

## Lezione 16/05/2019-Laboratorio

Si riparte dal modello della precedente lezione: “conrod\_reprise.mfd”.

Si era definita tutta la mesh, le proprietà geometriche e del materiale, e definiti i contatti biella-bronzina e bronzina-spinotto.

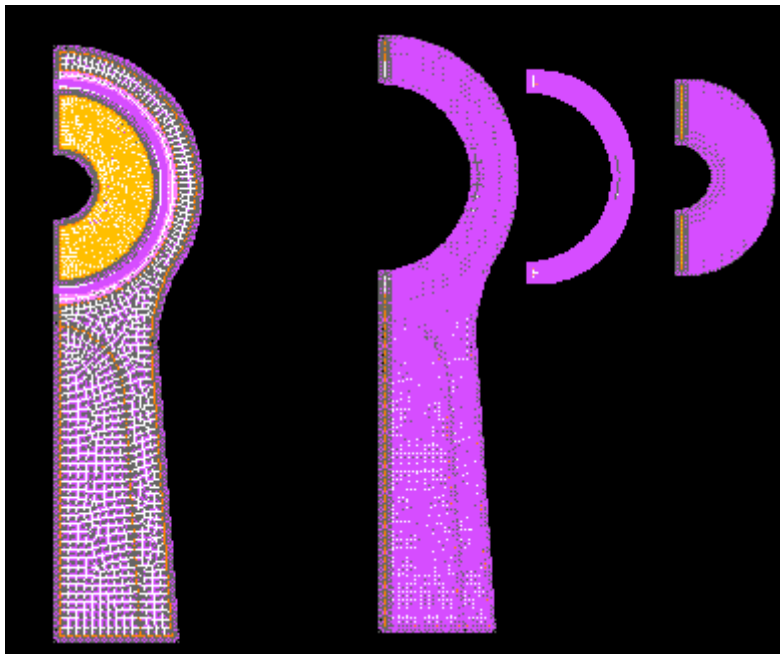
Ora è necessario impostare le boundary conditions, per eliminare la labilità, e definire il ciclo di caricamento (“loadcases”) per poi lanciare il calcolo e analizzare il forzamento tra bronzina e biella (interferenza).

La prima operazione da compiere è quella di spostare bronzina e spinotto centrandoli rispetto alla biella; alla fine dell’operazione i componenti avranno lo stesso centro ( $x=0,y=0$ ), ma saranno traslati in direzione  $z$  di 50 mm l’uno con l’altro (il solutore durante il calcolo riporta i componenti sullo stesso piano  $z=0$ ).

MG→MOVE→TRANSLATIONS FROM/TO: 50, 0, 50

Nel menu di selezione COMBINED, click su MOVE, selezionare con un box (mouse) tutta la bronzina (bush) e dare “end list”.

Ripetere la stessa identica operazione per lo spinotto (gudgeon pin), ma in questo caso in TRANSLATIONS FROM/TO inserire: 100, 0, 100



Ora si impone la condizione di simmetria rispetto al piano con normale  $x$ . Questa condizione va applicata ai nodi di tutti i corpi che si trovano in una posizione con  $x=0$ . In particolare bisogna imporre che la traslazione in  $x$  di tali nodi sia nulla.

BOUNDARY CONDITIONS→NEW STRUCTURAL→FIXED DISPLACEMENT

NAME "SYMMETRY\_X"

PROPERTIES → CHECK SU DISPLACEMENT X (=0)

NODES → ADD

Andare nel menu SELECT per selezionare i nodi.

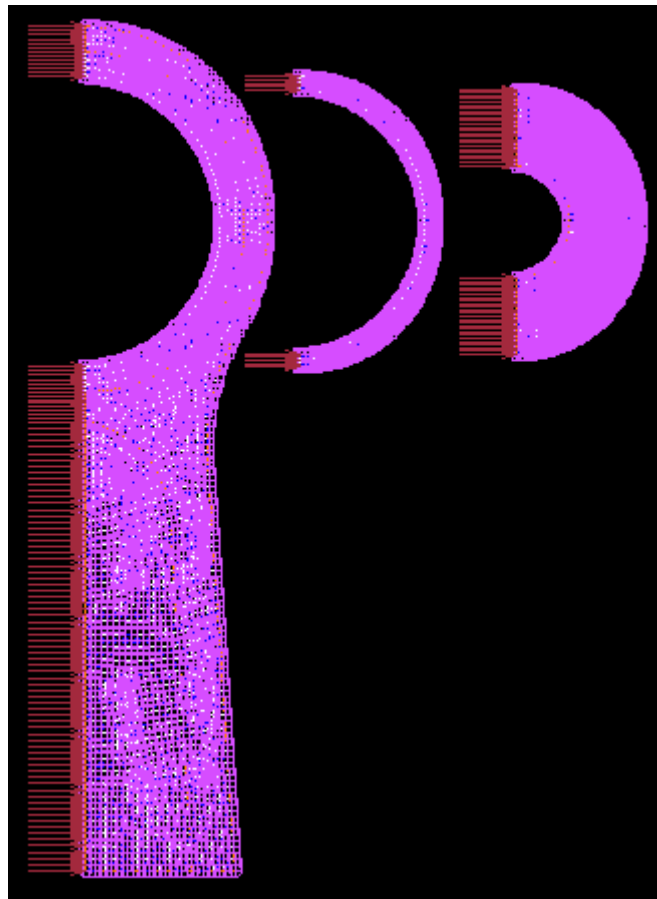
METHOD → BOX → CHECK su NODES

Digitare i seguenti range per le direzioni x, y, z:

x (-1000, 0,01) ; y (-1000,1000) ; z (-1000,1000)

CHECK su RETURN → NODES:ADD → ALL SELECTED

I nodi aggiunti a questa boundary condition sono 160. La conferma dell'avvenuta selezione è la comparsa di frecce rosse sui nodi (che bloccano gli spostamenti in x).



Ora bisogna vincolare alcuni nodi della biella alla traslazione in direzione y. In questo modo si impedisce la traslazione in y; i nodi da selezionare sono quelli posizionati all'estremità del fusto di biella.

