

COMUNE DI MARUGGIO



CTP S.p.A. TRASPORTI PUBBLICI LOCALI



REALIZZAZIONE DI STRUTTURA OPERATIVA DEL CTP ALL'INTERNO DELL'AREA PIP DEL COMUNE DI MARUGGIO (TA)

PROGETTO ESECUTIVO

Progetto



Collaboratori

Dott. Ing. Giorgio Tonti
Dott. Ing. Maria Grazia Pupino
Dott. Ing. Enrico Conte

TITOLO

DICHIARAZIONE SECONDO N.T.C. 2008

SCALA

REV.

DATA

GIUGNO
2016

TAVOLA N.

DICH

TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI. *Questo documento è di proprietà dello Studio Associato ST.A.R.T. che su di esso si riserva ogni diritto. Pertanto questo documento non può essere copiato, scannerizzato, rielaborato, anche elettronicamente, riprodotto, comunicato o divulgato ad altri, o essere usato in qualsiasi maniera, nemmeno per fini non di lucro, senza autorizzazione scritta dello Studio Associato ST.A.R.T.*

Lavori: **NUOVA STRUTTURA OPERATIVA DEL C.T.P. S.p.A.
TRASPORTI PUBBLICI LOCALI, RICADENTE
NELL'AMBITO DEL P.I.P. DEL COMUNE
DI MARUGGIO**

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

- **PROGRAMMA WINSTRAND**
- **PROGRAMMA MAX 10.10 AZTEC**

PROGRAMMA WINSTRAND

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto ing. Stefano TOMASSI, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

La struttura viene discretizzata con vari tipi di elementi (pilastri, travi, travi di fondazione su suolo alla Winkler, elementi bidimensionali a quattro nodi e tre nodi del tipo normale e con comportamento alla Winkler).

L'analisi fornisce i risultati in termini di spostamenti. Dagli spostamenti si risale alle sollecitazioni nei vari elementi che costituiscono la struttura ed alle pressioni sul terreno.

Il calcolo viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo delle sollecitazioni sugli elementi strutturali (fondazione, travi, pilastri, elementi bidimensionali);
- Progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente o con l'analisi dinamica secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 14/01/2008.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	WINSTRAND
Versione	2011
Produttore	ENEXSYS s.r.l. – Casalecchio sul Reno
Licenza	9571 CNTPTR

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei

campi d'impiego. La società produttrice ENEXSYS s.r.l. ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche (v. esempi riportati di seguito).

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

TEST DI VALIDAZIONE DEL SOFTWARE

Documento relativo a: **Affidabilità del Codice di calcolo WinStrand.**

Ditta produttrice: **En.Ex.Sys.** s.r.l. - Via Tizzano 46/2 - Casalecchio di Reno (Bologna).

Campo di applicazione: analisi statica e dinamica di strutture in campo elastico lineare.

Il cap. 10 del Decreto del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 14 Gennaio 2008 fornisce le istruzioni relative alla **Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo**, cui il progettista delle strutture deve attenersi nella redazione degli elaborati progettuali.

Il punto 10.2 **Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo** specifica:

Qualora l'analisi strutturale e le relative verifiche siano condotte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, il progettista dovrà controllare l'affidabilità dei codici utilizzati e verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti, curando nel contempo che la presentazione dei risultati stessi sia tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità.

Nella fase di stesura della relazione di calcolo, utilizzando i tabulati provenienti da codici di calcolo, è demandato al progettista il compito di analisi preliminare della documentazione:

Il progettista dovrà esaminare preliminarmente la documentazione a corredo del software per valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, che sarà fornita dal produttore o dal distributore del software, dovrà contenere una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali dovranno essere forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

Il presente documento costituisce assieme alle stampe degli esempi documento di validazione dei software prodotti dalla En.Ex.sys srl.

Benchmark

Il controllo della affidabilità delle analisi numeriche è stato condotto su una serie di esempi di letteratura la cui soluzione sia esprimibile in forma chiusa, allo scopo di verificare l'affidabilità del software.

Gli esempi condotti, corredati della fonte di riferimento, dei risultati numerici e dei file dati permettono la riproduzione integrale degli stessi da parte degli utenti.

1. Frequenze naturali di vibrazione di una trave appoggiata
2. Frequenze naturali di vibrazione di una trave a mensola
3. Frequenza naturale di vibrazione di un oscillatore semplice
4. Trave piana con estremi incastrati
5. Sistema piano di aste sospese
6. Stato tensionale di una trave inflessa
7. Stato tensionale di una trave inflessa
8. Sistema piano di aste sospese
9. Trave a mensola soggetta a momento torcente concentrato
10. Telaio piano
11. Trave reticolare piana
12. Controllo dell'analisi condotta considerando il comportamento monolatero degli elementi biella - trave
13. Aste piane e carico termico
14. Flessione in una piastra circolare

Test 001 - Frequenze naturali di vibrazione di una trave appoggiata

Fonte: Ray, W. Clough, Joseph Penzien - **Dynamics of Structures**; Mc Graw-Hill Book Company, cap. 18

Tipi di analisi: dinamica modale

Descrizione schema statico: trave a sezione costante isostaticamente vincolata con due appoggi semplici soggetta al solo peso proprio.

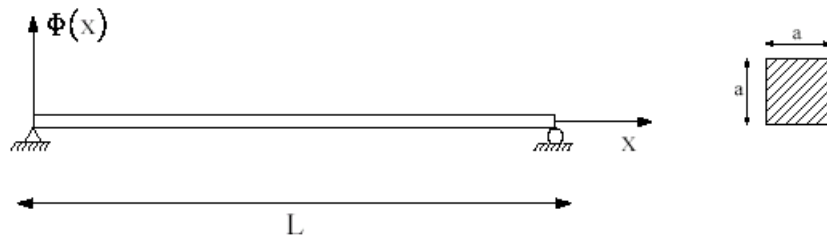


Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: determinare i primi tre modi di vibrare.

Dati:

E = 2100000 [Kg/cm²]

a = 30 [cm]

L = 10 [m]

Pp = 706.5 [Kg/m]

Modello: La trave reale viene modellata con 20 elementi finiti di uguale lunghezza. I nodi di estremità vengono vincolati in modo da lasciare libera solo la rotazione Y. Per tutti i nodi restanti si lascia libera la rotazione Y e le traslazioni nel piano XZ.

File dati: Test 001

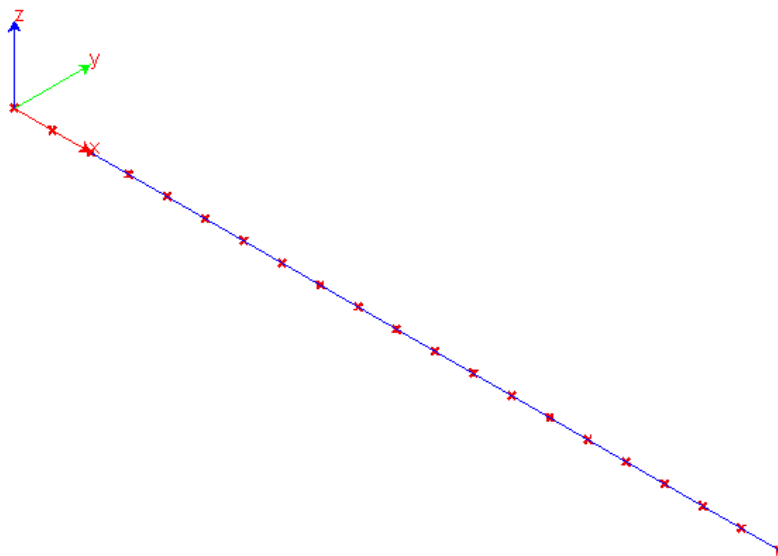


Fig. 2 Modello

Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
ω_1 [rad/s]	43.79	43.74	0.999
ω_2 [rad/s]	175.16	174.34	0.995
ω_3 [rad/s]	394.11	389.96	0.990

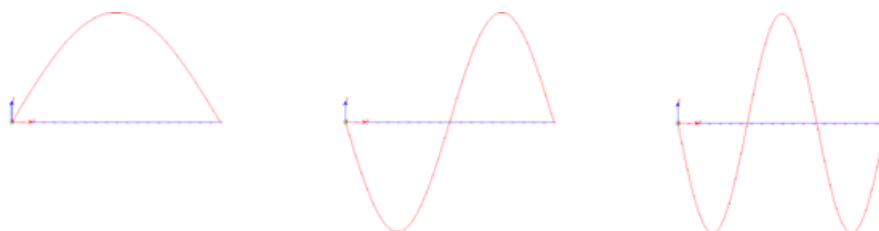


Fig. 3 Prime tre forme modali

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

EnExSys InForma Supporto Tecnico

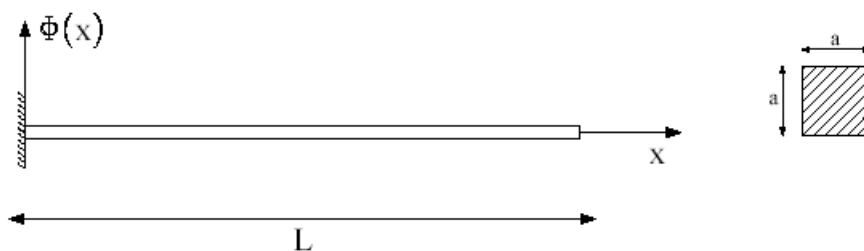
Ultima Revisione: Giovedì 09 Novembre, 2006**Test 002 - Frequenze naturali di vibrazione di una trave a mensola****Fonte:** Ray, W. Clough, Joseph Penzien - **Dynamics of Structures**; Mc Graw-Hill Book Company, cap. 1**Tipi di analisi:** dinamica modale**Descrizione schema statico:** trave a sezione costante con un estremo incastrato e l'altro libero soggetta al solo peso proprio.

Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: determinare i primi tre modi di vibrare.**Dati:****E** = 2100000 [Kg/cm²]**a** = 30 [cm]**L** = 10 [m]**Pp** = 706.5 [Kg/m]

Modello: La trave reale viene modellata con 20 elementi finiti di uguale lunghezza. Il primo nodo di estremità viene vincolato completamente in modo da bloccare tutti i gradi di libertà. Per tutti i nodi restanti si lascia libera la rotazione Y e le traslazioni nel piano XZ.

File dati: Test 002

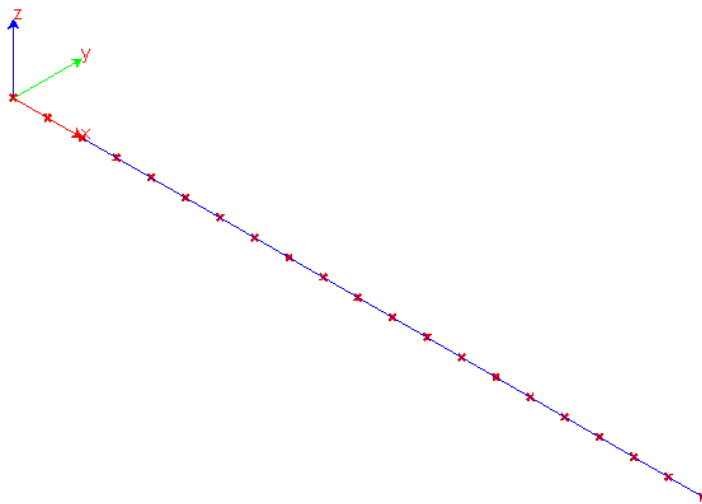


Fig. 2 Modello

Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
ω_1 [rad/s]	15.60	15.57	0.998
ω_2 [rad/s]	97.76	97.00	0.992
ω_3 [rad/s]	273.76	269.52	0.985

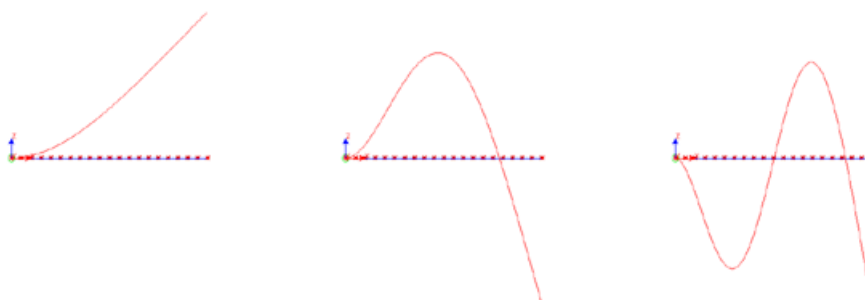


Fig. 3 Prime tre forme modali

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

EnExSys InForma Supporto Tecnico

Ultima Revisione: Giovedì 09 Novembre, 2006

Test 003 - Frequenza naturale di vibrazione di un oscillatore semplice

Fonte: W. T. Thomson - **Vibrazioni Meccaniche Teoria ed applicazioni**; Tamburini editore Milano

Tipi di analisi: dinamica modale

Descrizione schema statico: sistema dinamico ad un solo grado di libertà formato da una molla con un estremo vincolato connessa nell'altro estremo ad una massa. La molla è considerata priva di massa e con rigidità K .

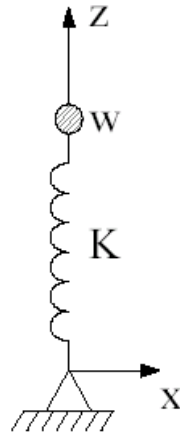


Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: determinare il periodo proprio del sistema.

Dati:

$K = 857.18$ [Kg/m]

$w = 1.13$ [Kg] (2.5 [lb])

$g = 9.81$ [m/sec²]

Modello: Per simulare la molla si è impiegato un elemento pilastro (in direzione Z) con rigidità assiale EA/L pari a quella della molla. La lunghezza L della molla è arbitraria. Il primo nodo di estremità viene vincolato completamente in modo da bloccare tutti i gradi di libertà. L'estremo opposto ha un solo grado di libertà libero nella direzione di traslazione Z . La massa è modellata con una forza concentrata P_z in testa al pilastro pari a w .

File dati: Test 003

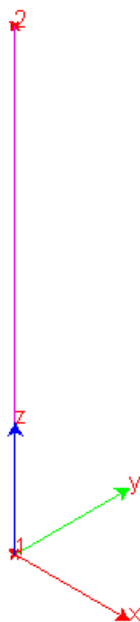


Fig. 2 Modello

Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
ω_1 [rad/s]	86.085	86.120	1.0000

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

EnExSys InForma Supporto Tecnico

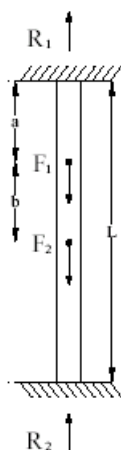
Ultima Revisione: Giovedì 09 Novembre, 2006**Test 004 - Trave piana con estremi incastrati****Fonte:** Timoshenko - **Strength of Material, Part I, Elementary Theory and Problems**, pag. 26, problem 10**Tipi di analisi:** statica lineare**Descrizione schema statico:** asta prismatica di sezione costante incastrata agli estremi e soggetta alle azioni assiali F_1 ed F_2 in corrispondenza di due sezioni intermedie.

Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: determinare le reazioni vincolari R_1 ed R_2 trascurando il peso delle aste.

Dati:

$$E = 2068428 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$L = 24.5 \text{ [m]}$$

$$a = b = 0.3 L = 7.62 \text{ [m]}$$

$$A = 100 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$F_1 = 2.0 \text{ [t]}$$

$$F_2 = 0.45349 \text{ [t]}$$

Modello: I nodi vengono inseriti in corrispondenza delle estremità vincolate e dei due punti di applicazione delle forze F_1 ed F_2 .

File dati: Test 004

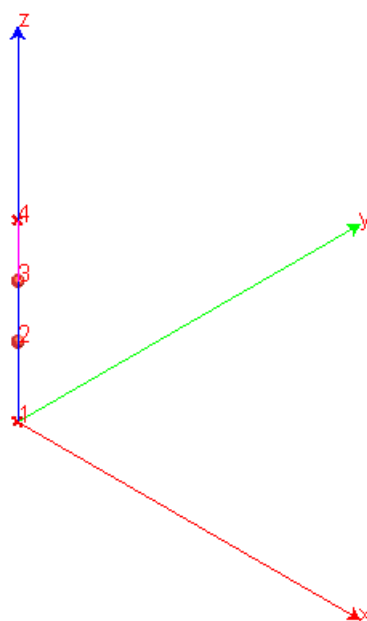


Fig. 2 Modello

Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
R_1 [Kg]	408.23	408.23	1.000
R_2 [Kg]	272.15	272.15	1.000

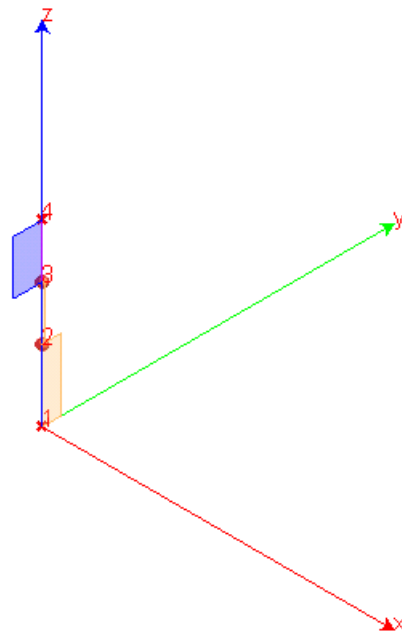


Fig. 3 Diagramma sforzo normale nelle aste: asta 1-2 compressa, asta 3-4 tesa

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

EnExSys InForma Supporto Tecnico

Ultima Revisione: Giovedì 09 Novembre, 2006

Test 005 - Sistema piano di aste sospese

Fonte: Timoshenko - **Strength of Material, Part I, Elementary Theory and Problems**, pag. 10, problem 2

Tipi di analisi: statica lineare

Descrizione schema statico: struttura simmetrica costituita da due aste inclinate connesse sull'asse di simmetria e vincolate sulle due estremità rimanenti (vedi Fig. 1). Le aste sono di acciaio con lunghezza L e sezione trasversale pari ad A . Il carico concentrato F agisce sulla sezione di simmetria.

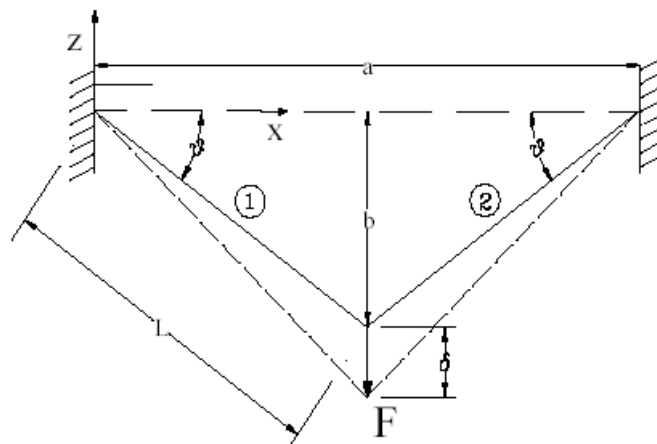


Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: determinare il valore della tensione σ in ciascuna delle aste e lo spostamento δ della sezione di simmetria trascurando il peso delle aste.

Dati:**E** = 2068428 [Kg/cm²]**L** = 457.20 [cm]**θ** = 30 [°]**A** = 3.23 [cm²]**F** = 2267 [kg]

Modello: La distanza tra i nodi di estremità è calcolata pari ad $a = 2L \cos \theta$. La freccia con cui posizionare il nodo intermedio vale $b = L \sin \theta$.

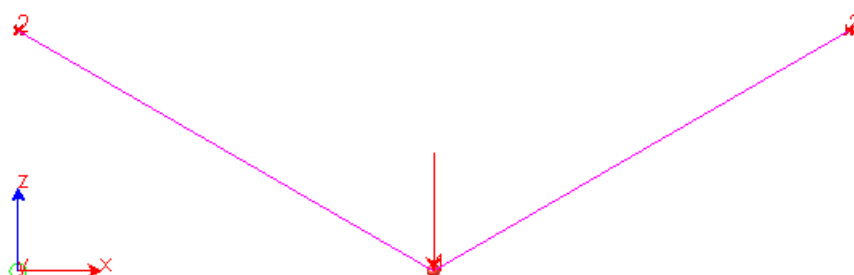
File dati: Test 005

Fig. 2 Modello

Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
σ [Kg/cm ²]	689.5	701.86	1.018
δ [mm]	3.048	3.103	1.018

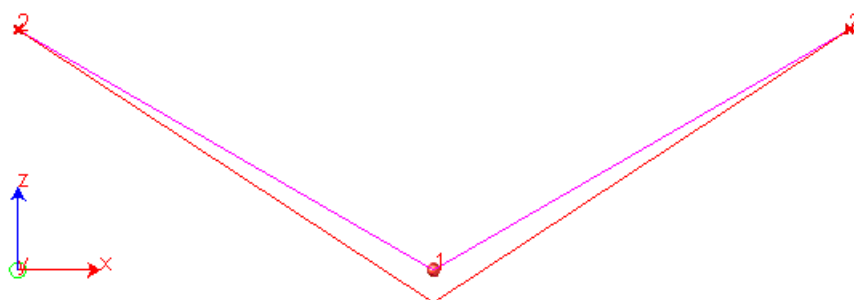


Fig. 3 Deformata

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

EnExSys InForma Supporto Tecnico

Ultima Revisione: Giovedì 09 Novembre, 2006

Test 006 - Stato tensionale di una trave inflessa

Fonte: Timoshenko - **Strength of Material, Part I, Elementary Theory and Problems**, pag. 98, problem 4

Tipi di analisi: statica lineare

Descrizione schema statico: trave isostatica di luce L con due sbalzi di luce a soggetti al carico distribuito di intensità w . La trave ha sezione a doppio T con sezione trasversale pari ad A .

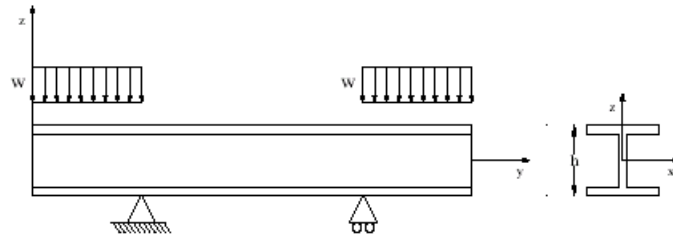


Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: determinare nella sezione di mezzeria il valore della tensione σ_{\max} e dello spostamento verticale δ trascurando il peso delle aste.

Dati:

$E = 2068428 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

$L = 609.6 \text{ [cm]}$

$a = 304.8 \text{ [cm]}$

$h = 76.2 \text{ [cm]}$

$A = 326.77 \text{ [cm}^2\text{]}$

$J = 328488 \text{ [cm}^4\text{]}$

$w = 14.88 \text{ [t/m]}$

Modello: I due nodi di estremità e quello in posizione mediana sono liberi. Il primo nodo nella posizione del primo vincolo ha un solo grado di libertà libero (rotazione Y) mentre il nodo in corrispondenza del secondo vincolo ha due gradi di libertà (rotazione Y e traslazione X).

File dati: Test 006



Fig. 2 Modello

Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
σ [cm ²]	786	802	1.020
δ [mm]	4.620	4.725	1.023

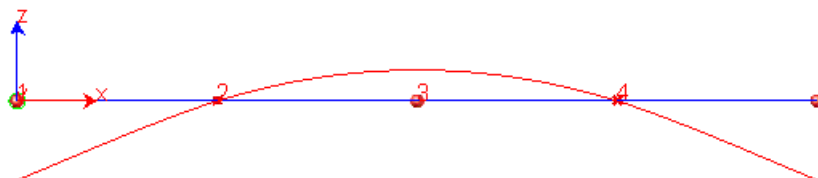


Fig. 3 Deformata

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

EnExSys InForma Supporto Tecnico

Ultima Revisione: Giovedì 09 Novembre, 2006**Test 007 - Stato tensionale di una trave inflessa****Fonte:** Cremonesi - **Manuale Ingegneria Civile**, ESAC, SEZ. I, pag. 82**Tipi di analisi:** statica lineare

Descrizione schema statico: trave con incastro sul primo estremo e carrello sull'estremo opposto. La trave con sezione trasversale circolare con diametro d e luce L è soggetta al carico uniformemente distribuito q su tutta la campata.

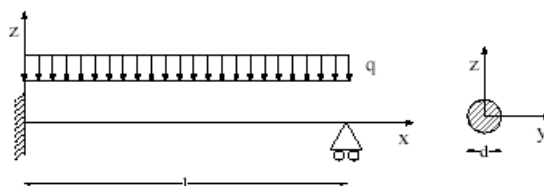


Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: determinare nella sezione incastrata il valore del momento flettente M_a e nella sezione opposta il valore del taglio V_b . Si trascura il peso delle aste.

Dati:**E** = 2068428 [Kg/cm²]**L** = 50.8 [cm]**d** = 3.81 [cm]**q** = 1.784 [t/m]

Modello: La trave viene modellata con due aste in serie. Il nodo sulla prima estremità viene incastrato (zero gradi di libertà), quello in posizione mediana è totalmente libero, il nodo sull'estremità opposta ha due gradi di libertà liberi (rotazione Y e traslazione X).

File dati: Test 007

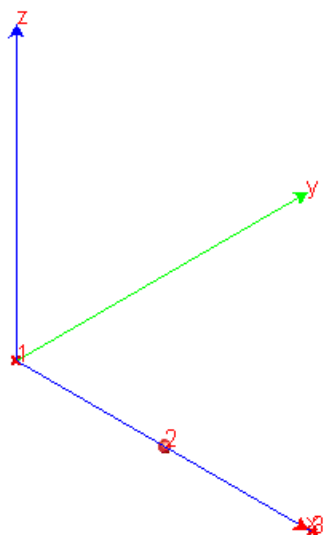


Fig. 2 Modello

Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
Ma [tm]	0.057	0.057	1.000
Vb [Kg]	340.19	340.17	1.000

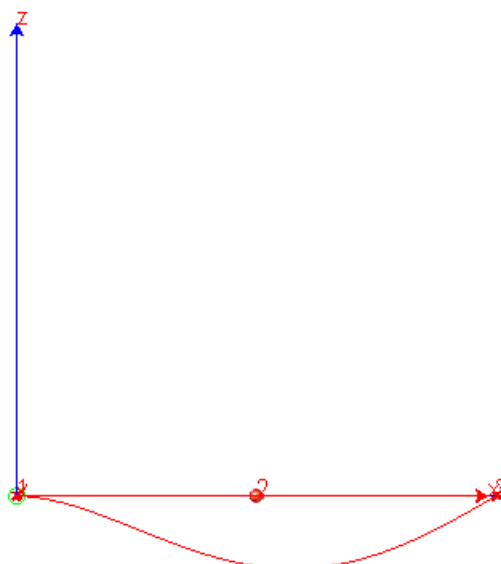


Fig. 3 Deformata

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

EnExSys InForma Supporto Tecnico

Ultima Revisione: Giovedì 09 Novembre, 2006

Test 008 - Sistema piano di aste sospese

Fonte: W. Nash, **Strength of Material**, pag. 28, prob. 2.3

Tipi di analisi: statica lineare

Descrizione schema statico: una barra orizzontale infinitamente rigida, caricata con due forze concentrate F , è sospesa in tre punti con le aste verticali descritte in Fig. 1. Le due aste più esterne sono in acciaio mentre quella intermedia è in rame. Nel punto di sospensione le tre aste sono incastrate.

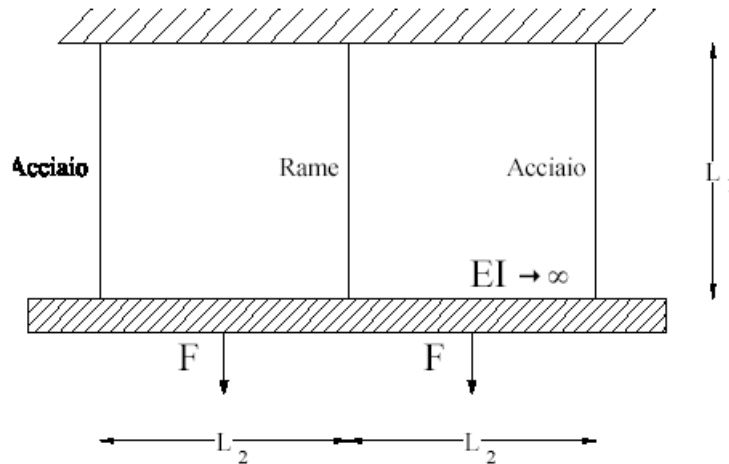


Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: determinare lo sforzo assiale in ciascuna delle tre aste. Si trascura il peso delle aste.

Dati:

E.acc = 2068428 [Kg/cm²]

E.rame = 1172110 [Kg/cm²]

L1 = 213.36 [cm]

L2 = 304.80 [cm]

A.acc = 3.2258 [cm²]

A.rame = 9.6774 [cm²]

F = 5.44 [t]

Modello: Il sistema simmetrico è descritto con 8 nodi di cui 3 nei punti di sospensione delle aste verticali, 3 nelle intersezioni delle aste verticali con la barra orizzontale e 2 nei punti di applicazione dei carichi F . Tra i suddetti nodi si connettono 7 aste con le relative caratteristiche. I tre nodi di sospensione sono completamente vincolati (zero gradi di libertà). Tutti gli altri nodi possono spostarsi nel piano X-Z e ruotare intorno ad Y. La barra infinitamente rigida è simulata assegnando un modulo elastico di quattro ordini di grandezza maggiore rispetto agli altri.

File dati: Test 008

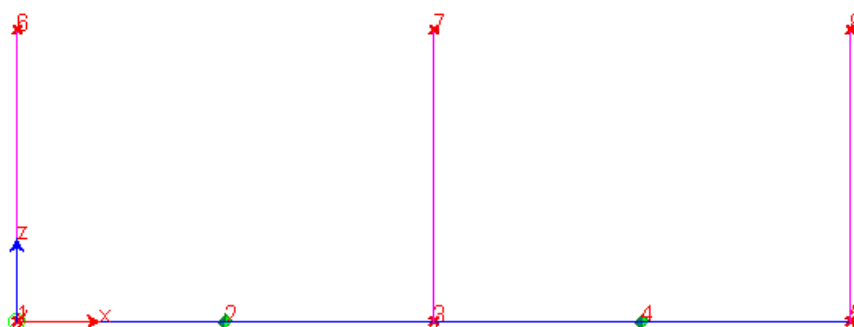


Fig. 2 Modello

Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
R6=R8 [t]	2.94	2.99	1.017
R7 [t]	4.98	4.90	0.984

R5, R6 ed R7 sono le reazioni verticali nei rispettivi nodi. Tali valori eguagliano gli sforzi normali nelle corrispondenti aste.

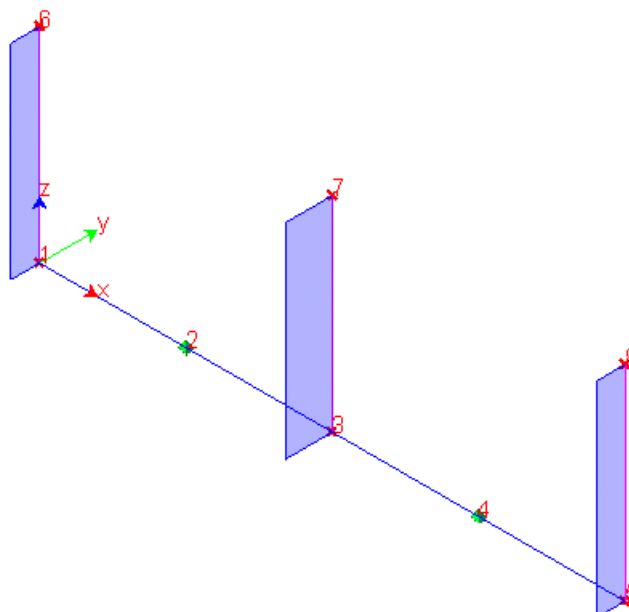


Fig. 3 Diagrammi degli sforzi normali

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

EnExSys InForma Supporto Tecnico

Ultima Revisione: Giovedì 09 Novembre, 2006

Test 009 - Trave a mensola soggetta a momento torcente concentrato

Fonte: NAFEMS, **Background to Benchmarks**, 1993, test LE5

Tipi di analisi: statica lineare

Descrizione schema statico: trave con incastro sul primo estremo e libera sull'estremo opposto. La trave con sezione trasversale a Z di spessore t e luce L è soggetta in corrispondenza della sezione sull'estremità libera ad una coppia torcente generata dalla presenza di due forze di taglio S concentrate sulle ali.

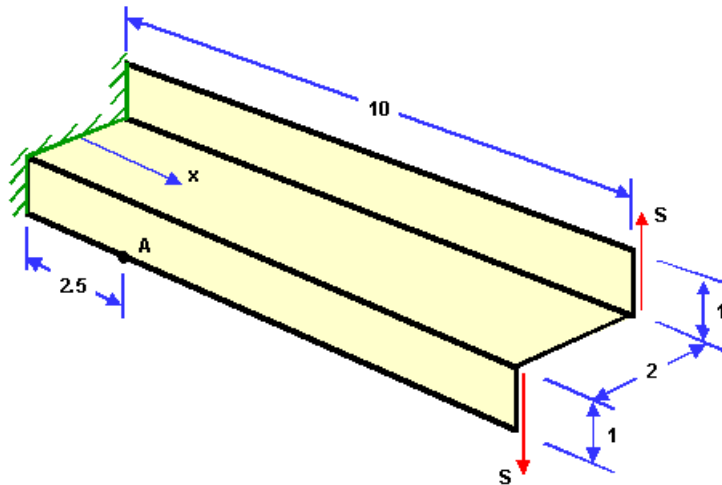


Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: determinare nel punto A la tensione normale σ_x nella sezione trasversale condotta in $x=2,5$ m dall'incastro. Si trascura il peso della trave.

Dati:

$E = 2100000$ [Kg/cm²]

$\nu = 0.3$

$L = 10$ [m]

$t = 0.1$ [m]

$S = 0.6$ [MN]

Modello: La trave viene modellata con una mesh uniforme di 24 elementi piani connessi a 36 nodi. I nodi per $x=0$ sono tutti incastrati (zero gradi di libertà) mentre i rimanenti risultano totalmente liberi.

File dati: Test 009

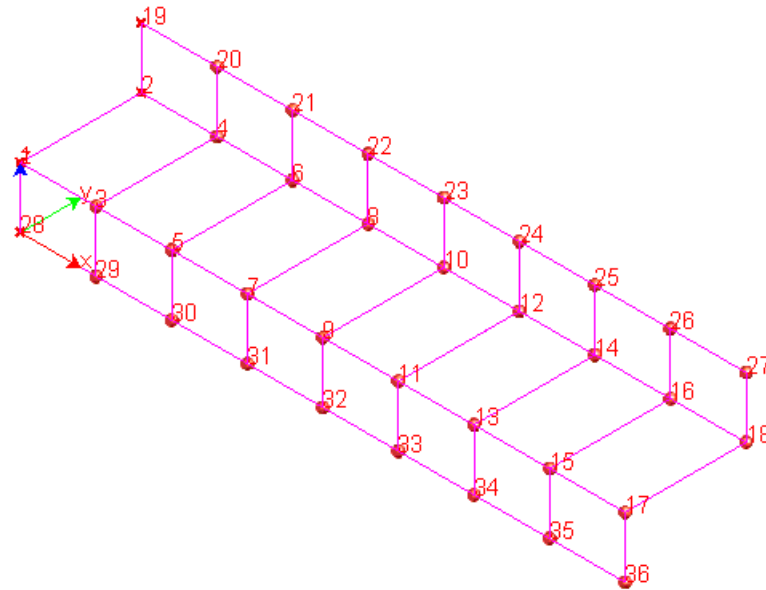


Fig. 2 Modello

Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
σ_x [MPa]	107.9	103.8	0.962

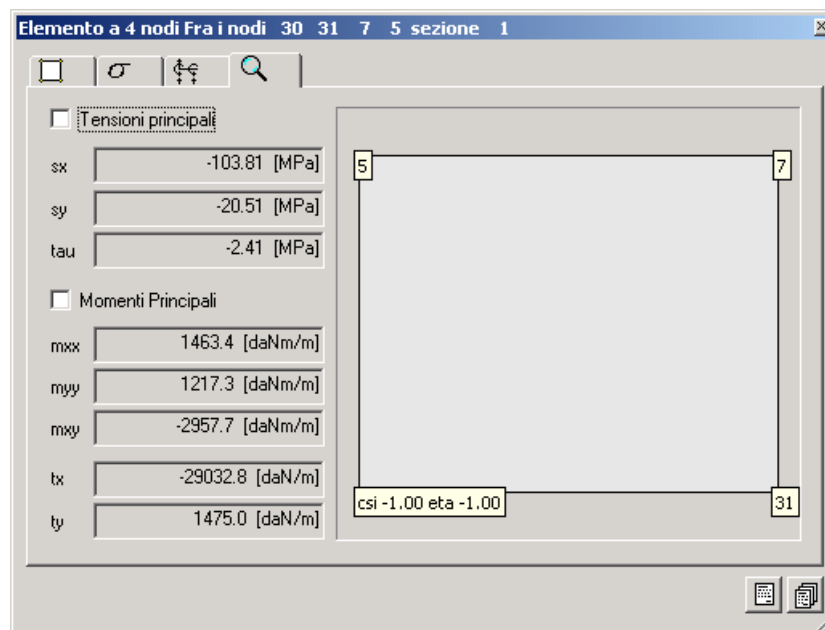


Fig. 3 Il valore puntuale nel nodo 30

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

EnExSys InForma Supporto Tecnico

Ultima Revisione: Giovedì 09 Novembre, 2006

Test 010 - Telaio piano

Fonte: Timoshenko, **Strength of Material**, Part I, Elementary Theory and Problems, pag. 188

Tipi di analisi: statica lineare

Descrizione schema statico: Portale incastrato alla base dei ritti e caricato nella mezzeria del traverso con un carico concentrato P. Lo schema è staticamente indeterminato.

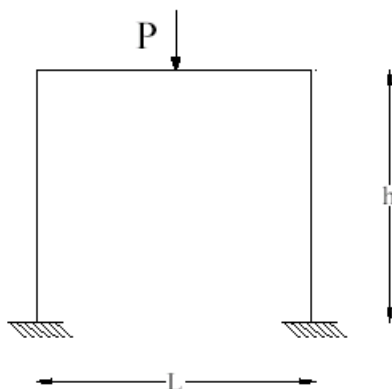


Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: determinare le reazioni verticali alla base dei ritti. Si trascura il peso delle aste.

Dati:

E = 2068428 [Kg/cm²]

L = 3.04 [m]

h = 2.54 [m]

A.rit = 25.80 [cm²]

A.trav = 51.61 [cm²]

P = 0.45 [t]

Modello: I due nodi alla base del portale vengono vincolati in modo da lasciare libera solo la rotazione Z. I nodi rimanenti sono completamente liberi. Il carico P viene applicato al nodo inserito in mezzeria del traverso.

File dati: Test 010

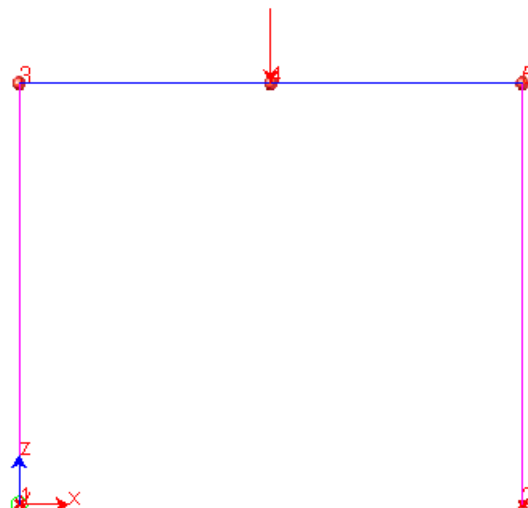


Fig. 2 Modello

Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
$R1 = R2$ [t]	0.225	0.225	1.000

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

EnExSys InForma Supporto Tecnico

Ultima Revisione: Giovedì 09 Novembre, 2006

Test 011 - Trave reticolare piana

Fonte: Timoshenko, **Strength of Material, Part I, Elementary Theory and Problems**, pag. 188

Tipi di analisi: statica lineare

Descrizione schema statico: La trave reticolare piana è formata da 9 aste di legno ed è vincolata esternamente con una cerniera ed un carrello. I vincoli interni tra le aste sono cerniere. La struttura è soggetta ai carichi esterni P_z e P_x .

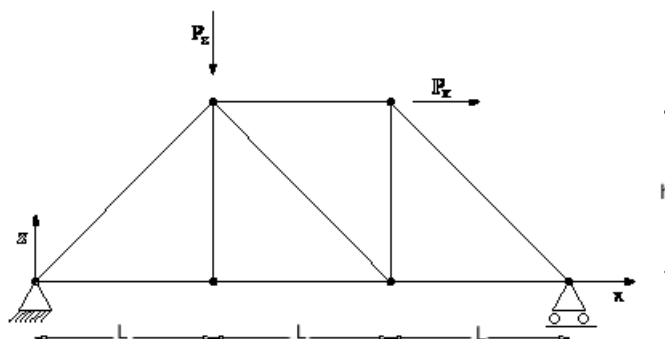


Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: determinare gli spostamenti nodali associati alla configurazione di carico assegnata. Si trascura il peso delle aste.

Dati:**E** = 141900 [Kg/cm²]**L** = 6.096 [m]**h** = 4.572 [m]**A** = 929.03 [cm²]**P_x** = 8.90 [t]**P_z** = 4.45 [t]

Modello: Il nodo 1 ha un solo grado di libertà libero (rotazione Y). Il nodo 4 ha due gradi di libertà liberi (rotazione Y e traslazione X). I nodi rimanenti sono vincolati a spostarsi nel piano X-Z (U_x, U_z, R_y liberi).

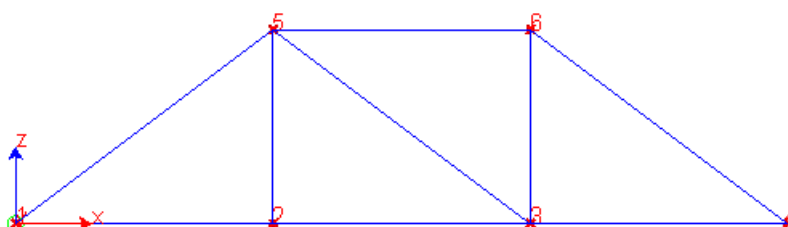
File dati: Test 011

Fig. 2 Modello

Analisi dei risultati:

U _x nodo	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
1 [mm]	0.00	0.00	1.000
2 [mm]	0.45	0.46	1.022
3 [mm]	0.90	0.91	1.011
4 [mm]	1.12	1.14	1.018
5 [mm]	0.91	0.92	1.011
6 [mm]	1.09	1.11	1.018

Tab. 1 Spostamenti U_x

U _z nodo	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
1 [mm]	0.00	0.00	1.000
2 [mm]	-1.33	-1.35	1.015
3 [mm]	-0.76	-0.77	1.013
4 [mm]	0.00	0.00	1.000
5 [mm]	-1.33	-1.35	1.015
6 [mm]	-0.63	-0.64	1.016

Tab. 2 Spostamenti U_z

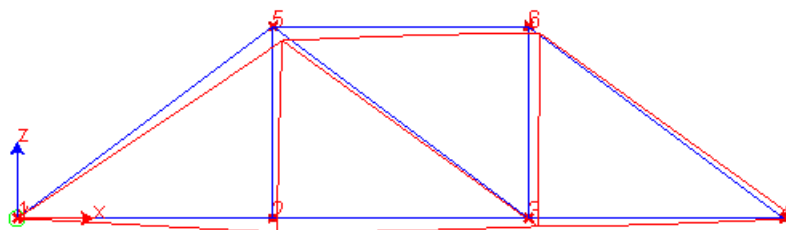


Fig. 3 Deformata

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

EnExSys InForma Supporto Tecnico

Ultima Revisione: Giovedì 09 Novembre, 2006

Test 012 - Controllo dell'analisi condotta considerando il comportamento monolatero degli elementi biella - trave

Fonte: Test interno EnExSys

Tipi di analisi: statica non lineare (effetti dovuti al comportamento monolatero delle aste)

Descrizione schema statico: Trave reticolare tipo Monier vincolata isostaticamente esternamente e soggetta a 10 kN per ogni nodo del corrente superiore.

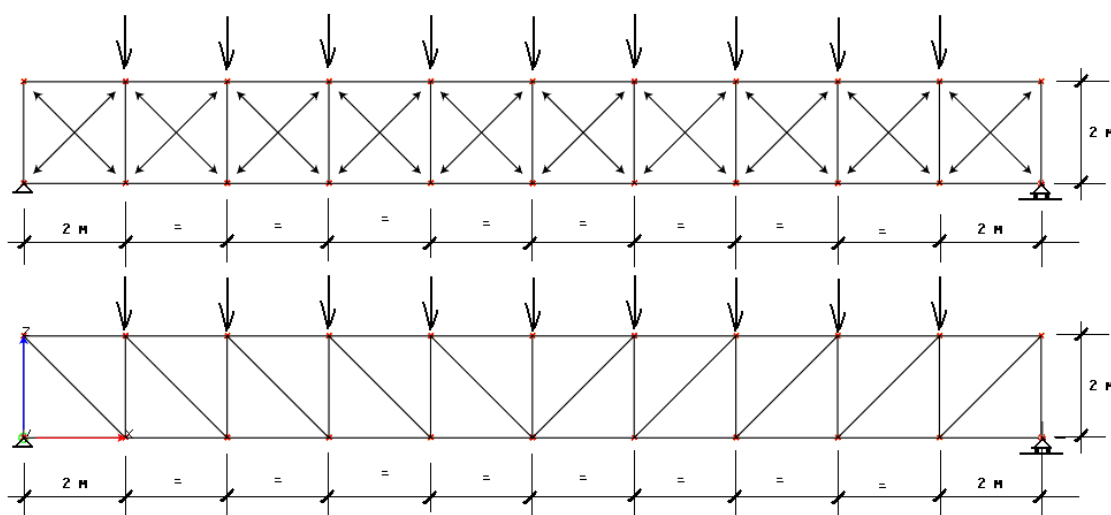


Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: Confrontare i risultati ottenuti nei due schemi statici: controllare che i risultati ottenuti in una struttura staticamente determinata ed in una iperstatica coincidano.

Dati:

$E = 2100000 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

Area correnti estradosso = 45.33 [cm²]

Area correnti intradosso = 45.33 [cm²]

Area diagonali = 38.85 [cm²]

Area montanti = 38.85 [cm²]

Carico nodali applicato = 10 [kN] nodo per un totale di 90 [kN]

Modello: La trave reale viene modellata con elementi finiti tipo biella. Le travi sono vincolate a muoversi nel piano x-z globale e sono esternamente isostatiche (nodo in basso a sinistra vincolato alla traslazione globalmente e nodo in basso a destra libero di spostarsi solo in direzione X).

File dati: Test 012

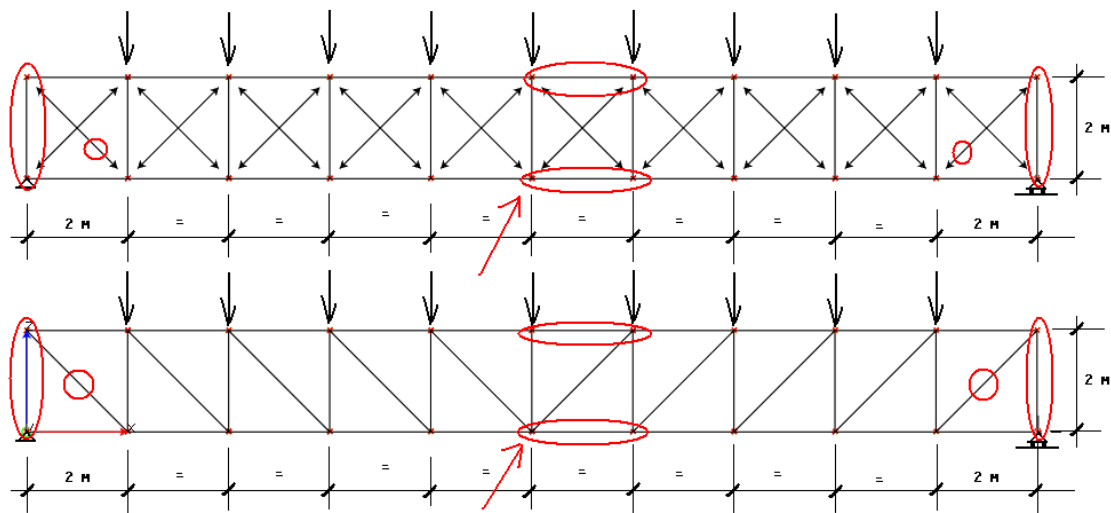


Fig. 2 Modello

Analisi dei risultati:

Soluzione teorica (semplice modello isostatico):

Reazione vincolare, sforzo nel primo montante: $(9 \times 10 \text{ kN} / 2) = 45 \text{ [kN]}$

Sforzo assiale in un corrente in mezzzeria: $(10 \times 45 - 8 \times 10 - 6 \times 10 - 4 \times 10 - 2 \times 10) / 2 = 125 \text{ [kN]}$

Sforzo nel primo diagonale: $45 / \cos(45^\circ) = 63.639 \text{ [kN]}$

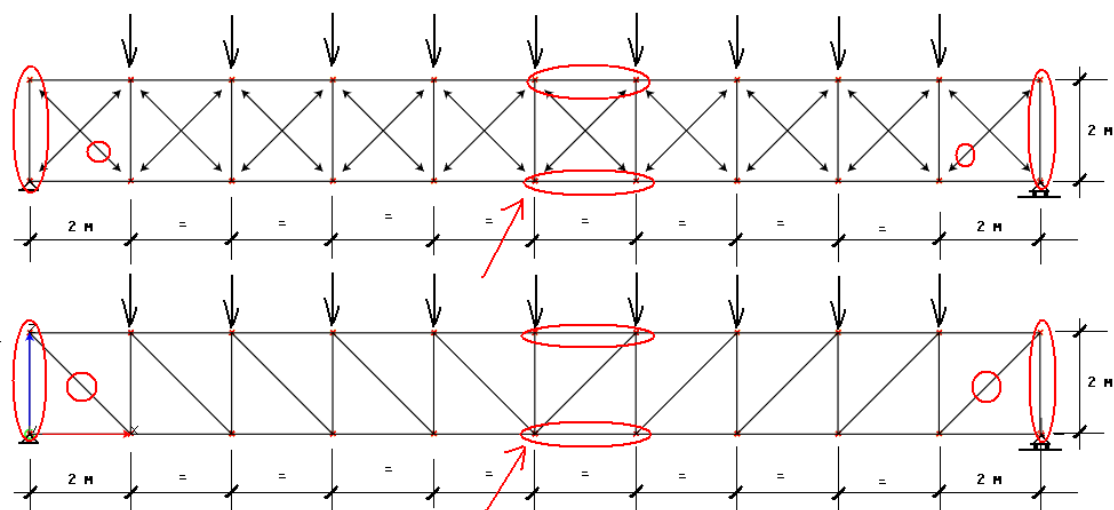


Fig. 3 Aste oggetto del confronto

Sforzo assiale	Soluzione teorica	WinStrand Modello Isostatico	WinStrand Modello Iperstatico	rapporto
Nell'asta centrale del corrente superiore [kN]	125	125	125	1
Nell'asta centrale del corrente inferiore [kN]	125	125	125	1
Nel primo montante a sinistra [kN]	45	45	45	1
Nel primo montante a destra [kN]	45	45	45	1
Nel primo diagonale a sinistra [kN]	63.639	63.639	63.639	1
Nel primo diagonale a destra [kN]	63.639	63.639	63.639	1
Spostamento del nodo centrale [mm]	-6.786	-6.786	-6.786	1

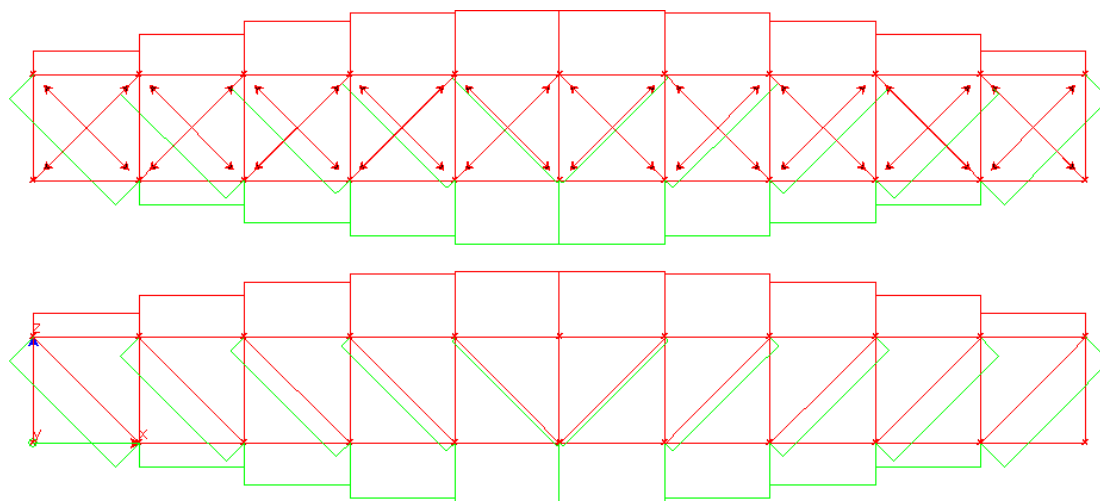


Fig. 4 Diagramma dello sforzo assiale

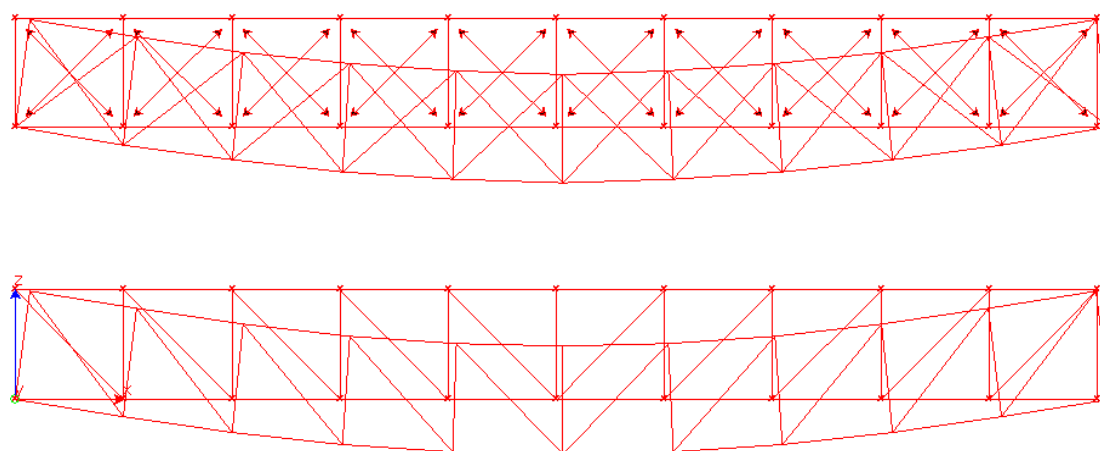


Fig. 5 Deformata

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

EnExSys InForma Supporto Tecnico

Ultima Revisione: Giovedì 09 Novembre, 2006

Test 013 - Aste piane e carico termico

Fonte: R. D. Cook, D. S. Malkus, M.E. Plesha, **Concepts and applications of finite element analysis**, III ed., J. Wiley & Sons, pag. 57

Tipi di analisi: statica lineare

Descrizione schema statico: Tre aste uguali in serie formano un sistema incastrato alle estremità con luce pari a $3L$. Solo le prime due aste sono soggette ad una variazione termica uniforme DT .

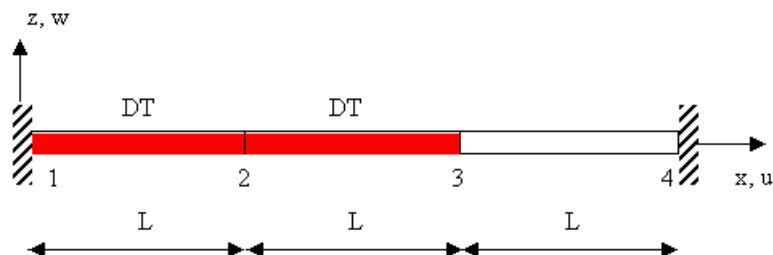


Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: determinare lo spostamento orizzontale della sezione 3 e lo sforzo assiale N_{12} , N_{23} , N_{34} in ciascuna delle tre aste.

