

## Corso di Progettazione Assistita delle Strutture meccaniche

### Esercitazione sul submodelling

La fig.1 mostra un tipico albero rotante, soggetto ad una forza verticale  $F$  applicata sulla mezzeria, e semplicemente appoggiato agli estremi; questa esercitazione ha lo scopo di stimare il campo di tensioni che si sviluppa in prossimità dello spallamento (si fa notare come il livello tensionale effettivo sia sensibilmente maggiore rispetto a quello nominale, a causa della brusca variazione di sezione).

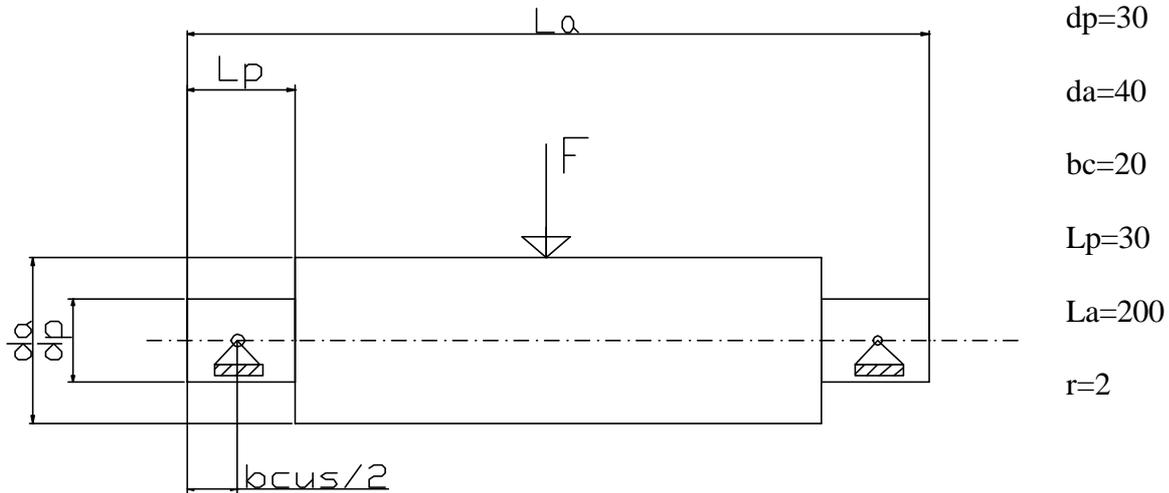


Fig.1. Schema di carico e dimensioni di un albero rotante.

Il calcolo può essere condotto in due modi:

#### (A) Calcolo manuale

Secondo la teoria delle travi di De Saint Venant, la tensione nominale massima in direzione assiale si trova sul bordo, e vale:

$$s_n = \frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot d_p^3}$$

dove  $M_f$  e  $d_p$  sono rispettivamente il momento flettente ed il diametro relativi alla sezione interessata.

La tensione locale effettiva  $\sigma$  è invece pari al prodotto fra la  $s_n$  ed il coefficiente di intaglio teorico  $K_t$ , il cui valore è ricavabile da opportuni grafici in funzione del raggio di raccordo dell'intaglio, delle dimensioni e della forma della sezione, e del modo di carico (in questo caso  $K_t \approx 2$ ):

$$s = K_t \cdot s_n$$

Sfruttando i dati di Fig.1 si ottiene dunque:

$$s \gg 30 \text{ N/mm}^2$$

#### (B) Calcolo con gli elementi finiti

La validazione del calcolo manuale può essere condotta sfruttando il metodo degli elementi finiti, ed in particolare la tecnica del submodelling: inizialmente viene sviluppato un modello dell'albero in cui è assente

il raccordo, dopodiché viene realizzato un sottomodello, contenente il raccordo, ed utilizzato per studiare le sollecitazioni che si sviluppano in questo.

Il modello dell'albero privo di raccordo è chiamato **coarse**, mentre il sottomodello è chiamato **sottomodello** (appunto). I passi necessari all'analisi di un sottomodello sono i seguenti:

1. creare, salvare ed analizzare il modello grossolano (**coarse**)
2. svuotare il database e cambiare il *jobname* (**/filename,nuovo\_nome,db**) per evitare di sovrascrivere i file generati nel punto 1.
3. creare il sottomodello, utilizzando lo stesso tipo di elementi, le stesse real constant e gli stessi materiali (anche se indicati con numeri diversi). Importante: **la posizione del sottomodello rispetto al riferimento cartesiano globale deve corrispondere alla porzione del modello coarse che si vuole studiare.**
4. effettuare l'interpolazione degli spostamenti sui bordi di taglio del sottomodello; si articola nei seguenti passi: (a) selezionare i nodi sui bordi di taglio del sottomodello (**nset**) e salvarli in un file (default *jobname.node*) con il comando **nwrite**. (b) riselectare tutte le entità (**all**) uscire dal preprocessore e salvare il sottomodello. (c) richiamare nel database il modello grossolano (**resume,coarse,db**), entrare nel postprocessore (**post1**), indicare da quale file si vogliono leggere i risultati (**file,coarse,rst**) e leggere i risultati dell'analisi sul modello grossolano (**set,1,1**). (d) effettuare l'interpolazione con il comando **cbdof**, il quale genera un file di testo chiamato, di default, *jobname.cbdo*. (e) alla fine si può lasciare il postprocessore, e ricaricare nel database il sottomodello: **resume,sottomodello,db**.
5. si entra nell'ambiente di soluzione (**/solu**) e si impongono gli spostamenti interpolati attraverso la lettura del file *.cbdo* prima citato: **input,jobname,cbdo**. Si devono duplicare, sul sottomodello, tutti i carichi o le condizioni al contorno che esistevano sul modello grossolano.
6. si può analizzare il sottomodello (**solve**) e postprocessare i risultati.
7. **si deve necessariamente controllare che le tensioni all'interfaccia fra il modello coarse ed il sottomodello siano ragionevolmente vicine**; se così non è l'analisi con il sottomodello non può essere considerata valida.

Qui di seguito viene riportato uno dei possibili listati di comandi ANSYS idoneo allo scopo dell'esercitazione:

```
finish
/clear
/filename,coarse
c*** studio del raccordo di un albero attraverso l'uso di un sottomodello
c*** modello 'coarse' (grossolano): privo di raccordo tra perno e albero
c***macro contenente i parametri di modellazione
*create,ass_par
dp=30  !!diametro di perno del cuscinetto
da=40  !!diametro dell'albero
bc=20  !!larghezza di fascia del cuscinetto
Lp=30  !!lunghezza del perno
La=200 !!lunghezza dell'albero
r=2    !!2r<(da-dp)/2; raggio di raccordo
c***elementi e materiali
et,1,42  !!elementi piani di appoggio per la mesh solida
et,2,45
mp,ex,1,210000
*end
/prep7
*use,ass_par
c*** modellazione
rectng,0,bc/2,0,dp/2
rectng,bc/2,Lp,0,dp/2
rectng,Lp,La/2,0,dp/2
rectng,Lp,La/2,dp/2,da/2
c*** mesh
esize,3
mshkey,1
```

```

amesh,all      !!mesh di superficie per l'estrusione
type,2
extopt,esize,10  !!parametri di estrusione: divisioni sull'arco di estrusione
extopt,aclear,1  !!ripulisce le mesh di superficie di partenza
vrotat,all,,,,,1,2,90      !!mesh di estrusione
*get,nmx,node,,num,max
nsym,y,nmx,all
esym,,nmx,all
nummrg,node
c*** vincoli e carichi
nset,s,loc,z,-0.001,0.001  !!vincoli di simmetria
d,all,uz,0
nset,s,loc,x,La/2-0.001,La/2+0.001
d,all,ux,0
alls
ncu=node(bc/2,0,0)      !!cerniera sferica per cuscinetto
d,ncu,all,0
nf=node(La/2,da/2,0)    !!carico tot:4000 N;
f,nf,fy,-1000          !!su un quarto del modello: 1000 N
finish
/solu
save      !!salva il modello
solve
finish
c*** creazione del sottomodello
/clear
/filename,sottomodello
/prep7
c*** si ridefiniscono elementi, materiale e parametri tramite la macro prima definita
*use,ass_par
dx=2*r  !!distanza dalla discontinuità direzione x
dy=2*r  !!distanza dalla discontinuità direzione y
c*** modellazione
k,1,0,0  !!kp che definiscono l'asse di rotazione per l'estrusione
k,2,10,0
rectng,Lp-r,Lp+dx,-(dp/2+r),-(dp/2-dy)
cyl4,Lp-r,-(dp/2+r),r      !!raccordo
asba,1,2
rectng,Lp-dx,Lp-r,-(dp/2),-(dp/2-dy)
rectng,Lp,Lp+dx,-(dp/2+2*r),-(dp/2+r)
aadd,all  !!si genera un'unica area
lset,s,loc,y,-(dp/2-dy)-0.001,-(dp/2-dy)+0.001
lset,a,loc,x,Lp+dx-0.001,Lp+dx+0.001
lccat,all  !!concatenazione di linee per mesh strutturata
lset,s,loc,y,-da/2,-dp/2+0.001
lset,r,loc,x,0,Lp+0.001
lccat,all
esize,0.5
mshkey,1
amesh,all
lset,s,lccat
ldel,all
alls
type,2
extopt,esize,12  !!parametri di estrusione
extopt,aclear,1
vrotat,all,,,,,1,2,-30
nummrg,node
c*** identificazione nodi d'interfaccia tra i due modelli
local,11,1,0,0,0,,90
asel,s,loc,x,dp/2,dp/2+2*r-0.001
asel,r,loc,z,Lp-2*r,Lp

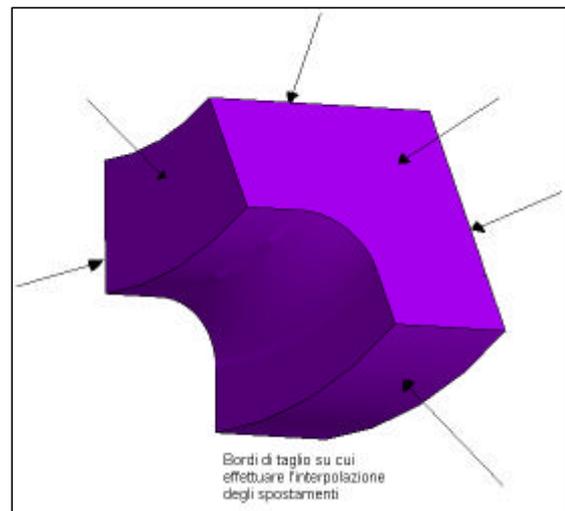
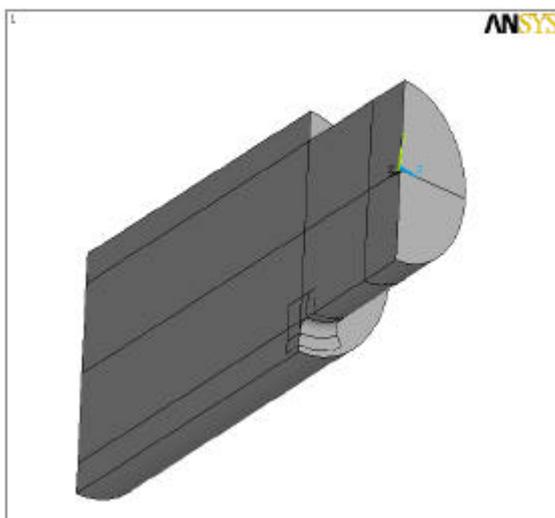
```

```

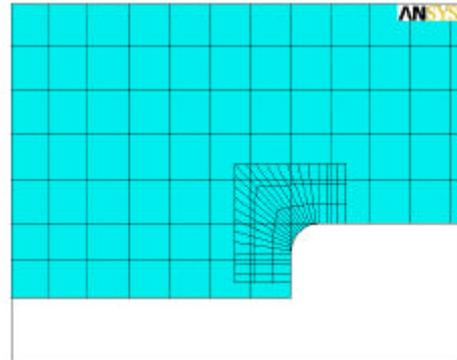
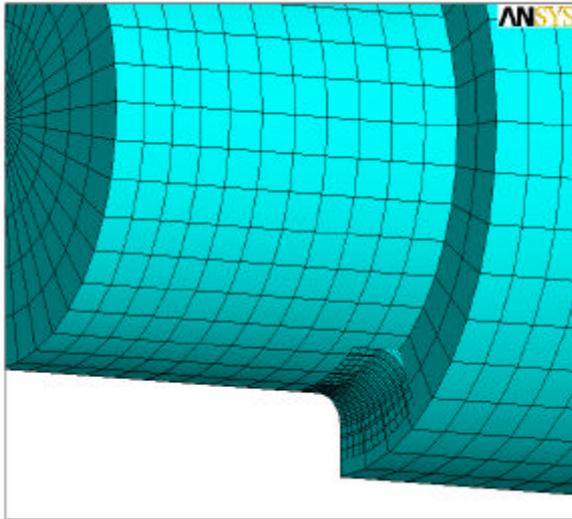
cm,aa,area
asel,r,loc,z,Lp-r,Lp-0.001
cm,ab,area
alls
cmsel,u,aa
nsla,,1
nset,r,loc,x,0,dp/2
cm,na,node
nsla,,1
nset,r,loc,z,Lp,Lp+dx
cm,nb,node
cmsel,s,na
cmsel,a,nb
c*** preparazione del file dei nodi
nwrite
alls
save
finish
c*** interpolazione degli spostamenti
resume,coarse,db
/post1
file,coarse,rst
set,1,1
cbdof  !!effettua l'interpolazione per i nodi salvati nel file
finish
c*** si applicano gli spostamenti interpolati
resume,sottomodello,db
/solu
/input,sottomodello,cbdo !!applica gli spostamenti interpolati al sottomodello
solve
finish
c*** si visualizzano i risultati nel sottomodello
/post1

```

Nelle figure seguenti sono illustrate le caratteristiche generali dei modelli, ed il confronto fra le tensioni di interfaccia.



Figg.2 e 3. Caratteristiche geometriche del modello coarse e del sottomodello.



Figg.4 e 5. Caratteristiche della mesh del modello coarse e del sottomodello.

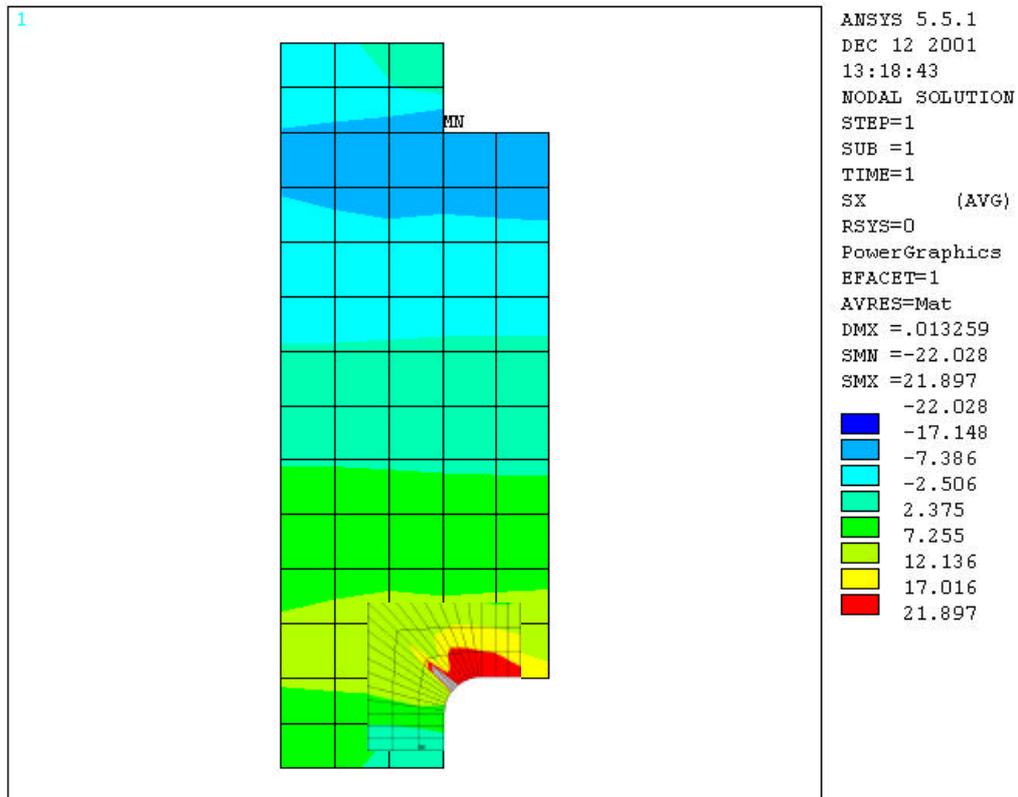


Fig.6. Confronto fra le tensioni calcolate all'interfaccia.