

L'accelerazione dell'indurimento di calcestruzzo per mezzo del calore

L'A. esamina il problema dell'accelerazione dell'indurimento dei calcestruzzi mediante il calore, riportando i risultati sperimentali di una ricerca condotta presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Torino e pone in evidenza, anche attraverso dati bibliografici, vantaggi e limiti di applicazione del metodo.

È nota la tendenza attuale di affidare al cantiere, già unica sede dell'attività edilizia, la funzione di porre in opera vari tipi di elementi prefabbricati, si da realizzare strutture in tutto od in parte costituite di pezzi precedentemente prodotti in officine attrezzate allo scopo.

Ciò ha reso di particolare interesse l'esame di uno dei problemi che scaturiscono da tale nuovo orientamento della tecnica costruttiva: quello dell'opportunità di accelerare la presa e l'indurimento dei leganti idraulici impiegati nella confezione dei vari tipi di elementi prefabbricati. È chiaro infatti che mentre il periodo di tempo richiesto in cantiere per il getto ed il successivo disarmo di una struttura non è facilmente riducibile ed è considerato economicamente accettabile, il fattore tempo assume ben diversa importanza in officina, dove la rapidità di lavorazione di un elemento prefabbricato è condizione essenziale per una utilizzazione razionale e remunerativa delle attrezzature impiegate.

Un'indagine sperimentale sull'accelerazione dell'indurimento dei calcestruzzi per mezzo del calore, condotta presso il Laboratorio dei Materiali da Costruzione del Politecnico di Torino, è stata impostata sull'esame di un particolare aspetto della questione, di più immediato interesse per una applicazione industriale.

I fattori che entrano in gioco in uno studio di accelerazione di indurimento per mezzo del calore, si possono, in prima approssimazione, ridurre ai seguenti: tipo di cemento, tipo di impasto, metodo di riscaldamento, temperatura di riscaldamento, durata di riscaldamento. La ricerca che ci accingiamo a descrivere è stata effettuata su calcestruzzi confezionati con cemento tipo 500 ed inerte costituito da sabbione siliceo (diametro max dei grani $0=5$ m/m), dosaggio 400 Kg. di legante al mc, rapporto acqua cemento pari a 0,36. I provini sono stati costipati nelle forme mediante vibratori a 6000 cicli/minuto. Il

riscaldamento è stato effettuato, a presa avvenuta, mediante immersione in acqua mantenuta a temperatura costante.

Stabiliti il tipo di legante e di impasto, ed il metodo di riscaldamento, sono state studiate come variabili la temperatura dell'acqua e la durata del riscaldamento.

Si è adottata tale semplificazione volendo limitare il campo dell'indagine ad un cemento di impiego diffuso e ad un sistema di riscaldamento di facile realizzazione: in realtà il problema appare dipendente da molti fattori e suscettibile di varie soluzioni, alcune delle quali tuttavia di scarso interesse per le applicazioni industriali o comunque comportanti maggiori difficoltà pratiche.

Prove di compressione al termine del riscaldamento

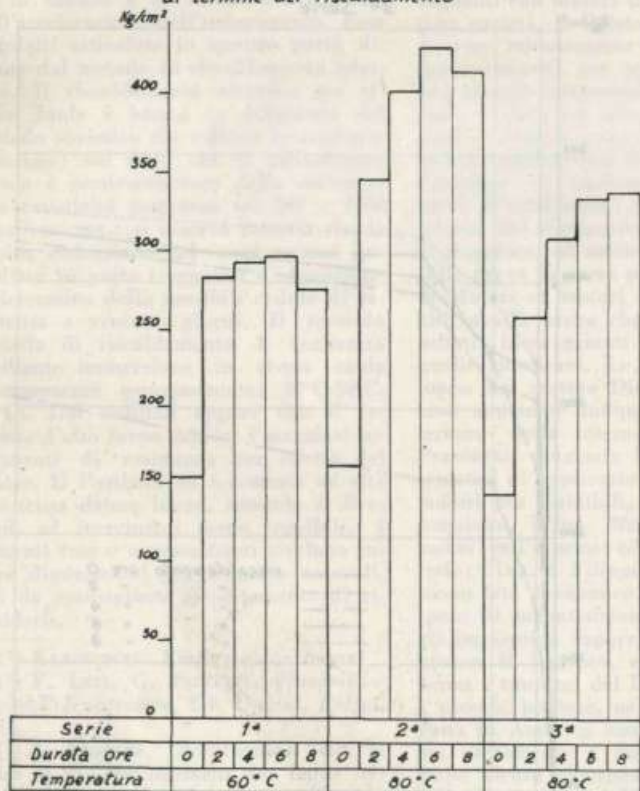


Fig. 1.

Prove di compressione a 18 ore, 3-7-28 giorni

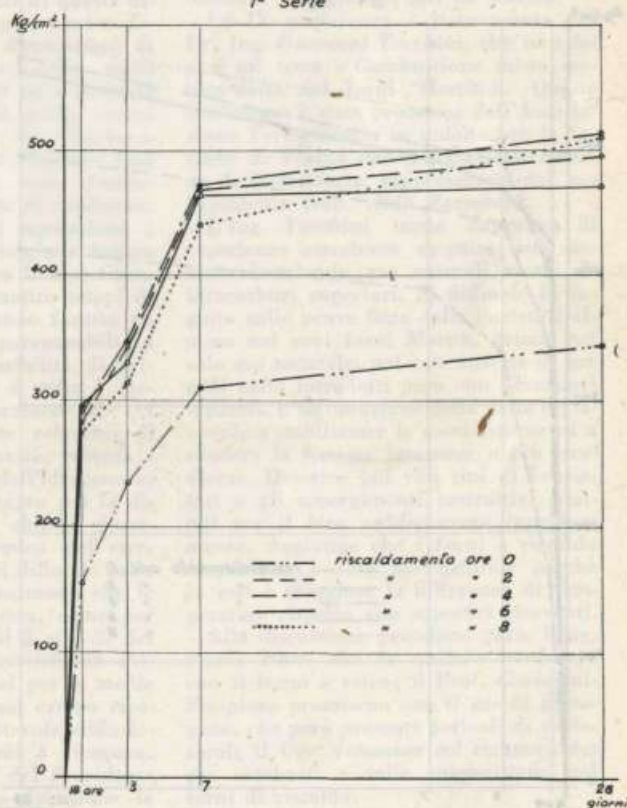


Fig. 2.

su due provini di ciascun gruppo, e precisamente: al termine del riscaldamento, a tre, sette e ventotto giorni dal getto. Nella tabella I sono riassunti gli schemi di impostazione:

SERIE	CARATTERISTICHE	GRUPPI
A	Temperatura: 60°C Immersione: 10 ore dopo il getto	1°: non riscaldato 2°: riscaldato per 2 ore 3°: » » 4 » 4°: » » 6 » 5°: » » 8 »
B	Temperatura: 80°C Immersione: 10 ore dopo il getto	idem c. s.
C	Temperatura: 80°C Immersione: 5 ore dopo il getto	idem c. s.

I risultati delle prove di compressione sono riuniti per chiarezza nei diagrammi: il primo diagramma (fig. 1), si riferisce a tutte le tre serie di provini e pone in evidenza l'accelerazione di indurimento determinata dal calore, e riunisce le resistenze unitarie medie al termine del riscaldamento: cioè a 18 ore dal getto per la prima e la seconda serie, a 13 ore dal getto per la terza serie.

I tre successivi diagrammi (figg. 2-3-4) si riferiscono ciascuno ad una serie di quaranta provini e contengono cinque curve corrispondenti ai cinque gruppi di ogni serie, distinti tra di loro dalla durata del riscaldamento: ogni curva connette le resistenze unitarie a compres-

sione al termine del riscaldamento, a tre, sette, ventotto giorni. L'indagine sperimentale ha posto anzitutto in luce la notevole importanza della temperatura di riscaldamento: men-

tre risulta relativamente scarsa l'influenza del riscaldamento a 60°C (i provini superano solo a 7 giorni i 400 Kg/cm², e raggiungono i 500 Kg/cm² solo a 28 giorni), il riscaldamento alla temperatura di 80°C determina resistenze dell'ordine di 400 Kg/cm² a 18 ore e di 500/cm² già a tre giorni dal getto.

In quanto al periodo di tempo da lasciar trascorrere tra getto ed immissione del calore, si può ritenere che siano sufficienti cinque ore: occorre infatti osservare che per i provini della terza serie la sformatura a cinque ore dal getto ha talvolta determinato lesioni nei cubetti, sì da rendere incerti taluni risultati della prova di compressione. Tale

fenomeno non si verificerebbe invece quando non fosse necessaria la sformatura, essendo il calcestruzzo gettato nelle casseforme dell'elemento da fabbricare, e potendosi immettere direttamente l'acqua calda.

L'indagine ha altresì fornito un'indicazione sulla più opportuna durata del riscaldamento: mentre una durata di due ore ha dato luogo ad un notevole incremento di resistenza, la durata di sei od otto ore non ha per contro fatto rilevare un incremento proporzionalmente maggiore (si veda il diagramma della fig. 1). Si può quindi ritenere che una durata di due o di quattro ore sia sufficiente per accelerare l'indurimento del conglomerato in modo da renderlo idoneo all'impiego ed a sopportare lo sforzo prodotto dalla distensione dei cavi di pretensione, nel caso di elementi pre-compressi.

Data la relativa limitatezza delle nostre esperienze, crediamo utile completare questa nota con un esame nella bibliografia sull'argomento, che peraltro non è molto estesa: i trattati di materiali da costruzione o di tecnologia del calcestruzzo riportano accenni al problema, ma scarsa documentazione sperimentale. Il Duriez (1) esamina i fenomeni di presa e di indurimento e passa in ras-

(1) M. DURIEZ, *Traité de Matériaux de Construction*, Ed. Dunod, Parigi, 1950.

segna i più noli catalizzatori chimici, studio che esula dai nostri propositi. Egli riporta il metodo utilizzato in Russia per accelerare l'indurimento di strutture in conglomerato armato, consistente nel determinare il riscaldamento del conglomerato stesso per effetto Joule, ottenuto con il passaggio della corrente elettrica nelle armature.

La voce Wärme del Kleinlogel è limitata all'esame delle variazioni di temperatura dovute a condizioni ambientali particolari e pone in evidenza il pericolo di un disseccamento del conglomerato per effetto del calore, quando la temperatura superi i 75°C (2).

Cenni sui vari metodi per accelerare l'indurimento ed aumentare la resistenza dei conglomerati sono riportati nella parte « Le béton précontraint », a cura di F. Levi, in « Fluage-Plasticité-Précontrainte » (3).

Uno studio approfondito della questione, condotto separatamente sui fenomeni di presa e di indurimento ed effettuato su alcuni tipi di leganti e su alcuni metodi di riscaldamento, è riportato nella comunicazione di J. Brocard, negli Annales de l'Institut du Batiment et des Travaux Publics (4).

L'autore esamina anzitutto l'azione del calore sulla presa dei cementi e, valendosi anche di prove eseguite dal Davey in Inghilterra, riporta una serie di risultati da cui appare che i cementi Portland hanno la presa fortemente accelerata dall'aumento di temperatura: i cementi alluminosi e quelli a rapida presa manifestano invece un comportamento talvolta singolare, per cui in taluni il tempo di presa appare aumentare con la temperatura.

Più diffuso è lo studio del Brocard sull'accelerazione dell'indurimento. Esso è infatti articolato in quattro parti, distinte dal metodo di riscaldamento adottato. Il riscaldamento elettrico per effetto Joule è basato (a differenza del metodo sovietico che utilizza le armature d'acciaio) sul fatto che il calcestruzzo fresco è semiconduttore della corrente, con resistività compresa tra 500 e 2000 Ohm/cm/cm²: si osserva tuttavia che la rapida essiccazione del conglomerato impedisce in parte i processi d'idratazione e determina delle sensibili cadute di resistenza a ventotto giorni. Il secondo metodo di riscaldamento è realizzato mediante immersione in acqua calda (temperature sperimentate: 30°C-50°C-75°C). Dai risultati appare che il cemento d'alto forno subisce i maggiori incrementi di resistenza per effetto del calore. Il Portland ed i cementi ad alta resistenza danno luogo, secondo il Brocard, ad incrementi meno sensibili. I cementi fusi e soprassolfati rivelano invece diminuzioni più o meno notevoli, tali da sconsigliare assolutamente di riscaldarli.

(2) KLEINLOGEL, *Einflüsse aus beton*.

(3) F. LEVI, G. PIZZETTI, *Fluage-Plasticité-Précontrainte*, Ed. Dunod, Parigi, 1951.

(4) J. BROCARD, *Accélération de la prise et du durcissement des liants hydrauliques par la chaleur*, Annales de l'Institut du Batiment et des Travaux Publics, n. 54, dicembre 1948, Parigi.

Gli altri due metodi di riscaldamento studiati sono: per azione di vapore saturo a pressione normale (con risultati favorevoli per il Portland, per il cemento ad alta resistenza e per quello d'alto forno, sfavorevoli per i tipi fusi) ed infine il procedimento di riscaldamento in autoclave, in vari regimi di pressione e temperatura. Mentre i risultati del Portland permangono favorevoli, il cemento d'alto forno dà invece luogo, in autoclave, ad un comportamento singolare ed a risultati in complesso negativi.

Dall'esame dei risultati delle nostre esperienze e di quelle riportate nella sia pur scarsa bibliografia, si può conclu-

dere che i fenomeni di presa e di indurimento appaiono influenzati dall'aumento della temperatura, ma al variare del metodo di riscaldamento adottato e del legante idraulico studiato si rilevano comportamenti talvolta singolari ed in contrasto colle previsioni.

Ciò spiega i risultati spesso del tutto negativi ottenuti attraverso un'erronea utilizzazione del metodo di riscaldamento dei calcestruzzi e fa ritenere consigliabile una preventiva approfondita indagine sperimentale, per ottenere le indispensabili indicazioni sul sistema da adottare per giungere a risultati tecnicamente ed economicamente vantaggiosi.

Ugo Piero Rossetti

N O T I Z Z I A R I O

Terza parte del ciclo di conferenze sul metano

La VII conferenza sull'impiego del metano ha avuto luogo mercoledì 12 marzo 1952 nella sede sociale di Palazzo Carignano a cura della A.T.I. Ha parlato il Dr. Ing. Luigi Vallini sul tema « Motori Diesel a nafta e metano ». Presentato dal Presidente Prof. Antonio Capetti il Relatore, premesse alcune nozioni di terminologia, ha brevemente delineato la storia del motore Diesel a doppio combustibile, risalenti sostanzialmente ad un brevetto dello stesso Ing. R. Diesel rilasciato nel 1901. Applicazioni recenti si fecero in America, prima dalla Società Cooper-Bessemer, poi dalla Nordberg e da altre. Notevoli gli impianti con motori stellari di questa ultima società. Il Relatore passa poi a descrivere minutamente le disposizioni di funzionamento per mezzo delle quali una piccola percentuale di nafta iniettata (pari a circa un terzo di quella occorrente a vuoto) consente un funzionamento regolare con il gas naturale. Con l'impiego di proiezioni sono fornite curve di rendimento e dati di confronto, schemi dei dispositivi di regolazione e di sicurezza, ed infine dettagliate notizie sulle prove in corso presso la Fiat. Grandi Motori su motori a quattro tempi di 250 cavalli, prove che hanno fornito risultati incoraggianti e paragonabili a quelli americani. Le possibilità di sviluppo del motore Diesel a nafta e metano appaiono dunque promettenti. Al termine della interessante relazione il Presidente ringrazia l'oratore, ricorda i tentativi di applicazione dell'idrogeno ai motori per dirigibili, ed apre poi la discussione. L'Ing. Mazza chiede chiarimenti sull'aspetto economico dell'esercizio; l'Ing. S. Filippini si diffonde sullo stesso lato economico, mostrando che le spese di manutenzione sono, come per gli impianti a vapore, dal 3 al 5 % del prezzo di acquisto, e mettendo in evidenza i vantaggi del Diesel per le medie e piccole potenze, nel qual campo ricevono in America una notevole diffusione, unitamente a impianti a ricupero. Dopo alcuni chiarimenti del Presidente sulla questione dell'auto-accensione la seduta, fra vivi applausi ha termine verso le ore 23.

L'VIII conferenza è stata tenuta mercoledì 9 aprile 1952 dal Dr. Ing. Nicolò Mancuso che ha parlato su « Lo stato attuale delle turbine a gas ». Delineata brillantemente la storia delle turbine a gas il Relatore richiama le nozioni riguardanti i cicli termodinamici e i loro rendimenti termici, diffondendosi poi, con l'aiuto di adatte proiezioni, sulle più recenti applicazioni a impianti fissi e sulla possibilità di applicazioni in Italia mediante l'impiego del gas naturale.

L'apprezzata relazione è accolta al suo termine dall'applauso e dal ringraziamento del Presidente. Alla discussione partecipa l'Ing. Vaccaneo che chiede informazioni sul risparmio di acqua rispetto alle turbine a vapore e sulle possibilità di riscaldamento degli ambienti ottenuto a spese dei gas di scarico.

La IX conferenza è stata tenuta dal Dr. Ing. Giovanni Tacchini, che ha riferito sul tema « Combustione mista metano-nafta nei forni Martin ». Questa conferenza è stata promossa dall'Associazione Termotecnica in unione con la Sezione di Torino dell'Associazione Italiana di Metallurgia, rappresentata dal suo Presidente Dott. Aldo Zazzaroni.

L'Ing. Tacchini tratta dapprima di esperienze americane eseguite con successo bruciando gas naturali ricchi di idrocarburi superiori. Si diffonde in seguito sulle prove fatte dalla Società Dalmine nei suoi forni Martin, prima con solo gas naturale, poi con miscela di gas e di nafta introdotti però con bruciatori separati. L'introduzione della nafta è giovevole a stabilizzare la combustione ed a rendere la fiamma luminosa e più irradante. Descrive poi vari tipi di bruciatori e gli accorgimenti costruttivi adottati per il loro soddisfacente funzionamento. Aggiunge che i forni a riscaldamento funzionano a solo gas naturale perchè in essi è maggiore la differenza di temperatura rispetto alle superfici riceventi.

Alla discussione prendono parte l'Ing. Pietro Rossi che fa qualche confronto con il forno a vetro; il Prof. Gorla sull'impiego promiscuo con il gas di gassogeno, che però presenta pericoli di esplosioni; il Cav. Johannes sul ricupero dei gas combustibili e sulla combustione nei forni di riscaldamento.

Il Presidente ringrazia vivamente il Relatore e chiude la seduta.

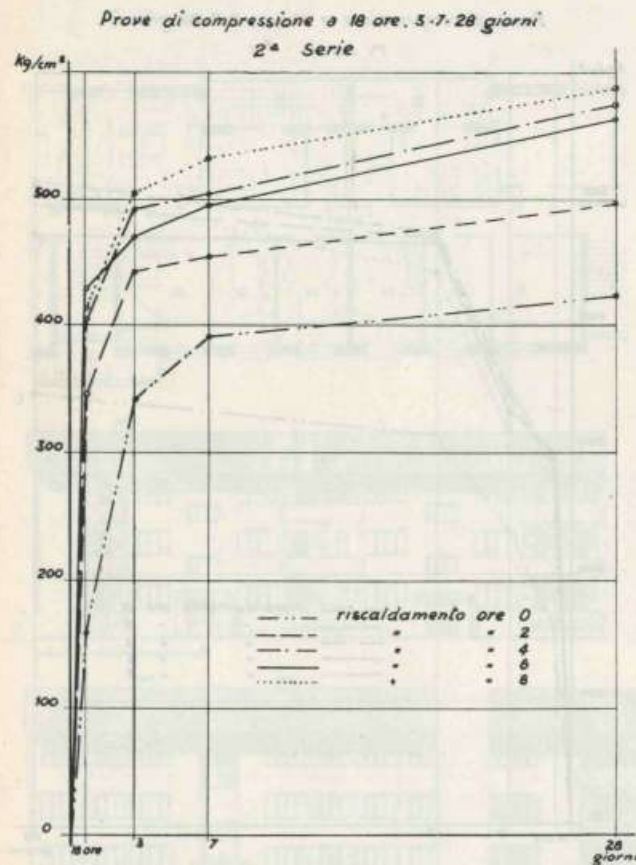


Fig. 3.

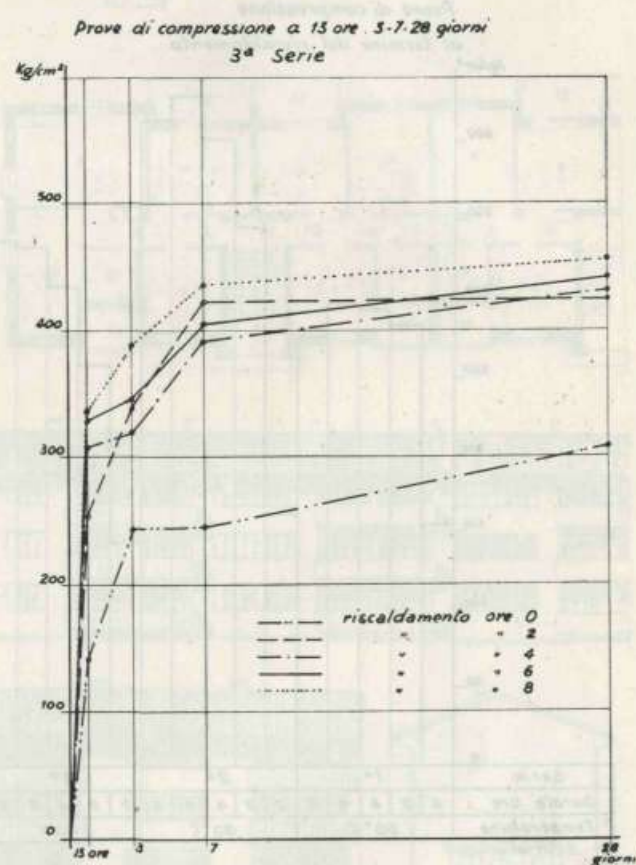


Fig. 4.