

Permeability of concrete: Role of fly ash and hydrophobic products

Permeabilità del calcestruzzo: Ruolo di cenere volante e idrofobizzanti

A. Pasqualini¹, M. Bressan¹, F. M. Liberatore²

¹ *Engineering Division, General Admixtures S.p.A., Treviso, Italy*

² *Civil Engineer, Vasto (CH), Italy*

ABSTRACT: With reference to UNI EN 206-1 and UNI 11104, concrete mixtures were made up with and without fly ash for exposure classes XC4, XD3, XA3 and XF1.

These were characterised by their resistance to compression, their permeability to water under pressure, their capillary absorption and the RCPT measurement in order to indirectly receive indications on the influence gained by using fly ash on, respectively, capillary porosity, absorption and the mechanisms for permeation and diffusion through the cement matrices under examination.

The purpose of the work was to highlight how the use of fly ash would allow, even if used to partially replace cement, the porosity and permeability of concretes usually deployed in daily constructive techniques to be significantly reduced. Furthermore, apart from a few forms of deterioration, the contribution provided by silane-based, hydrophobic-rendering products to improve structural durability was highlighted / Con riferimento alle UNI EN 206-1 e UNI 11104, sono state confezionate miscele di calcestruzzo con e senza cenere volante per le classi di esposizione XC4, XD3, XA3 e XF1.

Esse sono state caratterizzate attraverso la resistenza a compressione, la permeabilità dell'acqua in pressione, l'assorbimento capillare e la misura RCPT in maniera da avere indirettamente indicazioni sull'influenza dell'impiego della cenere volante su, rispettivamente, porosità capillare, assorbimento e meccanismi di permeazione e diffusione attraverso le matrici cementizie in esame.

Scopo del lavoro è stato quello di evidenziare come l'utilizzo di cenere volante consenta, anche utilizzata in parziale sostituzione del cemento, di ridurre in maniera significativa la porosità e permeabilità di calcestruzzi usualmente impiegati nella tecnica costruttiva quotidiana. Inoltre, limitatamente ad alcune forme di degrado, è stato evidenziato il contributo offerto da prodotti idrofobizzanti a base silanica al miglioramento della durabilità strutturale.

KEYWORDS: fly ash; capillary porosity; permeability; capillary absorption / cenere volante; porosità capillare; permeabilità; assorbimento capillare

1 POROSITÀ DEL CALCESTRUZZO

1.1 Generalità

Il calcestruzzo è notoriamente un materiale poroso, ovvero caratterizzato dalla presenza di una certa distribuzione di vuoti all'interno della sua struttura. In particolare possono essere classificate cinque tipologie di "porosità" (Colleparidi, 2003).

a. Porosità dovuta ad una compattazione poco efficace del materiale con conseguente permanenza, all'interno della matrice, di aria intrappolata e di ampi spazi non riempiti dalla pasta di cemento. Si tratta evidentemente di macro-vuoti le cui dimensioni possono variare da qualche millimetro fino a qualche centimetro. Una attenta scelta della lavorabilità del calcestruzzo fresco, unita ad una scrupolosa compattazione del materiale, evita in generale la formazione di questa tipologia di porosità.

b. Porosità insita nella struttura degli aggregati. A seconda della loro natura, essa potrà essere più o meno rilevante.

c. Porosità, sotto forma di aria inglobata, derivante dall'impiego di opportuni additivi aeranti con lo scopo di migliorare la resistenza ai cicli di gelo-disgelo del materiale.

d. Porosità capillare, presente tra le diverse particelle che costituiscono la pasta di cemento, di dimensioni tali da poter essere osservati al microscopio elettronico.

e. Porosità del gel, ovvero quella intrinseca dei prodotti di idratazione del cemento. Le sue ridotte dimensioni (1-10 nm) non ne consentono una osservazione diretta.

Tra queste, la più interessante è certamente la porosità capillare, sia perché da essa dipendono le caratteristiche di resistenza e durabilità del materiale, sia perché, a differenza di quella del gel, può essere modificata intervenendo su alcuni parametri.

Infatti, il diametro e la distribuzione dei pori capillari presenti nella pasta di cemento varia principalmente in funzione di:

- Rapporto acqua/cemento (a/c): all'aumentare di a/c aumenta la distanza tra i granuli di cemento. Le fibre C – S – H che si formano sulla superficie dei granuli al procedere della reazione di idratazione, vanno ad occupare solo parzialmente l'iniziale volume intergranulare, lasciandone parte (porosità capillare, appunto) vuota o riempita di acqua.
- Grado di idratazione del cemento: all'aumentare della frazione di cemento idratato la porosità capillare tende a ridursi.

1.2 Cenere volante e porosità capillare

Aggiunte minerali pozzolaniche, quali la cenere volante, determinano importanti e benèfici cambiamenti nella porosità di un calcestruzzo.

