

Giovanni Donatone  
Alfredo Sollazzo

# Sperimentazione su travetti precompressi da solaio assoggettati ad elevate temperature

**I risultati di prove di flessione fino a rottura su travetti precompressi da solaio, provvisti oppure no di getto di completamento, preventivamente assoggettati ad elevate temperature, forniscono un utile contributo allo studio del comportamento al fuoco degli elementi strutturali considerati**

## Introduzione

La ricerca, eseguita presso il Laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Bari<sup>(1)</sup>, riveste interesse per il contributo che può fornire allo studio dei danni prodotti dall'incendio sugli orizzontamenti degli edifici e, più in generale, sulle strutture in cemento armato. La maggiore o minore resistenza al fuoco di queste ultime dipende, com'è noto, da svariati fattori quali la temperatura raggiunta nel corso dell'evento, il suo modo di variare, il tempo di esposizione, l'insorgere di autotensioni, le caratteristiche dei materiali, l'età del conglomerato, ecc.<sup>(2)...(5)</sup>

La diagnosi sulle condizioni di una membratura è poi particolarmente più complessa nel caso di elementi in cemento armato precompresso, per i quali, a tutte le altre cause di degrado per effetto del fuoco, si possono aggiungere la possibile variazione dello stato di precompressione e l'eventuale scollamento, per i solai, tra travetti e getto di completamento. Resta fermo, inoltre, il diverso comportamento che la struttura presenta sotto

l'azione delle variazioni termiche a seconda che il suo schema geometrico sia isostatico o iperstatico.

Solo la ricerca sperimentale può quindi dare delle indicazioni veramente utili nella loro globalità per inquadrare correttamente il fenomeno e fornire indicazioni attendibili a chi debba, ad esempio, esprimersi sulle condizioni statiche di una struttura che abbia subito l'azione del fuoco. Gli esperimenti si riferiscono a due distinte serie di elementi.

La prima è relativa a travetti precompressi a fili aderenti pretesi, assoggettati dapprima ad alte temperature opportunamente controllate e rilevate e, successivamente, a prove di flessione a freddo i cui risultati vengono confrontati con quelli conseguiti su elementi analoghi non sottoposti a trattamento termico.

La seconda serie riguarda travetti identici ai precedenti, forniti di un getto di conglomerato di completamento che conferisce alla sezione trasversale forma rettangolare, sottoposti alle stesse vicende termiche.

Allo scopo è stato appositamente realizzato un forno di



Travetto precompresso e struttura di sostegno.

Prima serie di prove: posizionamento del travetto all'interno del forno.



prova che ha subito solo piccole modifiche nel passaggio dalla prima alla seconda serie di esperimenti.

I risultati interessano sia ai fini del confronto, nell'ambito di ciascuna serie, tra travetti assoggettati a differenti temperature, sia ai fini di sondare il diverso comportamento a freddo, nell'ambito di ciascuna serie, fra travetti assoggettati a trattamento termico e travetti vergini, sottoposti a flessione fino a rottura, sia, infine, per un confronto tra il comportamento dei travetti singoli rispetto a quelli identici completati con il getto di conglomerato.

Le modalità di prova, e in particolare la legge con cui la temperatura viene incrementata nel corso della sperimentazione, non rispettano le disposizioni normative contenute nella Circolare del Ministero dell'Interno n° 91 del 14/9/1961.<sup>(6)</sup> Ci si è infatti proposto il solo scopo di studiare il comportamento degli elementi strutturali in parola per effetto del raggiungimento di ben precise temperature, misurate sia all'esterno che in taluni punti interni ai travetti; in particolare in corrispondenza dell'armatura di precompressione, che è notoriamente molto sensibile agli effetti del cemento termico.

Durante l'esposizione alle alte temperature, i travetti sono stati assoggettati al solo peso proprio.

## Il forno di prova e la strumentazione

Come già accennato, il forno, appositamente realizzato in occasione della prima serie di prove, è stato utilizzato con lievi modifiche anche per la seconda, che ha comportato prove su elementi di dimensioni trasversali maggiori.

La struttura di sostegno è costituita da due cavalletti in acciaio, a cui sono saldati ortogonalmente due tubi metallici che fungono da supporto della base di appoggio. Sui cavalletti sono fissati gli appoggi dei travetti da provare, ottenuti mediante rulli di acciaio, atti a conferire agli elementi strutturali la configurazione statica di semplice appoggio nelle sezioni di estremità su una luce  $l = 280$  cm.

La base di appoggio della piastra radiante e dell'involucro coibente è stata realizzata con tavole in laterizio, intonacate superiormente con pasta di gesso che crea una superficie continua ed evita l'esposizione diretta alle alte temperature.

