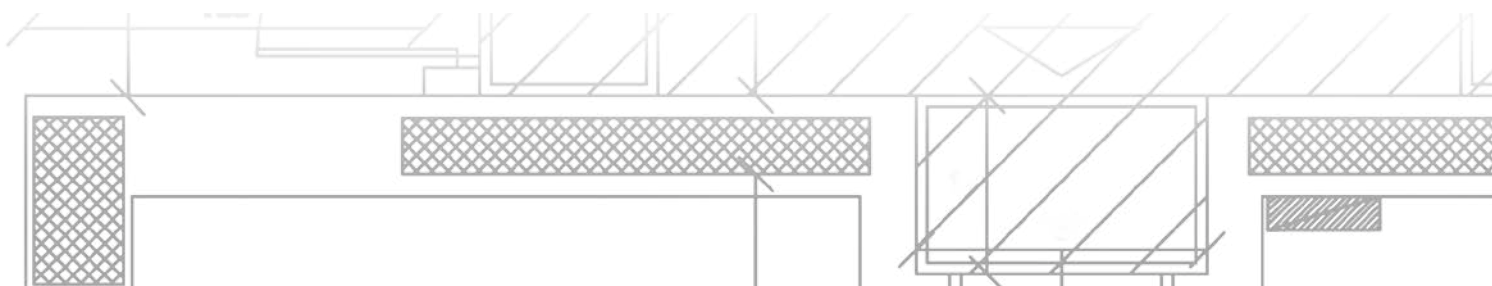




Quaderno Tecnico

CALCESTRUZZO PER OPERE IMPERMEABILI



Quaderno Tecnico

**CALCESTRUZZO PER
OPERE IMPERMEABILI**

pag. 02	1.	INTRODUZIONE
pag. 02	2.	QUADRO NORMATIVO
pag. 03	3.	CALCESTRUZZO IMPERMEABILE
pag. 03	3.1	DIFFUSIONE
pag. 04	3.2	PERMEAZIONE
pag. 05	3.3	ASSORBIMENTO CAPILLARE
pag. 05	3.4	TRASPORTO ELETTROFORETICO
pag. 06	4.	LA POROSITÀ
pag. 07	5.	COME SI MISURA LA PERMEABILITÀ?
pag. 08	5.1	METODO DI PROVA - PROFONDITÀ DI PENETRAZIONE DELL'ACQUA SOTTO PRESSIONE
pag. 08	5.2	COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (K)
pag. 09	5.3	VALUTAZIONE ASSORBIMENTO CAPILLARE
pag. 11	5.4	METODI INDIRETTI
pag. 11	6.	LE CAUSE DI DEGRADO
pag. 12	7.	COME RIDURRE LA PERMEABILITÀ?
pag. 14	8.	LA RIDUZIONE DELLA PERMEABILITÀ
pag. 17	9.	LE SOLUZIONI MAPEI
pag. 17	9.1	DENSIFICANTI E RIEMPITIVI DI PORI
pag. 21	9.2	ADDITIVI RIDUTTORI DI PERMEABILITÀ



1. INTRODUZIONE

Questo quaderno tecnico desidera descrivere le tecnologie e le soluzioni che MAPEI può offrire per soddisfare la richiesta sempre più frequente di realizzare calcestruzzi impermeabili.

La richiesta di impermeabilità di una struttura in calcestruzzo nasce fondamentalmente da una duplice necessità:

- realizzare opere idrauliche ovvero strutture destinate al controllo e alla regimazione delle acque (canali, dighe, opere di arginamento e contenimento di corsi d'acqua, ecc.);
- realizzare strutture in calcestruzzo che abbiano una durabilità migliorata.



2. QUADRO NORMATIVO

La progettazione di un'opera in calcestruzzo è vincolata al rispetto della vita nominale che varia in funzione del tipo di manufatto. Garantire una maggiore durabilità significa, oltre che rispettare i requisiti di norma, anche ridurre i costi di manutenzione e quindi ridurre la domanda di nuove infrastrutture. Il tutto si traduce in un risparmio in termini di sfruttamento di materie prime, di riduzione del consumo di energia e di emissioni di CO₂. A questo scopo si desidera sottolineare l'importanza prescrittiva, da parte dei progettisti, del valore di impermeabilità del calcestruzzo non solo in accordo con la normativa vigente, ma anche in prospettiva di un minor impatto ecologico.

Sulla base della legislazione vigente, il progettista è tenuto a definire il requisito di impermeabilità del calcestruzzo in accordo con le normative vigenti: l'Eurocodice 2 (norma progettuale di riferimento delle NTC) e la EN 206:2014, quest'ultima in quanto espressamente richiamata dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, è resa cogente.

L'ingegnere progettista, all'atto della stesura del Capitolato Tecnico,

deve dettagliatamente prescrivere i requisiti di base indicati al punto 6.2.2 della norma, ma è anche tenuto a prescrivere i requisiti aggiuntivi elencati al punto 6.2.3, tra i quali figura espressamente la resistenza alla penetrazione d'acqua che direttamente riporta allo stato di impermeabilità del calcestruzzo.



3. CALCESTRUZZO IMPERMEABILE

L'impermeabilità è la capacità di un materiale di resistere al passaggio di fluidi. Nel calcestruzzo, in particolare, è la capacità di impedire il passaggio dell'acqua all'interno delle strutture. La realizzazione di strutture impermeabili infatti non è importante solo per preservare gli edifici dalle venute d'acqua, ma anche e soprattutto per ridurre l'ingresso di agenti aggressivi degradanti e prolungare la vita di servizio della struttura stessa. L'ingresso dell'acqua, potenziale veicolo di ioni aggressivi, nelle porosità della matrice cementizia ed il passaggio di gas come anidride carbonica e ossigeno sono tra le cause principali che portano al degrado delle strutture in calcestruzzo.

È quindi importante definire quali sono i meccanismi di trasporto che regolano la cinetica dei fenomeni di degrado.

All'interno del calcestruzzo si possono identificare i seguenti meccanismi:

- diffusione;
- permeazione;
- assorbimento capillare;
- trasporto elettroforetico.



3.1 DIFFUSIONE

Il trasporto per diffusione attraverso un mezzo poroso avviene quando si genera un gradiente di concentrazione. Una qualsiasi sostanza tende a spostarsi da una regione in cui è presente in concentrazione più elevata

verso una zona in cui è presente in concentrazione più bassa. In linea generale, la diffusione dei gas è favorita nei pori contenenti aria, mentre la diffusione degli ioni può avvenire solo quando il mezzo è saturo d'acqua, ovvero attraverso il passaggio di acqua nei pori.

Il fenomeno della diffusione in una struttura reale dipende da diversi fattori che sono legati sia al materiale sia all'ambiente in cui è inserito.

Senza entrare nel merito delle formule che regolano il flusso stazionario e non stazionario unidirezionale, si menziona che le leggi di Fick regolano questi processi e vengono comunemente utilizzate per stimare il coefficiente di diffusione dei cloruri nei calcestruzzi.

3.2 PERMEAZIONE

Il trasporto per permeazione si verifica quando si genera un gradiente di pressione all'interno di un mezzo poroso. La permeabilità è regolata dalla legge di Darcy ed è definita come la costante K che lega il gradiente di pressione alla portata attraverso due costanti, una correlata alle caratteristiche del fluido e l'altra alle caratteristiche del mezzo poroso. La legge di Darcy descrive la cosiddetta *permeabilità assoluta*, ovvero il flusso di un solo fluido attraverso un mezzo poroso. I fattori che condizionano la permeabilità assoluta sono legati alla struttura microscopica del mezzo poroso, quali tortuosità e porosità. In particolare la porosità e la permeabilità, pur esprimendo grandezze diverse, sono correlate e tra loro dipendenti.

