

# **Nòlian: Manuale di validazione**

## **Casi prova per problemi non lineari**

### **Copyright**

Questi casi prova sono stati raccolti dalla Softing srl che mantiene tutte i diritti su questo testo.

Copyright 2006, Softing srl.

Prima edizione marzo 2003.

Revisione Luglio 2006.

## **Introduzione**

### **Validazione**

Con il termine "validazione" si intende l'attività di verifica che un programma di calcolo risponda a requisiti assegnati. Nel caso di programmi per l'analisi strutturale, i requisiti sono soprattutto la risposta a problemi i cui modelli matematici sono stati già definiti e validati. Pertanto la validazione consiste soprattutto nella verifica della corretta rispondenza dei programmi a un insieme di risultati noti abbastanza significativo da consentire la verifica di parti importanti del programma. I risultati di confronto sono sia analitici, ma più spesso ottenuti tramite procedimenti numerici la cui validazione è resa affidabile da controlli incrociati su essi eseguiti e dalla affidabilità di coloro i quali li hanno resi disponibili.

### **Scopo di questo manuale**

La attività di verifica di un programma di calcolo è un compito essenziale che fa parte integrante del progetto stesso del programma. La visibilità di tale attività fa quindi parte integrante della asserzione di qualità di tale programma. Questo manuale quindi rende disponibili agli utilizzatori i criteri di verifica adottati dalla Softing per validare Nòlian.

Questo manuale naturalmente raccoglie solo una parte minima dei test effettuati sistematicamente. L'uso di questo manuale può essere anche quello di assicurare gli utilizzatori sui criteri di qualità adottati da Softing al fine di qualificare a loro volta Nòlian e la Softing come loro fornitori qualificati nell'ambito di un Sistema di Qualità Certificato. Infatti, oltre alle asserzioni di qualità fornite dalle procedure Certificate del Sistema di Qualità della Softing, a documentazione di parte dei controlli effettuati su Nòlian costituisce una testimonianza significativa.

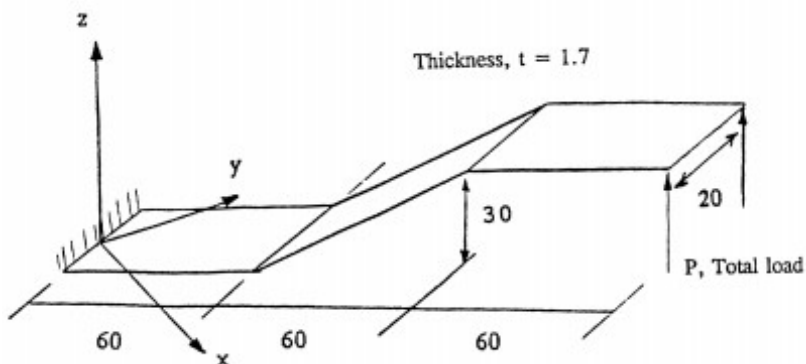
### **Altre informazioni**

Tutti i test sono anche resi disponibili su file di Nòlian per rendere eventualmente ripetibili i test. Si ricorda che i test costituiscono un banco di prova formidabile anche per gli utilizzatori in quanto hanno, per loro natura, particolarità tali da richiedere la conoscenza e stimolare la riflessione su argomenti importanti di modellazione strutturale.

## 01. 3DNLG1

### Descrizione

Mensola sagomata caricata ad un estremo. Modellata con elementi di tipo Trave. Presenta anche una inversione del momento dovuta alla geometria della deformazione. L'asse della mensola è secondo la bisettrice del primo quadrante per mettere alla prova la matrice completa dell'elemento.



### Scopo del test

Controllo dell'elemento Trave in grandi spostamenti in analisi incrementale al passo e verifica della opzione di linear search per il controllo di convergenza.

### Fonte del test

NAFEMS, *Assembly Benchmark Test for 3D Beam and Shells Exhibiting Geometric Non-Linear Behaviour*, N.K. Prinja, R.A. Clegg, 1993, R0029, pag. 11. Le figure sono tratte dallo stesso riferimento.

### File

3DNLG1.sap

### Criteri di analisi

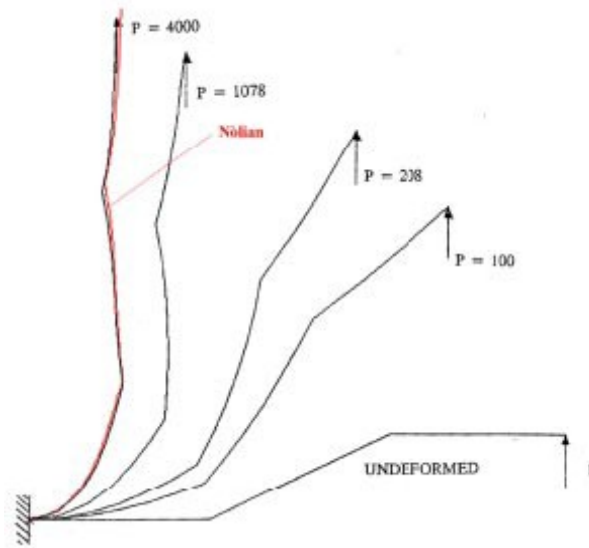
Analisi incrementale, massimo numero iterazioni 50, passi di carico 200, precisione 0.01, opzione di ottimizzazione. Usati 30 elementi.

### Risultati

Per un carico di 4000 di è ottenuto:

	z	M
Nòlian	143.65	11225
ANSYS	143.77	11498
Scarto (%)	0.0008	0.023

In rosso, in figura, la deformazione ottenuta con Nòlian, sovrapposta ai risultati di confronto.



## 02. Cupola

### Descrizione

Cupola sferica costituita di materiale a comportamento elasto-plastico sottoposta ad un carico applicato istantaneamente.

### Scopo del test

Test dell'elemento elasto-plastico assialsimmetrico con ciclo di carico alternato e test dell'analisi dinamica non lineare al passo.

### Fonte del test

*Nonlinear Static and Dynamic Analysis of Shell of Revolution Under Axisymmetric Loading*, Nagarajan, S. Univ. California, Berkeley, 1973.

Ripreso e documentato in:

*Finite elements in Plasticity*, J.Owen, E. Hinton, Peneridge Press, Swansea, U.K., 1980, pagg. 420, 575  
*Static and Dynamic Geometrical and Material Nonlinear Analysis*, K. J. Bathe, et al. Strucr. Engin. Lab. Un. California - Berkeley, Feb. 1974, pag. 158

### File

cupola.sap

### Criteri di analisi

Analisi dinamica non lineare (Newmark), con passo  $0.4e-6$ , passi 2000, forzante: costante. Scala visualizzazione 5.0.

### Risultati

Disponibili numericamente su Owen al 250 passo ( $t = 0.0001$ ) lineare in grandi spostamenti.

Abbassamento nodo centrale inferiore:

Nòlian -2.3306e-02  
 Owen -2.4592e-02

La soluzione numerica di riferimento è per materiale a comportamento lineare in grandi spostamenti. In Nòlian si è usato  $y_{el} = 240000$  invece di 24000 per verificare il comportamento lineare. Controllati anche gli sforzi. In Owen gli sforzi sono nei punti di Gauss. Comportamento compressivo ed elasto-plastico confrontato graficamente. In figura, in blu, i risultati ottenuti con Nòlian.

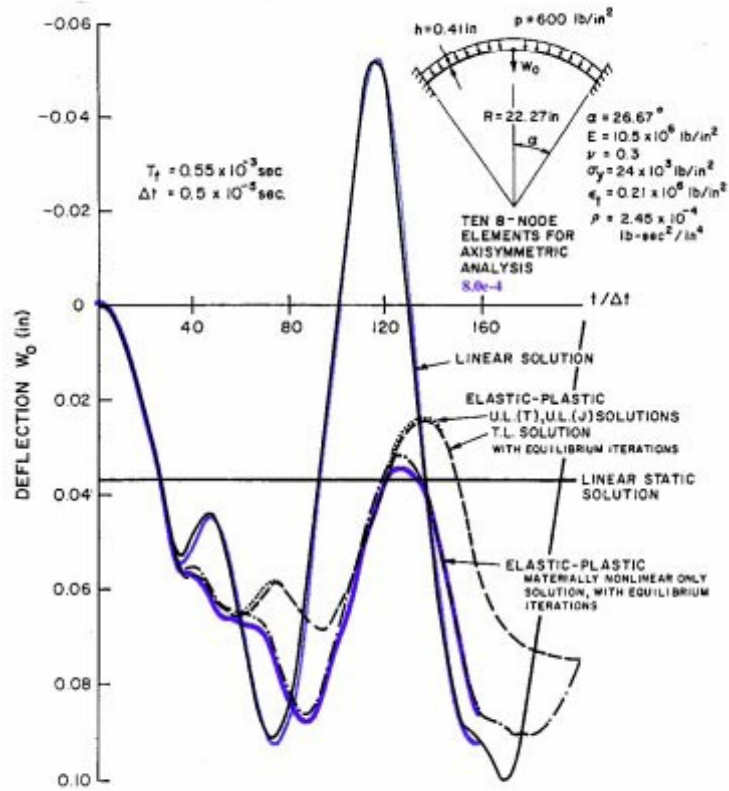


FIGURE 6.31 LARGE DISPLACEMENT DYNAMIC ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF SPHERICAL CAP, NEWMARK METHOD,  $\delta = 0.50$ ,  $\alpha = 0.25$

### 03. Thick cylinder

#### Descrizione

Cilindro a parete spessa costituito da materiale a comportamento elasto-plastico, sottoposto a pressione interna e successivo scarico della pressione interna.

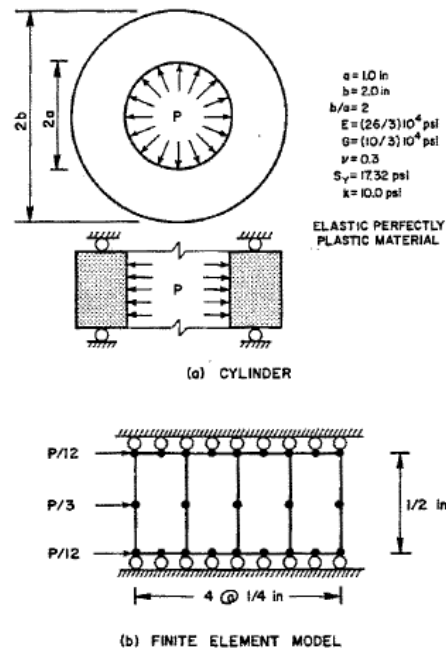


FIG. 6.7 AXIALLY RESTRAINED THICK CYLINDER

## Scopo

Verifica dell'elemento elasto-plastico assialsimmetrico con downloading e verifica delle tensioni e deformazioni residue.

## Fonte

*NONSAP A structural analysis program for static and dynamic response of nonlinear systems*, K.J. Bathe ed atr. College of Engineering, Univeristy of California, Berkeley. 1974

*Static and dynamic analysis of nonlinear structures*, D.P. Mondkar e G.H. Powel, College of Engineering, Univeristy of California, Berkeley. 1975

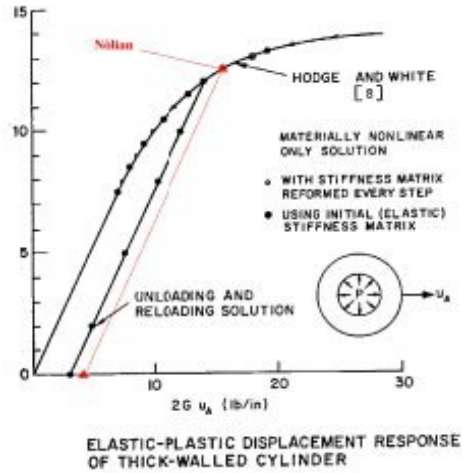
*A quantitative comparison of flow and deformamtion Theories of Plasticity*, P.G. Hodge, G.H. White, Dep. civ. Eng. University of Califoirnia, Berkeley, 1971. Illustrazioni tratte dai riferimenti citati.

## File

cylinder.sap

## Criteri analisi

Analisi incrementale (elasto-plastica). 10 passi in uploading. 1 passo in downloading con controllo di passo tramite linear search. (Moltiplicatore iniziale=1, moltiplicatore finale $1.0e-6$ ), opzione di restart. La convergenza è difficile in downloading per cui si può anche usare una limitazione di passo, insieme alla linear search, di 0.00001.



## Risultati

Disponibili solo in forma grafica. Graficamente indistinguibili da quelli ottenuti con Nòlian.

Risultati di Nòlian

carico:	12.5	0.0
spostamento esterno:	0.0002377	0.0000625

sforzi: (sxy nullo)

ascissa	sx	sy	sz			
1.0	-12.41	-1.78	7.58	-0.30	-4.22	-12.71
1.5	-4.29	3.39	12.26	-1.13	0.89	4.11
2.0	0.05	3.39	11.26	0.01	0.89	2.97

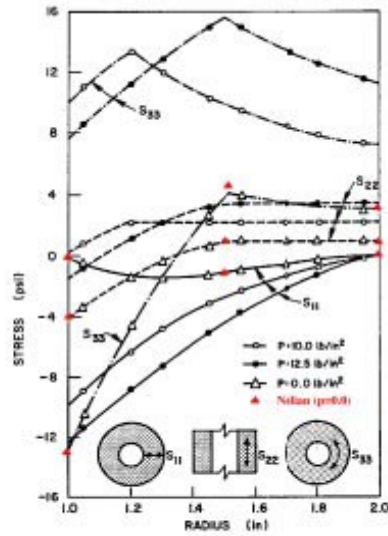


FIG. 6.11 SMALL DISPLACEMENT ELASTO-PLASTIC RESPONSE OF THICK CYLINDER, STRESSES WITH LOAD REVERSAL

## 04. Trave

### Descrizione

Trave, modellata con elemento plane-stress (componente membranale dell'elemento Guscio) in piccoli spostamenti, soggetta a carico applicato istantaneamente.

