MASTER® BUILDERS SOLUTIONS

Ripristino e rinforzo delle strutture in cemento armato

A brand of MBCC GROUP

Indice

1. Introduzione **3**

2. Approccio al ripristino **4**

2.1 Approccio errato 4
2.2 Approccio ingegneristico 5

3. Le fasi fondamentali per un intervento di ripristino **6**

3.1 Indagini ed individuazione delle cause del degrado 6
3.2 Individuazione dell'entità del degrado ed individuazione della tecnica di intervento 10
3.3 Definizione delle caratteristiche dei materiali 12

4. Considerazioni strutturali **17**

5. Qualifica e controlli dei materiali **19**

5.1 Controlli di prequalifica 19
5.2 Controlli in corso d'opera 19
5.3 Controlli di collaudo 19
5.4 Test su materiali cementizi 19
5.5 Test su protettivi filmogeni 20

6. Altri interventi per il ripristino e rinforzo di strutture in c.a. **21**

6.1 Sigillature/iniezioni di fessure con prodotti strutturali 21
6.2 Incollaggi strutturali 21
6.3 Rinforzo con materiali compositi FRP 21

7. I materiali Master Builders Solutions per gli interventi di ripristino/rinforzo delle strutture in c.a. **22**

7.1 Guida alla scelta dei prodotti cementizi 24
7.2 Guida alla scelta dei protettivi filmogeni 24
7.3 Prestazioni malte tixotropiche e colabili 26
7.4 Prestazioni malte e betoncini colabili 28
7.5 Prestazioni rasature 30
7.6 Prestazioni malte e betoncini colabili rapidi per applicazioni a basse temperature 31
7.7 Leganti 32
7.8 Prestazioni protettivi superficiali 33

1. Introduzione

Sono tanti i motivi che inducono ad intervenire sulle strutture in c.a. esistenti. Quello principale è, senza dubbio, la necessità di un‘azione di ripristino della parte superficiale del calcestruzzo che, nel tempo, subisce un degrado.

Le cause principali sono dovute alle azioni degli agenti aggressivi presenti nell‘ambiente ed ai difetti della qualità del calcestruzzo dovuti alla mancata progettazione per la durabilità o a negligenza esecutiva. Indipendentemente dalle cause, prima o poi il proprietario delle opere, pubblico o privato, sarà chiamato a prendere decisioni in merito alla manutenzione dell’opera: rinviare ogni azione? Oppure intervenire? E in questo caso optare o no per un intervento radicale o limitarsi ad interventi minimi e spesso poco efficaci?
Possono esserci anche altre motivazioni che spingono all’intervento: la modifica di destinazione d’uso di un fabbricato, l’aumento delle condizioni di traffico, l’adeguamento sismico alle nuove normative, ecc.
Queste situazioni rientrano nella famiglia degli interventi di RINFORZO.
Inoltre vi sono situazioni intermedie nelle quali, dopo aver constatato che il degrado del calcestruzzo ha provocato una riduzione significativa di resistenza dell’elemento strutturale, si procede ad un intervento di RIPARAZIONE al fine di riportare l’opera all’originaria resistenza statica e/o sismica.

Esempio di degrado dovuto a cicli di gelo e disgelo

Esempio di degrado della soletta in presenza di carbonatazione del calcestruzzo ed al successivo processo di corrosione delle armature

2. Approccio al ripristino

Contrariamente a quanto si credeva nel passato, il calcestruzzo non è un materiale eterno perché non è possibile eliminare tutte le cause che possono produrre degrado.

Il degrado è sempre presente e inizia dal momento della costruzione dell'opera. Talvolta il periodo di "incubazione" dei fenomeni di degrado, cioè quel periodo di tempo nel quale non appaiono segni visibili, è molto ridotto nel tempo, talvolta, invece, il periodo è molto lungo. Indipendentemente dalle cause che hanno prodotto il degrado, si porrà quindi la necessità di agire nel più breve tempo possibile, visto che, una volta resosi visibile, il degrado progredisce in modo molto rapido.

Lo scopo che il progettista dovrà quindi prefiggersi é certamente quello di ottimizzare i costi dell'intervento e la durata in servizio della struttura riparata.

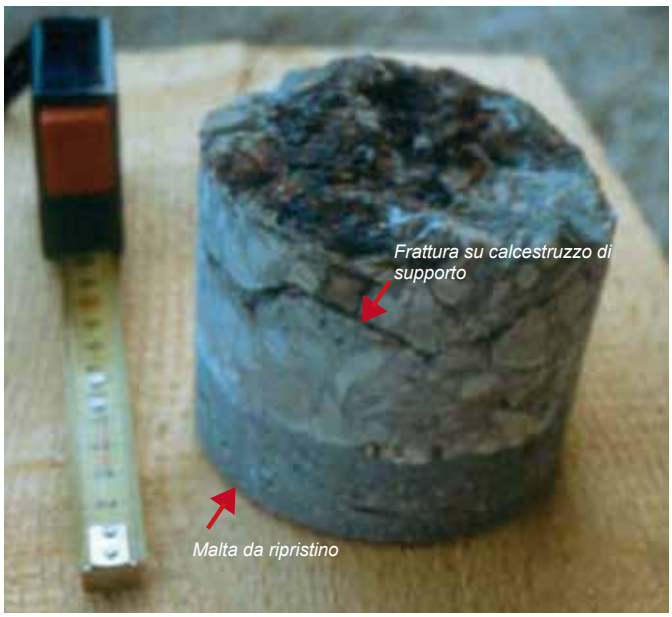
Master Builders Solutions, attiva nel campo del restauro del calcestruzzo e del cemento armato da più di 50 anni, mette a disposizione del committente delle opere, del progettista, del direttore dei lavori e dell'impresa, oltre ad una gamma di moderni prodotti specifici e iper collaudati, anche la propria esperienza e conoscenza delle normative, per attuare le migliori scelte.

Spesso gli operatori degli interventi di ripristino (committente, progettisti, imprese) hanno l'errata convinzione che un intervento di ripristino su calcestruzzo sia banale; questo nella stragrande maggioranza dei casi non è vero e non a caso la nuova Norma UNI EN 1504 dà grande importanza all'ingegnerizzazione del processo di restauro, dettagliando la procedura necessaria per raggiungere il pieno successo di un intervento. La valutazione a breve termine (o peggio immediata) della riuscita di un intervento di ripristino è generalmente illusoria; solo a lungo termine (2 o più anni) si possono evidenziare gli insuccessi di ripristini mal riusciti, con distacchi di malta, spellature del protettivo, formazione di fessure, formazione di reticoli di cavillature e reiterazione del fenomeno corrosivo.

2.1 Approccio errato

Un tipo di approccio al restauro che difficilmente porta a risultati soddisfacenti è quello acritico, immediato, semplicistico: ci si limita alla rimozione del materiale incoerente e degradato ed alla sua sostituzione con prodotti presenti sul mercato, non caratterizzati da prestazioni specifiche per l'impiego previsto.

Esempio di ripristino di struttura in c.a. mal eseguito, a causa dell'errato posizionamento della rete elettrosaldata



Esempio di ripristino mal eseguito per carenza di indagini. La malta è stata applicata su calcestruzzo in fase di distacco. Non è stata rimossa la causa e il ripristino è destinato a fallire

Sono tipiche di questo tipo di approccio:

- la mancata indagine;
- l'utilizzo di tecniche di intervento errate;
- la scelta di prodotti non idonei;
- fasi esecutive non corrette;
- documenti e corrispettivi;
- contrattuali non idonei allo scopo previsto.

2.2 Approccio ingegneristico

Negli anni la situazione, in qualche misura, è cambiata: la categoria degli ingegneri civili e dei tecnologi del calcestruzzo e del restauro ha preso coscienza del fatto che:

- la conservazione ed il restauro praticati in modo semplicistico possono portare (come si verifica di frequente) a clamorosi insuccessi;
- la conservazione ed il restauro richiedono al contrario un vero e proprio progetto basato sulla conoscenza dei meccanismi di degrado presenti caso per caso;
- la necessità di conoscere i suddetti meccanismi implica dover eseguire le indagini preliminari;
- solo la conoscenza dei meccanismi di degrado e del grado di danneggiamento consente di scegliere appropriate tecniche per l'esecuzione degli interventi;
- i prodotti da adoperare debbono essere scelti in funzione dei meccanismi di degrado e delle tecniche per l'intervento;
- la scelta dei prodotti deve avvenire esclusivamente con criteri prestazionali;
- i criteri prestazionali a loro volta richiedono la definizione delle proprietà e dei metodi di prova, e quindi la caratterizzazione dei vari prodotti e la disponibilità delle relative schede tecniche.

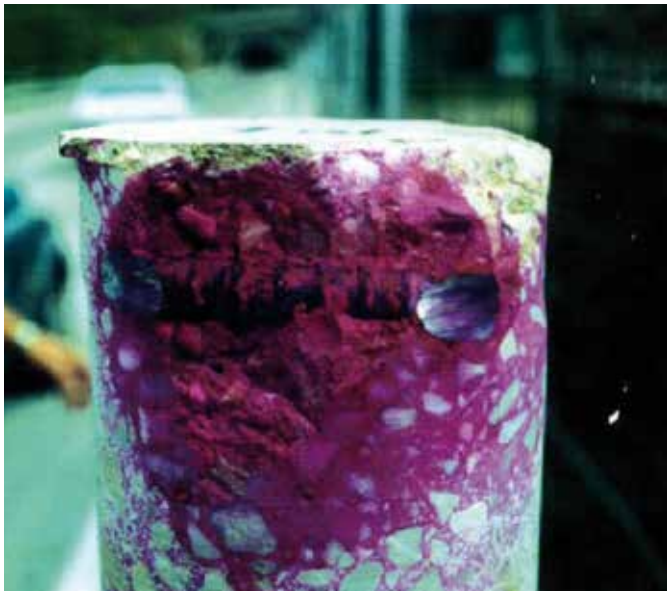
Una importante guida al ripristino delle strutture in c.a è oggi a disposizione di tutti i progettisti e committenti ed è rappresentata dalla UNI EN 1504 "**Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo: definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità. Principi generali per l'uso dei prodotti e dei sistemi**".

La norma consiste in 10 parti, ognuna delle quali approfondisce uno specifico argomento:

Parte 1: definizioni
Parte 2: protezione delle superfici
Parte 3: malte cementizie
Parte 4: incollaggio strutturale
Parte 5: iniezioni
Parte 6: ancoraggio delle barre strutturali
Parte 7: protezione della corrosione
Parte 8: controllo qualità e non conformità
Parte 9: principi generali per l'utilizzo dei prodotti e dei sistemi
Parte 10: applicazione in sito dei prodotti e dei sistemi e controllo qualità dei lavori

Ognuna di queste parti tratta in modo dettagliato gli aspetti relativi.

Di seguito viene illustrato l'approccio prestazionale al ripristino di Master Builders Solutions.

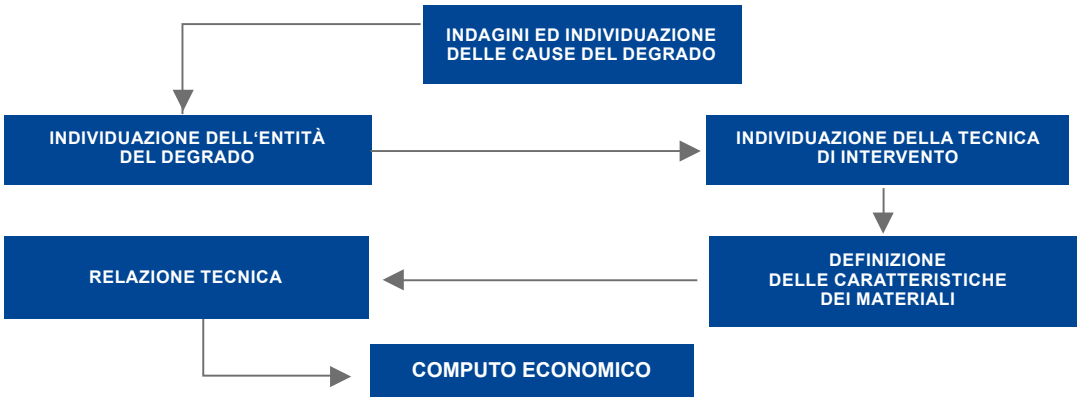


Esempio di valutazione della profondità di carbonatazione su carota (la parte colorata non è carbonatata, mentre la parte incolore è carbonatata)

Valutazione della profondità di carbonatazione su sondaggio eseguito direttamente sulla struttura

3. Le fasi fondamentali per un intervento di ripristino

È importante analizzare nei dettagli gli aspetti fondamentali da considerare nell'affrontare un intervento, di seguito elencati:

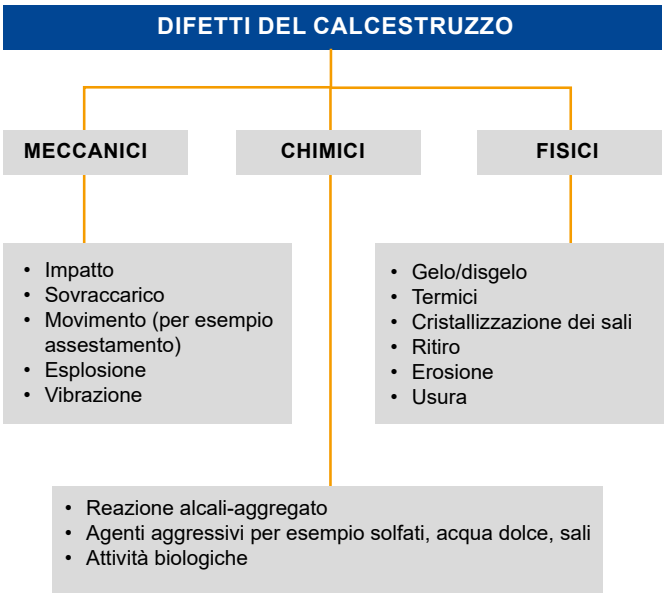


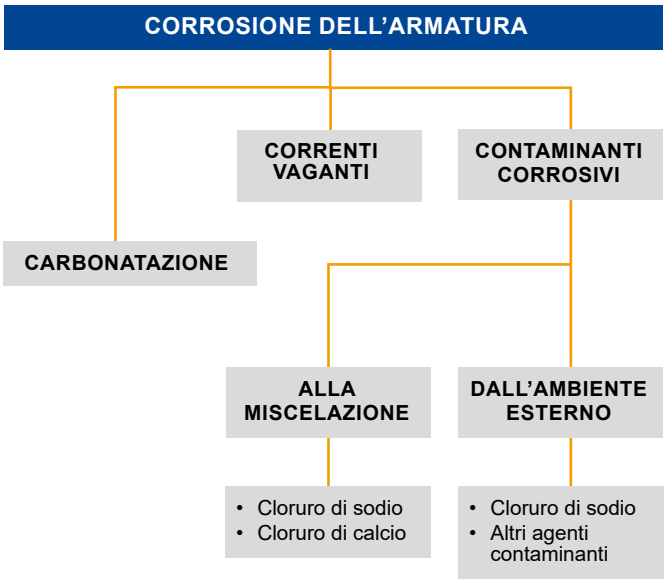
Vediamo nei dettagli le fasi sopraelencate.

