

Ponte della Pace

Lavori di manutenzione straordinaria

Progetto esecutivo

Progetto generale
ing. Francesco Maria Cellini

Progetto strutturale
ing. Stefano Pinardi

Collaboratore
geom. Marco Marchi



Stefano Pinardi

Oggetto:

Allegato Z - Descr. progr. e test
benchmark

Tavola:

--

Scala:

--

Data: dicembre 2018

Agg.:	Data:	Descrizione:
00	05-12-2018	EMISSIONE
Nome file:		

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

SOMMARIO

1	DESCRIZIONE DEL SOFTWARE	2
1.1	Nodi.....	3
1.2	Elementi tipo biella (truss)	4
1.3	Elementi tipo trave.....	5
1.4	Elementi tipo trave su suolo alla Winkler	6
1.5	Elementi tipo pilastro	7
1.6	Elementi tipo plinto su suolo alla Winkler.....	8
1.7	Elementi setto.....	8
1.8	Elementi triangolari.....	9
1.9	Elementi a 4 nodi	10
1.10	Elementi isoparametrici a 8 nodi.....	11
1.11	Solai	11
1.12	Aree di carico	12
1.13	Condizioni e combinazioni di carico	13
2	TEST DI VALIDAZIONE DEL SOFTWARE	14
3	BENCHMARK.....	15
3.1	Test 001 - Frequenze naturali di vibrazione di una trave appoggiata	16
3.2	Test 002 - Frequenze naturali di vibrazione di una trave a mensola	18
3.3	Test 003 - Frequenza naturale di vibrazione di un oscillatore semplice	20
3.4	Test 004 - Trave piana con estremi incastrati.....	22
3.5	Test 005 - Sistema piano di aste sospese.....	24
3.6	Test 006 - Stato tensionale di una trave inflessa	26
3.7	Test 007 - Stato tensionale di una trave inflessa	28
3.8	Test 008 - Sistema piano di aste sospese.....	30
3.9	Test 009 - Trave a mensola soggetta a momento torcente concentrato.....	32
3.10	Test 010 - Telaio piano	34
3.11	Test 011 - Trave reticolare piana.....	36
3.12	Test 012 - Controllo dell'analisi condotta considerando il comportamento monolatero degli elementi biella - trave.....	38
3.13	Test 013 - Aste piane e carico termico.....	41
3.14	Test 014 - Flessione in una piastra circolare	43

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

1 DESCRIZIONE DEL SOFTWARE

En.Ex.Sys. WinStrand

Structural Analysis & Design

Ditta produttrice:

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

Sigla:

WinStrand

Piattaforma software:

Microsoft Windows XP Home, Microsoft Windows XP Home Professional

Documentazione in uso:

Manuale teorico - Manuale d'uso

Campo di applicazione:

Analisi statica e dinamica di strutture in campo elastico lineare.

Elementi finiti implementati

Truss.

Beam (Modellazione di Travi e Pilastri).

Travi su suolo elastico alla Winckler.

Plinti su suolo elastico alla Winckler.

Elementi Shear Wall per la modellazione di pareti di taglio.

Elementi shell (lastra/piastra) equivalenti.

Elementi Isoparametrici a 8 Nodi Shell (lastra/piastra).

Schemi di Carico

Carichi nodali concentrati.

Carichi applicati direttamente agli elementi.

Carichi Superficiali.

Tipo di Risoluzione

Analisi statica e/o dinamica in campo lineare con il metodo dell'equilibrio.

Fattorizzazione LDL^T.

Analisi Statica:

modellazione generale 6 gradi di libertà per nodo.

ipotesi di solai infinitamente rigidi nel proprio piano (3 gradi di libertà per nodo + 3 per impalcato).

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

Analisi dinamica. (Nel caso di analisi modale gli autovettori ed autovalori possono essere calcolati mediante *subspace iteration* oppure tramite il *metodo dei vettori di Ritz*):

Via statica equivalente.

Modale con il metodo dello spettro di risposta.

1.1 Nodi

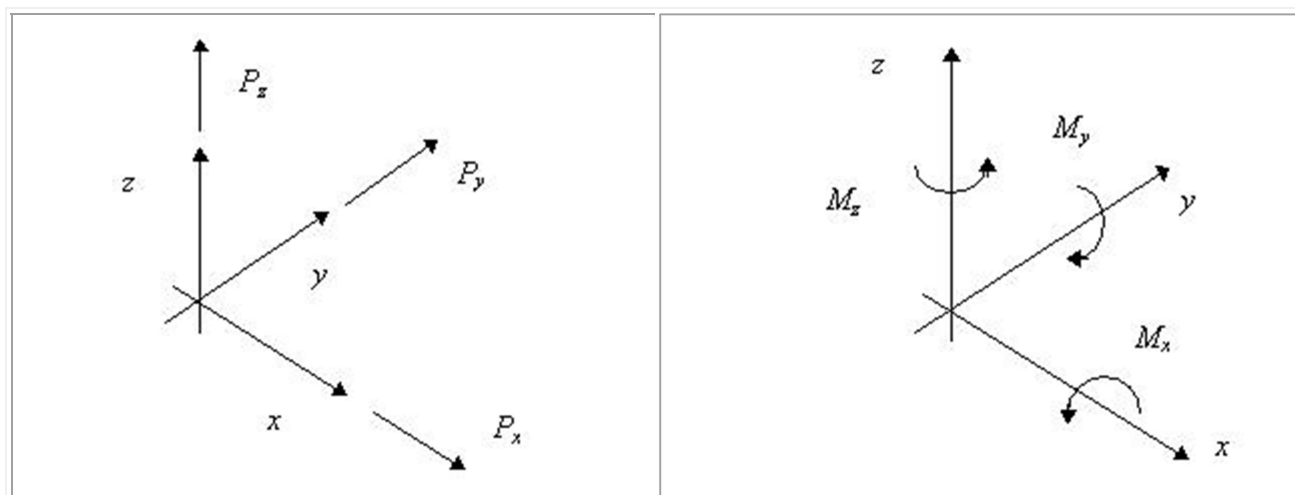
I nodi vengono numerati, con riferimento a una sezione orizzontale, da sinistra a destra, dal basso verso l'alto e per quote crescenti.

L'impalcato di appartenenza di un nodo è definito, in generale, dalla prima delle tre cifre che ne definiscono il numero, possono tuttavia presentarsi casi in cui si hanno più di 100 nodi per solaio nel qual caso il solaio di appartenenza è specificato dall'ultimo valore stampato nella riga dei dati relativi al nodo.

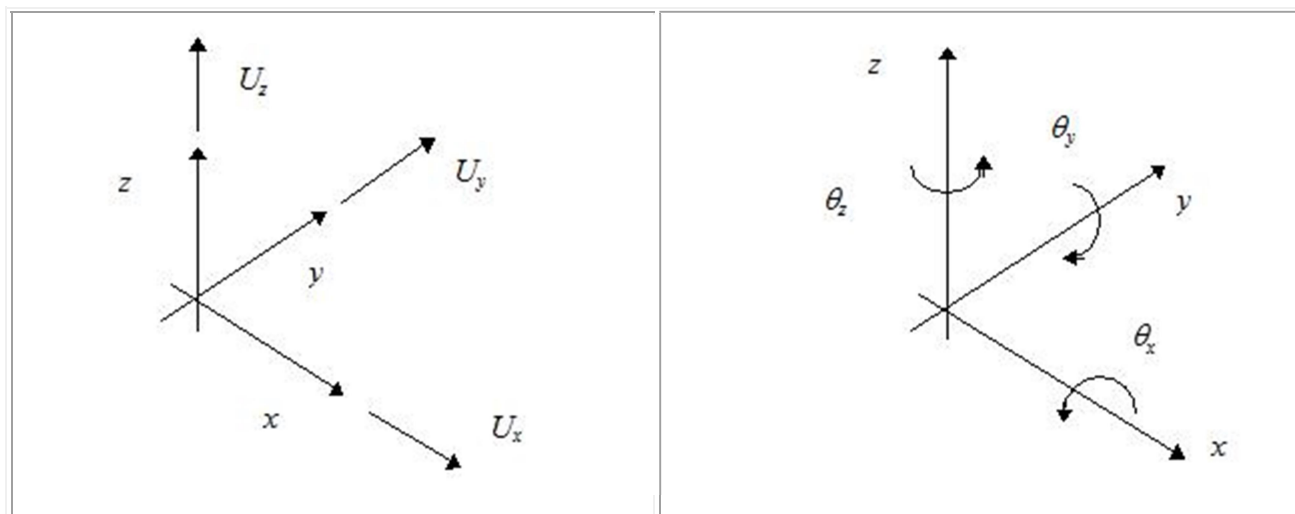
La maschera dei vincoli è costituita dai valori 0 e 1. Il valore 1 indica che per il nodo in riferimento il grado di libertà correlativo è soppresso mentre il valore 0 indica che è libero.

Nel caso di edifici civili multipiano l'asse z generale coincide con l'asse verticale rivolto verso l'alto.

La terna di riferimento generale è destrorsa per cui si hanno i seguenti segni positivi per i carichi o per le coppie direttamente applicati ai nodi e per le associate componenti di spostamento:



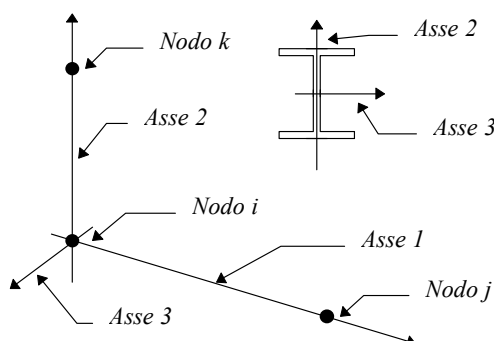
Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni



1.2 Elementi tipo biella (truss)

Gli elementi tipo biella sono definiti da:

- nodo iniziale i ;
- nodo finale j ;
- nodo k che definisce l'orientamento nello spazio della terna riferimento locale dell'elemento;



- il valore di S_0 ovvero l'azione assiale di pretensione cui si suppone soggetto l'elemento;
- il tipo di materiale di cui è costituito l'elemento;
- il tipo di sezione che ne definisce le caratteristiche inerziali;
- la lunghezza.

Va rilevato che:

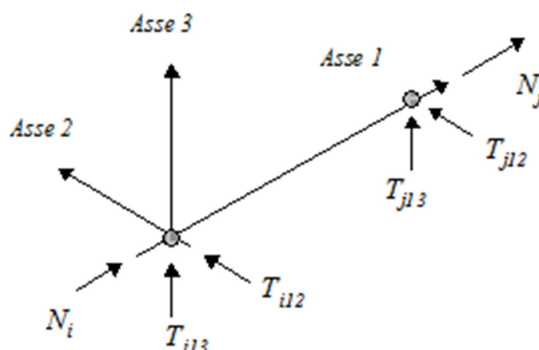
- il valore di S_0 interviene (se diverso da zero) esclusivamente nella definizione della matrice di rigidezza dell'elemento (secondo la formulazione della matrice di rigidezza geometrica K_g) e non fornisce alcun contributo all'equilibrio globale dei nodi terminali dell'elemento;
- il correlativo carico può, a discrezione dell'operatore, intervenire nell'equilibrio strutturale secondo i coefficienti di interazione specificati nelle combinazioni di carico.

Le sollecitazioni negli elementi biella sono da intendersi nel sistema di riferimento locale dell'elemento.

