



**Studio di miscele betonabili
composte da sabbia naturale e misto riciclato
conformi alle specifiche tecniche del Regolamento per
scavi stradali e per la posa di canalizzazioni nel
sottosuolo, approvato con Delibera di C.C. di Roma
Capitale n. 105 del 23 novembre 2009 e ss. mm. ii.**

RELAZIONE TECNICA

EMISSIONE 31/08/2016

REVISIONI: rev00 del 31/08/2016

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





Riempimenti fluidi da non costipare (“betonabili”).....	2
Introduzione	2
La Sperimentazione.....	3
Le procedure	4
Caratteristiche compositive delle miscele.....	6
Conclusioni	12





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 Scavi di Roma Capitale contenenti sia aggregati naturali che C&D; nello specifico è stata impiegata sabbia gialla 0/6 di origine naturale e misto riciclato 0/30.





La Sperimentazione

La prima fase sperimentale è stata orientata alla verifica delle caratteristiche fisiche dei materiali di partenza, successivamente sono state confezionate 7 miscele 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 gialla in frazione granulometrica nominale 0/6 mm;
- Misto riciclato in frazione granulometrica nominale 0/30 mm;
- Cemento Pozzolatico 32.5;
- Additivo fluidificante ed integratore di fini MAPEI Dynamon SX14;
- Additivo fluidificante CHRYSO Optima 202;

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) Prova di abbassamento al cono – Slump test (UNI 12350-2).
- d) Massa volumica dell'impasto fresco per la valutazione della resa della miscela (ASTM D6023).
- e) Contenuto di cemento (ASTM D6023).
- f) Contenuto d'acqua (ASTM D6023).
- g) 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 attraverso la 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:

Setacci [mm]	Sabbia 0/6 P%	C&D 0/30 P%	Analisi granulometrica	
			EN 933-1	
63	100,0	100,0		
31,5	100,0	100,0		
25	100,0	96,8		
20	100,0	70,9		
16	100,0	50,9		
14	100,0	43,2		
12,5	100,0	32,4		
10	100,0	20,3		
8	100,0	9,2		
6,3	100,0	3,8		
4	93,3	1,6		
2	83,5	1,4		
1	78,8	1,3		
0,5	75,3	1,2		
0,25	60,5	1,1		
0,125	15,6	0,7		
0,063	3,2	0,4		

Tab.1 – Analisi granulometrica degli aggregati





Caratteristiche compositive delle miscele

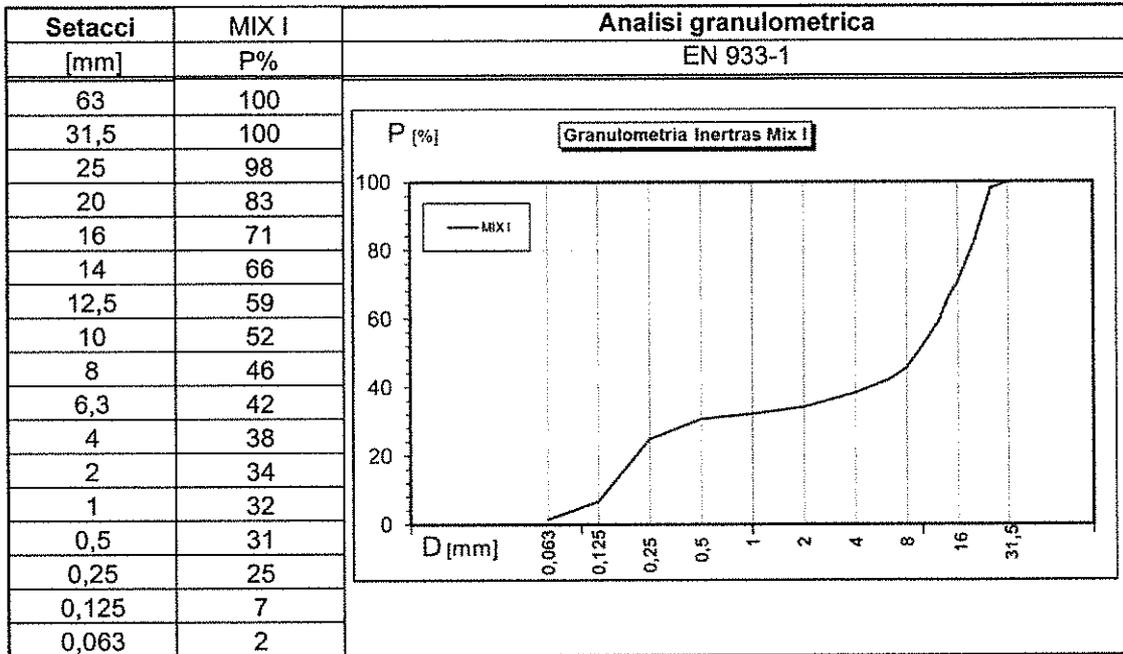
Il progetto delle miscele in laboratorio, anche con riferimento al tenore di legante, al contenuto totale di acqua e di additivi aggiunti, è stato calibrato tenendo presente le modalità operative in impianto, ovvero, si è proceduto alla composizione delle miscele partendo dagli aggregati umidi, sui quali 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.

