

**L'influenza del tipo di fibre sulle
prestazioni di conglomerati tipo RPC
The influence of the fiber type on the
performance of RPC**



L'influenza del tipo di fibre sulle prestazioni di conglomerati tipo RPC

The influence of the fiber type on the performance of RPC

Materiali utilizzati

È stato impiegato un cemento Portland di tipo ferrico cioè a contenuto di C_3A nullo, particolarmente adatto per la realizzazione di questa speciale categoria di conglomerati cementizi come è stato già documentato dalla ricerca pubblicata in precedenti articoli [1-4]. Con un cemento di questo tipo, infatti, si riescono ad ottenere conglomerati con minor rapporto acqua-cemento. Gli aggregati utilizzati sono costituiti da sola sabbia naturale quarzifera, con diametro massimo di 1mm. E' stato aggiunto in miscela fumo di silice del tipo 'nero' per la presenza di incombusti e 'disperso' per la distribuzione delle particelle. Come superfluidificante è stato scelto un additivo di tipo acrilico (CAE Carboxylate Acrylic Ester).

Sono state utilizzate inoltre fibre metalliche differenti per forma, lunghezza, diametro, rapporto d'aspetto e trattamento superficiale (Tabella 1). In particolare, oltre alle solite fibre deformate in acciaio o in acciaio zincato, è stata utilizzata una fibra liscia trattata in superficie in ottone (Fig. 1).

L'obiettivo della sperimentazione è stato quello di valutare l'influenza del tipo di fibre sulle prestazioni del materiale, in particolare sulla resistenza meccanica, tenacità e durabilità in ambienti particolarmente aggressivi come l'acqua di mare e i sali disgelanti (NaCl). E' stato scelto un unico tipo di miscela per quanto riguarda il proporzionamento degli ingredienti in modo che la sola variabile fosse rappresentata dalla tipologia di fibre; dunque risultano invariati sia i rapporti in massa tra i vari costituenti solidi sia il rapporto acqua-cemento (a/c), come appare dalla Tabella 2.

Materials

Portland cement C_3A -free, very suitable for producing this special class of cement conglomerates, as reported in previous papers [1-4], was utilized. By adopting this cement type, conglomerates with very low water-cement ratio can be manufactured. A silica fume named "dark" for the presence of unburnts and "undensified" for the particles distribution, was added into the mixtures. Fine ground quartz sand, with D_{max} equal to 1mm, was used. The superplasticizer chosen was an acrylic admixture (CAE Carboxylate Acrylic Ester).

Moreover, metallic fibers different in aspect ratio, size, shape and surface treatment were put into the mixtures (Table 1); in particular, beside the usual shaped steel and/or galvanized fibers, straight brass plated fibers were also employed (Fig. 1).

The aim of the present research was to evaluate the influence of the fiber type on the material performance in terms of strength, toughness and durability in aggressive environments (sea water and NaCl deicing salts).

All the mixes were the same in terms of composition and in particular of water-cement ratio (Table 2), so that the only variable was therefore the fiber type, as mentioned above.

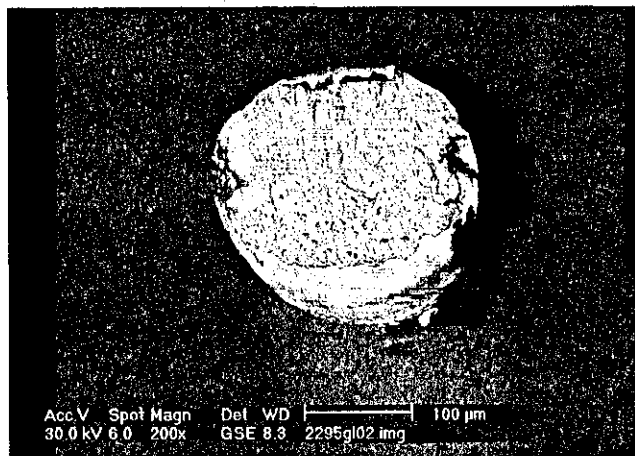
The specimens were manufactured with steel moulds of prismatic shape (70x70x280mm) and of cubic shape (50x50x50mm), complying with EN 12390-1.

All specimens were cured 1 day in the moulds at 20 °C, then they were demoulded and immersed in tap water until the seventh day of curing. Subsequently, they were removed from the bath and wrapped up by means of a waterproof film in order to continue the curing without loss of humidity by evaporation.

TABELLA/TABLE 1

Caratteristica delle fibre utilizzate Characteristics of the used fibers

Tipo/Type	Materiale/Material	Geometria Shape	L(mm)	d(mm)	L/d
TP.13/016H-C	Acciaio ottonato Brass plated steel	Dritte Plain	13	0.18	72
RC-65/30-BN	Acciaio lucido / Steel	Uncinate Deformed	30	0.45	65
RL-45/30-BN	Acciaio lucido / Steel	Uncinate Deformed	30	0.62	45
RC-45/30-CN	Acciaio zincato Galvanized steel	Uncinate Deformed	30	0.62	45



• Fig. 1 - Sezione di una fibra ottonata al microscopio elettronico a scansione.
• Fig. 1 - Scanning electron microscope showing a cross section of a brass plated fiber.

Silvia Colleparidi*, Roberto Troli*, Saveria Monosi** e Orlando Favoni**

* Enco, Engineering Concrete, Spresiano (TV), Italia/Italy

** Dipartimento di Fisica e Scienza dei Materiali, Facoltà di Ingegneria, Università di Ancona, Italia/Italy

Per la realizzazione dei provini sono stati utilizzati casseri metallici prismatici di dimensioni 70x70x280 mm e cubici di dimensioni 50x50x50 mm, conformi alla UNI EN 12390-1.

Tutti i provini hanno subito una prestagionatura di un giorno a 20° C nelle casseforme. A 24 ore dal getto sono stati scasserati e immersi in acqua dove sono rimasti fino al settimo giorno di maturazione. In seguito sono stati tolti dall'acqua, avvolti in un film impermeabile e lasciati stagionare in questa condizione che assicura assenza di evaporazione. A 28 giorni i travetti sono stati indirizzati alla fase successiva della sperimentazione volta a valutare la durabilità del materiale RPC. I provini sono stati suddivisi in tre gruppi e immersi rispettivamente in acqua di mare, in soluzione acquosa di NaCl al 10% e per confronto in acqua. Dopo tre settimane di immersione continua sono stati sottoposti a cicli di bagnatura (1 giorno) ed essiccamento all'aria (6 giorni).

Tutta la sperimentazione è stata condotta alla temperatura di 20 °C.

Risultati

Lavorabilità

I quattro impasti, uno per ciascun tipo di fibre, sono stati realizzati a pari rapporto acqua-cemento con l'intento di valutare l'incidenza del tipo di fibre sulla consistenza degli impasti.

Per determinare la consistenza è stato utilizzato il tavolo vibrante descritto dalla UNI 9419 per la misura della lavorabilità con il metodo Vebè; il campione di materiale è stato sformato da un tronco di cono (diametro inferiore = 89 mm; diametro superiore = 38 mm;

At 28 days the specimens were submitted to a second experimentation phase for evaluating the durability of the RPC material. The specimens were divided into three groups: one was immersed in sea water, another in 10% NaCl aqueous solution and the third in tap water.

After three weeks of continuous immersion, the specimens were submitted to cycles of wetting (1 day of immersion) and drying (6 days at open air).

Throughout the whole research the temperature was kept constant at 20°C.

Workability

The four mixtures, one for each fiber type, were made with the same water-cement ratio in order to evaluate the influence of the fiber type on the mixture workability.

The consistency level was measured by means of the VeBè test (UNI 9419). The sample demoulded from a truncated cone (bottom diameter=89mm, top diameter=38mm, height=74mm) was vibrated 10 seconds. At the end of vibration, the percentage increase of the material diameter, was measured.

The results carried out show that, if the percentage amount of the fibers utilized for manufacturing the mixtures remains constant, even the workability hardly changes for all. The shape and the aspect ratio do not significantly affect the mixtures consistency. With water-cement ratio equal to 0.24 the flow on the vibrating table was included between 90% and 96%.

Compressive strength

The values obtained from the compressive strength test carried out on cubic specimens (side=50mm) at 1, 7, 28, 90 days of curing are plotted on Fig.2. It can be observed that at 1 day the compressive strength is about the same for all the mortars; the values are all between 40 and 45 MPa. The greater effectiveness of brass plated fibers begins to appear after 7 days of curing and becomes remarkably evident at 28 days. At this age it can be noted that the strength of RPC with galvanized fibers is a little lower than that attained with steel fibers.

At later age (3 months) the difference between the galvanized fibers and the other ones decreases and disappears; this behaviour suggests that the zinc coating does not give problems concerning with the bond between cement matrix and fibers.

It is well known that the fibers embedded inside a cement mortar or concrete act as a link among the cracks caused by heavier loads and, as a consequence, this leads to increased material strength. This strength increases on decreasing the distance between the fibers. By observing Fig. 2 and Table 3 it would seem that the compressive

TABELLA/TABLE 2

Composizione delle malte RPC Composition of the RPC mortars

Materiali/Materials	Dosaggi nominali
Cemento Portland/Portland Cement	904 Kg/m ³
Fumo di silice/Silica Fume	226 Kg/m ³
Sabbia/Sand (0-1mm)	994 Kg/m ³
Superfl. acrilico (sost. attiva)/CAE active polymer	12.3 Kg/m ³
Fibre d'acciaio/Steel fibers	181 Kg/m ³
Acqua/Water	217 Kg/m ³
Rapporto acqua/cemento/Water/cement ratio	0.24
Rapporto acqua/legante/Water/binder ratio	0.19

altezza = 74 mm) e quindi sottoposto a vibrazione per 10 secondi. Al termine della vibrazione si è misurato l'aumento percentuale del diametro del materiale rispetto a quello iniziale di 89 mm.

Dai risultati ottenuti si rileva che, se rimane costante la percentuale in peso di fibre impiegate per la preparazione degli impasti, anche la lavorabilità rimane pressoché invariata; la geometria e il rapporto d'aspetto (L/d) non influenzano significativamente la consistenza delle miscele. Con un rapporto acqua-cemento pari a 0.24 lo spandimento sulla tavola vibrante risulta compreso tra 90% e 96%.

Resistenza meccanica a compressione

Dai valori di resistenza meccanica a compressione ottenuti alle stagionature di 1, 7, 28, 90gg sui provini cubici (50 mm di lato) è stato ricavato il grafico di Fig. 2. Si può notare che alla stagionatura di 1 giorno la resistenza meccanica delle quattro malte risulta paragonabile e compresa tra 40 e 45 MPa. A 7gg comincia ad evidenziarsi la maggiore efficacia delle fibre ottonate che diventa ancora più evidente a 28 giorni; a quest'ultima stagionatura si nota anche una modesta penalizzazione in presenza delle fibre zincate. Con il prolungarsi della stagionatura (3 mesi) si riduce quella differenza che penalizzava le fibre zincate tanto da poter affermare che il rivestimento di zinco non crea problemi di aderenza tra calcestruzzo e fibre.

E' noto che le fibre introdotte in un conglomerato cementizio, svolgendo una funzione di "cucitura" delle fessure che si vanno formando durante l'applicazione di carichi elevati, aumentano la resistenza meccanica del materiale. Tale incremento di resistenza risulterà tanto maggiore quanto minore sarà la spaziatura tra le fibre stesse. Da una lettura combinata della Fig. 2 e della Tabella 3 sembrerebbe che la resistenza a compressione delle malte aumenta sensibilmente quando il numero di fibre introdotte è di un ordine di grandezza superiore, cosa che si verifica in presenza delle fibre ottonate. Non è da escludere però che le migliori prestazioni meccaniche ottenute possano anche essere riconducibili ad una migliore aderenza tra le fibre e la matrice cementizia, assicurata dall'ottonatura.

Resistenza meccanica a flessione e tenacità

In Fig. 3 è mostrato un grafico carico-deformazione a titolo di esempio per calcolare la resistenza a flessione (massimo della curva) e della tenacità (area sottesa della curva). Anche i risultati ottenuti per queste prove (Tabella 3) hanno confermato la maggior efficacia delle fibre ottonate in presenza delle quali sono stati ottenuti valori dell'ordine dei 38 MPa dal primo mese di stagionatura in poi. Le malte

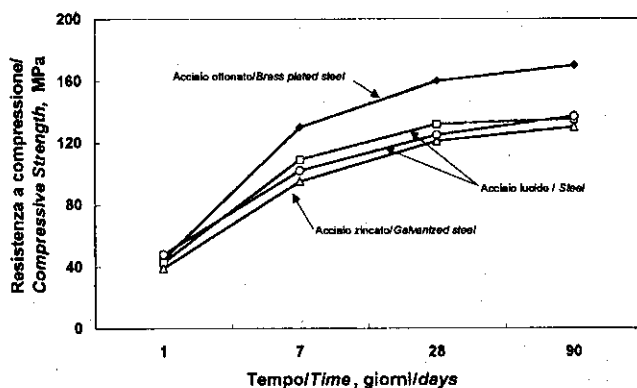


Fig. 2 - Resistenza meccanica a compressione in funzione del tempo.
Fig. 2 - Compressive strength as a function of time

TABELLA/TABLE 3

Resistenza meccanica a 28 giorni in funzione del tipo e del numero delle fibre impiegate (in un m³) Strength at 28 days as a function of fiber type and number per 1 m³

Tipo di fibra Fiber type	L/d	N° fibre/m ³ No. of fibers/m ³	Resistenza a compressione a 28giorni 28 day - compressive - strength	Resistenza a flessione a 28gg 28 day - bending - strength	Tenacità a 28gg 28 day - toughness
Acciaio ottonato Brass plated steel	72	78695650	168 MPa	37 MPa	145 N.m
Acciaio lucido Steel	65	4514720	141 MPa	28 MPa	118 N.m
Acciaio lucido Steel	45	2413980	136 MPa	27 MPa	122 N.m
Acciaio zincato Galvanized steel	45	2545710	121 MPa	30 MPa	127 N.m



rinforzate con le altre tipologie di fibre si attestano tutte attorno ai 28 MPa.

Si riporta come unico esempio l'andamento della curva carico-deflessione (Fig. 3) di un provino con fibre di acciaio ($L/d=45$).

La determinazione dell'energia di frattura dei provini, ottenuta integrando la curva carico-deflessione fino ad un abbassamento pari a 4.75mm e dividendo il valore ottenuto per l'area della sezione trasversale del provino, fa registrare i valori più elevati per le malte con fibre ottonate (28.000 J/m^2), ad ulteriore conferma delle migliori prestazioni di questo tipo di fibre. I valori ottenuti con le altre malte fibrorinforzate, tutti simili tra loro, sono dell'ordine di circa 20.000 J/m^2 .

Durabilità

Il fine ultimo dei calcestruzzi ad alte prestazioni non è solo quello di raggiungere una elevata resistenza meccanica, ma anche quello di garantire la durabilità del materiale. In questa sperimentazione si è valutato l'effetto dei cloruri presenti in due ambienti: uno costituito dall'acqua di mare e un altro costituito da una soluzione acquosa di cloruro di sodio al 10%, per simulare una soluzione concentrata di sale disgelante, quale è quella che si verifica tipicamente sul manto stradale subito dopo lo spargimento del sale.

E' noto che in presenza di cloruri la velocità di corrosione aumenta quando si alternano condizioni di asciutto e bagnato; un tipico esempio è rappresentato dalla zona degli spruzzi nelle strutture marine dove appunto si alternano le condizioni di bagnato ed asciutto, le stesse che si verificano nelle strutture autostradali esposte discontinuamente all'azione dei sali disgelanti.

Dopo la stagionatura iniziale di 28gg, i provini di tipo prismatico (travetti) hanno subito, prima una immersione nei rispettivi ambienti per 21 giorni consecutivi, poi dei cicli di bagnatura (1g) ed essiccamento (6gg) fino alla fine della sperimentazione. Per poter disporre di valori di riferimento, alcuni provini sono stati sottoposti alla stessa alternanza di asciutto-bagnato, impiegando acqua potabile. Su tutti i travetti sono state eseguite prove di resistenza meccanica a trazione per flessione dopo 1, 3, 5 mesi di permanenza nei rispettivi ambienti. È stata scelta questo tipo di prova perché senz'altro più sensibile ad un eventuale indebolimento del legame tra fibra e matrice cementizia dovuto a fenomeni di ossidazione delle fibre.

Tutte le miscele, indipendentemente dal tipo di fibre utilizzate, hanno mantenuto invariata la loro resistenza meccanica a meno degli errori sperimentali ed i rispettivi valori non si discostano da quelli registrati sui provini conservati per tutto il tempo in acqua potabile. Lo stesso dicasi per quanto riguarda l'energia di frattura. Su dei travetti senza fibre messi a contatto con gli stessi ambienti e sottoposti

strength of the RPC mortars remarkably increases if the number of fibers is one order of magnitude higher as in the case of brass plated fibers. However, it cannot be excluded that the better results may be partially ascribed to a stronger bond between fibers and cement matrix caused by brass coating.

Bending strength and fracture energy

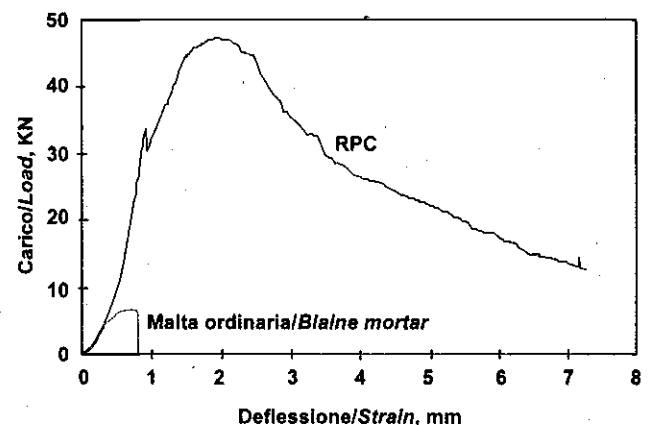
The results obtained from bending tests confirmed the better effectiveness of the brass plated fibers; with this kind of fiber the bending strength was about 38 MPa from 1 month to later curing ages. RPC mortars reinforced by means of other fibers reached about 28 MPa.

Figure 3 shows, as example, the stress-strain obtained from the bending test: the bending strength corresponds to the maximum value of the curve and the toughness corresponds to the area under the curve. The fracture energy was obtained by dividing the toughness of any specimen type by the area of the cross section. The highest values (20.000 J/m^2) are attained from mortars with brass plated fibers confirming the best performance of this type of fiber. The other fiber-reinforced mortars all performed the same and reached values of about 20.000 J/m^2 .

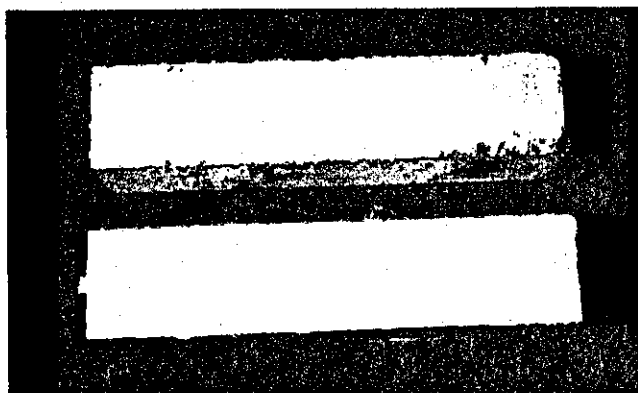
Durability

The target of a high performance concrete is to reach good durability besides high strength. In this research the effect of chlorides present in two environments was evaluated. One environment was sea water and the other was de-icing salts simulated using a 10% NaCl aqueous solution. The latter is typically found on the surface of roads after the addition of de-icing salts.

It is well known that the corrosion rate increases in the case of alter-



• Fig. 3 - Curva carico-deflessione per una malta tradizionale e per un RPC fibro-rinforzato.
• Fig. 3 - Stress-strain bending curve for a RPC and an usual mortar.



• Fig. 4 - Esempio di provino di RPC con fibre in acciaio che mostra prodotti di ossidazione in superficie (sopra) a confronto con un provino di RPC con fibre zincate privo dei prodotti di ossidazione (sotto).
• Fig. 4 - Example of RPC specimen with plain steel fibers showing rust stain on the surface (up) in comparison with RPC specimen containing galvanized steel fibers without any rust stain (below).

alle stesse modalità di stagionatura, è stata valutata la diffusione dello ione cloruro, responsabile di eventuali attacchi corrosivi e quindi promotore di fenomeni di degrado. La misura della profondità di penetrazione è stata eseguita sulle due sezioni trasversali ricavate dalla rottura per flessione dei travetti, mediante il saggio colorimetrico alla fluoresceina e nitrato d'argento. Si è rilevato che lo strato permeato in un anno e mezzo interessa uno spessore di circa 0.5 mm. E' ovvio che non ne può derivare una penalizzazione a livello di prestazioni meccaniche. L'unica conseguenza è di tipo estetico: infatti in alcune zone le fibre sotto-pelle si ossidano e formano macchie rossastre sui manufatti ad eccezione dei travetti con le fibre zincate che dopo 6 mesi hanno ancora il colore omogeneo (Fig. 4).

Conclusioni

1. La geometria e il rapporto d'aspetto delle fibre non influenzano significativamente la lavorabilità; infatti per tutte le miscele realizzate, con un rapporto acqua-cemento di 0.24 si sono ottenute lavorabilità paragonabili, corrispondenti a valori di spandimento compresi tra 90% e 96%.
2. I materiali RPC con fibre ottonate, garantiscono prestazioni meccaniche (resistenza a compressione, a flessione e tenacità) superiori a quelle degli altri RPC confezionati con differenti tipologie di fibre metalliche.
3. Il comportamento meccanico di questi materiali fibrorinforzati sembra influenzato essenzialmente da due fattori: dal quantitativo di fibre disperse nella matrice cementizia e dall'aderenza che si stabilisce tra la pasta cementizia e le fibre in relazione al tipo di fibra (dimensioni, forma e trattamento superficiale).
4. La penetrazione del cloruro proveniente dall'acqua di mare o da una soluzione concentrata di sali disgelanti (soluzione al 10% di

nate exposures to wet/dry conditions: a typical example is the sprayed zone on sea structures where dry/wet conditions alternately exist. These conditions are also present on roads exposed to de-icing salts. As a consequence, after the first curing which lasted 28 days, the specimens were submitted to 21 days of full immersion in each selected environment and then submitted to wetting (1 day) and drying (6 days) cycles up to the end of the experimentation. As standard references, some specimens were submitted to wetting and drying cycles in a harmless environment such as tap water.

After 1, 3, 5 months of exposure to the specific environment the specimens were submitted to the bending test. This test was chosen since it is more suitable than the compressive stress test to reveal any possible decrease in the bond between fibers and cement matrix, caused by oxidation of the fibers. All the mortars, regardless of the fiber type, kept their bending strength constant, within experimental errors; the bend strength values are the same as those obtained from the mortars in the standard environment. The same result was achieved on the fracture energy.

Some specimens without fibers cured in the same way and kept in the same environments were utilized for measuring chloride diffusion since the chloride ion can induce corrosion and degradation. The depth measurement was done by means of the fluoresceine and $AgNO_3$ test on two transversal sections obtained from beam test. It was noted that the layer penetrated by the chloride was about 0.5 mm. It is obvious that such slight chloride diffusion cannot promote a decrease in mechanical performance.

The only consequence was an aesthetic performance: the fibers situated under the surface oxidized and caused ruddish stains in some zones. The only exception were the specimens with galvanized fibers; they maintained their original colour even after having been kept 6 months in aggressive environments (Fig. 4).

Conclusions

1. The shape and the aspect ratio do not affect significantly the workability; in fact by adopting only one w/c equal to 0.25, the same workability levels, included between 90% and 96%, were attained.
2. RPC materials produced with brass plated fibers give mechanical performances (compressive strength, bending strength and fracture energy) higher than the RPC containing other types of fibers.
3. The mechanical performances of these fiber-reinforced materials appear to be essentially influenced by two factors: the amount of fibers dispersed inside the cement matrix and the bond between cement matrix and fibers. Furthermore this bond depends on the fiber type (size, shape, and surface treatment).
4. The chloride coming from sea water or from concentrated (10%



NaCl), durante il periodo della sperimentazione (6 mesi) è risultata irrilevante: ciò comporta un coefficiente di diffusione pressoché nullo.

5. Le prestazioni meccaniche dei materiali RPC si mantengono integre nonostante i manufatti siano stati messi a contatto di ambienti fortemente aggressivi in condizioni severe. In presenza di fibre zincate si mantiene integro anche l'aspetto (assenza di macchie da ossidazione).

NaCl) aqueous solution has negligible depth penetration during the 6 months of the experimentation period. This leads to a negligible coefficient.

5. *The mechanical performances of RPC materials are constant despite the fact that the specimens were kept in very strong aggressive environments. In the presence of galvanized fibers even the surface aspect does not change (absence of oxidation stains).*



Bibliografia/References

- [1] L. COPPOLA, R. TROLI, S. COLLEPARDI, A. BORSOI, T. CERULLI, M. COLLEPARDI, "*Materiali Cementizi Innovativi: dagli HPC verso gli RPC. Parte II. L'Influenza del Cemento e del Fumo di Silice sulla Resistenza Meccanica del Reactive Powder Concrete/Innovative Cementitious Materials: from HPC to RPC. Part II. The Effect of Cement and Silica Fume Type on the Compressive Strength of Reactive Powder Concrete*", *L'Industria Italiana del Cemento*, 707, pp. 112-125, Roma (1996).
- [2] S. COLLEPARDI, L. COPPOLA, R. TROLI e M. COLLEPARDI, "*Mechanical Properties of Modified Reactive Powder Concrete*", Proceedings of the Fifth CANMET/ACI International Conference on "Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete", SP-173, pp. 1-21, (1997).
- [3] L. COPPOLA, R. TROLI, A. BORSOI, P. ZAFFARONI and M. COLLEPARDI, "*Influence of Superplasticizer Type on the Compressive Strength of RPM*", Proceedings of Fifth CANMET/ACI International Conference on "Superplasticizers and other Chemical Admixtures in Concrete", Roma, 7-10 Ottobre (1997), SP 173, pp. 512-536.
- [4] S. COLLEPARDI, L. COPPOLA, R. TROLI, P. ZAFFARONI, "*Influence of the Superplasticizer Type on the Compressive Strength of Reactive Powder Concrete for Precast Structures*", *Atti del 16° Congresso Internazionale BIBM'99 Venezia*, 25-28 Maggio (1999), pp. 25-30.

Riassunto

Sono stati studiati quattro tipi di fibre, differenti tra loro nel rapporto d'aspetto, forma e metallizzazione superficiale, per la realizzazione di malte cementizie tipo RPC; in particolare è stata valutata l'influenza del tipo di fibre sulla consistenza delle malte al momento del getto e sulle prestazioni delle malte stagionate. Si è potuto rilevare che il tipo di fibre non influenza la lavorabilità, tanto da poter mantenere costante il rapporto acqua/cemento a parità di consistenza; influenza, invece, la resistenza meccanica che ha raggiunto valori più elevati in presenza delle fibre ottonate con le quali, a 28gg, sono stati raggiunti 160 MPa contro i 130-140 MPa ottenuti con le altre fibre. La resistenza all'aggressione in ambienti fortemente aggressivi, come l'ambiente marino o i sali disgelanti a base di cloruro di sodio, si è mostrata altissima per tutti i manufatti. In presenza di fibre zincate si è avuto un eccellente risultato anche dal punto di vista estetico: infatti la superficie esterna dei travetti non ha evidenziato le antiestetiche macchie di ruggine dovute all'ossidazione delle fibre "di pelle".

Summary

Four different types of metallic fibers, as ingredients for RPC mortars, were studied: in particular, the influence of the fiber type on the mortar performance (consistency and strength) were investigated. The fibers differed for aspect ratio, size and surface treatment. The results show that the kind of fiber does not affect the workability: it was possible to keep the water-cement ratio constant at the same workability; on the contrary, the kind of fiber affects the mechanical performance. The highest compressive strength value (160 MPa), at 28 days, was reached in the presence of brass plated fibers, while in the presence of other fibers, the strength never overcame 140 MPa. The resistance of mortars toward the attack of aggressive environments as sea water and de-icing salts, was very strong. Moreover, the RPC with galvanized fibers reached an excellent aesthetic result: on the outer surface of the specimens, no rust stains due to the oxidation of the fibers closer to the surface were observed, even in specimens exposed to chloride ions.

