

Autori: Geom. Silvio Cocco

Editore: Tekna Chem

Meno CO₂ per m³ di calcestruzzo per anno di vita utile reale

La sostenibilità del calcestruzzo non può essere un maquillage postumo



La decarbonizzazione del cemento è un tema reale, necessario e non più rinviabile. La produzione di clinker è una delle fasi più emissive della filiera e la riduzione del suo contenuto nei cementi rappresenta una delle strade oggi più percorse per diminuire l'impronta carbonica del costruito.

Tuttavia, nella pratica quotidiana del calcestruzzo preconfezionato, la questione appare più complessa di quanto racconti una semplice dichiarazione ambientale.

Non passa quasi giorno senza che emergano osservazioni, lamentele o difficoltà operative legate all'impiego dei nuovi cementi a ridotto contenuto di clinker. Molti produttori si trovano davanti allo stesso problema: si parte da una ricetta storica, consolidata nel tempo, si sostituisce il cemento tradizionale con un cemento a minore contenuto di clinker, poi ci si accorge che le prestazioni non

sono più le stesse, soprattutto alle brevi stagionature. A quel punto, la soluzione più immediata è spesso aumentare il dosaggio di cemento.

La domanda diventa inevitabile: se per raggiungere le resistenze richieste devo aumentare il dosaggio, esiste ancora un reale risparmio di CO₂? E, soprattutto, la qualità dell'opera viene davvero salvaguardata?

La risposta non può essere ideologica. Se l'aumento del cemento resta entro limiti contenuti, ad esempio entro il 10-15%, e il nuovo cemento presenta una riduzione significativa della CO₂ per tonnellata, un risparmio teorico può ancora esserci. Ma questo ragionamento resta incompleto, perché considera soltanto il cemento e non il calcestruzzo finito.

Il calcestruzzo non è una somma di componenti. È un materiale strutturale destinato a lavorare per decenni in un ambiente reale, sotto carichi reali, con esposizione a carbonatazione, cloruri, gelo, cicli termici, umidità, fessurazioni, copriferri, dettagli costruttivi, posa in opera e stagionatura.

La vera unità di misura, quindi, non dovrebbe essere la CO₂ per tonnellata di cemento, ma:

meno CO₂ per m³ di calcestruzzo per anno di vita utile reale.

Questa è la metrica che dovrebbe guidare la progettazione, la produzione, il controllo e la scelta dei materiali.

Il rischio della sostenibilità contabile



Il cemento a basso contenuto di clinker non è il problema. Il problema nasce quando lo si utilizza come semplice sostituzione del cemento precedente, senza riprogettare realmente la miscela.

Una ricetta pensata per un certo cemento, con una certa finezza, una certa cinetica di idratazione, una certa compatibilità con additivi, aggregati e acqua d'impasto, non può essere sempre trasferita automaticamente su un cemento diverso. Quando questo accade, il produttore è costretto a “correggere” in centrale ciò che avrebbe dovuto essere riprogettato a monte.

La conseguenza è nota: si aumenta il cemento, si modifica l'additivo, si rincorre la consistenza, si cerca di recuperare resistenza, si adatta la ricetta giorno per giorno. Ma una transizione di questo tipo non è vera innovazione tecnica; è adattamento emergenziale.

Il tema diventa ancora più critico quando alla riduzione del clinker si sommano altri vincoli ambientali e produttivi: aggregati riciclati, acque di recupero, riduzione dei dosaggi minimi, rapporti acqua/cemento più elevati, maggiore variabilità delle materie prime, tempi di consegna serrati, cantieri meno disponibili ad attendere le prestazioni a medio termine.

Presi singolarmente, molti di questi obiettivi sono corretti. Il riciclo degli aggregati è una necessità. Il riuso delle acque di processo è coerente con una gestione responsabile delle risorse. La riduzione del clinker è una leva importante per la decarbonizzazione. Ma la somma meccanica di obiettivi corretti può generare una miscela tecnicamente fragile.

Meno clinker, più aggregato riciclato, acqua di recupero variabile, meno cemento e più acqua non producono automaticamente sostenibilità. Possono produrre un calcestruzzo più difficile da controllare, più sensibile alla posa, più dipendente dagli additivi, più vulnerabile alla stagionatura e potenzialmente meno durevole.

Qui si apre il punto centrale: stiamo facendo sostenibilità reale o sostenibilità contabile?

La sostenibilità contabile misura ciò che è facile dichiarare: percentuale di clinker, percentuale di riciclato, chilogrammi di CO₂ per tonnellata di cemento, rispondenza formale a un criterio ambientale.

