



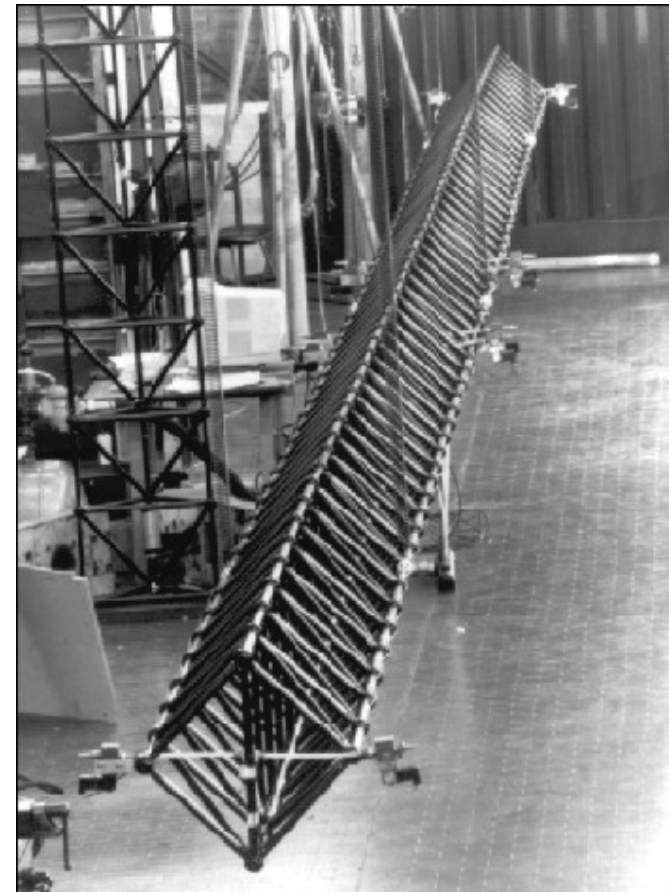
# *Analisi di strutture a traliccio*

Politecnico di Milano  
Dipartimento di Ingegneria  
Aerospaziale

Corso di Progetto Aerospaziale  
Esercitazione 2

Marco Morandini  
[morandini@aero.polimi.it](mailto:morandini@aero.polimi.it)  
Alessandro De Gaspari  
[degaspari@aero.polimi.it](mailto:degaspari@aero.polimi.it)  
Andrea Parrinello  
[parrinello@aero.polimi.it](mailto:parrinello@aero.polimi.it)

Luca Cavagna



# Struttura a traliccio (o truss structure)

## Definizione:

- Un traliccio è un *sistema* strutturale composto da *elementi* progettati per resistere puramente a carichi *assiali* (di tensione o compressione)
- Idealmente, gli elementi non resistono né a *flessione* né a *torsione*, per cui è necessario avere delle connessioni in corrispondenza delle intersezioni degli assi di tali elementi
- I vincoli tra gli elementi non possono quindi trasferire momenti e gli estremi sono liberi di ruotare attorno a delle cerniere (*2D*) o a dei giunti sferici (*3D*)

## Scopo:

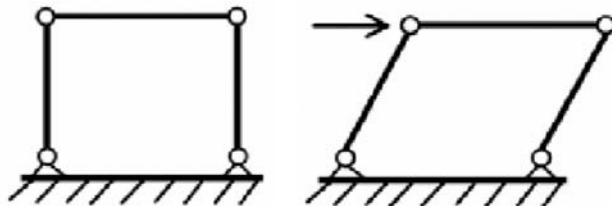
- L'utilizzo del traliccio lavorante ad azione assiale consente di ottenere globalmente una struttura *efficiente*, vale a dire più *leggera* a parità di *rigidezza* rispetto ad una struttura in grado di sopportare momenti



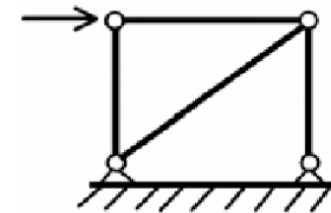
# Struttura a traliccio (o truss structure)

## Aspetti chiave:

- L'elemento base di tale tipo di struttura è l'elemento triangolare costituito da tre elementi denominati *aste*
- Nella realtà è quindi possibile riconoscere una struttura a traliccio dal fatto che, dopo aver sostituito immaginariamente i vincoli di mutua connessione con delle cerniere, essa continui a sopportare i carichi senza dar luogo a labilità



Struttura labile



Struttura NON labile

- L'elemento diagonale può essere sostituito da un cavo; questo però resiste solo a tensione per cui è necessario aggiungerne un altro lungo la seconda diagonale

## Importante:

E' *sempre* importante verificare che il carico agente sulle aste sia inferiore al *carico critico Euleriano*; l'instabilità causa infatti una risposta della struttura diversa da quella attesa dal progettista

# Alcuni esempi nel settore aerospaziale

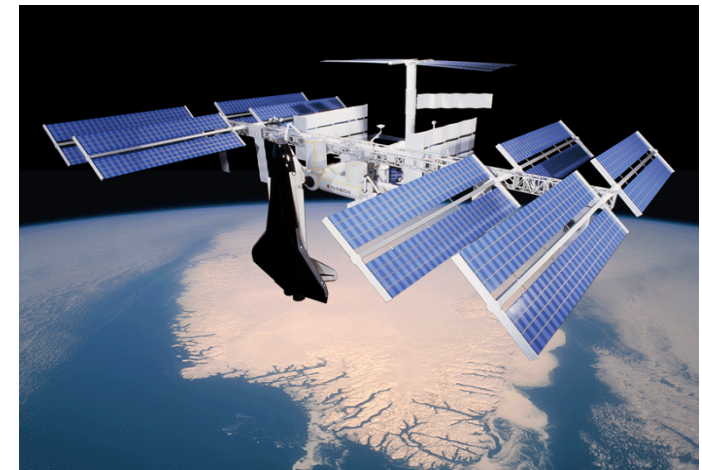
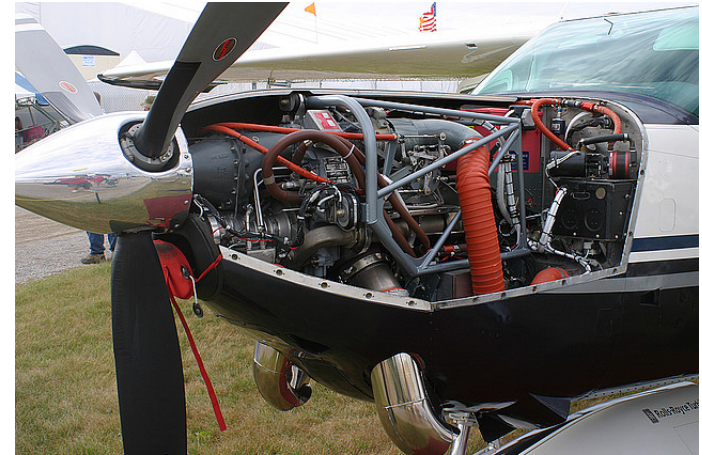
POLITECNICO DI MILANO



Progetto  
Aerospaziale

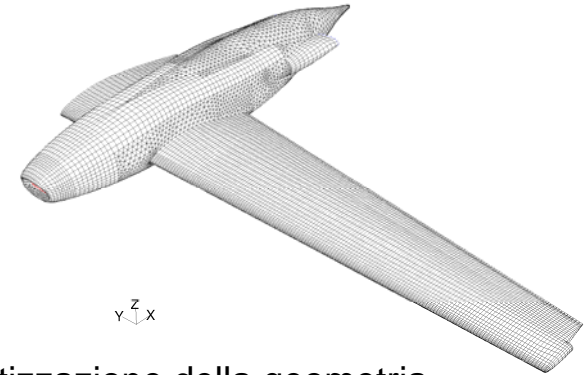
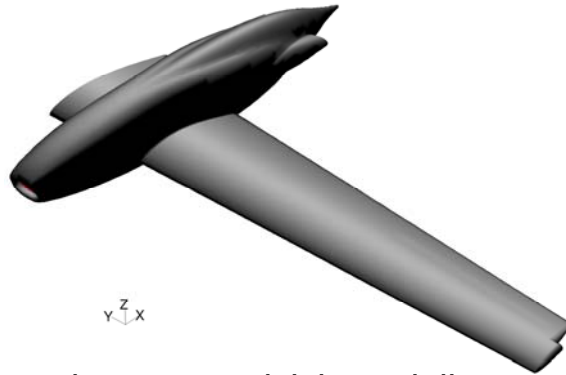
Esercitazione 1

Analisi di  
strutture a  
traliccio



# Analisi computazionale: passi generali

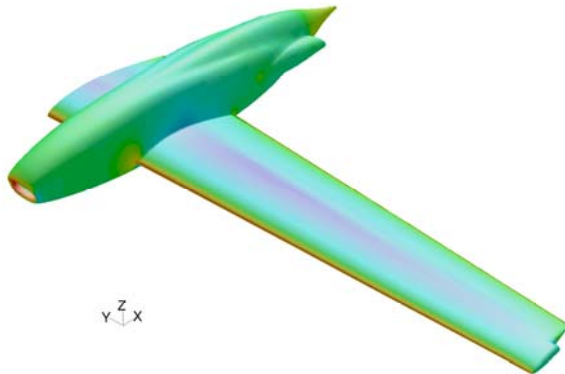
## 1 Pre-processing



- Creazione o acquisizione della geometria

- Discretizzazione della geometria
- Costruzione delle proprietà fisiche del modello
- Disposizione degli elementi
- Creazione del file di input per il codice di analisi

## 3 Post-processing



- Verifica ed interpretazione dei risultati

## 2 Soluzione numerica



# Costruzione di un reticolo semplice in FEMAP®

- FEMAP® rappresenta uno dei possibili programmi disponibili in commercio per le fasi di *pre-processing* e di *post-processing*

## Caratteristiche:

- Relativamente semplice da utilizzare
- E' possibile importare o creare la geometria del modello
- Consente di creare un file di input per diversi codici ad elementi finiti commerciali ( *Nastran, Abaqus, Ansys, LS-Dyna, Ideas*)
- Ciascuno di questi codici ha un proprio schema e proprie regole per la descrizione del modello ad elementi finiti (coordinate dei nodi, caratteristiche del materiale utilizzato, tipo di elemento utilizzato e relativi nodi, descrizione dei carichi)
- Permette di caricare, una volta terminata l'analisi, il file di output generato dal codice di analisi e di interpretare e visualizzare la soluzione dell'analisi eseguita (strutturale, termica, dinamica, di instabilità)
- E' possibile disegnare grafici o avere una immediata visualizzazione colorata (*contour*) della soluzione

**FEMAP**

Real FEA Solution Made Easy

POLITECNICO DI MILANO

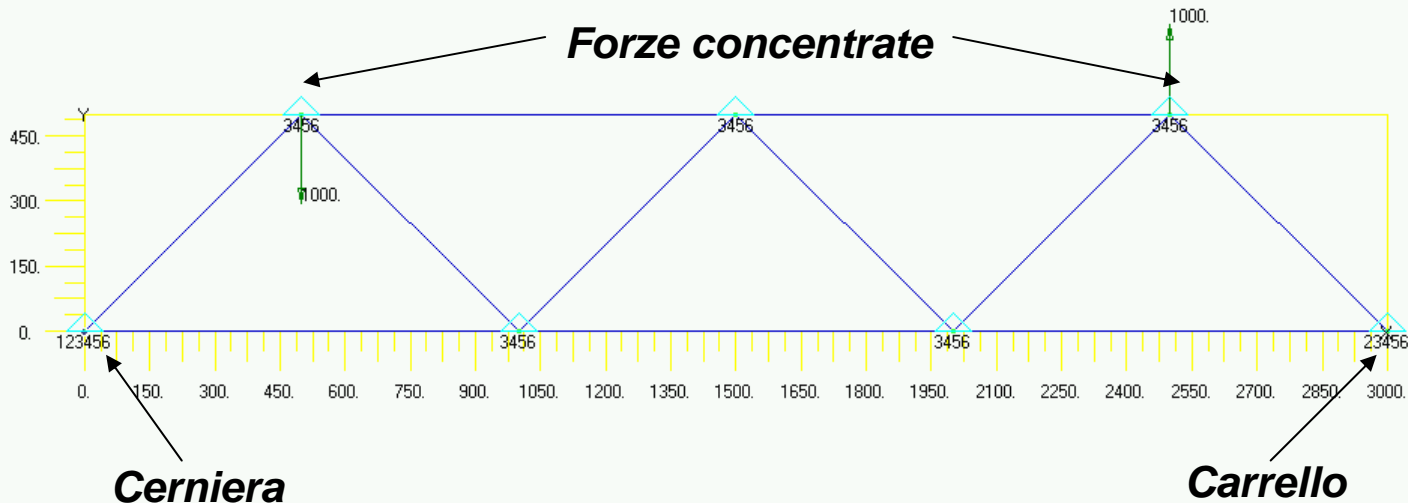


Progetto  
Aerospaziale

Esercitazione 1

Analisi di  
strutture a  
traliccio

# Caratteristiche del modello reticolare



**Cerniera**

**Carrello**

ID	X (mm)	Y (mm)
1	0	0
2	1000	0
3	2000	0
4	3000	0
5	500	500
6	1500	500
7	2500	500

Asta	Nodo 1	Nodo 2
1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	7
5	7	3
6	6	3
7	6	2
8	5	2
9	5	1
10	5	6
11	6	7

Forza: 100 kg<sub>f</sub>

Area aste: 100 mm<sup>2</sup>

E<sub>mat</sub>: 210.000 N/mm<sup>2</sup>

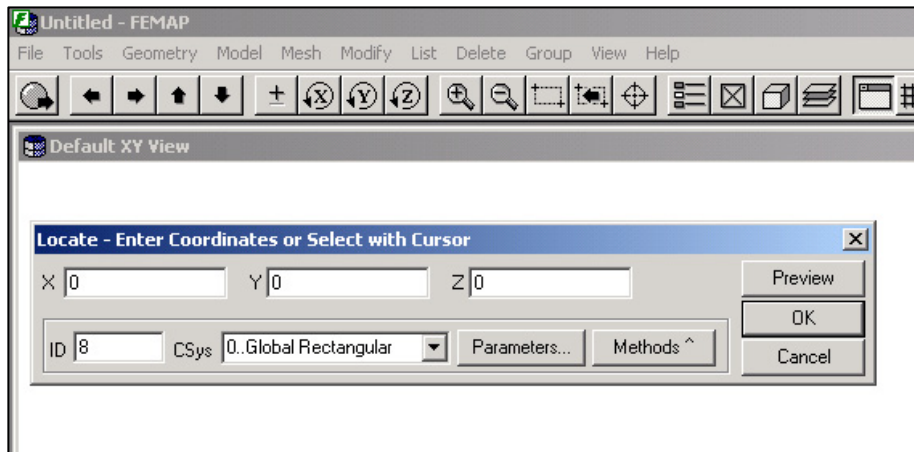
**Attenzione alle unità di misura!**



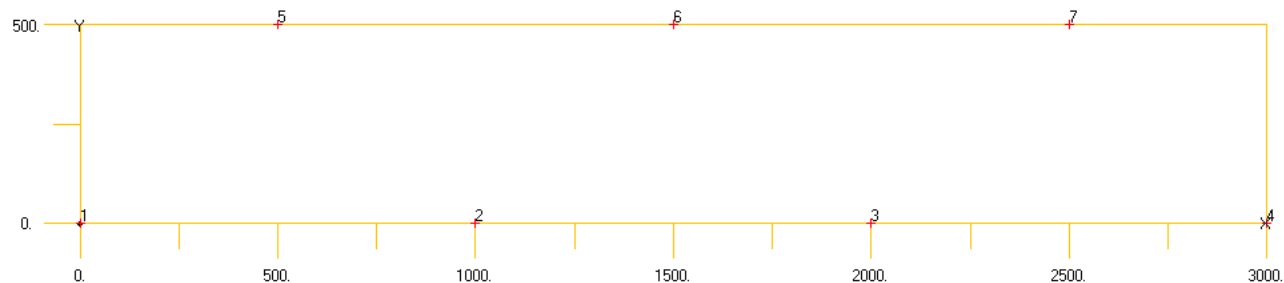
# Costruzione della geometria

## Creazione dei punti:

- 1 Menu: Geometry/Point
- 2 Inserire le coordinate di ogni punto
- 3 Premere OK
- 4 Ripetere le operazioni 2-3 per ogni punto



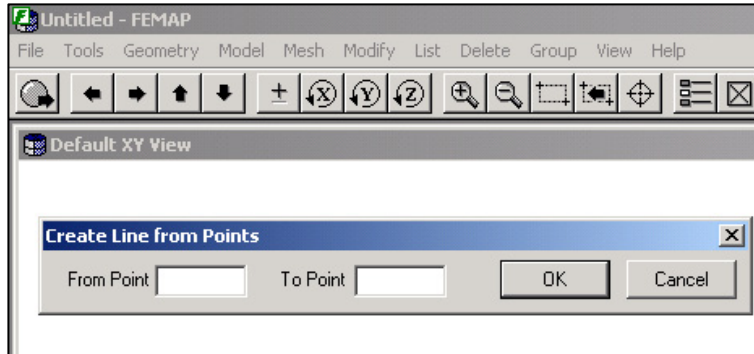
## Risultato:





# Costruzione della geometria

## Creazione delle curve:



- 1 Menu:Geometry/CurveLine/Points
- 2 Premere sul primo punto
- 3 Premere sul secondo punto
- 4 Premere OK
- 5 Ripetere i passi 2-3-4 per ogni curva

POLITECNICO DI MILANO

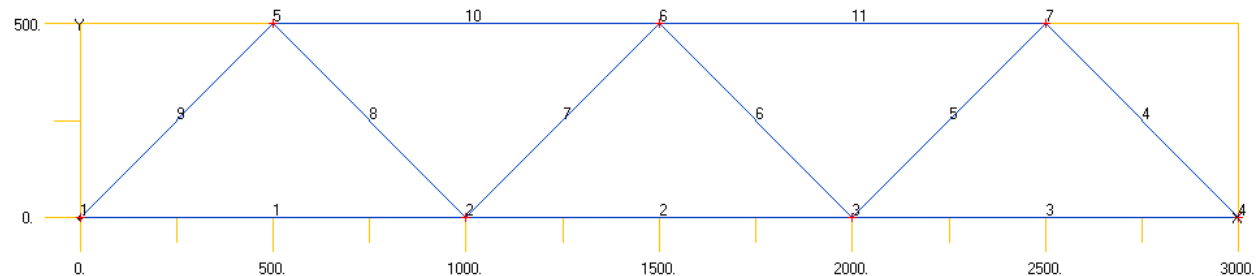


Progetto  
Aerospaziale

Esercitazione 1

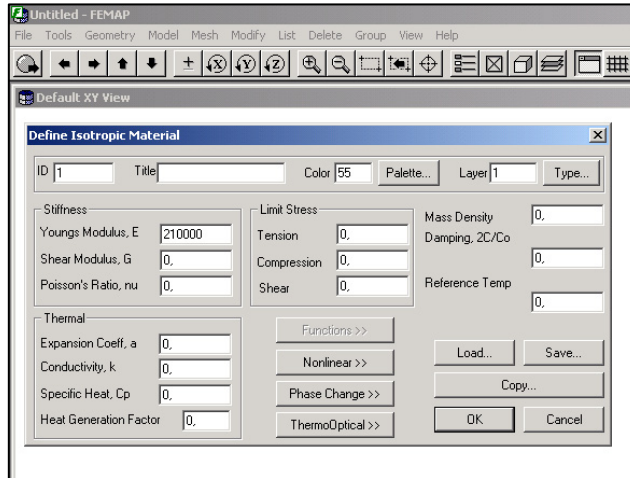
Analisi di  
strutture a  
traliccio

## Risultato:



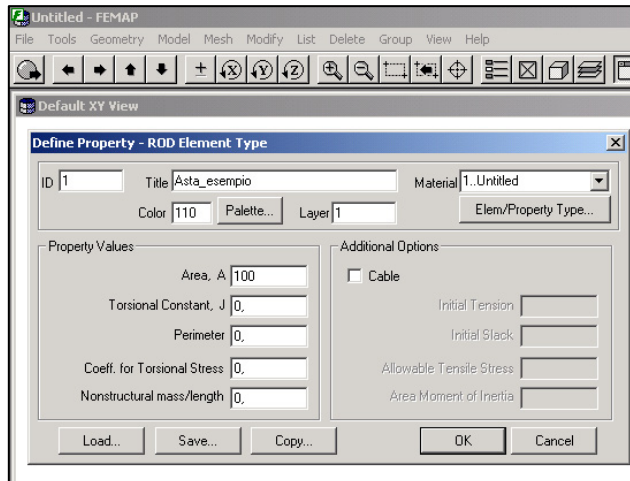
# Definizione delle caratteristiche del modello

## Definizione del materiale:



- 1 Menu:Model/Material
- 2 Selezionare dal menù *Type* il materiale isotropo
- 3 Inserire il valore di  $E$ ,  $\nu$ ,  $\rho$
- 4 Premere *OK*
- 5 Premere *Cancel* per uscire dal menù

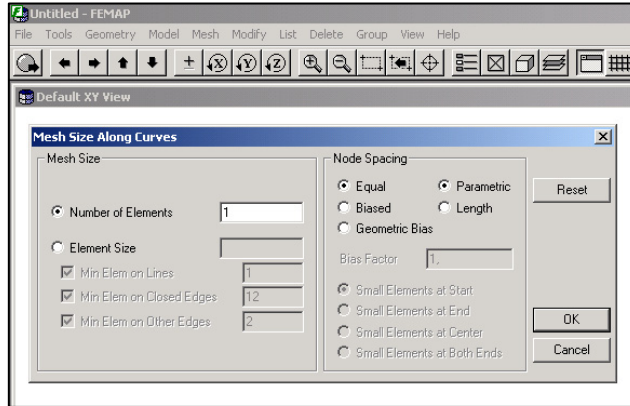
## Definizione della proprietà dell'asta:



- 1 Menu:Model/Property
- 2 Selezionare dal menù *Material* il materiale creato
- 3 Inserire il valore di  $A$
- 4 Gli altri dati possono essere tralasciati per questo esempio
- 5 Premere *OK*
- 6 Premere *Cancel* per uscire dal menù

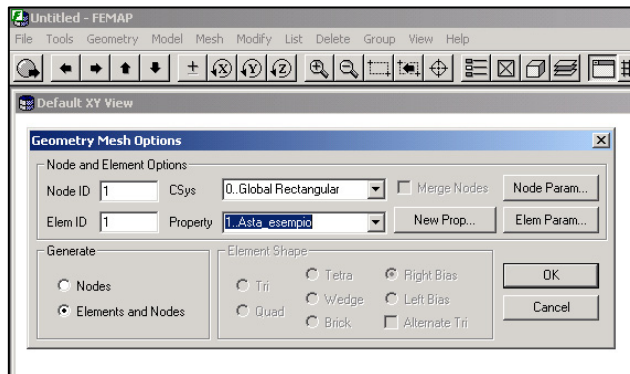
# Costruzione del modello ad elementi finiti

## Discretizzazione della geometria:



- 1 Menu: Mesh/MeshControl/SizeAlongCurve
- 2 Premere *SelectAll* per selezionare tutte le curve
- 3 Immettere il numero di elementi desiderati su ogni curva: 1 elemento
- 4 Premere *OK*
- 5 Premere *Cancel* per uscire dal menù

## Disposizione degli elementi di asta



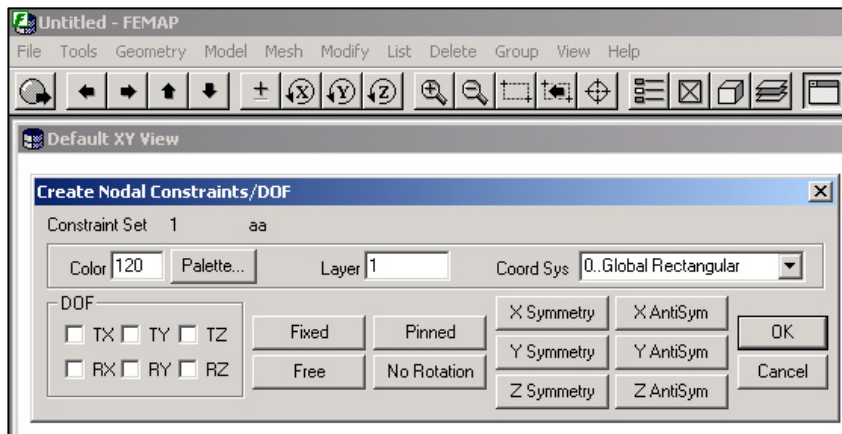
- 1 Menu: Mesh/Geometry/Curve
- 2 Premere *SelectAll* per selezionare tutte le curve
- 3 Selezionare la Property creata
- 4 Premere *OK*
- 5 Premere *Cancel* per uscire dal menù
- 6 Pulire i nodi coincidenti Menu: Tools/Check/CoincidentNodes

# Definizione delle condizioni al contorno del problema

## Definizione dei vincoli:

Bisogna rendere la matrice di rigidità del sistema non singolare:

- Occorre impedire i movimenti fuori dal piano ( $T_z$ ,  $R_x$  e  $R_y$ ), dal momento che il problema è bi-dimensionale;
- Il modello di asta non coinvolge l'equilibrio alla rottazione dei nodi quindi è necessario bloccare le rotazioni nel piano;
- I nodi rimangono liberi di traslare nel piano, ossia lungo  $x$  e  $y$ .

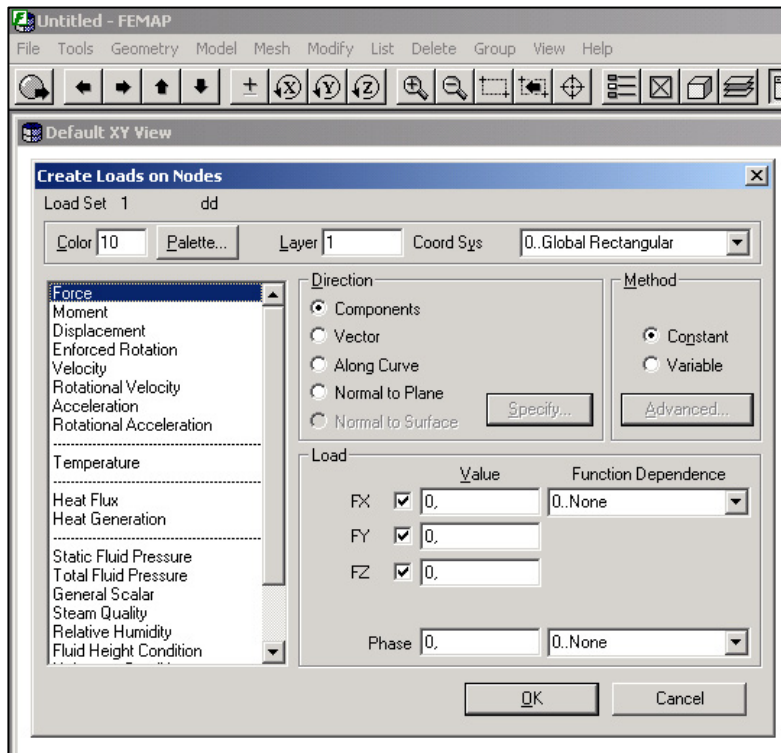


- 1 Menu:Model/Constraint/Nodal
- 2 Premere *SelectAll* per selezionare tutti i nodi
- 3 Selezionare  $T_z, R_x, R_y, R_z$
- 4 Premere OK
- 5 Selezionare il nodo 1 e vincolare  $T_x, T_y$
- 6 Selezionare il nodo 4 e vincolare  $T_y$
- 7 Premere *Cancel* per uscire dal menù

# Definizione delle condizioni al contorno del problema

## Definizione dei carichi:

- Esistono diversi tipi di carichi applicabili: forze e momenti concentrati, carichi distribuiti, carichi termici, spostamenti imposti
- Bisogna sempre porre attenzione alle unità di misura che devono essere tra loro consistenti

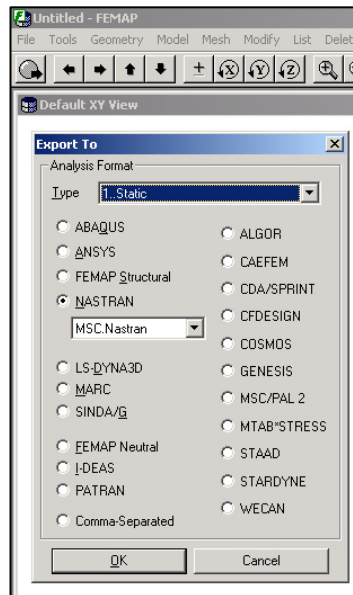


- 1 Menu:Model/Load/Nodal
- 2 Selezionare il nodo 5
- 3 Applicare una forza  $F_y$  pari a  $-100$  kg
- 4 Premere OK
- 5 Selezionare il nodo 7
- 6 Applicare una forza pari a  $100$  kg
- 7 Premere OK
- 8 Premere *Cancel* per uscire dal menù

# Preparazione del file per l'analisi numerica

- Terminata la fase di *pre-processing* è possibile eseguire l'analisi numerica ad elementi finiti
- Importante: il pre-processore serve per costruire in modo relativamente semplice la griglia
- E' possibile infatti sfruttare diversi algoritmi appositamente creati
- Questi permettono di disporre gli elementi sulla geometria creata a partire dalla discretizzazione effettuata dall'utente secondo determinati criteri

## Creazione del file di input:



- 1 Menu: **File/Export/AnalysModel**
- 2 Selezionare **MSC-NASTRAN®**
- 3 Selezionare dal menù *Type Static*
- 4 Premere **OK**
- 5 Immettere il nome del file da creare (tipicamente con estensione *dat* o *bdf*)
- 6 Lanciare il solutore **MSC-NASTRAN®**

# Apertura del file creato per MSC-NASTRAN®

ID Esempio

SOL SESTATIC

TIME 10000

CEMD

ECHO = NONE

DISPLACEMENT = ALL

OLOAD = ALL

SPCFORCE = ALL

FORCE(CORNER) = ALL

STRESS(CORNER) = ALL

SPC = 1

LOAD = 1

BEGIN BULK

PARAM,AUTOSPC,YES

PARAM,GRDPNT,0

CORD2C 1 0 0. 0. 0. 0. 0. 1.+FEMAPC1

+FEMAPC1 1. 0. 1. 0. 0. 0. 0.

CORD23 2 0 0. 0. 0. 0. 0. 1.+FEMAPC2

+FEMAPC2 1. 0. 1. 0. 0. 0. 0.

FORCE 1 62 0 1. 0. -100. 0.

FORCE 1 66 0 1. 0. 100. 0.

SPC 1 47 2456 0.

SPC 1 49 2456 0.

SPC 1 51 22456 0.

SPC 1 56 2456 0.

SPC 1 62 122456 0.

SPC 1 63 2456 0.

SPC 1 66 2456 0.

PROD 1 1 100. 0. 0. 0.

MATL 1 210000. 105000. 0. 0. 0.

GRID 47 0 1000. 0. 0. 0

GRID 49 0 2000. 0. 0. 0

GRID 51 0 3000. 0. 0. 0

GRID 56 0 1500. 500. 0. 0

GRID 62 0 0. 0. 0. 0

GRID 63 0 500. 500. 0. 0

GRID 66 0 2500. 500. 0. 0

CRD 23 1 62 47

CRD 24 1 47 49

CRD 25 1 49 51

CRD 26 1 51 66

CRD 27 1 66 49

CRD 28 1 49 56

CRD 29 1 56 47

CRD 30 1 47 63

CRD 31 1 63 62

CRD 32 1 63 56

CRD 33 1 56 66

ENDDATA

*Executive Control statement*

*Case Control statement*

*Bulk Data*

POLITECNICO DI MILANO



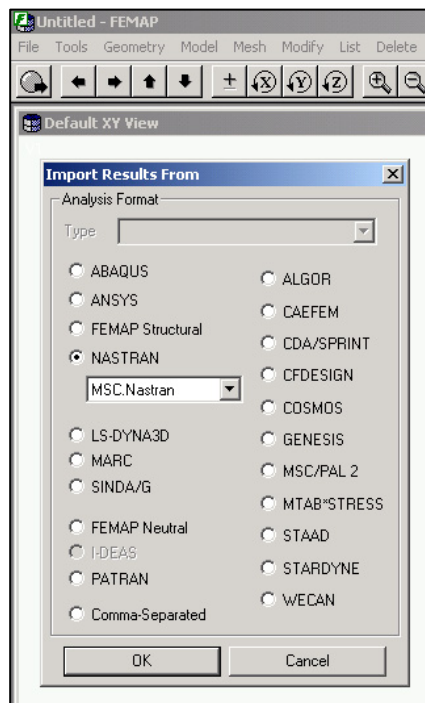
Progetto  
Aerospaziale

Esercitazione 1

Analisi di  
strutture a  
traliccio

# Post-processing delle analisi

- Terminata l'analisi è possibile aprire direttamente il file creato da *MSC-Nastran*®
- Il file con estensione *f06* è un semplice file di testo che riporta informazioni sullo stato dell'analisi eseguita (*errori o avvertimenti*) e, in caso di buon esito, i risultati dell'analisi
- Esiste un secondo file con estensione *op2* in formato binario
- *Femap*® è in grado di caricare entrambi

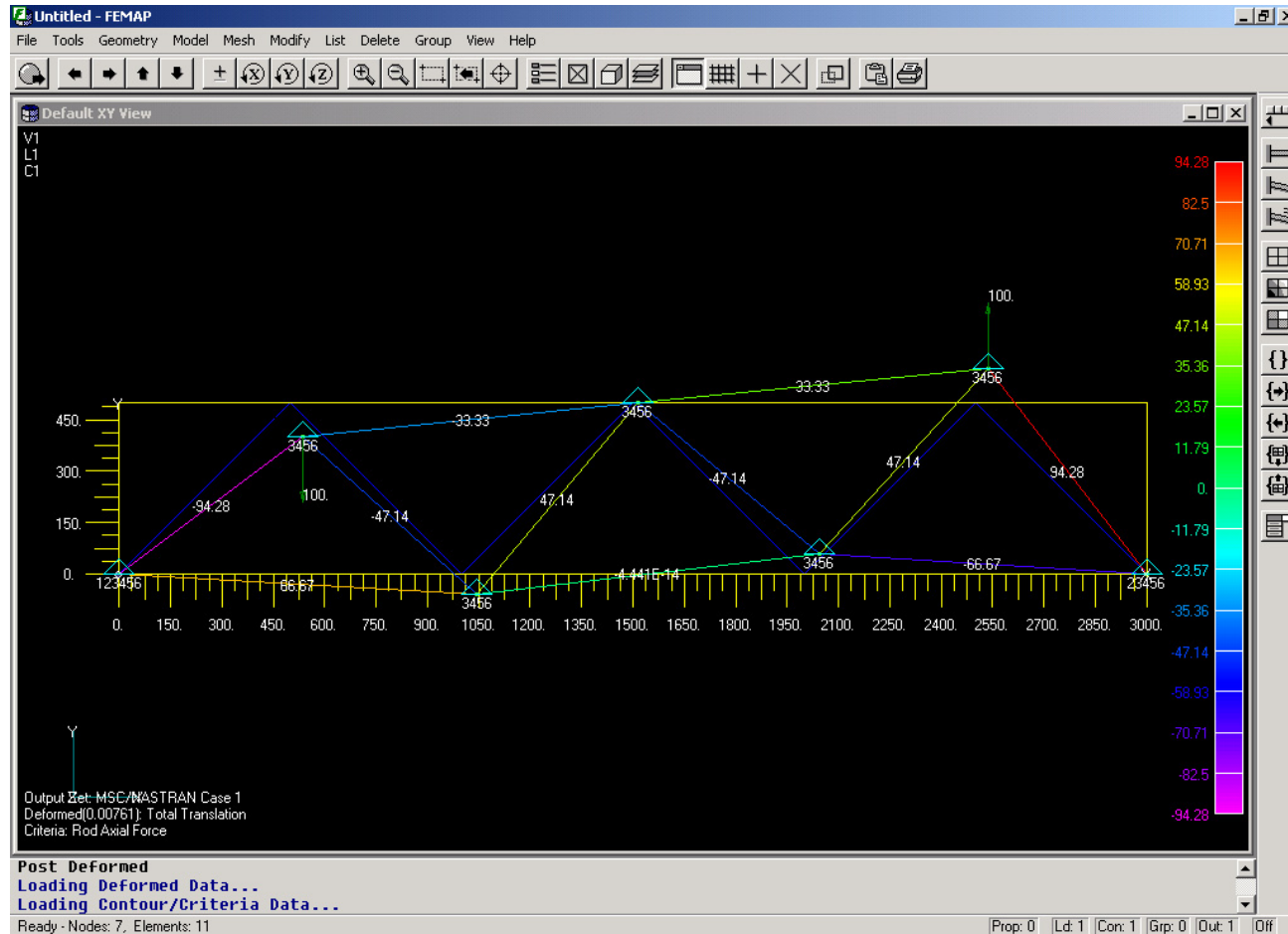


- 1 Menu: **File/Import/AnalysResults**
- 2 Selezionare **Msc-Nastran**®
- 3 Selezionare il file *f06* o *op2* creato
- 4 Nel caso siano stati commessi degli errori nel corso dell'analisi verranno riportati dei messaggi opportuni
- 5 Gli output sono ora tutti in memoria e possono essere analizzati e verificati



# Post-processing delle analisi

- E' possibile disegnare la deformata della struttura
- E' possibile inoltre diagrammare l'andamento delle azioni assiali



Deformata

Azioni assiali

## Riferimenti:

- Manuale di Femap
- Manuali di MSC-Nastran: Reference Manual, Linear Static Analysis