



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.

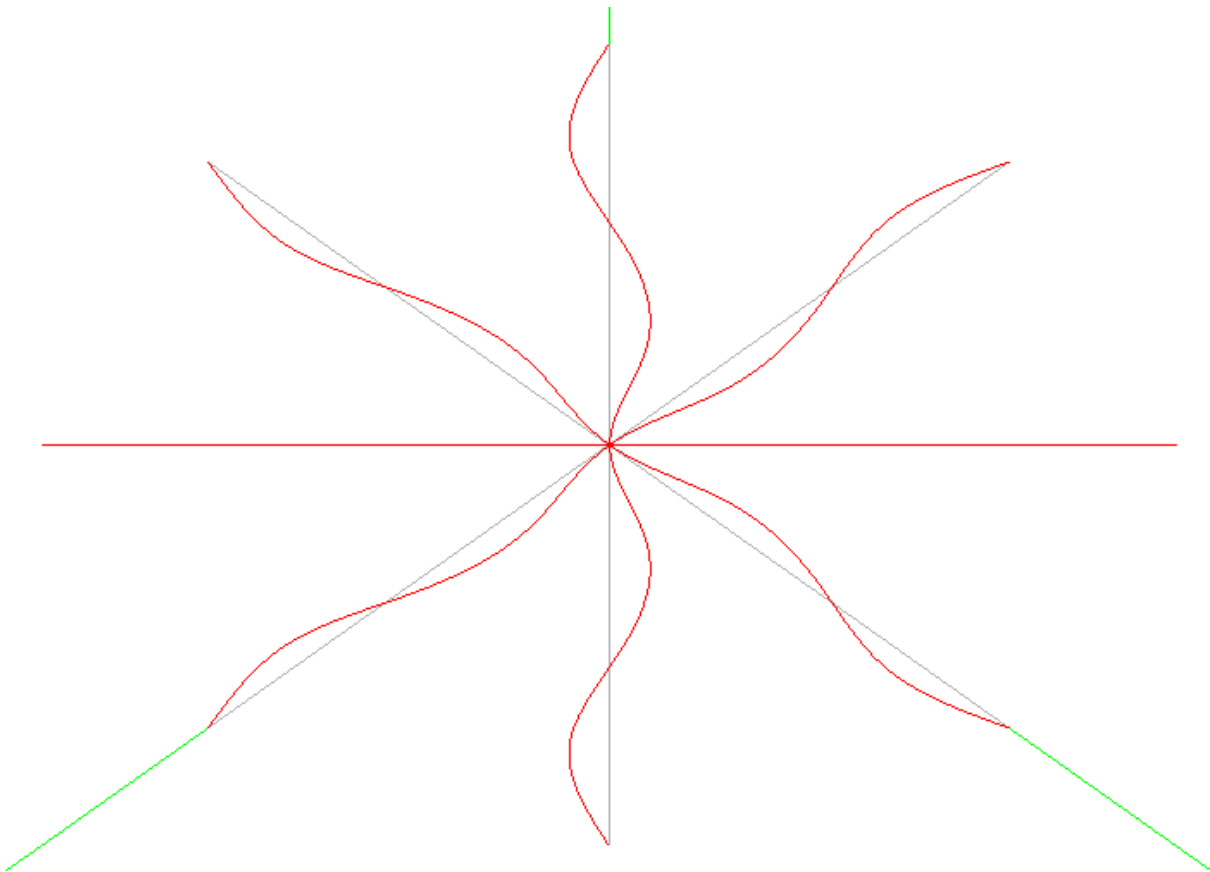
Riferimenti

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 vogliono 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%

