



SOFTING SRL

EasyBeam

Informazioni per la valutazione dell'affidabilità dei codici di calcolo

Identificazione del codice di calcolo

Produttore:	Softing srl
Distributore esclusivo:	Softing srl
Denominazione commerciale:	EasyBeam (denominazione commerciale registrata)
Identificatore di build:	Ogni versione è identificata da un numero a due cifre che ne indica la versione principale (EWS) e soprattutto da un numero univoco di build a quattro cifre che identifica con precisione una specifica compilazione.
Finalità del codice:	Post-processore di Nòlian per il progetto delle armature in elementi monodimensionali in calcestruzzo armato di sezione, disposizione, sistema di sollecitazione, del tutto generali.
Lingua usata nella interfaccia e nella manualistica:	Italiano
Manualistica:	Digitale. Comprende anche manuali di validazione e teorici.
Registrazioni:	EasyBeam è registrato presso il Registro Pubblico Speciale per i programmi per Elaboratore in data 14/05/96 al progressivo 000348, ordinativo D000409.
Data di prima immissione in commercio:	Ottobre 1992.
Metodo di commercializzazione:	Cessione di licenza d'uso non esclusiva
Modalità di aggiornamento del codice:	Automatica tramite accesso a internet, su contratto
Identificazione univoca del codice:	Ogni copia del programma è identificata da un numero di licenza univoco tale da identificare il licenziatario.
Sistema di protezione:	Il codice dispone di un sistema hardware di protezione contro l'uso e la duplicazione abusiva.
Marchi commerciali registrati:	Softing®, il logo Softing, Nòlian®, il logo Nòlian®, MacSap®, MacBeam®, CADSap®, EasyWall®, EasySteel®, EasyBeam®, EasyFrame®, EasyWorld®, HyperGuide®, SapScript®, FreeLit®, inMod®, sono marchi registrati di Softing s.r.l.

Cronistoria del prodotto

La Softing è una srl costituitasi nel 1983 per la realizzazione di codici di calcolo in ambiente tecnico scientifico. L'antesignano di EasyBeam, MacBeam, è stato progettato nel 1983 su commessa della Apple Computer Spa, che desiderava avere un prodotto per ingegneria che aderisse ai nuovi concetti di interfaccia grafica introdotti dalla Apple stessa. EasyBeam viene riprogettato completamente nel 1991. MacBeam, un ottimo programma con una lunga storia di successi viene



ritirato dal mercato e EasyBeam prende il suo posto. La Softing infatti è una delle poche software house del settore che tiene conto della “vita del prodotto” e ritiene che i prodotti dopo il corso naturale della loro applicabilità vanno ritirati. EasyBeam nasce da una critica di fondo a MacBeam e ai programmi – tuttora molto diffusi - che, come MacBeam operano di fatto nel piano. A quell’epoca si profilavano anche gli Eurocodici all’orizzonte e i metodi di progetto gerarchico delle resistenze. Queste e altre esigenze facevano veder chiaro che solo la concezione progettuale di un programma che agisse completamente nelle tre dimensioni potesse superare ogni limitazione di applicabilità. EasyBeam quindi venne progettato dopo una lunga ricerca e soluzione di importanti problemi matematici. Infatti il progetto della sezione, base del problema, doveva essere rigorosamente generale e quindi non limitato a sollecitazioni applicate secondo assi preferenziali delle sezioni. Questa rigorosa impostazione, ha fatto di EasyBeam un programma molto affidabile e potente che ne ha permesso lo sviluppo in ormai più di un decennio di affermazione conquistata sul campo.

Modelli matematici

Si riportano i principali modelli matematici impiegati in EasyBeam. La particolarità di EasyBeam, che lo rendono unico nella sua categoria, è che EasyBeam è progettato per affrontare con affidabilità situazioni di carattere generale sia dal punto di vista geometrico che di sollecitazione in quanto EasyBeam nasce come post processore di un programma a elementi finiti (Nòlian) e quindi deve essere atto a elaborare le situazioni complesse che da tali modelli derivano. EasyBeam agisce rigorosamente nello spazio tridimensionale sia come disposizione degli elementi che per le sollecitazioni che per il controllo della disposizione delle armature che è rigorosamente tridimensionale e tiene conto anche della disposizione nella “profondità” degli elementi e non solo nella proiezione nel piano e quindi in disposizioni solo di armature “superiori” e “inferiori”. Per ottenere questi risultati EasyBeam impiega sofisticati metodi di calcolo esclusivi di EasyBeam, tutti progettati e basati su metodi matematici e di integrazione numerica molto sofisticati che suppliscono le carenze note dei modelli semplificati comunemente impiegati. EasyBeam consente all’utente un impiego sicuro del software in quanto i limiti applicativi degli algoritmi sono superati dalla loro generalità.

Metodo di analisi non lineare delle sezioni

La verifica allo stato limite ultimo di una sezione in cemento armato di forma qualsiasi rientra nel problema più generale della determinazione dello stato deformativo della sezione composta da materiali differenti con legge costitutiva elastica non-lineare. Si assume che la sezione rimanga piana e che non vi sia scorrimento tra acciaio e calcestruzzo. Le equazioni che governano il problema sono le seguenti:

$$\varepsilon(x, y) = \varepsilon_0 - x \varphi_y + y \varphi_x \quad (\text{equazione di congruenza})$$

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \sigma_c(\varepsilon) \\ \sigma_s &= \sigma_s(\varepsilon) \end{aligned} \quad (\text{legami costitutivi})$$

$$\int_{A_c} \sigma_c dA_c + \sum_i \sigma_{si} A_{si} - N = 0$$



$$\begin{aligned} \int_{A_c} \sigma_c y dA_c + \sum_i \sigma_{si} y_i A_{si} - M_x &= 0 \\ -\int_{A_c} \sigma_c x dA_c + \sum_i \sigma_{si} x_i A_{si} - M_y &= 0 \end{aligned} \quad (\text{equazioni di equilibrio})$$

dove:

ϵ_0 = deformazione nell'origine

φ_y, φ_x = curvature

Sostituendo nelle equazioni di equilibrio i legami costitutivi e le equazioni di congruenza si ottiene la relazione matriciale non-lineare:

$$F(x) = f(x) - f_0 = 0$$

dove:

$x = [\epsilon_0, \varphi_x, \varphi_y]$

F = equazioni di equilibrio

$f_0 = [N, M_x, M_y]$ azioni esterne

$f(x)$ = azioni interne corrispondenti allo stato deformativo individuato da x

Poiché il problema è non-lineare si ricorre al metodo di Newton-Raphson per una soluzione tramite linearizzazioni successive nella forma:

$$x_{p+1} = x_p - \nabla f_{-1}(x_p) [f_0 - f_{xp}]$$

Ciò è reso possibile dal fatto che $f(x)$ è continua e derivabile (quasi ovunque). La soluzione esiste ed è unica in quanto l'operatore $f(x)$ è strettamente monotono per materiali stabili secondo Drucker. Nonostante univocità ed esistenza della soluzione, il metodo può non convergere. Sotto il profilo strettamente computazionale si rileva che affinché le funzioni $\sigma_c(\epsilon)$ e $\sigma_s(\epsilon)$ siano continue e quasi ovunque derivabili con derivata definita positiva in tutto lo spazio della soluzione, i pianerottoli plastici normalmente richiesti dalle Normative vengono opportunamente sostituiti da rette di modesta inclinazione (tipicamente $E/10.000$). Si rileva infine che gli integrali di superficie contenuti nelle equazioni di equilibrio vengono trasformati, ai fini computazionali, in integrali di frontiera di Green riducendo l'onere computazionale. Per quanto riguarda i legami costitutivi, si sono impiegati i seguenti legami.

Il diagramma sforzo-deformazione per il calcestruzzo è definito da un arco di parabola di secondo grado passante per l'origine, con asse parallelo a quello delle tensioni, e da un segmento di retta parallelo all'asse delle deformazioni tangente la parabola nel vertice. Il vertice della parabola ha ascissa -0.002 ed ordinata pari alla tensione di progetto del calcestruzzo. Per motivi di carattere numerico il segmento di retta è inclinato rispetto all'asse delle deformazioni di un piccolo valore pari a $E_c/10.000$, dove E_c è il modulo di elasticità del calcestruzzo. La stessa inclinazione ha il segmento di retta per deformazioni positive. Per l'acciaio si impiega il diagramma sforzi-deformazione "bilatero" costituito da due segmenti di retta.

Metodo di calcolo delle tensioni tangenziali nella sezione

Sia il metodo delle tensioni ammissibili che il metodo degli stati limite richiedono la conoscenza di una tensione tangenziale "di riferimento" per il dimensionamento delle armature a taglio. Nel caso di sezioni non omogenee, di forma qualsiasi e sollecitate fuori del piano di simmetria (flessione deviata), occorre ricorrere alla soluzione generale del problema basata sull'equilibrio, dovuta a Jourawski. Secondo questo approccio si ha la condizione di equilibrio:

$$\int^A d\sigma_z dA - \int^{\Gamma} \tau_{yz} dl = 0$$

in cui si esprime l'equilibrio tra le variazioni della tensioni normali $d\sigma_z$ nell'area A e le tensioni tangenziali τ_{yz} che agiscono sul confine Γ dell'area A . Si fa notare che da questo integrale derivano tutte le formule più note per il calcolo delle tensioni tangenziali quali la nota:

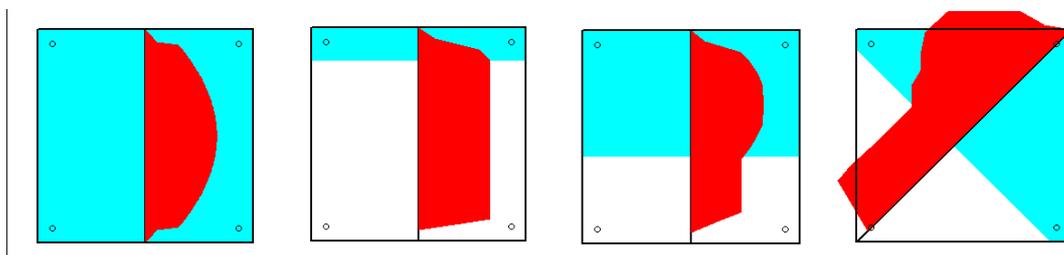
$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = V_y S_x / I_x b$$

Questa espressione, come si diceva, non è però applicabile al caso generale e ha quindi limitazioni non accettabili.

Per ovviare a queste gravi limitazioni, in EasyBeam l'integrale fondamentale viene quindi integrato numericamente senza alcuna sostituzione semplificatrice.

Viene cioè impiegata la nota sostituzione dei valori differenziali con le differenze finite. In pratica, le tensioni normali vengono calcolate in due sezioni a distanza finita per ottenere il valore del differenziale $d\sigma_z$ e vengono integrate sul contorno dell'area voluta (generalmente determinata dal confine della sezione e dalla corda lungo la quale si vuole calcolare la tensione tangenziale media), tramite un integrale al contorno di Green.

Questo metodo, operando direttamente per integrazione numerica sull'integrale che esprime l'equilibrio, è del tutto generale e tiene conto anche delle armature e dell'eventuale presenza di forza assiale. Inoltre, se il legame costitutivo del materiale non è lineare, come nel caso del metodo degli stati limite, le tensioni normali, con questo metodo, sono correttamente valutate.



Esempi di diagrammi delle tensioni tangenziali in vari casi: sezione compressa, tenso-compressa, presso inflessa, presso flessione deviata.

Implementazione dei modelli matematici

L'implementazione è in C++, linguaggio a oggetti. Oltre ai metodi standard di debug, di profiling e gli altri strumenti prettamente informatici, il codice viene controllato costantemente durante lo



SOFTING SRL

sviluppo secondo le specifiche di progetto o di manutenzione delle singole unità. Si procede poi ai controlli di insieme e quindi alla validazione (vedi sotto). Softing usa un sistema CVS (Concurrent Version System) per il controllo delle fasi interne di sviluppo al fine di assicurare la massima qualità e produttività nel lavoro dei gruppi di sviluppo.