A e B nel rapporto di catalisi e miscelare con la spatola o con trapano a basso numero di giri e idoneo dispersore fino ad ottenere un impasto omogeneo e privo di striature.				
Condizioni di applicazione applicato su entrambe le superfici da rendere fra loro solidali e le stesse verranno fatte aderire esercitando una energetica pressione con l'eventuale ausilio di morsetti. Le sbavature ai bordi andranno rimosse immediatamente con stracci ed acqua o acqua ed alcool denaturato.				
Condizioni di stoccaggio ARMOFIX T-F si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 12 mesi. Proteggere dal gelo.				
Precauzioni d'uso e sicurezza Usare guanti di gomma a manica lunga sia durante il lavoro che la pulizia dei diversi utensili. Evitare il contatto con la pelle, le mucose o gli occhi, in caso di contatto accidentale, lavare abbondantemente la parte imbrattata con acqua e sapone neutro. Lavare bene con acqua e sapone le mani e le braccia, sia prima di lasciare il lavoro che durante le interruzioni per i pasti giornalieri o per andare ai servizi igienici. Astenersi dall'utilizzare qualsiasi tipo di solvente per pulire mani, braccia o altre parti del corpo. Usare occhiali da lavoro neutri infrangibili.				

R-4	ARMOFIX MT- MTX
------------	------------------------

Descrizione formulato epossidico per incollaggio strutturale e per confezionamento di malte epossidiche.

Nome commerciale	ARMOFIX MT- MTX	Immagine
Tipo (componenti)	Bicomponente	non
Consistenza	Pastosa	disponibile
Tipologia di utilizzo	Adesivo	
Altro		

Caratteristiche della resina non miscelata		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. di riferimento	
colore			grigio		
Viscosità a 25°		Pa*s	4-6	ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)	1
Indice di tissotropia				ASTM D2196-99	1
Densità		g/cm ³	1,1	ISO 1675:1985(E)	
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%			
	Comp. B	%			
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi			
	Temperat	°C			
Caratteristiche della resina miscelata					
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	25-30	ISO 10364:1993 E)	2
Tempo di gelo	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)	3
	a 20°C	min		ISO 2523:2001 (E)	
	a 35°C	min		ISO 15040:1999 (E)	
Temperatura minima di applicazione		°C	10		
Picco esotermico	Tempo	min		ISO 12114:1997 (E)	
	Temperat	°C			
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	min		ISO 12114:1997 (E)	
	a 20°C	min			
	a 35°C	min			
Proprietà della resina reticolata		1h/ 70° C	5g/22°C		
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)	
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)	
Temper. Di transizione vetrosa, Tg		°C		ISO11357-2:1999 (E)	
Mod.di elasticità norm. a trazione		GPa		ISO 527:1993 (E)	
Resistenza a trazione		MPa	50	ASTM D 638	
Deformazione a rottura a trazione		%		ISO 527:1993 (E)	

NOTE: 1) resine non tissotropiche viscosimetro di Garner; resine tissotropiche viscosimetro Brookfield

2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti

3)tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel

Condizioni di miscelazione Prelevare i componenti A e B nel rapporto di catalisi e miscelare con la spatola o con trapano a basso numero di giri e idoneo dispersore fino ad ottenere un impasto omogeneo e privo di striature.

Condizioni di applicazione applicato su entrambe le superfici da rendere fra loro solidali e le stesse verranno fatte aderire esercitando una energetica pressione con l'eventuale ausilio di morsetti. Le sbavature ai bordi andranno rimosse immediatamente con stracci ed acqua o acqua ed alcool denaturato.

Condizioni di stoccaggio ARMOFIX T-F si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 12 mesi. Proteggere dal gelo.

Precauzioni d'uso e sicurezza Usare guanti di gomma a manica lunga sia durante il lavoro che la pulizia dei diversi utensili. Evitare il contatto con la pelle, le mucose o gli occhi, in caso di contatto accidentale, lavare abbondantemente la parte imbrattata con acqua e sapone neutro. Lavare bene con acqua e sapone le mani e le braccia, sia prima di lasciare il lavoro che durante le interruzioni per i pasti giornalieri o per andare ai servizi igienici. Astenersi dall'utilizzare qualsiasi tipo di solvente per pulire mani, braccia o altre parti del corpo. Usare occhiali da lavoro neutri infrangibili.

R-5		ARMOFIX TS		
Descrizione speciale adesivo strutturale, a base di resine epossidiche con elevate caratteristiche di traspirabilità.				
Nome commerciale	ARMOFIX TS	Immagine non disponibile		
Tipo (componenti)	Tricomponente			
Consistenza	Pastosa			
Tipologia di utilizzo	Stucco			
Altro				
Caratteristiche della resina non miscelata		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. di riferimento
colore			grigio	
Viscosità a 25°		Pa*s		ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)
Indice di tissotropia				ASTM D2196-99
Densità		g/cm ³	1,67	ISO 1675:1985(E)
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%		
	Comp. B	%		
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi		
	Temperat	°C		
Caratteristiche della resina miscelata				
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	90	ISO 10364:1993 E
Tempo di gelo	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)
	a 20°C	min		ISO 2523:2001 (E)
	a 35°C	min		ISO 15040:1999 (E)
Temperatura minima di applicazione		°C	8	
Picco esotermico	Tempo	min		
	Temperat	°C		ISO 12114:1997 (E)
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	min		
	a 20°C	gg	7	ISO 12114:1997 (E)
	a 35°C	min		
Proprietà della resina reticolata		1h/ 70° C	5g/22°C	
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)
Temper. Di transizione vetrosa, Tg		°C		ISO11357-2:1999 (E)
Mod.di elasticità norm. a trazione		GPa	5400	ISO 527:1993 (E)
Resistenza a trazione		MPa	>10	ASTM D 638
Deformazione a rottura a trazione		%		ISO 527:1993 (E)
NOTE: 1) resine non tissotropiche viscosimetro di Garner; resine tissotropiche viscosimetro Brookfield 2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti 3)tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel				
Condizioni di miscelazione Prelevare i componenti A e B nel rapporto di catalisi e miscelare con la spatola o con trapano a basso numero di giri e vapori aggiunto il componente C emescolato fino ad ottenere un impasto .				
Condizioni di applicazione applicato su entrambe le superfici da rendere fra loro solidali e le stesse verranno fatte aderire esercitando una energetica pressione con l'eventuale ausilio di morsetti. Le sbavature ai bordi andranno rimosse immediatamente con stracci ed acqua o acqua ed alcool denaturato.				
Condizioni di stoccaggio ARMOFIX T-F si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 12 mesi. Proteggere dal gelo.				
Precauzioni d'uso e sicurezza Usare guanti di gomma a manica lunga sia durante il lavoro che la pulizia dei diversi utensili. Evitare il contatto con la pelle, le mucose o gli occhi, in caso di contatto accidentale, lavare abbondantemente la parte imbrattata con acqua e sapone neutro. Lavare bene con acqua e sapone le mani e le braccia, sia prima di lasciare il lavoro che durante le interruzioni per i pasti giornalieri o per andare ai servizi igienici. Astenersi dall'utilizzare qualsiasi tipo di solvente per pulire mani, braccia o altre parti del corpo. Usare occhiali da lavoro neutri infrangibili.				

