La metodologia LG di Omya come possibile strumento per ridurre l'impatto ambientale dei sistemi cementizi

***Matteo Felitti**, ENGINEERING & CONCRETE CONSULTING – Università degli Studi di Napoli – Federico II*

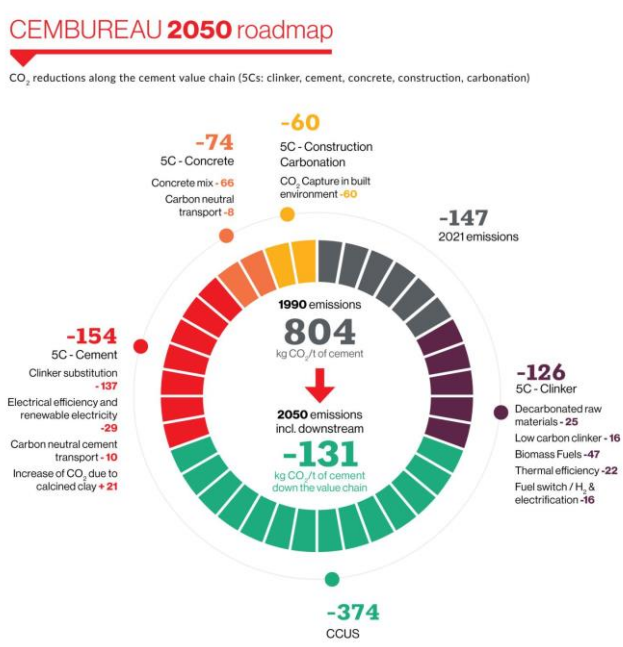
***Pascal Gonnon,** OMYA INTERNATIONAL*

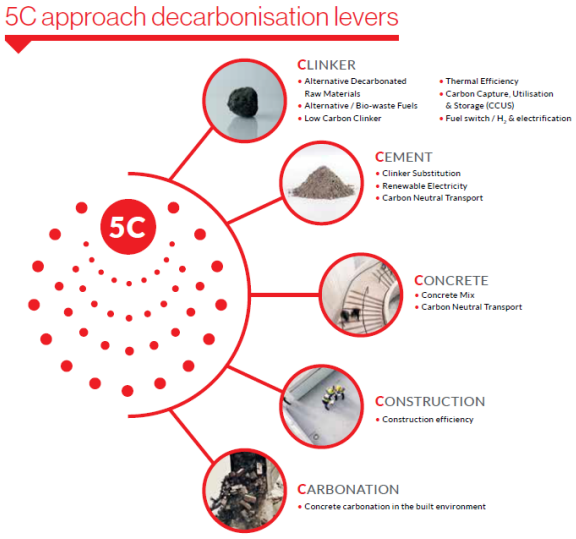
***Roberto Berardi**, OMYA INTERNATIONAL*

Introduzione

La produzione di cemento è responsabile di quasi l'8% delle emissioni globali di CO_2, e una delle strategie fondamentali per ridurre l'impronta di carbonio di questi materiali è la riduzione del rapporto clinker/cemento, in linea con il Net Zero Scenario 2050 raccomandato dall'Agenzia Internazionale dell'Energia (AIE).

Il Cembureau, ora diventato Cement Europe, indica cinque leve possibili per la riduzione della carbon footprint per arrivare nel 2050 al Netzero





Fonte: Cembureau/Cemet Europe

Una delle cinque leve riguarda l'utilizzo di cementi a minor tenore di clinker o la sostituzione di clinker/cemento con materiali cementizi supplementari (SCM) come le loppe d'altoforno granulate (GGBS), le pozzolane, argille calcinate o le ceneri volanti nei sistemi cementizi calcestruzzo, malte e precast.

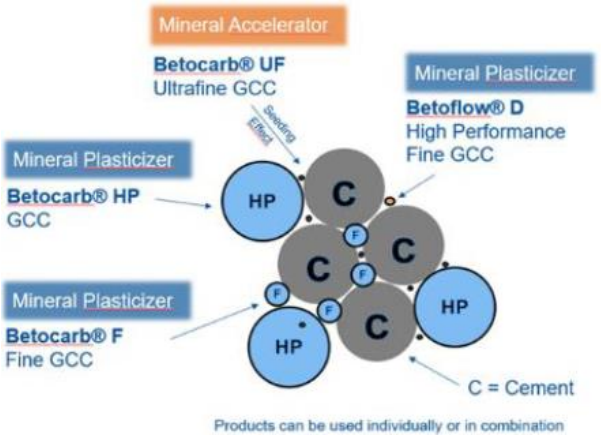
Oltre a questi materiali, una valida soluzione può essere data dall'utilizzo di carbonati di calcio fini e ultrafini (GCC) ad alta purezza e basse emissioni di carbonio, poiché con essi si può migliorare lavorabilità, densità di impaccamento delle particelle e sviluppo iniziale delle resistenze a breve termine, senza compromettere le prestazioni a lungo termine.

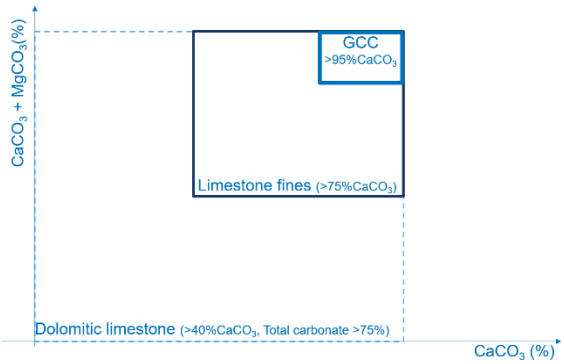
In alcuni Paesi del mondo, l'utilizzo in calcestruzzo di questa tipologia di materiali è regolato da norme locali specifiche - come ad esempio, Francia, Regno Unito, Paesi Bassi, Stati Uniti - mentre più in generale in Europa, rientra nell'ambito della normativa EN 12620. Inoltre, sull'utilizzo di questi materiali in calcestruzzo è in preparazione e fase di prossima emissione una norma Europea specifica (prEN18136 – Draft, **"Ground limestone for concrete - Definition, specifications and conformity criteria"**) con l'obiettivo di specificare i requisiti per le proprietà chimiche e fisiche del calcare macinato da utilizzare come aggiunta in calcestruzzo, malte e boiacche cementizie.

Il carbonato di calcio (Ground Calcium Carbonate – GCC) fine e ultrafine di Omya ha origine da rocce carbonatiche composte da minerali puri, con un processo produttivo che ne mantiene le qualità molto vicine al suo stato originale, e attraverso la macinazione, lavorazione e selezione si ottiene una serie di prodotti fini e ultrafini che vanno a costituire la gamma di prodotti Betocarb®, offrendo un approccio sostenibile all'ottimizzazione dell'efficienza dei sistemi cementizi.

I carbonati di calcio fini e ultrafini

Gli ioni calcio della gamma Betocarb® aiutano ad accelerare il processo di cristallizzazione dei principali componenti idrati dei cementi come le fasi Calcio-Silicato-Idrato (C-S-H). La dimensione delle particelle fini e gli ioni calcio forniscono siti di nucleazione che danno luogo a una maggiore idratazione iniziale e più completa del cemento che porta ad un aumento della resistenza a breve termine (< 24 ore).





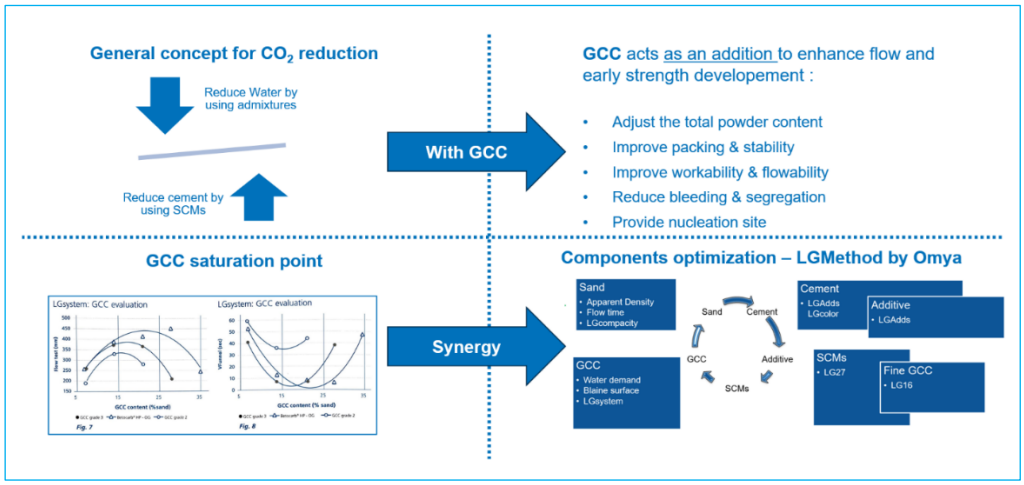
La finezza della granulometria della gamma Betocarb® ottimizza anche l'impaccamento delle particelle del calcestruzzo, riducendo i vuoti tra gli altri materiali, contribuendo ad una possibile riduzione del contenuto di cemento.

Oltre alla finezza, anche la purezza gioca un ruolo importante, specialmente nella interazione con cemento e additivi.

Pertanto, è possibile ottimizzare il contenuto di fini e quindi il volume di pasta nonché quello del cemento/legante (tipologia e/o contenuto), in modo da poter raggiungere determinati obiettivi in termini di prestazioni e di riduzione dell'impronta di carbonio. Per fare questo, risulta fondamentale anche la scelta del/i superfluidificante/i e degli altri additivi per la necessaria ottimizzazione del contenuto di acqua e della viscosità.

La metodologia LG di Omya

Omya ha sviluppato una metodologia, denominata LGMetodology dove si vanno a valutare e ottimizzare tutte le componenti fini del sistema cementizio in esame, insieme ad acqua e additivi, per ottenere un effetto sinergico di tutti i componenti:

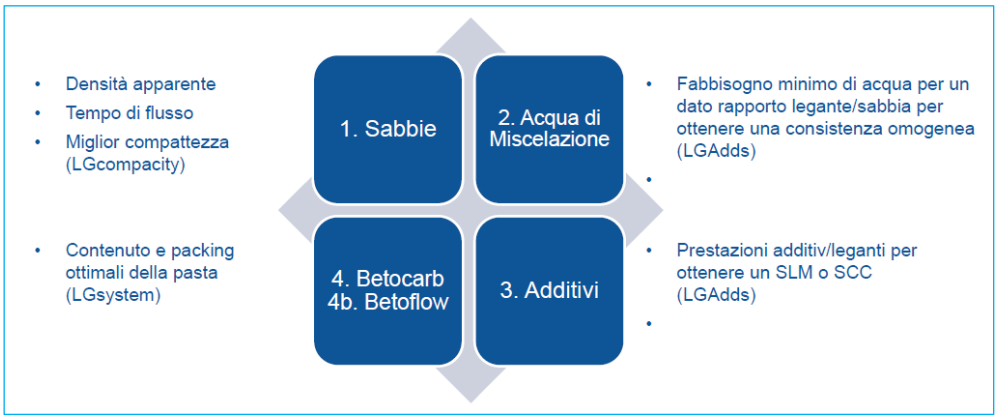


Fonte: LG Methodology, P. Gonnon, Omya International

Nello specifico, la metodologia si basa su una serie di test di laboratorio preliminari alle prove industriali, per:

- Definire il contributo di ogni singolo componente (cemento/legante, aggiunte, GCC, acqua di miscelazione e additivi) utilizzando il concetto di malta equivalente di calcestruzzo (CEN). Gli aggregati grossolani sono esclusi al fine di migliorare la sensibilità del metodo,
- Definire il miglior contenuto totale di fini (Total Powder Content) e ridurre l'acqua di miscelazione,
- Valutare facilmente l'impatto delle variazioni di cemento, sabbia, additivo o rapporto a/c,
- Promuovere un approccio sistemico per valutare nuove soluzioni a bassa impronta di carbonio, nuovi cementi a ridotto contenuto di clinker, SCM o sabbia riciclata, con ottimizzazione delle tempistiche e risorse, favorendo un'attività di laboratorio più snella.

