

Una visione per il futuro

Il procedimento di stagionatura e l'ottimizzazione dei livelli di CO₂ nella camera di stagionatura

■ Sönke Tunn, Kraft Curing Systems GmbH, Germania

La stagionatura dei blocchi di calcestruzzo è un processo importante che determina la resistenza, la durata e l'aspetto del materiale. La stagionatura dei blocchi in calcestruzzo dipende molto dalle condizioni ambientali. Per questo motivo, negli ultimi anni sono state sviluppate moderne camere di stagionatura che consentono di stagionare i blocchi di calcestruzzo in un ambiente controllato. Questa relazione esamina i vari metodi di stagionatura dei blocchi di calcestruzzo. Vengono illustrati i vantaggi e gli svantaggi dei singoli metodi, nonché gli effetti sull'aspetto dei blocchi di calcestruzzo e viene discussa l'impiego di CO₂ nell'ambiente di stagionatura.

Quando si comparano tra di loro i procedimenti di stagionatura più importanti per i blocchi di calcestruzzo si distingue volutamente tra processo di stagionatura e processo di essiccazione. La differenza fondamentale tra essiccazione e stagionatura consiste nel fatto che l'essiccazione riduce soltanto l'acqua contenuta nel blocco di calcestruzzo, mentre la stagionatura ne aumenta la solidità e la resistenza.

Essiccazione nei sistemi di scaffalature aperti

Il metodo più semplice e conveniente per stagionare blocchi di calcestruzzo è l'essiccazione in un sistema di scaffalature nel capannone industriale. Con questo metodo, dopo il disarmo i blocchi vengono depositati per alcuni giorni in un sistema di scaffalature.

Il vantaggio di tale metodo consiste nei bassi costi di acquisto. Si tratta semplicemente di un sistema di scaffalature che si può installare nel capannone industriale.

Lo svantaggio sta nell'essiccazione irregolare dei blocchi di calcestruzzo che dipende dalla temperatura dell'aria, dal comportamento del flusso d'aria e dal periodo dell'anno. In inverno può essere che la stagionatura non sia sufficiente e che i blocchi di calcestruzzo non raggiungano la resistenza desiderata. Le differenze di colore, la diversa resistenza a seconda del posizionamento nel sistema di scaffalature e l'essiccazione della superficie a causa delle correnti d'aria sono



Camere di stagionatura moderne della Craft Curing Systems GmbH in Germania

i motivi principali per cui oggi questo sistema non viene più utilizzato frequentemente.

Essiccazione in camere di stagionatura isolate con aria circolante

Anche se in questo caso l'isolamento può migliorare l'umidità, si parla comunque di essiccazione e non di stagionatura, poiché non vi è alcun controllo sull'umidità.

L'essiccazione dei blocchi di calcestruzzo in una camera di stagionatura isolata rappresenta un miglioramento rispetto all'essiccazione in un sistema di scaffalature aperto. La camera di stagionatura è isolata in modo che il calore generato durante l'idratazione del calcestruzzo non fuoriesca all'esterno. Questo consente ai blocchi di calcestruzzo di essiccare in modo più uniforme nella camera.

Lo svantaggio di questo metodo sta nel fatto che la camera di essiccazione dipende ancora dal calore generato dall'idratazione del calcestruzzo. Nella stagione fredda possono quindi verificarsi ritardi e colori diversi rispetto alle stagioni più calde.

Essiccazione in camere di stagionatura riscaldate

Per ovviare agli svantaggi dell'essiccazione in una camera di essiccazione isolata con aria circolante, questo metodo prevede l'adduzione di calore utilizzando un generatore termico

o sfruttando il calore residuo di un altro processo. Il vantaggio di questo metodo sta nell'essiccazione rapida e uniforme dei blocchi di calcestruzzo. La camera può essere impostata a una temperatura costante, consentendo ai blocchi di calcestruzzo di essiccare indipendentemente dal periodo dell'anno.

Lo svantaggio di questo metodo sta nel fatto che i blocchi di calcestruzzo vengono deumidificati dal calore. Ciò può comportare una perdita di qualità, come una bassa resistenza all'abrasione, una scarsa resistenza al gelo e ai sali antigelo, angoli e bordi fragili e un aumento delle efflorescenze.

