

Quaderno tecnico

Iniezioni

Soluzioni per le Opere in Sotterraneo







I cementi microfini

Considerazioni generali

L'utilizzo dei cementi microfini trova largo impiego nelle seguenti tipologie esecutive:

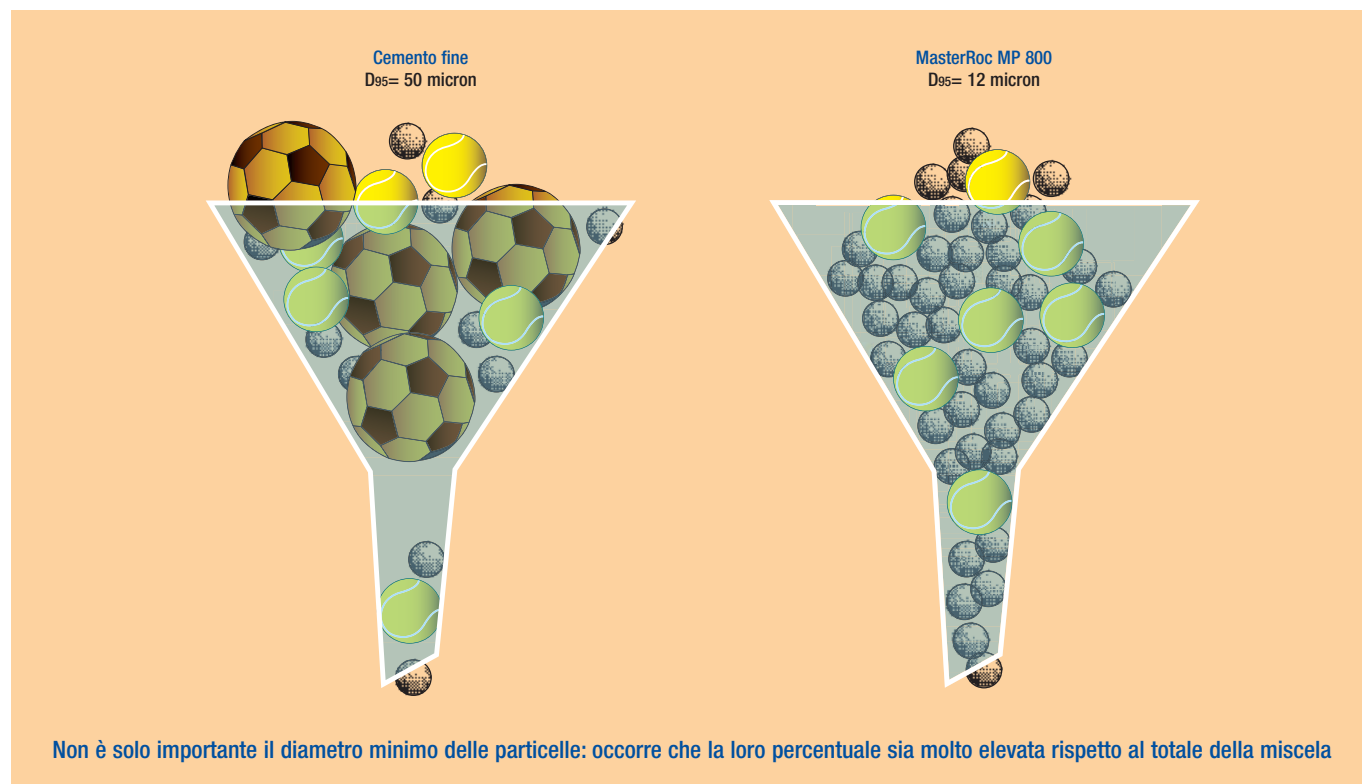
- **negli interventi di impermeabilizzazione e presostegno allo scavo**, dove l'estrema finezza delle fessurazioni in roccia o la ridotta porosità dei terreni impediscono l'assorbimento e la penetrazione delle miscele cementizie tradizionali entro il supporto
- **nella sigillatura di acque di falda**
- **nel consolidamento dei terreni in genere**
- **nelle iniezioni in calcestruzzi fessurati.**

I cementi microfini **MasterRoc MP 650/800** sono caratterizzati da:

- **elevata finezza**

questo parametro è determinato dal valore di blaine espresso in m^2/kg e in particolare dal valore D_{95} che rappresenta la dimensione, espressa in micron (μm), al di sotto della quale sta il 95% della massa del cemento microfine: maggiori sono i valori di blaine e minore è il valore di D_{95} , maggiore è la finezza

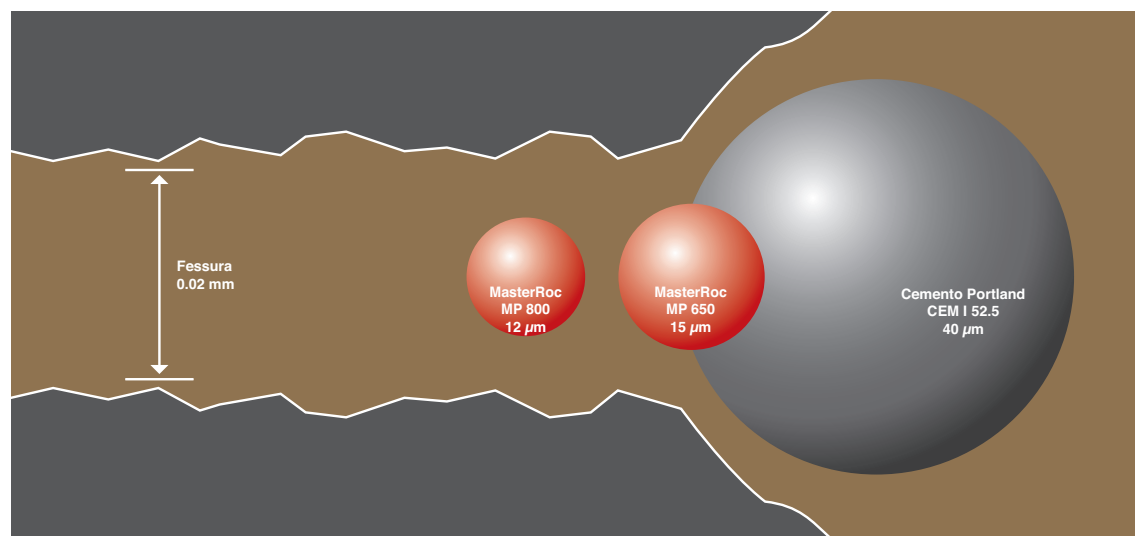
- sono composti di **clinker puro di cemento Portland** assortito in opportuna curva granulometrica.



Benefici applicativi

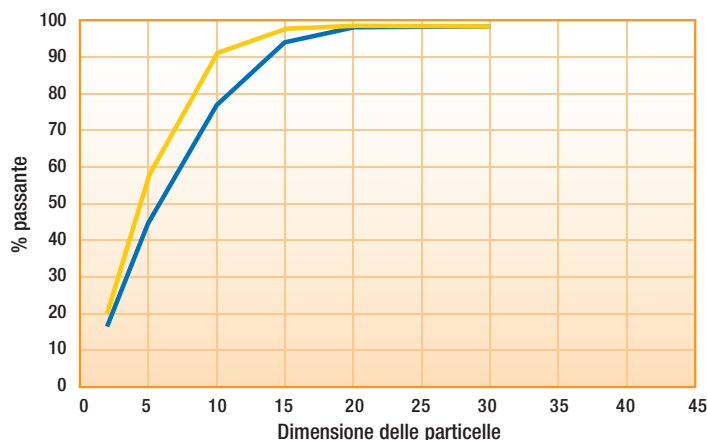
Grazie al fatto di essere composti di clinker puro di cemento Portland presentano:

- **più rapidi tempi di presa** rispetto ai cementi microfini reperibili in commercio formulati con clinker e aggiunte di pozzolana o loppe finemente macinate, filler micronizzati, ecc.: conseguentemente una maggiore rapidità dei tempi di presa comporta una **riduzione dei tempi esecutivi nel loro complesso, un maggiore controllo della possibile dispersione nel terreno e alte resistenze meccaniche**.
Peraltro c'è da segnalare che, **in caso si debbano necessariamente avere lunghi tempi operativi di lavorabilità (qualche ora)**, è possibile adottare la seguente tecnologia.
Alla miscelazione dei **MasterRoc MP 650/800** viene aggiunto l'additivo a base di acido carbossilico **MasterRoc HCA 10** in ragione di 0.5-1,0 lt/100 kg di cemento avente la funzione di inibire l'idratazione per il tempo ritenuto necessario (da prevedersi in ogni caso l'impiego del **MasterRheobuild 2000 PF**, come oltre espresso).
Prove preliminari sul mantenimento della lavorabilità e sui tempi di presa consentiranno di definire le opportune percentuali dei componenti.
- **eccellente stabilità** anche sotto elevate pressioni di pompaggio, assicurando un'efficace penetrazione in rocce e terreni
- **sensibile riduzione del bleeding** (sedimentazione della parte solida che provoca acqua di essudazione superficiale)
- **impiego di attrezzature** comunemente usate per le comuni iniezioni cementizie
- **economicità** rispetto alle iniezioni chimiche a base di acrilati.



Benefici prestazionali

- **Elevata capacità di penetrazione**
anche in rocce microfessurate e terreni fini
- **Elevate resistenze**
- **Elevata durabilità**



Curve
granulometriche
dei cementi microfini
MasterRoc MP 650 e
MasterRoc MP 800

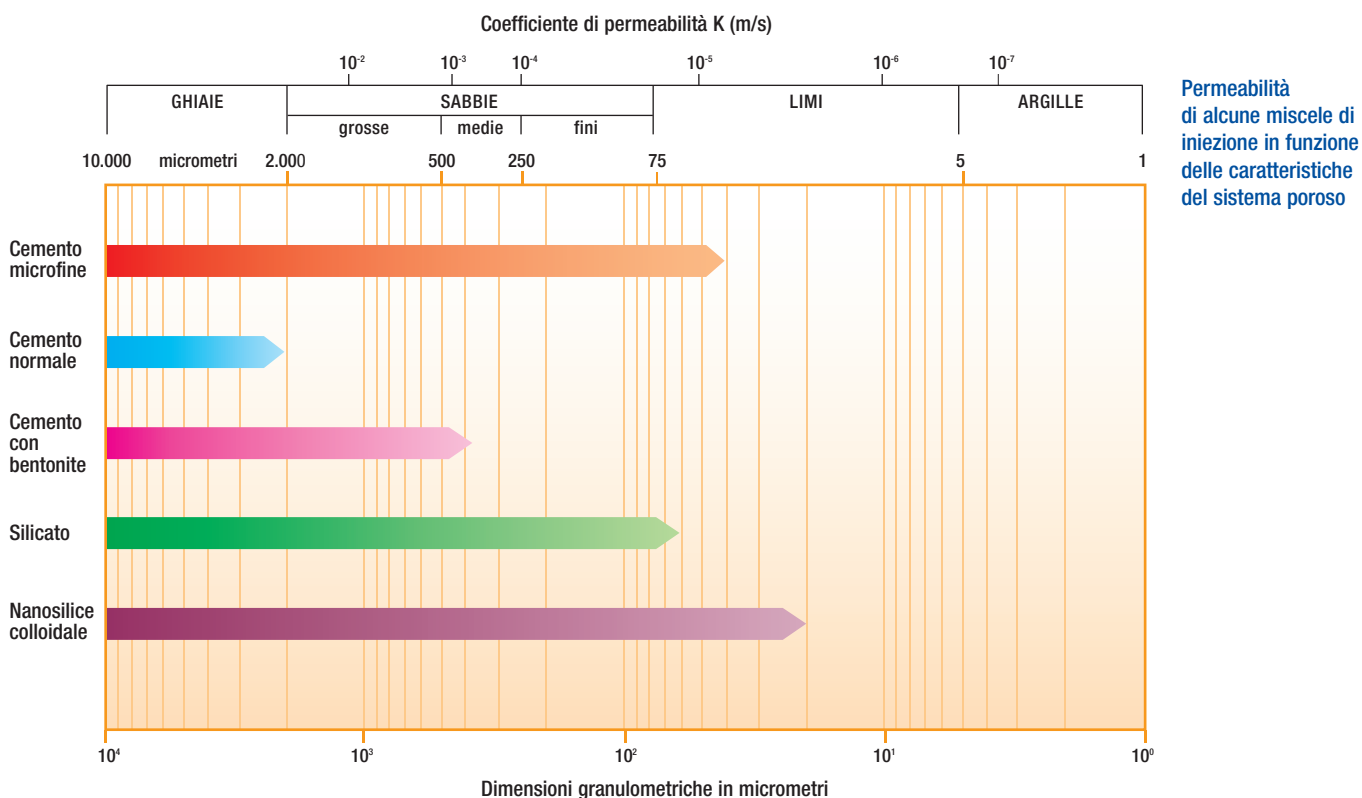
MasterRoc MP 650
MasterRoc MP 800

Impiego congiunto del superfluidificante MasterRheobuild 2000 PF

Come noto, le particelle disperse in acqua tendono a sedimentare sotto l'effetto della gravità, il che incide negativamente sulla capacità della miscela a penetrare e consolidare il sistema fessurato e/o poroso: il volume dei vuoti realmente consolidati sarà quello corrispondente alla frazione sedimentata e non quello corrispondente al volume iniettato.

