

Digitalizzazione della maturazione del calcestruzzo in cantiere, nuove possibilità di analisi dei dati

Federico Mecarelli, Responsabile commerciale C3 Concrete Cube Certainty Srl

Andrea Terenzi, Innovation Manager S2 Save Sample Srl

ABSTRACT

La maturazione dei provini di CLS in cantiere è fondamentale nei test di accettazione. S2 garantisce condizioni ottimali di maturazione, acquisendo i dati in forma digitale. L'uso di strumenti di machine learning e IA può consentire una analisi predittiva delle performance del prodotto in opera.

Introduzione

La maturazione dei provini di calcestruzzo fresco in cantiere è una fase troppo spesso sottovalutata. Oltre ad essere specificamente normata, individuando anche nella DL specifiche responsabilità, è fondamentale per avere una reale fotografia della qualità del prodotto posato in opera [1 – 4]. Per questa ragione sono stati sviluppati i sistemi S2 e C3, in grado di garantire condizioni ottimali di maturazione in termini di temperatura e umidità digitalizzando tutta la filiera dei test di accettazione comprensiva dei dati relativi ai parametri di maturazione e alle performance del prodotto.

Diversi autori hanno dimostrato quanto le condizioni di maturazione del provino fresco, nelle prime ore subito seguenti il prelievo siano importanti per garantire performance finali veritiere e affidabili [5 – 7].

Alla luce dell'incredibile sviluppo dei sistemi di analisi data driven come ad esempio strumenti di machine learning combinati ad algoritmi di intelligenza artificiale danno la possibilità di trarre ulteriori benefici da questi dati.

Approccio sperimentale e potenziali sviluppi

Come descritto in una precedente pubblicazione (Ingenio 24/06/2022) il sistema S2 consente di far avvenire la maturazione del calcestruzzo fresco in cantiere in condizioni ottimali di temperatura e umidità, digitalizzando questi dati.

Usando S2 in combinazione con il sistema C3 è possibile arricchire questi dati con le performance del prodotto finale. Tutti questi dati sono accessibili in database in cloud e possono quindi essere utilizzati per ulteriori analisi.

I risultati sperimentali della maturazione con il sistema S2 sono riportati nelle figure che seguono. I test sono stati condotti forzando una temperatura esterna tra un minimo di 25°C e un massimo di 35°C secondo il ciclo in figura 1.

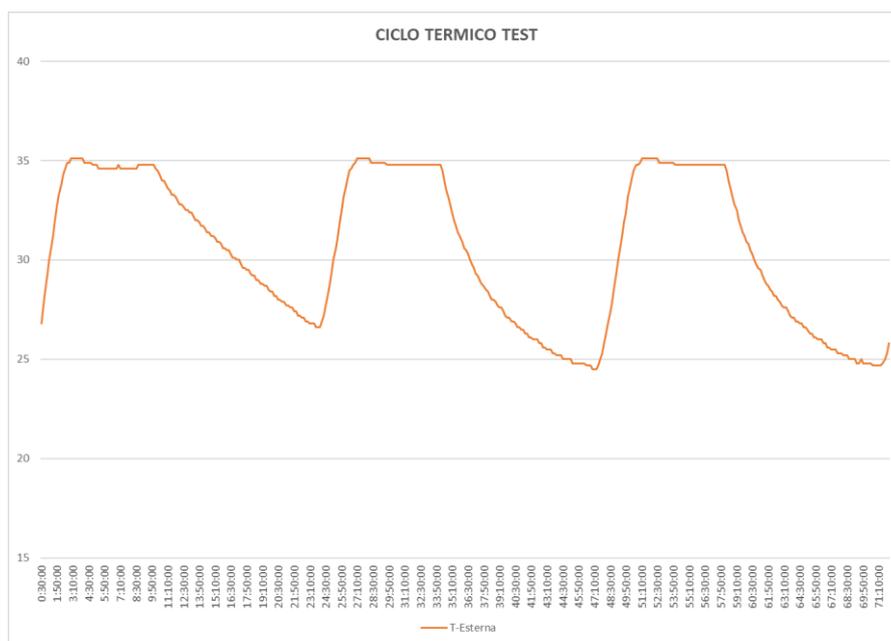


Figura 1: Ciclo termico impostato per i test con una temperatura minima di 25°C, una rampa di 2 ore fino ad un massimo di 35°C che si mantengono per 8 ore e poi una discesa di temperatura fino a 25°C in 14 ore.

Sono state realizzate formulazioni di calcestruzzo sia variando il contenuto di cemento che variando la tipologia di cemento. In particolare, sono stati usati dosaggi di cemento da un minimo di 330 kg/m³ ad un massimo di 500 kg/m³.

Le tipologie di cemento utilizzate sono state sia ad alto calore di idratazione come ad esempio i CEM I, ma anche tipologie con calori relativamente più bassi come CEM II/A-LL e CEM IV/B P.

In figura 2 si riportano le temperature rilevate all'interno del box. I dati mostrano come solo nel caso di test con due formulazioni di calcestruzzo contenenti cemento CEM I 52,5R con 500 kg/m³ sono stati osservati superamenti della soglia massima di 30°C ammessi dalla UNI EN 12392-2 per le condizioni estive. In un caso lo sfioramento è avvenuto nella fase iniziale di test. Questi dati ci hanno portato ad ottimizzare la distribuzione del sistema di stabilizzazione della temperatura realizzato con materiali a transizione di fase nello spazio interno al box. Infatti, inizialmente il sistema di stabilizzazione era posizionato sotto ai cubetti in maturazione.

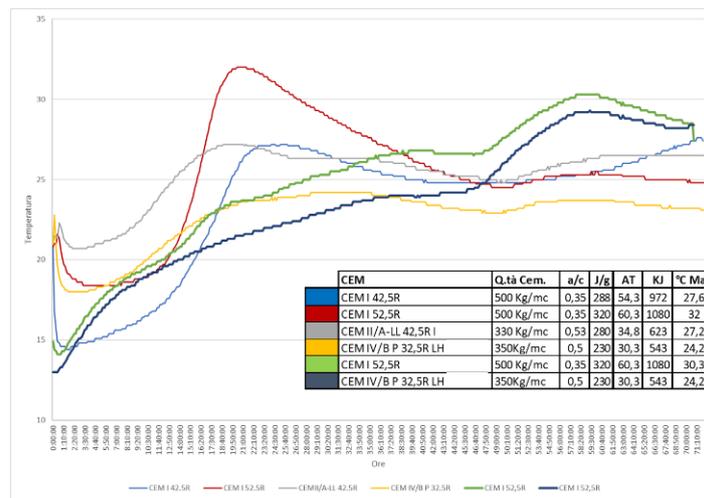


Figura 2: Risultati di temperatura all'interno del box per varie tipologie di calcestruzzo realizzate con diversi cementi e diversi mix

Considerando però che l'aria fredda per convezione scende verso il basso si è pensato che un posizionamento in alto potesse essere più efficace.

La figura 3 riporta i dati delle resistenze a compressione per i diversi cubetti prodotti e nelle diverse condizioni di maturazione a cui sono stati sottoposti.

Test	Cemento	Cemento Kg/mc	Cubetti interno al box	Cubetti interno camera umidità UNI-EN 12390-2	Cubetti interno armadio climatico coperti	Cubetti interno armadio climatico non coperti
Cem I 42,5R	500	68,1	69,0	60,2	61,7	
Cem I 52,5R	500	82,9	77,7	77,0	77,3	
Cem II 42,5R	330	50,4	51,0	48,6	46,1	
Cem IV 35,5R LH	350	50,7	52,3	48,3	44,7	
Cem I 52,5R	500	83,5	79,1	78,3	78,3	
Cem IV 35,5R LH	350	51,0	52,0	47,0	44,0	

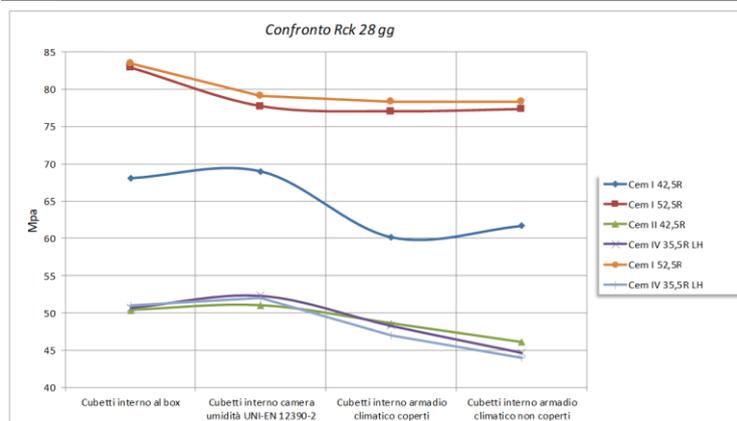


Figura 3: Confronto dei risultati dello schiacciamento a 28 gg dei provini maturati nel box, in camera di maturazione, esposti al ciclo termico con copertura ed esposti al ciclo termico senza copertura

Dai risultati della sperimentazione si può notare come la maturazione interna al box nelle prime ore risulti vantaggiosa rispetto ad una maturazione in cui c'è completa esposizione al ciclo termico

esterno. In particolare, i valori di resistenza a compressione per i cubetti interni al box si attestano intorno a valori del tutto analoghi a quelli ottenuti con i cubetti delle medesime formulazioni maturati interamente in camera umida. Mentre i cubetti esposti al ciclo termico, sia aperti che coperti per ostacolare l'evaporazione dell'acqua, mostrano resistenze a compressioni inferiori sia ai provini maturati nel box che ai provini maturati in camera umida.

Un vantaggio molto rilevante nell'uso dei sistemi C3 e S2 sta nel fatto che tutti questi dati restano disponibili in un database. Ad ogni prelievo eseguito, oppure ad ogni campagna di test eseguita in laboratorio il database si popola con nuovi dati che mettono in correlazione il mix design del calcestruzzo, con le condizioni di maturazione e con le performance finali del prodotto fresco o indurito.

Infatti, il sistema C3 acquisisce dati anche sullo slump, tiene conto dell'ora di arrivo della betoniera e quindi del tempo trascorso, se sono eseguite operazioni di retempering, o aggiunte di acqua nei limiti previsti, ecc. sono tutte informazioni registrate nel sistema e disponibili "gratuitamente" nel database.

La presenza di questa grande mole di dati può consentire di eseguire delle importanti analisi di correlazione attraverso approcci di modellazione data driven. Ossia invece di applicare complessi modelli fisico-chimici che richiedono grande capacità di elaborazione e incredibile difficoltà di modellazione matematica, si possono usare degli algoritmi che imparano dal dato (machine learning). Se, inoltre, si impiegassero sistemi di intelligenza artificiale si potrebbero anche estrapolare dei risultati per getti futuri.

Una correlazione di fondamentale importanza che può essere trovata e prevista è quella esistente tra performance meccaniche finali, mix design e reali condizioni di maturazione rilevate in cantiere. Questa previsione consentirebbe di avere un monitoraggio molto più puntuale e dettagliato sulle reali proprietà strutturali dell'opera, ancora di più in una opera realizzata in ambiente BIM, senza dover ricorrere a costosi e time consuming sistemi di rilevazione on-site.

Potenzialmente non esistono limiti alle proprietà che si possono analizzare, basta solo rilevare in fase di test il dato di specifico interesse e popolarlo getto dopo getto, sperimentazione dopo sperimentazione.

Conclusioni

La digitalizzazione dei test di accettazione del calcestruzzo attraverso sistemi specifici che garantiscono le condizioni ottimali di maturazione, oltre a garantire la corretta valutazione della qualità del calcestruzzo posato in opera consente di avere a disposizione una grande quantità di dati da analizzare. Se insieme alle prove di accettazione si eseguisse una digitalizzazione sistematica di qualsiasi campagna test eseguita sia in situ che in laboratorio, la quantità di dati disponibili e le potenzialità di usarli a scopi previsionali cresce in modo esponenziale.

Il passo successivo nello sviluppo di sistemi di digitalizzazione e controllo come S2 e C3 passa proprio per la loro integrazione con strumenti avanzati di analisi dati basati su machine learning e IA.

Riferimenti Bibliografici

- [1] MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, DECRETO 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- [2] MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP, Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
- [3] Norma UNI EN 12390-2:2019 Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 2: Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza
- [4] ASTM C31 / C31M "Standard Test Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field"
- [5] V. Alunno Rossetti "Il calcestruzzo – Materiali e tecnologia" Terza Edizione McGraw-Hill
- [6] Adam M. Neville "Le proprietà del calcestruzzo"
- [7] L. Coppola "Concretum" McGraw-Hill