3.1 Indagini ed individuazione delle cause del degrado

Lo scopo di uno stadio preliminare dell'indagine è quello di individuare l'eventuale necessità di interventi immediati per la sicurezza ed inoltre quello di delineare la serie delle prove che dovranno essere eseguite per stabilire le cause e la probabile estensione dei difetti nella struttura.

Lo scopo principale dell'indagine invece è quello di identificare le cause dei difetti, stabilirne l'estensione e la profondità, comprendere se siano destinati ad estendersi a parti della struttura attualmente non danneggiate, valutare la resistenza del calcestruzzo in sito, stabilire l'effetto dei difetti sulla sicurezza strutturale ed identificare tutte le zone in cui possono essere necessarie riparazioni o protezioni. É fondamentale individuare e conoscere quali sono le cause comuni di difetti in una struttura in c.a., come illustrato nel grafico seguente:





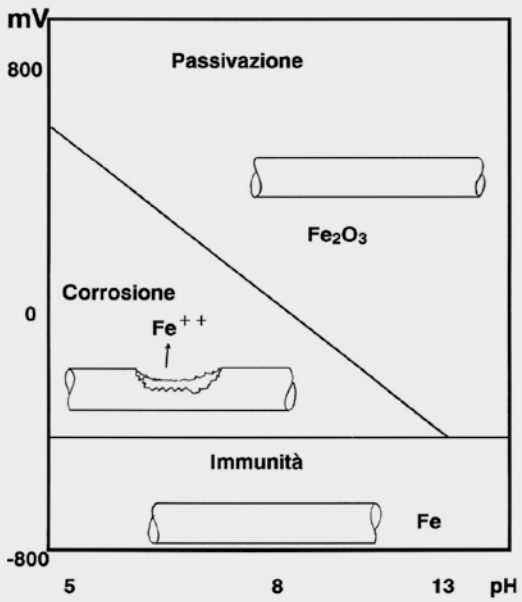
Il degrado più frequente delle strutture in c.a. è legato alla corrosione dell'armatura metallica. Vediamo qualche approfondimento in merito.

3.1.1 Corrosione dell'armatura

Il fenomeno della corrosione, interessa specificamente le armature ed è dovuto all'interazione elettrochimica dei metalli con l'ambiente che li circonda, con formazione di pile, o meno frequentemente nell'ambito delle costruzioni civili, di celle elettrolitiche. Una caratteristica significativa della maggior parte dei fenomeni di corrosione è che i prodotti di reazione occupano un volume maggiore del metallo da cui provengono. Sebbene i fenomeni corrosivi sulle armature siano spesso confinati a ridotte porzioni della struttura, le loro conseguenze sono notevoli e non riguardano solo gli aspetti funzionali ed esteriori delle opere interessate dal processo, ma anche gli aspetti strutturali e quindi le condizioni di sicurezza.

Ma quali sono le cause della corrosione?

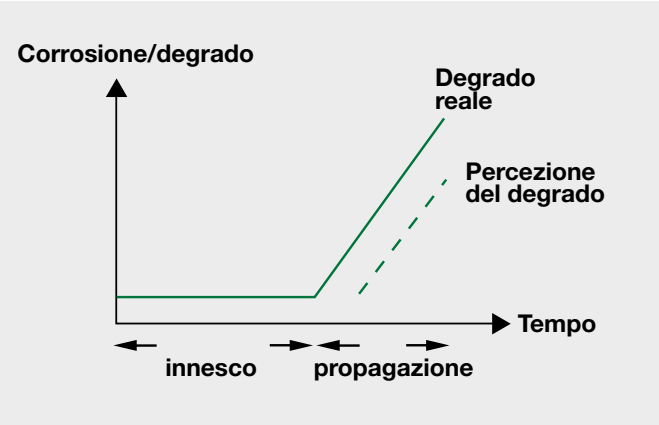
La possibilità che nei metalli avvengano reazioni di corrosione è legata al potenziale del metallo rispetto alla soluzione di contatto e al pH della soluzione stessa. Numerosi equilibri di sistemi metalli-acqua sono raccolti nei diagrammi potenziale-pH, noti come diagrammi di Pourbaix.



Potenziale dell'armatura rispetto alla pasta di cemento: diagramma di Pourbaix

In ambiente basico con pH>11,5 il ferro si ricopre di un ossido denso, compatto ed aderente al sottostante supporto di ferro metallico, che, creando una barriera impenetrabile all'ossigeno ed all'umidità, lo porta in condizioni di passività, cioè in condizioni caratterizzate da una velocità di corrosione così lenta, da ritenerla trascurabile. Le armature nel calcestruzzo in genere si comportano allo stesso modo, poiché la pasta di cemento contiene quantità rilevanti di idrossidi alcalini e quindi il pH ha un valore prossimo a 14. Fintanto che permane la favorevole condizione di passivazione in cui si trova l'acciaio nel calcestruzzo, l'acciaio stesso si mantiene integro ed efficiente; non appena però tale condizione viene alterata, inizia a formarsi un tipo di ossido di ferro idrato, di elevato volume specifico, che causa sul calcestruzzo circostante tensioni di compressione, ed alla superficie dell'elemento costruttivo tensioni di trazione.

Di conseguenza si formano fessure che corrono parallelamente ai ferri di armatura superficiali, che si ampliano progressivamente fino al distacco di conglomerato.
La condizione di efficienza nel tempo di una struttura in calcestruzzo armato, correlata alla trasformazione del metallo in ossido ed alla formazione di fessure, può essere schematizzata come di seguito:



Evoluzione corrosione/degrado: diagramma di Tuutii

Il diagramma mostra che dopo un certo periodo (periodo di innesco della corrosione) ha luogo l'inizio dell'ossidazione del ferro; allorché un certo spessore di ferro si è trasformato in ossido ha inizio la fessurazione, cui seguono un aumento della velocità di corrosione e la perdita di efficienza della struttura.

Tra i principali fattori responsabili della perdita di passività si devono ricordare:

- la variazione del pH della pasta di cemento (**CARBONATAZIONE**): l'anidride carbonica presente nell'atmosfera quando viene a contatto con il calcestruzzo reagisce con i suoi componenti alcalini per dare carbonati, soprattutto di calcio. La conseguenza del processo di carbonatazione è che il pH si riduce dal valore usuale di 12,5-13,5 fino ad 8-9, cioè ben al di sotto del valore necessario per assicurare le condizioni di passività. La carbonatazione è la causa di degrado più frequente, che spesso indica di intervenire sulla struttura in maniera diffusa, anche se gli effetti dell'ammoloramento sono solamente localizzati. Infatti spesso il progettista tenderebbe ad optare per un intervento solamente localizzato in corrispondenza degli effetti della corrosione, ma questo è un intervento non a regola d'arte e non garantisce la necessaria durabilità all'opera ripristinata, visto che anche nella parte di struttura apparentemente sana, la corrosione è in atto e gli effetti a breve diventeranno conclamati.
- la **PRESENZA DEI CLORURI**: i cloruri solubili sono presenti nel calcestruzzo sia perché apportati dai vari componenti dell'impasto, sia perché capaci di diffondere all'interno se presenti nell'ambiente (acqua di mare, sali disgelanti). Una piccola quantità di ione cloruro è sufficiente a modificare la morfologia dello strato di ossido passivante, formando ioni complessi instabili, provocando una riduzione di pH ed un riciclaggio di ione cloro.

3.1.2 Indagini

Allo scopo di individuare l'esistenza di eventuali processi di corrosione all'interno degli elementi strutturali, sono stati messi a punto diversi procedimenti di indagine:

- **Analisi elettrochimiche:** un metodo che ha dato buoni risultati è la cosiddetta "mappatura di potenziale". Tale mappatura si ottiene individuando dall'esterno dei manufatti, in corrispondenza di un reticolo regolare di punti predeterminati, il potenziale delle barre d'armatura che, laddove raggiunge valori più negativi di 0,4V è indice di fenomeno di corrosione in atto. Lo strumento che consente di leggere il potenziale nei vari punti è l'elettrodo rame/solfato di rame, che deve essere poggiato sulla superficie di estradosso del manufatto opportunamente umidificata; l'altro elettrodo è costituito da una delle barre d'armatura, che viene scoperta in un punto in modo da poter essere collegata con il voltmetro che misura la differenza di potenziale.
- **Analisi chimiche:** la diagnosi della corrosione dovuta ai cloruri si effettua mediante l'analisi chimica su carote. I carotaggi vanno eseguiti sia nelle zone con calcestruzzo ammalorato che in quelle con calcestruzzo sano; sulle carote dovranno essere eseguite analisi chimiche, sezione per sezione, procedendo dall'esterno verso l'interno, in modo da controllare la quantità di cloruro presente. In tal modo sarà possibile verificare se il cloruro era già presente all'interno del calcestruzzo, proveniente da uno dei suoi ingredienti, o se è penetrato dall'ambiente esterno, ed in questo caso, quale è stata la profondità di penetrazione. Per la valutazione quantitativa del cloruro presente occorre eseguire un'analisi chimica su prelievi di polvere di calcestruzzo relativamente alle sezioni che interessano. L'interpretazione dei dati forniti dall'analisi può essere svolta utilizzando la tabella 1.

TIPO DI MANUFATTO O CONDIZIONIDIESPOSIZIONE	CLORURI AMMESSI
Calcestruzzo armato in ambiente asciutto	1.0
Calcestruzzo armato in ambiente umido	0,40
Calcestruzzo precompresso a cavi scorrevoli	0,20
Calcestruzzo precompresso a fili aderenti	0,10

Tabella 1: tenore massimo consentito di ioni cloro nel calcestruzzo (% rispetto al peso di cemento)

- **Gelo-disgelo:** quando l'acqua comincia a gelare in una cavità capillare della pasta di cemento, l'aumento di volume che ne accompagna il congelamento, richiederebbe una dilatazione della cavità pari circa al 9% del volume di acqua gelata; si genera perciò una pressione idraulica, che però non è la sola causa dell'espansione della pasta di cemento: la pressione osmotica, dovuta alle differenze di concentrazione del sale nel fluido dei pori, e l'effetto capillare, che implica una migrazione su larga scala dell'acqua dai pori piccoli alle cavità più grandi, sono ugualmente responsabili dell'espansione dei corpi porosi. Questo tipo di degrado si manifesta con modalità diversa a seconda che siano presenti o meno sali disgelanti: se questi ultimi non sono presenti, i cicli, per effetto dell'aumento di volume dell'acqua, provocano un progressivo sfarinamento della pasta cementizia della superficie del manufatto, in modo tale da far sgretolare la frazione di malta ed evidenziare l'aggregato grosso; in presenza di sali si verifica invece il distacco e sollevamento di strati corticali di calcestruzzo. L'osservazione visiva, oltre al tipo di esposizione, permette di riconoscere il fenomeno.
- **Acqua aggressiva:** tutte le acque naturali contengono una certa quantità di anidride carbonica. Il carbonato di calcio, che è normalmente presente in una pasta di cemento o in un calcestruzzo, in contatto con un'acqua ricca di anidride

carbonica libera (e quindi di acido carbonico) porta alla formazione di bicarbonato di calcio, sale molto solubile e pertanto facilmente dilavabile. Il dilavamento della calce ed in genere di tutti i sali di calcio, consiste in una parziale rimozione della pasta cementizia portando ad una sensibile degradazione del materiale. La diagnosi si basa essenzialmente sull'osservazione visiva della superficie del calcestruzzo che si presenterà con gli inerti in vista più o meno sporgenti a seconda dell'entità dell'attacco.

- **Solfati:** l'attacco solfatico si verifica in presenza di acque marine, di terreni con tenore di SO_4^{2-}>di 0,2%, di ambienti industriali che emettono nell'atmosfera gas ricchi di SO_2 e/o SO_3, ma può verificarsi anche quando il solfato è presente all'interno del calcestruzzo per l'errata composizione degli ingredienti. L'attacco solfatico si manifesta attraverso un rigonfiamento del conglomerato, soprattutto nelle zone corticali, a causa di tre reazioni distruttive: quella che porta alla formazione di gesso biidrato, quella che genera ettringite ed infine quella che provoca la formazione di thaumasite. Nel processo di degrado si riconoscono tre livelli: in un primo stadio il degrado si presenta sotto forma di una fessurazione diffusa, priva di una direzione preferenziale; in un secondo stadio la fessurazione è accompagnata da rigonfiamenti dello strato corticale, che alterano la planarità delle superfici ed aumentano l'ampiezza delle fessure in seguito al fenomeno del rigonfiamento; il terzo ed ultimo stadio è caratterizzato da distacchi e sfaldamenti dello strato corticale. La presenza di un attacco solfatico capace di provocare il degrado di una struttura in calcestruzzo può essere rilevato mediante due operazioni successive. La prima prevede l'esecuzione di carotaggi, sia in aree con calcestruzzo sano che ammalorato, e la successiva valutazione del tenore di solfato presente, sezione per sezione, lungo la carota prelevata. In tal modo è possibile rilevare se il solfato proviene dall'ambiente esterno o se è già contenuto all'interno del calcestruzzo, per l'errato impiego di uno dei suoi componenti; nel caso il solfato provenga dall'ambiente esterno, è possibile valutare a che profondità è penetrato all'interno del calcestruzzo. La seconda operazione prevede l'utilizzazione della diffrattometria a raggi X su elementi di calcestruzzo degradati. Questa analisi permette di definire il tipo di sostanza che si è formata per combinazione dello ione solfato e conseguentemente il grado di gravità dell'attacco.
- **Reazione alcali-aggregato (ASR):** In ambiente umido la presenza di alcali (sodio e potassio) nel cemento e di silice reattiva (opale, calcedonio e certe forme di quarzo) negli aggregati innesca la cosiddetta reazione alcali-silice. Il degrado si può manifestare sotto forme distinte. Nel caso di strutture massive contenenti una quantità rilevante di aggregato reattivo distribuito con omogeneità nel conglomerato, il degrado consiste generalmente in una fessurazione diffusa (a carta geografica), accompagnata da un rigonfiamento (soprattutto nelle zone più esposte all'umidità ambientale). Nel caso di elementi strutturali armati si verifica la formazione di fessure lineari parallele al lato lungo del manufatto (ad esempio su pilastri si formano fessure sulla mezzeria delle facce verticali). Se invece gli aggregati reattivi sono pochi e situati in vicinanza della superficie esposta all'umidità, il degrado si manifesta nel sollevamento e successiva espulsione di una piccola area di calcestruzzo che circonda l'inerte reattivo (pop out). Poiché il decorso della reazione alcali-aggregato richiede in genere tempi molto lunghi (da qualche mese a qualche decina di anni), il fenomeno si presenta molto insidioso, in quanto comporta il degrado della struttura quando essa è ormai da tempo in pieno servizio.

3.2 Individuazione dell'entità del degrado ed individuazione della tecnica di intervento

A seguito dell'esecuzione delle indagini, si saranno determinate le condizioni della struttura, che generalmente non presenterà situazioni omogenee di degrado e quindi richiederà in tutti i suoi elementi strutturali diversi metodi di intervento in funzione del tipo, profondità ed estensione del problema. Vediamo qualche indicazione in riferimento al grado di ammaloramento.

3.2.1 Senza danno in superficie

Qualora si riscontri che l'ammaloramento è praticamente nullo, come si può verificare per opere di recente costruzione, oppure nel caso in cui la struttura risulti ancora in buone condizioni e senza degrado superficiale, con idonee verniciature protettive, si opterà per un intervento di protezione superficiale che eviti l'insorgere ed il procedere dei fenomeni di degrado.

3.2.2 Superficialmente degradata

Qualora le indagini abbiano rivelato assenza di contaminazione profonda e la presenza di degrado limitato ad uno strato corticale di spessore esiguo (ad esempio da 1 fino a 10 millimetri) il metodo di intervento consiste nella rasatura, cioè nell'applicazione di uno strato di prodotto da ripristino di spessore limitato previa asportazione della parte ammalorata.

Situazioni di questo tipo si riscontrano a seguito dell'azione di un numero limitato di cicli di gelo/disgelo, di debole attacco chimico, di condizioni di esercizio che comportano abrasione ed erosione, di elementi strutturali in cui alcuni ferri di armatura (staffe) risultano fin dall'inizio collocati troppo vicino alla superficie (copriferro da 0 a 2-3 mm).

3.2.3 Mediamente degradata

Viene qualificata mediamente degradata una struttura in cui i problemi di ammaloramento comportino la rimozione e la sostituzione di spessori consistenti di calcestruzzo (da 1 fino a 5 centimetri).

Tale tipo di degrado può essere prodotto da avanzati fenomeni di corrosione in atto, da reazioni chimiche espansive, da prolungati e numerosi cicli di gelo/disgelo, da problemi di erosione in strutture idrauliche e anche da azioni meccaniche rilevanti. La necessità di rimuovere spessori di calcestruzzo consistenti può derivare anche dalla presenza di strati di materiale contaminato da cloruri o carbonatati.

I metodi d'intervento che vengono utilizzati sono:

- lo spruzzo ed il rinzaffo (applicazione manuale) quando si interviene su elementi strutturali verticali o all'intradosso di elementi orizzontali;
- il colaggio quando si interviene all'estradosso di elementi orizzontali, oppure su applicazioni entro cassero.

ENTITÀ DEL DEGRADO	TECNICA DI INTERVENTO
SENZA DEGRADO APPARENTE	**PROTEZIONE** con sistemi filmogeni
LIEVEMENTE DEGRADATA (ripristino millimetrico)	**RASATURA** con malte cementizie tixotropiche per finiture millimetriche
MEDIAMENTE DEGRADATA (ripristino centimetrico da 1 a 5 cm)	**MANUALE O SPRUZZO** con malte cementizie tixotropiche **colaggio** con malte cementizie colabili
PROFONDAMENTE DEGRADATA (ripristino decimetrico)	**INCAMICIATURA, COLAGGIO** con betoncini o calcestruzzo colabili superfluidi

Tabella 1: principi e tecniche di intervento in funzione dell'entità del degrado.

Intervento di protezione
con MasterProtect 325 EL

Intervento di protezione filmogena
con MasterProtect 220

Intervento di rasatura
con MasterEmaco N 405 FC

3.2.4 Profondamente degradata

Qualora i fenomeni descritti per le strutture mediamente degradate siano in atto ad un grado avanzato interessando spessori di calcestruzzo superiori ai 5 centimetri, dovranno essere utilizzati appositi prodotti contenenti aggregato dal diametro massimo intorno ai 6÷8 millimetri (betoncini) e all'aumentare degli spessori d'intervento (>10 cm) si utilizzeranno speciali calcestruzzi a ritiro compensato.

I metodi d'intervento che vengono utilizzati sono:

- il colaggio quando si interviene all'estradosso di elementi orizzontali;
- l'incamiciatura quando si ripristinano elementi strutturali verticali o si interviene all'intradosso di elementi orizzontali.

Applicazione a spruzzo dei prodotti tixotropici della linea MasterEmaco

Intervento di riparazione eseguito con MasterEmaco S 465 MC

Incamiciatura di pilastri con betoncino MasterEmaco S 465 MC

Ringrosso di soletta con colaggio di malta MasterEmaco S 465 MC

3.3 Definizione delle caratteristiche dei materiali

Alla base di un intervento di ripristino o di rinforzo vi è l'ottenimento della massima adesione al supporto.

Questa proprietà si traduce in tre aspetti fondamentali:

- parametri elastici simili al supporto: modulo elastico, coefficiente di dilatazione termica;
- parametri fisici stabili nel tempo della malta da riparazione, quindi assenza di di fessure conseguenti al fenomeno del ritiro;
- parametri legati all'adesione malta-supporto: preparazione del supporto, resistenza a trazione e duttilità a trazione.

Nella conduzione del progetto è fondamentale che il progettista ponga massima attenzione alle prescrizioni dei prodotti. Tutte le nuove normative, infatti, tendono a responsabilizzare il Produttore perché certifichi "sistemi" efficaci.

Nel futuro, quindi, il progettista dovrà non solo identificare i carichi, il modello strutturale e le proprietà fondamentali dei materiali, ma dovrà anche scegliere le proprietà specifiche del sistema di riparazione / rinforzo che intende impiegare. A questa situazione Master Builders Solutions si allinea offrendo schede tecniche molto dettagliate con l'elenco di tutte le proprietà meccaniche che sono utili per la progettazione.

Al contempo mette a disposizione dei progettisti strumenti software, come ad esempio il programma MasterBrace / MasterBar con il quale poter svolgere la progettazione del rinforzo/ringrosso di sezioni a doppio T in modo automatico ed ottenere contemporaneamente tutte le prescrizioni da aggiungere al capitolato in conformità con le richieste normative.

Colaggio mediante pompaggio entro cassero di malta MasterEmaco S 465 MC

Come si è cercato di spiegare nei capitoli precedenti, non prescrivere una corretta preparazione superficiale del supporto obbligherà l'impresa all'adozione di malte, la cui adesione sarà ottenuta per via chimica, dato che la rugosità del supporto è praticamente nulla. Materiali a base di resine, però, possiedono proprietà elastiche molto differenti da quelle del supporto, il risultato sarà quindi discreto alla vista, ma con scarse probabilità di successo nel tempo, soprattutto se si tratta di interventi di riparazione o di rinforzo, data la differenza di comportamento elastico.

Inoltre se mancano prescrizioni circa la stabilità dimensionale nel tempo, l'impresa potrà impiegare malte cementizie con ritiro elevato con il risultato magari soddisfacente alla vista, ma con malte destinate a staccarsi con lo sviluppo dei ritiri naturali cui sono soggette le malte (tantomeno sarà controllabile il modulo elastico, soprattutto se si tratta di prodotti non premiscelati).

Preparazione per il colaggio di malta MasterEmaco S 444 FR o MasterEmaco T 1400 FR per il ripristino di giunto o di soletta soggetta ad alto traffico

3.3.1 Caratteristiche espansive garantite senza stagionatura umida

Per più di 50 anni e fino ad oggi la Master Builders Solutions ha proposto una tecnologia che ha eccellenti risultati e migliaia di strutture sono state ripristinate con successo.

La soluzione proposta è basata su prodotti caratterizzati dalla "**espansione in aria**". Con questa espressione ci si riferisce ad un comportamento tipico che consiste in un'espansione volumetrica che si sviluppa nell'arco delle prime 24÷36 ore, di entità tale da compensare il ritiro di qualsiasi prodotto cementizio. Inoltre l'espansione deve avvenire anche senza stagionatura umida, come avviene nelle normali condizioni di cantiere (da cui la dicitura "espansione in aria"). L'espansione del prodotto cementizio deve verificarsi in questo breve arco di tempo in quanto il ritiro inizia nell'immediato.

È opportuno che l'espansione non si sviluppi liberamente, ma che venga contrastata. Solo in questo modo si riesce infatti ad ottenere una condizione simile a quella che si realizza nel cemento armato precompresso (in questo caso si tratta di una "precompressione chimica").

Quando l'applicazione è su uno strato sottile, il contrasto all'espansione viene ottenuto, mediante un opportuno irruvidimento del supporto (operazione che comunque generalmente deve essere effettuata allo scopo di asportare il materiale degradato o contaminato).

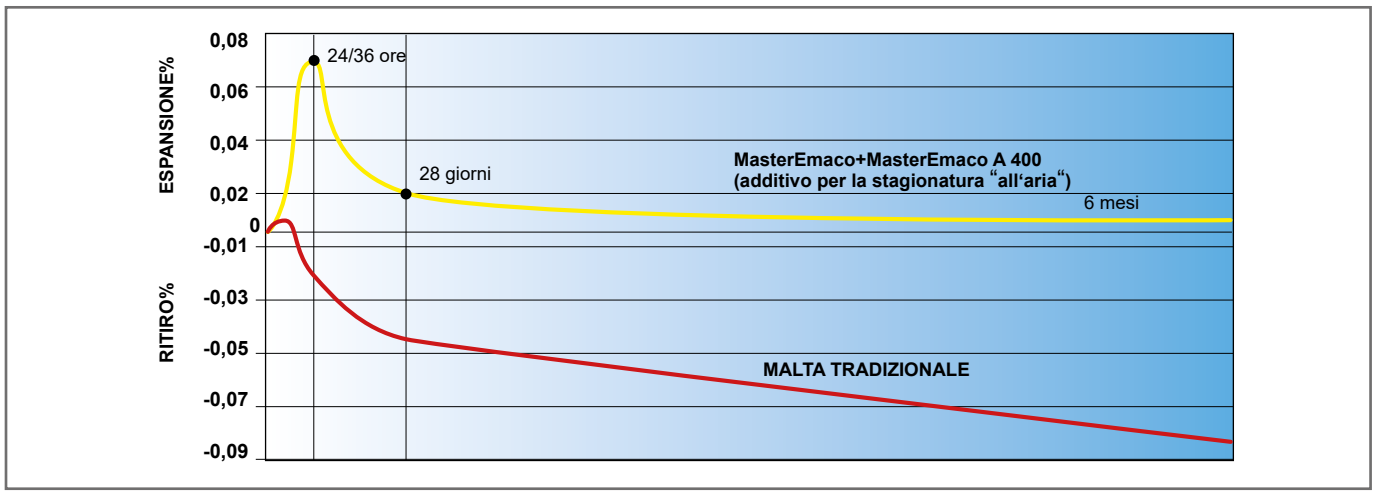
Nel caso dell'applicazione di strati più consistenti (a partire da due centimetri di spessore), oltre alla preparazione del supporto è necessario introdurre nello strato di materiale nuovo un'armatura di contrasto, che può consistere in una rete elettrosaldata di opportune dimensioni, oppure in una armatura diffusa con fibre inorganiche (vedi paragrafo 3.3.6) o fibre metalliche (vedi paragrafo 3.3.7) presenti nella malta.

In base alle considerazioni precedenti si può effettuare una scelta di prodotto; l'aspetto qualificante dell'approccio di Master Builders Solutions è una scelta basata sui requisiti, metodi di prova e prestazioni dei prodotti.

I requisiti principali sono quindi la capacità di espansione in aria e l'aderenza; diventa perciò preponderante l'importanza di una prova per la misura dell'espansione. La prova per la misura dell'espansione contrastata secondo la Norma UNI 8147 richiede che il provino venga conservato in acqua ed è perciò poco realistica, essendo l'ambiente del cantiere generalmente più o meno asciutto.

