



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Tesi di Laurea Triennale

Analisi tridimensionale agli elementi finiti  
dello stato tensionale all'apice di una cricca  
e di un intaglio a U

Relatore: Chiar.mo Prof. Marino Quaresimin

Correlatore: Ing. Paolo Andrea Carraro

Laureanda: CHIARA BERTINI

Anno Accademico 2012/2013



# Indice

Introduzione.....	5
-------------------	---

## CAPITOLO 1

### Analisi stato di tensione e deformazione

<i>1.1. Introduzione all'analisi FEM.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2. Definizione degli stati tensionali .....</i>	<i>8</i>

## CAPITOLO 2

### Creazione del modello mediante l'utilizzo di Ansys

<i>2.1. Metodo degli Elementi Finiti (Finite Element Method).....</i>	<i>9</i>
<i>2.2. Ansys .....</i>	<i>9</i>
2.2.1. Preprocessor .....	10
2.2.2. Solution .....	18
2.2.3. General postprocessor .....	22

## CAPITOLO 3

### Modelli

<i>3.1. Piastra con cricca.....</i>	<i>25</i>
3.1.1. Spessore $z=0.25$ mm .....	25
3.1.2. Spessore $z=0.5$ mm .....	31
3.1.3. Spessore $z=1$ mm .....	37
3.1.4. Spessore $z=5$ mm .....	43
3.1.5. Considerazioni .....	48
<i>3.2. Piastra con intaglio a U.....</i>	<i>49</i>
3.2.1. Spessore $z=0.25$ mm .....	49
3.2.2. Spessore $z=0.5$ mm .....	52

3.2.3. Spessore $z=1$ mm.....	55
3.2.4. Spessore $z=5$ mm.....	58
3.2.5. Considerazioni.....	60
<b>Conclusioni .....</b>	<b>61</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>63</b>

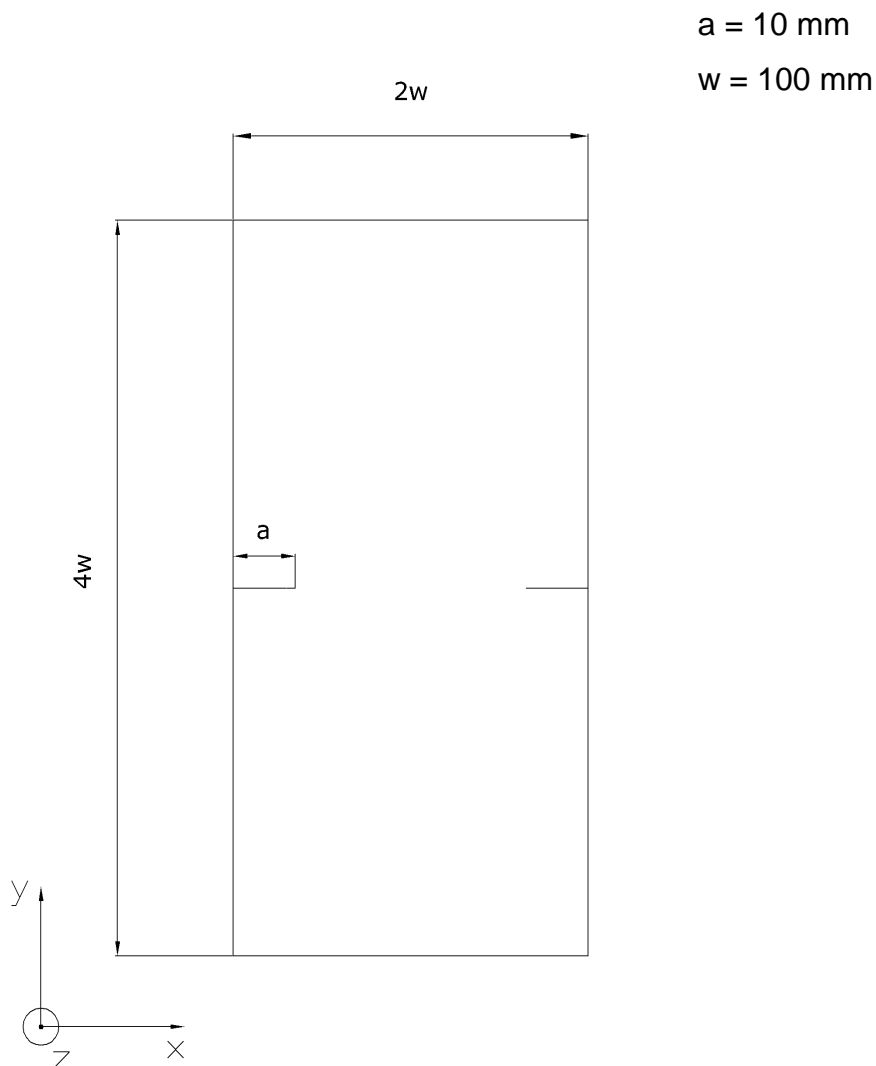
# Introduzione

L'obiettivo della tesi consiste nell'effettuare un'analisi agli elementi finiti dello stato tensionale all'apice di una cricca e di un intaglio a U su una piastra sottoposta a trazione lungo la direzione  $y$ .

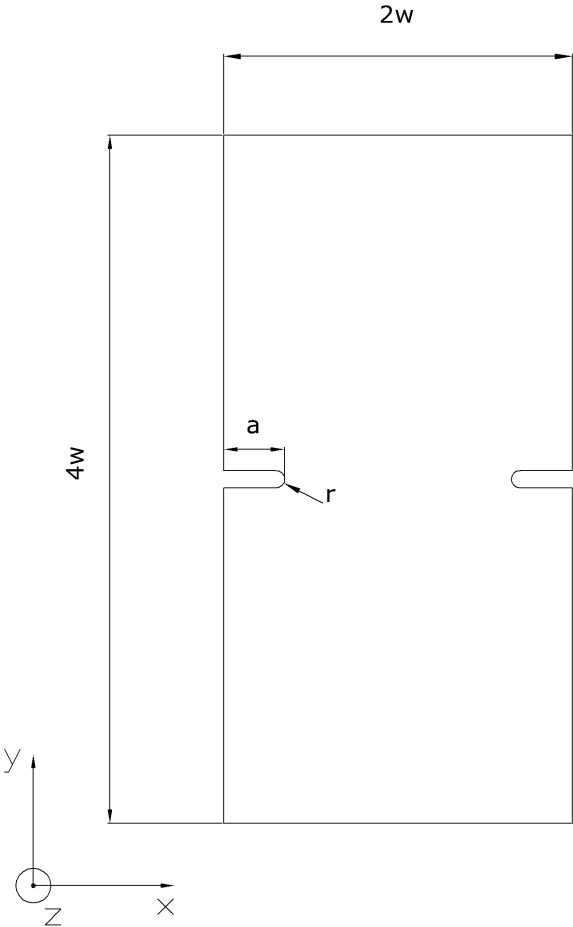
Verranno plottate le deformazioni  $\varepsilon_z$  e le tensioni  $\sigma_z$  sul fronte della cricca e dell'intaglio in modo da poter discutere se ci si trova in condizioni di plane stress, plane strain o plane strain generalizzato. Inoltre questa analisi verrà effettuata su spessori diversi, rispettivamente 0.5 mm, 1 mm, 2 mm, 10 mm.

Lo strumento di lavoro utilizzato è un software che implementa un metodo di calcolo numerico agli elementi finiti (FEM).

Piastra con cricca:



Piastra con intaglio a U:



$a = 10 \text{ mm}$   
 $w = 100 \text{ mm}$   
 $r = 1 \text{ mm}$

# CAPITOLO 1

## Analisi stato di tensione e deformazione

### 1.1. Introduzione all'analisi FEM

L'obiettivo dell'analisi presentata di seguito è la determinazione dello stato tensionale all'apice di una cricca e di un intaglio a U in una piastra sottoposta a un carico di trazione pari a 100 Mpa.

Verrà poi fatto il confronto di tali tensioni tra piastre con spessori diversi, rispettivamente di 0.5 mm, 1 mm, 2 mm, 10 mm, sia per la piastra con intaglio a U che per la piastra con cricca. Si plotteranno le deformazioni  $\varepsilon_z$  e le tensioni  $\sigma_z$  sul fronte della cricca e dell'intaglio e si discuterà se ci si trova in condizioni di plane strain, plane strain generalizzato o plane stress.

Dopo aver plottato le varie tensioni si procederà a riportare i dati ricavati, attraverso il path, in un foglio elettronico. In questo modo, analizzando singolarmente i vari spessori della piastra, si confronterà l'andamento dello stato di tensione ottenuto attraverso i risultati dell'analisi FEM (valori della  $\varepsilon_z$  e della  $\sigma_z$ ), con i risultati di tipo analitico calcolati utilizzando le formule.

Dopo questa operazione sarà possibile visualizzare se la piastra con lo spessore considerato ha un comportamento di plane stress, plane strain o plane strain generalizzato.

## 1.2. Definizione degli stati tensionali

### 1.2.1. Plane stress

Lo stato di plane stress ovvero lo stato di tensione piana indica che  $\sigma_z = 0$ , e in modo analitico si può ricavare la  $\varepsilon_z$  tramite la formula:

$$\varepsilon_z = -\frac{\nu}{E} \cdot (\sigma_x + \sigma_y)$$

Dopo aver ricavato tale dato in modo analitico lungo lo spessore della piastra, lo si confronta con la  $\varepsilon_z$  ricavata dal programma Ansys.

### 1.2.2. Plane strain

Lo stato di plane strain ovvero lo stato di deformazione piana indica che  $\varepsilon_z = 0$ , e in modo analitico si può ricavare la  $\sigma_z$  tramite la formula:

$$\sigma_z = \nu \cdot (\sigma_x + \sigma_y)$$

Dopo aver ricavato tale dato in modo analitico lungo lo spessore della piastra, lo si confronta con la  $\sigma_z$  ricavata dal programma Ansys.

### 1.2.3. Plane strain generalizzato

Lo stato di plane strain generalizzato indica che  $\varepsilon_z = \text{costante}$ , e in modo analitico si può ricavare la  $\varepsilon_z$  tramite la formula:

$$\varepsilon_z = -\nu \cdot (\sigma_x + \sigma_y)$$

Dopo aver ricavato tale dato in modo analitico lungo lo spessore della piastra, lo si confronta con la  $\sigma_z$  ricavata dal programma Ansys.



## **CAPITOLO 2**

# **Creazione del modello mediante l'utilizzo di Ansys**

### **2.1. Metodo degli Elementi Finiti (Finite Element Method)**

Con lo sviluppo delle tecnologie elettroniche e la produzione di computers via via più potenti e capaci, il calcolo strutturale ha subito un vistoso cambiamento. Le procedure di calcolo eseguite manualmente sono state sostituite dalle procedure di calcolo automatico eseguite dai calcolatori.

Il metodo agli elementi finiti viene utilizzato per risolvere in maniera approssimata problemi descritti da equazioni differenziali alle derivate parziali riducendo queste ultime ad un sistema di equazioni algebriche.

Il Metodo FEM si applica a corpi fisici che possono essere suddivisi in un certo numero, anche molto grande, di elementi di forma definita e dimensioni contenute. Ogni singolo elemento finito viene considerato un campo di integrazione numerica di caratteristiche omogenee. La caratteristica principale del metodo degli elementi finiti è la discretizzazione attraverso la creazione di una griglia, la mesh, composta da primitive, che sono gli elementi finiti, di forma codificata (triangoli e quadrilateri per domini 2D, esaedri e tetraedri per domini 3D). Su ciascun elemento caratterizzato da questa forma elementare, la soluzione del problema è assunta come combinazione lineare di funzioni dette funzioni di base o funzioni di forma (shape functions). Bisogna tenere presente che la funzione viene approssimata, e non necessariamente saranno i valori esatti della funzione quelli calcolati nei punti, ma i valori che forniranno il minor errore su tutta la soluzione.

### **2.2. Ansys**

Per la creazione della piastra con intaglio a U e con cricca è stato utilizzato il software Ansys. Questo software non ha una logica di modellazione 3D veloce e intuitiva, ma garantisce livelli di approssimazione abbastanza buoni per la risoluzione di problemi strutturali.

