

Progetto Nazionale Cofinanziato dal Murst – 1997-98
Giornate di Studio, 11-12 Marzo 1999, Venezia

Comportamento Macroscopico in Compressione dei Calcestruzzi e Nuove Assunzioni Costitutive

E. Ferretti¹ – E. Viola² – A. Di Leo³

Parole chiave: Calcestruzzo, Frattura, Microsismica, Area resistente.

Sommario: Viene introdotta una differenziazione concettuale tra andamento dei diagrammi carico/spostamento e andamento dei diagrammi tensione/deformazione per i calcestruzzi compressi, interpretando il comportamento degradante dei primi, compreso il ramo softening, come effetto strutturale e proponendo una nuova legge di evoluzione per i secondi. A tal fine, si è valutato, tramite analisi microsismica, l'effetto sulle non linearità macroscopiche della propagazione di superfici di frattura coesive. Il comportamento macroscopico del calcestruzzo viene reinterpretato a partire da nuove leggi costitutive e parametri di danno opportunamente definiti.

Introduzione

I fenomeni meccanici responsabili del comportamento non lineare del calcestruzzo compresso sono numerosi e molto complessi. Le possibilità di modellazione di tali fenomeni sono pertanto limitate e si rende necessario prenderne in considerazione solo i più significativi.

Peraltro, si può ritenere che i fenomeni già in genere poco influenti sulla deviazione dalla linearità, nel caso dei calcestruzzi ad alte prestazioni lo siano ancora meno, in quanto tali materiali esibiscono un comportamento più marcatamente lineare rispetto ai calcestruzzi normali.

È noto che una delle cause principali di insorgenza di non linearità sia la formazione, prima, di un'estesa microfessurazione e, in seguito, di vere e proprie superfici di crisi. Tale fenomeno è ben descritto in letteratura ma non ne sono mai state investigate le conseguenze sulla derivazione dai dati sperimentali del legame costitutivo del calcestruzzo (ad alte prestazioni e non).

Infatti, l'osservazione sperimentale di una superficie di crisi interessante lo spessore dei provini suggerisce la necessità di considerare una sezione resistente degradante. Ciò porta ad una differenziazione concettuale tra tensione media e tensione effettiva e tra andamento dei diagrammi di carico (risposta macroscopica riferita alla struttura) e andamento dei diagrammi tensione effettiva-deformazione (legge costitutiva riferita al materiale): questi ultimi, essendo $A_{res} < A_n$, con A_{res} area resistente e A_n area nominale, sono sempre al di sopra dei diagrammi tensione media-deformazione e non devono necessariamente esibire comportamento softening (fig. 1). Lo stesso effetto dimensionale è imputabile al fatto di trascurare il degrado di A_{res} .

Poiché il degrado percentuale dell'area resistente dipende dalla geometria del solido di prova, è impossibile definire a priori una funzione dei soli parametri macroscopici che colga l'entità di tale degrado. In vista di una più accurata modellazione in grado di valutare l'effetto geometrico, si fornisce una stima di derivazione sperimentale dell'evoluzione macroscopica del degrado di area resistente. A tal fine, si confrontano i risultati ottenuti assumendo, come parametri di danno macroscopico, un parametro energetico e due parametri derivanti da analisi microsismica.

¹ Ingegnere Edile – Dottorando di Ricerca in “Materiali Compositi per l'Ingegneria Civile”.

² Professore Ordinario – DISTART – Università degli Studi di Bologna.

³ Professore Associato – DISTART – Università degli Studi di Bologna.

Descrizione del programma sperimentale

Si sono eseguite quattro prove di resistenza con analisi microsismica lungo un percorso diametrale a metà altezza (fig. 2) su provini cilindrici di diametro costante ($\phi \cong 150$ mm):

- 1 prova su provino in calcestruzzo ordinario di altezza $H = 300$ mm;
- 1 prova su provino in calcestruzzo ordinario di altezza $H = 200$ mm;
- 1 prova su provino in calcestruzzo ordinario di altezza $H = 100$ mm;
- 1 prova su provino in calcestruzzo ad alta resistenza di altezza $H = 300$ mm.

Risultati sperimentali e modellazione

In tutte le prove, la rilevazione della velocità è risultata più attendibile di quella del guadagno in quanto, per un limite della strumentazione usata, al raggiungimento del carico massimo non è stato più possibile amplificare il segnale. Ai fini della deduzione dell'area resistente, i risultati dall'analisi del guadagno sono attendibili solo fino alla soglia orizzontale delle fig. 3, 5 e 7.

Per i parametri di danno e l'area resistente, si sono assunte le seguenti espressioni:

$$D_1 = \frac{E_{diss}}{E_{diss_{tot}}}, \quad D_2 = 1 - \frac{V}{V_0}, \quad D_3 = 1 - \frac{G_0}{G}, \quad A_{res_i} = A_n (1 - D_i);$$

dove: E_{diss} è l'energia dissipata (differenza tra le aree sottese al diagramma di carico e al ciclo di scarico), $E_{diss_{tot}}$ è l'energia dissipata totale, V è la velocità di propagazione delle onde elastiche, G è il guadagno, V_0 e G_0 sono, rispettivamente, la velocità e il guadagno a provino scarico.

Provino in calcestruzzo ordinario alto 300 mm

Rispetto agli altri provini di calcestruzzo ordinario, questo ha mostrato il comportamento più fragile. Di conseguenza, i dati sperimentali derivanti dall'analisi microsismica sono attendibili solo fino al carico massimo in quanto, da questo punto in poi, lo sviluppo rapido ed improvviso del complesso fessurativo ha apportato un forte disturbo alle rilevazioni sperimentali (fig. 3). Ai fini della determinazione dell'area resistente, quindi, il parametro di danno più attendibile per questo provino è D_1 ; il relativo legame costitutivo teorico non mostra comportamento softening ma, al contrario, risulta essere sempre crescente (fig. 4).

Provino in calcestruzzo ordinario alto 200 mm

È il provino che ha consentito la migliore rilevazione della velocità oltre il carico massimo (fig. 5). Assumendo come parametri di danno D_1 e D_2 (quest'ultimo valido fino al comparire del disturbo), si ottiene ancora un legame costitutivo teorico crescente (fig. 6).

Provino in calcestruzzo ordinario alto 100 mm

L'altezza limitata ha comportato una forte riflessione delle onde elastiche ad opera dei piatti della pressa. Di conseguenza, entrambi i parametri D_2 e D_3 risultano inattendibili, mentre il parametro D_1 continua a fornire un legame costitutivo teorico sempre crescente (fig. 7 e 8).

Dal confronto fra i tre provini in calcestruzzo ordinario, appare evidente che il degrado dell'area resistente è tanto più rapido quanto maggiore è il rapporto altezza/diametro (fig. 9).

Utilizzando D_1 , i legami costitutivi teorici ricavati per le tre geometrie sono sovrapponibili per grandi spostamenti (fig. 10): la differenza nell'inclinazione iniziale è da imputare alle tensioni tangenziali agenti sui piatti ed al fatto che i due provini alti 200 e 100 mm sono stati ottenuti per taglio da un provino alto 300 mm con conseguente disturbo arrecato agli stessi.

Provino in calcestruzzo ad alta resistenza alto 300 mm

Con analisi analoga alla precedente si ottengono, sia per il parametro D_1 , sia per i parametri D_2 e D_3 , legami costitutivi teorici sempre crescenti (fig. 11).

Conclusioni

Il processo fessurativo ha origine con largo anticipo rispetto al raggiungimento del carico massimo. Fin dall'inizio del processo di carico è quindi necessario considerare un'area resistente minore di quella nominale. Ciò si riflette in un andamento del digramma costitutivo diverso da quello classico. In particolare, il comportamento softening risulta essere un effetto macroscopico legato alla meccanica strutturale e non corrisponde ad una proprietà costitutiva del materiale.

I cilindri di pari dimensioni in calcestruzzo ordinario e ad alta resistenza, mostrano che, nel secondo caso, il danno compare per spostamenti maggiori ma evolve più rapidamente (fig. 12).

Ringraziamenti

Questa ricerca è stata svolta con il contributo finanziario del Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica, Progetto 9708165746_006.

Bibliografia

Daponte, P., e Olivito, R. S., “Metodi Ultrasonici per il Rilevamento del Danno nel Calcestruzzo: Analisi nel Dominio del Tempo e della Frequenza”, *Atti del Convegno Nazionale in Ricordo di Riccardo Baldacci e Michele Capurso*, Ottobre 1989.

Rizzi, E., “Localization Analysis of Damaged Materials”, Thesis for the Master of Science Degree, University of Colorado at Boulder, February 1993.

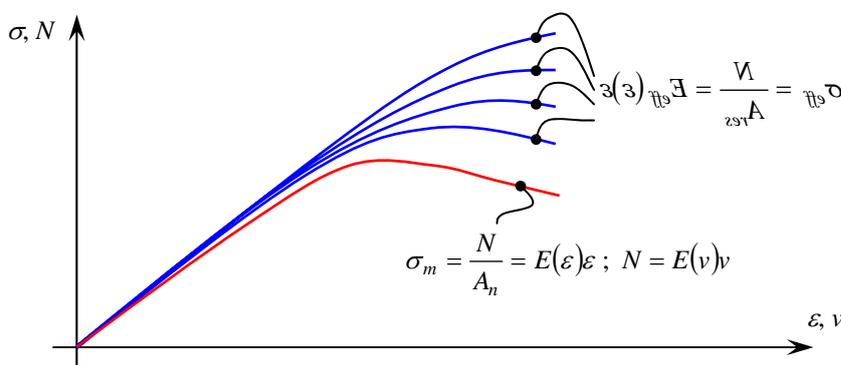


Fig. 1. Leggi costitutive ipotetiche (σ_{eff}/ϵ) al variare della legge di decremento dell'area resistente (A_{res}) e loro confronto con le curve della tensione media (σ_m/ϵ) e con il diagramma di carico (N/ν).

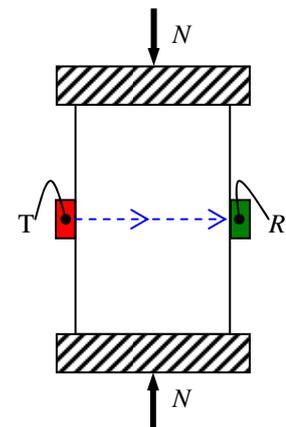


Fig. 2. Schema della prova di carico.

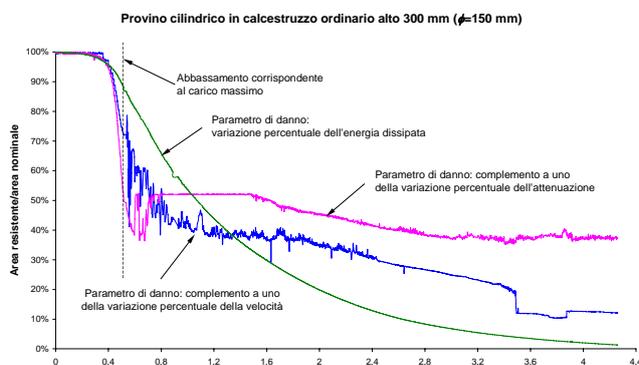


Fig. 3.



Fig. 4.

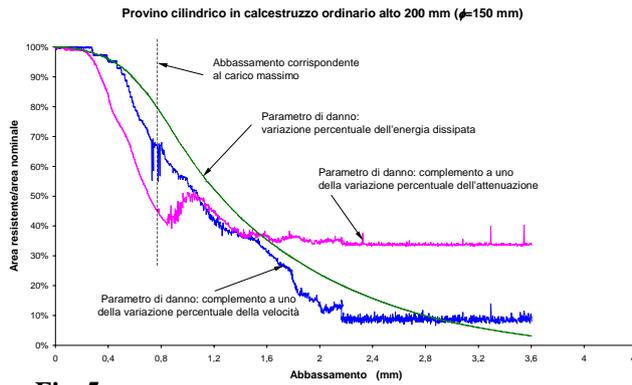


Fig. 5.

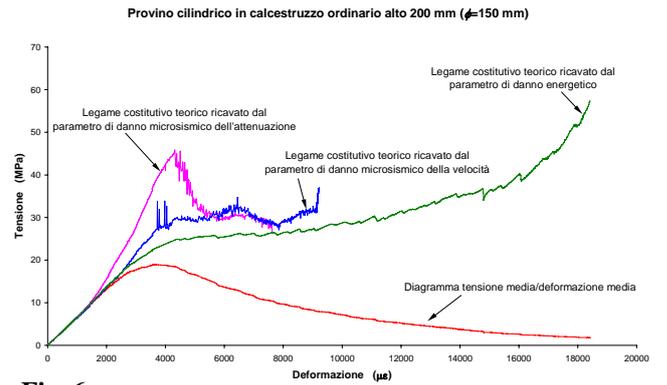


Fig. 6.

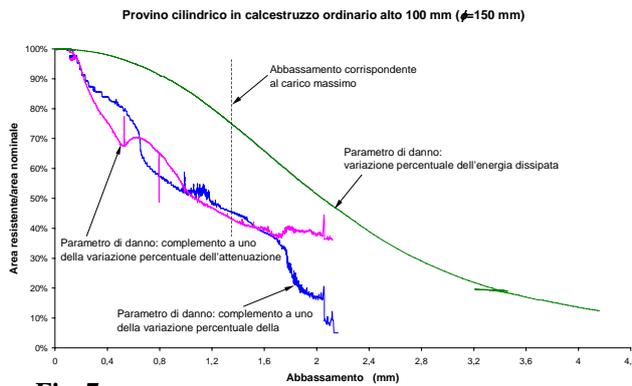


Fig. 7.

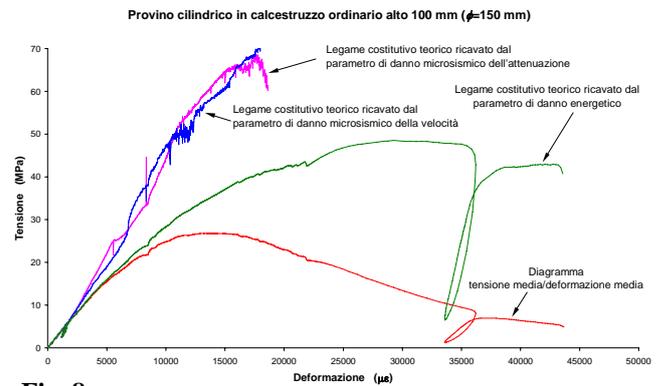


Fig. 8.

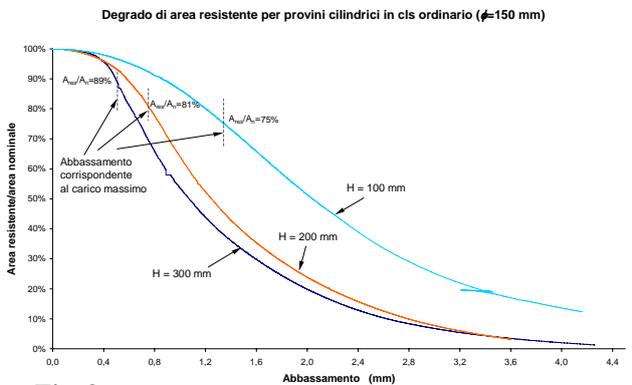


Fig. 9.

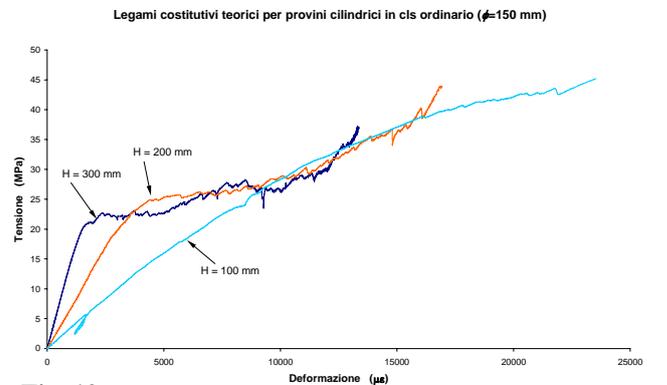


Fig. 10.

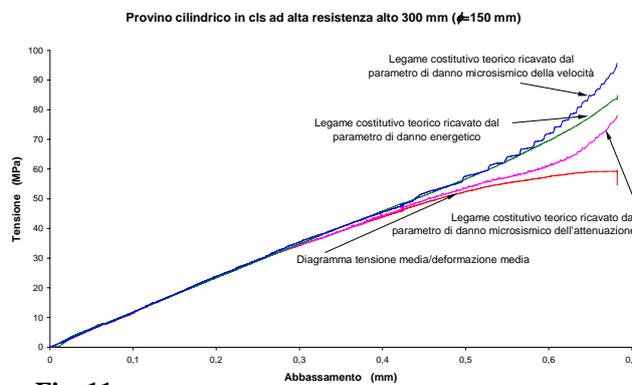


Fig. 11.

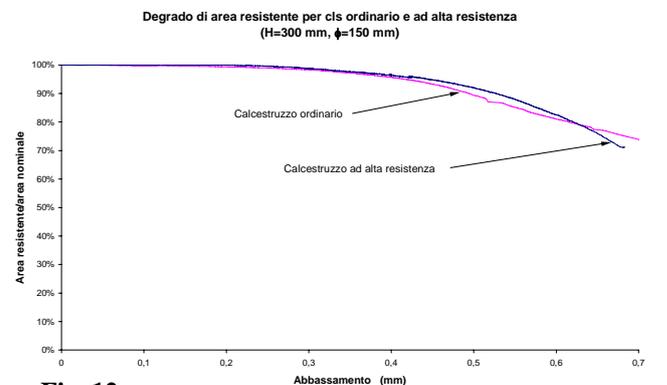


Fig. 12.