La capacità di fornire una espansione contrastata con maturazione della malta in aria, cioè nelle reali condizioni di cantiere, consente di ottenere realmente la **monoliticità della malta da ripristino** con il calcestruzzo di supporto. Per provare in cantiere l'effettiva capacità di espansione in aria di una malta basta sottoporla al test di inarcamento/imbarcamento (vedi pag. 21): se si evidenzia già dopo 24 ore un inarcamento del provino è dimostrata, in modo semplice ed immediato, l'effettiva capacità del prodotto di garantire l'espansione contrastata in aria. Questa prova consente di discriminare la qualità di prodotti diversi, è di breve durata, non è costosa.

Prova di determinazione dell'espansione contrastata di malte (UNI 8147) o calcestruzzo (UNI 8148)



Sviluppo dell'espansione contrastata secondo UNI 8147 modificata (mediante stagionatura in aria e non in acqua) di MasterEmaco rispetto ad una malta "non espansiva all'aria"

3.3.2 Resistenza alla fessurazione da ritiro igrometrico

L'O-Ring test (o test ad anello) consente di evidenziare la resistenza alla fessurazione da ritiro igrometrico di una malta da ripristino mediante una prova accelerata. Il test prevede il getto entro un cassero a corona circolare.

Dopo 24 ore viene rimosso solamente il supporto esterno lasciando all'anello interno il compito di contrastare la deformazione. In questo modo gli strati più esterni della malta sono liberi di deformarsi a seguito del ritiro igrometrico che si verifica nel tempo. Tale contrazione volumetrica provoca delle tensioni di trazione che portano alla fessurazione delle malta non idonee al ripristino del calcestruzzo.

Normalmente questo test viene condotto per una durata di 180 giorni, periodo all'interno del quale circa l'80% del ritiro si sviluppa. Se dopo 180 giorni il provino non presenta fessurazioni, la prova si considera superata.

L'inserimento nel capitolato di una voce che definisce chiaramente caratteristica, metodo di prova, valore garantito, è essenziale per la buona riuscita del ripristino e consente al committente di verificare la conformità alle specifiche essenziali, oltre che il pagamento di un prezzo appropriato.

3.3.3 Prodotti cementizi: resistenza alla cavillatura in fase plastica

A differenza del ritiro igrometrico, il ritiro plastico si sviluppa entro le prime 24÷48 ore dall'applicazione e presenta la classica configurazione "a ragnatela". Per contrastare la microfessurazione in fase plastica, i MasterEmaco sono arricchiti anche di fibre PAN in poliacrilonitrile.

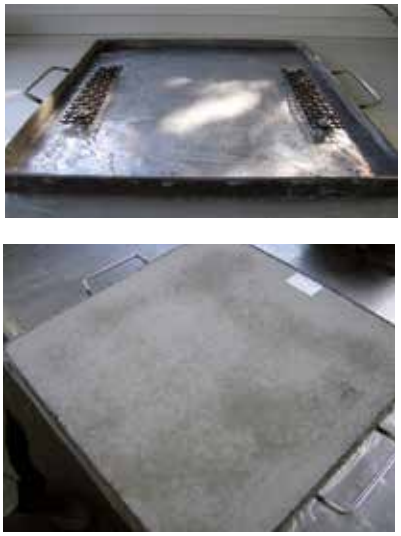
3.3.4 Resistenza all'azione aggressiva dell'ambiente

I prodotti impiegati per il ripristino di strutture in calcestruzzo che si sono degradate a causa di azioni aggressive dell'ambiente devono evidentemente essere in grado di resistere a tali aggressioni, ed è quindi indispensabile che la

Esempio di fessurazione da ritiro plastico

Valutazione della tendenza alla fessurazione di malte con prova di O-Ring Test (circolare ed ellittico)

Esempio di fessurazione da ritiro igrometrico



Altra prova per la determinazione della tendenza a fessurazione del prodotto (la malta da testare viene applicata sulla piastra di sinistra e poi stagionata per 24 ore in camera climatica a 40°C con il 30% U.R. e ventilazione in modo da favorire l'insorgere delle fessurazioni da ritiro)

loro idoneità venga verificata sottoponendoli a test volti ad accertare la loro:

- resistenza alla carbonatazione;
- impermeabilità all'acqua;
- impermeabilità e resistenza ai cloruri;
- resistenza ai cicli di gelo-disgelo.

3.3.5 Reodinamicità

I materiali da applicare mediante colaggio devono essere caratterizzati da una spiccata capacità di scorrere e di autocompattarsi senza vibrazione anche nel caso di getti di elementi fortemente armati e/o a geometria complessa.

Tali prestazioni sono misurabili attraverso le caratteristiche di REODINAMICITÁ (Slump Flow e V Funnel).

Valutazione della lavorabilità di un betoncino reodinamico

3.3.6 Utilizzo di fibre inorganiche flessibili

Per evitare di impiegare onerose applicazioni di rete elettrosaldata per il contrasto dell'espansione nelle malte da ripristino, è stato introdotto negli anni passati l'utilizzo di fibre metalliche flessibili poste all'interno della miscela. Malte contenenti tali fibre presentavano una difficoltosa applicazione a spruzzo. Anche la finitura superficiale, in particolare nel caso di impiego di verniciature protettive, non evidenziava una finitura superficiale non ottimale.

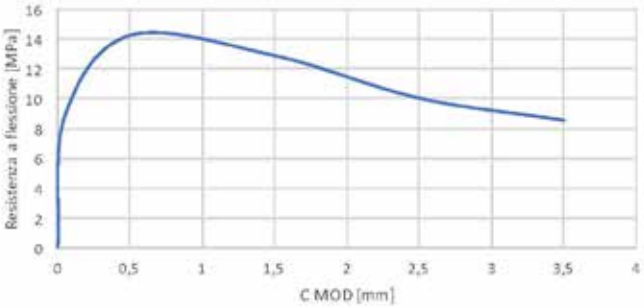
Oggi l'utilizzo di fibre inorganiche flessibili, presenti in quantità elevatissima all'interno della malta, garantisce la realizzazione di un reticolo tridimensionale che permette il contrasto all'espansione senza incorrere in complicazioni nella fase applicativa.

I prodotti MasterEmaco S 498 FR (malta tixotropica) ed MasterEmaco S 485 FR (malta colabile) rappresentano quindi il punto di riferimento per le elevate prestazioni, per la semplicità di messa in opera e per l'assenza nella fase di installazione di rete di contrasto all'espansione. In definitiva prodotti durevoli e con semplificazioni di applicazioni.

Speciali fibre inorganiche flessibili presenti all'interno di MasterEmaco S 498 FR e MasterEmaco S 485 FR

3.3.7 Prodotti cementizi: resistenza agli urti e agli impatti

Qualora la resistenza agli impatti e sollecitazioni dinamiche sia un requisito di primaria importanza, fondamentale è conferire alla malta un comportamento duttile. La duttilità di una malta si determina in base all'indice di tenacità I_{20} parametro numerico che si ottiene nella prova di flessione secondo ASTM C1018 valutando il carico di prima fessurazione. MasterEmaco S 444 FR è caratterizzato da un I_{20} > 25 tale quindi da poter dire che è 25 volte più duttile della corrispondente malta non fibrorinforzata di classe r4 (vedi grafico).
Tale caratteristica si ottiene grazie alla presenza di speciali fibre metalliche rigide con forma particolare ad uncino, ad elevato dosaggio e ottimale dispersione all'interno della matrice.



Curva resistenza a trazione per flessione determinata in accordo alla norma UNI EN 14651 per la malta MasterEmaco S 445 FR.

Speciali fibre metalliche rigide presenti all'interno delle malte MasterEmaco S 444 FR e MasterEmaco S 445 FR

Dettaglio: speciali fibre metalliche rigide

3.3.8 Ripristino a basse temperature con prodotti rapidi

In alcuni casi, i lavori di manutenzione vengono eseguiti in condizioni estreme: basse temperature, traffico durante le lavorazioni, tempi particolarmente ridotti, ecc.. I materiali da ripristino, utilizzati per questo tipo d'interventi, devono garantire una rapida e semplice messa in opera garantendo la massima durabilità dell'intervento stesso.

MasterEmaco T è una linea di malte innovative, con prestazioni superiori, progettate specificatamente per la sicurezza e la durabilità della manutenzione delle strutture eseguite in condizioni di basse temperature (fino a -10°C). La migliore comprensione dei processi di idratazione del cemento, ha consentito ai ricercatori di Master Builders Solutions di sviluppare malte con prestazioni innovative.

L'idratazione del cemento e le proprietà meccaniche finali di MasterEmaco T non sono influenzate dalle basse temperature. Le particolari caratteristiche dei prodotti MasterEmaco T consentono quindi di eseguire lavorazioni sicure, rapide ed affidabili anche in periodi invernali particolarmente freddi. Lo sviluppo rapido della resistenza è un requisito essenziale dei prodotti MasterEmaco T. **La resistenza a 24 ore dei prodotti cementizi tradizionali è raggiunta dopo solo 2 ore con i nuovi prodotti della linea MasterEmaco.** Questo rapido sviluppo di resistenza garantisce una veloce rimessa in esercizio. Le resistenze meccaniche finali, con resistenze a compressione dell'ordine degli 80 MPa dopo 28 giorni, fanno delle malte MasterEmaco dei prodotti con elevatissima resistenza. Ripristino di giunti stradali, ringrosso di travi, ripristino di solette, ancoraggio di chiusini e caditoie sono alcuni degli ambiti applicativi dei prodotti MasterEmaco.

3.3.9 Requisiti generali della protezione superficiale

Possiamo suddividere i requisiti della protezione in relazione ai difetti del calcestruzzo, alla corrosione delle barre di armatura ed al grado di aggressione ambientale. Tra di essi emergono per importanza:

- **Protezione contro l'ingresso:** la riduzione o prevenzione dell'ingresso di agenti aggressivi, per esempio acqua, altri liquidi, vapore, gas, agenti chimici e biologici. Impedire l'ingresso dell'acqua, attraverso una barriera filmogena, consente di contrastare eventuali processi di corrosione delle armature legati all'ingresso ad esempio degli ioni cloro ed al degrado del calcestruzzo connesso all'alternanza dei cicli di gelo e disgelo. L'anidride carbonica nel tempo fa perdere al calcestruzzo, nella reazione di carbonatazione, la sua naturale capacità di passivare le armature con conseguente rischio di corrosione. Il protettivo rende impervio l'accesso anche di tale aggressivo. Al requisito di capacità di barriera, può essere anche associata la capacità del protettivo di resistere elasticamente all'apertura di cavillature già presenti sul supporto (crack bridging ability);
- **Controllo dell'umidità ed aumento della resistività:** la continua perdita di umidità interna, resa possibile attraverso la naturale traspirazione del supporto non ostacolata dal protettivo, unita alla impermeabilità del rivestimento stesso, rende il calcestruzzo armato intrinsecamente più resistente rispetto ai fenomeni di corrosione delle armature grazie ad un graduale e costante incremento della resistività elettrica del calcestruzzo;
- **Resistenza fisica:** l'aumento della resistenza agli attacchi fisici o meccanici può risultare importante in taluni casi nei quali i fenomeni ad esempio abrasivi ed impattivi possono rappresentare dei seri aggressivi esterni;
- **Resistenza ai prodotti chimici:** l'aumento della resistenza della superficie di calcestruzzo nei confronti del deterioramento da attacco chimico è fondamentale soprattutto nel caso di rischio di attacco chimico rappresentato ad esempio dal contatto con acque nere, industriali, acide, basiche, ecc..

4. Considerazioni strutturali

Oltre a quanto visto in precedenza, assolutamente indispensabile è la valutazione di quanto lo stato di degrado abbia ridotto la resistenza della sezione interessata e quali siano state le cause che hanno prodotto questo genere di degrado.

Talvolta si eseguono delle vere e proprie prove di collaudo con l'obiettivo di tarare un modello di calcolo che possa rappresentare tutta l'opera. Questa operazione di "design by testing" è fondamentale per comprendere l'entità della riduzione del coefficiente di sicurezza dell'opera e decidere dove e cosa aggiungere per riportare l'opera all'originaria resistenza.

A tal riguardo l'Eurocodice dedica un intero capitolo perché siano chiare le metodologie ed i livelli minimi di sicurezza da garantire per l'opera riparata.

Negli elementi semplicemente compressi, come i pilastri, si tratterà di definire lo spessore del ripristino di copriferro perché la nuova sezione "ringrossata" possieda la stessa resistenza della struttura originaria. Negli elementi inflessi, invece, possono coesistere riduzioni di resistenza a trazione e riduzioni di resistenza a compressione.

Nel primo caso si dovrà aggiungere armatura nella zona tesa (ad esempio con placcaggio di tessuti MasterBrace o con nuova armatura in fibra di carbonio MasterBrace Bar o in acciaio), nel secondo caso si dovrà stabilire lo spessore minimo del "ringrosso" da porre solamente in zona compressa. Il successo di questi interventi, ancora una volta, è riposto nella adesione tra vecchio e nuovo getto affinché avvenga quel trasferimento deformativo che comporta il coinvolgimento della riparazione al sostentamento del carico. A tal riguardo è utile chiarire alcuni concetti per comprendere fin dove sia possibile ottenere l'adesione.

Prima di tutto l'adesione tra malta e supporto è funzione della preparazione superficiale di quest'ultimo, gli strumenti impiegati dalle imprese sono essenzialmente:

- Idropulitrici;
- Sabbiatrici;
- Fresatrici;
- Martelli pneumatici;
- Idroscarifiche ad elevata pressione;
- Idroscarifiche ad elevatissima pressione.

Ciascuno strumento conduce ad un supporto più o meno ruvido ma, al contempo, può danneggiare la parte immediatamente sottostante la superficie.

Nei materiali coesivi come il calcestruzzo, infatti, si distinguono due generi di spaccature: le fratture e le lesioni o fessurazioni. Nel primo caso si indicano delle linee di separazione di piccolissima ampiezza dove ancora esiste un effetto di ingranamento tra i lembi della frattura, nel secondo caso, invece, la lesione ha una ampiezza tale da aver fortemente ridotto l'effetto di ingranamento.

È noto, ad esempio, che la martellinatura della superficie produce vibrazioni che provocano la formazione di fratture nei primi centimetri della matrice cementizia, l'effetto finale è una sensibile riduzione dell'adesione; la idropulitura, invece, non produce alcuna frattura né tantomeno nessun irruvidimento superficiale e la malta di nuovo apporto, in questo caso, non troverà alcuna rugosità per l'aggancio.

Al contrario l'idroscarifica ad elevatissima pressione presenterà una superficie molto rugosa e poco o niente fratturata ed in questo caso la malta di nuovo apporto troverà modo di incunearsi per l'ottenimento di una adesione elevata che si avvicina al meglio alla resistenza offerta dal supporto stesso (o a quella della malta nella malaugurata ipotesi che si sia impiegata una malta di qualità peggiore di quella del supporto).

Esempio di idroscarifica

Esempio di superficie "macroscopicamente ruvida"

Esempio di idrolavaggio

Esiste poi un secondo aspetto di importanza rilevante: anche se si raggiunge la perfetta adesione al supporto, esiste un limite al trasferimento tensionale. Per comprendere questo ci riferiamo ad una prova sperimentale di flessione dove la zona tesa della trave sia stata sottoposta a idroscarifica e successivo riporto di MasterEmaco S 498 FR nello spessore di 3 cm.

Se in questo riporto viene inserita una barra di carbonio MasterBrace BAR 8 CFS e si porta a rottura il campione si ottiene la crisi per sfilamento dell'armatura in composito dalla malta MasterEmaco all'80% circa della tensione ultima di trazione della barra di rinforzo. Esiste quindi un limite massimo di adesione barra/malta MasterEmaco oltre il quale la barra sfila dalla malta di riparazione. Non solo, se al posto di 1 barra diametro 8 mm inseriamo 3 barre MasterBrace BAR 10 CFH verifichiamo la crisi per delaminazione completa del riporto ad un livello tensionale pari al 30% della tensione di rottura a trazione delle barre. Da questa evidenza sperimentale discende la considerazione che nel progetto non si debba pensare solamente alla verifica a flessione della sezione, ma si debba anche eseguire la verifica se lo stato tensionale assorbito dal rinforzo inserito nel riporto sia sostenibile dal riporto stessa e dall'adesione che esso ha sul supporto.
Per le verifiche di questi concetti il progettista deve conoscere i parametri energetici di interfaccia e le resistenze a trazione e duttilità delle malte da impiegare.

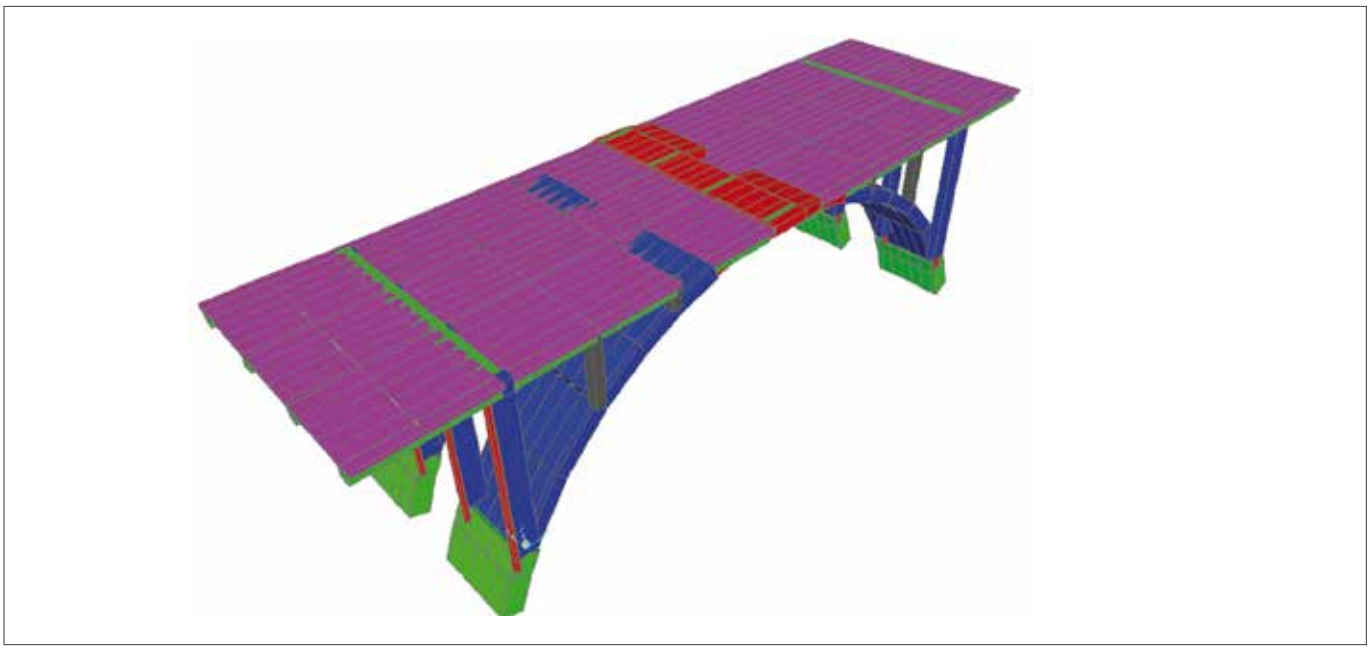
L'**adeguamento sismico** è una delle problematiche più rilevanti cui la comunità dei tecnici si trova a dover rispondere. Diversi sono i metodi indicati dalla normativa, ma due sono sostanzialmente gli obiettivi che si devono raggiungere:

- Aumento della capacità dissipativa;
- Aumento della resistenza.

La dissipazione energetica si può raggiungere impiegando materiali cementizi "duttili". MasterEmaco S 444 FR , MasterEmaco S 445 FR, MasterEmaco A 680 FR e MasterEmaco T 1400 FR appartengono a questa categoria di prodotti cementizi fibrorinforzati a comportamento incrudente in trazione. Superata la soglia di frattura a trazione questi prodotti speciali evitano la propagazione della lesione per mezzo del crack-bridging operato dalle fibre, la resistenza del prodotto a trazione continua quindi ad aumentare, anziché crollare a zero come avviene nelle malte tradizionali, producendo una dissipazione energetica che può arrivare a circa 500-1000 volte quella dei conglomerati tradizionali.

La duttilità di comportamento è anche utile per evitare le delaminazioni e gli scorrimenti delle armature interne ed aumenta, quindi, anche la resistenza complessiva dell'elemento strutturale rinforzato.

Esempio della funzione di "cucitura" delle speciali fibre metalliche rigide contenute in MasterEmaco S 444 FR, MasterEmaco S 445 FR e MasterEmaco T 1400 FR



Esempio di modellazione numerica di un ponte ad arco in c.a., nell'ambito dell'attività di consulenza che Master Builders Solutions esegue per i propri clienti

5. Qualifica e controlli dei materiali

Nel corso della progettazione, si dovranno indicare i requisiti prestazionali dei materiali da impiegarsi negli interventi di ripristino. Tali requisiti saranno verificati in tre fasi successive di seguito descritte.

5.1 Controlli di prequalifica

Una volta affidato l'appalto, prima che i materiali siano impiegati, è importante verificare che gli stessi siano conformi alle specifiche progettuali, in base ai dati caratteristici dei materiali, suffragati da prove dirette eseguite presso Laboratori. È importante la tempistica di tali valutazioni che quindi dovranno essere fatte con opportuno anticipo rispetto alla data di inizio lavori.

5.2 Controlli in corso d'opera

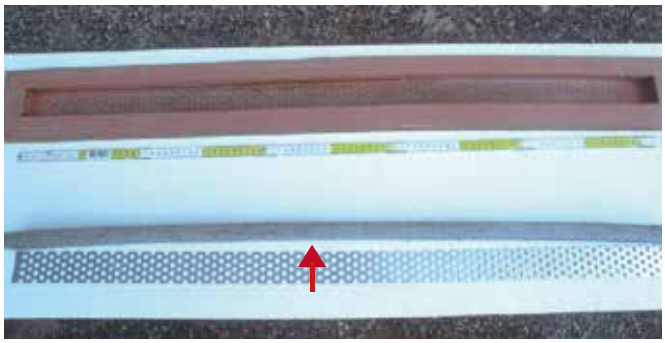
In corso d'opera saranno da eseguirsi prove e test sui materiali di fornitura. La D.L. su indicazione del Committente, potrà richiedere che il Produttore fornisca, congiuntamente al materiale, una dichiarazione che attesti le prestazioni specifiche della partita di materiale che è consegnata di volta in volta.

5.3 Controlli di collaudo

Uno volta completate le lavorazioni, saranno da effettuare delle prove sulle lavorazioni eseguite volte ad accertare la corretta esecuzione dei lavori.
I test di controllo che normalmente si effettuano sono di seguito indicati.

5.4 Test su materiali cementizi

Oltre alle usuali prove per valutare la resistenza a compressione, è fondamentale la verifica delle caratteristiche espansive all'aria delle malte da riparazione (prodotti della linea MasterEmaco).



Esempio di prova che evidenzia un comportamento espansivo della malta (inarcamento)

Infatti è ben noto che tale caratteristica risulti essere sinonimo di adesione con il supporto, resistenza alla fessurazione, comportamento monolitico nel tempo. In aiuto di tale esigenza viene lo specifico test di "inarcamento/imbarcamento" da effettuarsi mediante confezionamento di un provino in uno stampo elastico in gomma siliconica avente dimensioni interne 100x5x2 cm con un lamierino forato di contrasto avente dimensioni 100x4,5x0,1 cm e fori di diametro 0,8 cm. Si immette il lamierino forato all'interno dello stampo posto su una superficie orizzontale.
La malta per la confezione dei provini deve essere preparata seguendo le indicazioni della scheda tecnica del produttore. Dopo l'impasto la malta deve essere costipata all'interno degli stampi in un unico strato. Completato l'assestamento, si toglie il materiale in eccesso con una riga metallica e si liscia la superficie esposta con una cazzuola. Ultimate le operazioni di confezione, i provini negli stampi devono essere lasciati scoperti nella parte superiore esposta all'aria e collocati nell'ambiente di stagionatura a temperatura di 20°C ± 2% e umidità relativa 40-60%. Dopo 24 ore si estraggono i provini dagli stampi in gomma e si pongono a maturare nelle stesse condizioni precedenti su una superficie orizzontale.
Da questo momento in poi è possibile valutare e monitorare nel tempo l'entità della deformazione (ritiro/espansione) a cui la malta è sottoposta in condizioni standard o in condizioni di campo. Infine è molto importante valutare l'adesione del prodotto cementizio applicato, con la prova di pull-out effettuata in cantiere.

Prove di pull-out per verificare l'adesione della malta al supporto

5.5 Test su protettivi filmogeni

Di grande importanza è certamente la possibilità di verificare in corso d'opera gli spessori effettivi di protettivo filmogeno che si sta applicando. In tale direzione corre in aiuto alla Direzione Lavori uno specifico micrometro che consente di misurare in tempo reale lo spessore di film bagnato. Attraverso poi una semplice correlazione matematica è possibile determinare, una volta noto lo spessore del film umido ed il contenuto dei solidi in volume del prodotto, lo spessore di film secco utile alla protezione. Inoltre anche in questo caso è fondamentale provare l'adesione del protettivo al supporto, valutazione effettuata in cantiere con la prova di pull-out.

Prove di adesione secondo UNI EN 1542. Possono valutare l'adesione di una malta sul calcestruzzo di supporto, oppure di una verniciatura prottettiva

Prova di valutazione dello spessore di film bagnato in corso di applicazione

6. Altri interventi per il ripristino e rinforzo di strutture in c.a.

Nell'ambito del ripristino e rinforzo delle strutture, vi sono altre tipologie di intervento che possono essere eseguite, in particolare ne citiamo alcune:

6.1 Sigillature/iniezioni di fessure con prodotti strutturali

Si tratta di interventi che garantiscono il riempimento di fessure anche di ridottissime aperture, tramite materiali ad altissima fluidità, bassa viscosità, elevato potere adesivo e prestazioni meccaniche elevatissime, quali ad esempio resine superfluide per iniezioni a base epossidica. I prodotti Master Builders Solutions sono conformi ai requisiti previsti nella norma UNI EN 1504-5 e sono marcati CE. Per maggiori dettagli si faccia riferimento al ns. personale tecnico.

6.2 Incollaggi strutturali

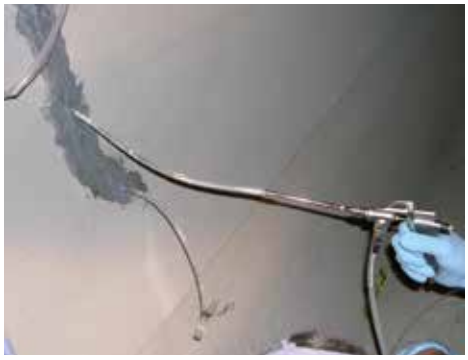
Altra tipologia di applicazione finalizzata al ripristino/rinforzo è quella che prevede l'utilizzo di specifici adesivi strutturali, principalmente a base di resine epossidiche e non a solventi. Differenti sono le tipologie di "lavorabilità" di questi prodotti, studiate in funzione della tipologia di lavorazione da eseguirsi. Si trovano infatti:

- paste epossidiche per la realizzazione di incollaggi tra differenti materiali (ad esempio calcestruzzo, acciaio) e di rasature, quali MasterBrace ADH 4000;
- resine fluide per effettuare riprese di getto, quali MasterFlow 150.

Tutti i prodotti sono conformi alla normativa UNI EN 1504-4 e sono marcati CE. Per maggiori dettagli si faccia riferimento al ns. personale tecnico.

6.3 Rinforzo con materiali compositi FRP

Si tratta di materiali ad altissima resistenza a trazione che vengono usualmente utilizzati per il rinforzo a flessione, taglio e per cerchiature di strutture compresse. Per maggiori dettagli si faccia riferimento al relativo quaderno tecnico di Master Builders Solutions.



Esempi di applicazioni di materiali compositi FRP per il rinforzo delle strutture

7. I materiali Master Builders Solutions per gli interventi di ripristino/rinforzo delle strutture in c.a.

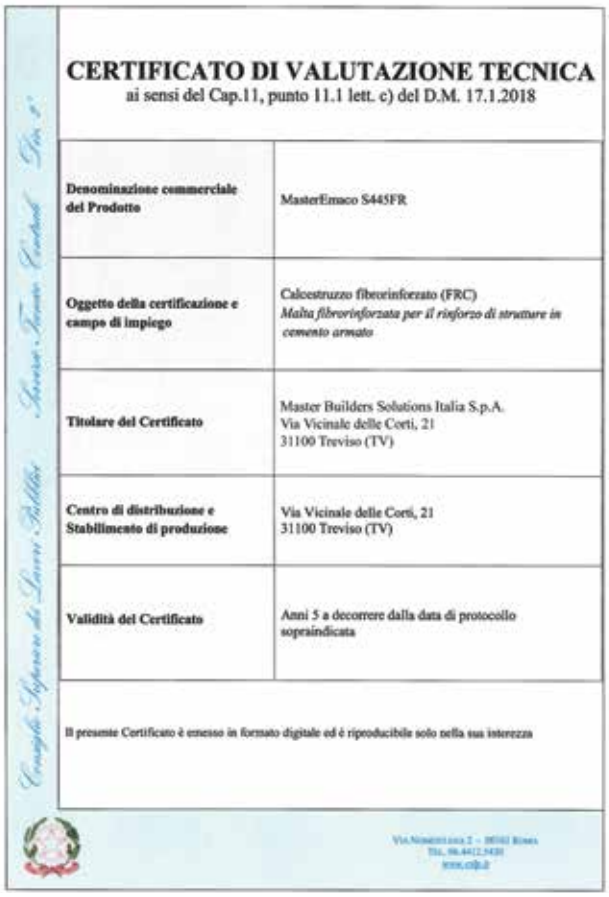
Master Builders Solutions, consapevole che solo la specializzazione formulativa dei materiali e la completezza delle soluzioni offerte possa portare ad un elevato grado di soddisfazione da parte degli attori del settore (Progettisti, Direttori dei Lavori, Imprese di Costruzioni, Committenti, ecc.) prevede, per il ripristino, riparazione, rinforzo e la protezione delle strutture in c.a. una gamma altamente completa di prodotti.

Riteniamo, anche alla luce della nostra esperienza di decenni, che la nostra gamma di malte MasterEmaco possa risolvere la stragrande maggioranza dei problemi che si possano presentare e senza escludere soluzioni particolari personalizzabili.

Si precisa inoltre che tutti i prodotti da ripristino devono avere prestazioni conformi ai requisiti indicati nella normativa UNI EN 1504, e ciò si concretizza con la marcatura CE. Tutti i prodotti per il ripristino, riparazione e protezione delle strutture prodotti da Master Builders Solutions sono conformi a tali requisiti e presentano la marcatura CE.

La scelta del materiale più idoneo per ottenere il migliore risultato è fondamentale, anche se non risulta sempre agevole a causa della grande abbondanza di prodotti e tecnologie disponibili sul mercato.

I sistemi MasterEmaco FR si fregiano del CVT (Certificato di Valutazione Tecnica), certificazione necessaria per l'applicazione a tutti gli effetti di un prodotto FRC.



CERTIFICATO DI VALUTAZIONE TECNICA
ai sensi del Cap.11, punto 11.1 lett. c) del D.M. 17.1.2018

Denominazione commerciale del Prodotto	MasterEmaco S445FR
Oggetto della certificazione e campo di impiego	Calcestruzzo fibrorinforzato (FRC) *Malta fibrorinforzata per il rinforzo di strutture in cemento armato*
Titolare del Certificato	Master Builders Solutions Italia S.p.A. Via Vicinale delle Corti, 21 31100 Treviso (TV)
Centro di distribuzione e Stabilimento di produzione	Via Vicinale delle Corti, 21 31100 Treviso (TV)
Validità del Certificato	Anni 5 a decorrere dalla data di protocollo sopraindicata

Il presente Certificato è emesso in formato digitale ed è riproducibile solo nella sua interezza

Certificato di Valutazione Tecnica di MasterEmaco S 445 FR

MasterEmaco

MALTE E BETONCINI ESPANSIVI ALL'ARIA

Sono prodotti che garantiscono il migliore risultato in termini di qualità del ripristino. Richiedono un supporto macroscopicamente ruvido. Vantano decenni di esperienza nelle opere principalmente infrastrutturali, ma anche nell'edilizia civile.

MALTE POLIMERO MODIFICATE

Sono prodotti che garantiscono un ottimo risultato in termini di adesione anche su supporti preparati con tecniche poco invasive, quali la sabbiatura o la idrosabbiatura. Vengono generalmente utilizzati in ambito infrastrutturale ed in particolar modo laddove non sia possibile eseguire una preparazione del supporto tipo idroscafica.

MALTE RAPIDE ANCHE A BASSE TEMPERATURE (FINO A -10°C)

Vengono utilizzate in tutti i casi di manutenzione delle strutture dove venga richiesta una rimessa in esercizio della struttura particolarmente rapida, anche in condizioni di basse temperature.

MALTE AD ELEVATO CONTENUTO TECNOLOGICO

Sono prodotti basati su nanostrutture che, pur garantendo prestazioni e durabilità molto elevate, privilegiano il concetto "One product for all uses". Per tale ragione sono dedicati quasi esclusivamente all'edilizia civile e sono trattati in una brochure dedicata.

ADESIVI STRUTTURALI E PRODOTTI DA INIEZIONE A BASE DI RESINE EPOSSIDICHE

Sono prodotti a base di resine epossidiche, non a solvente, disponibili nella versione tixotropica (ed anche in cartuccia) per incollaggi ed inghisaggi e nella versione fluida (anche a bassissima viscosità), per iniezioni, inghisaggi e riprese di getto.

MasterBrace

Sono prodotti realizzati con pregiati filati di carbonio, vetro, che permettono la produzione di tessuti, barre, lamine e connettori per il rinforzo di strutture. L'approccio all'utilizzo, le prestazioni, le modalità progettuali sono indicate in un quaderno tecnico specifico sviluppato da Master Builders Solutions.

MasterProtect

Sono verniciature appositamente sviluppate per la protezione superficiale delle strutture in c.a.

Conferiscono alla struttura anche un gradevole effetto estetico grazie alla disponibilità di tinte su richiesta.

Di seguito si riportano due tabelle che aiutano ad individuare i materiali più idonei per gli interventi richiesti.

7.1 Guida alla scelta dei prodotti cementizi

TECNICHE DI RIPRISTINO/RINFORZO	SPESSORE DEL					
	LIEVE		MEDIO			
	1	3	10	20	30	40
Rasatura di strutture per ottenere una protezione, unitamente ad una finitura estetica ottimale (in particolare con l'utilizzo dei protettivi linea master Protect)		MasterEmaco S 950				
	MasterEmaco N 405 FC					
Applicazione manuale di malte tixotropiche o a spruzzo con macchine/pompe non a ciclo continuo			MasterEmaco S 498 FR - MasterEmaco S 499 FR (duttile)			
			MasterEmaco S 488 TIX (con rete elettr. per spessori > 2 cm)			
			MasterEmaco S 955			
Applicazione di malte colabili o betoncini o calcestruzzi mediante colaggio anche con pompe			MasterEmaco S 485 FR - MasterEmaco S 484 FR (duttile)			
			MasterEmaco S 475 PG (con rete elettr. per spessori > 2 cm)			
			MasterEmaco S 444 FR (duttile) - MasterEmaco S 445 FR (duttile)			
Applicazione manuale di malte tixotropiche rapide anche a basse temperature			MasterEmaco T 1100 TIX			
Applicazione di malte o betoncini colabili rapidi anche a basse temperature			MasterEmaco T 1200 PG			
			MasterEmaco T 1400 FR (duttile)			
Applicazione di calcestruzzi realizzati con legante espansivo						
Applicazione di calcestruzzi, realizzati con legante espansivo che contiene fibre inorganiche flessibili						
Applicazione di calcestruzzi AUTOCOMPATTANTI e ad ALTA RESISTENZA, realizzati con legante espansivo						
Applicazione di calcestruzzi realizzati con legante espansivo e fibrorinforzato con fibre metalliche rigide ad elevata duttilità						
	MALTE					

7.2 Guida alla scelta dei protettivi filmogeni

	GRADO DI PROTEZIONE				
	MASSIMA	ELEVATA		MEDIA	
Prodotto	MasterProtect 220	MasterProtect 325 EL	MasterProtect 142	MasterProtect 320	MasterProtect 314
Natura della resina	Protettivo poliuretanico	Protettivo acrilico	Protettivo epossi acrilico	Protettivo acrilico	Protettivo metacrilico
Caratteristiche di flessibilità	Elastica	Elastica	Rigida	Rigida	Rigida
Spessore	Primer 50 µm Finitura 200-400 µm	Primer 50 µm Finitura 200-400 µm	Finitura 200 µm	Primer 50 µm Finitura 200 µm	Primer 50 µm Finitura 50-100 µm
Ambito applicativo	Infrastrutture	Edifici civili	Tunnel	Edifici industriali	Infrastrutture

* in questa tabella sono escluse le protezione e contatto permanente con acqua o strutture idraulici in genere

DEGRADO (mm)							PREPARAZIONE DEL SUPPORTO
	PROFONDO					MOLTO PROFONDO	
	50	60	70	80	90	>100	
							Sabbiatura, idrosabbiatura
							Demolizione meccanica, idroscarifica
							Sabbiatura, idrosabbiatura
	MasterEmaco S 485 FR + ghiaino						Demolizione meccanica, idroscarifica
	MasterEmaco S 465 MC						
	MasterEmaco S 444 FR + ghiaino /MasterEmaco S 445 FR - senza ghiaino						
	MasterEmaco T 1200 PG + ghiaino						Demolizione meccanica, idroscarifica
	MasterEmaco T 1400 FR + ghiaino						
						CLS con MasterEmaco A 640	Demolizione meccanica, idroscarifica
						CLS con MasterEmaco A 670 FR	Demolizione meccanica, idroscarifica
						CLS con MasterEmaco A 650 SCC	Demolizione meccanica, idroscarifica
						CLS con MasterEmaco A 680 FR	Demolizione meccanica, idroscarifica
	BETONCINI					CALCESTRUZZI	

Vediamo ora le prestazioni dei prodotti Master Builders Solutions con riferimento alla normativa UNI EN 1504.

7.3 Prestazioni malte tixotropiche e colabili

	Limiti di accettazione Classe R4	MasterEmaco S 484 FR	MasterEmaco S 488 TIX	MasterEmaco S 498 FR	MasterEmaco S 499 FR	MasterEmaco S 955
Descrizione prodotto	-	Malta colabile duttile R4 con fibre HPF, ad espansione contrastata ed elevatissima durabilità per ripristini del c.a. senza armatura di contrasto.	Malta tixotropica strutturale R4. Ad espansione contrastata, elevata durabilità e resistenza alla fessurazione con protezione delle armature per ripristini del c.a..	Malta tixotropica fibrorinforzata strutturale R4, ad espansione contrastata in aria ed elevata durabilità per ripristini del c.a. senza armatura di contrasto.	Malta tixotropica e spruzzabile duttile R4 con fibre HPF, ad espansione contrastata ed elevatissima durabilità per ripristini del c.a. senza armatura di contrasto.	Malta tixotropica bicomponente strutturale R4, polimero modificata ad alta durabilità, resistenza alla fessurazione con inibitori di corrosione per ripristini del c.a.
Spessori di applicazione[6]	-	10-100 mm	10-50 mm	10-50 mm	10-50 mm	10-50 mm
Marcatura CE	-	1504-3	1504-3	1504-3	1504-3	1504-3
Caratteristiche espansive con maturazione in aria: - UNI 8147 modificata - Test di Inarcamento / Imbarcamento	-	1 g > 0,04% Inarcamento	1 g > 0,04% Inarcamento	1 g > 0,04% Inarcamento	1 g > 0,04% Inarcamento	-
Prova di fessurabilità (O Ring test)	-	Nessuna fessura dopo 180 giorni	Nessuna fessura dopo 180 giorni	Nessuna fessura dopo 180 giorni	Nessuna fessura dopo 180 giorni	Nessuna fessura dopo 180 giorni
Contenuto ioni cloruro, UNI EN 1015-17	< 0,05%	< 0,05%	< 0,05%	< 0,05%	< 0,05%	< 0,05%
Adesione al calcestruzzo, UNI EN 1542 su supporto di tipo MC 0,40 (avente rapporto a/c = 0,40) secondo UNI EN 1766	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa
Resistenza alla carbonatazione accelerata, UNI EN 13295	Specifica superata	Specifica superata	Specifica superata	Specifica superata	Specifica superata	Specifica superata
Modulo elastico, UNI EN 13412	> 20.000 MPa	28.000 (± 2.000) MPa	28.000 (± 2.000) MPa	28.000 (± 2.000) MPa	28.000 (± 2.000) MPa	25.000 (± 2.000) MPa
Compatibilità termica (cicli gelo - disgelo con sali disgelanti) misurata come adesione UNI EN 1542 dopo i cicli previsti sulla UNI EN 13687-1	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa
Resistenza a compressione UNI EN 12190	28 gg > 45 MPa	1 g > 25 MPa 7 gg > 55 MPa 28 gg > 65 MPa	1 g > 20 MPa 7 gg > 50 MPa 28 gg > 60 MPa	1 g > 20 MPa 7 gg > 50 MPa 28 gg > 60 MPa	1 g > 20 MPa 7 gg > 50 MPa 28 gg > 60 MPa	1 g > 20 MPa 7 gg > 40 MPa 28 gg > 48 MPa
Resistenza a trazione per flessione UNI EN 196-1	-	1 g > 6 MPa 7 gg > 9 MPa 28 gg > 14 MPa	1 g > 4 MPa 7 gg > 6 MPa 28 gg > 8 MPa	1 g > 7 MPa 7 gg > 9 MPa 28 gg > 10 MPa	1 g > 7 MPa 7 gg > 10 MPa 28 gg > 15 MPa	1 g > 5 MPa 7 gg > 6 MPa 28 gg > 8 MPa
Impermeabilità all'acqua misurata come coefficiente di assorbimento capillare UNI EN 13057	< 0,5 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	≤ 0,25 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	≤ 0,15 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	≤ 0,25 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	≤ 0,25 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	≤ 0,25 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$
Impermeabilità all'acqua misurata come resistenza alla penetrazione dell'acqua in pressione diretta UNI EN 12390/8	-	profondità media penetrazione < 5 mm	profondità media penetrazione < 5 mm	profondità media penetrazione < 5 mm	profondità media penetrazione < 5 mm	profondità media penetrazione < 5 mm
Resistenza allo sfilamento delle barre di acciaio RILEM-CEB-FIP RC6-78	-	> 25 MPa	> 25 MPa	> 25 MPa		> 20 MPa
Caratteristiche di tenacità, in conformità con le linee guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC	-	Classe 5a	-	-	Classe 5a	-
Le prestazioni riportate sono ottenute con un dosaggio di acqua pari a		15%	16%	16%	16%	-