Tale effetto è tanto più significativo quanto più elevato è il rapporto acqua/cemento.

Per ovviare a tale inconveniente e al contempo eliminare la tendenza a flocculare (formazione di grumi), si deve sempre aggiungere alla miscelazione il superfluidificante **MasterRheobuild 2000 PF**. Il **dosaggio del superfluidificante varia dall'1 al 3% in peso sul cemento**: il dosaggio ottimale viene definito in funzione delle specifiche esigenze tecnico-operative (temperature esterne, tipo di attrezzatura, tipologia di iniezione da eseguire, ecc.).



Considerazioni tecnico-pratiche sull'utilizzo dei cementi microfini

Considerazioni teoriche di carattere geometrico evidenziano la necessità di rispettare la seguente relazione:

$$D_{95,C} \leq 0,08 \cdot D_{5,t}$$

dove

$D_{95,C}$ dimensione espressa in micrometri (μm) al di sotto della quale sta il 95% del legante

$D_{5,t}$ dimensione espressa in micrometri (μm) al di sotto della quale sta il 5% del terreno

Tale relazione lega quindi la dimensione massima del legante a quella della dimensione minima dei granuli di sabbia che sono quelli che condizionano i pori di diametro minore del terreno.

*Se per esempio si deve trattare un terreno con $D_{5,t} = 190 \mu\text{m}$, risulta: $D_{95,C} \leq 0,08 \cdot 190 = 15 \mu\text{m}$ e pertanto dalle schede tecniche si può rilevare che il cemento microfine idoneo è **MasterRoc MP 800** che presenta $D_{95,C} < 15 \mu\text{m}$*

Peraltro la condizione sopra espressa va associata alla viscosità della dispersione: dovendo infatti ottenere una **reale immissione** della miscela nel terreno, è opportuno che vengano impiegate pressioni di iniezioni tali da non danneggiare meccanicamente il sistema da consolidare. Quindi una bassa viscosità della miscela risulta indispensabile allo scopo di facilitare la penetrazione della stessa.

Risulta infine anche indispensabile che non si verifichino rigonfiamenti della miscela o che le particelle costituenti la miscela stessa non diano origine a fenomeni di agglomerazione nel caso vengano a contatto con acqua nella fase dispersa, cioè a iniezione effettuata.

I cementi microfini MasterRoc MP 650/800 soddisfano pienamente a tali requisiti grazie alla loro elevata fluidità e stabilità volumetrica nel tempo.

Peraltro relativamente alla capacità di grouting, cioè di reale immissione nel terreno, di una miscela di cementi microfini, diversi autori legano le caratteristiche del terreno a quelle del microcemento secondo **le seguenti relazioni che sono le più diffuse in letteratura tecnica** (rapporto di iniettabilità della miscela-groutability ratio, da Mitchell, 1981):

$$N = D_{15} / D_{85, \text{microcemento}}$$

dove

D₁₅ dimensione in micrometri (μm) al di sotto della quale sta il 15% del terreno

D_{85, microcemento} dimensione espressa in micrometri (μm) al di sotto della quale sta l'85% del legante

Se **N** è >24 il grouting è possibile, mentre per **N** <11 non lo è.

Nell'intervallo tra 11 e 24 il grouting è possibile previe prove preliminari.

Alternativamente:

$$N_c = D_{10} / D_{95, \text{microcemento}}$$

dove

D₁₀ dimensione espressa in micrometri (μm) al di sotto della quale sta il 10% del terreno

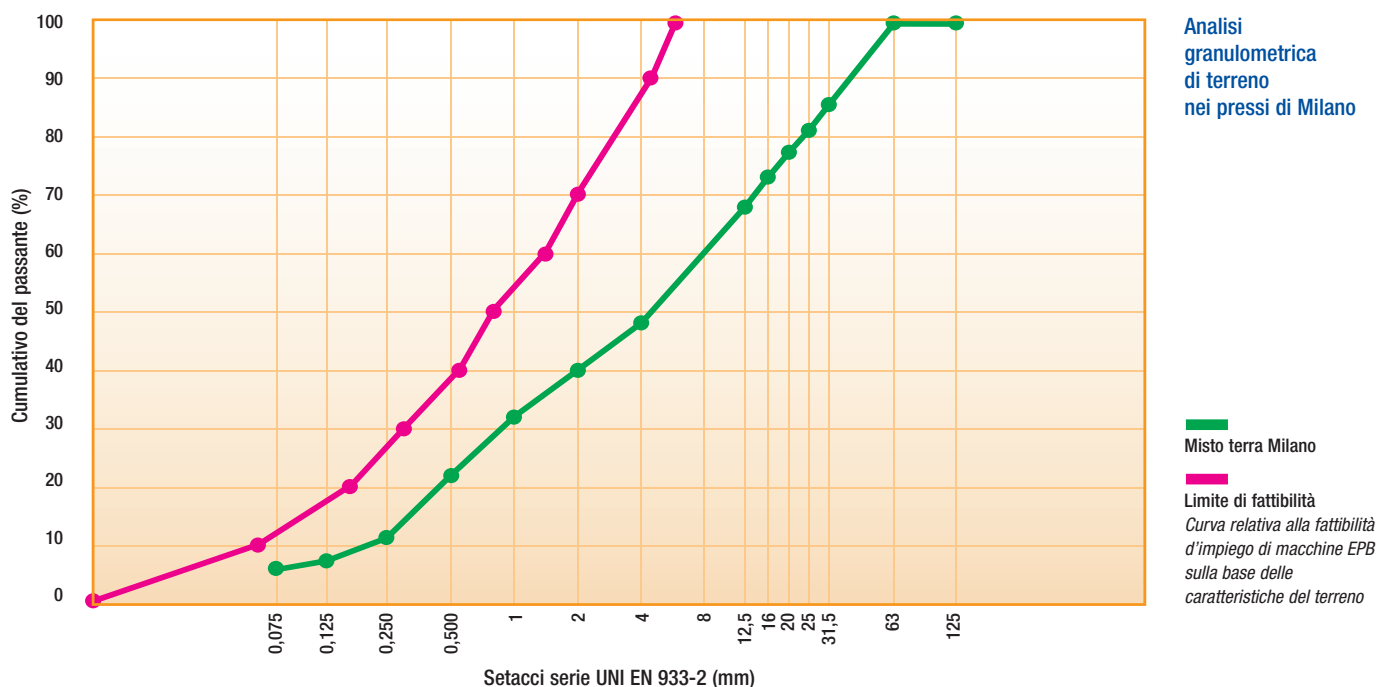
D_{95, microcemento} dimensione espressa in micrometri (μm) al di sotto della quale sta il 95% del legante

Se **N_c** è >11 il grouting sarà possibile, mentre per **N_c** <6 non lo è.

Nell'intervallo tra 6 e 11 il grouting è possibile previe prove preliminari.

Se ad es. **D₁₅ ~375 μm** e **D₁₀ ~250 μm** (terreno tipico di Milano, vedi figura), può essere impiegato **MasterRoc MP 650** che, avendo **D₈₅ <15 μm** e **D₉₅ <20 μm**, comporta i valori **N = 375/15 = 25** e **N_c = 250/20 = 21** (grouting possibile di iniezione), mentre un cemento Portland ordinario (classe 42.5), per il quale si può stimare in media **D₈₅ ~55 μm** e **D₉₅ ~45 μm**, comporta **N = 375/55 = 6,8** e **N_c = 250/45 = 5,5**, il che renderebbe impossibile, secondo i criteri di cui sopra, il suo utilizzo nel consolidamento del terreno.

Nel caso si adottasse il primo metodo, risultando **D_{95,C} ≤ 0,08 • 75 = 6 μm**, si potrà fare impiego di **MasterRoc MP 800** per il quale fra 5 e 10 μm si ha oltre il 98% di passante (il primo criterio risulta così più restrittivo).



Per quanto riguarda invece le iniezioni cementizie **in rocce fessurate** si può fare riferimento al seguente rapporto di iniettabilità:

$$Nr = \frac{\text{larghezza della fessura}}{D_{95, \text{microcemento}}}$$

Se $Nr > 5$ il grouting è possibile con miscele cementizie, se $Nr < 2$ non lo è.

*Si può così vedere, per esempio, che con **MasterRoc MP 650** si possono iniettare fessure di $75 \mu m$ ($D_{95} \sim 15 \mu m$, da cui larghezza fessura $= 15 \times 5 = 75 \mu m$), mentre con **MasterRoc MP 800** è possibile iniettare fessure di $40 \mu m$ ($100 \mu m = 0,1 \text{ mm}$)*

Terreni	$N > 24$	$N < 11$
	grouting possibile	grouting non possibile

alternativamente

Terreni	$N_c > 11$	$N_c < 6$
	grouting possibile	grouting non possibile
Rocce	$Nr > 5$	$Nr < 2$
	grouting possibile	grouting non possibile

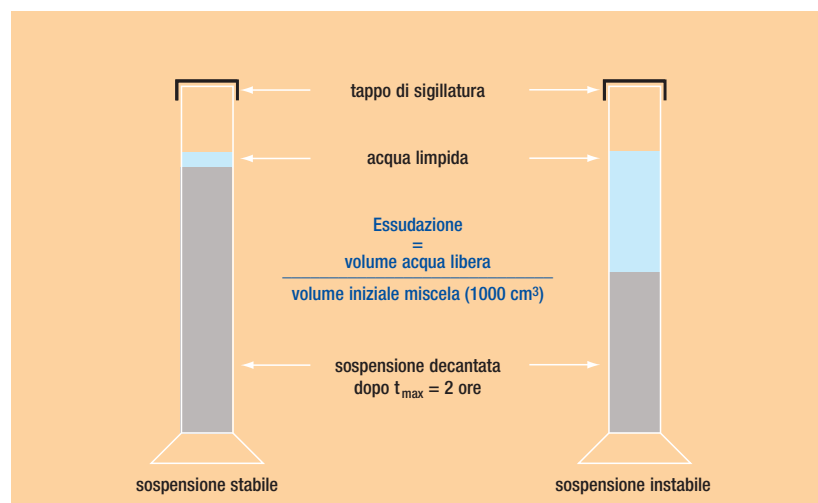
Rapporto di iniettabilità: capacità di una miscela di penetrare in un terreno o in formazione rocciosa

Nella seguente tabella sono riportati i rapporti di iniettabilità per **terreni soggetti a liquefazione** che notoriamente comporta una perdita di resistenza fino al conseguimento delle condizioni di fluidità (per esempio sedimenti sabbiosi saturi in acqua che, perdendo contatto reciproco, assumono comportamento da liquido, o sedimenti che si trovano al di sotto del terreno di falda e che si comportano come un liquido viscoso a causa di un aumento della pressione neutra, o interstiziale o dell'acqua, e di una riduzione della pressione efficace).

Come noto, la possibilità di liquefazione è uno degli aspetti più importanti nell'ambito dell'**ingegneria sismica**. Come si può rilevare, in base ai criteri esposti, solo i cementi microfini sono in grado di poter essere iniettati nella maggior parte dei terreni soggetti a possibile liquefazione.

Tipo cemento	N	Nc
Cementi Portland Normali	1 - 9	1 - 5
Cementi microfini	15 - 113	8 - 71

Valutazione del bleeding (acqua essudata)



Schema della prova per la determinazione del tasso di sedimentazione

Le soluzioni solide tendono a sedimentare cioè a separarsi nei loro costituenti.

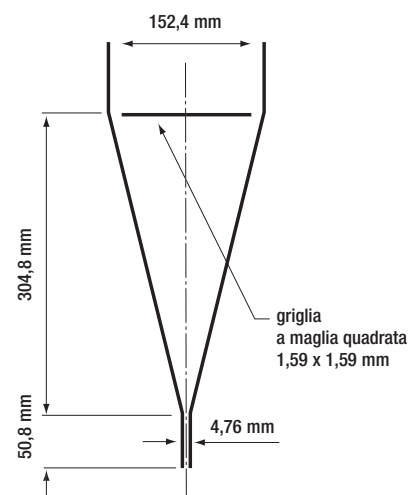
La figura riporta la **prova di bleeding**, che consente di valutare la separazione tra la parte solida (cemento) e la parte liquida (acqua). Riempito con la miscela il tubo (diam. interno 60 mm, altezza 400 mm, capacità di almeno 1 litro) e atteso un tempo di 2 ore, il valore del volume di acqua risalita in superficie viene diviso per quello del volume originario della miscela pari a 1000 cm³: il numero ottenuto, espresso in percentuale, costituisce il **valore di bleeding** (secondo UNI 11152, punto 11).

Con i cementi microfini **MasterRoc MP 650/800** il valore è $\leq 1\%$, a significare l'elevata capacità di ritenzione d'acqua della miscela, che non sarà così soggetta a fenomeni di separazione una volta iniettata.

Valutazione della fluidità (cono di Marsh)

Per la facilità d'impiego anche in cantiere oltre che in laboratorio, è possibile fare uso del cono di Marsh che consente di valutare il tempo di efflusso di 1 litro di miscela (secondo UNI 11152, punto 13).