In particolare le 7 miscele, denominate mix I, sono state confezionate impiegando il 40% di sabbia 0/6 e l'80% di C&D 0/30. Sono stati inoltre valutati gli effetti dell'aggiunta di un additivo fluidificante e di un additivo integratore di fini con lo scopo di migliorare la lavorabilità dell'impasto fresco.

Di seguito si riporta la curva granulometrica e le caratteristiche compositive e di resistenza delle miscele studiate:



Tab.2 – Analisi granulometrica delle miscele





La seguente tabella riassume le caratteristiche compositive e di resistenza delle miscele di tipo Mix I ovvero composte dal 40% di sabbia 0/6 e dall'80% di C&D 0/30, con umidità naturali pari rispettivamente al 5.8% e al 5%.

	MIX I u.m.	I01	I02	I03	I04	I05	I06	I07	Limiti di accettazione
Aggregati umidi Sabbia 0/6	[kg/m ³]	609	604	625	614	586	588	605	
Aggregati secchi Sabbia 0/6	[kg/m ³]	576	571	590	581	554	556	572	
Aggregati umidi C&D 0/30	[kg/m ³]	913	906	937	922	879	883	908	
Aggregati secchi C&D 0/30	[kg/m ³]	870	862	892	878	837	841	865	
Acqua aggiunta	[kg/m ³]	218	206	206	210	208	213	207	
Acqua totale	[kg/m ³]	295	282	284	287	282	288	283	
Contenuto di cemento 32.5	[kg/m ³]	79	68	75	64	81	69	78	
Add. Chryso Optima 202	[dm ³ /m ³]	0	0,25	0	0	0	0	0	
Add. MAPEI Dynamon SX 14	[dm ³ /m ³]	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	
Massa totale impasto	[kg]	71,7	70,9	70,8	70,7	71,8	71,5	71,3	
Resa	[dm ³]	39,4	39,8	38,4	39,1	40,9	40,8	39,7	
Peso di volume fresco	[g/cm ³]	1,82	1,78	1,84	1,81	1,75	1,75	1,80	
Contenuto d'aria	[%]	13,6	15,6	13,3	14,3	16,8	16,4	15,1	
Rc 24 h	[daN/cm ²]	2,7	3,2	3,5	3,1	3,0	2,8	3,2	≥2
Rc 7 gg	[daN/cm ²]	8,8	9,1	13,3	9,1	10,2	9,5	11,3	
Rc 14 gg	[daN/cm ²]	13,1	12,7	17,8	11,1	13,6	12,2	15,5	
Rc 28 gg	[daN/cm ²]	16,6	16,2	22,4	14,2	18,3	16,5	19,5	≥15
Demolibilità	[ID]	122	153	351	136	190	136	210	≤150
Slump	[mm]	120	110	150	200	120	170	180	
Classe di consistenza		S3	S3	S3	S4	S3	S4	S4	

Tab. 3- Tabella sinottica della composizione e delle resistenze delle miscele tipo mix I.



Dall'analisi delle caratteristiche di resistenza e demolibilità si nota che rispondono ai requisiti di accettazione del Regolamento Scavi di Roma Capitale le miscele I01 e I06, mentre le miscele I02, I03, e I07 pur soddisfacendo i requisiti di resistenza a breve e lungo termine non soddisfano il requisito di demolibilità. La miscela I04 presenta valori di resistenza a compressione a 28 gg leggermente al disotto del limite stabilito del Regolamento.

Le miscele I01 e I06 pur risultando simili sia sotto il profilo della composizione sia in termini di resistenze e demolibilità, differiscono sensibilmente sotto il profilo della lavorabilità; infatti la miscela I01 confezionata senza additivi risulta poco fluida (vedi valori di slump) a causa del modesto assortimento granulometrico della miscela di aggregati, mentre la I06 confezionata con un additivo integratore di fini (MAPEI Dynamon SX14) risulta molto più lavorabile presentando valori di slump compatibili con un agevole scorrimento del materiale sul canale di posa in opera.

L'utilizzo di additivi fluidificanti ordinari non ha prodotto sensibili miglioramenti della lavorabilità delle miscele, come si evince analizzando i dati della miscela I02.

Per queste ragioni si consiglia la produzione della miscela I06.

Inoltre si segnalano alcuni accorgimenti metodologici nel processo di produzione al fine di ottenere le migliori caratteristiche di omogeneità e lavorabilità delle miscele.

In particolare, si evidenzia che le migliori prestazioni si ottengono solo dopo che aggregati, cemento e l'80% di acqua sono stati miscelati per qualche minuto, si aggiunge poi l'additivo MAPEI Dynamon SX14 e il 20% di acqua residuale prevista. È inoltre necessario che dopo l'aggiunta dell'additivo la miscelazione continui per un tempo non inferiore ai 7-8 min.



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

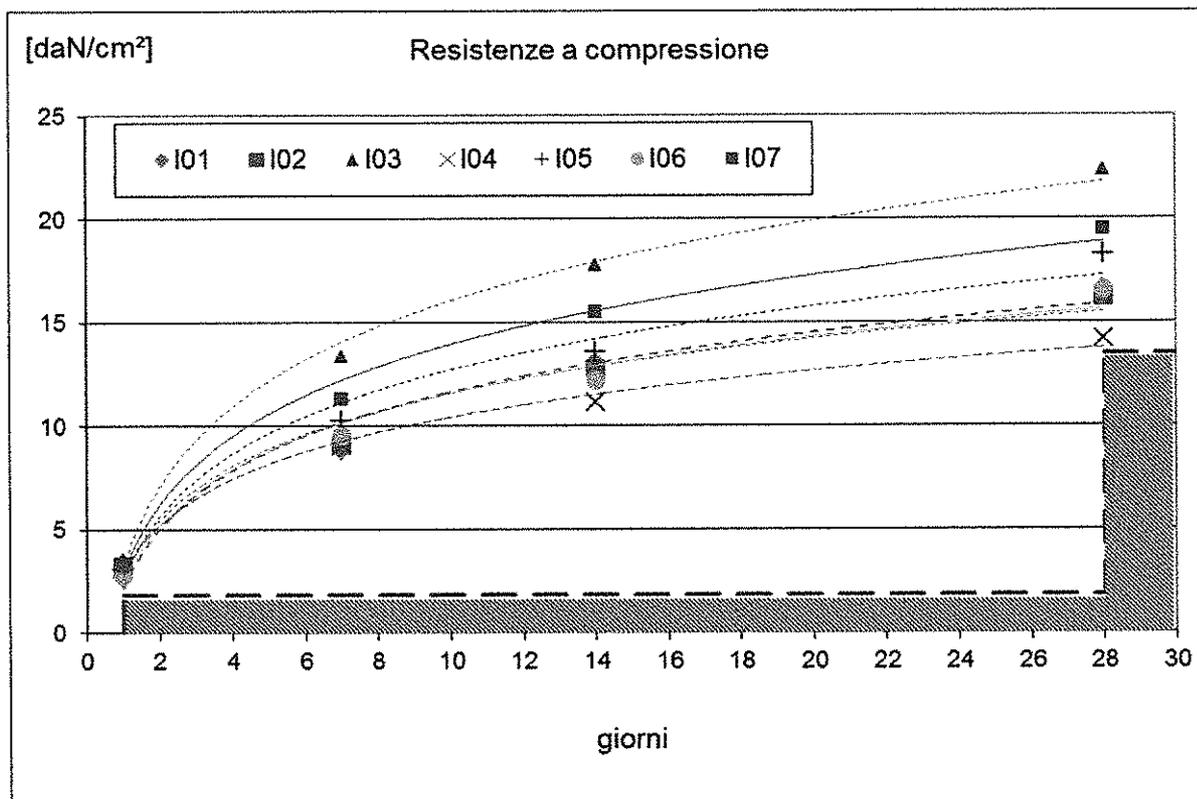


Fig.1 - Evoluzione delle resistenze a compressione delle miscele tipo Mix I



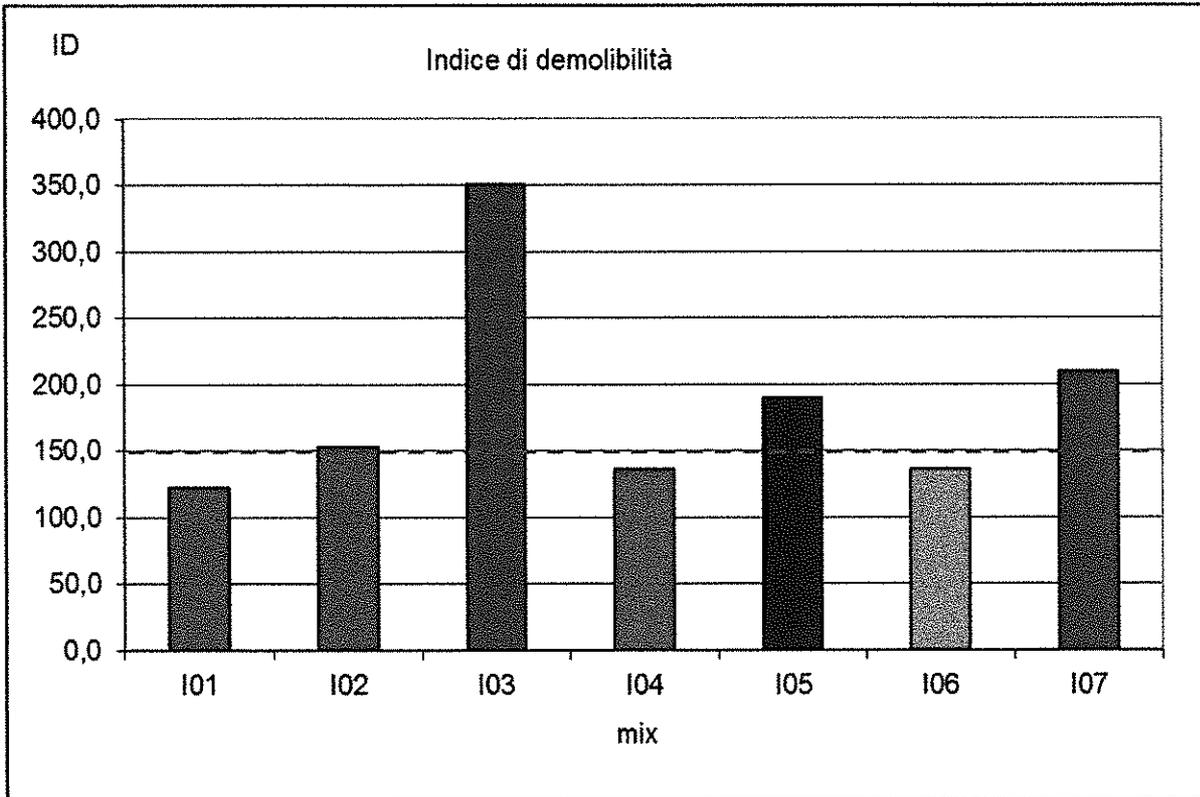


Fig.2 - Demolibilità delle miscele di tipo Mix I





Conclusioni

In conclusione, è stata individuata una miscela betonabile conforme alle specifiche tecniche del Regolamento per scavi stradali e per la posa di canalizzazioni nel sottosuolo, approvato con Delibera di C.C. di Roma Capitale n. 105 del 23 novembre 2009 ed ss. mm. ii.

Tale miscela è dotata anche di ottime caratteristiche in termini di lavorabilità e resa e risulta pertanto idonea all'impiego per riempimenti fluidi.

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

	MIX I u.m.	106	Limiti di accettazione
Aggregati umidi Sabbia 0/6	[kg/m ³]	588	
Aggregati secchi Sabbia 0/6	[kg/m ³]	556	
Aggregati umidi C&D 0/30	[kg/m ³]	883	
Aggregati secchi C&D 0/30	[kg/m ³]	841	
Acqua aggiunta	[kg/m ³]	213	
Acqua totale	[kg/m ³]	288	
Contenuto di cemento 32.5	[kg/m ³]	69	
Add. MAPEI Dynamon SX 14	[dm ³ /m ³]	0.5	
Rc 24 h	[daN/cm ²]	2.8	≥2
Rc 7 gg	[daN/cm ²]	9.5	
Rc 14 gg	[daN/cm ²]	12.2	
Rc 28 gg	[daN/cm ²]	16.5	≥15
Demolibilità	[ID]	136	≤150
Slump	[mm]	170	
Classe di consistenza		S4	

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





Si raccomanda di eseguire l'impasto secondo la procedura già descritta in precedenza ma che qui si ripete in forma schematica:

1. miscelare gli aggregati e il cemento;
2. aggiungere l'80% di acqua da aggiungere;
3. dopo qualche minuto di miscelazione aggiungere l'additivo MAPEI Dynamon SX14;
4. aggiungere il restante 20% d'acqua;
5. miscelare per un tempo minimo di 7-8 min.

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



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Antonio J. J. J.', written over the bottom portion of the official stamp.