

ADDITIVI SUPERFLUIDIFICANTI IBRIDI

L. Coppola*, R. Troli*, E. Erali**, M. Collepari***

*ENCO, Spresiano (TV)

**MAPEI, Milano (MI)

***Dip. Scienza dei Materiali e della Terra - Facoltà di Ingegneria
Università di Ancona

1. RIASSUNTO

L'additivo superfluidificante acrilico (*AP*) possiede delle migliori prestazioni rispetto agli altri additivi superfluidificanti a base di naftalina solfonata condensata con formaldeide (*SNF*) e melammina solfonata condensata con formaldeide (*SMF*) o a base di ligninsolfonato (*MLS*), in termini di maggiore lavorabilità iniziale a pari rapporto acqua cemento (*a/c*) e di minore perdita di lavorabilità nel tempo.

Il superfluidificante acrilico, tuttavia, è leggermente più costoso dell'additivo superfluidificante a base di melammina solfonata e molto più costoso rispetto agli additivi a base di naftalina solfonata o ligninsolfonato. Pertanto, mescolare l'additivo acrilico con gli altri polimeri sopramenzionati potrebbe ridurre il costo dell'additivo puro. Lo scopo del presente lavoro è stato quello di studiare l'influenza di additivi ibridi ottenuti per miscelazione di due componenti (il polimero acrilico da una parte e i polimeri *SNF*, *SMF* o *MLS* dall'altra) sulle prestazioni del calcestruzzo in termini di lavorabilità, perdita lavorabilità, massa volumica, contenuto di aria e resistenze meccaniche a compressione a pari rapporto acqua/cemento.

I risultati ottenuti indicano che non c'è alcun vantaggio pratico nel mescolare l'additivo acrilico con gli additivi a base di naftalina solfonata o melammina solfonata. Inoltre, la combinazione del polimero acrilico con il naftalensolfonato sembra non essere riproducibile in quanto determina una riduzione erratica della lavorabilità del calcestruzzo allorché il 75% dell'additivo acrilico viene sostituito dal naftalensolfonato. Al contrario, la combinazione dell'additivo acrilico con il ligninsolfonato sembra garantire prestazioni paragonabili rispetto al polimero acrilico puro in termini di lavorabilità, perdita di lavorabilità, contenuto di aria e sviluppo di resistenza purché la sostituzione dell'additivo acrilico con ligninsolfonato non sia superiore al 25%. Quindi, gli additivi superfluidificanti ottenuti per miscelazione del polimero acrilico con il ligninsolfonato sembrano essere molto interessanti in quanto essi sono più economici rispetto al polimero acrilico puro e garantiscono prestazioni all'incirca identiche rispetto a quelle conseguibili con quest'ultimo.

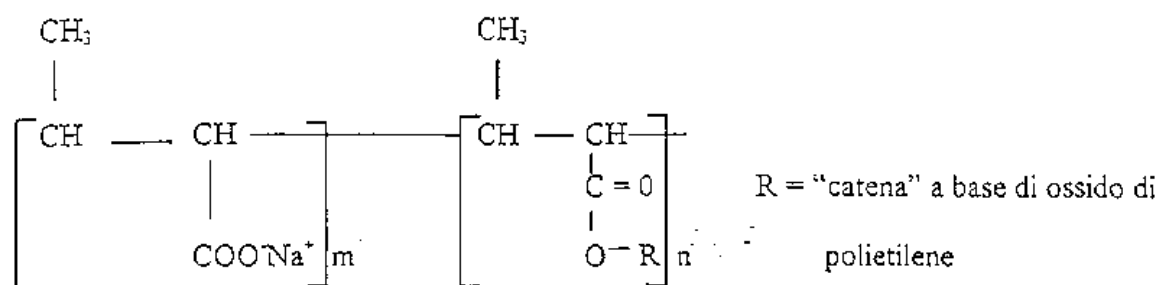
2. INTRODUZIONE

Gli additivi superfluidificanti possono essere classificati in quattro gruppi: melammina solfonata condensata con formaldeide (*SMF*); naftalina solfonata condensata con formaldeide (*SNF*); ligninsolfonato modificato privo di zuccheri (*MLS*) ed altri additivi che includono i poliacrilati, il polistirene solfonato ecc.

E' stato indagato il comportamento delle combinazioni di differenti additivi superfluidificanti (1). Ad esempio, mescolando il ligninsolfonato con la melammina solfonata ed il naftalensolfonato si ottengono dei vantaggi economici in quanto il ligninsolfonato è meno costoso sia rispetto alla melammina solfonata che al naftalensolfonato. La miscela di naftalensolfonato e melammina solfonata, inoltre, può essere utilizzata con l'obiettivo di

aumentare le resistenze meccaniche alle brevi stagionature rispetto a quelle conseguibili con additivi costituiti da solo naftalensolfonato (2).

Più recentemente (3-5) è stato sviluppato un polimero acrilico (AP) caratterizzato da migliori prestazioni in termini di più elevata riduzione dell'acqua di impasto e minore velocità nella perdita di lavorabilità. La formula chimica di questo polimero acrilico è mostrata nel seguito:



Il costo del polimero acrilico è maggiore rispetto a quello del naftalensolfonato, della melammina solfonata e del ligninsolfonato. Siccome i prodotti commerciali di questi polimeri sono disponibili in soluzioni acquose a differenti concentrazioni (40% per l'*SNF*; 30-40% per l'*SMF*; 30-40% per l'*MLS* e 30% per l'*AP*) i costi comparativi di questi 4 materiali sono riferiti a 1 kg di polimero secco (Tabella 1). Questi dati sono basati sui costi delle materie prime attualmente disponibili in Italia e possono leggermente variare in altre nazioni.

Lo scopo del presente lavoro è quello di studiare la prestazione di additivi chimici ibridi ottenuti per combinazioni del polimero acrilico da una parte con gli altri superfluidificanti disponibili dall'altra e cioè con l'*SMF*, l'*SNF* e l'*MLS*.

Table 1 - Costi comparativi dei superfluidificanti rispetto al costo di 1 kg di polimero acrilico secco

Tipo di Superfluidificante	Concentrazione della soluzione acquosa	Costo della soluzione acquosa	Costo del polimero secco
A	30% AP	30	100
M	40% SMF	32	80
N	40% SNF	16	40
L	40% MLS	8	20

3. MATERIALI

Sebbene siano stati analizzati diversi tipi e marche di cemento, per brevità vengono qui discussi soltanto i risultati ottenuti con due tipi di cemento disponibili sul territorio nazionale: un cemento portland puro destinato prevalentemente alla realizzazione delle strutture prefabbricate ed un cemento portland di miscela al calcare prevalentemente destinato al settore del calcestruzzo preconfezionato (CEM I 42.5R e CEM II/A-L 42.5R rispettivamente in accordo alla normativa europea e italiana sul cemento UNI-ENV 197/1). La Tabella 2 mostra

le proprietà di questi due cementi. I risultati ottenuti con questi due cementi sugli impasti additivati con superfluidificante sono rappresentativi del comportamento di calcestruzzi ottenuti con altri tipi di cemento qui non espressamente discussi. E' stata impiegata inoltre una sabbia con un modulo di finezza di 2.6 ed un aggregato grosso (5-32 mm) in misura rispettivamente del 45.7% e del 54.3% rispetto alla massa totale degli aggregati nell'impasto. I superfluidificanti sono stati utilizzati in forma di soluzione acquosa del polimero:

$N = 40\% \text{ SNF} + 60\% \text{ acqua}$

$M = 40\% \text{ SMF} + 60\% \text{ acqua}$

$L = 40\% \text{ MLS} + 60\% \text{ acqua}$

$A = 30\% \text{ AP} + 70\% \text{ acqua}$

Table 2 - Composizione mineralogica e proprietà dei cementi utilizzati

Composizione (%)	Cemento CEM I 42.5 R	Cemento CEM II A/L 42.5 R
C_3S	46	43
C_2S	30	20
C_3A	8	5
C_4AF	7	5
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	5	4
$CaCO_3$	2	20
Finezza Blaine (m^2/kg)	390	450
Resistenza a compressione (MPa):		
a 2 giorni	28.2	20.3
a 28 giorni	48.7	47.4

Sono state studiate delle combinazioni binarie di superfluidificante acrilico da una parte con superfluidificante naftalinico, melamminico, o a base di ligninsolfonato dall'altra. Ad esempio, per la combinazione $A-N$ sono state studiate le prestazioni degli additivi costituiti da 0, 25, 50, 75 e 100% del superfluidificante acrilico con rispettivamente 100, 75, 50, 25 e 0% dell'additivo N a base di naftalensolfonato.

La Tabella 3 mostra la composizione e le proprietà dei due calcestruzzi di riferimento confezionati senza alcuna aggiunta di additivo superfluidificante. Entrambi gli impasti sono caratterizzati da una consistenza di terra umida e da un rapporto acqua/cemento di circa 0.50. Utilizzando un dosaggio di additivo puro o di additivo superfluidificante ibrido ottenuto per miscelazione del polimero acrilico con uno dei tre restanti polimeri, la lavorabilità dell'impasto era compresa tra 5 e 25 cm dopo il mescolamento degli ingredienti in betoniera.

4. METODI DI PROVA

Dopo un iniziale mescolamento per 5 minuti in una betoniera di laboratorio sono stati misurati la massa volumica, la lavorabilità (*slump*) e il contenuto di aria in accordo

rispettivamente alle normative ASTM C138, C143 e C231. Queste determinazioni sono state effettuate su un calcestruzzo gettato all'interno di uno stampo in tre strati approssimativamente di uguale volume ognuno dei quali veniva sottoposto ad una compattazione mediante 25 colpi inferti con un pestello.

Table 3 - Composizione e proprietà dei calcestruzzi di riferimento (senza additivo)

Composizione/Proprietà	Calcestruzzo con cemento:	
	CEM I 42.5 R	CEM II/A - 42.5 R
Cemento (kg/m ³)	348	350
Acqua (kg/m ³)	174	168
Sabbia (kg/m ³)	864	867
Ghiaia (kg/m ³)	1028	1031
a/c	0.50	0.48
Slump (mm)	15	10
Aria (% in vol.)	1.4	1.6
Resist. a compressione (MPa) a:		
1 giorno	25.2	14.5
7 giorni	42.5	40.0
28 giorni	51.0	49.8

E' stato studiato il comportamento di ogni calcestruzzo additivato con superfluidificante in termini di perdita di lavorabilità misurando il livello di *slump* a diversi tempi fino a 60 minuti dopo l'iniziale mescolamento. Prima di procedere alle misure successive dello *slump* ai tempi prefissati il calcestruzzo è stato mescolato per circa 2 minuti.

Sono stati confezionati dei provini cubici da ogni impasto realizzato, prelevando il calcestruzzo al termine dei 5 iniziali minuti di mescolamento. Questi provini cubici sono stati compattati e successivamente stagionati alla temperatura di 20°C con umidità relativa del 95%. E' stata misurata la resistenza meccanica a compressione del conglomerato dopo 1, 7 e 28 giorni dalla realizzazione.

5. RISULTATI

La Tabella 4 mostra la massa volumica e il contenuto di aria di tutti gli impasti di calcestruzzo confezionati con il cemento portland puro (CEM I 42.5 R) o con il cemento di miscela al calcare (CEM II/A-L 42.5R). Il contenuto iniziale di aria degli impasti di calcestruzzo confezionati con il ligninsolfonato puro o con le miscele in cui il ligninsolfonato era presente per il 50% è risultato significativamente più alto di quello misurato per tutti gli altri impasti di calcestruzzo additivati con superfluidificante. Tuttavia, dopo 15 minuti la maggior parte di questa aria di natura instabile veniva espulsa dall'impasto.

I risultati in termini di lavorabilità iniziale e di perdita di lavorabilità per il conglomerato allo stato fresco, e di resistenza meccanica, per quanto riguarda il conglomerato indurito, vengono di seguito esaminati per ognuna delle seguenti combinazioni di additivi: *Acrilico-Naftalinico*, *Acrilico-Melamminico* ed *Acrilico-Ligninsolfonato*.

Table 4 - Contenuto d'aria e massa volumica dei calcestruzzi dopo 5 minuti di miscelazione degli ingredienti in betoniera

CALCESTRUZZO	Con CEM I 42.5 R		Con CEM II/A-L 42.5 R	
	Massa volumica (kg/m ³)	Volume d'aria (%)	Massa volumica (kg/m ³)	Volume d'aria (%)
Riferimento	2414	1.4	2416	1.6
A (100%) - N (0%)	2435	1.7	2410	1.9
A (75%) - N (25%)	2440	1.6	2425	1.8
A (50%) - N (50%)	2445	2.4	2425	2.0
A (25%) - N (75%)	2435	2.2	2438	1.6
A (0%) - N (100%)	2440	2.0	2442	1.5
A (100%) - M (0%)	2443	1.8	2444	1.1
A (75%) - M (25%)	2438	1.8	2440	1.7
A (50%) - M (50%)	2446	1.7	2448	1.5
A (25%) - M (75%)	2448	1.7	2425	1.9
A (0%) - M (100%)	2442	1.7	2437	1.8
A (100%) - L (0%)	2425	1.8	2423	1.4
A (75%) - L (25%)	2420	2.0	2413	1.8
A (50%) - L (50%)	2410	2.9	2387	2.9
A (25%) - L (75%)	2360	4.4*	2343	4.9*
A (0%) - L (100%)	2212	> 8*	2221	> 8*

*minore di 2.5% dopo 15 minuti di miscelazione

6. LA COMBINAZIONE ACRILICO-NAFTALENSOLFONATO

In alcuni casi i produttori di calcestruzzo utilizzano una combinazione di superfluidificanti acrilico e naftalinico, per produrre calcestruzzi caratterizzati da una ridotta perdita di lavorabilità nel tempo, con l'obiettivo di ridurre il costo dell'additivo. Tuttavia, in particolari circostanze, l'effetto prodotto dall'impiego di queste miscele è stato peggiore di quello atteso per ognuno degli additivi superfluidificanti utilizzati singolarmente. Pertanto, uno degli scopi del presente lavoro è stato quello di confermare l'esistenza di questo effetto e di identificare le circostanze che lo determinano. Le Figure 1 e 2 mostrano le perdite di lavorabilità dei calcestruzzi additivati con superfluidificante rispettivamente confezionati con il cemento portland puro CEM I 42.5R e con il cemento di miscela al calcare CEM II/A-L 42.5R. Il superfluidificante acrilico puro A ha fornito prestazioni migliori rispetto a quelle garantite dal superfluidificante a base di naftalensolfonato sia in termini di maggiore *slump* iniziale, che di minore perdita di lavorabilità. In generale quando il superfluidificante acrilico è stato sostituito parzialmente dal superfluidificante a base naftalinica il livello iniziale dello *slump* del calcestruzzo è risultato minore e, allo stesso tempo, si è rilevata una maggiore perdita di lavorabilità rispetto alle prestazioni ottenibili con il solo superfluidificante acrilico puro. Inoltre, è stato registrato una sorta di effetto "pessimale" (opposto di effetto sinergico) per lo *slump* del calcestruzzo confezionato con il cemento al calcare (Fig. 2): quando è stato utilizzato il superfluidificante ibrido costituito per il 25% da polimero acrilico e per il 75% da naftalensolfonato, le prestazioni dell'impasto sono risultate significativamente peggiori rispetto

a quelle ottenute con gli altri additivi ibridi o con i singoli additivi puri. Questo effetto è più evidente nella Figura 3 dove lo *slump* a differenti tempi viene riportato in funzione della composizione del superfluidificante ibrido A-N.

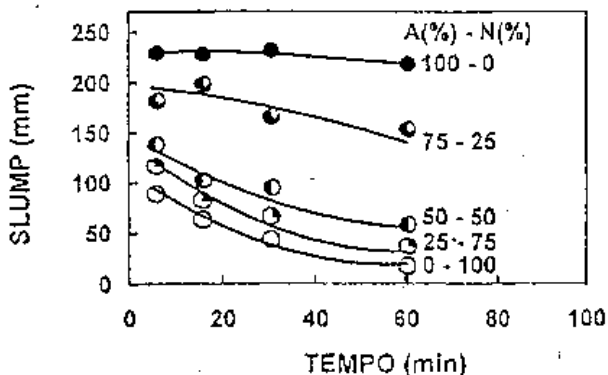


Fig. 1 - Perdita di lavorabilità di calcestruzzi confezionati con cemento CEM I 42.5 R in funzione della composizione dell'additivo ibrido a base di superfluidificante acrilico (A) e naftalinico (N).

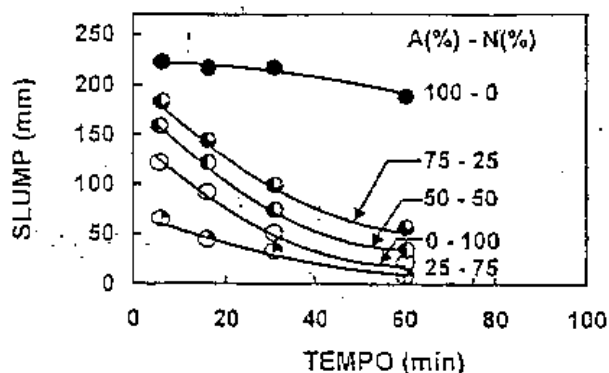


Fig. 2 - Perdita di lavorabilità di calcestruzzi confezionati con cemento CEM II/A-L 42.5 R in funzione della composizione dell'additivo ibrido a base di superfluidificante acrilico (A) e naftalinico (N).

In accordo con i risultati riportati nel presente lavoro si potrebbe concludere che l'effetto pessimale del superfluidificante ibrido (25% A - 75% N) si registra per gli impasti di calcestruzzo confezionati con il cemento portland al calcare (Fig. 3) e non per gli impasti confezionati con il cemento portland puro (Fig. 4). Tuttavia, questo non è necessariamente vero giacchè, variando la fonte di provenienza di un determinato tipo di cemento, questo effetto pessimale può manifestarsi erraticamente indipendentemente dal tipo o dalla classe di resistenza del cemento impiegato. In alcuni casi gli impasti di calcestruzzo confezionati con lo stesso tipo di cemento provenienti dalla stessa cementeria, ma stoccato per periodi di tempo di diversi prima del suo utilizzo, hanno dato luogo a prestazioni variabili in maniera erratica con o senza l'effetto pessimale segnalato in precedenza per il superfluidificante ibrido a base di acrilico e naftalinico. Sebbene questo effetto sia erratico, esso si manifesta sempre con la stessa composizione della miscela ibrida acrilico-naftalensolfonato: 25% di A e 75% di N. E' da segnalare, inoltre, che i superfluidificanti ibridi (polimero acrilico compreso tra 50 e 75%) sembrano essere più viscosi rispetto alla soluzione acquosa dei polimeri puri (6). Tuttavia, la più alta viscosità delle miscele di superfluidificanti costituiti da polimero acrilico e naftalensolfonato sembra sia da attribuire da una modifica chimica dell'additivo ibrido, piuttosto che ad un diretta influenza sul più basso livello di *slump* del corrispondente calcestruzzo additivato. E' ragionevole assumere, quindi, che ci siano delle reazioni chimiche tra il polimero acrilico e il naftalensolfonato che riducono l'effetto superfluidificante in presenza di fattori concorrenti che sono connessi con la composizione del cemento e con il suo periodo di stoccaggio prima dell'utilizzo nel calcestruzzo. Sebbene i dati disponibili in questa

memoria non possono spiegare il meccanismo di questo effetto pessimale determinato dall'impiego del superfluidificante ibrido a base di polimero acrilico e naftalensolfonato, e soprattutto non spiega il perchè esso si manifesta in forma così erratica, da un punto di vista pratico questi dati sono in grado di spiegare perchè in particolari circostanze l'uso combinato del polimero acrilico e del superfluidificante a base di naftalensolfonato negli impianti di produzione del calcestruzzo può determinare prestazioni peggiori di quelle garantite dall'impiego di ognuno dei superfluidificanti puri.

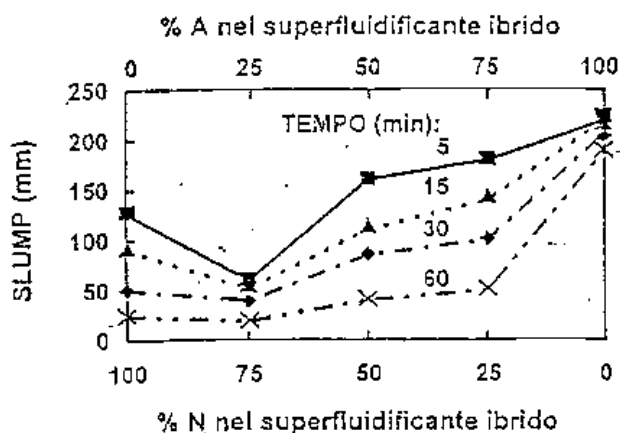


Fig. 3 - Influenza della composizione dell'additivo ibrido a base di superfluidificante acrilico (A) e naftalinico (N) sulla lavorabilità di calcestruzzi confezionati con cemento portland al calcare (CEM II/A-L 42.5R).

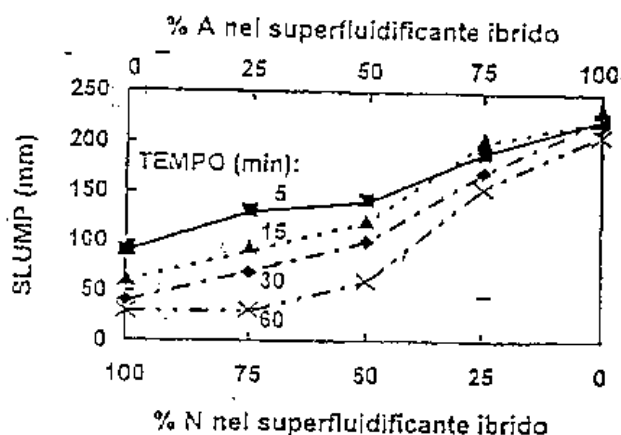


Fig. 4 - Influenza della composizione dell'additivo ibrido a base di superfluidificante acrilico (A) e naftalinico (N) sulla lavorabilità di calcestruzzi confezionati con cemento portland puro (CEM I 42.5R).

La Figura 5 mostra i risultati di resistenza meccanica a compressione degli impasti di calcestruzzo mostrati in Tabella 3 in presenza o in assenza del polimero puro a base acrilica o a base di naftalensolfonato. La resistenza a compressione dei calcestruzzi con gli additivi ibridi ottenuti per miscelazione del superfluidificante acrilico e di quello a base di naftalensolfonato sono compresi tra i valori ottenuti con il polimero acrilico puro e quelli registrati per il superfluidificante a base di naftalensolfonato. A pari rapporto acqua/cemento i calcestruzzi con superfluidificante raggiungono approssimativamente lo stesso livello di resistenza. La resistenza a compressione degli impasti di riferimento, particolarmente a lungo termine, sono più basse di quelle che si registrano per i corrispondenti calcestruzzi additivati con superfluidificante. Questo sembra essere correlato con una migliore dispersione dei granuli di cemento degli impasti con superfluidificante e quindi attribuibile ad un più elevato grado di idratazione dell'impasto alle lunghe stagionature.

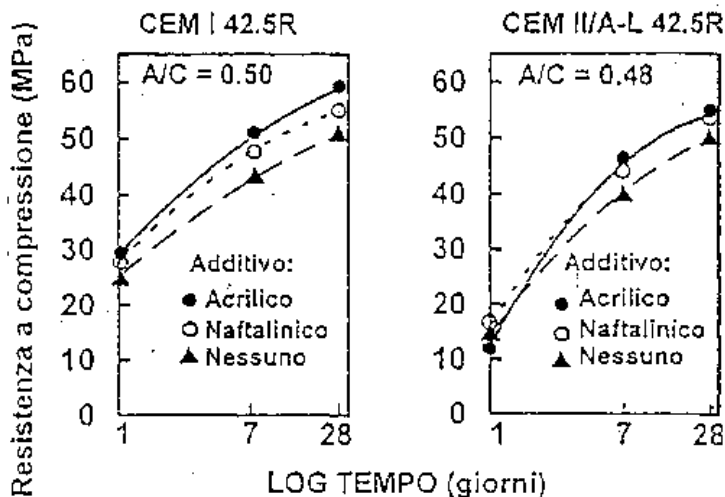


Fig. 5 - Resistenza a compressione in funzione del tempo del calcestruzzo senza additivo e di quelli additivati con il superfluidificante acrilico puro (A) e naftalinico (N) puro: i valori di resistenza dei calcestruzzi confezionati con gli additivi ibridi sono compresi tra quelli relativi ai polimeri puri.

7. LE COMBINAZIONI ACRILICO-MELAMMINICO

Le curve in Figura 6 mostrano la perdita di lavorabilità dei calcestruzzi additivati con superfluidificanti confezionati rispettivamente con il cemento portland puro e con il cemento portland di miscela al calcare. Il polimero acrilico puro (A) determina migliori prestazioni rispetto al superfluidificante puro a base melamminica (M) sia in termini di una maggiore lavorabilità iniziale che di una minore velocità della perdita di lavorabilità. Le prestazioni dei superfluidificanti ibridi ottenuti per miscelazione del polimero acrilico e di quello a base di melammina solfonata diminuiscono all'aumentare del contenuto del superfluidificante a base melamminica. Quanto affermato risulta vero per tutti i cementi che sono stati utilizzati per la presente sperimentazione. In altre parole, l'effetto pessimale, che talvolta veniva registrato per i superfluidificanti ibridi ottenuti per miscelazione del polimero acrilico e del naftalensolfonato (Figure 2 e 3), non è stato registrato per gli impasti confezionati con i superfluidificanti ibridi ottenuti per miscelazione del polimero acrilico e melammina solfonata indipendentemente dal tipo di cemento utilizzato per la realizzazione del calcestruzzo.

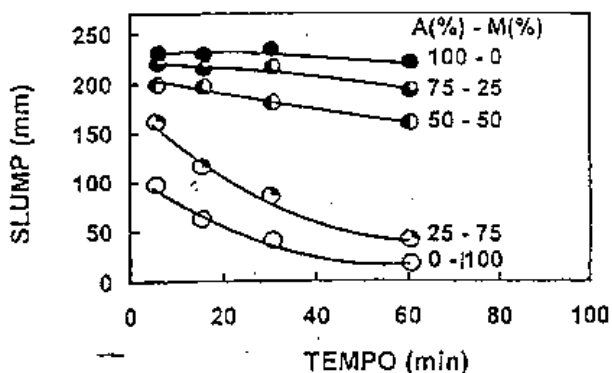


Fig. 6 - Perdita di lavorabilità di calcestruzzo confezionati con cemento CEM I 42.5R in funzione della composizione dell'additivo ibrido a base di superfluidificante acrilico (A) e melamminico (M).

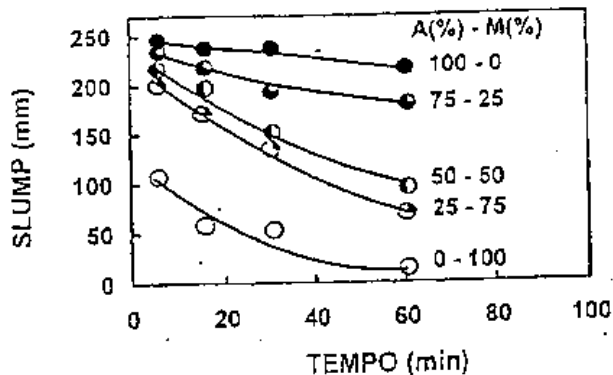


Fig. 7 - Perdita di lavorabilità di calcestruzzo confezionati con cemento CEM II/A-L 42.5R in funzione della composizione dell'additivo ibrido a base di superfluidificante acrilico (A) e melamminico (M).

L'influenza del polimero acrilico e della melammina solfonata sullo sviluppo della resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo a pari rapporto acqua/cemento è circa la stessa di quella già illustrata per gli additivi ibridi ottenuti per miscelazione del polimero acrilico con la naftalina solfonata, fatta eccezione per un più alto valore della resistenza meccanica ad un giorno quando l'impasto viene additivato con il polimero puro a base di melammina solfonata, ed in particolar modo quando questo additivo viene utilizzato in combinazione con un cemento portland di miscela (Fig. 8).

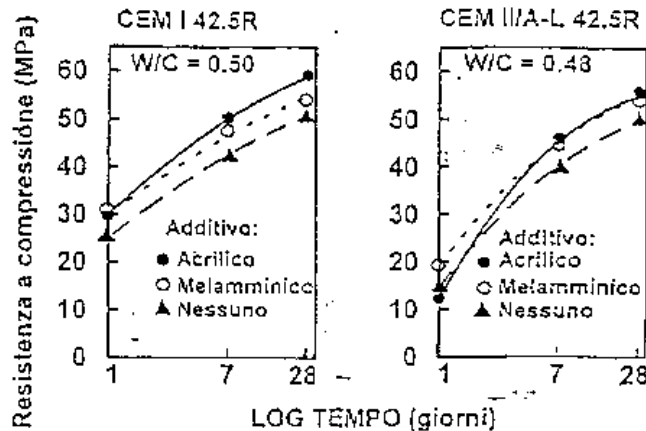


Fig. 8 - Resistenza a compressione in funzione del tempo del calcestruzzo senza additivo e di quelli additivati con il superfluidificante acrilico puro (A) e melamminico puro (M); i valori di resistenza dei calcestruzzi confezionati con gli additivi ibridi sono compresi tra quelli relativi ai polimeri puri.

8. LE COMBINAZIONI ACRILICO-LIGNINSOLFONATO

Le Figure 9 e 10 mostrano la perdita di lavorabilità per i calcestruzzi confezionati con il superfluidificante acrilico e il ligninsolfonato puri, e per le combinazioni ottenute miscelando questi due polimeri. Di nuovo, il polimero acrilico puro determina prestazioni migliori rispetto a quelle garantite dal ligninsolfonato puro in termini di una più alta fluidità iniziale. Tuttavia, la differenza fra le prestazioni dei due polimeri puri è stata molto minore rispetto a quella registrata per le miscele di additivi ibridi *A-N* oppure *A-M*. In sostanza, sembra che l'iniziale livello di lavorabilità dei calcestruzzi confezionati con ligninsolfonato puro è relativamente alto a causa dell'elevato contenuto di aria in forma di macrobolle registrate per gli impasti con questo additivo (Tabella 4). La conseguente perdita di lavorabilità di questo calcestruzzo è dovuta sostanzialmente alla perdita di parte di queste bolle di aria instabile (Tabella 4).

L'additivo superfluidificante ibrido, ottenuto mescolando il 25% di ligninsolfonato con il 75% del superfluidificante acrilico, ha evidenziato discrete prestazioni in termini di *slump* iniziale e una perdita di lavorabilità trascurabile fino ai 60 minuti. Inoltre, siccome il contenuto di aria di questi calcestruzzi confezionati con i superfluidificanti ibridi a base di polimero acrilico e ligninsolfonato è stata così bassa come quella degli altri impasti di calcestruzzo additivati con il polimero acrilico puro, anche lo sviluppo di resistenza è risultato all'incirca uguale rispetto a quello dei calcestruzzi confezionati con il solo polimero acrilico puro (Fig. 11). Questi risultati sembrano essere molto interessanti alla luce del fatto che il ligninsolfonato è caratterizzato da un costo più basso rispetto a quello del polimero acrilico (Tabella 1).

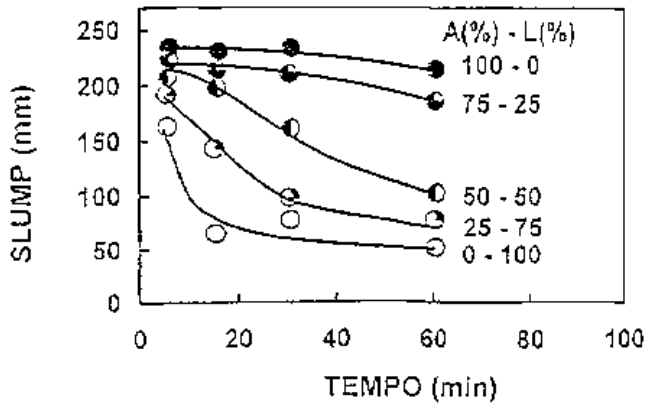


Fig. 9 - Perdita di lavorabilità di calcestruzzi confezionati con cemento CEM I 42.5R in funzione della composizione dell'additivo ibrido a base di superfluidificante acrilico (A) e ligninsolfonato (L).

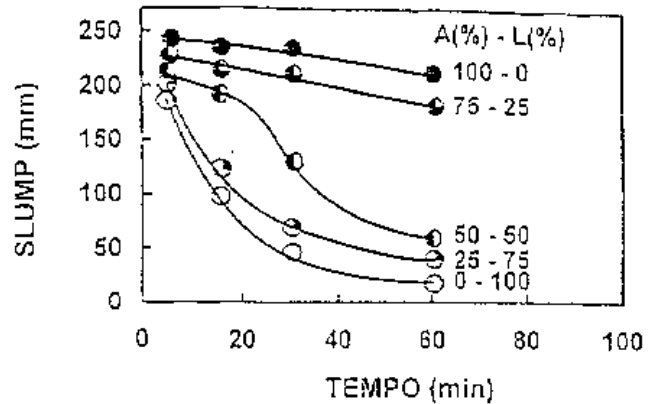


Fig. 10 - Perdita di lavorabilità di calcestruzzi confezionati con cemento CEM II/A-L 42.5R in funzione della composizione dell'additivo ibrido a base di superfluidificante acrilico (A) e ligninsolfonato (L).

Quando il contenuto di ligninsolfonato è stato aumentato, la perdita di lavorabilità è risultata molto più significativa (Figure 9 e 10) e la resistenza si è ridotta a un livello più basso di quello registrato per l'impasto di riferimento confezionato senza additivo (Fig. 11).

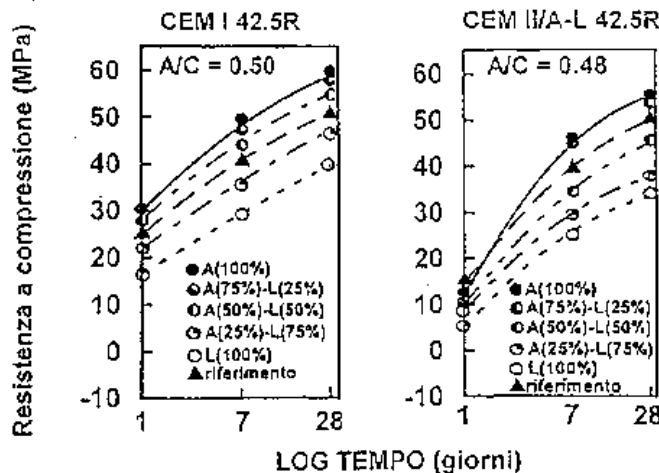


Fig. 11 - Resistenza a compressione in funzione del tempo dei calcestruzzi confezionati con gli additivi ibridi a base di superfluidificante acrilico (A) e ligninsolfonato (L).

9. CONCLUSIONI

Il polimero acrilico puro permette di conseguire prestazioni migliori rispetto a quelle garantite dagli altri superfluidificanti (a base di naftalina, melammina e ligninsolfonato modificato) utilizzati nella presente ricerca, in termini di un più alto livello di lavorabilità iniziale e minore perdita di lavorabilità nel tempo. La resistenza a compressione, a pari rapporto acqua-cemento, di tutti i calcestruzzi additivati con superfluidificante è risultata più o meno la stessa fatta eccezione per gli impasti confezionati con un elevato contenuto di ligninsolfonato (nel superfluidificante ibrido) la cui resistenza è risultata più bassa a causa della presenza di aria in forma di macrobolle intrappolate nella matrice cementizia.

Non c'è nessun vantaggio nel mescolare il polimero acrilico con il superfluidificante naftalinico giacché la lavorabilità si riduce e la perdita di lavorabilità aumenta al diminuire del componente acrilico. Inoltre, in alcune specifiche circostanze, cioè quando vengono utilizzati superfluidificanti ibridi ottenuti per miscelazione del 25% di acrilico e del 75% di naftalensolfonato, è stata registrata una sorprendente penalizzazione delle prestazioni del calcestruzzo sia in termini di minor *slump* iniziale che di mantenimento della lavorabilità nel tempo rispetto a quelle ottenute per gli impasti additivati con ognuno dei polimeri puri. Questa riduzione delle prestazioni è risultata erratica e non può essere spiegata al momento sulla base dei dati disponibili. A causa di questo comportamento erratico, quindi scarsamente riproducibile, i dati ottenuti indicano che l'impiego di superfluidificanti ibridi ottenuti per miscelazione del polimero acrilico e del polimero a base naftalensolfonato non deve essere al momento incoraggiato.

Nessun vantaggio specifico si ottiene utilizzando miscele di additivo ottenute per combinazione del polimero acrilico e della melammina solfonata giacché le prestazioni di questi additivi ibridi sono intermedie rispetto a quelle ottenute con i polimeri puri. Inoltre, queste miscele non sono proponibili in quanto il costo del superfluidificante a base melamminica (40% in soluzione acquosa) è anche più elevato di quello del superfluidificante acrilico (30% in soluzione acquosa).

I superfluidificanti ottenuti per miscelazione del polimero acrilico con ligninsolfonato sembrano possedere prestazioni all'incirca identiche a quelle conseguibili con il polimero acrilico puro purché il quantitativo del componente acrilico sia almeno pari al 75%. Nessuna modifica sostanziale nella perdita di lavorabilità, nel contenuto di aria e nello sviluppo di resistenza è stato registrato quando sono stati impiegati superfluidificanti ibridi ottenuti per miscelazione del 75% del polimero acrilico e del 25% di ligninsolfonato rispetto a quelle conseguibili con il polimero acrilico puro. Siccome il ligninsolfonato è molto più economico rispetto al polimero acrilico, l'impiego questi additivi ibridi nel calcestruzzo sembra essere vantaggioso da un punto vista economico.

10. RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il lavoro di Alessandra Galletti e Mara Meneghel nella preparazione del testo e delle figure del presente lavoro.

11. BIBLIOGRAFIA

1. Ramachandran, V.S. and Malhotra, V.M "Superplasticizers", Chapter 7 in Concrete Admixtures Handbook, Noyes Publications, 1995, pp. 410-517. Editor: V.S. Ramachandran.
2. Venuat, M. "Adjuvants et Traitements", Chantillon-Jours-Bagneux, 1984, pg. 830.

3. Cerulli, T., Collepardi, M., Coppola, L., Ferrari, G., Pistoiesi, C., Quek, F. and Zaffaroni, P. "Zero Slump-Loss Superplasticized Concrete", 18th Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore, 1993, pp. 73-79.
4. Collepardi, M. "Superplasticizers and Air Entraining Agents: State-of-the-Art and Future Needs", V.M. Malhotra Symposium "Concrete Technology: Past, Present, Future", S. Francisco, 1994, pp. 329-416. Editor: P.K. Mehta.
5. Collepardi, M. "Advances Chemical Admixtures for Concrete", Proceedings of the "Advances in Cement and Concrete", Durham, 1994, pp. 257-291. Editors: M.W. Grutzeck and S.L. Sarkar.
6. Cerulli, T. and Ferrari, G. (private communication).