

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE EDILE E AMBIENTALE



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Committenti: Costruzioni conglomerati e Affini srl
Inerti Lazio srl

**Studio di miscele betonabili conformi al
Regolamento Cavi di Roma Capitale
composte da aggregati riciclati
BETECOMIX**

RELAZIONE TECNICA

EMISSIONE 04/03/2016

REVISIONI: rev00 de 04/03/2016

GRUPPO DI LAVORO

PROF. ING. ANTONIO
D'ANDREA

RESPONSABILE
SCIENTIFICO

ING. NICOLA FIORE

RESPONSABILE TECNICO

ING. GIORGIO ZACCARI

COLLABORATORE

SIG. ARMANDO DI CURZIO

TECNICO

**TAV.
RT**

Il Direttore del Dipartimento:

Prof. Ing. Antonio D'Andrea



Riempimenti fluidi da non costipare (“betonabili”).....	2
Introduzione	2
La Sperimentazione.....	3
Le procedure	4
Caratteristiche compositive delle miscele.....	6
Conclusioni	13



Riempimenti fluidi da non costipare (“betonabili”)

Introduzione

L'uso di miscele cosiddette betonabili, ovvero miscele fluide a bassa resistenza controllata (CLSM – Controlled Low Strength Material), da destinarsi al riempimento di cavi nell'ambito di lavori di installazione e/o manutenzione di sottoservizi (tubazioni di acqua e gas, cavi elettrici, fibre ottiche, cablaggi vari) sta conoscendo un costante incremento.

In Italia, ed in particolare nel Comune di Roma, dove questo tipo di riempimento è ammesso dal regolamento-cavi, le prime miscele a bassa resistenza sono state ottenute negli anni novanta riducendo il contenuto di cemento ed utilizzando aggregati porosi, quali i cretoni di pozzolana o altre rocce leggere derivate dall'attività eruttiva ed esplosiva dei vulcani laziali.

Negli ultimi anni la ricerca si è orientata verso nuove formulazioni di miscele betonabili contenenti materiali riciclati.

In quest'ottica sono già state proposte miscele contenenti materiali provenienti dalle demolizioni edilizie (C&D – Construction and Demolition waste) che si sono dimostrati particolarmente idonei a sostituire gli aggregati naturali, poiché sono caratterizzati da una massa volumica apparente dei grani inferiore a quella delle rocce lapidee e permettono un considerevole risparmio di cemento, in quanto durante la demolizione e la frantumazione di malte e di elementi in calcestruzzo, vengono esposte frazioni di cemento che non avevano potuto idratarsi nella primitiva presa e che si dimostrano ancora dotate di una sensibile attività legante.

In questa sperimentazione sono state studiate miscele betonabili conformi al regolamento cavi di Roma capitale contenenti sabbia e misto ricilato da C&D, cui il Committente intende dare il nome di BETECOMIX.





La Sperimentazione

La prima fase sperimentale è stata orientata alla verifica delle caratteristiche fisiche dei materiali di partenza, successivamente sono state confezionate 6 miscele con sabbia da C&D e 3 miscele con il misto riciclato da C&D, variando il tenore di legante, il contenuto d'acqua dell'impasto, il tipo e il tenore di additivi.

Per la composizione delle miscele sono stati utilizzati i seguenti materiali:

- Sabbia riciclata in frazione granulometrica nominale 0/6 mm;
- Misto riciclato in frazione granulometrica nominale 0/30 mm;
- Cemento Portland 32.5;
- Additivo aerante MAPEI MapeAir L;
- Additivo fluidificante BASF Basf Rheobuild 561;

Le diverse miscele cementizie sono state sottoposte al controllo dei seguenti parametri:

- a) Resistenza a compressione ad espansione laterale libera alle stagionature di 24 ore, 7, 14 e 28 giorni per valutare nel tempo lo sviluppo delle resistenze meccaniche (UNI 12390-3).
- b) Caratteristiche di demolibilità a 28 giorni per verificare la facilità di una successiva rimozione del materiale posto in opera (prova interna).
- c) Spandimento (ASTM D6103), per le sole miscele confezionate con aggregati di dimensioni inferiori ai 19 mm.
- d) Prova di abbassamento al cono – Slump test (UNI 12350-2).
- e) Massa volumica dell'impasto fresco per la valutazione della resa della miscela (ASTM D6023).
- f) Contenuto di cemento (ASTM D6023).
- g) Contenuto d'acqua (ASTM D6023).
- h) Contenuto d'aria (ASTM D6023).

