

Calcestruzzo con prestazioni più sostenibili grazie alla tecnologia Intelligent Cluster System

N.Zeminian, A. Dalla Libera, I. Torresan – Master Builders Solutions

MasterCO₂re, la nuova linea di superfluidificanti di Master Builders Solutions, si afferma come l'alleato ideale per i preconfezionatori che ambiscono a produrre calcestruzzo con ridotte emissioni di CO₂, contribuendo a raggiungere gli sfidanti obiettivi ambientali che mirano alla neutralità entro il 2050.

Introduzione.

Il cambiamento climatico e i danni ambientali che ne conseguono rappresentano una seria minaccia per il pianeta. Attraverso il Green Deal, l'UE si propone di essere il primo continente al mondo a essere neutrale dal punto di vista climatico entro il 2050. Con una produzione annua globale di 13,5 miliardi di m³, il calcestruzzo è il materiale più ampiamente utilizzato ed è contestualmente responsabile dell'8% delle emissioni globali di CO₂. A causa della crescente popolazione e urbanizzazione, la produzione di calcestruzzo aumenterà ulteriormente, insieme al suo pesante impatto sull'ambiente. Ridurre il carbonio incorporato nel calcestruzzo è quindi di primaria importanza e per raggiungere questo obiettivo è necessario ridurre il clinker contenuto nel cemento e quindi nel calcestruzzo; il clinker, infatti, componente principale del cemento, è prodotto mediante la combustione di materie prime naturali come calcare, argilla e marne a temperature molto elevate, un processo a forte impatto in termini di CO₂. Sebbene il clinker rappresenti generalmente solo circa il 10% del volume del calcestruzzo, questo è comunque responsabile fino al 90% del carbonio ad esso incorporato. La riduzione della percentuale di clinker nel calcestruzzo può essere realizzata principalmente in tre modi:

- 1) Sostituendo il cemento con uno a ridotto contenuto di clinker;
- 2) riducendo il dosaggio del cemento in uso, laddove i criteri di contenuto minimo lo rendano possibile;
- 3) sostituendo una parte di cemento con materiali cementizi supplementari (SCM) o filler calcareo.

La sfida della riduzione del clinker nel calcestruzzo.

Il cambiamento della composizione del legante mirato alla riduzione del clinker comporta spesso effetti negativi sulle prestazioni del calcestruzzo: perdita di lavorabilità, peggioramento della reologia e della pompabilità e la riduzione delle resistenze meccaniche a compressione sono i principali effetti indesiderati che si verificano. I filler di calcare e gli SCM, utilizzati per sostituire il volume di clinker, hanno una diversa area superficiale e porosità, senza trascurare le variazioni di qualità a cui sono soggetti, essendo estratti in natura oppure costituiti da materiali di risulta derivanti da altri processi. Di conseguenza, le condizioni al contorno del

calcestruzzo a ridotto tenore di clinker sono più limitanti e la robustezza e tolleranza della produzione sono inevitabilmente impattate. Complessivamente, gestire un calcestruzzo sostenibile rende la vita quotidiana nella centrale di betonaggio più complicata e questo può influire sul flusso regolare e sulla produttività. La logica e immediata azione che viene intrapresa quando si verificano problemi di prestazione, consiste nell'aumentare il contenuto d'acqua e il dosaggio di cemento nella miscela. Questo, tuttavia, diluisce l'impatto positivo sulla riduzione di emissioni di CO₂, oltre ad aumentare i costi e a porre a rischio la qualità del calcestruzzo. In alcuni casi, l'aumento del dosaggio di cemento annulla totalmente la riduzione di CO₂ associata all'originaria modifica della miscela.

Soluzioni avanzate con la tecnologia Intelligent Cluster System.

