COMUNE DI BARLETTA

Medaglia d'oro al merito civile e militare
Città della Disfida

AMPLIAMENTO DELLA CAPIENZA DELL'IMPIANTO SPORTIVO MANZI-CHIAPULIN

VIA DEI MANDORLI - ZONA "PARCO DEGLI ULIVI"

Fabbricato servizi igienici settore ospiti

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTISTA INCARICATO

Antonio SASSO — **ingegnere**
Bisceglie - via C. de Trizio (già via Milano), 28

collaborazione
Mariagrazia RICCHIUTI — **ingegnere**
Bisceglie - via C. de Trizio (già via Milano), 28

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Vito VACCA — **ingegnere**
Comune di Barletta - Funzionario Tecnico Settore Manutenzioni
Barletta - viale Marconi, 31

IL FUNZIONARIO
SETTORE MANUTENZIONI
Ing. Vito Vacca

COMMITTENTE

Donato LAMACCHIA — **architetto**
Comune di Barletta - Dirigente Settore Manutenzioni
Barletta - viale Marconi, 31

IL DIRIGENTE
Arch. Donato LAMACCHIA

TAV	R. St.1	Relazione generale strutturale Affidabilità codice di calcolo

progetto delle opere strutturali

Comune di Barletta

Medaglia d'oro al merito civile e militare

Città della Disfida

Ampliamento della capienza dell'impianto sportivo Manzi-Chiapulin

Via dei Mandorli – Zona "Parco degli Ulivi"

Fabbricato servizi igienici settore ospiti

PROGETTO ESECUTIVO

progetto delle opere strutturali

RELAZIONE GENERALE STRUTTURALE

AFFIDABILITA' CODICE DI CALCOLO

INDICE

RELAZIONE GENERALE STRUTTURALE

- RELAZIONE ILLUSTRATIVA
- NORMATIVA TECNICA E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI
- VALORI DI CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI
- AZIONI SULLE COSTRUZIONI
- ANALISI STRUTTURALE E VERIFICHE
- VERIFICA DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI
    - *allegato M1 – scheda tecnica "Alveotherm A150 – 25x15x25 cm." (ILA LATERIZI srl)*
    - *allegato M2 – scheda tecnica "componenti in calcestruzzo" (PAVIBLOK srl)*

AFFIDABILITA' DEL CODICE DI CALCOLO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Descrizione architettonica

Nell'ambito dei lavori di ampliamento della capienza dell'impianto sportivo Manzi Chiapulin di Barletta è stata prevista la costruzione di un fabbricato per i servizi igienici nel settore riservato agli spettatori ospiti.

Il fabbricato sarà costituito da un unico corpo di fabbrica che si svilupperà su un solo livello. Nel suo interno saranno ubicati i servizi igienici suddivisi per gli uomini, per le donne e per le persone con disabilità. Vi sarà anche un ripostiglio.

Descrizione strutturale e costruttiva

Il fabbricato sarà realizzato con struttura di fondazione costituita da un reticolo di travi di sezione a "T capovolta" di altezza complessiva cm. 60. La piattabanda della trave di fondazione avrà dimensioni cm. 100x30 mentre l'anima avrà dimensioni cm. 30x30. La struttura in elevazione, in calcestruzzo armato, sarà costituita da sei pilastri di dimensioni cm. 30x40 e da travi (tutte a spessore di solaio) di dimensioni cm. 50x25. L'impalcato di copertura, che avrà uno spessore complessivo di cm. 25, sarà realizzato con un solaio a struttura mista latero-cementizia costituito da travetti prefabbricati e blocchi interposti di laterizio con sovrastante caldana in calcestruzzo armato di spessore cm. 5.

Per maggiori dettagli si rimanda agli altri elaborati scritto-grafici del presente progetto.

NORMATIVA TECNICA E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Il progetto delle strutture portanti dell'opera in esame è stato elaborato in conformità con le prescrizioni della normativa tecnica vigente nel nostro Paese (D. Min. Infrastrutture 14/01/2008 *"Norme tecniche per le costruzioni"*) e con indicazioni contenute in pubblicazioni specializzate.
Nel corso della relazione si potrà fare riferimento alle norme ed alle pubblicazioni tecniche elencate qui di seguito, richiamandone i numeri che le contrassegnano. Si precisa che i numeri mancanti riguardano riferimenti contenuti in archivio, non utilizzati nella presente relazione.

Norme generali per strutture in c.a., c.a.p. e in acciaio.

[101] D. M. INFRASTRUTTURE 14/01/2008
Approvazione delle nuove "Norme tecniche per le costruzioni".
(G.U. 04/02/2008, n. 29 Suppl. Ord. n. 30)

[102] D. M. INFRASTRUTTURE 06/05/2008
Integrazione al D.M. 14/01/2008 di approvazione delle nuove "Norme tecniche per le costruzioni".
(G.U. 02/07/2008, n. 153)

[103] Circolare 02/02/2009 n. 617 C.S.LL.PP.
Istruzioni per l'applicazione delle nuove "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008
(G.U. 26/02/2009, n. 47 Suppl. Ord. n. 27)

[104] D.P.R. n. 380 06/06/2001
Testo unico dell'edilizia
(G.U. 13/11/2001, n. 264)

[105] Legge 05/11/1971, n. 1086
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.
(G.U. 21/12/1971, n. 321)

VALORI DI CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali da utilizzare e già indicati nella *"Relazione sui materiali"*:

- L'acciaio per armatura deve essere del tipo B450C in barre ad aderenza migliorata e deve essere rispondente alle seguenti caratteristiche:

  - $f_{yk} \geq 450\ N/mm^2$
  - $f_{tk} \geq 540\ N/mm^2$
  - $(A_{gt})_k \geq 7{,}5\%$
  - $(f_y / f_{y,nom})_k \leq 1{,}25$
  - $1{,}15 \leq (f_t / f_y)_k < 1{,}35$

  Può essere utilizzato l'acciaio del tipo B450A ad aderenza migliorata, nei diametri Φ6 e Φ8, solo per le staffe traversali e per le reti elettrosaldate. L'acciaio B450A deve essere rispondente alle seguenti caratteristiche:

  - $f_{yk} \geq 450\ N/mm^2$
  - $f_{tk} \geq 540\ N/mm^2$
  - $(A_{gt})_k \geq 2{,}5\%$
  - $(f_y / f_{y,nom})_k \leq 1{,}25$
  - $(f_t / f_y)_k \geq 1{,}05$

  Tutti gli acciai devono essere conformi alle specifiche del D.M. 14/01/2008 e s.m.i. tra cui il D.M. 15/11/2011.

- Il calcestruzzo deve essere rispondente alle seguenti caratteristiche:

  - per le sottofondazioni:

- Classe di resistenza	C12/15
- Resistenza minima	R_{ck} = 15 N/mmq.
- Classe di esposizione ambientale	XC2
- Massimo rapporto acqua/cemento	a/c=0,55
- Additivi	nessuno
- Classe di consistenza	S4 (fluida)
- Dimensione massima dell'aggregato	20 mm.

  - per le strutture di fondazione:

- Classe di resistenza	C25/30
- Resistenza minima	R_{ck} = 30 N/mmq.
- Classe di esposizione ambientale	XC2
- Massimo rapporto acqua/cemento	a/c=0,55
- Additivi	nessuno
- Classe di consistenza	S4 (fluida)
- Dimensione massima dell'aggregato	20 mm.
- Contenuto minimo di cemento	280 kg./mc.
- Copriferro minimo	≥ 40 mm.

- per le strutture in elevazione - pilastri - :

- Classe di resistenza	C28/35
- Resistenza minima	R_{ck} = 35 N/mmq.
- Classe di esposizione ambientale	XC3
- Massimo rapporto acqua/cemento	a/c=0,50
- Additivi	nessuno
- Classe di consistenza	S3 (semifluida)
- Dimensione massima dell'aggregato	18 mm.
- Contenuto minimo di cemento	320 kg./mc.
- Copriferro minimo	≥ 35 mm.

- per le strutture in elevazione - travi, solaio, cordolo portamuro - :

- Classe di resistenza	C25/30
- Resistenza minima	R_{ck} = 30 N/mmq.
- Classe di esposizione ambientale	XC2
- Massimo rapporto acqua/cemento	a/c=0,55
- Additivi	nessuno
- Classe di consistenza	S4 (fluida)
- Dimensione massima dell'aggregato	20 mm.
- Contenuto minimo di cemento	280 kg./mc.
- Copriferro minimo	≥ 25 mm.

Il calcestruzzo deve essere conforme alle specifiche del D.M. 14/01/2008 e alla UNI EN 206-1.

Il cemento deve essere conforme alla UNI EN 197-1.

Gli aggregati devono essere conformi alla UNI EN 12620.

AZIONI SULLE COSTRUZIONI

Solaio di copertura (tipo latero-cemento)

Altezza complessiva: H = 20+5 = 25 cm.

Interasse nervature: i = 50 cm.

PESO PROPRIO		
nervature in c.a. + blocchi in laterizio + caldana:	3,25	kN/mq.
CARICO PERMANENTE NON STRUTTURALE		
pavimentazione, masso a pendio, impermeabilizzazione, ecc.:	2,25	kN/mq.
NEVE	0,80	kN/mq.
CARICO DI ESERCIZIO		
DM 2008 – Cat. H1 (Coperture accessibili per sola manutenzione):	0,50	kN/mq.

Tompagnature

PESO PROPRIO		
cordolo portamuro in cls. (h = 50 cm. - s = 30 cm.)	3,75	kN/ml.
laterizio termoisolante (h = 3,25 m. - s = 15 cm.)	3,17	kN/ml.
blocchi facciavista in cls. (h = 3,25 m. - s = 10 cm.)	1,80	kN/ml.
TOTALE	ca. 9,00	kN/ml.

AZIONI SISMICHE

Come già indicato nella *"Relazione sulla modellazione sismica: pericolosità sismica di base del sito di costruzione"*, l'effetto sismico è valutato mediante analisi dinamica lineare della struttura soggetta ad un sistema di forze orizzontali parallele alle direzioni ipotizzate per il sisma, avendo posto:

- Vita Nominale $V_N \geq 50$ anni
- Classe d'uso III
- Coefficiente d'uso $C_u = 1,5$
- Periodo di riferimento $V_R = C_u \times V_N \geq 75$ anni
- Tempo di ritorno $T_R = 9,5 \times V_R = 712,5$ anni per SLV
  $T_R = V_R = 75$ anni per SLD
  $30 \text{ anni} \leq T_R = 0,60 \times V_R = 45$ anni per SLO
- Posizione geografica Lat. 41°,30 Long. 16°,26
- Zona sismica 2
- Classe di duttilità Bassa (CD "B")
- Categoria suolo B
- Amplificazione topografica T1 ($S_T = 1,0$)
- Regolarità in pianta SI
- Regolarità in altezza SI
- Smorzamento modale 5%

Con tali ipotesi si ottengono i seguenti valori per i parametri sismici:

	SLV	SLD	SLO	
T_R	712,5	75	45	anni
a_g/g	0,19	0,06	0,05	-
F_0	2,49	2,50	2,55	-
T_C^*	0,37	0,32	0,29	secondi
q	3,30	1,50	1,00	-

Il valore numerico del fattore di struttura q discende dall'aver definito il fabbricato come "strutture a telaio di un piano", "regolare in pianta e in altezza" ed in "classe di duttilità bassa", da cui, per SLV:

$$q = k * q_0 = 1 * 3,0 * \alpha_u / \alpha_1 = 1 * 3,0 * 1,1 = 3,33$$

ANALISI STRUTTURALE E VERIFICHE

L'analisi della struttura è stata condotta su un modello tridimensionale rappresentativo della effettiva distribuzione spaziale delle masse; il metodo di analisi considerato è stato quello dinamico lineare per la quantificazione delle azioni sismiche ed elastico lineare per la valutazione degli effetti delle azioni statiche.

Il calcolo delle sollecitazioni e le relative verifiche di resistenza e di deformabilità sono state eseguite con i programmi Nolian, EasyBeam ed EasyWall, nella loro versione EWS 39, distribuiti dalla Softing s.r.l. e validati, tra gli altri, dal Politecnico di Milano. Non è stata ritenuta necessaria una validazione indipendente. Tutti i programmi suddetti utilizzano il metodo egli elementi finiti.

Il pacchetto dei programmi è sostanzialmente diviso in tre parti: nella prima vengono introdotte la geometria strutturale ed i carichi; nella seconda viene effettuata l'analisi elastica della struttura; nella terza, infine, viene effettuato il progetto delle armature e la verifica di resistenza degli elementi strutturali.

La modellazione della struttura è avvenuta nella maniera di seguito descritta: l'input della geometria strutturale, di tipo tridimensionale, è iniziato con l'individuazione dei nodi (punti di discontinuità geometriche e/o di carico) e, successivamente, degli elementi strutturali (nel caso specifico rappresentati da travi, pilastri e piastre), per i quali si sono utilizzati elementi monodimensionali e bidimensionali. Successivamente sono state applicate le azioni sismiche ed i carichi di progetto che, combinati attraverso i coefficienti moltiplicativi, hanno fornito le combinazioni richieste per le verifiche.

Dal punto di vista geotecnico le fondazioni sono state modellate come un reticolo di travi su suolo alla "Winkler" o come piastre su suolo alla "Winkler".

Le verifiche sono state eseguite con il metodo degli stati limite tenendo conto (in ogni sezione) delle sollecitazioni più onerose indotte dai carichi statici e dalla loro combinazione con gli effetti del sisma. La valutazione della sicurezza è stata espressa mediante quantificazione del "fattore di sicurezza".

Per le verifiche e le combinazioni di carico adottate si rimanda alla seguente relazione di calcolo del presente progetto strutturale:

- R.St.6 - Relazione di calcolo strutturale

I risultati elaborati sono considerati attendibili confrontandoli con quelli dei calcoli di larga massima eseguiti per il primo dimensionamento.

VERIFICA DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI

Verifica allo SLE degli impianti in termini di mantenimento della funzionalità

Le strutture in progetto sono ricadenti in classe d'uso III e, pertanto, gli impianti ivi installati devono rispondere ai requisiti richiesti dal par. 7.3.7.3 del D.M. 2008.

Per quanto riguarda la verifica degli impianti in termini di spostamenti prodotti dalle azioni relative allo SLO, questa risulta garantita essendo il fabbricato una struttura ad un solo piano.
Per quanto riguarda la verifica degli impianti in termini di accelerazioni prodotte dalle azioni relative allo SLO, questa risulta garantita in quanto gli impianti sono collegati ed ancorati alle strutture portanti.

Verifica allo SLE degli elementi strutturali in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali

Per contenere il danno agli elementi non strutturali (tramezzi, tompagnature e tamponamenti in genere) le strutture portanti sono state calcolate agli stati limite e, come richiesto dal par. 7.3.7.2 del D.M. 2008, garantiscono che gli spostamenti di interpiano agli SLO sono inferiori ai 2/3 del limite di deformabilità pari a 0,005 h.
Per la verifica numerica si rimanda alla relazione di calcolo strutturale R.St.6 (pag. 91) e della quale, qui di seguito, se ne riporta uno stralcio.

Altezza di interpiano h	4,20 m
Limite di deformabilità: 2/3 * h * 0,005	1,40 cm
Spostamento relativo massimo SLO (da calcolo)	0,3031 cm < d_{lim}

Verifica allo SLU degli elementi non strutturali

Le tamponature saranno realizzate con muratura principale (interna) in blocchi di laterizio termoisolante tipo l' "Alveotherm A150 – 25x15x25 cm." della ditta ILA LATERIZI srl *(allegato M1)* e rivestimento (esterno) in blocchi di calcestruzzo tipo il "BI 10 Splittato" della ditta PAVIBLOK srl *(allegato M2)*.
Per evitare il collasso fragile e prematuro e la possibile espulsione della tamponatura sotto l'azione sismica corrispondente allo SLV, come richiesto dal par. 7.3.6.3 del D.M. 2008, si opererà mediante l'inserimento di elementi di armatura orizzontale nei letti di malta a distanza non superiore a mm. 500 e mediante ancoraggi tra la muratura principale ed il rivestimento.

Il progettista delle strutture
ing. Antonio SASSO

ORDINE DEGLI INGEGNERI PROVINCIA BARI BAT ANDRIA-TRANI
INGEGNERE ANTONIO SASSO
Sez. A - 476
a) CIVILE AMBIENTALE
b) INDUSTRIALE
c) dell' INFORMAZIONE

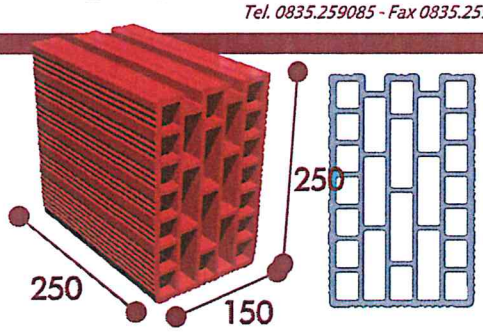
allegato M1

ILA LATERIZI srl

Sede Produttiva: SS 99 Km 11,200, 75100 Matera (MT)
Sede Legale: via Melo da Bari 229,70121 Bari (BA)
Tel. 0835.259085 - Fax 0835.259074 - e.mail: info@ilalaterizi.it

Scheda Tecnica

ALVEOTHERM
A150 - 25 x 15 x 25 cm



alveotherm

Prodotti Marcati
con Sistema 2+ Categoria I

CE

CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO

DENOMINAZIONE E CODICE	**ALVEOTHERM "A150"**	
IMPIEGO E MESSA IN OPERA	**Laterizio Per Tamponamento A Fori Orizzontali**	
DIMENSIONI (lunghezza; larghezza; altezza)	25 x 15 x 25 cm	(spessore muro di 15,0 cm)
MASSA VOLUMICA A SECCO LORDA BLOCCO	650 kg/m^3	(peso nominale di 6,1 kg al pezzo)
PERCENTUALE DI FORATURA	55% < F ≤ 70%	
RESISTENZA CARATTERISTICA fbK A COMPRESSIONE	Nella direzione normale ai Fori (base)	> 1,5 N/mm^2
	Nella direzione dei Fori (testa)	> 5,0 N/mm^2
REAZIONE AL FUOCO	EUROCLASSE A1	
CONDUTTIVITA' EQUIVALENTE DEL BLOCCO	0,152 W/mK	(valore senza umidità)
TRASMITTANZA A SECCO DELLA MURATURA	**0,867 W/m^{2}K**	(valore senza umidità, malte, intonaci)

IMBALLO

PEZZI IN OPERA A METRO QUADRO	15,1 pezzi/m^2	(ovvero pezzi n. 16,0 senza malta)
PEZZI PACCO / PACCHI PER AUTOTRENO	105 pezzi/pacco	48 pacchi/autotreno

CARATTERISTICHE DELLA MURATURA

	giunti	MALTA GENERICA	MALTA ISOLANTE
ISOLAMENTO TERMICO			
-Conduttività termica equivalente della muratura	λ_{mas}	**0,167 W/mK**	**0,158 W/mK**
-Resistenza termica equivalente della muratura	R_{mas}	0,900 m^{2}K/W	0,950 m^{2}K/W
-Trasmittanza Termica INTERNO	U_{II}	0,815 W/m^{2}K	0,783 W/m^{2}K
(con intonaci ordinari) ESTERNO	U_{IE}	**0,884 W/m^{2}K**	**0,847 W/m^{2}K**
-Massa superficiale senza intonaco	Ms	**112 kg/m^2**	**103 kg/m^2**
-Trasmittanza termica periodica	Y_{IE}	0,521 W/m^{2}K	0,515 W/m^{2}K
-Sfasamento	t	6,63 ore	6,46 ore
-Smorzamento [Fattore di attenuazione]	fa	0,590	0,609
CALORE SPECIFICIO	c_p	1000 J/kg K	1000 J/kg K
POTERE FONOISOLANTE DELLA PARETE	Rw	43,8 dB	43,2 dB
- Isolamento acustico di facciata	$D_{2m,nT,w}$	**45,1 dB**	**44,6 dB**
CONDENSA AMMISSIBILE DELLA PARETE	Q_{amm}	500 g/m^2	(valore tabellare)
FATTORE DI RESISTENZA IGROMETRICA PARETE	μ_{wet}	10 (campo umido)	μ_{dry} 16 (campo secco)
RESISTENZA AL FUOCO		**E.I. 60 (Intonaco Normale)**	**E.I. 120 (Intonaco Protettivo)**

VOCE DI CAPITOLATO

Fornitura e posa di muratura di tamponamento in elevazione dello spessore di 15 cm, realizzata con blocchi in laterizio termoisolanti, ecosostenibili a massa alleggerita, posati in opera a fori orizzontali, tipo ALVEOTHERM "A150", delle dimensioni 25 x 15 x 25 cm, percentuale di foratura compresa fra il 55% ed il 70% e conformi a quanto indicato nel D.M. 14/01/2008. I blocchi saranno marcati CE in categoria I, con sistema di attestazione 2+, secondo la norma armonizzata UNI EN 771-1 e saranno dotati di certificazione ITT. La muratura sarà elevata in opera con idonea malta per muratura di classe non inferiore a M2,5, marcata CE ai sensi della UNI EN 998-2, posata sia nei giunti orizzontali che verticali con interruzione centrale di 2,0 cm e dello spessore medio di 7 mm. I laterizi andranno bagnati prima della posa e la muratura sarà realizzata sfalsando i giunti verticali e verrà completata con gli appositi pezzi speciali. La muratura finita, le cui prestazioni risultino corrette ai sensi della UNI EN ISO 10456, deve garantire una massa superficiale (escluso intonaci) non inferiore a 110 kg/m^2, un valore di trasmittanza termica non superiore a 0,89 W/m^{2}K ed un potere fonoisolante Rw non inferiore a 43 dB. In opera compreso ponteggi ed ogni altro onere e magistero per ottenere un lavoro finito a regola d'arte (misurazioni da eseguirsi "vuoto per pieno" a compenso di architravi, stipiti, sguinci, mazzette, collegamenti).

TECNO PROVE

Nota: Per protettivo si intende un intonaco caratterizzato da una massa volumica inferiore a 1000 kg/m^3
I dati termici dichiarati sono comprensivi degli opportuni fattori correttivi ai sensi della UNI EN 10456:2008 e di una malta generica nei giunti di densità 1500 Kg/m^3, ovvero di una malta leggera isolante di densità 800 Kg/m^3.
I dati possono essere soggetti a revisione in quanto soggetti a monitoraggio statistico continuo ed attivo all'interno dell'organizzazione aziendale. Per maggiori informazioni e aggiornamenti contattare il nostro Ufficio Tecnico.

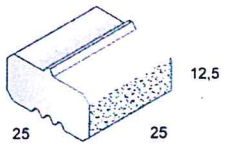
agg. 06/13

allegato M2

PAVIBLOK®
COMPONENTI IN CALCESTRUZZO

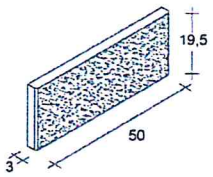
BLOCCHI A FACCIA VISTA SPLITTATI

Muro a Secco



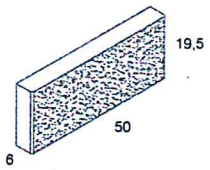
Peso kg/pz	Pezzi m²	Pacco q.li	Pacco m²	Colore
15	32	16,5	3,5	Bianco
15	32	16,5	3,5	Grigio
15	32	16,5	3,5	Giallo, Albicocca.

Bl 3 Splittato Rivestimento



Peso kg/pz	Pezzi m²	Pacco q.li	Pacco m²	Colore
6	10	20	32	Bianco
6	10	20	32	Grigio
6	10	20	32	Giallo, Albicocca, Antracite, Rosso Mattone.
6	10	20	32	Verde

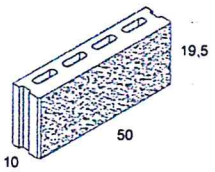
Bl 6 Splittato



CE UNI EN 771-3

Peso kg/pz	Pezzi m²	Pacco q.li	Pacco m²	Colore
12	10	20	16	Bianco
12	10	20	16	Grigio
12	10	20	16	Giallo, Albicocca, Antracite, Rosso Mattone.
12	10	20	16	Verde

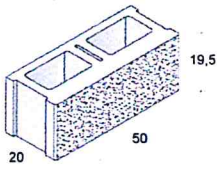
Bl 10 Splittato



CE UNI EN 771-3

Peso kg/pz	Pezzi m²	Pacco q.li	Pacco m²	Colore
18	10	18	10	Bianco
18	10	18	10	Grigio
18	10	18	10	Giallo, Albicocca, Antracite, Rosso Mattone.
18	10	18	10	Verde

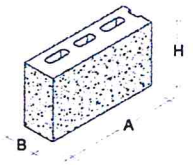
Bl 20 Splittato



CE UNI EN 771-3

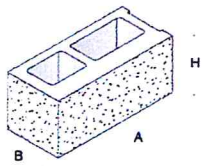
Peso kg/pz	Pezzi m²	Pacco q.li	Pacco m²	Colore
26	10	13	5	Bianco
26	10	13	5	Grigio
26	10	13	5	Giallo, Albicocca, Antracite, Rosso Mattone.
26	10	13	5	Verde

Teste per Bl 10 Splittato



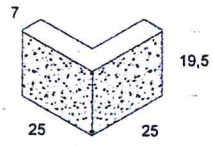
Peso kg/pz	Dimensioni cm			Pacco q.li	Pacco pz	Colore
13/14	A 35/40	B 10	H 19,5	18	100	Bianco
13/14	A 35/40	B 10	H 19,5	18	100	Grigio
13/14	A 35/40	B 10	H 19,5	18	100	Giallo, Albicocca, Antracite, Rosso Mattone.
13/14	A 35/40	B 10	H 19,5	18	100	Verde

Teste per Bl 20 Splittato



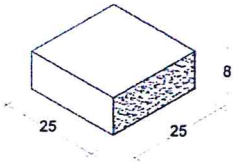
Peso kg/pz	Dimensioni cm			Pacco q.li	Pacco pz	Colore
11/16/22	A 20/30/45	B 20	H 19,5	13	50	Bianco
11/16/22	A 20/30/45	B 20	H 19,5	13	50	Grigio
11/16/22	A 20/30/45	B 20	H 19,5	13	50	Giallo, Albicocca, Antracite, Rosso Mattone.
11/16/22	A 20/30/45	B 20	H 19,5	13	50	Verde

Angolo per Splittato



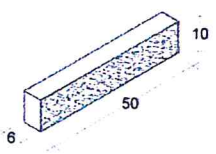
Peso kg/pz	Pezzi m	Pacco q.li	Pacco pz	Colore
10	4	12	100	Bianco
10	4	12	100	Grigio
10	4	12	100	Giallo, Albicocca, Antracite, Rosso Mattone.
10	4	12	100	Verde

Coprimuro Splittato 25x25



Peso kg/pz	Pezzi m	Pacco q.li	Pacco ml	Colore
12	4	19	48	Bianco
12	4	19	48	Grigio
12	4	19	48	Giallo, Albicocca, Antracite, Rosso Mattone.
12	4	19	48	Verde

Listello Splittato



CE UNI EN 771-3

Peso kg/pz	Pezzi m²	Pacco q.li	Pacco m²	Colore
6	20	20	16	Bianco
6	20	20	16	Grigio
6	20	20	16	Giallo, Albicocca, Antracite, Rosso Mattone.
6	20	20	16	Verde

AFFIDABILITA' DEL CODICE DI CALCOLO

SOFTING SRL

Nòlian

Informazioni per la valutazione dell'affidabilità dei codici di calcolo

Identificazione del codice di calcolo

Produttore:	Softing srl
Distributore esclusivo:	Softing srl
Denominazione commerciale:	Nòlian (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:	Analisi tramite il metodo degli elementi finiti
Lingua usata nella interfaccia e nella manualistica:	Italiano
Manualistica:	Digitale. Comprende anche manuali di validazione e teorici.
Registrazioni:	Nòlian è registrato presso il Registro Pubblico Speciale per i programmi per Elaboratore in data 14/07/2000 al progressivo 001629, ordinativo D002017, e con la precedente denominazione di MacSap è registrato in data 23/11/97 al progressivo 000222, ordinativo D000264.
Data di prima immissione in commercio:	Ottobre 1984.
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®e, 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. Nòlian 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. Nòlian (all'epoca MacSap) è stato da questa collaudato in fase di commessa e successivamente (1986) sottoposto a validazione da parte del Politecnico di Milano su

casi prova prodotti dallo stesso. La prima stesura del codice era in linguaggio Pascal. Completamente riscritto in C++ nel 1992 e portato su Windows. Dal 2004 non è più disponibile per Apple Macintosh.

Modelli matematici

Nòlian è un codice di calcolo che impiega la tecnica degli elementi finiti per la soluzione di problemi nel campo dell'analisi tensionale (stress analysis). Questa tecnica è nota e ampiamente consolidata, documentata ormai da più di cinquant'anni di studi e ricerche. Quindi estremamente affidabile. Gli elementi finiti di Nòlian sono tutti progettati dalla Softing stessa che si è avvalsa anche di prestigiose collaborazioni. Gli elementi guscio e brick a rigidezza completa (6 gdl per nodo), ad esempio, sono stati progettati dal Prof. Mario Cannarozzi, attuale vice Rettore della Facoltà di Ingegneria di Modena. Tutti gli elementi sono stati verificati con i principali casi prova disponibili in letteratura (si veda anche nel seguito) e hanno passato i patch test.

I solutori lineari fattorizzano la matrice di rigidezza con varie tecniche numeriche. L'ampiezza di semibanda banda è ottimizzata automaticamente. Il più raffinato e attuale metodo di fattorizzazione di Nòlian segue la tecnica per matrici sparse che consente la gestione di strutture di gradi dimensioni con tempi di calcolo molto ridotti. Come riferimento, un sistema a 541.800 gradi di libertà (piastra 300x300 elementi), impiegando un processore Pentium 4 a 2.4 GHz con 1.5 GB di RAM, è stato fattorizzato in 2' 27". Questo metodo è disponibile in Nòlian sia nella modalità in-core che out-of-core.

L'analisi modale è condotta con il "subspace iteration method" su matrice dinamica sia piena che diagonale (modello delle masse sia "lumped" che consistente). Anche questo metodo è implementato sia con tecnologia skyline che sparse.

Implementazione dei modelli matematici

L'implementazione è in C++, linguaggio a oggetti, strutturato in modo da riflettere con cura la struttura del codice a elementi finiti che ben si presta a questa strutturazione. Oltre ai metodi standard di debug, di profiling e gli altri strumenti prettamente informatici, il codice viene controllato costantemente durante lo 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.

Criteri di assegnazione del modello di calcolo

Il modello di calcolo è costruito in Nòlian tramite elementi della interfaccia utente. Non vi è pertanto una costruzione automatica tramite un modellatore solido e un mesher a monte. Ciò elimina qualsiasi sovrapposizione di errori imputabili ai pre-processori (modellatore e mesher). L'utente ha quindi il pieno controllo sulla mesh a elementi fini che viene costruita e gestita nello spazio tridimensionale tramite funzioni CAD standard. L'utente costruisce la geometria della mesh e, sempre con funzioni di interfaccia grafica, attribuisce alle entità geometriche le caratteristiche strutturali. Questo metodo assicura la massima trasparenza nella creazione, gestione, controllo del modello di calcolo eliminando i problemi connessi alla mancata trasparenza del modello stesso.

Criteri di interfaccia utente

L'interfaccia grafica utente (GUI) di Nòlian nasce su Apple Lisa nel 1983 e quindi secondo i dettami Apple, che inventò tale modo di impiegare il calcolatore elettronico. Quindi Softing ha vissuto e partecipato alla nascita e allo sviluppo di questi criteri. Non si deve confondere l'insieme di metafore che consentono di interagire con il programma (GUI) con il modo di operare di un programma. Quindi una immissione dati, ad esempio per oggetti strutturali, non è una "interfaccia" ma un modus operandi del programma. Qui ci si riferisce al significato tecnico corretto del termine. Per questo motivo l'interfaccia di Nòlian è estremamente ergonomica e soprattutto chiara e trasparente. Non indulge in comandi che possano sembrare "attraenti" ma con poco significato operativo. Le funzioni associate ai comandi hanno tutte un'auto-diagnostica e sono tutte abilitate o disabilitati, a livello anche di interfaccia, secondo il contesto operativo. In genere, per le associazioni, si usa la tecnica di "verbo-predicato" perché più sicura e intuitiva. Quindi le possibilità di un uso accidentale scorretto dei comandi di interfaccia è molto limitato. Questi controlli vengono progettati insieme ai comandi stessi che ne fanno uso. Questa metodologia è estesa ed è la base della diagnostica nelle assegnazioni (vedi sopra: "Criteri di assegnazione del modello di calcolo").

Metodi di diagnostica sulla soluzione

Metodi di diagnostica sono applicati sia per evidenziare la qualità della soluzione sia per filtrare a monte le eventuali scorrettezze del modello. Ad esempio il fattore di forma, di planarità, la coincidenza, la sconnessione degli elementi finiti è inibita dalla interfaccia grafica stessa (vedi) che non consente l'accettazione di elementi finiti non idonei.

Oltre ai criteri di diagnostica sulla plausibilità delle assegnazioni, vi è un'ampia possibilità di rappresentazioni grafiche sia generali che tematiche (ad esempio per intervalli di valori, per caratteristiche specifiche) che consentono un efficace e immediato controllo visivo sulle assegnazioni fatte dall'utente.

Durante l'elaborazione, gli algoritmi sono tutti "autoprotetti" nel senso che vi è un rigoroso controllo sia su dati anomali che possano falsarne il comportamento che su dati non plausibili per il modello matematico implementato. Inoltre eventuali limiti propri dell'algoritmo vengo accuratamente segnalati. L'utente può essere "deluso" nello scoprire che l'algoritmo non è in grado di risolvere un problema ma tale evenienza viene sempre verificata prima della elaborazione (o monitorata durante, secondo i casi) in modo che l'utente non possa mai ricevere risposte falsate da un algoritmo i cui limiti di applicabilità siano violati senza controllo. Oltre alla protezione degli algoritmi, vengono controllate tutte le quantità caratteristiche per un buon esito della elaborazione. A esempio, nella fattorizzazione monitorare la "decadenza di precisione" può essere più significativo di controllare solo la condizione di singolarità in quanto avvengono arrotondamenti e troncamenti che non consentono verifiche assolute in aritmetica finita. Questa valutazioni hanno spesso una interpretazione fisica precisa (a esempio una matrice singolare indica una labilità della struttura) e vengono sempre esposte operatore attraverso un apposito messaggio (avviso) di errore. I messaggi di errore di questo tipo non solo evitano soluzioni non corrette ma guidano l'utente verso la eliminazione dell'errore commesso.

Metodi di esposizione dei risultati

I risultati in Nòlian sono esposti con metodo prioritario a "dialogo" intendendosi la possibilità di scegliere tematicamente il tipo di dato da consultare e poi "cliccando" l'oggetto che si desidera consultare per conoscere i valori del parametro sotto esame. Questo metodo consente un immediato controllo sui valori e sui punti critici senza richiedere la consultazione di stampe voluminose di difficile gestione. Inoltre Nòlian è dotato di potenti rappresentazioni grafiche, anche tra loro combinabili, che consentono un'immediata conoscenza del comportamento strutturale sia locale che globale. Infine si ha una produzione della descrizione del modello completa sia su file di testo che direttamente su stampante. La descrizione completa segue l'organizzazione tipica dei i programmi a elementi finiti. E' in forma sintetica tabellare e riporta una descrizione completa e ripetibile della struttura e dei risultati ottenuti in modo che l'analisi possa essere eventualmente ripetuta con altri programmi. Nòlian non produce "relazioni di calcolo", che non è compito di programma di analisi strutturale, ma solo i dati suddetti che possono eventualmente essere allegati alla relazione di calcolo. Inoltre Nòlian ha la possibilità di copiare, registrare, stampare immagini sintetiche dei dati e dei risultati che possono essere impiegate nelle relazioni di calcolo per una documentazione sintetica del comportamento strutturale. Tra queste citiamo gli schemi del modello di calcolo dotati eventualmente della rappresentazione delle condizioni al contorno e delle azioni esterne agenti, e le mappe a colori di tutti i risultati tipici: dagli spostamenti agli sforzi. Si possono anche avere rappresentazioni personalizzate dall'utente tramite espressioni algebriche che possono documentare in modo sintetico presso che qualsiasi aspetto della struttura.

La relazione di calcolo

Come meglio esposto sopra, al paragrafo "Metodi di esposizione dei risultati", Nòlian non produce "relazioni di calcolo" essendo questo compito specifico del progettista. Nòlian produce elaborati completi e "ripetibili" (nel senso che le informazioni hanno completezza assicurata per la ripetizione del calcolo con altri programmi). Tali elaborati possono essere usati come allegati alla relazione di calcolo sia nella forma completa sia tramite estratti o immagini sintetiche che possono essere prodotti con Nòlian.

Criteri di validazione e controlli di qualità

Il software non può essere "certificato" e cioè dichiarato rispondente a dei dettami normativi di costruzione bensì "validato" a fronte di casi prova. I casi prova sono generalmente le specifiche della commessa. Nel caso del software "pacchettizzato", come questo, e non "custom", in assenza di specifiche di validazione si impiegano dei casi prova forniti dalla letteratura internazionale. Si noti che i casi prova devono essere progettati con molta esperienza in quanto devono poter mettere in luce gli effettivi punti deboli del codice (stressing). Oltre alle verifiche tramite i casi prova, le verifiche vanno fatte sul comportamento globale del programma. La Softing ha un sistema di "bug tracking" che segue la fase di sviluppo (o aggiornamento e manutenzione), rilascio, uso presso l'utente. Questo rilevamento costante dà luogo a delle curve di difettosità che vengono costantemente tenute sotto controllo. Infatti la qualità del software si consegue in modo dinamico più che statico. Per questo motivo la Softing consiglia ai suoi clienti un costante aggiornamento del software e asserisce essere sempre maggiormente affidabile il software in corso più che le versioni obsolete. Gli utenti (si veda anche nel seguito) che hanno un contratto di manutenzione sono sia avvisati di eventuali malfunzionamenti riscontrati che messi in grado in tempi brevissimi di adeguare il loro codice tramite delle patch disponibili in automatico su Internet. Il metodo di bug-tracking della Softing è stato certificato ISO-9002. La Softing non ha ritenuto opportuno adeguare questa certificazione alla Vision 2000 ritenendo che gli espletamenti prettamente burocratici

imposti da queste normative comportasse un inutile aggravio di costi in quanto il metodo di controllo della qualità adottato da Softing è praticato a prescindere da certificazioni esterne di stampo burocratico.

Casi prova

Per la validazione di Nòlian sono stati usati moltissimi casi prova reperibili in letteratura. I principali di questi sono dovuti al NAFEMS (National Agency for Finite Element Standard, della quale Softing è membro). Nòlian ha due manuali di validazione (uno per i casi lineari e uno per quelli non lineari) dove sono riportati gli esiti dei principali di questi raffronti con i casi prova. Si faccia riferimento a tali manuali per questo aspetto. L'elenco di alcuni casi prova è riportato in Appendice 1.

Criteri riassuntivi di qualità

La produzione del software è ormai una tecnologia consolidata e confluita nella disciplina scientifica della Ingegneria del Software. La Softing è una azienda che produce software e lo fa dal 1983. Il software non può essere privo di malfunzionamenti. La curva di difettosità scende con il tempo ma ha andamento asintotico a valore non nullo. Il software più usato e collaudato è quello più sicuro a patto che vi siano, come nella Softing, strutture e metodologie atte a migliorare il software in base al monitoraggio di funzionamento nel tempo. La softing soprattutto impiega solo algoritmi assolutamente adeguati allo scopo che ci si prefigge di raggiungere, che ha come "filosofia" aziendale quella di dichiarare i limiti degli algoritmi che usa e di "filtrarne" l'uso via software. L'implementazione degli algoritmi avviene secondo metodi sperimentati e controllati che prevedono casi-priva progettati sia per il test dei componenti software che per i test dell'insieme. La Softing non usa algoritmi semplificati (nonostante essi spesso si avvicino di più alle conoscenze professionali dell'utilizzatore e quindi siano commercialmente più "appetibili") in quanto essi rischiano di non avere sufficienti controlli in un sistema automatizzato. Oltre a questa rigorosa impostazione di partenza, la Softing segue nel tempo con rigore la difettosità del software rimuovendo puntigliosamente i malfunzionamenti ed, eventualmente, aggiornando costantemente algoritmi che abbiano trovato nuove soluzioni nella ricerca con ciò seguendo lo sviluppo sia dell'informatica che dei metodi matematici applicati all'ingegneria. La Softing offre ai propri utenti la possibilità di avere codici sempre aggiornati. Ciò tramite delle patch disponibili su internet che auto-aggiornano il codice. Le patch, essendo di ridotte dimensioni, non costringono a scaricare un'intera copia dell'eseguibile e di reinstallarla, ma la "riparano" automaticamente il codice eseguibile. In questo modo l'utente ha la garanzia che i malfunzionamenti eventualmente individuati siano subito rimossi anche nel suoi codice e ha la garanzia di avere i benefici della qualità di un software che cresce sempre nel tempo.

