

Introduzione agli elementi finiti

- Perché introdurre la teoria degli elementi finiti?

Quando la teoria della trave non riesce ad assolvere al compito di descrizione di un corpo reale è possibile passare alla teoria delle piastre, dalla natura più complessa. Quando invece gli oggetti che si vogliono studiare assumono una natura ancora più complessa di quella rappresentabile con una piastra, **sia geometricamente che massivamente**, bisogna passare ad un approccio “agli elementi finiti” (la teoria degli elementi finiti non sarà esente da semplificazioni ovviamente ma consentirà uno studio più approfondito, il risultato sarà approssimato ma tenderà alla soluzione). Poiché il nostro obiettivo è quello di realizzare con il software “Marc Mentat” un profilato a sezione sottile caricato a torsione al fine di valutarne la rigidità torsionale, è necessario introdurre brevemente quelle che sono le basi della modellazione agli elementi finiti.

La teoria degli elementi finiti prende un oggetto nel campo continuo e lo trasforma in discreto, suddividendo esso in una serie di unità elementari dette appunto “elementi”. Di esso riusciremo a studiare una funzione di risposta alle sollecitazioni applicate alla nostra struttura. Un elemento finito non è però un semplice volume essendo esso delimitato da qualcosa di diverso da semplici punti.

- Elementi geometrici VS elementi finiti

Quando si delimita un volume, nella teoria degli elementi finiti, si parla di **NODI** e non di punti: un punto è un oggetto individuato nel sistema di riferimento da tre coordinate cartesiane mentre un nodo è un oggetto ben più ricco e che gode di gradi di libertà (6 nello spazio) ovvero di un campo di spostamenti e rotazioni in xyz (se xyz è il sistema di riferimento nel quale si trova il nodo in esame).

Successivamente al nodo l’elemento più semplice con il quale si lavora nella teoria degli elementi finiti è l’elemento **TRAVE**: esso è delimitato da due nodi ai suoi estremi i quali ne descrivono il campo degli spostamenti. Ovviamente l’elemento trave sarà ben più ricco in termini di gradi di libertà del semplice elemento nodo. Si segue poi con l’elemento **TRIANGOLO**: esso possiede tre nodi agli estremi che ne arricchiscono ulteriormente il campo di spostamenti.

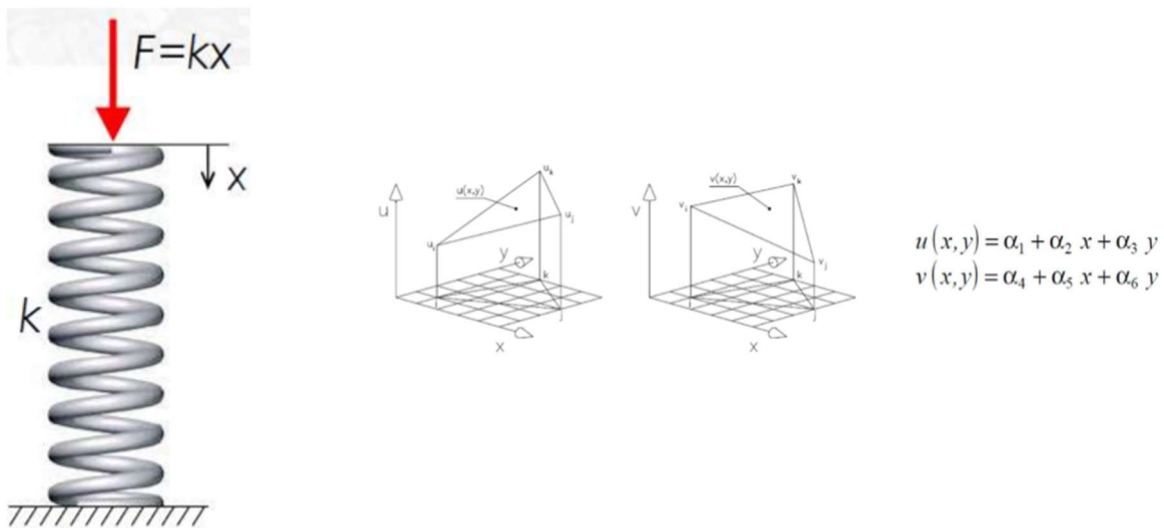
Se si ha invece bisogno di descrivere un oggetto tridimensionale che non può essere paragonato ad una piastra/lastra (a seconda del caricamento) si passa ad un elemento **TET4** piramidale a base triangolare: elemento con 4 nodi.

Il concetto base è dunque che qualsiasi oggetto geometrico lato elementi finiti diventa molto più ricco poiché gode di campi di spostamento e non tutti gli oggetti con i quali si discretizza il continuo godono degli stessi gradi di libertà.

- Formulazione elementi finiti

La formulazione agli elementi finiti esprime una relazione tra le forze esterne applicate a determinati punti di un generico elemento e lo spostamento che queste forze inducono su di essi. I punti sui quali le forze agiscono vengono chiamati nodi. Per esempio, si può considerare l'espressione che definisce la relazione tra forza e spostamenti $F=kx$ (F e x vettori e k matrice invertibile ovvero definita positiva, i casi che la rendono singolare non sono risolvibili). Solitamente sono noti forze e posizioni dei nodi e si cerca la deformazione degli elementi.

La teoria degli elementi finiti può essere quindi semplificata nel caso di una molla (vedi immagine sotto). La differenza fondamentale tra i due casi è data dal fatto che la molla consente una sola direzione di spostamento e quindi possiede un solo grado di libertà, mentre un elemento finito ha un numero più elevato di gradi di libertà.



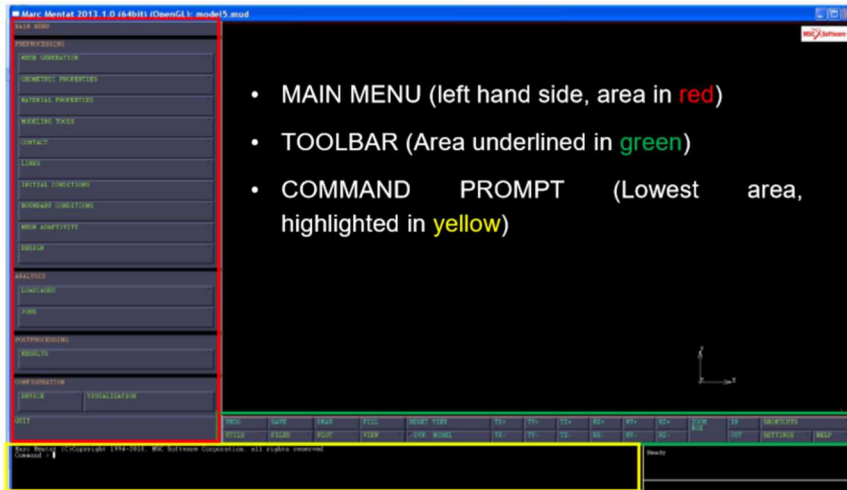
MSC MARC MENTAT

1- Introduzione schermata e file

Apertura terminale: dalle macchine di laboratorio aprire il terminale e digitare il comando: mentat2013.1 - ogl -glflush, mentre dal computer personale dopo essersi registrati (di modo da poter accedere al ponte presente sulla schermata della macchina virtuale ed ottenere la licenza) si può aprire il software dal terminale. Il software è composto di un'interfaccia grafica per le operazioni di pre e post processing (Marc) e un risolutore di operazioni non lineari (Mentat).

I file da interfaccia grafica che si ottengono dal pre-processing hanno estensione .mud (se il file è stoccato in formato binario) o .mfd (formato ASCII) mentre solo a completamento del modello viene realizzato anche un file .dat unicamente di testo leggibile anche con altri programmi. Altre estensioni da interfaccia grafica possibili sono le .t16/.t19 (.log/.out se di testo) che derivano dal post-processing. Un errore comune è salvare un file “.mud.t16” spurio che non consente successivamente di riaprire il modello e che si genera quando viene salvato il file del post-processing senza prima chiudere l'interfaccia grafica. Ultimo tipo di file che è possibile creare è il .proc che consente di ripercorrere TUTTE le informazioni ottenute dal command prompt e ricreare il proprio modello. Nel seguente corso tale documento verrà fornito unicamente dal docente e consentirà agli studenti di ripercorrere la lezione ma non è fondamentale che questi ultimi sappiano creare tale documento.

Il “main menu” è diviso in quattro parti: pre-processing, analysis, post-processing e configuration. Seguendo i vari comandi in linea dal primo all’ultimo settore si realizza a tutti gli effetti un modello lato elementi finiti con ogni proprietà necessaria (una volta cliccato su uno o più pulsanti del menù, il pulsante MAIN consente di tornare alla finestra di comandi iniziale mentre RETURN o più semplicemente il tasto destro del mouse permettono di tornare al set di comandi appena precedente) . Al centro si trova l’interfaccia grafica dove visualizzare il modello in creazione, al lato sinistro il menu con i quattro settori sopra descritti, sul fondo invece si trovano rispettivamente la zona con i comandi ad accesso rapido e la zona “command” fondamentale perché ogni volta che si interroga il software in un qualsiasi modo sarà in tale sezione che potremo fornire l’input desiderato o visualizzare il relativo output.



Le voci principali del menù sono:

Mesh Generation: consente di creare geometrie, mesh e di effettuare altre operazioni utili riguardanti la mesh.

- Geometric Properties: associa agli elementi creati in precedenza le proprietà geometriche (es: tensione piana, elementi piastra, spessori e altro).
- Material Properties: assegna uno o più materiali alla struttura, consentendo di simulare svariate componenti strutturali.
- Modeling Tools: strumenti di modellazione vari.
- Contact: gestisce fenomeni di contatto.
- Links: gestisce i vincoli.
- Initial Conditions: definisce ed applica le condizioni iniziali (solo per calcoli dinamici)
- Boundary Conditions: definisce ed applica le condizioni al contorno (carichi, vincoli).
- Mesh Adaptivity: permette di raffinare le mesh da altre più grezze (raffinazione iterativa).
- Design: permette di modificare geometrie.

- Loadcases: definisce pezzi di storia dei carichi.
- Jobs: gestisce combinazioni di loadcases e lancia il calcolo.
- Results: apre il file dei risultati

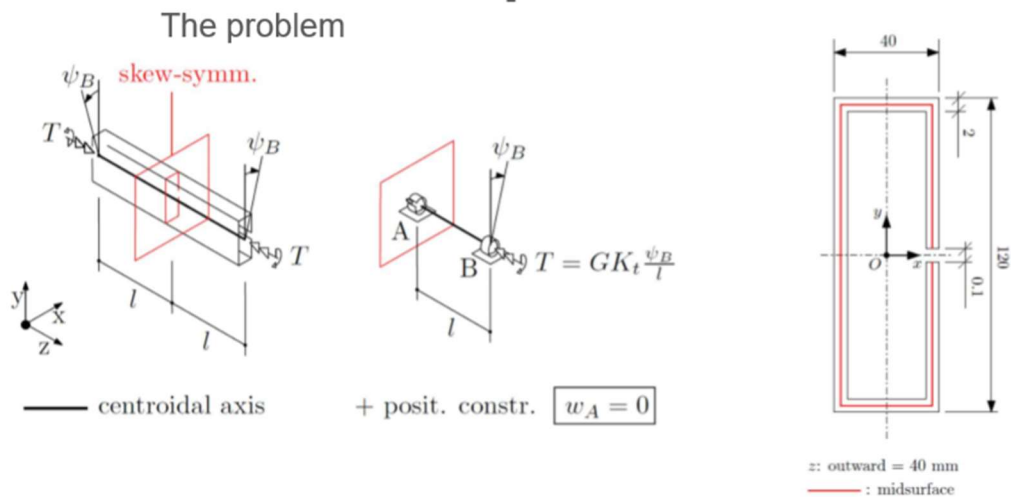
2- Toolbar, comandi rapidi

- FILES: consente di scegliere la directory nella quale salvare il proprio documento, di salvare il proprio documento e di nominarlo. Importante sottolineare che Marc è case sensitive dunque sarà necessario scegliere nomi unicamente con lettere minuscole, evitare caratteri speciali e gli spazi vuoti, questi ultimi possono essere sostituiti dagli underscore “_”.
- UNDO: è possibile tornare indietro di un solo comando, è fortemente consigliato pertanto salvare frequentemente il proprio modello.
- UTILS: consente di aprire i file in formato .proc che vengono forniti dal docente, possiede una breve calcolatrice al suo interno e la possibilità di fare qualche “istantanea” del proprio modello in costruzione. È anche possibile valutare le distanze fra due elementi.
- DYN MODEL: comando da attivare quando si vuole riposizionare il proprio modello sfruttando il mouse (con il tasto centrale si ruota e con i due laterali si trasla il modello e si usa lo zoom) mentre da disattivare quando si vuole puntare su un particolare oggetto, per esempio, per poter ricevere delle informazioni su di esso dal Marc
- FILL, RESET VIEW: permette di centrare perfettamente il modello
- ZOOM BOX, IN e OUT per spostarsi e ingrandire l’immagine centrale
- HELP: consente di aprire diversi file pdf con ampia documentazione sul software (puntando con il mouse su di un elemento e cliccando con il tasto centrale si ha una via per un breve “help” riguardante tale comando)

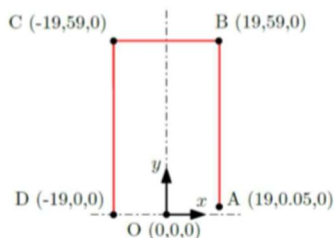
3- Realizzazione del modello

- Note le informazioni base siamo pronti per realizzare un profilato sottile con taglio sottoposto a due coppie torcenti, il nostro obiettivo sarà ricavare la rigidezza torsionale della struttura e il campo

degli stress. Importante sottolineare che :

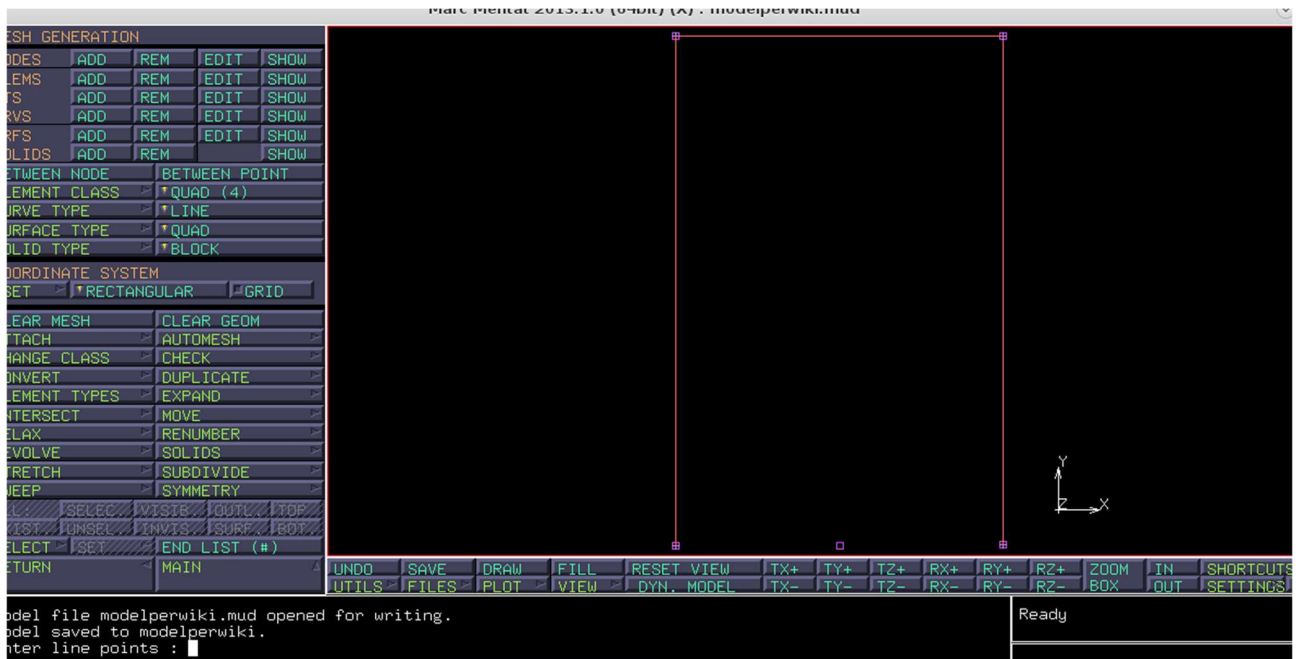


- Il MARC non lavora con unità di misura stabilite al suo interno, risulta importante dunque rimanere coerenti con quanto affermato sul foglio di carta dove sono presenti i dimensionamenti.
- Si nota immediatamente come la struttura abbia in realtà due piani di antisimmetria (caricamento torsionale dunque si parla di antisimmetria): XY e ZY. Per semplicità modelleremo solo metà struttura considerando uno solo di questi due piani di simmetria, ovvero XY. Essendo il primo dei documenti svolti in classe. Per comodità esporremo ora tutti gli step da eseguire per poter riprodurre il modello dal proprio computer:
- COORDINATE DEI PUNTI: step preliminare all'apertura del software. Si individuano le coordinate dei nodi della metà del profilato che andremo a realizzare (si eseguirà poi una riproduzione simmetrica del pezzo rispetto al piano di normale Y). Essi sono [0 0 0 ,19 0.05 0 ,19 59 0, -19 59 0, -19 0 0]

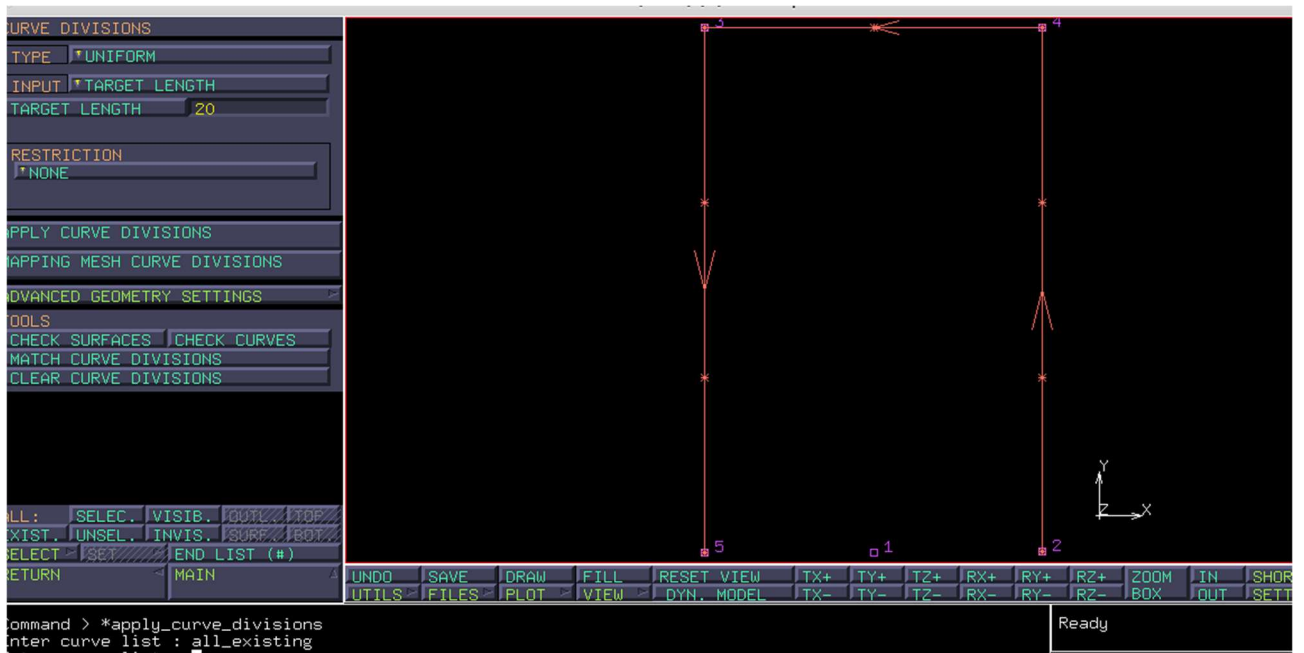


- Aprire il terminale. Selezionare FILES dai comandi rapidi → scegliere la directory nella quale salvare il proprio documento → assegnargli un nome su "selection".
- Main menu → Mesh generation → nodes: ADD
- Dalla barra "command" inserire le coordinate semplicemente rispondendo alle richieste che vengono espresse e premendo invio, è importante ricordarsi di chiudere la lista con l'apposito pulsante END LIST o scrivendo un # nella finestra di esecuzione dei comandi. Si ricorda che anche se inizialmente viene chiesta solo la coordinata x scrivendo i valori delle coordinate divise da uno spazio cioè direttamente "0 0 0", vengono assegnate le tre coordinate al nodo (la prima a x, la seconda a y e la terza a z). Se si volesse in seguito interrogare il nodo per ricevere le sue coordinate sarà necessario disattivare il DYNMOD e cliccare su "SHOW" al posto di ADD sempre nella stessa schermata dove ci si trova. In questo modo interrogando il nodo si riceveranno nella barra "command" le sue coordinate. I pulsanti REM e EDIT servono rispettivamente a rimuovere e a spostare un nodo.
- Andare ora su mesh generation → crvs → add

- Verranno chiesti i nodi iniziali e finali di ogni curva che si vuole generare. È importante seguire un ordine logico poiché ogni curva avrà una sua orientazione. Una volta realizzate le tre curve si potrà notare come il nodo al suo interno non sarà più vuoto ma avrà una croce bianca (il nodo è rappresentato da un quadratino vuoto mentre la croce rappresenta un punto).



- Attraverso PLOT → node settings → Labels → regen è possibile visualizzare il nome di ogni nodo. Sempre attraverso PLOT → curve settings → direction → regen è possibile visualizzare l'orientazione delle singole curve
- È dunque anche possibile disattivare la visualizzazione di ogni singolo elemento ma ciò non significa che esso non è più esistente, semplicemente non viene visualizzato.
- Con i comandi mesh generation → automesh → curve division → type: uniform si suddivide la curva presa in considerazione in un sotto insieme finito di curve della stessa lunghezza (è possibile anche creare divisioni di lunghezza variabile con il comando curvature dependent) → length: 20 → apply curve division → all: EXIST. EXIST seleziona tutti gli elementi (di un certo tipo) e applica il comando scelto sui corpi selezionati, gli elementi possono essere anche selezionati dalla figura semplicemente cliccando su di essi o trascinando il mouse sopra l'area che li racchiude.

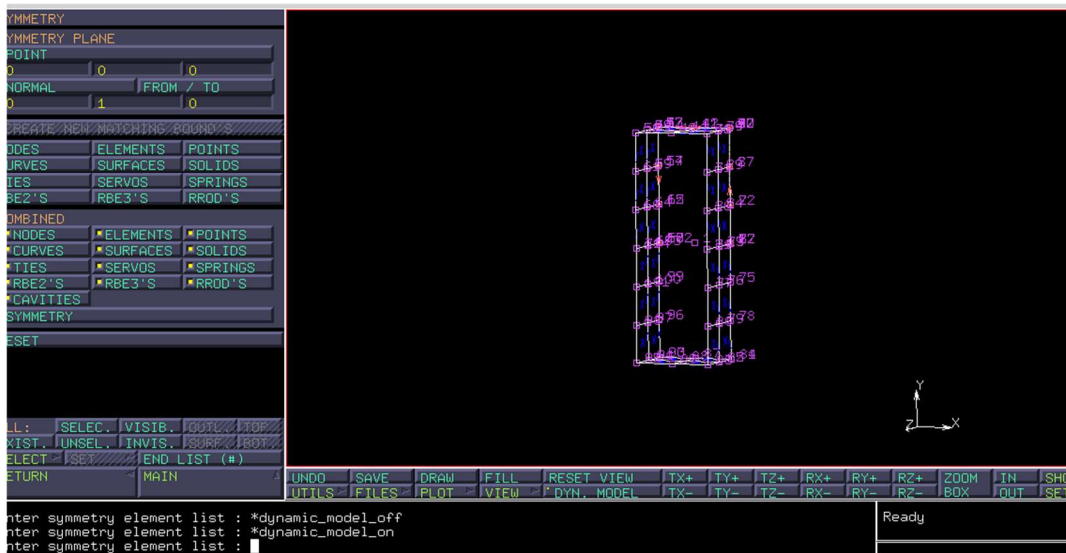


PROCEDIMENTO LOGICO: adesso dovremo creare a partire da questa base un elemento trave e successivamente espanderlo in direzione z formando l' elemento tridimensionale shell, renderlo simmetrico rispetto al piano di normale y e far collasare i nodi

1. Per convertire le curve in travi: Mesh generation → automesh → mesh curves → all: EXIST .
2. Si passa invece da travi a elementi shell attraverso Mesh generation → expand → modificare la traslazione in z inserendo dalla barra dei comandi 0 0 20 → ripetizioni 2 (estrude il modello sia nel verso delle z positive che nel verso delle z negative) → mode remove (in questo modo si creeranno elementi di superficie eliminando i precedenti elementi trave, verranno salvati invece premendo shift o save) → cliccare sotto combined: elements → all: EXIST.



3. Mesh generation → simmetry → normal 0 1 0 → elements: EXIST.

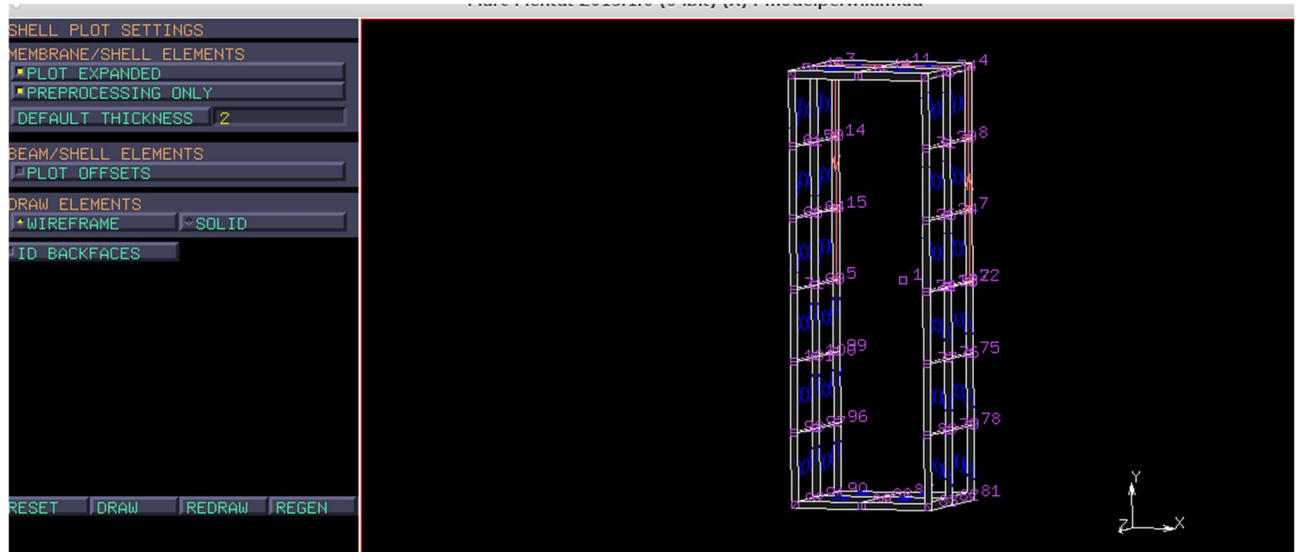


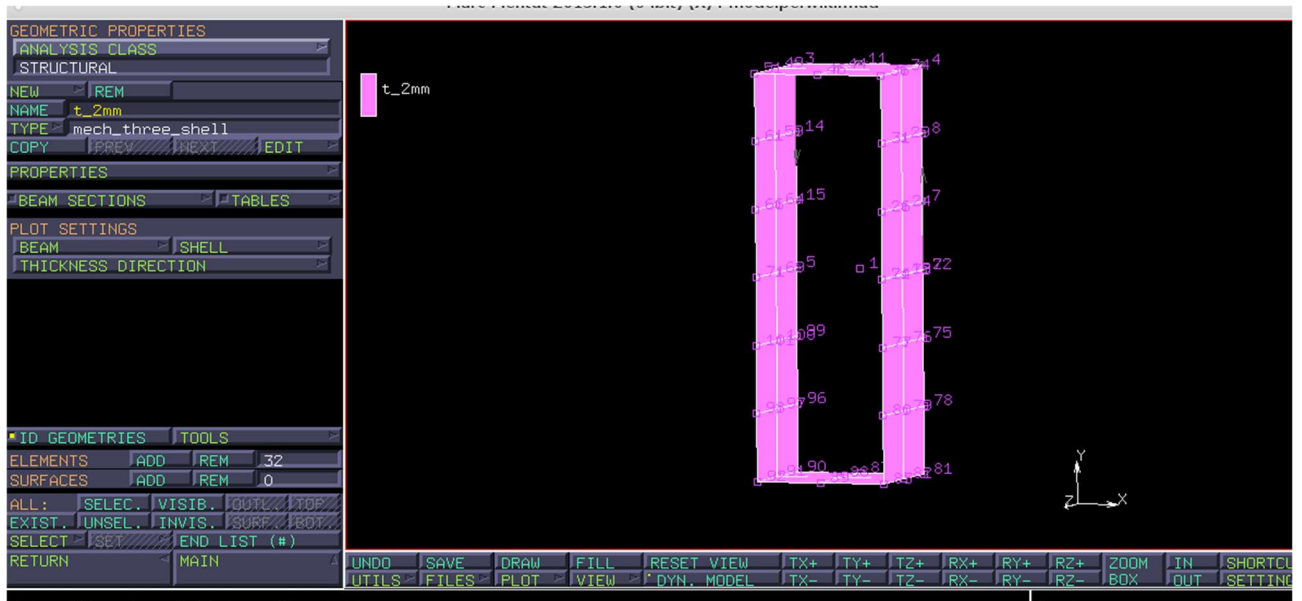
4. Mesh generation → sweep → nodes → all: exist .In questo modo abbiamo fatto collasare tutti i nodi che erano a distanza minore della tolleranza prefissata. Questa ovviamente non deve essere più grande della dimensione del “crack” presente nella figura altrimenti i nodi alle estremità di questo collaserebbero in uno unico.

Prima di proseguire si nota come al centro di ogni unità elementare sia presente una croce: essa permette di capire che all’interno di tale unità vi è del materiale infatti si potrebbe andare sotto il comando plot → element → solid e si avrebbe una visualizzazione differente con le unità colorate. Il “baffo” indica invece la direzione dei primi due nodi.

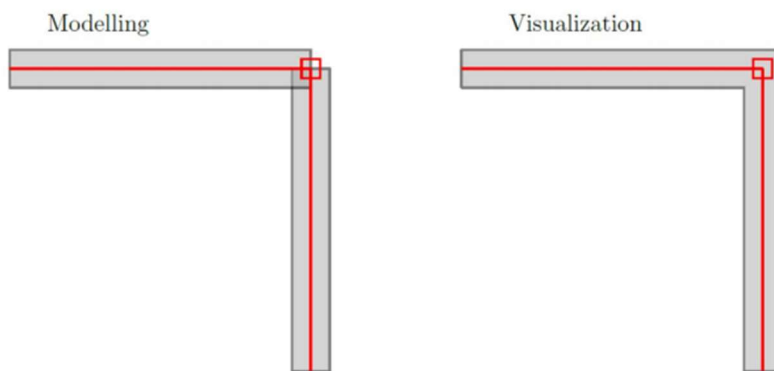
ASSEGNAZIONE PROPRIETA' GEOMETRICHE

5. Main menu → geometric properties → new → structural → 3D → shell
 Selezionare il nome “2_mmthickness”
 Properties: impostare 2 come spessore
 Non impostare alcun offset
 Add → exist
 Per visualizzare tale spessore è possibile modificare sempre nella stessa schermata sotto plot settings → shell → plot expanded → regen. Altrimenti semplicemente cliccando su ID geometries tutto ciò che è rosa risulterà avere spessore 2mm

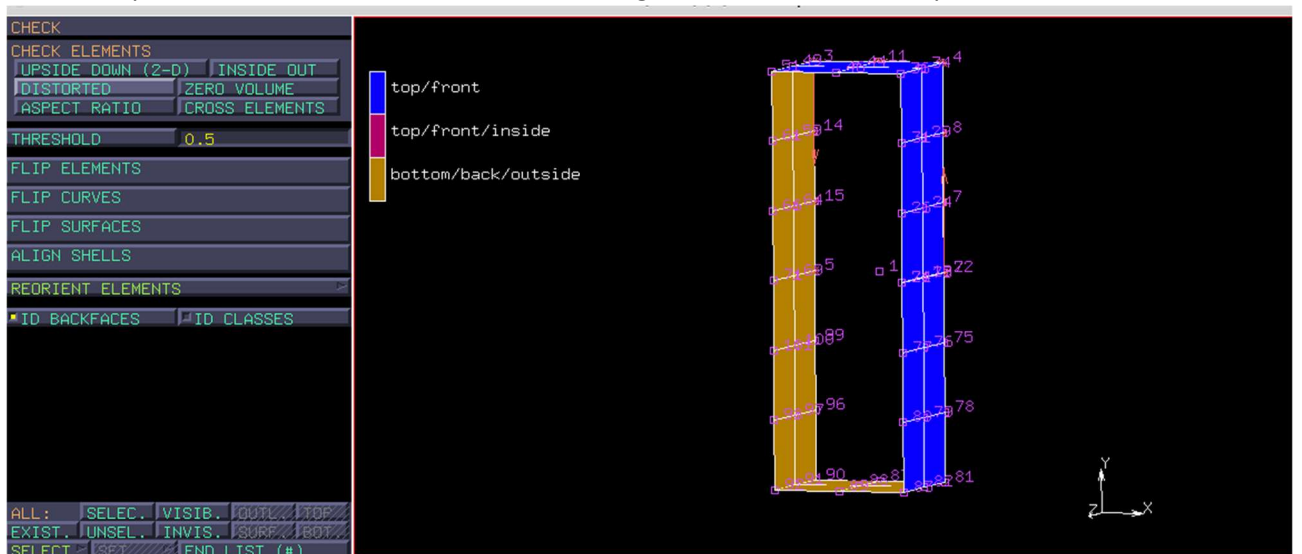




Per quanto riguarda lo spessore, quello che viene visualizzato negli angoli della struttura è una vista cosmetica anche se il software opera sulla struttura rappresentata a sinistra dell'immagine sottostante.

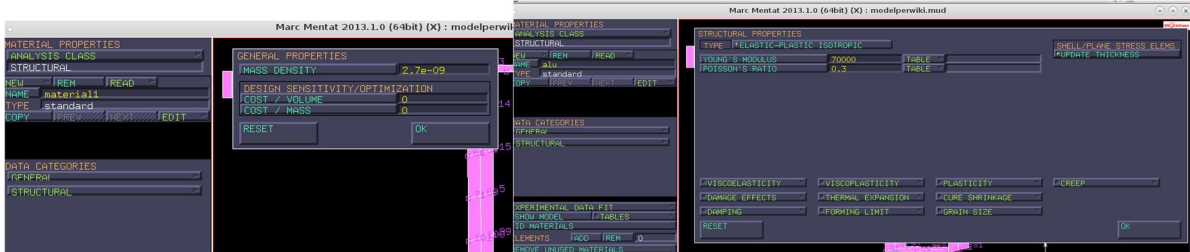


- Se si vuole individuare quale è la superficie TOP e quale quella bottom è possibile andare sempre sotto shell plot settings su id backfaces. Noteremo come di default la superficie esterna sarà il bottom. È possibile modificare ciò andando su mesh generation → check → flip elements → all exist



INSERIMENTO PROPRIETA' MATERIALE

- Main menu → material properties → new → standard → name:alu
Inserire la densità sotto general: $2.7e-9$
Inserire da structural: modulo elastico 70000 coefficiente di poisson 0.3
Add: EXIST.



- Assegnare orientazione dal main menu
material properties → orientation → new → uu plane
con vettori 0 0 1 e 1 1 0
elements → add: EXIST.

Vogliamo identificare una terna di riferimento su ogni singola unità elementare del modello a elementi finiti, per farlo dobbiamo assegnarla al materiale ipotizzando che esso non sia isotropo ma ortotropo. Tale metodo presuppone che vengano forniti due vettori appartenenti allo stesso piano: il primo vettore nel nostro caso verrà preso diretto lungo l'asse z mentre il secondo vettore da fornire sarà inclinato di 45 gradi nel piano xy in modo da non essere mai parallelo alle due superfici della nostra struttura. Il software procede ricavando il terzo vettore dalla proiezione del secondo fornito sul piano dell'elemento e ricavando nuovamente un secondo vettore semplicemente ricostruendo la terna destrorsa.

- In ultimo per visualizzare il tutto basta andare su material properties orientation → orientation plot settings: da default mettere custom → regen
Il risultato finale sarà il seguente