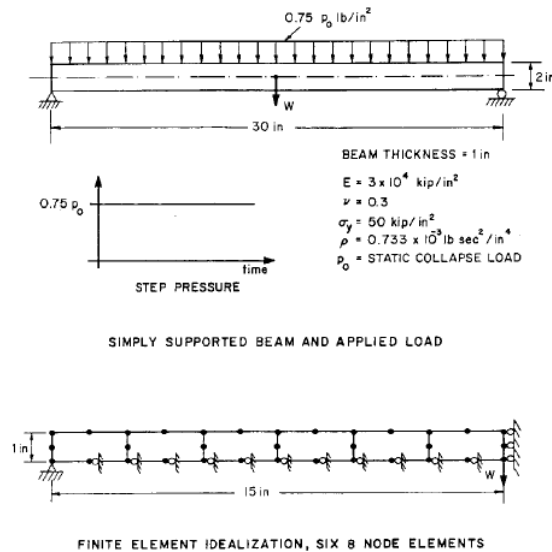


FIGURE 6.27 ELASTIC-PLASTIC DYNAMIC ANALYSIS OF SIMPLY-SUPPORTED BEAM

### Scopo

Test elemento elasto-plastico plane-stress e in analisi dinamica lineare e non lineare.

## Fonte

*Static and Dynamic Geometrical and Material Nonlinear Analysis*, K. J. Bathe, et al. Strucr. Engin. Lab. Un. California - Berkeley, Feb. 1974, pag. 152. Le figure sono riportate da questo testo.

## File

trave.sap (non lineare)

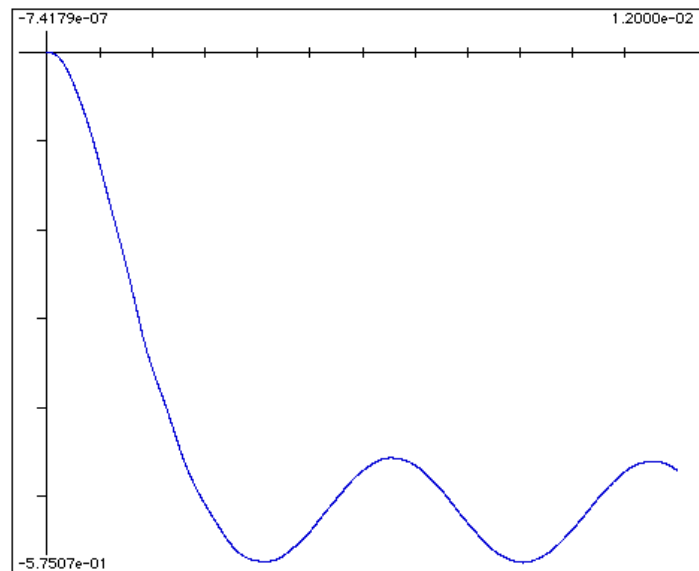
trave-lin.sap (lineare)

## Note per la modellazione

La documentazione del modello richiede alcune osservazioni: si modella solo un quarto di trave, la densità di massa è espressa in lbs, le altre unità in kip (kilo pound) per cui deve essere divisa per 1000. Il carico si riferisce al carico di collasso statico che è nell'ipotesi di completa plasticizzazione della sezione e per  $s_y=50$  pari a un momento flettente di  $50 \times 1 \times 1 = 50$  e quindi ad un carico distribuito di 0.444 kips/in. Il carico su un lato è stato trasformato in un carico di superficie (modellando metà dell'altezza, va diviso per due).

## Criteri di analisi

Analisi dinamica lineare e non lineare. Intervallo  $0.5e-5$ , 2400 intervalli. Con l'intervallo del riferimento, non si ha convergenza. Ricordarsi di attivare le masse secondo Z. Si deve annullare il controllo sull'equilibrio mettendo il criterio di convergenza a 10. Anche riferimento non effettua controllo di equilibrio (si supera il carico di collasso). Si può limitare il numero di iterazioni a 2. Per l'analisi lineare, nel modello con elementi ad 8 nodi vanno cambiati i vincoli. Si può usare il passo di  $0.5e-4$ .



## Risultati

Accordo (dati del riferimento sono solo grafici) con soluzione lineare. Soluzione elasto-plastica ottenuta con passo 0.000005 (anziché 0.00005 del riferimento) e senza controllo sull'equilibrio (mettendo criterio convergenza a 10). Graficamente, si ricava, per gli spostamenti a  $t=0.0041$ , riferimento. -0.545, Nòlian -0.575.



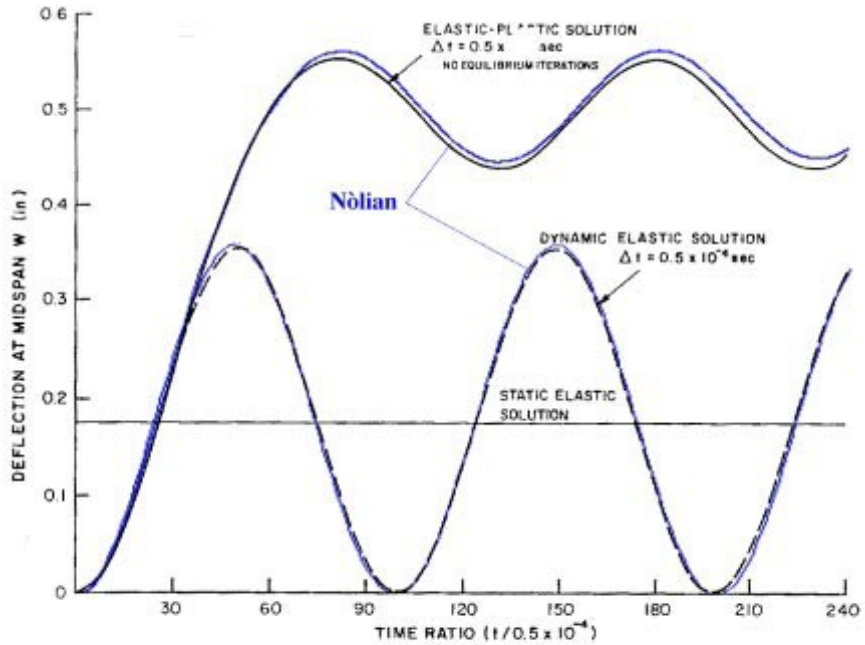


FIGURE 6.28 DYNAMIC SMALL DISPLACEMENT ELASTIC-PLASTIC RESPONSE OF SIMPLY SUPPORTED BEAM, WILSON  $\theta$ -METHOD,  $\theta = 1.4$

## 05. Cavo

### Descrizione

Tirante di traliccio di alta tensione. Carichi e masse distribuite e concentrate. Grandi spostamenti di elementi Asta (cavo) pretesi.

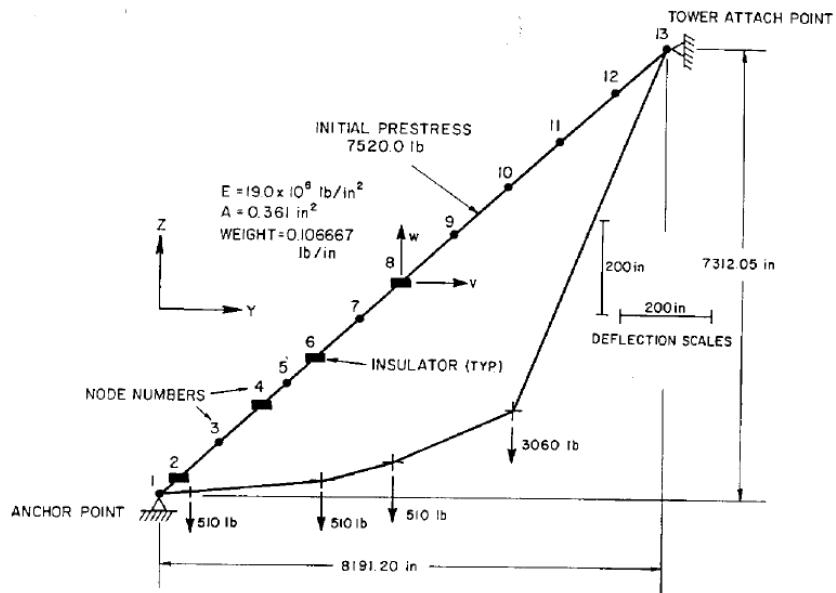


FIGURE 6.2 STATIC CONFIGURATION OF TOWER CABLE

## Scopo

Controllo elemento Truss in grandi spostamenti (cavo). Controllo dinamica non-lineare del cavo.

## Fonte

*Static and Dynamic Geometrical and Material Nonlinear Analysis*, K. J. Bathe, et al. Struct. Engin. Lab. Un. California - Berkeley, Feb. 1974, pag. 113. Dati numerici su file che accompagna i sorgenti di NONSAP.

## File

cable.sap

## Criteri analisi

Nessun accorgimento particolare.

## Risultati

Spostamento nodo 12:

Nòlian		NONSAP	
54.043	-60.747	54.046	-60.740.

## 06. Vibrazioni corda

### Descrizione

Vibrazioni di una corda tesa.

### Scopo

Analisi dinamica non lineare per la valutazione dell'effetto della pretensione in elementi Asta.

### Fonte

Analitica.  $f = n/2 * 1/L * \sqrt{nx/m}$  con n ordine armonica (1 primo periodo), nx forza assiale, m massa distribuita. Non tiene conto deformazioni elastiche. Nell'esempio: L=1000, Nx=1e6, m=0.001 per cui  $p=1/f= 0.063$ . [Si veda, ad esempio, Belluzzi vol. 4, pag. 335].

### File

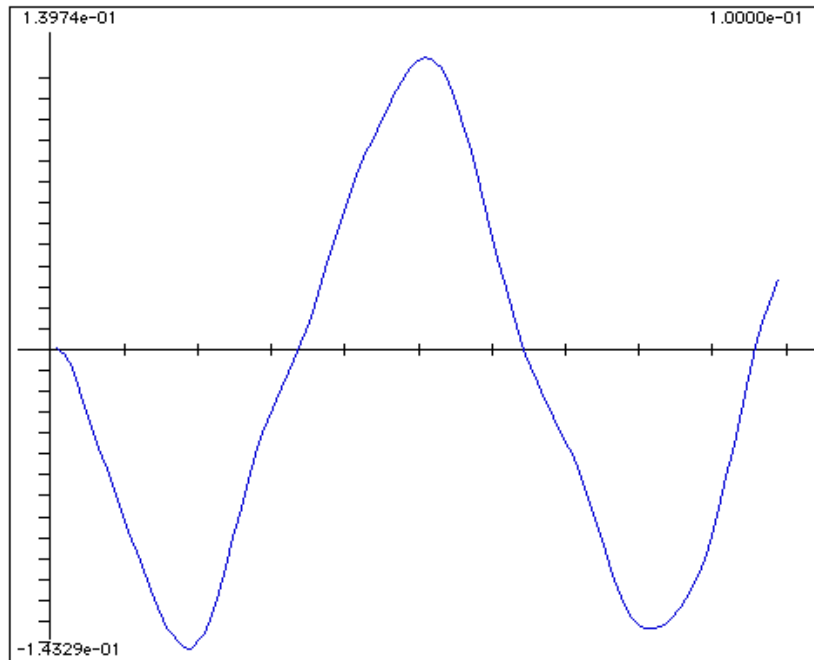
corda.sap

### Criteri analisi

Analisi dinamica non lineare. Passo 0.001, numero passi 100, forzante adottato impulso per la condizione #1 (carico distribuito unitario), monitor 7,3, scala 500. Ricordarsi attivare le masse secondo Z.

### Risultati

Periodo graficamente indistinguibile da quello analitico.



## 07. Vibrazioni trave

### Descrizione

Vibrazioni di una trave tesa.

### Scopo

Valutazione effetto della forza assiale da condizione statica sul periodo di vibrazione.

### Fonte

Analitica.

$f' = f \cdot \sqrt{1 + P/P_{cr}}$  con P positivo se di trazione.

Nell'esempio:

$P_{cr} = 1,534,600$

$P = 749,438$

$f = 0.161$

$p' = 1/f = 0.225$ .

[Si veda, ad esempio: Belluzzi vol. 4 pag. 385].

### File

travevib.sap

### Criteri analisi

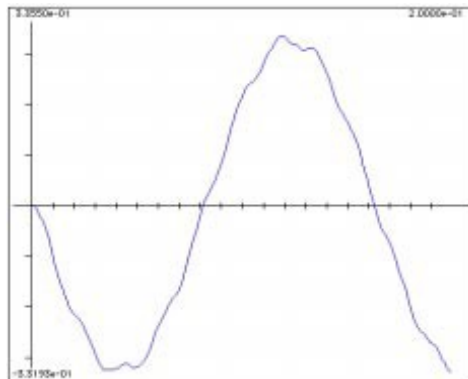
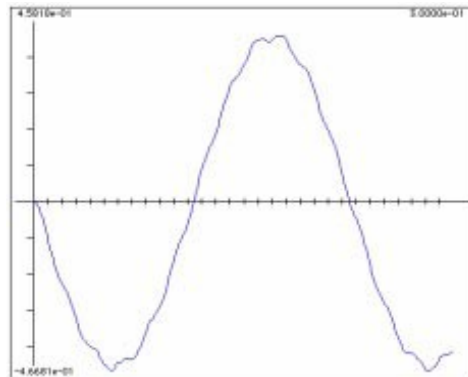
Si è usato un Boundary ( $k=100,000,000$ ) per imprimere spostamenti di 1 cm su cond #2 (statica). Ciò sia per evitare lo spostamento del vincolo se si assegnasse una forza esterna, sia per testare anche l'elemento Boundary in analisi dinamica non lineare.

## Opzioni analisi

Analisi dinamica non lineare con passo 0.001, numero passi 300, condizione statica #2, impulso forze condizione #1, monitor 7,3, scala 200.

## Risultati

Periodo graficamente indistinguibile da quello analitico. Se si disattiva la condizione statica si annulla la deformazione imposta e quindi si ottiene il periodo della trave non tesa (0.161), figura più in basso.



## 08. SSEPT 2

### Descrizione

Test di base per il singolo elemento elasto-plastico bidimensionale in piccole deformazioni.

### Scopo

Validazione del comportamento elasto plastico soprattutto relativamente al problema del carico alternato.

### Fonte

"Fundamental Test for Two and Three Dimensional, Small Strain, Elastoplastic Finite Element Analysis", E. Hinton, M. H. Ezatt, NAFEMS, April 1987, sigla: SSEPT.

## File

Sono quattro diversi test sui file:

SSEPT2.sap

SSEPT4.sap

SSEPT6.sap

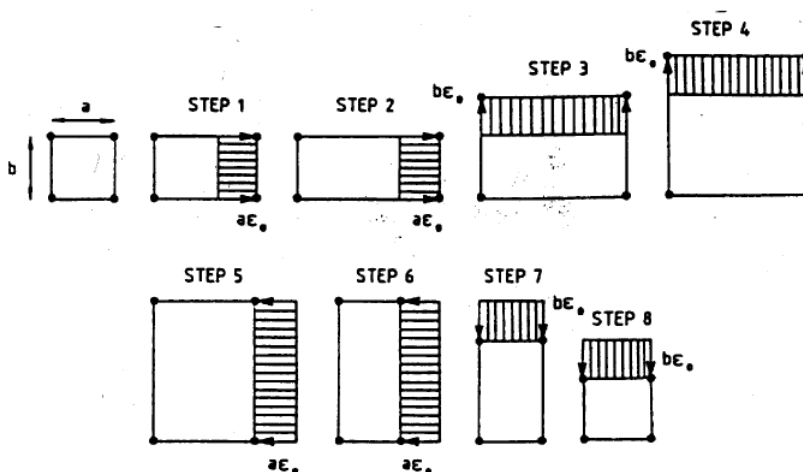
SSEPT8.sap

## Criteri analisi

Si impiega nei quattro test lo stesso elemento finito quadrato di tipo a deformazione piana (file 2 e 4) e a sforzo piano (test 6 e 8) sottoponendolo a deformazione assegnata tramite elementi Boundary. Poiché il test prevede di "congelare" la deformazione in una direzione e di iniziare la deformazione in un'altra direzione ed è necessario usare più passi di carico, impiegando la sola opzione di restart si avrebbe una applicazione del precedente spostamento imposto anch'esso per passi e quindi uno "scarico" della deformazione precedentemente conseguita. Si usa allora una opzione dello scripting che consente di avere un restart senza memorizzazione degli spostamenti così che lo stato tensionale determinato dalla precedente deformazione viene considerato, ma non si influisce sulla deformazione già conseguita.

## Opzioni analisi

Analisi elasto-plastica con storia di carico complessa. Vedere gli script. In figura la storia del carico da una illustrazione del riferimento citato.



## Risultati

Vengono qui riportati solo i risultati numerici di confronto relativi alla tensione secondo X delle fasi:

- A) fine step 2 della figura,
- B) fine step 4
- C) fine step 6
- D) fine step 8.

Sono stati impiegati 100 passi di carico per ogni step sia per la soluzione di riferimento che per quella ottenuta con Nòlian.

**SSEPT2** plane strain perfect plastic, biaxial displacement.

	Riferimento (pag. 2.24)	Nòlian	Scarto
A)	11.66666	11.66666	0.00%
B)	16.31211	16.32228	0.06%
C)	5.095807	5.099148	0.06%
D)	0.238917	0.231360	-3.16%

**SSEPT4** plane strain hardening, biaxial displacement.

	Riferimento (pag. 2.35)	Nòlian	Scarto
A)	12.24138	12.24138	0.00%
B)	16.85673	16.86405	0.04%
C)	3.963173	3.97122	0.20%
D)	-1.036827	-1.02877	-0,77%

**SSEPT6** plane stress perfect plastic, biaxial displacement.

	Riferimento (pag. 2.47)	Nòlian	Scarto
A)	5.747467	5.773415	0.45%
B)	3.308084	3.280004	-0.84%
C)	-4.7557097	-4.756069	0.01%
D)	-3.667838	-3.687520	0.53%

**SSEPT8** plane stress hardening, biaxial displacement.

	Riferimento (pag. 2.56)	Nòlian	Scarto
A)	6.950547	6.978166	0.39%
B)	5.685183	5.689239	0.07%
C)	-4.576658	-4.554588	-0.48%
D)	-7.350159	-7,328089	0.30

## 09. NL2C

### Descrizione

Test di base per l'elemento elasto-plastico monodimensionale.

### Scopo

Validazione del comportamento elasto-plastico soprattutto relativamente al problema del carico alternato e al cambiamento di temperatura.

## Fonte

"Selected Benchmarks for Material Non-Linearity", D. Linkens, NAFEMS, January 1993, sigla: R0030.

## File

NL2C.sap

## Criteri analisi

Non vi sono particolari accorgimenti per la modellazione e l'analisi. In figura, tratta dal testo di riferimento, alcune informazioni sulle caratteristiche del test.

## Opzioni analisi

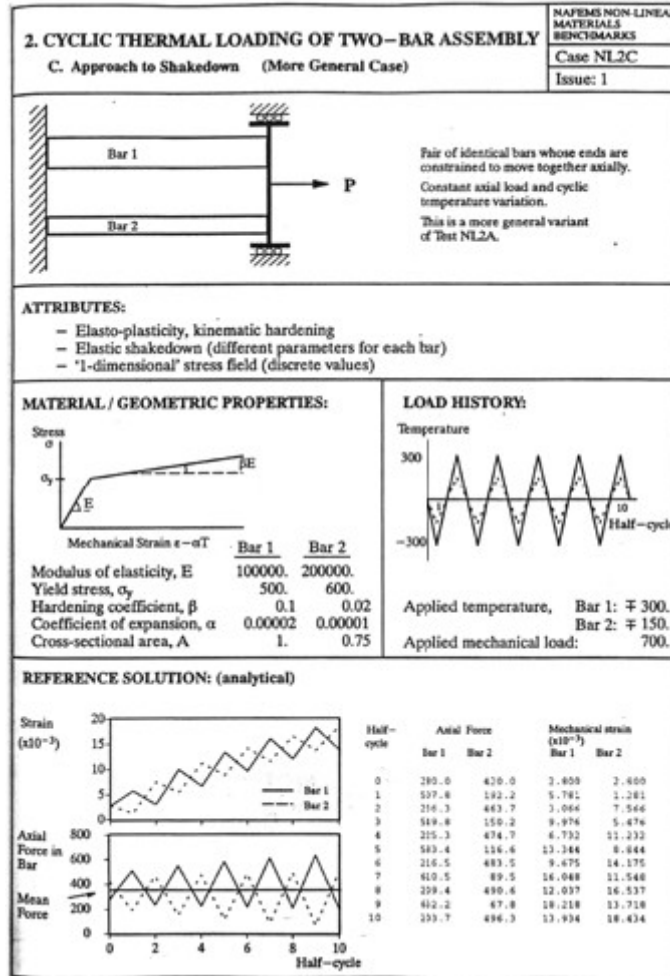
Analisi elasto-plastica. Il test prevede di sottoporre un coppia di elementi ad una variazione ciclica di temperatura e pertanto la storia di carico viene per comodità assegnata tramite uno script cui si rimanda per i parametri di analisi.

## Risultati

Si riportano, per i 10 cicli, le forze assiali nei due elementi.

semiciclo	Nòlian		Riferimento	
	elemento 1	elemento 2	elemento 1	elemento 2

1	507,812	192,186	507,9	192,2
2	236,301	463,698	236,3	463,7
3	549,763	150,236	549,8	150,2
4	225,304	474,695	225,3	474,7
5	583,442	116,557	583,4	116,6
6	216,476	483,523	216,5	483,5
7	610,478	89,521	610,5	89,5
8	209,389	490,610	209,4	490,6
9	632,183	67,824	632,2	67,8
10	203,699	496,300	203,7	496,3



## 10. SSEPT12

### Descrizione

Analisi di un cilindro spesso in materiale elasto-plastico sottoposto a pressione interna tramite due tipi di modellazione: assialsimmetrico e deformazione piana.

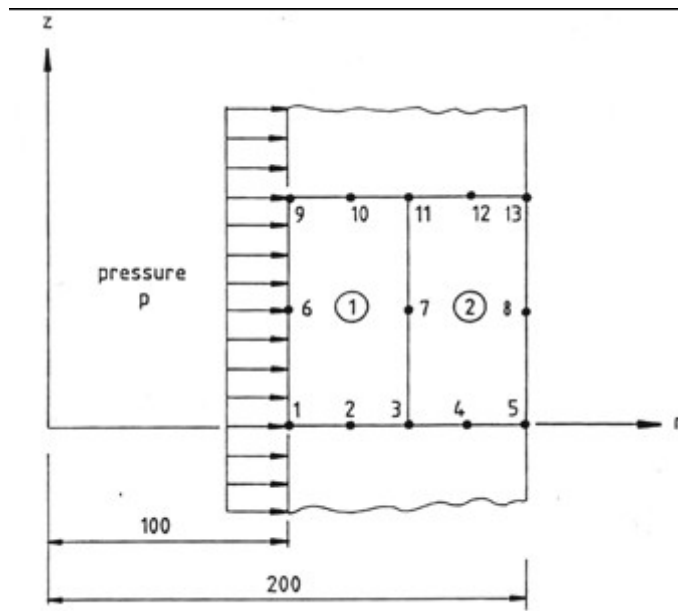
### Scopo

Test di base per l'elemento elasto-plastico bidimensionale assialsimmetrico e per l'elemento a deformazione piana ad incrudimento isotropo.

### Fonte

"Fundamental Test for Two and Three Dimensional, Small Strain, Elastoplastic Finite Element Analysis", E. Hinton, M. H. Ezatt, NAFEMS, April 1987, sigla: SSEPT.





## File

SSEPT12.sap (assialsimmetrico)

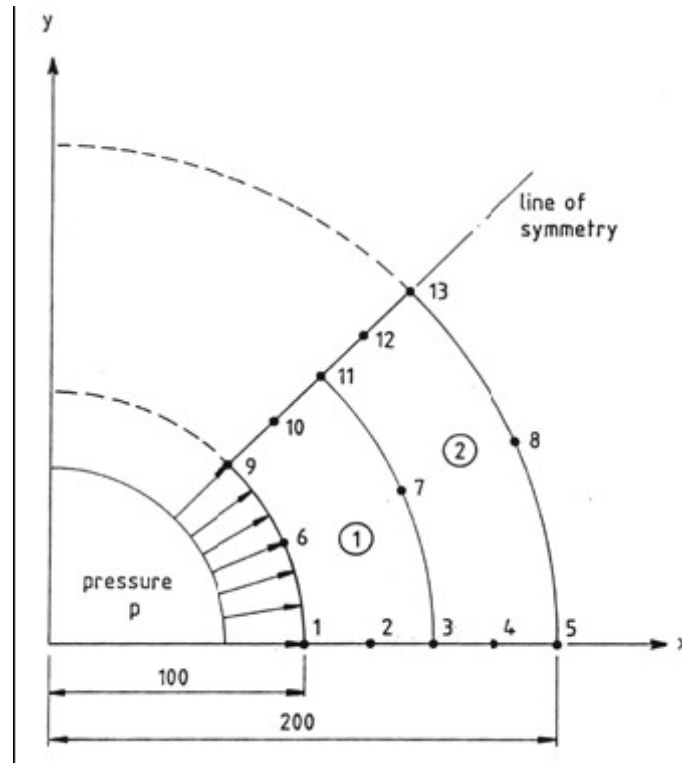
SSEPT12S.sap (deformazione piana)

## Criteri analisi

Non vi sono particolari accorgimenti per la modellazione e l'analisi. Nelle figura, tratta dal testo di riferimento, alcune informazioni sulle caratteristiche del test.

## Opzioni analisi

Analisi elasto-plastica. Vengono variati di volta in volta i moltiplicatori di carico per seguire l'evoluzione dello spostamento.



## Risultati

Si riporta, per 4 livelli di pressione, lo spostamento della parete interna.

pressione	assialsimmetrico		deformazione piana	
	Nòlian	riferimento	Nòlian	riferimento
10.00	0.0908	0.0908	0.09118	0.09118
14.00	0.1366	0.1366	0.13729	0.13724
24.00	0.4042	0.4035	0.40626	0.40562
34.00	0.8752	0.8747	0.87943	0.87896

## 11. NL7B

### Descrizione

Piastra sottile quadrata incastrata ai bordi soggetta a pressione uniforme costituita da materiale elasto-plastico.

### Scopo

Test per elementi shell elasto-plastici. Qui viene impiegato l'elemento "Degenerate Shell" di Nòlian.

### Fonte

NAFEMS, Selected Benchmarks for Material Non-Linearity Vol II

### File

NL7B.sap

Si usa il file di dati dei materiali "degshell.txt", sezione 12

### Criteri analisi

L'elemento di Nòlian è in grandi spostamenti per default. Si è inibita tale possibilità perché il test di riferimento non è in grandi spostamenti. Si impiegano rotazioni locali dell'elemento che è costituito da 13 layer di materiale omogeneo con caratteristiche:  $E=30000$ ,  $\nu=0.3$ ,  $\sigma_y=30$ . Criterio plastico di von Mises. Si è modellato un solo quarto di piastra imponendo le condizioni di vincolo per rispettare la simmetria.

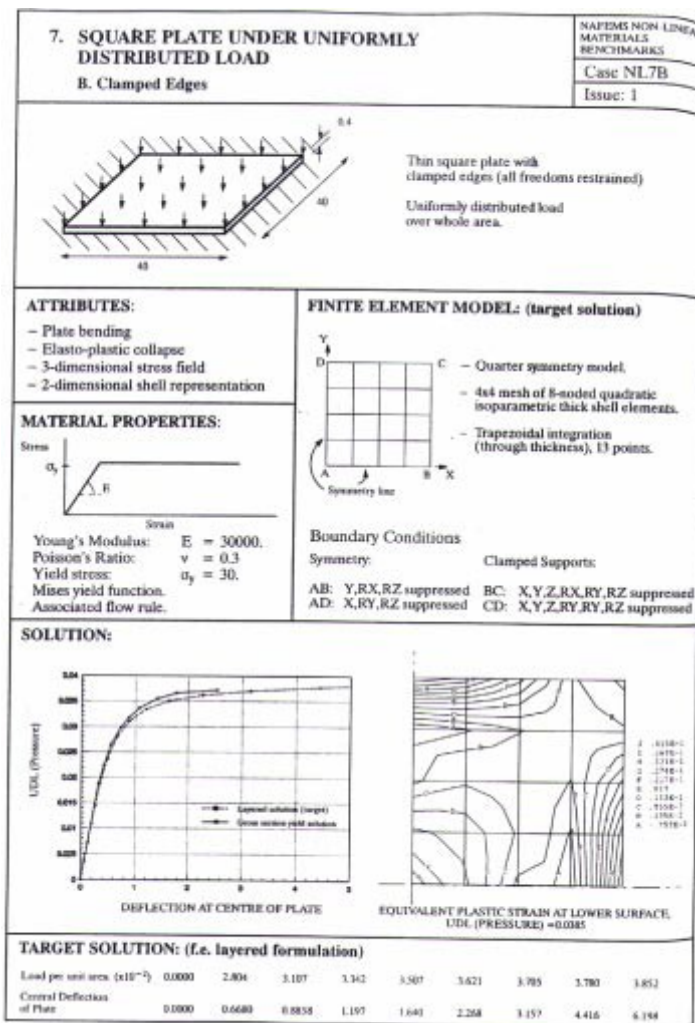
### Opzioni analisi

Si esegue un'analisi incrementale usando 5 passi di carico e precisione di convergenza 0.01.

### Risultati

Si riportano i risultati della deflessione centrale per una pressione di 0.03342.

Nòlian	Riferimento	scarto
1.197	1.173	2%



## 12. 3DNLG-7

### Descrizione

Calotta sferica incernierata soggetta a pressione uniforme.  
Analisi in grandi spostamenti.

### Scopo

Test per non-linearità geometrica di elementi guscio curvi.

### Fonte

NAFEMS, Assembly Benchmarks for 3D Beams and Shell Exhibiting Geometric Non-Linear Behaviour

### File

3DNLG7.sap

Non si usa il file di dati dei materiali

### Criteri analisi

Usate rotazioni elemento, 13 layer (default). Modellato solo un quarto di calotta imponendo vincoli di simmetria.

### Opzioni analisi

Analisi incrementale. 10 passi di carico, convergenza allo 0.01.

### Risultati

Livello di carico: 0.692615. Spostamento punto centrale.

Nòlian	Riferimento	scarto
57.99	57.85	0.2%

<p style="text-align: center;"><b>LARGE DISPLACEMENT ELASTIC RESPONSE OF A HINGED SPHERICAL SHELL UNDER UNIFORM PRESSURE LOADING</b></p>	<p>Test: 3DNLG-7</p>
	<p>Issue: A</p>
	<p>Date: Aug 1993</p>
<p><b>PHYSICAL PROBLEM:</b></p> <p><math>L = 1570, t = 100</math></p> <p><b>MATERIAL DATA:</b></p> <p><math>E = 69 \nu = 0.3</math></p> <p><b>LOADING:</b></p> <p>Evenly distributed follower pressure load normal to shell surface. Maximum pressure = 0.1</p> <p><b>SHELL SURFACE:</b></p> <p>The shell mid-surface is defined in terms of global cartesian co-ordinates where</p> $Z = 2.0285 \times 10^{-4} [X(1570-X) + Y(1570-Y)]$	
<p><b>ATTRIBUTES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(i) Membrane and bending structural actions</li> <li>(ii) Large displacement - large rotation response</li> <li>(iii) Snap through behaviour</li> <li>(iv) Doubly curved shell</li> <li>(v) Follower pressure</li> </ul>	
<p><b>FE IDEALISATION:</b></p> <p><b>BOUNDARY CONDITIONS:</b> Mesh: 8 noded quadratic shell elements</p> <p>Simply supported along all edges</p> <p>i.e. <math>U_x = U_y = U_z = 0</math></p> <p><b>SOLUTION PROCEDURE:</b></p> <p>Distributed pressure normal to shell surface applied using an arc length solution control procedure. Maximum pressure of 0.1. Pressure follows the deformation of the shell surface</p>	

### 13. LE3

#### Descrizione

Cupola emisferica soggetta a forze concentrate radiali.

#### Scopo

Test per elementi shell curvi.

#### Fonte

NAFEMS, The Standard NAFEMS Benchmarks

#### File

LE3.sap

Si usa il file di dati dei materiali "degshell.txt", sezione 12

#### Criteri analisi

Analisi statica lineare.

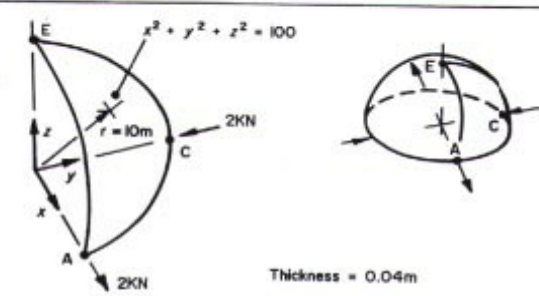
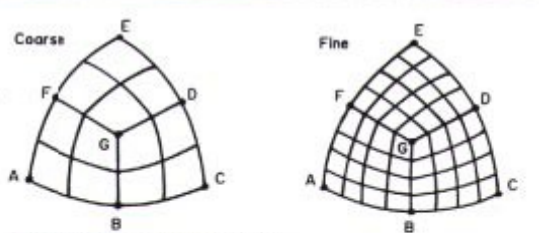
## Opzioni analisi

Nessuna

## Risultati

Spostamento nei punti di applicazione delle forze.

Nòlian	Riferimento	scarto
0.1833	0.1838	0.3%

NAFEMS	HEMISPHERE-POINT LOADS	TEST No LE3	DATE/ISSUE 21-11-86 / 2
ORIGIN	NAFEMS report C1		
ANALYSIS TYPE	Linear elastic		
GEOMETRY	 <p>Thickness = 0.04m</p>		
LOADING	Concentrated radial loads of 2KN outwards at A, inwards at C		
BOUNDARY CONDITIONS	Point E, zero z displacement Edge AE, symmetry about zx plane e.g. zero y displacement, zero normal rotation Edge CE, symmetry about yz plane, e.g. zero x displacement, zero normal rotation All other displacements on edge AC are free		
MATERIAL PROPERTIES	Isotropic. $E = 68.25 \times 10^3$ MPa, $\nu = 0.3$		
ELEMENT TYPES	Quadrilateral shells		
MESHES	 <p>Equally spaced nodes on AC, CE, EA            Point G at <math>x = y = z = \frac{10}{\sqrt{3}}</math>            Equally spaced nodes on BG, DG, FG, (all great circles)</p>		
OUTPUT	x displacement at point A	TARGET	0.185m

## 14. R0031/1

### Descrizione

Piastra costituita di materiale composito.

### Scopo

Test di elementi guscio costituiti da materiale composito con layer di materiale a differente orientamento. Fonte NAFEMS, Composite Benchmark

## File

R0031-1.sap

Si usa il file di dati dei materiali "degshell.txt", sezione 1

## Criteri analisi

Analisi incrementale.

## Opzioni analisi

Analisi statica lineare.

## Risultati

Deflessione al centro:

Nòlian	Riferimento	scarto
-1.06	-1.06	0.0%

Tensione alla faccia esterna:

Nòlian	Riferimento	scarto
617.3	683.9	9%

Tensione interlaminare tra il primo ed il secondo layer dal basso.

Nòlian	Riferimento	scarto
4.87	4.1	14%

NAFEMS		LAMINATED STRIP	Test No. R0031/1	Date/ Issue: 17/12/98/1
Origin	NAFEMS Report R0031			
Analysis Type	Orthotropic			
Geometry	<p style="text-align: right;"><i>All dimensions in mm</i></p>			
Loading	Line load of 10N/mm at C (x = 25, z = 1)			
Boundary conditions	One quarter model, simply supported at A (x = 0) and reflective symmetry about x = 25 and about y = 5			
Material properties	$E_1 = 1.0E5 \text{ MPa}$ , $\nu_{12} = 0.4$ , $E_2 = 5.0E3 \text{ MPa}$ , $\frac{\nu_{21}}{E_2} = \frac{\nu_{12}}{E_1}$ $G_{11} = 1.0E3 \text{ MPa}$ , $\nu_{11} = 0.3$ , $G_{22} = G_{33} = 2.0E3 \text{ MPa}$			
Element types	Laminated beam, laminated plate, laminated brick or stacked brick			
Meshes				
Output	Bending stress at E Interlaminar shear stress at D z deflection at E		Target 683.9 MPa -4.1 MPa -1.06 mm	

## 15. R0031/2

### Descrizione

Cilindro in materiale composito soggetto a pressione interna e a temperatura.

### Scopo

Test sia per la qualità della soluzione per elementi curvi sia per il materiale composito. Il materiale composito è ortotropo.

### Fonte

NAFEMS, Composite BenchMark

### File

R0031-2.sap

Si usa il file di dati dei materiali "degshell.txt", sezione 2



## Criteri analisi

Se il cilindro è con asse coincidente con asse Z, alcuni PUNTI degli elementi di bordo cambiano riferimento! Così l'orientamento dello strato ortotropo ruota di 90°. Si è quindi diposto l'asse del cilindro orizzontalmente. Il comando PRINTSTRESS genera il file degli sforzi nei layer, necessari per il confronto dei risultati di questo test.

## Opzioni analisi

Analisi statica lineare.

## Risultati

Solo pressione

Tensioni

parete interna		parete esterna	
Nòlian	Riferimento	Nòlian	Riferimento
1553	1565	744	759

Si sono estrapolate le tensioni al centro del layer, fornite da Nòlian, alle pareti. Lo scarto massimo è inferiore al 2%. Lo spostamento radiale in Nòlian è 0.15931. Non vi sono dati di riferimento su tale valore.

Pressione e temperatura

Tensioni

parete interna		parete esterna	
Nòlian	Riferimento	Nòlian	Riferimento
1330	1381	909	936

NAFEMS WRAPPED THICK CYLINDER		Test No. R0031/2	Date/ Issue 17/12/98/1	
Origin	NAFEMS Report R0031			
Analysis Type	Orthotropic			
Geometry	<p>(All dimensions in mm)</p>			
Loading	Case 1 Internal pressure of 200 MPa Case 2 Internal pressure of 200 MPa + Temperature rise of 130°C			
Boundary conditions	Face AB symmetry about x axis (zero y displacement) Face CD symmetry about y axis (zero x displacement) $u_x = 0$ at $z = 0$			
Material properties	Inner cylinder isotropic $E = 2.1E5$ MPa, $\nu = 0.3$ , $\alpha = 2E-5$ °C <sup>-1</sup> Outer cylinder circumferentially wound - $E_1 = 1.3E5$ MPa, $\nu_{12} = 0.25$ , $E_2 = 5.0E3$ MPa, $\alpha_1 = 3E-6$ °C <sup>-1</sup> $\alpha_2 = 2E-5$ °C <sup>-1</sup> , $G_{12} = 1.0E4$ MPa, $G_{23} = 5.0E3$ MPa			
Element types	Curved shell or laminated brick			
Meshes				
Output	Case 1 Hoop stress in inner cylinder at $r = 23$ Hoop stress in inner cylinder at $r = 25$ Hoop stress in outer cylinder at $r = 25$ Hoop stress in outer cylinder at $r = 27$ at $z = 0$ Case 2 Hoop stress in inner cylinder at $r = 23$ Hoop stress in inner cylinder at $r = 25$ Hoop stress in outer cylinder at $r = 25$ Hoop stress in outer cylinder at $r = 27$	Target 1565.3 MPa 1429.7 MPa 874.7 MPa 759.1 MPa 1381.0 MPa 1259.6 MPa 1056.0 MPa 936.1 MPa		

## 16. R0031/3

### Descrizione

Piastra in materiale composito ortotropo.

### Scopo

Test elementi guscio in materiale composito

### Fonte

NAFEMS, Composite BenchMark

### File

R0031-3.sap

Si usa il file di dati dei materiali "degshell.txt", sezione 3

### Criteri analisi

Nessuno in particolare.

## Opzioni analisi

Analisi statica lineare.

## Risultati

Spostamento centrale:

Nòlian	Analitico	Scarto
-0.1255	-0.123	1.6 %

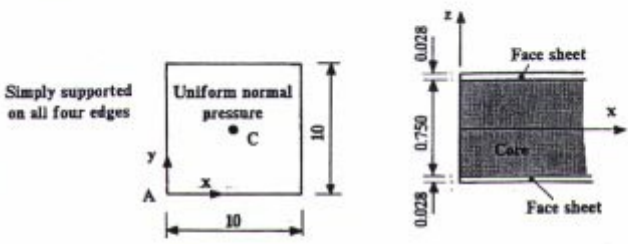
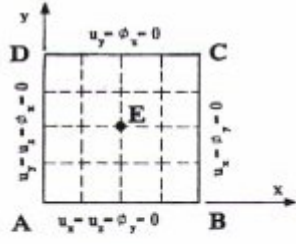
Nota: questi valori si ottengono senza considerare la rigidità al taglio. Se la si considera, in Nòlian si ottiene: 0.1349.

Tensioni lamina esterna al centro:

Nòlian		Analitico		Scarto
sx	sy	sx	sy	
3.51e+04	1.36e+04	34449	13350	2%

Tensioni tangenziali al quarto:

Nòlian	Analitico	Scarto
5.12e+03	5067	1%

<b>NAFEMS</b>	SANDWICH SHELL	Test No. 0051/3	Date/ Issue 17/12/98/1
Origin	NAFEMS Report R001		
Analysis Type	Orthotropic		
Geometry	 <p style="text-align: right;"><i>All dimensions in inches</i></p>		
Loading	Uniform normal pressure of 100 p.s.i.		
Boundary conditions	One quarter model with edges AB and AD simply supported and reflective symmetry about faces BC and CD		
Material properties	Face sheets - $E_s = 10.086 \text{ p.s.i.}$ , $\nu_s = 0.3$ , $E_c = 4.066 \text{ p.s.i.}$ $G_s = 1.87966 \text{ p.s.i.}$ Core - $E_c = 0$ , $G_c = 3.084 \text{ p.s.i.}$ , $G_x = 1.284 \text{ p.s.i.}$		
Element types	Thick sandwich shell		
Meshes			
Output	z deflection at C $\sigma_x$ at C $\sigma_y$ at C $\tau_{xy}$ at E	Target -0.123" 3449 p.s.i. 13350 p.s.i. -5067.5 p.s.i.	