
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI
RENDICONTI

FRANCO LEVI, EZIO LEPORATI

**Sulla scelta delle modalità operative nelle verifiche
strutturali non lineari. Nota I**

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 58 (1975), n.3, p. 380–384.*

Accademia Nazionale dei Lincei

[<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1975_8_58_3_380_0>](http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1975_8_58_3_380_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/>

Meccanica. — *Sulla scelta delle modalità operative nelle verifiche strutturali non lineari.* Nota I di FRANCO LEVI e EZIO LEPORATI, presentata (*) dal Socio P. CICALA.

SUMMARY. — Discussion of two methods for the linearization of the checking of safety in structures with non linear behaviour in presence of a single action.

La concezione probabilistica della sicurezza strutturale porta logicamente ad ammettere che, in presenza di ridistribuzioni anelastiche o di effetti del second'ordine, le verifiche effettuate su basi statistiche con i metodi approssimati detti « di livello I » debbano riferirsi ad una intensità delle azioni esterne intermedia fra i valori di esercizio e quelli di calcolo ⁽¹⁾.

Una schematizzazione attendibile della convoluzione fra sollecitazione e resistenza non può infatti derivare né dall'applicazione del fattore di sicurezza globale alle sollecitazioni calcolate per il valore caratteristico delle azioni, la quale comporterebbe una valutazione inesatta dell'influenza delle condizioni di vincolo e di deformazione, né dall'applicazione del fattore di sicurezza al valore caratteristico delle azioni, che implicherebbe uno sviluppo dei fenomeni non lineari del tutto insensibile ai fattori d'incertezza di carattere locale [1].

Tali orientamenti trovano conferma in alcuni lavori recenti [2], [3], [4], che cercano di risolvere il problema mediante la definizione di una « intensità di riferimento » delle azioni considerata significativa ai fini di una rappresentazione statistica.

In pratica, i procedimenti proposti possono ricondursi agli schemi di cui alle figg. 1 e 2 nelle quali q è l'intensità dell'azione, M_a la sollecitazione « applicata » nella sezione considerata; γ_{f1} , γ_{f3} , γ_f dei fattori di moltiplicazione delle azioni o delle sollecitazioni che assumono la funzione di fattori di sicurezza, α un coefficiente atto a definire le modalità di linearizzazione nel secondo procedimento, M_{ud} la sollecitazione resistente di calcolo.

Nella fig. 1 [2] il fattore di sicurezza viene « graduato » applicando una prima maggiorazione γ_{f1} alla azione esterna, una seconda γ_{f3} alla sollecitazione indotta da $\gamma_{f1} q_k$ in regime non lineare (q_k : valore caratteristico). Nella fig. 2 [4] si valuta invece un coefficiente d'influenza in campo non lineare per una intensità intermedia αq_k , sia $M_a(\alpha q_k)/\alpha q_k$, e lo si utilizza per una verifica globale linearizzata effettuata per una intensità « di calcolo » $\gamma_f q_k$ ⁽²⁾.

(*) Nella seduta dell'8 marzo 1975.

(1) I livelli usualmente detti II e III comportano l'adozione di procedimenti più accurati del calcolo delle probabilità. L'enorme complessità di tale indagine per problemi strutturali non lineari e la difficoltà di reperire dati d'ingresso adeguatamente precisi impongono spesso il ricorso alle semplificazioni di livello I.