Tempo di efflusso	
Acqua	≈ 28 secondi
MasterRoc MP 800 (a/c=1.0)	≈ 33 secondi
MasterRheobuild 2000 PF (2%)	



Valutazione dei tempi di presa

Con un dosaggio medio di MasterRheobuild 2000 PF di 1,5% risulta:

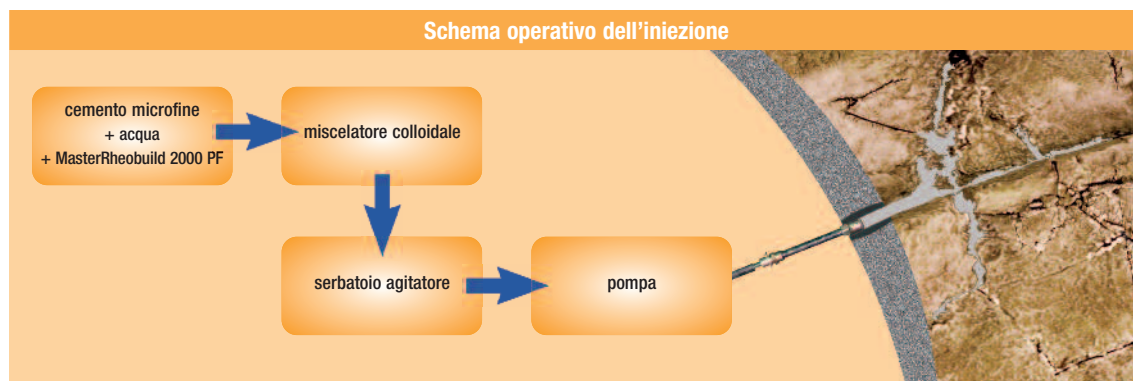
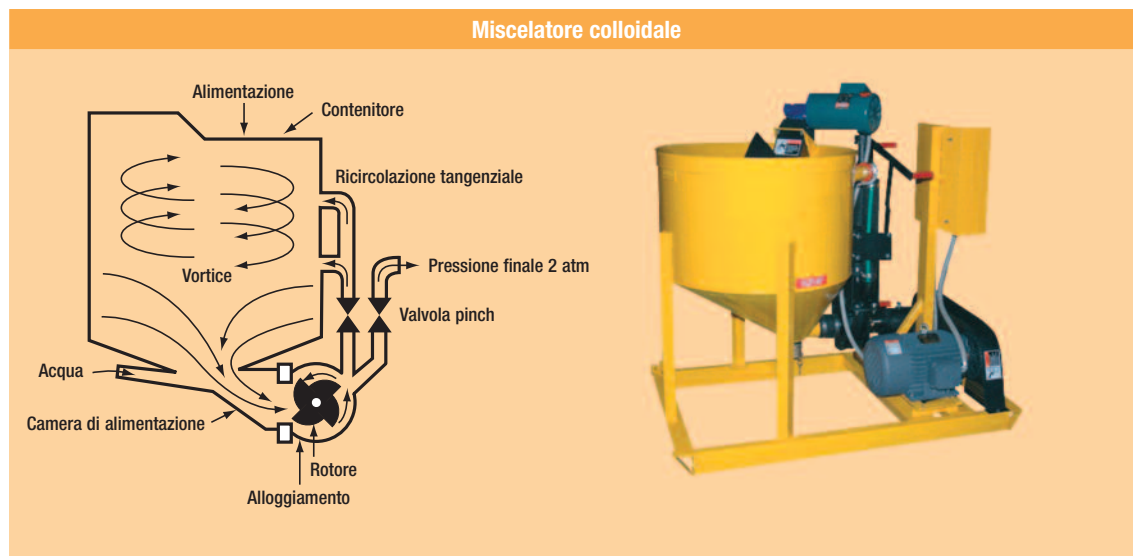
Caratteristiche medie di impasti MasterRoc (t= 20° C)			
Densità boiaccia		1,48 – 1,50 kg/t	
Rapporto acqua/cemento		1.0	
Tempi di presa	inizio	60-120 minuti	
	finale	120-150 minuti	

Inizio e fine presa sono misurati con l'**ago di Vicat** (secondo UNI EN 196-3).



Tipologia di attrezzature

È estremamente importante utilizzare miscelatori efficienti nella preparazione delle miscele. Essi devono consentire una rottura dei grumi che si formano nelle miscele cementizie (floculazione) e al contempo consentire un'efficace bagnatura di tutte le particelle di cemento in modo da facilitarne la corretta idratazione. A tale scopo è raccomandabile usare miscelatori ad elevata velocità (1500-2000 rpm) come i **miscelatori colloidali**, che creano un vortice e un moto di taglio che realizza le condizioni ottimali per i cementi microfini, consentendone la diffusa e omogenea idratazione di tutte le particelle.



Resistenze meccaniche

In genere le comuni iniezioni cementizie presentano rapporti acqua/cemento (a/c) compresi tra 1,5 e 2,0, ma occorre tenere presente che a tali valori calano sensibilmente le resistenze ed aumenta fortemente la probabilità della sedimentazione della miscela.

Con i cementi microfini **MasterRoc MP 650/800** si possono ottenere, **con rapporti a/c = 1,0, resistenze meccaniche a compressione di 10-15 MPa a 3 giorni**.

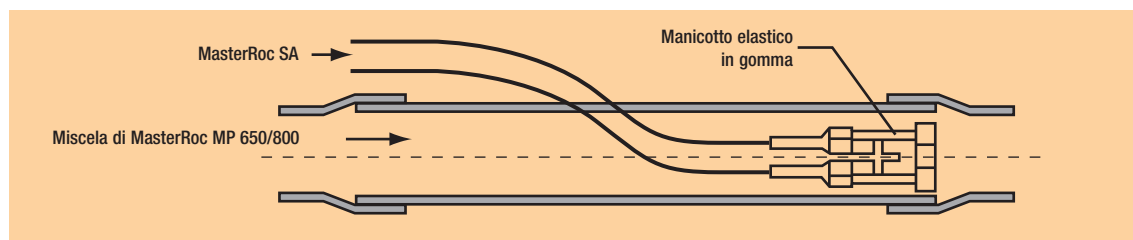
Con altri materiali di iniezione (per esempio silice colloidale, soluzioni a base di silicati, ecc.), che reagiscono attraverso fenomeni di gelificazione, non si ottengono resistenze meccaniche confrontabili con quelle ottenute con i cementi microfini.

Pertanto **l'impiego del MasterRheobuild 2000 PF può consentire di ottenere rapporti a/c inferiori a 1,0** (il valore sarà definibile in funzione delle condizioni tecnico-operative, delle attrezzature, delle tempistiche, ecc.): in tal caso ovviamente ci sarà un incremento delle resistenze meccaniche.

Accelerazione delle miscele con cementi microfini

Come già espresso, i **MasterRoc MP 650/800**, essendo a base di clinker puro di cemento Portland, riducono sensibilmente i tempi esecutivi. Nel caso fosse operativamente necessario **accelerarne ulteriormente la presa** (ad esempio nelle fasi di post grouting per evitare il riflusso), si può impiegare congiuntamente **un accelerante alkali free della serie MasterRoc SA, il cui dosaggio sarà definibile mediante prove preliminari**.

La sua aggiunta può essere effettuata attraverso un ugello separato, incorporato nella testa del packer di iniezione, come illustrato nella figura.



I cementi microfini

MasterRoc MP 650/800

La seguente tabella riassume le caratteristiche granulometriche dei cementi microfini Master Builders Solutions.

	MasterRoc MP 650	MasterRoc MP 800
Blaine (m ² /kg)	> 625	> 800
% passante < 30 micron	98	99
< 15 micron	94	98
< 5 micron	44	58
< 2 micron	16	20

Voce di capitolato

La specifica potrà essere così articolata (viene preso ad esempio MasterRoc MP 800):

Nel consolidamento (o nell'iniezione) verrà utilizzato il cemento microfine MasterRoc MP 800 della Master Builders Solutions o prodotto simile avente le seguenti tassative caratteristiche:

- è ottenuto dalla macinazione di puro clinker di cemento Portland ($\geq 95\%$)
- valore della finezza: > 800 m²/kg
- presenta una ben graduata granulometria, la cui curva deve comprendere le seguenti percentuali passanti: < 20 micron 99% < 10 micron 92% < 5 micron 58%
 - con rapporto acqua/cemento di 1:1 in peso (impiego di superfuidificante) e a 20°C la presa misurata con ago di Vicat risulta: iniziale 60 - 120 minuti finale 120 - 150 minuti
- mescolato con acqua e idoneo superfuidificante con dosaggio mediamente dell'1,5 - 2,5% (1,5 - 2,5 lt/100 kg di cemento microfine), presenta:
 - rapporto acqua/cemento: 1.0
 - densità: 1,48 - 1,50 kg/lt
 - flow cone (Baroid con diam. 4,76 mm): 32 - 34 sec
 - essudazione massima: 1%

In particolare il superfuidificante usato sarà MasterRheobuild 2000 PF della Master Builders Solutions o prodotto simile avente le seguenti tassative caratteristiche:

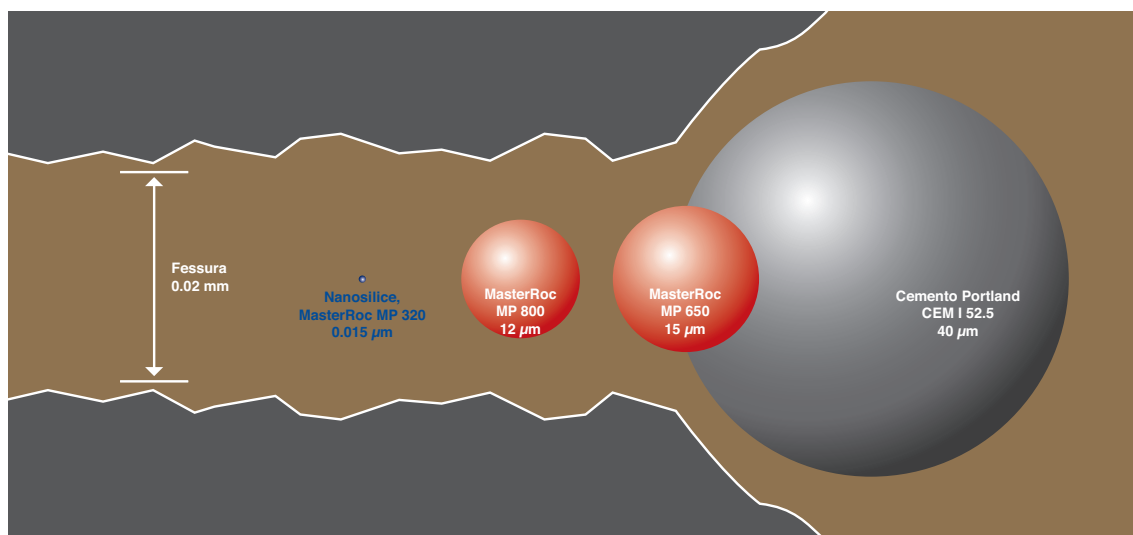
- a base di polimeri sulfonati in soluzione acquosa (non a base acrilica) e privo di cloruri
- densità: 1,23 - 1,25 kg/lt
- dosaggio variabile tra 1 e 3 lt/100 kg di microcemento in funzione della riduzione d'acqua richiesta
- il produttore sia del microcemento che del superfuidificante deve essere in conformità alla UNI EN ISO 9001:2000



Le miscele minerali

Considerazioni generali

La silice colloidale, che costituisce l'elemento base delle miscele minerali per iniezioni (**MasterRoc MP 320** e **MasterRoc MP 325**), è una sospensione acquosa in cui sono disperse particelle microscopiche di silice.



	Dimensione particelle (micron)	Superficie specifica (m ² /g)
Silice colloidale	0,016	80 - 900
Fumi di silice	0,2	15 - 25
Silice cristallina fine	5	10 - 15

Raffronto dimensionale
fra prodotti a base di silice

Caratteristiche e benefici applicativi

■ Le particelle di silice colloidale hanno una dimensione variabile da circa 4 a 16 nm

(nm = 10^{-9} m = 10^{-6} mm) e, in virtù delle loro infinitesime dimensioni, non risentono della gravità e quindi non tendono a sedimentare. Ne risulta di conseguenza un **blaine elevatissimo**, dell'ordine di $170 \div 750$ m²/g a seconda del tipo.

■ Le particelle sono costituite da **SiO₂**, cioè da quarzo, e in particolare da una distribuzione tetraedrica degli atomi che ne conferisce l'amorficità, a differenza di altri composti cristallini a base di SiO₂, i cui atomi sono ordinati a livello molecolare (silice cristallina).

Inoltre il **ph** risulta compreso tra **9** e **11**, mentre i silicati di sodio presentano valori di ph di 12-13.

Tali aspetti comportano che la silice colloidale sia sotto forma polimerica anziché costituita da monomeri, aspetti che ne aumentano la capacità di interazione e di stabilità (**durabilità**).

■ La silice colloidale presenta una bassissima viscosità (5-10 mPa • s) a seconda del tipo, paragonabile a quella dell'acqua che è pari a 1 mPa • s (per confronto la viscosità dei silicati varia tra 80 e 180 mPa • s); ciò consente alla silice colloidale di penetrare in terreni con basso valore di K ($10^{-4} \div 10^{-5}$ m/s), là dove le usuali tecnologie non consentono risultati soddisfacenti.

