
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

RENDICONTI

FRANCO LEVI

Ulteriori considerazioni sulla reologia del conglomerato cementizio

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 38 (1965), n.4, p. 492–495.*

Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1965_8_38_4_492_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)*

SIMAI & UMI

<http://www.bdim.eu/>

Scienza delle costruzioni. — *Ulteriori considerazioni sulla reologia del conglomerato cementizio.* Nota di FRANCO LEVI, presentata (*) dal Socio G. COLONNETTI.

Abbiamo già più volte avuto occasione di mostrare che una delle più interessanti rappresentazioni analitiche delle proprietà reologiche del conglomerato cementizio era data da una espressione del tipo:

$$(1) \quad \frac{d\bar{\varepsilon}}{dt} + R\bar{\varepsilon}\bar{\varepsilon}_0' - QS\bar{\varepsilon}_0' = 0$$

che lega la deformazione « viscosa » (o fluage) del calcestruzzo $\bar{\varepsilon}$ alla sollecitazione applicata S ed al « fluage specifico » $\bar{\varepsilon}_0$ della frazione visco-elastica dell'impasto (pasta cementizia). In questa espressione R e Q sono due coefficienti che caratterizzano il tipo di conglomerato in esame. In genere, ad $\bar{\varepsilon}_0$ si attribuisce una forma analitica semplificata del tipo:

$$(2) \quad \bar{\varepsilon}_0 = \frac{at}{a+bt} \quad \text{oppure} \quad (3) \quad \bar{\varepsilon}_0 = \gamma(1 - e^{-\theta v})$$

ed i vari parametri $R, Q, a, b, \gamma, \theta$ vengono desunti, sia pure con qualche incertezza, dai risultati sperimentali che si riscontrano nella bibliografia [1] [2] [3] [4] [5] [6]. Nelle pubblicazioni citate abbiamo infatti messo in evidenza che, per questa via, era possibile tradurre correttamente i principali aspetti del comportamento del conglomerato: evoluzione delle deformazioni e delle tensioni in presenza di carichi e di distorsioni costanti o variabili; influenza dell'elasticità ritardata; applicabilità del principio di reversibilità di Mac Henry.

Ricordiamo peraltro che l'adozione della (1) ci ha condotti a collegare queste varie proprietà alla comparsa nel materiale di due distinti fenomeni: graduale invecchiamento della pasta cementizia, apparizione, fra la frazione visco-elastica e la frazione elastica del conglomerato, di uno stato di mutua costrizione.

In effetti, non è inutile segnalare che all'espressione (1) si è logicamente condotti quando si considera il calcestruzzo come formato da elementi eterogenei nei quali una frazione di materiale visco-elastico sia associata in parallelo con una frazione elastica. Tuttavia il calcolo diretto dei coefficienti caratteristici a partire da uno schema fisico siffatto porta a risultati numerici che non concordano con i dati sperimentali [5]; donde la necessità di ricavare i valori dei vari parametri mediante una interpretazione statistica dei rilevamenti sperimentali, pur lasciando invariata la forma analitica dell'equazione reologica [6].

(*) Nella seduta del 10 aprile 1965.

Il fatto che l'espressione (1) adottata sia comunque formalmente identica a quella desunta da uno schema reologico del tipo « parallelo » presenta tuttavia un interesse pratico di primo piano. È ovvio infatti che l'adozione dello schema « parallelo » consente di studiare con molta facilità la legge di variazione degli sforzi entro strutture omogenee ⁽¹⁾ soggette a deformazioni impresse costanti o variabili nel tempo. Basta infatti osservare che nell'anima elastica dell'elemento reologico la deformazione non può che far nascere uno stato di tensione identico a quello che si avrebbe in un solido perfettamente elastico. Invece, nella frazione visco-elastica, l'evoluzione del regime di sforzo sarà identica a quella che si avrebbe in un solido caratterizzato da una legge di fluage lineare semplificata, data la possibilità di estendere al caso in esame la legge d'isomorfismo [2].