I valori delle resistenze a compressione a 24 ore e 28 giorni ed il valore dell'indice di demolibilità, così come definito in seguito, sono stati presi in





considerazione per qualificare le miscele e valutarne l'idoneità ed accettabilità, così come previsto dal regolamento cavi di Roma Capitale.

Le procedure

Le caratteristiche compositive delle miscele sono state valutate per determinare la volumetria della miscela fresca con le procedure descritte nella norma ASTM D6023.

Le caratteristiche di consistenza delle miscele sono state valutate sia attraverso la prova ASTM D6103 che consiste nel misurare lo spandimento della miscela fresca che fuoriesce da un cilindro metallico di dimensioni standardizzate, sia tramite prova di abbassamento al cono di Abrams (UNI EN 12350-2).

Le resistenze a compressione sono state valutate a 24 ore a 7, 14 e 28 giorni al fine non solo di verificarne la congruità con i riferimenti del Regolamento Cavi ma di descriverne dettagliatamente l'evoluzione nel tempo.

Alla maturazione di 28 giorni è stata valutata anche la demolibilità attraverso un indice definito come: "sommatoria degli n carichi impulsivi necessari per giungere alla rottura del provino, divisa per il passo di crescita di detti carichi"; ovvero analiticamente:

$$\frac{1}{\Delta P} \sum_{i=1}^n (i \times \Delta P)$$

dove: ΔP =incremento di carico dinamico (25 daN)

i=ripetizione della sollecitazione dinamica

La modalità secondo la quale viene condotta la prova di demolibilità consente di determinare, in una scala diretta, il legame tra il raggiungimento della sconfigurazione del provino per infissione dello scalpello a taglio per almeno metà dell'altezza del provino e la sollecitazione dinamica di picco che porta a detta condizione. L'n-esimo impulso dinamico, che determina la condizione prefissata di rottura, viene trasmesso ad un campione che ha accumulato una storia pregressa in termini tensionali e deformativi. Per tale ragione si definisce