■ Con l'aggiunta dell'accelerante è possibile regolare in modo ottimale il **tempo di gelificazione**. Tuttavia sia **MasterRoc MP 320** che **MasterRoc MP 325** possono considerarsi dei **sistemi mono-componenti**, in quanto, pur costituiti da silice colloidale e accelerante, vengono comunemente iniettati con normali pompe monocomponenti.

- **La silice colloidale non presenta fenomeni di sineresi**, vale a dire di ritiro del gel, dovuto alla separazione tra parte solida e parte liquida, che provoca una espulsione dell'acqua con conseguente decadimento dell'iniezione.
- **La silice colloidale è chimicamente e biologicamente inerte e non tossica.**

	Nanosilice	Silicato "Water-glass"
Dimensione	Nanometrica	Più grossolana
pH	9 - 11	> 12
SiO ₂ (conc %)	15 - 40	< 35
Viscosità (mPa·s)	< 10	80 - 180
Accelerante	Normale sale da tavola (NaCl)	Acido o sale organico Talvolta ne sono necessari due
Tempo di utilizzo	Può essere controllato	Rapido, di difficile controllo
Meccanismo di gelificazione	Collisione (agglomerazione fisica tra le particelle)	Polimerizzazione (legame chimico fra molecole)
Solubilità	Nessuna	Alta
Sineresi in ambiente umido	No	No
Resistenza	Maggiore, comparata al gel di silicato	

Confronto
fra le principali
caratteristiche
della nanosilice
e il gel di silicato

Diagramma del tempo di gelificazione
in funzione della percentuale di accelerante (T= 20°C)

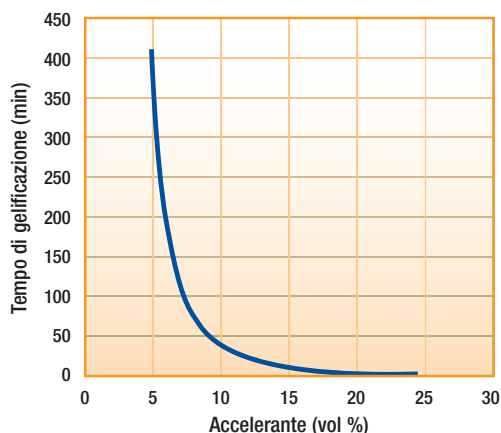
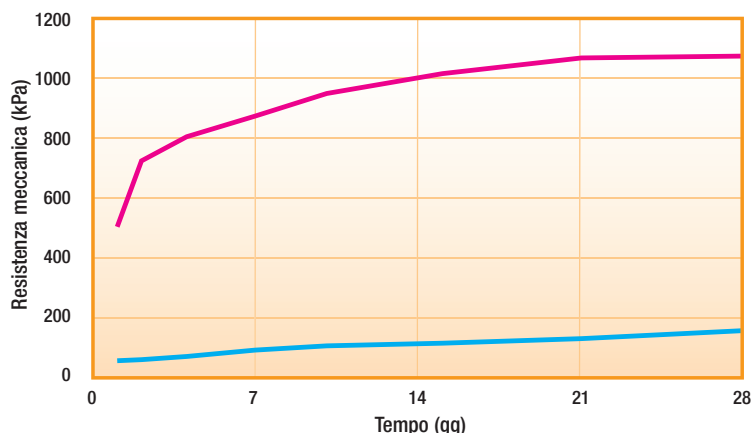


Diagramma delle resistenze meccaniche
in funzione del tempo (gg)



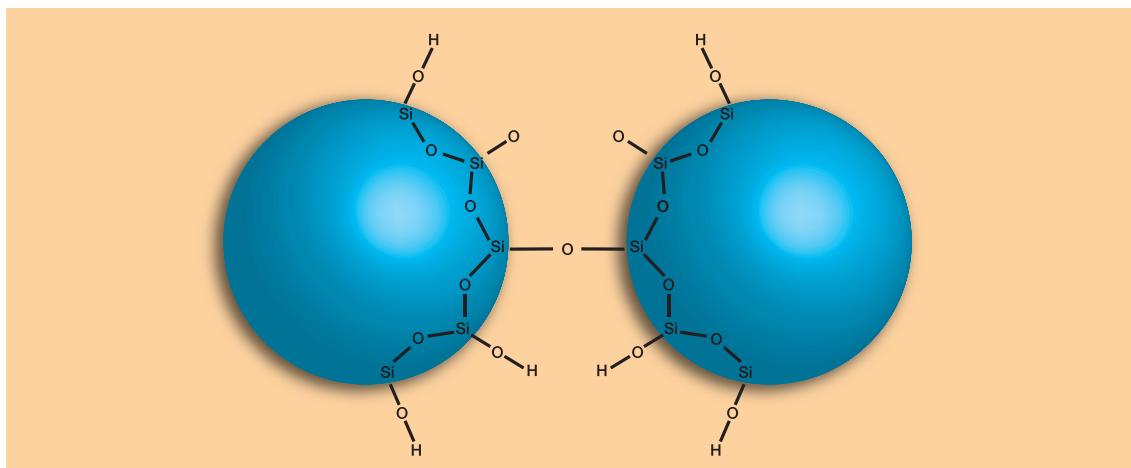
Riepilogo

- La silice colloidale è una soluzione stabile, contenente singole particelle submicroscopiche di ossido di silicio (SiO₂).
- Per ottenere il gel basta mescolare la silice colloidale con una debole soluzione di acqua e cloruro di sodio (10%) prima del pompaggio. Più si incrementa la soluzione salina, più rapido è il tempo di gelificazione in modo da poter limitare l'intervento alle zone previste.
- È una sostanza ecocompatibile e durabile nel tempo, essendo composta semplicemente da ossido di silicio, acqua e sale.
- Avendo la consistenza dell'acqua (bassa viscosità), penetra facilmente entro sabbie fini e microfratture, diminuendo drasticamente la permeabilità.
- La resistenza di terreni soggetti a possibile liquefazione (ad esempio per aspetti progettuali legati al sisma) viene significativamente incrementata dall'iniezione con silice colloidale.
- È estremamente facile da applicare, essendo sufficiente un'attrezzatura standard per iniezione.

Meccanismo d'azione

La superficie della silice è idratata come SiOH e risulta caricata negativamente: conseguentemente le forze repulsive tra le particelle impediscono la collisione l'una con l'altra.

Una volta che le forze di repulsione vengono via via attenuate dall'introduzione dell'accelerante, le particelle cominciano a collidere tra loro: inizia così il processo di gelificazione, per cui si viene a formare un vero e proprio reticolo tridimensionale e l'aggregazione continua fino a che il processo di gelificazione è completato (formazione di legami Si-O-Si).



Campi d'impiego

Date le succitate caratteristiche, le silici colloidali **MasterRoc MP 320** e **MasterRoc MP 325** consentono di realizzare **iniezioni di consolidamento e/o di impermeabilizzazione** di terreni sedimentari stratificati di natura sabbio-limosa ed in particolare:

- **iniezioni di preconsolidamento per tunneling in genere**
- **interventi di impermeabilizzazione in caso di trasudamenti e stillicidi in gallerie in corso d'opera o esistenti**
- **consolidamento di scarpate rocciose degradate**
- **miglioramento delle caratteristiche geotecniche dei terreni (come componente delle varie tecniche di consolidamento)**



Scelta del tipo di silice colloidale

La differenza tra **MasterRoc MP 325** e **MasterRoc MP 320**, in virtù del diverso processo produttivo, consiste nella maggiore superficie specifica (ca $750 \text{ m}^2/\text{g}$ del primo contro ca $170 \text{ m}^2/\text{g}$ del secondo) e nella concentrazione (15% contro 40%).

Tale differenza comporta complessivamente una maggiore reattività iniziale per **MasterRoc MP 325** (prevalenza della finezza), il che può rendere tale formulazione più idonea per rapidi interventi di impermeabilizzazione, mentre la più alta concentrazione di **MasterRoc MP 320** può risultare vantaggiosa a tempi lunghi per un maggiore grado di gelificazione.

Tuttavia, ferme restando le proprietà generali delle iniezioni con le silici colloidali, la scelta ottimale è in funzione degli obiettivi che si vogliono raggiungere in base alle caratteristiche del terreno. La scelta più idonea potrà essere definita opportunamente consultando i nostri tecnici.

Le miscele minerali

MasterRoc MP 320/325

La seguente tabella riassume le caratteristiche delle nanosilica Master Builders Solutions.

	MasterRoc MP 320	MasterRoc MP 325
SiO ₂	40	15
Dimensione media delle particelle (nanometri)	16	4
Area specifica (m ² /g)	170	750
Viscosità miscela (mPa • s, a 20° C)*	5	< 10
Densità (kg/l, a 20° C)	1,25	1,10

Voce di capitolato

La specifica potrà essere così articolata (viene preso ad esempio MasterRoc MP 325):

Nel consolidamento del terreno verrà impiegato il sistema MasterRoc MP 325 della Master Builders Solutions costituito da silice colloidale in sospensione e relativo accelerante o sistema equivalente avente comunque le seguenti tassative caratteristiche:

- la componente A deve essere base di silice colloidale in sospensione avente un blaine di ca 750 m²/g
- il componente B (accelerante) potrà essere regolato dal 5 al 30% in volume di silice colloidale in modo da poter regolare il tempo di gelificazione
- la miscela dei due componenti avrà una viscosità ≤10 mPa•sec
- la miscela dei due componenti avrà mediamente una densità di 1,10 kg/lit e un pH < 10
- una volta avvenuta la gelificazione, il prodotto finale dovrà risultare innocuo fisiologicamente
- il produttore dovrà essere in conformità alla UNI EN ISO 9001:2000



BASF
MasterRoc MP 3000
Komp B 21 750 KG net
Charge
max. 100 kg
ID-Nr. 190378

BASF
MasterRoc
Komp A 2
Charge
max. 100 kg
ID-Nr. 190378



Le resine poliuretaniche e organo-minerali

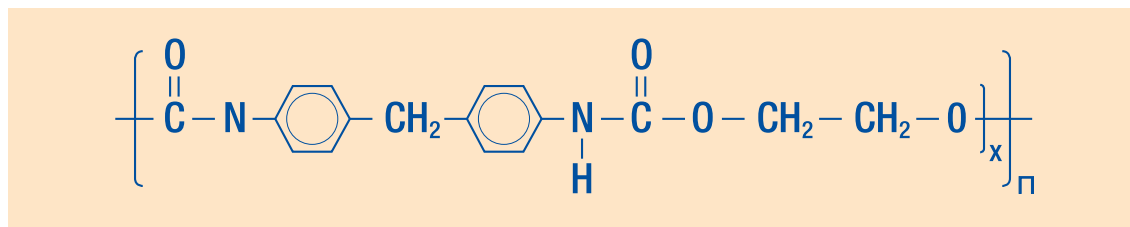
Considerazioni generali

Le resine comunemente impiegate nei lavori in sotterraneo si suddividono in due gruppi:

- **le resine poliuretaniche (mono e bicomponenti) a base esclusivamente poliuretanica**
(i componenti sono modificati a seconda delle caratteristiche che occorre ottenere)
- **le resine organo-minerali (bicomponenti) a base poliuretanica e silicatica**
(anche in tal caso i componenti sono modulabili a seconda delle caratteristiche richieste).

Entrambe le tipologie di prodotti sono formate da polimeri fortemente reattivi che hanno vasto campo di impiego in molte applicazioni pratiche. Come noto, i polimeri sono molecole giganti prodotte dall'unione di molecole più piccole (monomeri) che sono sottoposte a processo di polimerizzazione: unità ripetitive di NHCO_2 danno luogo al cosiddetto poliuretano (PU).

I prodotti di reazione possono essere rigidi, flessibili o sottoforma di schiuma. Questi ultimi presentano uno sviluppo volumetrico anche fino a 30 volte il volume dei componenti chimici di partenza. Tutti i prodotti sono inoltre modulabili con l'aggiunta di catalizzatori e altri composti al fine di ottenere le proprietà richieste.



Molecola
di poliuretano

La chimica di base

Nelle resine poliuretaniche i componenti sono costituiti da:

1) poli-isocianato (metha-di-isocianato, abbreviato in MDI).

In Europa l'isocianato è denominato componente B

2) polialcoli (abbreviati in "polioli").

In Europa il poliolo è denominato componente A

Nelle resine organo-minerali i componenti sono costituiti da:

1) poli-isocianato (metha-di-isocianato, abbreviato in MDI) denominato componente B

2) silicato di sodio modificato denominato componente A

Meccanismo di reazione

Il meccanismo di reazione che coinvolge, nelle resine poliuretaniche, l'isocianato, il poliolo e gli altri componenti e, nelle resine organo-minerali, l'isocianato, il silicato di sodio e gli altri componenti, è piuttosto complesso (in entrambe le tipologie gli altri componenti sono costituiti da catalizzatori, agenti di diluizione e surfattanti, questi ultimi aventi lo scopo di regolare la dimensione delle celle, stabilizzandone la struttura).

In generale, in termini semplificativi:

■ **resine poliuretaniche monocomponenti:**

reazione tra isocianato e acqua con formazione di poliuretano/urea e sviluppo di anidride carbonica (CO_2)

■ **resine poliuretaniche bicomponenti:**

reazione tra isocianato e poliolo con formazione di poliuretano

reazione tra isocianato con acqua con formazione di poliurea e sviluppo di CO_2

■ **resine organo-minerali:**

reazione tra isocianato con acqua con formazione prevalente di poliurea e CO_2

reazione tra silicato di sodio e CO_2 con formazione di SiO_2 , soda e acqua.