Per quanto concerne i segni positivi assunti per le varie componenti di sollecitazione si assumono come positivi i versi e

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

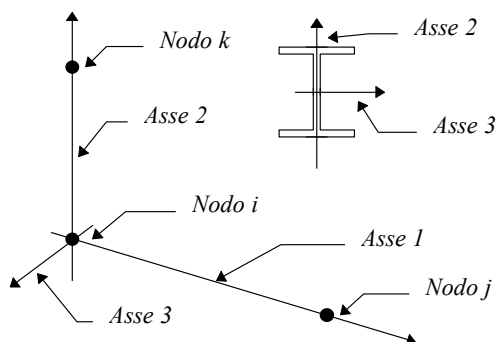
le sollecitazioni così diretti:



1.3 Elementi tipo trave

Gli elementi tipo trave sono definiti da:

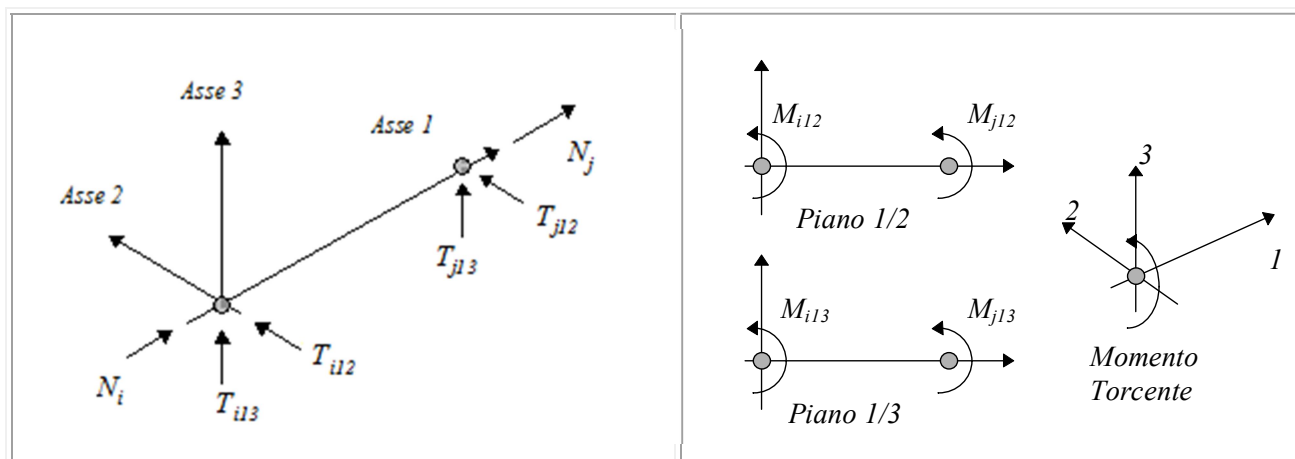
- nodo iniziale i ;
- nodo finale j ;
- nodo k che definisce l'orientamento nello spazio della terna riferimento locale dell'elemento.



Gli elementi tipo trave possono avere valori di efficacia dei vincoli alle estremità dell'elemento variabili fra 0 e 100%, nei due piani **1-2** e **1-3** dell'elemento, dando quindi la possibilità di considerare aste non perfettamente incastrate.

Le sollecitazioni nelle travi sono da intendersi nel sistema di riferimento locale dell'elemento e si riferiscono all'asta. Per quanto concerne i segni positivi assunti per le varie componenti di sollecitazione si assumono come positivi i versi e le sollecitazioni così diretti:

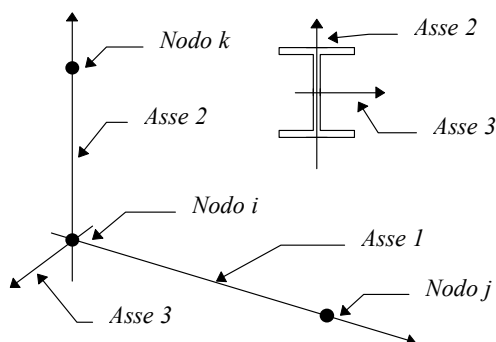
Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni



1.4 Elementi tipo trave su suolo alla Winkler

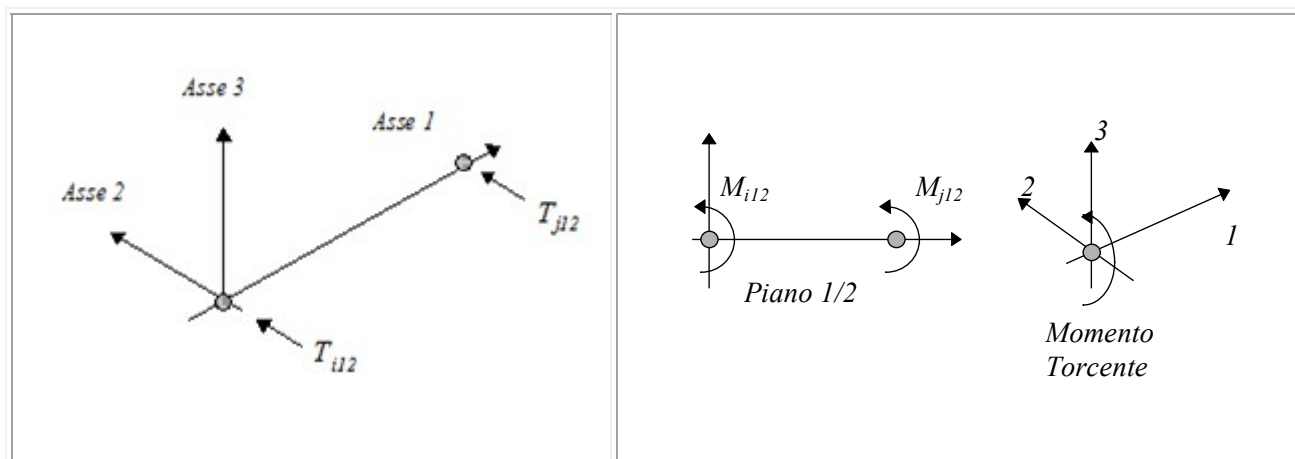
Ogni elemento tipo trave su suolo alla Winkler viene identificato da:

- nodo iniziale i ;
- nodo finale j ;
- nodo k che definisce l'orientamento nello spazio della terna di riferimento locale dell'elemento.



La trave si intende vincolata ad un sottospazio elastico a comportamento bilatero.

Le sollecitazioni nelle travi di fondazione sono da intendersi nel sistema di riferimento locale dell'elemento. Per quanto concerne i segni positivi assunti per le varie componenti di sollecitazione si assumono come positivi i versi e le sollecitazioni come in figura:



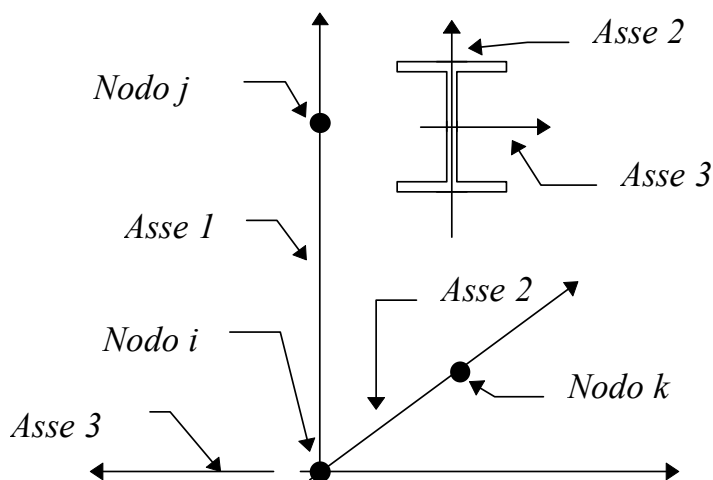
Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

Le pressioni sul terreno sono da intendersi positive se concordi all'asse z globale (stato di compressione del terreno).

1.5 Elementi tipo pilastro

Gli elementi tipo pilastro sono definiti da:

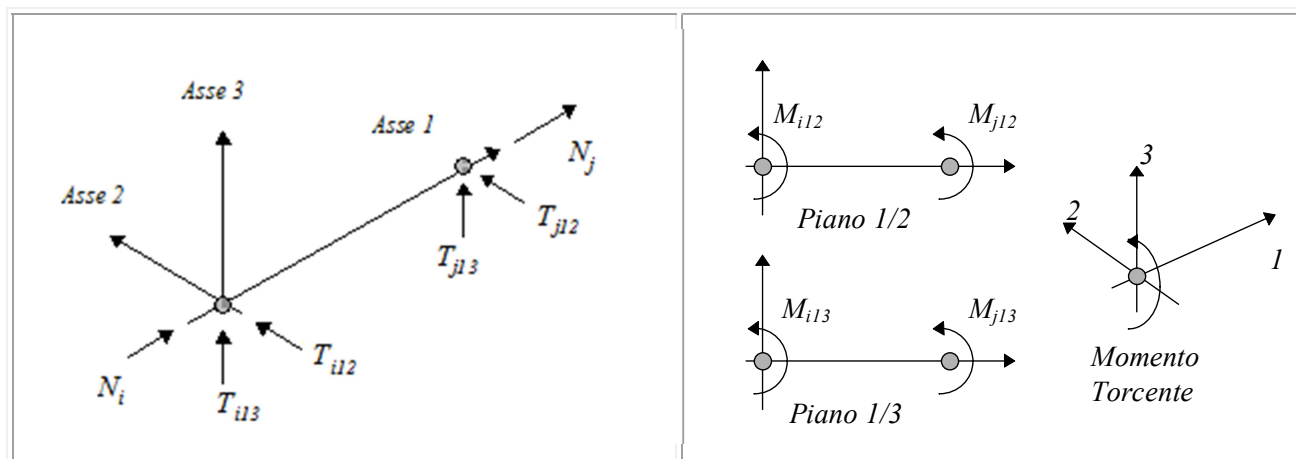
- nodo iniziale i ;
- nodo finale j ;
- nodo k che definisce l'orientamento nello spazio della terna di riferimento locale dell'elemento.



Gli elementi tipo pilastro possono avere valori di efficacia dei vincoli alle estremità dell'elemento variabili fra 0 e 100%, nei due piani **1-2** e **1-3** dell'elemento, dando quindi la possibilità di considerare aste non perfettamente incastrate.

In generale, se non diversamente disposto, l'asse 2 coincide, per i pilastri, con l'asse y globale e pertanto la disposizione della sezione coincide con quella che si avrebbe in una vista in pianta.