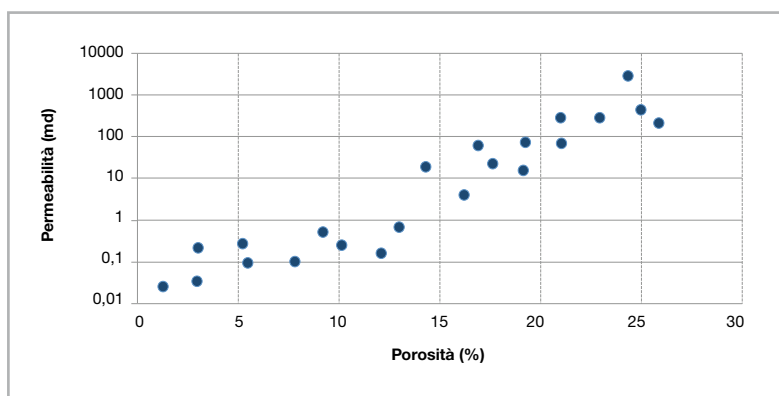


Grafico 3.1

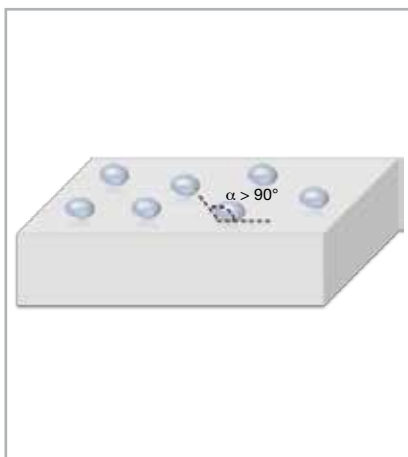


Fig. 3.2 - Un mezzo poroso idrofugo ostacola l'ingresso dell'acqua ($\alpha > 90^\circ$)

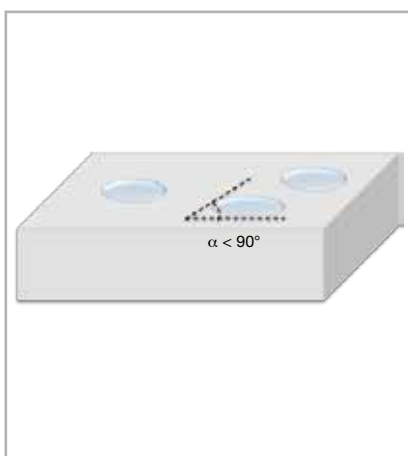


Fig. 3.3 - Un mezzo poroso non idrofugo ne favorisce l'ingresso ($\alpha < 90^\circ$)

3.3 ASSORBIMENTO CAPILLARE

Il trasporto per capillarità è il fenomeno che regola il passaggio dell'acqua all'interno del calcestruzzo per effetto delle forze capillari. Il comportamento di un solido poroso nei confronti dell'acqua può essere di due tipi: idrofilo e idrofobo. Nel primo caso l'affinità dell'acqua con il mezzo solido porta la goccia d'acqua ad avere un angolo di contatto con la superficie solida inferiore a 90° . Nel secondo caso quando il mezzo solido per sua stessa natura o a seguito di speciali trattamenti subiti, induce la goccia d'acqua ad avere un angolo di contatto superiore a 90° , il mezzo solido assume un comportamento idrofobo. La risalita di acqua all'interno dei pori capillari è un processo spontaneo che avviene quando c'è affinità tra acqua e mezzo poroso; la risalita d'acqua è sospinta da una pressione che è in funzione di tre variabili: la tensione superficiale del liquido d , il raggio del poro capillare r e l'angolo di contatto Φ secondo la seguente relazione $P = (2\delta/r) \cos\Phi$. La risalita capillare dell'acqua procede fino a che non si stabilisce un equilibrio tra la pressione capillare e la pressione idrostatica. Le forze capillari quindi aumentano al diminuire delle dimensioni dei pori e dell'angolo di contatto che è funzione della viscosità e dell'affinità del fluido con le pareti dei pori. L'assorbimento per capillarità è tra i meccanismi più dannosi per il deterioramento del calcestruzzo. Il calcestruzzo è un materiale poroso e la sua struttura altamente complessa, che consiste di molti vuoti interconnessi e di microfessurazioni, è fortemente esposta agli effetti della risalita capillare.

3.4 TRASPORTO ELETTROFORETICO

Un ulteriore meccanismo di trasporto possibile all'interno del calcestruzzo è indotto dalla differenza di potenziale prodotta da un campo elettromagnetico. Il campo elettromagnetico può essere generato dai fenomeni corrosivi o da correnti disperse provenienti dall'esterno. La differenza di potenziale determina il movimento degli ioni presenti nella soluzione contenuta nei pori capillari. Questo fenomeno è particolarmente importante in presenza di cloruri, in quanto responsabile della corrosione localizzata delle armature (pitting).



4. LA POROSITÀ

Tutti i meccanismi di trasporto menzionati sono correlati alla presenza e alla struttura dei pori presenti all'interno del calcestruzzo. A tal proposito è importante individuare e descrivere i tipi di porosità prevalente e evidenziarne le caratteristiche peculiari. Le porosità possono essere suddivise sulla base delle loro dimensioni. La IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) le classifica come segue:

- micropori: $d < 2 \text{ nm}$;
- mesopori: $2 < d < 50 \text{ nm}$;
- macropori: $d > 50 \text{ nm}$.

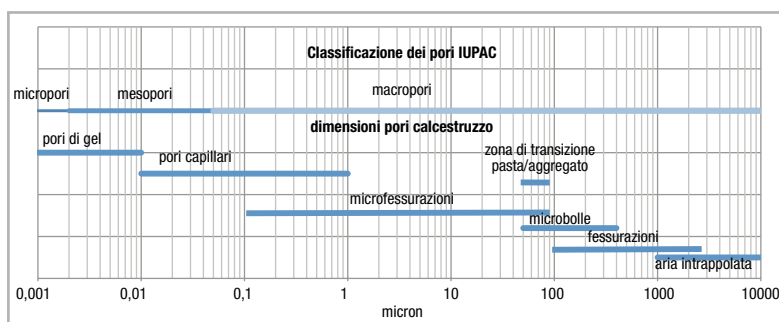


Fig. 4.1

Nel calcestruzzo si identificano invece: gel pores, pori capillari, macropori, fessure e macrobolle.

I pori di dimensione nanometrica (1-10 nm) sono rappresentati dai *micro gel pores* che costituiscono le porosità presenti nel gel di C-S-H. Il gel colloidale rappresenta il componente principale della pasta di cemento ed è responsabile della resistenza e della sua microstruttura. I *micro gel pores* rappresentano circa il 28% del volume del gel ma sono assolutamente influenti ai fini della resistenza meccanica e della durabilità del calcestruzzo, perché non permettono il passaggio degli agenti aggressivi.

I pori capillari sono generalmente ascrivibili ai mesopori, avendo generalmente diametro compreso tra 10 e 50 nm, ma si spingono fino a 300-500 nm e sono quindi classificabili come macropori.

Questi sono principalmente presenti nella pasta cementizia e nell'interfaccia aggregato/pasta di cemento. Possono essere interconnessi tra loro e permettono il passaggio di fluidi attraverso l'assorbimento capillare. Il volume dei pori capillari si riduce con il grado di idratazione ovvero con la stagionatura e con il diminuire del rapporto A/C. Una minor porosità capillare migliora sia lo sviluppo delle resistenze meccaniche che la resistenza all'ingresso degli agenti aggressivi.

I macropori sono vuoti di diametro mediamente superiore a 50 nm. I macropori sono in genere costituiti dai pori capillari più grandi e dai vuoti formati dall'aria aggiunta o intrappolata.

Per aria inglobata si intende sia quella introdotta volontariamente mediante additivi chimici (aggiunta), sia quella che si viene a formare durante la miscelazione (intrappolata). Le bolle d'aria generate con l'introduzione di additivi aeranti hanno in genere forma sferica, dimensioni di 50-200 μm , sono particolarmente stabili e migliorano la durabilità del calcestruzzo ai cicli di gelo-disgelo.

L'aria intrappolata ha invece forma irregolare e non porta alcun beneficio al calcestruzzo.



5. COME SI MISURA LA PERMEABILITÀ?

In genere, un calcestruzzo viene prescritto definendo le quattro caratteristiche principali ovvero la classe di esposizione, la classe di resistenza, la classe di consistenza e il diametro massimo dell'aggregato. Per valutare la durabilità può essere richiesta la verifica della resistenza alla penetrazione degli agenti aggressivi. A questo scopo possono essere utilizzati diversi metodi: valore della massima profondità di penetrazione dell'acqua in pressione secondo UNI EN 12390-8: 2002, determinazione del coefficiente di permeabilità (K) calcolato attraverso l'equazione di Darcy e la valutazione dell'assorbimento per capillarità secondo la EN 13057.