Come primo passo sono stati scelti il tipo di elementi che costituiscono la piastra, definite le specifiche con cui è costituito il materiale, il modello geometrico e successivamente il modello numerico che è rappresentato dalla mesh.

L'analisi con il software Ansys si articola in 3 fasi:

- Preprocessor;
- Solution;
- General Postprocessor.

### 2.2.1. Preprocessor

#### DEFINIZIONE DELLE PROPRIETA' DEL MODELLO

In questa fase del programma, vengono definite le proprietà del materiale base, viene costruita la geometria del componente, e viene definita la mesh.

Per definire il tipo di elemento si segue il comando *Preprocessor / Element type / Add-Edit-Delete / Add*. Dalla tabella viene scelto un elemento piano a 8 nodi, *plane 183*, e un elemento solido a 20 nodi, *solid 186*. Quest'ultimo elemento servirà per l'estrusione del modello.

A questo punto si deve specificare il tipo di materiale utilizzato. Seguendo il comando *Preprocessor / Material Props / Material Models* scelgo un materiale di tipo isotropo con comportamento lineare elastico. Viene ora inserito:

- Modulo elastico  $E_x = 206000 \text{ MPa}$ ;
- Coefficiente di Poisson  $\nu_{XY} = 0.3$ .

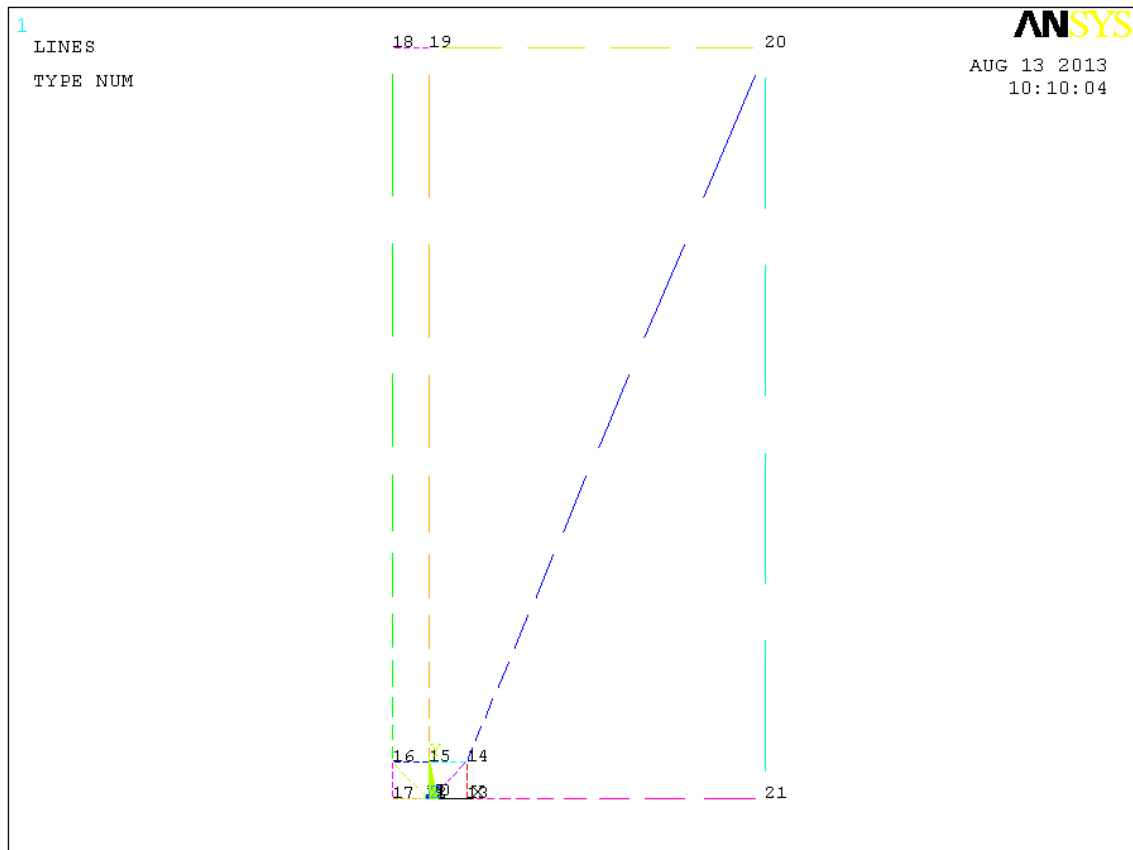
#### DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

Grazie alla presenza di simmetrie nel componente si può analizzare solo una parte della piastra, più precisamente si lavorerà con un ottavo di piastra.

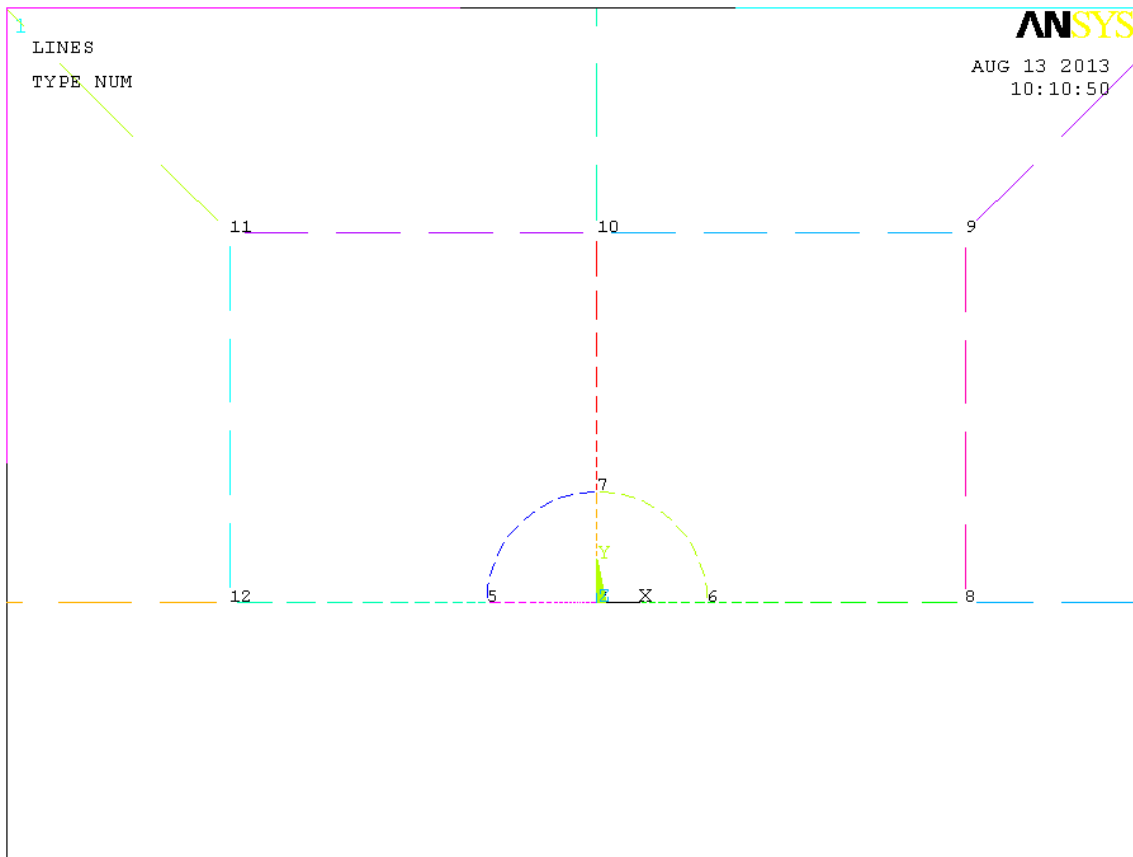
Per la creazione del modello numerico prima di tutto si definirà la sezione e di conseguenza l'area, e solo in seguito si estruderà la piastra con lo spessore richiesto.

Nel piano xy si definisce l'area partendo dalla creazione di keypoints dei vertici e le linee che li congiungono. Attraverso il comando *Preprocessor / Modeling / Create* si inseriscono dapprima le coordinate dei keypoints e successivamente attraverso il comando *Lines / Straight Line* vengono congiunti per creare le varie linee.

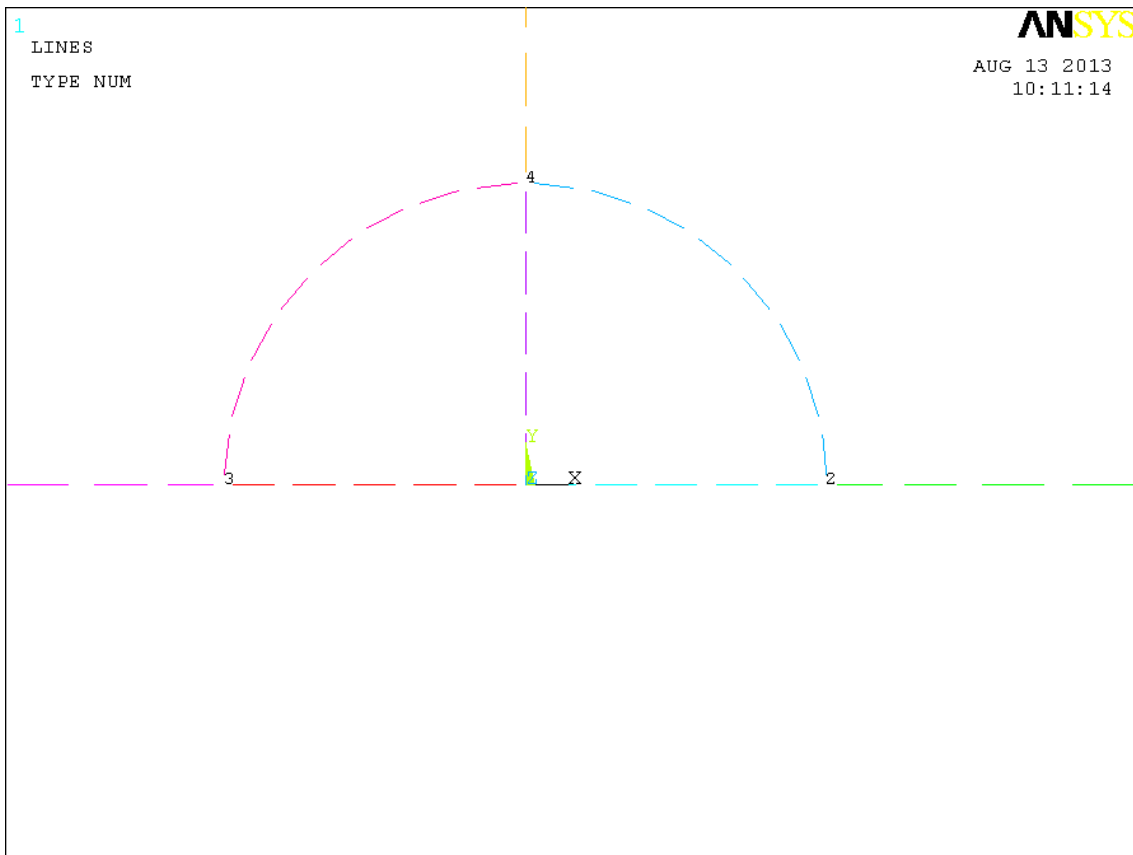
Inoltre per avere una migliore suddivisione dell'area totale vengono aggiunte all'interno dell'area altre linee di costruzione.