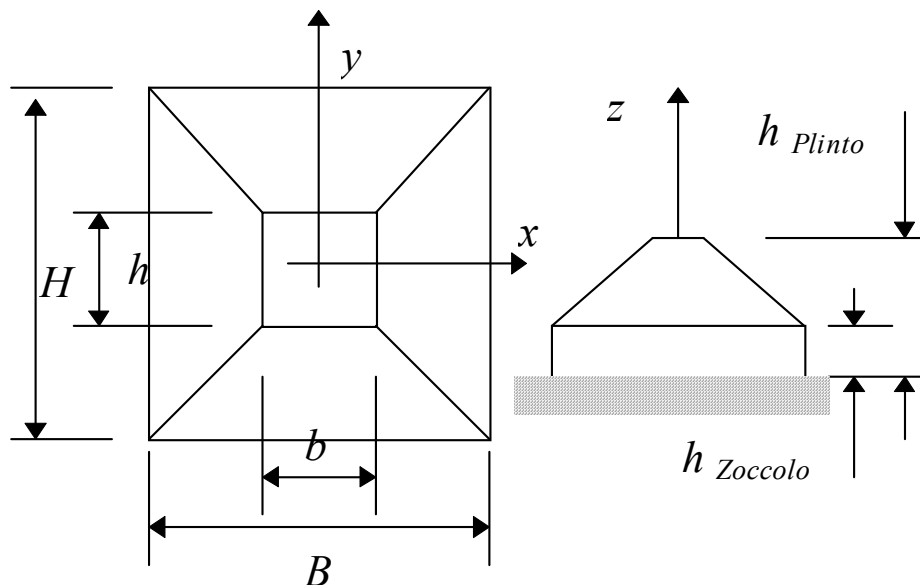
Le sollecitazioni nei pilastri sono da intendersi nel sistema di riferimento locale dell'elemento, e si riferiscono all'asta. Per quanto concerne i segni positivi assunti per le varie componenti di sollecitazione si assumono come positivi i versi e le sollecitazioni così diretti:



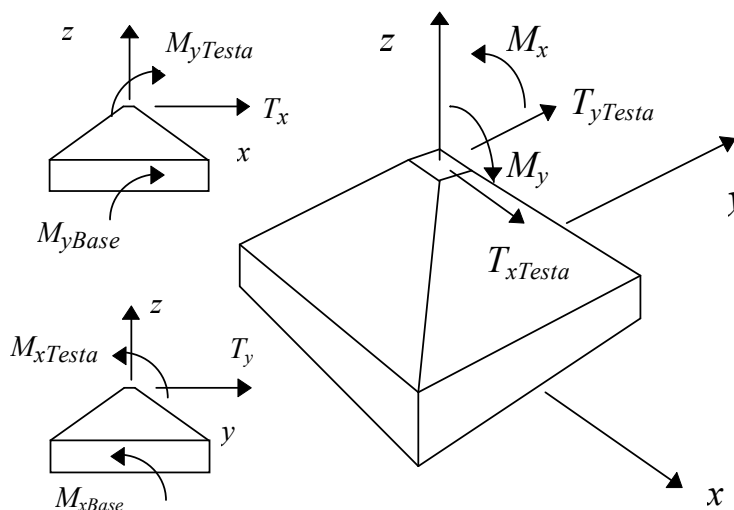
1.6 Elementi tipo plinto su suolo alla Winkler

Il plinto viene identificato con il numero del nodo a cui fa capo.

L'elemento, con riferimento al piano x-y, risulta essere così disposto:



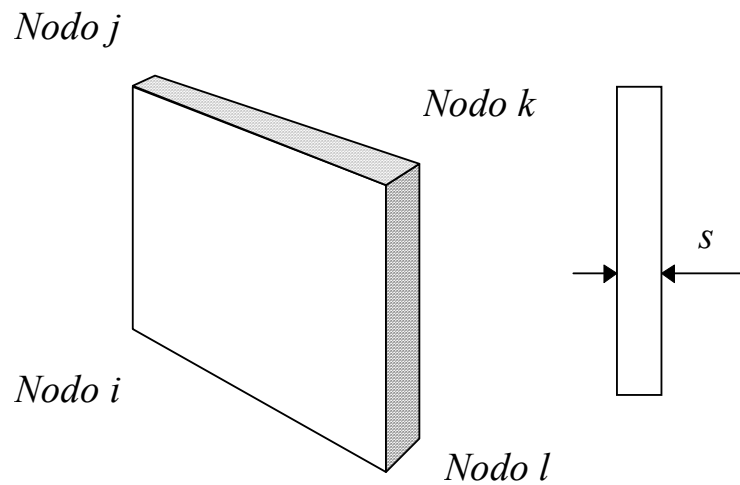
Le sollecitazioni nei plinti sono da intendersi nel sistema di riferimento locale dell'elemento. Per quanto concerne i segni positivi assunti per le varie componenti di sollecitazione si assumono come positivi i versi e le sollecitazioni così diretti:



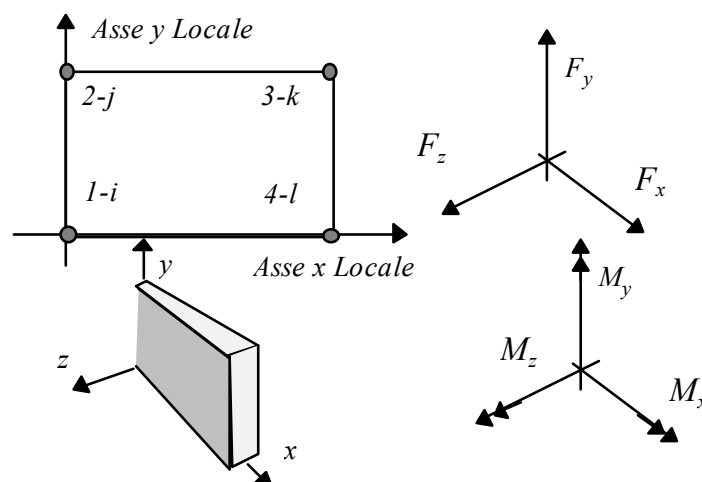
1.7 Elementi setto

L'elemento setto viene identificato mediante i quattro nodi (i, j, k, l) di bordo.

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni



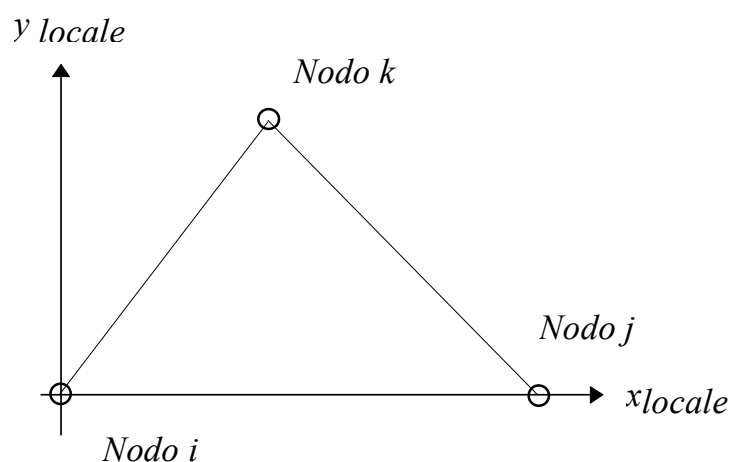
L'elemento parete viene individuato tramite il numero dei due nodi a numerazione più bassa cui fa capo l'elemento. La numerazione dei nodi e le convenzioni sulle sollecitazioni agenti nel setto sono le seguenti:



1.8 Elementi triangolari

L'elemento triangolare è individuato tramite il numero dei nodi di vertice dello stesso.

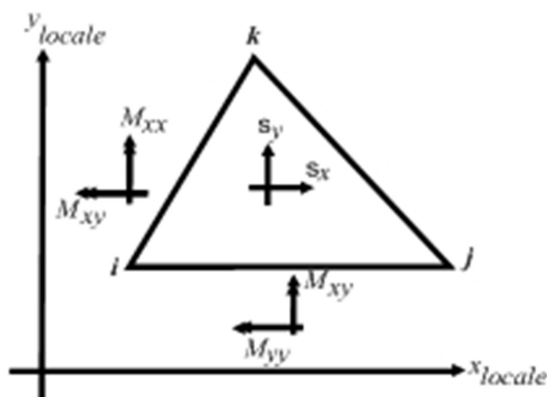
Gli assi del sistema di riferimento locale risultano così disposti:



Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

- L'asse x_{locale} ha direzione parallela alla retta congiungente i nodi i e j , è passante per i medesimi nodi ed ha verso positivo da i a j .
- L'asse y_{locale} è ortogonale all'asse x_{locale} , passa per il nodo i e verso positivo dalla parte del nodo k ;
- L'asse z_{locale} è ottenuto per prodotto vettoriale fra x_{locale} e y_{locale} .

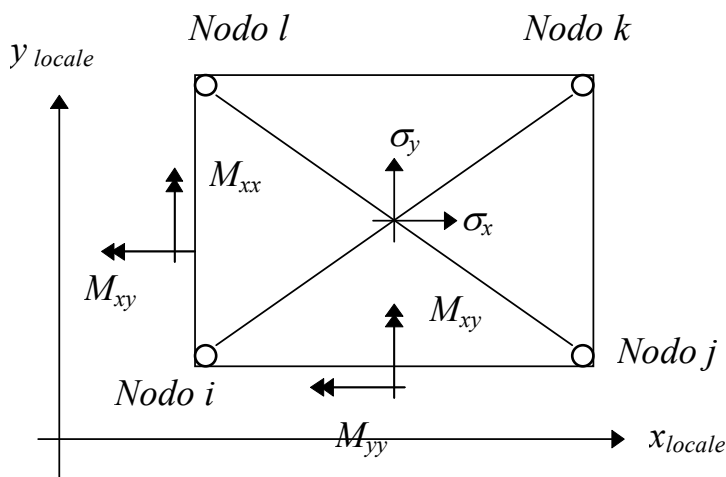
Le sollecitazioni indotte negli elementi triangolari come tensioni, momenti e tagli medi sono valutati nel centro dell'elemento.



1.9 Elementi a 4 nodi

L'elemento a 4 nodi è individuato tramite il numero dei nodi di vertice dello stesso.

Gli assi del sistema di riferimento locale risultano così disposti:



Il sistema di riferimento locale dell'elemento risulta essere così disposto:

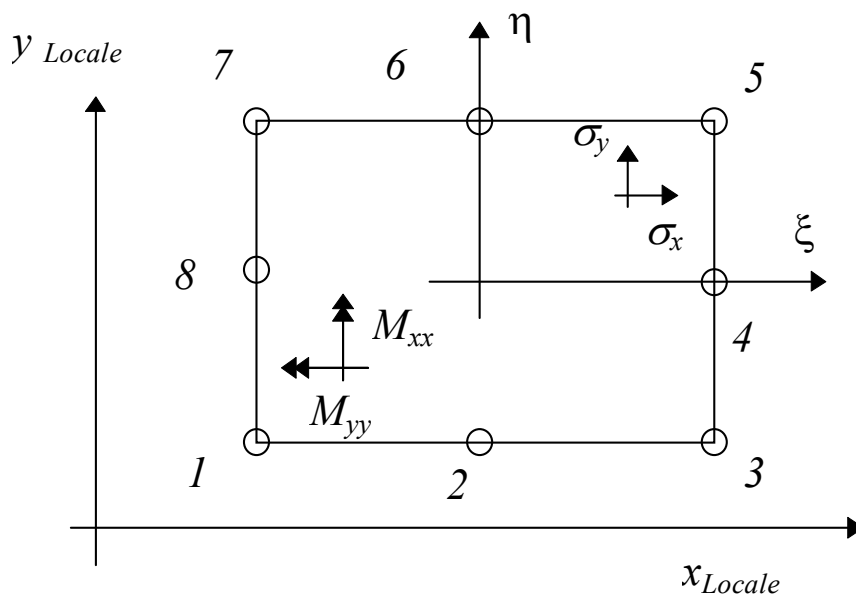
- L'asse x locale sulla congiungente i nodi i e j da i verso j ;
- L'asse y locale sulla congiungente i nodi i e l da i verso l ;
- L'asse z locale è ottenuto per prodotto vettoriale fra x_{locale} e y_{locale} ;
- Le tensioni medie nell'elemento (σ_x , σ_y , τ_{xy}) e i momenti medi (M_x , M_y , M_{xy}) sono anch'essi da intendersi diretti lungo le direzioni sopra citate.

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

1.10 Elementi isoparametrici a 8 nodi

L'elemento a 8 nodi è individuato tramite il numero dei nodi di vertice e dei nodi medi dello stesso.

Le sollecitazioni presenti negli elementi finiti isoparametrici a 8 nodi sono valutate in 4 punti all'interno di ogni elemento. In particolare i 4 punti in cui vengono fornite le sollecitazioni corrispondono a 4 punti di GAUSS (vedi R.D. Cook - Concepts and Applications of Finite Element Analysis, New Jork, Wiley, 1981).



Il sistema di riferimento locale dell'elemento è così disposto

- L'asse x_{locale} dell'elemento è disposto lungo la congiungente i nodi **1** e **3**;
- L'asse y_{locale} dell'elemento è disposto lungo la congiungente i nodi **1** e **7**;
- L'asse z_{locale} è ottenuto mediante prodotto vettoriale fra gli assi x_{locale} e y_{locale} .

Le sollecitazioni sono da intendersi nel riferimento locale dell'elemento sopra descritto.

1.11 Solai

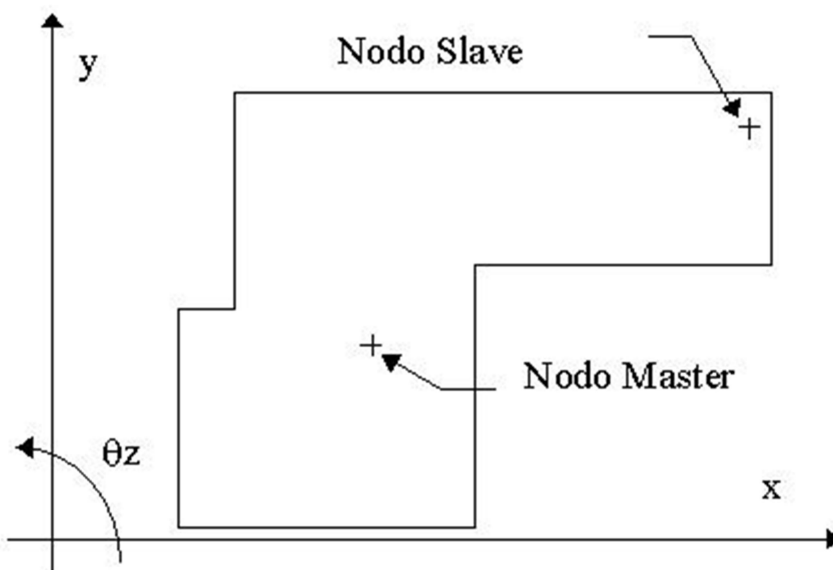
La dizione solai **indica esclusivamente** nodi della struttura legati da relazione cinematica (ipotesi di impalcato infinitamente rigido).

Seguendo tale ipotesi di calcolo, le componenti di spostamento del singolo nodo di impalcato vengono in parte riferite a quelle di un nodo master, solitamente coincidente con il centro di massa dell'impalcato. In particolare le componenti di spostamento nodale sono così definite:

Componente di spostamento	espressa da
U_x	$U_{xMaster} - \theta_{zMaster} \times (Y_{Master} - Y_{Nodo})$
U_y	$U_{yMaster} + \theta_{zMaster} \times (X_{Master} - X_{Nodo})$
U_z	U_{zNodo}
θ_x	θ_{xNodo}
θ_y	θ_{yNodo}

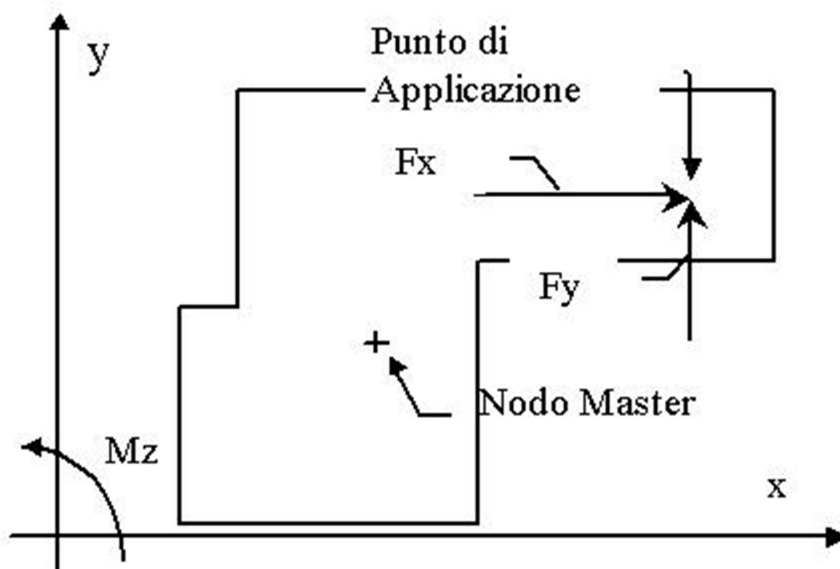
Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

θ_z	$\theta_{zMaster}$
------------	--------------------



Seguendo l'ipotesi di piano infinitamente rigido le azioni agenti nel piano del solaio vengono trasformate dal codice di calcolo in azioni agenti nel cosiddetto **nodo master** secondo le trasformazioni seguenti:

- $F_{xMaster} = F_{xNodo}$
- $F_{yMaster} = F_{yNodo}$
- $M_{zMaster} = M_{zNodo} - F_{xNodo} (y_{App} - y_{Master}) + F_{yNodo} (x_{App} - x_{Master})$



1.12 Aree di carico

Un'area di carico è definita da una superficie contornata da travi di bordo ed i carichi superficiali su essa agenti vengono riportati dal programma sulle travi perimetrali in ragione dell'area di influenza relativa ad ogni trave e della direzione di orditura della superficie.

Nuove strutture secondarie per l'impalcato della Passerella pedonale "Ponte delle Pace", - Casalecchio di Reno (BO)

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

È importante rilevare che la direzione di orditura viene assunta dal programma con riferimento al primo lato della superficie di carico e non con riferimento all'asse x globale della struttura.

In particolare ricordiamo che le aree di carico fungono esclusivamente da supporto per il calcolo dei carichi di tipo superficiale in quanto i carichi definiti tramite tali aree di carico in effetti vengono trasferiti (sotto forma di carichi lineari o carichi nodali concentrati nei nodi) sulle travi perimetrali che contornano l'area di carico stessa.

A seguire vengono riportati per ogni tipologia definita i carichi agenti nelle varie condizioni di carico. La dizione:

Globale	indica che il carico è definito nel sistema di riferimento globale della struttura.
Globale Proiettato	indica che il carico è definito nel sistema di riferimento globale della struttura ma il valore viene computato in proiezione.
Locale	indica che il carico è definito nel sistema di riferimento locale della superficie di carico.



Esempio: *direzione* di orditura 0 gradi.

1.13 Condizioni e combinazioni di carico

Le condizioni di carico dinamiche sono assimilate dal software ad una condizione di carico distinta per ogni direzione di ingresso del sisma. Pertanto qualora agiscano sulla struttura **n** condizioni di carico statiche e il progettista abbia supposto che la struttura venga sollecitata da un sisma entrante in **m** direzioni, la struttura stessa viene considerata del programma come soggetta ad **n+m** condizioni di carico.

Le combinazioni di carico, definite dal progettista, combinano fra loro le **n+m** condizioni di carico ognuna partecipante alla combinazione i-esima secondo i fattori di partecipazione definiti.

2 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.

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3 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.

- Test 001: Frequenze naturali di vibrazione di una trave appoggiata
- Test 002: Frequenze naturali di vibrazione di una trave a mensola
- Test 003: Frequenza naturale di vibrazione di un oscillatore semplice
- Test 004: Trave piana con estremi incastrati
- Test 005: Sistema piano di aste sospese
- Test 006: Stato tensionale di una trave inflessa
- Test 007: Stato tensionale di una trave inflessa
- Test 008: Sistema piano di aste sospese
- Test 009: Trave a mensola soggetta a momento torcente concentrato
- Test 010: Telaio piano
- Test 011: Trave reticolare piana
- Test 012: Controllo dell'analisi condotta considerando il comportamento monolatero degli elementi biella - trave
- Test 013: Aste piane e carico termico
- Test 014: Flessione in una piastra circolare

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.1 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.

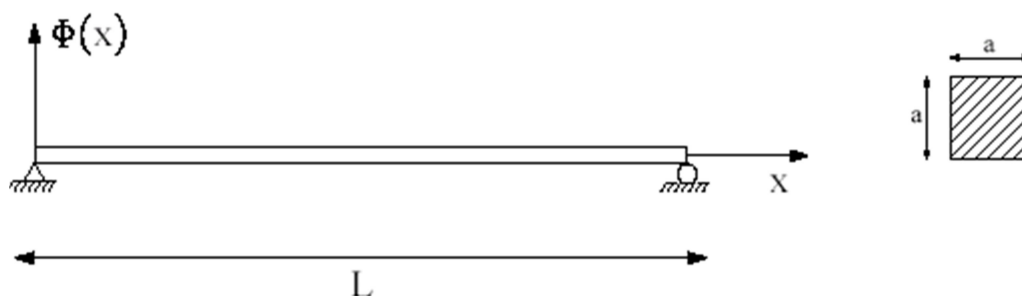


Figura 1-Schema statico

Obiettivo: determinare i primi tre modi di vibrare.

- Dati:
 - $E = 2100000 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - $a = 30 \text{ [cm]}$
 - $L = 10 \text{ [m]}$
 - $P_p = 706.5 \text{ [kg/m]}$
- 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

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

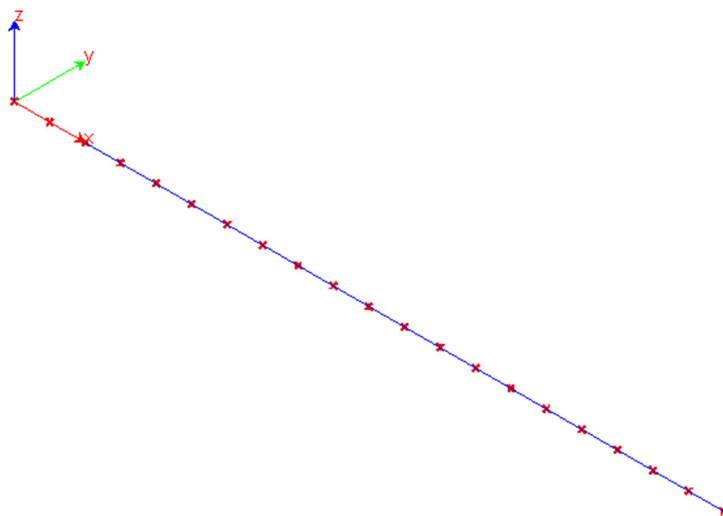


Figura 2-Modello

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

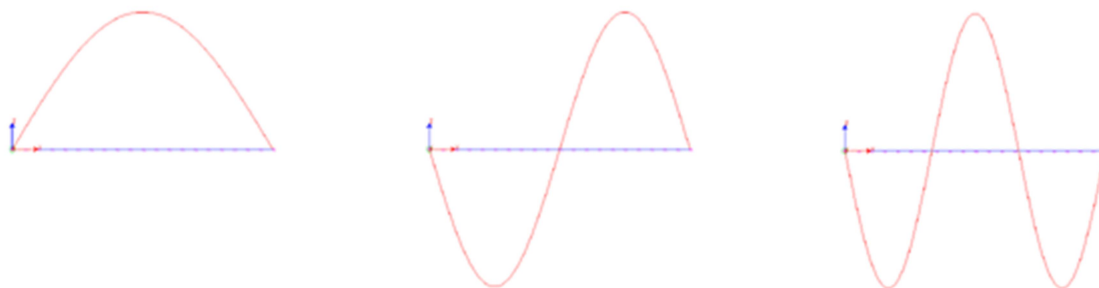


Figura 3-Prime tre forme modali

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.2 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.

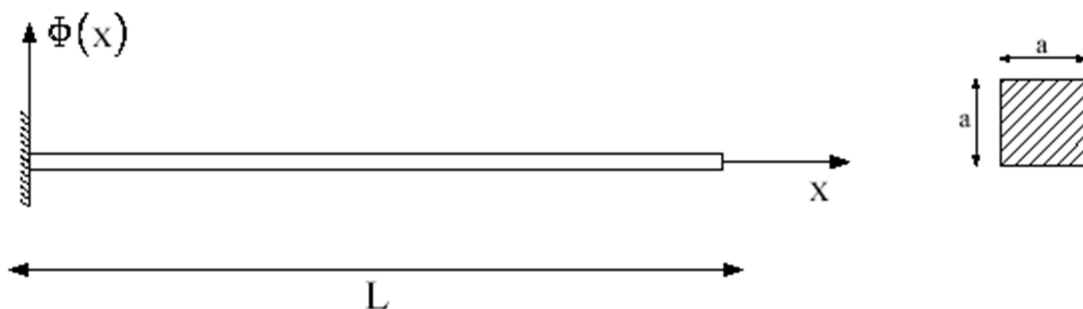


Figura 4-Schema statico

Obiettivo: determinare i primi tre modi di vibrare.

