

CALCESTRUZZO CON SUPERFLUIDIFICANTE

IN CLIMI CALDI

Mario COLLESPARDI^(*), Mauro GUELLA^(**) e Vincenzo MANISCALCO^(**)

(*) Dipartimento di Scienze dei Materiali e della Terra, Facoltà di Ingegneria, Università di ANCONA

(**) MAC S.p.A., Treviso

SOMMARIO

Sono noti i vantaggi tecnici ed economici dei calcestruzzi fluidi preparati con un rapporto acqua/cemento relativamente basso. Tuttavia, se la lavorabilità del calcestruzzo al momento della posa in opera è diminuita eccessivamente, a causa del trasporto soprattutto in climi caldi, gran parte di questi vantaggi sono perduti. Nella relazione sono esaminati i fattori che influenzano la perdita di lavorabilità ed il modo di prevenire questi inconvenienti.

SUMMARY

It is well known that flowing concretes with a relatively low water/cement ratio present technical and economical advantages. However, particularly in hot weather, the loss of workability can occur. When this happens, the advantages for the most part are lost. In the present paper factors affecting the loss of workability are examined and the way to prevent slump loss is discussed.

1. IL CALCESTRUZZO IN CLIMA CALDO

1.1 Generalità

Il clima caldo provoca problemi di produzione, trasporto, posa in opera e stagionatura del calcestruzzo che influenzano negativamente le caratteristiche del calcestruzzo indurito.

Scopo di questo rapporto è di esaminare quali di questi problemi possono essere risolti mediante l'uso dei superfluidificanti e identificare in quali condizioni questi additivi debbono essere usati per questo specifico obiettivo.

1.2 Effetti del clima caldo

I paragrafi 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3 che seguono riassumono gli effetti indesiderabili del clima caldo sul calcestruzzo fresco e indurito secondo il Comitato ACI n. 205.

1.2.1 Calcestruzzo fresco

- a) Maggiore acqua di impasto.
- b) Maggiore perdita di lavorabilità e pertanto maggiore tendenza ad aggiungere acqua sul cantiere.
- c) Tempi di presa più brevi e quindi maggiore difficoltà di manipolazione, finitura e stagionatura e maggior rischio di giunti freddi.
- d) Maggiore tendenza al ritiro plastico.
- e) Maggiore tendenza a perdere parte dell'aria inglobata.

1.2.2 Calcestruzzo indurito

- f) Minore resistenza meccanica iniziale e finale dovuta all'uso di un maggior rapporto acqua/cemento ed a temperature elevate.
- g) Maggiore ritiro igrometrico dovuto al più alto rapporto acqua/cemento ed a una più alta velocità di evaporazione dell'acqua.
- h) Maggiore tendenza alle fessurazioni causate da differenze di temperatura nel calcestruzzo per il maggior sviluppo di calore iniziale.
- i) Minore durabilità per l'alto rapporto acqua/cemento e per il minor contenuto di aria inglobata.
- l) Minore uniformità del calcestruzzo superficiale.

1.2.3 Altri fattori

Secondo il Comitato ACI 305 (I) esistono altri fattori che possono complicare le operazioni in clima caldo:

- m) Cementi ad alta resistenza meccanica iniziale.
- n) Alta resistenza meccanica a compressione iniziale che quindi richiede alti contenuti di cemento.
- o) Alta percentuale di ferri d'armatura.
- p) Betoniere di notevoli dimensioni.
- q) Movimento di grosse quantità di calcestruzzo a bassa lavorabilità con pompe o nastri trasportatori.
- r) Uso di cemento espansivo per confezionare calcestruzzo a ritiro compensato.

2. SUPERFLUIDIFICANTI

Da molti anni si impiegano i fluidificanti nel calcestruzzo con cemento Portland. In genere per aggiunta di questi additivi ai dosaggi raccomandati dai produttori (0,2-0,3%) la riduzione del rapporto acqua/cemento a pari lavorabilità è poco più del 5%. Questo è del resto il minimo valore richiesto dalla ASTM C 494 per rientrare nella classificazione di superfluidificanti. Quando questi additivi sono aggiunti a pari rapporto acqua/cemento lo slump aumenta mediamente di 50 mm. In tal caso questi additivi sono comunemente chiamati fluidificanti piuttosto che riduttori d'acqua. Maggiori riduzioni d'acqua e maggiori aumenti di slump generalmente sono accompagnati da esagerati ritardi di presa dovuti agli alti dosaggi di questi additivi. Ciò è dovuto all'effetto ritardante dei componenti principali (ligninsolfonato, acidi carbossilici idrossilati) o di quelli secondari (carboidrati, zucchero) presenti negli additivi riduttori d'acqua.

I superfluidificanti sono nuovi tipi di additivi recentemente introdotti anche in Nord America, e usati in Giappone e in Europa sin dagli anni settanta. Secondo la norma ASTM C 494-80 la riduzione del rapporto acqua/cemento dovuta all'aggiunta di questi additivi è di almeno il 12%. Tuttavia, maggiori riduzioni di acqua di impasto (dal 20 al 30%), sono possibili usando i superfluidificanti a disposizione sul mercato. Negli ultimi tre anni si sono svolti molti Simposi internazionali in Canada, USA, Messico e in Europa sui superfluidificanti nel calcestruzzo (II-VIII)

I superfluidificanti sono solitamente costituiti da polimeri lineari di sintesi a base di melamina solfonata o naftalina solfonata (Fig. 1), sebbene alcuni di essi comprendono ligninsolfonati modificati privati dei componenti più ritardanti (VIII-IX). I superfluidificanti a base di polimeri di sintesi possono essere usati a dosaggi più elevati (1-3%) dei tradizionali fluidificanti conseguendo una maggiore riduzione nel rapporto acqua/cemento o un maggior aumento nello slump senza presentare l'effetto collaterale e non desiderabile di un eccessivo ritardo nella presa.

2.1 Meccanismo di azione dei superfluidificanti.

Generalmente si ritiene che i superfluidificanti siano adsorbiti sulle particelle di cemento. A causa dei gruppi solfonici ($-SO_3^-$) negativi presenti nelle molecole dei superfluidificanti, le particelle di cemento si caricano negativamente e si respingono l'un l'altra. A causa di questo effetto le particelle di cemento si disperdono meglio (Fig. 2) e la miscela di calcestruzzo diventa più fluida. Alcuni autori (X-XI) hanno provato che l'aggiunta di superfluidificanti a base di polimeri di melamina solfonata o di naftalinsolfonato, provoca un notevole cambiamento del potenziale zeta. Tuttavia, Collepari, Corradi e Valente (XII) in studi recenti, hanno concluso che l'adsorbimento dei superfluidificanti sulle particelle di cemento, piuttosto che il cambiamento di potenziale zeta, è provocare l'effetto fluidificante.

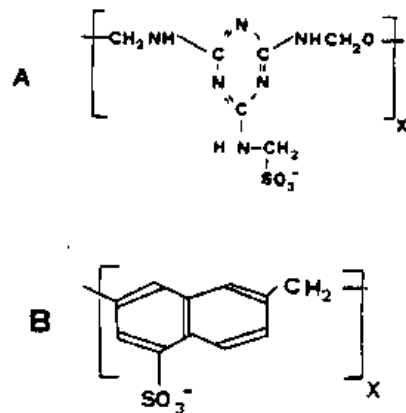


Fig. 1 Polimeri solfonati di melammina (A) e naftalina (B).

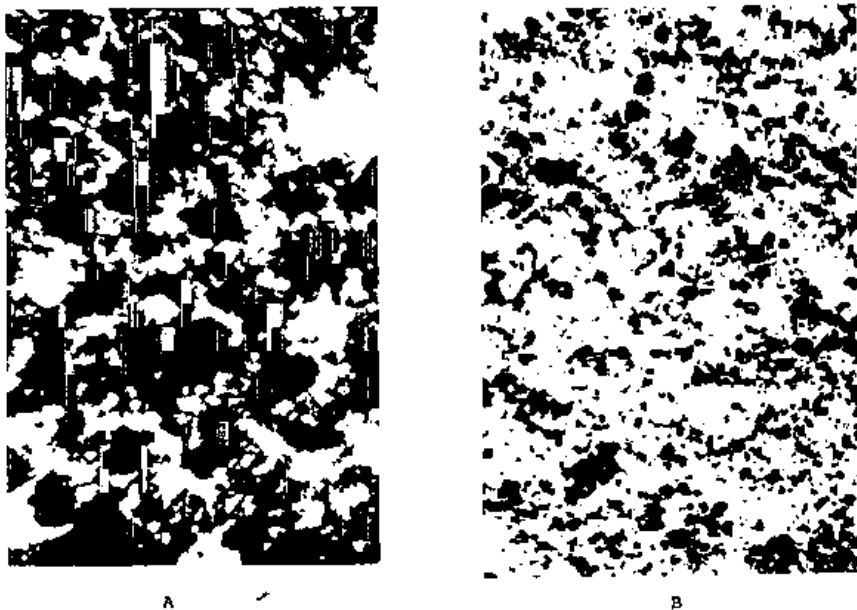


Fig. 2 Dispersione di particelle di cemento prima (A) e dopo (B) l'aggiunta di un superfluidificante.

2.2 Metodi di utilizzazione dei superfluidificanti.

Esistono tre possibili modi di utilizzare questi additivi:

- Produrre calcestruzzi con rapporti acqua/cemento molto più bassi per aumentare la resistenza meccanica, la durabilità, l'impermeabilità, ecc. In linea di massima è possibile ridurre - a pari lavorabilità ed a pari dosaggio di cemento - l'acqua di impasto dal 20% al 30% con incrementi di resistenza meccanica dal 50 al 100% rispetto ai calcestruzzi non additivati. Gli effetti sono tanto più marcati quanto più alto è il contenuto di cemento. In questo tipo di applicazione la migliore denominazione di questi additivi è "super-riduttori d'acqua".
- Produrre calcestruzzi molto più fluidi. In questo tipo di applicazione la migliore terminologia di questi additivi è "superfluidificanti". A seconda del dosaggio e del tipo di additivo, a pari dosaggio di cemento e pari acqua di impasto, è possibile aumentare lo slump da circa 75 a 200 mm, o da 20 a 250 mm. È possibile in sostanza produrre calcestruzzi autolivellanti con eccellenti caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche paragonabili a quelle di un calcestruzzo asciutto.
- Produrre calcestruzzi con minor dosaggio di cemento. A pari rapporto acqua/cemento è possibile ridurre sia il dosaggio di cemento che l'acqua di impasto, in modo da non modificare né la resistenza meccanica né la lavorabilità. Questo tipo di applicazione - particolarmente adatto per alti dosaggi di cemento, diciamo oltre 400 Kg/m³ - risulta economicamente conveniente laddove il costo del cemento, come per esempio in Medio Oriente, è particolarmente elevato rispetto al costo degli additivi. Tuttavia esistono anche importanti ragioni tecniche, particolarmente in climi caldi, per evitare eccessivi contenuti di cemento: ridurre il calore di idratazione, le fessurazioni di natura termo-differenziale, il ritiro plastico e quello igrometrico.

È ovviamente anche possibile utilizzare questi additivi per conseguire una combinazione dei tre summenzionati effetti.

2.3 Il mix-design nei calcestruzzi con superfluidificante

Se l'additivo è impiegato per ridurre solo l'acqua di impasto (metodo a nel paragrafo 2.2), o per ridurre sia l'acqua di impasto che il contenuto di cemento (metodo c nel paragrafo 2.2), non è richiesta alcuna particolare modifica nel proporzionamento della miscela, purché la quantità di inerte venga automaticamente aumentata per rimpiazzare il volume di acqua e/o cemento.

Se invece, l'additivo è usato come superfluidificante per trasformare un calcestruzzo asciutto in un calcestruzzo autolivellante è necessario tener conto di due modifiche:

- Aumentare la percentuale di sabbia di circa il 5%, oppure aggiungere la cenere volante (XIII). Tale aggiunta è particolarmente necessaria nel caso di impasti relativamente magri (con un contenuto di cemento minore di 300 Kg/m³) per evitare la segregazione ed

il bleeding.

2. Aumentare il dosaggio di agente aerante, per i calcestruzzi che debbano resistere ai cicli di gelo-disgelo, al fine di compensare la perdita di aria nei calcestruzzi fluidi (XIV).

E' consigliabile fare degli impasti di prova per arrivare al giusto proporzionamento per la sabbia ed il volume di aria.

3.4 Perdita di lavorabilità

La lavorabilità del calcestruzzo diminuisce sempre con il trascorrere del tempo, particolarmente nei climi caldi. In generale il fenomeno è più accentuato in presenza dei superfluidificanti. La velocità di perdita di lavorabilità dipende dal tipo di superfluidificante e dal suo dosaggio, dal tipo di cemento e dalla temperatura del calcestruzzo. Tutti questi aspetti del problema sono specificatamente discussi, per i calcestruzzi in climi caldi, nel paragrafo 3.2.

3.5 Influenza dei superfluidificanti sul calcestruzzo indurito.

In generale tutti gli aspetti dei superfluidificanti sul calcestruzzo indurito, dipendono sostanzialmente dal minor rapporto acqua/cemento e/o dalla maggiore lavorabilità. Essi sono schematicamente riassunti in Tabella 1. Malhotra (XIII) ha recentemente pubblicato un rapporto sulle proprietà dei calcestruzzi con superfluidificanti.

Per quanto concerne lo specifico effetto dei superfluidificanti sul calcestruzzo indurito, confezionato in clima caldo, esso è discusso nei paragrafi da 4.1 a 4.5.

Tabella 1 Proprietà dei calcestruzzi con superfluidificante in confronto a quelli senza additivo.

Resistenza meccanica e modulo elastico più alti (13, 16, 20)
Aderenza ai ferri di armatura più alta (16)
Protezione dei ferri di armatura più alta (25)
Resistenza all'attacco solfatico più alta (22, 23)
Resistenza ai cicli di gelo-disgelo più alta (13, 20)

3. EFFETTI DEI SUPERFLUIDIFICANTI SUL CALCESTRUZZO FRESCO IN CLIMI CALDI

Verranno ora esaminati gli effetti dei superfluidificanti sui fattori a), b), c), d) ed e), del paragrafo 1.2.1 riguardanti il calcestruzzo fresco.

3.1 Effetto dei superfluidificanti sull'acqua di impasto in climi caldi.

La Fig. 3 mostra la richiesta d'acqua in funzione della temperatura

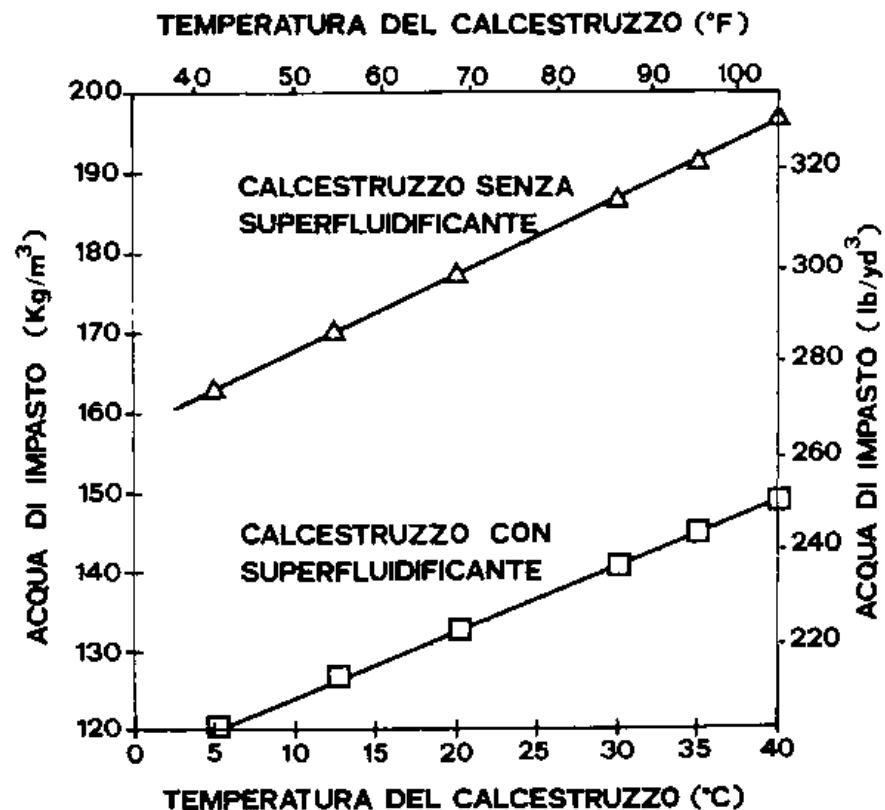


Fig. 3 Richiesta d'acqua a diverse temperature.

Diametro massimo della ghiaia = 25 mm. Modulo di finezza della sabbia = 2,8. Contenuto di Cemento Portland ordinario = 330 Kg/m³ (556 lb/yd³). Superfluidificante (Rheobuild 716) = 0,9% in peso del cemento. Slump = 75 mm (3 in).

del calcestruzzo per impasti normali ed impasti con superfluidificante aventi uno slump di 75 mm. L'aggiunta di un superfluidificante a base di naftalensolfonato, ha consentito di ridurre l'acqua di impasto del 25% circa. Aumentando la temperatura da 20° C a 40° C, la quantità di acqua di impasto passa da 177 Kg/m³ a 197 Kg/m³ nel caso della miscela normale e da 132 Kg/m³ a 148 Kg/m³ nel caso del calcestruzzo con superfluidificante. Pertanto i calcestruzzi con superfluidificante in climi caldi, diciamo a 35-40° C, necessitano di una minore quantità di acqua di impasto rispetto agli impasti normali alle temp-

ture normali, vale a dire tra 20-25° C circa. Ciò significa che, per quanto concerne la richiesta d'acqua, l'uso di acqua fredda o di ghiaccio, come è raccomandato dal Comitato ACI 305 per i climi caldi, non diventa strettamente necessario, se si impiegano calcestruzzi con superfluidificante.

3.2 Effetto dei superfluidificanti sulla perdita di lavorabilità nei climi caldi.

E' opinione comune che i calcestruzzi con superfluidificante perdano lavorabilità più rapidamente di quelli senza additivo e che questo problema sia aggravato nei climi caldi. Tuttavia la scelta di opportuni superfluidificanti (paragrafo 3.2.1) può mitigare notevolmente gli inconvenienti della perdita di lavorabilità. Inoltre, è di particolare importanza, per risolvere questo problema, impiegare questi additivi come superfluidificanti per migliorare la lavorabilità piuttosto che come super-riduttori d'acqua (paragrafo 3.2.3). Seguendo questi accorgimenti è stato possibile impiegare pompe o nastri trasportatori per il movimento di grandi quantità di calcestruzzo con superfluidificante, non solo in condizioni climatiche pressoché normali, ma anche in climi particolarmente caldi, come in Medio Oriente.

3.2.1 Effetto della temperatura sulla perdita di lavorabilità.

In generale, un aumento di temperatura fa aumentare sensibilmente la velocità di perdita di lavorabilità. La Tabella 2 mostra l'influenza

Tabella 2 Influenza della temperatura e del tipo di superfluidificante sulla perdita di slump (mm). Contenuto di cemento Portland ordinario = 110 Kg/m³ (522 lb/yd³). Diametro massimo dell'inerce = 25 mm. Additivo a base di NSP = 0,9% del cemento.

Tempo (min)	Superfluidificante tipo F (1) (ASTM C 494 - 80)			Superfluidificante tipo G (2) (ASTM C 494 - 80)		
	5 C (41 F)	20 C (68 F)	40 C (104 F)	6 C (43 F)	21 C (70 F)	39 C (102 F)
0	225	215	220	220	220	220
30	200	180	90	210	200	220
45	190	140	45	205	200	180
60	165	60	25	210	190	155
120	145	20	0	200	165	110

(1) Tipo F = normale (2) Tipo G = ritardante

del tipo di superfluidificante e della temperatura sulla perdita di lavorabilità di calcestruzzi trasportati in autobetoniera con temperature ambientali comprese tra 5° C e 40° C. Anche se ciò non è sempre vero, in generale più alto è il dosaggio del superfluidificante mino-

re è la perdita di lavorabilità.

3.2.2 Effetto della composizione del cemento sulla perdita di lavorabilità.

Alcuni dati sperimentali (XVI) indicano che un maggior contenuto di C₃A fa aumentare la perdita di lavorabilità, mentre un contenuto di SO₃ maggiore di quello normalmente impiegato fa diminuire la velocità di perdita di lavorabilità (XVII). Tuttavia, l'aspetto più importante riguarda la tendenza alla falsa presa dei cementi. In genere cementi stuccati più a lungo, e quindi più sottoposti all'azione ed al contatto dell'anidride carbonica, presentano una maggior velocità di perdita di lavorabilità indipendentemente dall'aggiunta di superfluidificante.

Il controllo della falsa presa dei cementi mediante la Norma ASTM 451-75 (su pasta) o meglio mediante la norma ASTM C 359-69 (su malta) dovrebbe essere presa in maggior considerazione nei climi caldi, se si vuole contribuire ad una radicale soluzione del problema riguardante la perdita di lavorabilità. Infatti, la tendenza alla falsa presa del cemento, particolarmente nei climi caldi, aggrava sensibilmente il problema della perdita di lavorabilità.

3.2.3 Effetto della lavorabilità iniziale sulla perdita di lavorabilità.

I dati riportati in Tabella 3 mostrano la grande influenza della lavorabilità iniziale sulla perdita di lavorabilità di calcestruzzi con e senza superfluidificante di tipo ritardante. Si può vedere come ad una maggiore perdita di lavorabilità iniziale corrisponda una minore velocità di perdita di lavorabilità. In particolare, per lavorabilità iniziali corrispondenti a 100-175 mm la velocità di perdita di lavorabilità dei calcestruzzi con superfluidificante è maggiore rispetto agli impasti normali. Tuttavia, per lavorabilità iniziali corrispondenti a calcestruzzi fluidi con slump di 225-250 mm, la velocità di perdita di lavorabilità è leggermente inferiore a quella degli impasti normali. Quest'aspetto del problema è particolarmente importante per i calcestruzzi in clima caldo, per i quali si raccomanda quindi di utilizzare il superfluidificante più per aumentare la fluidità fino a valori di 225-250 mm, piuttosto che come riduttori d'acqua per calcestruzzi di consistenza plastica. D'altra parte al contrario dei calcestruzzi fluidi senza superfluidificanti, i calcestruzzi autolivellanti con superfluidificante, purché privi di segregazione (paragrafo 2.3), possono essere facilmente pompati.

In conclusione l'impiego di superfluidificanti, purché di tipo ritardante costituisce un utilissimo ausilio non solo per migliorare la lavorabilità del calcestruzzo senza dover aumentare l'acqua d'impasto, ma anche per conservare meglio la lavorabilità senza dover ricorrere ad ulteriori aggiunte di acqua nel cantiere.

3.3 Effetto dei superfluidificanti sui tempi di presa.

I tempi di presa risultano notevolmente ridotti alle alte temperature. Ciò crea difficoltà in climi caldi per quanto concerne la vibrazione

Tabella 3 Influenza della lavorabilità sulla perdita di lavorabilità. Contenuto di cemento = 320 Kg/m^3 (555 lb/yd^3) per tutti i calcestruzzi ad eccezione del D dove il contenuto di cemento è stato 243 Kg/m^3 (578 lb/yd^3). Tipo di superfluidificante = G (ASTM C 494-80). Dosaggio di additivo = $0.61/100 \text{ Kg}$ di cemento.

Calcestruzzo	A con superfluidificante	A' senza superfluidificante	B con superfluidificante	B' senza superfluidificante	C con superfluidificante	C' senza superfluidificante	D con superfluidificante
Acqua di Impasto (kg/m^3) (lb/yd^3)	165 278	208 350	172 289	228 383	178 300	247 416	172 289
A/C	0.50	0.63	0.52	0.69	0.54	0.75	0.50
Resistenza mec Canica a compressione (28 gg)							
(N/mm^2) (psi)	42 6090	28 4060	46 5800	25 3630	38 5510	22 3190	40 5860
TEMPO (ore)							
			SLUMP (mm)				
0.0	115	120	165	180	240	240	240
0.5	30	85	120	130	220	215	220
1.0	15	30	40	110	220	210	210
1.5	0	15	20	65	210	180	210
2.0	0	0	10	25	205	130	200
2.5	0	0	0	5	180	100	175
3.0	0	0	0	0	140	55	130

del calcestruzzo e la sua finitura. Esistono inoltre rischi maggiori di avere giunti freddi. Secondo la norma ASTM C 494-80 i superfluidificanti possono essere di due tipi: F o G. In Tabella 4 sono riassunte le variazioni nei tempi di presa richieste dalla norma ASTM C 494-80.

Tabella 4 Tempi di presa. Deviazioni consentite dalla specifica ASTM C 494-80 rispetto al calcestruzzo non additivato

Deviazione consentita (h : min)	Superfluidificante	Superfluidificante
	Tipo F	Tipo G
Iniziale : al meno	...	1:00 dopo
non più di	1:00 prima ne 1:30 dopo	3:30 prima
Finale : al meno
non più di	1:00 prima ne 1:30 dopo	3:30 dopo

In genere è sempre possibile trovare, per ogni superfluidificante, un adeguato dosaggio tale che la variazione del tempo di presa rispetto all'impasto senza additivo, rientri nei limiti indicati in Tabella 4 e che soddisfi anche tutti gli altri requisiti della Norma ASTM C 494-80. Tuttavia, in linea di massima il dosaggio richiesto per rientrare nei limiti imposti dalla Tabella 4 difficilmente consente anche di risolvere i reali problemi sul cantiere quando si lavora in climi caldi.

Quest'aspetto del problema è di carattere generale e non riguarda solo i superfluidificanti. Dal punto di vista pratico, è interessante notare che Daugherty e Kowaleski (X), in un'indagine riguardante l'azione di 30 additivi commerciali o preparati in laboratorio su diversi cementi a temperature comprese tra $21,1$ e $43,3^\circ \text{C}$, hanno messo in evidenza l'inadeguatezza della norma ASTM C 494-68 che definisce la categoria degli additivi ritardanti. Questa norma in realtà è stata concepita per i cementi Portland normali da idratare a temperatura ambiente (23°C). Quando si impiegano cementi diversi e si lavora a temperature più elevate, per esempio a $30-50^\circ \text{C}$, le quali appunto richiedono l'impiego di un additivo ritardante, la norma risulta inadeguata.

Si verifica spesso, per esempio, che un additivo ritardante, il quale risponde a tutti i requisiti della norma ASTM, di fatto non sia poi in grado di garantire il ritardo richiesto dalle condizioni pratiche di impiego per le particolari condizioni climatiche e le esigenze di lavoro. Per esempio, se occorre trasportare il calcestruzzo in auto-

betoniera per 2-3 ore a 30-40° C, senza perdere significativamente la lavorabilità dell'impasto, è necessario impiegare additivi molto più ritardanti di quelli previsti dalla norma ASTM.

In generale, è possibile controllare l'entità del ritardo attraverso il dosaggio di additivo, ma è sempre consigliabile procedere a delle prove preliminari per verificare l'azione dell'additivo sul particolare cemento da impiegare e nelle condizioni sperimentali le più vicine a quelle di lavoro.

I superfluidificanti di tipo G possono prolungare i tempi di presa entro limiti piuttosto ampi e superiori anche a quelli previsti dalla norma ASTM C 494-80 che prevede di effettuare le prove a $23 \pm 1,7^\circ$ C. Ciò diventa particolarmente importante in climi caldi dove, a causa delle elevate temperature, un ritardo di presa di 3 ore a 30 min rispetto all'impasto senza additivo (Tabella 4), può non essere sufficiente a risolvere il problema.

In Tabella 5 è mostrato l'effetto dell'aggiunta di un superfluidificante di tipo G a diverse temperature. Si può osservare che questo tipo di additivo provoca un ritardo nei tempi di presa. L'effetto è tanto più marcato quanto più alto è il dosaggio dell'additivo.

Tabella 5 Influenza di un superfluidificante di tipo G (ASTM C 494-80) sui tempi (h:min) di presa a diverse temperature.

Temperatura	Senza additivo			Con additivo (0.7%)			Con additivo (1.1%)		
	5 C (41 F)	20 C (68 F)	30 C (100 F)	5 C (41 F)	20 C (68 F)	30 C (100 F)	5 C (41 F)	20 C (68 F)	30 C (100 F)
Iniziale (h:min)	9:10	4:05	2:10	13:10	5:50	3:25	17:25	7:45	4:20
Finale (h:min)	12:20	5:40	3:45	10:05	7:05	4:55	20:10	9:30	5:50

3.4 Effetto dei superfluidificanti sul ritiro plastico

Le fessurazioni da ritiro plastico si formano quando la velocità di evaporazione è maggiore della velocità alla quale l'acqua di bleeding risale alla superficie del calcestruzzo. L'evaporazione dell'acqua risulta in genere favorita in climi caldi e ciò rende più grave il problema delle fessurazioni da ritiro plastico.

In generale un'alta temperatura del calcestruzzo, un'alta temperatura dell'aria, con vento forte ed una bassa umidità provocano una rapida evaporazione. Esistono tabelle (X) che indicano le temperature dell'aria che possono diventare critiche

per le fessurazioni da ritiro plastico a diversi gradi di umidità relativa. Quando la velocità di evaporazione è maggiore di $1 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ è necessario ricorrere a precauzioni che consentano di ridurre al minimo l'evaporazione, soprattutto nelle prime ore successive al getto. Queste precauzioni, che sono descritte in dettaglio nel riferimento (I), debbono essere prese in climi caldi anche quando si adoperano calcestruzzi con superfluidificanti. In altre parole, il fatto di aver ridotto l'acqua di impasto e/o la quantità di cemento con l'aggiunta dell'additivo riduttore d'acqua non deve assolutamente far trascurare di inumidire il terreno sottostante e i casseri, di bagnare il calcestruzzo messo in opera, di coprire con materiali saturi d'acqua tutte le superfici esposte o di applicare membrane stagionanti, ecc.

3.5 Effetto dei superfluidificanti sul contenuto d'aria del calcestruzzo fresco.

In generale l'alta temperatura dei climi caldi favorisce l'eliminazione dell'aria inglobata nel calcestruzzo fresco. Questo problema può essere aggravato dall'impiego di alcuni superfluidificanti per produrre calcestruzzi fluidi (XX). Si raccomanda pertanto di aumentare leggermente il dosaggio di aerante allo scopo di ottenere il desiderato contenuto d'aria per confezionare calcestruzzi resistenti al gelo.

4. EFFETTO DEI SUPERFLUIDIFICANTI SUI CALCESTRUZZI INDURITI IN CLIMI CALDI.

Nel seguito vengono esaminati gli effetti dei superfluidificanti sui fattori f), g), h), l), z), del paragrafo 1.2.2.

4.1 Influenza dei superfluidificanti sulla resistenza meccanica in climi caldi.

In Fig. 4 sono mostrate le resistenze a compressione di calcestruzzi con e senza un superfluidificante di tipo G a diverse temperature ed alla stessa lavorabilità. A causa dell'effetto ritardante di questo additivo la resistenza meccanica del calcestruzzo con superfluidificante alle brevi stagionature (1 giorno) ed alle basse temperature (5° C) risulta leggermente inferiore nonostante la riduzione del rapporto acqua/cemento. Tuttavia, già dopo qualche giorno il calcestruzzo con superfluidificante dà una resistenza meccanica considerevolmente più alta di quella del calcestruzzo senza additivo anche alle basse temperature. Al contrario, alle temperature più alte (20-35° C) l'aggiunta di un superfluidificante di tipo ritardante provoca un considerevole incremento della resistenza a compressione, sia alle brevi che alle lunghe stagionature, nonostante il ritardo nei tempi di presa (Tabella 5).

In ogni caso l'impiego di un adatto superfluidificante in climi caldi consente di: a) ottenere un calcestruzzo più fluido; b) di conservare meglio la lavorabilità; c) di ritardare i tempi di presa; d) di aumentare la resistenza meccanica sia alle brevi che alle lunghe stagionature. Questi vantaggi sono schematicamente riassunti nei dati della Tabella 6 che riguardano l'aggiunta di un superfluidificante di tipo G in parte per aumentare lo slump da 100 a 220 mm ed in parte per ri-

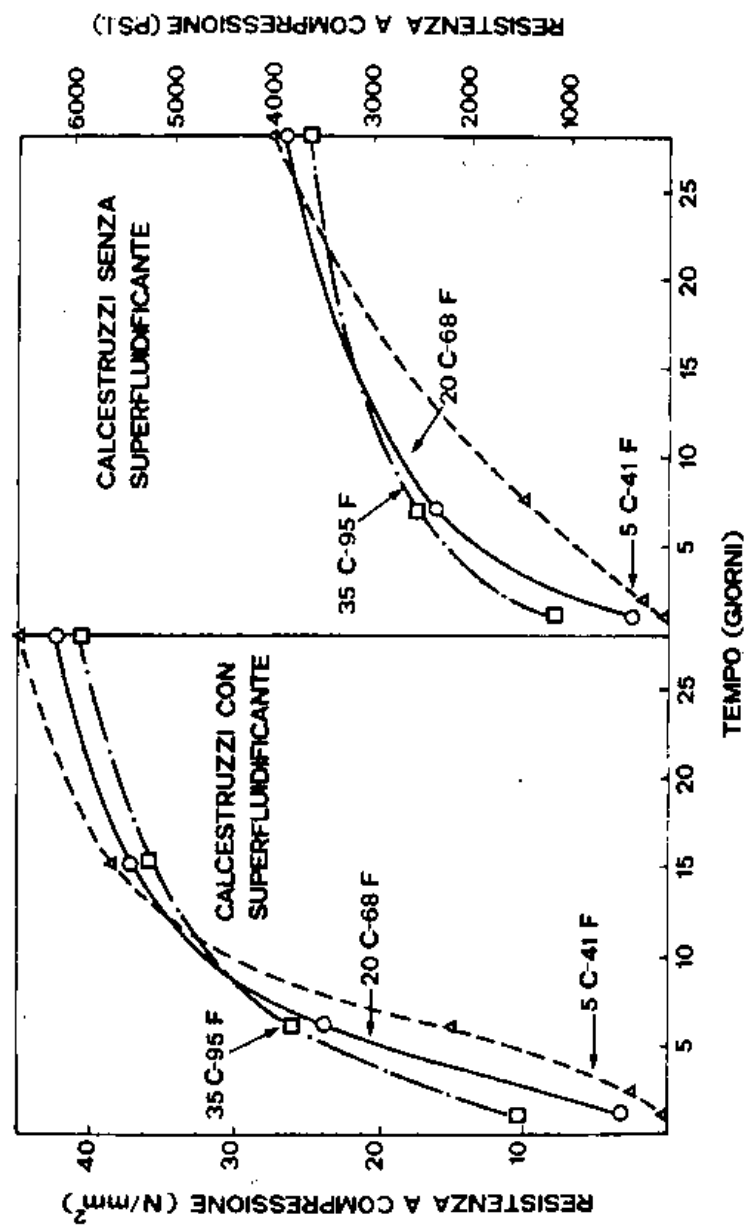


Fig. 4 Resistenza meccanica di calcestruzzi con e senza additivo a diverse temperature. Contenuto di cemento Portland ordinario = 320 Kg/m³ (540 lb/yd³). Slump = 240 mm (9,5 in). Superfluidificante di tipo B = 1% in peso del cemento.

Tabella 6 Dati tipici di un calcestruzzo con e senza superfluidificante tipo G (ASTM C 494-90). L'additivo è aggiunto per migliorare sia la lavorabilità che ridurre il rapporto acqua/cemento.

	Calcestruzzo senza additivo	Calcestruzzo con additivo
Acqua/cemento	0,55	0,49
Acqua di impasto (Kg/m ³)	193	147
Cemento Portland ordinario (Kg/m ³)	350	300
Sabbia (Modulo di Finezza = 2,8) (Kg/m ³)	600	750
Ghiaia (25 mm) (Kg/m ³)	1202	1200
Superfluidificante (l/m ³)	---	2,7
Peso Specifico (Kg/m ³)	2345	2400
Slump: subito dopo la miscelazione (mm)	100	220
Slump: 1 ora dopo la miscelazione (mm)	50	190
Tempi di presa Iniziale Finale (ore : min)	5:10 8:20	6:40 10:10
Resistenza a compressione 3 giorni 28 giorni (N/m ²)	15,5 35,0	20,5 43,6

durre il rapporto acqua/cemento da 0,55 a 0,49.

4.2 Influenza dei superfluidificanti sul ritiro igrometrico.

I dati sul ritiro di calcestruzzi con superfluidificante indicano che in generale esso è pari e inferiore al ritiro dei calcestruzzi di riferimento (XIII). Quando si usano i superfluidificanti per ridurre l'acqua di impasto, il ritiro igrometrico è leggermente inferiore (X-XI). Quando i superfluidificanti vengono impiegati per diminuire sia l'acqua di impasto che il contenuto di cemento (XXII) si ottengono maggiori riduzioni del ritiro igrometrico. Tuttavia Brooks, Wainwright e Neville hanno ottenuto alcuni contrastanti risultati. In un caso essi hanno trovato che l'aggiunta di un superfluidificante a pari rapporto acqua/cemento non modifica il ritiro di un calcestruzzo (XXIII). In un secondo caso (XXIV), invece, essi hanno trovato che lo stesso superfluidificante, aggiunto per ridurre il rapporto acqua/cemento, provocava un lieve aumento del ritiro rispetto a quello del calcestruzzo senza additivo.

4.3 Influenza dei superfluidificanti sulle fessurazioni di natura termico-differenziale.

La temperatura alta del calcestruzzo fa aumentare la velocità d'idratazione del cemento alle brevi stagionature. Di conseguenza, la velocità di sviluppo del calore di idratazione alle brevi stagionature, aumenta ulteriormente nei climi caldi. In particolare, nei getti di grande dimensione, quando la temperatura è alta, possono più facilmente verificarsi sensibili differenze tra la temperatura interna e quella esterna tali da causare fessurazioni.

L'uso dei superfluidificanti per ridurre sia il dosaggio di cemento che l'acqua di impasto (paragrafo 2.2.0) consente di ridurre il calore di idratazione in misura proporzionale alla riduzione del contenuto di cemento.

Nel caso in cui si adoperi un superfluidificante ritardante (tipo G), oltre al beneficio derivante dalla riduzione del cemento, si verifica anche una più lenta idratazione del cemento e quindi un ulteriore rallentamento nello sviluppo di calore. L'influenza dell'effetto ritardante e del più basso contenuto di cemento sull'aumento di temperatura all'interno di un calcestruzzo è mostrata in Fig. 5. In Tabella 7 sono mostrate le caratteristiche dei calcestruzzi riportati in Fig. 5. Si può osservare che impiegando il superfluidificante è possibile ridurre il contenuto di cemento da 350 Kg/m^3 a 300 Kg/m^3 con una conseguente riduzione nella salita della temperatura da 16°C a 12°C migliorando inoltre sia la resistenza meccanica che la lavorabilità.

4.4 Influenza dei superfluidificanti sulla durabilità del calcestruzzo in climi caldi.

Nel seguito viene discussa l'influenza dei superfluidificanti sulla durabilità intesa come capacità del calcestruzzo a resistere agli attacchi dei solfati e dei cloruri, ed ai cicli di gelo e disgelo.

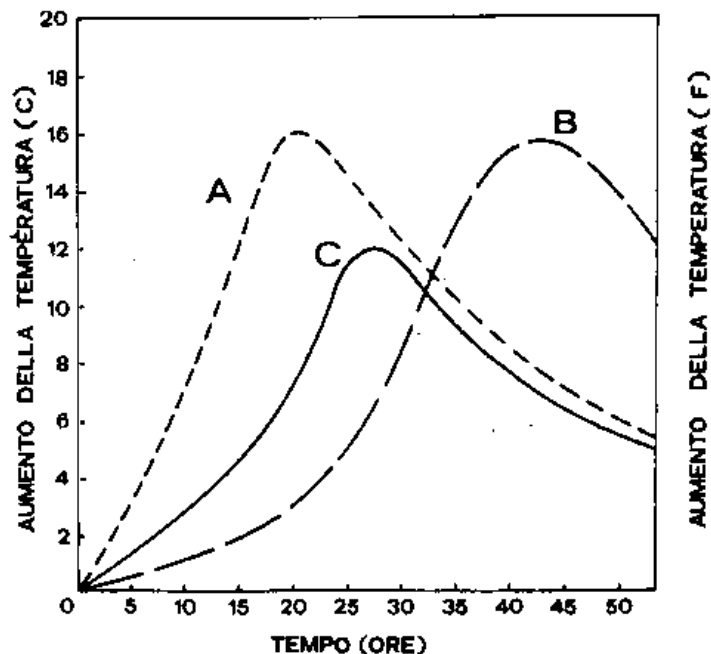


Fig. 5 Aumento della temperatura in funzione del tempo. La temperatura è stata misurata nel centro di un cilindro di calcestruzzo (altezza = 80 cm; diametro = 55 cm) protetto termicamente con polistirolo espanso (spessore 5 cm). La composizione dei tre calcestruzzi è mostrata in Tabella 7.

Tabella 7 Proporzionamento e proprietà dei calcestruzzi riguardanti la Fig. 5 (Inerte grosso = 25 mm; Modulo di finezza della sabbia = 2,8)

Calcestruzzo	Superfluidificante	Rapporto acqua/cemento	Slump (mm)	Contenuto di cemento Portland ordinario (Kg/m ³)	Resistenza meccanica a compressione (N/mm ²)		
					3 gg	7 gg	28 gg
A	---	0,55	100	350	15,5	23,6	35,0
B	1 %	0,42	100	350	25,1	40,0	53,6
C	1 %	0,49	220	300	20,5	32,9	41,6

4.4.1 Resistenza all'attacco solfatico

A causa della maggior richiesta d'acqua, e quindi del maggior rapporto acqua/cemento, la resistenza all'attacco solfatico dei calcestruzzi messi in opera in climi caldi è generalmente molto bassa. Anche impiegando un cemento resistente ai solfati (Tipo II e Tipo V) il rapporto acqua/cemento dovrebbe sempre rimanere al di sotto di certi limiti: 0,45 o 0,50 a seconda che si seguano le raccomandazioni del Comitato ACI 201 o 211 rispettivamente. Se si impiega un normale cemento Portland (Tipo I) i suddetti valori del rapporto acqua/cemento diventano ancora più bassi: 0,40 e 0,45 rispettivamente. Solo l'impiego dei superfluidificanti consente di adottare valori così bassi del rapporto acqua/cemento senza sacrificare la lavorabilità del calcestruzzo. Esistono dati in letteratura (XXII-XXIII) i quali dimostrano che la resistenza all'attacco solfatico del calcestruzzo con superfluidificante non è diversa da quella del calcestruzzo senza additivo avente lo stesso rapporto acqua/cemento. D'altro canto, il calcestruzzo con superfluidificante presenta una resistenza all'attacco solfatico assai maggiore di quella del calcestruzzo senza additivo avente la stessa lavorabilità ed un maggior rapporto acqua/cemento (XXIII).

4.4.2 Corrosione dei ferri d'armatura

Hattori (XXV) ha dimostrato che l'aggiunta di superfluidificanti a base di naftalinsolfonato al calcestruzzo non provoca alcuna corrosione significativa nei ferri d'armatura, mentre i ferri d'armatura di un calcestruzzo contenente cloruro di calcio e stagionato in maniera analoga (1 anno in acqua e 4 anni all'aperto) si presentano sensibilmente arrugginiti. D'altra parte, Collepari e Corradi (XVI) hanno pubblicato dei dati che dimostrano che l'aggiunta di superfluidificante a base di naftalinsolfonato migliora l'aderenza del calcestruzzo leggero o normale ai ferri di armatura.

4.4.3 Resistenza ai cicli di gelo e disgelo.

Sebbene ciò non sia molto frequente può verificarsi, che un calcestruzzo messo in opera e stagionato in climi caldi, sia in tempi successivi sottoposto a cicli di gelo e disgelo. In tal caso è necessario inglobare un certo volume di aria nel calcestruzzo. Nella maggior parte dei casi in un calcestruzzo contenente superfluidificante ed aerante la distribuzione delle microbolle d'aria non è quella raccomandata dall'American Concrete Institute (VIII, XIV, XX, XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX, XXX). Nonostante ciò, i calcestruzzi contenenti superfluidificante ed aerante sono uguali o leggermente più resistenti al gelo dei calcestruzzi contenenti solo aerante preparati con lo stesso slump. Sono state tuttavia riportate alcune eccezioni (XXVII, XXIX). Collepari, Corradi e Valente (XXII) hanno trovato che i calcestruzzi con superfluidificante e senza aerante generalmente contengono un volume di aria intrappolata maggiore di circa l'1% rispetto ai calcestruzzi senza additivo. Pertanto, per avere lo stesso volume di aria inglobata, l'aria totale contenuta in calcestruzzi con superfluidificante ed aerante dovrebbe essere approssimativamente l'1% in più rispetto a calcestruzzi di controllo con aerante.

4.4.5 Influenza dei superfluidificanti sulla superficie del calcestruzzo a vista in climi caldi.

In generale i calcestruzzi posti in opera in climi caldi presentano una minore uniformità sulla superficie. In realtà ciò è dovuto più alle variazioni di temperatura e di umidità relativa che all'alta temperatura di per sé. Infatti, variando la temperatura e l'umidità relativa dell'ambiente si verificano fondamentalmente i seguenti fenomeni: a) variazione nel quantitativo di acqua di impasto a pari lavorabilità; b) variazione nella quantità di acqua combinata con il cemento tra il tempo di miscelazione ed il tempo di applicazione dello stagionante; c) variazione nella quantità di acqua evaporata nel periodo di tempo compreso tra la scasseratura e l'applicazione dello stagionante. Tutto ciò porta ad avere una variazione della quantità di acqua libera che rimane nel calcestruzzo e quindi una minore uniformità superficiale.

Sebbene l'inconveniente tende a diminuire alle lunghe stagionature, tuttavia esso è completamente eliminabile. Purtroppo l'impiego dei superfluidificanti non aiuta in generale a risolvere questo problema. Un qualche miglioramento potrebbe essere realizzato solo variando il dosaggio di superfluidificante per mantenere costante il quantitativo di acqua di impasto nonostante la variazione di temperatura.

5. ALTRI EFFETTI DEL SUPERFLUIDIFICANTE

Come già si è detto nel paragrafo 1.2.3 esistono altri fattori che potrebbero ulteriormente complicare il lavoro in clima caldo. Tutte queste complicazioni possono essere mitigate o eliminate mediante l'impiego di superfluidificanti.

Per esempio, se si debbono confezionare calcestruzzi con alte resistenze meccaniche iniziali quando si lavora in climi caldi non è consigliabile impiegare cementi ad alta resistenza iniziale o aumentare il contenuto di cemento per non aggravare gli inconvenienti menzionati nel paragrafo 1.2.1. In tal caso è preferibile incrementare la resistenza meccanica iniziale riducendo il rapporto acqua/cemento grazie all'impiego dei superfluidificanti.

Così anche il getto di calcestruzzo per strutture con forti percentuali di ferri d'armatura non costituisce un grosso problema se si ricorre a calcestruzzi fluidi, autolivellanti con superfluidificante.

D'altra parte, se si debbono trasportare e gettare grossi volumi di calcestruzzo, con conseguenti rischi per il grande calore sviluppato è consigliabile impiegare un superfluidificante ritardante riducendo sia l'acqua di impasto che il quantitativo di cemento.

Il pompaggio non costituisce un problema in clima caldo se si impiegano calcestruzzi con superfluidificante seguendo gli accorgimenti discussi nei paragrafi 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3.

Infine, la maggior perdita di lavorabilità, che solitamente si verifica quando si impiegano cementi a ritiro compensato, può essere in gran parte mitigata mediante l'aggiunta di superfluidificanti purché questi

siano impiegati per confezionare calcestruzzi fluidi autolivellanti.

6. CONCLUSIONI

Molti dei problemi che sorgono durante la lavorazione del calcestruzzo in climi caldi possono essere risolti mediante l'impiego dei superfluidificanti, senza dover ricorrere ad altre misure quali quelle raccomandate dal Comitato ACI 305 (impiego di acqua fredda o ghiaccio, maggior numero di vibratorii e di pompe, ecc.) per i calcestruzzi normali. I problemi che possono essere risolti sono fondamentalmente quelli connessi alla possibilità di ridurre l'acqua d'impasto e/o il quantitativo di cemento e di aumentare la lavorabilità.

Non possono invece trovare soluzione quei problemi come la maggiore tendenza al ritiro plastico o la minore uniformità superficiale, legati all'evaporazione dell'acqua del calcestruzzo fresco. Per questi problemi l'aggiunta di superfluidificanti non peggiora né migliora fondamentalmente la situazione e si richiede pertanto di seguire le raccomandazioni del Comitato ACI 305 per il calcestruzzo in climi caldi (I).

7. BIBLIOGRAFIA

- (I) ACI Committee 305 "Hot Weather Concreting", J. Am. Concr. Inst. No. 8 - pg. 317-32 (1977)
- (II) *Superplasticizers in Concrete*, SP-62, American Concrete Institute, Detroit, 1979, 427 pg.
- (III) *Superplasticizers in Concrete*, Transportation Research Record No. 720, Transportation Research Board, 1979, 44 pg.
- (IV) *Proceedings of the Fourth International Symposium on Concrete Technology*, Faculty of Civil Engineering, University of N.L. Montezrey, N.L. Mexico, 1979
- (V) *Proceedings of the International Congress on Admixtures*, Concrete International 80, London the Construction Press, 1980
- (VI) *Developments in the Use of Superplasticizers*, SP-68, American Concrete Institute, Detroit, 1981, pg. 561
- (VII) International Conference on Cement and Concrete Admixtures and Improving Additives, Mons, 1977
- (VIII) Malhotra, V.M., e Malanka, D., "Performance of Superplasticizers in Concrete: Laboratory Investigation - Part I", "Superplasticizers in Concrete", SP-62, American Concrete Institute, Detroit, 1979, pg. 209-43
- (IX) "Superplasticizing Admixtures in Concrete", Joint Working Party Report No. 45.030, Cement Admixtures Association/Cement and Con

- (XXIII) Brooks, J.J., Wainwright, P.J. e Neville, A.M., "Time Dependent Properties of Concrete Containing a Superplasticizing Admixture", *Superplasticizers in Concrete*, SP-62, American Concrete Institute, Detroit, 1979, pg. 293-314
- (XXIV) Brooks, J.J., Wainwright, P.J. e Neville, A.M. "Time-Dependent Behavior of High-Early-Strength Concrete Containing a Superplasticizer", Ref. 6 pag. 81-100
- (XXV) Hattori, Kenichi, "Experiences with Mighty Superplasticizer in Japan", *Superplasticizers in Concrete*, SP-62, American Concrete Institute, Detroit, 1979, pg. 37-66
- (XXVI) Ghosh, R.S., e Malhotra, V.M., "Use of Superplasticizers as Water Reducers", *Cement, Concrete and Aggregates*, ASTM, V. 1, No. 2, 1979, pg. 56-63
- (XXVII) Lane, R.O., e Best, J.F. "Laboratory Studies on the Effects of Superplasticizers on the Engineering Properties of Plain and Fly Ash Concretes", *Superplasticizers in Concrete*, SP-62, American Concrete Institute, Detroit, 1979, pg. 193-207
- (XXVIII) Mather, Bryant "Tests of High-Range Water Reducing Admixtures", "Superplasticizers in Concrete", SP-62, American Concrete Institute, Detroit, 1979, pg. 157-66
- (XXIX) Mielenz, Richard C., e Sprouse, James H., "High-Range Water-Reducing Admixtures: Effect on the Air-Void System in Air-Entrained and Non-Air-Entrained Concretes", "Superplasticizers in Concrete", SP-62, American Concrete Institute, Detroit, 1979, pg. 167-92
- (XXX) Malhotra, V.M., "Performance of Superplasticized Concretes That Have High Water-to-Cement Ratios", "Transportation Research Record No. 720", Transportation Research Board, 1979, pg. 28-34

crete Association. London 1976, 32 pg.

- (X) Daimon, M. e Roy, D.M., "Rheological Properties of Cement Mixes: II. Zeta Potential and Preliminary Viscosity Studies," Cement and Concrete Research, V. 9, No. 1, Jan. 1979, pg. 103-10
- (XI) Collepardi M., Corradi M., Baldini G. e Pauri M. "Influence of Sulphonated Naphtalene on the Fluidity of Cement Pastes" 7th Congress on the Chemistry of Cement, Vol. III, pg. 6-20, Paris 1980
- (XII) Collepardi M., Corradi M. e Valente M. "Influence of Polymerization of Sulfonated Naphtalene Condensate and its Interaction with Cement" Ref. 6, pg. 485-98
- (XIII) Malhotra, V.M., "Superplasticizers: Their Effect on Fresh and Hardened Concrete", Concrete International, pg. 66-81, May, 1981
- (XIV) Johnaton, C.D., Gamble, B.R.; e Malhotra, V.M., "Effects of Superplasticizers on Properties of Fresh and Hardened Concrete", Transportation Research Record No. 720, Transportation Research Board, 1979, pg. 1-7
- (XV) Mailvaganam, N.P., "Factors Influencing Slump Loss in Flowing Concrete", "Superplasticizers in Concrete", SP-62, American Concrete Institute, Detroit, 1979, pg. 389-403
- (XVI) Collepardi M. e Corradi M., "Influence of Naphtalene Sulphonated Polymer Based Superplasticizers on the Stranght of ordinary and Lightweight Concretes" Ref. 2, pg. 315-36
- (XVII) Khalil, S.M., e Ward, M.A., "Effect of Sulphate Content of Cement on Slump Loss of Concretes Containing High Range Water-Reducers (Superplasticizers) Research Report", Department of Civil Engineering, University of Calgary, 1979, 26 pg.
- (XVIII) K. Daugherty, M.J. Kowalewski, "Transp. Res. Rec.", 566, 10, 1976
- (XIX) "Curing of Concrete", Concrete Information Sheet IS 55.02T, Portland Cement Association, Chicago, 1966, 5 pg.
- (XX) Whiting D., "Effects of High-Range Water Reducers on some Properties of Fresh and Hardened Concretes" PCA Research and Development Bulletin, pg. 14, 1979
- (XXI) Collepardi M., Corradi M. e Valente M., "Superplasticized Shrinkage - Compensating Concrete" Ref. 6, pg. 159-72
- (XXII) Collepardi M., Corradi M. e Valente M., "Low Slump Loss Superplasticized Concrete" Ref. 3, pg. 26-31

STAMPATO DALLA MULTIADDRESS
VIA MAFFIO MAFFII, 13-13/A - 00157 ROMA