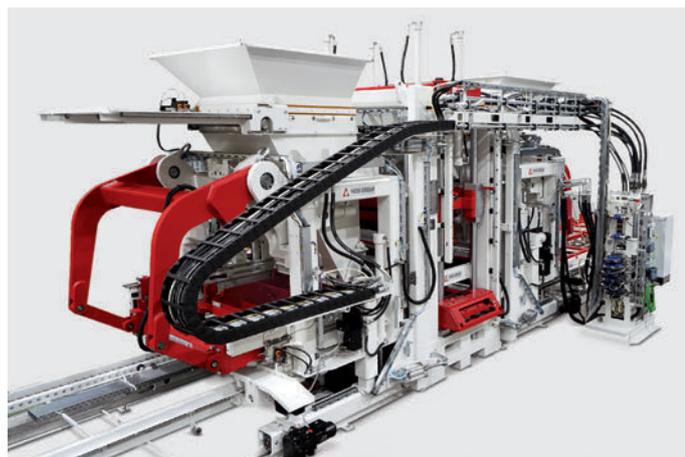
Essiccazione in camere di stagionatura con l'aggiunta di umidità

Il passo successivo consiste nel fornire ulteriore umidità alle camere di stagionatura. In questo modo si evitano i problemi accennati nell'essiccazione in camere di stagionatura riscaldate e aumenta notevolmente la resistenza di angoli e bordi. Soprattutto nel caso di temperature elevate delle camere si tratta di un'aggiunta qualitativamente necessaria di cui oggi dovrebbe disporre qualsiasi sistema a camere moderno.

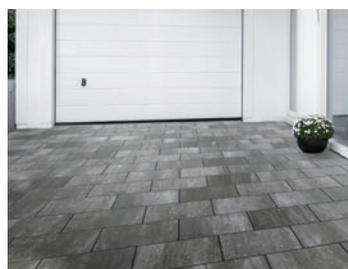
Lo svantaggio, e questo oggi è un fattore al quale si presta maggiore attenzione, è l'assenza di CO₂ contenuto nell'ambiente di stagionatura. Il livello di CO₂ in camere di stagionatura ben isolate è inferiore a quello del livello atmosferico. Il calcestruzzo assorbe la CO₂ dall'aria. L'assorbimento di CO₂



A member of **TOPWERK**



RH 2000-4 MVA –
la massima **PRECISIONE**
nella **FORMATURA**
del calcestruzzo



HESS GROUP è il fornitore leader mondiale di blocchiere, sistemi di dosaggio e miscelazione ad alte prestazioni, nonché della relativa tecnologia di imballaggio e trasporto.

www.hessgroup.com

Noi diamo forma al calcestruzzo.

è massimo allo stato fresco e diminuisce nel tempo. In questo modo cala la concentrazione normale di CO₂ nella camera. L'assorbimento di CO₂ va ben oltre il normale tempo di stagionatura.

Stagionatura con vapore, umidità e CO₂ nella camera di stagionatura

Nelle camere di stagionatura riscaldate, con l'umidità e l'aggiunta di CO₂, la stagionatura dei blocchi di calcestruzzo è potenziata dalla maggiore carbonatazione. Nell'aria della camera viene aumentata la concentrazione di CO₂. La profondità di carbonatazione può raggiungere 1 cm se si ottimizzano il contenuto di CO₂, la ricetta del calcestruzzo e il tempo di stagionatura. Una superficie del blocco sottoposta a una buona carbonatazione conferisce al prodotto una superficie più densa, che impedisce in larga misura le efflorescenze e aumenta la stabilità del colore a lungo termine.

Con il TestCube di Kraft Curing si possono testare diverse condizioni di stagionatura e i relativi effetti sui prodotti in calcestruzzo. I test condotti in diversi stabilimenti di prefabbricazione hanno dimostrato che l'aggiunta anche di piccole quantità di CO₂, o la stagionatura a una concentrazione di CO₂ relativamente bassa, ha un effetto positivo sui prodotti.

Effetti del CO₂ in un ambiente di stagionatura

Maggiori quantità di CO₂ agiscono sui blocchi di calcestruzzo nell'ambiente di stagionatura facendo aumentare la qualità, in quanto aumentano la durezza e resistenza del calcestruzzo. L'idrossido di calcio (Ca(OH)₂) si forma durante l'idratazione del cemento e reagisce con l'anidride carbonica (CO₂) dell'a-

ria per formare carbonato di calcio (CaCO₃). Il carbonato di calcio, poco solubile, forma uno strato duro e resistente sulla superficie del calcestruzzo.

La profondità di carbonatazione del blocco dipende dalla quantità di anidride carbonica, dalla durata della stagionatura e dalla composizione del calcestruzzo. Con quantità maggiori di anidride carbonica, si forma più carbonato di calcio e la profondità di carbonatazione del calcestruzzo aumenta. La stabilità del colore del calcestruzzo dipende quindi, tra l'altro, dalla quantità di anidride carbonica che viene aggiunta al calcestruzzo durante la stagionatura.

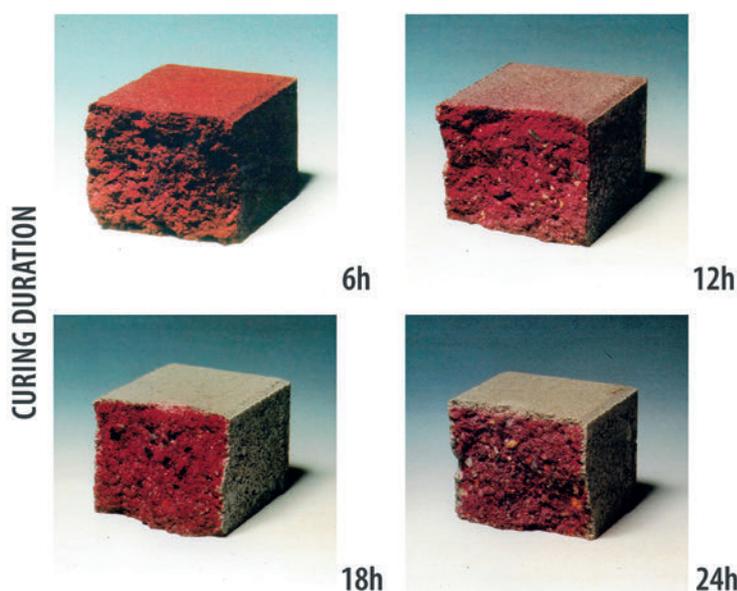
Il tempo di stagionatura nella camera può aumentare la quantità di assorbimento di CO₂ nel blocco, poiché la carbonatazione del blocco di calcestruzzo richiede tempo. La profondità di diffusione diminuisce con lo spessore del blocco di calcestruzzo. È quindi importante che i blocchi di calcestruzzo possano rimanere nella camera di stagionatura per il tempo che serve per consentire la carbonatazione.

Con un tempo di stagionatura più lungo nella camera, la CO₂ ha più tempo per diffondersi nel blocco di calcestruzzo e reagire con l'idrossido di calcio. In questo modo aumenta la quantità di carbonato di calcio nel blocco di calcestruzzo, che diventa più duro, denso e resistente.

Con opportune modifiche, la carbonatazione può avvenire in una camera di stagionatura ben sigillata. La scelta della conformazione della camera determina la quantità di CO₂ desiderata nell'ambiente di stagionatura. Durante la carbonatazione in una camera di stagionatura ben isolata, la CO₂ viene introdotta nell'ambiente di stagionatura attraverso un ugello per gas o un iniettore di CO₂ e mescolata con l'aria ambiente. A seconda della quantità di CO₂ presente nell'ambiente, sono necessarie ulteriori misure per rendere la camera sicura per i dipendenti nell'ambiente di lavoro.



Il TestCube CO₂ di Kraft consente diversi scenari di stagionatura



Con un tempo di stagionatura più lungo nella camera, la CO₂ ha più tempo per diffondersi nel blocco di calcestruzzo e reagire con l'idrossido di calcio.

Diffusione e condensazione

In una camera di stagionatura l'anidride carbonica può finire in diversi modi nel blocco.

Diffusione e condensazione sono entrambi processi in cui le sostanze si muovono da un posto all'altro. La differenza fondamentale tra i due processi sta nel fatto che la diffusione è un fenomeno passivo, mentre la condensazione ne è uno attivo.

La diffusione è un processo in cui molecole o atomi si spostano da un posto all'altro per raggiungere un equilibrio. La diffusione avviene tramite il moto browniano in cui molecole o atomi sono sempre casualmente in movimento. Nella diffusione di CO₂ nei blocchi di calcestruzzo le molecole di CO₂ dall'aria si diffondono all'interno tramite la superficie del blocco di calcestruzzo. La velocità di diffusione dipende dallo spessore del blocco di calcestruzzo, dalla concentrazione di CO₂ nell'aria e dalla temperatura.

La condensazione è un processo in cui un gas si trasforma in un liquido. La condensazione avviene quando la temperatura del gas scende sotto il punto di rugiada. Nella camera, il vapore acqueo dell'aria si condensa, la CO₂ può essere presente come sostanza concomitante nella condensa. Da un punto di vista puramente logico: maggiore è la concentrazione di CO₂ nell'aria della camera, maggiore è la percentuale di CO₂ nell'acqua di condensa. Lo strato umido ha una velocità di diffusione maggiore rispetto al blocco di calce-

struzzo essiccato, il che aumenta la velocità di diffusione della CO₂ nel blocco di calcestruzzo.

In dettaglio, il trasporto di CO₂ nei blocchi di calcestruzzo per diffusione e condensazione può essere spiegato come segue.

Diffusione

Le molecole di CO₂ nell'aria si diffondono all'interno attraverso la superficie del blocco di calcestruzzo.

La velocità di diffusione dipende dallo spessore e dalla natura del blocco di calcestruzzo, dalla concentrazione di CO₂ nell'aria e dalla temperatura.

Condensazione

La CO₂, in qualità di gas nell'aria insieme al vapore acqueo, si condensa sulla superficie del blocco di calcestruzzo e diventa acqua. L'acqua forma uno strato umido sulla superficie del blocco di calcestruzzo. Lo strato umido ha una velocità di diffusione più elevata del blocco di calcestruzzo essiccato. In uno stabilimento per la produzione di blocchi in calcestruzzo la condensazione si forma nel momento in cui i prodotti freschi provenienti dal capannone industriale entrano nella camera di stagionatura. I prodotti freschi hanno ad esempio una temperatura di 15 °C e passano attraverso un'apertura in una camera di stagionatura che ha 35 °C e un'umidità relativa

QUADRA

COSTRUTTORE FRANCESE di Attrezzature per l'Industria del Calcestruzzo

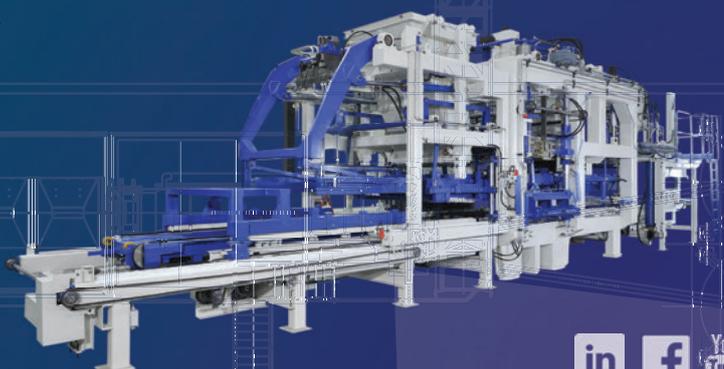
INTERMAT
Parigi - Francia
24-27 Aprile 2024
Stand n°6B147

BATIMATEC
Algeri - Algeria
5-9 Maggio 2024

IMPIANTI CHIAVI IN MANO: MACCHINA PER BLOCCHI E PIETRE DA PAVIMENTAZIONE

Presses vibranti di «Alta efficienza»
Sistemi di movimentazione all'avanguardia
Soluzioni robotiche su misura

PRODUTTIVITÀ, FLESSIBILITÀ & INNOVAZIONE



info@quadra-concrete.com +33 4 50 03 92 21 www.quadra-concrete.com

dell'aria del 95%. L'umidità relativa dell'aria è una misura della percentuale di vapore acqueo presente nell'aria. Con il 100% di umidità relativa l'aria è satura di vapore acqueo e non è più possibile assorbitne altro.