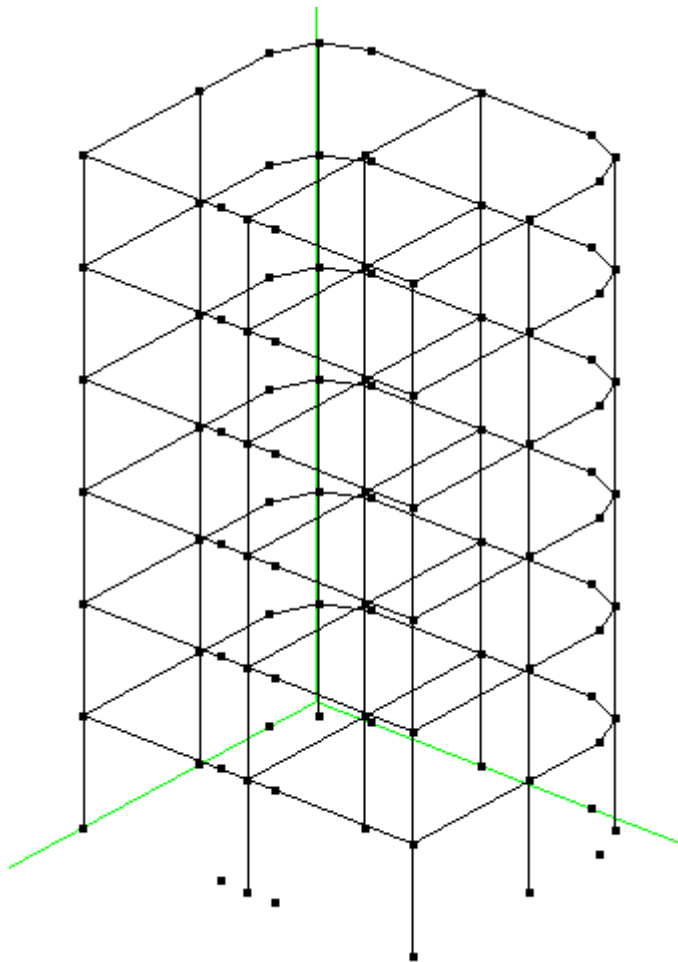
TD2: Analisi dinamica di telaio

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

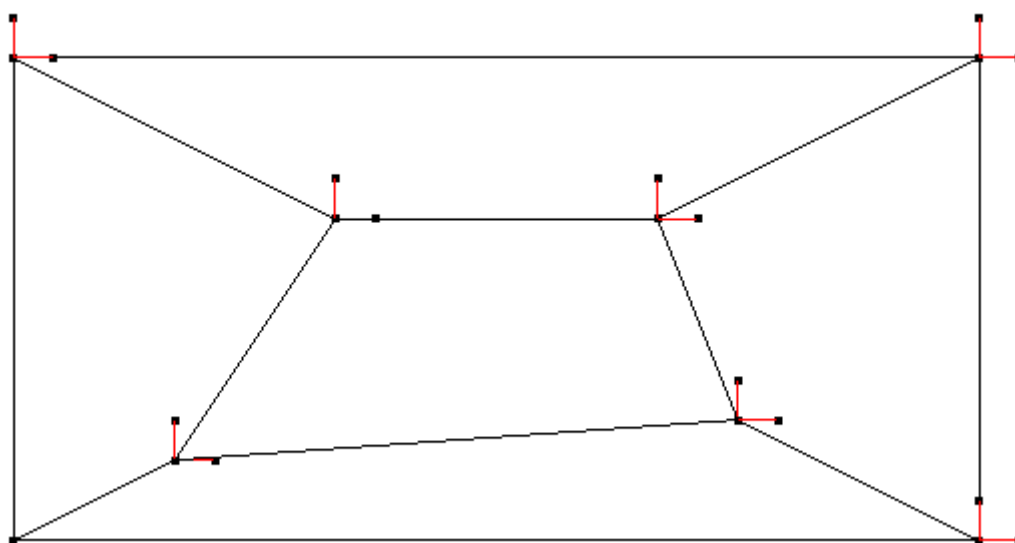
Scopo del test

E' un test importante. Di importanza anche storica perché è un test classico per elementi finiti. Se un elemento finito 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

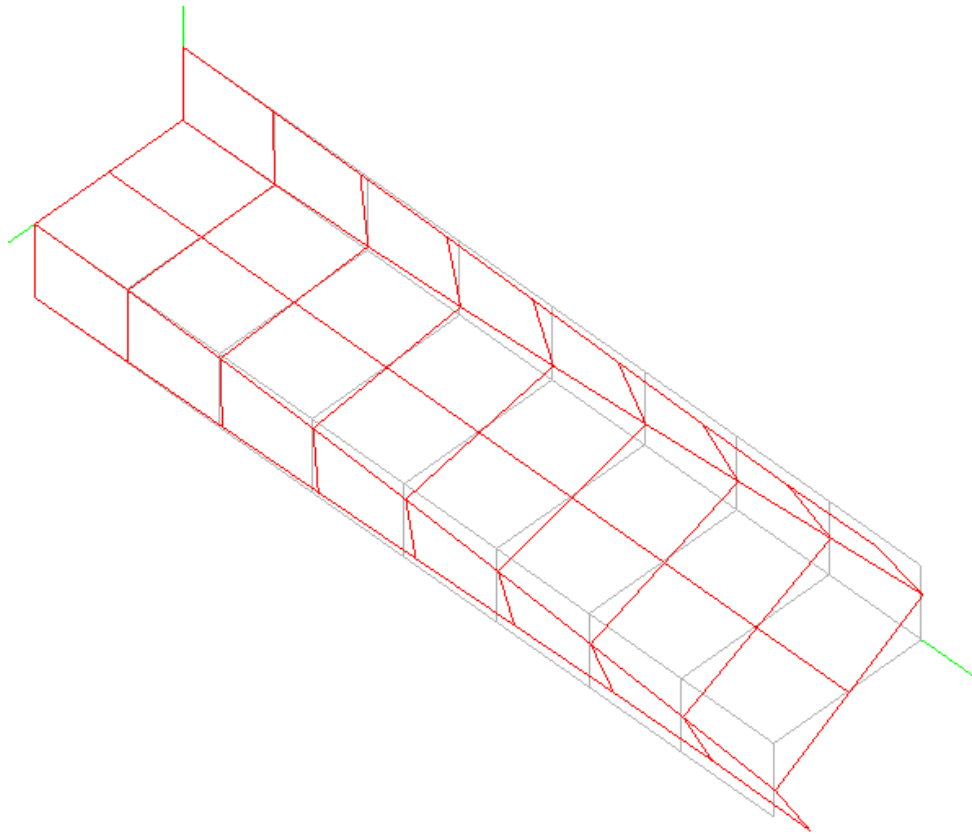
SL1: Torsione di mensola con sezione a “Z”

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.

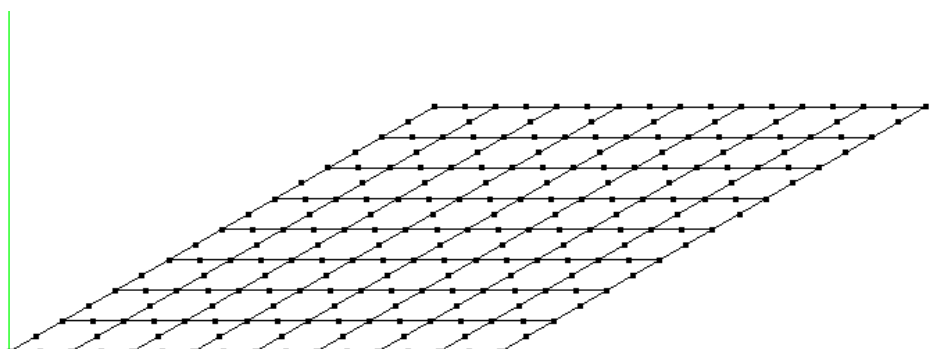
SL2: Piastra sottoposta a pressione

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 risultati 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 forme. 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%

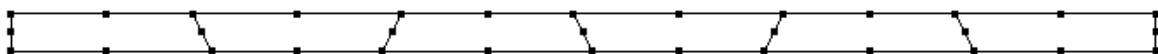
Nòlian, elementi a 4 nodi = -0.1073, scarto 0.74%

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, deflessione: -100.0. Scarto 8.0% sulla soluzione analitica.

Si noti come la distorsione degli elementi influisca sulla accuratezza della soluzione.

SL4: Membrana ellittica

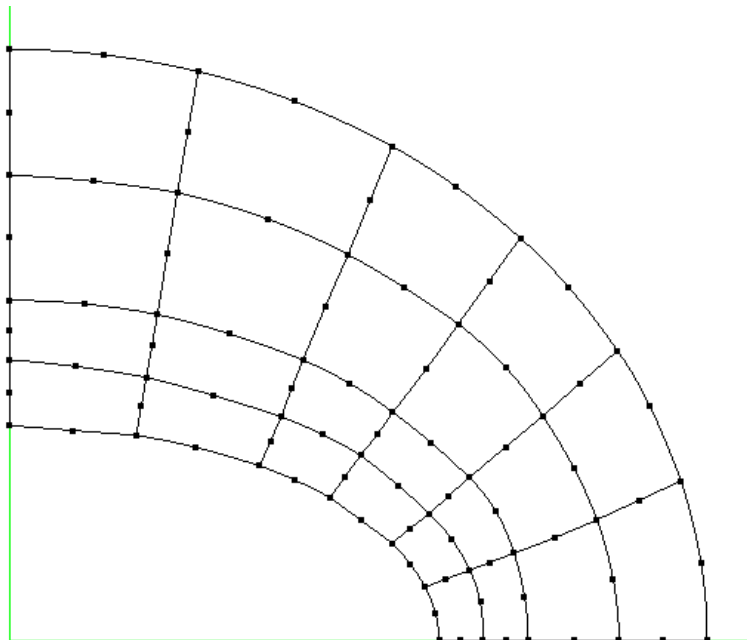
Scopo del test

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 dettagliatamente spiegato in Il test è proposto da: NAFEMS, "Background 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 agiscono 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

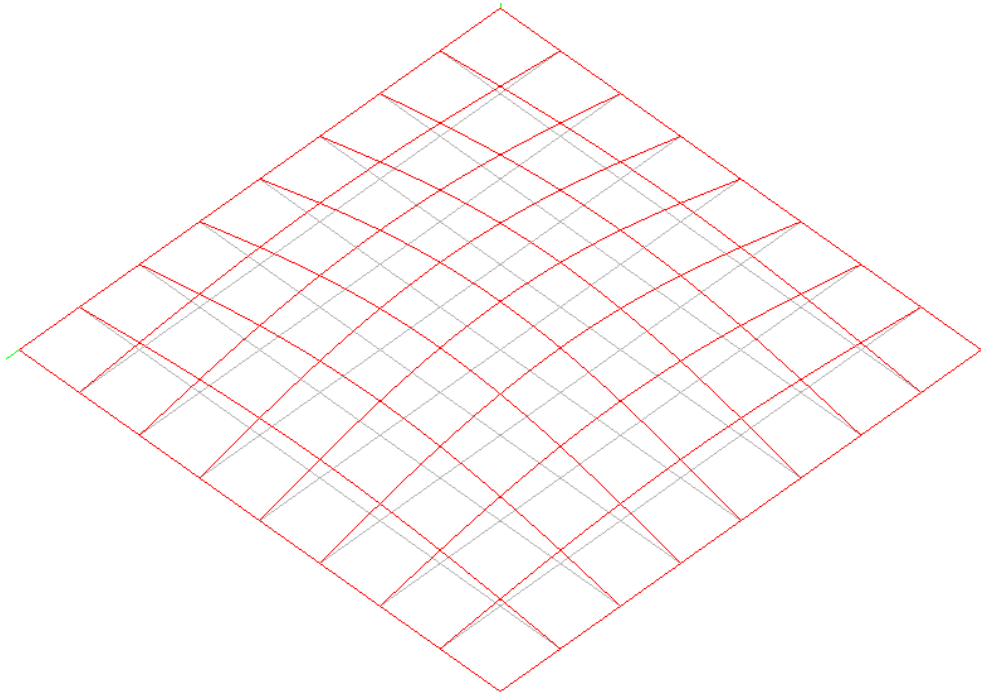
SD1: Autovalori di piastra quadrata appoggiata

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

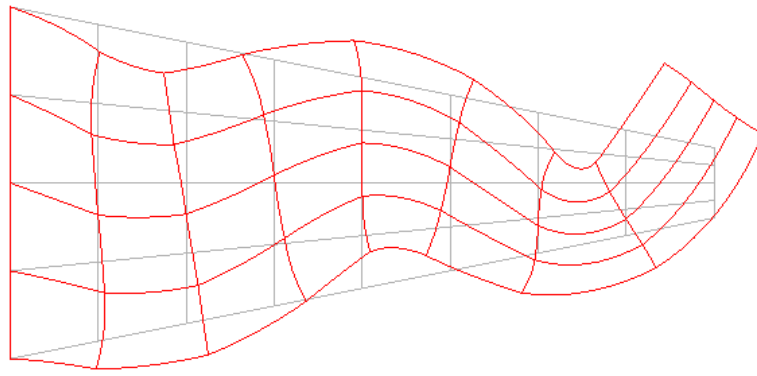
SD2: Autovalori di mensola rastremata

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%

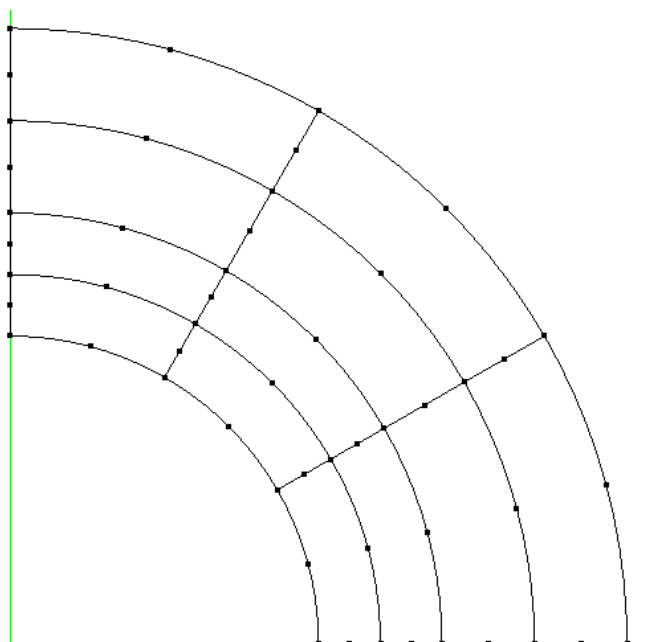
A. Elementi a deformazione piana e assialsimmetrici

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 di 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.

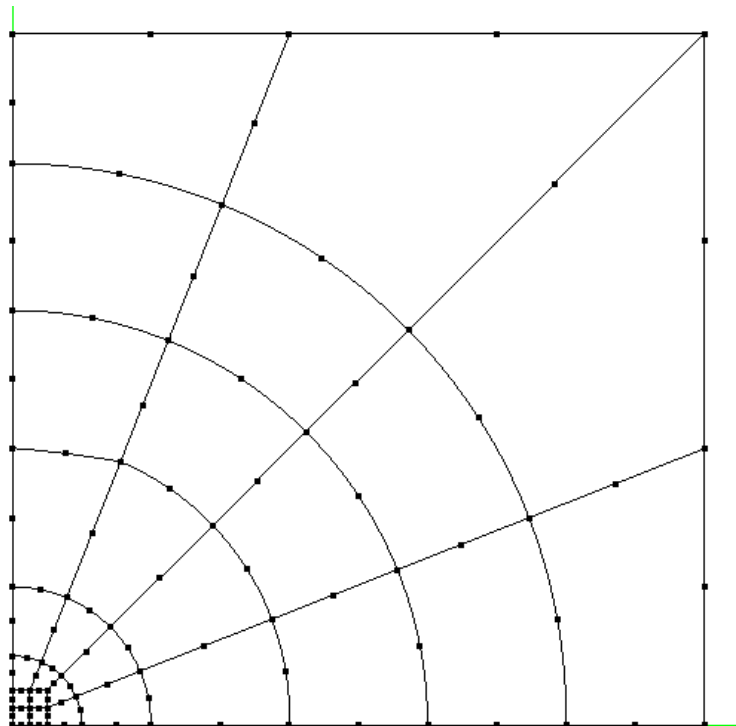
Riferimenti

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%.

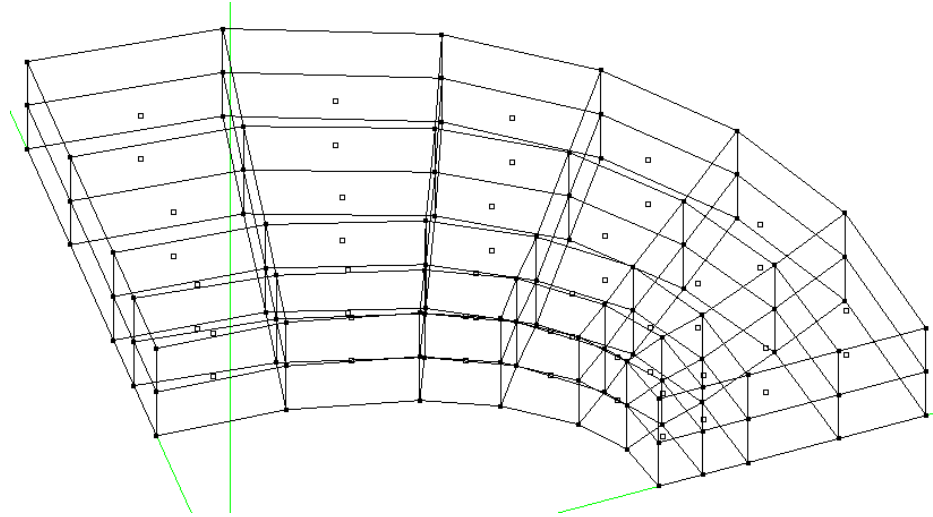
B. Elementi Brick

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, "Background to Benchmarks" pag 77

Nome del file di Nòlian: LE10.sap

Risultati

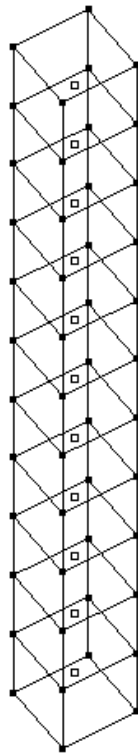
Come soluzione "target" NAFEMS considera il valore di sforzo s_{yy} nel vertice interno destro superiore, il nodo 105 del modello in Nòlian, fornendo il valore analitico e il valore ottenuto con un programma FEM di riferimento con una mesh 6x4x2 (la stessa impiegata in Nòlian).

Analitica (s_{yy})	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

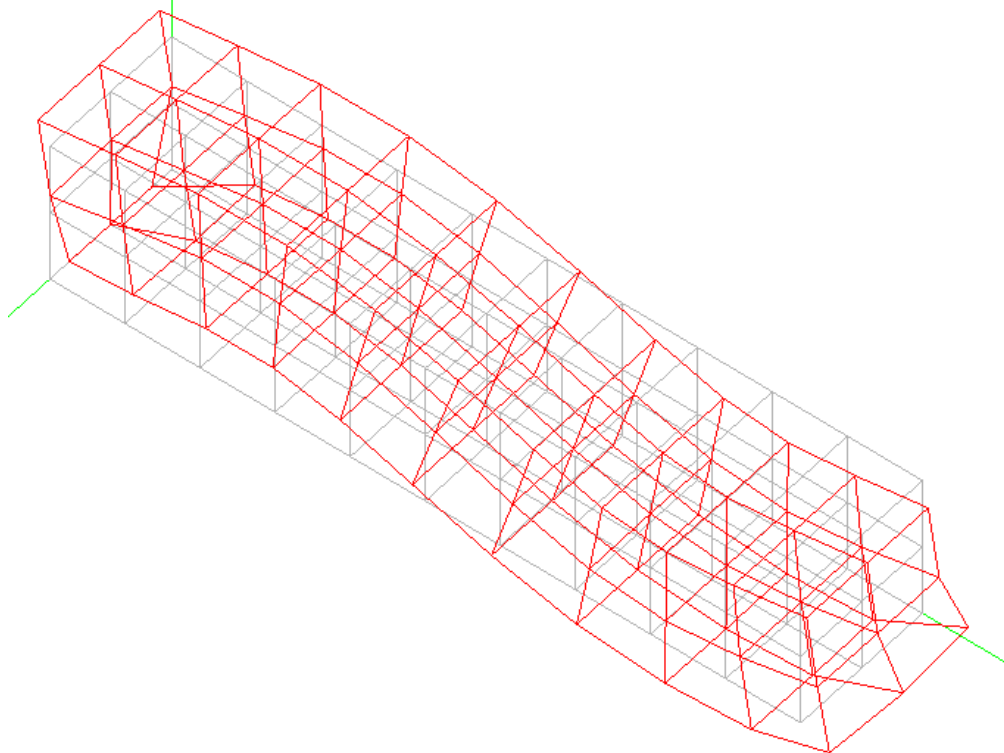
Vengono esattamente confermati i risultati analitici. I valori nulli sono inferiori a $1.0e-9$.

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%