

Prova a flessione pannello in composito

Apriamo il browser e digitiamo il seguente link:

https://cdm.ing.unimo.it/files/index.php?dir=progetto_del_telaio/2017

scarichiamo i file: **pannello_standard.mud**, **sigma_epsilon_txt** e **tubo.mud** cliccando su “Save link as”. È bene ricordare che i file del Marc che bisogna conservare hanno estensione **.mfd** e/o **.mud** (la differenza tra i due è solamente la codifica). Per aprire Marc/Mentat, digitiamo (copia e incolla) a terminale la stringa:

```
mentat2013.1 -ogl -glflush
```

ATTENZIONE! Durante l’esercitazione il terminale non deve essere mai chiuso, altrimenti verranno chiusi tutti programmi aperti in esso.

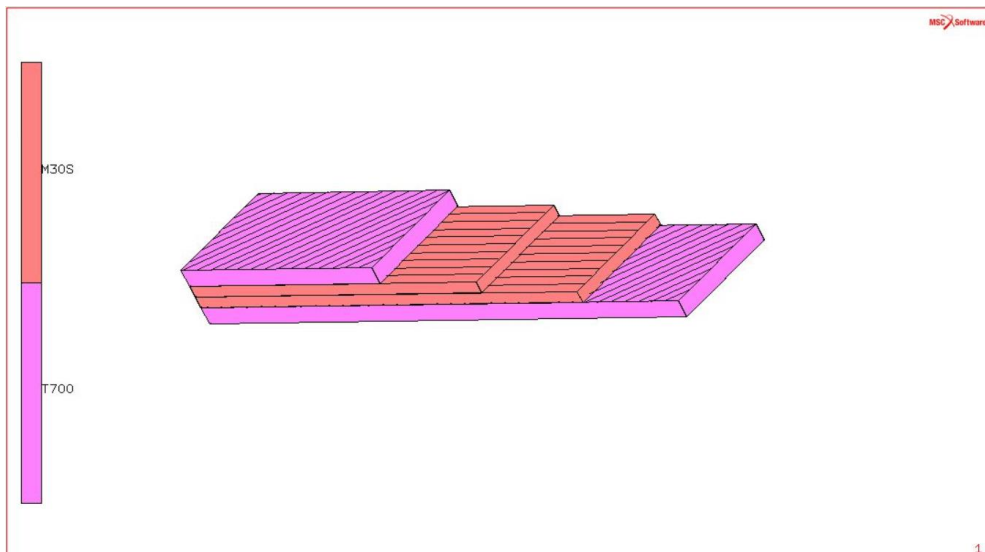
Apriamo il file:

```
FILES -> OPEN -> “pannello_standard.mud”
```

È consigliabile salvare spesso durante il lavoro, quindi salveremo il modello in maniera incrementale. Il salvataggio si esegue con:

```
FILES -> SAVE AS -> “home\n.matricola\pannello_standard_vXXX.mud”
```

Il pannello, creato la precedente lezione di laboratorio, è già meshato e possiede le caratteristiche del materiale e le orientazioni delle lamine (stiamo infatti eseguendo una analisi di un materiale composito).



Definizioni Boundary Conditions

Vincoli di simmetria

Il pannello presenta due piani di simmetria: il piano XZ e il piano YZ. Sfruttando queste caratteristiche è possibile modellare solo un quarto di struttura, impostando correttamente i vincoli di simmetria nel modello FEM.

Per impedire la compenetrazione del materiale verranno bloccate, a seconda del piano su cui stiamo lavorando, una traslazione e due rotazioni. In particolare: per il piano XZ verranno impedito le traslazioni in Y e le rotazioni attorno a X e Z, per il piano YZ le traslazioni in X e le rotazioni attorno a Y e Z. Si procede come segue:

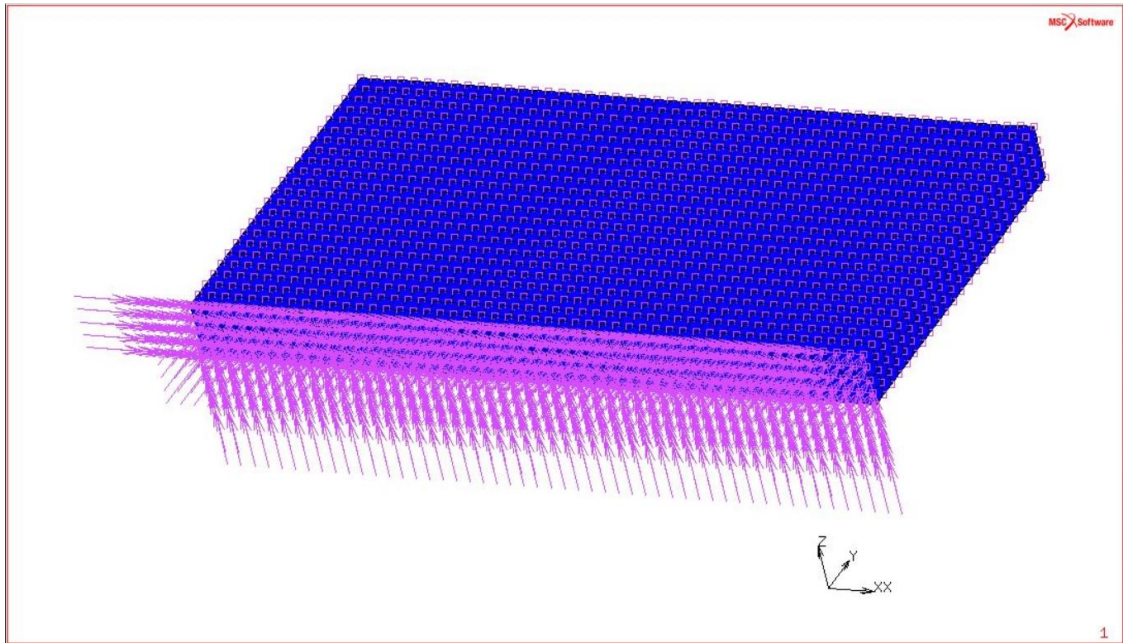
BOUNDARY CONDITIONS -> NEW -> STRUCTURAL -> FIXED DISPLACEMENT -> PROPERTIES

Si bloccano le rotazioni e le traslazioni desiderate cliccando sul tasto corrispondente e impostando il valore a zero.

Dopo aver cliccato su “ok”, rinominiamo il vincolo “sym_xz”. Procediamo quindi con la selezione dei nodi a cui devono essere applicate le condizioni di simmetria:

RESET VIEW -> FILL -> NODES -> ADD -> DYNAMIC MODEL.OFF

Ritrovandoci ora in una vista dall’alto, perpendicolare al piano XY, selezioniamo (con la selezione rettangolare) i nodi della prima riga in basso.



Procediamo analogamente per il piano YZ, avendo cura di bloccare le traslazioni lungo l'asse X e le rotazioni attorno agli assi Y e Z.

FIXED DISPLACEMENT

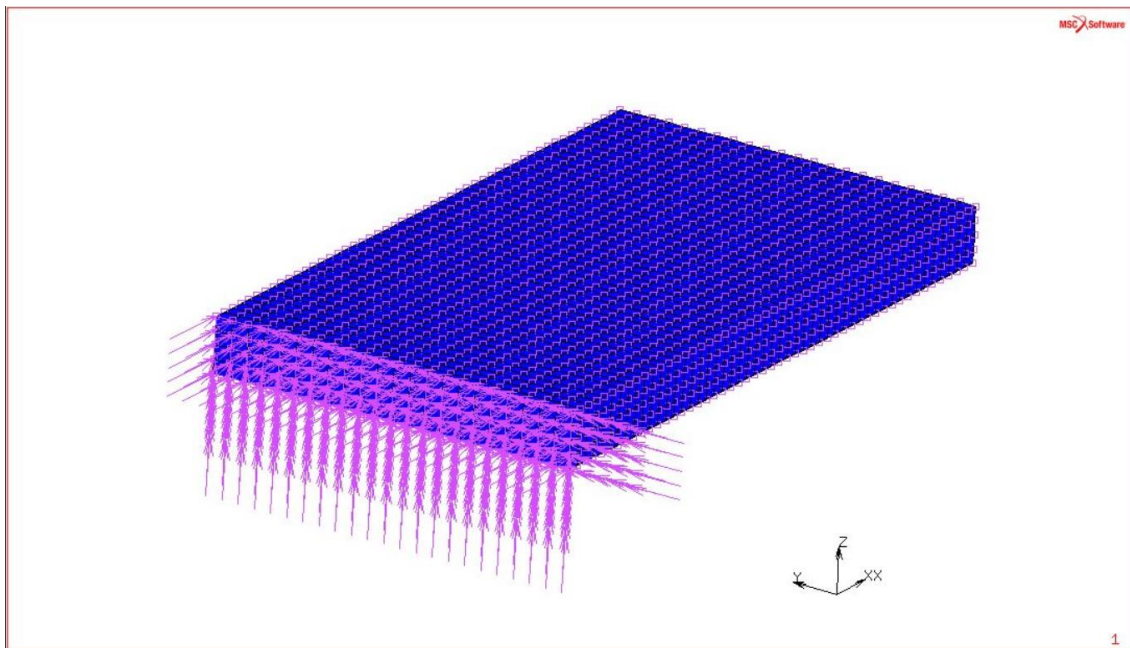
METHOD

REFERENCE POSITION

TIME DEPENDENCE

<input checked="" type="checkbox"/> DISPLACEMENT X	0	TABLE
<input type="checkbox"/> DISPLACEMENT Y		
<input type="checkbox"/> DISPLACEMENT Z		
<input type="checkbox"/> ROTATION X		
<input checked="" type="checkbox"/> ROTATION Y	0	TABLE
<input checked="" type="checkbox"/> ROTATION Z	0	TABLE

Al momento della selezione applichiamo il vincolo di simmetria solo ai nodi della prima colonna a sinistra (sempre con la vista da RESET VIEW -> FILL).



NOTA BENE: avendo selezionato tutti i nodi su una faccia abbiamo implicitamente applicato i vincoli di rotazioni bloccate sia alle pelli che al core. Tuttavia, essendo il core composto da elementi *HEX 8*, i quali non portano rotazioni, applicare tale vincoli risulta superfluo ma non dannoso ai fini dello studio. Per quanto riguarda le pelli, composte da elementi *QUAD 4*, che invece portano le rotazioni, l'assegnazione è necessaria.

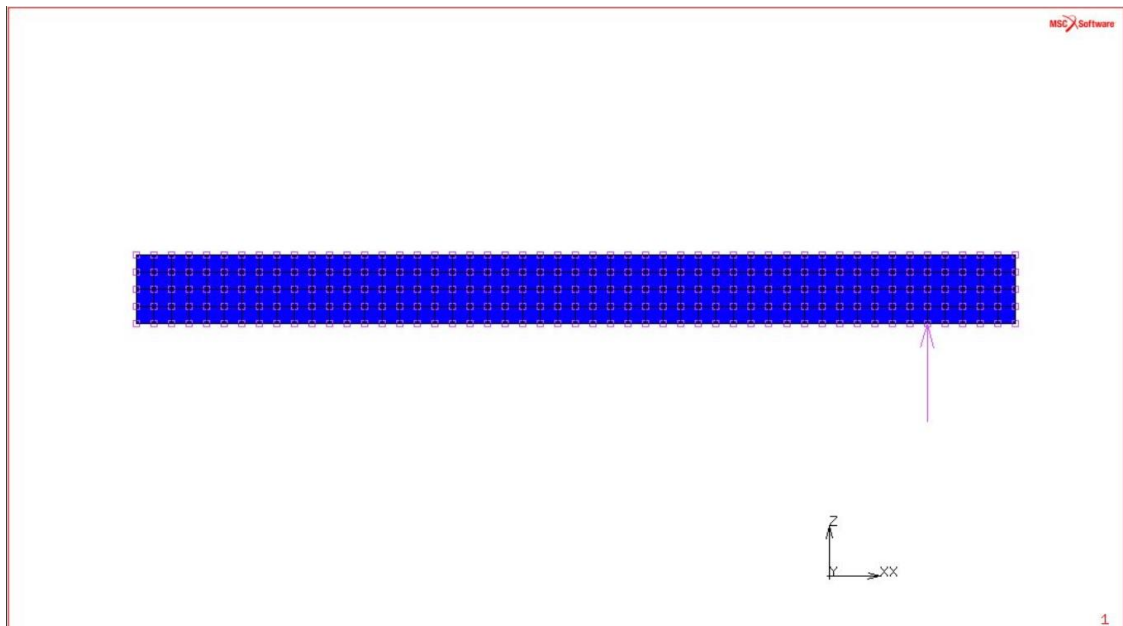
Vincoli di appoggio

Per l'esecuzione della prova la piastra è appoggiata ad una distanza di 225 mm dal piano di simmetria *YZ*, bisogna quindi trovare i nodi a tale distanza sui quali applicheremo poi il vincolo di spostamento bloccato. Per fare ciò si utilizza il comando di misura di distanza tra nodi, cercando quelli la cui distanza dal piano di simmetria è quella desiderata:

```
RESET VIEW -> FILL -> RX- -> UTILS -> DISTANCE -> DYNAMIC  
MODEL.OFF -> si selezionano due nodi
```

NOTA BENE: per facilità di selezione si clicca sul tasto *RX-* fino a che non si ha l'asse *Y* ortogonale allo schermo (come da foto).

Leggiamo la distanza misurata nella finestra di output in basso.