La CO₂ che viene generata riempie e fa espandere le celle che si formano durante le reazioni chimiche (esotermiche), sviluppando una pressione addizionale che consentirà la penetrazione nel mezzo da trattare anche nelle fessure e negli interstizi più sottili.

I valori di espansione sono opportunamente regolati a seconda della formulazione del prodotto.

I sistemi di reazione

Le resine poliuretaniche si suddividono in due sistemi di reazione secondo le seguenti modalità:

Sistema monocomponente

- Necessita di presenza d'acqua per la reazione schiumosa
- La capacità di espansione volumetrica della schiuma ed il tempo di reazione possono essere regolati mediante l'aggiunta di un accelerante
- Per l'applicazione richiede una pompa ad alta pressione, a singolo componente di pompaggio

Sistema bicomponente

- Si crea una miscela mescolando in parti volumetricamente uguali (1:1) il componente A con il componente B
- Le caratteristiche delle schiume possono essere notevolmente modulate per adattarsi a differenti situazioni
- Per l'applicazione richiede una pompa ad alta pressione, a doppio componente di pompaggio

Le resine organo-minerali sono esclusivamente **bicomponenti**.



Le resine poliuretaniche

MasterRoc MP 350

- **Resina poliuretanica monocomponente**, priva di solventi, indicata per sigillature permanenti di impermeabilizzazione e/o strutturali di fessure in manufatti eseguiti in sotterraneo, quali gallerie, sottopassi, pozzi, basamenti, ecc. In particolari contesti il prodotto è in grado di formare una membrana flessibile a tergo dei rivestimenti in calcestruzzo.
- Reagisce a contatto con l'acqua, formando una schiuma densa, a celle chiuse; reagisce anche in presenza di aria umida, formando una membrana flessibile, impermeabile.
- Il tempo di reazione schiumosa è regolabile in funzione del dosaggio dell'apposito accelerante, compreso fra 1 e 10%.
- Il fattore di espansione volumetrica libera varia da 1 a 10 in funzione della quantità d'acqua a contatto.
- Penetrazione in fessure più sottili di 0,05 mm.

Tempi di reazione con 10% di accelerante

Temp. iniziale (°C)	5	10	15	20
Inizio reazione (s)	98	63	41	30
Fine reazione (min)	145	128	109	88
Fattore di espansione	6	7	8	8



MasterRoc MP 350
dopo reazione schiumosa in acqua



MasterRoc MP 350
dopo stagionatura all'aria umida

MasterRoc MP 355 1K

- **Resina poliuretanica monocomponente** priva di solventi, indicata per il tamponamento di stillicidi, laminazioni, percolazioni ed anche per iniezioni di sostegno e impermeabilizzazione a tergo di fronti di scavo, costituiti da supporti altamente fessurati o terreni sciolti. È compatibile con lo scavo meccanizzato grazie alla facilità di asportazione della schiuma.
- Reagisce solo a contatto con l'acqua, formando una schiuma porosa, con struttura a celle aperte.
- Il tempo di reazione schiumosa è regolabile in funzione del dosaggio dell'apposito accelerante, compreso fra 2-10%.
- Elevato fattore di espansione volumetrica libera (20÷30)

Tempi di reazione con 10% di accelerante e 10% di acqua

Temp. iniziale (°C)	5	10	15	20
Inizio reazione (s)	120	60	25	10
Fine reazione (min)	300	200	110	50
Fattore schiuma (vol)	25	25	25	30



MasterRoc MP 355 1K DW

- Costituisce la versione abilitata **al contatto con acqua potabile**.

Tempi di reazione con 10% di accelerante

Temp. iniziale (°C)	5	10	15	20
Inizio reazione (s)	130	65	30	15
Fine reazione (min)	350	250	120	60
Fattore di espansione	20	25	25	30



MasterRoc MP 355 MRO

■ Resina poliuretanica bicomponente

priva di solventi, indicata per consolidamento di rocce fratturate, sabbie, ghiaie e materiali sciolti di riempimento e riparazione di strutture in calcestruzzo e laterizio.

■ Reagisce sempre: in presenza d'acqua dà origine ad una schiuma rigida, a celle chiuse; in assenza reagisce formando una resina solida e gommosa.

■ Si caratterizza per la reazione più lenta, aspetto che può risultare opportuno in determinate situazioni, come, ad esempio, quando si debba favorire la penetrazione entro crepe o fessure molto sottili (circa 0.05 mm) che richiedono comprensibilmente più tempo operativo o quando si debbano effettuare iniezioni a lunga distanza.

Dati tecnici principali

	Comp A	Comp B
Colore	marrone	marrone scuro
Viscosità (mPa • s, a 20°C)	320	240
Densità (kg/m ³ , a 23°C)	1000	1240

Reattività

Temperatura di prova	15°C	23°C	30°C
Inizio reazione (min)	10	5	3
Stagionatura completata (ore)	36	18	9

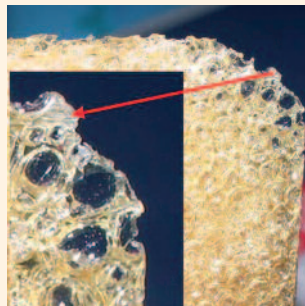


MasterRoc MP 355

■ Resina poliuretanic bicomponente

priva di solventi, indicata per il tamponamento di copiose venute d'acqua e per il consolidamento di terreni in genere. Grazie alla sua flessibilità d'impiego può essere utilizzata sia in corso d'opera che in lavori di ripristino e riparazione.

- Reagisce sempre: in presenza d'acqua dà origine ad una schiuma consistente; in assenza reagisce formando una resina solida e impermeabile.
- La reazione, in entrambi i casi, è molto rapida e si completa in tempi brevi.
- Il prodotto è facilmente applicabile dov'è richiesta resistenza strutturale al supporto iniettato.
- Diversi tipi di accelerante consentono al prodotto di originare schiume aventi caratteristiche differenti, mescolando i componenti A e B sempre in rapporto volumetrico 1:1.



Le celle chiuse garantiscono impermeabilità contro acqua e gas

Intervento di impermeabilizzazione su arco rovescio di galleria prima e dopo l'iniezione. La presenza della resina in corrispondenza dei punti di iniezione dimostra la riuscita dell'intervento.





Versione 1

Rapida reazione con elevato sviluppo volumetrico
(fattore di espansione 10-20)

Aggiunta dell'accelerante 10 (0,5-1%)
al componente A

*Viene prodotta una schiuma
con struttura a celle medio-chiuse
e con elevato fattore di espansione*



Versione 2

Rapida reazione con sviluppo di schiuma densa
e consistente, a ridotto aumento volumetrico
(fattore di espansione 4-8)

Aggiunta dell'accelerante 15 (0,5-1%)
al componente A

*Viene prodotta una schiuma
con struttura a celle chiuse
ed elevata resistenza meccanica*

Effetto dell'aggiunta dell'accelerante

Relazione fra il tempo (sec) d'inizio e fine della reazione, contenuto d'acqua e tipo di accelerante

Contenuto acqua	0,1% accelerante 10		0,1% accelerante 15		0,1% accelerante 25 *		non accelerato	
	inizio reazione	fine reazione	inizio reazione	fine reazione	inizio reazione	fine reazione	inizio reazione	fine reazione
senza	52	64	45	55	54	67	60	70
0,5%	42	72	37	64	43	70	49	73
1,0%	34	66	31	58	32	64	38	60

* caratteristiche intermedie fra accelerante 10 e accelerante 15

Resistenza di adesione a rottura (EN 196-1) a 24 ore

Fattore di espansione	1	2	5	7
MPa	6,4	2,2	1,9	1,9

Resistenza a compressione a rottura (EN 196-1) a 7 giorni

Fattore di espansione	1	2	5	7
MPa	75	20,6	2,2	1,4

Resistenza a flessione a rottura (EN 196-1) a 7 giorni

Fattore di espansione	1	2	5	7
MPa	61	22	3,3	2,0

MasterRoc MP 358 SC**■ Resina poliuretetica bicomponente**

priva di solventi, indicata per rapidi interventi di consolidamento di rocce e terreni, nella riparazione di calcestruzzi fessurati ed in particolare nella stabilizzazione in cunicoli, pozzi e scarpate, di pareti rocciose stratificate, fratturate e poco consistenti. Riesce a penetrare all'interno di fessure di apertura superiore a 0,14 mm.

- Reagisce ed espande sia in ambiente asciutto (fattore schiuma ~ 3) che in presenza d'acqua (fattore schiuma ~ 8).
- La reazione avviene mescolando i componenti A e B in rapporto volumetrico 1:1. Il prodotto reagisce ed espande sia in ambiente asciutto (fattore schiuma ~ 3) che in presenza di acqua (fattore schiuma ~ 8).
- La temperatura di reazione risulta essere sempre < 140°C, ed essa non aumenta a contatto con acqua, pertanto è particolarmente indicata per lavori nel settore del "mining" ed in generale in galleria, essendo il prodotto resistente al fuoco.
- Forma una schiuma che presenta buone resistenze meccaniche.

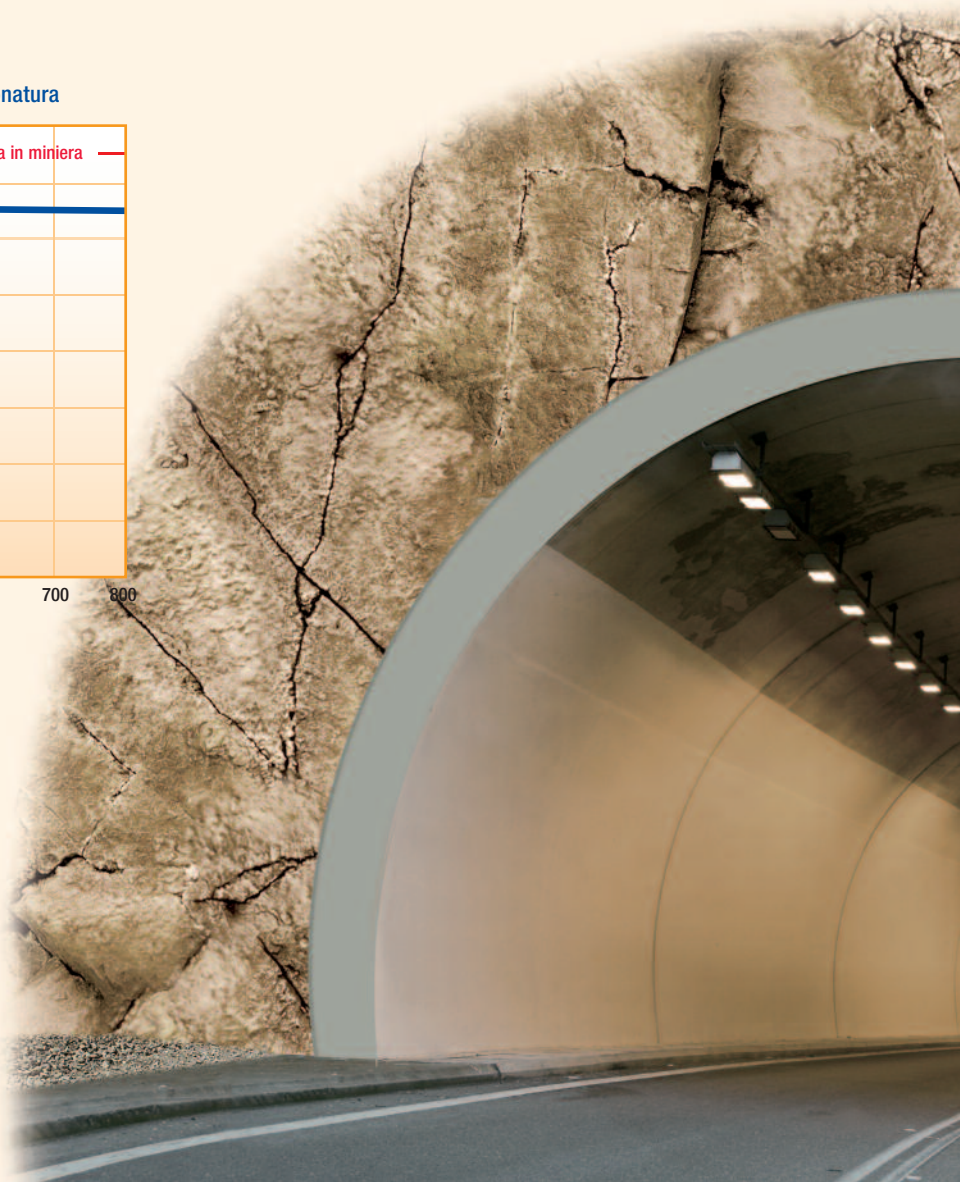
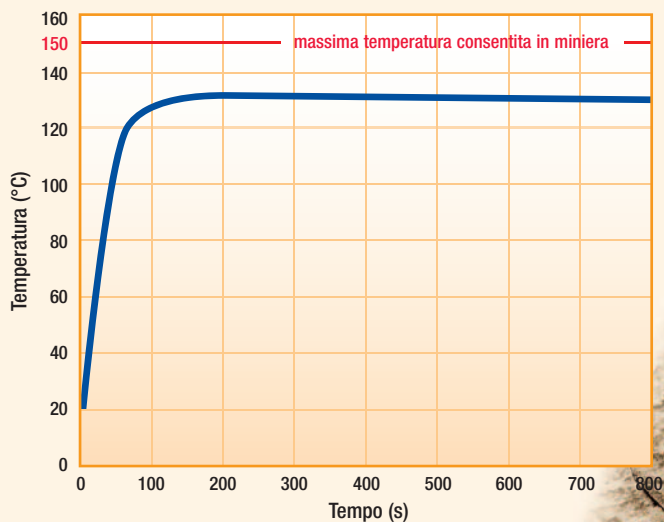
Dati tecnici principali

	Comp A	Comp B
Colore	giallo scuro	marrone scuro
Viscosità (mPa • s, a 23°C)	300	300
Densità (kg/m³, a 23°C)	1010	1220

Caratteristiche di reazione

Temperatura di prova	25°C
Inizio reazione schiumosa (s)	45 ± 15
Fine reazione schiumosa (s)	70 ± 10
Fattore di espansione	~ 3
Resistenza all'adesione per flessione a 24 h (MPa)	> 6
Border time (min)	< 10

Tempo necessario affinché si raggiunga un'adesione di 1 MPa in condizioni di laboratorio

Sviluppo della temperatura durante la reazione di stagionatura

MasterRoc MP 358 GS

■ Resina poliuretanic bicomponente

priva di solventi, indicata laddove si richieda rapidità di intervento, elevata resistenza strutturale e flessibilità.