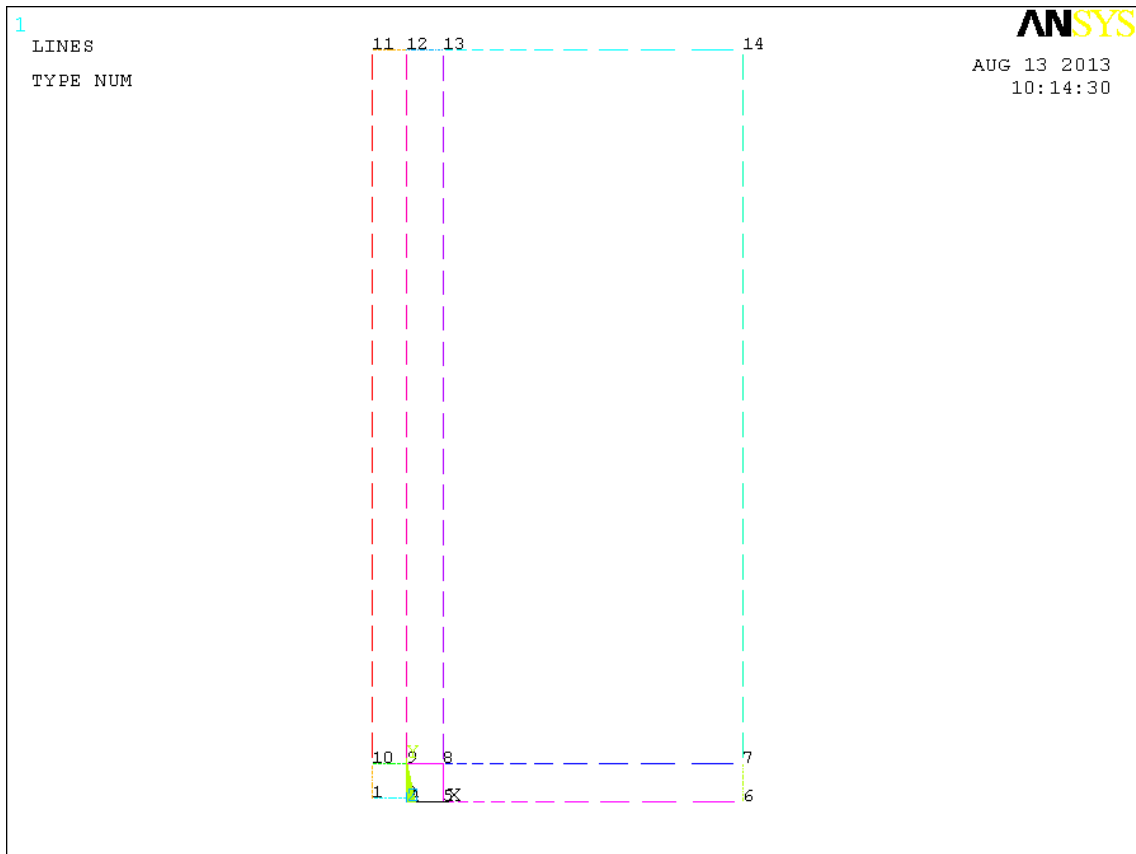
**Figura 1.** *Linee di costruzione della sezione della piastra con cricca.*



**Figura 2.** Particolare linee di costruzione della sezione della piastra con cricca.



**Figura 3.** Particolare linee di costruzione della sezione della piastra con cricca.



**Figura 4.** Linee di costruzione della sezione della piastra con intaglio a U.

## CREAZIONE DELLA MESH

La mesh è di fondamentale importanza perché su questa il software implementa e risolve un numero finito di equazioni. Si deve cercare il giusto equilibrio della mesh in modo tale da permettere un infittimento soprattutto in corrispondenza delle zone più critiche (in questa analisi l'apice della cricca e dell'intaglio) e via a via sempre meno in modo da garantire accuratezza della soluzione e tempi di calcolo non troppo lunghi.

La meshatura consiste nella suddivisione delle linee esterne che delimitano le aree e facendo attenzione nell'effettuare la stessa suddivisione per lati opposti in modo da garantire la simmetria della suddivisione.

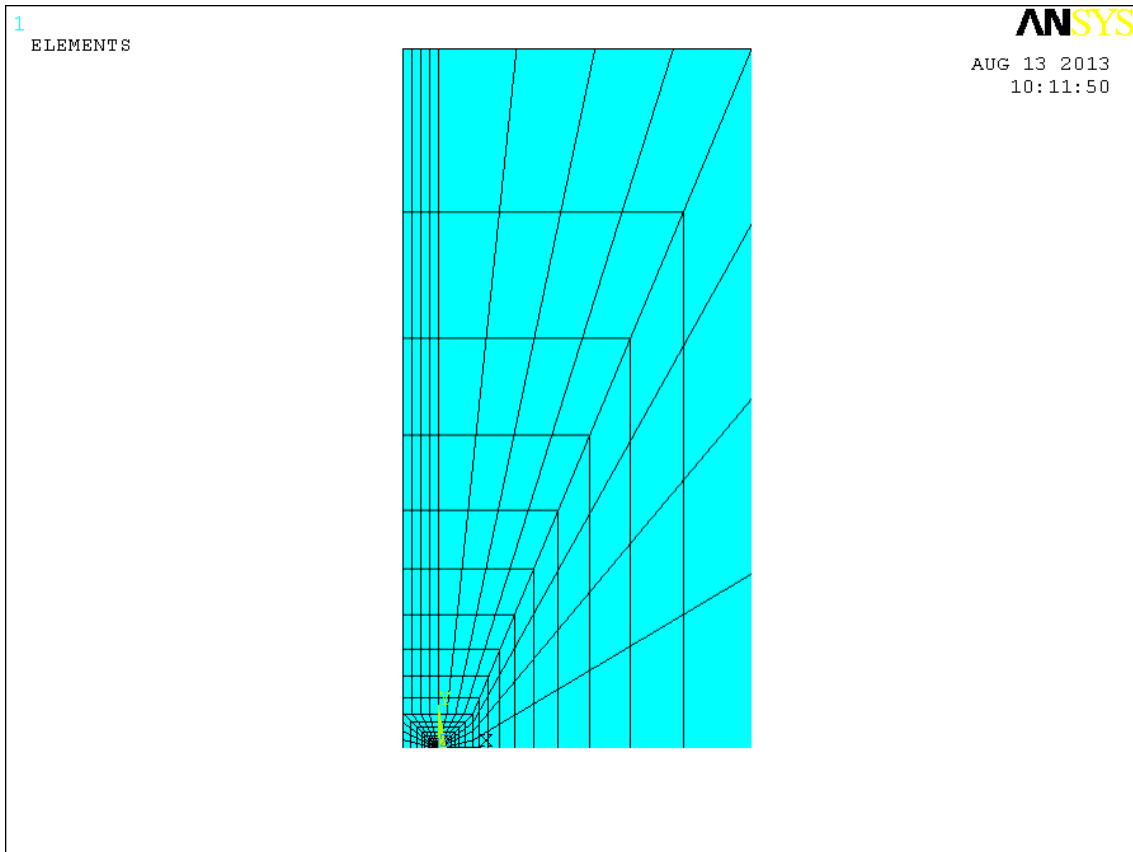
Attraverso il comando *Preprocessor / Meshing / Size Cntrls / Picked lines* e selezionando le linee desiderate si sceglie il numero delle suddivisioni e lo spacing ratio da applicare.

Per creare la mesh sull'intera area si possono scegliere due differenti strade:

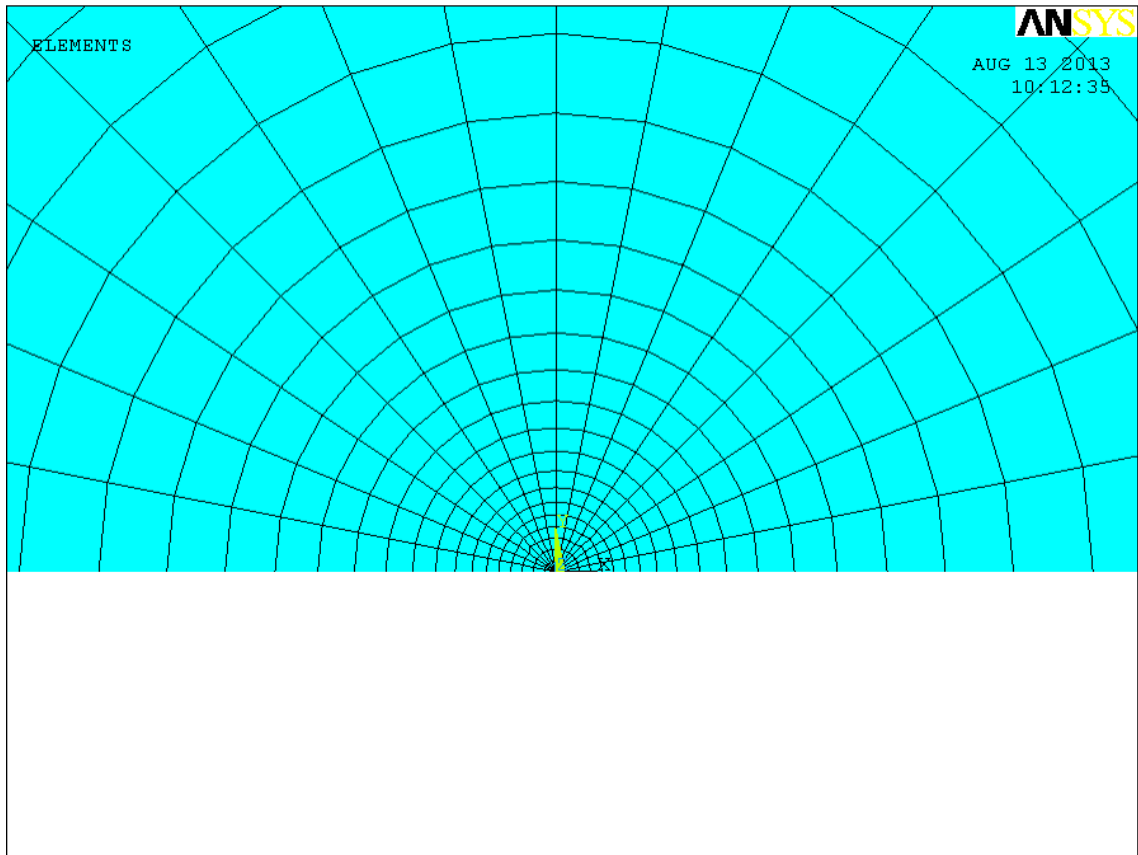
- *Mesh mapped* la quale è molto regolare e controllabile dall'utente;
- *Mesh free* che lascia libertà al software nella creazione della mesh.

Nell'area circolare più piccola nella piastra con cricca è stata utilizzata una mesh free, in quanto si doveva effettuare una mesh radiale. Per fare questo si doveva inoltre definire un *concentration keypoint* nel punto del centro del cerchio, successivamente questo verrà eliminato per effettuare l'estrusione.

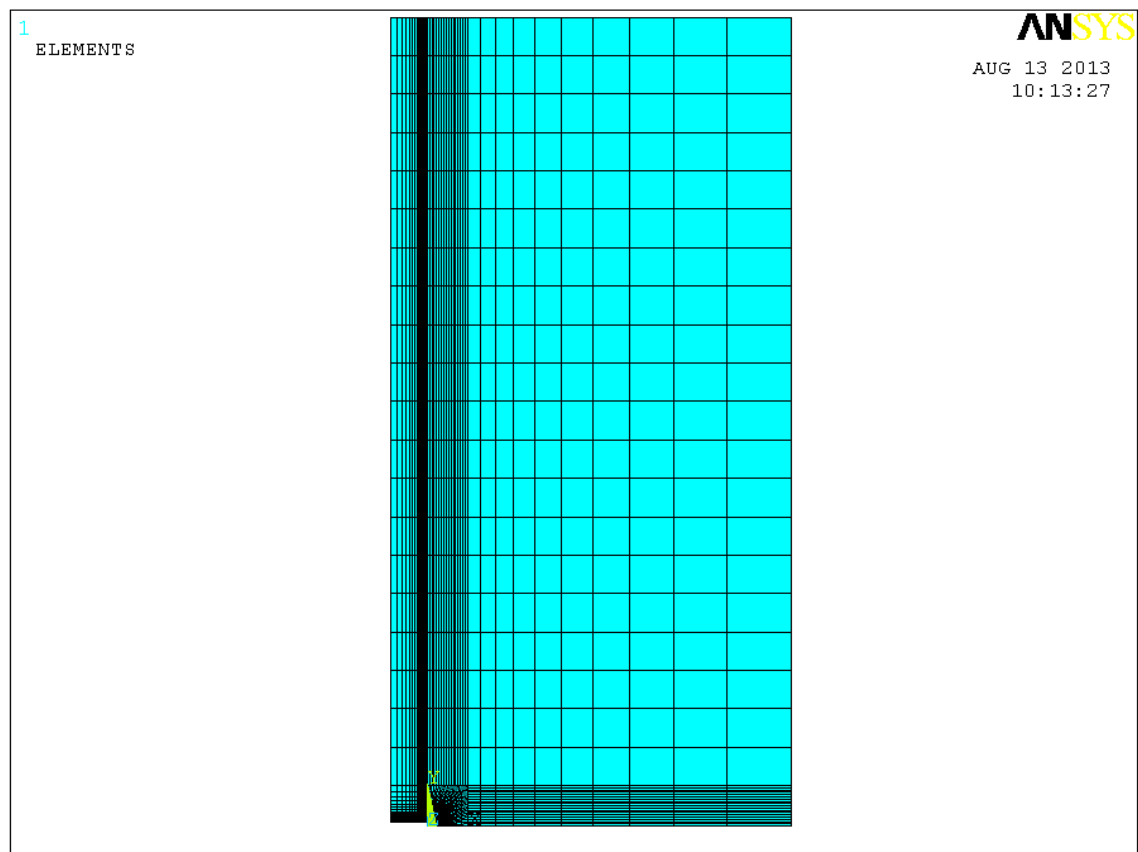
Per tutte le altre aree (sia per la piastra con cricca che con intaglio a U) si sceglie la mesh di tipo mapped seguendo il percorso *Preprocessor / Meshing / Mesh / Areas / 3 or 4 sided* e selezionando tutte le aree si ha la meshatura del modello.