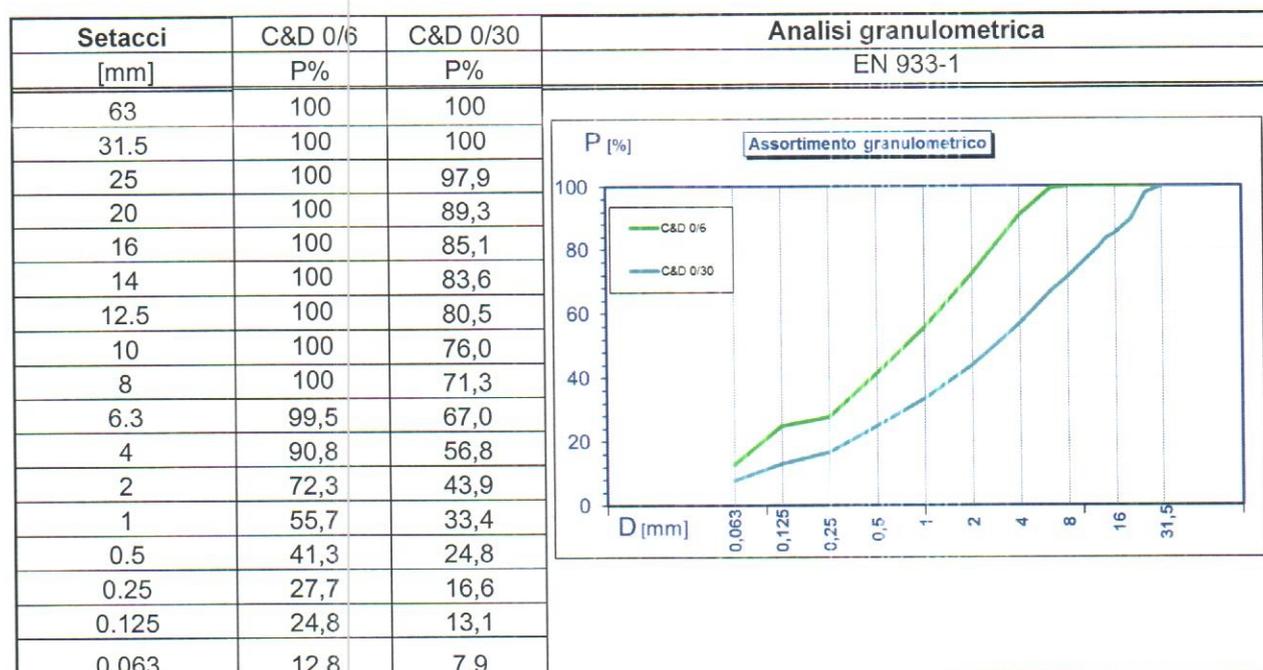




la demolibilità di un campione attraverso un parametro che porti in conto, cumulandoli, anche gli n-1 impulsi precedenti quello finale.

Caratterizzazione iniziale

In tab. 1 viene esposta la distribuzione granulometrica delle due frazioni granulometriche utilizzate per confezionare le miscele:



Tab.1 – Analisi granulometrica degli aggregati





Caratteristiche compositive delle miscele

Il progetto delle miscele in laboratorio, anche con riferimento al tenore di legante, al contenuto totale di acqua e di additivi aggiunti, è stato calibrato tenendo presente le modalità operative in impianto, ovvero, si è proceduto alla composizione delle miscele partendo dagli aggregati umidi, sui quali è stata determinata l'umidità naturale e si è calcolata volta per volta la quantità di acqua da aggiungere all'impasto.

Pertanto è da ritenersi essenziale verificare giornalmente l'umidità naturale degli aggregati così da ricalibrare volta per volta in impianto il contenuto di acqua da aggiungere alla miscela.

Nelle tabelle che seguono, al fine di rendere agevole la fase operativa della produzione delle miscele, la composizione delle miscele è esplicitata a metro cubo fresco.

Le 6 miscele confezionate esclusivamente con il C&D 0/6 sono state denominate Mix S mentre le 3 miscele denominate Mix M sono state confezionate con il 100% di C&D 0/30.

Il contenuto d'acqua totale è stato variato fra 330 e 365 dm³/m³ (litri per metro cubo), per le miscele del gruppo S, e tra i 320 e i 330 dm³/m³ per quelle confezionate con il C&D 0/30; sono stati valutati gli effetti dell'aggiunta sia di additivi fluidificanti sia aeranti.





La seguente tabella riassume le caratteristiche compositive e di resistenza delle miscele di tipo Mix S ovvero composte al 100% da C&D 0/6 con umidità naturale pari all'11.4%.

	MIX S u.m.	S01	S02	S03	S04	S05	S06	Limiti di accettazione
Aggregati umidi C&D 0/6	[kg/m ³]	1210	1245	1144	1182	1228	1127	
Aggregati secchi C&D 0/6	[kg/m ³]	1087	1118	1027	1061	1102	1011	
Acqua aggiunta	[kg/m ³]	230	237	217	225	233	214	
Acqua totale	[kg/m ³]	354	364	334	345	359	329	
Contenuto di cemento	[kg/m ³]	48	40	46	59	68	62	
Additivo fluidificante Basf Rheobuild 561	[dm ³ /m ³]	0	0	0	0	0	0,25	
Additivo aerante Mapei MapeAir L	[dm ³ /m ³]	0	0	0,25	0	0	0	
Massa totale impasto	[kg]	61,5	61,1	61,5	62,0	62,3	62,3	
Resa	[dm ³]	41,3	40,2	43,7	42,3	40,7	44,4	
Peso di volume fresco	[g/cm ³]	1,49	1,52	1,41	1,47	1,53	1,40	
Contenuto d'aria	[%]	22,1	20,2	26,3	23,6	20,4	26,9	
Rc 24 h	[daN/cm ²]	4,6	3,0	4,1	6,9	8,3	4,1	≥1.8
Rc 7 gg	[daN/cm ²]	7,9	4,6	6,8	11,2	12,5	13,2	
Rc 14 gg	[daN/cm ²]	9,1	5,4	7,9	13,0	14,9	14,3	
Rc 28 gg	[daN/cm ²]	10,5	6,0	9,0	14,4	17,2	14,3	≥13.5
Demolibilità	[ID]	113	32	61	128	136	120	≤150
Spandimento	[mm]	140	140	160	140	130	140	
Abbassamento al cono di Abrams	[mm]	160	170	200	180	150	160	
Classe di consistenza		S4	S4	S4	S4	S3	S4	