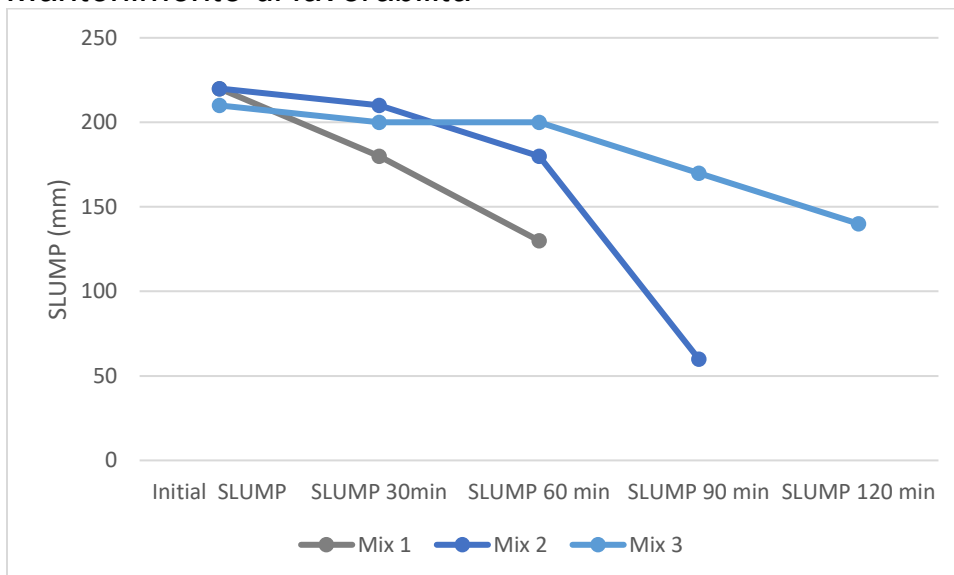
Affrontare le sfide del calcestruzzo a ridotto tenore di clinker richiede soluzioni avanzate. I nuovi superfluidificanti di Master Builders Solutions, basati sulla tecnologia brevettata Intelligent Cluster System, superano le limitazioni degli additivi convenzionali, permettendo non solo di ridurre le emissioni di CO₂, ma anche di risparmiare acqua potabile, un'altra importante azione che il nostro pianeta ci chiede. I dati presentati di seguito mostrano come la nuova linea di superfluidificanti MasterCO₂re consenta la produzione di calcestruzzo a ridotto tenore di clinker secondo le tre vie menzionate in precedenza, rendendo quindi la sostenibilità un obiettivo raggiungibile per i preconfezionatori, senza compromessi sulla qualità del prodotto e in modo economicamente interessante. La reologia superiore di MasterCO₂re rispetto ai superfluidificanti convenzionali è il vero motore della trasformazione, poiché permette di ridurre ulteriormente il contenuto d'acqua nel calcestruzzo, senza impattare negativamente sulla sua pompabilità, la posa in opera e la finitura. La robustezza del calcestruzzo è notevolmente migliorata, consentendo di evitare azioni correttive come l'incremento di acqua e cemento, che diluirebbero o annullerebbero l'impatto positivo sulla riduzione delle emissioni di CO₂. I risultati dei test sul calcestruzzo sono riportati di seguito, insieme alla riduzione delle emissioni di CO₂ e al risparmio di acqua, calcolati con l'app ECO²NOW di Master Builders Solutions. Per gli esempi 1) e 2), il calcolo dei kg di CO₂ emessa per m³ di calcestruzzo è realizzato attingendo alla banca dati mondiale Ecoinvent 3.8 e alle EPD medie del settore e tiene conto della fornitura di materie prime (A1). Per il caso 3), sono stati utilizzati i dati di emissioni di CO₂ dei rispettivi cementi, come riportati nelle EPD emesse dal produttore.