Come anticipato, la metodologia è suddivisa in diversi passaggi per valutare il contributo di ciascun componente:



Fonte: LG Methodology, P. Gonnon, Omya International

Valutazione delle sabbie

Tempo di flusso (flow) e densità apparente: valutare la densità apparente (origine della materia prima) e il tempo di flusso (forma e angolarità delle particelle) di una sabbia asciutta. (Metodo: EN 933-6 - Prove per le proprietà geometriche degli aggregati. Valutazione delle caratteristiche superficiali. Coefficiente di flusso degli aggregati). Viene utilizzata la procedura secondo la norma UNI EN 933-6 (Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 6: Valutazione delle caratteristiche superficiali - Coefficiente di scorrimento degli aggregati.

Miglior compattezza/impaccamento: definire la migliore combinazione delle diverse sabbie disponibili per ottimizzare il packing ottimale che porta all'ottimizzazione del contenuto di legante. (Metodo: Tempo di flusso e densità apparente).

Acqua di miscelazione

Fabbisogno minimo di acqua per una consistenza omogenea: valutare la richiesta di acqua secondo un modello predittivo ma con i costituenti del cliente. L'obiettivo è definire la richiesta minima di acqua senza uso di additivi. (Metodo: EN 1015-3 - Determinazione della consistenza della malta fresca mediante tavola a scosse).

Additivi

Prestazioni additivi/leganti per ottenere un SLM o SCC: valutare la compatibilità degli additivi e in particolare del superfluidificante con il cemento, la sabbia e il filler. L'obiettivo è definire la richiesta minima di additivo prima di ottimizzare il dosaggio del filler. (Metodo: Malta CEN – mini cono Abrams).

Valutazione del filler

Contenuto e packing ottimali della pasta: valutare il contributo del GCC alla fluidità di una malta autolivellante utilizzando cemento, sabbia e additivo superfluidificante del cliente. L'obiettivo è definire la migliore proporzione/contenuto di GCC (ottimizzazione del contenuto di fini – total powder content) prima di ottimizzare il rapporto acqua/legante. (Metodo: Malta CEN – mini cono Abrams).

Le Figure 1 e 2, proposte da P. Gonnon, Senior Expert Technical Services Manager - Cement, Mortar & Concrete Laboratory – di Omya, mostrano questo concetto e il relativo meccanismo per ottimizzare il sistema.

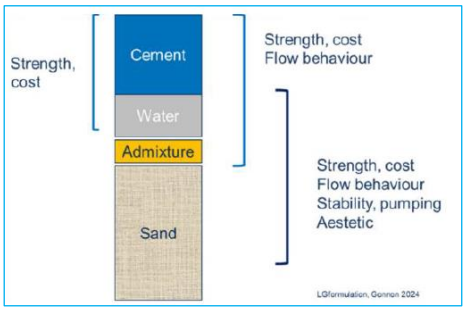


Figura 1 : Componenti e prestazioni

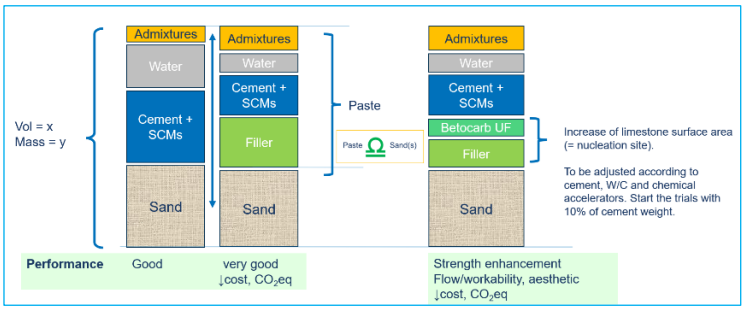


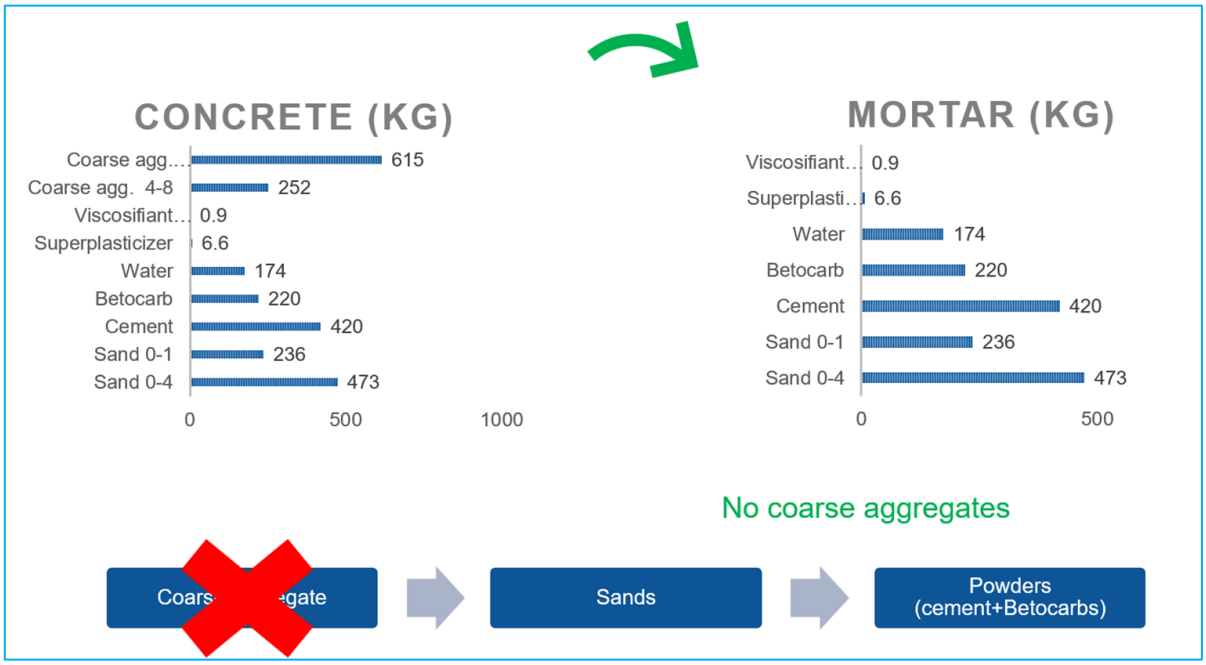
Figura 2 : Miglior dosaggio di filler e Betocarb UF®

Il risultato finale è rappresentato da un mix ottimizzato in termini di consistenza, densità e resistenza con un impatto ambientale più basso.

Esempio Pratico

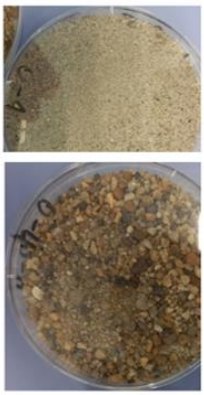
Come accennato, uno dei modi per poter ridurre l'impatto ambientale dei sistemi cementizi consiste nel sostituire un cemento ad alto contenuto di clinker con altri a minore contenuto. Purtroppo, questa prassi, benchè sia la più immediata e semplice, spesso comporta una diminuzione delle performance, come nel caso che andremo a presentare, in cui la sostituzione di un CEM I 52,5N con un CEM II/A-S 42,5N ha comportato la riduzione delle resistenze a 1 giorno di circa il 23% (i.e. da 26 MPa a 20 MPa).

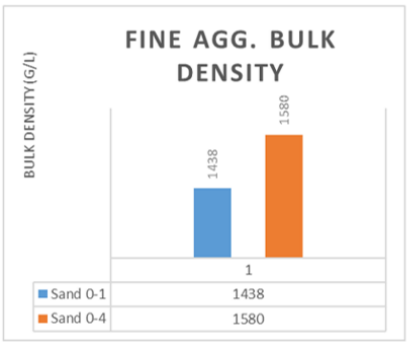
Per valutare quali modifiche potessero essere attuate, e riportare le performance a quelle originali (i.e. resistenze a 1 giorno di 26 MPa e stesso flow e viscosità), è stata applicata la metodologia Omya, rimuovendo la parte degli aggregati dal mix originale, passando da un calcestruzzo a una malta nei test di laboratorio:

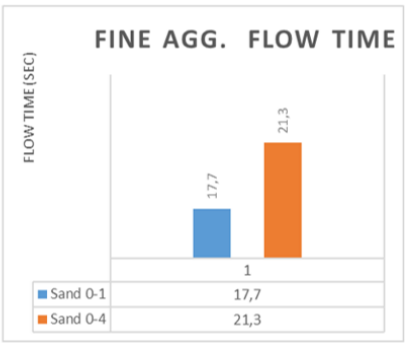


E valutando ogni singolo costituente:

Valutazione delle Sabbie



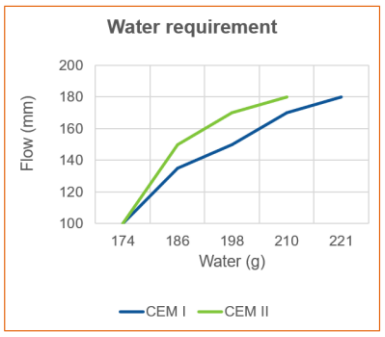




Le sabbie sono risultate di ottima qualità con un corretto rapporto 1:2 e quindi non hanno necessitato di ulteriori ottimizzazioni.

Acqua di miscelazione

Components		g
CEM I 52,5 or CEM II/A-S 42,5	g	420
Superplasticizer	g	no
Sand 0/1	g	236
Sand 0/4	g	473
Betocarb	g	220
Water	g	174 to 221
Flow diameter	mm	?



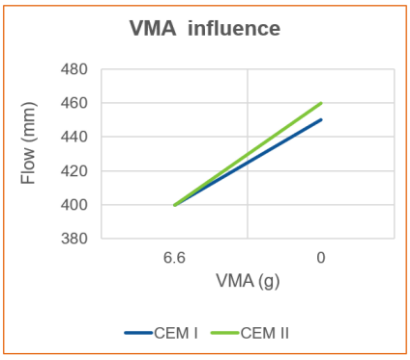
A parità di flow, il CEM II/A-S richiede una quantità di acqua inferiore rispetto al CEM I.

Additivi

E' stata fatta un'analisi dell'agente modificatore della viscosità e del superfluidificante rispetto al flow richiesto:

Analisi modificatore della viscosità

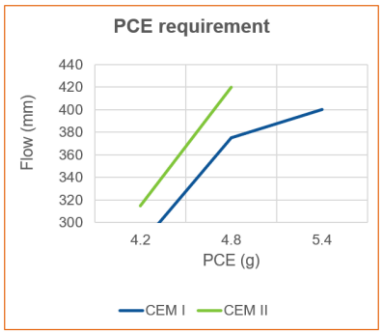
Components		g
CEM I 52,5 or CEM II/A-S 42,5	g	420
Superplasticizer	g	6,6
Viscosity agent (VMA)	g	0 and 6
Sand 0/1	g	236
Sand 0/4	g	473
Betocarb	g	220
Water	g	174
Flow diameter	mm	?



Il modificatore della viscosità causa una riduzione del flow e quindi è stato rimosso dallo studio per valutare meglio gli altri costituenti.

Analisi fluidificante

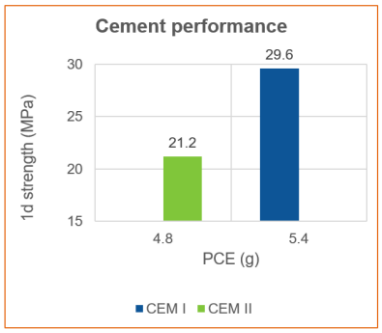
Components		g
CEM I 52,5 or CEM II/A-S 42,5	g	420
Superplasticizer (PCE)	g	4,2 to 5,4
Sand 0/1	g	236
Sand 0/4	g	473
Betocarb	g	220
Water	g	174
Flow diameter	mm	?



A parità di flow, il CEM II/A-S 42,5 richiede una quantità di superfluidificante inferiore rispetto al CEM I 52,5.

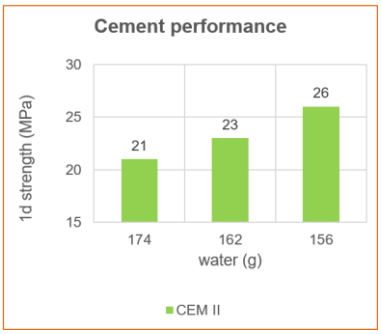
Analisi cemento

Components		kg
CEM I 52,5 or CEM II/A-S 42,5	g	420
Superplasticizer (PCE)	g	adjusted
Sand 0/1	g	236
Sand 0/4	g	473
Betocarb	g	220
Water	g	174
Flow diameter	mm	400-420



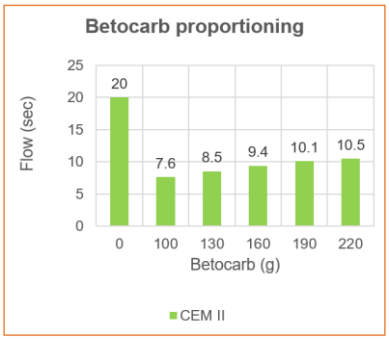
La sostituzione 1:1 del CEM I 52,5 con il CEM II/A-S 42,5 non raggiunge gli stessi target in termini di resistenza a 1 giorno, ma variando contenuto di acqua e superfluidificante, è possibile migliorare la performance, mantenendo il flow richiesto:

Components		g
CEM II/A-S 42,5	g	420
Superplasticizer (PCE)	g	4,5 to 5,7
Sand 0/1	g	236
Sand 0/4	g	473
Betocarb	g	220
Water	g	174 to 156
Flow diameter	mm	400-420



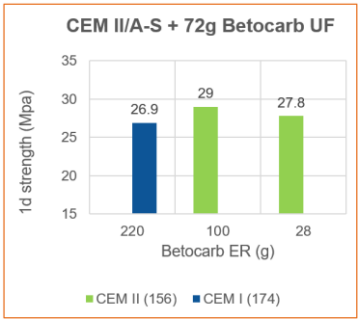
Il passo successivo riguarda l'ottimizzazione del contenuto di GCC a parità di superfluidificante e quantità di acqua:

Components		g
CEM II/A-S 42,5	g	420
Superplasticizer (PCE)	g	5,7
Sand 0/1	g	236
Sand 0/4	g	473
Betocarb	g	0 to 220
Water	g	156
Flow diameter	mm	?



Una volta trovato il contenuto ottimale di Betocarb per mantenere una bassa viscosità e il flow in target, è stato aggiunto Betocarb UF per aumentare le resistenze a 1 giorno:

Components		I	II.a	II.b
CEM I 52,5 or CEM II/A-S 42,5	g	420	420	420
Superplasticizer (PCE)	g	6,6	5,7	5,7
Viscosifiant agent	g	0,9	0	0
Sand 0/1	g	236	252	276
Sand 0/4	g	473	505	553
Betocarb	g	220	100	28
Betocarb UF	g	0	72	72
Water	g	174	156	156
Flow	mm	400	400	400



Ottimizzando ulteriormente il rapporto costi-benefici (Colonna II.b).

Valutazione preliminare delle emissioni di CO_2

La valutazione è su base relativa, considerando solo la quota-parte dovuta al cemento e ai GCC, poiché le variazioni dei contributi degli altri componenti si possono considerare pressoché minime.

	kg CO2 eq/t	Original Mix I	Mix II.a	Mix II.b
CEM I 52,5 N*	694	291		
CEM II/A-S 42,5 N*	587		247	247
Betocarb**	28	6	3	1
Betocarb UF**	56		4	4
Total		298	253	251
Percentage		100%	85%	84%

*Fonte: *www.france-ciment.com, ** www.envirodec.com*

La riduzione dell'impronta di carbonio risulta rispettivamente del 15% in un caso e del 16% nell'altro.

Conclusioni

Questo lavoro presenta la possibilità di utilizzare la metodologia LG sviluppata da Omya per ottimizzare varie tipologie di sistemi cementizi, risparmiando tempo e risorse e raggiungendo i target desiderati sia in termini di prestazioni che di riduzione di impatto ambientale.

In particolare, l'esempio presenta come questa metodologia insieme all'utilizzo di GCC selezionati quali Betocarb e Betocarb UF, può risultare un valido strumento nelle riformulazione di mix con cementi a minor contenuto di clinker, mantenendo le prestazioni target, e riducendo l'impronta di carbonio.