Tab. 2- Tabella sinottica delle composizioni e delle resistenze delle miscele tipo MIX S.





Dall'analisi delle caratteristiche di resistenza si nota che rispondono ai requisiti di accettazione del regolamento cavi di Roma Capitale le miscele S04, S05 e S06, mentre le altre, pur sviluppando adeguate resistenze a breve termine e pur soddisfacendo le esigenze di demolibilità, non raggiungono le resistenze richieste a 28 giorni di maturazione. Dal punto di vista della lavorabilità risultano tutte avere un abbassamento al cono di Abrams maggiore o uguale di 150 mm e quindi una consistenza che va dalla semifluida alla fluida. Dal momento che le miscele S04 e S06 presentano a 28 gg di maturazione una resistenza a compressione che supera di poco il limite imposto dal regolamento cavi si consiglia l'impiego della miscela S05 che invece garantisce ottime caratteristiche di resistenza anche a breve termine.

Nelle seguenti figure si mostrano i risultati delle caratteristiche di resistenza e demolibilità delle miscele di tipo Mix S.

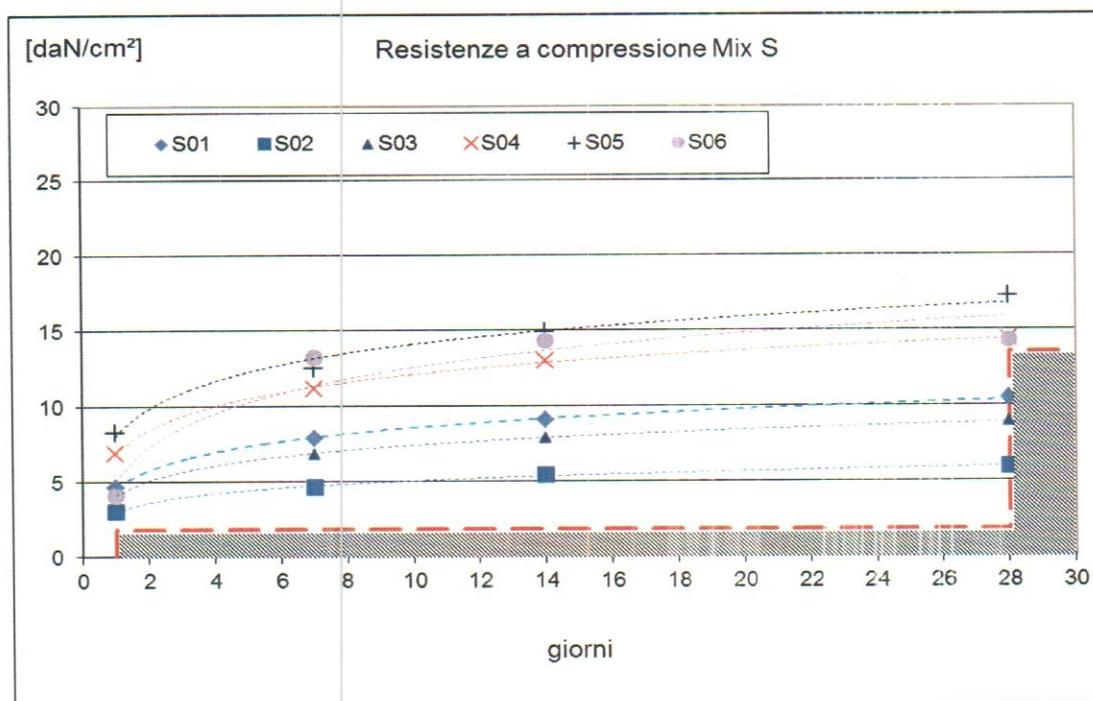


Fig.1 – Evoluzione delle resistenze a compressione delle miscele tipo Mix S