- Dati:
 - $E = 2100000 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - $a = 30 \text{ [cm]}$
 - $L = 10 \text{ [m]}$
 - $P_p = 706.5 \text{ [kg/m]}$
- 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

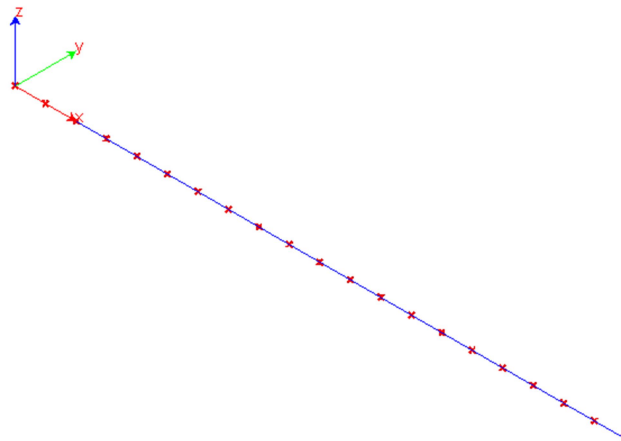


Figura 5-Modello

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

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

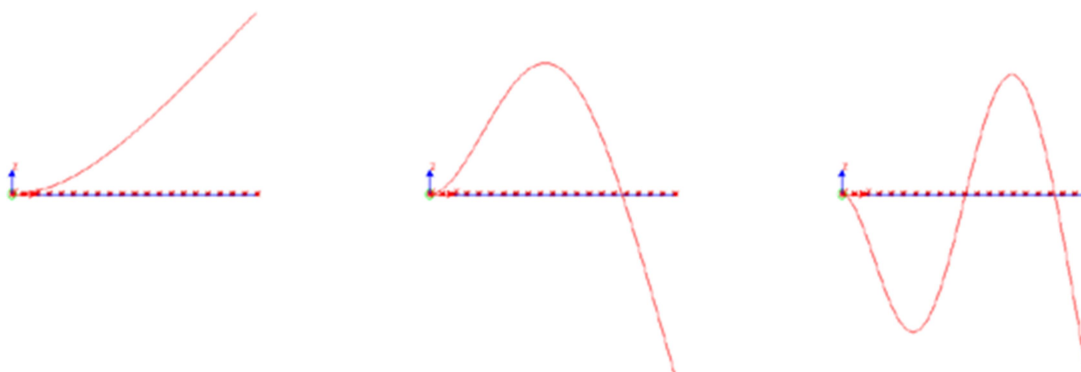


Figura 6-Prime tre forme modali

ω_3 [rad/s]	273.76	269.52	0.985
--------------------	--------	--------	-------

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.3 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 .

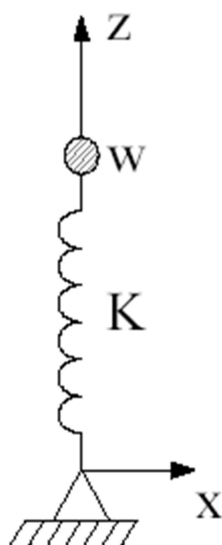


Figura 7-Schema statico

Obiettivo: determinare il periodo proprio del sistema.

- Dati:
 - $K = 857.18 \text{ [kg/m]}$
 - $w = 1.13 \text{ [kg]} \text{ (} 2.5 \text{ [lb])}$
 - $g = 9.81 \text{ [m/sec}^2\text{]}$
- 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

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni



Figura 8-Modello

Analisi dei risultati

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

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.4 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.

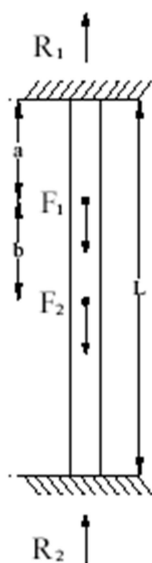


Figura 9-Schema statico

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

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

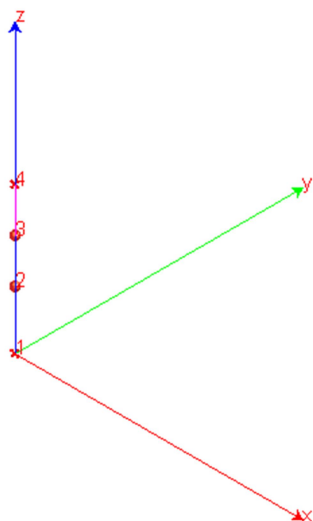


Figura 10-Modello

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

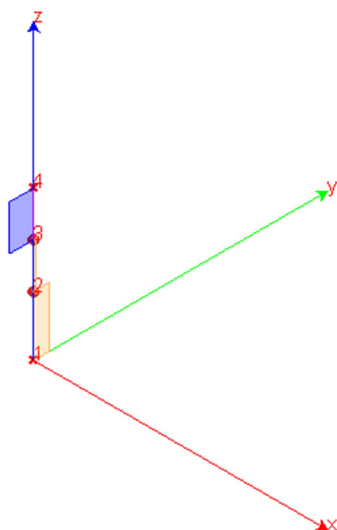


Figura 11- Diagramma sforzo normale nelle aste: asta 1-2 compressa, asta 3-4 tesa

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.5 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.

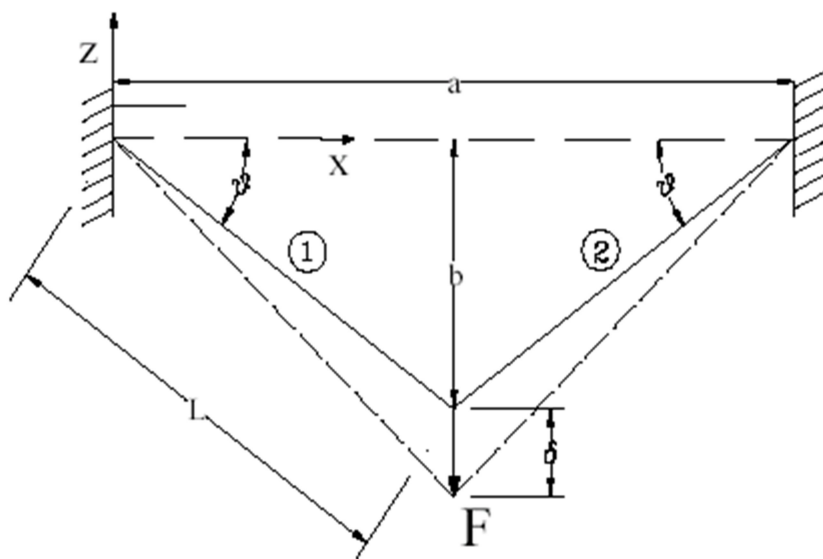


Figura 12-Schema statico

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:
 - $E = 2068428 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - $L = 457.20 \text{ [cm]}$
 - $\theta = 30 \text{ [}^\circ\text{]}$
 - $A = 3.23 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - $F = 2267 \text{ [kg]}$
- 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

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

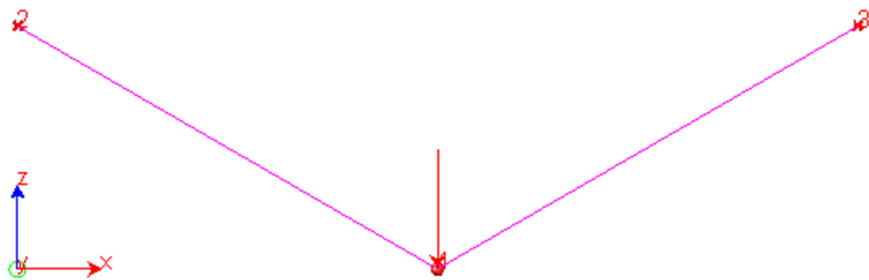


Figura 13-Modello

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

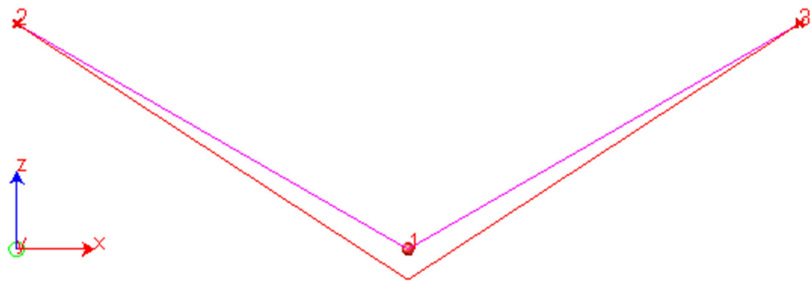


Figura 14-Deformata

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.6 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 .

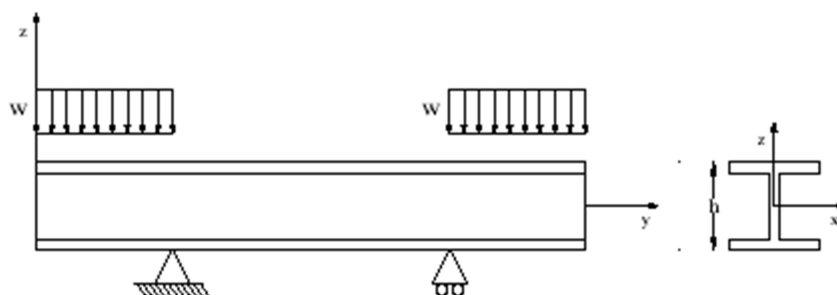


Figura 15-Schema statico

- 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



Figura 16-Modello

Nuove strutture secondarie per l'impalcato della Passerella pedonale "Ponte delle Pace", - Casalecchio di Reno (BO)

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

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

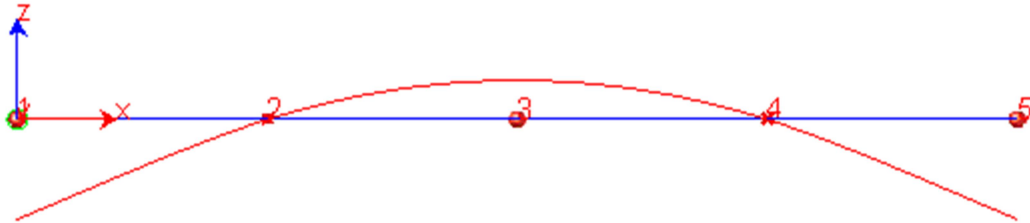


Figura 17-Deformata

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.7 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.

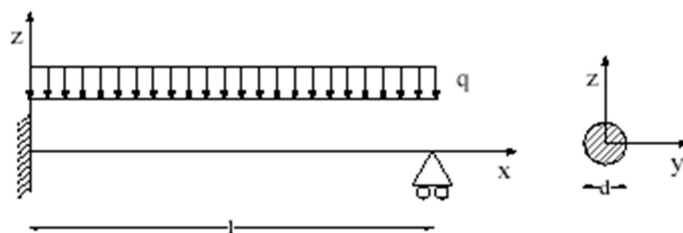


Figura 18-Schema statico

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:
- $E = 2068428 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
- $L = 50.8 \text{ [cm]}$
- $d = 3.81 \text{ [cm]}$
- $q = 1.784 \text{ [t/m]}$
- 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

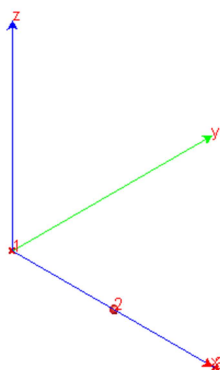


Figura 19-Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
--	-------------------	-----------	----------

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

M _a [tm]	0.057	0.057	1.000
V _b [kg]	340.19	340.17	1.000

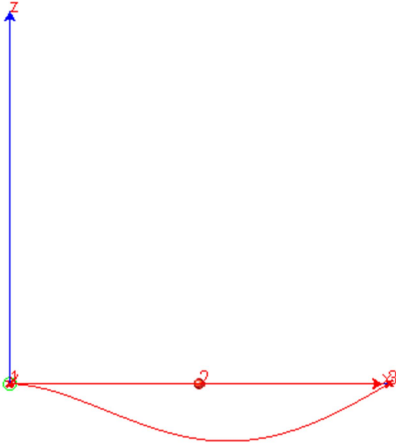


Figura 20-Deformata

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.8 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.

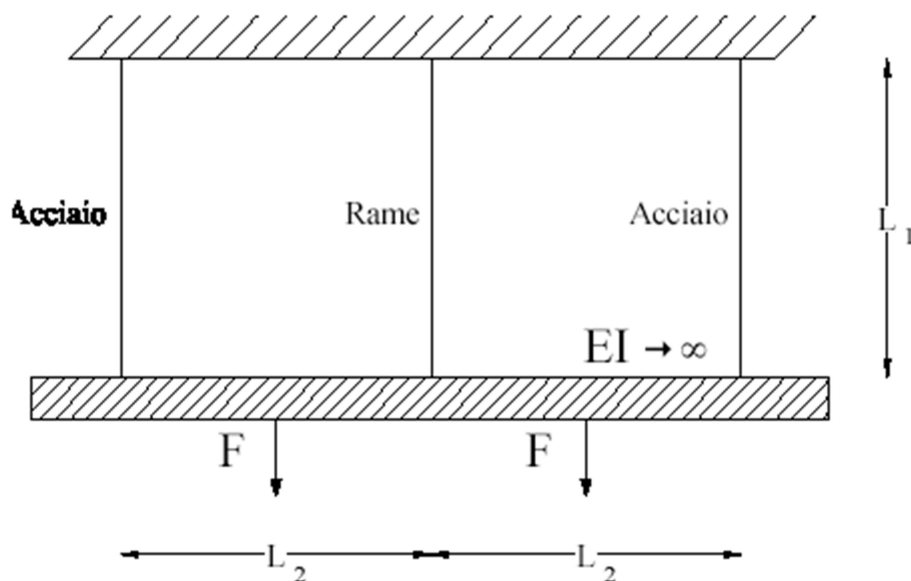


Figura 21-Schema statico

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

- Dati:
 - $E_{acc} = 2068428 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - $E_{rame} = 1172110 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - $L_1 = 213.36 \text{ [cm]}$
 - $L_2 = 304.80 \text{ [cm]}$
 - $A_{acc} = 3.2258 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - $A_{rame} = 9.6774 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - $F = 5.44 \text{ [t]}$
- 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.

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

- File dati: Test 008

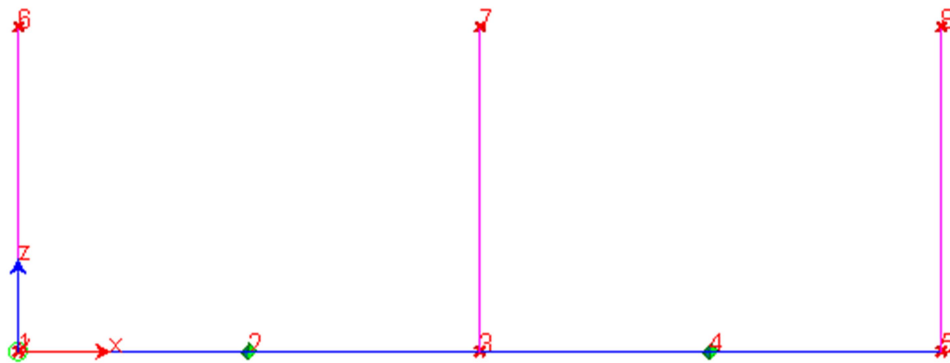


Figura 22-Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
$R_6=R_8$ [t]	2.94	2.99	1.017
R_7 [t]	4.98	4.90	0.984

R_6 , R_7 ed R_8 sono le reazioni verticali nei rispettivi nodi. Tali valori eguagliano gli sforzi normali nelle corrispondenti aste.

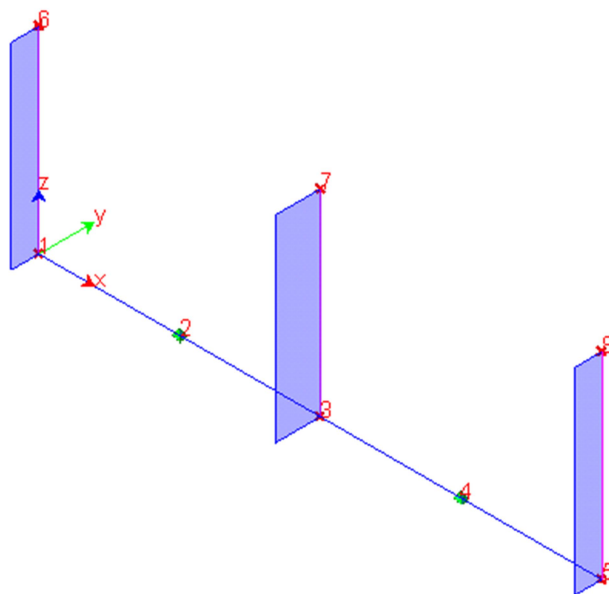


Figura 23-Diagrammi degli sforzi normali

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.9 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.

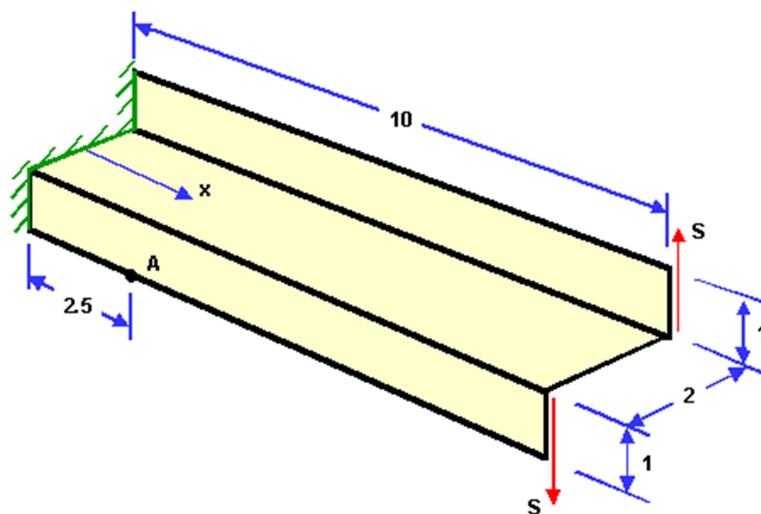


Figura 24-Schema statico

- 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

Nuove strutture secondarie per l'impalcato della Passerella pedonale "Ponte delle Pace", - Casalecchio di Reno (BO)

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

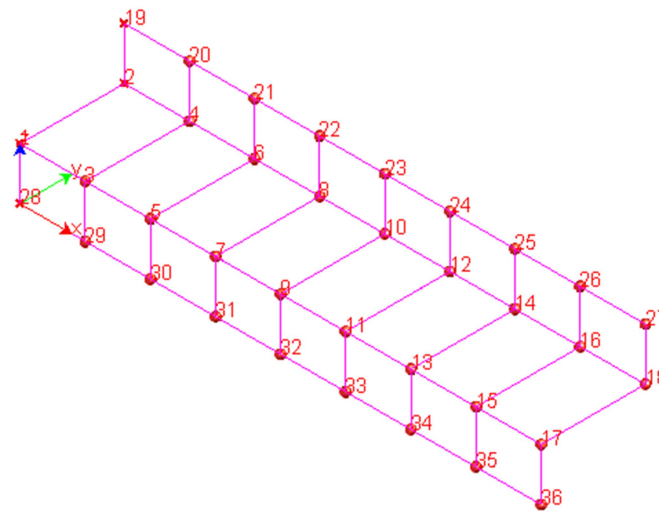


Figura 25-Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
σ_x [MPa]	107.9	103.8	0,96

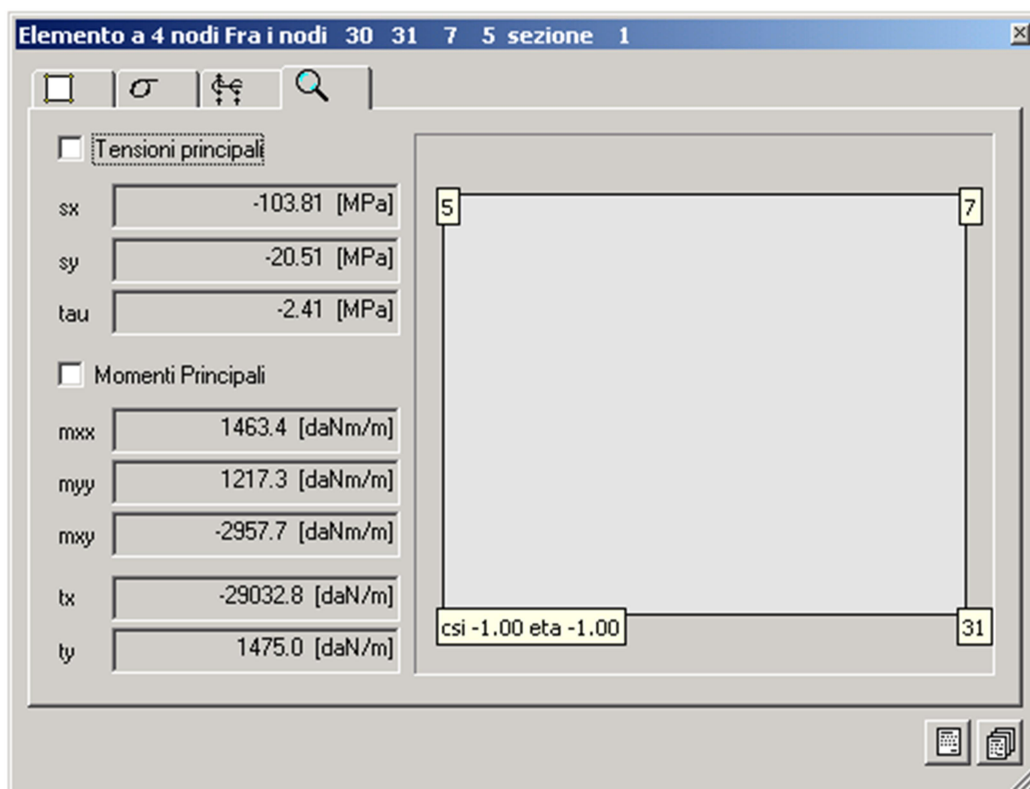


Figura 26-Valore puntuale nel nodo 30

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.10 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.

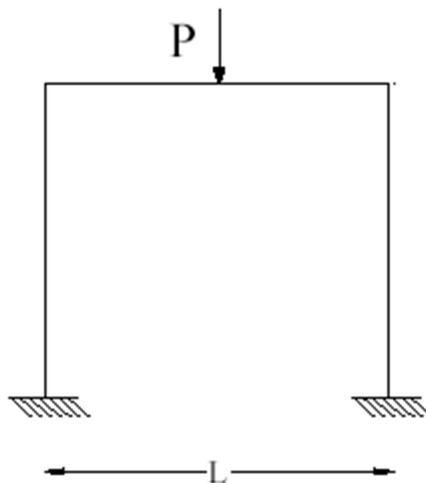


Figura 27-Schema statico

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

- Dati:
 - $E = 2068428 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - $L = 3.04 \text{ [m]}$
 - $h = 2.54 \text{ [m]}$
 - $A_{rit} = 25.80 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - $A_{trav} = 51.61 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - $P = 0.45 \text{ [t]}$
- 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

Nuove strutture secondarie per l'impalcato della Passerella pedonale "Ponte delle Pace", - Casalecchio di Reno (BO)

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

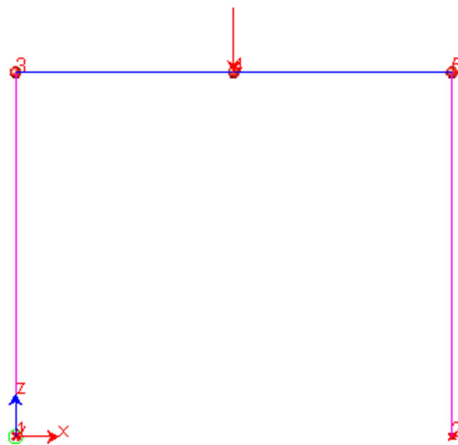


Figura 28-Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
$R_1 = R_2$ [t]	0.225	0.225	1.000

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.11 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 .

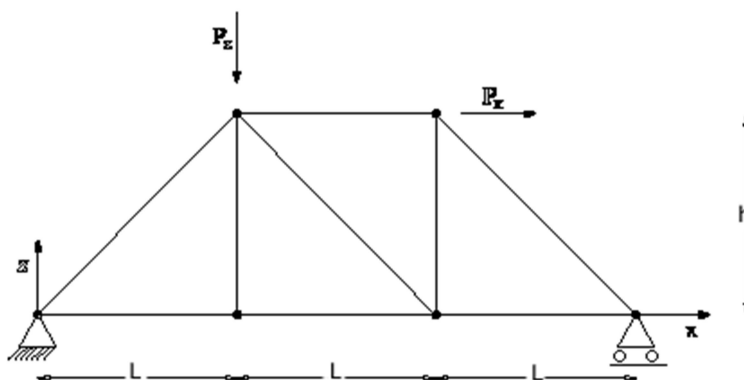
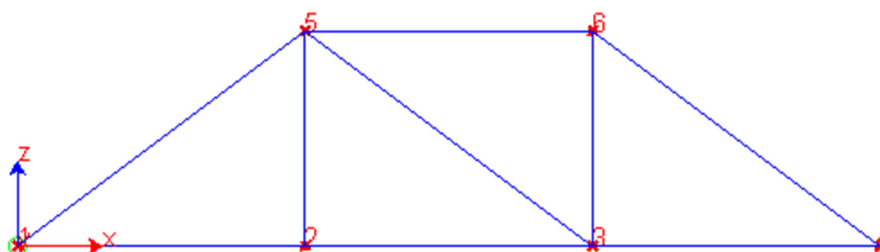


Figura 29-Schema statico

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

- Dati:
- $E = 141900 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
- $L = 6.096 \text{ [m]}$
- $h = 4.572 \text{ [m]}$
- $A = 929.03 \text{ [cm}^2\text{]}$
- $P_x = 8.90 \text{ [t]}$
- $P_z = 4.45 \text{ [t]}$
- 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



Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

Analisi dei risultati

Spostamenti U_x

Ux 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

Figura 30-Modello

5 [mm]	0.91	0.92	1.011
6 [mm]	1.09	1.11	1.018

Spostamenti U_z

Uz 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

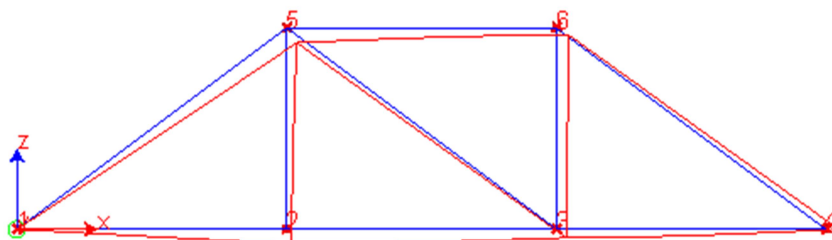


Figura 31-Deformata

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.12 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.

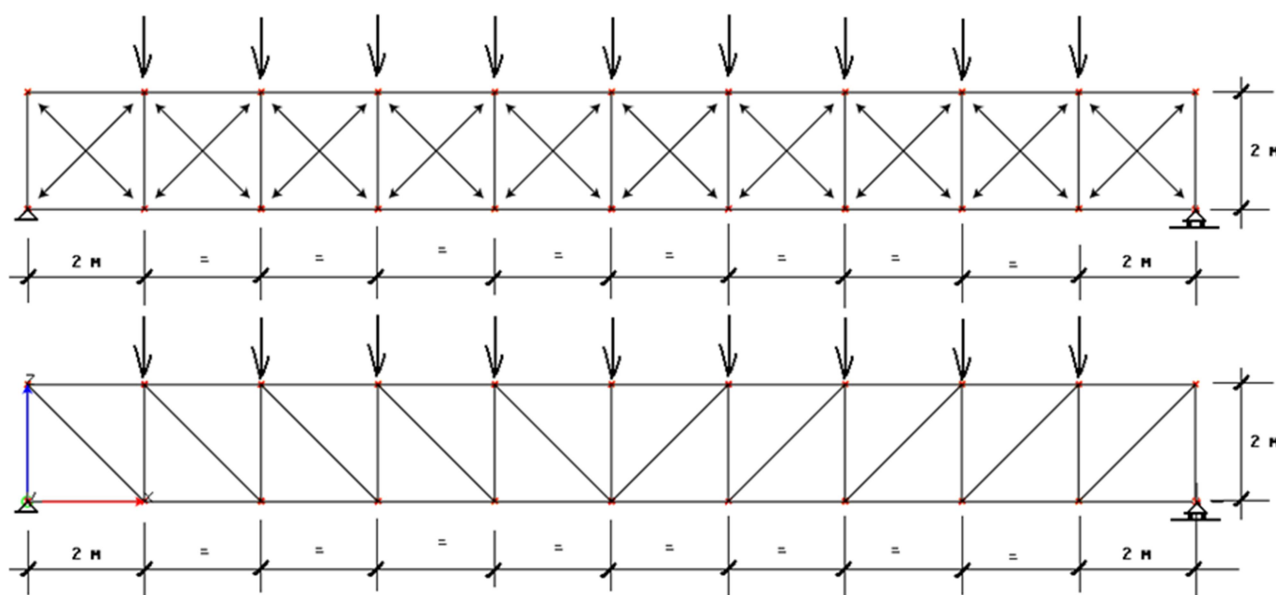


Figura 32-Schema statico

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 = $45.33 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - Area correnti intradosso = $45.33 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - Area diagonali = $38.85 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - Area montanti = $38.85 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - 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

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

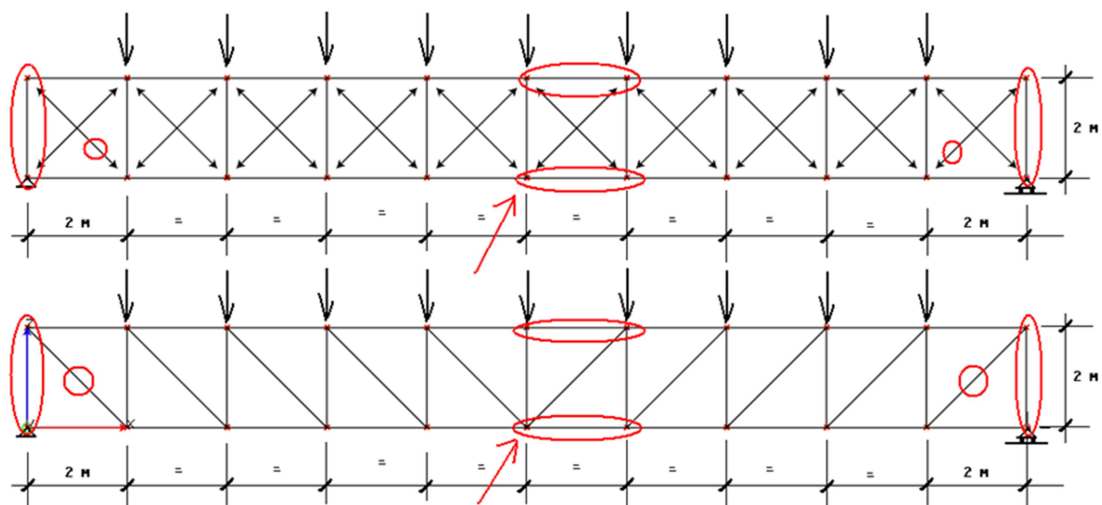


Figura 33-Modello

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 mezzera: $(10 \times 45 - 8 \times 10 - 6 \times 10 - 4 \times 10 - 2 \times 10) / 2 = 125 \text{ [kN]}$
- Sforzo nel primo diagonale: $45 / \cos(45^\circ) = 63.639 \text{ [kN]}$

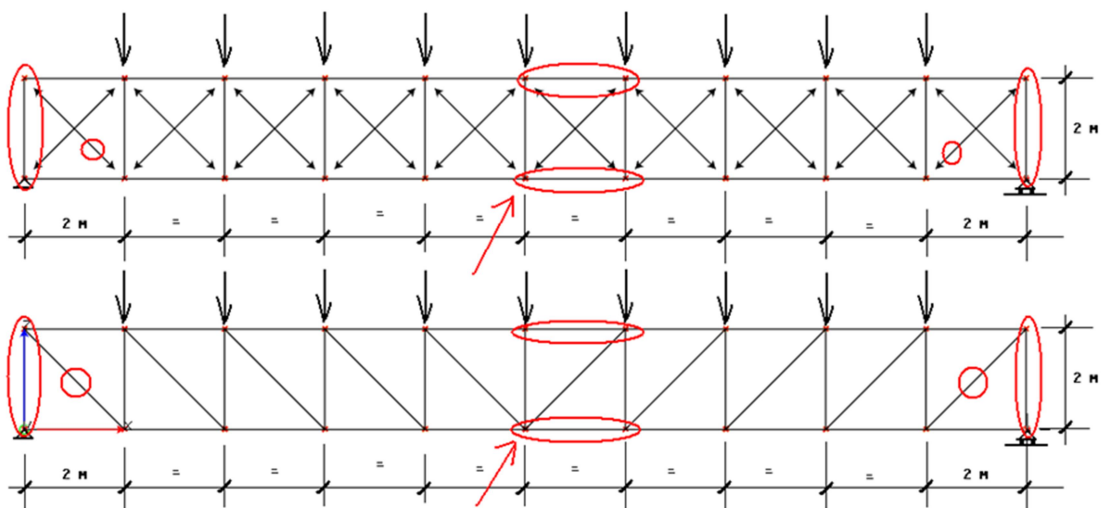


Figura 34-Aste analizzate

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

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

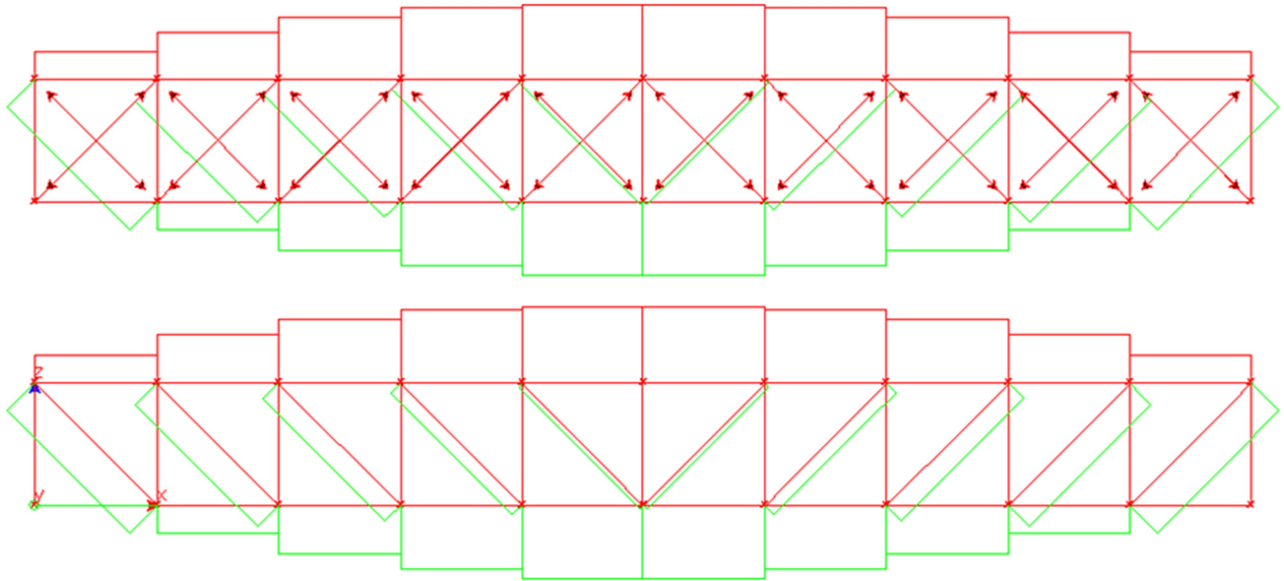


Figura 35-Diagramma dello sforzo assiale e deformata

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.13 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 .