Così, ad esempio, in un solido soggetto ad una deformazione impressa costante, costituito da una frazione $\bar{A}$ di materiale visco-elastico di modulo E , una frazione A' di materiale elastico di modulo E' (di cui indicheremo con A la sezione omogeneizzata al modulo E), la legge di variazione nel tempo della tensione nel punto generico, riferita alla tensione iniziale S_E indotta in regime elastico, si potrà scrivere:

$$(4) \quad \frac{S(t)}{S_E} = \left(1 - \frac{\bar{A}}{A}\right) + \frac{\bar{A}}{A} e^{-E\bar{e}_0(t)}$$

dove il termine fra parentesi rappresenta la quota (costante) di sforzo assorbita dalla frazione elastica della sezione, mentre il secondo termine corrisponde alla quota di sforzo assorbita all'istante t dalla frazione visco-elastica.

Ora, se noi osserviamo che l'adozione della (1) equivale ad attribuire al materiale uno schema reologico parallelo (sia pure caratterizzato da un rapporto fittizio fra le sezioni dei due costituenti), noi giungiamo alla conclusione che, per risolvere i vari problemi pratici (effetti del ritiro, di variazioni termiche, di cedimenti dei vincoli, ecc.) potremo sempre procedere come nel caso della distorsione costante, giungendo a caratterizzare le leggi di variazione della tensione nel punto generico con espressioni costruite in modo analogo a quello usato per giungere alla (4).

Donde un'ulteriore conferma dell'importanza pratica della (1) e della possibilità che essa offre di risolvere con estrema facilità la maggior parte dei problemi applicativi.

In effetti, l'interpretazione testè riportata fornisce anche una nuova descrizione intuitiva del comportamento del conglomerato cementizio. Ad esempio, in un solido soggetto ad uno stato di coazione costante, si potrebbe dire che tutto avviene come se l'apparente concentrazione di sforzi sulla frazione elastica della sezione non fosse dovuta ad una trasmigrazione di sforzi provenienti dalla frazione visco-elastica. Secondo la nostra attuale immagine, lo sforzo assorbito dalla frazione elastica

(1) L'omogeneità a cui si fa cenno si riferisce alla struttura nel suo insieme, non alla costituzione interna del materiale.

rimarrebbe invece costante, ma la sua importanza relativa andrebbe aumentando, data la graduale riduzione della reazione elastica dell'insieme. E, analogamente, volendo spiegare la « ripresa » di fluage che segue la ritartatura di uno stato di coazione, si potrebbe ragionare come segue: all'atto della ricarica, la ripartizione fra le due frazioni della sezione del nuovo sforzo applicato avviene nella proporzione dei moduli elastici istantanei. Mentre quindi lo sforzo residuo era andato a concentrarsi prevalentemente sull'elemento elastico, a scapito della sollecitazione esercitata sull'elemento visco-elastico, il nuovo sforzo fa appello in maggior misura alla reazione dell'elemento visco-elastico. Donde la « ripresa » del fluage. Ed è interessante notare che tali schematizzazioni dei fenomeni non fanno praticamente intervenire quegli stati di mutua costrizione fra i costituenti dell'impasto che costituivano invece l'aspetto fondamentale delle precedenti interpretazioni, ricordate all'inizio della presente Nota.

Ci si potrebbe allora domandare se i nostri ragionamenti antecedenti non tendano a sopravvalutare la funzione esplicita dagli stati di coazione. A nostro avviso però ad un tale quesito bisogna subito rispondere negativamente. È chiaro infatti che, nella realtà, l'anima elastica non è affatto continua. Nell'interno del conglomerato gli sforzi devono quindi trasferirsi senza sosta dalla pasta cementizia all'inerte ed inversamente. E ciò comporta necessariamente l'esistenza di uno stato di mutua costrizione complesso, peraltro assai difficile da descrivere nei suoi dettagli. Riteniamo pertanto che non vi siano ragioni valide per sovvertire il fondamento dell'immagine del funzionamento reologico adottato nei nostri precedenti studi.

Sorge allora spontanea l'idea che, se le tensioni interne suddette esercitano effettivamente una funzione statica sostanziale, debba essere in qualche modo possibile mettere in evidenza la loro esistenza. Ora, noi crediamo che ciò sia effettivamente possibile istituendo prove di laboratorio condotte secondo nuovi criteri.

A titolo di esempio, descriviamo una delle esperienze che si potrebbero realizzare.

Se è vero che il comportamento del conglomerato è influenzato dall'apparizione di tensioni interne di mutua costrizione, è altresì verosimile che tali tensioni debbano potersi attenuare, o anche eliminare totalmente, mediante trattamenti analoghi a quelli usati per « ricuocere » i metalli. Nel caso del conglomerato cementizio, la ricottura potrebbe ottenersi, sia con l'ausilio di trattamenti termici (anche di lieve durata ed intensità), sia a mezzo di una temporanea umidificazione.

Supponiamo allora di sottoporre una provetta a di conglomerato ad una sollecitazione costante S applicata al tempo t_0 e di conservarla in condizioni termo-igrometriche costanti. Immaginiamo quindi di sottoporre una seconda provetta b , identica alla precedente ed avente la stessa età, ad un medesimo carico S applicato al tempo t_1 . È ben noto che, in queste condizioni, le curve di deformazione (depurate del ritiro) osservate a partire da t_1 non sono identiche: la deformazione della provetta b cresce infatti assai più in fretta di quella

della provetta *a*. Se, tuttavia, l'ipotesi dell'esistenza delle tensioni interne risponde a realtà, è logico pensare che, qualora al tempo t_1 , dopo aver caricato la provetta *b*, noi sottoponiamo le due provette ad un trattamento di « ricottura » (termico o igrometrico), la differenza fra le due curve possa attenuarsi in misura sostanziale. Infatti, la « ricottura », riducendo le tensioni interne nella provetta *a*, dovrebbe conferirle delle proprietà molto simili a quelle della provetta *b*.

È quindi logico auspicare che esperienze di questo tipo vengano intraprese a breve scadenza.

Per concludere, vorremmo tuttavia formulare ancora un'ultima osservazione. Se l'influenza determinante dei trattamenti termo-igrometrici sulla forma delle curve di « fluage » dovesse trovare conferma, ne deriverebbe immediatamente che la forma delle curve stesse dipende sempre in larga misura dalle condizioni di conservazione. Ciò dovrebbe quindi essere tenuto sempre ben presente nell'interpretazione dei risultati sperimentali.

In particolare, quanto sopra tenderebbe a mettere in dubbio la possibilità di generalizzare i valori di parametri reologici desunti da esperienze condotte all'aperto, quali, ad esempio, quelli che si sono cercati di desumere da misure eseguite su rivestimenti cementizi stradali o aeroportuali. In queste condizioni, infatti, l'alternarsi di variazioni termo-igrometriche potrebbe attenuare l'influenza delle tensioni interne, riducendo quindi l'entità del termine di elasticità ritardata. Uno studio recentemente pubblicato sembra confermare tali previsioni [7].

BIBLIOGRAFIA.

- [1] F. LEVI, *Generalizzazione del legame sforzi-deformazioni nei solidi elastico-viscosi*, « Acc. Naz. Lincei », 3, sez. VIII, vol. VI (1949).
- [2] F. LEVI-G. PIZZETTI, *Fluage, Plasticité, Précontrainte*, Dunod, Paris (1951).
- [3] F. LEVI, *Sulla schematizzazione della legge di deformazione del calcestruzzo*, « Ric. Scient. Roma », n. 6 (1959).
- [4] F. LEVI, *Interpretazione teorica del principio di reversibilità di Mac Henry*, « Acc. Naz. Lincei », 5, sez. VIII, vol. XXX (1961).
- [5] F. LEVI, *Relations entre propriétés rhéologiques du béton et composition du mélange*, 4° Congrès de la FIP, Rome (1962).
- [6] F. LEVI, *Représentation des propriétés rhéologiques du béton durci*, Volume d'Hommage au prof. Campus, Université de Liège (1964).
- [7] R. PELTIER, *Note sur la rhéologie du béton fortement précontraint*. Publication n. 63-6. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Paris (1963).