Dati:

$E = 2100000$ [Kg/cm²]

$\nu = 0.33$

$L = 100$ [cm]

$A = 25$ [cm²]

$\alpha = 0.000012$ [1/°C]

$\Delta T = 833.333$ [°C]

Modello: I nodi 1 e 4 sono incastrati (zero gradi di libertà) mentre gli altri intermedi risultano totalmente liberi. Il carico termico è applicato alle aste 1-2 e 2-3.

File dati: Test 013

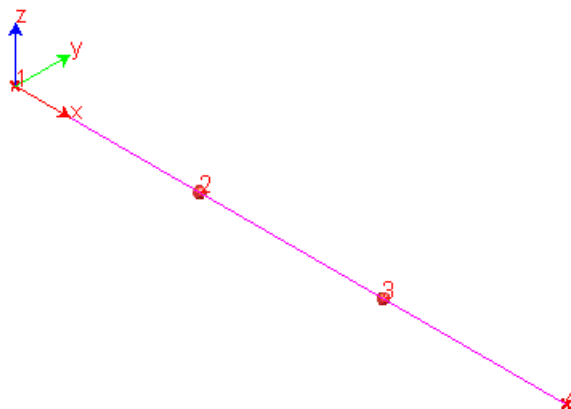


Fig. 2 Modello

Analisi dei risultati:

Sforzo assiale	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
u_3 [cm]	2/3	0.67	1.000
N_{12} , N_{23} , N_{34} [t]	350.0	350.0	1.000



Fig. 3 Diagramma sforzo normale nelle aste.

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

EnExSys InForma Supporto Tecnico

Ultima Revisione: Giovedì 09 Novembre, 2006

Test 014 - Flessione in una piastra circolare

Fonte: Cremonesi - **Manuale Ingegneria Civile**, ESAC, SEZ. II, pag. 114

Tipi di analisi: statica lineare

Descrizione schema statico: Piastra circolare sottile di raggio **a** e spessore **t** soggetta a diverse condizioni di vincolo sul contorno e di carico.

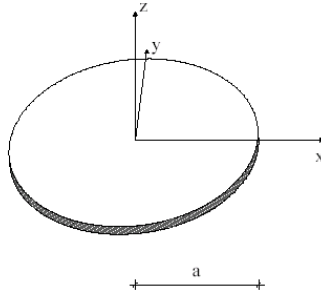


Fig. 1 Schema statico

Obiettivo: determinare l'abbassamento **w** del centro della piastra, trascurando il peso della piastra, nei seguenti casi:

- carico uniformemente distribuito q_0 su tutta la piastra e contorno incastrato;
- carico concentrato P applicato nel centro della piastra e contorno incastrato;
- carico uniformemente distribuito q_0 su tutta la piastra e contorno appoggiato.

Dati:

E = 2100000 [Kg/cm²]

ν = 0.3

a = 1.50 [m]

t = 3 [cm]

q_0 = 10 [t/m²]

P = 2 [t]

Modello: La piastra viene modellata nei tre casi sempre nello stesso modo e cioè con una mesh di elementi piani a 4 nodi. Nella direzione radiale sono presenti 8 intervalli mentre lungo il perimetro sono presenti 20 intervalli per un totale di 150 elementi finiti.

File dati: Test 014 A, Test 014 B, Test 014 C

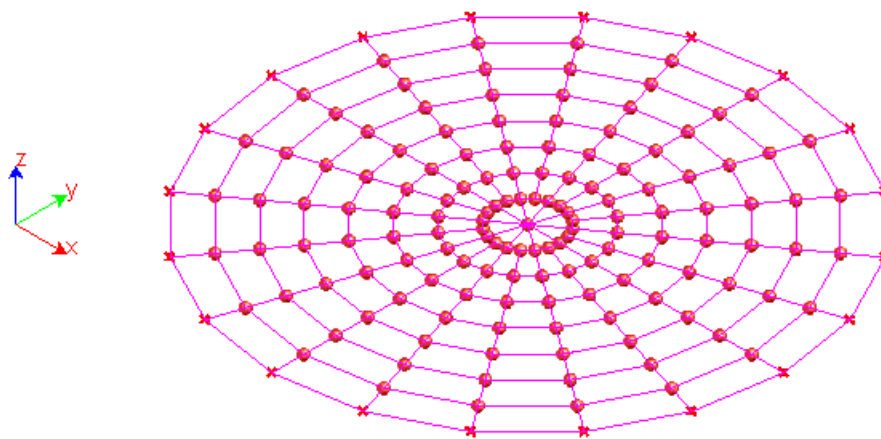


Fig. 2 Modello

Caso A - carico uniformemente distribuito q_0 su tutta la piastra e contorno incastrato

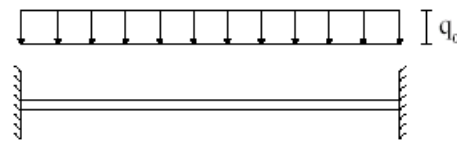


Fig. 3 Schema del caso A

Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
w [mm]	15.20	15.25	1.003

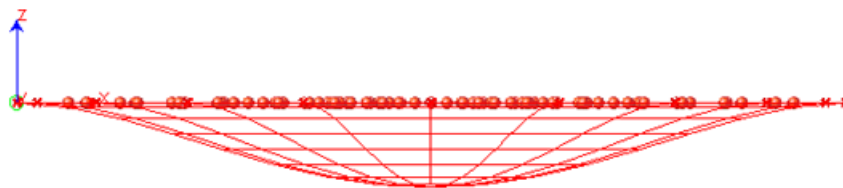


Fig. 4 Deformata del caso A

Caso B - carico concentrato P applicato nel centro della piastra e contorno incastrato

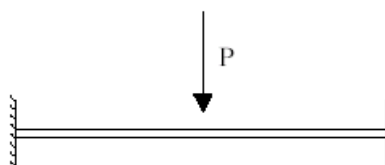


Fig. 5 Schema del caso B

Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
w [mm]	1.725	1.722	0.998

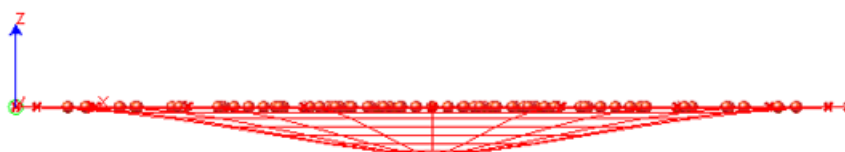


Fig. 6 Deformata del caso B

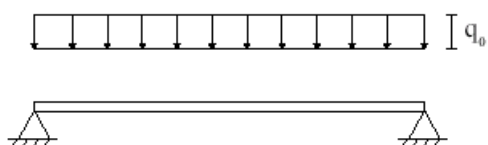
Caso C - carico uniformemente distribuito q_0 su tutta la piastra e contorno appoggiato

Fig. 7 Schema del caso C

Analisi dei risultati:

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
w [mm]	61.96	61.88	0.999

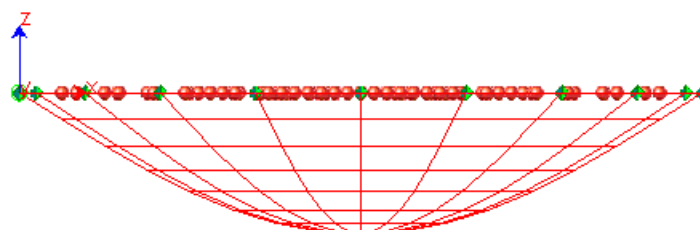


Fig. 8 Deformata del caso C

Creazione: Giovedì 09 Novembre, 2006

PROGRAMMA MAX 10.10 – ANALISI E CALCOLO MURI DI SOSTEGNO

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto ing. Stefano TOMASSI, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complessa fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale
- Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 14/01/2008.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	MAX - Analisi e Calcolo Muri di Sostegno
Versione	10.10
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	ing. Pietro Conte
Licenza	AIU1486LJ

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Luogo e data

Taranto, gennaio 2015

Il progettista
(ing. Stefano TOMASSI)