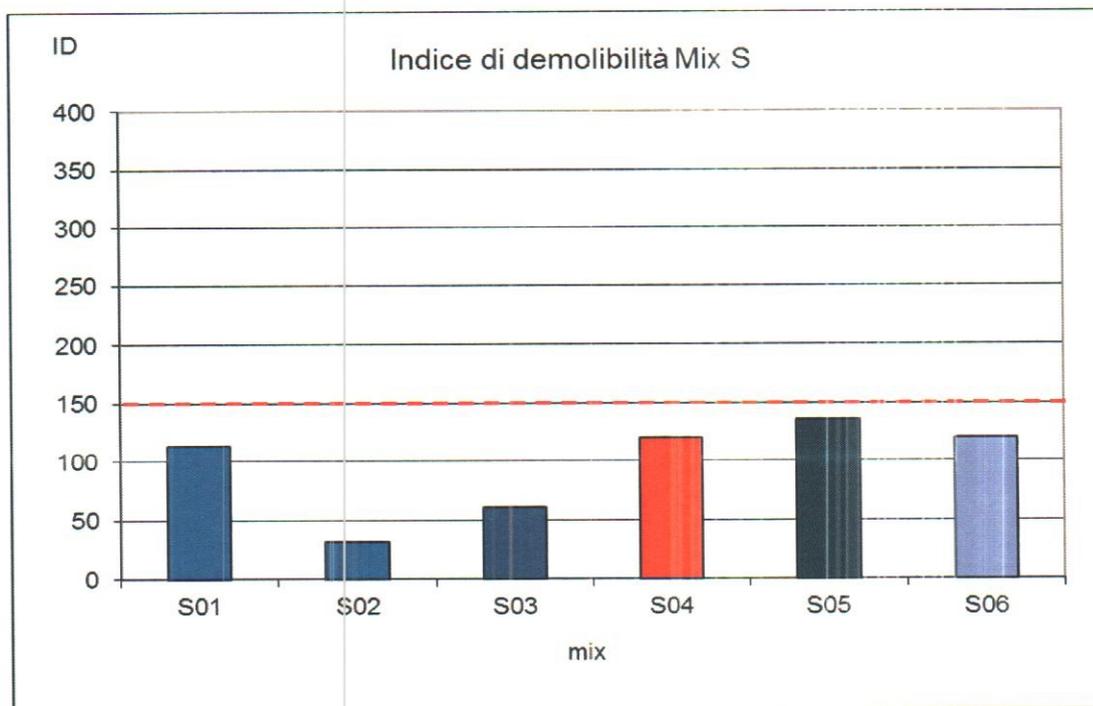


Fig.2 - Demolibilità delle miscele di tipo Mix S





La seguente tabella riassume le caratteristiche compositive e di resistenza delle miscele di tipo Mix M ovvero composte al 100% da C&D 0/30 con umidità naturale pari al 9.5%.

	MIX M u.m.	M01	M02	M03	Limiti di accettazione
Aggregati umidi C&D 0/30	[kg/m ³]	133	1325	1319	
Aggregati secchi C&D 0/30	[kg/m ³]	1217	1210	1205	
Acqua aggiunta	[kg/m ³]	213	205	204	
Acqua totale	[kg/m ³]	329	320	318	
Contenuto di cemento	[kg/m ³]	37	48	53	
Additivo fluidificante Basf Rheobuild 561	[dm ³ /m ³]	0	0	0,25	
Additivo aerante Mapei MapeAir L	[dm ³ /m ³]	0	0	0	
Massa totale impasto	[kg]	59,4	65,5	65,7	
Resa	[dm ³]	37,5	41,5	41,7	
Peso di volume fresco	[g/cm ³]	1,58	1,58	1,58	
Contenuto d'aria	[%]	20,2	21,0	21,2	
Rc 24 h	[daN/cm ²]	4,4	8,0	6,4	≥1.8
Rc 7 gg	[daN/cm ²]	7,6	13,9	13,4	
Rc 14 gg	[daN/cm ²]	8,2	14,8	13,8	
Rc 28 gg	[daN/cm ²]	9,3	16,1	15,7	≥13.5
Demolibilità	[ID]	92	136	120	≤150
Spandimento	[mm]	---	---	---	
Abbassamento al cono di Abrams	[mm]	140	150	140	
Classe di consistenza		S3	S3	S3	

Tab.3 – Tabella sinottica delle composizioni e delle resistenze delle miscele tipo MIX M.

Dall'analisi delle caratteristiche di resistenza e demolibilità si nota che le miscele M02 e M03, rispondono ai requisiti di accettazione del Regolamento Cavi di Roma Capitale, mentre la miscela M01 pur sviluppando adeguate





resistenze a breve termine non rispetta i requisiti minimi di resistenza a lungo termine. Le miscele M02 e M03 rispettano entrambe le prescrizioni del regolamento cavi ma si consiglia l'impiego della miscela M02 che, rispetto alla M03, risulta economicamente più vantaggiosa perché priva dell'additivo fluidificante e tecnicamente più valida perché superiore in termini di resistenza a breve termine.

Nelle seguenti figure si mostrano i risultati delle caratteristiche di resistenza e demolibilità delle miscele di tipo Mix M.

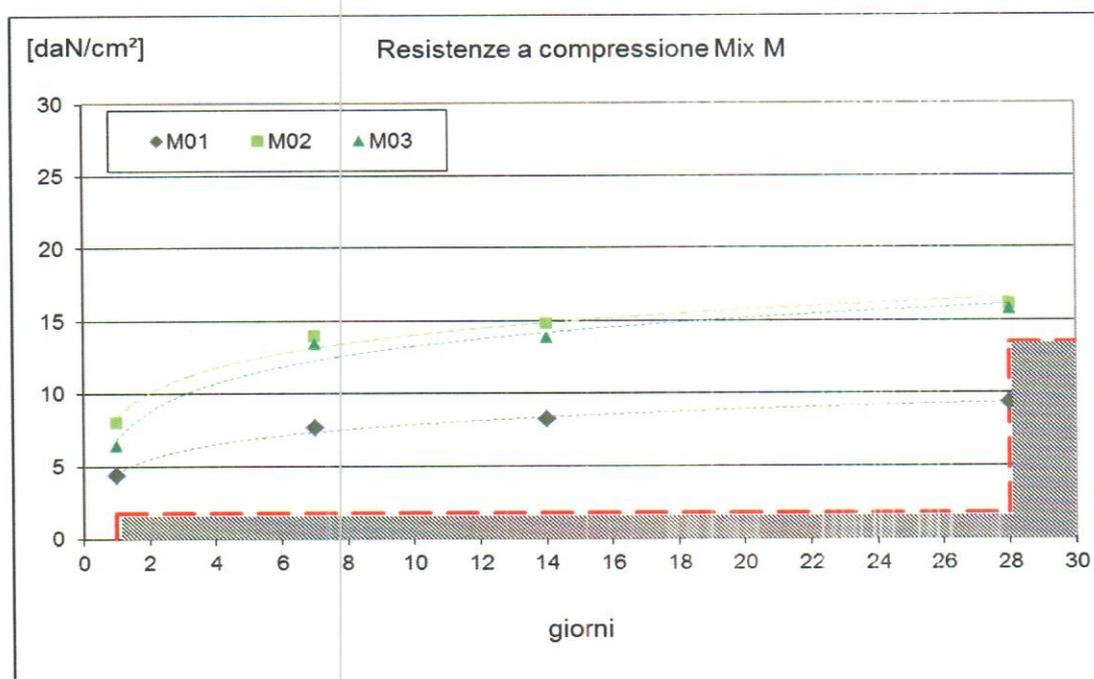


Fig.3 - Evoluzione delle resistenze a compressione delle miscele tipo Mix M

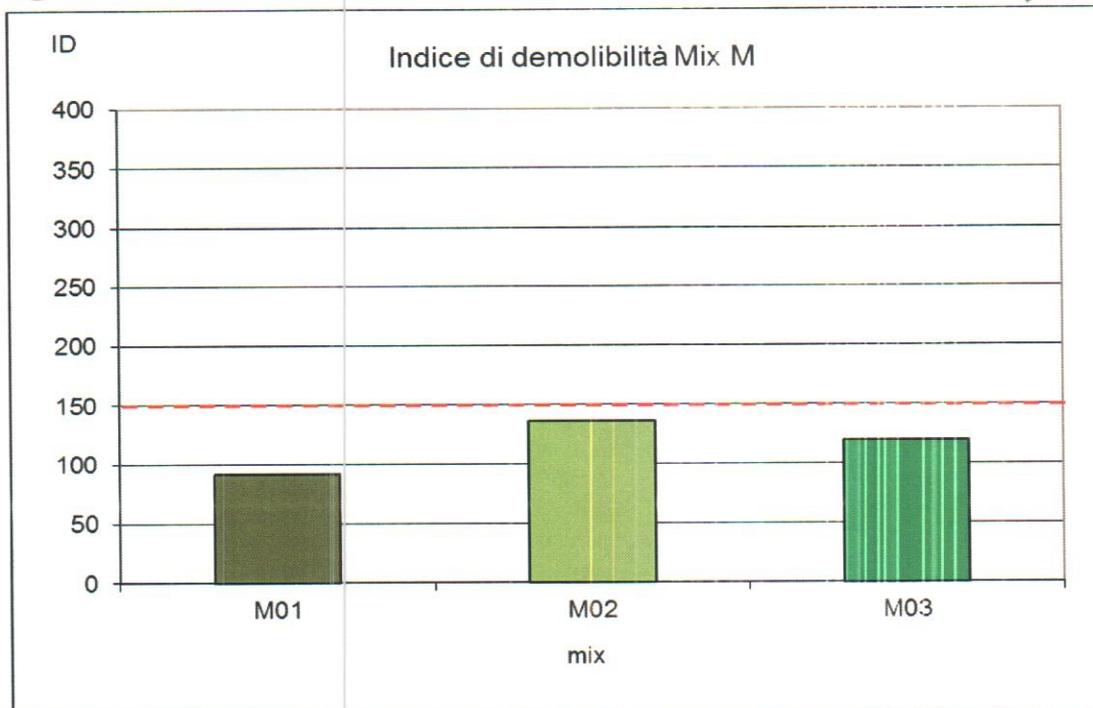


Fig.4 - Demolibilità delle miscele di tipo Mix M





Conclusioni

In conclusione, sono state individuate due miscele betonabili rispondenti alle specifiche tecniche di riferimento e dotate anche di ottime caratteristiche in termini di lavorabilità e resa.

Nella tabella seguente sono riepilogate le informazioni essenziali sulle caratteristiche di resistenza, demolibilità e sui dosaggi previsti per la composizione dell'impasto:

	MIX u.m.	S05	M02	Limiti di accettazione
Aggregati umidi C&D 0/6	[kg/m ³]	1228	0	
Aggregati secchi C&D 0/6	[kg/m ³]	1102	0	
Aggregati umidi C&D 0/30	[kg/m ³]	0	1325	
Aggregati secchi C&D 0/30	[kg/m ³]	0	1210	
Acqua aggiunta	[kg/m ³]	233	205	
Acqua totale	[kg/m ³]	359	320	
Contenuto di cemento	[kg/m ³]	68	48	
Additivo fluidificante Basf Rheobuild 561	[dm ³ /m ³]	0	0	
Additivo aerante Mapei MapeAir L	[dm ³ /m ³]	0	0	
Rc 24 h	[daN/cm ²]	8,3	8,0	≥1.8
Rc 7 gg	[daN/cm ²]	12,5	13,9	
Rc 14 gg	[daN/cm ²]	14,9	14,8	
Rc 28 gg	[daN/cm ²]	17,2	16,1	≥13.5
Demolibilità	[ID]	136	136	≤150

Tab.4 – Riepilogo delle composizioni e delle caratteristiche della miscela di progetto.

In allegato alla presente relazione tecnica si riportano i certificati delle prove di laboratorio effettuate nell'ambito della sperimentazione.