(2) Nella Memoria [4], per seguire più da vicino l'evoluzione del comportamento non lineare, si propone altresì, in alternativa, di adottare una linearizzazione non Hookeana se-

In questa Nota si discuteranno i due schemi operativi cercando di valutarne pregi e difetti ai fini di una interpretazione razionale della realtà fisica. È più agevole ragionare in primo luogo in presenza di una unica azione esterna. In tale ambito si può ammettere che ambedue gli approcci tendano ad individuare uno stadio di riferimento che riduca al minimo l'imprecisione indotta dalla linearizzazione. A tal fine il procedimento detto « dei coefficienti graduati » (fig. 1) opera al livello $\gamma_{f1} q_k$ che si potrebbe assimilare ad un frattile

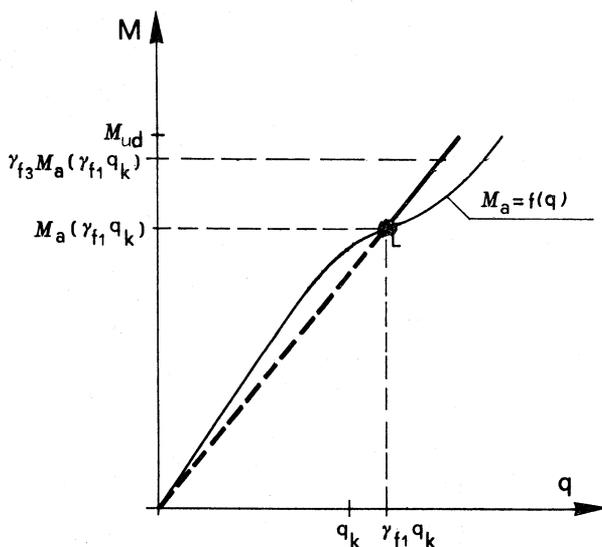


Fig. 1.

predeterminato dell'azione⁽³⁾, ammettendo implicitamente che la variabilità della grandezza q sia prevalente ai fini della risposta strutturale globale. Se necessario, è tuttavia prevista l'introduzione di un coefficiente correttivo atto a coprire le incertezze sulle resistenze che influiscono sulla risposta globale (la cui presa in conto nelle Raccomandazioni CEB-FIP [5], viene affidata al coefficiente γ_{m1}). L'approccio di fig. 2 si propone invece di ricercare la zona più significativa della convoluzione fra sollecitazione M_a e resistenza M_f (cfr. fig. 3).

Le operazioni successive, effettuate in ambedue i casi con legge proporzionale (ponendo $\gamma_{f3} M_a(\gamma_{f1} q_k) \leq M_{ud}$ col metodo dei coefficienti graduati,

condo la tangente in L. Independentemente dalla difficoltà pratica di definire con precisione la pendenza della curva $q - M_a$, va tuttavia rilevato che, così facendo, le operazioni di verifica effettuate in varie sezioni non corrispondono ad una configurazione globale equilibrata. Donde l'impossibilità di un controllo statico coerente dei vari elementi strutturali dell'opera. Come vedremo, la linearizzazione secondo la tangente presenta anche degli inconvenienti dal punto di vista operativo.

(3) Si noti l'analogia di tale interpretazione con quella fornita in [3] per i coefficienti correttivi delle resistenze.

$\gamma_f \cdot M_a(\alpha q_k)/\alpha \leq M_{ud}$ nell'altro procedimento), sono poi concettualmente molto simili.

Non è difficile tuttavia individuare motivi d'incertezza nell'applicazione pratica di ambedue le modalità operative proposte.

L'adozione dei coefficienti graduati presuppone una suddivisione apparentemente logica, ma sostanzialmente artificiosa, dell'operazione di verifica in due fasi riguardanti, l'una la risposta globale, l'altra le incertezze di carattere locale. È pertanto discutibile, nel caso generale, tenuto conto delle correlazioni esistenti tra i due aspetti del problema, la possibilità di giungere ad una valutazione probabilisticamente corretta dei singoli fattori γ_{f1} , γ_{f3} .

Così pure, l'individuazione della zona significativa della convoluzione sollecitazione-resistenza è resa assai problematica dalle difficoltà inerenti al tracciamento delle leggi di distribuzione $p(M_a)$, $p(M_f)$.