Ideale per rapidi interventi di consolidamento di rocce e terreni, nella riparazione di calcestruzzi fessurati ed in particolare nella stabilizzazione in cunicoli, pozzi e scarpate, di pareti rocciose stratificate e fratturate.

Riesce a penetrare all'interno di fessure di apertura superiore a 0,14 mm.

- La reazione avviene mescolando i componenti A e B in rapporto volumetrico 1:1.

Il prodotto reagisce indipendentemente dalla presenza o assenza d'acqua ed espande fino a 1,5 volte.

- La temperatura di reazione risulta essere sempre $< 140^{\circ}\text{C}$, ed essa non aumenta a contatto con acqua, pertanto è particolarmente indicata per lavori nel settore del "mining" ed in generale in galleria, essendo il prodotto resistente al fuoco.

- Forma una schiuma che presenta resistenze meccaniche elevate.

Dati tecnici principali

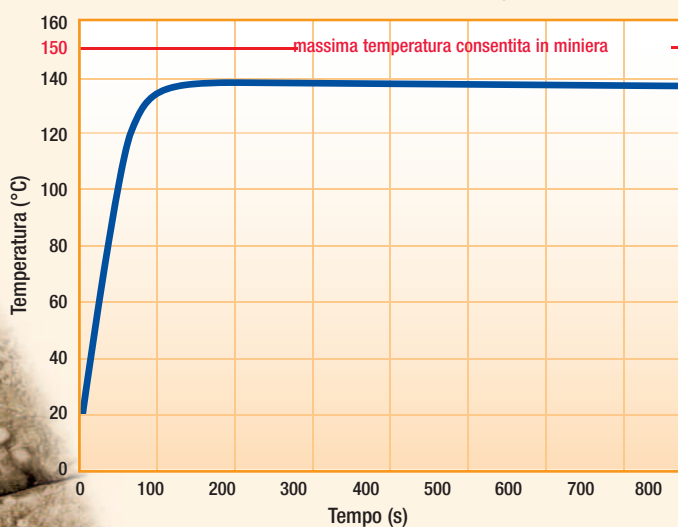
	Comp A	Comp B
Colore	giallo scuro	marrone scuro
Viscosità (mPa • s, a 23°C)	300	300
Densità (kg/m ³ , a 23°C)	1010	1220

Caratteristiche di reazione

Temperatura di prova	25°C
Inizio reazione schiumosa (s)	65 ± 10
Fine reazione schiumosa (s)	70 ± 10
Fattore di espansione	$\leq 1,5$
Resistenza all'adesione per flessione a 7 gg (MPa)	> 9
Border time (min)	< 10

Tempo necessario affinché si raggiunga un'adesione di 1 MPa in condizioni di laboratorio

Sviluppo della temperatura durante la reazione di stagionatura





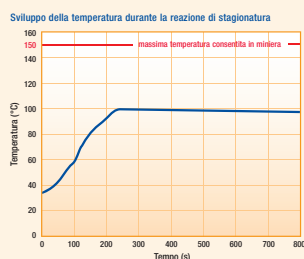
Le resine organo-minerali

MasterRoc MP 368

■ Resina organo-minerale bicomponente

priva di solventi, resistente al fuoco, altamente reattiva, indicata per il consolidamento di terreni incoerenti e rocce stratificate estremamente rimaneggiate, e in particolare nella riparazione di calcestruzzi fessurati e di strutture immerse in acqua.

- Reagisce sia in ambiente umido che asciutto, non assorbe acqua e non espande in volume.
- A rapidissima reazione, è progettata per applicazioni dove si richiede resistenza strutturale e flessibilità; non è richiesto l'uso di alcun accelerante per rendere più rapida la reazione fra i due componenti.
- Dopo 24 ore di stagionatura a temperatura di $23^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$, la resina raggiunge valori di resistenza a flessione pari a 20,5 MPa e di resistenza a compressione maggiore di 30 MPa.



Dati tecnici principali

	Comp A	Comp B
Colore	incolore	marrone scuro
Viscosità (mPa • s, a 25°C)	300	115
Densità (kg/m³, a 23°C)	1490	1160
Rapporto di miscelazione	A:B = 1:1 in volume	

Caratteristiche di reazione

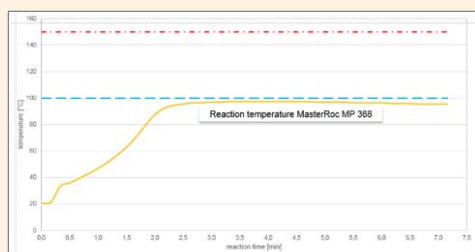
Temperatura di prova	23°C
Tempo di scorrimento (s)	90 ± 30
Tempo di presa (s)	150 ± 30
Fattore di espansione	1
Resistenza di adesione a 30 mm (MPa)	5

MasterRoc MP 368 TIX

■ Resina organo-minerale tixotropica

esente da solventi, altamente reattiva, resistente al fuoco, specificatamente progettata per un rapido consolidamento e/o stabilizzazione di strati rocciosi e terreni in genere

- Ottima adesione al calcestruzzo: 5,0 Mpa dopo 30 minuti. Resistenza a compressione di > 30 MPa
- Si miscela facilmente a temperature > 5°C. Alte resistenze meccaniche abbinate ad elevate caratteristiche di flessibilità
- Comportamento tixotropico subito dopo la miscelazione



Dati tecnici principali

	Comp A	Comp B
Colore	incolore	marrone scuro
Viscosità (mPa • s, a 25°C)	450	115
Densità (kg/m³, a 23°C)	1460	1160
Rapporto di miscelazione	A:B = 1:1 in volume	

Caratteristiche di reazione

Temperatura di prova	23°C
Tempo di scorrimento (s)	90 ± 30
Tempo di presa (s)	150 ± 30
Fattore di espansione	1
Resistenza di adesione a 30 mm (MPa)	5

RESISTENZA AL FUOCO

come evidenziato, le resine organo-minerali si differenziano dalle altre resine perché sono autoestinguenti e non infiammabili. Pertanto il loro impiego può risultare opportuno in quegli interventi dove il rischio di incendio è maggiore. In ogni caso, la scelta definitiva sarà subordinata a una valutazione complessiva del tipo di intervento.

MasterRoc MP 367 Foam

■ Resina organo-minerale bicomponente

priva di solventi, resistente al fuoco, altamente reattiva, indicata per il rapido riempimento di vuoti e cavità, e per il consolidamento di supporti stratificati, altamente fessurati e rimaneggiati.

- Non necessita di acqua per innescare la reazione schiumosa.
- Non è infiammabile ed è autoestinguente.
- Elevato fattore di espansione volumetrica libera ($20 \div 30$).
- Come tutti gli schiumogeni ad alta reattività ed elevato fattore di espansione volumetrico, può essere impiegata anche per un rapido tamponamento temporaneo di venute d'acqua.
- Componente A e Componente B, una volta mescolati in rapporto volumetrico 1:1, non richiedono l'utilizzo di alcun accelerante.



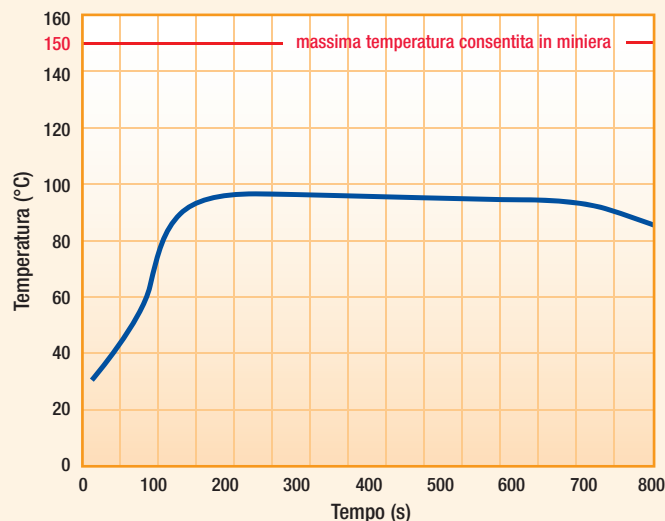
Dati tecnici principali

	Comp A	Comp B
Colore	incolore	marrone chiaro
Viscosità (mPa • s, a 25°C)	70	170
Densità (kg/m³, a 23°C)	1485	1250
Flash point (°C)	non applicabile	> 170
Rapporto di miscelazione	A:B = 1:1 in volume (100:79 in peso)	

Caratteristiche di reazione

Temperatura di prova (°C)	30
Inizio formazione schiuma (s)	20 ± 10
Fine formazione schiuma (s)	40 ± 15
Fattore di espansione	15 - 25
Densità della schiuma (kg/m³)	70

Sviluppo della temperatura durante la reazione di stagionatura





Le resine acriliche

MasterRoc MP 302

■ Resina acrilica bicomponente

priva di solventi, con una viscosità molto bassa e ad alta reattività. È indicata per il consolidamento di terreni fini, sabbioso-limosi, e rocce microfessurate e microfrantumate in ambiente umido, grazie alla bassissima viscosità il prodotto è indicato per il riempimento di micro fessure e pori capillari del terreno. Viene utilizzata per le sigillature permanenti di strutture sotterranee, come rivestimenti di gallerie e diaframmi verticali.

- La reazione avviene mescolando i componenti A e B in rapporto volumetrico 1:1. Il tempo necessario alla formazione del gel può essere regolato variando la percentuale di accelerante da aggiungere al componente A, oppure la concentrazione dell'indurente aggiunto al componente B.

Il tempo di formazione del gel può essere controllato da 1 a 12 minuti.

- Possiede un'eccellente capacità di adesione anche su supporti bagnati e buona flessibilità ad assestamenti del terreno o della struttura.

Dati tecnici principali

Contento materiale attivo	45%
Stabilità della soluzione premiscelata	12 h
Viscosità (mPa • s)	3
Densità (kg/m³)	~ 1050
pH	~ 10

MasterRoc MP 303 CE

■ Resina acrilica bicomponente

molto reattiva e a bassa viscosità. Il prodotto reagisce velocemente formando un gel molto flessibile con eccellenti proprietà di rigonfiamento.

- È stata progettata come sigillatura permanente di venute d'acqua. Grazie alla sua bassa viscosità la resina è particolarmente indicata per piccole fessure e lunghi percorsi di iniezione. Una volta reagita forma una resina compatta molto flessibile con buone proprietà di adesione anche su superfici umide o bagnate.

La resina reagita è resistente a soluzioni acide o alcaline così come ad altri solventi. Anche in presenza di piccoli assestamenti del terreno/struttura o movimenti all'interno di giunti e fratture la resina è in grado di sigillare permanentemente, grazie al rigonfiamento fino al 200% del suo volume iniziale. Il rigonfiamento è reversibile, anche dopo periodi secchi la resina mantiene le sue proprietà auto-riparanti.

- La reazione avviene mescolando i componenti A e B in rapporto volumetrico 1:1. Il tempo di gelificazione è tarabile tra 10 secondi e 60 minuti (a 20°C) e può essere regolato variando la percentuale di indurente da aggiungere al componente B e tramite l'utilizzo di un apposito ritardante.

Dati tecnici principali

Forma/Colore	liquido/blu trasparente
Viscosità (mPa • s)	5
Densità (kg/m³)	1140

MasterRoc MP 307 CE

■ Resina acrilica bicomponente

altamente reattiva, a bassa viscosità per un'eccellente penetrabilità. Il prodotto reagisce velocemente formando una resina gommosa in grado di resistere a movimenti nel terreno e nelle fratture. È indicata per il risanamento di calcestruzzi e murature, iniezioni di velatura e consolidamento di terreni.