5.1 METODO DI PROVA - PROFONDITÀ DI PENETRAZIONE DELL'ACQUA SOTTO PRESSIONE

La norma UNI EN 12390-8: 2002 prevede una misura diretta della permeabilità attraverso la lettura in mm della profondità di penetrazione del fronte d'acqua all'interno di un provino in calcestruzzo sottoposto a un carico d'acqua in pressione.

La norma prescrive che il campione di calcestruzzo, una volta stagionato in camera umida per 28 giorni, venga collegato a uno speciale apparecchio e sottoposto per 72 ± 2 h a una pressione d'acqua di 500 ± 50 KPa. Terminata la prova, il provino viene spezzato perpendicolarmente alla faccia sulla quale è stata applicata l'acqua in pressione e dopo aver individuato e segnato il profilo del fronte d'acqua, viene registrata la massima profondità di penetrazione. Pur non esistendo una giustificazione fisica, ma semplicemente sulla base di deduzioni di indagini sperimentali, si considera impermeabile un calcestruzzo con un valore di penetrazione inferiore a 20/30 mm.

5.2 COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (K)

Il metodo per determinare il coefficiente di permeabilità del calcestruzzo attraverso l'equazione di Darcy è descritto dal documento CRD-C 48-92 redatto da US Army Corps of Engineers. Si tratta sempre di un metodo diretto di prova. Il campione di calcestruzzo opportunamente impermeabilizzato sui lati, viene sottoposto sulla faccia non trattata a una pressione d'acqua a carico costante di 200 psi (1380 KPa), quando il flusso è costante si misura il volume di acqua percolata in un determinato tempo e in funzione delle dimensioni del provino è possibile misurare il coefficiente di permeabilità (K) attraverso la relazione $K = \frac{M}{A \left(\frac{h}{L}\right)}$ dove M è il flusso, A l'area del provino, h il carico idraulico e L la lunghezza del provino.

Il valore del coefficiente di permeabilità K fornisce un valore che permette di qualificare il calcestruzzo e considerarlo più o meno capace di lasciarsi attraversare dall'acqua e quindi classificarlo come illustrato nella tabella seguente:



Fig. 5.1 - Apparecchiatura per prove di penetrazione dell'acqua nel calcestruzzo

TIPO DI CALCESTRUZZO	COEFFICIENTE K
Completamente impermeabile	$< 10^{-12} \text{m/s}$
Mediamente impermeabile	da 10^{-10} a 10^{-12}m/s
Permeabile	$> 10^{-10} \text{m/s}$
Malta	$> 10^{-6} \text{m/s}$

5.3 VALUTAZIONE ASSORBIMENTO CAPILLARE

La misurazione della velocità di assorbimento del calcestruzzo è descritta dalla norma americana ASTM C1585.

Il metodo si applica a provini circolari di calcestruzzo. I campioni preparati in apposite casseforme o prelevati tramite carotaggi vengono sezionati e sottoposti a prova per valutare il grado di assorbimento capillare in funzione della profondità di campionamento. I provini vengono stagionati per 3 giorni in essiccatore a $50^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ di temperatura, lasciati poi 15 giorni in contenitori sigillati alla temperatura di $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ prima di sottoporli alla prova vera e propria. Una volta sigillati esternamente e pesati, i campioni vengono immersi in acqua per una profondità di 3 mm e si registrano gli incrementi di massa a intervalli di tempo stabiliti. I valori di assorbimento in $l = \frac{\Delta m}{\frac{A}{d}}$ mm vengono riportati su grafico in funzione della radice quadrata del tempo (s). Tipicamente si viene a disegnare una curva spezzata, la pendenza della curva compresa tra il tempo 0 e il tempo di 6 h rappresenta l'assorbimento iniziale, la pendenza della curva compresa tra 1 giorno e 7 giorni definisce invece l'assorbimento secondario.

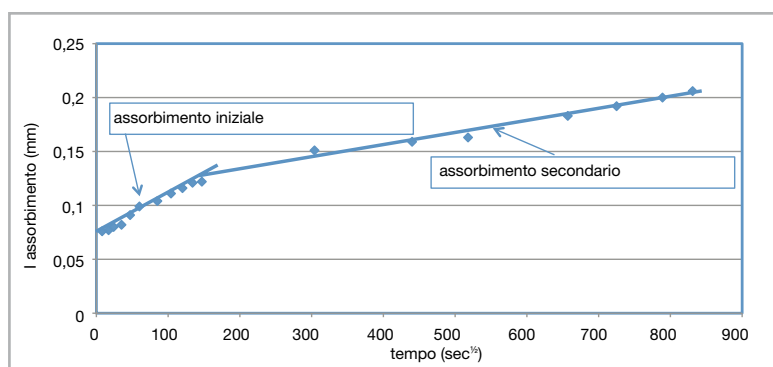


Fig. 5.2

CALCESTRUZZO PER OPERE IMPERMEABILI

Dato che la normativa europea non prevede prove di assorbimento su calcestruzzo si fa abitualmente riferimento alla norma EN 13057 relativa ai sistemi per la protezione e riparazione delle strutture in calcestruzzo.

Il metodo stabilisce una stagionatura in ambiente saturo secondo le modalità descritte dalla norma EN 196-1 e la conservazione in laboratorio alla temperatura di $21^{\circ}\text{C} \pm 2$ e $60^{\circ} \pm 10$ per 7 giorni o fino al raggiungimento di massa costante. I campioni vengono poi collocati su supporti posti sul fondo di una bacinella contenente dell'acqua in modo che il campione rimanga immerso per una profondità di 2 ± 1 mm. L'assorbimento capillare deve essere misurato a intervalli di tempo commisurati alla velocità di assorbimento del provino. Il grafico che rappresenta l'assorbimento capillare è sempre rappresentato da una curva lineare che mette in relazione l'assorbimento d'acqua (kg/m^2) in funzione della radice quadrata del tempo. Se il provino si satura per assorbimento capillare è possibile misurare il coefficiente di resistenza R (h/m^2), attraverso la formula $R = \frac{tc}{x^2}$ dove tc è il tempo necessario per il completamento della saturazione capillare, e x è lo spessore del provino. Il dato indica la profondità d'acqua all'interno del provino in un determinato tempo e fornisce una indicazione indiretta sulla finezza del sistema capillare dei pori. Si tratta tuttavia di un dato misurabile solo in materiali con assorbimento capillare piuttosto elevato.

Un altro metodo, non armonizzato, per la determinazione dell'assorbimento d'acqua alla pressione atmosferica di un provino di calcestruzzo è descritto nella UNI 7699. Il provino di calcestruzzo prodotto in laboratorio o prelevato mediante carotaggio in cantiere, viene collocato in ambiente condizionato ($+20^{\circ}\text{C}$: 50% UR) fino a massa costante e sottoposto alla prova di assorbimento.

Il campione di prova viene immerso in acqua in modo che la faccia superiore emerga dal pelo d'acqua per almeno 5 mm. A intervalli di 1, 3, 8, 24 h viene misurata la massa del provino e calcolata la percentuale di acqua assorbita rispetto al peso del provino prima della prova. Dopo 24 h

il provino viene totalmente immerso in acqua e registrato l'assorbimento a 3 e 7 giorni o fino al raggiungimento della massa costante. Il valore della percentuale di acqua assorbita può essere parziale se valutata sul peso del provino condizionato secondo normativa o totale se il provino viene preventivamente essiccato in stufa ventilata.



5.4 METODI INDIRETTI

Altre sperimentazioni sono state fatte per stabilire se alcuni metodi indiretti fossero efficaci per valutare la permeabilità del calcestruzzo. In particolare, si è cercato di stabilire se esistesse una qualche correlazione tra le prove di permeabilità all'acqua e il metodo RCPT che valuta il passaggio di ioni cloruro all'interno del calcestruzzo, ma la relazione tra i metodi non viene ritenuta abbastanza accurata.



6. LE CAUSE DI DEGRADO

Le forme di degrado del calcestruzzo sono innescate da cause che possono essere di provenienza esterna o interna al calcestruzzo.

