

L'INFLUENZA DEI SUPERFLUIDIFICANTI SUI
CALCESTRUZZI A RITIRO COMPENSATO

Mario COLLEPARDI, Saveria MONOSI, Marco PAURI

Dipartimento di Scienze dei Materiali e della Terra
Facoltà di Ingegneria, Università di Ancona

TITOLO :

L'INFLUENZA DEI SUPERFLUIDIFICANTI
SUI CALCESTRUZZI A RITIRO COMPENSATO

AUTORI :

M. COLLEPARDI
S. MONOSI
M. PAURI

Dipartimento di Scienze dei Materiali e della Terra
Università di Ancona.

SOMMARIO

Sono state eseguite prove di resistenza meccanica e di espansione sui calcestruzzi a ritiro compensato contenenti sia un superfluidificante che un agente espansivo.

I risultati del presente lavoro indicano che l'impiego combinato di agente espansivo e di superfluidificante è più vantaggioso, sia dal punto di vista tecnico che economico, dell'impiego di solo agente espansivo.

SUMMARY

Compressive strength and restrained expansion tests were carried out on concretes containing superplasticizer and an expansive agent. The result of the present work indicate that the combined addition of a superplasticizer and an expansive agent may be more advantageous than the use of expansive agent alone.

1. INTRODUZIONE

E' noto che l'alto rapporto acqua/cemento e il basso rapporto aggregato/cemento provocano un maggior ritiro igrometrico del calcestruzzo. Diminuendo l'acqua di impasto e la quantità di cemento per ridurre il ritiro, la messa in opera e la compattazione della miscela diventano difficoltose. Pertanto l'aggiunta di un superfluidificante a tali impasti di calcestruzzo per semplificare l'operazione di posa in opera riduce il ritiro igrometrico (I, II), ma non lo elimina completamente. Per annullare il ritiro igrometrico occorre impiegare un calcestruzzo a ritiro compensato.

Il calcestruzzo a ritiro compensato provoca un aumento di volume del calcestruzzo durante il periodo di stagionatura umida. Tale aumento di volume deve essere opportunamente contrastato dai ferri d'armatura o da confinamenti esterni e deve aver luogo dopo che il calcestruzzo è indurito (III). Durante l'espansione del calcestruzzo i ferri d'armatura vengono sottoposti a tensione mentre il calcestruzzo viene sottoposto

sto a sollecitazioni di compressione. Il successivo ritiro idrometrico riduce tali sollecitazioni, ma la compressione residua che rimane nel calcestruzzo elimina la tendenza alle fessurazioni durante l'essiccamento (III). La Fig. 1 mostra schematicamente la variazione dimensionale tipica di un normale calcestruzzo e quella di un calcestruzzo a ritiro compensato.

Negli Stati Uniti per produrre calcestruzzi a ritiro compensato si impiegano cementi espansivi, mentre in Italia, come pure in Giappone, gli agenti espansivi, impiegati in quantità opportune, vengono usati come additivi al momento della preparazione del calcestruzzo sia in cantiere che negli impianti di prefabbricazione. Esistono fondamentalmente due tipi di agenti espansivi. Il primo è a base di calcio solfo alluminato o calcio alluminato che reagendo con il gesso e l'acqua produce ettringite. Il secondo è a base di ossido di calcio che reagendo con l'acqua si trasforma in idrossido di calcio. Sia la formazione di ettringite che quella di idrossido di calcio provocano un fenomeno espansivo. Per regolare la velocità di espansione si può agire sulla temperatura di clinkerizzazione dell'agente espansivo, sulla distribuzione granulometrica e sulla presenza di rivestimenti dei principali componenti espansivi. Affinché l'espansione contrastata possa indurre una sollecitazione a compressione nel calcestruzzo e una sollecitazione a trazione nell'armatura, è necessario che l'espansione avvenga quando il calcestruzzo è indurito. Pertanto l'espansione deve aver luogo dopo la presa e durante il processo di indurimento del calcestruzzo.

Qualsiasi cemento con agente espansivo è in grado di provocare un aumento di volume se il calcestruzzo viene mantenuto immerso nell'acqua e coperto con teli impermeabili. In generale, sono necessari almeno 7 giorni di stagionatura umida perché si verifichi la reazione che provoca l'espansione (Fig. 2). Una espansione più rapida che avvenisse quando la resistenza iniziale a compressione del calcestruzzo è troppo bassa, cioè quando l'aderenza tra ferro e calcestruzzo è modesta, non sarebbe in grado di indurre una sollecitazione a trazione nell'armatura ed una sollecitazione a compressione nel calcestruzzo.

Scopo principale di questo lavoro è di esaminare se l'aumento di resistenza a compressione iniziale, ottenibile per aggiunta di un superfluidificante (che permette una riduzione del rapporto acqua/cemento), consente una riduzione della quantità di agente espansivo necessario a produrre una determinata espansione contrastata.

2. PARTE SPERIMENTALE

2.1 Materiali

Sono stati impiegati cementi Portland 325 e 425, inerte grosso del diametro massimo di 19 mm. e sabbia naturale come inerte fine. Normalmente si è utilizzato un superfluidificante (1) a base di polimero di naftalensolfonato (NSP), mentre in un solo caso (Tabella IV) si è impiegato un superfluidificante NSP del tipo ritardante (2). Un clinker speciale ricco in calce libera (3) è stato impiegato come agente espan-

(1) Rheobuild 878

(2) Rheobuild 561

(3) Stabilmac

sivo rapido in modo che completasse l'espansione secondo la norma ASTM (ASTM C 878-78) in circa un giorno (Fig. 2).

2.2 Impasti di calcestruzzo

Nelle Tabelle 1-4 sono riportati i dosaggi dei calcestruzzi e le loro caratteristiche (slump, resistenza a compressione, ritiro ed espansione contrastata). Lo slump, il ritiro e l'espansione contrastata sono stati misurati secondo i metodi di prova ASTM, mentre la resistenza a compressione dei cubi (100 mm.) è stata misurata secondo la normativa UNI 6137-72. In alcuni casi l'aderenza ferro-calcestruzzo è stata determinata in conformità con le prove di sfilamento RILEM-FIP-CEB.

1. RISULTATI E DISCUSSIONE

La Tabella 1 mostra l'influenza dei diversi dosaggi di superfluidificante sulle caratteristiche di calcestruzzi con la stessa quantità di agente espansivo (l'8% circa del peso del cemento). Tutti gli impasti preparati avevano la medesima lavorabilità (slump = 100 mm.) e lo stesso contenuto di cemento (circa 350 kg/m³). Tuttavia, aumentando il dosaggio di superfluidificante, la resistenza a compressione aumentava sia a 1 giorno che a 28 giorni a causa del più basso rapporto acqua/cemento. Aumentando la quantità di superfluidificante, diminuiva il ritiro a 2 anni a causa del minor rapporto acqua/cemento e, in misura minore, a causa del più basso rapporto aggregato/cemento. D'altro canto, l'espansione contrastata, secondo la norma ASTM C 878-78, aumentava se si usa una maggior quantità di superfluidificante e solo usando 4,26 kg/m³ di superfluidificante (circa l'1,2% del peso del cemento) si ottiene un'espansione contrastata superiore al ritiro a 2 anni. L'aumento nell'espansione contrastata, provocato dall'aggiunta del superfluidificante, è dovuto semplicemente alla maggiore resistenza a compressione e quindi alla maggiore aderenza ferro-calcestruzzo.

Al fine di confermare l'effetto del superfluidificante sull'espansione contrastata, le misure di resistenza meccanica a compressione, di aderenza ferro-calcestruzzo e di espansione sono state eseguite simultaneamente, dopo il periodo di presa (6 ore circa) e durante il tempo di indurimento delle miscele A e D della Tabella 1. La Fig. 3 mostra che ad un rapido sviluppo di resistenza meccanica corrisponde una migliore aderenza ferro-calcestruzzo e pertanto una migliore espansione contrastata del provino.

Nella Tabella 2 viene indicata l'influenza del superfluidificante su un calcestruzzo normale e su un calcestruzzo a ritiro compensato, entrambi aventi lo stesso slump (150 mm.) e lo stesso rapporto acqua/cemento (0,60 circa) e quindi la stessa resistenza meccanica a compressione (6 MPa a 1 giorno e 32 MPa circa a 28 giorni). Per la presenza del superfluidificante si è ottenuta una riduzione della quantità di cemento ed un aumento del rapporto aggregato/cemento. Ciò provoca nel calcestruzzo con superfluidificante una riduzione del ritiro a 2 anni, da circa 800·10⁻⁶ a circa 330·10⁻⁶, pertanto la quantità di agente espansivo necessaria a compensare il ritiro a 2 anni è scesa da 78 kg/m³ (circa il 23% del peso del cemento) nel calcestruzzo senza superfluidificante a 38 kg/m³ (circa il 15% del peso del cemento) nel cal-

cestruzzo con superfluidificante.

La Tabella 3 indica l'influenza esercitata dal superfluidificante sull'abbassamento del rapporto acqua/cemento da 0,60 circa a 0,45. Tutti gli impasti preparati avevano lo stesso slump (150 mm.) e approssimativamente lo stesso contenuto di cemento (circa 350 kg/m³). A causa della sensibile riduzione del rapporto acqua/cemento e, in misura minore, del leggero aumento del rapporto aggregato/cemento, il calcestruzzo contenente il superfluidificante ha presentato un minor ritiro a 2 anni. La presenza del superfluidificante ha consentito di diminuire la quantità di agente espansivo necessaria a compensare questo ritiro da 78 a 27 kg/m³, corrispondente all'8a soltanto del peso del cemento. Si può quindi osservare che impiegando il superfluidificante per ridurre il rapporto acqua/cemento (Tabella 3) si è ridotta la quantità di agente espansivo (27 kg/m³) necessaria a compensare il ritiro rispetto alla miscela D della Tabella 2 (38 kg/m³) dove il superfluidificante è stato impiegato per ridurre la quantità di cemento, benché il ritiro sia stato leggermente maggiore (450·10⁻⁶ invece di 320·10⁻⁶). Ciò è dovuto al fatto che la resistenza meccanica a compressione a 1 giorno della miscela D mostrata in Tabella 3 (10 MPa) era maggiore di quella della miscela D di Tabella 2 (6 MPa). Tutte le altre caratteristiche del calcestruzzo indurito sono risultate ovviamente migliori quando si è impiegato il superfluidificante per ridurre il rapporto acqua/cemento (Tabella 3) piuttosto che per ridurre la quantità di cemento (Tabella 2).

In Tabella 4 è indicata l'influenza del tipo di superfluidificante. Si è usato un superfluidificante normale e un superfluidificante del tipo ritardante avanti perdite di lavorabilità diverse. Il superfluidificante ritardante potrebbe essere impiegato con un agente espansivo nella preparazione di calcestruzzo a ritiro compensato da trasportare a lunghe distanze, specialmente in climi caldi. In entrambi i calcestruzzi contenenti il superfluidificante il rapporto acqua/cemento era di 0,45, in modo da ottenere lo stesso ritiro a 2 anni (450·10⁻⁶) e circa la medesima resistenza meccanica a compressione a 28 giorni. Tuttavia nel caso del superfluidificante ritardante la resistenza meccanica a compressione iniziale (1 giorno) è stata minore (8 MPa) di quella ottenuta in presenza del superfluidificante normale (10 MPa). Di conseguenza, è stato necessario impiegare una maggiore quantità di agente espansivo (34 kg/m³ invece di 27) per ottenere approssimativamente la stessa espansione contrastata (470·10⁻⁶).

Si conferma quindi, quanto già detto per la Tabella 3 e cioè che, per ottenere una determinata espansione contrastata, viene usata una minore quantità di agente espansivo quando la resistenza a compressione iniziale (e quindi l'aderenza ferro-calcestruzzo) risulta maggiore grazie ad un più basso rapporto acqua/cemento. In altre parole, per una determinata quantità di agente espansivo, ad una maggiore resistenza meccanica a compressione iniziale ha corrisposto una maggiore espansione contrastata. Quanto sopra esposto è schematizzato in Fig. 4 dove è mostrata l'espansione contrastata in funzione della quantità di agente espansivo in una serie di calcestruzzi con resistenza meccanica a compressione a 1 giorno variante tra un minimo di 3-6 MPa

e un massimo di 29-39 MPa. Per esempio, con la stessa quantità di agente espansivo (30 kg/m³) si ottiene un'espansione contrastata di 350·10⁻⁶ o di 450·10⁻⁶, a seconda che si impieghi un calcestruzzo con resistenza a compressione a 1 giorno rispettivamente di 7-8 MPa o di 22-28 MPa.

4. CONCLUSIONI

L'impiego del superfluidificante, attraverso un abbassamento del rapporto acqua/cemento ad un aumento della resistenza meccanica a compressione iniziale, permette di produrre un calcestruzzo a ritiro compensato con minori quantità di agente espansivo. Quando si usa il superfluidificante in combinazione con l'agente espansivo per ridurre il rapporto acqua/cemento, tutte le caratteristiche del calcestruzzo a ritiro compensato e con superfluidificante (resistenza meccanica, aderenza ferro-calcestruzzo, ecc.) risultano superiori rispetto alle caratteristiche del calcestruzzo a ritiro compensato senza superfluidificante.

5. BIBLIOGRAFIA

- (I) Lane, R.O., Best, J.F., *Laboratory Studies on the Effects of Superplasticizers on the Engineering Properties of Plain and Fly-Ash Concrete*, ACI SP-62, *Superplasticizers in Concrete*, 1979, pagg. 193-207.
- (II) Collepardi M., Corradi M., Valente M., *Low-Slump-Loss Superplasticized Concrete*, Proceedings, Transportation Research Record, Symposium on Superplasticizers in Concrete, National Academy of Sciences, Washington D.C., 1979, pagg. 7-12.
- (III) ACI Committee 223, *Recommended Practices for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete*, J. Am. Concr. Inst., V. 73, Numero 6, giugno 1976, pagg. 319-339.

6. RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano i Signori Maniscalco ed Alverà per la loro collaborazione al lavoro sperimentale.

Tabella 1 Composizione e caratteristiche dei calcestruzzi contenenti la stessa quantità di agente espansivo e dosaggi diversi di superfluidificante.

IMPASTO DI CALCESTRUZZO	A	B	C	D
SLUMP (mm)	100	100	100	100
CEMENTO 425 (kg/cm ²)	350	352	353	355
ACQUA (kg/m ³)	200	187	177	153
SUPERFLUIDIFICANTE (kg/m ³) (% sul peso del cemento)	---	1.06 (0.3%)	2.12 (0.6%)	4.26 (1.2%)
ACQUA/CEMENTO	0.57	0.53	0.50	0.43
INERTE/CEMENTO	4.9	5.1	5.2	5.3
RESISTENZA A COMPRESSIONE (MPa)	7.5 40	9 46	12 50	15 60
RITIRO A 2 ANNI (10 ⁻⁶)	830	720	630	460
ESPANSIONE CONTRASTATA ASTM (10 ⁻⁶)	350	450	530	580
AGENTE ESPANSIVO (kg/m ³) (% DEL PESO DEL CEMENTO)	28 (8%)	28 (8%)	28 (8%)	28 (8%)

Tabella 2 Composizione e caratteristiche del calcestruzzo ordinario (A), di quello a ritiro compensato (B), di quello con superfluidificante (C), e di quello a ritiro compensato e con superfluidificante (D).

IMPASTO DI CALCESTRUZZO	A	B	C	D
SLUMP (mm)	150	150	150	150
CEMENTO PORTLAND 325 (kg/m ³)	342	333	257	253
ACQUA (kg/m ³)	205	200	154	152
SUPERFLUIDIFICANTE (kg/m ³) (% SUL PESO DEL CEMENTO)	-	-	3.08 (1.2%)	3.04 (1.2%)
ACQUA/CEMENTO	0.59	0.60	0.61	0.60
INERTE/CEMENTO	5.2	5.2	7.7	7.7
RESISTENZA A COMPRESSIONE (MPa)	6 32	6 31	6 33	6 32
RITIRO A 2 ANNI (10 ⁻⁶)	800	790	330	320
ESPANSIONE CONTRASTATA ASTM (10 ⁻⁶)	-	840	-	340
AGENTE ESPANSIVO (kg/m ³) (% DEL PESO DEL CEMENTO)	-	78 (23%)	-	38 (11%)

Tabella 3 Composizione e caratteristiche di un calcestruzzo ordinario (A), di quello a ritiro compensato (B), di quello con superfluidificante (C), e di quello a ritiro compensato e con superfluidificante (D).

IMPASTO DI CALCESTRUZZO	A	B	C	D
SLUMP (mm)	150	150	150	150
CEMENTO PORTLAND 325 (kg/m ³)	342	333	342	339
ACQUA (kg/m ³)	205	200	154	153
SUPERFLUIDIFICANTE (kg/m ³)	-	-	4.10	4.07
(% SUL PESO DEL CEMENTO)	-	-	(1.2%)	(1.2%)
ACQUA/CEMENTO	0.59	0.60	0.45	0.45
INERTE/CEMENTO	5.2	5.2	5.6	5.6
RESISTENZA A COMPRESIONE (MPa)	6 32	6 31	10 48	10 47
RITIRO A 2 ANNI (10 ⁻⁶)	800	790	460	460
ESPANSIONE CONTRASTATA ASTM (10 ⁻⁶)	-	840	-	480
AGENTE ESPANSIVO (kg/m ³)	-	78	-	27
(% DEL PESO DEL CEMENTO)	-	(23%)	-	(8%)

Tabella 4 Composizione e caratteristiche di un calcestruzzo a ritiro compensato (A), e di quello a ritiro compensato e con superfluidificante (B e C).

IMPASTO DI CALCESTRUZZO	A	B	C
Slump (mm)	150 100	150 50	150 120
CEMENTO PORTLAND 325 (kg/m ³)	333	339	338
ACQUA (kg/m ³)	200	153	152
SUPERFLUIDIFICANTE (kg/m ³)	-	TIPO NSP	TIPO NSP
(% SUL PESO DEL CEMENTO)	-	4.07	RITARDATO 3.38
ACQUA/CEMENTO	0.60	0.45	0.45
INERTE/CEMENTO	5.2	5.6	5.6
RESISTENZA A COMPRESIONE (MPa)	6 31	10 47	8 48
RITIRO A 2 ANNI (10 ⁻⁶)	790	460	450
ESPANSIONE CONTRASTATA ASTM (10 ⁻⁶)	840	480	470
AGENTE ESPANSIVO (kg/m ³)	78	27	34
(% DEL PESO DEL CEMENTO)	(23%)	(8%)	(10%)

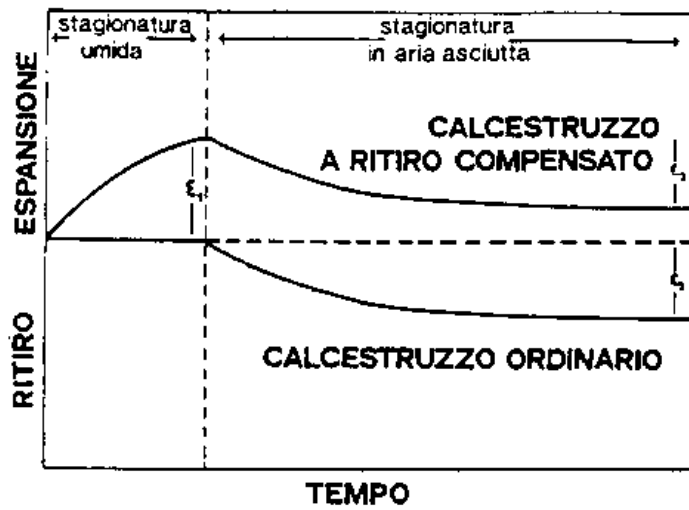


Fig. 1 Variazione dimensionale di un calcestruzzo ordinario e a ritiro compensato

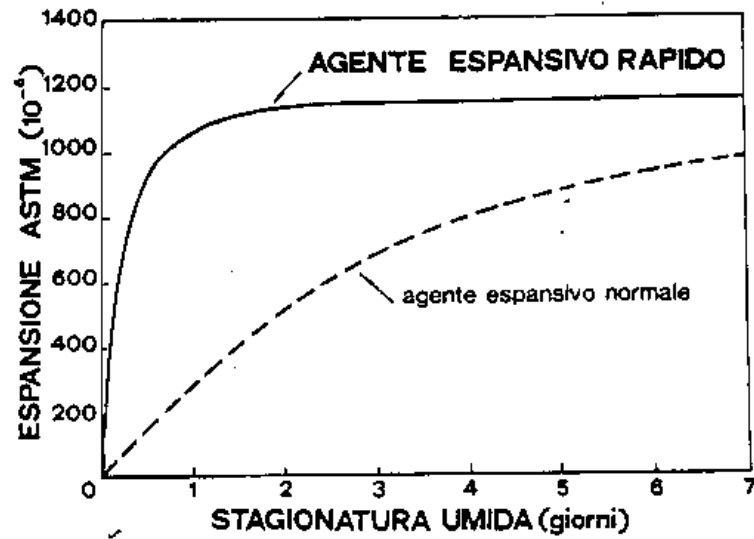


Fig. 2 Espansione di agente espansivo rapido e normale in funzione della stagionatura umida.