- La reazione avviene mescolando i componenti A e B in rapporto volumetrico 1:1. Come componente B può essere impiegata un'emulsione polimerica, che dà alla resina superiori caratteristiche meccaniche, o l'acqua, come di solito avviene per le resine acriliche.

Il tempo necessario alla formazione del gel può essere regolato da circa 3 a 10 minuti (a 20°C) e da circa 4 a 20 minuti (a 10°C) variando la percentuale di indurente da aggiungere al componente B.

Dati tecnici principali

Colore	liquido bianco
Viscosità a 20° C (mPa • s)	7
Densità a 20° C (kg/m³)	1030
Resistenza alla lacerazione	~ 0,08 MPa
Allungamento a rottura	~ 290%
Rigonfiamento	20%

MasterRoc MP 308

■ Resina acrilica monocomponente

priva di solventi, con una viscosità molto bassa e omologata al contatto con acqua potabile. È indicata per l'impermeabilizzazione permanente di strutture in sotterraneo. In caso di limitati assestamenti/movimenti del terreno o della struttura lungo giunti o fessure, il prodotto garantisce comunque una tenuta permanente grazie al fatto che può espandere fino al 150% del suo volume iniziale ed è autoriparante.

- Il risultato della reazione è una pasta solida e flessibile capace di resistere permanentemente alla pressione dell'acqua. Il tempo di gelificazione è controllabile.
- Possiede un'eccellente capacità di adesione anche su supporti bagnati ed è stabile nei confronti di soluzioni acide o alcaline, non intacca il bitume, i giunti waterstop in PVC o il calcestruzzo.

Dati tecnici principali

Colore	giallo
Viscosità (mPa • s)	40
Densità (kg/m³)	~ 1065
pH	8,5

MasterRoc MP 309

■ Resina acrilica bicomponente

priva di solventi, a bassa viscosità e a rapido sviluppo di resistenza. È indicata per il rapido consolidamento di sabbie sciolte, anche limose, e per il riempimento di microfessure in rocce e strutture che necessitino di un ripristino strutturale.

La sua bassissima viscosità, simile a quella dell'acqua, le permette di permeare all'interno di porosità capillari e microfessure non raggiungibili con altre tipologie di prodotti da iniezione.

- La reazione avviene mescolando i componenti A e B in rapporto volumetrico 1:1. Il tempo necessario alla formazione del gel può essere regolato da 1 a 9 minuti variando la percentuale di accelerante da aggiungere al componente A. Di conseguenza, la reazione può terminare in un tempo compreso tra 10 e 20 minuti.
- Sviluppa una resistenza a compressione monoassiale >9MPa in 20 minuti e ha un'ottima capacità di adesione anche su supporti umidi. Possiede un'ottima resistenza chimica ad acidi, basi e solventi ed è una resina eco-compatibile.

Dati tecnici principali

Forma/Colore	liquido/trasparente
Viscosità (mPa • s)	13
Densità (kg/m³)	~ 1070
Resistenza a compressione (MPa) dopo 20 minuti	> 9



Consolidamento mediante utilizzo di VTR

Considerazioni generali

Spesso in presenza di ammassi con limitate caratteristiche meccaniche o in presenza di aree con bassa copertura, quindi in condizioni tenso-deformative difficili, si procede al consolidamento mediante l'utilizzo di **barre in vetroresina**, solitamente denominate **VTR**.

Questa tecnologia consiste nel praticare "a secco" sul fronte di scavo una serie di fori di lunghezza in genere superiore al diametro dello scavo stesso e uniformemente distribuite su di esso. Entro i fori sono inserite, e immediatamente iniettate con malta cementizia, le barre in vetroresina. Con il procedere dell'avanzamento la lunghezza "utile" delle barre diventa inadeguata a garantire una sufficiente azione di contenimento (ciò si rileva da un'attenta valutazione dell'estrusione, cioè del movimento del terreno che costituisce il nucleo frontale della galleria verso l'interno della stessa) e si procede quindi alla messa in opera di una nuova serie di barre.



L'impiego delle barre in vetroresina risulta vantaggioso perché unisce elevati valori di resistenza e l'opportuna necessità di essere spezzate facilmente durante l'avanzamento, in virtù della loro fragilità, dalle stesse attrezzature meccaniche utilizzate nello scavo.

I parametri che identificano l'impiego delle barre VTR sono costituiti dalla loro lunghezza, densità, sovrapposizione, sezione e distribuzione geometrica e vengono definiti in sede progettuale: la bontà dell'intervento consiste appunto, salvo eventuali piccole modifiche correttive, nel rispetto applicativo degli stessi.

La tecnologia è applicabile in terreni coesivi, semicoesivi e, previo qualche accorgimento per assicurare la stabilità del foro, anche in terreni scarsamente coesivi. Se ben progettata e realizzata, questa tecnologia consente un miglioramento delle resistenze e della deformabilità del fronte, che diventa così parte strutturale dal comportamento tenso-deformativo prevedibile e controllabile, esplicando un'azione di precontenimento efficace del cavo.

Le barre VTR sono a base di resina poliestere termoindurente (la percentuale in peso di fibra di vetro deve essere almeno del 50%) e sono prodotte sia sotto forma di tubi sia proprio di barre, all'occorrenza giuntabili mediante manicotti e collanti in resina epossidica.

Poiché l'impiego delle barre VTR è principalmente adottato in tratte di gallerie a fronte di scavo instabile o stabile a breve termine, è indispensabile che la parete del fronte presenti una forma concava e venga rivestita con uno strato di gunite o, all'occorrenza, di calcestruzzo proiettato avente lo scopo di consentire la corretta distribuzione tensionale al contorno dello scavo e di operare in termini di sicurezza per le maestranze.

La fase di cementazione va curata nei dettagli, in particolare se le barre sono inclinate verso l'alto: occorre adottare appositi tubicini di iniezione e di sfiato per evitare formazione di bolle e una non adeguata idratazione del cemento; parimenti occorre non trascurare **i requisiti della boiacca**.

Sotto questo aspetto la pratica evidenzia, allo scopo di ottenere tempi di presa ridotti, una oculata scelta del cemento (preferibilmente di classe 42.5R) e della miscela di iniezione nel suo complesso, con un'opportuna valutazione anche degli additivi: **la resistenza minima, valutabile da preventive prove, dovrebbe essere superiore a 5 MPa a 48 ore**.

L'esperienza Master Builders Solutions in questi settori ha portato allo sviluppo del legante **MasterRoc MP 17 GE** che con-sente il consolidamento dell'ammasso grazie ad un'elevata espansione (espansione volumetrica in fase plastica su cilindro graduato > 100% a 20°C e > 65% a 10°C), che crea quindi un miglioramento dei valori di resistenza meccanica del terreno circostante.

L'espansione infatti può essere vantaggiosamente sfruttata per consentire un completo riempimento delle barre in VTR grazie alla loro aderenza rispetto alle boiacche cementizie tradizionali soggette invece a ritiro e quindi a fessurazioni e discontinuità all'interno delle barre stesse. Inoltre lo sviluppo delle resistenze del MasterRoc MP 17 GE soddisfa ampiamente i requisiti meccanici richiesti.

MasterRoc MP 17 GE

Malta cementizia premiscelata monocomponente

con agenti espansivi ed inerti silicei aventi diametro massimo 100 µm, con contenuto di polvere di alluminio < 0,2%.

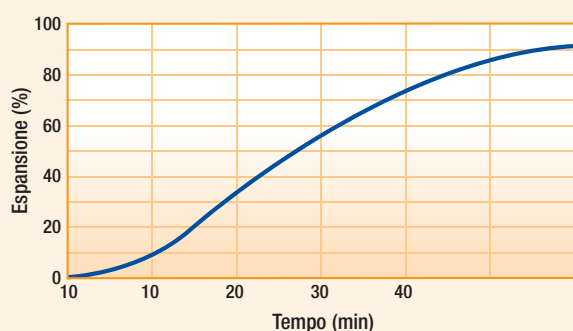
- Miscelata con sola acqua raggiunge un'ottima fluidità ed iniettabilità, anche in tubazioni di elevata lunghezza
- Possiede un'elevata espansione volumetrica in fase plastica su cilindro graduato (volume > 100% a 20°C)
- Sviluppa un'espansione volumetrica differita nel tempo in modo da garantire l'espansione solo dopo il riempimento completo della barra iniettata.

Dati tecnici principali

Bleeding	assente	
Densità dell'impasto fresco	1800 kg/m ³	
Resistenza a compressione UNI EN 196-1 (MPa a 20°)		
■ libera	24 h	≥ 1
	48 h	≥ 3
■ con contrasto	24 h	≥ 4
	48 h	≥ 10

Principali campi di applicazione

Permette di ottenere boiacche autolivellanti estremamente espansive, prive di bleeding e ad elevate resistenze meccaniche, idonee ad essere iniettate in barre in vetroresina utilizzate, nell'avanzamento in galleria, come opere di sostegno provvisoriale del fronte di scavo.





Ingegneria delle iniezioni

L'ingegneria nel settore delle iniezioni, nella fattispecie quelle delle strutture in sotterraneo, è sostanzialmente applicativa, fatta di accurate valutazioni geologiche e strutturali, ma legata sostanzialmente agli aspetti pratici e alla scelta per risolvere le problematiche da affrontare. **Un'ingegneria, quindi, non tanto determinata da equazioni e modellazioni, quanto da conoscenze approfondite degli aspetti geologici e geotecnici, dei materiali utilizzabili e delle relative tecniche applicative.**

Questo aspetto deriva dal fatto che, al di là delle modellazioni strutturali, geologiche, ecc., la realtà di cantiere delle opere in sotterraneo si trova ad affrontare problematiche che richiedono soluzioni tempestive, in molti casi pressoché immediate, ed ovviamente efficaci. Ad esempio, durante la realizzazione di una opera in sotterraneo le condizioni scadenti dell'ammasso incassante o un improvviso e inaspettato ingresso d'acqua potrebbero incidere sull'avanzamento dello scavo e quindi sull'aumento di costi e ritardi o, in casi estremi, rendere impossibile la realizzazione dell'opera con metodi convenzionali.

I prodotti Master Builders Solutions dedicati al mondo delle iniezioni in sotterraneo hanno trovato notevoli impieghi in diverse situazioni dove le usuali scelte tecniche presentavano i propri limiti di applicabilità ed efficienza risolutiva.

Vengono evidenziati brevemente alcuni esempi applicativi che evidenziano quanto sopra riportato relativamente agli aspetti ingegneristici dove l'esperienza operativa, qualificata ed approfondita risulta determinante.

Un primo esempio, come evidenziato nelle figure sottostanti, è di un fronte sabbioso saturo soggetto a potenziali irruzioni di acqua e sabbia sotto pressione. In tali condizioni risulta particolarmente difficile scavare con metodi convenzionali, preservando adeguate norme di sicurezza; ne consegue che generalmente vengono realizzati corti tamponi successivi, rinforzati (ad esempio con barre in VTR) e resi stabili mediante adeguate iniezioni impermeabilizzanti e consolidanti con l'impiego di una miscela minerale di nanosilice colloidale (**MasterRoc MP 325**), adatta a permeare anche mezzi a bassa permeabilità.

Un secondo esempio riguarda il consolidamento in avanzamento, previsto per lo scavo di gallerie con bassa copertura e all'interno di terreni geomeccanicamente scadenti, come depositi sabbioso-limosi e detrito di versante. In questi casi, di solito, il consolidamento in avanzamento previsto diventa sistematico al contorno e sul fronte. Nel consolidamento al contorno vengono utilizzati spesso elementi in vtr cementati con miscele convenzionali e il presostegno è demandato ad infilaggi metallici, anch'essi generalmente cementati con miscele convenzionali. Per il consolidamento al fronte, spesso si procede con l'installazione di elementi in vtr, semplicemente cementati. Se, tuttavia, si opera in terreni limoso-sabbiosi con una significativa percentuale di limo e un basso tasso di confinamento, in fase di iniezione si può riscontrare una scarsa iniettabilità dei terreni stessi e la conseguente disomogeneità dell'intervento, con risultati di miglioramento delle proprietà del terreno ampiamente inferiori ai valori attesi in progetto.

Diventa quindi necessario:

- un aumento di prestazionalità dell'intervento di iniezione del presostegno
- la creazione di un arco chiuso di presostegno, con effetto ponte atto a garantire la stabilità in calotta in un contesto di coperture ridotte e materiale scadente



A) Fronte sabbioso
prima dell'intervento

B) Fronte sabbioso
in fase di iniezione

C) Tampone
di sabbia consolidata

Per ridurre tutti i potenziali rischi connessi con la realizzazione di un non corretto presostegno, risulta particolarmente conveniente la soluzione di un adeguamento della sezione tipo, incentrata sull'aumento del diametro dei tubi di infilaggio e l'utilizzo di miscele chimiche, quali la resina poliuretanica bicomponente MasterRoc MP 355, con l'intento di creare un "ponte" consolidato resistente tra due tubi di infilaggio accostati. Per l'iniezione di infilaggi metallici di lunghezza superiore ai 9m si può scegliere di operare con la resina poliuretanica bicomponente MasterRoc MP 355 MRO, a reazione rallentata, in modo tale da permettere alla resina di percorrere l'intera lunghezza del tubo fino al raggiungimento dei punti di fuoriuscita e iniezione all'interno dell'ammasso.