Esempio 1 – Parziale sostituzione del cemento con filler/cenere volante

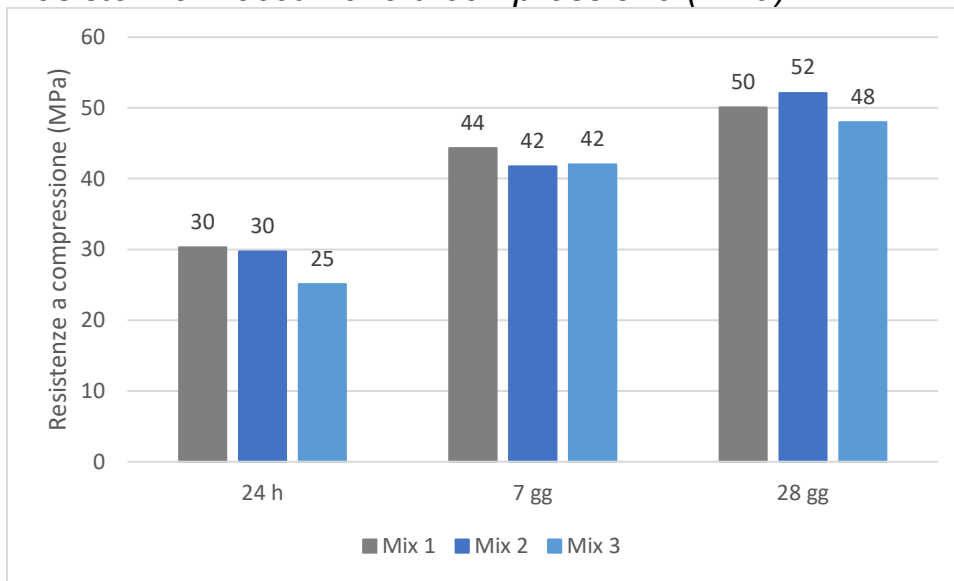
Composizione del calcestruzzo

Materia prima	Mix 1 Riferimento	Mix 2 MasterCO ₂ re	Mix 3 MasterCO ₂ re
CEM I 42,5 (kg/m ³)	280	260	260
Filler calcareo (kg/m ³)	-	50	-
Cenere volante (kg/m ³)	-	-	50
Sabbia (kg/m ³)	935	923	923
Pietrisco 12/19 (kg/m ³)	399	395	395
Ghiaia 25 (kg/m ³)	658	648	648
Acqua (l/m ³)	173	160	160
Rapporto acqua/cemento	0,62	0,62	0,62
Superfluidificante Convenzionale (kg/m ³)	2,8	-	
MasterCO ₂ re (kg/m ³)	-	2,9	3,6
Densità calcestruzzo (kg/m ³)	2415	2446	2457
Note aggiuntive:	materiali pre-condizionati a 40°C		
kg CO ₂ e/m ³ (A1 & A2)	247	232	232
Δ kg CO ₂ e/m ³ rispetto a Mix 1	-	-6,0%	-6,2%
Risparmio di acqua rispetto a Mix 1	-	-7,5%	-7,5%

Mantenimento di lavorabilità



Resistenze Meccaniche a compressione (MPa)