La piastra radiante è composta da sei resistenze spiralizzate al nichelcromo alloggiata in apposite cavità ricavate in piastrelle refrattarie, distribuite longitudinalmente con continuità lungo il travetto, in maniera rigorosamente simmetrica. Essa consente di creare quindi una superficie radiante il più possibile uniforme nella camera del forno, con erogazione di calore dal basso verso l'alto.

La potenza impegnata in corrente trifase è di 6000 W, necessaria per raggiungere la temperatura di  $500 \pm 550^\circ\text{C}$ , in corrispondenza dell'armatura inferiore del travetto, nello spazio temporale di tre-quattro ore.

La distanza tra la piastra radiante e l'intradosso del travetto è di circa 9 cm.



Seconda serie di prove: posizionamento della trave (travetto + getto di completamento) all'interno del forno.

Vista di insieme dell'apparato di prova.

Ubicazione delle termocoppie interne al travetto.



È prevista la possibilità di dimezzare la potenza termica fornita, alimentando solo una serie di resistenze, in modo che sia possibile intervenire sulla velocità di riscaldamento.

Per la prima serie di prove, la camera d'aria è stata realizzata con blocchi di calcestruzzo cellulare autoclavato, in grado di resistere a temperature superiori a 600°C, e ricoperta con lana di roccia per contenere la dispersione di calore tra le giunzioni dei blocchi.

Nella seconda serie, la camera, di maggiori dimensioni, è stata ancora realizzata mediante blocchi di calcestruzzo autoclavato che sono serviti a costituire l'involucro.

All'esterno dei blocchi sono stati utilizzati, in luogo della lana di roccia, pannelli isolanti di roccia vulcanica espansa, fibre di vetro e leganti asfaltici e cellululosici.

Gli strumenti impiegati consistono in sei termocoppie in parte posizionate all'interno dei travetti, in parte nella camera d'aria. Esse sono state collegate a una centralina che, in tempo reale e per mezzo di un commutatore, ha fornito in gradi centigradi i valori delle temperature ai vari livelli su un display a cristalli liquidi, con la precisione di un centesimo di grado.

La freccia in mezzeria è stata misurata utilizzando un comparatore centesimale collegato al travetto mediante un filo d'acciaio invar, sostenuto da una struttura esterna di supporto, indipendente dal forno.

#### Le due serie di prove

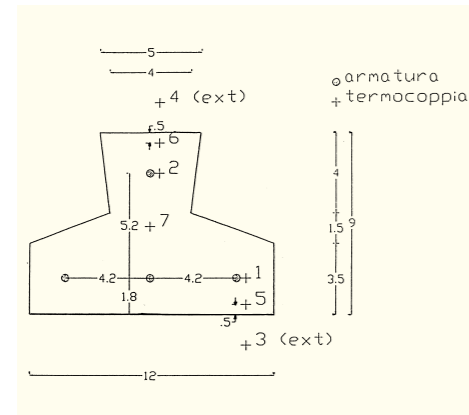
La prima serie di prove è relativa a 10 travetti precompressi a fili aderenti pretesi, lunghi 300 cm, tutti appartenenti alla stessa partita, dotati delle caratteristiche di cui alla tabella 1. Otto di essi, contrassegnati con i numeri progressivi 1...8, sono stati sollecitati termicamente nel forno, appoggiati alle estremità nel modo in precedenza descritto, su una luce di 280 cm. Due, contrassegnati con le sigle  $V_1$  e  $V_2$ , non hanno subito alcun trattamento termico.

Tramite le termocoppie, ubicate come indicato, nel corso delle operazioni di riscaldamento sono state misurate quattro temperature nel travetto e precisamente:

- $T_1$  e  $T_2$  in corrispondenza rispettivamente delle armature inferiore e superiore;
  - $T_5$  e  $T_6$  in corrispondenza, rispettivamente, dei lembi inferiore e superiore, a una distanza  $h$  tra loro di 8 cm;
  - $T_7$  a metà altezza del travetto;
- e due temperature nella camera d'aria:

-  $T_3$  e  $T_4$ , rispettivamente nella parte inferiore, fra la piastra radiante e l'intradosso del travetto, e al di sopra di quest'ultimo. Le letture di tutte le temperature, delle frecce e dei tempi in cui sono state effettuate le misurazioni, sono state eseguite per valori intervallati di 25°C della  $T_1$  nell'armatura inferiore.

Per i travetti 1 e 5 si è raggiunto un valore  $T_{1max} = 250^\circ\text{C}$ ; per i travetti 2 e 6 un valore  $T_{1max} = 350^\circ\text{C}$ ; per i travetti 3 e 7 un valore  $T_{1max} = 450^\circ\text{C}$ ; per i travetti 4 e 8 un valore  $T_{1max} = 500^\circ\text{C}$ . Raggiunta la temperatura massima  $T_1$  pre-



Prima serie di prove: disposizione delle termocoppie.

Prova di flessione per la prima serie di provini.



vista, e interrotta l'alimentazione elettrica di tutte le resistenze, si è atteso per 15 min. nel corso dei quali le temperature all'interno del travetto sono ulteriormente cresciute ma in misura trascurabile (meno del 15%). Solo dopo il forno è stato aperto per consentire al provino di raffreddarsi fino a temperatura ambiente, raggiunta la quale si è misurata la freccia residua.

Tutti i travetti, sia quelli sottoposti a trattamento termico nel modo indicato che gli altri ( $V_1$  e  $V_2$ ), sono stati poi sottoposti a prove di flessione fino a rottura. Lo schema statico usato per tali prove è stato quello di trave semplicemente appoggiata agli estremi su una luce di 184,5 cm, soggetta a due carichi concentrati simmetrici rispetto alla mezzeria, distanti 38,5 cm.

La seconda serie di prove è stata eseguita su otto travetti contrassegnati con i numeri 1... 6 e con le sigle  $V'_1$  e  $V'_2$ , dotati di getto di completamento.

Il calcestruzzo di completamento è di una classe di resistenza dell'ordine della minima consentita: questa circostanza è stata realizzata allo scopo di saggiare il comportamento dell'elemento in un'ipotesi particolarmente sfavorevole.

Le termocoppie sono state ubicate nella sezione del travetto, in modo da misurare le temperature:

- $T_1$  e  $T_2$  in corrispondenza rispettivamente delle armature inferiore e superiore dell'elemento precompresso;
- $T_3$  e  $T_4$ , rispettivamente, tra piastra radiante e intradosso del travetto e al di sopra di quest'ultimo;
- $T_5$  e  $T_6$ , rispettivamente, al centro e al bordo superiore della nervatura completa di getto.

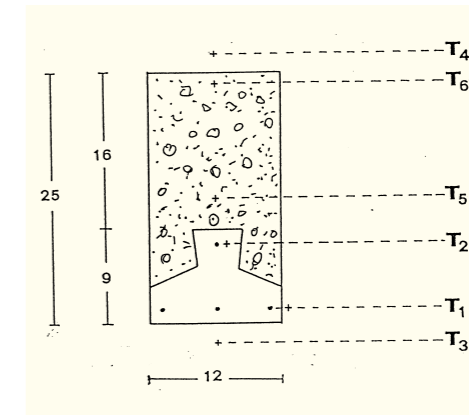
Anche in questo caso, come per la prima serie, le letture sono state riferite alla  $T_1$  che è stata fatta variare con incrementi di 25°C, leggendo ogni volta sia le altre temperature che le frecce e i tempi. I travetti 1 e 5 sono stati sollecitati termicamente fino a  $T_{1max}=350^\circ\text{C}$ ; i travetti 2 e 6 fino a  $T_{1max}=450^\circ\text{C}$ ; i travetti 3 e 4 fino a  $T_{1max}=500^\circ\text{C}$ ; i travetti  $V'_1$  e  $V'_2$  non sono stati sottoposti a riscaldamento. Si sono escluse le prove per  $T_{1max}=250^\circ\text{C}$  avendo constatato, dalle prove della precedente serie, che tale livello termico non produce alterazioni di rilievo nelle strutture.

Le prove a freddo per tutti i travetti (per quelli vergini cioè e per quelli sollecitati termicamente) si sono eseguite usando lo schema di trave appoggiata di luce  $l = 240$  cm, soggetta a due carichi concentrati simmetrici distanti tra loro 38 cm.

Il carico è stato applicato mediante un martinetto idraulico in contrasto con un telaio di acciaio disposto in senso trasversale rispetto al travetto. Le frecce sono state lette mediante tre comparatori, due agli appoggi e uno in mezzeria.

#### I risultati

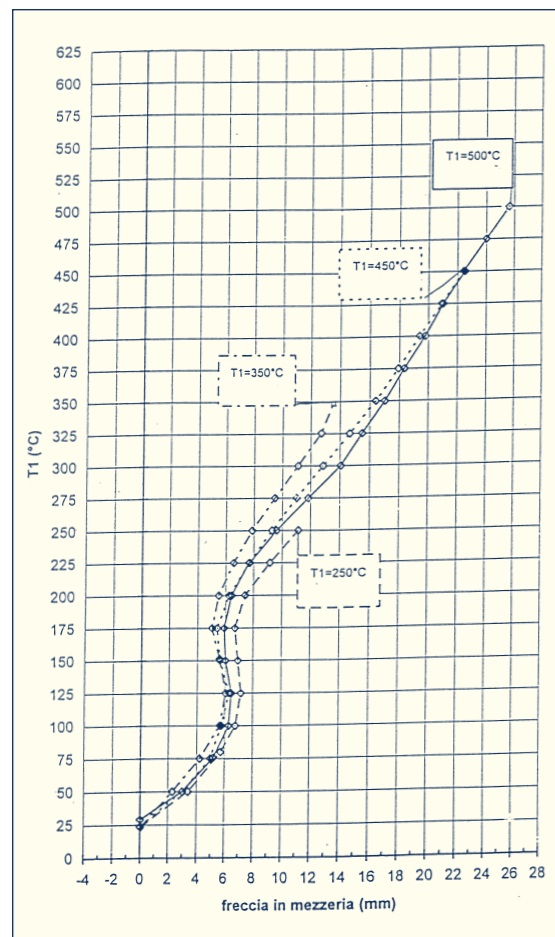
Nel corso delle prove al forno, si è proceduto alla misurazione, ad intervalli costanti, della temperatura  $T_1$  a livello del ferro teso, di tutte le altre temperature, della freccia in mezzeria e del tempo corrispondente a ciascuna lettura, misurato a par-



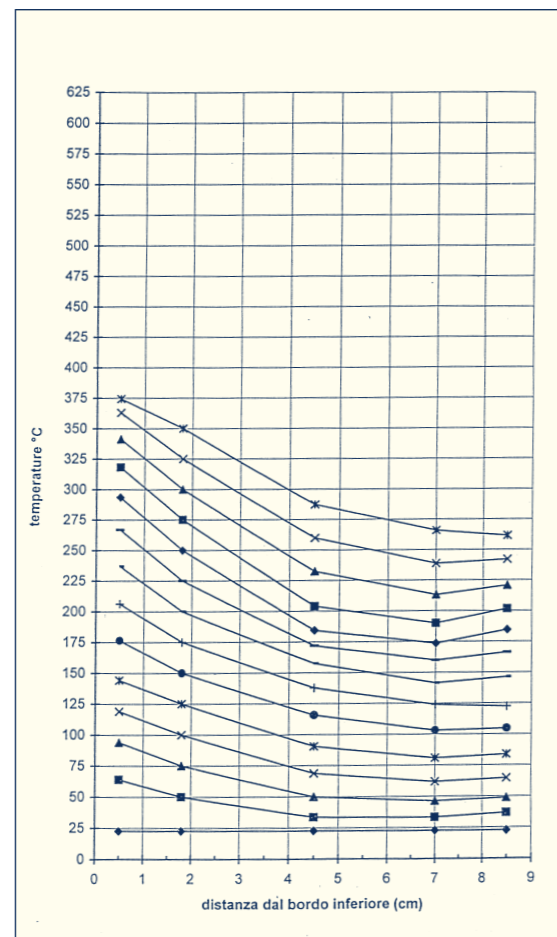
Sezione dei travetti seconda serie e disposizione delle termocoppie.

Prova di flessione per la seconda serie di provini.





(a)



(b)

Diagrammi frecce-temperature  $T_1$  per coppie di travetti della prima serie (a).

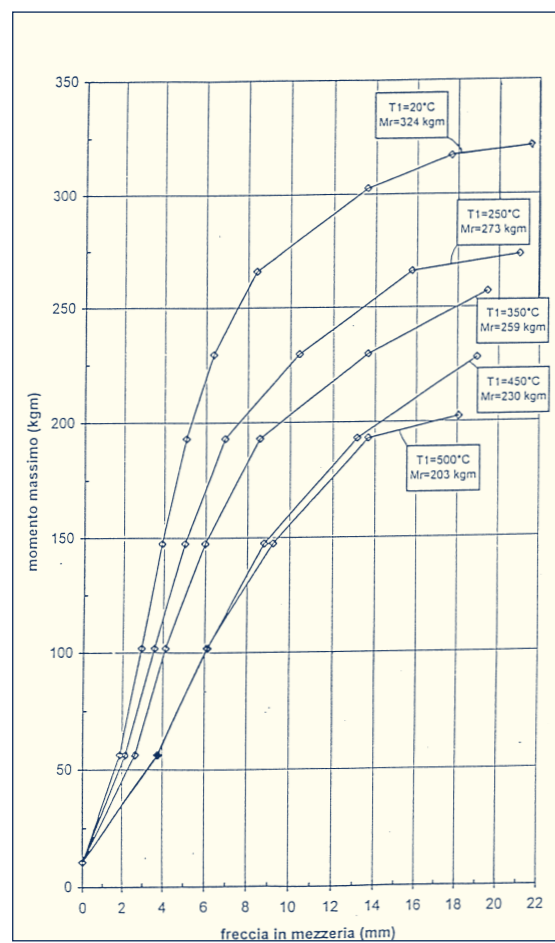
Variazione della temperatura all'interno di un travetto della prima serie ( $T_{1MAX} = 350^\circ\text{C}$ ) (b).

Diagrammi prove a freddo per la prima serie (c).

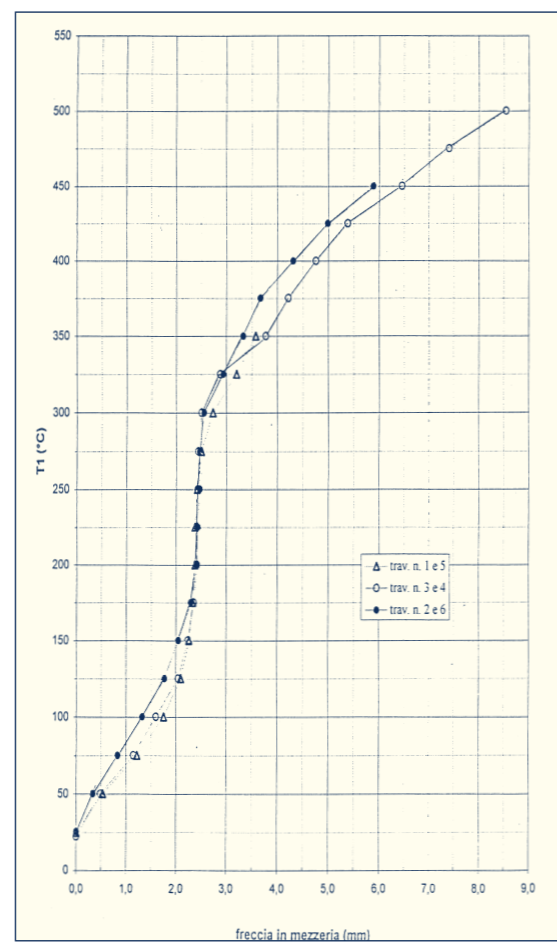
Diagrammi frecce-temperature  $T_1$  per coppie di travetti della seconda serie (d).

Nella pagina a fianco: variazione della temperatura all'interno dei travetti 3-4 della seconda serie ( $T_{1MAX} = 500^\circ\text{C}$ ) (e).

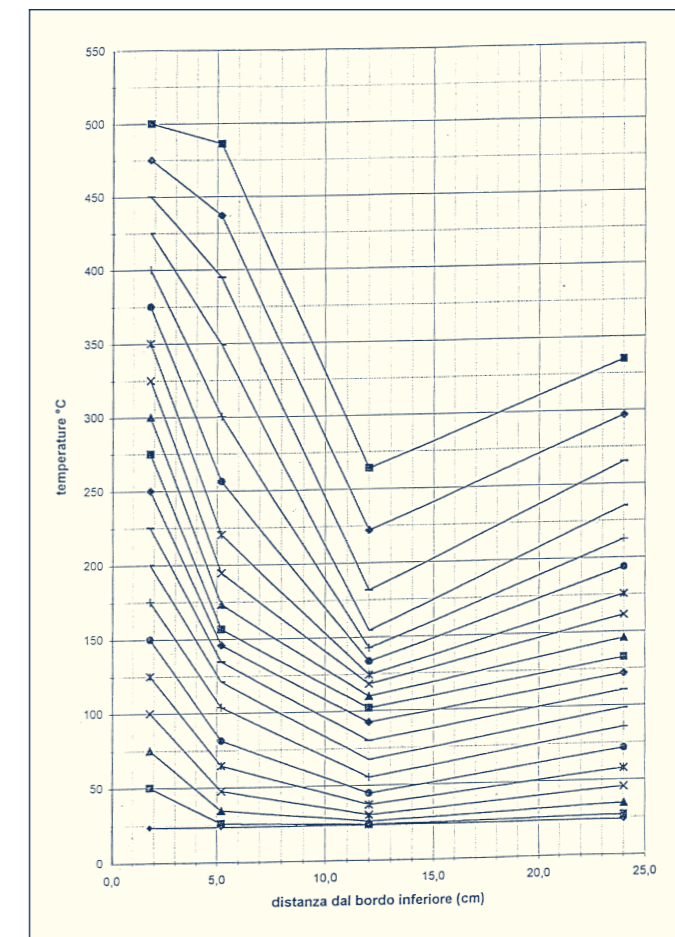
Diagrammi prova a freddo per la seconda serie (f).



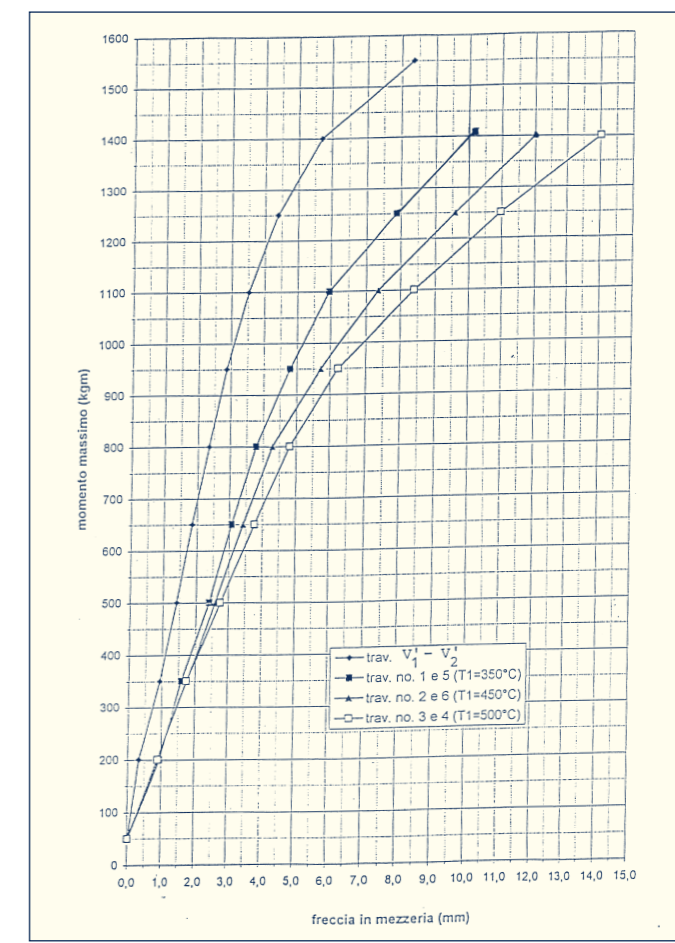
(c)



(d)



(e)



(f)

tire da quello della lettura iniziale. I valori numerici rilevati, che non vengono qui riportati in dettaglio, hanno consentito di costruire dei diagrammi significativi.

Con riferimento alla prima serie di prove, eseguite su semplici travetti precompressi, hanno interesse i diagrammi che riportano in ascisse le frecce misurate in mezzeria dei travetti e in ordinate le temperature  $T_1$  corrispondenti (a). Ciascun diagramma è ottenuto mediando i risultati relativi ai due travetti portati alla medesima soglia massima della temperatura  $T_1$ .

Le frecce residue dopo raffreddamento sono indicate nella tabella 2. Alcune di esse risentono molto probabilmente del cattivo funzionamento iniziale del dispositivo di misura; questo discorso vale in particolare per i primi travetti provati ( $T_{1MAX} = 250^\circ\text{C}$  e  $T_{1MAX} = 350^\circ\text{C}$ ).

Il diagramma (b), relativo al solo travetto n. 2 ( $T_{1MAX} = 350^\circ\text{C}$ ), descrive il modo di variare della temperatura con la distanza dal bordo inferiore dello stesso. Essa consente di stabilire, nota la temperatura di volta in volta letta all'intradosso ( $T_3$ ), il valore che essa assume ai vari altri livelli e cioè le  $T_1, T_7, T_2, T_6$ . Nel diagramma (c) sono indicati i risultati relativi alle prove a freddo sui 10 travetti. Ciascuna curva è costruita mediante i risultati su coppie di travetti portati allo stesso valore  $T_{1MAX}$ . Sono evidenziati, accanto a ciascuna curva, i momenti di rottura medi rilevati sperimentalmente.

La tabella 2, già citata, riassume i risultati della prima serie di prove e mostra in particolare la riduzione percentuale subita dal momento di rottura al variare della sollecitazione termica, rispetto a quello ottenuto operando sui travetti vergini. La parte superiore della tabella comprende i risultati rilevati nel corso del trattamento termico; la parte inferiore quelli ottenuti successivamente nel corso di prove a temperatura ambiente.

La seconda serie di prove si riferisce, come più volte ricordato, a travetti precompressi identici a quelli della prima serie, muniti di getto di completamento. I diagrammi riportati in (d), analoghi a quelli in (a), indicano le leggi di variazione della freccia in mezzeria con la temperatura  $T_1$  nel ferro teso. Ogni curva è ricavata, al solito, mediando i risultati su coppie di travetti portati alla stessa temperatura massima; le frecce residue e i loro valori medi sono indicate in tabella 3.

In (e) sono riportati, per la coppia di travetti (3-4) ( $T_{1MAX} = 500^\circ\text{C}$ ), i diagrammi distanza dal bordo-temperatura che mostrano le modalità di propagazione di quest'ultima all'interno della sezione.

Il diagramma (f) riassume i risultati delle prove a freddo sugli otto travetti, compresi quelli vergini ( $V_1$  e  $V_2$ ). Ciascuna curva, come già per la prima serie, è costruita mediando i risultati conseguiti operando sulle coppie di travetti portati allo stesso valore della  $T_{1MAX}$ .

Nella tabella 3 già citata, corrispondente alla 2 della precedente serie, sono riportati i risultati più significativi ottenuti nel corso delle prove sia a caldo che a freddo, nonché le riduzioni percentuali dei momenti di rottura rispetto a quelli ri-

**Tabella 1** Caratteristiche dei travetti precompressi.

Sezione totale armatura	0,480 cm <sup>2</sup>
Dist. baricentro acciaio dal lembo inferiore	3,100 cm
Area ideale elemento precompresso	74,880 cm <sup>2</sup>
Dist. baricentro elem. dal lembo superiore	5,538 cm
Dist. baricentro elem. dal lembo inferiore	3,462 cm
Rck	550 kg/cm <sup>2</sup>
Momento d'inerzia	447,040 cm <sup>4</sup>
Tensione di tiro	14400 kg/cm <sup>2</sup>
Eccentricità armatura	0,362 cm
Precompressione iniziale lembo superiore	53,315 kg/cm <sup>2</sup>
Precompressione iniziale lembo inferiore	97,184 kg/cm <sup>2</sup>
Forza totale di precompressione a perdite scontate	5252,694 kg
Eccentricità di N	0,335 cm
Precompressione finale lembo superiore	48,334 kg/cm <sup>2</sup>
Precompressione finale lembo inferiore	83,787 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabella 2** Risultati della prima serie di prove.

Travetto	1	5	2	6	3	7	4	8
T <sub>1 max</sub> (°C)	250	250	350	350	450	450	500	500
f <sub>max</sub> (mm)	11,30	11,00	16,05	11,80	22,70	22,30	26,35	24,95
f <sub>r</sub> (mm)	0,00	-2,15	4,05	-2,80	14,95	13,95	18,00	15,95
f <sub>r</sub> /f <sub>max</sub> (%)	0,00	-19,54	25,23	-23,72	65,86	62,55	68,31	63,92
M <sub>rv</sub> (kgm) <sup>(*)</sup>	324							
M <sub>r</sub> (kgm)	273	273	248	270	226	233	208	197
M <sub>rv</sub> - M <sub>r</sub> (%)	15,7	15,7	23,4	16,7	30,2	28,1	35,8	39,2
perdita media (%)	15,70		20,05		29,15		37,50	

(\*)Mrv: momento di rottura medio travetti V<sub>1</sub> - V<sub>2</sub>**Tabella 3** Risultati della seconda serie di prove.

Travetto	1	5	2	6	3	4
T <sub>1 max</sub> (°C)	350	350	450	450	500	500
f <sub>max</sub> (mm)	3,75	3,40	5,90	5,86	8,55	8,53
f <sub>r</sub> (mm)	0,40	0,30	1,60	1,55	1,90	1,87
f <sub>r</sub> /f <sub>max</sub> (%)	10,70	8,82	27,12	26,45	22,22	21,92
M <sub>rv</sub> (kgm) <sup>(*)</sup>	1550					
M <sub>r</sub> (kgm)	1410	1410	1400	1400	1395	1395
M <sub>rv</sub> - M <sub>r</sub> (%)	9,0	9,0	9,7	9,7	10,0	10,0
perdita media (%)	9,0		9,7		10,0	

(\*)Mrv: momento di rottura medio travetti V<sub>1</sub> - V<sub>2</sub>

levati per i travetti non assoggettati a trattamento termico. Anche in tal caso la tabella si compone di due parti di cui quella superiore è relativa alle prove a caldo, quella inferiore alle prove a freddo.

### Conclusioni

I risultati esposti consentono di trarre diverse conclusioni che vengono qui di seguito sintetizzate. Innanzi tutto si rileva che fino a T<sub>1max</sub> = 350 °C, sia nel corso della prima che della seconda serie di prove, non si sono registrate deformazioni residue percentualmente elevate rispetto alle massime. Esse infatti sono dell'ordine del 9÷10% nei travetti muniti di getto di completamento mentre sembrano del tutto trascurabili nel caso dei travetti semplici (tabelle 2 e 3). A temperature superiori sia le frecce massime che quelle residue sono considerevolmente più elevate. Il rapporto percentuale tra deformazione residua e deformazione massima è molto più elevato per i travetti della prima serie (dell'ordine del 65%) che per quelli della seconda (dell'ordine del 25%). Pur se è difficile stabilire come siano variati lo stato di precompressione e le caratteristiche dei singoli materiali costitutivi, è chiaro che le maggiori frecce residue indicano un degrado più o meno accentuato subito dagli elementi provati per effetto delle elevate temperature.

Sotto l'azione della temperatura si osserva in tutti i casi un fenomeno abbastanza singolare. La freccia tende dapprima a crescere fino al raggiungimento all'incirca dei 150 °C; tende poi a mantenersi costante fino a circa 250÷300°C, per riprendere ad aumentare a temperature superiori (diagrammi a e d). Questo fenomeno si potrebbe giustificare ipotizzando che, al crescere della temperatura, la struttura perda l'acqua stechiometricamente in eccesso rispetto a quella strettamente necessaria per le reazioni di idratazione. Ciò produrrebbe un leggero miglioramento delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo e un ritiro che compenserebbe parzialmente le dilatazioni termiche. A temperature più elevate, oltre all'essiccamento, si verificano anche reazioni chimiche di disidratazione dei costituenti idrati del cemento, che provocano una considerevole riduzione della resistenza. Le contrazioni di volume sono contrastate e generano tensioni interne che possono provocare fratture e distacchi. Questi fenomeni si manifesterebbero al di sopra dei 350° per i travetti sia della prima che della seconda serie.

Il rapporto tra i momenti di rottura, ottenuti sottoponendo a prove di flessione gli elementi assoggettati a cemento termico e poi raffreddati e quelli ottenuti portando a rottura gli elementi vergini, cresce, per i travetti privi di getto di completamento, da circa il 16% (T<sub>1max</sub> = 250°C) a circa il 38% (T<sub>1max</sub> = 500°C); si mantiene costantemente pari al 9÷10% per i travetti muniti di getto di completamento, indipendentemente dalla T<sub>1max</sub> raggiunta (tabelle 2 e 3). Dall'esame delle curve ottenute diagrammando i risultati delle

prove a freddo (c ed f) con riferimento a tutto il campo di variazione della T<sub>1</sub> e per travetti assoggettati a trattamenti termici via via crescenti, si deduce che le deformazioni di questi ultimi sono sempre state maggiori che nei corrispondenti travetti vergini. Il fenomeno presenta un maggior rilievo per gli elementi della prima serie piuttosto che per quelli della seconda. Tale circostanza non si può probabilmente attribuire alla distribuzione della temperatura all'interno dai travetti precompressi, visto che questa non differisce molto nei due casi: dipende piuttosto dalla differente curvatura assunta dal travetto precompresso per effetto del cemento termico nei due casi.

Le prove della seconda serie, condotte su travetti muniti di getto di completamento, forniscono infine un dato interessante: pur essendosi raggiunte temperature dell'ordine dei 500°C a livello dell'armatura di precompressione, che, com'è noto, è considerata critica per l'acciaio costitutivo di quest'ultima, pur tuttavia non sembra, a parte la riduzione del modulo elastico, che si siano verificati danni eccessivi. Sia la freccia residua nelle prove a caldo, sia la riduzione del momento di rottura, sono infatti nel complesso abbastanza contenute. La crisi si è sempre verificata peraltro per rottura delle tracce di precompressione. Come è ovvio i risultati conseguiti, pur se interessanti, non sono esaustivi. La ricerca andrebbe proseguita per confermare i dati e per saggiare l'influenza sul fenomeno di altre circostanze di cui in questa sede non si è tenuto conto in quanto estranee ai fini ben limitati che ci si era proposto di conseguire. Più in particolare sarebbe interessante effettuare prove a caldo analoghe a quelle eseguite, in presenza, oltre che del peso proprio, anche di adeguati carichi accidentali, operando su schemi strutturali iperstatici oltre che isostatici.

Le prove di cui al presente lavoro sono comunque ancor più significative se si rileva che, in altri esperimenti condotti di recente,<sup>(7)</sup> per la presenza nei prototipi dell'intonaco e dei laterizi, pur essendosi realizzata all'interno del forno la curva standard regolamentare relativa all'incremento di temperatura, non si sono tuttavia raggiunte nella struttura, e in particolare a livello dell'armatura di precompressione, le elevate temperature rilevate nel corso della sperimentazione qui descritta. ¶

### Bibliografia

1. Lavoro eseguito con il contributo M.U.R.S.T., quota 60%.
2. M. Collepardi, M. Valente, *Effetto delle alte temperature sulle proprietà dei calcestruzzi armati*, "L'industria italiana del cemento", n. 6, 1978.
3. P. Contini, L. Coggiola, *Sicurezza delle costruzioni contro gli incendi: requisiti, gerarchizzazione degli edifici e del danneggiamento accettabile*, "L'industria italiana del cemento", n.10, 1989.
4. L. Propana, *Criteri di prevenzione incendi: realtà operativa nel recupero e nella ristrutturazione edilizia*, "Costruire in Laterizio", n.35, sett.-ott., 1993.
5. A. Campioli, *Solai a prova di fuoco*, "Costruire in Laterizio", n.35, sett.-ott., 1993.
6. Ministero degli Interni, Circolare n.91 del 14/9/1961, *Norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati in acciaio destinati a uso civile*.
7. G. Gazzola, *Comportamento al fuoco delle strutture miste da solaio*, "Costruire in Laterizio", n.47, sett.-ott., 1995.



Particolare della rottura di un travetto della seconda serie dovuta al cedimento delle tracce di precompressione.