Le cause esterne sono le azioni di natura fisica, chimica o meccanica innescate dall'ambiente circostante che portano a un deterioramento precoce del calcestruzzo:

- cause fisiche: forti variazioni termiche, azioni di gelo-disgelo;
- cause chimiche: presenza di gas (CO_2 , O_2), presenza di solfati nel terreno o di altri liquidi aggressivi di origine industriale;
- cause meccaniche: forme di abrasione ed erosione generate da acque dilavanti, l'azione esercitata da carichi ciclici o non previsti, ed eventi naturali.

I processi di deterioramento che si attivano per cause interne hanno in genere a che fare con la composizione e con i componenti del calcestruzzo.

Le cause interne sono in genere legate ad una inadeguata progettazione,

a dettagli costruttivi non accurati, a modalità di posa in opera non idonee, all'utilizzo di materiali scadenti o all'utilizzo di miscele non rispondenti alle specifiche progettuali.

È evidente che il degrado del calcestruzzo sarà sempre la combinazione di cause interne ed esterne e quindi di interazione tra qualità del calcestruzzo ed ambiente esterno. La permeabilità e la porosità, unitamente all'intensità delle azioni generate dalle cause esterne, saranno i fattori che influenzeranno maggiormente la durabilità del calcestruzzo.



7. COME RIDURRE LA PERMEABILITÀ?

Per ridurre la permeabilità è fondamentale intervenire sui fattori che influenzano la porosità. Non solo è importante conoscere le dimensioni dei pori, ma anche la forma, la concentrazione e la loro distribuzione all'interno del sistema e soprattutto capire se la capillarità rimane continua o discontinua. I principali fattori sono:

- le caratteristiche della pasta di cemento;
- le caratteristiche degli aggregati;
- qualità dell'interfaccia aggregati/pasta;
- il rapporto pasta/aggregato.

La porosità della pasta di cemento, intesa come porosità capillare, si riduce progressivamente con il grado di idratazione. Indipendentemente dalla velocità con cui avviene il processo di idratazione del cemento, la porosità capillare rimane anche quando l'idratazione del cemento è completa e il rapporto A/C è superiore a 0,38. Solo il prolungamento del tempo di stagionatura garantisce l'aumento di volume del gel solido tale da ostruire le connessioni capillari. Già T.C. Powers nel 1959 riportava il tempo di stagionatura necessaria, per diversi rapporti acqua cemento, per interrompere la continuità dei pori capillari.

RAPPORTO A/C	STAGIONATURA RICHIESTA
0,4	3 giorni
0,45	7 giorni
0,5	14 giorni
0,6	6 mesi
0,7	1 anno
Oltre 0,7	Non raggiungibile

Gli aggregati che vengono impiegati nel confezionamento del calcestruzzo possono avere origine e natura profondamente diverse. Le caratteristiche fisiche di ogni singolo aggregato, oltre ad essere collegate alla natura mineralogica dei costituenti, sono influenzate dalla tessitura della roccia ovvero della distribuzione geometrica dei minerali all'interno di essa. Poiché è la tessitura che determina la porosità delle rocce e poiché essa varia in base alla natura del materiale, anche il coefficiente di permeabilità delle rocce può essere estremamente variabile.

In termini generali la qualità dell'inerte influisce poco sulla permeabilità complessiva del calcestruzzo. Poiché la pasta di cemento è mediamente più permeabile dell'aggregato, indipendentemente dal percorso, un fluido tenderà a passare attraverso il mezzo più poroso. Più che la qualità dell'inerte, saranno le caratteristiche della pasta di cemento a rendere un calcestruzzo più impermeabile.

L'area di contatto tra pasta cementizia e aggregato lapideo viene genericamente indicata con il termine "area di transizione" o ITZ (Interfacial Transition Zone). Questa zona è particolarmente porosa, a causa della presenza di acqua di bleeding che si accumula attorno agli aggregati durante la fase di compattazione. La maggior presenza di acqua, unitamente ad un maggior rapporto A/C, determina la formazione di una maggiore porosità e di cristalli di calce multistrato meccanicamente più fragili.

La zona di transizione è quindi maggiormente interessata da fenomeni di microfessurazioni. Le sollecitazioni che si generano all'interno del calcestruzzo, a seguito di ritiro igrometrico o termico, o in seguito

all'applicazione di carichi, provocano dei movimenti differenziali tra aggregato e pasta che portano all'apertura di piccole fessure.

La fragilità della zona di transizione si ripercuote sulla resistenza meccanica, sulle proprietà fisiche e anche sulla permeabilità del calcestruzzo. Solo una prolungata stagionatura umida permetterebbe di ridurre la porosità nella zona di transizione e rinforzare i legami tra aggregato e pasta di cemento.



8. LA RIDUZIONE DELLA PERMEABILITÀ

Le tecnologie disponibili per ridurre la permeabilità del calcestruzzo sono riconducibili all'utilizzo separato o preferibilmente combinato di tre diverse soluzioni:

Progettazione di un mix design appropriato

I vuoti capillari sono i responsabili principali della permeabilità del calcestruzzo e la loro formazione è collegata all'evaporazione dell'acqua, che, risalendo attraverso la pasta di cemento lascia dietro di sé delle porosità intercomunicanti.

La progettazione del mix design deve essere quindi finalizzata alla massima riduzione dell'acqua in modo da minimizzare la formazione dei canali intercapillari.

La permeabilità tende ad aumentare progressivamente quando il rapporto A/C supera 0,55; è sempre consigliato pertanto prevedere un valore inferiore a questa soglia.

Il quantitativo di cemento deve essere sufficiente per il raggiungimento delle resistenze meccaniche e per il rispetto delle classi di esposizione, ma non tale da provocare eccessivo ritiro e incrementare le fessurazioni.

La buona qualità e la capacità di influire positivamente sulla lavorabilità del calcestruzzo, unitamente a un proporzionamento ben equilibrato, saranno poi i criteri che orienteranno la scelta dell'aggregato. L'adozione di un diametro massimo elevato, in virtù della minor superficie specifica,

influirà poi sulla richiesta di acqua e sulla minor formazione di bolle d'aria, riducendo i fattori di rischio.

Stagionatura prolungata

La stagionatura è il periodo di tempo successivo alla posa in opera in cui temperatura e umidità ambientale devono essere controllate, affinché le proprietà del calcestruzzo si sviluppino regolarmente. Una corretta stagionatura è fondamentale sia per lo sviluppo delle resistenze e sia per il miglioramento delle proprietà del calcestruzzo legate a impermeabilità, stabilità volumetrica e durabilità in genere.

La stagionatura può essere eseguita tramite la bagnatura delle superfici esposte, il posizionamento di teli impermeabili o l'applicazione di agenti stagionanti.

Il periodo di stagionatura necessario per contrastare efficacemente la perdita di umidità dipende da vari fattori tra cui il tipo di cemento, il proporzionamento della miscela, le condizioni ambientali e di esposizione. La stagionatura umida per miscele di calcestruzzo relativamente povere in cemento e per strutture massive dovrebbe essere prolungata a 3 settimane o oltre. Le miscele ricche in cemento richiedono invece solo alcuni giorni, specialmente se vengono utilizzati cementi a rapido sviluppo delle resistenze.

Pavimentazioni o strutture con superfici esposte estese dovrebbero essere stagionate per almeno 7 giorni o almeno fino al raggiungimento dell'80% delle resistenze meccaniche di progetto. Poiché tutte le proprietà del calcestruzzo vengono in genere migliorate con la stagionatura umida, il periodo di stagionatura dovrebbe essere il più prolungato possibile.

Additivi riduttori di permeabilità

La classificazione proposta dall'American Concrete Institute nel report 212.3 suddivide gli additivi riduttori di permeabilità in due grandi categorie. Quelli in grado di migliorare la resistenza all'acqua

CALCESTRUZZO PER OPERE IMPERMEABILI

nei calcestruzzi non sottoposti a pressione idrostatica e quelli invece capaci di incrementare la resistenza alla penetrazione dell'acqua nei calcestruzzi sottoposti a pressione idrostatica. Convenzionalmente i primi vengono classificati come PRAN (Permeability Reducing Admixture Nonhydrostatic) i secondi come PRAH (Permeability Reducing Admixture Hydrostatic).