Appendici

Appendice 1: Elenco di alcuni casi prova

Elenco esemplificativo di 14 casi prova, tutti passati da Nòlian, dettagliatamente illustrati nel manuale di validazione di Nòlian per analisi lineare. Per l'analisi non lineare si consulti direttamente il manuale di validazione. L'elenco è per tipologia di elementi finiti e tipologia di problemi.

Elementi Trave: Analisi dinamica

1. Autovalori di un sistema di travi. Lo scopo di questo test è quello di verificare la qualità dei risultati in analisi dinamica di elementi trave. Si verifica il comportamento per un accoppiamento di caratteristiche estensionali e flessionali e la valutazione di autovalori coincidenti. Il test è proposto da: NAFEMS "The standard Nafems Benchmarks", test FV2.
2. Analisi dinamica di telaio. Questo test è uno dei pochi test in campo edile. Fu commissionato dalla Softing al Politecnico di Milano nel 1986 per validare Nòlian (allora MacSap). Contiene elementi tipici dei modelli edili: impalcati rigidi (master slave) ed elementi infinitamente rigidi (Rigel). Il risultati per la validazione, riportati in seguito, furono ottenuti con SAP IV.

Elementi Guscio: Patch test

3. Patch test per la membrana. E' un test importante. Di importanza anche storica perché è un test classico per elementi finiti. Se un elemento finto non passa i patch test, e questo è uno dei più impegnativi, non può essere impiegato nell'uso pratico. Il test è proposto in: R.H. MacNeal, R.L. Harder, "A proposed standard set of problems to test finite element accuracy" in Finite Element Analysis and Design, 1 (1985) 3-20, North Holland.

Elementi Guscio: Statica lineare

4. Torsione di mensola con sezione a "Z". Lo scopo del test è quello di verificare il comportamento di elementi guscio soggetti a un regime di sforzo complesso. Infatti viene trattata una mensola a "Z" soggetta a torsione. Il test è proposto in : NAFEMS : "The standard NAFEMS benchmarks", test LE5.
5. Piastra sottoposta a pressione. Il test riguarda una piastra appoggiata uniformemente caricata. Lo scopo del test è quello di verificare il comportamento degli elementi nel caso abbiano forma distorta. Il test è proposto in: NAFEMS " The standard Nafems Benchmarks", test LE6
6. Mensola con forza concentrata in estremità. Questo è un test basato su un elemento strutturale molto semplice, quindi adatto a confronti di immediata comprensione. L'importanza del test è nei parametri molto critici e nel ridotto numero di elementi impiegato che aiutano a valutare la "velocità di convergenza" degli elementi. Il test è proposto in: R.H. MacNeal, R.L. harder, "A proposed standard set of problems to test finite element accuracy" in Finite Element Analysis and Design, 1 (1985) 3-20, North Holland.
I valori di riferimento sono anche facilmente ricavabili da una formulazione analitica.
7. Membrana ellittica. Si tratta di una membrana ellittica con un foro ellittico. Viene modellato solo un quarto dell'ellisse. Lo scopo di questo test è quello di testare la capacità dei programmi di rappresentare adeguatamente forme curve e carichi applicati a lati curvi e inoltre di valutare gli sforzi nei punti di massima concentrazione. Il test è uno dei primi proposti dal NAFEMS e è dettagliatamene spiegato in Il test è proposto da: NAFEMS, "Beckground to Benchmarks" pag 5 e segg.

Elementi Guscio: Dinamica

8. Autovalori di piastra quadrata appoggiata. Scopo di questo test è verificare il comportamento in analisi dinamica degli elementi guscio. Generalmente un buon comportamento nella estrazione degli autovalori (direttamente correlati ai periodi) è indice anche di una buona affidabilità in analisi statica. Il test è proposto in: NAFEMS, "Selected Benchmark for Natural Frequency Analysis", Test 13.
9. Autovalori di mensola rastremata. Questo test verifica il comportamento membranale (a taglio) degli elementi piani soprattutto con una mesh irregolare. Il Test è proposto in: NAFEMS "The standard Nafems Benchmarks", test FV32

Elementi a deformazione piana e assialsimmetrici: statica lineare
10. Tubo di lunghezza indefinita. Modellazione di un cilindro di lunghezza indefinita tramite elementi a deformazione piana. Il test è proposto in: E. Hinton, D.R.J. Owen, Finite Element in Plasticity, Pineridge Press, 1980.
11. Elemento di lunghezza infinita con nucleo riscaldato. Lo scopo del test è quello di verificare il comportamento termo-elastico. Qui sono impiegati elementi a deformazione piana per modellare un elemento di lunghezza infinita, quale un conduttore. Il nucleo centrale presenta una variazione di temperatura rispetto agli elementi esterni. Tale variazione di temperatura causa una tensione negli elementi di contorno. Il test è proposto da: NAFEMS "The standard Nafems Benchmarks", test T1.

Elementi Brick: Statica Lineare
12. Piastra spessa sottoposta a pressione. Test su elementi brick di forma non regolare. Il test è proposto da: NAFEMS, "Beckground to Benchmarks" pag 77
13. Colonna spessa sottoposta a variazione di temperatura. Uso degli elementi brick per variazione di temperatura. Valutazione del comportamento per un campo di deformazione costante. Soluzione analitica.

Elementi Brick: Dinamica
14. Autovalori di mensola di forte spessore. Uso degli elementi brick per modelli di elementi di forte spessore. Il test è proposto NAFEMS "Selected BechMark for Natural Frequency Analysis", Test 51. e in NAFEMS "Free Vibration Benchmarks" vol. 3 pag. 451.

SOFTING SRL

Nòlian: Manuale di Validazione
Casi prova per analisi lineare

Copyright
Questi casi prova sono stati raccolti dalla Softing srl che mantiene tutti i diritti su questo testo.
Copyright 2005, Softing srl.
Prima edizione: febbraio 2005.
Revisione: aprile 2005.

Introduzione

Questo Manuale di Validazione di Nòlian raccoglie dei casi-prova (benchmark) che sono un parte di quelli usati per i test di validazione di Nòlian. Questo Manuale raccoglie casi prova relativi ad analisi lineari e quindi è di uso più comune e può essere impiegato dagli utilizzatori per comprovare la qualità delle soluzioni ottenuto con Nòlian. Un altro manuale di Validazione di Nòlian è dedicato a analisi non lineari avanzate.

Questi casi prova comunque hanno un uso più ampio. Infatti abbiamo aggiunto, ad ogni caso-prova, un paragrafo "Cosa imparare" dedicato a chi vuole usare i casi prova per migliorare le proprie capacità di mettere a punto i modelli di calcolo. Qui diamo alcuni suggerimenti di impiego di questa raccolta.

- Sempre più spesso si parla di metodi per comprovare la correttezza dei programmi di calcolo per ingegneria. I test eseguiti su casi-prova di valenza internazionale sono il migliore, se non l'unico, mezzo per ottenere questo scopo. Quindi questi casi prova e i test eseguiti con Nòlian possono essere impiegati anche per raggiungere questa ragionevole certezza sulla accuratezza di Nòlian.

- Nòlian è uno dei pochi programmi italiani a dare un completo controllo sulla mesh e quindi consente di capire realmente cosa si sta facendo se si usa un programma a elementi finiti. Questi casi prova, se gli si dedica qualche momento, consentono di capire a fondo le potenzialità e i limiti del metodo

- La "modellazione", cioè la riduzione del problema a un modello risolvibile, non è un fatto banale e su essa poggia la qualità dei risultati che si ottengono. Molti programmi "nascondono" la modellazione per far illudere l'utilizzatore che tutto è molto semplice e sicuro. I casi prova fanno capire invece come la consapevolezza del modello sia essenziale se si impiega il metodo degli elementi finti e insegnano qualche accorgimento per fare dei modelli corretti

- I risultati di confronto dei casi prova sono rigorosi per cui questi test non sono soltanto i risultati di Nòlian ma sono un "banco di prova" indipendente e quindi possono e essere usati da chi sta scegliendo un programma per valutarne la qualità, l'affidabilità e la versatilità. Infatti la versatilità di un programma è basata anche sulla specifica formulazione degli elementi finiti che esso consente di impiegare e non solo sulle funzioni di interfaccia. A esempio, se si hanno stati di tensione tridimensionali, gli elementi Brick sono indispensabili. Il Manuale Teorico di Nòlian riporta la formulazione degli elementi finiti impiegati in Nòlian.

- I casi prova sono sempre problemi di dimensioni ridotte perché l'attenzione del ricercatore che li ha messi a punto è rivolta al problema specifico che si vuole approfondire e non all'insieme.

Questo è un'altro elemento che fa dei casi prova degli strumenti adatti a approfondire la propria conoscenza. Infatti possono essere esaminati e approfonditi con molta semplicità.

- Questi casi prova non sono di facile reperimento in quanto sono riportati solo nella letteratura internazionale e non sono dei problemi qualsiasi ma attentamente studiati per mettere a dura prova sia i programmi che gli analisti. Quindi sono di per sé già un valore.

Sommario dei casi prova

Introduzione
Sommario dei casi prova
T. Elementi Trave
D. Dinamica
TD1: Autovalori di un sistema di travi
TD2: Analisi dinamica di telaio
S. Elementi Guscio
P. Patch test
Cosa sono i "patch test"
P1: Patch test per la membrana
L. Statica lineare
SL1: Torsione di mensola con sezione a "Z"
SL2: Piastra sottoposta a pressione
SL3: Mensola con forza concentrata in estremità
SL4: Membrana ellittica
D. Dinamica
SD1: Autovalori di piastra quadrata appoggiata
SD2: Autovalori di mensola rastremata
A. Elementi a deformazione piana e assialsimmetrici
L. Statica lineare
AL1: Tubo di lunghezza indefinita
AL2: Elemento di lunghezza infinita con nucleo riscaldato
B. Elementi Brick
L. Statica lineare
BL1: Piastra spessa sottoposta a pressione
BL2: Colonna spessa sottoposta a variazione di temperatura
D. Dinamica
BD1: Autovalori di mensola di forte spessore

T. Elementi Trave

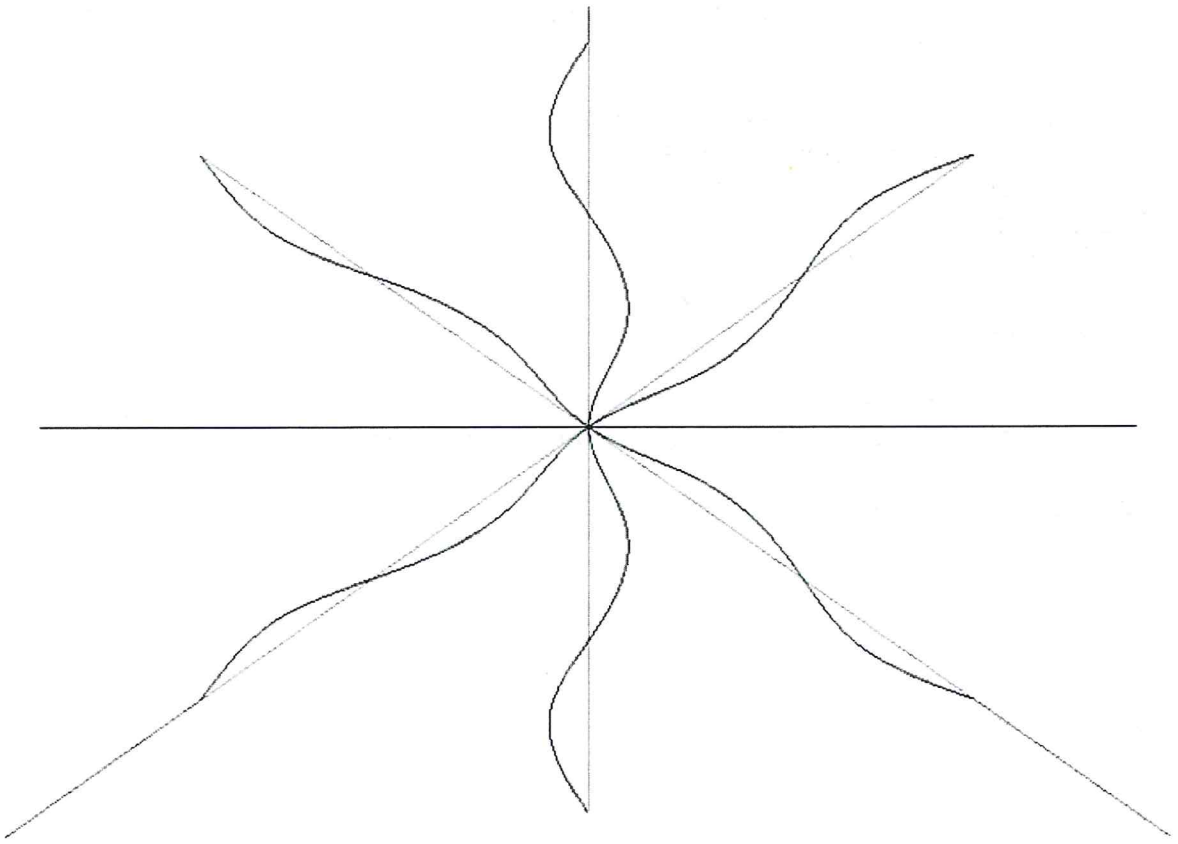
D. Dinamica

TD1: Autovalori di un sistema di travi

Scopo del test
Lo scopo di questo test è quello di verificare la qualità dei risultati in analisi dinamica di elementi trave. Si verifica il comportamento per un accoppiamento di caratteristiche estensionali e flessionali e la valutazione di autovalori coincidenti.

Riferimenti
Il test è proposto da: NAFEMS "The standard Nafems Benchmarks", test FV2.
Il file di Nòlian ha il nome: NAFEMS FV2.sap.

Cosa imparare
In questo test si può capire come, nei programmi che usano modelli a masse concentrate, gli elementi strutturali monodimensionali dei quali si vogliano conoscere le forme modali in modo accurato, devono essere suddivisi in più elementi finiti in modo che si abbia una più realistica distribuzione delle masse lungo l'elemento strutturale. Inoltre, per i meno esperti, è interessante vedere le forme modali, oltre le note prime tre, che presentano configurazioni interessanti.



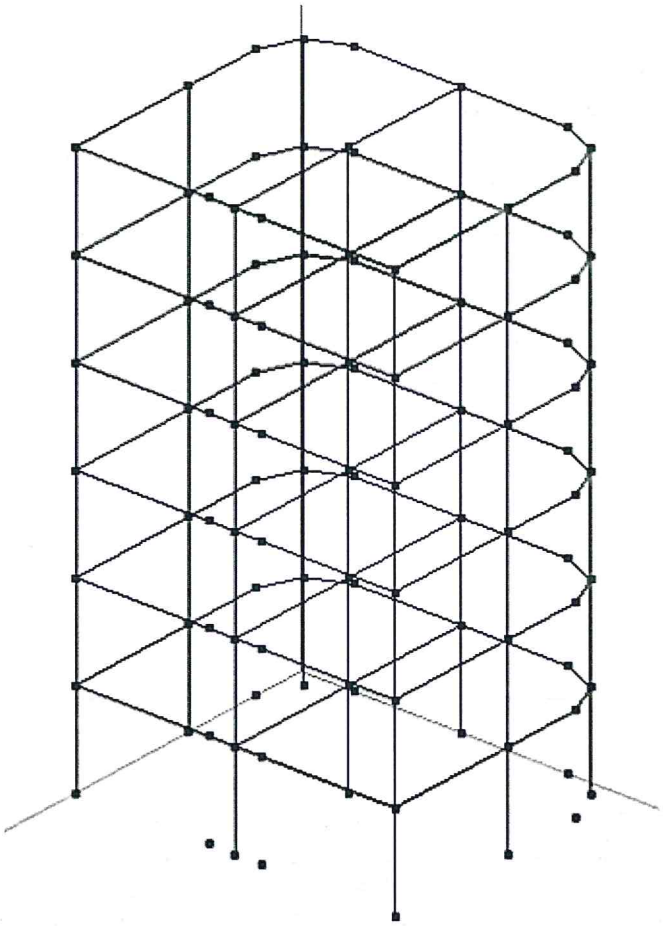
Risultati
I risultati, ponendo a confronto quelli analitici del NAFEMS con quelli di Nòlian, sono i seguenti:

Periodo	NAFEMS	Nòlian	Scarto (%)
1	0.08821	0.088240	0.03%
2, 3	0.05646	0.056619	0.28%
4, 5, 6, 7, 8	0.05646	0.056528	0.28%
9,	0.02307	0.022214	3.72%
10, 11	0.01742	0.017839	1.83%
12, 13, 14, 15, 16	0.01742	0.017748	1.83%

TD2: Analisi dinamica di telaio

Scopo del test
Questo test è interessante perché è uno dei pochi test in campo edile. Infatti fu commissionato dalla Softing al Politecnico di Milano nel 1986 per validare Nòlian (allora MacSap). Contiene elementi tipici dei modelli edili: impalcati rigidi (master slave) ed elementi infinitamente rigidi (Rigel). Il risultati per la validazione, riportati in seguito, furono ottenuti con SAP IV.

Riferimenti
Il file di Nòlian ha il nome: PoliMil.sap.



Risultati
I valori ottenuti coincidono con quelli di Nòlian e sono i seguenti:
Spostamenti del nodo 99
Direzione X: 0.00863, direzione Y: 0.00934
Sforzi trave 62, nodo i:
Assiale: 5.102239 Momento Z: -1.116602

S. Elementi Guscio

P. Patch test

Cosa sono i "patch test"

I patch test sono test specializzati per valutare il comportamento degli elementi finiti in assemblaggi. L'assemblaggio deve essere specifico così come i criteri di test per assicurare che elementi finiti assemblati e anche di forma non regolare diano risultati corretti.

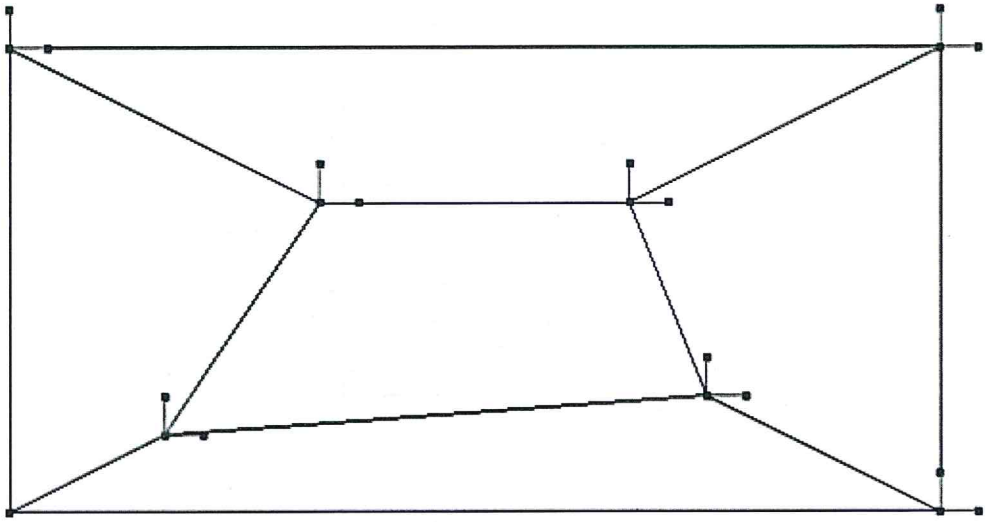
P1: Patch test per la membrana

Scopo del test

E' un test importante. Di importanza anche storica perché è un test classico per elementi finiti. Se un elemento finto non passa i patch test, e questo è uno dei più impegnativi, non può essere impiegato nell'uso pratico.

Riferimenti

Il test è proposto in: R.H. MacNeal, R.L. Harder, "A proposed standard set of problems to test finite element accuracy" in Finite Element Analysis and Design, 1 (1985) 3-20, North Holland.
Il file di Nòlian ha nome: PatchTset1.sap



Cosa imparare

Oltre alle tecniche di patch test, l'assegnazione di un campo di spostamenti tramite uso degli elementi Boundary. Qui abbiamo impiegato gli elementi Boundary perché di uso più intuitivo. Nòlian consente anche l'uso di Constraint. Poiché il risultato è un campo di tensione costante, dato nel riferimento globale dagli autori del test e gli elementi hanno riferimento locali ruotati rispetto a quelli globali, si ha anche un ottimo esempio d'uso del dialogo degli "Sforzi principali" per leggere anche gli sforzi nelle direzioni volute.

Risultati

I risultati coincidono perfettamente con quelli del test per cui gli elementi a 4 e 8 nodi di Nòlian hanno passato il patch test.

L. Statica lineare

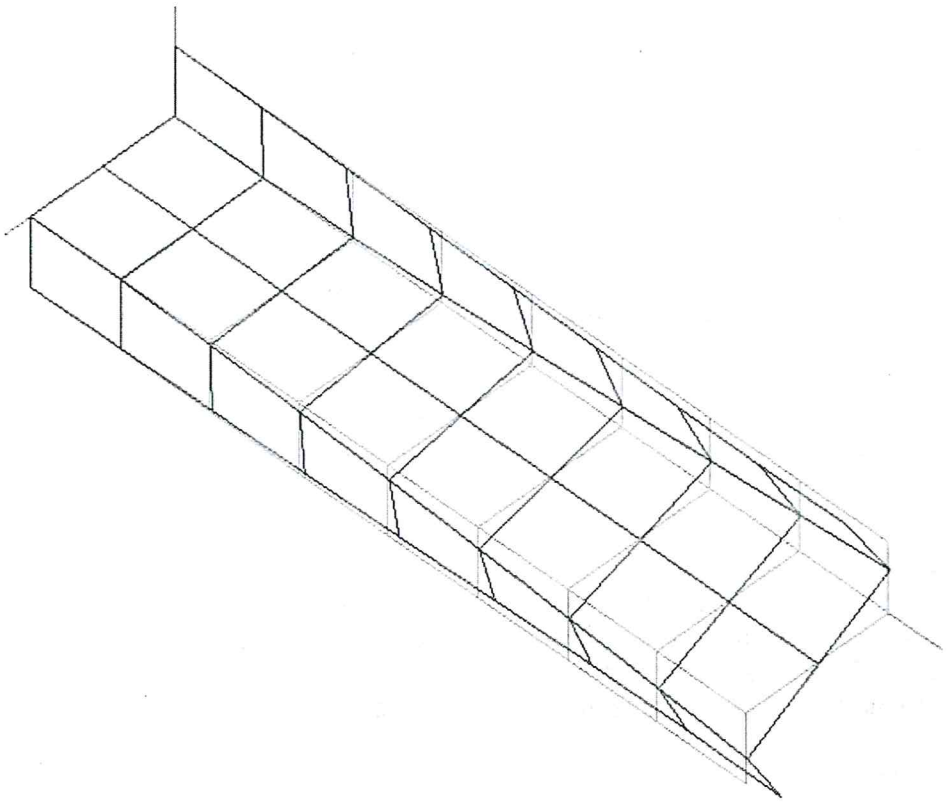
SL1: Torsione di mensola con sezione a "Z"

Scopo del test

Lo scopo del test è quello di verificare il comportamento di elementi guscio soggetti a un regime di sforzo complesso. Infatti viene trattata una mensola a "Z" soggetta a torsione.

Riferimenti

Il test è proposto in : NAFEMS : "The standard NAFEMS benchmarks", test LE5.
Il file di Nòlian ha nome: LE5-8.sap e LE5-4.sap.



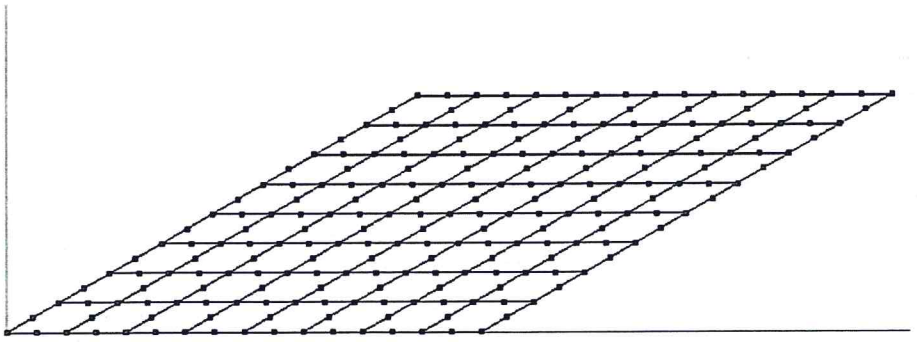
Risultati
La soluzione di confronto è lo sforzo nel punto "A" del test NAFEMS, situato a 2.5 m dall'incastro. Nel file di Nòlian è lo sforzo nel nodo "I" dell'elemento 6 (nodo 76).

Il valore di riferimento è analitico ed è di 108 MPa, il valore in Nòlian è 110.64 MPa, con uno scarto del 1.8% dal valore analitico. Impiegando invece in Nòlian una mesh di elementi a 4 nodi, il valore ottenuto è 103.95 MPa, con uno scarto del 3.75 % dal valore analitico.

SL2: Piastra sottoposta a pressione

Scopo del test
Il test riguarda una piastra appoggiata uniformemente caricata. Lo scopo del test è quello di verificare il comportamento degli elementi nel caso abbiano forma distorta.

Riferimenti
Il test è proposto in: NAFEMS " The standard Nafems Benchmarks", test LE6
Il file di Nòlian ha nome: LE6.sap



Risultati
Il confronto dei risultati è effettuato sulla massima tensione principale al centro. Il valore di riferimento è analitico ed è di 0.802 MPa. Il valore ottenuto con Nòlian, elementi ad 8 nodi, è 0.840 MPa. Lo scarto è del 4.7% sulla soluzione analitica.

SL3: Mensola con forza concentrata in estremità

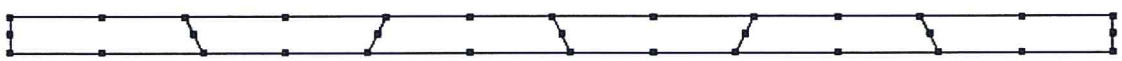
Scopo del test
Questo è un test basato su un elemento strutturale molto semplice, quindi adatto a confronti di immediata comprensione. L'importanza del test è nei parametri molto critici e nel ridotto numero di elementi impiegato che aiutano a valutare la "velocità di convergenza" degli elementi.

Riferimenti
Il test è proposto in: R.H. MacNeal, R.L. harder, "A proposed standard set of problems to test finite element accuracy" in Finite Element Analysis and Design, 1 (1985) 3-20, North Holland.
I valori di riferimento sono anche facilmente ricavabili da una formulazione analitica.
Il file di Nòlian ha nome: MacNeal8.sap, MacNeal4.sap e MacNeal8_dist.sap

Cosa imparare
La qualità del risultato dipende dalle capacità di un elemento finito di "convergere alla soluzione" in modo rapido. Cioè infittendo la mesh, il risultato deve convergere a quello "esatto". Quindi questo test molto semplice fa capire, e invita a valutare, quanto influisca la densità della mesh sui risultai invitando a tenerne conto e a non trascurare questo aspetto nei modelli. Mostra anche come la distorsione della mesh renda meno accurati i risultati e quindi invita a non suddividere "a caso" una superficie ma con attenzione per la forma degli elementi. Ogni formulazione e di elemento finito è più o meno suscettibile alla distorsione delle forma. Il test invita a saggiare tale qualità degli elementi che si intendono usare prima di usarli in applicazioni professionali.

Risultati
Deflessione:
Valore analitico -0.1081.
Nòlian, elementi a 8 nodi =-0.1075, scarto 0.55%
Nòlian, elementi a 4 nodi =-0.1073, scarto 0.74%

Le tensioni al lembo superiore dell'incastro sono:
Valore analitico: 9000
Nòlian, elementi a 8 nodi: 8430. Scarto 6.3%.
Si noti che in altezza si è usato un solo elemento quindi la valutazione delle tensioni è eccezionalmente accurata.



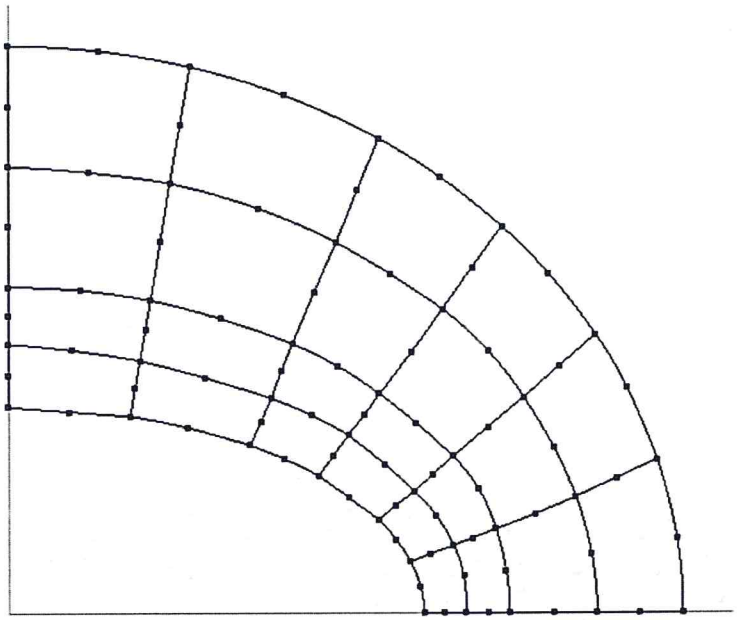
Distorsione della mesh
Questo test può essere eseguito (come proposto originariamente dagli autori) anche con elementi distorti per valutare la qualità della soluzione. Distorcendo gli elementi come in figura, forzando i controlli automatici di accettabilità di Nòlian che non accetta elementi così distorti per garantire l'operatore dalla definizione di errate geometrie, si ottengono i seguenti risultati.

Risultati
Deflessione:
Nòlian, elementi 8 nodi, defelssione: -100.0. Scarto 8.0% sulla soluzione analitica.
Si noti come la distorsione degli elementi influisca sulla accuratezza della soluzione.

SL4: Membrana ellittica

Scopo del test
Si tratta di una membrana ellittica con un foro ellittico. Viene modellato solo un quarto dell'ellisse. Lo scopo di questo test è quello di testare la capacità dei programmi di rappresentare adeguatamente forme curve e carichi applicati a lati curvi e inoltre di valutare gli sforzi nei punti di massima concentrazione.

Riferimenti
Il test è uno dei primi proposti dal NAFEMS e è dettagliatamene spiegato in Il test è proposto da:
NAFEMS, "Beckground to Benchmarks" pag 5 e segg.
Il nome del file di Nòlian è: NAFEMS LE1.sap



Cosa imparare
Innanzitutto la capacità di Nòlian di gestire bordi effettivamente curvilinei e carichi di bordo applicati a bordi curvilinei. Senza questa possibilità, approssimando cioè il bordo con una poligonale, i risultati sarebbero molto distanti da quelli del test. Altra cosa importante è il modo in cui si è vincolata la membrana per imporre le condizioni di simmetria. Nei test è frequente impiegare le condizioni di simmetria come espediente per minimizzare il tempo e la mole di dati che deve essere minima. Comunque imparare a porre condizioni di simmetria è un ottimo modo di capire come agiscano i vincoli.

Risultati
Il risultato analitico di riferimento è lo sforzo tangenziale al bordo interno. Il valore analitico è 92.7 MPa. Il valore ottenuto con Nòlian è 92.7 MPa, praticamente indistinguibile da quello analitico.

D. Dinamica

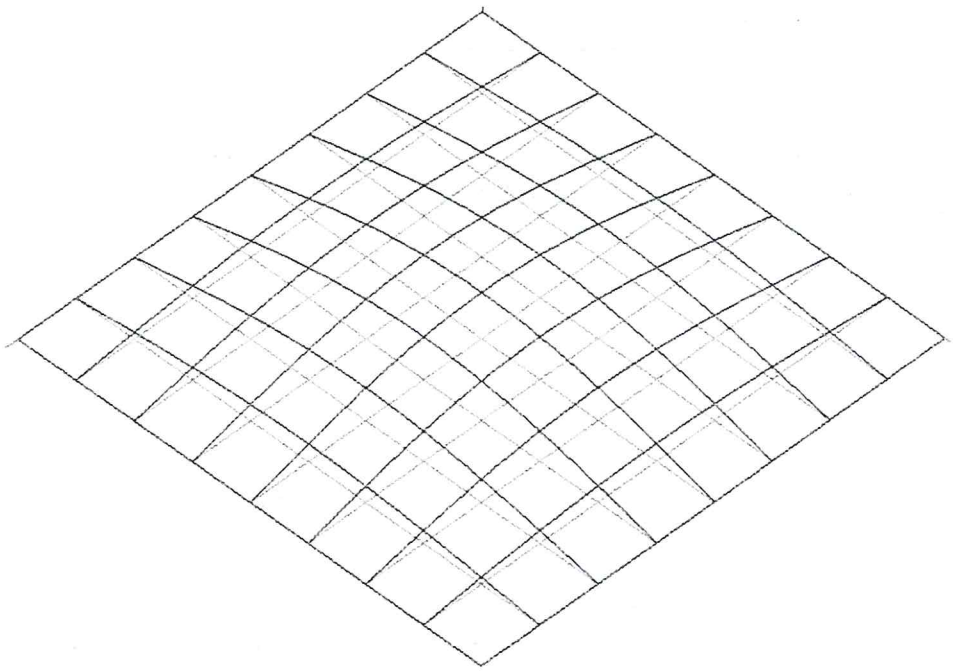
SD1: Autovalori di piastra quadrata appoggiata

Scopo del test

Scopo di questo test è verificare il comportamento in analisi dinamica degli elementi guscio. Generalmente, un buon comportamento nella estrazione degli autovalori (direttamente correlati ai periodi) è indice anche di una buona affidabilità anche in analisi statica.

Riferimenti

Il test è proposto in: NAFEMS, "Selected Benchmark for Natural Frequency Analysis", Test 13.
Il file di Nòlian ha nome: NAFEMS 13.sap.



Risultati

Periodo	Riferimento	Nòlian 8 nodi	Scarto (%)	Nòlian 4 nodi	Scarto (%)
1	0.4207	0.421008	0.07	0.418965	0.42
2	0.1683	0.168401	0.06	0.166698	0.95
3	0.1683	0.168401	0.06	0.166698	0.95
4	0.1052	0.105516	0.28	0.103450	1.71
5	0.0841	0.084466	0.35	0.082735	1.66
6	0.0841	0.084435	0.35	0.082699	1.66
7	0.0647	0.065170	0.62	0.063148	2.47
8	0.0647	0.065170	0.62	0.063148	2.47

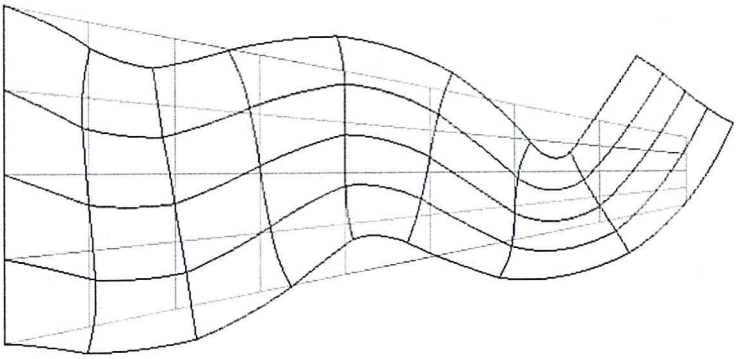
SD2: Autovalori di mensola rastremata

Scopo del test

Questo test verifica il comportamento membranale (a taglio) degli elementi piani soprattutto con una mesh irregolare.

Riferimenti

Il Test è proposto in: NAFEMS “The standard Nafems Benchmarks”, test FV32
Il File di Nòlian ha nome: FV32-8.sap



Risultati

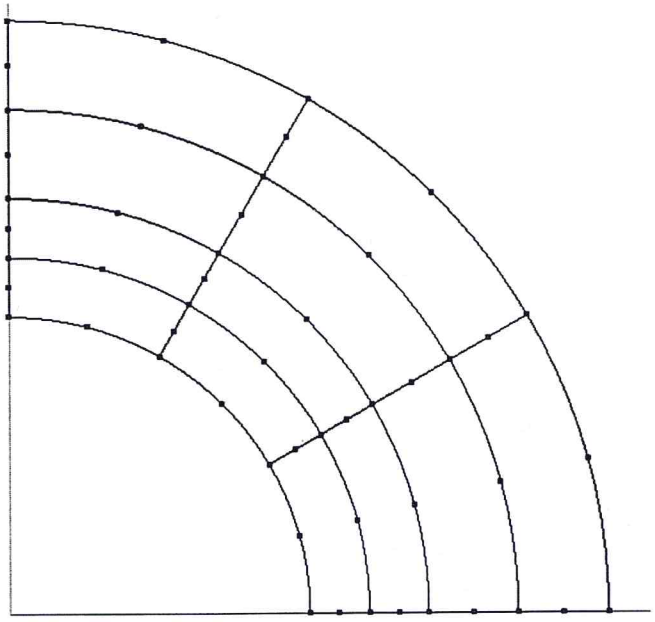
Periodo	Valore analitico	Nòlian	Scarto Nòlian (%)
1	0.02240	0.022747	1.5%
2	0.00769	0.007886	2.4%
3	0.00614	0.006173	0.4%
4	0.00406	0.004211	3.6%
5	0.00263	0.002764	4.9%
6	0.00255	0.002595	1.5%

A. Elementi a deformazione piana e assialsimmetrici

L. Statica lineare

AL1: Tubo di lunghezza indefinita

Scope del test
Modellazione di un cilindro di lunghezza indefinita tramite elementi a deformazione piana.



Riferimenti
I test è proposto in: E. Hinton, D.R.J. Owen, Finite Element in Plasticity, Pineridge Press, 1980.
Il file di Nòlian ha nome: HintonOwen.sap

Cosa imparare
Innanzitutto la esistenza di elementi finiti che rappresentano stati di tensione o deformazione diversi dai più comuni lastra-piastra o guscio. Poi le condizioni di simmetria che possono imporsi per ridurre il problema. Qui infatti si analizza solo un quarto del cilindro impiegando gli opportuni vincoli imposti dalla simmetria.

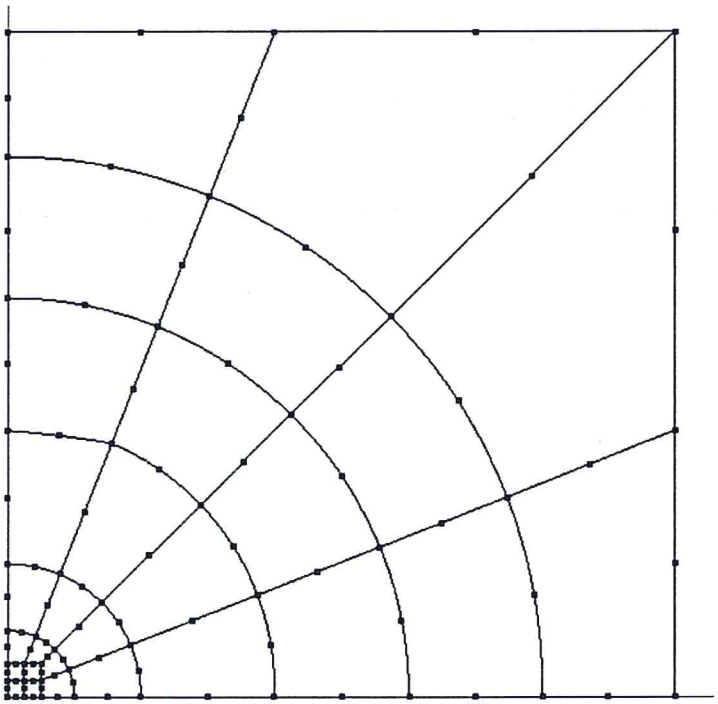
Risultati
Il risultato di riferimento è analitico ed è lo spostamento radiale dl nodo interno. Il valore di riferimento è 0.12719. Il valore ottenuto con Nòlian è 0.12709. Lo scarto quindi dal valore analitico è dello 0.08%.

AL2: Elemento di lunghezza infinita con nucleo riscaldato

Scopo del test
Lo scopo del test è quello di verificare il comportamento termo elastico. Qui sono impiegati di elementi a deformazione piana per simulare un elemento di lunghezza infinita, quale un conduttore. Il nucleo centrale presenta una variazione di temperatura rispetto agli elementi esterni. Tale variazione di temperatura causa una tensione negli elementi di contorno.

Riferimenti
Il test è proposto da: NAFEMS "The standard Nafems Benchmarks", test T1.
Il file di Nòlian ha il nome: NAFEMS T1-8.sap

Cosa imparare
E' interessante vedere le possibilità di valutare gli effetti della temperatura. Qui si impara anche a infittire la mesh ove necessario. Inoltre si introduce l'impiego di elementi di lunghezza indefinita.



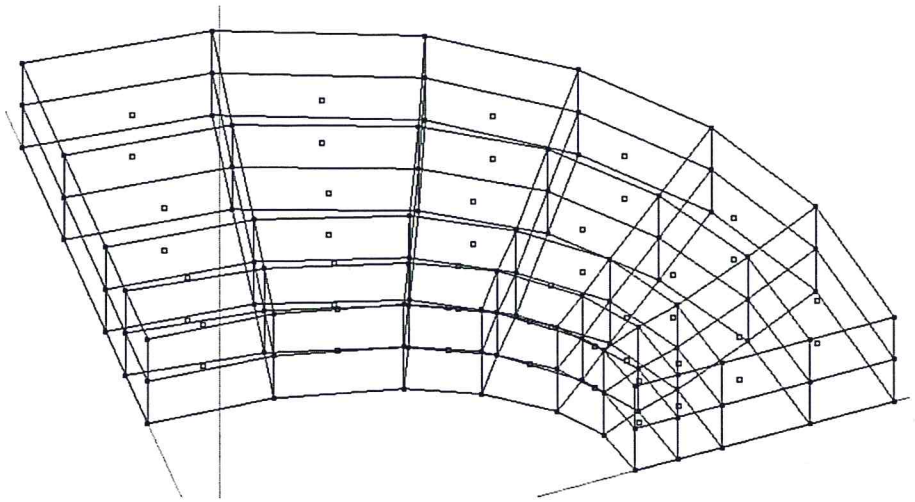
Risultati
La soluzione "target" proposta è la tensione nel punto D, subito fuori dell'hotspot che ha un valore 50.0 MPa. Con Nòlian (sforzi nell'elemento 21 del file) si ha un valore di 49.69 MPa. Lo scarto con il valore teorico è quindi dello 0.62%.

B. Elementi Brick

L. Statica lineare

BL1: Piastra spessa sottoposta a pressione

Scopo del test
Test su elementi brick di forma non regolare.



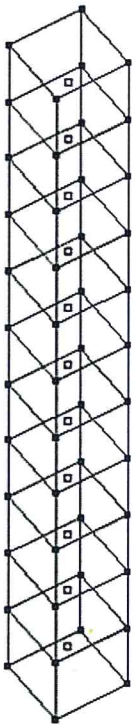
Riferimenti
Il test è proposto da: NAFEMS, "Beckground to Benchmarks" pag 77
Nome del file di Nòlian: LE10.sap

Risultati
Come soluzione "target" NAFEMS considera il valore di sforzo syy nel vertice interno destro superire, il nodo 105 del modello in Nòlian, fornendo il valore analitico e il valore ottenuto con un programma FEM di riferimento con una mesh 6x4x2 (la stessa impiegata in Nòlian).

Analitica (syy)	FEM target	Nòlian	% Nòlian su FEM
-5.38	-5.85	-5.79	-0.8%

BL2: Colonna spessa sottoposta a variazione di temperatura

Scopo del test
Uso degli elementi brick per variazione di temperatura. Valutazione del comportamento per un campo di deformazione costante.



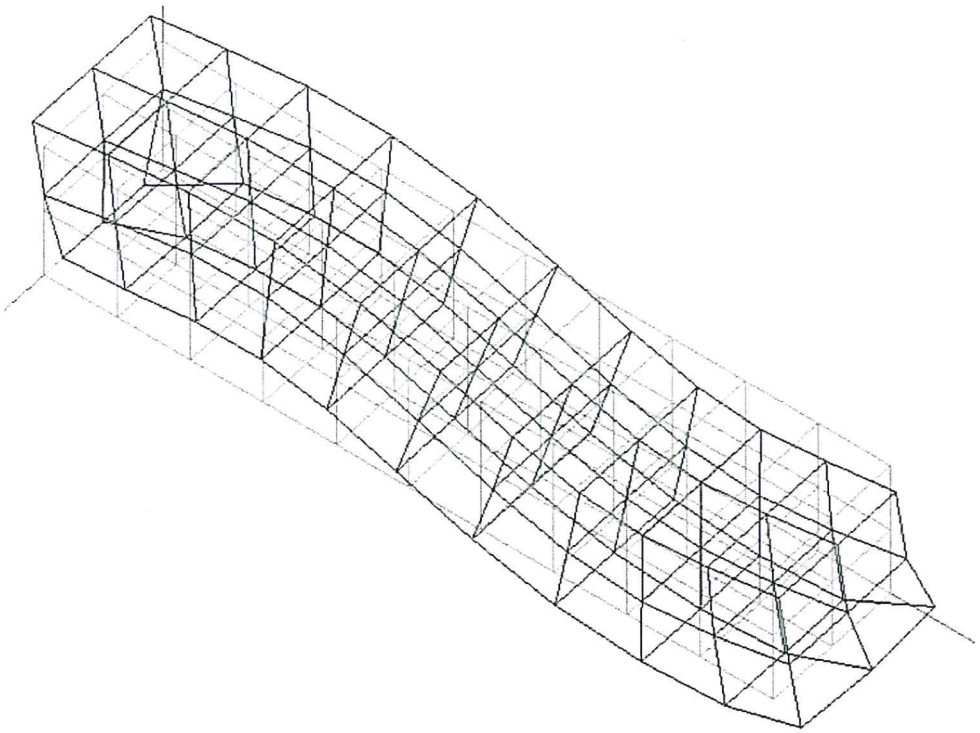
Riferimenti
Soluzione analitica.
File di Nòlian: Colonna DT.sap

Risultati
Spostamenti: Nodo 5 (base esterno) x = 10.0 y = 10.0, altri nulli
Sforzi: Elemento 6 nodo 1 sz = -30,000, altri nulli
Vengono esattamente confermati i risultati analitici. I valori nulli sono inferiori a 1.0e-9.

D. Dinamica

BD1: Autovalori di mensola di forte spessore

Scopo del test
Uso degli elementi brick per modelli di elementi di forte spessore.



Riferimenti
Il test è proposto NAFEMS "Selected BechMark for Natural Frequency Analysis", Test 51. e in NAFEMS "Free Vibration Benchmarks" vol. 3 pag. 451.
Il nome del file di Nòlian è: NAFEMS 51.sap

Risultati

Periodo	Analitico	Nòlian	Scarto Nòlian (%)
1	0.02617	0.025817	1.37%
2	0.01173	0.012365	5.37%
3	0.006569	0.006775	3.13%
4	0.00407	0.004247	4.42%
5	0.00336	0.003489	3.86%

SOFTING SRL

Nòlian: Manuale di Validazione
Casi prova per analisi sismica

Copyright
Questi casi prova sono stati raccolti dalla Softing srl che mantiene tutti i diritti su questo testo. Copyright 2009, Softing srl.

Prima edizione: dicembre 2009.

Introduzione
Questo Manuale di Validazione di Nòlian raccoglie dei casi-prova (benchmark) che sono un parte di quelli usati per i test di validazione di Nòlian. Questo Manuale raccoglie casi prova relativi ad analisi per ingegneria antisismica gestite nell'ambiente Earthquaque Engineering (EE) di Nòlian.

Questi casi prova comunque hanno un uso più ampio. Infatti vengono date delle indicazioni su come immettere i dati e sulle procedure da seguire che hanno ovviamene carattere più generale. I file sono disponibili nella cartella di esempi installata con Nòlian.

I casi prova sono denominati con il criterio seguente.

eeN_S_A

ee parte fossa a designare i test di questo ambiente
N numero di identificazione del modello
S tipo di sezione (a aggregatore, f fibre)
A tipo di analisi (p pushover, t transitorio)

ee1
L'elemento oggetto dell'esempio è un elemento a non linearità distribuita nel quale il comportamento dell'elemento è ottenuto per integrazione pesata della risposta di un certo numero di sezioni poste nei punti di integrazione numerica. Spostamenti e forze nelle sezioni sono ottenuti per interpolazione degli spostamenti o delle forze globali sull'elemento. Il comportamento costitutivo di ogni sezione può essere derivato dalla teoria della plasticità o ottenuto per integrazione numerica su un cerro numero di fibre discrete. Si assume che le sezioni piane si conservino piane in modo che le deformazioni della sezione siano linearmente distribuite. L'elemento è basato sulla flessibilità anzi che sulla rigidezza e ciò consente un migliore controllo delle forze nell'elemento. Ciò offre il grande vantaggio che qualsiasi non linearità insorga, a livello di sezione, nell'elemento, anche quando questo sia in fase di softening, l'equilibrio interno dell'elemento è esattamente soddisfatto.

I dati sono quelli del file Ex2 di OpneSees.

Questo test è quindi fondamentale in quanto consente di valutare accuratamente la validità e la velocità di convergenza del metodo di integrazione del contributo delle sezioni e la descrizione

costitutiva di queste. Questo modello è impiegato in quasi tutti gli elementi monodimensionali dell'ambiente EE e quindi questo test consente di prendere atto della qualità della soluzione offerta da questo ambiente.

Come dati di questo problema si è deciso di adottare quelli pubblicati come esempi del programma OpenSees della Università di Berckeley in quanto sono stati resi pubblici e sono di comprovata affidabilità. I dati sono in unità di misura in uso negli Stati Uniti e non sono stati convertiti per consentire a chiunque un facile confronto con i dati pubblicati. Nòlian, vista la sua concezione assolutamente generale, consente questo approccio.

Si tratta di una colonna con i seguenti dati geometrici:

altezza 432 inch
sezione 60 x 60 inch

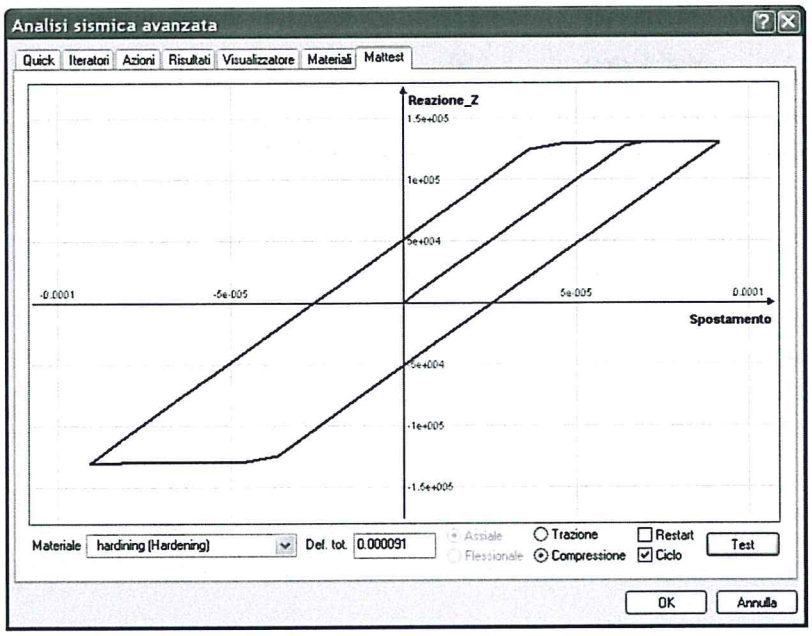
Il primo test (**ee1_a**) prevede che il comportamento della sezione sia descritto dalla aggregazione di un legame costitutivo flessionale e da uno assiale descritti da due materiali uniassiali distinti ed "aggregati" in una sezione.

Per il comportamento flessionale si assume:

momento di plasticizzazione 130000 pound x inch
curvatura di snervamento 6.5e-5
inerzia della sezione alla rottura 130000/6.5e-5 = 2000000000.0
fattore di incrudimento 0.01 che, assumendo un modulo di incrudimento cinematico nullo, corrisponde ad un modulo d'incrudimento isteretico di 20,202,020.0

Per il comportamento assiale si assume:
modulo di elasticità 3,605,000
rigidezza: area x 3605000 = 12,978,000,000

Creato un materiale, per controllare che i dati assegnati siano coretti e che il materiale si comporti come avevamo desiderato, si possono usare le funzioni offerte dall'ambiente "MatTest". Qui, scelto il materiale, possiamo tracciare qualsiasi diagramma tensione - deformazione (o curvatura).



In figura il nostro materiale elasto plastico sottoposto ad azione ciclica. Si vede, per controllo, come siano confermati i valori assegnati.

Si devono definire quindi due materiali, uno elastico ed uno elasto-plastico con incrudimento.

Quindi i due materiali vengono aggregati con l'aggregatore di sezioni:

Gdl Tx	elastic
Gdl Ty	Nessuno
Gdl Tz	Nessuno
Gdl Rx	elastic
Gdl Ry	hardining
Gdl Rz	hardining

Per il test con azione pushover (**ee1_a_p**) le azioni considerate sono due. Un carico concentrato in sommità (condizione "weight) di 2000 kp, ed uno laterale (condizione "lateral") di 2000 kp. Queste azioni sono applicate in due fasi successive simulando una struttura sottoposta già a peso proprio quando viene applicata l'azione laterale. Questa situazione di "congelare" lo stato della struttura per applicare a tale stato un'altra azione è molto importante e si ottiene con l'opzione "restart" che consente appunto di congelare lo stato della struttura all'inizio di una prossima analisi anziché reinizializzare lo stato.

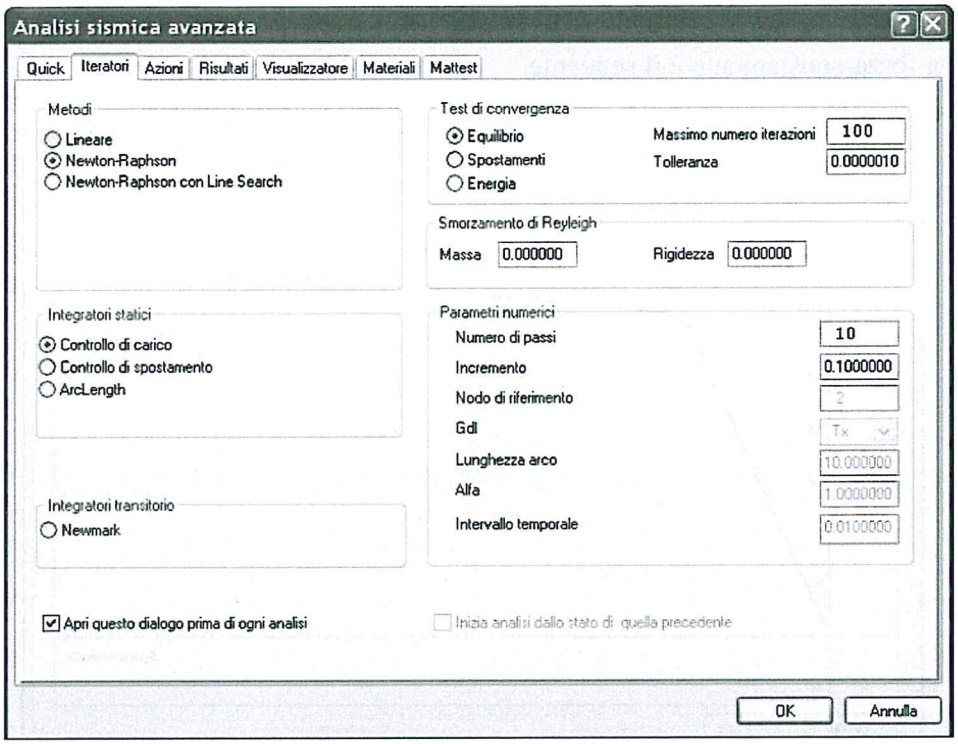
Per la prima fase si opererà in controllo di carico con 10 iterazioni con incremento 0.1 in modo tale che alla fine del ciclo di iterazioni si sarà applicato l'intero carico: 10 x 0.1 = 1.0.

Per la seconda fase si opera in controllo di spostamento per lo stesso grado di libertà cui è applicata la forza laterale. In questo caso la condizione di carico è solo impiegata per la valutazione dello spostamento e non è il suo modulo è inessenziale. Per lo spostamento massimo si può considerare un "drifting" del 5% e cioè 432 x 0.05 = 21.6 che portiamo a 25. Opereremo con 20 iterazioni per cui l'incremento sarà 25 / 10 = 2.5.

applicheremo prima l'azione assiale attivando tale l'azione,

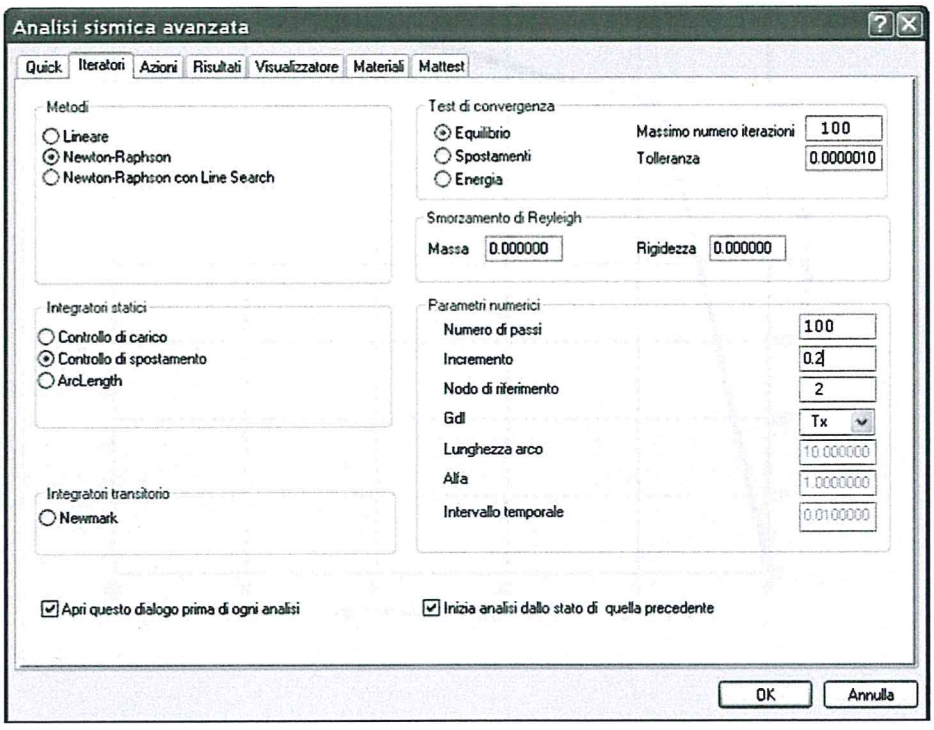
Attiva	☑
Variabilità	Lineare
Condizione di carico	weight
Moltiplicatore	1.00

configuriamo quindi i parametri di analisi e avviamo l'analisi.

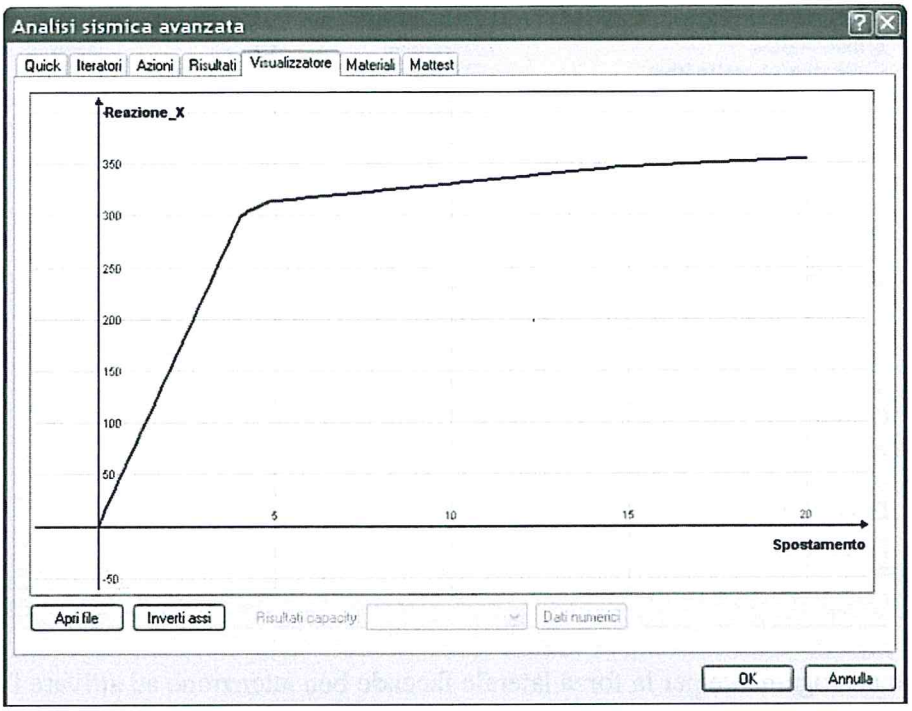


Poi opereremo analogamente per la forza laterale facendo ben attenzione ad attivare l'opzione di restart.

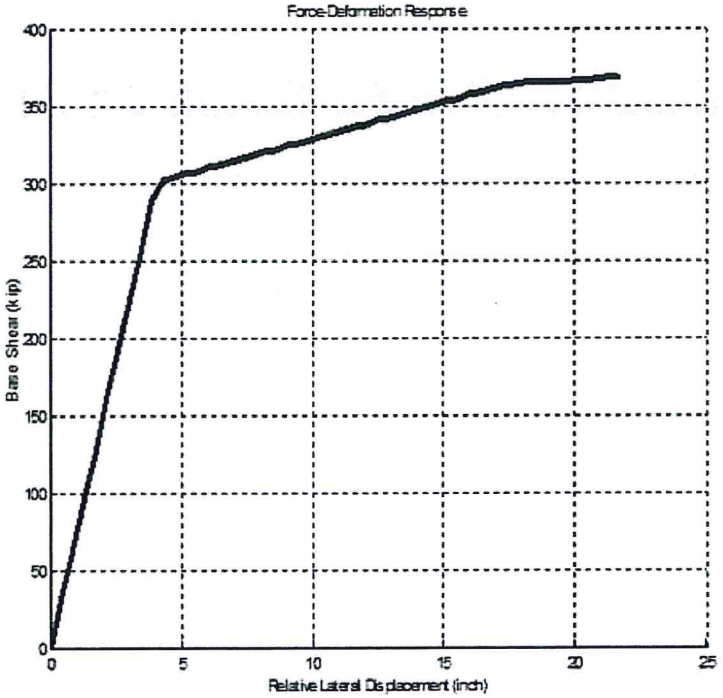
Attiva	☑
Variabilità	Lineare
Condizione di carico	lateral
Moltiplicatore	1.00

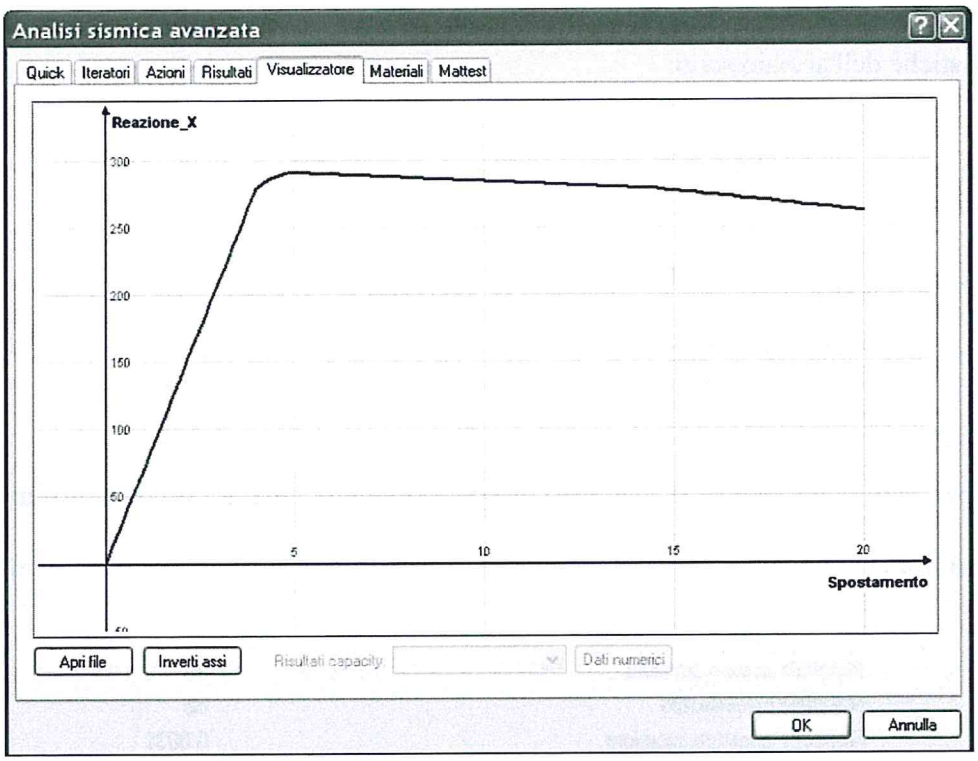


Il diagramma forza-spostamento è il seguente.



Il diagramma riportato nella documentazione dell'esempio di OpenSees è il seguente.





Osserviamo che nell'ambiente EE di Nòlian per gli elementi senza carico distribuito sull'elemento, viene impiegata la trasformazione di sistemi di riferimento di Corot che consente un'accurata trasformazione delle rotazioni. Nell'esempio di riferimento si usa un sistema lineare di trasformazione. Per metterci nelle condizioni dell'esempio, abbiamo applicato un carico non significativo all'elemento in modo che la procedura impieghi la trasformazione lineare. Senza tale accorgimento si hanno i risultato nella figura seguente che sono più corretti in quanto evidenziano un softening dovuto alla non linearità della geometria. Infatti l'aggregatore di sezioni impiegato NON genera una interazione tra andamento assiale e flessionale che restano indipendenti.

Il test (**ee1_f**) prevede gli stessi dati geometrici di ee1 ma con una sezione a fibre in calcestruzzo armato.

Il calcestruzzo è caratterizzato come segue:
resistenza cilindrica -4 kpi
deformazione di massima resistenza -0.003
deformazione al crushing -0.01
resistenza al crusching 0.8 kpi
resistenza di trazione 0.56 kpi
modulo tangenziale di trazione 280

Si è impiegata una interfaccia per l'immissione dei dati del calcestruzzo che trascura la resistenza a trazione e calcola automaticamente gli altri valori partendo dalla resistenza del calcestruzzo. Ciò comporta una leggera differenza con l'andamento ottenuto con OpenSees ma un momento ultimo ovviamente concordante. Nell'esempio non si è considerato l'effetto di confinamento dovuto alle staffe. Si definisce quindi un materiale "cls":

Resistenza cubica calcestruzzo	4.00
Tensione snervamento acciaio staffe	0.00
Area staffa	0.00
Passo staffe	0.00

Le caratteristiche dell'acciaio sono:

Modulo elastico 29,000.0
Tensione di snervamento 66.8 ksi
Rapporto di hardning 0.01

Si definisce quindi un materiale "stl":

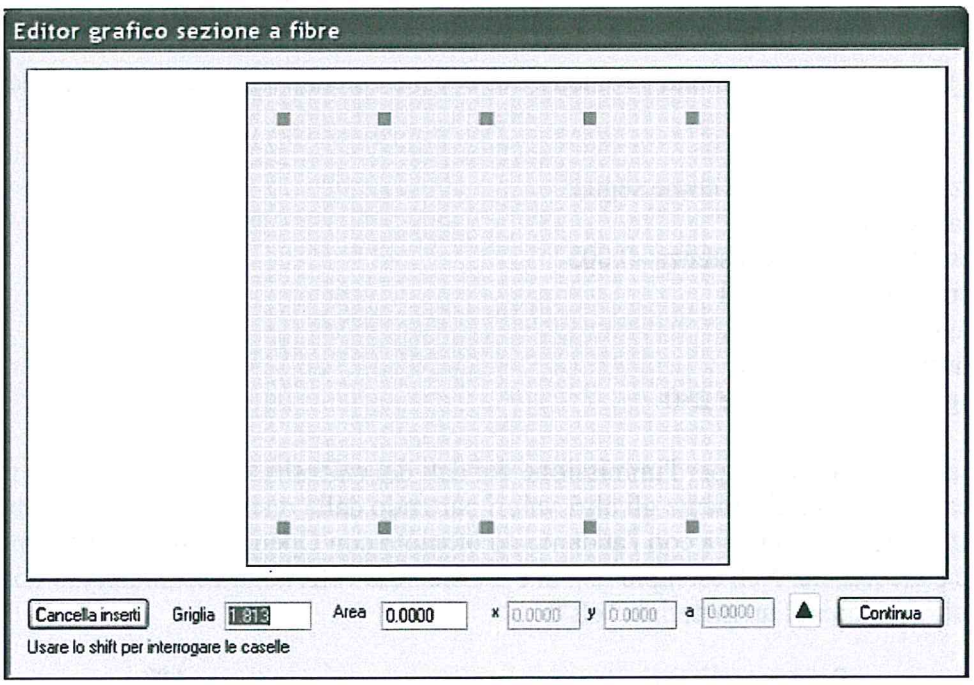
Modulo tangente iniziale	29000.0000
Tensione snervamento	66.8000
Modulo di hardening	0.0100

L'armatura è costituita da 5 barre di area 2.25 disposte simmetricamente con un copriferro di 5 inch.

La sezione a fibre si può generare sia in modo rapido assegnando la percentuale di armatura come in figura:

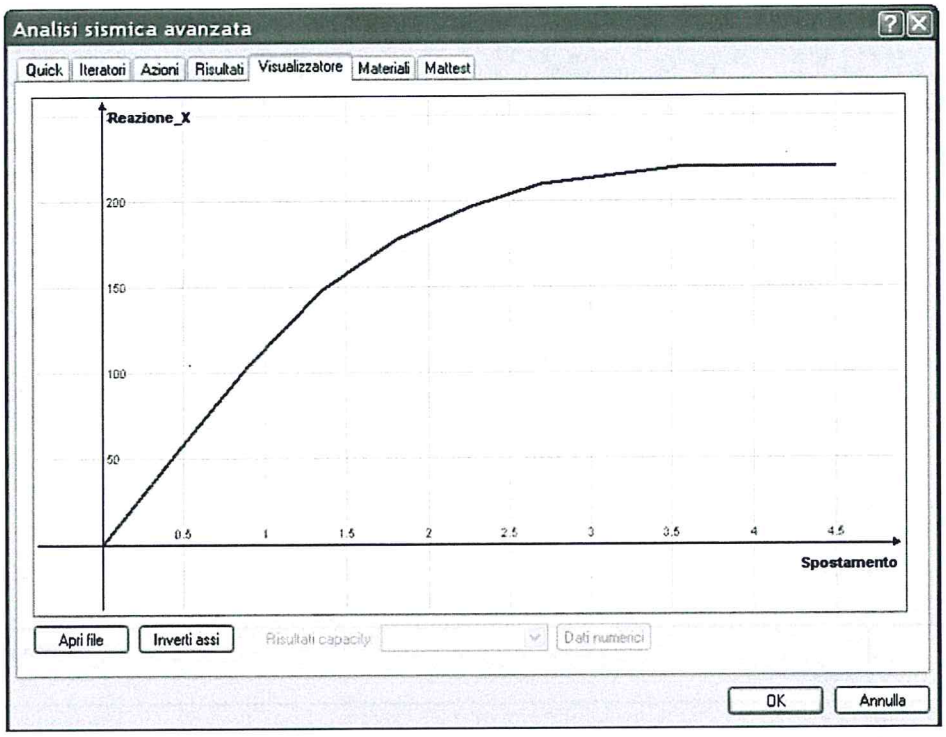
Materiale acciaio armatura	stl
Materiale calcestruzzo	cls
Rapporto armatura superiore	0.0031
Rapporto armatura inferiore	0.0031
Rapporto armatura laterale diffusa	0.0000
Copriferro	5.00

che in modo grafico disponendo le barre di armatura nella posizione voluta:

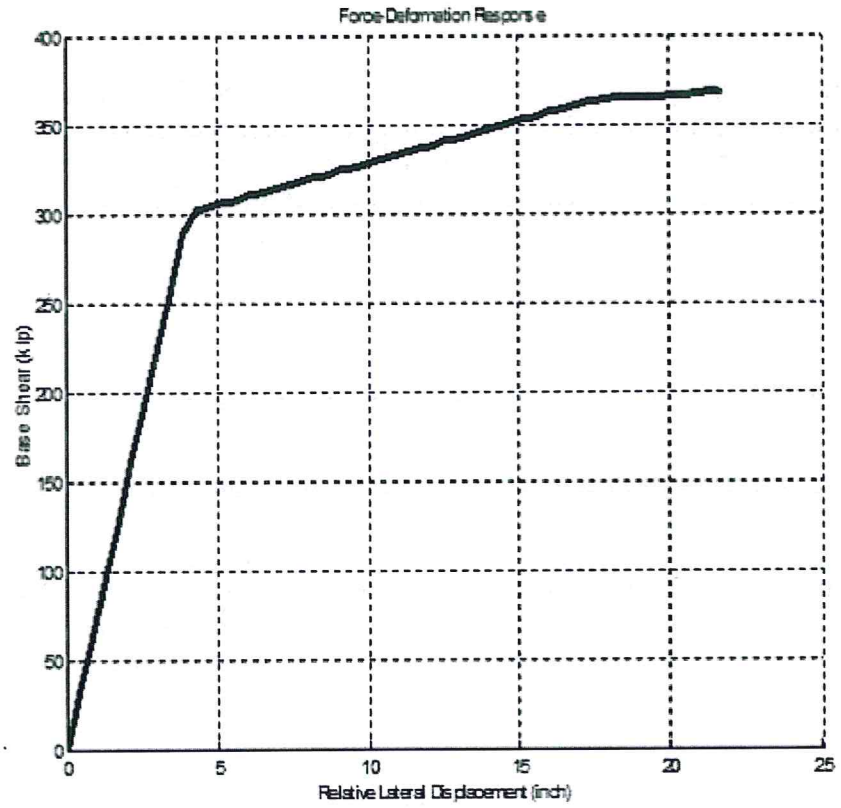


Le azioni applicate in questo esempio **ee1_f_p** sono le stesse dell'esempio precedente (ee1_a_p).

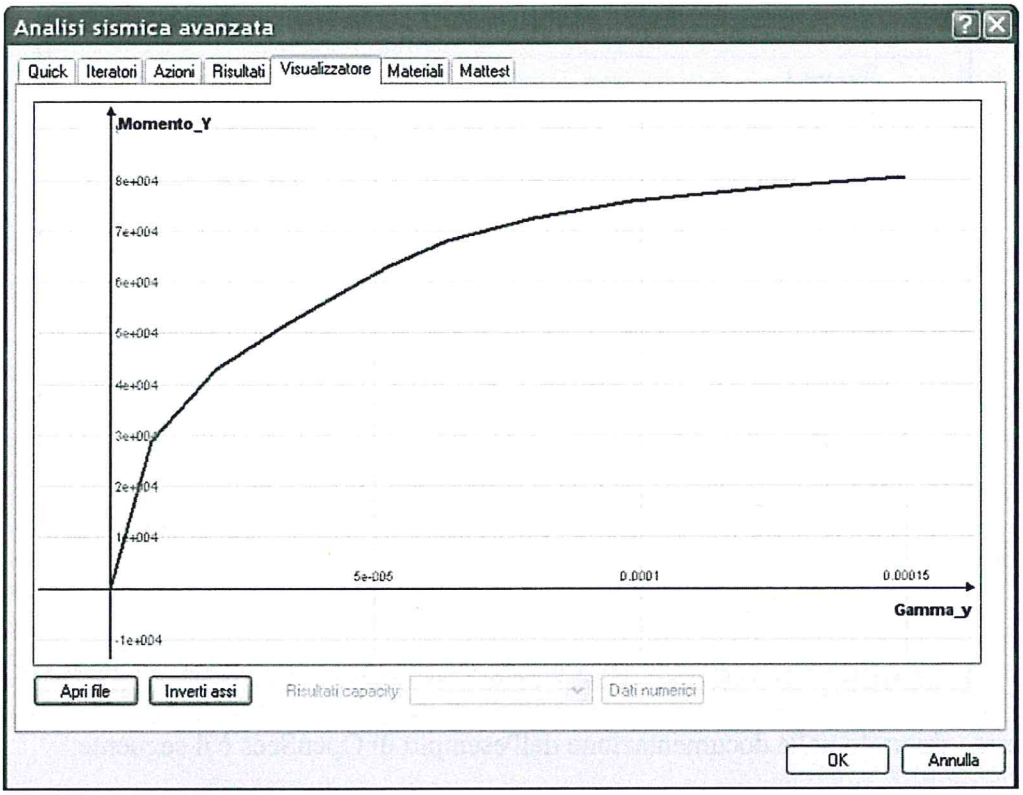
Il digramma forza-spostamento ottenuto è riportato in figura.



Il diagramma riportato nella documentazione dell'esempio di OpenSees è il seguente.



Riportiamo in figura anche il diagramma momento-curvatura.



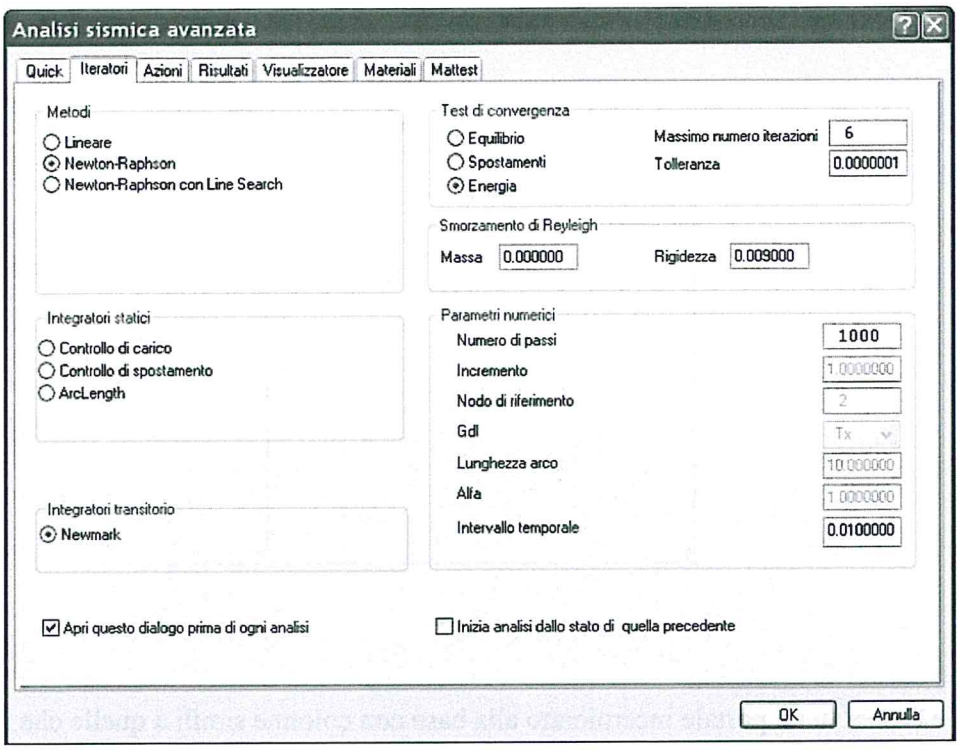
ee1_f_t

Ora sottoporremo al colonna ad una accelerazione alla base. L'esempio di OpenSees propone un accelerogramma reale registrato a El Centro nel 1968. Si considera la sola componente x. Per questa analisi di deve definire una azione di tipo fi'ora non ancora incontrato: una azione in transitorio in accelerazione che definisce una accelerazione ai suolo eguale su tutti i punti di appoggio.

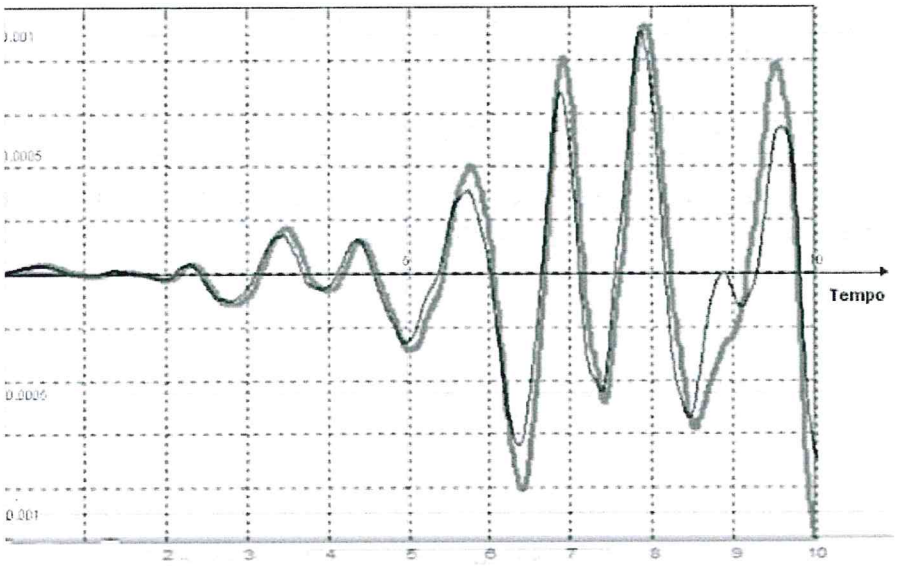
Attiva	☑
Variabilità	File
Moltiplicatore	1.00
Direzione	Tx
File	C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\OpenSees vs ...