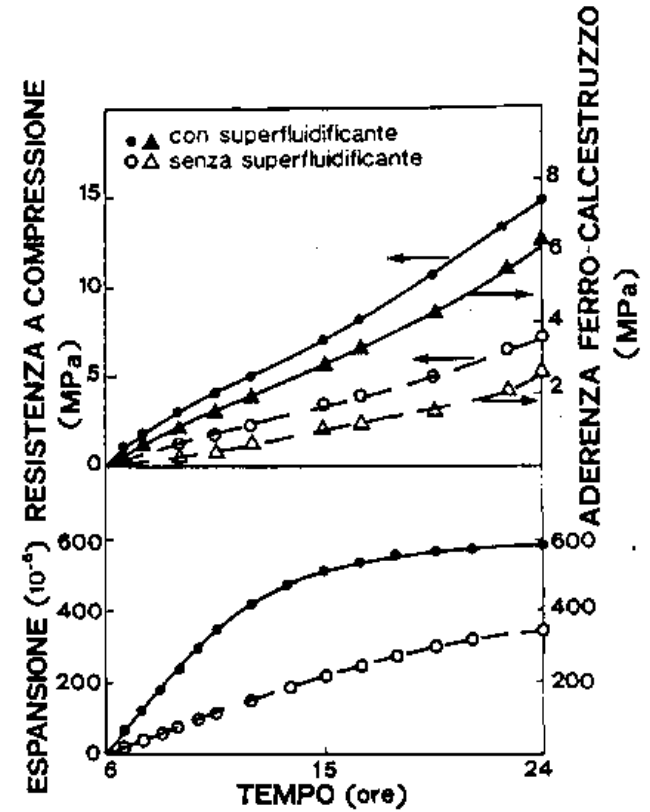


Fig. 3 Resistenza a compressione, aderenza ferro-calcestruzzo ed espansione contrastata in funzione del tempo (dopo la presa) di calcestruzzo a ritiro compensato senza e con superfluidificante (Miscela A e D di Tabella 1).

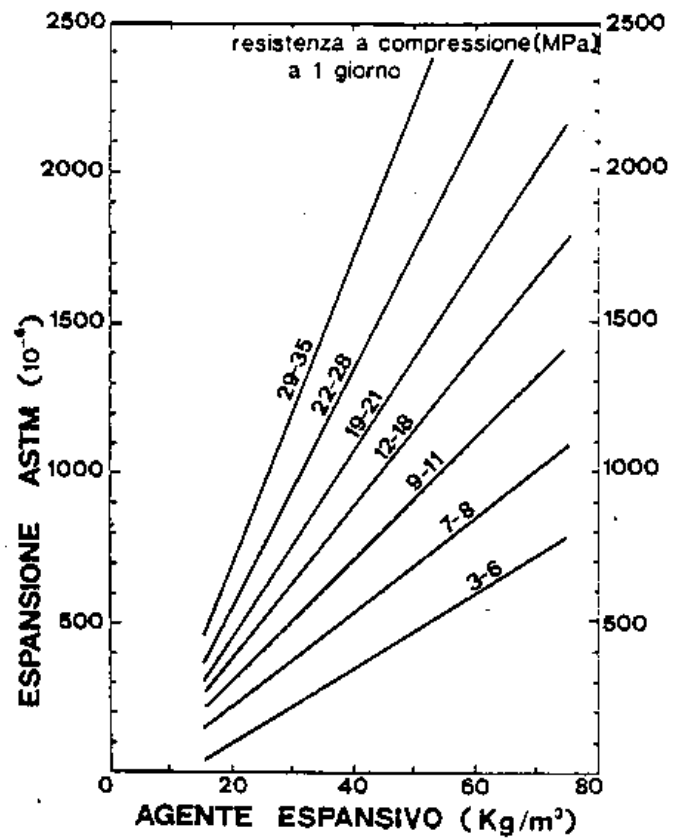


Fig. 4 Espansione contrastata ASTM a 1 giorno in funzione del contenuto di agente espansivo di calcestruzzi aventi resistenze a compressione a 1 giorno diverse.

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