La sostenibilità reale misura ciò che l'opera diventerà nel tempo: compattezza, permeabilità, protezione delle armature, controllo della fessurazione, durabilità, manutenzione necessaria, vita utile effettiva.

Riciclare non basta: bisogna valorizzare



Il recupero degli aggregati da demolizione è una direzione inevitabile, soprattutto in un settore che produce enormi quantità di rifiuti da costruzione e demolizione. Ma riciclare non significa automaticamente ottenere una materia prima equivalente.

Gli aggregati riciclati possono presentare maggiore assorbimento d'acqua, presenza di pasta cementizia aderente, variabilità granulometrica, fini indesiderati, contaminazioni o caratteristiche meccaniche diverse rispetto agli aggregati naturali. Tutto questo incide sulla domanda d'acqua, sulla lavorabilità, sul modulo elastico, sul ritiro, sulla resistenza e sulla durabilità.

Lo stesso vale per le acque di recupero. Riutilizzarle è corretto, ma se sono cariche di solidi sospesi, residui di additivi, alcalinità variabile, solfati o altri componenti, esse diventano un ingrediente attivo della miscela, non una semplice acqua neutra. Ignorarne l'effetto significa introdurre variabilità in un sistema che avrebbe invece bisogno di controllo.

Non è sufficiente dire “abbiamo riciclato”. Bisogna chiedersi: il materiale riciclato contribuisce a un calcestruzzo durevole? È stato caratterizzato? È compatibile con il cemento utilizzato? È stato considerato l'assorbimento reale? L'acqua efficace è stata calcolata correttamente? La miscela mantiene lavorabilità e prestazioni nel tempo?

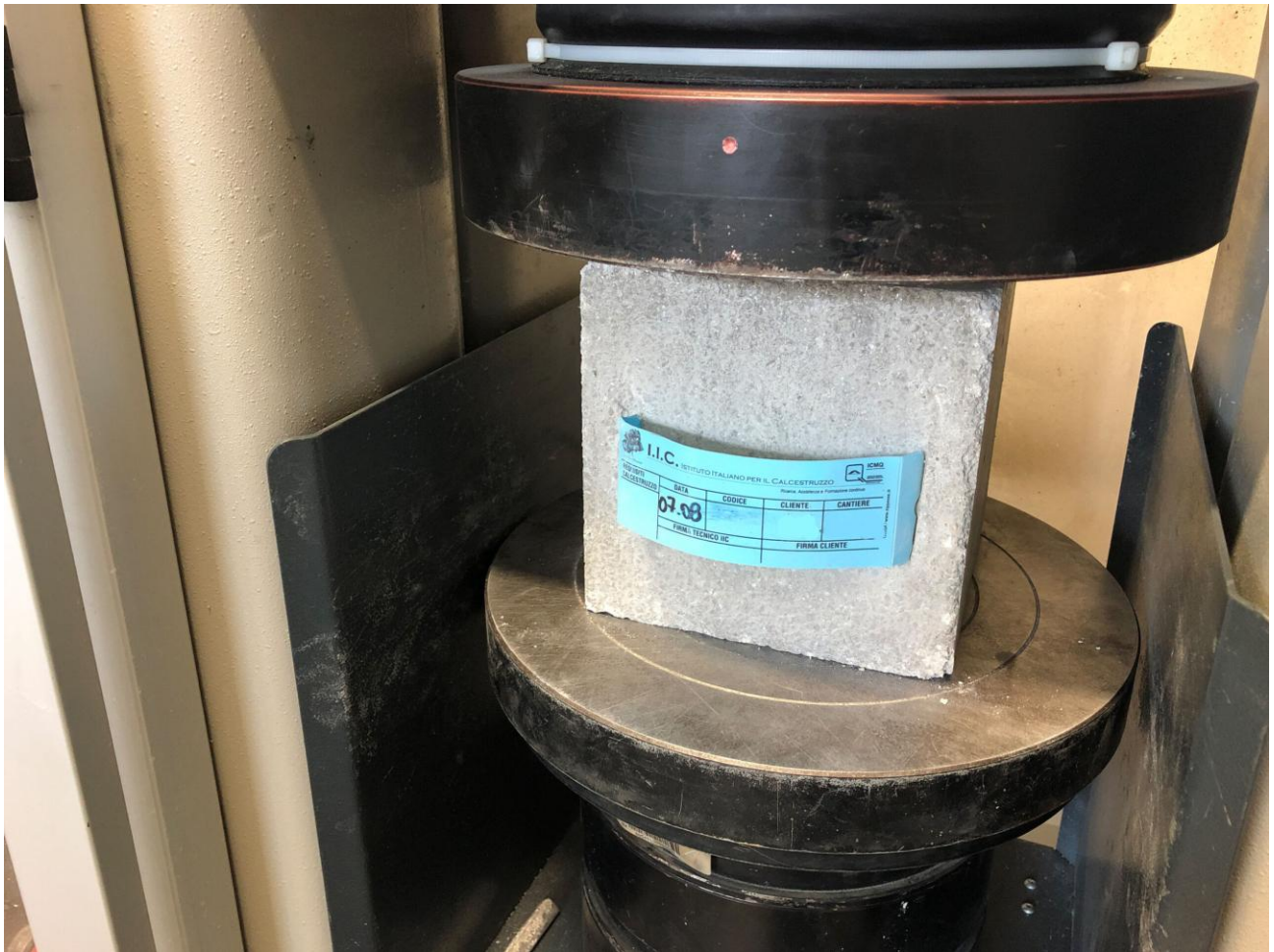
Se queste domande non trovano risposta, il rischio è trasformare l'economia circolare in un trasferimento di incertezza dalla filiera dei rifiuti alla filiera strutturale.

Il falso conforto della resistenza a 28 giorni

Troppo spesso il calcestruzzo viene giudicato quasi esclusivamente sulla resistenza caratteristica a 28 giorni. È un parametro importante, ma non può essere l'unico criterio di giudizio.

Un calcestruzzo può raggiungere la resistenza richiesta a 28 giorni e non essere, per questo, un calcestruzzo realmente durevole. Può avere avuto una cattiva lavorabilità, un rapporto acqua/cemento effettivo troppo elevato, una matrice più porosa, un ritiro più alto, una maggiore tendenza alla fessurazione, una minore protezione delle armature.

La durabilità non si certifica solo con il cubetto rotto in laboratorio. La durabilità si costruisce attraverso la qualità della pasta cementizia, il controllo dell'acqua, la corretta scelta degli aggregati, la compatibilità degli additivi, il copriferro, la stagionatura, la posa in opera, la protezione dai cicli ambientali e la riduzione della permeabilità.



La sostenibilità vera richiede più tecnica, non meno tecnica. Richiede mix design prestazionale, prove comparative, valutazione delle resistenze a 2, 7, 28 e 56 giorni, controllo del ritiro, verifica della consistenza mantenuta, studio della compatibilità cemento-additivo-acqua, monitoraggio dell'acqua efficace e valutazione della durabilità in funzione della classe di esposizione.

Se la transizione ecologica viene ridotta a una lista di percentuali, senza un corrispondente aumento della qualità progettuale e del controllo, il rischio è costruire opere formalmente più verdi ma sostanzialmente più vulnerabili.

Dopo il Ponte Morandi: sicurezza, monitoraggio e cultura della durabilità



Ponte di

Carimate (CO) sfilacciato dopo il passaggio di un autotreno

Dopo il crollo del Ponte Morandi, il dibattito nazionale si è concentrato giustamente sulla sicurezza delle infrastrutture, sulle ispezioni, sul monitoraggio, sulla classificazione del rischio e sulla gestione delle opere esistenti. Sono temi indispensabili.

Ma forse si è discusso troppo poco di un tema ancora più radicale: la cultura della durabilità delle opere nuove.

La vita nominale non dovrebbe essere interpretata come una scadenza commerciale. Cinquant'anni non dovrebbero diventare l'orizzonte mentale oltre il quale "si vedrà". Un'opera in calcestruzzo deve essere progettata per durare, non per essere riparata.

Il calcestruzzo armato non è un'automobile, non è un impianto, non è una macchina con parti facilmente sostituibili. È un sistema continuo: calcestruzzo, armatura, copriferro, fessurazione, aderenza, ambiente e dettagli costruttivi lavorano insieme. Quando il degrado entra nel sistema, non si cambia semplicemente un componente. Si interviene su un organismo strutturale che avrebbe dovuto essere protetto fin dall'origine.

È qui che il concetto di manutenzione deve essere chiarito. Progettare un'opera mantenibile è corretto. Progettare un'opera sapendo che sarà riparata è un'altra cosa.

La manutenzione dovrebbe conservare la prestazione, non compensare una progettazione povera. Dovrebbe prevenire, non ricostruire. Dovrebbe accompagnare la vita dell'opera, non sostituire la durabilità che non è stata garantita all'inizio.

Il calcestruzzo non ama il maquillage postumo

Il calcestruzzo è poco adatto ai maquillage postumi. Certo, esistono malte da ripristino, passivanti, resine, protezioni superficiali, rinforzi, sistemi di monitoraggio e tecnologie di intervento sempre più evolute. Ma la riparazione non è mai equivalente alla durabilità originaria.



Quando si interviene su un'opera ammalorata, spesso si lavora su un danno già diffuso: carbonatazione, penetrazione di cloruri, corrosione delle armature, fessurazioni, distacchi, perdita di sezione, degrado localizzato ma con cause sistemiche. Il ripristino può essere necessario e anche efficace, ma non può diventare il modello progettuale delle opere nuove.

Se un'opera nasce con un calcestruzzo poco robusto, con un rapporto acqua/cemento elevato, con materiali variabili, con copriferri minimi, con posa frettolosa e stagionatura insufficiente, non basterà una buona scheda ambientale a renderla sostenibile. Si saranno soltanto spostati in avanti i costi: costi tecnici, economici, ambientali e, nei casi più gravi, di sicurezza.

Per questo la sostenibilità del calcestruzzo deve essere valutata sull'intero ciclo di vita. Un'opera che dura 100 anni con pochi interventi può essere più sostenibile di un'opera apparentemente "green" che dopo 20 o 30 anni richiede ripristini estesi.

La CO₂ risparmiata oggi può essere persa domani in ponteggi, malte, resine, demolizioni parziali, trasporti, chiusure, deviazioni, rifacimenti e nuova produzione di materiali. Il bilancio ambientale non finisce al momento del getto.

La responsabilità diluita della durabilità

Uno dei problemi più seri della filiera è la progressiva diluizione della responsabilità. Il progettista rispetta la norma minima. L'impresa vince la gara. Il produttore fornisce un calcestruzzo formalmente conforme. La direzione lavori controlla ciò che riesce a controllare. La stazione appaltante verifica documenti, criteri ambientali e certificazioni. Il gestore si trova l'opera in carico. Il degrado emerge anni dopo, quando molti degli attori originari non sono più presenti.

Così la durabilità rischia di diventare una responsabilità senza un vero proprietario.

Questa situazione è pericolosa. La durabilità dovrebbe invece essere il centro del progetto. Non un'aggiunta finale, non una dichiarazione accessoria, non un adempimento da allegare alla documentazione, ma il criterio che orienta ogni scelta: cemento, aggregati, acqua, additivi, rapporto acqua/cemento, copriferro, dettagli costruttivi, curing, controlli e manutenzione programmata.



Il cemento a basso clinker non è il nemico. Gli aggregati riciclati non sono il nemico. Le acque di recupero non sono il nemico. Il nemico è l'uso sommatorio e non progettato di questi strumenti, come se bastasse inserirli in una ricetta per ottenere automaticamente sostenibilità.

Ogni innovazione materiale richiede una corrispondente innovazione progettuale. Se cambiano i cementi, devono cambiare le ricette. Se cambiano gli aggregati, devono cambiare i controlli. Se si usano acque di recupero, devono essere conosciute e gestite. Se si riduce il clinker, bisogna verificare non solo la resistenza, ma la durabilità. Se si abbassa la CO₂ iniziale, bisogna dimostrare che non si aumenta la CO₂ futura.

La metrica corretta

La domanda non deve essere soltanto: *quanto clinker contiene questo cemento?*

Non deve essere soltanto: *quanta CO₂ emette una tonnellata di cemento?*

Non deve essere soltanto: *quanta percentuale di riciclato contiene questa miscela?*

La domanda vera deve essere:

Quanto dura realmente questo metro cubo di calcestruzzo, nelle condizioni effettive dell'opera, con le prestazioni richieste e con il minor impatto ambientale possibile lungo tutta la sua vita?

Solo così la sostenibilità torna a essere ingegneria e non contabilità.

Il calcestruzzo va progettato per durare, non per essere riparato. Va considerato come materiale strutturale nobile, non come contenitore di obblighi ambientali messi insieme per far quadrare una

scheda. La transizione ecologica non può diventare una vernice verde applicata su ricette tecnicamente fragili.

Nel calcestruzzo, il maquillage postumo non funziona. Una scelta sbagliata oggi può diventare una fessura domani, una corrosione dopodomani, un ripristino tra vent'anni e un costo ambientale molto più alto di quello che si pensava di aver evitato.

L'obiettivo, dunque, deve essere semplice nella formulazione ma rigoroso nell'applicazione:

meno CO₂ per m³ di calcestruzzo per anno di vita utile reale.

Questa dovrebbe essere la vera misura della sostenibilità delle opere in calcestruzzo.