E' sufficiente assegnare il file con i dati dell'accelerogramma, la direzione e l'eventuale amplificazione.

La procedura va configurata impiegando un integratore nel tempo di Newmark. Questa configurazione richiede solo l'intervallo di tempo di integrazione ed il numero di iterazioni da eseguire. Ovviamente anche in questo esempio si "caricherà" in precedenza la struttura con i carichi gravitazionali come già visto.



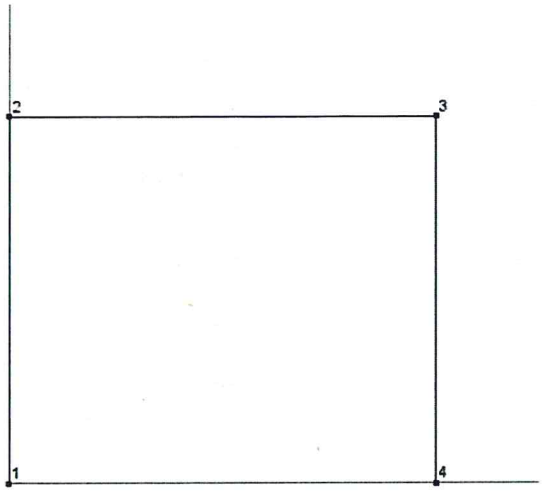
Nella figura sottostante i risultati. In blu quelli pubblicati con l'esempio di OpenSees, in rosso quelli ottenuti con Nòlian. Va precisato che nell'esempio si usa un fattore di smorzamento di Reyleigh il cui valore non è esplicitamente dichiarato. Abbiamo adottato un valore basato su 2% del primo modo.



Questo test è fondamentale in quanto consente di testare:

- le capacità di andamento ciclico del materiale
- la qualità dell'integratore nel transitorio.

ee2_f



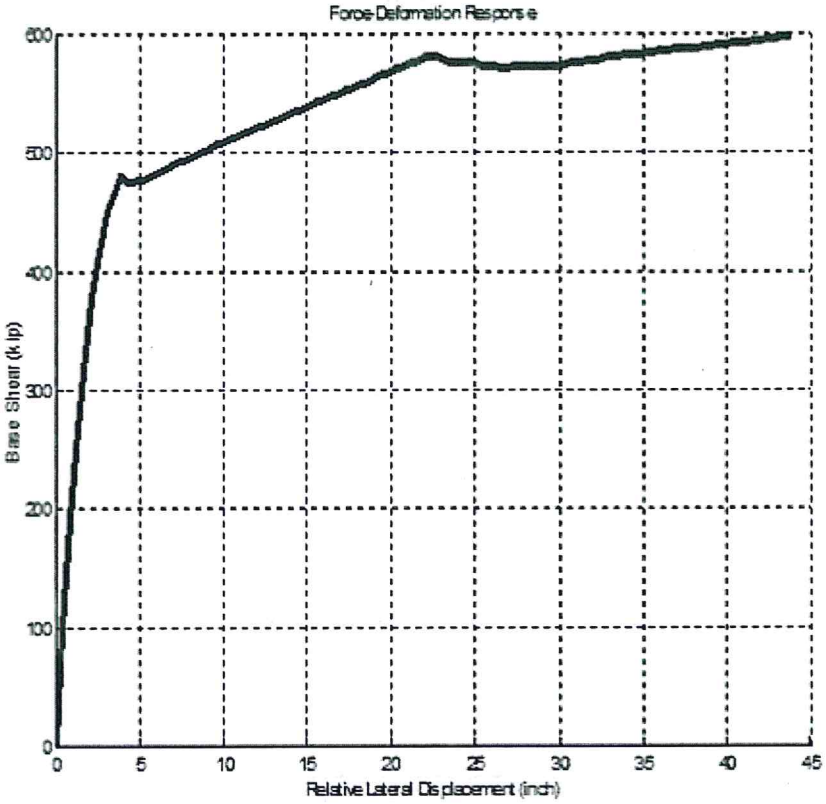
Questo test è basata su un portale incernierato alla base con colonne simili a quelle che abbiamo già visto ed una trave di collegamento invece elastica. L'esempio è tratto dagli esempi di OpenSees (example4.portal2d).

La geometria del portale è:
altezza 432 inch
larghezza 504 inch

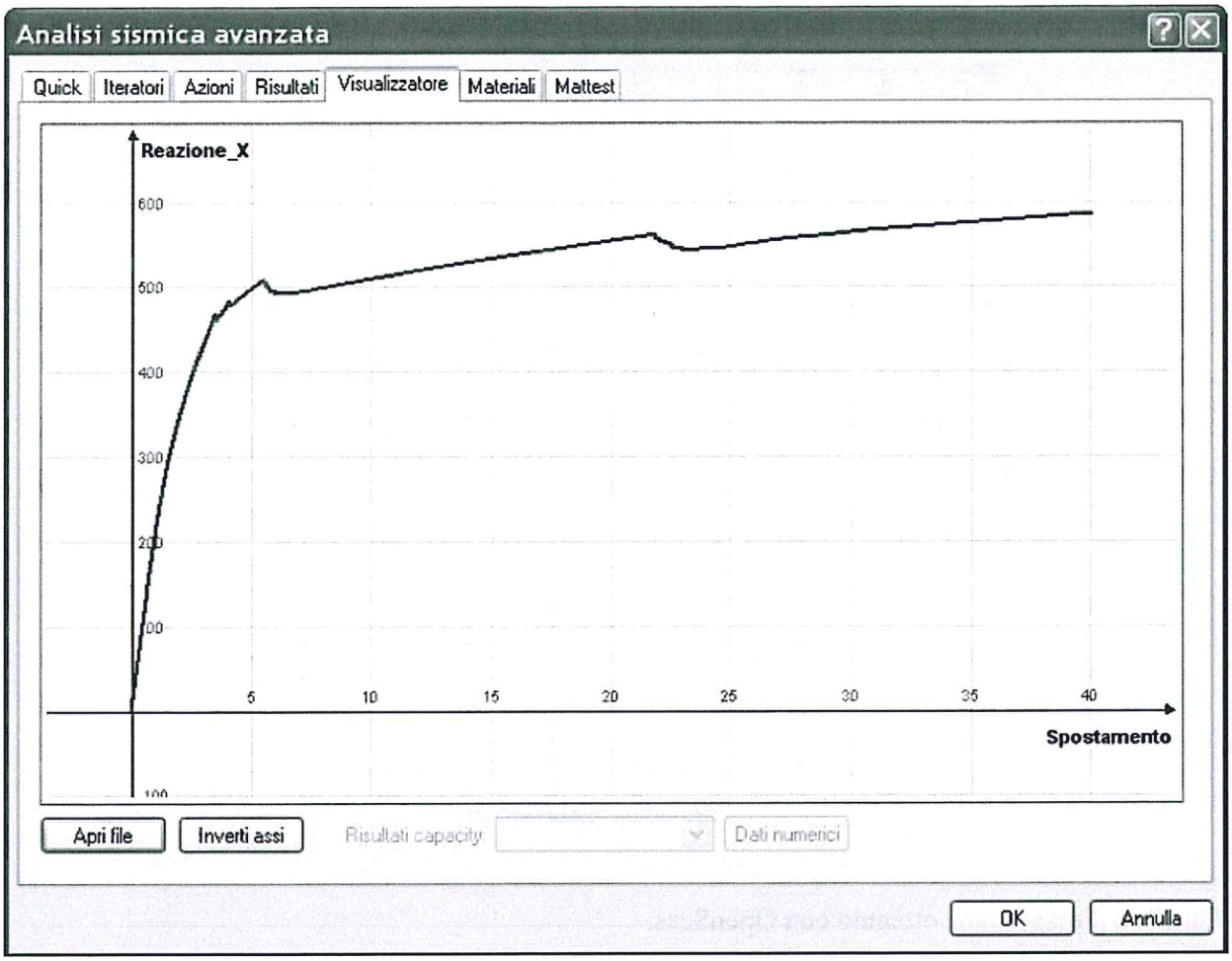
I pilastri sono sempre 60x60 ma questa volta con 10 barre di area 2.25 e copriferro 6. La trave è 60x90, elastica, con modulo di elasticità 3604.

Per brevità non riporteremo le schermate delle assegnazioni.

Il primo test (ee2_f_p) sarà un analisi pushover identica a quella effettuata sul pilastrino. Pertanto non ci dilungheremmo sulla procedura e riporteremo subito i risultati.



Questo è il diagramma ottenuto con OpenSees.



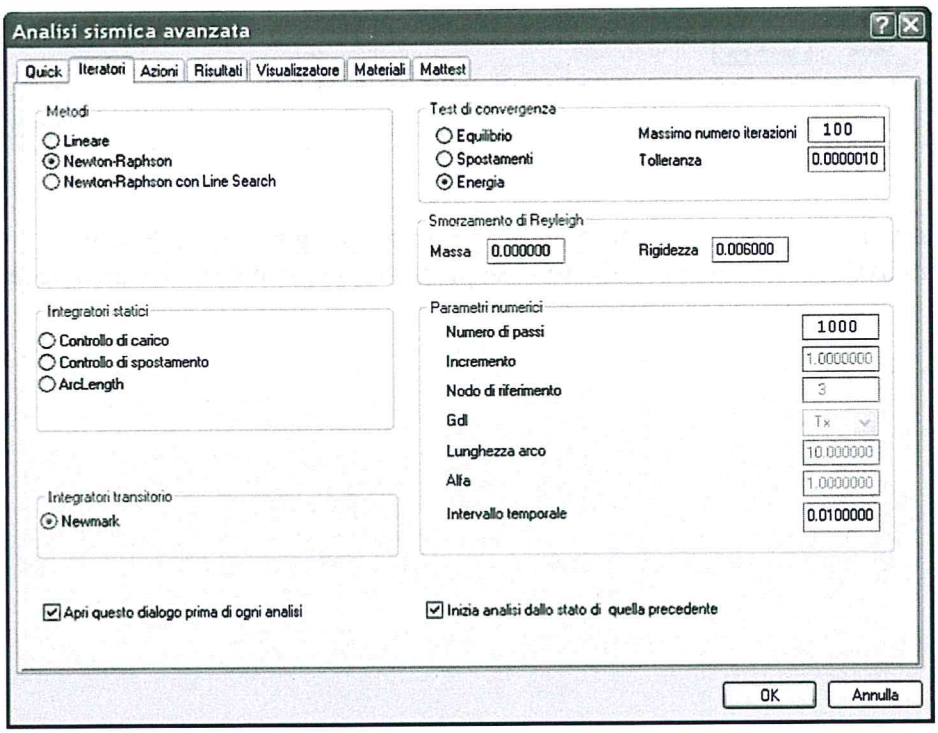
Questo diagramma è ottenuto invece con Nòlian.

Il secondo esempio (ee2_f_t) consiste nell'applicare ai due supporti di base degli spostamenti imposti sinusoidali. Gli spostamenti imposti si assegnano come azioni con i seguenti valori, leggermente diversi tra i due appoggi.

Attiva	☑
Variabilità	Sinusoidale
Ampiezza	0.10
Periodo	0.35
Sfasamento	0.00
Durata	3.00
Direzione	Tx
Azione	Spostamento
Lista nodi	4

Attiva	☑
Variabilità	Sinusoidale
Ampiezza	0.10
Periodo	0.36
Sfasamento	0.00
Durata	3.10
Direzione	Tx
Azione	Spostamento
Lista nodi	1

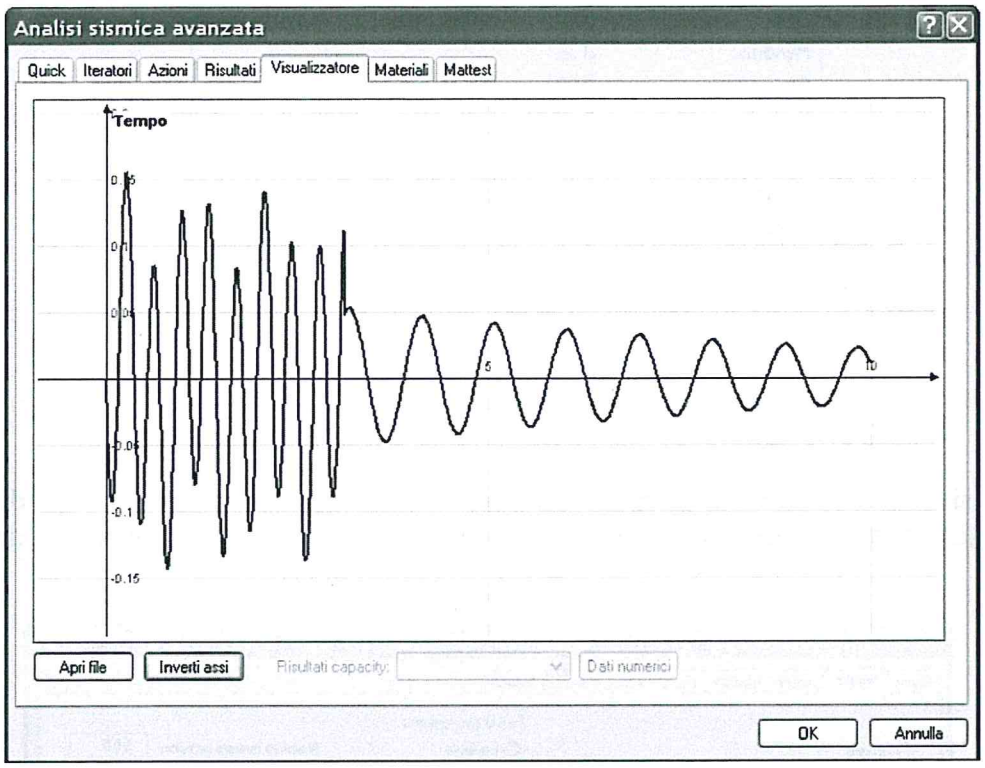
Anche qui si applica prima il carico da gravità e poi si attivano (con il restart) le azioni di spostamento imposto. In questo caso si esegue un'analisi nel transitorio con i parametri della figura seguente.



In questo esempio il diagramma dei risultati che si vuole ottenere è lo spostamento relativo tra i due nodi della colona di destra. Questo registratore si configura come segue:

Attivo	☑
Indice oggetto	3
GdL	Tx
Valori	Drift
Tempo	Tempo
Nodo drifting	4
Relativo	☐

Il risultato ottenuto è il seguente.



Nella cartella di questi esempi vi è anche un file per lo scripting interno di Nòlian (ee2_f_t_script.txt) che consente di attivare in sequenza tutti i parametri di analisi necessari.

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-procesore 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®e, 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'utilizzatore un impiego sicuro del software in quanto i limiti applicativi degli algoritmi sono superti 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:

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

$\sigma_c = \sigma_c(\varepsilon)$
$\sigma_s = \sigma_s(\varepsilon)$ (legami costitutivi)

$\int_{Ac} \sigma_c\, dA_c + \Sigma_i\, \sigma_{si}\, A_{si} - N = 0$

$\int Ac\ \sigma c\ ydAc + \Sigma i\ \sigma si\ yi\ Asi - Mx = 0$
$-\int_{Ac} \sigma_c\, xdA_c + \Sigma_i\, \sigma_{si}\, x_i\, A_{si} - M_y = 0$ (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:
$x = [\varepsilon_0, \varphi_x, \varphi_y]$
F = equazioni di equilibrio
f_0 = [N, Mx, My] 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:

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

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 $\sigma_c(\varepsilon)$ e $\sigma_s(\varepsilon)$ 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 (flessiojne 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:

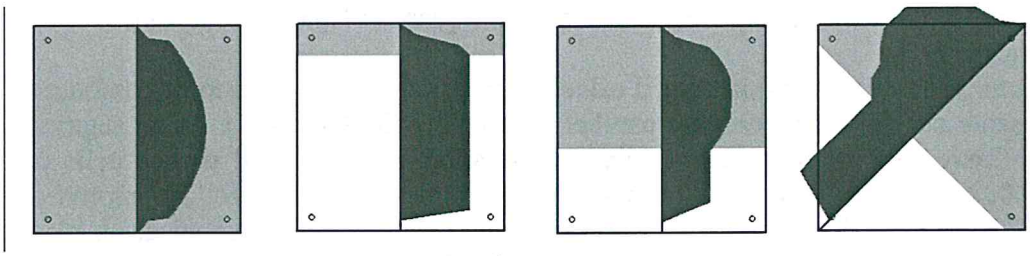
$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = V_y \, S_x \, / \, I_x \, b$$

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 vengo calcolate i 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

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.

SOFTING SRL

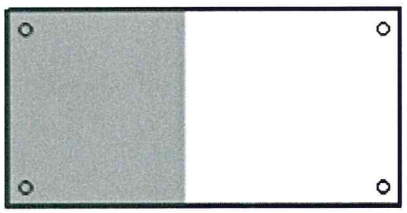
EasyBeam

Casi prova per l'analisi delle sezioni in calcestruzzo armato

Metodologia

Le sezioni si considerano di forma qualsiasi comunque sollecitate. Per questo tipo di problema non esistono soluzioni in forma chiusa. EasyBeam adotta una analisi non lineare nelle incognite tre variabili di deformazione della sezione, che si considera restare piana: le due rotazioni e la traslazione del baricentro della sezione. Il contributo del calcestruzzo è calcolato tramite un integrale al contorno di Green. I casi prova dunque devono essere più "semplici" di quelli affrontabili con EasyBeam in quanto devono poter essere risolti in forma chiusa. Non sono noti casi prova condotti per via numerica sufficientemente accreditati. Nel seguiti proponiamo quindi alcuni casi prova seguendo la metodologia di assegnare una deformazione della sezione e derivandone le sollecitazioni che equilibrino la deformazione imposta. Ciò perché, in forma chiusa, non è possibile una soluzione del problema non lineare. Questa è la metodologia più convincente che abbiamo individuato per produrre dei casi prova. Resta il fatto che il sistema di integrazione e di soluzione non lineare di EasyBeam è un problema di soluzione di problemi numerici e quindi è stato validato impiegando casi numerici di soluzione nota e quindi, a nostro avviso, validati con una metodologia ancora più affidabile, e con casi certamente più numerosi, dei casi prova qui descritti. Questi casi prova sono riportati solo per dare dei riferimenti nel campo di specifica applicazione dell'algoritmo.

Sezione rettangolare sottoposta a presso flessione retta



Le unità di misura sono il cm e il kg. La sezione ha dimensioni w = 30 h = 60 cm. E' armata con 4 barre angolari del diametro di 1.6 cm con asse posto a 2.8 cm dalla faccia dell'elemento. Il calcestruzzo ha legame costitutivo del tipo denominato "parabola rettangolo" e cioè con la parte iniziale parabolica, la parte dopo la deformazione limite, lineare a sforzo costante. Nel legame costitutivo non è previsto, come da normativa, softening e i limiti di rottura sia del calcestruzzo che dell'acciaio non sono inclusi nel legame costitutivo ma sono intercettati come condizioni dei errore.

Poiché, come detto delle introduzione, le integrazioni occorre siano fatte in forma chiusa per non introdurre l'uso di altri programmi di calcolo che avremmo dovuto a loro volta validare, si resta nel ramo del legame costitutivo parabolico affinché la funzione sia continuamente integrabile.

Le deformazioni imposte sono le seguenti:
Rotazione y $\phi = 6.7858$ e-6 rad
Rotazione z 0
Deformazione assiale 1.8832 e-5

Da questi valori si ricava facilmente al posizione dell'asse neutro che è a 2.775 cm dal baricentro.

Per il calcestruzzo si è scelta una resistenza limite (vertice della parabola) rc = 141.1 kg/cmq che deriva (anche se ciò è inessenziale alla fine del caso prova) dall'aver assunto un Rbk 300 cubico ridotto dei fattori di sicurezza parziali come segue: 0.83 * Rbk * 0.85 / 1.5

La reazione del calcestruzzo è determinabile integrando il legame costitutivo sull'area compressa la cui altezza qui definiamo d. Il legame costitutivo per la parte parabolica (ricordiamo che per i dati del problema si è scelto che non si superi la deformazione limite) può esprimersi come:

$\sigma = rc^* (2 + \varepsilon/ \varepsilon 0) * \varepsilon/\varepsilon 0$ dove $\varepsilon 0$ è la deformazione limite (tipicamente 0.002) ed σ la tensione (ε è negativo se di compressione).

Per chi fosse interessato allo svolgimento, definendo $\kappa = \phi / \varepsilon 0$, l'espressione dopo integrazione risulta:

reazione cls = rc * w * (d^2 * κ – d^3 * κ^2 / 3)

Con i valori del problema, la reazione assiale del calcestruzzo è di 10316 kg.

Procedendo con una integrazione del tutto simile, si ottiene il contributo del calcestruzzo al momento resistente che risulta 215220 kg x cm.

La reazione delle barre di armatura è molto semplice da ottenere dalla deformazione in quanto è in campo elastico e si ottiene tramite il modulo elastico che qui si assume di 2100000 kg cmq. Le reazioni risultano di kg -1400 per le due barre compresse e di 1717 kg per le due barre tese.

Aggiungendo al contributo del calcestruzzo quello delle barre si ottiene una forza assiale di 9999 kg e un momento resistente complessivo pari a 300002 kg x cm.

Quindi i risultati "target" di questo caso prova sono così riassunti:

Una sezione 30x60, armata con 4 barre da 1.6 cm, interferro all'asse di 2.8 cm, calcestruzzo Rbk cubico 300, sollecitata assialmente con 10000 kg e con momento di 300000 kg cm ha deformazioni ai lembi pari a -1.84742 e-4 e 2.22406 e-4.

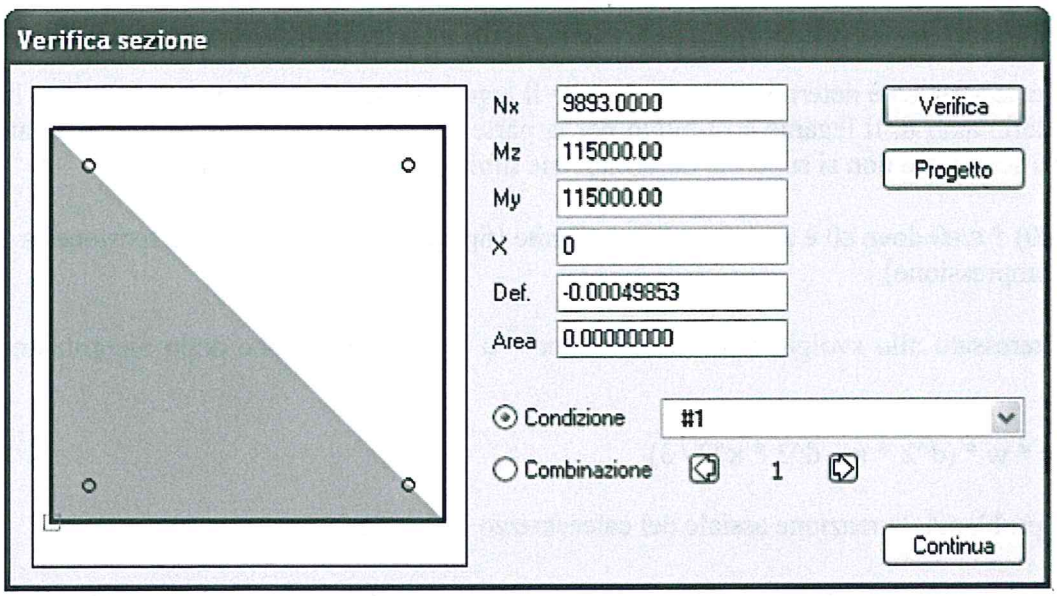
Il metodo di calcolo adottato consente di operare con legami costitutivi qualsiasi e consente integrazioni in forma chiusa su forme geometriche ove tali integrazione sia possibile. Ovviamente, si chiarisce di nuovo, questa metodologia in forma chiusa è impiegata solo per redigere casi prova "a mano". EasyBeam operando con integrazioni numeriche non ha questo limite.

Confronto con EasyBeam.

I dati ottenuti con EasyBeam coincidono fino alla quarta cifra significativa con quelli di questo caso prova. La cosa non stupisce infatti la metodologia è rigorosa in entrambi i casi e certamente integrale di Green usato in EasyBeam fornisce valori esatti, in senso analitico, in questa geometria.

Da notare però che questo caso prova mette in luce anche la qualità dell'algoritmo di analisi non lineare della sezione in quanto in EasyBeam vengono proposte le sollecitazioni e calcolate le deformazioni tramite un'analisi non lineare della sezione che, come si vede, è particolarmente accurata.

Sezione quadrata soggetta a presso flessione deviata



Seguendo la metodologia dettagliatamente esposta nel caso più semplice della sezione sottoposta a pressoflessione retta, qui si esamina il caso della presso flessione deviata.

La sezione è quadrata di lato 30 cm. Armata con 4 barre del diametro di 1.6 cm a distanza di 2.8 cm tra asse e faccia dell'elemento. La tensione fc del calcestruzzo è 141.1 kg/cmq.

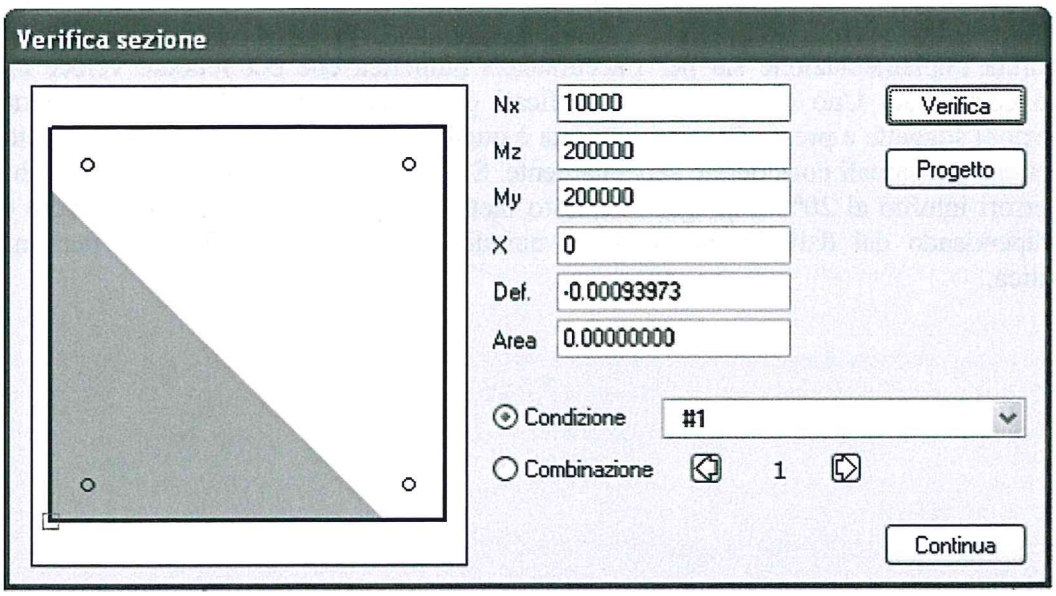
La sezione è sollecitata da una forza assiale di 9893 kg e da due momenti eguali agenti intorno ai due assi, pari a 115000 kg x cm.

L'asse neutro coincide esattamente con la diagonale della sezione. I vertici più lontani dall'asse neutro hanno una deformazione di +/- 0.00049853 che comporta una tensione nel calcestruzzo di 61.57 kg/cmq. Le barre subiscono una deformazione pari a +/- 0.00049853 che corrisponde ad una tensione di +/- 851 kg.

Confronto con i risultati di EasyBeam

I risultati sono confermati di nuovo fina alla 5 cifra significativa. Anche qui l'integrale di Green da risultati analiticamente esatti e quindi al perfetta coincidenza era da aspettarsi. Da notare però che questo caso prova mette in luce anche la qualità dell'algoritmo di analisi non lineare della sezione in quanto in EasyBeam vengono proposte le sollecitazioni e calcolate le deformazioni tramite un'analisi non lineare della sezione che, come si vede, è particolarmente accurata.

Sezione quadrata soggetta a presso flessione deviata 2



La sezione è la stessa della precedente ma i valori sono mutati in modo che l'asse neutro non coincida con la diagonale.

La sezione è sollecitata da una forza assiale di 10000 kg e da due momenti eguali agenti intorno ai due assi, pari a 200000 kg x cm.

I vertici più lontani dall'asse neutro hanno una deformazione di -0.00093973 e + 0.00126528. Il calcestruzzo compreso ha una tensione massima di 101.44 kg/cmq. Le barre più lontane dall'asse neutro subiscono una deformazione pari a -0.00073393 e + 0.00105940 con tensioni rispettivamente di -1540 kg/cmq e 2224 kg/cmq.

Confronto con i risultati di EasyBeam

I risultati sono confermati di nuovo fino alla 5 cifra significativa. Anche qui l'integrale di Green da risultati analiticamente esatti e quindi al perfetta coincidenza era da aspettarsi. Da notare però che questo caso prova mette in luce anche la qualità dell'algoritmo di analisi non lineare della sezione in quanto in EasyBeam vengono proposte le sollecitazioni e calcolate le deformazioni tramite un'analisi non lineare della sezione che, come si vede, è particolarmente accurata.

Nota sui metodi semplificati

EasyBeam usa, come si è visto, un metodo rigoroso di analisi non lineare. Alcuni programmi usano metodi semplificati. I motivi di questa scelta di metodi semplificati sono diversi. Innanzi tutto gli algoritmi semplificati sono generalmente quelli dei testi di studio e quindi portano a risultati esattamente coincidenti, nei casi semplici, con quelli cui l'operatore è "abituato". E' noto che la "soluzione" di certi problemi non sia univoca in quanto dipende dalla sofisticazione del modello di calcolo. Questo, dei metodi semplificati, è quindi un approccio essenzialmente "commerciale" tendente a tranquillizzare l'operatore. Gli algoritmi di EasyBeam sono all'avanguardia e differiscono nettamente da quelli semplificati dei libri di testo (semplificati per poter essere condotti con metodo manuali e, generalmente, solo nel piano). Quindi i risultati possono anche differire da

quelli delle pagine dei libri, anche se ciò non accade per casi semplici ma solo quando si "forzano" i limiti dei metodi semplificati lì dove gli algoritmi di EasyBeam continuano a essere validi mentre quelli semplificato non lo sono più. Inoltre l'algoritmo impiegato da EasyBeam è molto sofisticato e richiede un'accurata implementazione sia per l'accuratezza numerica che per rendere veloce un algoritmo molto complesso. Uno dei metodi semplificati più diffusi per risolvere il problema dell'analisi di sezioni soggette a presso flessione deviata è quella della sovrapposizione degli effetti delle due componenti flessionali considerate separatamente. Si noto, nel caso ultimo presentato, che si hanno degli errori intorno al 20% impiegando questo metodo approssimato e che tale errore è impredicibile, dipendendo dai dati del problema, e quindi estremamente inaffidabile per una gestione automatica.

SOFTING SRL

EasyWall

Informazioni per la valutazione dell'affidabilità dei codici di calcolo

Identificazione del codice di calcolo

Produttore:	Softing srl
Distributore esclusivo:	Softing srl
Denominazione commerciale:	EasyWall (denominazione commerciale registrata)
Identificatore di build:	Ogni versione e 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.
Finalita del codice:	Post-processore di Nòlian per il progetto delle armaturein elementi bidimensionali 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:	EasyWall e registrato presso il Registro Pubblico Speciale per i programmi per Elaboratore in data 14/05/96 al progressivo 000347, ordinativo D000408.
Data di prima immissione in commercio:	Ottobre 1992.
Metodo di commercializzazione:	Cessione di licenza d'uso non esclusiva
Modalita di aggiornamento del codice:	Automatica tramite accesso a internet, su contratto
Identificazione univoca del codice:	Ogni copia del programma e 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®,

Softing srl • Via Reggio Calabria 6 • 00161 Roma • tel +39 0644291061 • Fax +39 0644235715
http://www.softing.it • E-mail softing@softing.it

	MacSap®, MacBeam®, CADSap®, EasyWall®, EasySteel®, EasyBeam®, EasyFrame®, EasyWorld®, HyperGuide®, SapScript®, FreeLit®e, 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. I programmi per ingegnerai della Softing sono stati per al prima volta realizzati nel 1983 su commessa della Apple Computer Spa, che desiderava avere prodotti per ingegneria che aderissero ai nuovi concetti di interfaccia grafica introdotti dalla Apple stessa.

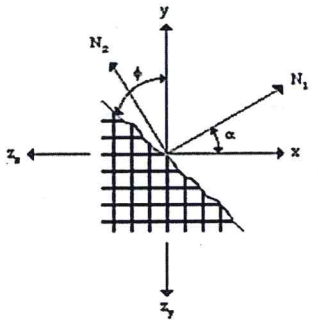
Modelli matematici

Si riportano i principali modelli matematici impiegati in EasyWall. La particolarità di EasyWall, che lo rendono unico nella sua categoria, e che EasyWall e progettato per affrontare con affidabilità situazioni di carattere generale sia dal punto di vista geometrico che di sollecitazione in quanto EasyWall 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. EasyWall agisce rigorosamente nello spazio tridimensionale sia come disposizione degli elementi che per le sollecitazioni che per il controllo della disposizione delle armature che e 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 EasyWall impiega sofisticati metodi di calcolo tutti progettati e basati su metodi matematici e di integrazione numerica molto sofisticati che suppliscono le carenze note dei modelli semplificati comunemente impiegati. EasyWall consente all'utilizzatore un impiego sicuro del software in quanto i limiti applicativi degli algoritmi sono superati dalla loro generalità. Riferirsi ai testi allegati in estratto di Gupta e Leonhardt per maggiori informazioni su tali modelli di calcolo. EasyWall non è implementato su una specifica normativa ma è dedicato alla soluzione generale e corretta del problema fisico.

Progetto delle armature con il metodo degli stati limite

Il problema considerato è quello del progetto delle armature di elementi piani in calcestruzzo soggetti contemporaneamente a sforzi membranali e flessionali. Sono previsti due strati di armatura in corrispondenza delle due facce dell'elemento strutturale. Ogni strato di armatura è composto da barre a sezione costante ortogonali tra loro. Si assume come sistema di riferimento quello delle barre di armatura che saranno pertanto disposte parallelamente alle direzioni X ed Y del sistema di riferimento. Le sollecitazioni flessionali e membranali non avranno necessariamente direzioni principali coincidenti e tali direzioni formeranno quindi angoli diversi rispetto alla direzione X delle armature. Inoltre si avranno, in genere, due distinti piani di fessurazione, uno per ogni faccia, ortogonali al piano dell'elemento, le cui normali formeranno due differenti angoli f con la direzione X delle armature. Le fessurazioni si assumono localmente parallele e rettilinee in modo che nelle strisce di calcestruzzo comprese tra due fessurazioni si abbia uno sforzo di compressione uniformemente distribuito. Si impiega il metodo degli stati limite considerando lo sforzo di compressione del calcestruzzo che deriva da una distribuzione rettangolare delle tensioni (stress block). Le forze di taglio che possono

eventualmente agire nelle fessurazioni vengono trascurate a favore di sicurezza. Per chiarezza espositiva si esamina prima il problema del progetto per le sole forze membranali. Poiché si impiegano due strati di armatura, uno per ogni faccia, anche le sollecitazioni membranali saranno suddivise tra i due strati di armatura. In questo caso si avrà inoltre un solo piano di fessurazione.



Si considera dunque l'equilibrio di una sezione parallela alla fessurazione. Le forze si riferiscono ad una lunghezza unitaria della fessurazione. Dette Zx e Zy le forze unitarie di trazione nelle armature, N_1 ed N_2 le forze unitarie principali di membrana, si hanno due equazioni di equilibrio:

$$Zx \cos(\varphi) + N_1 \cos(\varphi-\alpha) \cos\alpha - N_2 \sin(\varphi-\alpha) \sin\alpha = 0$$

$$Zy \sin(\varphi) + N_1 \sin(\varphi-\alpha) \sin\alpha - N_2 \cos(\varphi-\alpha) \cos\alpha = 0$$

dove α è l'inclinazione delle direzioni principali delle forze membranali rispetto alla direzione X e φ l'angolo della normale alla fessurazione rispetto alla direzione X delle armature. Dalle equazioni precedenti, noto φ, è possibile ricavare le forze unitarie di trazione nelle armature.L'inclinazione φ delle fessure non è noto a priori e viene determinata tramite condizioni di congruenza risolvendo iterativamente il sistema precedente fino all'individuazione di un valore di φper il quale la soluzione è equilibrata e congruente.

Quanto detto per le forze membranali si estende alle sollecitazioni flessionali. Assumendo che sia noto il braccio delle forze interne, i momenti flettenti danno luogo ad una coppia di forze di cui una agente in uno degli strati di armatura e l'altra nel centro dello stress block. Lo spessore dell'elemento strutturale viene quindi interessato da due piani di fessurazione, differentemente inclinati su ogni faccia, e parallelamente ai quali agiscono le tensioni di compressione del calcestruzzo. Esistono pertanto due stress block: uno per ogni faccia. Lo stress block è determinato dall'andamento supposto costante delle tensioni del calcestruzzo. La tensione nel calcestruzzo è quella di progetto salvo che la rottura non avvenga per cedimento dell'acciaio mentre il calcestruzzo è ancora in fase elastica. In questo ultimo caso la soluzione di una equazione cubica fornisce la tensione nel calcestruzzo e l'altezza dello stress block considerando l'altezza dello stress block pari a 0.8 l'altezza dell'asse neutro. La forza di compressione nel calcestruzzo determina l'altezza dello stress block e quindi il braccio delle forze interne. La forza di compressione nel calcestruzzo deve a sua volta equilibrare il complesso delle forze agenti su una sezione questa volta ortogonale alla fessurazione. Pertanto le relazioni di equilibrio, questa volta scritte con riferimento ad una sezione di larghezza unitaria ortogonale alla fessurazione, forniscono le forze nel calcestruzzo per ciascuno stress block. Il braccio delle forze interne viene determinato iterativamente in quanto dipendente dall'equilibrio della sezione. Scomponendo il momento in una coppia di forze il problema concettualmente si riconduce al problema già esposto per

le forze membranali tenendo però presente che ora le sezioni di cui assicurare l'equilibrio sono due: una per la fessurazione di ciascuna faccia dell'elemento strutturale. Naturalmente i procedimenti di progetto per sollecitazioni membranali e flessionali, descritti separatamente per comodità espositiva, vengono contemporaneamente considerati nella soluzione del sistema di equazioni per tener conto delle iterazioni.

Nel progetto non viene adottata armatura in compressione. Qualora infine le deformazioni nell'acciaio e nel calcestruzzo eccedano quelle limite assegnate dal dialogo dei materiali l'armatura in quel punto di calcolo non viene determinata e viene emesso un messaggio di errore. Si assume una distribuzione di forma rettangolare delle tensioni di compressione nel calcestruzzo con una altezza pari a 0.8 y dove y denota la distanza dell'asse neutro dalla fibra più lontana.

Armatura a taglio

Per quanto riguarda l'armatura a taglio si opera come segue. Gli sforzi di taglio vengono calcolati per derivazione dei momenti flettenti secondo le note relazioni:

$Tx = \partial Mx/\partial x + \partial Mxy/\partial y$

$Ty = \partial My/\partial y + \partial Mxy/\partial x$

La derivazione viene effettuata numericamente, per ogni elemento, impiegando le coordinate oblique del singolo elemento e considerando una variazione lineare del momento all'interno di ogni singolo elemento. Questo metodo numerico di derivazione, benché il solo impiegabile, fornisce risultati fortemente dipendenti dal passo di derivazione e dalla regolarità dei punti. I risultati sono sempre tecnicamente validi. Si consiglia comunque sempre nell'analisi l'uso di elementi di forma quanto più possibile regolare. L'armatura al taglio, per una superficie unitaria nella direzione considerata del taglio, si determina tramite la condizione:

$V_{sd} \leq V_{wd} + V_{cd} = 0.9\ d\ f_y\ A_s + t_{bl}\ d$

dove:

A_s = area dell'armatura a taglio

V_{sd} = azioni tangenziali di progetto

d = altezza effettiva della sezione

t_{bl} vedere Valori regolamentari

f_y = resistenza di progetto dell'acciaio

Implementazione dei modelli matematici

L'implementazione e 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 sviluppo secondo le specifiche di progetto o di manutenzione delle singole unita. 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 qualita e produttivita nel lavoro dei gruppi di sviluppo.