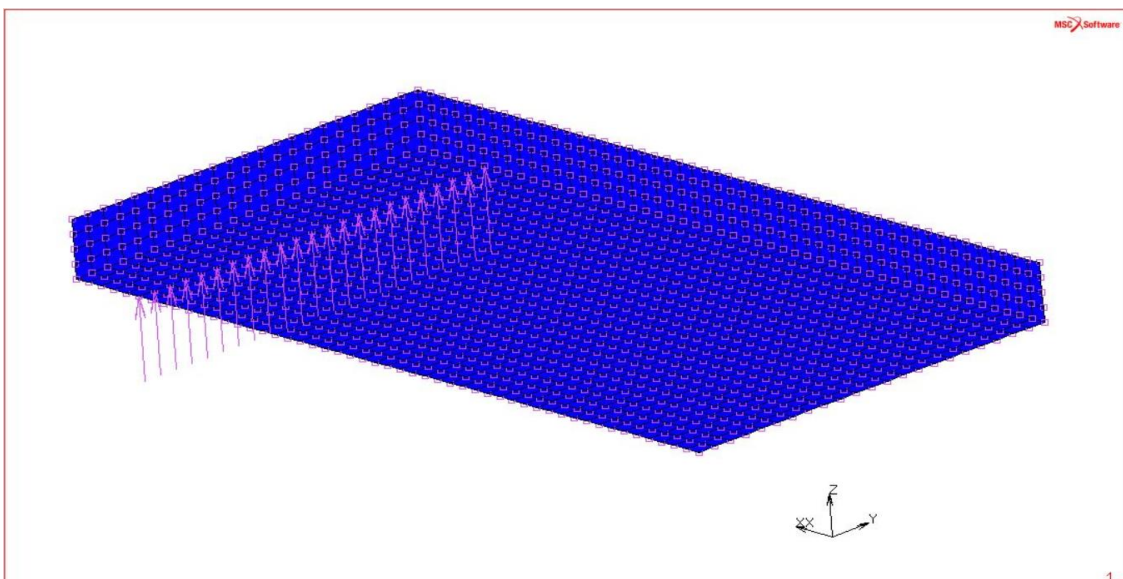
Una volta trovati i nodi alla giusta distanza si blocca lo spostamento su Z di questi:

```
BOUNDARY CONDITIONS -> NEW -> STRUCTURAL -> FIXED  
DISPLACEMENT -> PROPERTIES -> DISPLACEMENT_Z = 0
```

Rinominiamo il vincolo "vinc_Z" e lo applichiamo:

```
NODES -> ADD -> DYNAMIC MODEL.OFF
```

Selezionamo a questo punto la fila di nodi alla distanza 225mm avendo cura di prendere solo quelli (23) effettivamente a contatto con l'appoggio, ossia solo quelli appartenenti alla faccia inferiore.



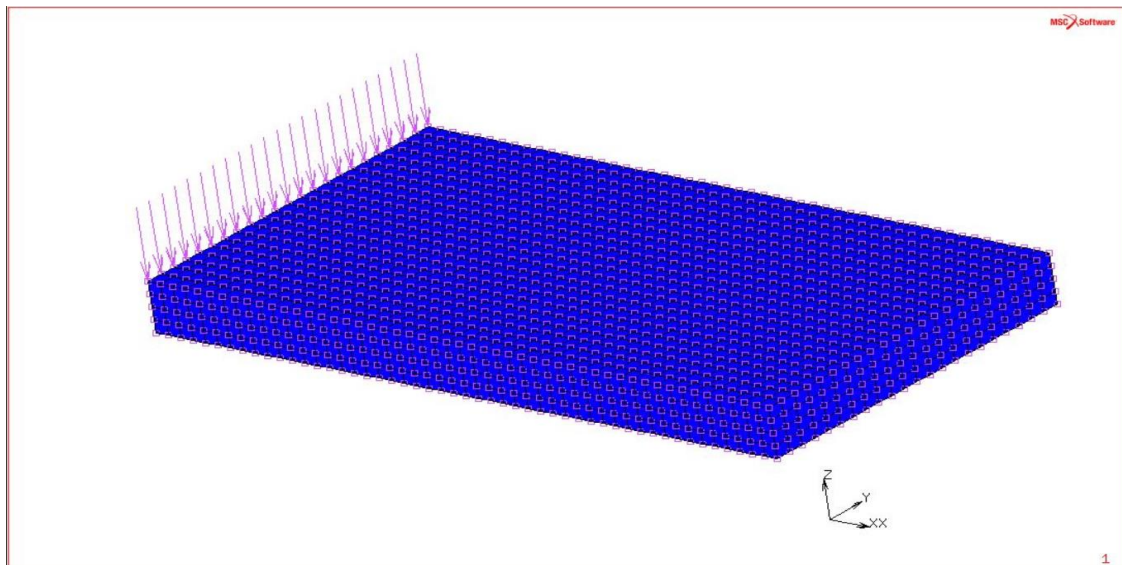
Vincoli di carico

Volendo trovare la rigidezza flessionale del pannello, lavorando in campo lineare elastico, si impone uno spostamento unitario in Z al piano di simmetria YZ del pannello. Così facendo il valore di forza calcolato a seguito dell'analisi corrisponderà alla rigidezza. Creiamo quindi il vincolo:

```
BOUNDARY CONDITIONS -> NEW -> STRUCTURAL -> FIXED  
DISPLACEMENT -> PROPERTIES -> DISPLACEMENT_Z = -1
```

Rinominiamo "spost_z" e, avendo la piastra già posizionata come in precedenza, applichiamo il vincolo ai soli nodi dello spigolo in alto a sinistra:

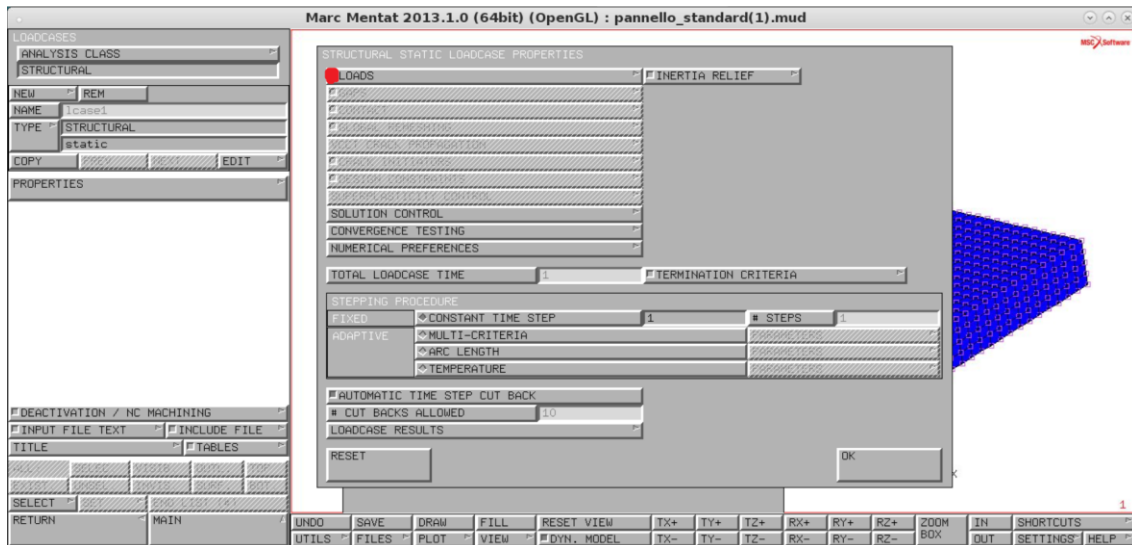
```
NODES -> ADD -> DYNAMIC MODEL.OFF -> selezioniamo i nodi
```



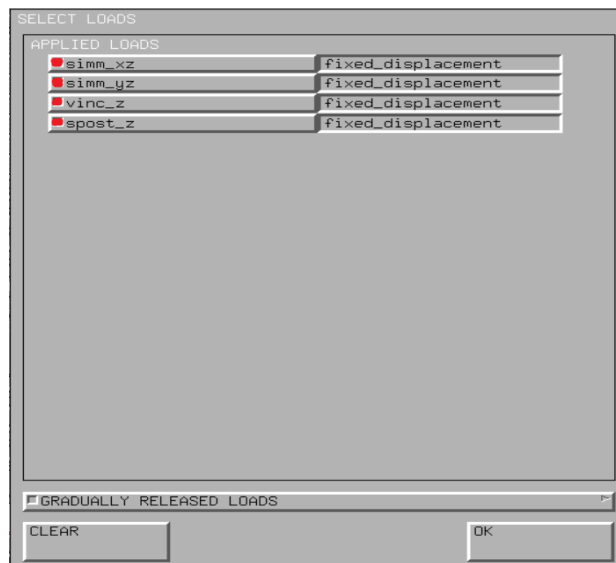
Loadcase

È utile, al fine di lanciare un calcolo, creare un loadcase: questa funzione ci permette di definire una condizione di caricamento che poi potrà essere selezionata nelle impostazioni di lancio del calcolo. Vedremo in seguito che sarà possibile, quando necessario (specialmente in casi di caricamenti con materiali elastoplastici), dare una gradualità dell'applicazione del carico.

```
LOADCASE -> NEW -> STATIC -> PROPERTIES -> LOADS
```



Nel nostro caso selezioniamo tutti i vincoli e carichi creati. Controlliamo che i tasti corrispondenti siano evidenziati.



Essendo il nostro un caso statico non si ha bisogno di suddividere il calcolo in più passi, impostiamo quindi il calcolo con una sola valutazione dell'algoritmo Newton_Rapson:

STEPS -> 1

A questo punto è necessario modificare il criterio di convergenza del metodo sull'errore relativo agli spostamenti: questo è altrimenti impostato sulla convergenza dei residui (forze) che però, avendo la relazione forze-spostamenti un andamento sub-lineare, porterebbe ad avere un errore sugli spostamenti più elevato.

CONVERGENCE TESTING -> DISPLACEMENTS -> RELATIVE
DISPLACEMENT TOLERANCE = 0.01

CONVERGENCE TESTING (STRUCTURAL)

<input type="checkbox"/> RELATIVE	<input type="checkbox"/> RESIDUALS	<input type="checkbox"/> INCLUDE ROTATIONS
<input type="checkbox"/> ABSOLUTE	<input checked="" type="checkbox"/> DISPLACEMENTS	
<input type="checkbox"/> RELATIVE/ABSOLUTE	<input type="checkbox"/> RESIDUALS OR DISPLACEMENTS	
<input type="checkbox"/> AUTO SWITCH	<input type="checkbox"/> RESIDUALS AND DISPLACEMENTS	
	<input type="checkbox"/> STRAIN ENERGY	

DISPLACEMENTS	
RELATIVE DISPLACEMENT TOLERANCE	0.01
	0
	0

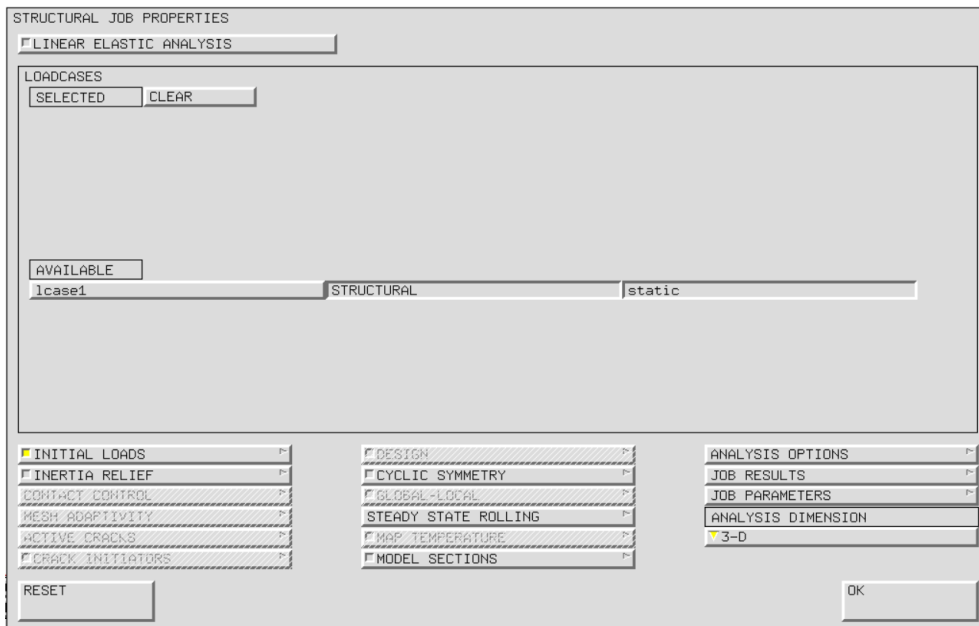
<input type="checkbox"/> RIGID LINK ROTATIONS	
ABSOLUTE LINK ROTATION	0.001

OK

Jobs

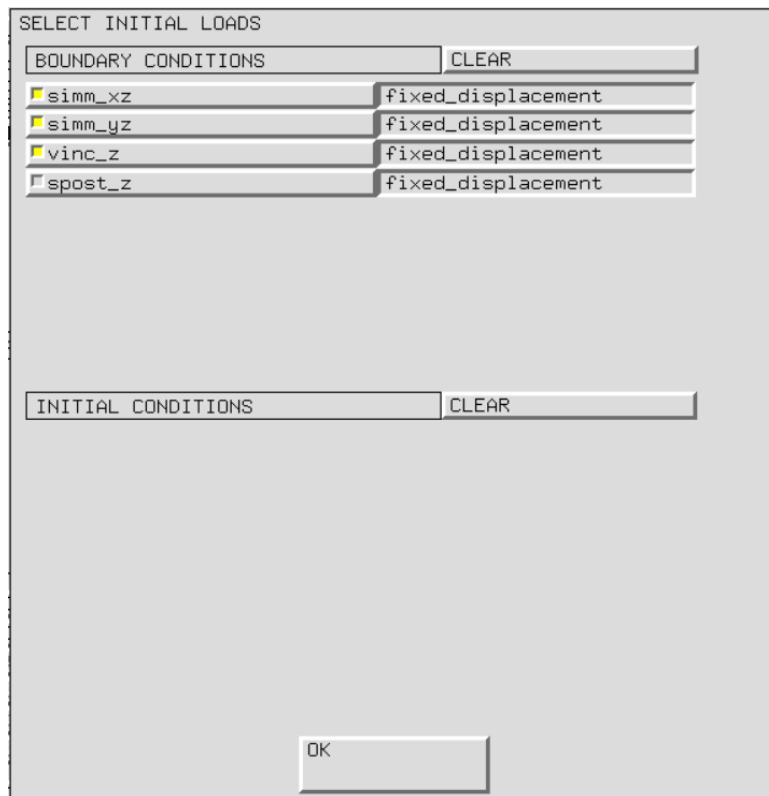
Non resta ora che impostare il lancio del calcolo. Creiamo un nuovo job e carichiamo il loadcase selezionandolo dalla lista dei disponibili (sotto *AVAILABLE*)

JOBS -> NEW -> STRUCTURAL -> PROPERTIES -> LOADCASES -> "lcase_1"



È più corretto impostare come carichi iniziali soltanto i vincoli che rendono la struttura isostatica, quindi allo step iniziale deseleggiamo lo spostamento z imposto. Partendo dal menu *PROPERTIES* del job:

INITIAL LOADS -> deseleggiamo "spost_z"

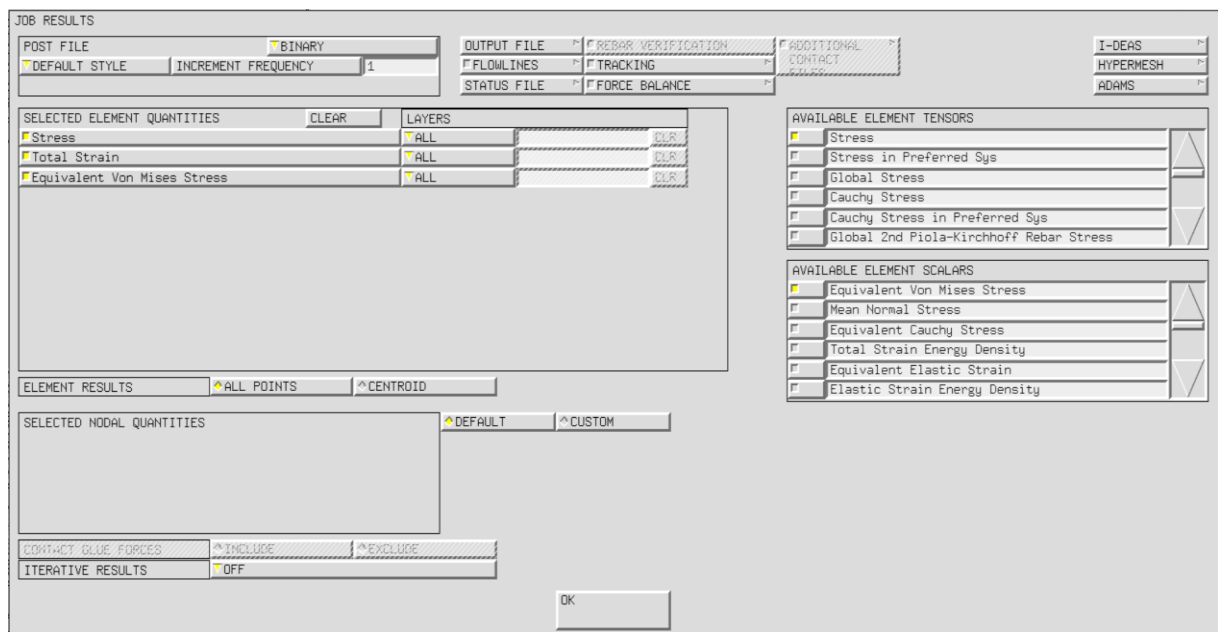


Come risultati dal calcolo chiederemo: *stress*, *total strain* e *equivalent Von Mises stress*, impostando inoltre la visualizzazione su tutti i piani dal momento che stiamo analizzando un materiale laminato:

JOB RESULT -> AVAILABLE ELEMENT TENSORS-> "stress" & "total strain"

AVAILABLE ELEMENT SCALARS -> "equivalent Von Mises stress"

SELECTED ELEMENT QUANTITIES -> LAYERS -> "all"



Prima di lanciare il calcolo bisogna assegnare il tipo agli elementi creati. Nel nostro caso: al core, formato da elementi esaedro (*HEX 8*), verrà assegnato il tipo 7, mentre alle pelli, formate da elementi piastra (*QUAD 4*), verrà assegnato l'elemento 75. Partendo dal menu *JOB*:

ELEMENT TYPES -> SOLID -> HEX 8 -> 7 -> SET -> "core"

ELEMENT TYPES -> SHELL/MEMBRANE -> QUAD 4 -> 75 -> SET -> "pelli"

NOTA BENE: la classe di un elemento è differente dal tipo, infatti non assegnando agli elementi il loro tipo il Marc avrebbe impostato di default quello più comune (nel nostro caso probabilmente avrebbe funzionato comunque ma è sempre meglio non darlo per scontato).

Può risultare utile, al fine di un controllo, utilizzare i comandi `ID TYPES` e `ID`

CLASSES dal menu *ELEMENT TYPES*. Questo permette, colorando il modello, di identificare il tipo e la classe di ogni elemento del modello.

Dopo un controllo del modello (check) siamo quindi pronti per lanciare il calcolo e aprire il file dei risultati:

CHECK -> RUN -> SUBMIT -> OPEN POST FILE (RESULTS MENU)

Analisi dei risultati

Ci troviamo ora a visualizzare il risultato; poiché all'istante iniziale abbiamo impostato soltanto i vincoli di posizionamento la struttura risulta indeformata.

Ci portiamo quindi all'istante successivo (che è anche l'unico) del calcolo, quello in cui verrà applicato lo spostamento predefinito:

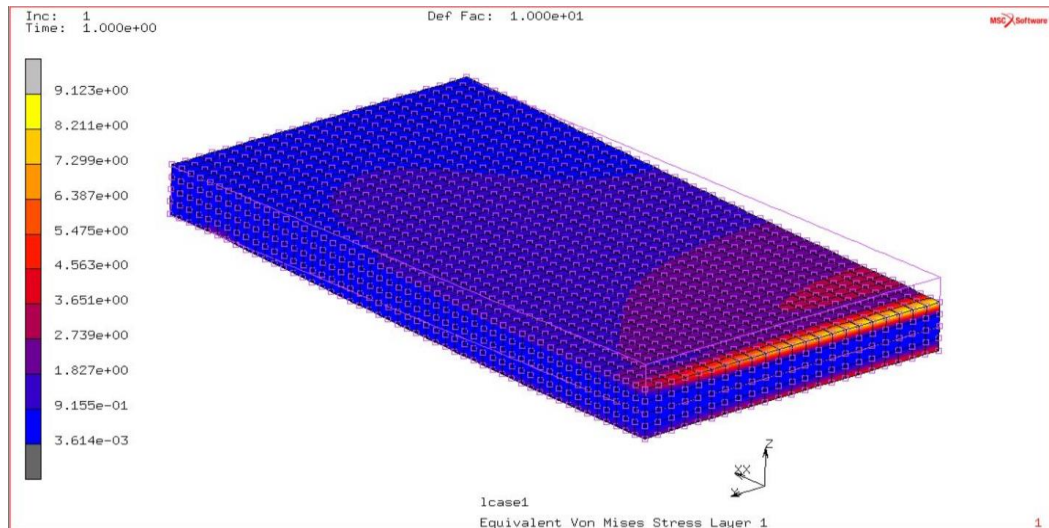
POST FILE -> NEXT

Per una migliore visualizzazione attiviamo la vista della struttura deformata sovrapposta a quella originale e modifichiamo il fattore di ingrandimento:

DEFORMED SHAPE -> DEFORMED AND ORIGINAL -> SETTINGS ->
MANUAL -> 10 -> SHOW FACTOR

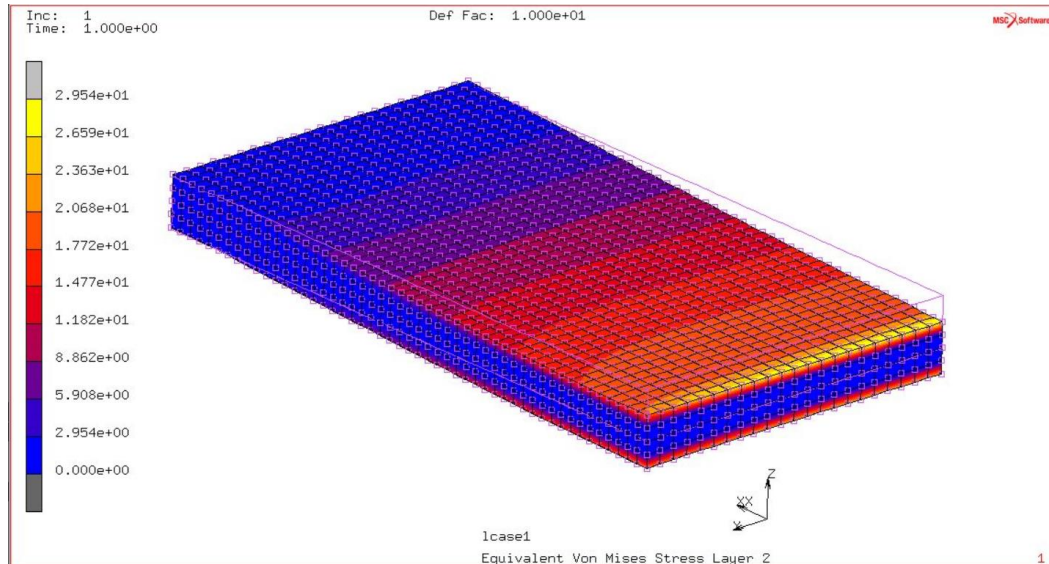
Analizziamo ora i risultati:

1. Per prima la tensione equivalente di Von Mises sul primo strato del composito (il più esterno) selezionando la visualizzazione a bande colorate:
SCALAR PLOT -> CONTOUR BANDS -> SCALAR -> EQUIVALENT
VON MISES STRESS LAYER 1



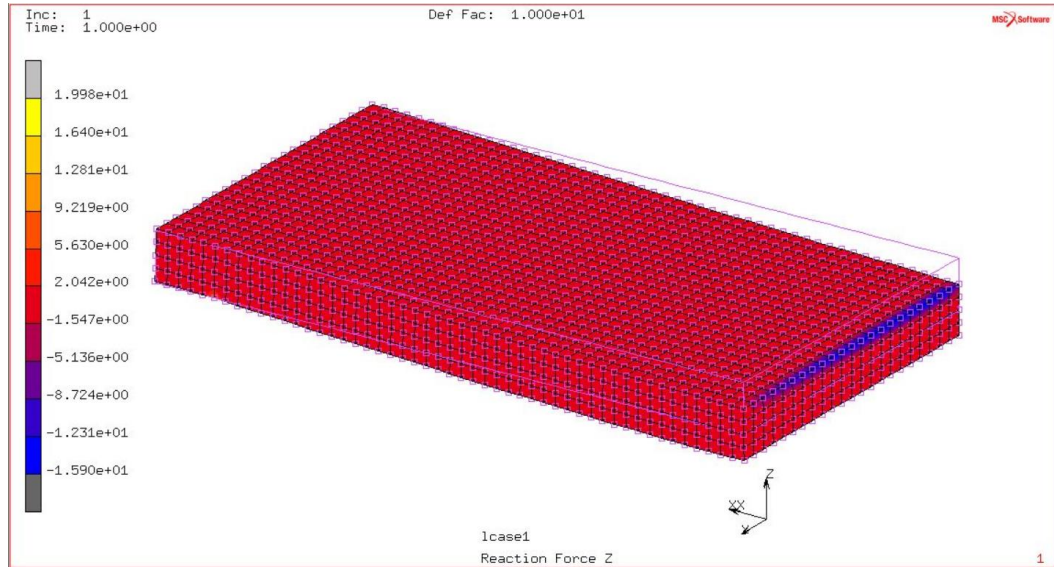
2. Successivamente sul layer 2 si eseguono i soliti comandi

SCALAR PLOT -> SCALAR -> EQUIVALENT VON MISES STRESS
LAYER 2



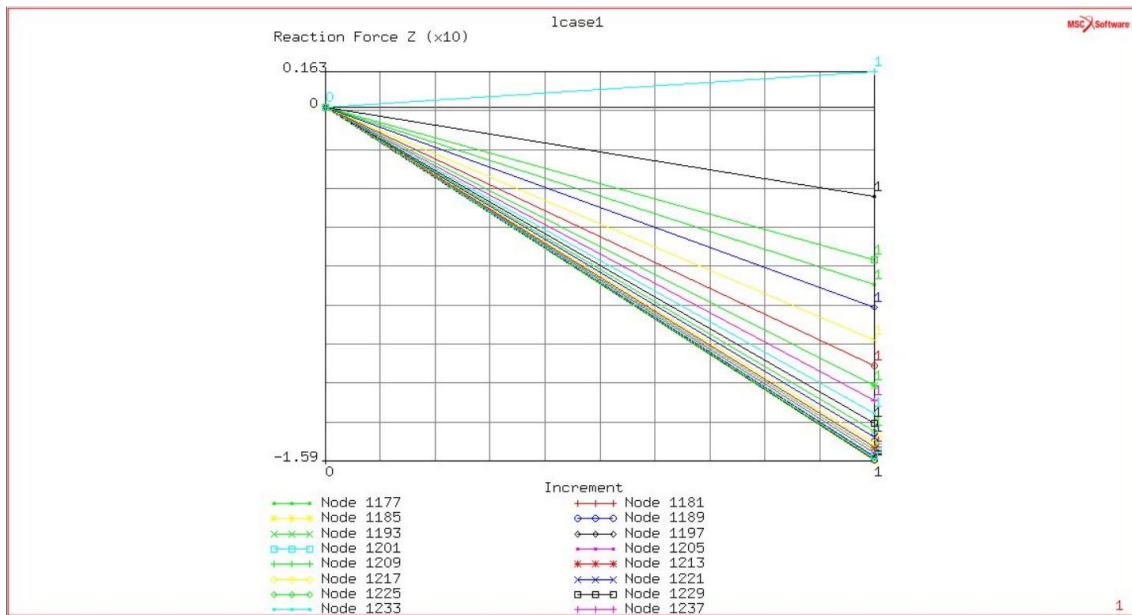
3. Passiamo ora alla forza sull'asse z, nell'ordine di creare poi un grafico per visualizzare il valore delle reazioni sui singoli nodi e valutare infine la rigidità totale del quarto di struttura, abbiamo infatti imposto un valore unitario di spostamento, la rigidità sarà quindi equivalente alla forza letta.

SCALAR PLOT -> SCALAR -> REACTION FORCE Z



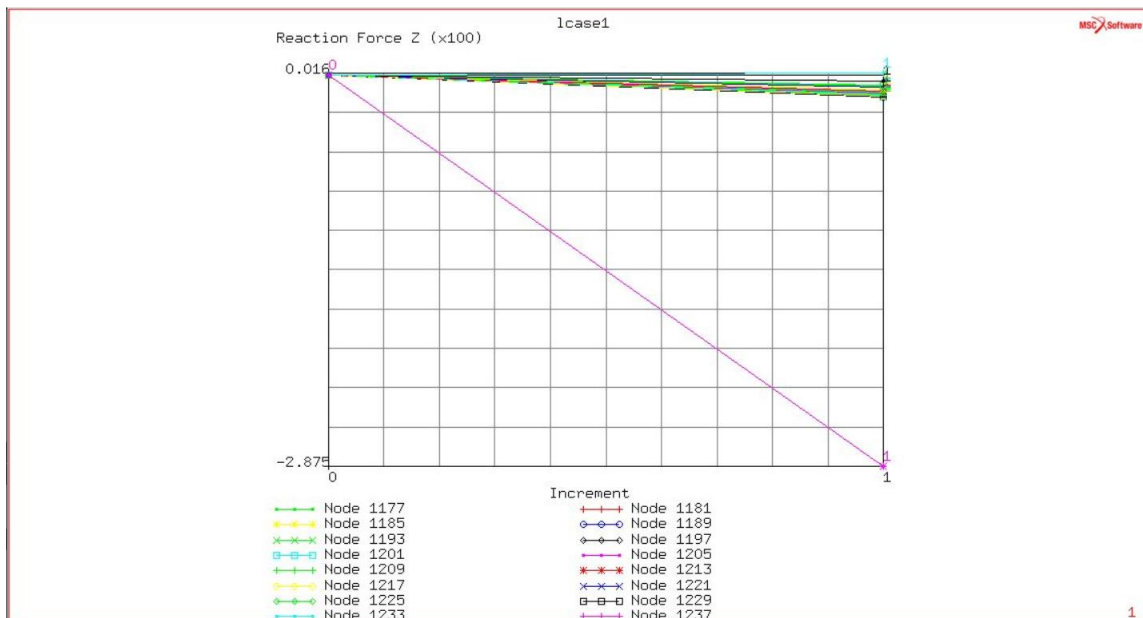
Creiamo quindi il grafico (*history plot*) in cui visualizzeremo la curva (curve) delle forze (reaction force z) in funzione dell'incremento temporale (increment), i nodi su cui andremo a collezionare i dati saranno ovviamente quelli su cui abbiamo imposto lo spostamento (occorrerà quindi posizionare il modello nel modo più comodo al fine della selezione come già spiegato in precedenza) e i valori letti andranno sommati per ricavare la rigidezza del quarto di pannello:

```
HISTORY PLOT -> COLLECT DATA -> SET LOCATION -> DYNAMIC  
MODEL.OFF -> "Selezione i nodi" -> END LIST -> ALL INCS ->  
ADD CURVES -> ALL LOCATIONS -> GLOBAL VARIABLES ->  
INCREMENT -> VARIABLES AT LOCATIONS -> REACTION FORCE Z ->  
FIT
```



A questo punto stiamo visualizzando la forza su ogni singolo nodo a fronte dello spostamento imposto, dato che a noi interessa quella totale utilizzeremo una funzione di somma, partendo da menu *HISTORY PLOT*:

FUNCTION -> HISTORY FUNCTIONS -> ADD -> SELECTION -> ALL



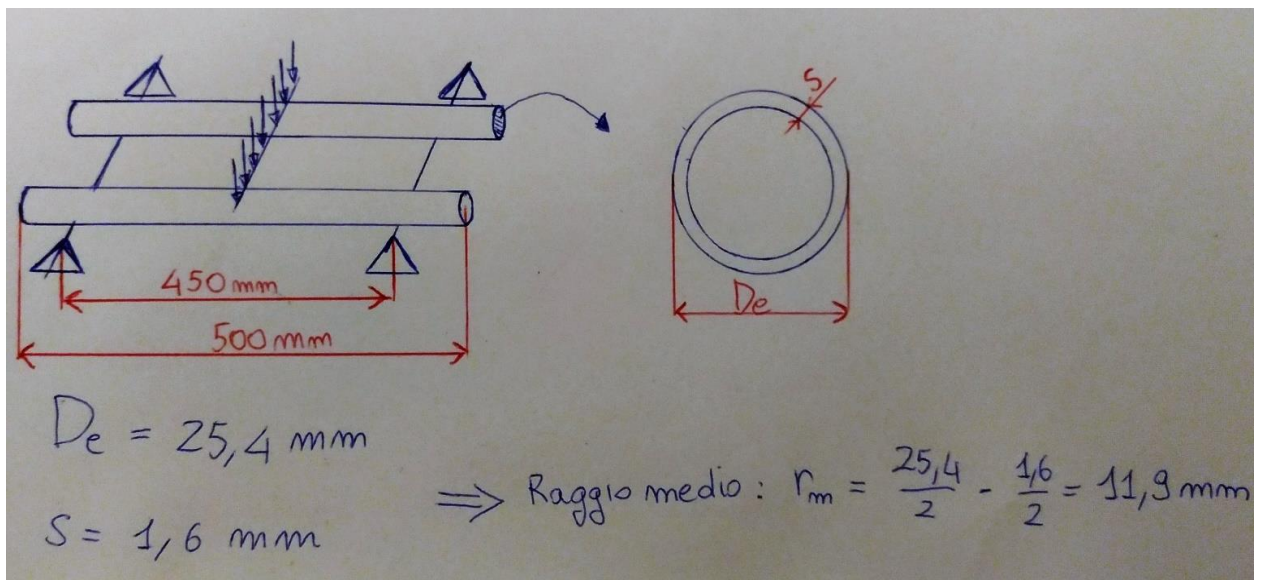
Siamo quindi in grado dal grafico di leggere il valore della forza totale.

NOTA BENE: grazie alle simmetrie è stato modellato soltanto un quarto di pannello, il valore della rigidezza totale sarà quindi quattro volte quello appena calcolato.

Prova a flessione tubi

Introduzione

Il regolamento della formula SAE ci permette di utilizzare il pannello in materiale composito, modellato precedentemente, a patto che quest'ultimo abbia un comportamento strutturale equivalente (o magari superiore) a 2 tubi di acciaio. L'acciaio in questione deve avere una tensione minima di snervamento di 305 MPa e una tensione minima di rottura di 365MPa. Il problema che stiamo per introdurre riguarda la prova in flessione su 3 punti di questi tubi. A differenza del pannello sandwich in materiale composito, il caso che affronteremo adesso risulta essere non lineare. Andremo quindi in seguito a introdurre l'elasto-plasticità nel menu delle proprietà del materiale, inserendo una certa curva di incrudimento valida una volta superata la tensione di snervamento. Graficamente, il sistema da modellare si presenta nel seguente modo:



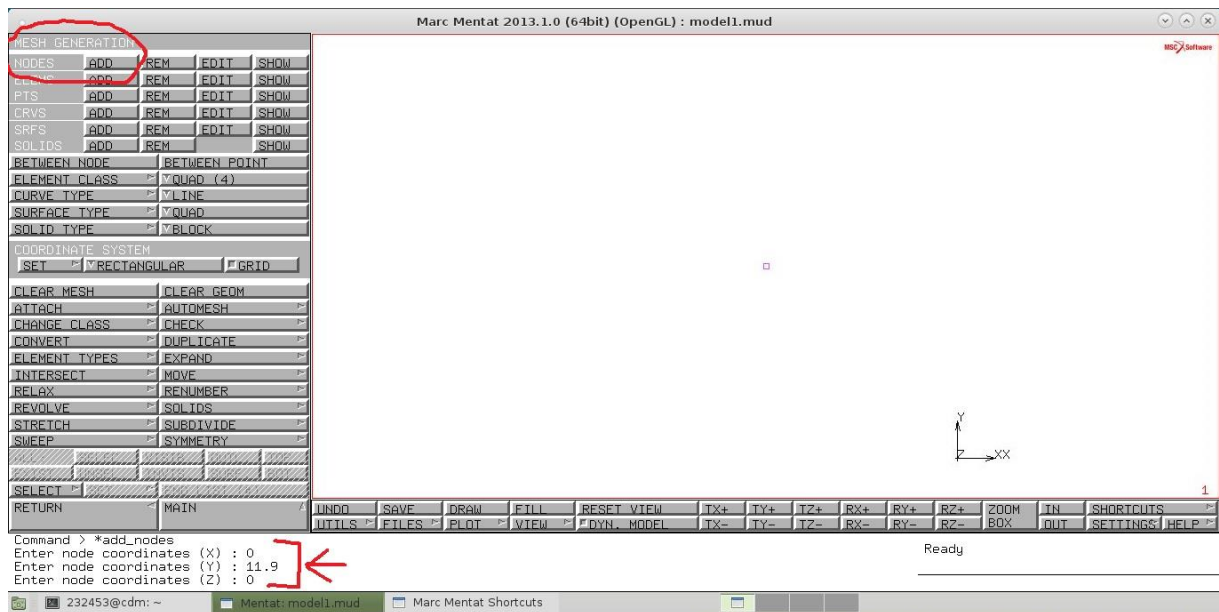
Il problema richiede lo studio di 2 tubi disposti in parallelo. Noi studieremo un singolo tubo sapendo che il risultato andrà poi moltiplicato per 2. Inoltre, come fatto precedentemente per il pannello, sfrutteremo la doppia simmetria presente. Ciò ci permetterà di modellare $\frac{1}{4}$ di tubo e complessivamente $\frac{1}{8}$ del sistema.

Mesh generation

Noto il raggio medio dei due tubi in acciaio, aggiungiamo un nodo di coordinate (0, 11.9, 0). Procediamo partendo dal menu principale:

MESH GENERATION -> NODES -> ADD

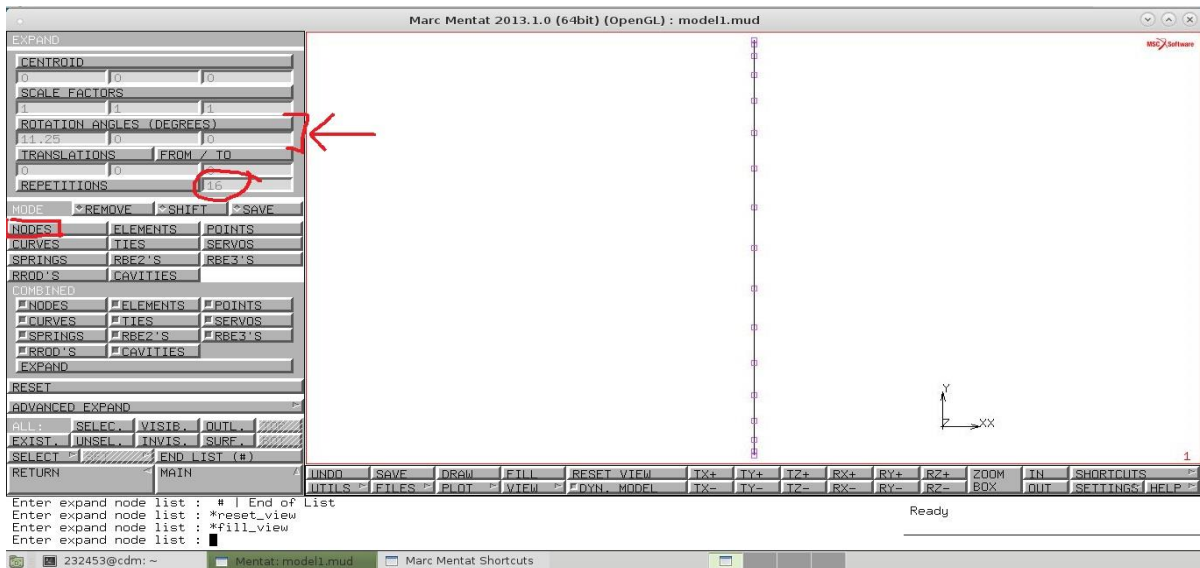
Cliccando su RESET VIEW e FILL, riusciamo a visualizzare al centro dell'area del modello il nodo creato.



Per creare la semicirconferenza del singolo tubo di acciaio preso in considerazione, espandiamo il nodo con una rotazione di 180 gradi attorno all'asse X su 16 ripetizioni. Quindi:

MESH GENERATION -> EXPAND -> Rotation angles -> (180/16 , 0 , 0) & Repetitions -> 16

Selezioniamo l'unico nodo presente (avendo cura di non avere il Dyn. Model inserito) col comando NODES e selezioniamo END LIST.

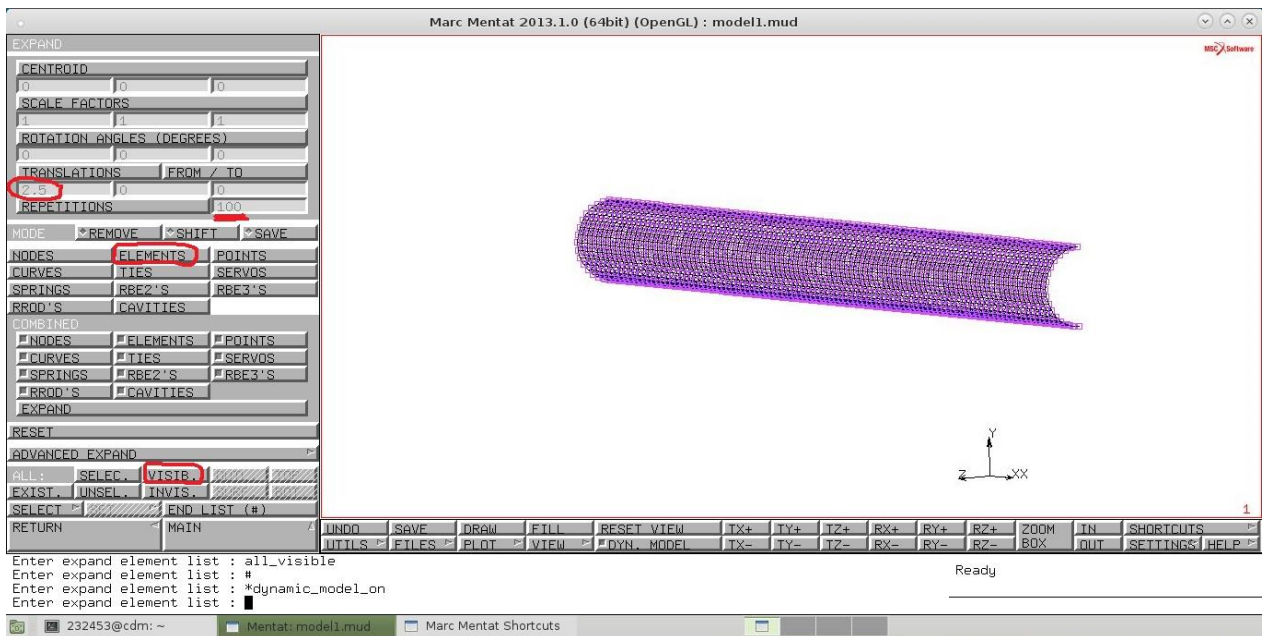


Espandiamo longitudinalmente la semicirconferenza sempre sfruttando il menu *expand* lungo l'asse X. Desideriamo creare degli elementi quadrangolari di lunghezza pari a 2.5 mm rispetto all'asse X e ripetuti per 100 volte in modo tale da ottenere la lunghezza totale di 250 mm (metà del tubo di acciaio in prova):

MESH GENERATION -> EXPAND -> Translation -> (2.5, 0, 0) & Repetitions -> 100

Selezioniamo

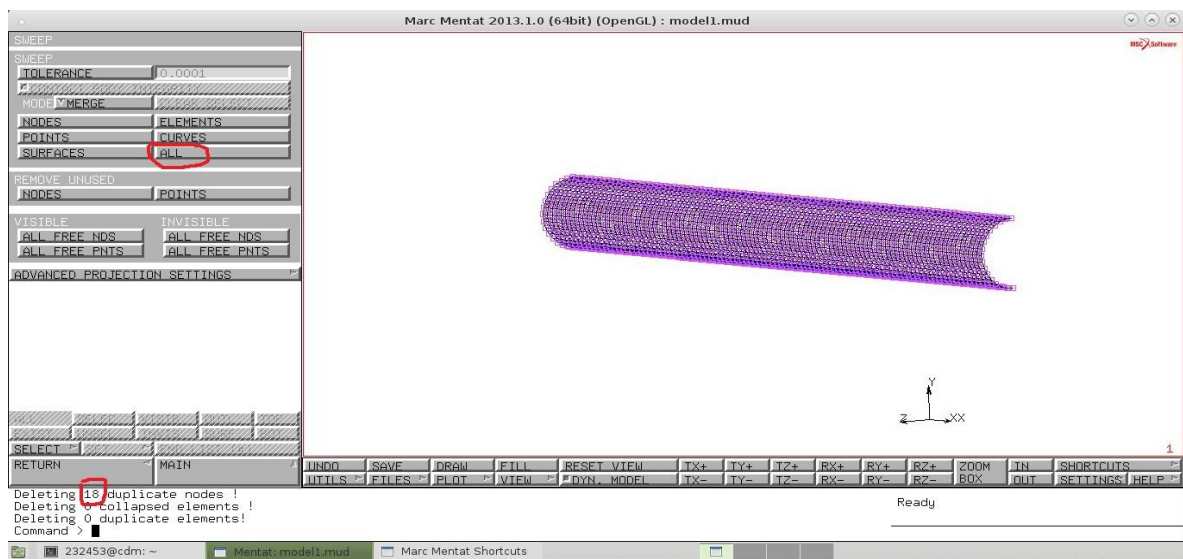
ELEMENTS -> ALL -> VISIB.



Attivando il Dyn. Model o tenendo premuto “ALT”, possiamo ruotare la figura e analizzare cosa abbiamo ottenuto.

Per completare la parte inerente alla creazione della mesh, facciamo uno sweep complessivo per collassare i nodi o elementi duplicati. Quindi:

MESH GENERATION -> SWEEP -> ALL



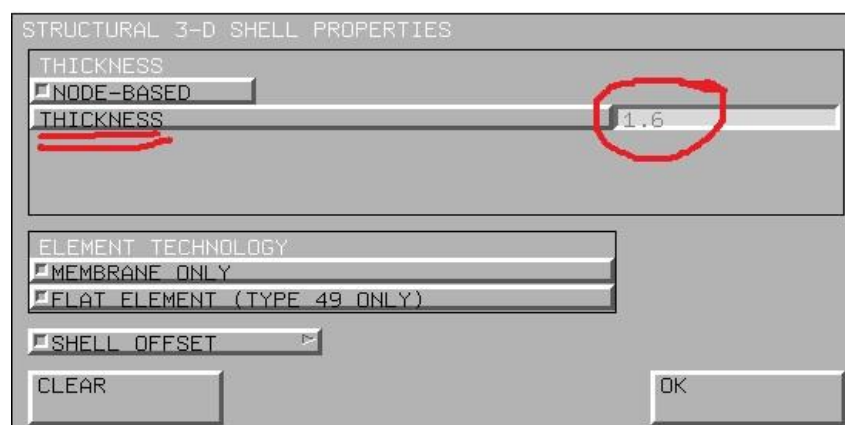
Abbiamo così ottenuto un quarto di tubo, nonché un ottavo del nostro sistema da modellare.

Geometric properties

Applichiamo adesso le proprietà geometriche. Quindi:

GEOMETRIC PROPERTIES -> NEW -> STRUCTURAL -> 3-D -> SHELL

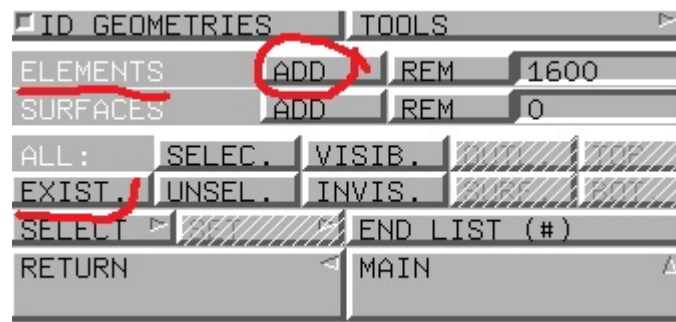
Dal menu *PROPERTIES*, inseriamo lo spessore di 1,6 mm del tubo:



NOTA BENE: non inseriamo alcun offset perché abbiamo utilizzato il raggio medio nella creazione iniziale della semicirconferenza, lo spessore sarà quindi ripartito equamente.

Bisogna associare questa proprietà a tutti gli elementi:

ELEMENTS -> ADD -> ALL -> EXIST.



Material properties

Inseriamo la proprietà del materiale. Quindi:

MATERIAL PROPERTIES -> MATERIAL PROPERTIES -> NEW -> STANDARD

Come già detto, nel regolamento della formula SAE si specifica un tubo di acciaio con snervamento minimo di 305 MPa e tensione di rottura minima di 365 MPa. Il materiale da noi usato è un acciaio AISI 4130, quindi inseriamo come NAME: 4130.

Inseriamo le proprietà generali e strutturali del materiale:

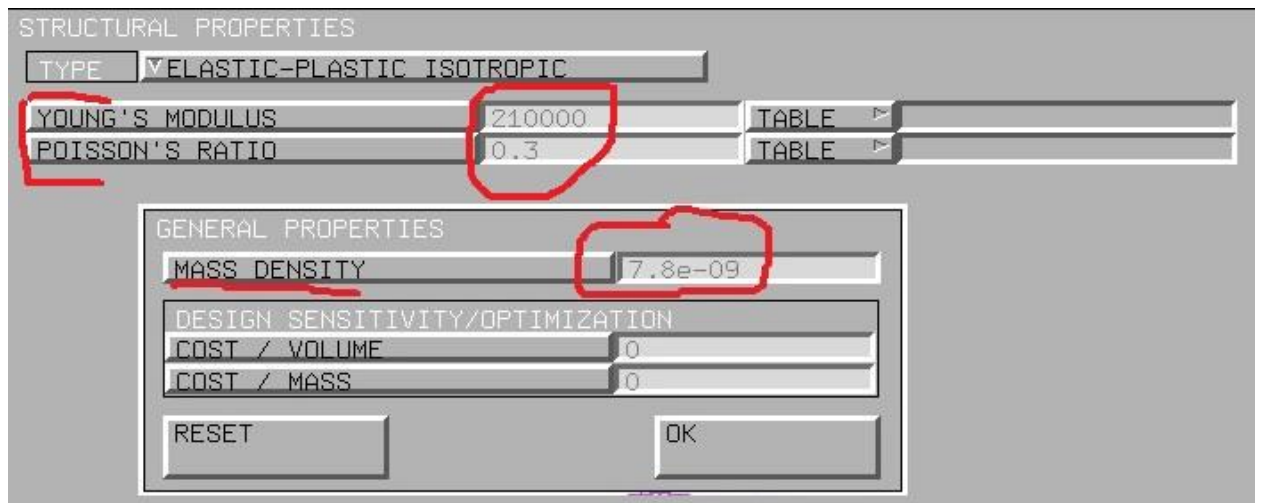
MATERIAL PROPERTIES -> GENERAL:

- MASS DENSITY = 7.8E-09 (ton/mm³)

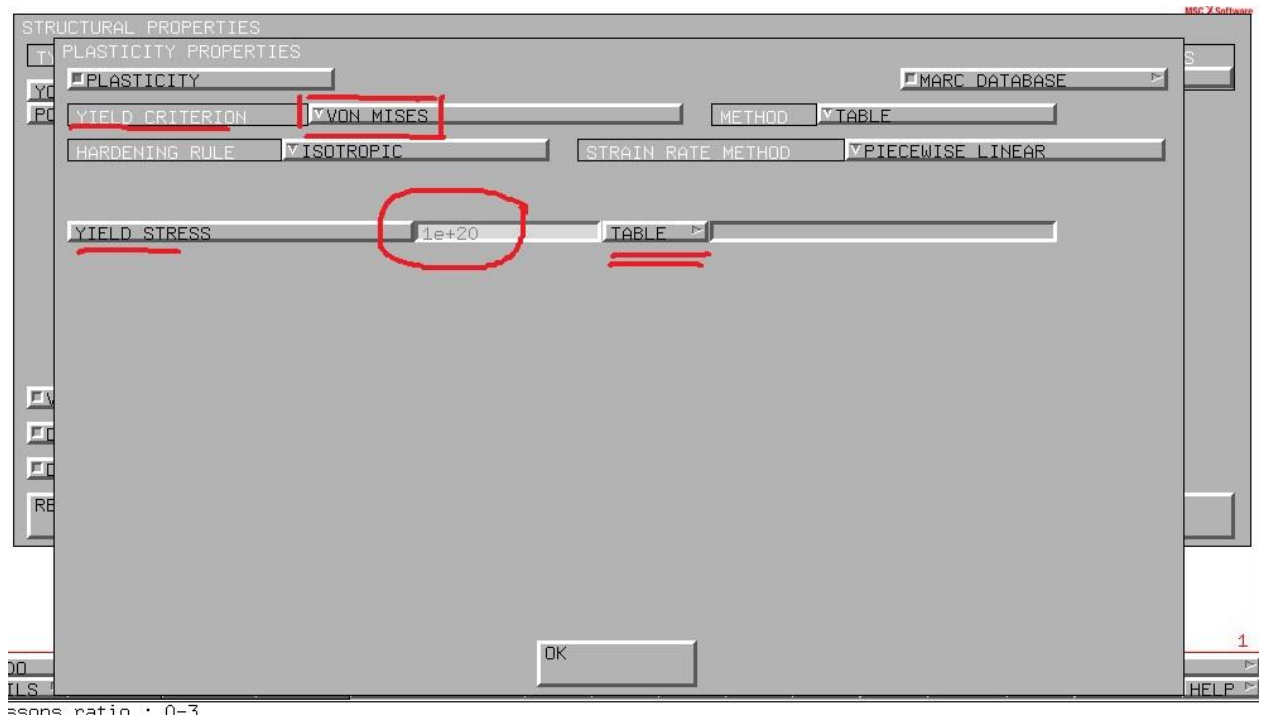
L'inserimento della densità è ininfluente perché prendiamo in considerazione azioni inerziali. Mentre l'inserimento delle proprietà strutturali è necessario per evitare che il codice dia errore. Quindi:

MATERIAL PROPERTIES -> STRUCTURAL:

- YOUNG'S MODULUS = 210000 MPa
- POISSON'S RATIO = 0.3



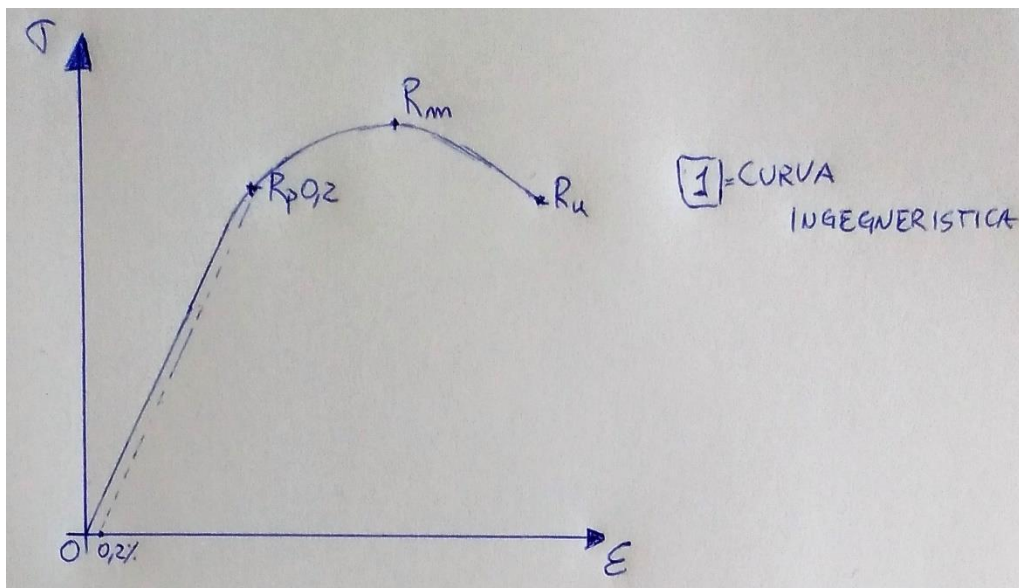
Se inserissimo solo questi parametri, in realtà, il materiale sarebbe elastico lineare e si otterrebbe un tubo elastico all'infinito. Per applicare un modello non lineare dobbiamo effettivamente gestire il comportamento del materiale anche quando il valore della tensione di snervamento risulta superato. Dobbiamo quindi utilizzare il comando PLASTICITY (presente sempre nel menu *STRUCTURAL PROPERTIES*):



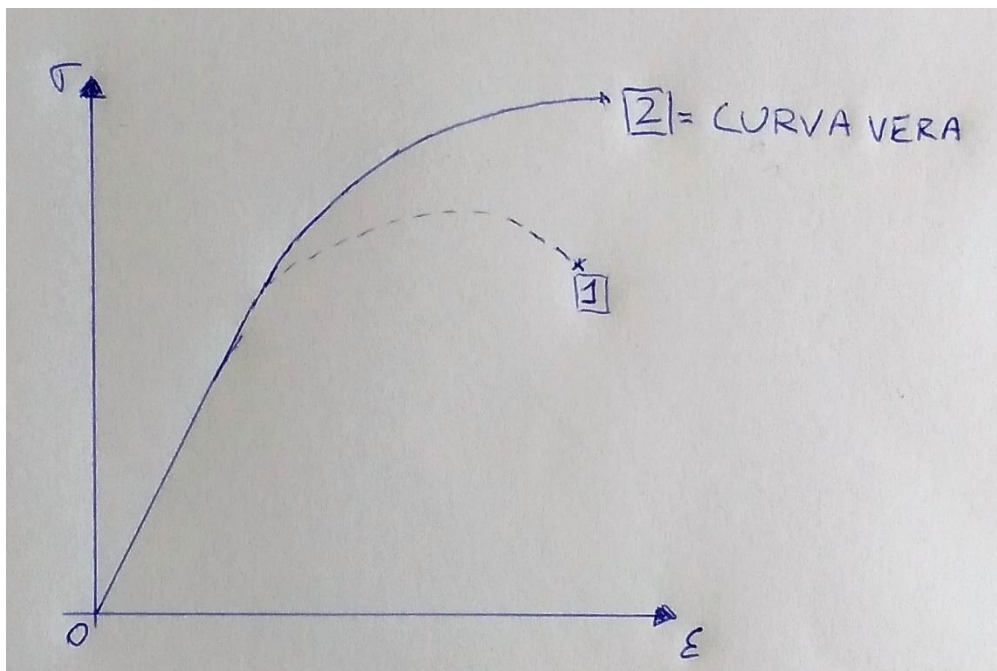
Come possiamo vedere dalla figura precedente, una volta attivata tale impostazione, se non cambiassimo i valori preimpostati il materiale si comporterebbe comunque in modo perfettamente elastico. Questo perché la tensione di snervamento è preimpostata ad un valore molto elevato (YIELD STRESS = 1e+20 MPa). Il criterio utilizzato di

default è quello di VON MISES, ciò significa che se in un determinato punto del materiale si calcola una tensione equivalente superiore alla tensione di snervamento inserita, allora il materiale seguirebbe la curva di incrudimento inserita tramite "TABLE".

Le informazioni che ci servono per gestire il comportamento di un materiale in campo elasto-plastico sono: per un metallo (nel nostro caso, un acciaio legato) consideriamo la curva σ - ϵ . Su di essa riconosciamo un tratto lineare fino alla tensione di snervamento $R_{p0.2}$, un tratto non lineare crescente fino alla tensione massima R_m e infine un tratto sempre non lineare decrescente fino alla tensione di rottura R_u . Questa curva è nota come curva tensioni-deformazioni ingegneristica: i valori sono ottenuti dalla lettura delle tensioni come il rapporto tra la forza esercitata e l'area del provino considerata costante durante la prova (grossa approssimazione perché non tiene conto della strizione). Otteniamo l'assurdo fisico che la curva non sia monotona crescente e addirittura il carico alla rottura sia inferiore al carico massimo applicato.



Ciò non è realistico, perché dopo R_m il nostro provino comincia a subire strizione, ovvero la diminuzione della sezione trasversale. Quindi localmente la tensione continua a crescere. La curva tensioni-deformazioni che tiene conto di tutto ciò è la cosiddetta curva vera (true stress – true strain).



Questa si può ricavare in due modi:

1. Sperimentalmente: inserendo durante la prova un estensimetro per la misura dell'allungamento ed uno strumento in grado di leggere la riduzione dell'area della sezione del provino.
2. Analiticamente attraverso due approssimazioni: supponendo che il materiale conservi il suo volume una volta raggiunto il campo plastico, con conseguente aumento del coefficiente di Poisson (approssimazione che ci permette di correggere la curva fino alla tensione R_m); supponendo ulteriori correzioni locali per valori di tensioni comprese tra R_m e R_u .

Con il secondo metodo otteniamo:

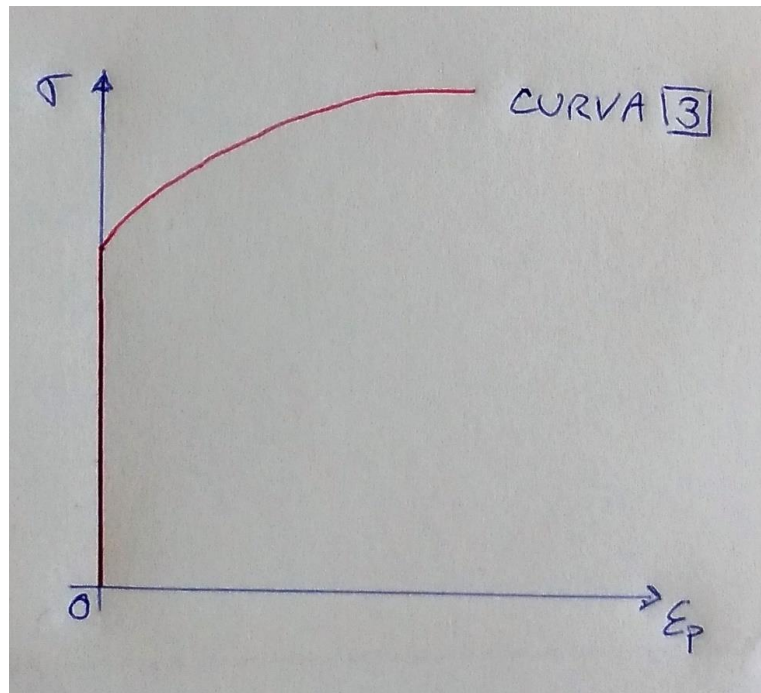
$$\varepsilon_{true} = \ln(1 + \varepsilon)$$

$$\sigma_{true} = \sigma * (1 + \varepsilon)$$

Depurando la parte elastica, di cui il FEM ha tutte le informazioni, da quella plastica otteniamo:

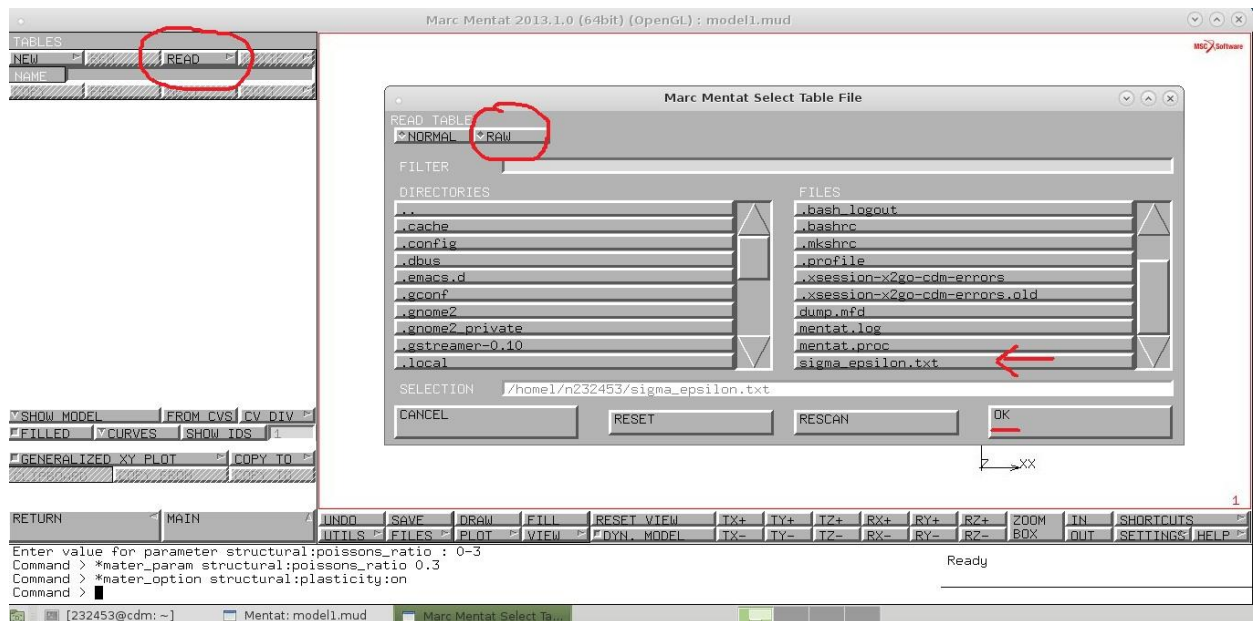
$$\begin{cases} \varepsilon_{tot} = \varepsilon_{elastica} + \varepsilon_{plastica} \\ \varepsilon_{elastica} = \frac{\sigma}{E} \end{cases}$$

$$\varepsilon_{plastica} = \varepsilon_{tot} - \varepsilon_{elastica} = \varepsilon_{tot} - \frac{\sigma}{E}$$

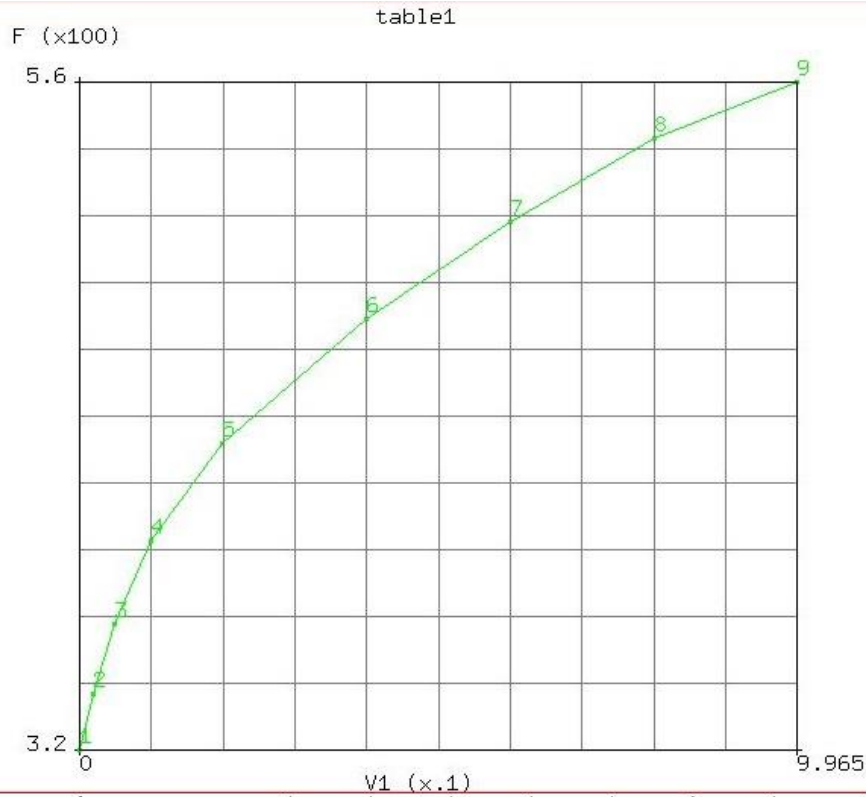


La curva 3 per noi è nota, grazie al file “sigma_epsilon.txt” scaricato in precedenza, possiamo ricostruirla facilmente. Per leggere la tabella dei dati:

MATERIAL PROPERTIES -> TABLES -> READ -> RAW -> “sigma_epsilon”



Verrà visualizzata la curva delle deformazioni plastiche vere (curva 3).



Rinominiamo la curva “4130” e stabiliamo la tipologia della variabile 1 selezionando TYPE e cercando nell’elenco apparso la EQUIVALENT PLASTIC STRAIN:

The screenshot shows the 'INDEPENDENT VARIABLE TYPES' dialog box in Marc Mentat. The list of variable types includes:

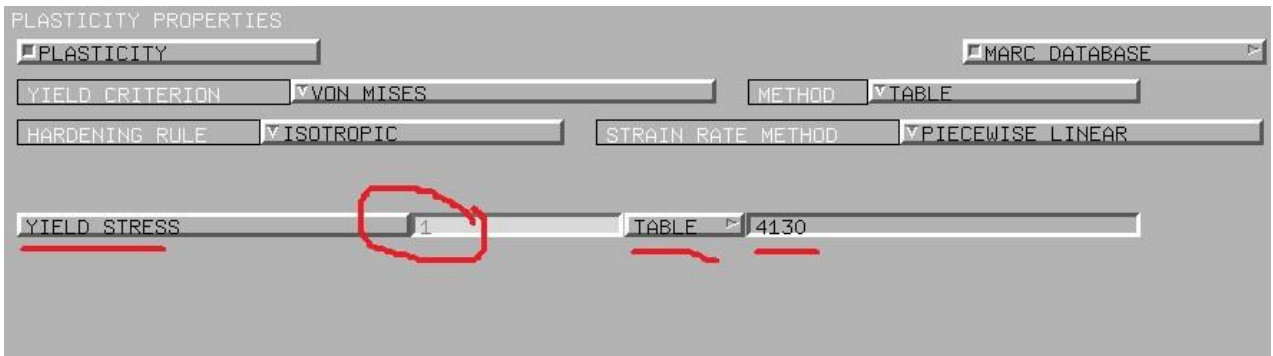
- voltage
- magnetic induction
- magnetic field intensity
- principal strain
- hydrostatic strain
- strain invariant 1
- strain invariant 2
- strain invariant 3
- signed eq mechanical strain
- strain component
- eq strain rate
- eq plastic strain
- eq plastic strain rate
- eq creep strain
- eq creep strain rate

The 'eq plastic strain' option is selected, indicated by a red circle and arrow. The background shows the same graph as above.

Creata la curva e assegnata la sua variabile “V1”, torniamo al menu *plasticity*. Quindi:

MAIN MENU -> MATERIAL PROPERTIES x 2 -> STRUCTURAL -> PLASTICITY

Assegniamo un valore unitario (moltiplicatore della tabella) alla YIELD STRESS e selezioniamo accanto la TABLE 4130, così facendo il materiale si comporterà elasticamente fino ad un valore di tensione equivalente di Von Mises di 320 MPa e oltre questo valore si aggiungerà al contributo elastico quello plastico:



Per concludere, associamo questa proprietà a tutti gli elementi:

MATERIAL PROPERTIES -> ELEMENTS -> ADD -> ALL EXIST.

Per un totale di 1600 elementi.

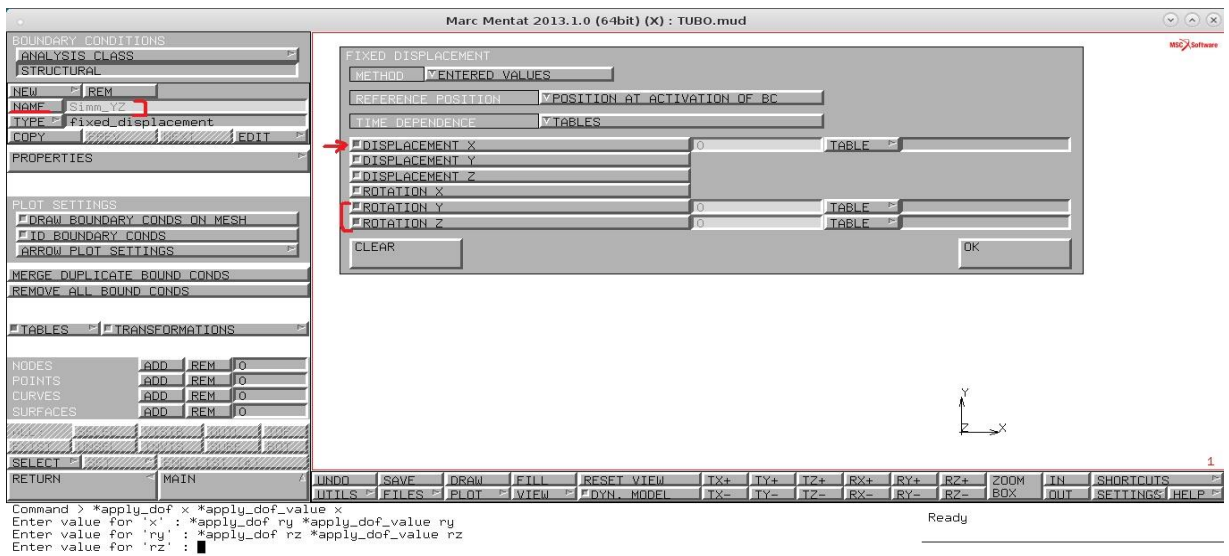
Boundary conditions

Passiamo alle boundary conditions, complessivamente saranno 4: 2 dovute alla simmetria per i piani XY e YZ; 1 dovuta all'appoggio del tubo su un vincolo distante dall'estremo del tubo stesso 25 mm; 1 dovuta allo spostamento lungo l'asse Y del nodo superiore. Secondo il regolamento della formula SAE quest'ultima deve essere pari a 12,7 mm.

Passando alla parte pratica:

4. Come prima condizione imponiamo la simmetria lungo il piano YZ che chiameremo "Simm_YZ", nelle proprietà andremo a bloccare la traslazione lungo la normale al piano di simmetria (traslazione X) e le rotazioni degli assi del piano (rotazione Y e rotazione Z):

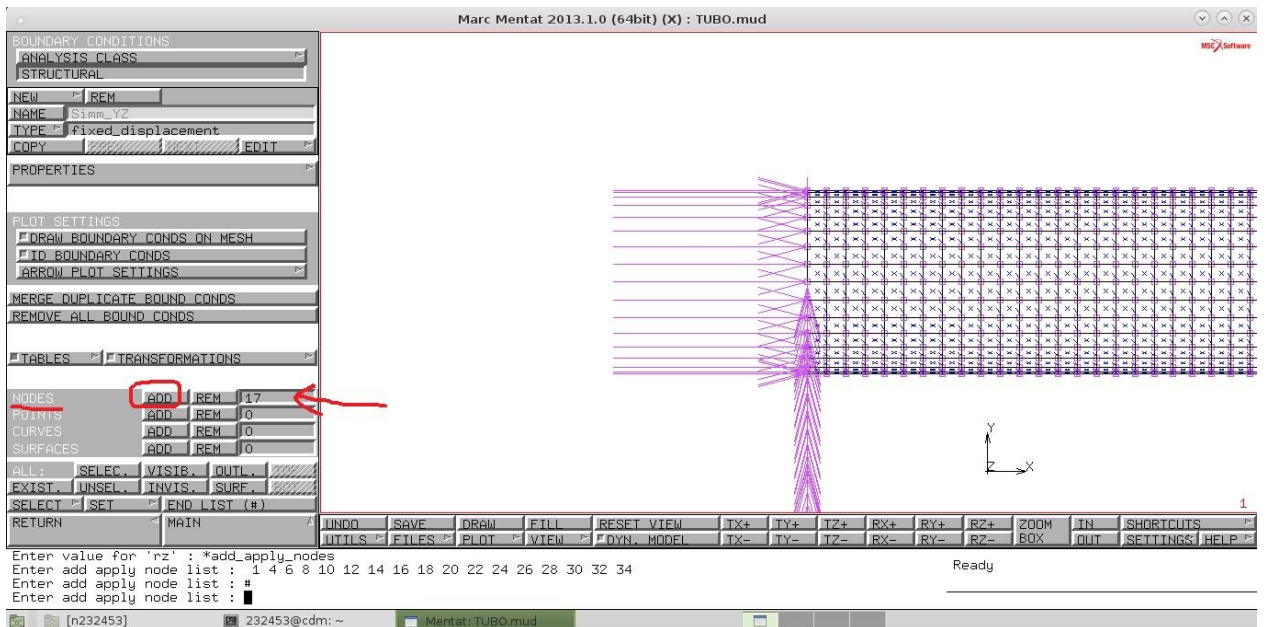
BOUNDARY CONDITIONS -> NEW -> STRUCTURAL -> FIXED
DISPLACEMENT -> PROPERTIES



A questo punto, aggiungiamo i nodi interessati. Prima di fare ciò clicchiamo su RESET VIEW e FILL, i nodi interessati saranno quelli dell'estremo sinistro del nostro modello:

NODES -> ADD -> "seleziono i nodi" -> END LIST

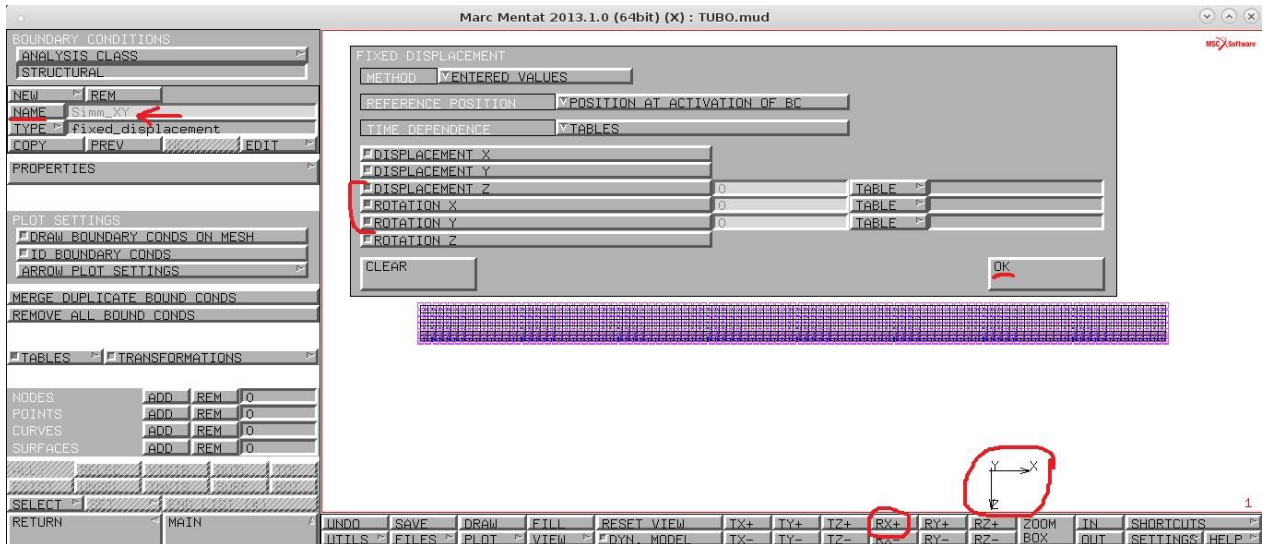
Complessivamente saranno 17 nodi.



5. Dopo aver fatto un reset view – fill, ruotiamo di 90° attorno all'asse X cliccando su RX+ (in modo tale da avere l'asse Z rivolto verso il basso), creiamo quindi la seconda boundary condition:

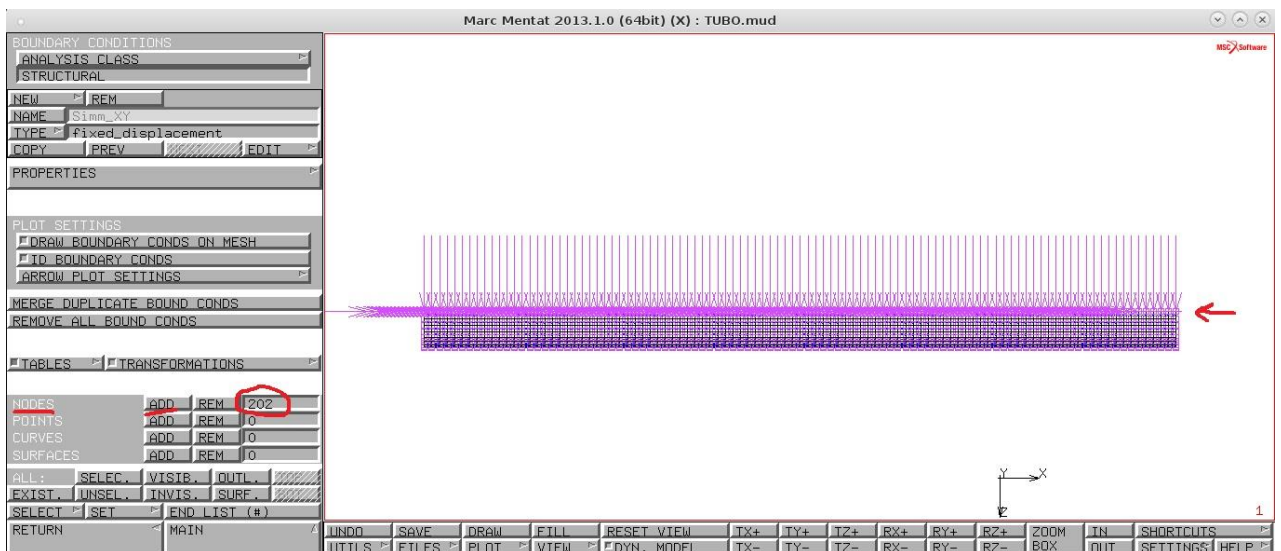
NEW -> STRUCTURAL -> FIXED DISPLACEMENT -> NAME ->
Simm_XZ -> PROPERTIES

Bloccheremo nelle proprietà la traslazione lungo Z e le rotazioni X e Y:



Aggiungiamo i nodi più in alto disposti lungo l'asse X:

NODES -> ADD -> "seleziono i nodi" -> END LIST



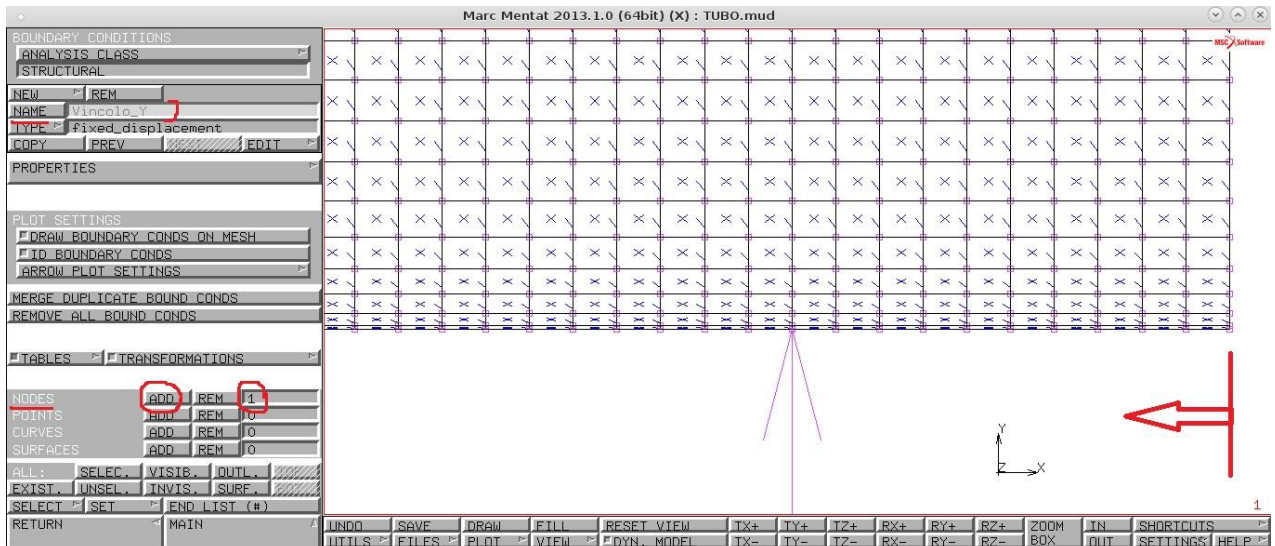
6. Passando al vincolo di appoggio:

NEW -> STRUCTURAL -> FIXED DISPLACEMENT

Il vincolo sarà lungo Y, per cui NAME = Vincolo_Y, la sua unica proprietà è quella di impedire al nodo poggiante sul vincolo la traslazione lungo Y. Bisogna applicare tale condizione lasciando 10 elementi a partire da destra (si consiglia

sempre un reset view + fill), quindi aggiungiamo l'undicesimo nodo a partire da destra:

NODES -> ADD -> "seleziono i nodi" -> END LIST



Attenzione a non aggiungere il nodo poco più in alto. Il nodo interessato è quello più in basso.

- Inseriamo infine lo spostamento imposto lungo Y che rinomeremo "Spostamento_Y":

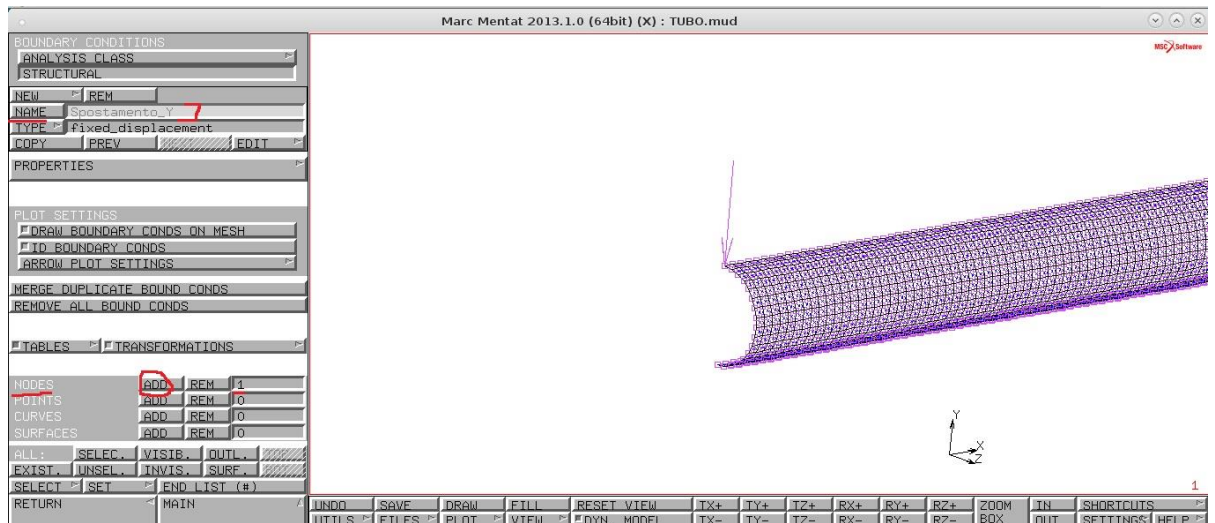
Dopo aver rinominato il vincolo "Spostamento_Y",

NEW -> STRUCTURAL -> FIXED DISPLACEMENT -> NAME -> Spostamento_Y -> PROPERTIES

Come DISPLACEMENT Y daremo un valore che per regolamento sarà di 12.7 mm. Per come è stata creata la mesh, daremo un segno negativo (-12.7 mm) perché lo spostamento desiderato sarà opposto alla direzione positiva dell'asse Y.



Il nodo da aggiungere (dopo aver fatto reset view + fill) sarà quello appartenente al piano di simmetria YZ e posizionato più in alto rispetto agli altri:

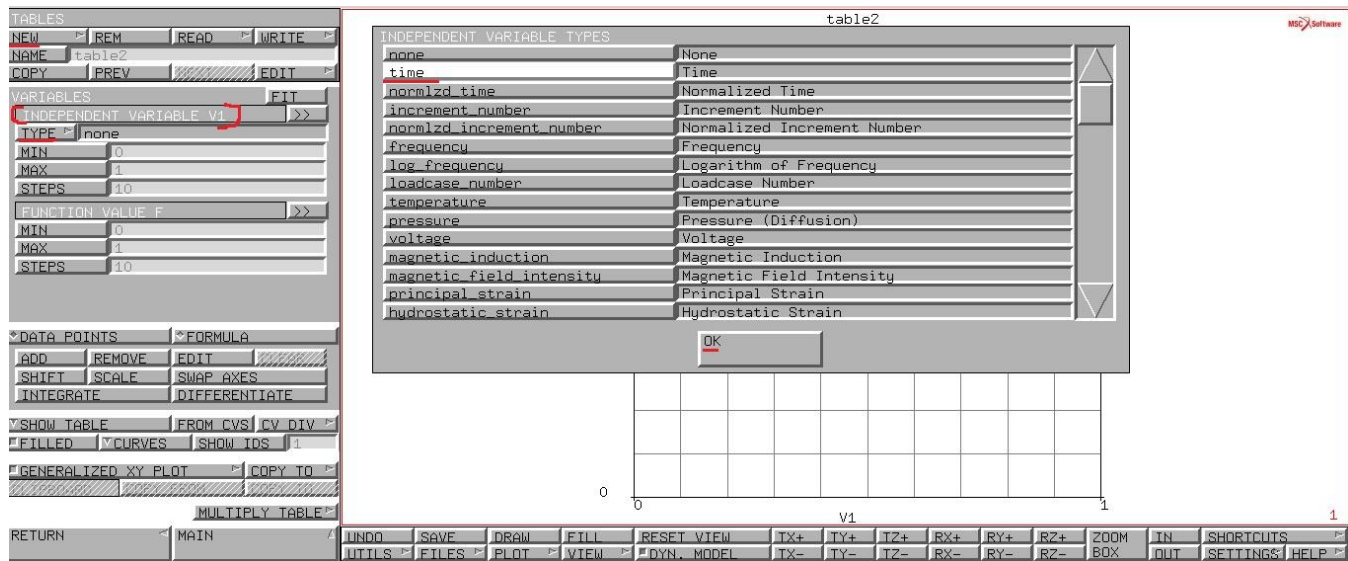


Sempre nel menù *properties* di questo vincolo è possibile inserire una tabella che ci permetta di fornire al risolutore la legge con la quale viene applicato lo spostamento che, in caso contrario, verrebbe applicato istantaneamente. Risulta ovvio che se stessimo trattando un caso lineare non avrebbe senso inserire una tabella; mentre nel caso non lineare, come qui, è fondamentale definire una legge di attuazione del carico.

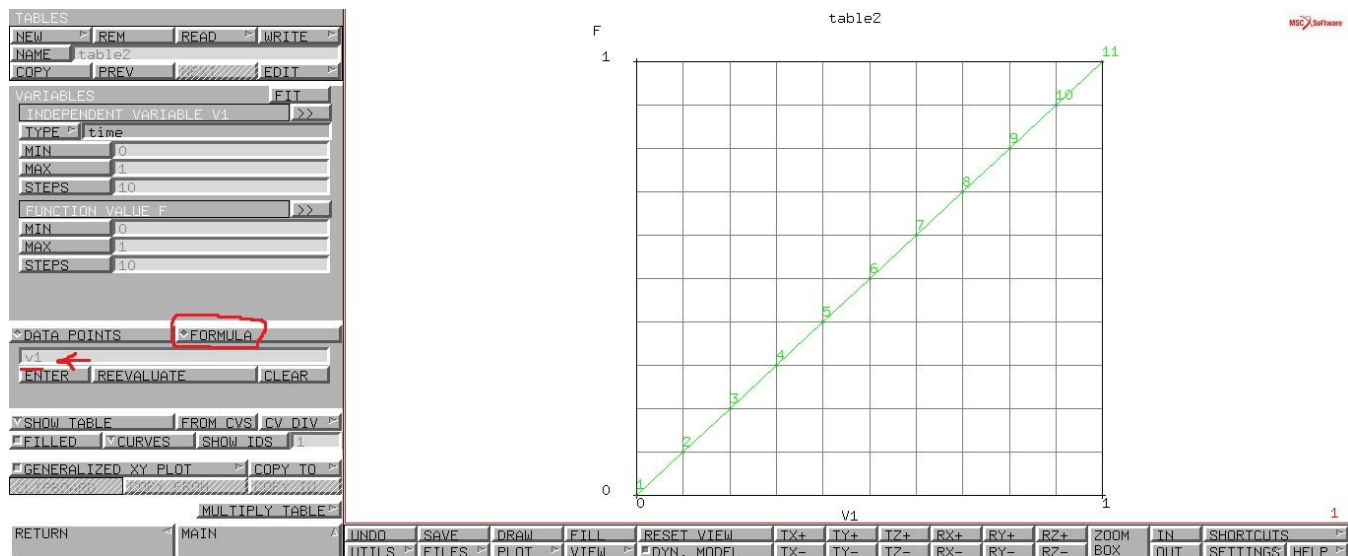
Andiamo quindi a definire una funzione di tipo rampa che andremo a inserire accanto a `DISPLACEMENT Y= -12.7`. Procediamo con la creazione della legge di attuazione:

BOUNDARY CONDITION -> TABLES -> NEW -> 1 VARIABLE INDEPENDENT

La variabile V1 nell'asse delle ascisse sarà il tempo di analisi, quindi scorrendo nell'elenco apparso cliccando su TYPE, impostiamo TYPE -> time:



Cliccando su FORMULA e inserito “v1” nella barra sottostante, otteniamo la nostra legge di attuazione:



Ritornando su *boundary conditions*, inseriamo la tabella appena creata nelle proprietà di Spostamento_Y. Quindi:



Così facendo, lo spostamento di -12.7 mm non è applicato in un unico istante, ma cresce man mano che l’analisi avanza con un numero di step che decideremo dentro il loadcase.

FINE LEZIONE