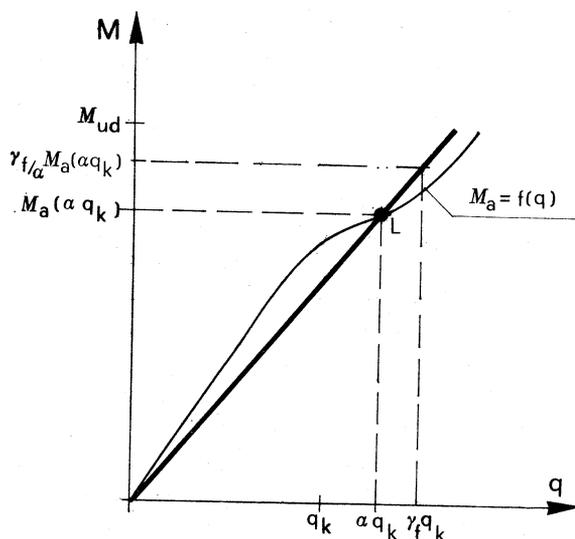


Fig. 2.

Per quanto riguarda le resistenze, sembrerebbe logico, a prima vista, riferirsi alla totalità delle incertezze in gioco agenti cioè sulla risposta globale e sul comportamento locale. Ma in tal caso la coda della distribuzione di M_f dovrebbe corrispondere alle condizioni più gravose che possono prodursi nelle sezioni critiche, sia per effetto della concentrazione delle sollecitazioni in regime non lineare, sia per l'incidenza di difetti localizzati. Ciò porterebbe logicamente ad abbassare fortemente l'intensità dell'azione di riferimento, con implicazioni talvolta antieconomiche, talvolta dannose ai fini della sicurezza. La prima eventualità si verificherebbe nei casi in cui la ridistribuzione non lineare consenta lo sfruttamento di risorse inutilizzate in regime elastico; la seconda potrebbe intervenire ogniqualvolta la non linearità tenda ad esaltare le sollecitazioni (concentrazione degli sforzi in fase di ridistribuzione; comparsa di fenomeni del second'ordine). È chiaro invece che la sostanziale

correlazione che sussiste fra risposta globale e comportamento locale esercita una notevole influenza protettiva che consente al fenomeno non lineare di esplicarsi più ampiamente di quanto contemplato da una convoluzione riferita indistintamente a tutte le cause d'incertezza agenti sulla resistenza. Se infatti si escludono i casi di forte fragilità locale, che andranno eliminati mediante regole di progetto ed esecutive adeguate, si deve riconoscere che l'iperstaticità d'insieme riduce la sensibilità della struttura ai difetti locali. E di ciò la raffigurazione di fig. 2 non tiene conto.