Quando i prodotti freschi provenienti dal capannone industriale entrano nella camera di stagionatura, si verifica una forte differenza di temperatura tra i prodotti e l'aria dell'ambiente nella camera di stagionatura. I prodotti hanno una temperatura di circa 15 °C, l'aria dell'ambiente nella camera di stagionatura ha una temperatura di 35 °C. Per questa differenza di temperatura scende la temperatura nell'aria che viene a contatto con la superficie del blocco.

L'umidità relativa dell'aria nella camera di stagionatura è del 95%. E questo significa che l'aria nella camera di stagionatura è già quasi satura di vapore acqueo. Se scende la temperatura dell'aria sulla superficie, scende anche il punto di rugiada dell'aria. Il punto di rugiada è la temperatura alla quale il vapore acqueo si condensa.

La combinazione di diffusione e condensazione causa una carbonatazione rapida ed omogenea della superficie del blocco di calcestruzzo.

Comparazione delle quantità di acqua in 1 m³ di aria

Temperatura	Umidità relativa	Umidità assoluta
15 °C	95%	12,45 g/m³
35 °C	95%	37,6 g/m³

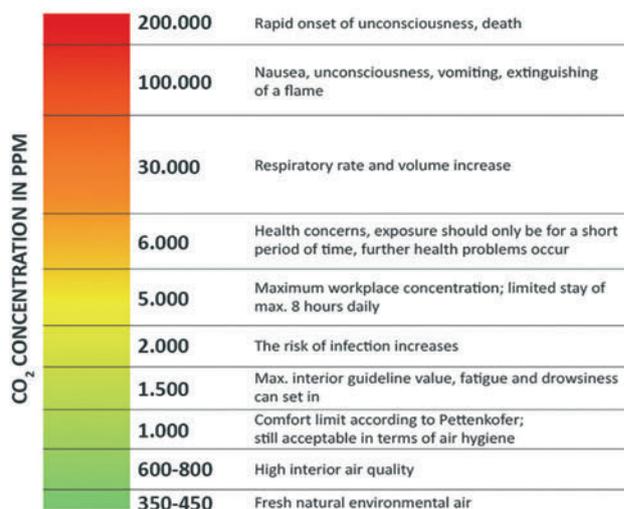
L'umidità relativa dell'aria indica quanto vapore acqueo è presente nell'aria rispetto alla quantità massima di vapore acqueo che l'aria è in grado di assorbire con la rispettiva temperatura. Con un'umidità relativa dell'aria del 95 %, l'aria è già quasi satura di vapore acqueo.

- Ad una temperatura di 15 °C, 1 m³ di aria, con un'umidità relativa dell'aria del 95%, ha quindi un'umidità assoluta di 12,45 g/m³.
- Ad una temperatura di 35 °C, 1 m³ di aria, con un'umidità relativa dell'aria del 95%, ha quindi un'umidità assoluta di 37,6 g/m³.

Il confronto dimostra che 1 m³ di aria ad una temperatura di 35 °C è in grado di assorbire molta più acqua che ad una temperatura di 15 °C. Nell'esempio dello stabilimento per la produzione di blocchi in calcestruzzo, i prodotti più freddi entrano nella camera, l'aria quasi completamente satura sulla superficie dei prodotti non è in grado di assorbire la quantità di umidità causando la formazione di condensa sul prodotto.

Livelli di CO₂ e relativo influsso sul corpo umano

L'anidride carbonica (CO₂) è una componente naturale dell'aria. La concentrazione normale di CO₂ nell'atmosfera terrestre



L'Agenzia federale per l'ambiente raccomanda di far entrare nella stanza aria fresca dall'esterno non appena si supera un valore di 1.000 ppm di CO₂.

è di circa 400 ppm (parti per milione), cioè circa lo 0,04%. L'Agenzia federale per l'ambiente raccomanda di far entrare nella stanza aria fresca dall'esterno non appena si supera un valore di 1.000 ppm di CO₂. I valori limite di esposizione professionale in ambienti chiusi, o VLEP, corrispondono a poco meno di 5.000 ppm - e questo per una permanenza di 8 ore. Ciò per rendere un po' più tangibili i valori che seguono.

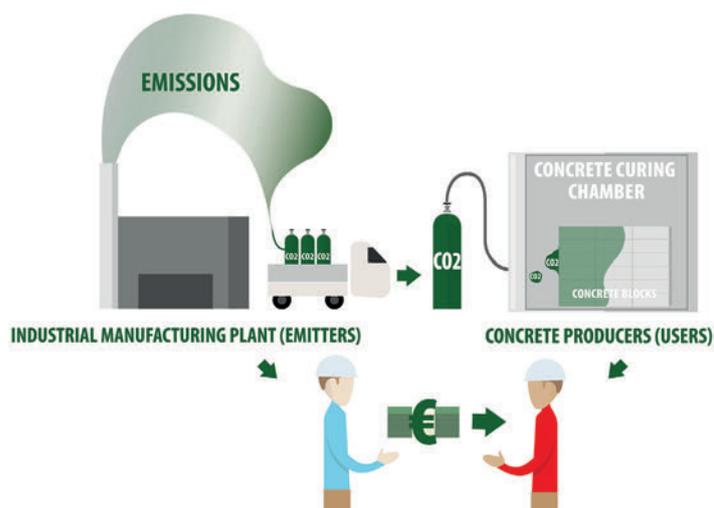
Con una concentrazione di CO₂ di circa 1.000 ppm, si possono avvertire lievi sintomi come mal di testa, stanchezza e difficoltà di concentrazione. Con una concentrazione di CO₂ di circa 5.000 ppm, possono verificarsi sintomi come vertigini, nausea, vomito e difficoltà respiratorie. Una concentrazione di CO₂ superiore a 10.000 ppm può portare alla perdita di coscienza e alla morte. Gli effetti sul corpo aumentano con la durata della permanenza.

Un posto di lavoro vicino a una camera con un contenuto di CO₂ aumentato, a seconda della concentrazione, richiede cautela perché può causare problemi di salute. Tuttavia, il rischio di esposizione permanente a concentrazioni elevate di CO₂ nel capannone è basso, poiché il contenuto di CO₂ nel capannone solitamente corrisponde al livello della normale aria ambiente.

Per proteggere la salute dei dipendenti, in uno stabilimento per la produzione di blocchi in calcestruzzo in cui i prodotti vengono stagionati in una camera con un'elevata concentrazione di CO₂ è indispensabile l'installazione di dispositivi di misurazione e sistemi di allarme appropriati.

Una visione per il futuro

La stagionatura dei blocchi di calcestruzzo con la CO₂ è un processo promettente. Non è solo utile per migliorare la qualità dei blocchi, ma anche per catturare la CO₂ dall'atmosfera,



Visione dello scambio di emissioni nell'industria del calcestruzzo

contribuendo così a combattere il cambiamento climatico. Alti livelli di CO₂ nell'ambiente di stagionatura aumentano la durezza e la resistenza del blocco, incrementano la stabilità del colore e contribuiscono alla profondità di carbonatazione, che può ridurre significativamente la predisposizione alle efflorescenze.

Tuttavia, allo stato attuale delle cose, la stagionatura con CO₂ deve essere ancora messa in discussione

I motivi sono:

- La disponibilità di CO₂ riciclata è ancora limitata. La CO₂ riciclata è ottenuta da processi industriali in cui la CO₂ è prodotta come sottoprodotto. Le capacità di questi processi non sono ancora sufficienti per soddisfare la domanda di CO₂ riciclata per la stagionatura dei blocchi di calcestruzzo.
- Le tecnologie di filtraggio e cattura della CO₂ riciclata devono essere notevolmente migliorate. La CO₂ riciclata spesso contiene ancora impurità che possono avere un impatto negativo. Le tecnologie di filtraggio e cattura devono quindi essere ulteriormente sviluppate in modo da rimuovere efficacemente queste impurità.
- Va chiarita la questione del trasporto. La CO₂ riciclata viene utilizzata generalmente vicino alle fonti in cui è stata prodotta. Non ha senso trasportare la CO₂ su lunghe distanze fino agli stabilimenti per la produzione di blocchi in calcestruzzo. Pertanto, la questione del trasporto deve essere risolta in modo che la CO₂ riciclata possa essere utilizzata anche in regioni con scarsa disponibilità di CO₂.

Nonostante queste sfide, la stagionatura con CO₂ è un'opzione promettente per il futuro. Se la disponibilità di CO₂ riciclata, le tecniche di filtraggio e cattura e il problema del trasporto saranno chiariti, sarà possibile produrre blocchi di calcestruzzo che assorbono una quantità di CO₂ significati-



"IL GENIO" IL NUOVO IMPIANTO DI ANTICATURA KBH II

- "IN LINE" NEL CICLO DI PRODUZIONE OPPURE "OFF LINE"
- PAVIMENTAZIONI E LASTRE
- BLOCCHI PER MURATURA A SECCO IN TUTTE LE VARIANTI
- ANTICATURA DOPO UN TEMPO DI PRESA DI SOLE 24 ORE
- ALTEZZE PRODOTTO DA 50 MM A 400 MM
- STRUTTURA SUPERCOMPATTA
- TEMPO CICLO PER PAVIMENTAZIONI 10 - 15 SECONDI
- INTENSITÀ DEL TRATTAMENTO SELEZIONABILE
- PRODUZIONE MAGGIORE GRAZIE AD UN'ALTA DISPONIBILITÀ
- BASSA ESIGENZA DI MANUTENZIONE
- TEMPI DI PREPARAZIONE MINIMI (1 - 5 MINUTI)

**Baustoffwerke
Gebhart & Söhne GmbH & Co. KG**
>> **KBH Maschinenbau**
Einöde 2, D-87760 Lachen
Telefono +49 (0) 83 31- 95 03-0
Fax +49 (0) 83 31- 95 03-40
maschinen@k-b-h.de
www.k-b-h.de

Concrete Pen

Utility model registered by **CPI** worldwide



Discover the new Concrete Pen!

- » New design
- » Enhanced surface quality
- » Personalization now possible in precise color printing

www.concretepenfactory.com

ARTICOLI IN CALCESTRUZZO

vamente maggiore rispetto al passato. Ciò darebbe un importante contributo alla lotta contro il cambiamento climatico e aiuterebbe a migliorare ulteriormente la qualità dei blocchi.

Sintesi

La stagionatura dei blocchi di calcestruzzo nelle camere di stagionatura moderne presenta numerosi vantaggi rispetto all'essiccazione in un sistema di scaffalature nel capannone. La camera di stagionatura garantisce una stagionatura più uniforme, indipendentemente dal periodo dell'anno. La stagionatura può essere accelerata con l'applicazione di calore. L'aumento della carbonatazione è il metodo più recente per la stagionatura dei blocchi di calcestruzzo e offre le migliori proprietà in termini di durezza, resistenza e durata.



Profondità di carbonatazione significativamente aumentata grazie ai livelli più elevati di CO₂ nella camera di stagionatura

Finora i valori di CO₂ nelle camere di stagionatura sono troppo bassi per ottenere il massimo assorbimento di CO₂ da parte dei blocchi di calcestruzzo. Le misurazioni effettuate su sistemi di camere attuali dimostrano che il potenziale di assorbimento di CO₂ da parte dei blocchi di calcestruzzo è molto più elevato di quanto ipotizzato in precedenza. Con una concentrazione ottimale di CO₂ e un corrispondente tempo di stagionatura nella camera, in futuro sarà possibile aumentare significativamente l'assorbimento di CO₂ del blocco di calcestruzzo.

La stagionatura con CO₂ è un processo con un grande potenziale. La profondità di carbonatazione può essere significativamente migliorata con livelli di CO₂ e ricette ottimizzati. Inoltre, con questo procedimento le efflorescenze non dovrebbero più essere un problema. Si tratta senza dubbio di un'interessante alternativa alle procedure di stagionatura convenzionali. Molte sono le sedi in cui si svolgono già lavori di ricerca e test. Ulteriori approfondimenti e i risultati di un test pratico saranno riportati nei prossimi numeri di C&PI. ■



Kraft Curing ha sponsorizzato la possibilità di scaricare gratuitamente il pdf di questo articolo per tutti i lettori di CuPI. Vi preghiamo di verificare il sito 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.



ALTRE INFORMAZIONI



Kraft Curing Systems GmbH
Mühlenberg 2, 49699 Lindern, Germania
T +49 5957 96120
info@kraftcuring.com, www.kraftcuring.com