Gli additivi appartenenti a queste categorie sono costituiti dalle più svariate materie prime: a partire da sostanze idrorepellenti come oli vegetali, derivati di acidi grassi a lunga catena, oli minerali, cere, emulsioni bituminose per gli additivi idrofobici fino alle polveri inerti o chimicamente attive come silicati e silice colloidale per gli additivi comunemente chiamati densificanti.

Gli additivi idrofobici più comuni sono a base di stearato che, reagendo con la calce presente nel calcestruzzo, genera uno strato di calcio stearato insolubile sulle pareti dei pori riducendo la permeabilità per assorbimento capillare.

L'utilizzo degli additivi idrofughi dipenderà dalle condizioni di servizio a cui il calcestruzzo sarà sottoposto. Se non è prevista acqua in pressione l'utilizzo di additivi idrofobizzanti è più che sufficiente a risolvere le problematiche connesse al fenomeno. L'utilizzo di idrofughi è in genere rivolto al mercato della prefabbricazione leggera e in particolare alla produzione di masselli, blocchi e piastrelle. Gli Idrofobizzanti possono essere comunque utilizzati nel calcestruzzo preconfezionato in particolare per la realizzazione di muri e di superfici esposte.

Gli additivi cristallizzanti, diversamente dagli additivi idrofobici, richiedono la presenza di acqua per poter reagire con essa e produrre silicato di calcio idrato e altri composti inorganici che precipitano all'interno dei pori capillari e delle microfessurazioni. I depositi cristallini che si accumulano all'interno del tessuto capillare diventano parte stessa della massa di calcestruzzo, riducono la porosità e migliorano la resistenza all'azione dell'acqua sotto pressione.

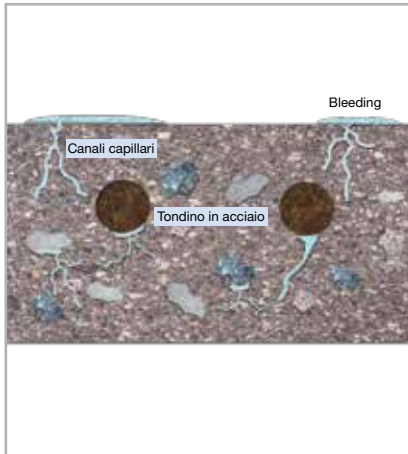


Fig. 9.1 - Sezione di calcestruzzo armato: i canali capillari sono le vie preferenziali per il trasporto dell'acqua (effetto bleeding e accumuli di acqua vengono ridotti con l'utilizzo di MAPEPLAST SF)

9. LE SOLUZIONI MAPEI

MAPEI completa la linea di prodotti per calcestruzzo offrendo una serie di additivi specifici per il raggiungimento della completa impermeabilità del calcestruzzo sfruttando le proprietà chimiche dei vari componenti utilizzati.

9.1 DENSIFICANTI E RIEMPITIVI DI PORI

MAPEPLAST SF

MAPEPLAST SF è un additivo in polvere ad attività pozzolanica a base di silica fume densificata. L'utilizzo di MAPEPLAST SF garantisce dei benefici prestazionali sul calcestruzzo sia allo stato fresco che allo stato indurito.

Effetti sul calcestruzzo fresco

L'utilizzo della silice fume in combinazione con un additivo superfluidificante della gamma CHRONOS, DYNAMON e MAPEFLUID permette di migliorare la coesione e la reologia della miscela, eliminando il rischio di bleeding e riducendo notevolmente la possibilità di segregazione durante la posa in opera.

Il fenomeno del bleeding si manifesta quando l'acqua intrappolata sotto i componenti più pesanti della miscela tende a risalire attraverso i canali capillari. Grazie alla sua elevata superficie specifica, la silice fume consente di creare una pasta cementizia più compatta, riducendo la formazione dei canali capillari e quindi l'effetto bleeding.

Effetti sul calcestruzzo indurito

Gli effetti benefici del MAPEPLAST SF sul calcestruzzo indurito sono molteplici: si migliorano le proprietà meccaniche come resistenza e modulo elastico e si riduce la permeabilità.

Le resistenze meccaniche, rispetto a un calcestruzzo di riferimento, vengono incrementate a qualsiasi stagionatura ma il beneficio maggiore si ottiene dopo i 28 gg quando la reazione pozzolanica, più lenta, garantisce un adeguato sviluppo dei cristalli di CSH e il relativo incremento di resistenza.

CALCESTRUZZO PER OPERE IMPERMEABILI

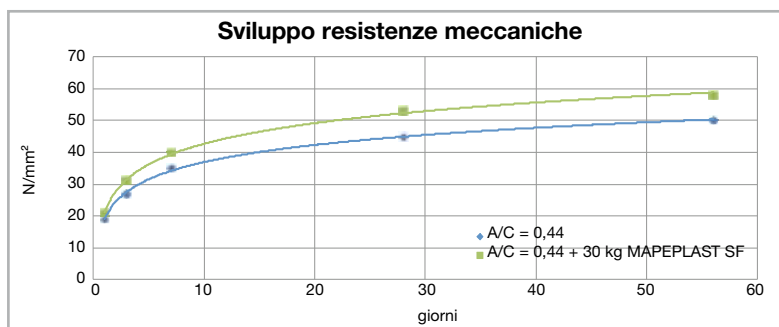


Grafico 9.2

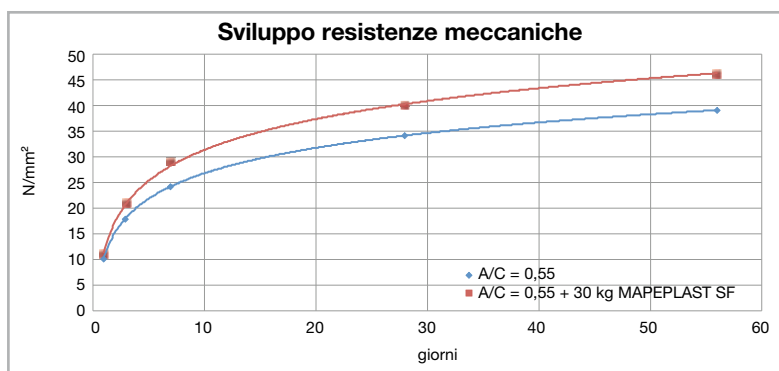
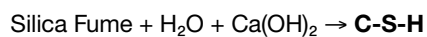


Grafico 9.3

La microsilice del MAPEPLAST SF reagisce chimicamente con la calce prodotta dall'idratazione del cemento generando gli idrosilicati di calcio, responsabili dell'indurimento del calcestruzzo e delle resistenze meccaniche, secondo la reazione:



La durabilità è una proprietà spesso collegata al grado di permeabilità del calcestruzzo. I meccanismi descritti consentono a MAPEPLAST SF di incrementare la resistenza del calcestruzzo all'ingresso degli agenti aggressivi. MAPEPLAST SF può essere pertanto vantaggiosamente utilizzato quando si desidera un calcestruzzo più resistente in presenza di:

Cloruri

La presenza di cloruri, siano essi provenienti da acqua di mare o da sali disgelanti, è fortemente dannosa perché attiva il processo di corrosione dei ferri di armatura presenti nel calcestruzzo; la silice fume è ampiamente usata nei calcestruzzi in classe di esposizione XS e XD perché riducendo la permeabilità, i cloruri impiegano più tempo a raggiungere i ferri di armatura e la durabilità del calcestruzzo viene prolungata considerevolmente.

Solfati

Sebbene l'attacco solfatico è più collegato alla chimica del cemento, l'utilizzo di un appropriato mix design unitamente all'utilizzo di silice fume permette di migliorare la resistenza del calcestruzzo a questo tipo di degrado.

Il beneficio è legato essenzialmente alla riduzione di permeabilità e alla riduzione del quantitativo di idrossido di calcio disponibile per la reazione solfatica espansiva. MAPEPLAST SF infatti reagisce con la calce abbassando la probabilità di formazione di ettringite secondaria e grazie alla riduzione del rapporto acqua/legante, riduce la permeabilità dell'impasto impedendo l'ingresso dei solfati presenti nell'ambiente.

Agenti chimici

La silice fume non è in grado di migliorare di per sé la resistenza all'attacco chimico, ma la riduzione della permeabilità e l'aumento delle resistenze meccaniche consentono di rallentare il processo di aggressione e prolungare gli intervalli di manutenzione.