Applicazione di malta tixotropica ad espansione contrastata all'aria MasterEmaco S 488 in accoppiamento con rete elettrosaldata, per il ripristino di travature in cemento armato

Applicazione a spruzzo di malta tixotropica ad espansione contrastata all'aria, fibrorinforzata con fibre inorganiche flessibili MasterEmaco S 498 FR, per interventi di ripristino di elementi verticali in cemento armato

Applicazione di malta tixotropica, polimero modificata MasterEmaco A 955 con successiva protezione filmogena per intervento di ripristino di una diga

7.4 Prestazioni malte e betoncini colabili

	Limiti di accettazione Classe R4	MasterEmaco S 445 FR	MasterEmaco S 485 FR	MasterEmaco S 475 PG	MasterEmaco S 465 MC	MasterEmaco S 444 FR
Descrizione prodotto	-	Malta colabile ad altissima duttilità R4 con fibre metalliche anticorrosione. Ad espansione contrastata ed elevata durabilità per ripristini del c.a.	Malta colabile fibro-rinforzata strutturale R4. Ad espansione contrastata ed elevata durabilità per ripristini del c.a. senza armatura di contrasto.	Malta colabile strutturale R4. Ad espansione contrastata, elevata durabilità e resistenza alla fessurazione con protezione delle armature per ripristini del c.a.	Betoncino strutturale R4, ad espansione contrastata, elevata durabilità e resistenza alla fessurazione con protezione delle armature per ripristini del c.a.	Malta colabile ad alta duttilità R4 con fibre metalliche anticorro-sione. Ad espansione contrastata, elevata durabilità e resistenza agli urti per ripristini del c.a.
Spessori di applicazione[6]	-	10-100 mm	10-50 mm	10-50 mm	60-100 mm	10-100 mm
Marcatura CE	-	1504-3	1504-3	1504-3	1504-3	1504-3
Caratteristiche espansive con maturazione in aria: - UNI 8147 modificata - Test di Inarcamento / Imbarcamento	-	1 g > 0,04% Inarcamento	1 g > 0,04% Inarcamento	1 g > 0,04% Inarcamento	1 g > 0,04% Inarcamento	1 g > 0,04% Inarcamento
Prova di fessurabilità (O Ring test)	-	Nessuna fessura dopo 180 giorni	Nessuna fessura dopo 180 giorni	Nessuna fessura dopo 180 giorni	Nessuna fessura dopo 180 giorni	Nessuna fessura dopo 180 giorni
Contenuto ioni cloruro, UNI EN 1015-17	< 0,05%	< 0,05%	< 0,05%	< 0,05%	< 0,05%	< 0,05%
Adesione al calcestruzzo, UNI EN 1542 su supporto di tipo MC 0,40 (avente rapporto a/c = 0,40) secondo UNI EN 1766	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa
Resistenza alla carbona-tazione accelerata, UNI EN 13295	Specifica superata	Specifica superata	Specifica superata	Specifica superata	Specifica superata	Specifica superata
Modulo elastico, UNI EN 13412	> 20.000 MPa	28.000 MPa	28.000 (± 2.000) MPa	28.000 (± 2.000) MPa	30.000 (± 2.000) MPa	27.000 (± 2.000) MPa
Compatibilità termica (cicli gelo - disgelo con sali disgelanti) misurata come adesione UNI EN 1542 dopo i cicli previsti sulla UNI EN 13687-1	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa
Resistenza a compressione, UNI EN 12190	28 gg > 45 MPa	1 g > 35 MPa 7 gg > 80 MPa 28 gg > 90 MPa	1 g > 25 MPa 7 gg > 55 MPa 28 gg > 65 MPa	1 g > 25 MPa 7 gg > 55 MPa 28 gg > 70 MPa	1 g > 25 MPa 7 gg > 55 MPa 28 gg > 70 MPa	1 g > 30 MPa 7 gg > 50 MPa 28 gg > 70 MPa
Resistenza a trazione per flessione, UNI EN 196/1	-	-	1 g > 6 MPa 7 gg > 8 MPa 28 gg > 10 MPa	1 g > 4 MPa 7 gg > 6 MPa 28 gg > 7 MPa	1 g > 7 MPa 7 gg > 9 MPa 28 gg > 10 MPa	1 g > 10 MPa 7 gg > 13 MPa 28 gg > 16 MPa
Assorbimento capillare misurato come coefficiente di assorbimento capillare, UNI EN 13057	< 0,5 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,1 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,25 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,08 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,1 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,1 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$
Impermeabilità all'acqua misurata come resistenza alla penetrazione dell'acqua in pressione diretta, UNI EN 12390/8	-	profondità media penetrazione < 5 mm	profondità media penetrazione < 5 mm	profondità media penetrazione < 5 mm	profondità media penetrazione < 5 mm	profondità media penetrazione < 5 mm
Resistenza allo sfilamen-to delle barre d'acciaio, RILEM-CEB-FIP RC6-78	-	> 25 MPa	> 25 MPa	> 25 MPa	> 25 MPa	> 25 MPa
Caratteristiche di tenacità, in conformità con ASTM C1018 - Carico di prima fessurazione - Indice di tenacità	-	Classe 14b in conformità con le linee guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecni-ca ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorin-forzati FRC	-	-	-	> 20 KN I_{20} > 20 in conformità con ASTM C1018-Carico di prima fessurazione - Indice di tenacità
Le prestazioni riportate sono ottenute con un dosaggio di acqua pari a	-	12%	12,25%	12,25%	15%	13,5%

Pompaggio di betoncino colabile ad espansione contrastata in aria, fibrorinforzata con fibre inorganiche flessibili, MasterEmaco S 485 FR, per il ripristino di una soletta su viadotto

Esempio di confezionamento di prodotti linea MasterEmaco in sacconi per miscelazione in autobetoniera

Applicazione di malta colabile ad espansione contrastata in aria, fibrorinforzata con fibre metalliche rigide MasterEmaco S 444 FR, per il ripristino di giunti e di pavimentazioni soggette a carichi dinamici ed urti

7.5 Prestazioni rasature

	Limiti di accettazione Classe R2	MasterEmaco N 405 FC	Limiti di accettazione Classe R3	MasterEmaco S 950
Descrizione prodotto	-	Rasante monocomponente, polimero modificato a granulometria fine. Ad elevata durabilità e alta resistenza alla fessurazione per rasature di strutture in c.a.	-	Malta tixotropica bicomponente strutturale, polimero modificata ad alta durabilità, resistenza alla fessurazione con inibitori di corrosione per interventi corticali.
Spessori di applicazione[6]	-	1-3 mm	-	3-20 mm
Marcatura CE	-	1504-3	-	1504-3
Contenuto ioni cloruro, UNI EN 1015-17	< 0.05%	< 0.05%	< 0.05%	< 0.05%
Adesione al calcestruzzo, UNI EN 1542 su supporto di tipo MC 0,40 (avente rapporto a/c = 0,40) secondo UNI EN 1766	≥ 0.8 MPa	≥ 2,5 MPa	≥ 1.5 MPa	≥ 2 MPa
Resistenza alla carbonatazione accelerata, UNI EN 13295	-	Specifica superata	-	Specifica superata
Modulo elastico, UNI EN 13412	-	14.000 (± 2.000) MPa	> 15.000 MPa	25.000 (± 2.000) MPa
Compatibilità termica (cicli gelo - disgelo con sali disgelanti) misurata come adesione UNI EN 1542 dopo i cicli previsti sulla UNI EN 13687-1	≥ 0.8 MPa	≥ 2,5 MPa	> 1.5 MPa	≥ 2 MPa
Resistenza a compressione, UNI EN 12190	28 gg > 15 MPa	1 g > 12 MPa 7 gg > 24 MPa 28 gg > 35 MPa	28 gg > 25 MPa	1 g > 10 MPa 7 gg > 27 MPa 28 gg > 38 MPa
Resistenza a trazione per flessione, UNI EN 196/1	-	1 g > 4 MPa 7 gg > 5 MPa 28 gg > 7 MPa	-	1 g > 2 MPa 7 gg > 5 MPa 28 gg > 7 MPa
Assorbimento capillare misurato come coefficiente di assorbimento capillare, UNI EN 13057	< 0,5 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,5 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,5 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,5 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$
Le prestazioni riportate sono ottenute con un dosaggio di acqua pari a		18%		-

Applicazione di rasatura tixotropica, polimero modificata MasterEmaco N 950 FC con successiva verniciatura protettiva su ponte ad arco

7.6 Prestazioni malte e betoncini colabili rapidi per applicazioni a basse temperature

	Limiti di accettazione	**MasterEmaco T 1200 PG**	**MasterEmaco T 1400 FR**	**MasterEmaco T 1100 TIX**
Descrizione prodotto	-	Malta colabile, rapida ad elevatissime prestazioni per il ripristino, i fissaggi strutturali e la veloce rimessa in esercizio fino a -10°C.	Malta colabile, rapida, con fibre metalliche rigide, elevatissima duttilità per applicazioni strutturali e veloce rimessa in esercizio fino a -10°C.	Malta tixotropica, rapida ad elevatissime prestazioni per il ripristino, i fissaggi strutturali e la veloce rimessa in esercizio fino a -10°C.
Spessori di applicazione[6]	-	10-150 mm	10-150 mm	10-150 mm
Marcatura CE	-	1504-3	1504-3	1504-3
Adesione al calcestruzzo, UNI EN 1542 su supporto di tipo MC 0,40 (avente rapporto a/c = 0,40) secondo UNI EN 1766	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa
Impermeabilità all'acqua misurata come resistenza alla penetrazione dell'acqua in pressione diretta, UNI EN 12390/8	-	Profondità media penetrazione < 5 mm	Profondità media penetrazione < 5 mm	Profondità media penetrazione < 5 mm
Impermeabilità all'acqua misurata come coefficiente di assorbimento capillare, UNI EN 13057	< 0,5 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,1 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,1 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,1 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$
Compatibilità termica (cicli gelo - disgelo con sali disgelanti) misurata come adesione UNI EN 1542 dopo i cicli previsti sulla UNI EN 13687-1	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 2 MPa
Resistenza alla carbonatazione accelerata, UNI EN 13295	Specifica superata	Specifica superata	Specifica superata	Specifica superata
Modulo elastico, UNI EN 13412	-	31.000 (± 2.000) MPa	31.000 (± 2.000) MPa	31.000 (± 2.000) MPa
Resistenza a compressione, UNI EN 12190*	a 28 gg>45 MPa	> -5°C 5°C 20°C 3 ore 8 15 20 4 ore 12 20 35 8 ore 20 30 40 24 ore 50 55 60 7 gg 65 65 70 28 gg 85 85 85	> -5°C 5°C 20°C 3 ore 8 15 20 4 ore 12 20 35 8 ore 20 30 40 24 ore 50 55 60 7 gg 65 65 70 28 gg 85 85 85	> -5°C 5°C 20°C 3 ore 8 15 20 4 ore 12 20 35 8 ore 20 30 40 24 ore 50 55 60 7 gg 65 65 70 28 gg 85 85 85
Resistenza a trazione per flessione, UNI EN 196/1	-	1 g > 7 MPa 7 gg > 8 MPa 28 gg > 9 MPa	1 g > 15 MPa 7 gg > 20 MPa 28 gg > 30 MPa	1 g > 7 MPa 7 gg > 8 MPa 28 gg > 9 MPa
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio, RILEM-CEB-FIP RC6-78	-	> 25 MPa	> 25 MPa	> 25 MPa
Le prestazioni riportate sono ottenute con un dosaggio di acqua pari a		11,4%	11,4%	13,4%

**Le resistenze meccaniche alle basse temperature si riferiscono ad impasti realizzati con prodotto ed acqua a temperatura di +10°C. Quando le strutture dovranno essere messe in esercizio in tempi brevissimi è sempre indispensabile verificare le effettive resistenze meccaniche che si ottengono nelle reali condizioni dello specifico cantiere.*

7.7 Leganti

	MasterEmaco A 640	MasterEmaco A 670 FR	MasterEmaco A 650 SCC	MasterEmaco A 680 FR
Descrizione prodotto	Legante espansivo additionato con microfibre indicato per il confezionamento di calcestruzzi e di boiacche per iniezione.	Legante espansivo fibrorinforzato per il confezionamento di calcestruzzi reoplastici per spessori superiori a 80 mm. Evita l'utilizzo di armatura di contrasto.	Legante espansivo per calcestruzzi autocompattanti privi di bleeding, a basso rapporto A/C. Ad elevatissime prestazioni meccaniche, anche per boiacche da iniezione.	Legante espansivo fibrorinforzato con fibre metalliche rigide, per calcestruzzi duttili, reoplastici per spessori superiori a 80 mm. Evita l'utilizzo di armatura di contrasto.
Espansione contrastata, UNI 8148	1 g > 0,03%	1 g > 0,04%	1 g > 0,03%	1 g > 0,04%
Adesione calcestruzzo, UNI EN 1542	> 1,5 MPa	> 1,5 MPa	> 1,5 MPa	> 1,5 MPa
Impermeabilità all'acqua - in pressione, UNI EN 12390/8 - assorbimento capillare, UNI EN 13057	Profondità media penetrazione < 20 mm < 0,5 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	Profondità media penetrazione < 20 mm < 0,5 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	Profondità media penetrazione < 20 mm < 0,5 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	Profondità media penetrazione < 20 mm < 0,5 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$
Resistenza alla carbonatazione accelerata, UNI EN 13295	Superata	Superata	Superata	Superata
Compatibilità termica (cicli gelo-disgelo con sali disgelanti), UNI EN 13687/1	Superata	Superata	Superata	Superata
Resistenza ai solfati (15 cicli), ASTM C88	Nessun degrado	Nessun degrado	Nessun degrado	Nessun degrado
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio, RILEM–CEB-FIP RC6-78	> 15 MPa	> 15 MPa	> 15 MPa	> 15 MPa
Modulo elastico, UNI 6556	30.000 (± 2.000) MPa	30.000 (± 2.000) MPa	30.000 (± 2.000) MPa	30.000 (± 2.000) MPa
Resistenza a compressione, UNI EN 12190	1 g > 20 MPa 7 gg > 55 MPa 28 gg > 65 MPa	1 g > 20 MPa 7 gg > 35 MPa 28 gg > 50 MPa	1 g > 20 MPa 7 gg > 55 MPa 28 gg > 65 MPa	1 g > 20 MPa 7 gg > 35 MPa 28 gg > 50 MPa
Resistenza a trazione per flessione, UNI EN 196/1	1 g > 4 MPa 7 gg > 7 MPa 28 gg > 8,5 MPa	1 g > 2 MPa 7 gg > 3 MPa 28 gg > 4 MPa	1 g > 3 MPa 7 gg > 6 MPa 28 gg > 8 MPa	1 g > 2 MPa 7 gg > 3 MPa 28 gg > 4 MPa
Metodo di prova per calcestruzzo con fibre metalliche - Misurazione della resistenza a trazione per flessione [limite di proporzionalità (LOP), resistenza residua]. Requisiti minimi secondo UNI 14651	-	-	-	fR1k = 2.8 MPa fR3k = 2.8 MPa

1. Ci si riferisce ad un calcestruzzo confezionato con 400 kg/m³ MasterEmaco A 640, aggregati lavati, non gelivi, privi di impurità, non reattivi con gli alcali aventi Dmax = 25,4 mm, consistenza S5, UNI EN 12350/2, T = 20 °C, Ur > 90%
2. Ci si riferisce ad un calcestruzzo confezionato con 400 kg/m³ di MasterEmaco A 670 FR, aggregati lavati, non gelivi, privi di impurità, non reattivi con gli alcali aventi Dmax = 25,4 mm; consistenza S4, UNI EN 12350/2 in assenza di bleeding; T = 20 °C, Ur > 90%
3. Ci si riferisce ad un calcestruzzo confezionato con 520 kg/m³ di MasterEmaco A 650 SCC, aggregati lavati, non gelivi, privi di impurità, di idonea curva granulometrica, non reattivi con gli alcali aventi Dmax = 25,4 mm, Consistenza SCC secondo UNI 11041 fluidità > 600 mm, T = 20 °C, Ur > 90%
4. Ci si riferisce ad un calcestruzzo confezionato con 420 kg/m³ di MasterEmaco A 680 FR, aggregati lavati, non gelivi, privi di impurità, non reattivi con gli alcali aventi Dmax = 25,4 mm, consistenza S5, UNI EN 12350/2, T = 20 °C, Ur > 90%

Applicazione di calcestruzzo a ritiro compensato realizzato con legante espansivo MasterEmaco A 640 per il ripristino di solette

7.8 Prestazioni protettivi superficiali

	Limiti di accettazione	MasterProtect 325 EL	MasterProtect 220	MasterProtect 142	MasterProtect 314	MasterProtect 320
Descrizione prodotto	-	Protettivo elastomerico all'acqua ad elevato crack bridging Classe A4 e resistenza agli UV, bassissima presa di sporco per la protezione filmogena del c.a. e degli edifici civili.	Protettivo elastomerico poliuretanico alifatico a solvente, ad elevato crack bridging per la protezione filmogena del cemento armato.	Rivestimento bicomponente epossiacrilico all'acqua, bianco, con elevato tenore di biossido di titanio per la protezione di gallerie e sottopassi stradali.	Protettivo monocomponente a base di metacrilati in solvente UV resistente, indicato per la protezione filmogena del cemento armato.	Protettivo acrilico all'acqua ad alta resa e resistenza agli UV, con caratteristiche di limitata presa di sporco per la protezione filmogena del c.a. e degli edifici civili.
Spessore film secco	-	200-400 µm	200-400 µm	200 µm	50-100 µm	200 µm
Marcatura CE	-	1504-2	1504-2	1504-2	1504-2	1504-2
Adesione al calcestruzzo, UNI EN 1542 su supporto di tipo MC 0,40 (avente rapporto a/c = 0,40) secondo UNI EN 1766	Per i sistemi rigidi senza traffico: > 1 MPa	> 3,0 MPa (rottura di tipo A per mancata coesione del substrato)	> 3,5 MPa (rottura di tipo A per mancata coesione del substrato)	> 3 MPa (rottura di tipo A per mancata coesione del substrato)	> 3,5 MPa (rottura di tipo A per mancata coesione del substrato)	> 3 MPa (rottura di tipo A per mancata coesione del substrato)
Permeabilità al vapore acqueo, UNI EN ISO 7783/2: spessore di aria equivalente	Sd < 5 m	Sd < 0,79 m (µ < 2000)	Sd < 1,2 m (µ < 6000)	Sd > 1,8 m (µ < 9.000)	Sd < 3,2 m (µ < 32.000)	Sd < 0,46 m (µ < 4.000)
Impermeabilità all'acqua misurata come coefficiente di assorbimento capillare, UNI EN 13057	< 0,5 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,01 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,01 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$ (impermeabile ai cloruri)	< 0,01 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$ (impermeabile ai cloruri)	< 0,07 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$	< 0,1 $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-0,5}$
Permeabilità alla CO_2, UNI EN 1062/6: spessore di aria equivalente	Sd > 50 m	Sd > 115 m (µ > 315.000)	Sd > 450 m (µ > 2.100.000)	Sd > 120 m (µ > 600.000)	Sd > 250 m (µ > 2.500.000)	Sd = 93 m (µ = 580.000)
Crack bridging ability statico (23 °C) con spessore del rivestimento 300/400 µm, UNI EN 1062/7	-	A4 (cavillature > 1,25 mm)	A1 (cavillature >0,1 mm) B1 (100 cicli, 0,03 Hz con movimento fessura di 0,05 mm a partire da una fessura iniziale di 0,1 mm)	-	-	A1 (cavillature > 100 µm)
Resistenza all'impatto, UNI EN ISO 6272	Classe I - Classe II - Classe III	-	20 N·m Classe III	-	-	-
Resistenza all'abrasione, UNI EN ISO 5470/1 (carico 1000 g mola abrasiva H22/1000 cicli) misurata come perdita di peso	<3.000 mg	-	< 500 mg	<100 mg	< 200 mg	-
Compatibilità termica (cicli gelo - disgelo con sali disgelanti) misurata come adesione UNI EN 1542 dopo 50 cicli UNI EN 13687/1 su supporto di tipo MC 0,40 avente rapporto a/c = 0,40 secondo UNI EN 1766	Per i sistemi flessibili non soggetti a traffico > 0,8 MPa Per i sistemi rigidi senza traffico: > 1 MPa	>3 MPa	>3,5 MPa	> 3 MPa (rottura di tipo A)	>3,5 MPa	>3 MPa
Resistenza all'esposizione agli agenti atmosferici artificiali (radiazioni UV ed umidità relativa), UNI EN 1062/11 dopo 2000 ore di intemperie artificiali	Nessun rigonfiamento, nessuna fessurazione, nessuna scagliatura	Nessun rigonfiamento, nessuna fessurazione, nessuna scagliatura	Nessun rigonfiamento, nessuna fessurazione, nessuna scagliatura	Nessun rigonfiamento, nessuna fessurazione, nessuna scagliatura	Nessun rigonfiamento, nessuna fessurazione, nessuna scagliatura	Nessun rigonfiamento, nessuna fessurazione, nessuna scagliatura
Presa di sporco - UNI 10792	-	4,53 (Bassa)	-	Δ_L < 2,8 Classe I (variazione di luminosità bassissima)		4,53 (Bassa)

Master Builders Solutions

Master Builders Solutions riunisce tutta l'esperienza e la competenza nella chimica per le costruzioni.

Le nostre soluzioni sono destinate alle nuove costruzioni, alla manutenzione, risanamento e ristrutturazione di edifici civili, industriali e infrastrutture. Master Builders Solutions si fonda sull'esperienza acquisita in oltre un secolo di attività nel settore. Il know-how e l'esperienza di una comunità globale di esperti costituiscono il nucleo di Master Builders Solutions.

Combiniamo i giusti elementi del nostro portfolio prodotti per aiutarvi ad affrontare qualsiasi sfida nel settore delle costruzioni. Operiamo in oltre 60 nazioni in tutto il mondo attingendo da esperienze di innumerevoli progetti realizzati. Le tecnologie sviluppate a livello globale, unite alla nostra conoscenza approfondita delle diverse esigenze costruttive locali, ci permettono di innovare e contribuire al vostro successo guidandovi verso un'edilizia sostenibile.

Le nostre soluzioni:

- Additivi per calcestruzzo
- Additivi per cemento
- Soluzioni per costruzioni sotterranee
- Soluzioni per impermeabilizzazione
- Sigillanti
- Soluzioni per il ripristino e la protezione del calcestruzzo
- Malte per ancoraggi
- Soluzioni per pavimentazione ad alte prestazioni
- Soluzioni per la posa di rivestimenti tradizionali

Master Builders Solutions per l'Industria delle Costruzioni

MasterAir
Soluzioni per calcestruzzi aerati

MasterBrace
Soluzioni per il consolidamento statico del calcestruzzo

MasterCast
Soluzioni per la prefabbricazione terra-umida

MasterCell
Soluzioni per calcestruzzi leggeri

MasterCem
Soluzioni per la produzione del cemento

MasterColor
Soluzioni per calcestruzzi architettonici

MasterEase
Soluzioni per calcestruzzi a reologia migliorata e bassa viscosità

MasterEmaco
Soluzioni per il ripristino del calcestruzzo

MasterFiber
Soluzioni per il calcestruzzo fibrorinforzato

MasterFinish
Soluzioni per il disarmo

MasterFlow
Soluzioni per ancoraggi di precisione

MasterGlenium
Soluzioni per calcestruzzi performanti ad elevata lavorabilità e basso rapporto A/C

MasterInject
Soluzioni per le iniezioni in strutture in calcestruzzo

MasterKure
Soluzioni per la stagionatura del calcestruzzo

MasterLife
Soluzioni per calcestruzzi durevoli

MasterMatrix
Soluzioni per il controllo della reologia in calcestruzzi reodinamici

MasterPel
Soluzioni per calcestruzzi idrofobizzati

MasterProtect
Soluzioni per la protezione del calcestruzzo

MasterRheobuild
Soluzioni per calcestruzzi superfluidi

MasterRoc
Soluzioni per le costruzioni in sotterraneo

MasterSeal
Soluzioni per l'impermeabilizzazione e la sigillatura

MasterSet
Soluzioni per il controllo dell'idratazione

MasterSuna
Soluzioni per l'uso di sabbie "difficili"

MasterSure
Soluzioni per una tenuta straordinaria

MasterTile
Soluzioni ideali per incollare e sigillare pavimenti e rivestimenti

MasterTop
Soluzioni per pavimentazioni industriali

Master X-Seed
Soluzioni per il calcestruzzo prefabbricato con indurimento accellerato

Ucrete
Soluzioni per pavimentazioni ad elevata durabilità

QUANTIFIED SUSTAINABLE BENEFITS ADVANCED CHEMISTRY BY MASTER BUILDERS SOLUTIONS

Facciamo parlare i numeri: abbiamo raffigurato alcune delle nostre soluzioni di prodotto più eco-efficienti per la produzione di calcestruzzo e di elementi prefabbricati, costruzioni, ingegneria civile e pavimentazioni.

sustainability.master-builders-solutions.com/it/

Master Builders Solutions Italia Spa
Via Vicinale delle Corti, 21
31100, Treviso - Italia
T +39 0422 429 200
infomac@mbcc-group.com
www.master-builders-solutions.com/it-it

Le informazioni qui contenute circa le modalità d'uso o di impiego dei nostri prodotti, corrispondono allo stato attuale delle nostre conoscenze scientifiche e pratiche e non comportano l'assunzione di alcuna nostra garanzia e/o responsabilità sul risultato finale delle lavorazioni con impiego dei nostri prodotti. Non dispensano, quindi, il cliente dall'onere e responsabilità esclusivi di verificare l'idoneità dei nostri prodotti per l'uso e gli scopi che si prefigge. La qualità contrattuale del prodotto al momento del trasferimento si basa esclusivamente sulle informazioni presenti nella scheda tecnica. Tutte le descrizioni, i disegni, le fotografie, i dati, le misure, i pesi, ecc. indicati in questa pubblicazione possono essere modificati senza preavviso. È responsabilità di chi riceve i nostri prodotti assicurarsi che siano rispettati eventuali diritti proprietari come anche le leggi e le legislazioni vigenti.

® = marchio registrato di un membro del gruppo MBCC in molti paesi del mondo

MBS-01-2022-ICR-0119-IT

QUADERNO TECNICO INFRASTRUTTURE IN C.A.

GENNAIO 2022

DNART