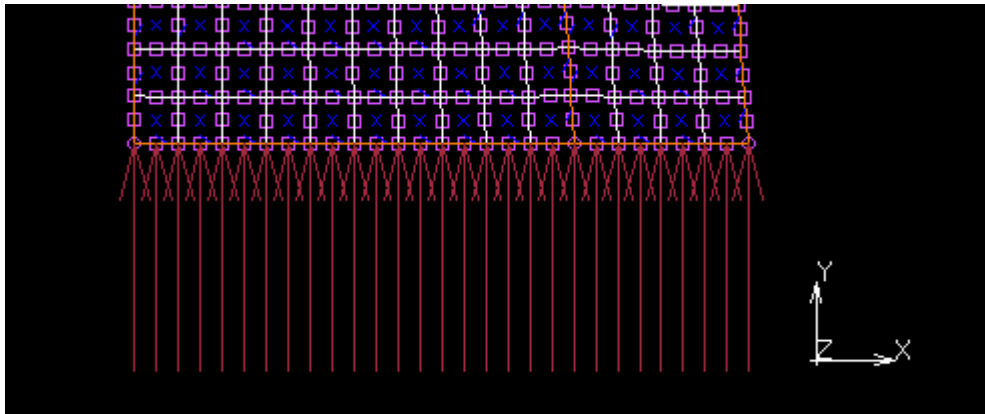
BOUNDARY CONDITIONS → NEW → STRUCTURAL → FIXED DISPLACEMENT

Assegnare nome "shank\_y"

PROPERTIES→DISPLACEMENT Y (=0)

ADD NODES→ selezionare i nodi con una finestra mediante mouse→END LIST  
“N° TOTALE NODI:29”

Si può notare che compaiono delle frecce in direzione y su tali nodi, che sono vincolati a non traslare in y.



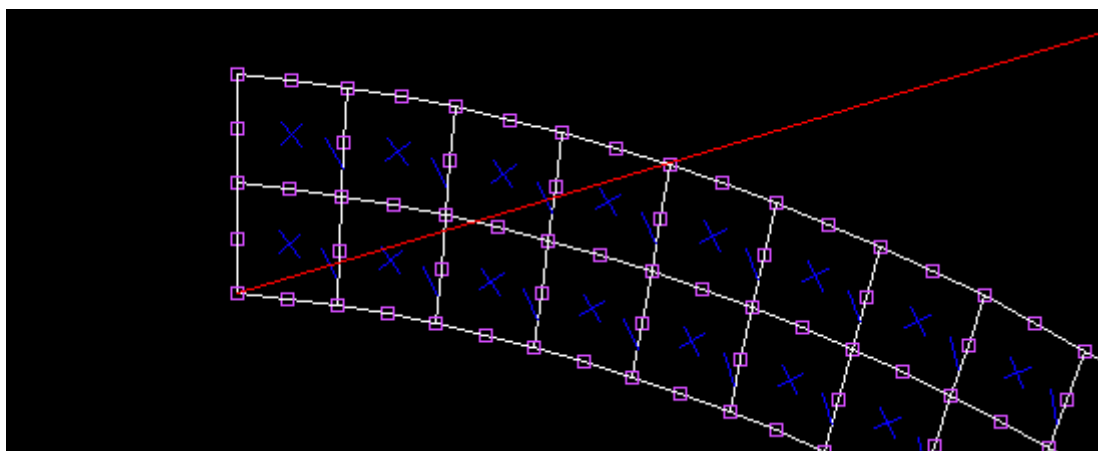
A questo punto la biella è completamente vincolata; la bronzina anche, grazie al contatto con la biella e al vincolo di simmetria in x.

In questa fase, in cui si vogliono analizzare le pressioni di contatto biella-bronzina, non è attivo il contatto bronzina-spinotto. Lo spinotto attualmente è vincolato alla traslazione x (grazie al vincolo di simmetria x) ma non è vincolato alla traslazione y.

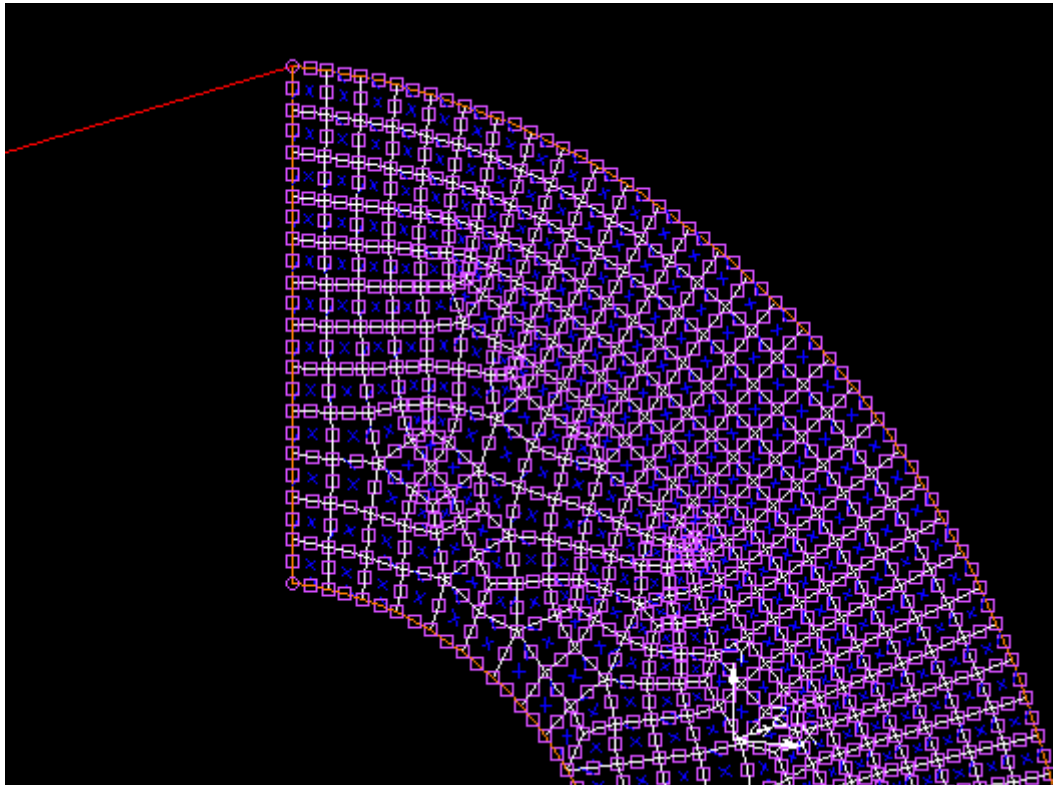
Risolviamo il problema imponendo un vincolo “spring” tra bronzina e spinotto

LINKS→SPRINGS/DASHPOTS→NEW→FIXED DOF

Come “BEGIN NODE” selezionare quello nella figura sottostante, appartenente alla BUSH:



Come “END MODE” selezionare quello nella figura sottostante, appartenente al “GUDGEON PIN”:



Per entrambi bloccare il DOF 2 (spostamento y).

Infine → PROPERTIES → ASSEGNARE STIFFNESS=1.

Si tratta di un valore indicativo, che serve solo per non avere problemi dovuti a labilità. Al termine dell'operazione dovrebbe comparire una linea che collega i due nodi.

Ora bisogna definire il CARICAMENTO "LOADCASE" che viene poi utilizzato dal solutore al lancio del calcolo:

LOADCASE → NEW → STATIC → name "lcase\_interference"

PROPERTIES:

-LOADS → attivo entrambi i posizionamenti x e y.

-CONTACT → CONTACT TABLE → seleziono quella relativa all'INTERFERENCE FIT.

-CONVERGENCE TESTING: cambiare da RESIDUALS a DISPLACEMENTS ed inserire una tolleranza di 0.01 mm. In questo modo il solutore considera che i 2 corpi sono a contatto se la distanza nodo-curva (dei due corpi) è inferiore a 0.01 mm.

Impostare infine: TOTAL LOADCASE TIME: 1 e STEP: 4.

Ora si può andare nel sottomenu JOB per l'impostazione del calcolo numerico:

JOB→NEW→STRUCTURAL: name “interference” →entrare in PROPERTIES.  
Come loadcase selezionare quella appena creata.

Entrare in CONTACT CONTROL:

- 1) Controllare che in METHOD sia selezionato NODE TO SEGMENT
- 2) Entrare in “initial contact” e caricare la contact table create precedentemente.

Ora entrare in JOB RESULT per selezionare gli output di calcolo.

Selezionare le seguenti QTA’ per gli ELEMENTI:

- STRESS
- EQUIVALENT VON MISES STRESS

Selezionare le seguenti QTA’ per i nodi:

- DISPLACEMENT
- CONTACT NORMAL FORCE
- EXTERNAL FORCE
- CONTACT NORMAL STRESS
- REACTION FORCE
- CONTACT STATUS

Uscire dal menu PROPERTIES del JOB al termine della procedura.

Tentare un controllo cliccando su CHECK. Dovrebbe comparire 1 errore: 128 elementi coinvolti (UPSIDE-DOWN). Sono gli elementi della bush (bronzina).

Per risolvere il problema andare in M.GENER. →CHECK→UPSIDE-DOWN. In basso nel prompt ci viene confermato che sono presenti 128 elementi coinvolti. Cliccare quindi su FLIP ELEMENTS e selezionare il set BUSH\_ELEMENTS. Ora tornare in JOB e fare CHECK:

```
UTILS
INFO: Found 0 errors and 0 warnings.
INFO: Job check complete.
Enter flip element list : █
```

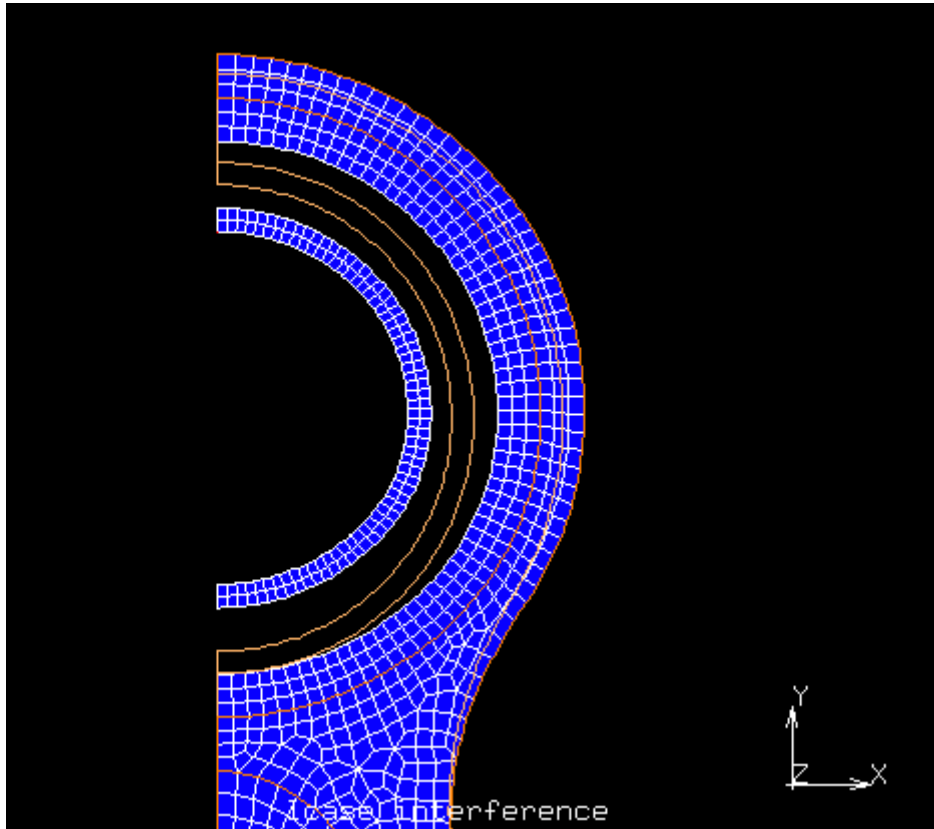
Ora non sono presenti errori e warnings.

Lanciare il calcolo→RUN→SUBMIT.

### *Analisi dei Risultati*

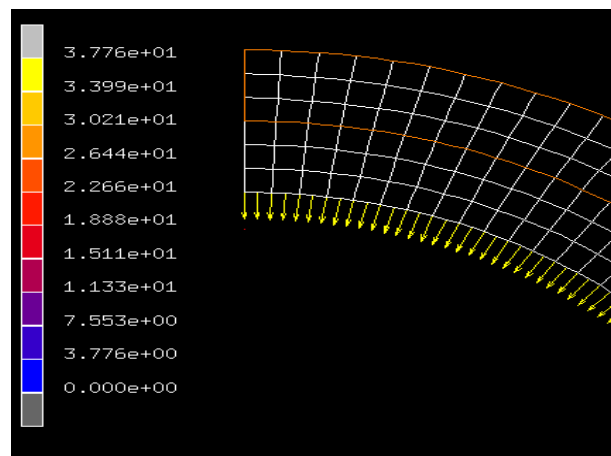
Aprire il file di output .T16. Disattivare la visualizzazione dello spinotto. Si può vedere l’evoluzione della deformazione nei quattro step di calcolo.

In “style” selezionare: DEFORMED AND ORIGINAL; a fianco entrare in SETTINS e in DEFORMATION SCALING inserire 100 (in questo modo la deformazione è molto amplificata e visibile). Nella voce SCAN si possono selezionare gli step di calcolo, in questo modo si vede come si evolve la deformazione.



Ora passiamo alle pressioni di contatto: confronto con la soluzione esatta.

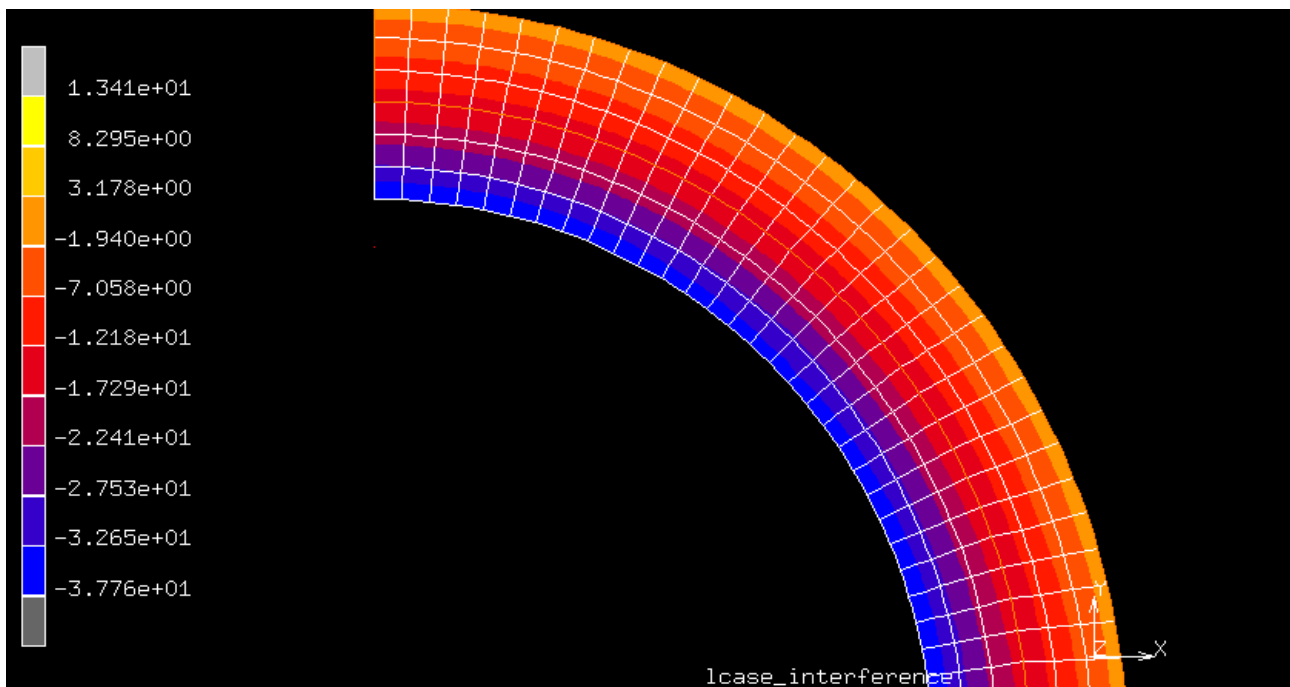
Si può mantenere la visibilità della sola biella. Entrare in MORE, attivare il VECTOR PLOT. Come grandezza vettoriale da plottare selezionare CONTACT NORMAL STRESS. Compariranno delle frecce molto lunghe, che rendono la visione poco chiara: andare in SETTINGS e attivare MANUAL con valore di scala di -0.02. In questo modo la visualizzazione dovrebbe essere come quella della figura sottostante:



Si vede che la pressione di contatto bronzina-biella è di 37,8 MPa, mentre secondo la teoria di Lamè dei tubi dovrebbe essere di 38,5 MPa. Il risultato ottenuto con il FEM è quindi molto preciso.

E' possibile anche visualizzare le tensioni nei componenti. Bisogna però modificare il sistema di riferimento, passando da cartesiano a cilindrico. In questo modo COMP11 sarà la  $\sigma_r$  (anziché  $\sigma_x$ ), mentre COMP22 la  $\sigma_\theta$  (anziché  $\sigma_y$ ).

Andare quindi in SCALAR PLOT SETTINGS → RESULT COORDINATE SYSTEM e selezionare CYLINDRICAL. Ora è possibile plottare la COMP11 di tensione nella biella ad esempio: si vede che in prossimità del contatto con la bronzina il valore è di -37.7 MPa (come prima), mentre esternamente è circa 0 MPa (come è giusto che sia, visto che essendo in contatto con l'aria non vi è trasmissione di tensione).

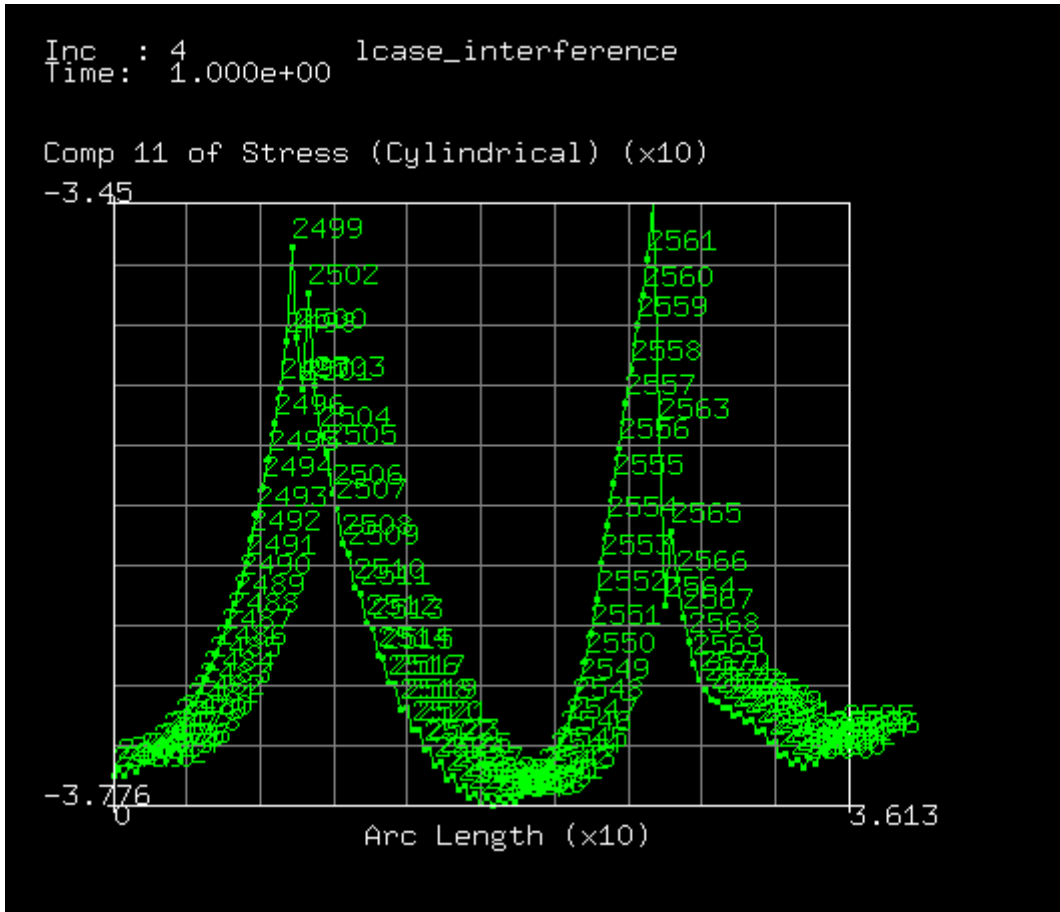


Una funzione molto utile è quella che permette di creare un file di testo con i valori numerici delle grandezze, questi valori possono essere analizzati con altri programmi come ad esempio Excel.

Attiviamo le coordinate cilindriche e mantenere visibile solo il set "small\_end". Quello che si vuole fare è costruire un file di testo con i valori numerici della COMP11 (tensione radiale) di tutti i nodi interni (a contatto con la bronzina) della biella. Per fare ciò entrare nel sottomenu PATH PLOT → NODE PATH. Bisogna selezionare con il mouse i nodi della "small\_end" interni, non occorre selezionarli tutti, solo cinque o sei equamente distanziati → poi selezionare END LIST. Ora dovrebbe comparire una schermata completamente nera: SHORTCUTS → CHECK su MODEL e torna visibile il nodello. Nel menu PATH

PLOT→click su ADD CURVES→ADD CURVE: come prima variabile inserire “Arc lenght”, come seconda “COMP11 of stress”.

Dovrebbe comparire un grafico come quello della figura sottostante:



Si vede l’andamento della tensione radiale con la lunghezza dell’arco del percorso di nodi selezionati prima. Ora ritornare nel menu PATH PLOT e andare in GENERALIZED XY PLOT, nella voce GET CURVES FROM selezionare PATH PLOT. Cliccare su EXPORT, salvare il file di testo con i valori numerici nella propria directory (aggiungere al nome l’estensione .TXT). Nella cartella compare il file desiderato:

Arc Length	Comp 11 of Stress (Cylindrical)
0	-37.6067
0.282245	-37.5663
0.564491	-37.6005
0.846736	-37.5503
1.12898	-37.5818
1.41123	-37.5236
1.69347	-37.5321
1.97572	-37.4828
2.25796	-37.4783
2.54021	-37.4241
2.82245	-37.4069
3.1047	-37.3484
3.38694	-37.3186
3.66919	-37.2551
3.95144	-37.2118
4.23368	-37.1427
4.51593	-37.0851
4.79817	-37.0093
5.08042	-36.9363
5.36266	-36.8523
5.64491	-36.7623



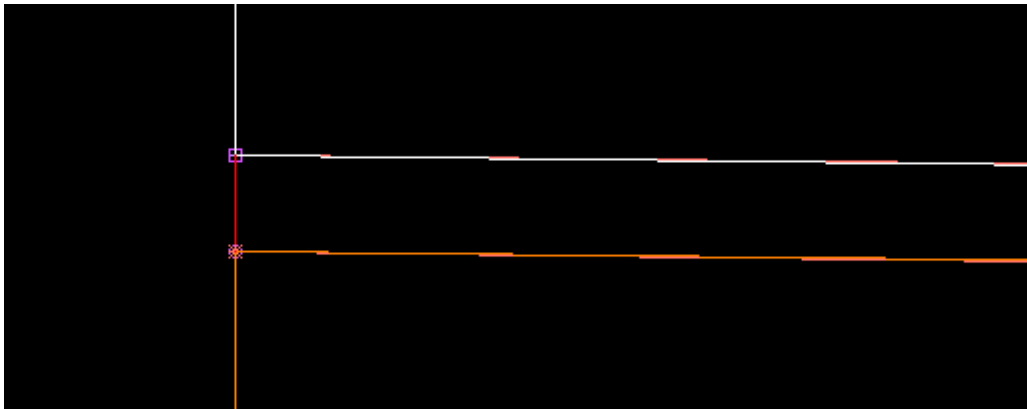
Questa procedura può essere ripetuta anche per le altre due tensioni della biella all'interfaccia con la bronzina, ovvero la COMP22 e COMP12.

### *Aggiunta del tiro sullo spinotto*

Ora per completare l'esercitazione si deve aggiungere il contatto tra spinotto e bronzina, con l'applicazione di una forza allo spinotto che si trasmette (con il contatto) anche a bronzina e biella. Tale forza simula l'effetto del pistone in una fase di un ciclo in un motore a combustione interna.

Si riparte quindi dal modello di prima. Dato che solitamente gli spinotti hanno gioco nell'accoppiamento con la bronzina, si riducono le dimensioni dello spinotto. Si vuole portare il diametro da 21 mm a 20.96 mm (0,04 mm di gioco): MG→MOVE→SCALE FACTORS: 20.96/21, 20.96/21, 1.

Selezionare tutte le entità associate allo spinotto (punti, curve, nodi, elementi...) ora vedo che la distanza tra i nodi estremi dello spinotto e quelli interni della bronzina è 0.02 mm.



Bisogna poi portare a contatto spinotto e bronzina, mediante una traslazione dello spinotto: MG→MOVE→TRANSLATIONS: 0, 0.02, 0. Selezionare le stesse entità di prima.

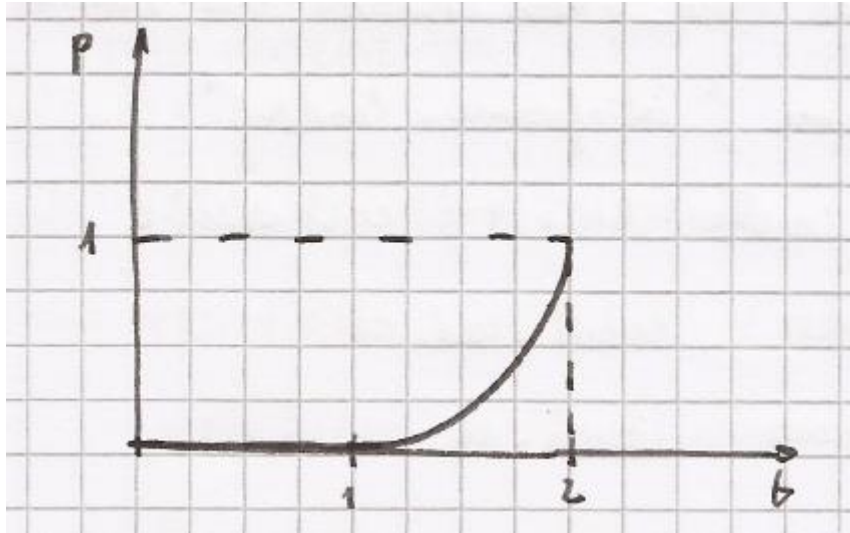
Ora si può eliminare la molla "SPRING" che avevamo aggiunto per risolvere il problema della labilità dello spinotto: LINKS→SPRING→remove "spring\_bush\_pin".

Applicazione del carico sullo spinotto: BOUNDARY CONDITION→NEW→STRUCTURAL→EDGE LOAD (carico su unità di lunghezza).

Come nome assegnare "PRESSURE".

Entrare in PROPERTIES: LOAD MODE → FORCE/UNIT  
AREA → PRESSURE → 11,45 (valore realistico di carico di un motore).

Cliccare su TABLE. Si vuole applicare il carico in modo graduale in questo modo:

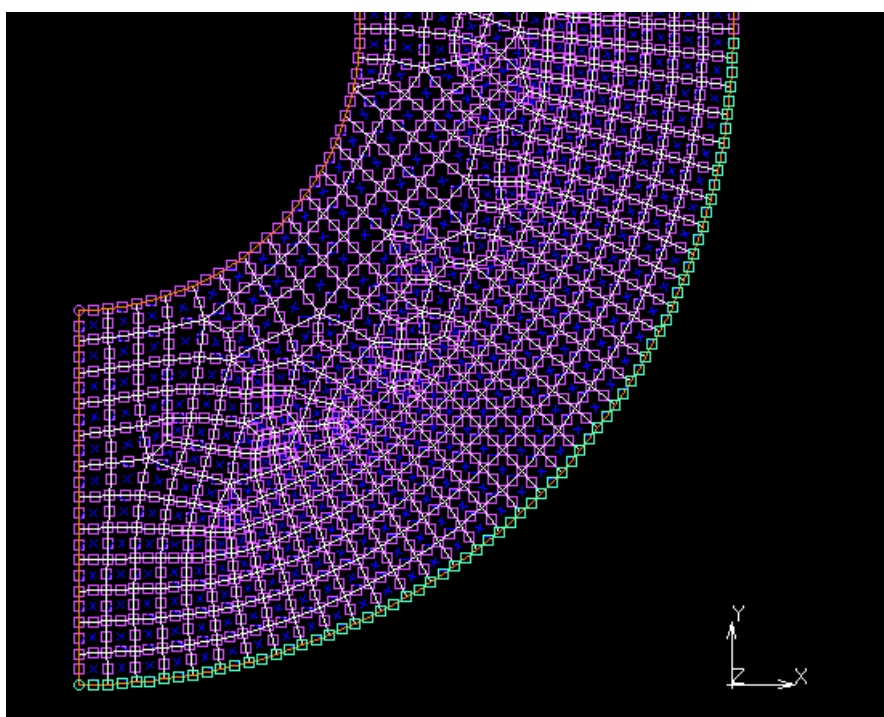


Quindi bisogna creare una nuova table, chiamata “LOADING”. Entrare nell’apposito menu e cliccare su NEW TABLE → INDIPENDENT VARIABLE: TIME.

I limiti dell’intervallo della variabile indipendente TIME sono 0 (min), 2 (max);  
inserire la legge mediante FORMULA:  $\max(0, (v1-1)^3)$ . In questo modo se:

- $v1 \in [0,1] \rightarrow F=0$
- $v1 \in [1,2] \rightarrow F=(v1-1)^3$

Costruita la TABLE, selezionarla al momento della definizione del carico a cui ci si era fermati prima. Selezionare gli EDGES dello spinotto in figura:



Su questi bordi dello spinotto verrà applicata la pressione.

### *Aggiornamento dei contatti*

Al termine del calcolo del forzamento biella-bronzina, si mantiene questa ultima configurazione impostando un contatto GLUED (incollato) tra i due corpi. Bisogna creare una nuova CONTACT INTERACTION.

CONTACT → CONTACT INTERACTION → NEW → name “loading”.

Selezionare MESHED DEFORMABLE vs MESHED DEFORMABLE e in proprietà impostare

- TYPE: GLUED
- CONTACT TOLERANCE: 0.001

Ora si crea una nuova CONTACT TABLE che modula la seconda parte del calcolo con l'applicazione del carico e del contatto tra spinotto e bronzina.

CONTACT TABLE → NEW → name “interference\_loading”  
PROPERTIES: cliccare nella casella RIGA 1 e COLONNA 2

In questo modo si ha:

- FIRST: small\_end\_cb
- SECOND: bush\_cb

Click su ACTIVE:

- CONTACT INTERACTION: selezionare quella appena creata (“loading”)
- CONTACT DETECTION METHOD: FIRST → SECOND

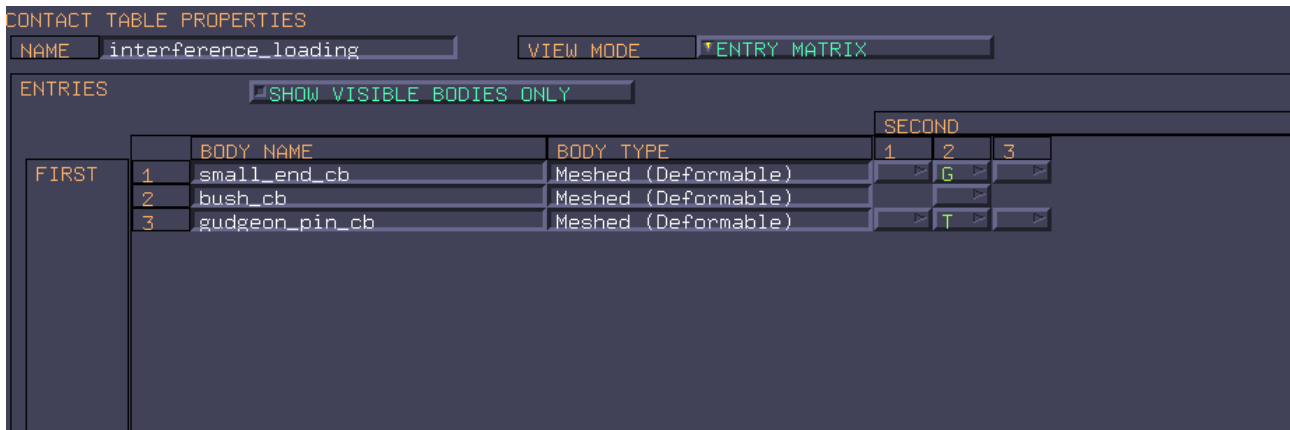
Cliccare nella casella RIGA 3 e COLONNA 2, in questo modo si ha:

- FIRST: bush\_cb
- SECOND: gudgeon-pin\_cb

Click su ACTIVE:

- CONTACT INTERACTION: unilateral\_frictionless
- CONTACT DETECTION METHOD: SECOND → FIRST

Al termine la mappa della CONTACT TABLE ha questo aspetto, dove G indica GLUED e T indica TOUCHING:



Definisco un nuovo ciclo di carico:

LOADCASE→NEW→STATIC→name “interence\_loading”

Poi in PROPERTIES→controllare che in LOADS siano attive tutte le BOUNDARY CONDITIONS presenti nel modello.

In CONTACT selezionare la CONTACT TABLE appena creata:

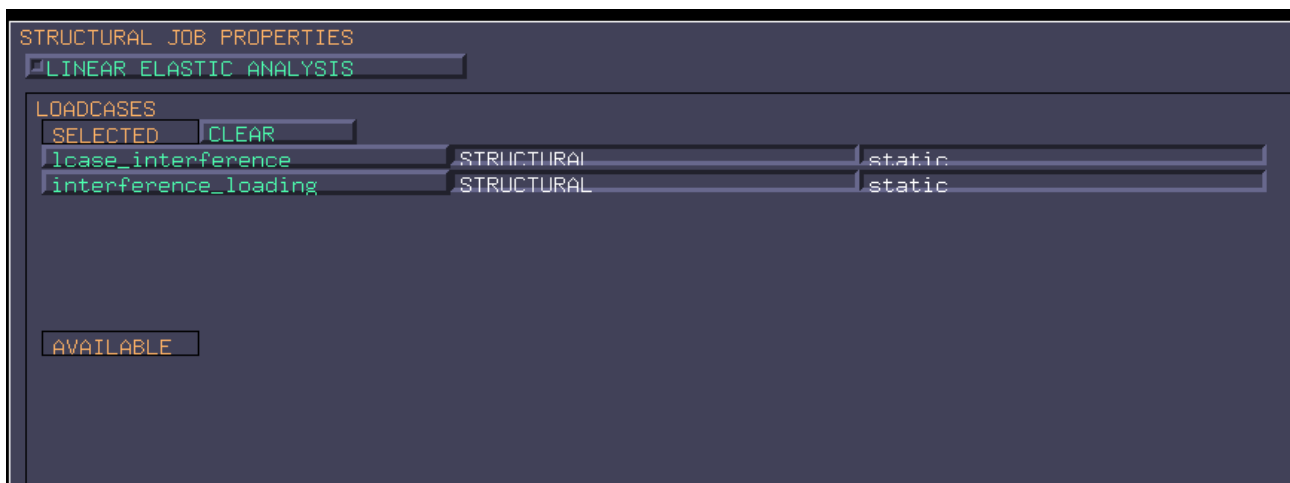
“interence\_loading”. Cliccare poi in CONVERGENCE TESTING, cambiare da RESIDUALS a DISPLACEMENTS ed impostare una TOLERANCE di 0.01.

Infine impostare TOT. LOADCASE TIME=2 e STEPS=50.

Ora bisogna solo definire il ciclo di calcolo:

- JOBS→NEW→STRUCTURAL→name “loading\_interference”

- PROPERTIES: selezionare in successione le due LOADCASE presenti nel modello.

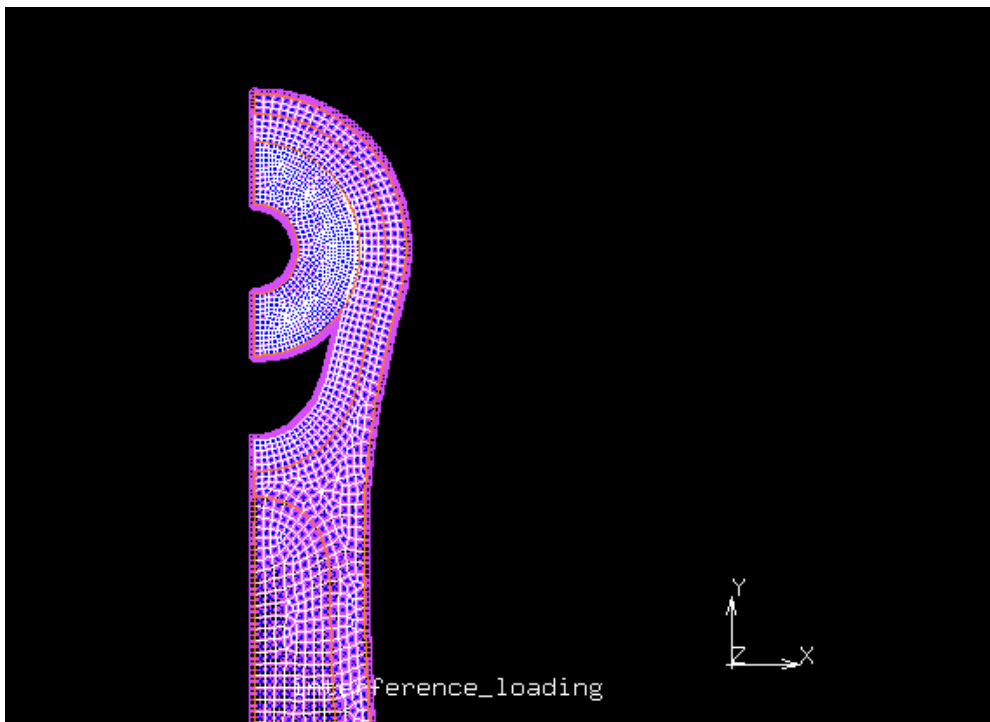


In seguito cliccare in CONTACT CONTROL: in METHOD impostare NODE→SEGMENT, in INITIAL CONTACT selezionare la contact table “ctable\_interference-fit”.

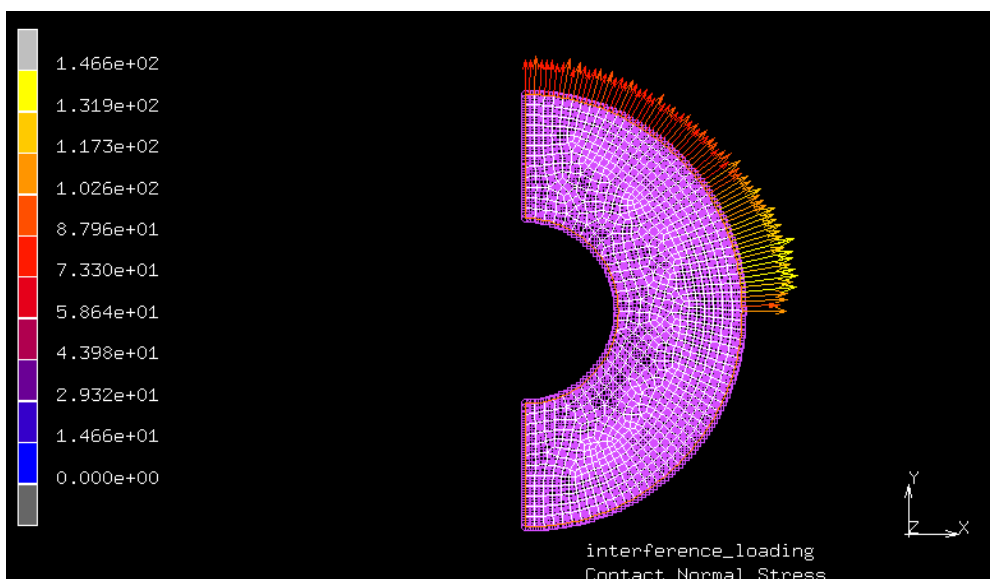
Infine entrare in JOB RESULT e come output di calcolo selezionare le stesse grandezze prese nel precedente JOB.

### *Analisi dei Risultati*

Lanciare il calcolo dopo avere controllato l'assenza di errori/warning e al termine aprire il file dei risultati. La deformazione della struttura (amplificata) è come quella nella figura sottostante, dove si vede che sia il foro della biella sia lo spinotto tendono ad ovalizzarsi.

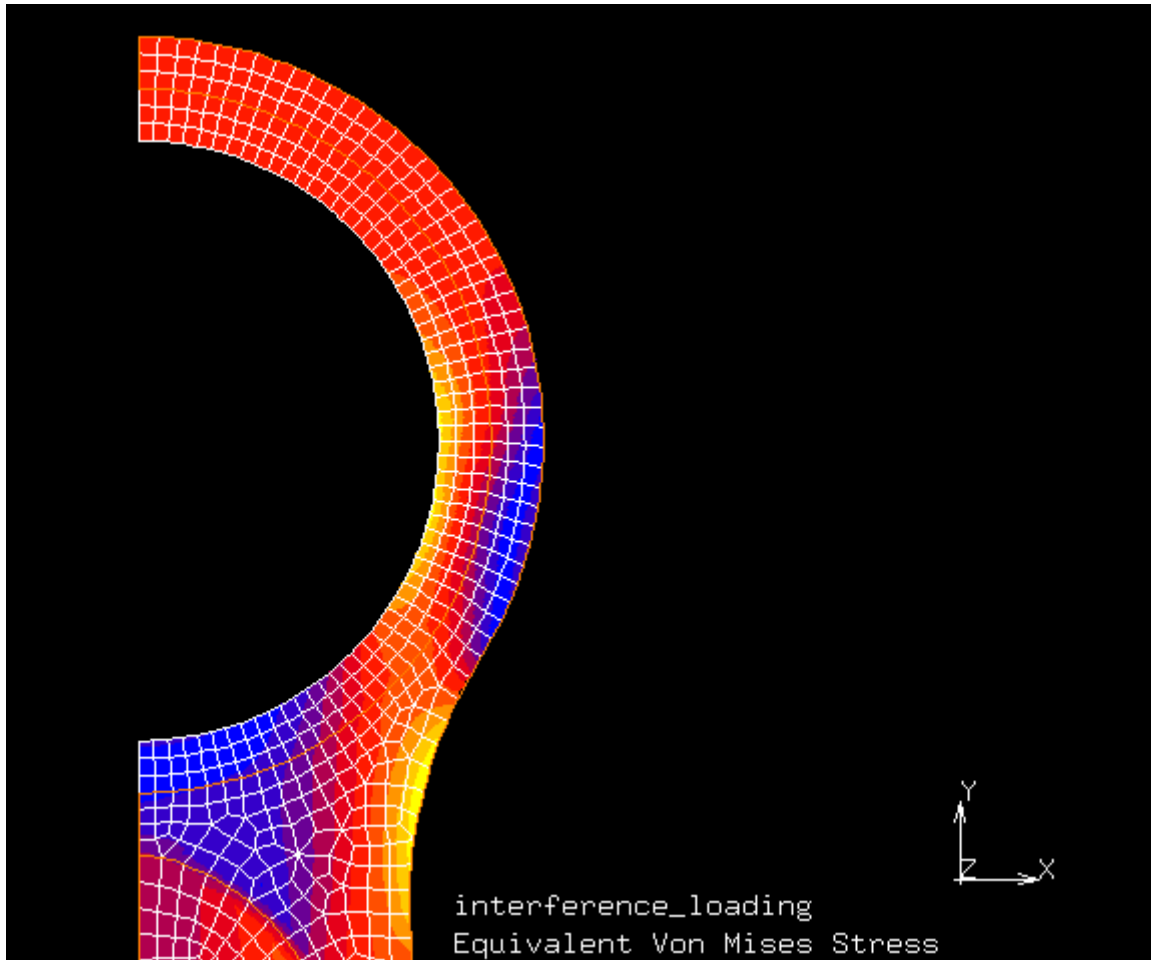


Si possono vedere le pressioni di contatto scambiate tra spinotto e bronzina:



In questo caso, essendoci gioco, si ha il contatto solo nella zona superiore fino a metà.

Infine è interessante visualizzare le tensioni ideali di Von Mises al piede della biella:



Si vede dalla foto che le zone più caricate sono quelle ai fianchi del foro, dove la banda di colori tende al giallo; in questi punti la tensione ideale è di circa 300 MPa.