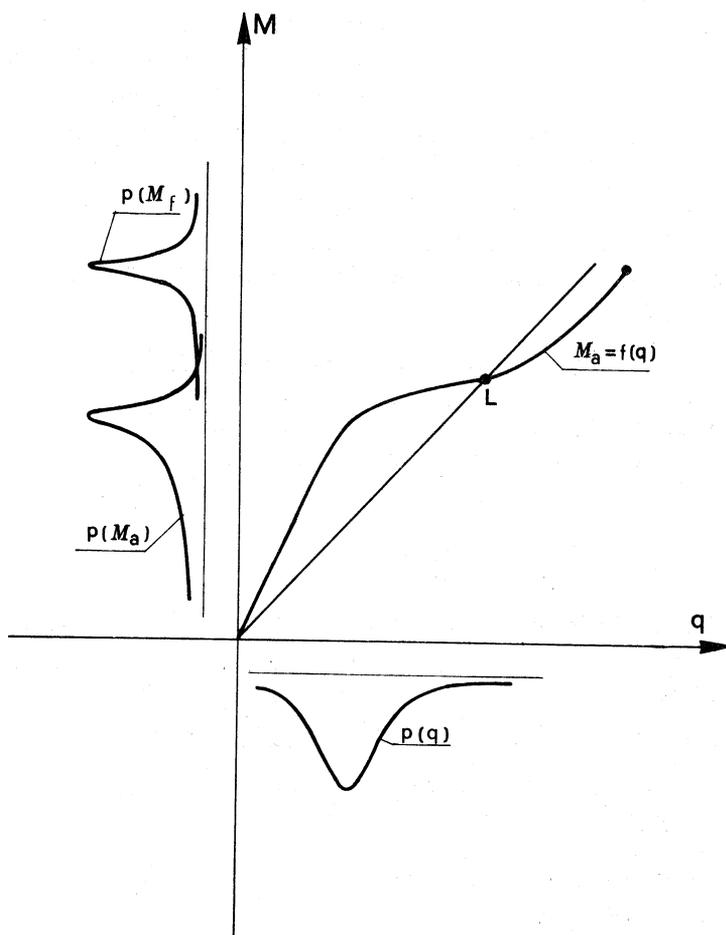


Fig. 3.

Analoghe incertezze riguardano il tracciamento della legge di distribuzione delle sollecitazioni. Quand'anche infatti si ammetta di poter trascurare l'incidenza dei fattori di dispersione inerenti alla trasformazione azione-sollecitazione, sussiste la necessità di tener conto di sollecitazioni locali impreviste (per imprecisione di tracciato, azioni secondarie non considerate, errori nelle ipotesi di calcolo o negli svolgimenti analitici) che possono modificare sostan-

zialmente la forma ed anche la posizione della curva $p(M_a)$ e sulle quali le correlazioni segnalate hanno influenze che variano da caso a caso.

In altri termini, come già per il metodo dei coefficienti graduati, bisogna ammettere che anche nell'ambito del procedimento di fig. 2 l'istituzione di uno schema probabilistico, atto a definire l'intensità di riferimento αq_k sia affetto da un elevato grado di incertezza. Inoltre, dal punto di vista delle applicazioni pratiche, non è di certo possibile eseguire le operazioni necessarie alla determinazione di α con le modalità proposte in fig. 2. In tal caso infatti basterebbe un modesto supplemento di calcolo analitico per determinare direttamente la probabilità di raggiungimento dello stato limite in esame.

A completare il giudizio sulle due modalità operative si osserva:

a) che il metodo dei coefficienti graduati ha il pregio di mettere in chiara evidenza l'incidenza di taluni aspetti specifici nella risposta strutturale (ad esempio, effetti di deformazioni impresse nelle strutture in cemento armato) [2].

b) che l'adozione del procedimento linearizzato di fig. 2 ha il pregio di ricondurre i calcoli di qualsiasi natura, per costruzioni isostatiche o iperstatiche, con o senza effetti del secondo ordine, all'applicazione di ineguaglianze del tipo

$$(I) \quad \gamma_f S_k \leq f_{ud} \quad \text{oppure} \quad S(\gamma_f q_k) \leq f_{ud}$$

dove f_{ud} è la resistenza di calcolo, le due relazioni essendo equivalenti nell'ambito della linearizzazione introdotta.

BIBLIOGRAFIA

- [1] F. LEVI (1968) - *Le problème de la sécurité dans les constructions hyperstatiques*, « Bulletin C.E.B. », 68, 1.
- [2] F. LEVI (1972) - *Le facteur de sécurité dans les problèmes structurels non linéaires*, « Annales de l'Institut Technique Paris », 4.
- [3] J. FERRY BORGES e M. CASTANHETA - *Structural safety*, Lisbonne 1ère édition nov. 1968; 2° édition mars 1971.
- [4] J. FERRY BORGES (1974) - *The checking of safety of non linear structures*. Symposium on Non Linear Techniques and Behaviour in « Structural Analysis », Transport and Road Research, Crowthorne, Dec. 1974.
- [5] *Recommandations Internationales pour le calcul et l'exécution des ouvrages en béton*, CEB-FIP, Prague, 1970.