Résumé

Quatre types de fibres ont été étudiées, qui se sont avérées tout à fait différentes entre elles pour ce qui est de l'aspect, de la forme et de la métallisation en surface. Cette étude visait la réalisation de mortiers cimentiers du type RPC; en particulier a été évaluée l'influence du type des fibres sur la consistance des mortiers au moment de la

coulée et sur les performances des mortiers vieilliss. On a pu remarquer que le type de fibres n'influence absolument pas l'ouvrabilité, de telle sorte qu'il est possible de maintenir constant le rapport eau/ciment à égalité de consistance; le type de fibres influence, par contre, la résistance mécanique, qui a atteint des valeurs plus élevées en présence des fibres laitonées avec lesquelles, 28 jours après, ont été atteints 160 MPa contre les 130-140 MPa obtenus avec les autres fibres. La résistance à l'agression en des milieux fort agressifs tels que l'environnement marin ou les sels dégelés à base de chlorure de sodium, s'est avérée très élevée pour tous les produits manufacturés. En présence de fibres zinguées un résultat excellent a été obtenu aussi du point de vue esthétique: en effet la surface extérieure des poutrelles n'a pas mis en évidence les taches inesthétiques dues à l'oxydation des fibres "de peau".

Zusammenfassung

Es wurden vier Faserarten für die Herstellung von RPC Zementmörtel studiert, die im Aussehen, in der Form und der Oberflächenmetallisierung verschiedenartig sind; besonders wurde der Einfluss der Faserart auf die Konsistenz der Mörtel während des Gusses und auf die Leistungen der gealterten Mörtel untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass die Faserart die Bearbeitbarkeit nicht beeinflusst; es war möglich das Wasser/Zement Verhältnis bei der gleichen Bearbeitbarkeit konstant zu halten: die Faserart dagegen beeinflusst die mechanische Leistung. Der höchste Durchfestigkeitswert (160 MPa) bei 28 Tagen, wurde bei Anwesenheit von mit Messing verkleideten Fasern erreicht, während bei Anwesenheit von anderen Fasern der Widerstand nie 140 MPa überstieg. Der Mörtelwiderstand gegen den Angriff von aggressiven Umweltfaktoren wie Meereswasser und eisauftauendes Salz, war sehr stark. Ausserdem können die RPC mit galvanisierten Fasern ein hervorragendes ästhetisches Resultat aufweisen: auf der Aussenfläche der Muster waren keine auf die Faseroxydation zurückzuführenden Rostflecken zu sehen, auch nicht auf den Mustern, die Chloridionen ausgesetzt waren.

Resumen

Para la realización de morteros de cemento de tipo RPC se han estudiado cuatro tipos de fibras que se diferencian por aspecto, forma y metalización/metallizado superficial. En especial se ha evaluado la influencia del tipo de fibras en la consistencia de los morteros durante la colada y en las prestaciones de los morteros curados. De este estudio ha resultado que el tipo de fibras no influencia la trabajabilidad, de manera que se puede mantener constante la relación agua/cemento para obtener la misma consistencia. Sin embargo, el tipo de fibras

influencia la resistencia mecánica que ha alcanzado valores más elevados en presencia de las fibras "bronceadas", con las que, después de 28 días se han obtenido 160 MPa, un resultado mucho mayor respecto a los 130-140 MPa obtenidos con las otras fibras. La resistencia a los ataques en ambientes muy agresivos —como el ambiente marino o los sales descongelaes a base de cloruro de sodio— ha resultado ser muy alta para todas las muestras. Con las fibras cincadas se ha obtenido un resultado excelente también desde el punto de vista de la estética: de hecho, la superficie externa de las viguetas no ha evidenciado las antiestéticas manchas de herrumbre debidas a la oxidación de las fibras superficiales.