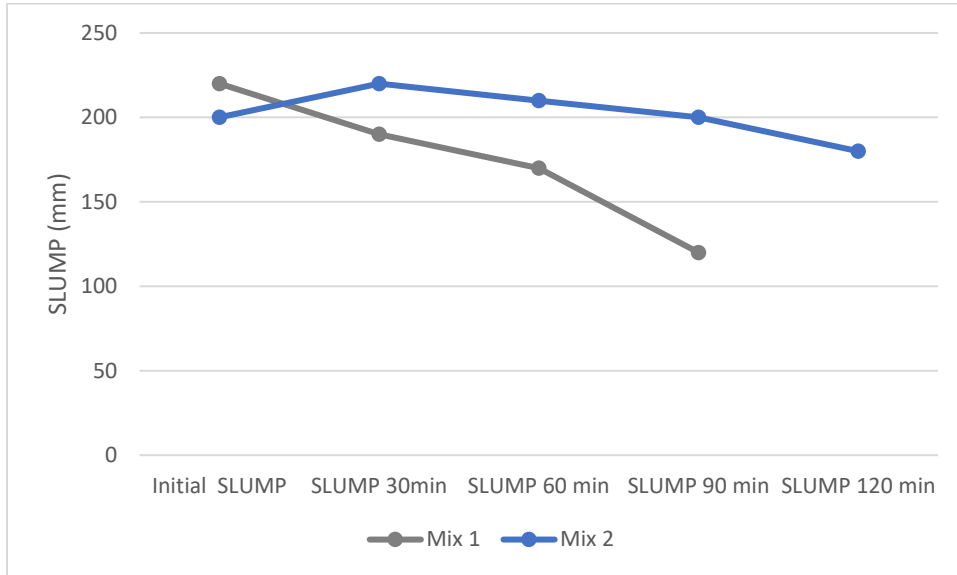


Esempio 2 – Riduzione del dosaggio di cemento

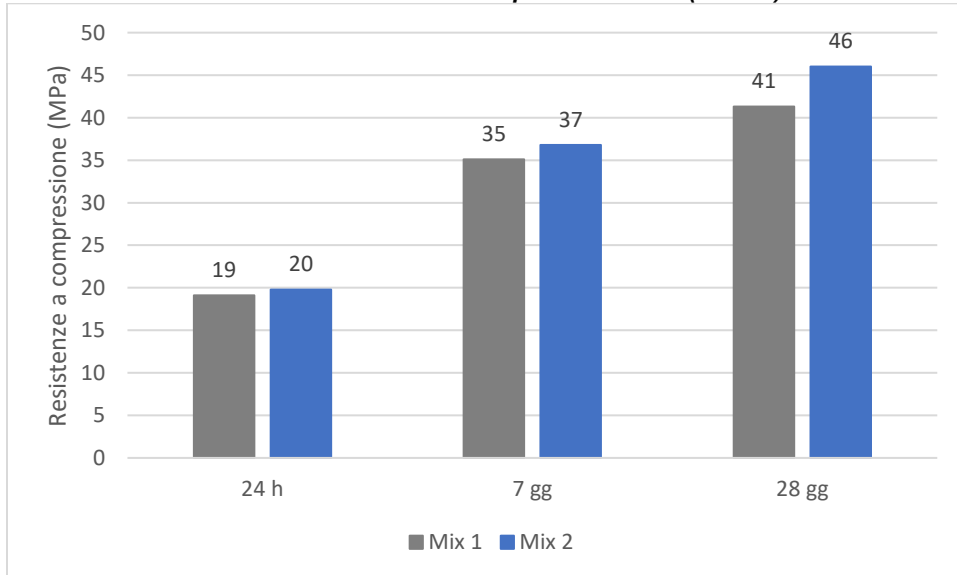
Composizione del calcestruzzo

Materia prima	Mix 1 – Riferimento	Mix 2 – MasterCO ₂ re
CEM II/B-LL 42,5 (kg/m ³)	330	300
Sabbia (kg/m ³)	895	925
Pietrisco 12/19 (kg/m ³)	380	394
Ghiaia 25 (kg/m ³)	629	650
Acqua (l/m ³)	175	159
Rapporto acqua/cemento	0,53	0,53
Superfluidificante Convenzionale (kg/m ³)	2,5	-
MasterCO ₂ re (kg/m ³)	-	3,3
Densità calcestruzzo (kg/m ³)	2421	2449
Note aggiuntive	Temperatura del calcestruzzo: 20°C	
kg CO ₂ e/m ³ (A1 & A2)	232	215
Δ kg CO ₂ e/m ³ rispetto a Mix 1	-	-7,4%
Risparmio di acqua rispetto a Mix 1	-	-9,1%

Mantenimento di lavorabilità



Resistenze Meccaniche a compressione (MPa)

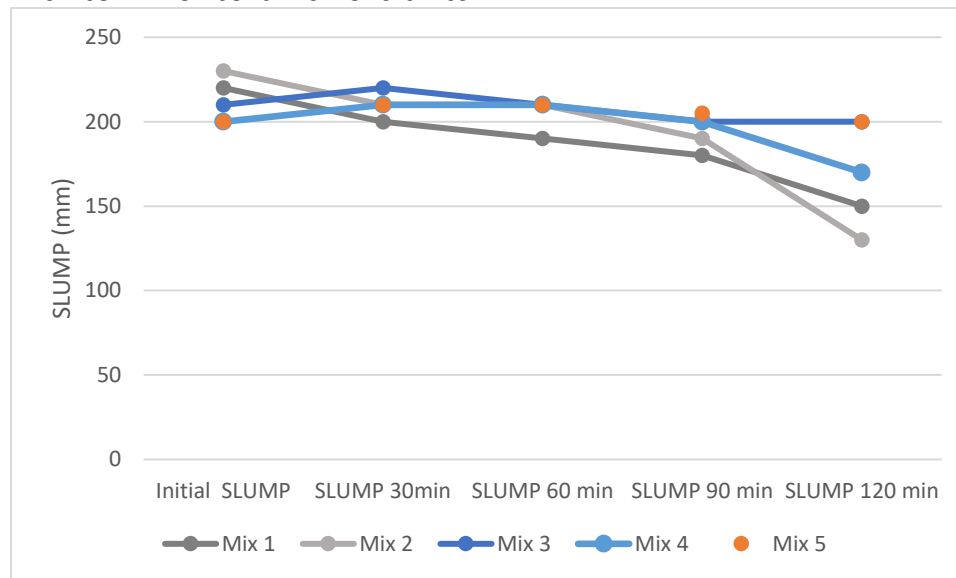


Esempio 3 – Passaggio a cemento con ridotto contenuto di clinker

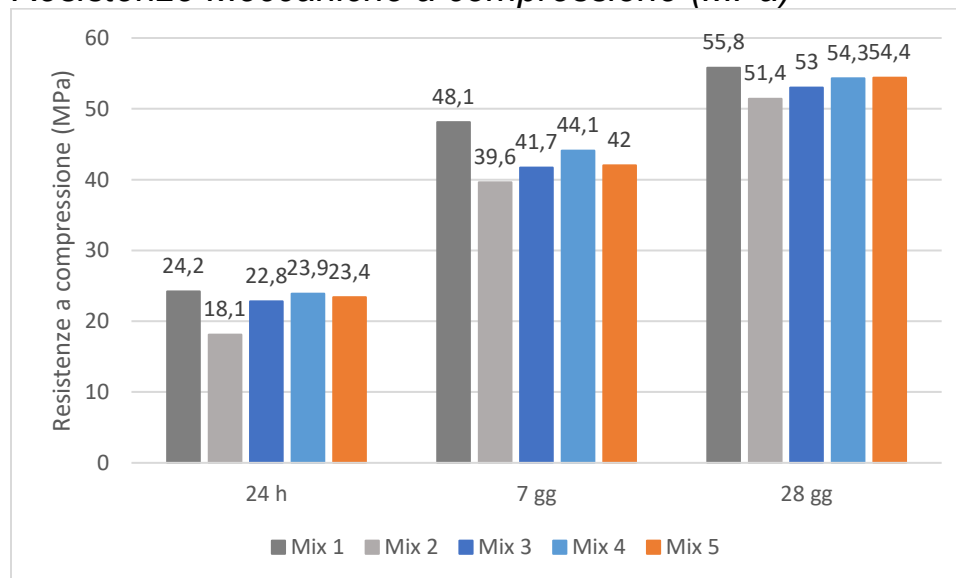
Composizione del calcestruzzo

Materia prima	Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4	Mix 5
CEM II/A-LL 42,5 (kg/m ³)	315	-	-	-	-
CEM IV/A (V) 32,5 (kg/m ³)	-	335	335	315	300
Sabbia (kg/m ³)	923	923	923	923	938
Pietrisco 12/19 (kg/m ³)	395	395	395	395	399
Ghiaia 25 (kg/m ³)	648	648	648	648	659
Acqua (l/m ³)	160	170	170	160	152
Rapporto acqua/cemento	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
Superfluidificante Convenzionale (kg/m ³)	2,8	2,4	-	-	-
MasterCO ₂ re (kg/m ³)	-	-	3,0	3,5	3,6
Densità calcestruzzo (kg/m ³)	2440	2408	2453	2421	2447
kg CO ₂ e/m ³ (A1 & A2)	272	251	252	238	227
Δ kg CO ₂ e/m ³ rispetto a Mix 1	-	-7,7%	-7,5%	-12,7%	-16,5%
Variazione consumo di acqua rispetto a Mix 1	-	+6,2%	+6,2%	-	-5,0%

Mantenimento di lavorabilità



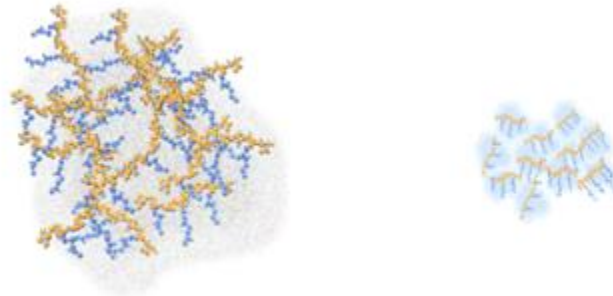
Resistenze Meccaniche a compressione (MPa)



MasterCO₂re: meccanismo d'azione intelligente

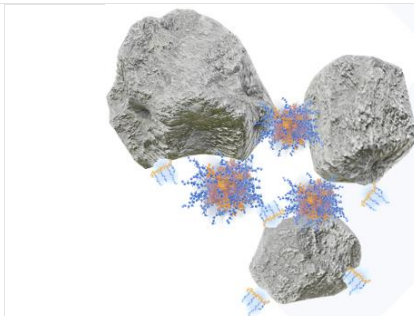
Tutte le miscele di calcestruzzo devono soddisfare sia i criteri di lavorabilità che quelli di resistenza. MasterCO₂re è una tecnologia rivoluzionaria che migliora significativamente le prestazioni del calcestruzzo a ridotto contenuto di clinker grazie al sistema Intelligent Cluster System (ICS). La tecnologia ICS crea cluster intelligenti di strutture chimiche finemente regolate, garantendo così il rilascio delle molecole di polimero secondo le necessità nel sistema. Una volta che MasterCO₂re con i suoi cluster viene aggiunto al calcestruzzo, una parte del polimero è immediatamente disponibile e garantisce la desiderata riduzione d'acqua e fluidità. Nel frattempo, la variazione del pH e la dissoluzione di specie ioniche nella "pore solution" del calcestruzzo attivano un rilascio controllato di molecole dal cluster, garantendo un ottimo mantenimento della

lavorabilità. Inoltre, la tecnologia ICS garantisce che le molecole di polimero distendano le loro catene e si distribuiscano nella matrice del cluster, occupando un volume totale circa dieci volte più grande rispetto alla situazione non “clusterizzata”, come illustrato schematicamente nella figura sottostante.



Molecole di polimero organizzate in cluster (sinistra) e non “clusterizzate” (destra)

Le dimensioni e l’ingombro sterico dei cluster assicurano un miglioramento ulteriore della reologia: i cluster, infatti, creano una sorta di effetto tribologico/lubrificante tra le particelle solide del calcestruzzo e, specialmente a bassi rapporti acqua-cemento, possono ridurre l’attrito garantendo così una migliore reologia del calcestruzzo, come illustrato nella figura sotto. Pertanto, la viscosità del calcestruzzo è più bassa al momento zero e rimane più bassa nel tempo, poiché alcuni cluster sono continuamente presenti per lubrificare il calcestruzzo, anche se l’attrito tra le particelle di calcestruzzo aumenta con la progressione dell’idratazione del cemento e la crescita dei cristalli.



Effetto tribologico dei cluster sulle particelle solide del calcestruzzo

Il processo di idratazione non è rallentato dal rilascio controllato, il che consente uno sviluppo eccellente della resistenza iniziale. Con MasterCO₂re, il mantenimento della lavorabilità è garantito, anche a temperature estive, senza l’utilizzo di ritardanti e senza alcun ritardo nella presa e nello sviluppo delle resistenze meccaniche! L’eccellente mantenimento della lavorabilità, la reologia avanzata e lo sviluppo regolare delle resistenze meccaniche offerte da MasterCO₂re sono la chiave per la produzione di calcestruzzo a ridotto impatto ambientale.

Conclusioni: La transizione a un calcestruzzo a ridotto contenuto di clinker, quindi a ridotte emissioni di CO₂, pone numerose sfide prestazionali per i produttori di preconfezionato. Esplorando le tre modalità principali per la produzione di calcestruzzo a ridotto tenore di clinker, questo articolo ha evidenziato come i nuovi superfluidificanti MasterCO₂re, basati sulla tecnologia Intelligent Cluster System, permettano di vincere queste sfide, superando le limitazioni dei superfluidificanti convenzionali. Questo apre la strada verso un'industria delle costruzioni più sostenibile, che contribuisca in modo significativo al raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica prefissati per il 2050.