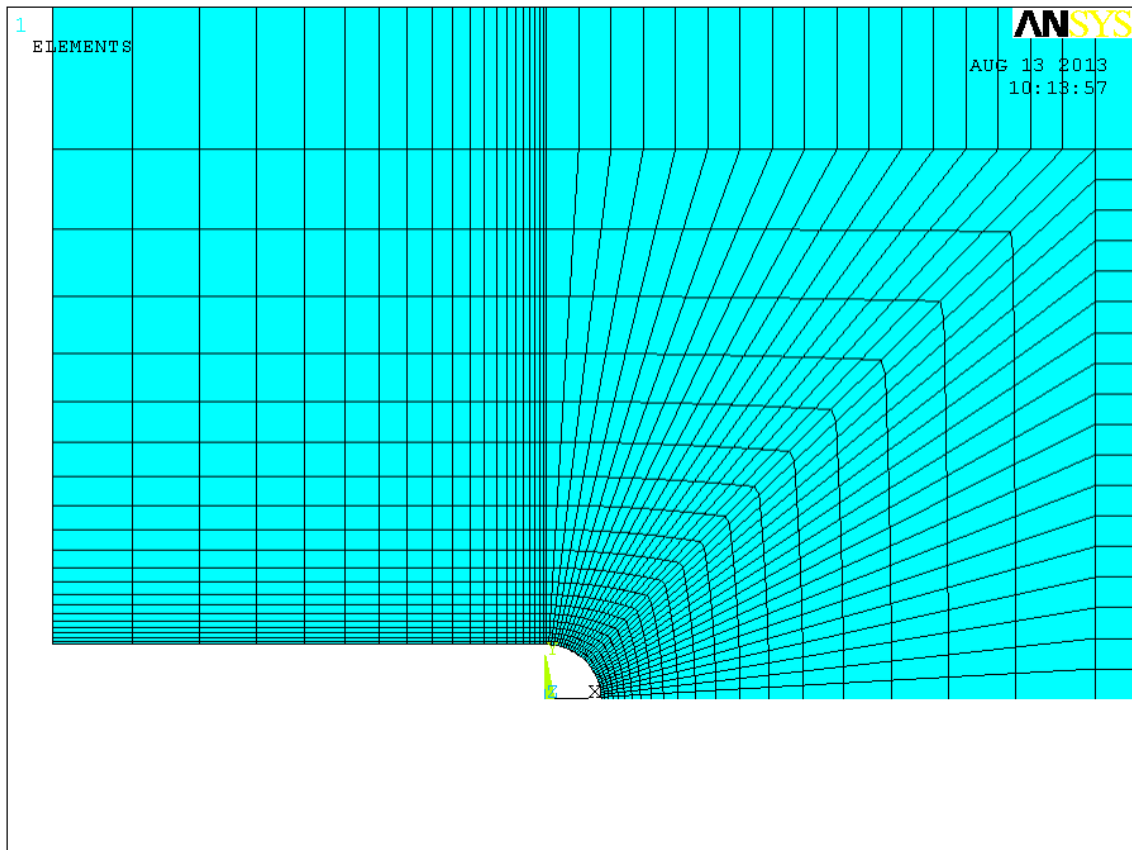
**Figura 5.** Mesh piastra con cricca.



**Figura 6.** Particolare mesh piastra con cricca.



**Figura 7.** Mesh piastra con intaglio a U.



**Figura 8.** Particolare mesh piastra con intaglio a U.

#### MODELLO TRIDIMENSIONALE

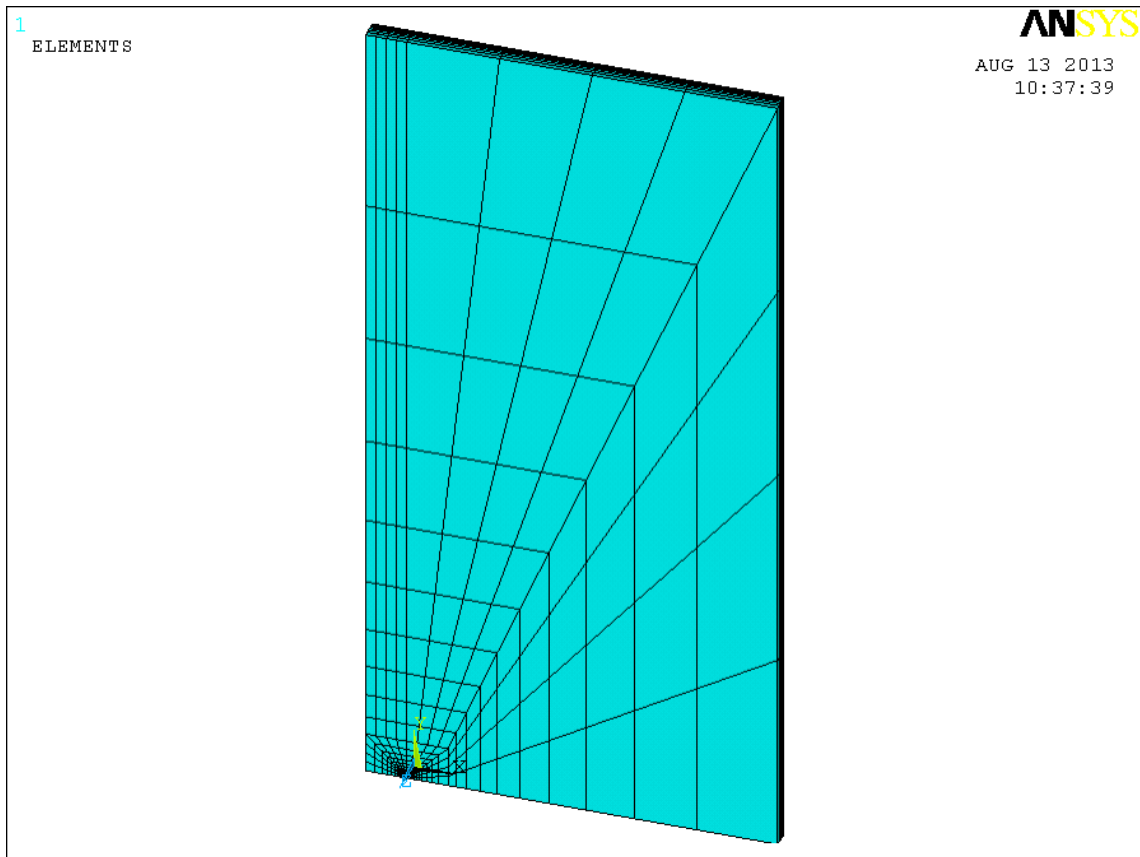
Dopo aver creato il modello geometrico e numerico bidimensionale della sezione, per creare il modello tridimensionale delle 2 piastre si procede con l'estrusione dell'area considerata finora.

Si definisce innanzitutto il tipo di elemento solido da utilizzare, e come detto in precedenza la scelta ricade sull'elemento solido a 20 nodi, e il numero delle suddivisioni da applicare nello spessore (in tutte le aree si è scelto di dividere lo spessore in 10 parti con spacing ratio pari a 10).

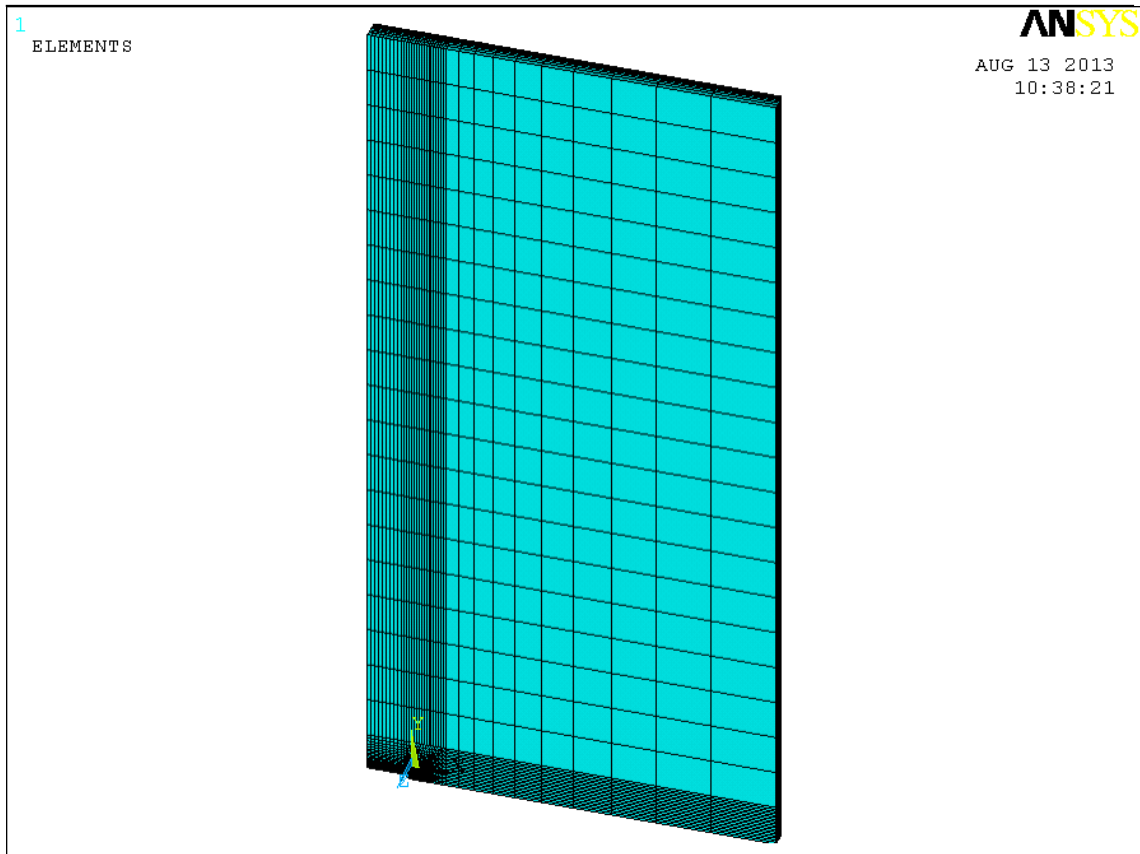
Si procede eliminando le concatenazioni e i concentration keypoint utilizzati in precedenza e si effettua l'estrusione con il comando *Preprocessor / Modeling / Operate / Extrude / Area / By XYZ offset* e selezionando tutte le aree.

È stato creato così il modello geometrico e numerico tridimensionale della piastra con cricca e con intaglio.





**Figura 9.** *Piastra con cricca estrusa con spessore  $z=5\text{mm}$ .*



**Figura 10.** *Piastra con intaglio estrusa con spessore  $z=5\text{mm}$ .*

## 2.2.2. Solution

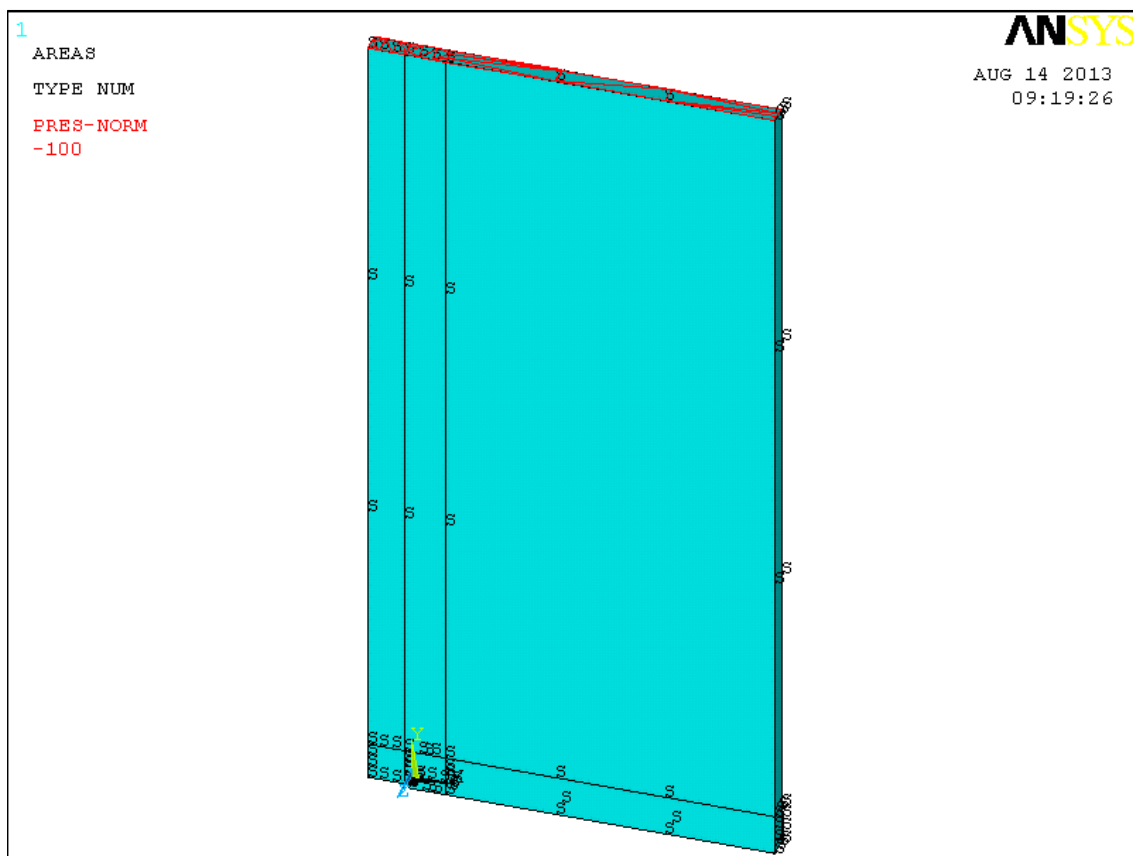
### DEFINIZIONE DELLE SIMMETRIE

Con il comando *Solution / Define loads / Apply / Structural / Displacement / Symmetry B.C. / On areas* vengono selezionate le aree su cui verrà applicata la condizione di simmetria. In particolare per analizzare un ottavo di piastra viene posta simmetria sull'area frontale, sull'area laterale di destra, sull'area inferiore fino all'apice dell'intaglio, per la piastra con intaglio, e fino all'apice di cricca, per la piastra con cricca (si lasciano l'intaglio e la cricca privi di simmetria).

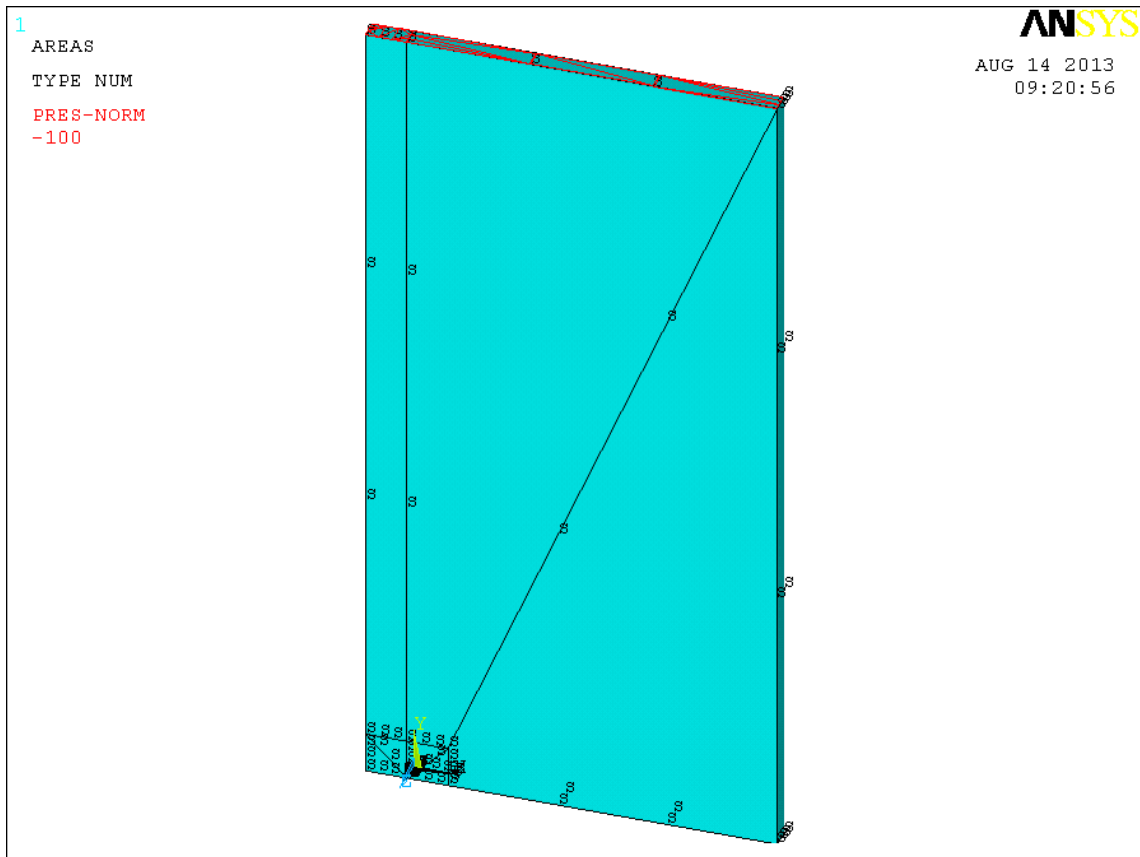
### DEFINIZIONE DEI CARICHI

Viene applicato il carico di trazione sull'area superiore, pari a 100 MPa.

Con il comando *Solution / Define loads / Apply / Structural / Pressure/ On areas* si seleziona solo l'area d'interesse e si applica la pressione di -100 MPa (il segno meno è perché Ansys prende come riferimento l'asse y positivo verso il basso).



**Figura 11.** Carico e simmetria della piastra con intaglio a  $U z=5mm$ .

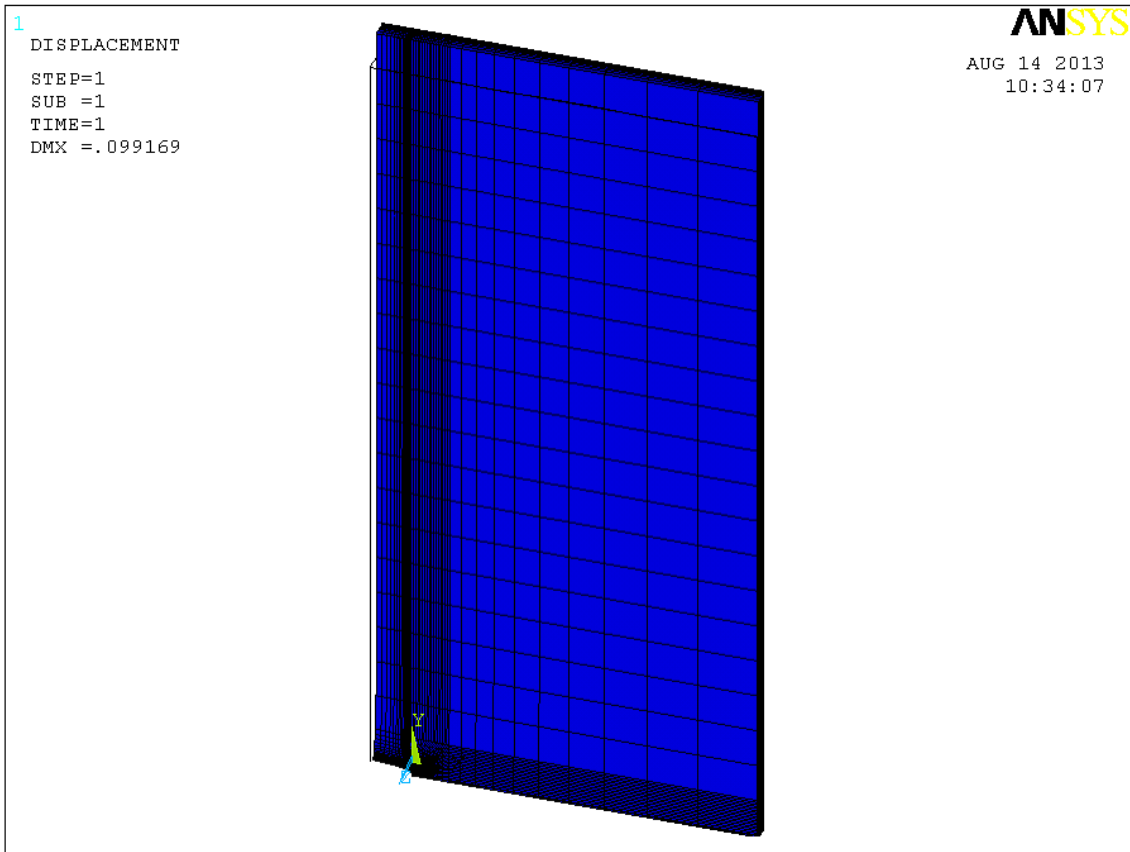


**Figura 12.** Carico e simmetria della piastra con cricca  $z=5$  mm.

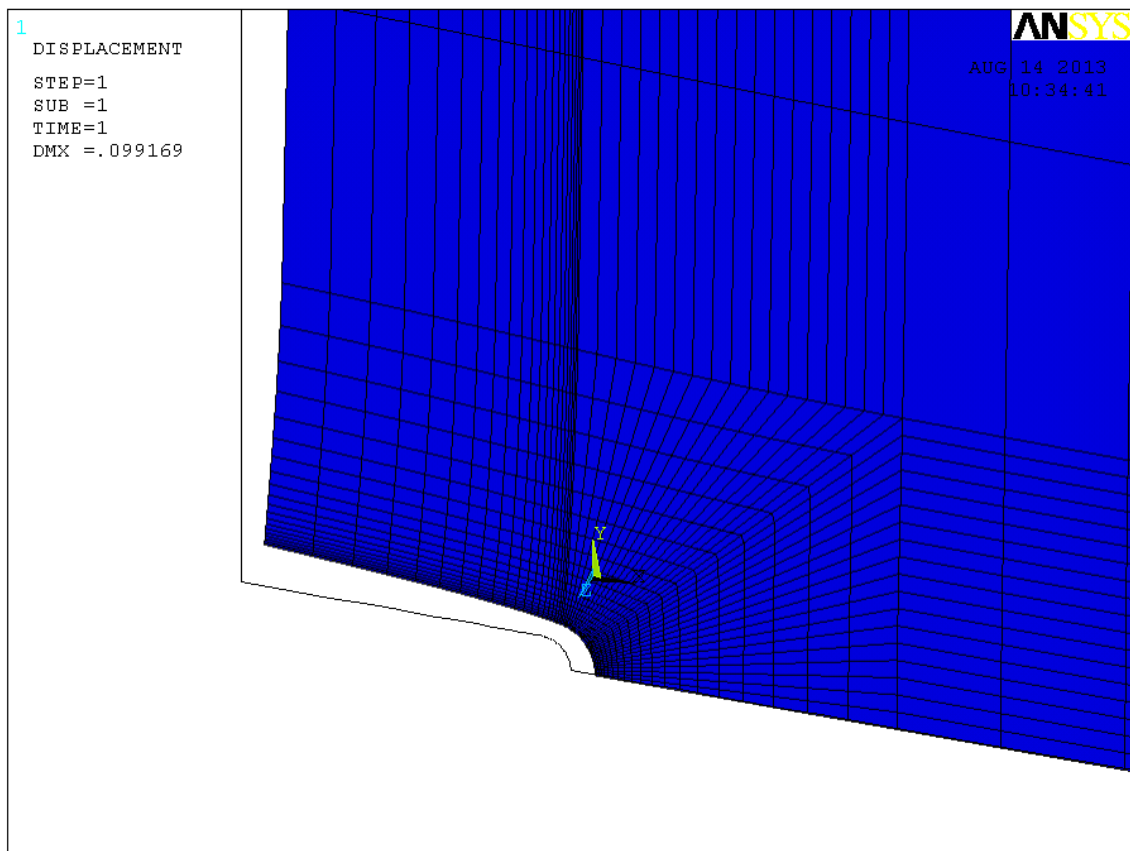
Si procede ora con la soluzione dell'intero modello appena creato tramite il comando:  
*Solution / Solve / Current LS.*

Il tempo di risoluzione dipende dal numero di nodi presenti, per questo motivo è conveniente infittire la mesh solo nei punti dove si vogliono plottare le tensioni.

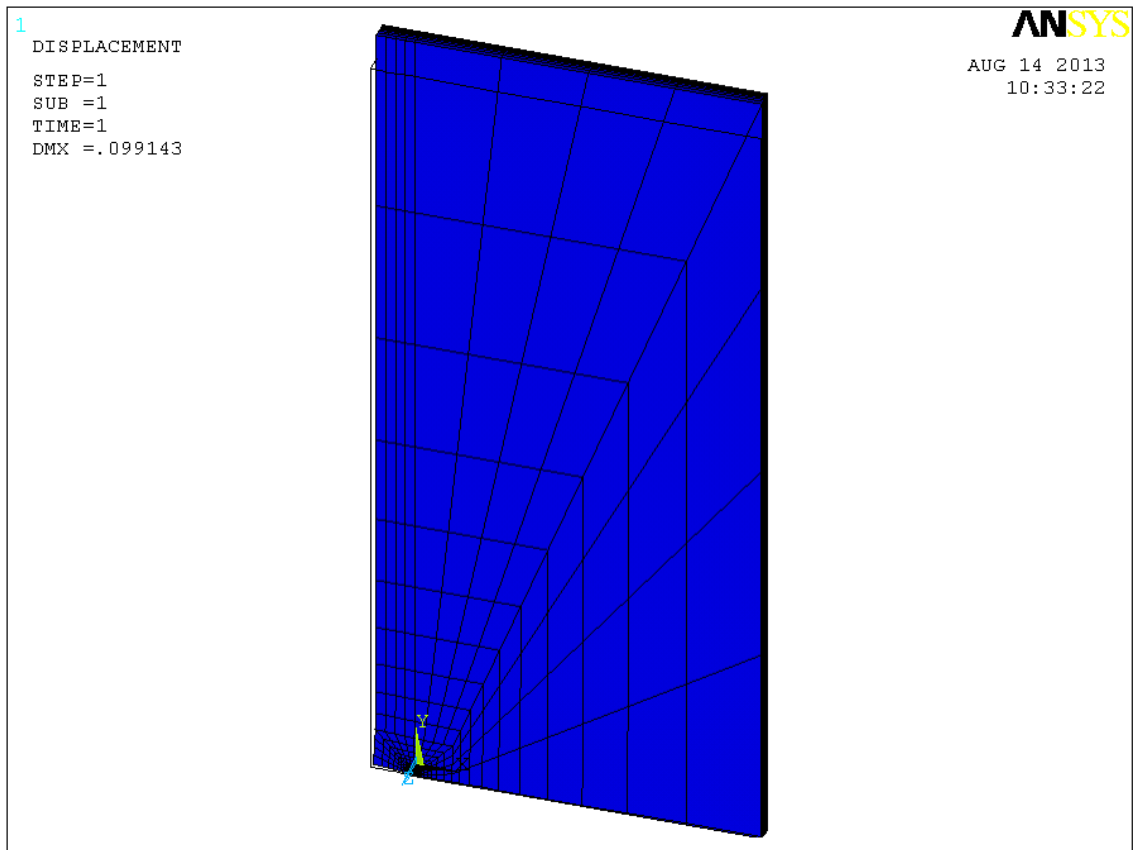
In seguito alla risoluzione del modello è possibile vedere la deformata della piastra, come è illustrato nelle seguenti immagini.



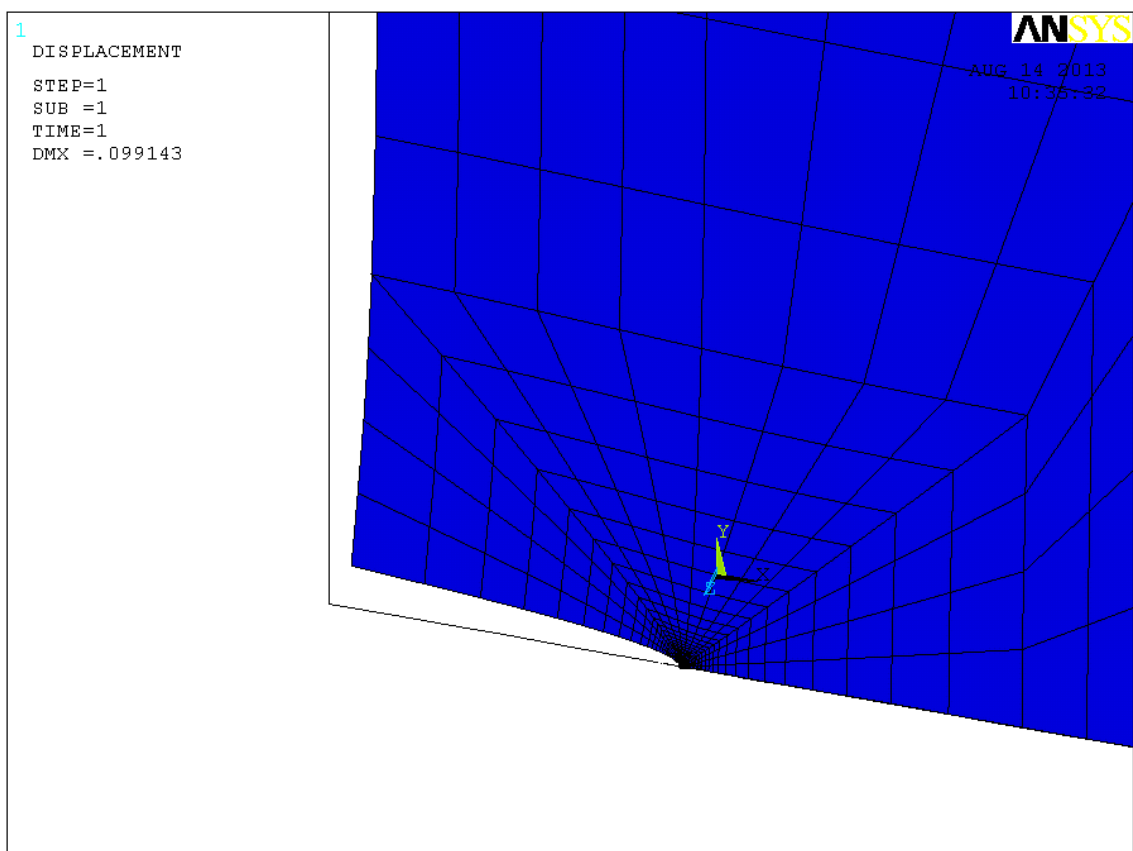
**Figura 13.** Deformata piastra con intaglio a U con spessore  $z=5$  mm.



**Figura 14.** Particolare della deformata dell'intaglio a U della piastra con spessore  $z=5$  mm.



**Figura 15.** Deformata della piastra con cricca con spessore  $z=5$  mm.

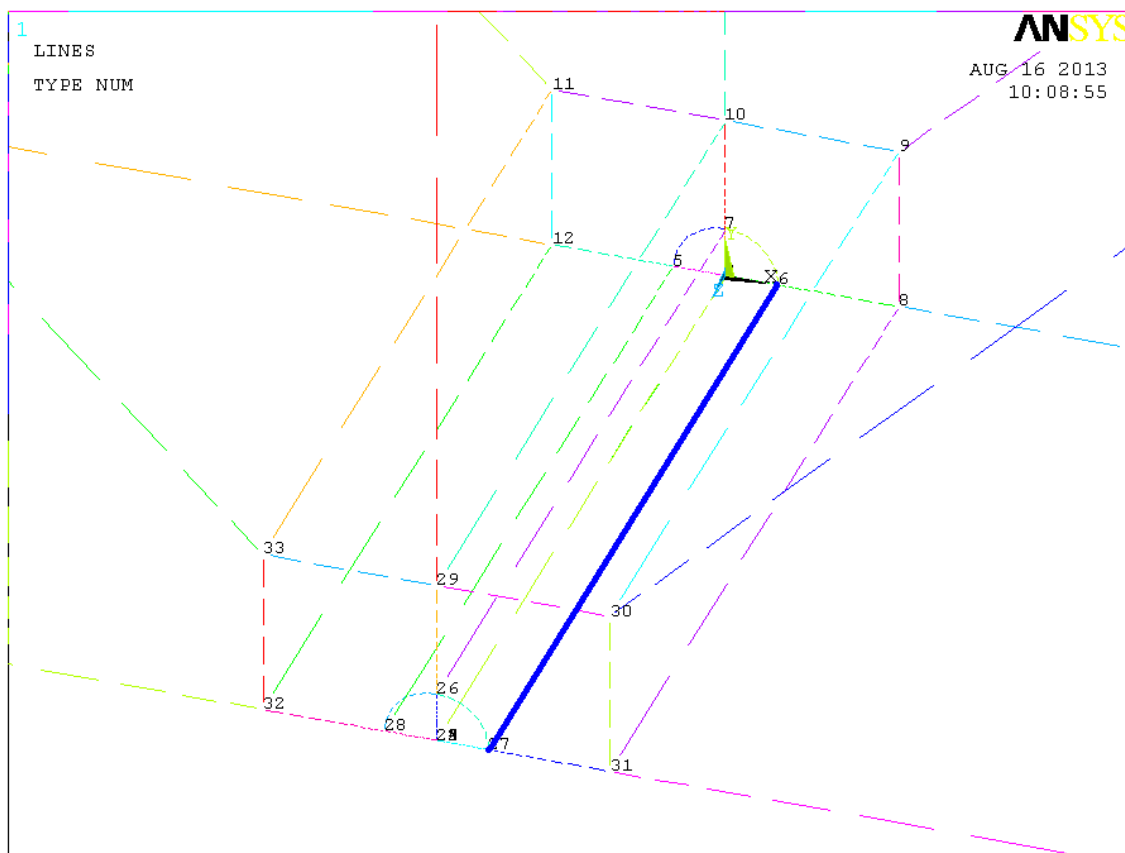


**Figura 16.** Particolare nella cricca della piastra con spessore  $z=5$  mm.

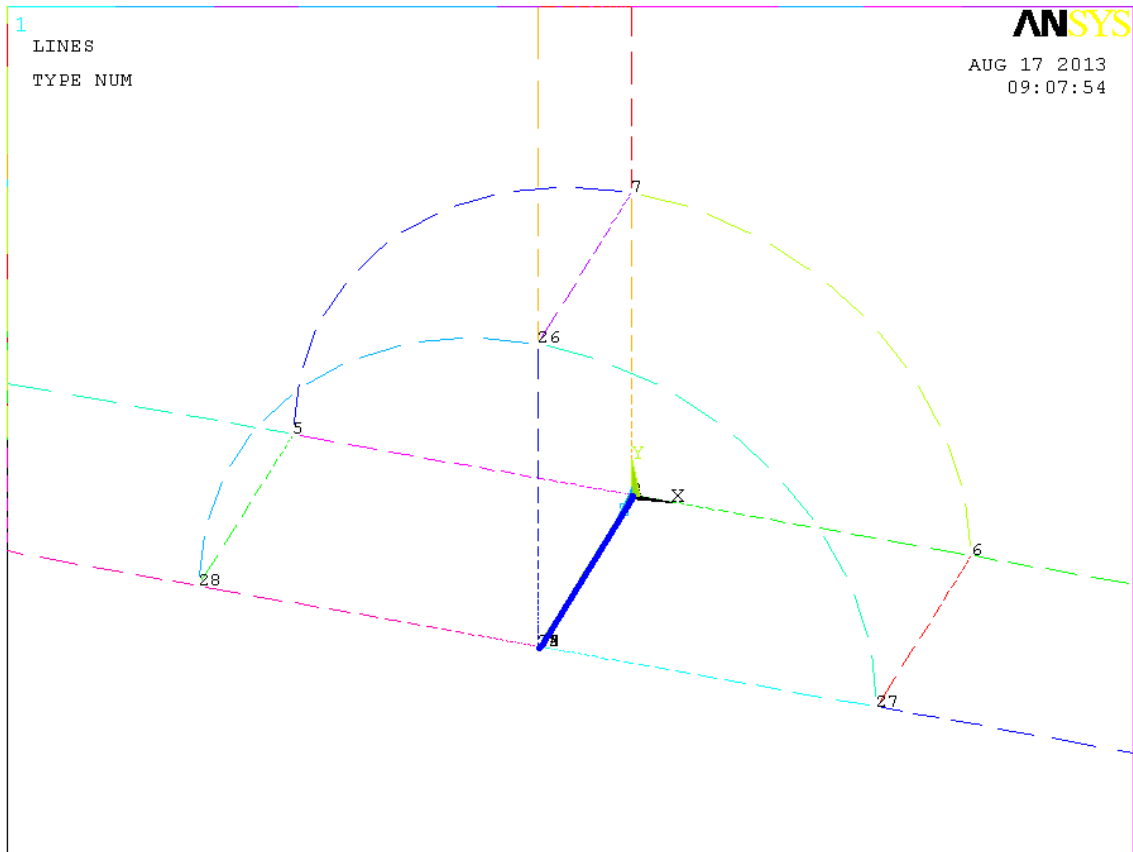
### 2.2.3. General postprocessor

#### VISUALIZZAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE DELLE TENSIONI E CREAZIONE DEL PATH

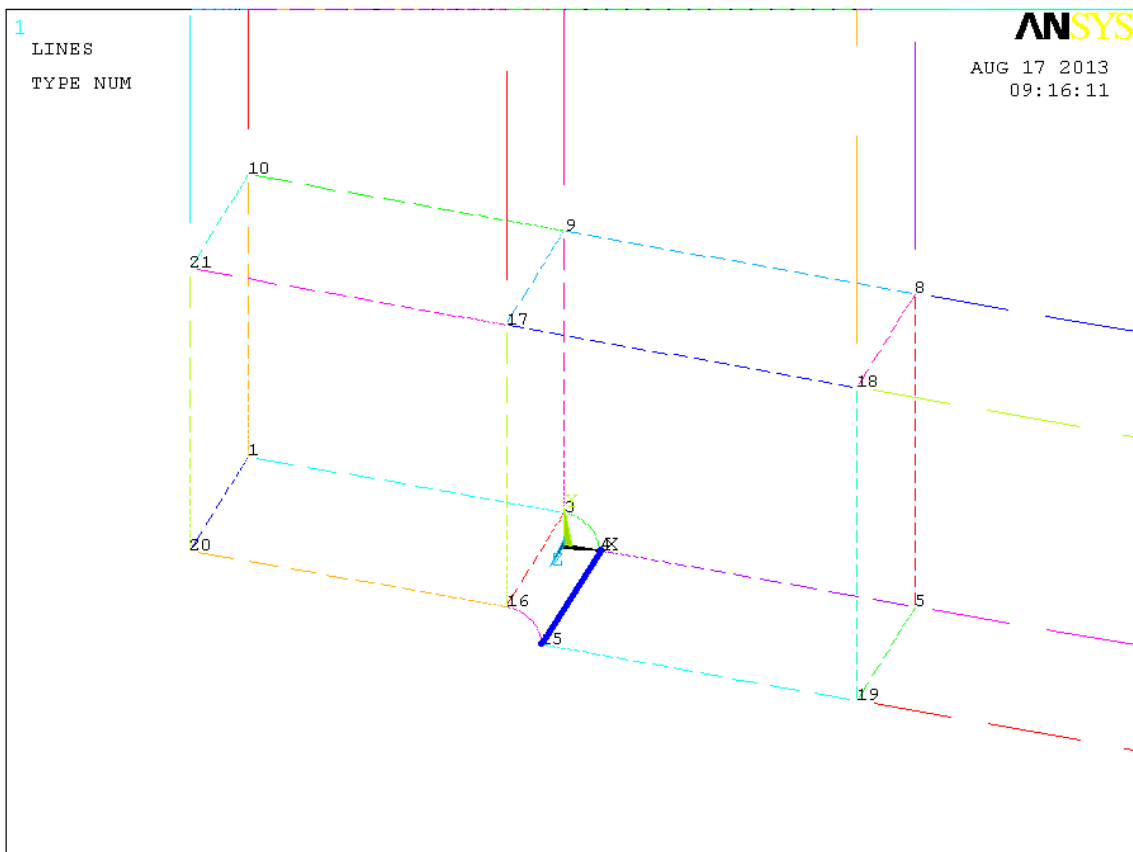
A questo punto è di fondamentale importanza l'estrazione dei dati in modo tale da farne le giuste considerazioni. Si devono creare i Path nelle zone interessate, cioè all'apice della cricca e dell'intaglio a U. Ciò avviene selezionando in modo ordinato i nodi lungo le linee sulle quali si vuole fare l'analisi e determinando quindi le tensioni. Nelle seguenti figure si evidenziano le linee su cui è stato applicato il path.



**Figura 17.** Piastra con cricca :la linea blu indica il percorso su cui è stato effettuato il path, ad una distanza di  $x=0,3$  mm dall'apice di cricca.



**Figura 18.** Piastra con cricca: la linea blu indica il percorso su cui è stato effettuato il path, ad una distanza di  $x=0,0001$  mm dall'apice di cricca.



**Figura 19.** Piastra con intaglio a U: la linea blu indica il percorso su cui è stato effettuato il path.





# CAPITOLO 3

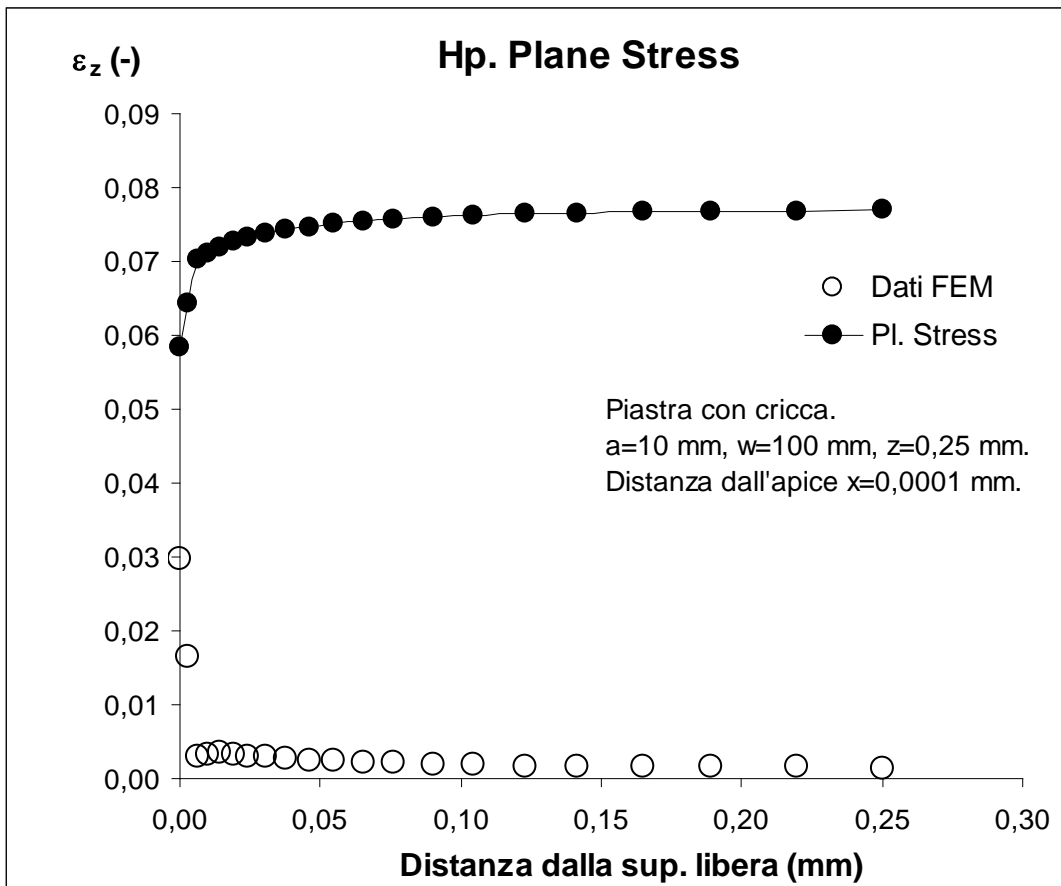
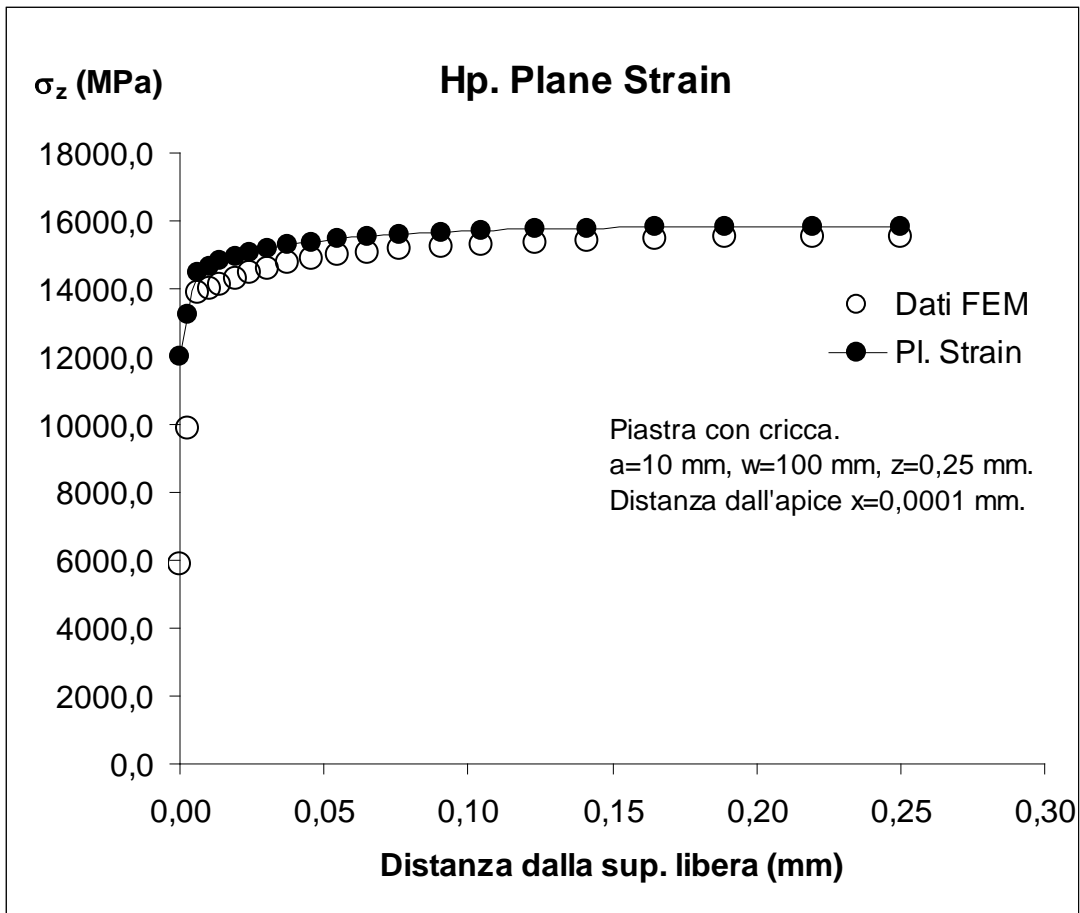
## Modelli

### 3.1. Piastra con cricca

#### 3.1.1. Spessore $z=0.25$ mm

Path con distanza  $x=0,0001$  mm dall'apice di cricca.