Ci auspichiamo che questo articolo, possa stimolare l'interesse per il materiale e nuove idee per un uso sempre più importante di questa metodologia.

Bibliografia essenziale

[1] Introduzione e panoramica sull'utilizzo di carbonati di calcio fini in calcestruzzo, M. Felitti, ENGINEERING & CONCRETE CONSULTING – Università degli Studi di Napoli – Federico II, P. Gonnon, OMYA INTERNATIONAL, R. Berardi, OMYA INTERNATIONAL, Ingenio, January 2025

[2] Ridurre l'impronta di carbonio con i carbonati di calcio ultrafini, M. Felitti, ENGINEERING & CONCRETE CONSULTING – Università degli Studi di Napoli – Federico II, P. Gonnon, OMYA INTERNATIONAL, R. Berardi, OMYA INTERNATIONAL, Ingenio, March 2025

[3] Utilizzo di carbonato di calcio selezionato per ottimizzare formulazioni precast a minore impatto ambientale, M. Felitti, ENGINEERING & CONCRETE CONSULTING – Università degli Studi di Napoli – Federico II, P. Gonnon, OMYA INTERNATIONAL, R. Berardi, OMYA INTERNATIONAL, Ingenio, June 2025

[4] Effect of limestone filler as mineral addition in self-compacting concrete, G.De Scutter, 36th Conference on our world in concrete & structure, August 2011.

[5] Towards net zero carbon for concrete and mortar: Clinker substitution with ground calcium carbonate, P. Gonnon, D. Lootens, Cement and Concrete Composites 142 (2023).

[6] Influence des fillers calcaires sur la maniabilité des bétons, BERTRANDY, R. 1975, IFSTTAR.

[7] NF P18-508, Additions pour béton hydraulique - Additions calcaires - Spécifications et critères de conformité. 2012.

[8] Towards tailored cement-based materials with ground calcium carbonates, Denarie, International Conference on "Cement – Based Materials Tailored for a Sustainable Future" 7-8 May 2020 – Istanbul.

[9] Limestone filler for concrete, French research and practice, BERTRANDY, R - POITEVIN, 1993, Transport Research Laboratory.

[10] Recherche collective Bétons avec additions. Béton B25, type Bâtiment. Rapport final, CEBTP, 1998. RMGC98-002.

[11] Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry, Copyright © United Nations Environment Programme, Paris 2017 (Revised Edition).

[12] "Industrial minerals laboratory manual: limestone," D. J. Harrison, Br. Geol. Surv. Tech. Rep. WG/92/29.

[13] Towards tailored cement-based materials with ground calcium carbonates, Denarie, International Conference on "Cement – Based Materials Tailored for a Sustainable Future" 7-8 May 2020 – Istanbul.

[14] Limestone filler for concrete, French research and practice, BERTRANDY, R - POITEVIN, 1993, Transport Research Laboratory.

[15] Recherche collective Bétons avec additions. Béton B25, type Bâtiment. Rapport final, CEBTP, 1998. RMGC98-002.

[16] Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry, Copyright © United Nations Environment Programme, Paris 2017 (Revised Edition).

[17] Industrial minerals laboratory manual: limestone, D. J. Harrison, Br. Geol. Surv. Tech. Rep. WG/92/29.

[18] Nucleation seeding with calcium silicate hydrate – A review, E. John, T. Matschei, D. Stephan, Cement and Concrete Research, Volume 113, November 2018.

[19] A Model Linking Compressive Strength and Porosity in Ternary System: Metakaolin, Limestone, Cement, P. Gonnon, D. Lutens, MDPI, March 2023.

[20] Durable eco-concrete in Austria: Materials and mix design methods, J. Juhart, G.A. David, C. Nickel, G. Fischer, F. Mittermayr, P. Maydl – Institute of Technology and Testing of Building Materials, Graz University of Technology, Austria.

[21] Use of selected GCC in digital formulation, P. Gonnon, T. Lys, 1st International Conference on Concrete and Digital Fabrication Digital Concrete 2018 – Zurich, Switzerland, 10-12 September 2018.