Come noto, la reazione pozzolanica che coinvolge la cenere volante produce ulteriori fibre C – S – H (dette secondarie) che vanno ad aggiungersi a quelle precedentemente formatesi con l'idratazione del cemento (dette primarie).

È chiaro quindi che, nel caso di impiego di cenere volante in aggiunta al cemento, ulteriori spazi interparticellari vengono ad essere occupati da queste fibre e la porosità capillare diminuisce.

Quando la cenere volante viene impiegata in parziale sostituzione del cemento, prevale un altro meccanismo, noto come "block pore effect".

La porosità capillare strutturatasi a seguito della reazione di idratazione del cemento viene "raffinata" dall'apporto degli ulteriori prodotti di idratazione secondari, i quali tendono a depositarsi vicino alle aperture dei pori o al loro interno, ostacolando (o impedendo completamente) il movimento di fluidi attraverso la massa del materiale.

La rete di capillari, inizialmente interconnessa, diviene discontinua ed il calcestruzzo acquisisce, oltre a ulteriore resistenza meccanica, maggiore impermeabilità agli agenti aggressivi.

2 PROCESSI DI TRASPORTO NEL CALCESTRUZZO E PERMEABILITÀ

La porosità gioca un ruolo essenziale nei processi di trasporto di sostanze liquide (es. acqua) o gassose (es. anidride carbonica, ossigeno, ecc.) attraverso il calcestruzzo.

La proprietà del materiale di consentire l'ingresso di queste sostanze viene definita genericamente Permeabilità e risulta particolarmente determinante nell'ambito della resistenza del calcestruzzo al degrado.

I principali meccanismi che regolano l'ingresso e il successivo movimento di sostanze all'interno della massa del calcestruzzo sono sostanzialmente tre (Coppola 2007, Pedferri & Bertolini 2000):

- Permeazione sotto un gradiente di pressione
- Diffusione sotto un gradiente di concentrazione
- Assorbimento capillare

In relazione a tali meccanismi, il miglioramento della microstruttura di un calcestruzzo conseguente all'impiego di cenere volante garantisce, generalmente, un migliore comportamento del materiale in termini di permeabilità.

2.1 Permeazione sotto un gradiente di pressione

L'interruzione della continuità dei pori capillari da parte dei silicati C – S – H secondari prodotti con la reazione pozzolanica trasforma la porosità da continua a discontinua. Questo determina l'impossibilità per le sostanze fluide, con particolare riferimento all'acqua, di muoversi attraverso il materiale.

Ricordando che l'acqua rappresenta il principale veicolo di trasporto di sostanze quali cloruri, solfati e ioni in genere, limitare/eliminare il suo ingresso nella massa del calcestruzzo significa scongiurare diverse forme di degrado.

Inoltre, ridurre la permeabilità all'acqua significa aumentare i livelli di sicurezza e funzionalità in tutte le strutture "a tenuta idraulica".

In Figura 1 si riporta un interessante risultato ottenuto in una sperimentazione condotta su calcestruzzi confezionati con e senza cenere volante (Valente et al. 2011).

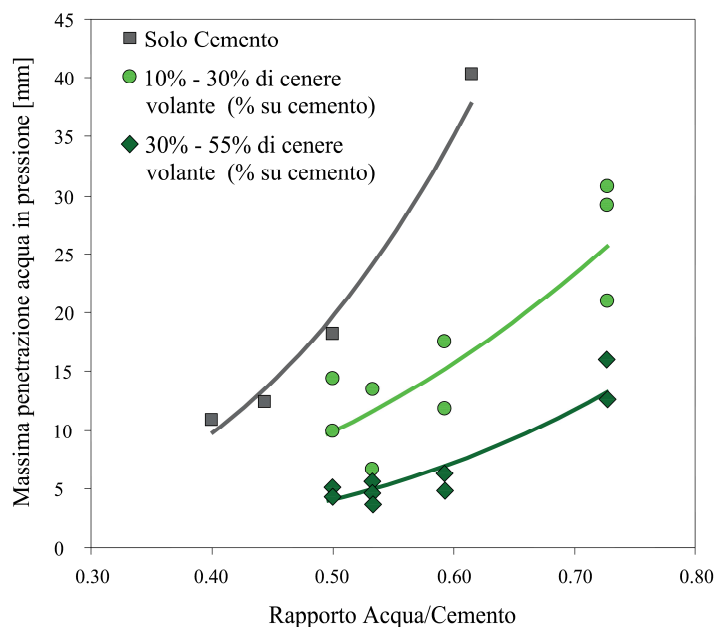


Figure 1. Depth of penetration of water under pressure vs. w/c ratio, with e whitout fly ash / Penetrazione dell'acqua in pressione con e senza cenere volante.

Sono evidenti due aspetti:

1. La permeazione sotto un gradiente di pressione è correlabile al rapporto acqua/cemento della miscela di calcestruzzo e quindi alla sua porosità capillare. All'aumentare del rapporto ac-

qua/cemento, aumenta la porosità capillare e con essa la permeabilità all'acqua in pressione.

2. A parità di rapporto acqua/cemento, la permeabilità all'acqua in pressione si riduce all'aumentare del tenore di cenere volante impiegato nella miscela. Questo risultato è coerente con il meccanismo "block pore effect" prima introdotto. In particolare si ha conferma del fatto che i prodotti C – S – H secondari derivanti dalla reazione pozzolanica determinano una "interruzione" della continuità dei pori capillari. La rete capillare diviene discontinua da un punto di vista idraulico e la permeazione sotto gradienti di pressione viene fortemente ostacolata.

2.2 Diffusione sotto un gradiente di concentrazione

La penetrazione di sostanze aggressive all'interno del calcestruzzo può essere favorita da un gradiente di concentrazione. In questo caso, le sostanze si muovono attraverso i pori dall'esterno del materiale, dove sono presenti in concentrazione maggiore, verso il suo interno, dove la loro concentrazione è minore.

Questo meccanismo è caratteristico sia delle sostanze gassose (CO_2 , O_2), che diffondono molto velocemente attraverso i pori riempiti di aria, sia delle sostanze ioniche che invece diffondono attraverso l'acqua (es. cloruri, solfati, ecc.).

La presenza di cenere volante determina una drastica riduzione dei fenomeni diffusivi (riduzione del coefficiente di diffusione), con particolare riferimento ai cloruri.

A parità di condizioni (rapporto a/c, temperatura, stagionatura, concentrazione di cloruri), calcestruzzi confezionati con aggiunte pozzolaniche presentano coefficienti di diffusione ai cloruri ridotti rispetto a quelli confezionati con solo cemento.

Si attribuisce tale effetto (Collepari, 1991) ad una particolare interazione tra gli ioni Cl^- e la superficie dei pori (nel caso di calcestruzzi con cenere volante).

In particolare, si ritiene che i prodotti idratati derivanti da materiale pozzolanico presentino un maggiore sviluppo superficiale e siano in grado di adsorbire gli ioni Cl^- rallentandone la penetrazione.

La tecnica di prova RCPT (Rapid Chloride Penetration Test), regolamentata dalla Norma ASTM C1202, rappresenta una metodologia estremamente versatile per valutare la resistenza di un calcestruzzo alla penetrazione di cloruri.

La quantità di carica elettrica che passa attraverso un provino di calcestruzzo in un determinato intervallo di tempo è infatti correlabile alla permeabilità del materiale ai cloruri.

Inoltre, una interessante lavoro sperimentale (Karkar, 2011) ha evidenziato una ulteriore correla-

zione tra i valori di RCPT e la resistenza alla penetrazione di ioni solfato nel calcestruzzo (Figura 2).

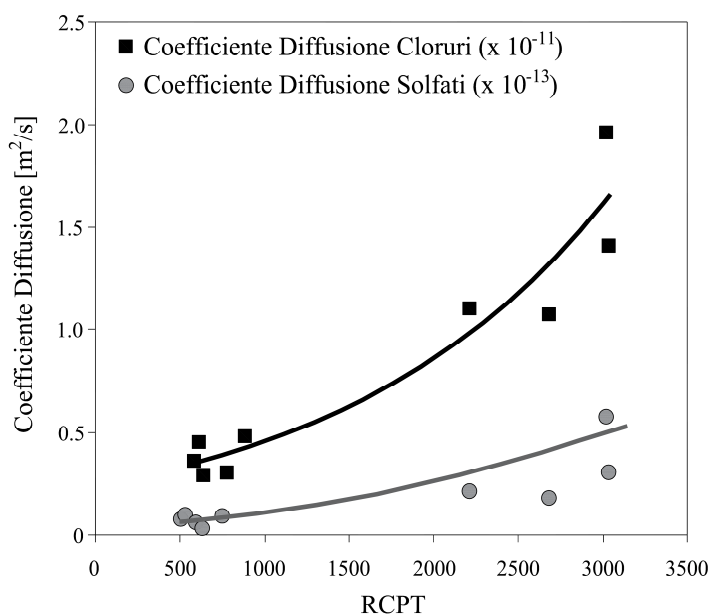


Figure 2. Chloride and Sulphate migration coefficient vs. RCPT values / Correlazione tra i coefficienti di diffusione ai cloruri e solfati ed i valori RCPT

A fronte di questo e delle numerose sperimentazioni che, ad oggi, hanno mostrato come l'utilizzo di aggiunte pozzolaniche, quali la cenere volante, determinano importanti riduzioni dei valori di RCPT nei calcestruzzi, si può certamente concludere sulla riduzione di permeabilità sia ai cloruri che ai solfati ad opera della cenere volante.

Il risultato viene peraltro confermato dagli innumerevoli dati di letteratura che descrivono, in presenza di tale aggiunta minerale, sensibili riduzioni di espansione causate da attacco solfatico.

2.3 Assorbimento capillare

Un calcestruzzo *insaturo* esposto al contatto con acqua alla pressione atmosferica tende ad assorbirla per effetto di forze capillari.

La quantificazione di questo fenomeno può essere realizzata in accordo alla Norma ASTM C-1585.

Essa prevede, dopo un condizionamento ben definito, che i provini vengono inseriti all'interno di un recipiente contenente acqua fino ad un livello appena superiore alla faccia inferiore del provino (2 mm) in modo che l'assorbimento capillare possa avvenire solo attraverso tale faccia.

Eseguito una serie di misurazioni del peso del provino si valuta, in funzione del tempo, la quantità di acqua assorbita dal materiale.

L'esperienza mostra la sussistenza della seguente relazione:

$$i = S \cdot \sqrt{t} \quad (1)$$

Dove i (mm^3/mm^2) rappresenta il volume di acqua assorbito per unità di superficie, t il tempo ed S una costante (Sorptivity) assunta come parametro rappresentativo della tendenza del calcestruzzo all'assorbimento capillare.

In Figura 3 si riporta, in funzione della resistenza a compressione, alcuni valori di S misurati su calcestruzzi confezionati con e senza cenere volante (Folagbade et al. 2012).

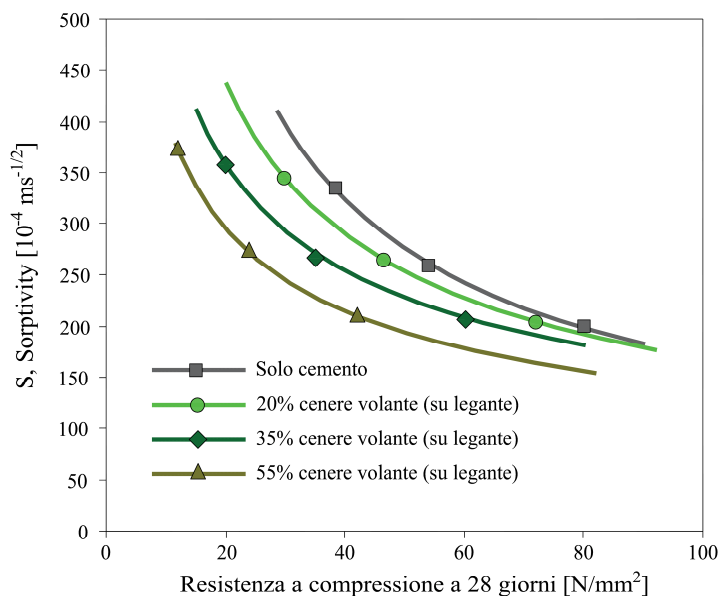


Figure 3. Sorptivity values for concretes made with and without fly ash / Valori di Sorptivity misurati in calcestruzzi realizzati con e senza cenere volante.

È del tutto evidente come, a parità di resistenza a compressione, miscele confezionate con cenere volante sono caratterizzate da un assorbimento capillare inferiore (S inferiore).

Analogamente a quanto verificato nel caso della permeabilità dell'acqua in pressione, il risultato è coerente con il "block pore effect".

La suzione capillare riveste un ruolo essenziale per quegli elementi esposti a cicli di gelo-disgelo, per i quali l'assorbimento di acqua a pressione atmosferica rappresenta l'anticamera del vero e proprio degrado.

Tuttavia, anche altri meccanismi di trasporto, come quello diffusivo, possono essere accompagnati dall'assorbimento capillare quando il calcestruzzo si trova in una iniziale condizione asciutta o comunque insatura.

Pertanto, il beneficio che si trae dall'impiego di cenere volante in termini di riduzione dell'assorbimento capillare favorisce certamente la durabilità strutturale in relazione a tutte le tipologie di aggressione.

3 LAVORO SPERIMENTALE

3.1 Scopo del lavoro

Sono state confrontate una serie di miscele di calcestruzzo confezionate con e senza cenere volante, nel rispetto delle prescrizioni di durabilità previste dalla Norma UNI 11104 per le classi esposizione XC4, XD3, XA3 ed XF1.

Esse sono state caratterizzate con una serie di prove di laboratorio con lo scopo di verificare i benefici apportati dalla cenere volante, in termini di riduzione generale della permeabilità, in calcestruzzi quotidianamente impiegati nella pratica costruttiva.

3.2 Materiali impiegati

Sono state utilizzate due tipologie di cemento: CEM II/A-LL 42.5 R per le miscele in classe di esposizione XC4, XD3 ed XF1 ed un CEM IV/A (P) 42.5N (classificato come "cemento ad altissima resistenza ai solfati") per le miscele in classe di esposizione XA3.

La cenere volante utilizzata è stata prodotta in Italia (Micro-Pozz PFA di General Admixtures S.p.A.) ed è classificabile come cenere di tipo F secondo la norma ASTM C618.

Gli aggregati, disponibili nelle pezzature 0-4, 4-12 e 12-32 mm, sono stati combinati con riferimento alla curva ideale di Bolomey.

In tutte le miscele è stato fatto uso di additivo acrilico (Serie PRiMIUM di General Admixtures S.p.A.) dosato allo 0.6 % sul legante (cemento + cenere volante).

Parte dei campioni relativi alla miscela in classe di esposizione XF1 sono stati trattati con additivo idrofobizzante (trattamento superficiale) tipo AQUA FOBIC di General Admixtures S.p.A.

3.3 Descrizione delle prove

In Tabella 1 si riporta il prospetto delle prove realizzate.

Ad esclusione della classe di esposizione XF1, sono stati scelti, per le diverse classi di esposizione, calcestruzzi rappresentativi delle condizioni di degrado più severe.

La scelta della classe XF1 nell'ambito del degrado dovuto a cicli di gelo-disgelo deriva dal fatto che essa è l'unica per la quale la UNI 11104 non preveda l'impiego di un additivo aerante.

L'inserimento di un tale additivo avrebbe comportato la presenza, oltre a quella capillare (principale oggetto della memoria), di una ulteriore tipologia di porosità (aria inglobata) che non vuole essere trattata in questa occasione.

Table 1. Composition of tested concretes / Composizione dei calcestruzzi testati

Miscela	Cemento	Cenere volante	Acqua	a/c
	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[-]
1.XC4 - Ref	340	0	170	0.50
2.XC4 - Pfa	315	50	162	0.50 *
3.XD3 - Ref	360	0	162	0.45
4.XD3 - Pfa	330	75	155	0.45 *
5.XA3 - Ref	360 **	0	162	0.45
6.XA3 - Pfa	330 **	75	155	0.45 *
7.XF1 - Ref	320	0	160	0.50
8.XF1 - Pfa	300	50	155	0.50 *

* Rapporto *acqua/cemento equivalente*. In accordo alla UNI 11104, la cenere volante è stata impiegata considerando un fattore di efficienza $k=0.2$, come previsto nel caso di impiego di un cemento CEM II/A-LL e CEM IV/A

** In accordo alla UNI 11104 è stato impiegato un cemento resistente ai solfati, CEM IV/A (P) 42.5N, classificato secondo UNI 9156 come “Cemento ad Altissima Resistenza ai Solfati”

La lavorabilità iniziale di tutte le miscele è classificabile come S4 secondo UNI EN 206-1, con valori di slump compresi tra 20 e 21 cm. Per ciascun impasto sono stati confezionati, secondo UNI EN 12390-1, una serie di provini da sottoporre alle seguenti prove di laboratorio:

- Resistenza a compressione a 2,7, 28 giorni di stagionatura (UNI EN 12390-3)
- Permeabilità all'acqua in pressione (UNI EN 12390-8), misurata a 28 e 90 giorni
- RCPT a 90 giorni di stagionatura secondo ASTM C1202 (anche per le miscele relative alle classi di esposizione XC4 ed XF1)
- Assorbimento capillare, secondo ASTM C-1585 (solo per le miscele relative alla classe di esposizione XF1)

Dopo il confezionamento, i campioni sono stati lasciati all'interno dei casseri per 24 ore alla temperatura di 20°C ed U.R. del 95%.

Tali condizioni di stagionatura sono state mantenute anche dopo la rimozione dei casseri e fino alla esecuzione delle singole prove. I provini relativi alla classe di esposizione XF1 destinati alle prove di assorbimento capillare, allo scadere dei 28 giorni di stagionatura sono stati messi in stufa a 110 °C fino al raggiungimento di massa costante (variazione di peso in due successive misurazioni inferiore allo 0.2%). Successivamente sono state avviate le prove di assorbimento secondo la procedura di prova prevista dalla ASTM C-1585.

Nello specifico, la valutazione del peso dei provini è stata fatta a: 1, 5, 10, 20, 30 e 60 minuti, poi a 2, 4, 6, 24 e 32 ore ed infine a 5 e 7 giorni.

La valutazione del peso è stata fatta procedendo dapprima a rimuovere l'acqua in eccesso sulla faccia esposta e poi portando la superficie della stessa in condizioni sature a superficie asciutta.

Le altre prove sono state condotte secondo le procedure delle relative norme di riferimento indicate.

3.4 Risultati delle prove

In Tabella 2 si riportano i risultati relativi alle prove di compressione eseguite alle stagionature descritte al punto precedente.

Table 2. Compressive strength results / Risultati delle prove di compressione

Miscela	Resistenza a compressione		
	2 giorni	7 giorni	28 giorni
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
1.XC4 - Ref	22.08	35.15	44.23
2.XC4 - Pfa	22.84	39.16	53.67
3.XD3 - Ref	29.71	42.91	50.92
4.XD3 - Pfa	31.04	47.14	60.74
5.XA3 - Ref	23.88	37.89	48.73
6.XA3 - Pfa	25.55	41.65	53.81
7.XF1 - Ref	21.16	36.07	43.23
8.XF1 - Pfa	23.06	40.33	51.85

In Tabella 3 si riportano i risultati relativi alle prove di permeabilità all'acqua in pressione (penetrazione massima a 28 e 90 giorni di stagionatura) e RCPT (90 giorni di stagionatura).

Table 3. Depth of penetration of water under pressure and RCPT test results / Risultati delle prove di penetrazione dell'acqua in pressione ed RCPT

Miscela	Penetrazione acqua		RCPT
	28 giorni	90 giorni	90 giorni
	[mm]	[mm]	[C]
1.XC4 - Ref	30	21	1181
2.XC4 - Pfa	14	8	572
3.XD3 - Ref	24	14	861
4.XD3 - Pfa	10	7	345
5.XA3 - Ref	26	18	715
6.XA3 - Pfa	13	6	311
7.XF1 - Ref	33	24	1324
8.XF1 - Pfa	16	10	617

Infine, in Figura 4 vengono messe a confronto le curve di assorbimento capillare delle miscele relative alle classi di esposizione XF1. A differenza di quanto previsto dalla norma ASTM C-1585, i risultati vengono presentati in maniera da evidenziare il quantitativo di acqua assorbita dai provini (grammi) in funzione del tempo di prova.

3.5 Discussione dei risultati

Con riferimento al controllo di accettazione di tipo A previsto dal D.M. 14 Gennaio 2008, tutte le miscele, ad esclusione della XF1 - Ref, hanno raggiunto la resistenza caratteristica minima prevista dalla UNI

11104 per le diverse classi di esposizione considerate.

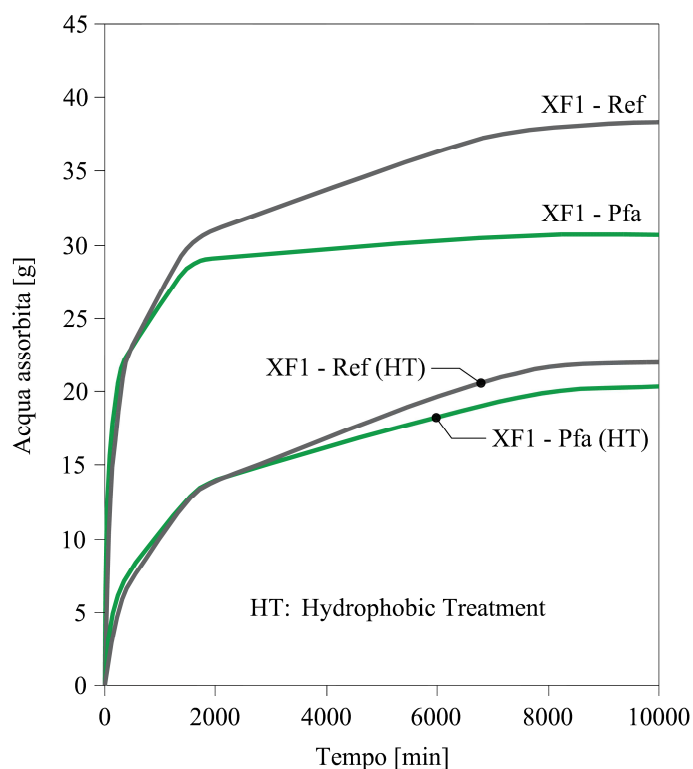


Figure 4. Concretes made with and without fly ash: effect of Hydrophobic treatment (Aqua Fobic product) on capillary absorption/ Calcestruzzi confezionati con e senza cenere volante: effetto del trattamento idrofobizzante (Prodotto Aqua Fobic) sull'assorbimento capillare.

È evidente, in tutte le prove eseguite, l'effetto della reazione pozzolanica della cenere volante, la quale ha determinato un rilevante incremento delle resistenze meccaniche sia a breve (2 giorni di stagionatura) che a lungo termine (28 giorni di stagionatura).

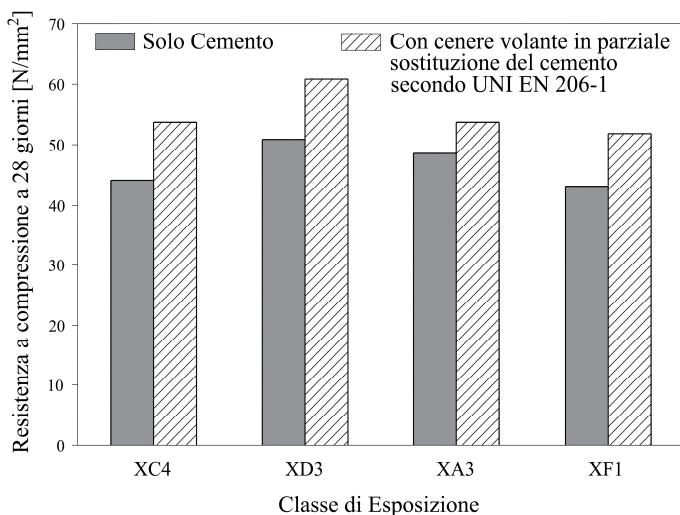


Figure 5. Effect of fly ash on concrete strength (28 days) / Effetto della cenere volante sulla resistenza a compressione (28 giorni)

In Figura 5, gli incrementi di resistenza ora commentati vengono presentati in forma grafica in modo da rendere più evidente il fatto che il beneficio ri-

guarda indistintamente tutte le classi di esposizione considerate. I valori di permeabilità all'acqua in pressione evidenziano, per tutte le classi di esposizione considerate, la capacità della cenere volante di "interrompere" le continuità della porosità capillare del materiale, trasformano una rete di capillari interconnessi in una porosità più piccola e discontinua. Tutte le miscele realizzate con cenere volante mostrano infatti, sia a 28 giorni che a 90 giorni di stagionatura, valori di profondità di penetrazione all'acqua in pressione più che dimezzati rispetto alle miscele di riferimento realizzate con solo cemento (Figura 6).

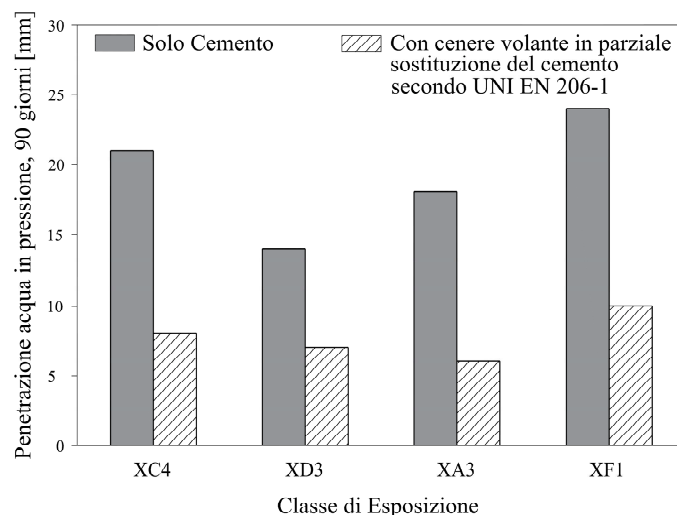


Figure 6. Effect of fly ash on depth of penetration of water under pressure (90 days) / Effetto della cenere volante sulla penetrazione dell'acqua in pressione (90 giorni)

Questo risultato è certamente significativo in relazione a tutte le tipologie di aggressione.

Ridurre/evitare l'ingresso dell'acqua significa non solo impedire agli agenti aggressivi (Cl, SO₄, ioni in genere...) di penetrare all'interno della matrice cementizia, ma anche allungare notevolmente il tempo di propagazione della corrosione per la assenza di acqua a ridosso della superficie delle armature. I valori di RCPT rappresentano l'ulteriore conferma della riduzione di permeabilità della matrice cementizia, in particolare alla penetrazione dello ione cloruro e, per quanto visto al precedente punto 2.2, dello ione solfato (trasporto per diffusione). Anche in questo caso, i valori di carica elettrica registrati in tutte le miscele con cenere volante risultano più che dimezzati rispetto alle miscele di riferimento (Figura 7). L'ultimo aspetto legato alla porosità del calcestruzzo che si vuole prendere in considerazione è quello relativo all'assorbimento capillare. I risultati ottenuti sulle due miscele relative alla classe di esposizione XF1, mostrati in Figura 5 evidenziano due aspetti interessanti:

1. La miscela realizzata utilizzando cenere volante in parziale sostituzione del cemento è caratterizzata da un assorbimento capillare di acqua (alla pres-

sione atmosferica) inferiore rispetto a quello della miscela di riferimento.

2. Il trattamento superficiale del calcestruzzo con il prodotto idrofobizzante appare estremamente efficace nel ridurre l'assorbimento capillare dei calcestruzzi confezionati sia con che senza cenere volante. Dopo l'applicazione del prodotto idrofobizzante, le curve di assorbimento relative alle due miscele (con e senza cenere volante) diventano sostanzialmente coincidenti. Questo risultato evidenzia come la realizzazione di una superficie idrofobica rende la porosità del materiale sostanzialmente ininfluente ai fini dell'assorbimento capillare di acqua. Il risultato appare estremamente interessante ai fini del trattamento di calcestruzzi esistenti molto porosi esposti alle diverse forme di degrado

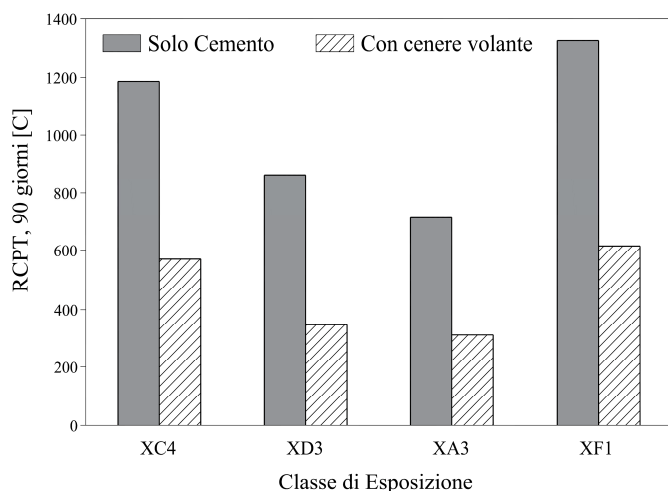


Figure 7. Effect of fly ash on RCPT values (90 days) / Effetto della cenere volante sui valori di RCPT (90 giorni)

4 CONCLUSIONI

Experimental work was carried out on concrete mixtures usually deployed in daily constructive practices, aimed at highlighting the effects obtained on the permeability of the cement matrix by partially replacing cement with fly ash. Results obtained confirm the consolidated experiences available in literature and show how mixtures optimised with fly ash according to the UNI EN 206-1 standards, provide markedly reduced permeability as compared with mixtures prepared with cement only.

Increased yield strength under compression and reduced permeability to water under pressure are associated to an actual “refinement” of capillary porosity and an improvement in the cement matrix microstructure.

The reduction of RCPT values can be associated to a greater resistance to penetration by diffusion of chlorides and sulphates.

Capillary absorption tests have shown how the use of fly ash, even when just partially replacing cement, guarantees reduced water suction by the ma-

terial, particularly improving its resistance to freezing-thawing cycles.

A further reduction in terms of capillary absorption was obtained from a hydrophobic-rendering surface treatment.

The result suggests the use of this technology on existing structures constructed with porous concretes which are therefore prone to deterioration / È stato realizzato un lavoro sperimentale allo scopo di evidenziare, su miscele di calcestruzzo quotidianamente impiegate nella pratica costruttiva, gli effetti dell'impiego di cenere volante in parziale sostituzione del cemento sulla permeabilità della matrice cementizia. I risultati ottenuti confermano le consolidate esperienze disponibili in letteratura e mostrano come le miscele ottimizzate con cenere volante secondo le prescrizioni della UNI EN 206-1 presentino una sensibile riduzione di permeabilità rispetto a miscele realizzate con solo cemento. Incrementi di resistenza a compressione e riduzione della permeabilità all'acqua in pressione sono associabili ad un “raffinamento” della porosità capillare e miglioramento della microstruttura della matrice cementizia. La riduzione dei valori RCPT può essere associata ad una maggiore resistenza alla penetrazione, per diffusione, di cloruri e solfati. Prove di assorbimento capillare hanno evidenziato come l'impiego della cenere volante, anche in parziale sostituzione del cemento, garantisca una riduzione della suzione di acqua da parte del materiale, migliorandone, in particolare, la resistenza ai cicli di gelo-disgelo. Ulteriore riduzione in termini di assorbimento capillare è stata ottenuta con un trattamento superficiale idrofobizzante. Il risultato suggerisce l'impiego di tale tecnologia su strutture esistenti realizzate con calcestruzzi porosi e pertanto sensibili al degrado

REFERENCES

- Collepari, M., 2003. *Il nuovo calcestruzzo*, Treviso: Tintoretto
- Coppola, L., 2007. *Concretum*, Milano: McGraw-Hill
- Pedefferri, P., Bertolini, L., 2000. *La durabilità del calcestruzzo armato*, Milano: McGraw-Hill
- Valente, M., Bressan, M., Pasqualini, A., Liberatore, F.M., Vivaldi, S., 2011. Fattori di efficienza K della cenere volante relativi alla penetrazione dei cloruri ed alla permeabilità all'acqua nell'ottica dell'incremento della vita utile delle strutture in c.a. Giornate AICAP Padova, 19-21, pp. 605-612.
- Collepari, M., 1991. *Scienza e tecnologia del calcestruzzo*, Milano: Hoepli
- Karkar, E., 2011. *Developing and Evaluating Rapid Test Methods for Measuring the Sulphate Penetration Resistance of Concrete in Relation to Chloride Penetration Resistance*, Toronto
- Folagbade, Olufemi, S., 2012. *Effect of fly ash and silica fume on the sorptivity of concrete*. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST).