

Laboratorio Progettazione del telaio

Lezione: 01/06/17

(Continuazione della lezione precedente di laboratorio)

Scopo lezione: analisi statica e dinamica di una monoscocca semplificata tipo formula SAE.

Scarico da wiki, nella sezione "FEM: telaio tipo formula SAE semplificato", i seguenti file:

- https://cdm.ing.unimo.it/dokuwiki/_media/wikitelaio2017/telaio_monocoque_2017_v009b.mud
- https://cdm.ing.unimo.it/dokuwiki/_media/wikitelaio2016/inerzia_parallelepipedo_equivalente_motore.ods
- https://cdm.ing.unimo.it/dokuwiki/_media/wikitelaio2016/inerzia_parallelepipedo_equivalente_gruppi_mozzo.ods
- https://cdm.ing.unimo.it/dokuwiki/_media/wikitelaio2016/telaio_monocoque_solomasse.mfd

1. Apro con Marc_Mentat il file *telaio_monocoque_2017_v009b*
2. Aggiungiamo i gradi mancanti all' RBE2 del portamozzo
 - LINKS
 - RBE2
 - EDIT
 - (aggiungiamo gradi di libertà 4, 5, 6)
3. Controlliamo condizioni al bordo → ok, sono corrette.

Una volta controllato che il modello sia completo e giusto, passiamo ad analizzare la struttura:

4. Impostiamo il JOBS:
 - JOBS
 - NEW
 - STRUCTURAL
 - name: *calcolo_kt*
 - PROPERTIES
 - INITIAL LOAD
 - selezionare tutti i carichi iniziali

- JOB RESULTS
 - selezioniamo:
 - STRESS (MAX & MIN)
 - EQUIVALENT VON MISSES (MAX & MIN)

5. Lancio la simulazione:

- premo comandi CHECK, RENUMBER ALL (solito passaggio prima del SUBMIT)
- premo RUN
 - SUBMIT

6. Apriamo la deformata per vedere se hanno senso i risultati: “direi di sì” (cit. professore)

7. Effettuiamo calcolo della rigidità torsionale attraverso la formula:

$$M = K_t \cdot \theta$$

Poiché Marc ci fornisce solamente gli spostamenti (displacement), calcoliamo la rotazione attraverso la lunghezza della *careggiata* (c) e lo *spostamento sull'asse z* (dz). Poiché siamo in presenza di angoli piccoli possiamo approssimare la tangente all'angolo in radianti:

$$\tan \theta \approx \theta \quad [\text{rad}]$$

quindi

$$\theta = \frac{dz}{c} \quad [\text{rad}] = \frac{dz}{c} \cdot \frac{180}{\pi} \quad [\text{deg}] = 0,00104643$$

dove:

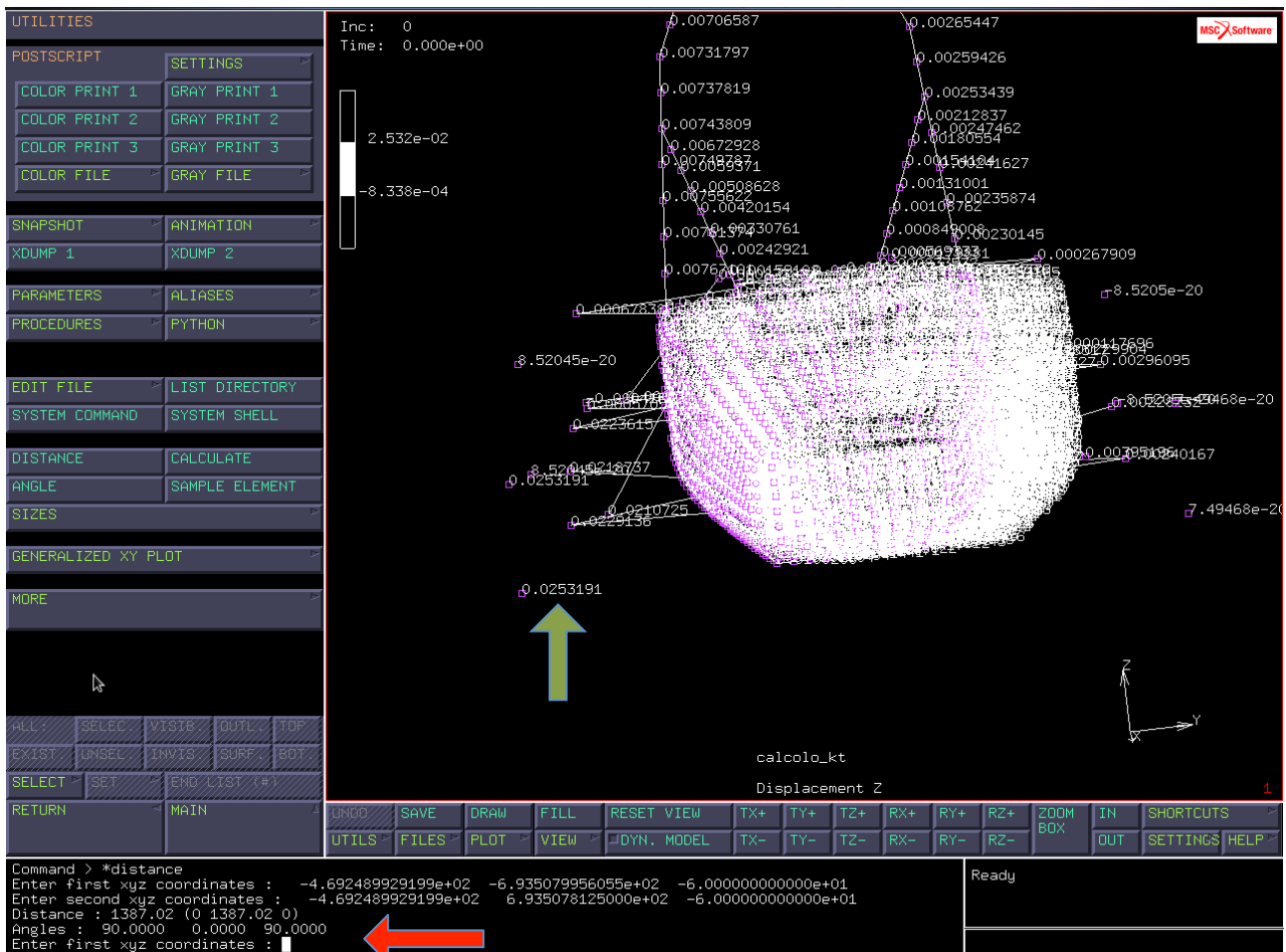
- dz = 0,0253191 mm
- c = 1387,02 mm

dz è stato ricavato attraverso:

- selezionare NUMERICS dal menù e leggere il numero relativo allo spostamento (displacement Z) del portamozzo anteriore destro (vedi freccia verde immagine)

c è stato ricavato attraverso:

- UTILS (menù in basso)
 - DISTANCE
 - selezionare i punti a terra dx e sx (vedi freccia rossa immagine)



Quindi la rigidezza torsionale risulta:

$$K_t = \frac{M}{\theta} = \frac{c \cdot F}{\theta} = \frac{1,38702 \text{ m} \cdot 1\text{N}}{0,00104589} = 1326,15 \frac{\text{Nm}}{\circ}$$

8. Dal menù RESULTS, selezioniamo il sottomenù SCALAR PLOT:

- SCALAR
 → Max Equivalent Von Mises Stress Across Layers.

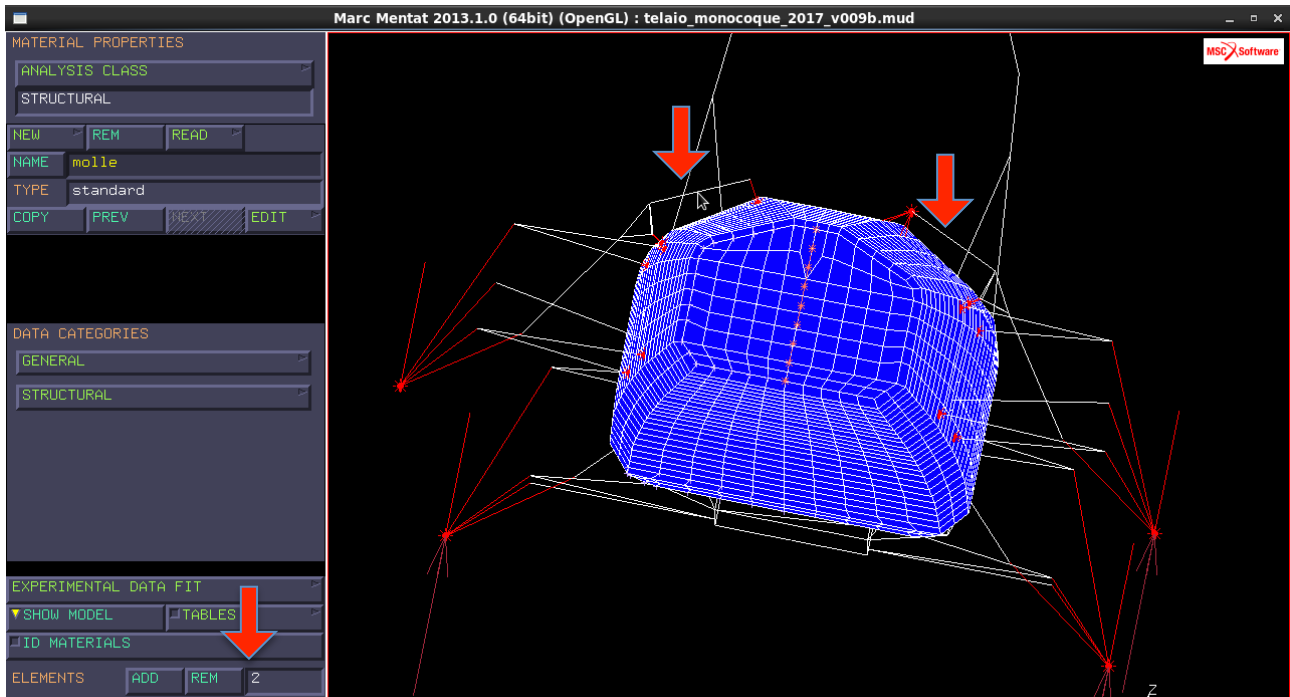
il quale ci da un'idea della distribuzione delle tensioni: in questo modo possiamo capire dove sarebbe meglio utilizzare dei rinforzi per la struttura

NOTA: è sbagliato utilizzare RBE3 tra attacchi sospensioni e centro-ruota nel calcolo di K_t perché in questo modo la sospensione risulterebbe scarica, e quindi non trasmetterebbe le reazioni al telaio.

9. Facciamo una prova cambiando modulo di Young al materiale della molla e verificiamo che RBE2 funziona correttamente:

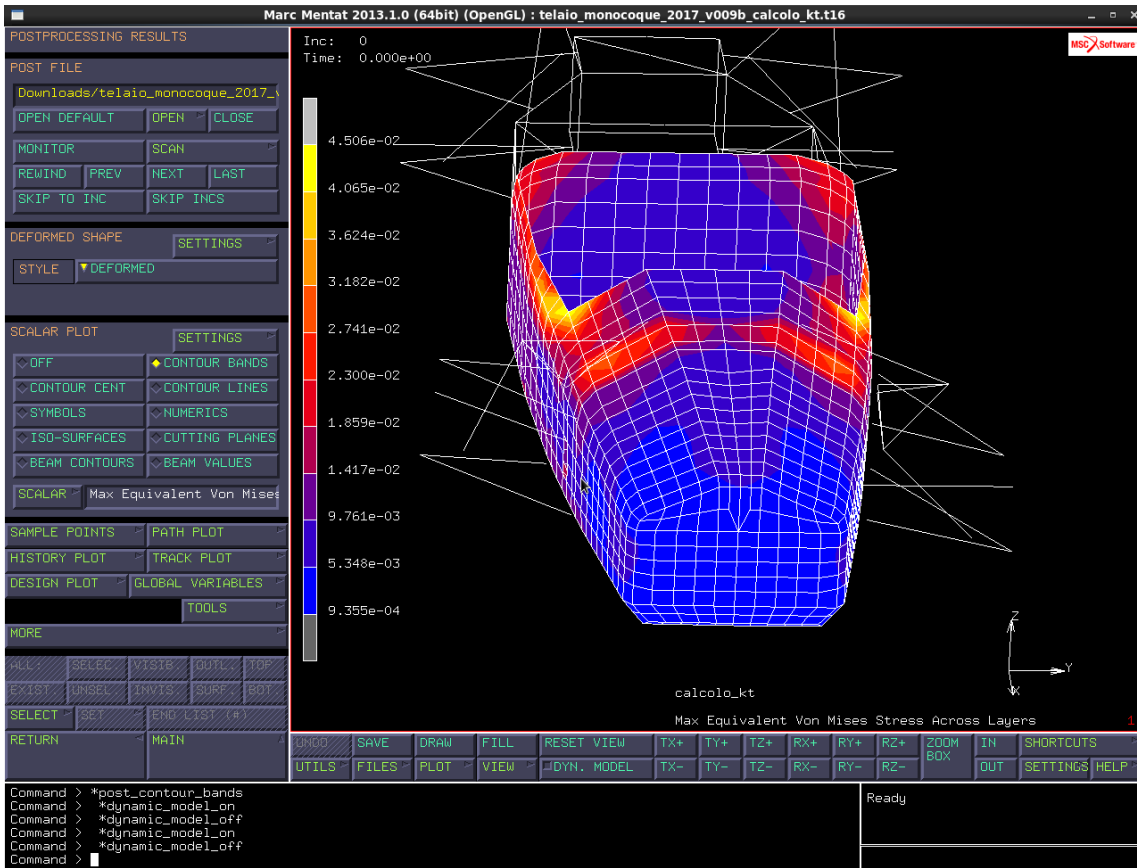
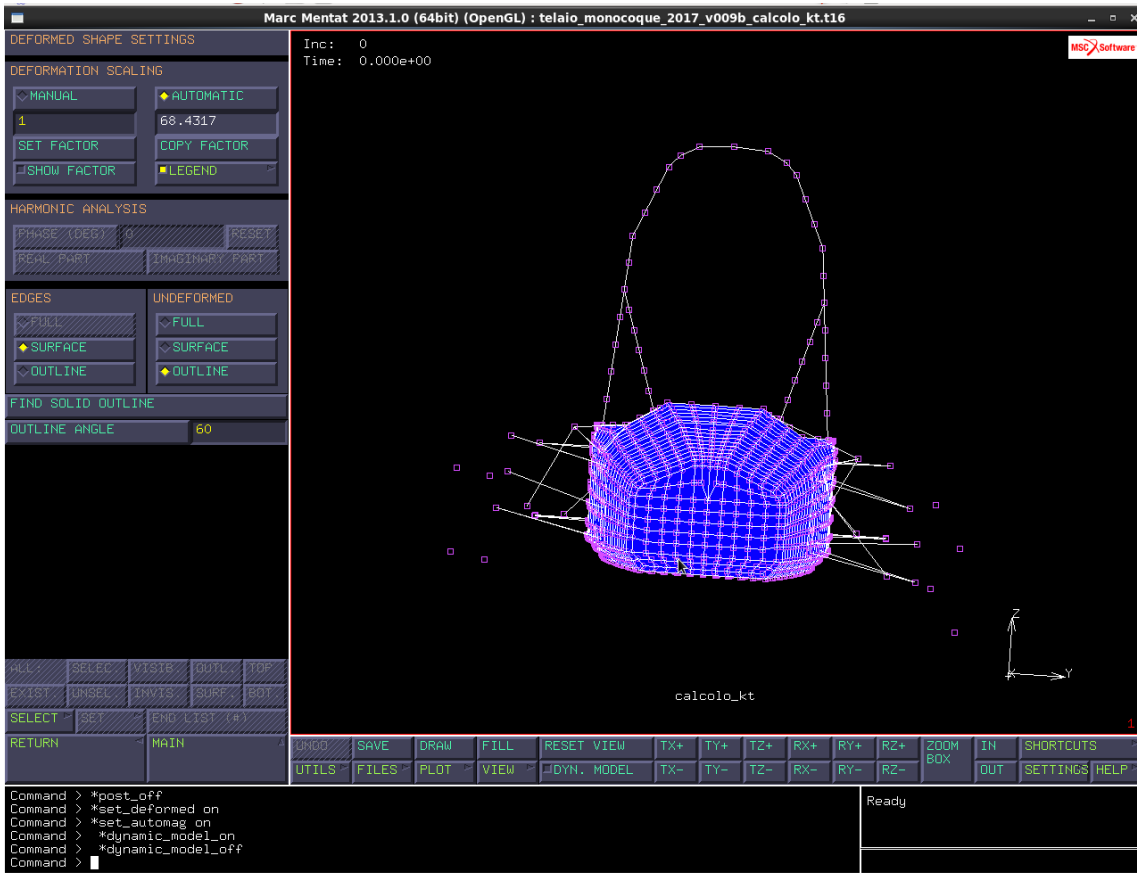
- MATERIAL PROPERTIES
 → NEW
 → STANDARD
 → name: molle

- STRUCTURAL
 - YOUNG'S MODULS → porre 1 (molti ordine di grandezza inferiore a quello dell'acciaio);
 - POISSON'S RATIO → 0
- ADD → selezionare come elementi i due puntoni (vedi in figura);



10. Rilancio il JOBS:

- per visualizzare meglio la deformata cambio scala → manual: 100;
- dall'immagine (vedi figura) si nota:
 - tutta la rotazione è concentrata sulle molle: una si comprime e l'altra si espande;
 - la distribuzione delle tensioni è identica a prima, ciò vuol dire che il sistema di sospensioni funziona correttamente e trasmette bene le forze al telaio (verifica dell'RBE2 eseguita)



11. Verificato l'RBE2 reimpostiamo il materiale delle molle come in precedenza (alluminio);
12. Mentre è facile valutare il comportamento statico del veicolo, poiché nel calcolo della rigidità torsionale dobbiamo considerare elementi del veicolo che hanno rigidità paragonabile a quella del telaio (esempio motore), il comportamento dinamico è più difficile da valutare in quanto entrano in gioco masse e inerzie rilevanti (il veicolo infatti è soggetto ad accelerazioni).

Le masse rilevanti possono essere:

- gruppi ruota;
- motore (in Formula SAE costituisce $\frac{1}{4}$ della massa totale);
- serbatoio;
- pilota;
- pacchetto aerodinamico.

13. Nel caso trattato in questa lezione si esegue un'analisi semplificata inserendo solo gruppo ruota e motore:

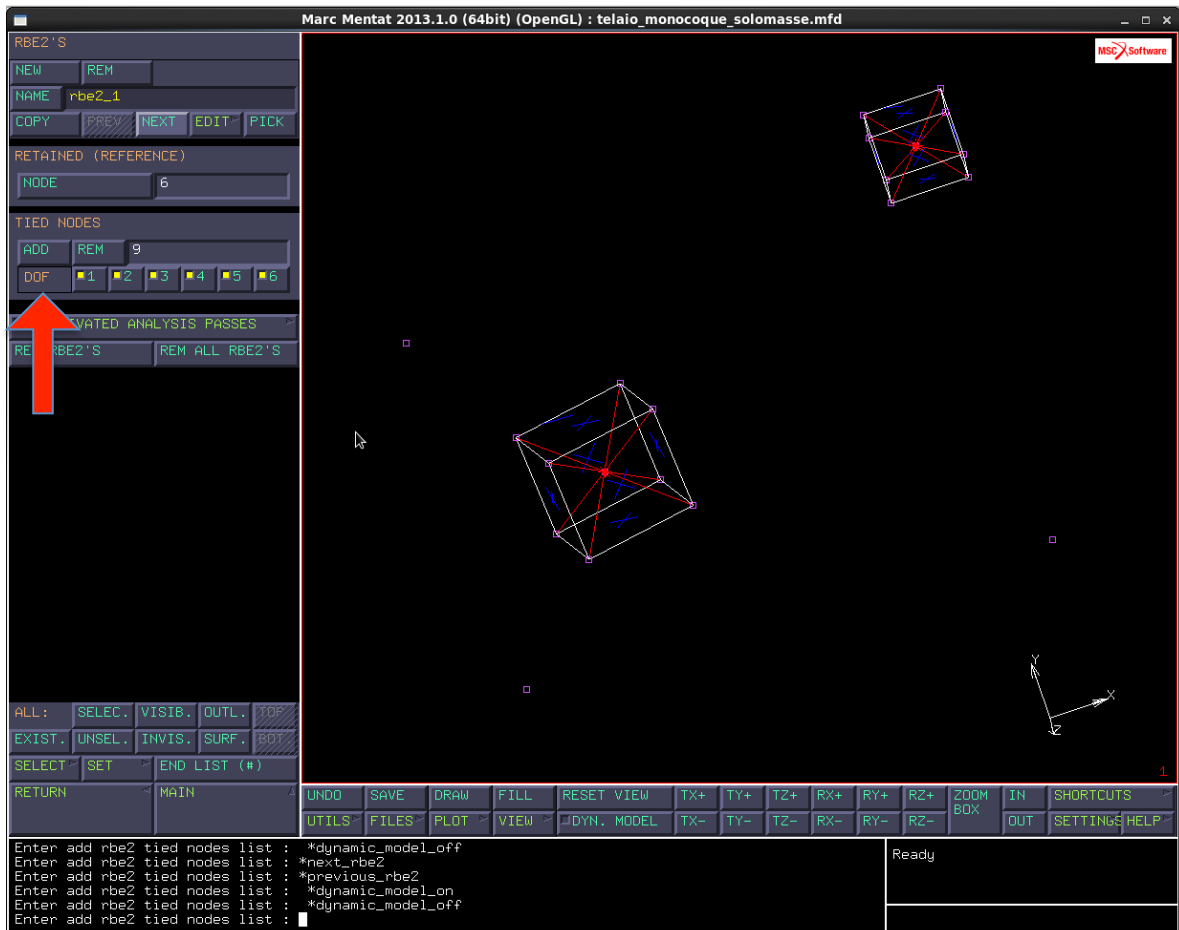
- Apriamo file scaricato ad inizio lezione: *telaio_monocoque_solomasse*;

Come si può vedere il file è già composto di:

- 4 nodi che corrispondono ai centri delle 4 ruote di cui uno è coperto da un elemento cubico rappresentativo della ruota (rappresentazione stilizzata);
- un altro cubo rappresentativo il motore.

14. Impostiamo RBE2 per il gruppo ruota e per il motore:

- LINKS
 - RBE2
 - NEW
 - NODE REFERENCE → selezionare centro del cubo della ruota
 - NODES ADD → selezionare i vertici del cubo della ruota (NO il centro!!)
 - attivare tutti i GDL (DOF)
 - NEW
 - NODE REFERENCE → centro del motore
 - NODES ADD → selezionare i vertici del cubo del motore (NO il centro!!)
 - attivare tutti i GDL (DOF)



15. Appliciamo proprietà dei materiali gruppo-ruota e blocco-motore:

I valori vengono presi dai fogli di calcolo scaricati a inizio lezione in modo che i cubi approssimino fisicamente le ruote reali e il motore rispettivamente.

	A	B	C	D	E	F
1	parallelepipedo ad inerzia equivalente					
2						
3	Momenti d'inerzia	Jxx		750 tonn*mm^2		
4		Jyy		800 tonn*mm^2		
5		Jzz		925 tonn*mm^2		
6	massa	m		0.04 tonn		40 kg
7						
8	raggi di inerzia	r_xx		136.93 mm		
9		r_yy		141.42 mm		
10		r_zz		152.07 mm		
11						
12	dimensioni parallelepipedo	a		382.43 mm		
13		b		362.28 mm		
14		c		306.19 mm		
15	densità	rho		9.429242E-010 tonn/mm^3		
16	% pieno se acciaio			12.09%		
17	% pieno se alluminio			34.92%		
18						
19						

	A	B	C	D	E	F
1	parallelepipedo ad inerzia equivalente					
2						
3	Momenti d'inerzia	Jxx		85 tonnm ²		
4		Jyy		95 tonnm ²		
5		Jzz		80 tonnm ²		
6	massa	m		0.0080 tonnm		8 kg
7						
8	raggi di inerzia	r_xx		103.08 mm		
9		r_yy		108.97 mm		
10		r_zz		100.00 mm		
11						
12	dimensioni parallelepipedo	a		259.81 mm		
13		b		229.13 mm		
14		c		273.86 mm		
15	densità	rho		4.907133E-010 tonnm ³		
16	% pieno se acciaio			6.29%		
17	% pieno se alluminio			18.17%		
18						
19						
20						

Ruota:

- MATERIAL PROPERTIES
 - NEW
 - STANDARD
 - name: ruota
 - GENERAL
 - MASS DENSITY: porre valore foglio calcolo: 4.907133e-10
 - STRUCTURAL
 - YOUNG'S MODULUS: porre valore: 1

(per il modulo di Young basta porre qualsiasi valore diverso da zero, in quanto l'RBE2, essendo infinitamente rigido, non risente del modulo di Young).

- ELEMENTS
 - ADD
 - selezionare l'elemento ruota

Motore:

- MATERIAL PROPERTIES
 - NEW
 - STANDARD
 - name: motore
 - GENERAL
 - MASS DENSITY: porre valore: 9.429242-10
 - STRUCTURAL
 - YOUNG'S MODULUS: porre valore: 1

(stesse considerazioni del Modulo di Young viste per il gruppo-ruota)

- ELEMENTS
 - ADD
 - selezionare l'elemento motore

16. Duplichiamo il gruppo ruota sugli altri centro-ruota:

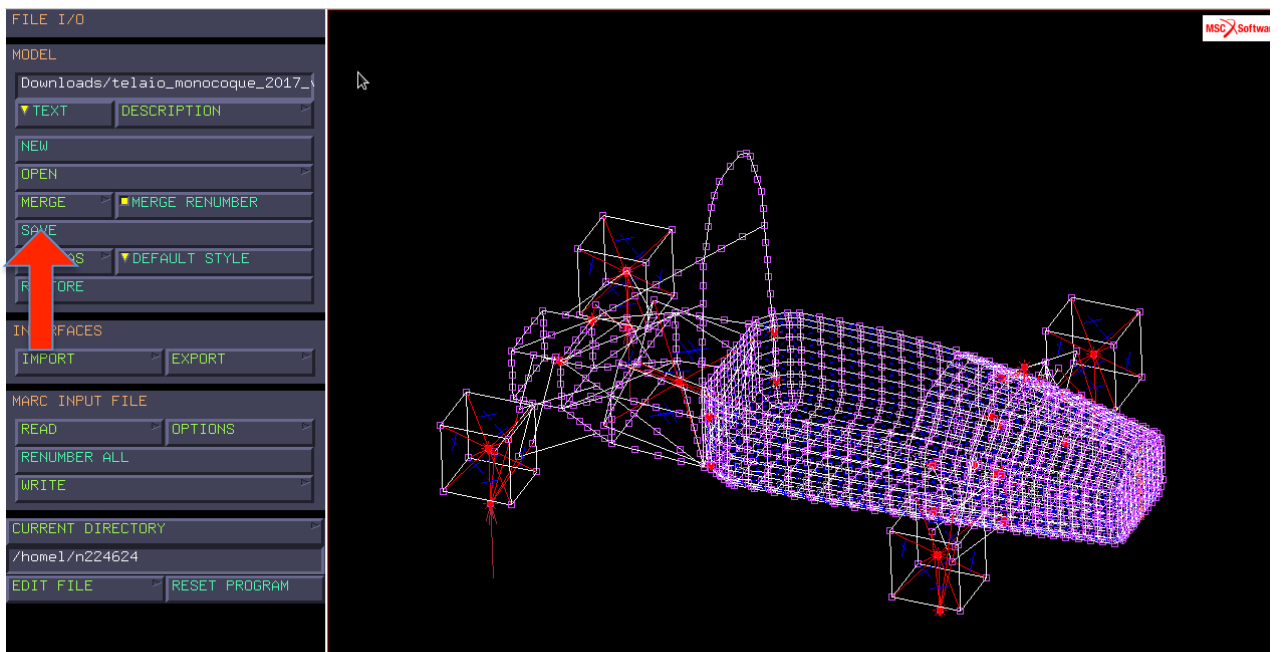
- MESH GENERATION
 - DUPLICATE
 - FROM/TO: selezionare il centro cubo-ruota e il nuovo centro ruota
 - DUPLICATE → selezionare il cubo-ruota
 - END LIST

Stesso procedimento per gli altri 2 centri-ruota.

17. Eseguire uno SWEEP ALL e salvare.

18. Torniamo al modello monoscocca e inseriamo il gruppo ruote e motore:

- FILES
 - OPEN
 - aprire *Telaio_monocoque_2017_v009b*
 - MERGE
 - aprire *telaio_monocoque_solomasse*



19. Colleghiamo il motore al telaio attraverso RBE3 in modo da far passare solo le forze inerziali, senza andare a irrigidire il telaio:

- LINKS
 - RBE3
 - NEW
 - REFERENCE NODE
 - nodo centrale del motore
 - (attivare tutti e 6 i g.d.l.)
 - NODES
 - ADD

→ SET

→ selezionare
punti_attacco_motopropulsore

--> (attivare solo i primi 3 g.d.l. dei nodi appena aggiunti)

Analisi Cinematica:

- indaghiamo sui modi propri della struttura, in modo da valutare le frequenze proprie del sistema, dipendenti da:
 - rigidezza;
 - masse e inerzie.

E' importante conoscere i modi propri del sistema per il fenomeno della risonanza.

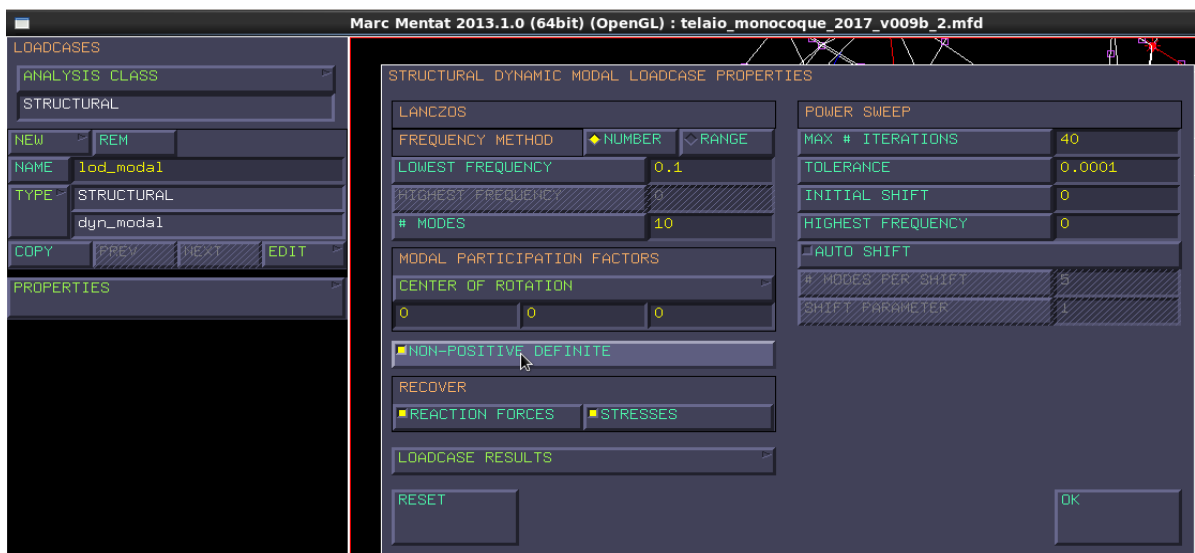
Per l'analisi cinematica però togliamo i vincoli della prova statica poiché altrimenti avremo modi proprio della struttura diversi dalla realtà.

Esempi:

- Considerando una vettura che passa su un dosso, il sistema non è più vincolato a terra come in una prova statica poiché la vettura potrebbe sollevarsi, quindi non potremo studiare i modi propri del sistema vincolandolo a terra;
- Un elicottero essendo concepito per non avere vincoli, si distrugge se viene vincolato a terra (vedi video : <https://www.youtube.com/watch?v=LFLV47VAbI>), questo perché ha modi propri diversi se vincolato o no.

20. Impostiamo l'analisi cinematica:

- LOADCASES
 - NEW
 - DYNAMIC MODEL
 - name: *lcase_modal*
 - PROPERTIES:
 - (impostare come in figura)



- JOBS
 - NEW
 - STRUCTURAL
 - name: *modi_propri*
 - PROPERTIES
 - attivare *lcase_modal* (LOADCASE appena creato)
 - INITIAL LOADS
 - disattivare il tutto
 - JOB RESULTS
 - attivare:
 - *Equivalent Von Mises Stress*
 - *Stress*

21. Lancio la simulazione:

- premo comandi CHECK, RENUMBER ALL
- premo RUN

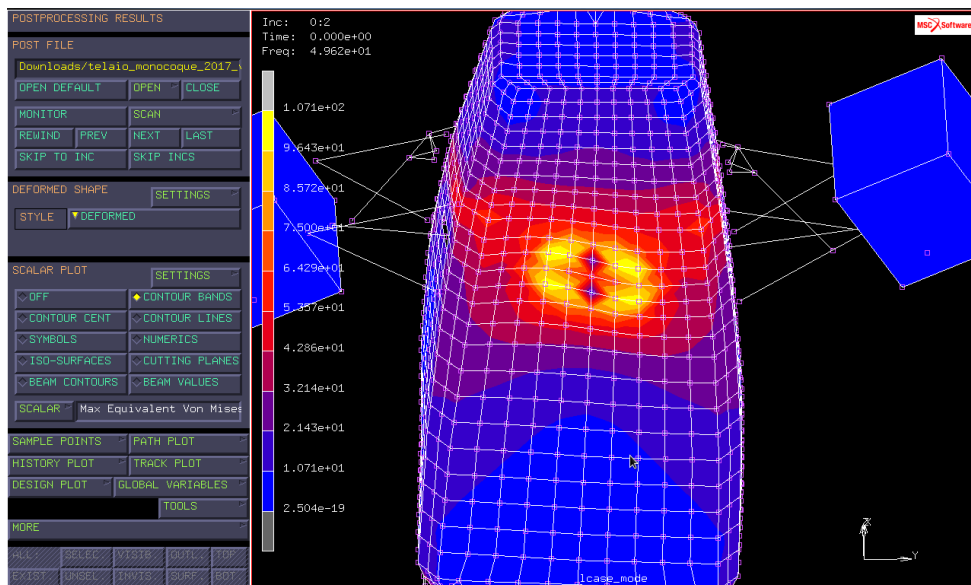
→ SUBMIT

Con i risultati ottenuti possiamo visualizzare i modi propri della struttura attraverso:

- JOB RESULTS
 - cliccando il tasto NEXT si possono scorrere tutti i 10 modi propri del sistema, anche se quelli importanti sono i primi 5, di cui i primi tre sono:
 - I MODO: TORSIONALE;
 - II MODO: STERZO;
 - III MODO: FLESSIONALE

Considerazioni e osservazioni:

- a. per alzare la frequenza del primo modo (cioè quello torsionale) si può alleggerire o il gruppo-ruota o il telaio;
- b. per quanto riguarda il secondo modo (cioè quello di sterzo) si fanno sentire le inerzie delle ruote e si può osservare dai risultati la sovrasollecitazione sul fondo vettura (vedi figura)



- c. per quanto riguarda il terzo modo (cioè quello flessionale) si nota la sovrasollecitazione nei punti di attacco della monoscocca.

Per continuare l'Analisi calcoliamo l'**inerzanza**, la quale è una quantità scalare e serve a valutare l'attitudine di una struttura a seguito di un'applicazione di una forza.

$$I = \frac{a}{F}$$

22. Per applicare una forza dinamica:

- BOUNDARY CONDITIONS
 - NEW
 - STRUCTURAL
 - HARMONIC POINT LOAD
 - name: *harmonic_load*
 - PROPERTIES:
 - FORCE Z
 - MAGNITUDE: porre valore 1;
 - PHASE: porre valore 0.
- ADD:
 - punto a terra ruota anteriore dx

23. Nuova analisi:

- LOADCASE
 - NEW
 - TYPE
 - DYNAMIC HARMONIC
 - name: *lcase2*
 - PROPERTIES
 - impostare come tabella sottostante



- SOLUTION CONTROL
 - attivare NON-POSITIVE DEFINITE

In questo modo abbiamo applicato una forza al punto a terra della ruota anteriore dx modulata per un $\cos \omega t$, facendo variare ω in frequenza da 1 Hz a 150 Hz con un passo di 0,25 Hz. Così facendo abbiamo applicato al sistema una forza a frequenze via via più alte e vediamo la risposta della struttura.

24. Andiamo a impostare il JOBS

- JOBS
 - NEW
 - STRUCTURAL
 - name: harmonic;
 - PROPERTIES
 - attivare *lcase2*;
 - INITIAL LOADS
 - eliminiamo tutto eccetto *armonic_load* (boundary condition)
 - JOB RESULTS
 - attivare:
 - *Equivalent Von Mises Stress*
 - *Stress*

Per il calcolo dell'Inertanza abbiamo bisogno dell'accelerazione (vedi formula sopra), ma siccome Marc ci fornisce solo gli spostamenti allora ci calcoliamo le accelerazioni attraverso la derivata seconda degli spostamenti:

$$w = \bar{w} \cdot \cos \omega t$$
$$\ddot{w} = -\omega^2 \bar{w} \cdot \cos \omega t$$

OSS.: quindi per passare dagli spostamenti alle accelerazioni basta moltiplicare per $-\omega^2$.

25. Andiamo a plottare gli spostamenti in funzione della frequenza:

- HISTORY PLOT
 - SET LOCATION
 - selezionare il punto a terra anteriore dx
 - INC RANGE
 - nel terminal scrivo: 0:1 (premo invio), 0:150 (premo invio)
 - ADD CURVE
 - ALL LOCATION:
 - GLOBAL VARIABLES: *frequency*;
 - VARIABLES AT LOCATION: *displacement Z*.

Il quale grafico è:

