

Questo tutorial si propone di spiegare come realizzare una Piastra e una Piastra forata e flangiata mediante il software Femap. A cura di Giuseppe Alferi.

ESERCIZIO 1	
NOME / COGNOME	
MATRICOLA	
E-MAIL	

Sia assegnata la struttura schematizzata in Figura 1 e si assumano per essa i dati riportati in Tabella 1.

Figura 1

DATI GEOMETRICI	
a	= 10 cm
b	= 2 cm
r	= 2 cm
t _w	= 2 mm
t _c	= 3 mm
DATI DEL MATERIALE	
E	= 73.1 GPa
ν	= 0.33
σ _p	= 290 MPa (tensione al limite di proporzionalità)
CONDIZIONI DI CARICO E DI VINCOLO	
Forza tagliante lungo il tratto LM, F= 100 N	
Tratto PQ incastrato.	

Tabella 1

Compilare la tabella sottostante rispondendo ai quesiti ivi riportati.

Quesito	Risposta
1	Quanto vale lo spostamento del punto L ?
2	Quanto vale il massimo stress equivalente secondo Von Mises?
3	Quanto vale il margine di sicurezza rispetto alla plasticizzazione del materiale ?
4	A quale valore di carico si attinge margine di sicurezza nullo rispetto alla plasticizzazione del materiale ?

Modalità di consegna.

Predisporre una cartella avente nome "COGNOME_MATRICOLA_ESERCIZIO_N_1". Inserire all'interno della cartella i seguenti file:

- Modello di analisi (.MOD/.MODFEM o .DB);
- Nastran bulk data file (.BDF);
- Output dell'analisi (.OP2 o .XDB);
- Documento word esplicativo dei criteri adottati per rispondere ai quesiti di cui ai punti 3 e 4.

PIASTRA

1. CREIAMO LA GEOMETRIA DI SUPPORTO

- Creiamo i quattro corner point del quadrato: **Geometry → Points** (possiamo scegliere uno dei quattro punti che assegneremo come coincidente con il nostro sistema globale di riferimento);
- NB LE UNITA' FORNITECI NON SONO SEMPRE CONGRUENTI MA BISOGNA RICAVERSELE RICORDANDO IL SISTEMA INTERNAZIONALE SCELTO.
- Salviamo.
- Creiamo le linee di collegamento dei punti: **geometry → curve line → points** e uniamo i punti a due a due facendo sempre attenzione a percorrere in senso antiorario o orario, l'importante è darsi una regola.
- Dobbiamo creare ora la superficie **geometry → surface → edge curves** ci selezioniamo le curve percorrendo sempre lo stesso senso che abbiamo scelto precedentemente. **Ctrl +a** ridimensioniamo l'immagine.

2. GENERIAMO IL MESH ALLA GEOMETRIA

- **Mesh → mesh control → size along curve** selezioniamo tutte le linee di controllo (sempre nel verso stabilito) e facciamo ok. Successivamente dovremo stabilire in numero di elementi in cui partizionare la nostra superficie, scegliamo 10 e poi equal. Avremo generato i nodi.

3. SCEGLIAMO IL MATERIALE

- **Model → Material → Load → mat_ens_SI.esp → Aluminium 2024 → ok.**
- **ASSEGNAMO LA PROPRIETA': Model → Property → titolo → flagghiamo il materiale caricato → impostiamo lo spessore T1.**

4. GENERIAMO DEFINITIVAMENTE IL MESH ALLA SUPERFICIE

- **Mesh → Geometry → Surface → scegliamo** la superficie che vogliamo meshare → **selezioniamo la proprietà che abbiamo creato precedentemente** (il motivo per cui dobbiamo eseguire prima il punto precedente) → **ok.**

5. FACCIAMO UN CHECK

- **Tools → Check → Coincidents Nodes → Select all → ok** → leggiamo cosa esce scritto nella stringa dei comandi.

6. IMPONIAMO I VINCOLI

- **Model → Constraint → Nodal on Curve → Diamo in nome al SET di vincoli → stiamo vincolando tutto il lato → PINNED → ok.**
Modo alternativo per impostare i vincoli: **model → constraint → nodal → pick → box** → creiamo un box in cui selezioniamo tutti i nodi presenti nell'area attivata → **ok.**

7. IMPONIAMO IL CARICO

- **Model** → **Load** (dobbiamo inserire la pressione che è un carico di superficie che agisce su tutto l'elemento) → **elemental** → **assegnamo il titolo al set di carico** → **selezioniamo tutti gli elementi a cui applicare il carico** → **scegliamo Pressure** → **lasciamo normal to face** → **e direzione del moto** → **scegliamo poi la faccia 1 della superficie, quindi inseriremo il numero 1.** → **ok.**

Possiamo notare come ruotando la superficie avremo imposto il carico di superficie (potremmo anche decidere di non visualizzare il carico, perché potrebbe darci fastidio).

8. DEFINIAMO IL TIPO DI ANALISI

- **Model** → **Analisi** → **Definiamo il set di Analisi** → **New** → **Titolo (Analisi Statica)** → **lasciamo impostato MSC Nastran** → **next (until)** → **Boundary Condition** → e controlliamo che effettivamente siano impostati tutte le condizioni desiderate → **Output Request** potremmo scegliere di plottare i risultati facendo "Print and process" o solo "Process Only" → **done** → **fine.**
- **File** → **Analyze** → Vediamo come il Nastran lavora in Background.

9. VISUALIZZIAMO I RISULTATI DELLA ANALISI

- **Deformata** possiamo vedere l'analisi della deformatata premendo l'icona della trave
- **Parentesi Graffe (Post Data)** → **Select post processing data** → **Vogliamo vedere I VonMisesStress** → **7033 Paste Top VonMises Stress** → **Ok.**

PIASTRA FORTA&FLANGIATA

1. CREIAMO LA GEOMETRIA DI SUPPORTO

- Creiamo i quattro corner point del quadrato: **Geometry** → **Points** (possiamo scegliere uno dei quattro punti che assegneremo come coincidente con il nostro sistema globale di riferimento).

Avremmo potuto ricavare il rettangolo della nostra piastra anche semplicemente andando in **Geometry** → **Curve** – **Line** → **Rectangle**.

- Creiamo le linee di collegamento dei punti: **Geometry** → **Curve Line** → **Points** e uniamo i punti a due a due facendo sempre attenzione a percorrere in senso antiorario o orario, l'importante è darsi una regola.
- **Creiamo il Foro.**

Generiamo il centro del nostro foro: **Geometry** → **Points** → ora il punto o lo inserisco a mano, oppure posso ricavarlo con il metodo **Method** → **Between**, evidenzia la schermata della coordinata di uno dei punti **ctrl + P (point)**, avremo attivato lo snap al punto.

Diamo adesso il raggio del foro da creare: **Geometry** → **Curve** – **Circle** → **Center**, rizelezioniamo all'interno di **Method** → **Locate** (riportava in memoria il metodo **Between** precedentemente fornito) → **raggio.**

2. CREAMO IL MESH ALLA GEOMETRIA

Stavolta non siamo più in presenza di un dominio semplicemente connesso, quindi se andassimo a meshiare come fatto prima, non otterremo più una mesh omogenea. Vediamo quindi come fare per generare una mesh pulita. Dobbiamo andare a mappare la nostra mesh la quale utilizzerà un sistema di coordinate locali alla superficie (s,t). Così facendo prevediamo la possibilità di seguire le curve della superficie. La **Mesh mappata** la si può creare solamente quando la superficie di riferimento ha **4 lati**. La **mesh mappata mi consente di avere un livello uniforme di mesh**. Il passaggio che dobbiamo fare adesso è **dividere la superficie di riferimento in tante superfici che abbiano 4 lati ognuna**. Dividiamo la nostra piastra con le diagonali. Per creare le quattro superfici dobbiamo creare i 4 contorni. Quindi adesso stiamo ridefinendo la geometria. Dobbiamo spezzare il cerchio e lo faremo con le diagonali.

- **Geometry → Curve – Line → Points**, ci stiamo tracciando le diagonali, facciamo attenzione che sia attivo lo snap al punto e che sia selezionato il metodo between. Procediamo per le due diagonali.
- Adesso dobbiamo andarci a ricavare i punti di intersezione tra il cerchio e le diagonali. **Geometry → Points → Method → Intersect – Curves** selezioniamo il cerchio e la diagonale, ora ci chiede dimmi vicino a dove devo andare a prendere il punto e allora **selezioniamo un punto** vicino a dove vogliamo andare a generare il punto. Eseguiamo questa operazione per i **4 punti** che vogliamo andare a ricavare.
- Adesso cancelliamo il cerchio e generiamo gli archi **Delete → Geometry → Curve** selezioniamo il cerchio e facciamo ok. Ci rimarranno adesso i punti che abbiamo creato.
- Andiamo a creare adesso gli archi di cerchio **Geometry → Curve – Arch → Center – Start – End** lui chiede di definire il punto centrale dell'arco, ricambiamo il metodo e mettiamo **Locate**, e selezioniamo il centro, poi lo start e l'end dell'arco, **selezioniamo l'arco in senso antiorario rispetto alla normale al piano di lavoro**, eseguiamo questa procedura per tutti e 4 gli archi che vogliamo creare.
- Cancelliamo adesso le diagonali che ci siamo creati precedentemente **Delete → Geometry → Curve → ok**.
- Ricreiamo i bordi **Geometry → Curve – Line → Points**, adesso muoviamoci in maniera ordinata, dobbiamo sempre seguire questo ordine, e selezioniamo i punti a due a due.
- Generiamo adesso la superficie **Geometry → Surface → Edge Curves** e selezioniamo le linee che delimitano la mia superficie e facciamo ok, finito questo faremo ctrl + A per far ritornare a video quello che abbiamo creato. Ripetiamo l'operazione per le altre superfici che vogliamo creare.

Adesso abbiamo creato la geometria correttamente, la quale potrà essere così meshiata.

- **Mesh → Mesh Control → Mapped Division Surface**, selezioniamo le superfici una alla volta e fai bene attenzione a selezionarle una alla volta! Lui ci farà vedere una freccia, questa freccia ci sta indicando la direzione dell'asse s. Può capitare che s una volta si trovi da una parte e una volta da un'altra parte, allora è bene che sappiamo dove si trova. Nella nuova schermata dovremo selezionare il numero di volte in cui vogliamo dividere il lato s e il lato t, a scanso di equivoci mettiamo numeri uguali per s e per t. stiamo lavorando su un sistema locale in questo momento. Eseguiamo l'operazione per le altre superfici. Non è un caso che s esca sempre dalla stessa parte, questo perché stiamo **seguendo sempre lo stesso ordine**.

3. SCEGLIAMO IL MATERIALE PER LA PIASTRA

- Carichiamo il materiale dalla libreria: **Model → Material → Load → mat_ens_SI.esp → Aluminium 2024 → ok.**
- Assegnamo la proprietà del materiale: **Model → Property → titolo1 → flagghiamo il materiale caricato → impostiamo lo spessore T1.**

4. AGGIUNGIAMO LE FLANGE ALLA PIASTRA CREIAMO LA GEOMETRIA DELLE FLANGE

- Creiamoci i **punti** per definire le flange: **Geometry → Points → Method → Offset**, invece di dare le coordinate del punto stiamo assegnando i punti diversamente da come avevamo fatto prima. Stiamo dando un punto in virtù dello spostamento di un altro punto. Scegliamo quindi il punto di riferimento e poi gli diamo l'offset. Ripetiamo l'operazione per gli altri punti
- Creiamoci ora i **contorni** delle flange: **Geometry → Curve – Line → Points**, ed eseguiamo l'operazione di congiungimento dei punti.
- Creiamoci ora la superficie: **Geometry → Surface → Edge Curves**, e ci andiamo a creare la superficie selezionando le 4 linee per ogni flangia. Ripetiamo l'operazione per l'altra flangia.

5. CREAIMO IL MESH ALLA GEOMETRIA DELLA FLANGIA

- Generiamo il mesh come fatto prima, avremmo potuto farlo con il metodo classico. **Mesh → Mesh Control → Mapped division on surface**. Questa volta dovremmo fare attenzione a far corrispondere alla flangia lo stesso mesh di quello fatto sulla piastra forata. Quindi sul lato lungo della flangia dovremmo far corrispondere 10 nodi come fatto prima (10 s e 2 in t). Eseguiamo la stessa procedura per l'altra flangia.

6. SCEGLIAMO IL MATERIALE PER LA FLANGIA

- Questa volta dovremmo assegnare un'altra proprietà per la flangia, in quanto risulta essere più spessa della piastra, questa volta avrà uno spessore di 3 mm. Assegnamo la proprietà del materiale: **Model → Property → titolo2 (per differenziare) → flagghiamo il materiale caricato → impostiamo lo spessore T1.**

7. GENERIAMO DEFINITIVAMENTE IL MESH ALLA PIASTRA + FLANGIA

- Questa volta non potremmo andare a meshare tutti gli elementi insieme, in quanto il software ci chiede la proprietà del materiale. Quindi Dovremmo fare il mesh sulla piastra e poi il mesh alle flange. **Mesh → Geometry → Surface** ci selezioniamo le quattro superfici che costituiscono la piastra e selezioniamo su ok. Visualizzeremo la piastra meshata.
- Eseguiamo la stessa operazione per le flange **Mesh → Geometry → Surface**, selezioniamo le due flange e **facciamo attenzione a selezionare la proprietà definita prima per la flangia → ok.**
- Entriamo in **View → Select → Free edge** visualizzeremo i bordi liberi del nostro modello ovvero ciò che non è a contatto con altre parti del modello → ok. Potremmo visualizzare degli errori maturati dal pc, nella nostra simulazione compaiono delle linee che non dovrebbero esserci poiché dovrebbero essere libere. Questo potrebbe essere colpa di **sconnessioni interne**. Dobbiamo procedere a fare un'operazione di **Merge**.

8. FACCIAMO UN CHECK

- **Tools → Check → Coincident Nodes → Select all → ok** → il software avrà trovato una serie di nodi non coincidenti → **aggiorniamo la figura Window → regenerate**, adesso il software ha fatto coincidere qualche nodo, ma non tutto quello che ci aspettavamo infatti nella nostra esercitazione continuiamo a vedere nodi non coincidenti. Per risolvere questo problema possiamo pensare di modificare la tolleranza del problema, aumentiamo la tolleranza, questo perché ci sono dei nodi che lui non è riuscito ad unire. L'aumento o la diminuzione della tolleranza non può essere arbitraria, ma sempre in base alle scale del problema e basato sugli ordini di grandezza. Allora facciamo **Tools → Check → Coincident Nodes → box e selezioniamo l'area con i nodi incriminati → cambiamo l'ordine di grandezza**. Vediamo quindi che la figura si sarà aggiornata e che quindi abbiamo risolto il problema.

9. IMPONIAMO IL CARICO

- Vediamo dove localizzare il nodo master per fare il collegamento **Rigid Body**, a seconda di dove metto questo punto così avrò risultati diversi nell'analisi, mettiamolo per esempio all'estremo della mezzeria. Allora andiamo a mettere il nodo master nel punto in mezzeria al quale saranno collegati poi tutti gli altri nodi che diventeranno slave. **Model → Node → diamoci le coordinate abilita lo snap al nodo ctrl + N → e abbiamo assegnato il nodo**.
- Adesso al nodo appena creato gli andiamo a dare la proprietà di nodo master, **Model → Element → Type → RIGID!! → ok** → ora andiamo a compilare i due box in cui inseriremo il nodo indipendente precedentemente creato (e che magari abbiamo provveduto a segnare a penna) e successivamente i nodi slave li selezioneremo con il method → **Pick → Box** facciamo un box che prende l'ultima striscia di nodi nella nostra selezione dobbiamo fare attenzione a deselegionare il nodo master che comparirà nella selezione dei nodi slave, chiaramente non può essere il nodo slave e master contemporaneamente.
- Adesso andiamo a imporre il carico **Model → Load → title → diamo le coordinate della forza**.

10. IMPONIAMO I VINCOLI

- Per imporre i vincoli possiamo pensare di vincolare tutta la superficie. **Model → Constraint → Nodal on Curve → Diamo in nome al SET di vincoli → stiamo vincolando tutto il lato → PINNED → ok**.

11. DEFINIAMO IL TIPO DI ANALISI

- **Model → Analisi → Definiamo il set di Analisi → New → Titolo (Analisi Statica) → lasciamo impostato MSC Nastran → next (until) → Boundary Condition** → e controlliamo che effettivamente siano impostati tutte le condizioni desiderate → **Output Request** potremmo scegliere di plottare i risultati facendo "Print and process" o solo "Process Only" → **done → fine**.
- **File → Analyze** → Vediamo come il Nastran lavora in Background.

12. VISUALIZZIAMO I RISULTATI DELLA ANALISI

- **Deformata** possiamo vedere l'analisi della deformatata premendo l'icona della trave
- **Parentesi Graffe (Post Data) → Select post processing data → Vogliamo vedere I VonMisesStress → 7033 Paste Top VonMises Stress → Ok**.

- In sede di esame potrebbero chiederci quanto vale lo stress di VonMises Massimo e dove si trova all'interno della struttura. Lo vediamo subito dagli output dell'analisi, oppure selezionando la Feature Parentesi Graffe e andando a ricercare il parametro VonMisesStrass → **7033 Paste top VonMises Stress**.
Oppure individuato l'elemento potremmo pensare di andare in **List** → **Output** → **elemento1** → **stress** e ricercarci il parametro di stress massimo.
- Potrebbero chiederci quanto vale il **Margine di sicurezza rispetto alla plasticizzazione**. Vediamo come ricavare il margine di sicurezza $MS = (\text{Sigma ammissibile})/(\text{Sigma di lavoro}) - 1$. La sigma ammissibile è data dalla scheda del materiale, mentre la sigma di lavoro è la sigma di von mises massima.
- Domanda se viene chiesta una cosa del tipo **Di quanto deve aumentare lo spessore della piastra affinché il margine di sicurezza sia un tot? Di quanto devo aumentare lo spessore per aumentare il margine di sicurezza?** Basta che facciamo un'altra analisi in cui aumentiamo lo spessore della piastra, in maniera consistente, e vediamo quanto ci esce il VonMises. Avremo ottenuto quindi due VonMises a Due Carichi differenti. Andiamo a fare l'interpolazione lineare e vediamo quanto vale lo spessore.
- L'analisi che noi stiamo facendo è un'analisi statica – lineare, questo significa che il legame forze – sigma – epsilon – spostamento è tutto lineare. Quindi se ho un VonMises che è uscito 1000 con un carico che è uscito pari a $F=100$. Se il carico lo porto a 200 il VonMises uscirà a 2000.