Reazione alcali-aggregati

L'utilizzo di MAPEPLAST SF può rappresentare inoltre una valida opzione per controllare o almeno limitare gli effetti dannosi derivanti dalla reazione espansiva tra gli alcali del cemento e alcune tipologie di aggregati reattivi.

CALCESTRUZZO PER OPERE IMPERMEABILI

Abrasione

Le maggiori resistenze meccaniche e la minor porosità, ottenute mediante l'utilizzo di MAPEPLAST SF migliorano la resistenza all'abrasione del conglomerato anche a parità di aggregato utilizzato.

MAPEPLAST SF può essere aggiunto al calcestruzzo con dosaggi variabili in funzione delle prestazioni meccaniche che si vogliono ottenere. Generalmente un dosaggio compreso tra il 3% e l'8% sul peso del cemento garantisce risultati eccellenti.

In caso di applicazioni particolari il dosaggio può aumentare, tuttavia prove sperimentali hanno dimostrato che dosaggi elevati tali da superare il rapporto SF/CEM di 0,11 non garantiscono un pari incremento prestazionale e che la massima efficacia può essere egualmente raggiunta con dosaggi inferiori.

MAPEPLAST SF è certificato secondo EN 13263 e secondo la normativa europea EN 206 gli può essere riconosciuto, in quanto microsilice, un valore di K equivalente.

Definizione valore K

Il concetto di K viene introdotto dalla normativa europea al fine di poter utilizzare aggiunte minerali nella miscela di calcestruzzo in aggiunta o in parziale sostituzione del cemento per realizzare calcestruzzi con prestazioni equivalenti a un calcestruzzo di riferimento. L'utilizzo del concetto di K permette di sostituire il rapporto A/C con un rapporto A/legante efficace dove il legante efficace è costituito dal contenuto di cemento aumentato dal contenuto di MAPEPLAST SF moltiplicato per un coefficiente di equivalenza. Questo metodo, quando applicato con una lista prestabilita di cementi, consente di rispettare i requisiti minimi fissati dalle classi di esposizione senza dover realizzare ulteriori verifiche procedurali o di durabilità.

Il concetto di K per MAPEPLAST SF deve comunque essere applicato nel rispetto di alcune regole quali il non superamento del contenuto minimo

di cemento prefissato dalla classe di esposizione e appunto l'utilizzo in combinazione con cemento tipo I o di miscela purché privo di fumi di silice. Quando rispettate queste condizioni MAPEPLAST SF garantisce un coefficiente di equivalenza pari a 2 con qualsiasi tipo di calcestruzzo, esclusi quelli in classe di esposizione XC e XF con rapporti A/C > 0,45 in questi casi il coefficiente deve essere invece ridotto a 1.

Il valore K permette di introdurre il concetto di calcestruzzo a prestazione equivalente, ovvero di un calcestruzzo che ammette variazioni ai requisiti di dosaggio minimo di cemento e di massimo rapporto A/C previsti dalla classe di esposizione. Qualora siano note le caratteristiche dei componenti, le modifiche ai requisiti minimi sono consentite solo quando è accertato, da prove preliminari, che l'impasto con l'aggiunta minerale garantisce il raggiungimento degli stessi risultati del calcestruzzo di riferimento fissati dalla prescrizione.

9.2 ADDITIVI RIDUTTORI DI PERMEABILITÀ

Additivo Cristallizzante

La tecnologia dell'impermeabilizzazione per cristallizzazione è nota ormai da parecchi anni e consente di ridurre la permeabilità del calcestruzzo con l'aggiunta di un apposito additivo alla miscela di calcestruzzo.

IDROCRETE KR 1000 è l'additivo MAPEI in grado di impermeabilizzare integralmente il calcestruzzo attraverso un progressivo processo di cristallizzazione. IDROCRETE KR 1000 a contatto con l'acqua reagisce per formare dei silicati di calcio idrati e altri precipitati solidi che vanno a depositarsi all'interno delle porosità capillari diventando parte stessa della massa di calcestruzzo e migliorando la resistenza alla permeabilità dell'acqua.

L'aggiunta di IDROCRETE KR 1000 non solo innesca il processo di formazione di cristalli insolubili ma fornisce anche i centri di nucleazione necessari al loro accrescimento. I nuclei micrometrici rappresentano il centro di origine dei cristalli di carbonato e di idrosilicato non solubile. L'effetto di questi processi è il miglioramento del grado di impermeabilità del calcestruzzo.

Calcestruzzi confezionati con diversi rapporti acqua/cemento e stagionati

CALCESTRUZZO PER OPERE IMPERMEABILI

per 28 giorni in condizioni standard, si comportano diversamente alla penetrazione dell'acqua quando sottoposti a pressione come raffigurato nelle figure 9.2, 9.3 e 9.4.

La normativa europea EN 12390-8, che descrive il metodo di prova, stabilisce di misurare la massima profondità di penetrazione dell'acqua all'interno del provino dopo averlo sottoposto a una pressione d'acqua prefissata. Il grafico (graf. 9.5) mostra come al decrescere del rapporto acqua cemento aumenta la resistenza del calcestruzzo al passaggio dell'acqua.

I valori di resistenza al passaggio dell'acqua aumentano in modo marcato quando l'additivo cristallizzante IDROCRETE KR 1000 viene aggiunto all'impasto in ragione del 2% sul peso del cemento. Le prove eseguite dimostrano che l'aggiunta dell'additivo cristallizzante porta sempre un beneficio in quanto riduzione di penetrabilità all'acqua, e che il beneficio è tanto maggiore quanto minore è il rapporto a/c. Tuttavia, è opportuno sottolineare che c'è un limite nel rapporto a/c, al di sotto del quale il calcestruzzo ha una struttura già talmente chiusa e compatta, che il beneficio apportato dall'additivo cristallizzante diventa praticamente trascurabile. MAPEI considera questo limite il rapporto acqua/cemento < 0,4 dove la massima penetrazione di acqua, anche per un calcestruzzo non additivato, è inferiore alla soglia considerata di impermeabilità (20 mm).

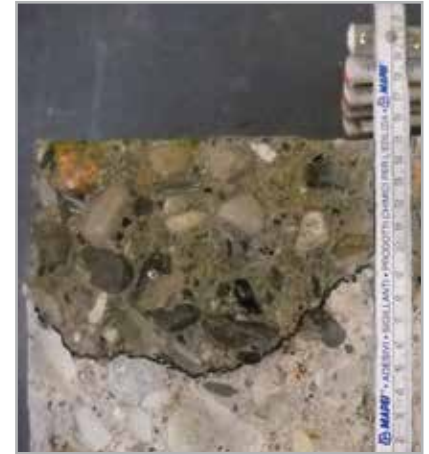


Fig. 9.2 - Calcestruzzo con A/C = 0,6



Fig. 9.3 - Calcestruzzo con A/C = 0,45

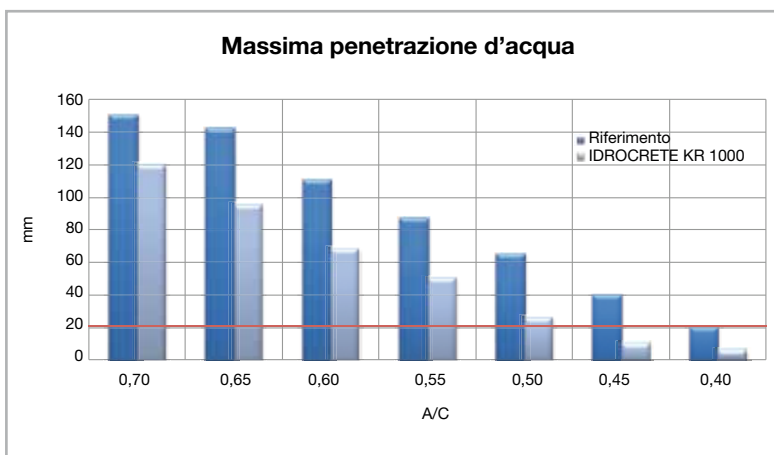


Grafico 9.5

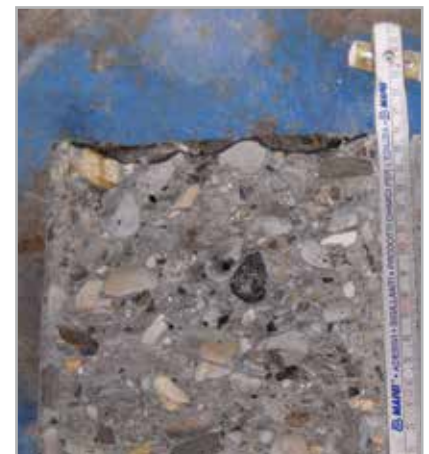


Fig. 9.4 - Calcestruzzo con A/C = 0,4

Il grafico (fig. 9.6) dimostra come percentualmente cresce la riduzione di permeabilità al diminuire del rapporto acqua/cemento. Il miglior beneficio, dall'utilizzo di IDROCRETE KR 1000, si ottiene quando il calcestruzzo ha un rapporto A/C compreso tra 0,45 e 0,55. Nel caso di rapporti A/C superiori e in assenza di una adeguata e prolungata stagionatura umida, si rileva comunque una riduzione di permeabilità che non preserva però dall'ingresso di acqua in pressione. Quando invece il rapporto acqua/cemento è molto basso, l'utilizzo dell'additivo cristallizzante andrà a migliorare una situazione di impermeabilità già di per sé consolidata.

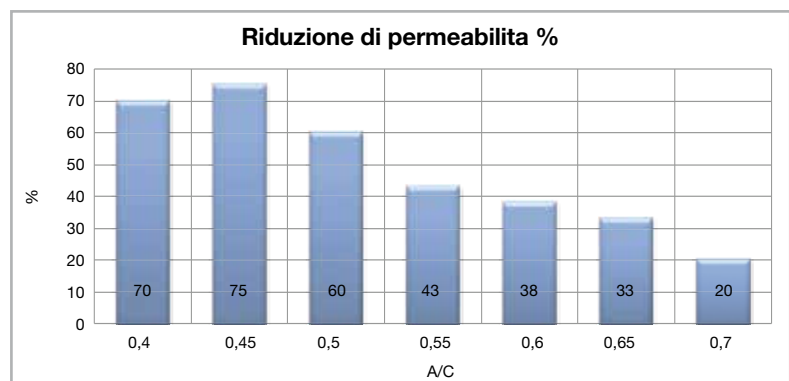


Grafico 9.6

IDROCRETE KR 1000 contribuisce a migliorare sempre le caratteristiche di impermeabilità del calcestruzzo; tuttavia, va considerato che il prodotto non può supplire a eventuali carenze progettuali o di messa in opera. Pertanto per ottenere i migliori risultati dall'impiego di IDROCRETE KR 1000 occorre sempre progettare accuratamente la miscela di calcestruzzo, rispettando le indicazioni di buona pratica e le prescrizioni del progettista.

IDROCRETE KR 1000, in funzione delle esigenze progettuali, può essere dosato tra l'1% e il 3% sul peso del legante cementizio. Il prodotto è fornito in polvere pronto all'uso e preferibilmente deve essere aggiunto alla miscela di calcestruzzo durante la preparazione dell'impasto. Può anche essere aggiunto in cantiere; si raccomanda, in tal caso, di estendere adeguatamente il tempo di miscelazione fino alla completa omogeneizzazione del prodotto all'interno della miscela.

CALCESTRUZZO PER OPERE IMPERMEABILI

L'utilizzo di IDROCRETE KR 1000 è raccomandato per la realizzazione di strutture di contenimento dell'acqua, corpi diga, gallerie, fondazioni, pontili e porti, parcheggi, sistemi "vasca bianca", ponti, fognature e comunque in tutte quelle strutture in cui siano richieste impermeabilità e elevata durabilità. L'esecuzione di prove di cessione su calcestruzzo additivato con IDROCRETE KR 1000 non ha evidenziato il rilascio di sostanze nocive in quantità dannose e pertanto il prodotto può essere utilizzato per strutture in contatto con acqua potabile.

Additivi Idrofughi

Gli additivi idrofughi sono gli additivi liquidi a base di sali per l'incremento della resistenza dei calcestruzzi alla risalita capillare.

IDROCRETE DM e IDROCRETE S sono gli additivi MAPEI formulati per proteggere la superficie del calcestruzzo dall'assorbimento di acqua. IDROCRETE DM e IDROCRETE S vengono aggiunti in massa al calcestruzzo per formare un sottile film idrofobico attorno alle porosità. Questa tecnologia non serve a riempire le porosità capillari ma solo a creare uno strato repellente in grado di allontanare le particelle di acqua quando si raccolgono sulla superficie del calcestruzzo e di formare un "effetto goccia" sulle superfici orizzontali.

Gli additivi Idrocrete vengono dosati sul peso del cemento in quantità variabili comprese tra 0,2 e 0,6% per la versione DM più concentrata e fino all'1,2% per la versione S più diluita.

L'effetto idrofugo può sopportare l'ingresso dell'acqua anche quando sospinta da basse pressioni, tuttavia il beneficio sul calcestruzzo può essere quantificato tramite la misura del coefficiente di assorbimento descritto nel metodo di prova EN 13057.

IDROCRETE HP è il capostipite di una nuova generazione di additivi idrofughi ad alta efficacia. Un dosaggio di 1,5% di IDROCRETE HP permette di ridurre drasticamente il valore di assorbimento capillare per qualsiasi tipo di calcestruzzo. Il coefficiente di assorbimento, che rappresenta la pendenza della curva che mostra la quantità di acqua assorbita nel tempo,

deve avere un valore quanto più basso possibile.

Il grafico (graf. 9.7) mostra come il coefficiente di assorbimento di un calcestruzzo trattato con IDROCRETE HP sia radicalmente più basso rispetto allo stesso calcestruzzo senza l'aggiunta dell'additivo idrofugo. Un valore di coefficiente di assorbimento basso riflette la maggior resistenza di un calcestruzzo ad esposizioni ambientali critiche prolungate.

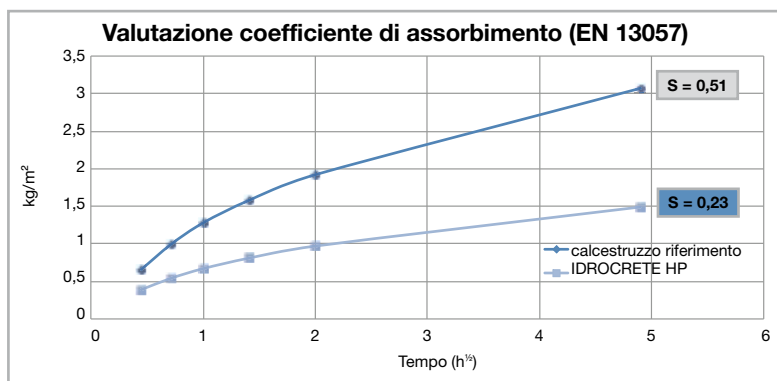


Grafico 9.7

Il coefficiente d'assorbimento diminuisce progressivamente con il ridursi del rapporto acqua/cemento poiché il minor numero di vuoti riduce la capacità di risalita dell'acqua per capillarità. Il grafico (graf. 9.8) mostra i valori di S misurati durante una sperimentazione di laboratorio.

L'aggiunta di IDROCRETE HP migliora fino al 50% e oltre, la capacità del calcestruzzo di non assorbire acqua; il beneficio apportato dall'additivo idrofugo aumenta progressivamente al ridursi del rapporto A/C.

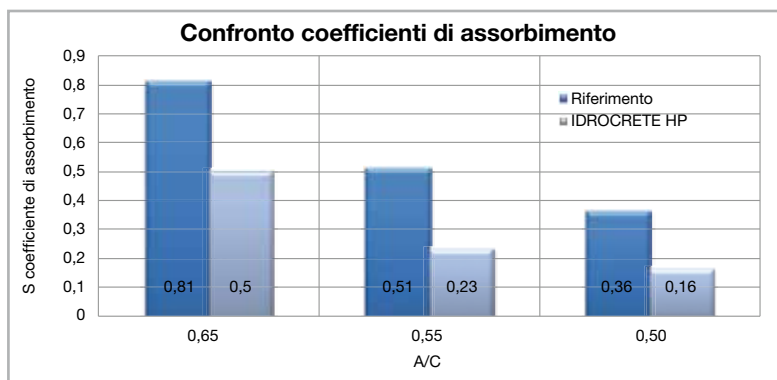


Grafico 9.8

CALCESTRUZZO PER OPERE IMPERMEABILI

IDROCRETE HP rispetta inoltre i requisiti specifici previsti per gli additivi resistenti all'acqua. La normativa EN 480-5 che descrive la misurazione della assorbimento capillare su provini di malta, prevede che vengano condotte due serie di valutazioni di assorbimento: la prima dopo 7 gg di stagionatura, la seconda dopo 90 gg. I risultati ottenuti dimostrano che, con un dosaggio di IDROCRETE HP all'1,5% sul peso del cemento, la miscela di prova ha un assorbimento del 50% inferiore rispetto al mix di controllo a 7 giorni dopo 7 giorni di stagionatura e un assorbimento inferiore al 60% del mix di controllo a 28 giorni dopo 90 giorni di stagionatura.

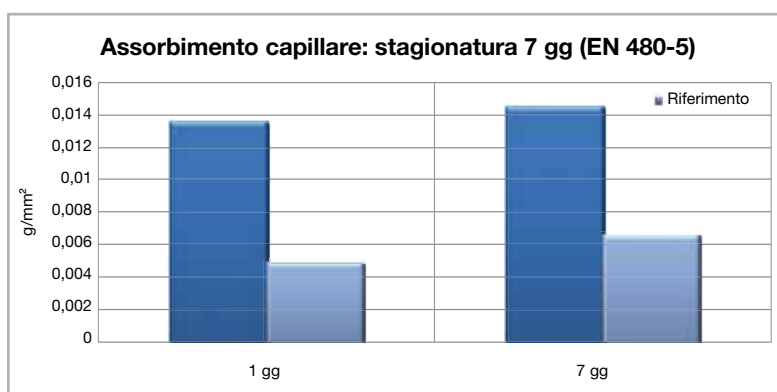


Grafico 9.9

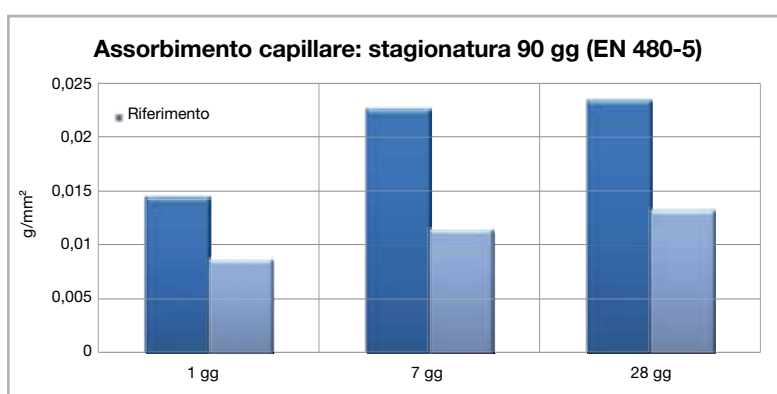


Grafico 9.10

L'utilizzo degli additivi IDROCRETE HP, IDROCRETE DM e IDROCRETE S può portare grandi benefici in tutte quelle strutture esposte ad ambienti umidi o ciclicamente asciutti e bagnati, all'umidità persistente e a ciclici spruzzi

d'acqua, e consente di migliorare la resistenza del calcestruzzo esposto all'azione dei sali disgelanti. Gli additivi IDROCRETE HP, IDROCRETE DM e IDROCRETE S sono spesso utilizzati in calcestruzzi architettonici, in pannelli prefabbricati, blocchi, masselli e in tutti quegli elementi sottoposti all'azione dell'acqua in condizioni non idrostatiche.

Voce di prodotto IDROCRETE KR 1000

Realizzazione di calcestruzzo impermeabile per cristallizzazione delle porosità e microfessurazioni capillari mediante aggiunta di additivo cristallizzante in polvere (tipo IDROCRETE KR 1000 della MAPEI S.p.A) alla miscela di calcestruzzo. Il mix design, accuratamente studiato, deve prevedere l'utilizzo di aggregati ben assortiti di buona qualità e non reattivi, di cemento preferibilmente Portland tipo I e II, di un rapporto A/C inferiore a 0,5 e di un superfluidificante a base acrilica (tipo DYNAMON della MAPEI S.p.A).

L'additivo cristallizzante in polvere, una volta introdotto nella miscela di calcestruzzo, reagisce con l'umidità e l'acqua presente nel conglomerato per formare cristalli di calcio silicato che, crescendo, chiudono le porosità capillari, migliorando l'impermeabilità del calcestruzzo.

L'additivo cristallizzante, nei dosaggio di 1-3% sul peso del legante, deve essere aggiunto insieme agli aggregati, al cemento, all'acqua e all'additivo superfluidificante, all'impianto di betonaggio e miscelato adeguatamente fino a completa omogeneizzazione.

Il calcestruzzo ottenuto avrà le seguenti caratteristiche fisiche meccaniche:

- massa volumica del calcestruzzo (kg/m³): > 2300;
- classe di resistenza meccanica a 28 gg (MPa): > C30/37;
- massima penetrazione d'acqua (UNI EN 12390-8): < 30 mm;
- massima penetrazione d'acqua (DIN 1048): < 30;
- coefficiente di permeabilità Darcy: < 1,10⁻¹³ m/1.

CALCESTRUZZO PER OPERE IMPERMEABILI

Le modalità di getto, compattazione e finitura del calcestruzzo additivo IDROCRETE KR 1000 non devono differire da quelle di consueto utilizzate per il calcestruzzo convenzionale; consistenza e coesione dell'impasto devono essere tali da facilitare le operazioni di posa in opera senza che si verifichino fenomeni di bleeding e segregazione.

Attualmente sono disponibili, su richiesta, prove sul prodotto IDROCRETE KR 1000, eseguite esternamente presso alcuni laboratori indipendenti nei seguenti Paesi: Austria, Italia, Malesia, Polonia e Stati Uniti.

Voce di prodotto IDROCRETE HP

Realizzazione di calcestruzzo con proprietà idrorepellenti. Il calcestruzzo trattato con additivo idrofugo (tipo IDROCRETE HP) riduce fino al 50% l'assorbimento d'acqua rispetto a un calcestruzzo di controllo quando immerso in acqua. L'effetto impermeabilizzante si esplica solo in calcestruzzi non sottoposti a pressione idrostatica; la presenza di acqua in pressione non preserva il calcestruzzo trattato dalla penetrazione d'acqua. Il calcestruzzo additivato con IDROCRETE HP inibisce il passaggio dell'acqua tra i pori capillari della pasta di cemento indurita e la resistenza del calcestruzzo, ai fenomeni di efflorescenza e al passaggio di acqua dall'esterno verso l'interno e viceversa, viene migliorata. Al fine di ottenere un miglior effetto impermeabilizzante, il calcestruzzo additivato con IDROCRETE HP deve essere confezionato con un additivo ad alta riduzione d'acqua (tipo DYNAMON, MAPEFLUID o MAPEPLAST della Mapei S.p.A) in modo da ridurre il rapporto acqua/cemento. L'additivo superfluidificante deve essere utilizzato in combinazione ma non unitamente all'idrofugo di massa IDROCRETE HP.

L'additivo impermeabilizzante di massa, una volta introdotto nella miscela di calcestruzzo, reagisce con l'idrossido di calcio per formare un sottile strato di idrofobico sulla superficie dei pori riducendo la permeabilità per assorbimento capillare.

L'additivo idrofugo impermeabilizzante, dosato tra 0,3% e 0,6% sul peso del legante, deve essere aggiunto alla miscela insieme agli aggregati,

al cemento, all'acqua e all'additivo superfluidificante e miscelato fino a completa omogeneizzazione nell'impianto di betonaggio.

Le modalità di getto, compattazione e finitura del calcestruzzo con IDROCRETE HP non devono differire da quelle di consueto utilizzate per il calcestruzzo convenzionale o asciutto; consistenza e coesione dell'impasto devono essere tali da facilitare le operazioni di posa in opera senza che si verifichino fenomeni di bleeding e segregazione.

Quaderno Tecnico

CALCESTRUZZO PER OPERE IMPERMEABILI

SEDE

MAPEI Spa

Via Cafiero, 22 - 20158 Milano

Tel. +39-02-37673.1

Fax +39-02-37673.214

Internet: www.mapei.com

E-mail: mapei@mapei.it