R-6		KIMITECH EP- IN			
Descrizione resina epossidica fluida, a due componenti con adesione a cls, acciaio, legno e materiale lapideo					
Nome commerciale	KIMITECH EP- IN ST5-503		Immagine non disponibile		
Tipo (componenti)	Bicomponente				
Consistenza	Fluida				
Tipologia di utilizzo					
Altro					
Caratteristiche della resina non miscelata		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. di riferimento	
Colore			Trasp.		
Viscosità a 25°		Pa*s	8-10	ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)	1
Indice di tissotropia				ASTM D2196-99	1
Densità		g/cm ³	1,08	ISO 1675:1985(E)	
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%	100		
	Comp. B	%	50		
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi	24		
	Temperat	°C			
Caratteristiche della resina miscelata					
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	20	ISO 10364:1993 E)	2
Tempo di gelo	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)	3
	a 20°C	min		ISO 2523:2001 (E)	
	a 35°C	min		ISO 15040:1999 (E)	
Temperatura minima di applicazione		°C	5		
Picco esotermico	Tempo	min		ISO 12114:1997 (E)	
	Temperat	°C			
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	min		ISO 12114:1997 (E)	
	a 20°C	min			
	a 35°C	min			
Proprietà della resina reticolata		1h/ 70° C	5g/22°C		
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)	
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)	
Temper. Di transizione vetrosa, Tg		°C		ISO11357-2:1999 (E)	
Mod.di elasticità norm. a trazione		GPa	1760	ISO 527:1993 (E)	
Resistenza a trazione		MPa	30,4	ASTM D 638	
Deformazione a rottura a trazione		%		ISO 527:1993 (E)	
NOTE: 1) resine non tissotropiche viscosimetro di Garner; resine tissotropiche viscosimetro Brookfield					
2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti					
3)tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel					
Condizioni di miscelazione Prelevare i componenti A e B nel rapporto di catalisi e miscelare con trapano a basso numero di giri e idoneo dispersore fino ad ottenere un impasto omogeneo e privo di striature.					
Condizioni di applicazione le superfici da trattare devono essere perfettamente asciutte, prive di parti inconsistenti ed esenti da polvere, grasso, vernici ed agenti distaccanti in genere. Il prodotto deve essere maneggiato con cautela, utilizzando le opportune precauzioni.					
Condizioni di stoccaggio si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 24 mesi. Proteggere dal gelo.					
Precauzioni d'uso e sicurezza Usare guanti di gomma a manica lunga sia durante il lavoro che la pulizia dei diversi utensili. Evitare il contatto con la pelle, le mucose o gli occhi, in caso di contatto accidentale, lavare abbondantemente la parte imbrattata con acqua e sapone neutro. Lavare bene con acqua e sapone le mani e le braccia, sia prima di lasciare il lavoro che durante le interruzioni per i pasti giornalieri o per andare ai servizi igienici. Astenersi dall'utilizzare qualsiasi tipo di solvente per pulire mani, braccia o altre parti del corpo. Usare occhiali da lavoro neutri infrangibili.					

R-7		KIMITECH EP- TX		
Descrizione resina epossidica fluida, a due componenti con adesione a cls, acciaio, legno e materiale lapideo				
Nome commerciale	KIMITECH EP- IN ST5-503		Immagine	
Tipo (componenti)	Bicomponente		non	
Consistenza	Pastosa tixotropica		disponibile	
Tipologia di utilizzo				
Altro				
Caratteristiche della resina non miscelata		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. di riferimento
Colore			grigio	
Viscosità a 25°		Pa*s	8-10	ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)
Indice di tixotropia				ASTM D2196-99
Densità		g/cm ³	1,08	ISO 1675:1985(E)
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%	100	
	Comp. B	%	100	
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi	24	
	Temperat	°C		
Caratteristiche della resina miscelata				
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	20	ISO 10364:1993 E)
Tempo di gelo	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)
	a 20°C	min		ISO 2523:2001 (E)
	a 35°C	min		ISO 15040:1999 (E)
Temperatura minima di applicazione		°C	5	
Picco esotermico	Tempo	min		ISO 12114:1997 (E)
	Temperat	°C		
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	min		
	a 20°C	min		ISO 12114:1997 (E)
	a 35°C	min		
Proprietà della resina reticolata		1h/ 70° C	5g/22°C	
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)
Temper. Di transizione vetrosa, Tg		°C		ISO 11357-2:1999 (E)
Mod.di elasticità norm. a trazione		GPa		ISO 527:1993 (E)
Resistenza a flessione		MPa	56	ASTM D 790
Deformazione a rottura a trazione		%		ISO 527:1993 (E)
NOTE: 1) resine non tixotropiche viscosimetro di Garner; resine tixotropiche viscosimetro Brookfield				
2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti				
3) tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel				
Condizioni di miscelazione Prelevare i componenti A e B nel rapporto di catalisi e miscelare con trapano a basso numero di giri e idoneo dispersore fino ad ottenere un impasto omogeneo e privo di striature.				
Condizioni di applicazione le superfici da trattare devono essere perfettamente asciutte, prive di parti inconsistenti ed esenti da polvere, grasso, vernici ed agenti distaccanti in genere. Il prodotto deve essere maneggiato con cautela, utilizzando le opportune precauzioni.				
Condizioni di stoccaggio si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 24 mesi. Proteggere dal gelo.				
Precauzioni d'uso e sicurezza Usare guanti di gomma a manica lunga sia durante il lavoro che la pulizia dei diversi utensili. Evitare il contatto con la pelle, le mucose o gli occhi, in caso di contatto accidentale, lavare abbondantemente la parte imbrattata con acqua e sapone neutro. Lavare bene con acqua e sapone le mani e le braccia, sia prima di lasciare il lavoro che durante le interruzioni per i pasti giornalieri o per andare ai servizi igienici. Astenersi dall'utilizzare qualsiasi tipo di solvente per pulire mani, braccia o altre parti del corpo. Usare occhiali da lavoro neutri infrangibili.				

R-8		SIKADUR-300		
Descrizione resina epossidica bicomponente per impregnare i tessuti SikaWrap secondo il sistema ad umido.				
Nome commerciale	SIKADUR-300		Immagine non disponibile	
Tipo (componenti)	Bicomponente			
Consistenza	Pasta			
Tipologia di utilizzo				
Altro				
Caratteristiche della resina non miscelata		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. di riferimento
colore			giallo	
Viscosità a 25°		Pa*s		ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)
Indice di tissotropia				ASTM D2196-99
Densità		g/cm ³	1,16	ISO 1675:1985(E)
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%		
	Comp. B	%		
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi	24	
	Temperat	°C	5-35	
Caratteristiche della resina miscelata				
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	240	ISO 10364:1993 E)
Tempo di gelo	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)
	a 20°C	min	840	ISO 2523:2001 (E)
	a 35°C	min		ISO 15040:1999 (E)
Temperatura minima di applicazione		°C	10	
Picco esotermico	Tempo	min		ISO 12114:1997 (E)
	Temperat	°C		
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	min		ISO 12114:1997 (E)
	a 20°C	min		
	a 35°C	min		
Proprietà della resina reticolata				
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)
Temper. Di transizione vetrosa, Tg		°C	51	ISO11357-2:1999 (E)
Mod.di elasticità norm. a trazione		N/mm2	3400	ISO 527:1993 (E)
Resistenza a trazione		N/mm2	68	ASTM D 638
Deformazione a rottura a trazione		%	3,1	ISO 527:1993 (E)
NOTE: 1) resine non tissotropiche viscosimetro di Garner; resine tissotropiche viscosimetro Brookfield				
2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti				
3)tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel				
Condizioni di miscelazione Aggiungere il componente B al componente A. È utile impiegare la spatola speciale della Sika per lo svuotamento completo del secchio. Miscelare con un miscelatore a basso numero di giri.				
Condizioni di applicazione Inserimento del tessuto confezionato nello strato di resina applicato, nella direzione voluta. Pressare il tessuto con cura nella resina a mezzo del rullo d'impregnazione Sika, fino a quando la resina fuoriesce dai fasci di fibre.				
Condizioni di stoccaggio si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 24 mesi. Proteggere dal gelo.				
Precauzioni d'uso e sicurezza Usare guanti di gomma a manica lunga sia durante il lavoro che la pulizia dei diversi utensili. Evitare il contatto con la pelle, le mucose o gli occhi, in caso di contatto accidentale, lavare abbondantemente la parte imbrattata con acqua e sapone neutro. Lavare a fondo le mani e le zone cutanee con acqua calda e sapone. Pulire subito tutti gli attrezzi con Colma Pulitore. La resina Sikadur 330 indurita può essere asportata soltanto meccanicamente.				

R-9		SIKADUR- 330		
Descrizione resina liquida per iniezioni a due componenti, esente da solventi, a base di resine epossidiche				
Nome commerciale	SIKADUR-330		Immagine	
Tipo (componenti)	Bicomponente		non	
Consistenza	Fluida		disponibile	
Tipologia di utilizzo				
Altro				
Caratteristiche della resina non miscelata		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. di riferimento
colore			Grigio	
Viscosità a 25°		Pa*s	Pastoso	ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E) 1
Indice di tissotropia				ASTM D2196-99 1
Densità		g/cm ³	1,31	ISO 1675:1985(E)
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%	80	
	Comp. B	%	20	
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi	24	
	Temperat	°C		
Caratteristiche della resina miscelata				
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	30	ISO 10364:1993 E) 2
Tempo di gelo	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)
	a 20°C	min		ISO 2523:2001 (E)
	a 35°C	min		ISO 15040:1999 (E)
Temperatura minima di applicazione		°C	10	
Picco esotermico	Tempo	min		ISO 12114:1997 (E)
	Temperat	°C		
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	min		ISO 12114:1997 (E)
	a 20°C	min		
	a 35°C	min		
Proprietà della resina reticolata		1h/ 70° C	5g/22°C	
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)
Temper. Di transizione vetrosa, T _g		°C		ISO 11357-2:1999 (E)
Mod.di elasticità norm. a trazione		N/mm2	3800	ISO 527:1993 (E)
Resistenza a trazione		N/mm2	30	ASTM D 638
Deformazione a rottura a trazione		%		ISO 527:1993 (E)
NOTE: 1) resine non tissotropiche viscosimetro di Garner; resine tissotropiche viscosimetro Brookfield				
2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti				
3) tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel				
Condizioni di miscelazione Aggiungere il componente B al componente A. È utile impiegare la spatola speciale della Sika per lo svuotamento completo del secchio. Miscelare con un miscelatore a basso numero di giri.				
Condizioni di applicazione Inserimento del tessuto confezionato nello strato di resina applicato, nella direzione voluta. Pressare il tessuto con cura nella resina a mezzo del rullo d'impregnazione Sika, fino a quando la resina fuoriesce dai fasci di fibre.				
Condizioni di stoccaggio si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 24 mesi. Proteggere dal gelo.				
Precauzioni d'uso e sicurezza Usare guanti di gomma a manica lunga sia durante il lavoro che la pulizia dei diversi utensili. Evitare il contatto con la pelle, le mucose o gli occhi, in caso di contatto accidentale, lavare abbondantemente la parte imbrattata con acqua e sapone neutro. Lavare a fondo le mani e le zone cutanee con acqua calda e sapone. Pulire subito tutti gli attrezzi con Colma Pulitore. La resina Sikadur 330 indurita può essere asportata soltanto meccanicamente.				

R-10	SIKADUR- 50		
Descrizione resina liquida per iniezioni a due componenti, esente da solventi, a base di resine epossidiche			
Nome commerciale	SIKADUR-50		Immagine non disponibile
Tipo (componenti)	Bicomponente		
Consistenza	Fluida		
Tipologia di utilizzo			
Altro			
Caratteristiche della resina non miscelata			
colore		miscela	rosso
Viscosità a 25°		Pa*s	290
Indice di tissotropia			ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)
Densità		g/cm ³	1,1
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%	100
	Comp. B	%	50
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi	
	Temperat	°C	
Caratteristiche della resina miscelata			
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	ISO 10364:1993 E)
Tempo di gelo	a 5°C	min	ISO 9396:1997 (E)
	a 20°C	min	ISO 2523:2001 (E)
	a 35°C	min	ISO 15040:1999 (E)
Temperatura minima di applicazione		°C	
Picco esotermico	Tempo	min	
	Temperat	°C	ISO 12114:1997 (E)
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	min	
	a 20°C	min	ISO 12114:1997 (E)
	a 35°C	min	
Proprietà della resina reticolata	1h/ 70° C		5g/22°C
Ritiro volumetrico			ISO 12114:1997 (E)
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹	ISO 11359-2:1999(E)
Temper. Di transizione vetrosa, Tg		°C	51
Mod.di elasticità norm. a trazione		N/mm2	1060
Resistenza a trazione		N/mm2	25
Deformazione a rottura a trazione		%	ASTM D 638
			ISO 527:1993 (E)
NOTE: 1) resine non tissotropiche viscosimetro di Garner; resine tissotropiche viscosimetro Brookfield 2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti 3)tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel			
Condizioni di miscelazione Aggiungere il componente B al componente A. È utile impiegare la spatola speciale della Sika per lo svuotamento completo del secchio. Miscelare con un miscelatore a basso numero di giri.			
Condizioni di applicazione Inserimento del tessuto confezionato nello strato di resina applicato, nella direzione voluta. Pressare il tessuto con cura nella resina a mezzo del rullo d'impregnazione Sika, fino a quando la resina fuoriesce dai fasci di fibre.			
Condizioni di stoccaggio si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 24 mesi. Proteggere dal gelo.			
Precauzioni d'uso e sicurezza Usare guanti di gomma a manica lunga sia durante il lavoro che la pulizia dei diversi utensili. Evitare il contatto con la pelle, le mucose o gli occhi, in caso di contatto accidentale, lavare abbondantemente la parte imbrattata con acqua e sapone neutro. Lavare a fondo le mani e le zone cutanee con acqua calda e sapone. Pulire subito tutti gli attrezzi con Colma Pulitore. La resina Sikadur 330 indurita può essere asportata soltanto meccanicamente.			

R-11		MAPEI EPOJET		
Descrizione resina liquida per iniezioni a due componenti, esente da solventi, a base di resine epossidiche				
Nome commerciale	EPOJET			Immagine non disponibile
Tipo (componenti)	Bicomponente			
Consistenza	LIQUIDO			
Tipologia di utilizzo	INIEZIONE			
Altro				
Caratteristiche della resina non miscelata				
colore		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. di riferimento
Viscosità a 25°		mPa*s	380	ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)
Indice di tissotropia				ASTM D2196-99
Densità		g/cm ³	1,15	ISO 1675:1985(E)
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%	80	
	Comp. B	%	20	
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi	24	
	Temperat	°C	5-30	
Caratteristiche della resina miscelata				
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	40	ISO 10364:1993 E)
	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)
	a 20°C	min	50	ISO 2523:2001 (E)
Tempo di gelo	a 20°C	min	50	ISO 2523:2001 (E)
	a 35°C	min	30	ISO 15040:1999 (E)
Temperatura minima di applicazione		°C	5	
Picco esotermico	Tempo	min		ISO 12114:1997 (E)
	Temperat	°C		
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	Gg		
	a 20°C	Gg	7	ISO 12114:1997 (E)
	a 35°C	Gg		
Proprietà della resina reticolata		1h/ 70° C	5g/22°C	
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)
Temper. Di transizione vetrosa, Tg		°C	51	ISO 11357-2:1999 (E)
Mod.di elasticità norm. a trazione		N/mm2	4000	ISO 527:1993 (E)
Resistenza a trazione		N/mm2	50	ASTM D 638
Deformazione a rottura a trazione		%		ISO 527:1993 (E)
NOTE: 1) resine non tissotropiche viscosimetro di Garner; resine tissotropiche viscosimetro Brookfield				
2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti				
3) tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel				
Condizioni di miscelazione Aggiungere il componente B al componente A. Miscelare con un miscelatore a basso numero di giri.				
Condizioni di applicazione Applicare con spatola sulle superfici da trattare dopo l'applicazione del primer, far penetrare molto bene nelle zone particolarmente irregolari.				
Condizioni di stoccaggio si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 24 mesi. Proteggere dal gelo.				
Precauzioni d'uso e sicurezza i componenti sono irritanti per contatto diretto con occhi e pelle. I componenti B contengono una sostanza fortemente caustica e nociva per inalazione o ingestione. Usare guanti di gomma e nel caso lavare la pelle con abbondante sapone, evitare l'inalazione di vapori.				

R-12	MAPEI ADESILEX PG1/PG2	
-------------	-------------------------------	--

Descrizione resina liquida per iniezioni a due componenti, esente da solventi, a base di resine epossidiche

Nome commerciale	ADESILEX PG1/PG2	Immagine
Tipo (componenti)	Bicomponente	non
Consistenza	PASTA DENSA	disponibile
Tipologia di utilizzo	INCOLLAGGIO	
Altro		

Caratteristiche della resina non miscelata		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. di riferimento	
colore			Grigio		
Viscosità a 25°		mPa*s	500	ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)	1
Indice di tissotropia				ASTM D2196-99	1
Densità		g/cm ³	1,55	ISO 1675:1985(E)	
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%	75		
	Comp. B	%	25		
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi	24		
	Temperat	°C	5-30		
Caratteristiche della resina miscelata					
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	40/60	ISO 10364:1993 E)	2
Tempo di gelo	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)	3
	a 20°C	min	180/300	ISO 2523:2001 (E)	
	a 35°C	min	90/150	ISO 15040:1999 (E)	
Temperatura minima di applicazione		°C	5/10		
Picco esotermico	Tempo	min		ISO 12114:1997 (E)	
	Temperat	°C			
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	Gg		ISO 12114:1997 (E)	
	a 20°C	Gg	7		
	a 35°C	Gg			
Proprietà della resina reticolata		1h/ 70° C	5g/22°C		
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)	
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)	
Temper. Di transizione vetrosa, Tg		°C	51	ISO11357-2:1999 (E)	
Mod.di elasticità norm. a trazione		N/mm2	4000	ISO 527:1993 (E)	
Resistenza a trazione		N/mm2	30	ASTM D 638	
Deformazione a rottura a trazione		%		ISO 527:1993 (E)	

NOTE: 1) resine non tissotropiche viscosimetro di Garner; resine tissotropiche viscosimetro Brookfield
 2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti
 3)tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel

Condizioni di miscelazione Aggiungere il componente B al componente A. Miscelare con un miscelatore a basso numero di giri.

Condizioni di applicazione Applicare con spatola sulle superfici da trattare dopo l'applicazione del primer, far penetrare molto bene nelle zone particolarmente irregolari.

Condizioni di stoccaggio si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 24 mesi. Proteggere dal gelo.

Precauzioni d'uso e sicurezza i componenti sono irritanti per contatto diretto con occhi e pelle. I componenti B contengono una sostanza fortemente caustica e nociva per inalazione o ingestione. Usare guanti di gomma e nel caso lavare la pelle con abbondante sapone, evitare l'inalazione di vapori.

R-13		MAPEI MAPEWRAP 11/12		
Descrizione stucco epossidico a consistenza tissotropica per regolarizzazione di superfici				
Nome commerciale	MAPEWRAP 11/12			Immagine non disponibile
Tipo (componenti)	Bicomponente			
Consistenza	PASTA TISSOTROPICA			
Tipologia di utilizzo	RASATURA			
Altro				
Caratteristiche della resina non miscelata				
Colore		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. di riferimento
Viscosità a 25°		mPa*s	500	ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)
Indice di tissotropia				ASTM D2196-99
Densità		g/cm ³	1,55	ISO 1675:1985(E)
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%	75	
	Comp. B	%	25	
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi	24	
	Temperat	°C	5-30	
Caratteristiche della resina miscelata				
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	40/60	ISO 10364:1993 E)
Tempo di gelo	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)
	a 20°C	min		ISO 2523:2001 (E)
	a 35°C	min		ISO 15040:1999 (E)
Temperatura minima di applicazione		°C	5/10	
Picco esotermico	Tempo	min		ISO 12114:1997 (E)
	Temperat	°C		
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	Gg		
	a 20°C	Gg	7	ISO 12114:1997 (E)
	a 35°C	Gg		
Proprietà della resina reticolata	1h/ 70° C		5g/22°C	
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)
Temper. Di transizione vetrosa, T _g		°C		ISO 11357-2:1999 (E)
Mod.di elasticità norm. a trazione		N/mm ²	4000	ISO 527:1993 (E)
Resistenza a trazione		N/mm ²	30	ASTM D 638
Deformazione a rottura a trazione		%		ISO 527:1993 (E)
NOTE: 1) resine non tissotropiche viscosimetro di Garner; resine tissotropiche viscosimetro Brookfield 2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti 3) tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel				
Condizioni di miscelazione Aggiungere il componente B al componente A. Miscelare con un miscelatore a basso numero di giri.				
Condizioni di applicazione Applicare con spatola sulle superfici da trattare dopo l'applicazione del primer, far penetrare molto bene nelle zone particolarmente irregolari.				
Condizioni di stoccaggio si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 24 mesi. Proteggere dal gelo.				
Precauzioni d'uso e sicurezza i componenti sono irritanti per contatto diretto con occhi e pelle. I componenti B contengono una sostanza fortemente caustica e nociva per inalazione o ingestione. Usare guanti di gomma e nel caso lavare la pelle con abbondante sapone, evitare l'inalazione di vapori.				

R-14		MAPEI MAPEWRAP 21		
Descrizione resina epossidica superfluida per l'impregnazione dei sistemi a umido mapewrap				
Nome commerciale	MAPEWRAP 21			Immagine non disponibile
Tipo (componenti)	Bicomponente			
Consistenza	Liquido			
Tipologia di utilizzo	Impregnazione			
Altro				
Caratteristiche della resina non miscelata				
Colore		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. di riferimento
Viscosità a 25°		mPa*s	Giallo 300	ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)
Indice di tissotropia				ASTM D2196-99
Densità		g/cm ³	1,1	ISO 1675:1985(E)
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%	80	
	Comp. B	%	20	
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi	24	
	Temperat	°C	5-30	
Caratteristiche della resina miscelata				
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	40	ISO 10364:1993 E)
Tempo di gelo	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)
	a 20°C	min	50	ISO 2523:2001 (E)
	a 35°C	min		ISO 15040:1999 (E)
Temperatura minima di applicazione		°C	10	
Picco esotermico	Tempo	min		ISO 12114:1997 (E)
	Temperat	°C		
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	Gg		ISO 12114:1997 (E)
	a 20°C	Gg		
	a 35°C	Gg		
Proprietà della resina reticolata	1h/ 70° C		5g/22°C	
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)
Temper. Di transizione vetrosa, Tg		°C		ISO11357-2:1999 (E)
Mod.di elasticità norm. a trazione		N/mm2	2000	ISO 527:1993 (E)
Resistenza a trazione		N/mm2	55	ASTM D 638
Deformazione a rottura a trazione		%		ISO 527:1993 (E)
NOTE: 1) resine non tissotropiche viscosimetro di Garner; resine tissotropiche viscosimetro Brookfield 2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti 3)tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel				
Condizioni di miscelazione Aggiungere il componente B al componente A. Miscelare con un miscelatore a basso numero di giri.				
Condizioni di applicazione Applicare con spatola sulle superfici da trattare dopo l'applicazione del primer, far penetrare molto bene nelle zone particolarmente irregolari.				
Condizioni di stoccaggio si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 24 mesi. Proteggere dal gelo.				
Precauzioni d'uso e sicurezza i componenti sono irritanti per contatto diretto con occhi e pelle. I componenti B contengono una sostanza fortemente caustica e nociva per inalazione o ingestione. Usare guanti di gomma e nel caso lavare la pelle con abbondante sapone, evitare l'inalazione di vapori.				

R-15		MAPEI MAPEWRAP 31		
Descrizione adesivo epossidico di media viscosità per l'impregnazione con sistema a secco dei tessuti mapewrap				
Nome commerciale	MAPEWRAP 31		Immagine	
Tipo (componenti)	Bicomponente		non	
Consistenza	Pasta gelatinosa		disponibile	
Tipologia di utilizzo	Impregnazione			
Altro				
Caratteristiche della resina non miscelata		Unità di misura	miscela	Metodo di prova e norm. di riferimento
Colore			Giallo	
Viscosità a 25°		mPa*s	7000	ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)
Indice di tissotropia				ASTM D2196-99
Densità		g/cm ³	1,1	ISO 1675:1985(E)
Rapporto di miscelazione	Comp. A	%	80	
	Comp. B	%	20	
Condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	Tempo	mesi	24	
	Temperat	°C	5-30	
Caratteristiche della resina miscelata				
Tempo di lavorabilità (20 °C)		min	40	ISO 10364:1993 E)
Tempo di gelo	a 5°C	min		ISO 9396:1997 (E)
	a 20°C	min	50	ISO 2523:2001 (E)
	a 35°C	min		ISO 15040:1999 (E)
Temperatura minima di applicazione		°C	10	
Picco esotermico	Tempo	min		ISO 12114:1997 (E)
	Temperat	°C		
Tempo di completa reticolazione (full care)	a 5°C	Gg		ISO 12114:1997 (E)
	a 20°C	Gg		
	a 35°C	Gg		
Proprietà della resina reticolata		1h/ 70° C	5g/22°C	
Ritiro volumetrico				ISO 12114:1997 (E)
Coefficiente di dilatazione termica		10 ⁻⁶ °C ⁻¹		ISO 11359-2:1999(E)
Temper. Di transizione vetrosa, T _g		°C		ISO 11357-2:1999 (E)
Mod.di elasticità norm. a trazione		N/mm ²	3000	ISO 527:1993 (E)
Resistenza a trazione		N/mm ²	40	ASTM D 638
Deformazione a rottura a trazione		%		ISO 527:1993 (E)
NOTE: 1) resine non tissotropiche viscosimetro di Garner; resine tissotropiche viscosimetro Brookfield				
2) tempo di lavorabilità (Pot life o working life)= tempo massimo dopo la miscelazione dei reagenti				
3) tempo necessario affinché il prodotto passi, dopo la miscelazione, dallo stato liquido a quello di gel				
Condizioni di miscelazione Aggiungere il componente B al componente A. Miscelare con un miscelatore a basso numero di giri.				
Condizioni di applicazione Applicare con spatola sulle superfici da trattare dopo l'applicazione del primer, far penetrare molto bene nelle zone particolarmente irregolari.				
Condizioni di stoccaggio si conserva negli imballi originali sigillati ed in ambiente asciutto e riscaldato per almeno 24 mesi. Proteggere dal gelo.				
Precauzioni d'uso e sicurezza i componenti sono irritanti per contatto diretto con occhi e pelle. I componenti B contengono una sostanza fortemente caustica e nociva per inalazione o ingestione. Usare guanti di gomma e nel caso lavare la pelle con abbondante sapone, evitare l'inalazione di vapori.				

TABELLA COMPARATIVA DEI PRODOTTI IN COMMERCIO: RINFORZI										
Denominazione commerciale	Tipologia di fibre			Densità fibre [g/cm ³]	Modulo Elastico [GPa]	Resist. a trazione [MPa]	Allung. a rottura [%]	larghezza [cm]	spessore [mm]	Codice scheda
ARMOSHIELD - B	N/T	C	B	1,8	235	3530	1,5	5 - 100	0,11 - 21	T23
ARMOSHIELD - U	N/T	C	U	1,8	235	3530	1,5	5 - 100	0,18 - 28	T22
ARMOSHIELD BIAS + - 45°T	N/T	C	B	1,8	235	3530	1,5	5 - 100	0,12 - 16	T24
ARMOSHIELD LAMELLE	L	C	U	1,8	150	2500	1,2	2,4-12	1,2-1,4	P7
BETONTEX BIAX	T	C	U	1,8	240	4800	2	50	n.d.	T45
BETONTEX GK310 U - HT	N/T	C/A	B	1,62	171	3800	2,5 - 3	20 - 100	0,169	T41
BETONTEX GV330 U-HT	N/T	C	U	1,8	240	4800	2	20 -100	0,177	T43
BETONTEX PVA220 U - HT	N/T	Pva	U	1,3	29	1400	6	20 - 100	0,153	T44
BETONTEX VV320 U - HT	N/T	V	U	3,5	73	2000	3,5	20 - 100	0,12	T42
BETONTEX WIRE RC225	R	C	U	1,78	240	4800	1,5 - 2	50 - 100	n.d.	T45
CARBOFLEX GB 800	T	V	B	2,56	74	3400	4,5	127	0,156	T26
CARBOFLEX UD 600	N/T	C	U	1,79	240	4500	1,5	20 - 100	0,34	T27
CARBOFLEX UD 800	N	C	U	1,79	240	4500	1,5	20	0,449	T28
CARBOFLEX UD 800 AR	N	A	U	1,44	99	2930	2,9	20	0,559	T29
CARBORTRU UD HR400	N	C	B	1,79	235	4200	1,75	7-10-20	0,22	T8
CARBOSTRU BD HR400	N	C	B	1,79	235	4200	1,75	7-10-20	0,11	T7
CARBOSTRU UD HM300	N/T	C	U	1,79	390	3000	0,8	10-15-25	0,16	T10
CARBOSTRU UD HM400	N/T	C	U	1,79	390	3000	0,8	10-15-25	0,23	T11
CARBOSTRU UD HR800	N	C	B	1,79	235	4200	1,75	7-10-20	0,44	T9
DEGUSSA MBAR GALILEO	B	C	U		130	1800	1,8		44***	P8
DEGUSSA MBAR JOINT	B	C	U		70	1300	1,8		7,5***	P11
DEGUSSA MBAR LEONARDO	B	C	U		200	2300	1,5		50,26***	P9
DEGUSSA MBAR RAFFAELLO	B	A	U		50	1200	2,8		23***	P10
ECT CONCRETEx C160 U-HT	T	C	U	1,8	240	2800	2		0,078	T22
ECT CONCRETEx C220 U-HT	T	C	U	1,8	240	4000	2		0,111	T21
ECT CONCRETEx C320 U-HT	T	C	U	1,8	240	6400	2		0,177	T20
KIMITECH CB 1200	T	C	U	1,8±0,1	230	4510	1,9± 0,1	100	0,64	T47
KIMITECH CB 320	N/T	C	U	1,8±0,1	230	4510	1,9 ±0,1	20 - 50	0,174	T46
KIMITECH LP 300	T	V	B	2,6±0,1	71	2,9	4,5±0,5	100	0,058	T48
KIMITECH LP 800	T	V	B	2,6±0,1	71	2,9	4,5 ±0,5	100	0,156	T49
KIMITECH ST 160	T	C	B	1,8±0,1	230	3850	1,7 ±0,1	100	0,045	T50
KIMITECH VR 300	N/T	V	U	2,6±0,1	71	2900	4,5 ± 0,5	20 - 50	0,114	T51
MAPEI CARBOPLATE E170	L	C	U		170	3100	2	5-10-15	1,4	P12
MAPEI CARBOPLATE E250	L	C	U		250	2500	2	5-10-15	1,4	P13
MAPEI MATEWRAP C UNI-AX	N/T	C	U	1,8	230	4830	2	10-20-40	0,166/0,333	T1
MAPEI MATEWRAP C UNI-AX HM	N/T	C	U	1,82	390	4410	1,1	10-20-40	0,164/0,329	T2
MAPEWRAP C BI-AX	N/T	C	B	1,79	230	4800	2,1	20-40	0,064-0,1	T3

Denominazione commerciale	Tipologia di fibre			Densità fibre [g/cm ³]	Modulo Elastico [GPa]	Resist. a trazione [MPa]	Allung. a Rottura [%]	larghezza [cm]	spessore [mm]	Codice scheda
MAPEWRAP C QUADRI-AX	N/T	C	M	1,79	230	4800	2,1	20-40	0,064-0,1	T4
MAPEWRAP G QUADRI-AX	T	V	M	2,62	73	2600	3,5	30-60	1,096	T6
MAPEWRAP G UNI-AX	T	V	U	2,62	80,7	2560	3,5	30-60	0,48	T5
MBRACE FIB G - 55 AR	T	V	B	2,6	65	1700	2,8	100	0,115**	T33
MBRACE FIB G - 73 AR	T	V	B	2,6	65	1700	2,8	100	0,161**	T35
MBRACE FIBRE ARAMIDE	T	A	U	1,44	105	2900	2	50	0,214	T36
MBRACE FIBRE C 1-30	T	C	U	1,82	230	3430	1,5	50	0,165	T30
MBRACE FIBRE C 5-30	T	C	U	1,82	390	3000	0,8	50	0,165	T31
MBRACE FIBRE C 8-30	T	C	U	2,1	640	1900	0,3	50	0,143	T32
MBRACE FIBRE C1 - 30	T	C	U	1,82	230	3430	1,5	50	0,165**	T30
MBRACE FIBRE C5 - 30	T	C	U	1,82	390	3000	0,8	50	0,165**	T31
MBRACE FIBRE C8 - 30	T	C	U	2,1	640	1900	0,3	50	0,143**	T32
MBRACE FIBRE G 55-AR	T	V	B	2,6	65	1700	2,8	100	0,115	T33
MBRACE FIBRE G 60-AR	T	V	U	2,6	65	1700	2,8	50	0,23	T34
MBRACE FIBRE G 73-AR	T	V	B	2,6	65	1700	2,8	100	0,161	T35
MBRACE LAM (HM)	L	C	U	n.d.	200	2750	1,4	5 - 10	1,4	P1
MBRACE LAM (LM)	L	C	U	n.d.	165	3000	1,8	5 - 10	1,4	P2
RUREDIL REPLARK 20	L	C	U	n.d.	230	≥ 3400	≥ 1,30	25	0,167*	T37
RUREDIL X FAB KC50	T	C/A	B	n.d.	168	n.d.	n.d.	50	0,112*	T38
RUREDIL X LAM 50	L	C	U	1,6	140	≥ 2000	1,3	5	1,4	P3
RUREDIL X MESH C 10	R	C	B	n.d.	240	n.d.	n.d.	100	0,047	T39
SACEN MULTITEX CQX 386	T	C	M	1,44	240	3150	2	127		T14
SACEN MULTITEX KQX 230	T	A	M	1,44	115	3150	2,6	127		T12
SACEN MULTITEX KQX 360	T	A	M	1,44	118	3150	2,3	127		T13
SACEN UNIQ 300	N	H	B	1,8	240	4810	2	20/35		T15
SACEN UNIQ 336	N/T	C	U+U	1,44	105	3000	2,8	VAR		T17
SACEN UNIQ 344	T	A	U	1,44	99	2835	2,8	VAR		T18
SACEN UNIQ 385	T	A	B	1,44	110	3127	2,8	VAR		T19
SACEN UNIQ 800	T	H	B	1,8	240	4810	2	127		T16
SIKA CARBODUR - H	L	C	U	1,6	> 300	> 1300	> 0,45	5	1,4	P4
SIKA CARBODUR - M	L	C	U	1,6	> 210	> 2400	> 1,20	6 - 12	1,4	P5
SIKA CARBODUR - S	L	C	U	1,5	> 165	> 2800	> 1,7	5 - 15	1,2 - 1,4	P6
SIKAWRAP 160 C	T	C	B	1,77	238	3950	1,55	60	0,1	T52
SIKAWRAP HEX 230 C	T	C	U	1,77	230	3500	1,5	60	0,13	T53

<p>LEGENDA TIPOLOGIA FIBRA E MATRICE Colonna 1 - N: nastro; T: tessuto; R: rete; L: lamina; B: barra Colonna 2 - C: carbonio; A: aramide; V: vetro; Pva: polivinilalcol; H: ibrida Colonna 3 - U: unidirezionale; B: bidirezionale; M: multiassiale</p>	<p>(*) spessore di calcolo (**) spessore equivalente di tessuto secco (***) sezione nominale</p>
---	--

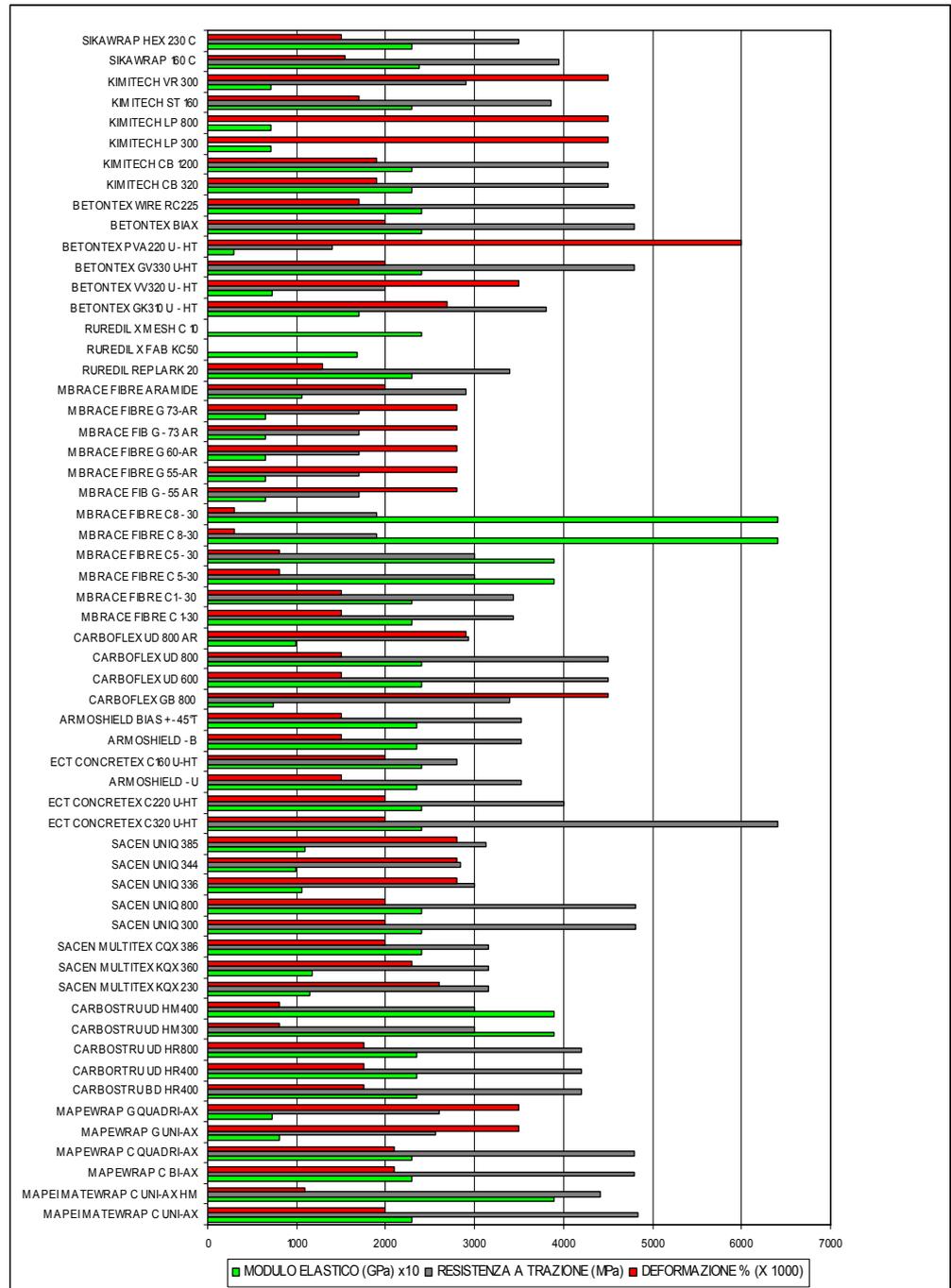


Figura 78: grafico comparativo delle principali caratteristiche dei rinforzi

TABELLA COMPARATIVA DEI PRODOTTI IN COMMERCIO: RESINE					
RESINA	CODICE	DENSITÀ	TEMPO DI LAVORAZ.	MUDULO DI ELASTICITÀ A TRAZIONE	RESISTENZA A TRAZIONE
ARMOFIX T	R1	1,6	20-30	3500	24
ARMOFIX F	R2	1,4	60	3500	20
ARMOFIX I	R3	1,05	90	2415	61
ARMOFIX MT MTX	R4	1,1	25-30		50
ARMOFIX TS	R6	1,67		5400	10
KIMITECH EP-IN	R6	1,08	20	1760	30,4
KIMITECH EP-TX	R7	1,08	20		56
SIKADUR 300	R8	1,16	240	3400	68
SIKADUR 330	R9	1,31	30	3800	60
SIKADUR 50	R10	1,1		1060	25
MAPEI EPOJET	R11	1,15	40	4000	50
MAPEI ADESILEX PG1/PG2	R12	1,55	40-60	4000	30
MAPEI MAPEWRAP 11/12	R13	1,55	40-60	4000	30
MAPEI MAPEWRAP 21	R14	1,1	40	2055	
MAPEI MAPEWRAP 31	R15	1,1	40	3000	40

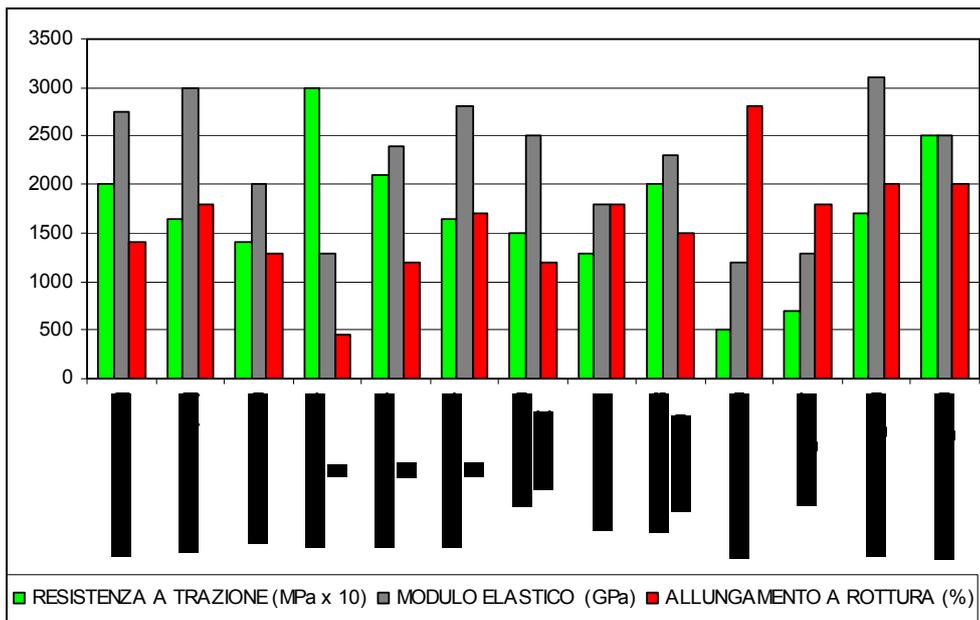


Figura 79: grafico comparativo delle principali proprietà delle resine

|