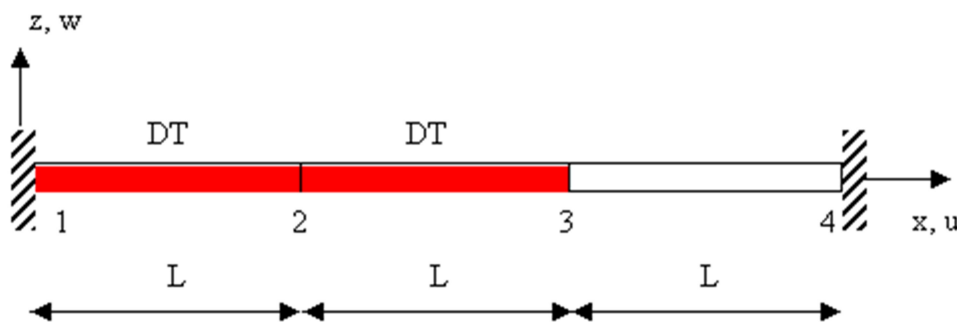


Figura 36-Schema statico

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

- Dati:
 - $E = 2100000 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - $\nu = 0.33$
 - $L = 100 \text{ [cm]}$
 - $A = 25 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - $\alpha = 0.000012 \text{ [1/}^\circ\text{C]}$
 - $DT = 833.333 \text{ [}^\circ\text{C]}$
- 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

Nuove strutture secondarie per l'impalcato della Passerella pedonale "Ponte delle Pace", - Casalecchio di Reno (BO)

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

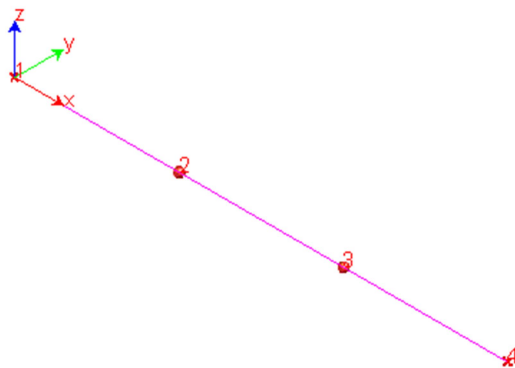


Figura 37-Modello

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

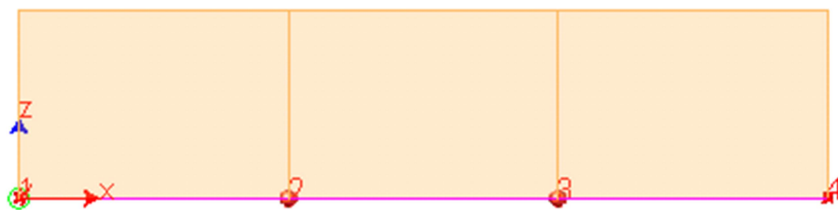
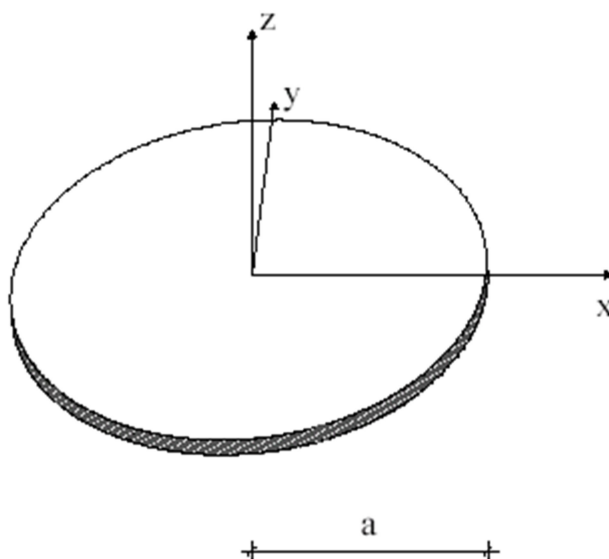


Figura 38-Diagramma sforzo normale

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

3.14 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.



- Obiettivo: determinare l'abbassamento w del centro della piastra, trascurando il peso della piastra, nei seguenti casi:
 - a) carico uniformemente distribuito q_0 su tutta la piastra e contorno incastrato;
 - b) carico concentrato P applicato nel centro della piastra e contorno incastrato;
 - c) carico uniformemente distribuito q_0 su tutta la piastra e contorno appoggiato.
- Dati:
 - $E = 2100000 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - $\nu = 0.3$
 - $a = 1.50 \text{ [m]}$
 - $t = 3 \text{ [cm]}$
 - $q_0 = 10 \text{ [t/m}^2\text{]}$
 - $P = 2 \text{ [t]}$
- 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

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

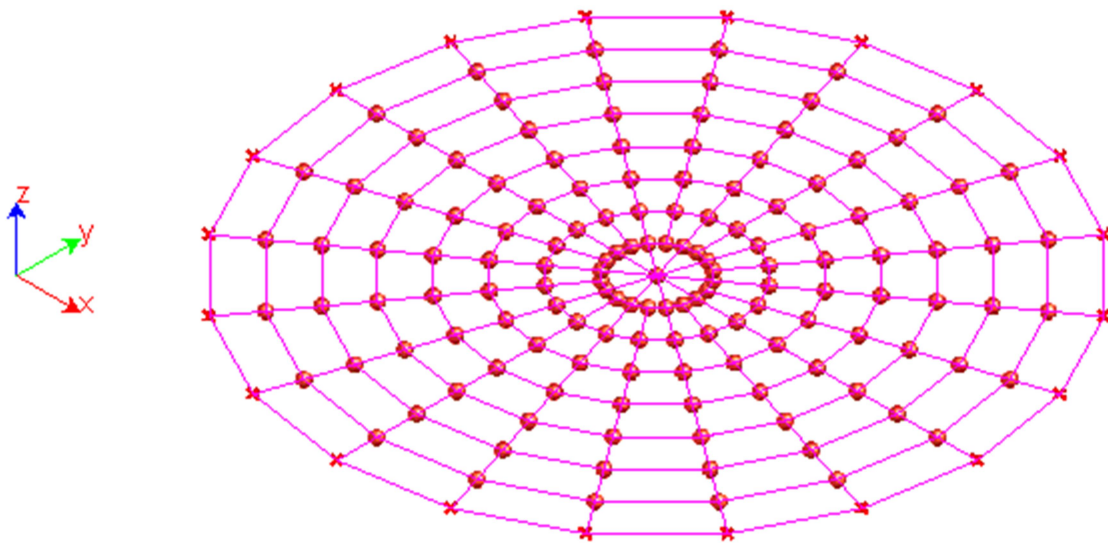


Figura 39-Modello

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

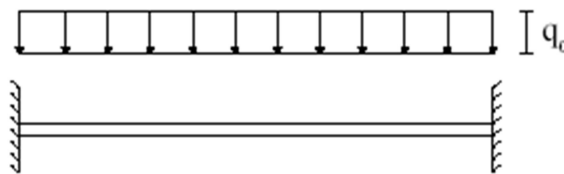


Figura 40-Schema del caso A

Analisi dei risultati

Soluzione teorica	WinStrand	rapporto	
w [mm]	15.20	15.25	1.003

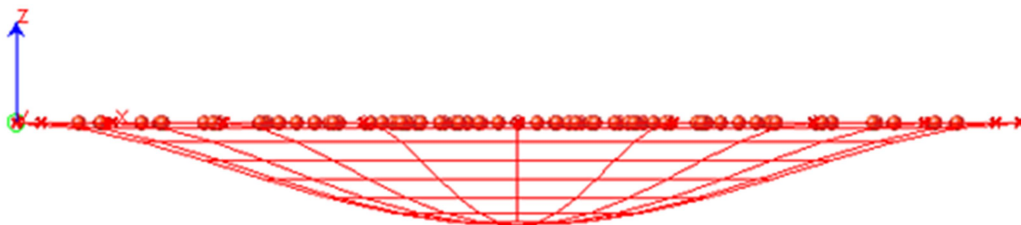


Figura 41-Deformata Caso A

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

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

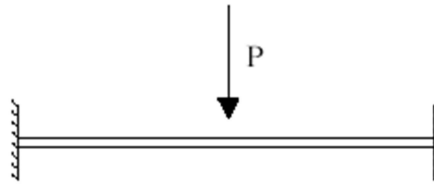


Figura 42-Schema del Caso B

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
w [mm]	1.725	1.722	0.998



Figura 43-Deformata del Caso B

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

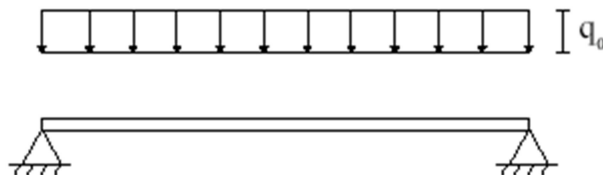


Figura 44-Schema del Caso C

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto	
w [mm]		61.96	61.88	0.999

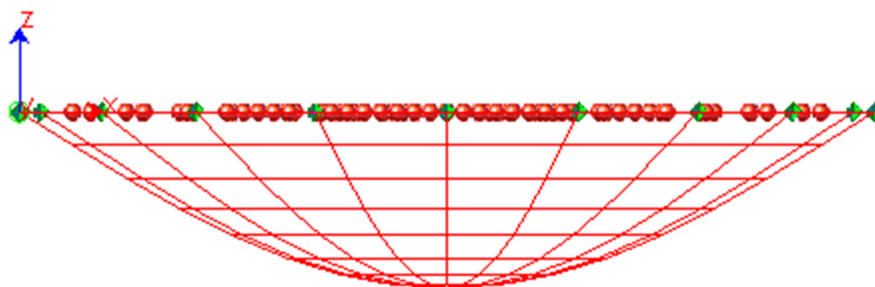


Figura 45-Deformata del Caso C

Nuove strutture secondarie per l'impalcato della Passerella pedonale "Ponte delle Pace", - Casalecchio di Reno (BO)

Relazione tecnica delle strutture - Allegato Z -Programma di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni