

Kraft Curing Systems GmbH, 49699 Lindern, Germania

# Maturazione predittiva: una nuova era nella stagionatura del calcestruzzo

■ Bertrand Delforge, JB Concrete, Francia  
 April Kraft, Kraft Curing Systems, Kraft Curing Systems GmbH, Germania

**Da decenni, Kraft Curing è all'avanguardia nel settore della stagionatura del calcestruzzo. L'introduzione di nuovi cementi, con diversi riempitivi (idraulici latenti e inerti) che sostituiscono in parte il clinker Portland per ridurre l'impronta CO<sub>2</sub> del cemento, induce i produttori di elementi prefabbricati in calcestruzzo e calcestruzzo precompresso a chiedersi quando si possono disarmare i loro prodotti o si può sbloccare la precompressione senza compromettere la qualità dei prodotti. In risposta a queste problematiche, l'introduzione della tecnologia Match Cure da parte di Kraft Curing lo scorso anno ha segnato un altro traguardo nel controllo qualità per la produzione di elementi prefabbricati e in calcestruzzo precompresso.**

Il sistema è progettato come vasto sistema di monitoraggio della resistenza iniziale. Match Cure consente ai produttori di garantire che l'elemento in calcestruzzo appena gettato abbia raggiunto la resistenza necessaria prima di essere disarmato o di sbloccare la precompressione. Il riconoscimento tempestivo di questo momento riduce i costi energetici e di manodopera, garantendo al contempo la sicurezza e la qualità del prodotto.



*Integrazione di Match Cure nel sistema ecologico AutoCure di Kraft Curing per evitare sistemi di controllo e monitoraggio doppi e risparmiare in termini di costi.*

I cilindri e cubi di prova che vengono prodotti nel getto di un elemento prefabbricato o in calcestruzzo precompresso vengono messi in una camera climatica Match Cure isolata. La camera climatica consente di controllare e misurare con precisione la temperatura dei provini che corrisponde a quella interna dell'elemento in calcestruzzo effettivo.

Se la temperatura dell'elemento in calcestruzzo aumenta (con l'idratazione o un sistema di stagionatura accelerato), un'unità di riscaldamento riscalda il provino nell'alloggiamento Match Cure. Se la temperatura dell'elemento in calcestruzzo scende (ad esempio con il vento o una copertura danneggiata), un ventilatore raffredda il provino portandolo almeno alla temperatura ambiente. Per le regioni con inverni rigidi è disponibile come optional un sistema di raffreddamento.

I sensori di temperatura, a scelta collegati tramite cavi o senza cavi, misurano continuamente le condizioni di stagionatura dell'elemento in calcestruzzo e del provino. Questi dati vengono trasmessi al sistema di controllo AutoCure®. Se la temperatura dell'elemento è più alta del provino, viene attivato il sistema di riscaldamento per regolare la temperatura.



*Camere climatiche Match Cure per complessivamente cinque aree/piste/stampi/banchi di produzione.*

Se la temperatura dell'elemento si abbassa, il sistema reagisce raffreddando o arieggiando.

Per assicurare la qualità, il sistema VaporWare V2® registra indipendentemente tutti i dati climatici, numeri dei lotti, descrizioni degli elementi e timestamp compresi, e crea un protocollo completo ed esaminabile dell'elemento in calcestruzzo e dei provini nella camera Match Cure.

Con Match Cure, i produttori hanno una simulazione precisa delle reali condizioni di stagionatura dei loro elementi. Prima di disarmare o sbloccare l'elemento in calcestruzzo reale, il provino si può prelevare dalla camera Match Cure e misurarne la resistenza alla compressione per stabilire se il calcestruzzo ha raggiunto una resistenza sufficiente.

### Match Cure Ultra

Kraft Curing ha perfezionato la tecnologia e sviluppato Match Cure Ultra, un sistema per il controllo predittivo della maturazione.

Anziché attendere come si comporta il calcestruzzo preconfezionato o precompresso in presenza di determinate condizioni, i produttori ora possono prevedere e gestire con precisione il momento in cui il prodotto ha raggiunto la resistenza necessaria.



*Un grande monitor visualizza per ogni banco di produzione o per ogni stampo il grado di avanzamento corrente (%) e il tempo di ultimazione previsto. Contorni colorati in verde, giallo o rosso indicano lo stato di stagionatura corrente di ogni area di produzione.*

Con il sistema Match Cure Ultra di Kraft Curing, i produttori del calcestruzzo possono stabilire i parametri di stagionatura (temperatura, durata di preriscaldamento, fasi di riscaldamento iniziale e di mantenimento) per raggiungere la resistenza alla compressione target che consente un disarmo



# TOGETHER WE BUILD

[imergroup.com](http://imergroup.com)

e sblocco sicuri. Questo consente il passaggio dal monitoraggio reattivo al controllo proattivo e basato sui dati della produzione!

La base di Match Cure Ultra risiede nella misurazione predittiva della maturazione, un metodo per valutare l'avanzamento dell'idratazione nel calcestruzzo. Durante l'idratazione del cemento viene rilasciato calore. Misurando la temperatura con termocoppie nell'elemento in calcestruzzo, si quantifica il grado di idratazione e lo si converte in un indice di maturazione.

Questo indice riflette "l'età equivalente" del calcestruzzo, vale a dire il tempo che è servito al materiale per raggiungere la stessa resistenza a condizioni standard (tipicamente 20 °C). Ricorrendo alla legge di Arrhenius, il sistema considera l'accelerazione dell'idratazione in presenza di temperature più elevate e il relativo rallentamento in presenza di temperature più basse.

Il risultato è un quadro continuo dello sviluppo della resistenza all'interno dell'elemento in calcestruzzo senza distruggere un provino in ogni fase.

La maturazione predittiva è preziosa soprattutto nella prima fase di stagionatura e richiede un determinato equipaggiamento: sensori per rilevare i dati della temperatura, dispositivi di salvataggio per registrare e software per calcolare lo sviluppo della resistenza.



Trasmettitore di temperatura magnetico, senza fili (alloggiamento grigio) con cavo per termocoppia K per misurare la temperatura interna del calcestruzzo.

### Dalla misurazione alla previsione

Mentre la misurazione tradizionale della maturazione indica lo stato corrente della resistenza, Kraft Curing l'ha trasformata in uno strumento di previsione.

Per prima cosa viene creata una curva di calibratura: i cubi e cilindri di prova di una determinata miscela di calcestruzzo vengono stagionati a 20 °C a condizioni standard e controllati a intervalli regolari in funzione della resistenza alla compressione. I risultati formano un profilo resistenza-tempo.

Durante la produzione i sensori misurano il reale sviluppo della temperatura nell'elemento in calcestruzzo. Convertendo la cronologia della stagionatura in età equivalente, il sistema è in grado di determinare la posizione corrente sulla curva di calibratura e prevedere la resistenza relativa a qualsiasi momento.

In questo modo, i produttori non devono più attendere i risultati del controllo del calcestruzzo, ma sanno a priori quando esso raggiungerà le proprietà desiderate.

### Ecco come funziona la maturazione predittiva nella pratica

Il processo operativo è semplice, ma efficace. Una serie di provini di calibratura viene prodotta con la miscela della produzione esatta e conservata a 20 °C. Poche ore dopo i provini



Un ripetitore senza fili che viene collocato in tutto l'impianto o sull'area aziendale per garantire un'intensità sufficiente del segnale su una vasta area. Cavo per termocoppia per misurare la temperatura interna del calcestruzzo.

vengono controllati regolarmente in funzione della resistenza alla compressione e i risultati vengono inseriti nella tabella Match Cure Ultra. 24 ore dopo è pronto un profilo di maturazione completo.

Questo profilo diventa parte della "biblioteca della maturazione" di un database con curve di resistenza specifiche della miscela. Per tutti i lotti futuri della stessa ricetta il programma utilizza la curva salvata e la combina con le misurazioni della temperatura in tempo reale per prevedere lo sviluppo della resistenza.

Contemporaneamente i provini convalidano queste previsioni nella camera Match Cure in quanto provvedono alla stagionatura in presenza di condizioni identiche. Se il programma segnala che è stata raggiunta la stagionatura target, viene eseguita una semplice prova di compressione dei provini per confermare la resistenza prevista.

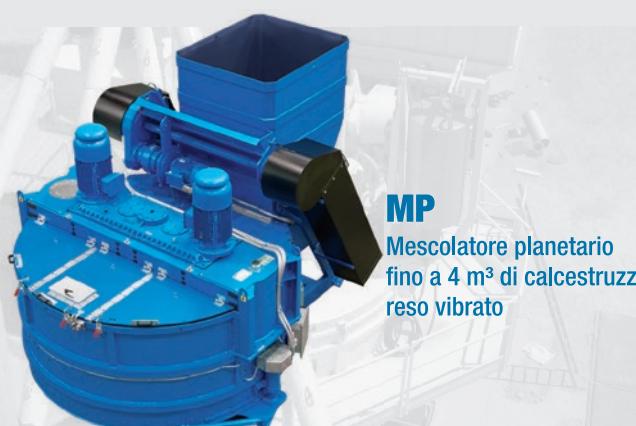
### Gestione dell'impianto di stagionatura tramite controllo predittivo

La combinazione Match Cure e AutoCure trasforma le previsioni di maturazione in un sistema aziendale controllabile. Gli utenti possono seguire in tempo reale lo sviluppo della resistenza e ricevere avvisi nel caso in cui la stagionatura si scostasse dalle aspettative, ad esempio per il freddo, per una distribuzione non omogenea della temperatura o per anomalie del sistema.



*Camere climatiche Match Cure isolate con provini e misurazione della temperatura interna del calcestruzzo.*

In questo modo, la pianificazione della produzione diventa più affidabile: le squadre sanno esattamente quando poter disarmare gli stampi o sbloccare gli elementi in calcestruzzo precompresso, pertanto possono pianificare il personale di conseguenza.



**MP**

Mescolatore planetario  
fino a 4 m<sup>3</sup> di calcestruzzo  
reso vibrato



**MAO C**

Mescolatore continuo  
a doppio asse  
Resa da 80 a 500 m<sup>3</sup>/ora

**Leader nella tecnologia di mescolazione, per la produzione di calcestruzzo, malte premiscelate, processi industriali e trattamento rifiuti.**

**THE  
MIXING  
SOLUTION**



**MAO**

Mescolatore a doppio asse  
fino a 9 m<sup>3</sup> di calcestruzzo  
reso vibrato



Vasta gamma  
di accessori



*Produzione del calcestruzzo precompresso con le camere climatiche Match Cure*

Inoltre, il sistema stesso può ottimizzare il processo di stagionatura modificando automaticamente i profili. Evita sia una stagionatura troppo bassa che comporta rischi strutturali sia una troppo alta che fa sprecare tempo ed energia. Ne conseguono un consumo inferiore di energia, cicli più brevi e meno errori di pianificazione.

Per maggiore sicurezza, dopo aver raggiunto la maturazione prevista si può testare un provino. In questo modo, si ottengono altri punti dati per il database della maturazione, cosa che consente alle previsioni future di essere ancora più precise.

### I vantaggi della maturazione predittiva

I vantaggi riguardano l'intera catena di produzione. La qualità può migliorare, in quanto viene controllato ogni elemento. Si risparmia tempo poiché non occorrono più margini di sicurezza, l'azione interviene proprio nel momento in cui il calcestruzzo è pronto.

Anche l'efficienza energetica migliora, dato che i sistemi di riscaldamento o i generatori di vapore funzionano solo per il tempo necessario.

Dal punto di vista della gestione, la maturazione predittiva può consentire pianificazione e coordinamento migliori. Se già a priori si sa quanto i prodotti saranno pronti, è possibile coordinare in modo ottimale i processi relativi al personale e alla logistica, riducendo al minimo i tempi di funzionamento a vuoto e i colli di bottiglia. Il risultato: uno svolgimento più regolare del lavoro, costi inferiori e maggiore affidabilità nelle date di consegna.

### Conclusione: Sicurezza anziché insicurezza

La maturazione predittiva non è soltanto una novità tecnica, essa può cambiare radicalmente il controllo della produ-

zione. Consentendo ai produttori di decidere con esattezza quando saranno pronti i loro prodotti e regolando automaticamente le condizioni di stagionatura, Kraft Curing trasforma il controllo che da insicuro diventa certo. Questo sviluppo non significa solo cicli di produzione più rapidi o costi energetici inferiori, ma anche che la stagionatura del calcestruzzo da un'attività basata sull'esperienza sta diventando una scienza basata sui dati.



Kraft Curing ha sponsorizzato la possibilità di scaricare gratuitamente il pdf di questo articolo per tutti i lettori di CuPI. Vi pregiamo di verificare il sito [www.cpi-worldwide.com/channels/kraft\\_curing](http://www.cpi-worldwide.com/channels/kraft_curing) oppure di fare la scansione del codice QR con il Vostro smartphone per avere accesso diretto a questo sito web.



### ALTRÉ INFORMAZIONI



[www.jbconcrete.fr](http://www.jbconcrete.fr)



Kraft Curing Systems GmbH  
Mühlenberg 2  
49699 Lindern, Germania  
T +49 5957 96120  
[info@kraftcuring.com](mailto:info@kraftcuring.com)  
[www.kraftcuring.com](http://www.kraftcuring.com)