A) Fase di scavo del fronte dopo consolidamento con barre VTR

B) Vista delle barre VTR spezzate nel corso della fase di avanzamento

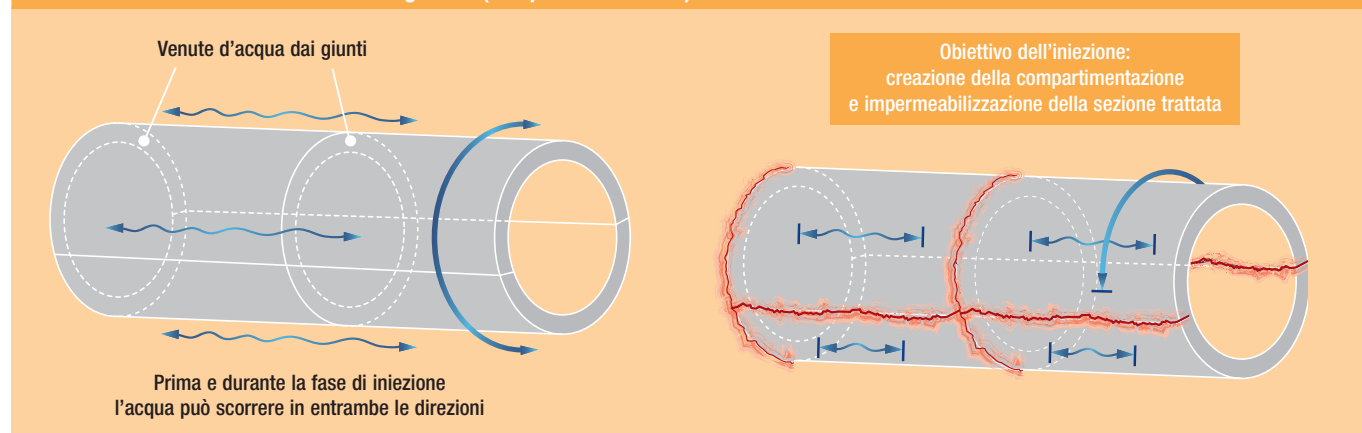
C) Particolare del fronte

Da ultimo, si riportano alcune considerazioni sullo **scavo con TBM** dove ci si può imbattere in venute d'acqua, per quanto perlopiù limitate, tra i vari conci in calcestruzzo armato che costituiscono gli anelli della galleria. Come noto, il sistema per la connessione dei conci è concepito per ottenere un perfetto allineamento dei conci stessi e garantire una totale impermeabilità. Per assicurare, quindi, una tenuta idraulica alle differenti pressioni presenti in galleria, di norma inferiori a 5 bar, sono installate delle apposite guarnizioni.

Ad esempio, nel caso di stillicidi localizzati, situazione generalmente imputabile a una singola anomalia nella posizione della guarnizione, spesso in corrispondenza dell'ultimo concio posizionato (chiave), la scelta tecnico-ingegneristica adottata è l'iniezione diretta, all'esterno della guarnizione, di resine acriliche bicomponenti (**MasterRoc MP 303 CE**) con proprietà idroespandenti.

Questo sistema è particolarmente efficace in prossimità di rotture puntuali e qualora sia stato realizzato correttamente il riempimento a tergo del concio con malta di backfilling. Tale soluzione è adottata anche nel caso di venute d'acqua diffuse di bassa portata, situazione spesso imputabile a un malfunzionamento delle guarnizioni congiuntamente a una ridotta efficacia della malta di backfilling. Il ridotto confinamento all'esterno del concio e i molteplici punti di interruzione della tenuta idraulica delle guarnizioni richiedono l'adozione di particolari procedure per ridurre assorbimenti eccessivi di resina. In questo caso si consiglia di procedere realizzando dapprima un anello di tenuta esterno all'area interessata dalle venute d'acqua, impiegando una resina poliuretanica idroreattiva con un fattore di espansione mediamente elevato (**MasterRoc MP 355 1K DW**) e poi iniettando sistematicamente la resina acrilica nell'area così circoscritta. Quest'ultima soluzione può essere estesa anche in presenza di venute d'acqua diffuse, con pressioni superiori a 1 bar, la cui causa è spesso imputabile a errori sistematici nel posizionamento dei conci e a un malfunzionamento delle guarnizioni.

Iniezione di fessure nel rivestimento di gallerie (compartimentazione)





Esempi di attrezzature di pompaggio

Specifiche fondamentali delle attrezzature di pompaggio

- Rapporto volumetrico della mescolazione dei prodotti bicomponenti sempre 1:1
- Alta pressione di iniezione (>100 bar, spesso >150 bar)
- Alta capacità di portata quando si tratta delle iniezioni per tamponare le venute concentrate d'acqua
- Semplice da utilizzare anche nelle condizioni più difficili
- Aria compressa

Pompa pneumatica monocomponente

- Alta pressione (20-250 bar)
- Capacità di portata max 4,5 l/min



Pompa pneumatica bicomponente

- Alta pressione (5-200 bar)
- Capacità di portata max 20 l/min
- Pulsazione del prodotto durante il pompaggio
- Rapporto di miscelazione 1:1

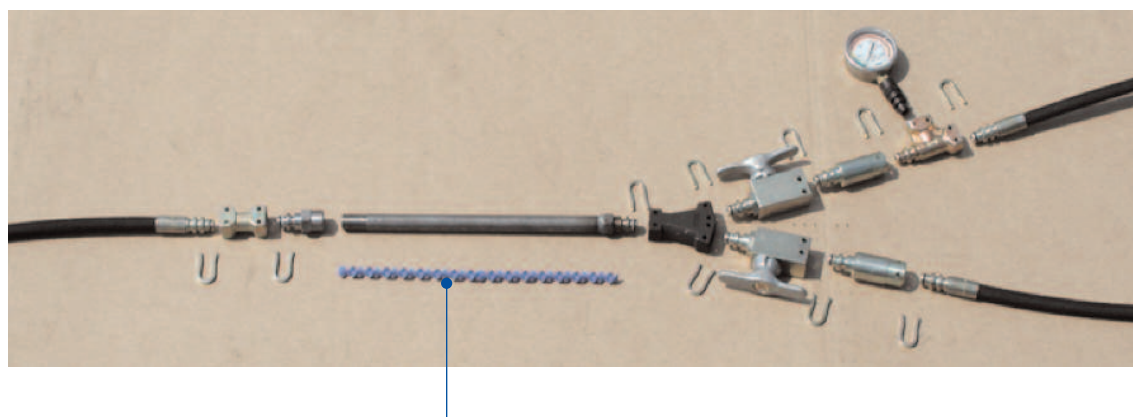


Pompa pneumatica tricomponente

- Alta pressione (10-200 bar)
- Capacità di portata max 10-11,5 l/min
- Dotata di pompa ausiliaria per il lavaggio dei due componenti con acqua



Schema della testa di mescolazione



La lunghezza del miscelatore statico non deve essere inferiore a 50 cm

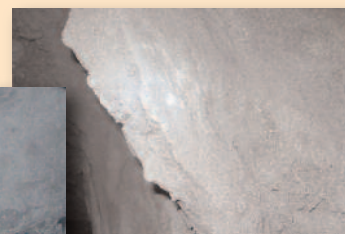
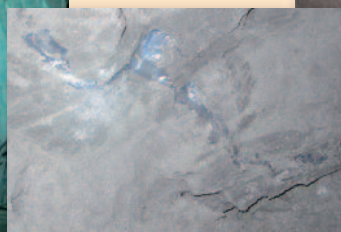


Alcuni esempi di applicazione



Iniezioni di microcementi
MasterRoc MP 800
nei giunti della diga
di Place Moulin
(Valle d'Aosta)

Iniezioni di nanosilice
colloidale MasterRoc MP 325
per il consolidamento e
l'impermeabilizzazione
di sabbia sciolta rifluita
in una galleria idroelettrica per
la canalizzazione delle acque
verso la diga di Olivo
(Enna)



Chiusura di un'imponente
venuta d'acqua (400 l/s)
con resina poliuretanica
bicomponente
MasterRoc MP 355
(Circumetnea- Catania)

Preconsolidamento e
presostegno del cavo
in terreni limosi-sabbiosi
con resina poliuretanica
MasterRoc MP 355 MR0
(Galleria Novilara A14-
Tratto tra Cattolica e Fano-
Lotto 2)

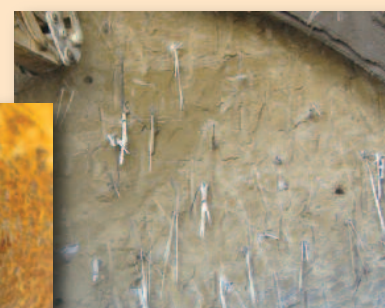


Tabella riassuntiva

	Prodotto	Fattore di espansione	Campi di utilizzo	Tipo di pompa
POLIURETANICHE	MasterRoc MP 350	6 ÷ 8	Impermeabilizzazioni	Monocomponente
	MasterRoc MP 355 1K	20 ÷ 30	Waterstopping in galleria Fessurazioni del calcestruzzo	Monocomponente
	MasterRoc MP 355 1K DW	20 ÷ 30	Waterstopping in galleria Fessurazioni del calcestruzzo Abilitato al contatto con acqua potabile	Monocomponente
	MasterRoc MP 355 MRO	1 in presenza o assenza di acqua	Consolidamenti di rocce fratturate, sabbie, ghiaie, materiali sciolti Riparazioni di calcestruzzi	Bicomponente
	MasterRoc MP 355	1 in assenza di acqua fino a 10 senza accelerante in presenza di acqua	Consolidamenti del terreno e tamponamenti di venute d'acqua	Bicomponente
		20 ÷ 30 con accelerante 10	Incremento del fattore di espansione e maggiore rapidità di intervento nei tamponamenti di venute d'acqua	
		fino a 8 con accelerante 15	Incremento della consistenza della schiuma per un più efficace miglioramento del terreno	
	MasterRoc MP 358 SC	~ 3 in assenza di acqua ~ 8 in presenza di acqua	Consolidamenti e stabilizzazioni di supporti rocciosi degradati e fessurati	Bicomponente
ORGANO MINERALI	MasterRoc MP 358 GS	≤ 1,5 in presenza o assenza di acqua	Consolidamenti e stabilizzazioni di supporti rocciosi degradati e fessurati Riparazioni di calcestruzzi	Bicomponente
	MasterRoc MP 368	1 in presenza o assenza di acqua	Consolidamento di terreni, rocce e calcestruzzi anche sottofalda	Bicomponente
	MasterRoc MP 368 TIX	1 in presenza o assenza di acqua	Consolidamento di terreni, rocce e calcestruzzi anche sottofalda	Bicomponente
	MasterRoc MP 367 Foam	20 ÷ 30	Riempimento di larghe fessure e cavità	Bicomponente
ACRILICHE	MasterRoc MP 302		Consolidamento di terreni fini, sabbiosi-limosi e rocce micro fessurate Sigillature permanenti di calcestruzzi	Bicomponente
	MasterRoc MP 303 CE		Sigillature di venute d'acqua, iniezioni pellicolari e sigillature permanenti di calcestruzzi	Bicomponente
	MasterRoc MP 307 CE		Consolidamento e impermeabilizzazione permanente di terreni e strutture in calcestruzzo, anche soggette a movimenti strutturali	Bicomponente
	MasterRoc MP 308		Impermeabilizzazione permanente di strutture in calcestruzzo, anche soggette a movimenti strutturali	Monocomponente
	MasterRoc MP 309		Impermeabilizzazione permanente di strutture in calcestruzzo, anche soggette a movimenti strutturali	Bicomponente

Note

I fattori di espansione riportati sono indicativi. I valori realmente riscontrabili dipenderanno dalle specifiche condizioni tecnico-operative in situ.

I tempi di reazione per ciascun prodotto dipenderanno dalle specifiche condizioni in situ, dall'impiego e dosaggio degli acceleranti e dal controllo delle temperature dei singoli componenti.



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





Master Builders Solutions per l'Industria delle Costruzioni

MasterAir®

Soluzioni per il calcestruzzo con aggiunte d'aria

MasterCast®

Soluzioni per l'industria dei manufatti in calcestruzzo terra-umida

MasterCem®

Soluzioni per la produzione di cemento

MasterCO₂re™

Soluzioni per calcestruzzo a ridotto contenuto di clinker

MasterEase®

Soluzioni per calcestruzzi a reologia migliorata e bassa viscosità

MasterFinish®

Soluzioni per il disarmo e la finitura superficiale

MasterFiber®

Soluzioni per il calcestruzzo fibrorinforzato

MasterGlenium®

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

MasterKure®

Soluzioni per la stagionatura del calcestruzzo

MasterLife®

Soluzioni per calcestruzzi durevoli

MasterMatrix®

Soluzioni per il controllo della reologia

MasterPel®

Soluzioni per l'idrofobizzazione, l'antiefflorescenza e la protezione delle superfici

MasterRoc®

Soluzioni per la costruzione in sotterraneo e il miglioramento della superficie

MasterSet®

Soluzioni per il controllo dell'idratazione

MasterSuna®

Soluzioni per sabbia e ghiaia nel calcestruzzo

Master X-Seed®

Soluzioni avanzate di accelerazione per il calcestruzzo



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@masterbuilders.com

<https://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 Master Builders Solutions in molti paesi del mondo

MBS-05-2023