<b>S</b> [mm]	<b>SX</b> [MPa]	<b>SY</b> [MPa]	<b>SZ</b> [MPa]	<b>EPTOZ</b> [-]	<b>SZ [MPa]</b> (pl. Strain)	<b>EPTOZ [-]</b> (pl. Stress)
0,00000	20051,0	19961,0	5856,8	0,02984	12003,60	0,058270
0,00306	22160,0	22003,0	9856,0	0,01647	13248,90	0,064315
0,00612	24268,0	24045,0	13855,0	0,00310	14493,90	0,070359
0,01007	24538,0	24314,0	13987,0	0,00325	14655,60	0,071144
0,01402	24808,0	24584,0	14119,0	0,00339	14817,60	0,071930
0,01912	25030,0	24805,0	14287,0	0,00322	14950,50	0,072575
0,02422	25252,0	25026,0	14455,0	0,00305	15083,40	0,073220
0,03081	25427,0	25201,0	14598,0	0,00287	15188,40	0,073730
0,03740	25602,0	25376,0	14741,0	0,00268	15293,40	0,074240
0,04591	25741,0	25516,0	14859,0	0,00252	15377,10	0,074646
0,05442	25881,0	25656,0	14976,0	0,00235	15461,10	0,075054
0,06541	25992,0	25768,0	15072,0	0,00221	15528,00	0,075379
0,07640	26104,0	25880,0	15168,0	0,00208	15595,20	0,075705
0,09060	26191,0	25968,0	15244,0	0,00196	15647,70	0,075960
0,10480	26278,0	26056,0	15320,0	0,00184	15700,20	0,076215
0,12313	26342,0	26121,0	15378,0	0,00175	15738,90	0,076402
0,14147	26407,0	26186,0	15436,0	0,00166	15777,90	0,076592
0,16515	26449,0	26229,0	15475,0	0,00160	15803,40	0,076716
0,18883	26491,0	26272,0	15513,0	0,00153	15828,90	0,076839
0,21941	26508,0	26289,0	15529,0	0,00151	15839,10	0,076889
0,25000	26524,0	26306,0	15544,0	0,00148	15849,00	0,076937



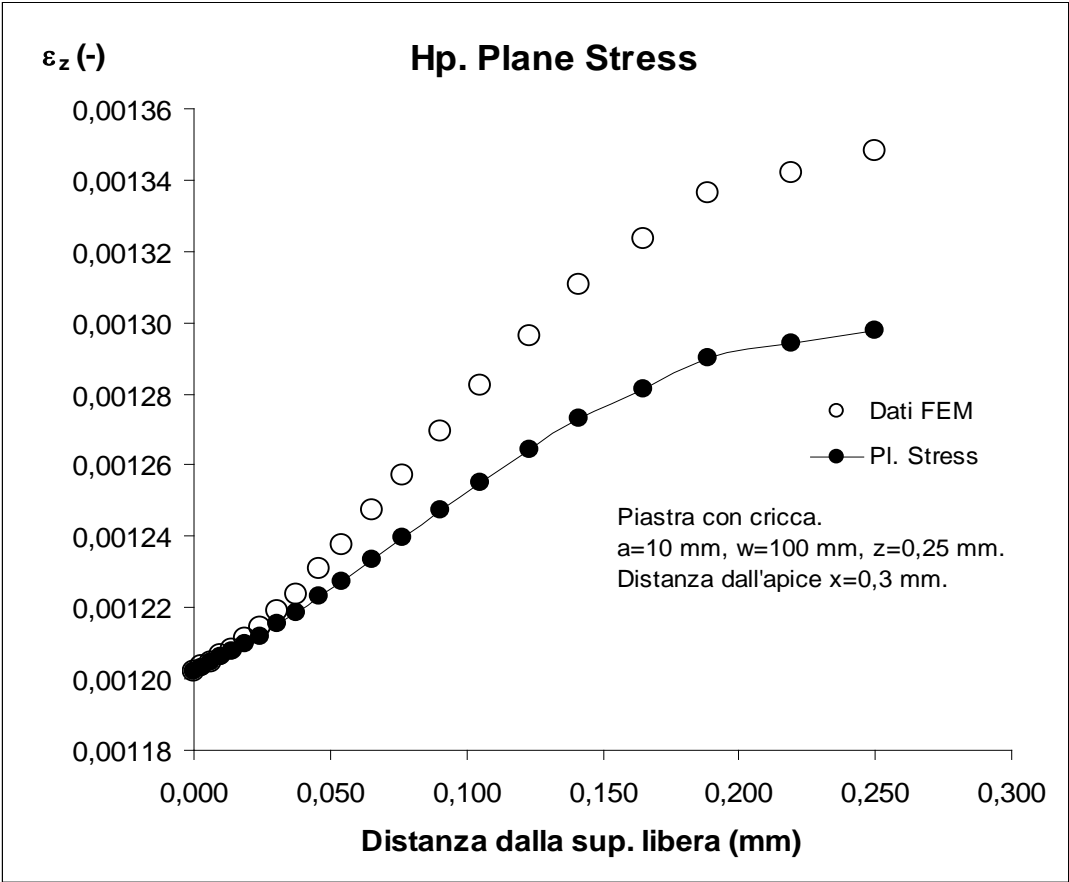
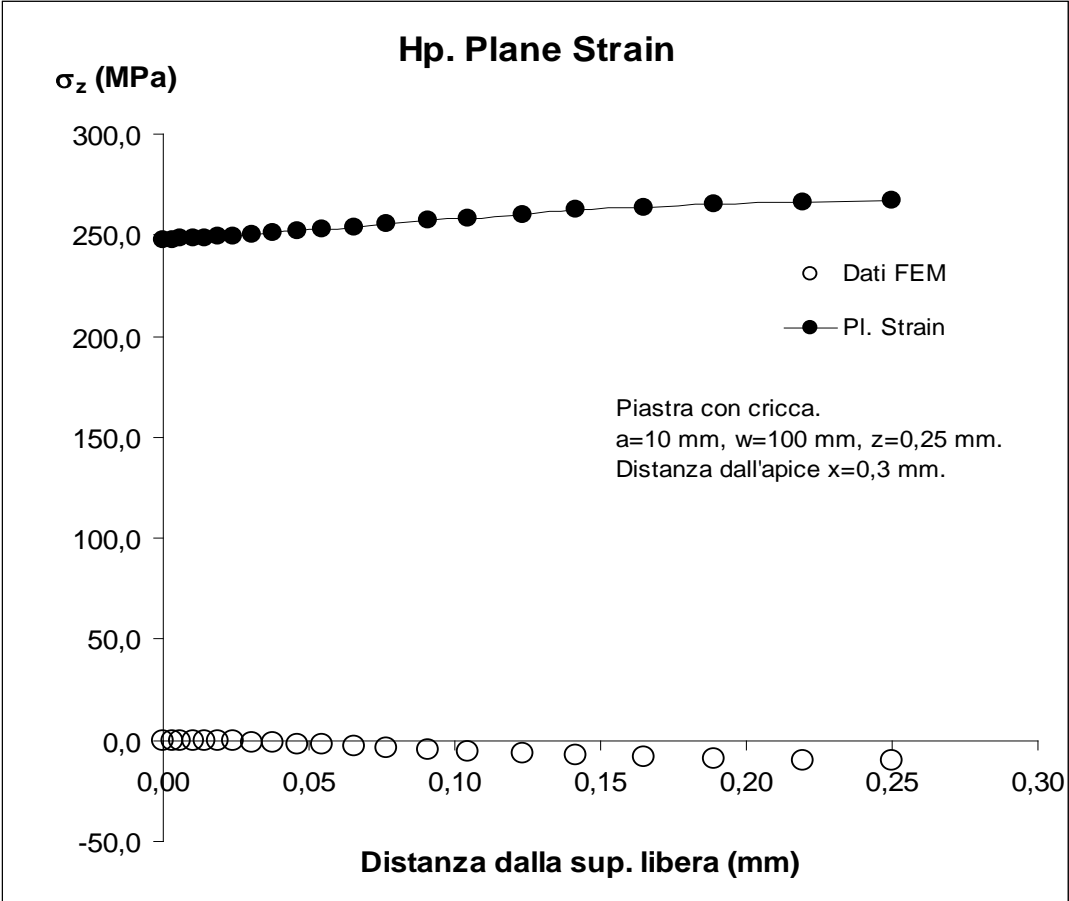
Dai risultati plottati con i dati del FEM e quelli ricavati analiticamente si può vedere che nell'ipotesi di plane strain, ovvero  $\varepsilon_z = 0$ , vi è un andamento molto simile della  $\sigma_z$  lungo lo spessore a partire dalla superficie libera della piastra.

Si può anche notare che partendo dalla superficie libera della piastra e procedendo lungo lo spessore l'andamento della  $\varepsilon_z$  tende a un valore costante e diverso da zero, di conseguenza ci si trova in una condizione di plane strain generalizzato.

Questo è il motivo per cui l'andamento teorico di  $\sigma_z$  non è esattamente coincidente con i risultati del FEM.

Path con distanza x=0,3 mm dall'apice di cricca.

<b>S</b> <b>[mm]</b>	<b>SX</b> <b>[MPa]</b>	<b>SY</b> <b>[MPa]</b>	<b>SZ</b> <b>[MPa]</b>	<b>EPTOZ</b> <b>[-]</b>	<b>SZ [MPa]</b> <b>(pl. Strain)</b>	<b>EPTOZ [-]</b> <b>(pl. Stress)</b>
0,00000	405,55000	420,03000	0,00684	0,00120	247,67400	0,00120
0,00306	404,82000	421,50000	-0,00836	0,00120	247,89600	0,00120
0,00612	404,09000	422,98000	-0,02356	0,00120	248,12100	0,00120
0,01007	403,34000	424,79000	-0,09266	0,00121	248,43900	0,00121
0,01402	402,60000	426,60000	-0,16175	0,00121	248,76000	0,00121
0,01912	401,94000	428,80000	-0,32222	0,00121	249,22200	0,00121
0,02422	401,28000	430,99000	-0,48269	0,00121	249,68100	0,00121
0,03081	400,88000	433,59000	-0,78536	0,00122	250,34100	0,00122
0,03740	400,49000	436,19000	-1,08800	0,00122	251,00400	0,00122
0,04591	400,60000	439,18000	-1,59120	0,00123	251,93400	0,00122
0,05442	400,70000	442,16000	-2,09440	0,00124	252,85800	0,00123
0,06541	401,62000	445,45000	-2,84310	0,00125	254,12100	0,00123
0,07640	402,53000	448,74000	-3,59180	0,00126	255,38100	0,00124
0,09060	404,48000	452,15000	-4,57190	0,00127	256,98900	0,00125
0,10480	406,43000	455,55000	-5,55200	0,00128	258,59400	0,00126
0,12313	409,37000	458,75000	-6,63000	0,00130	260,43600	0,00126
0,14147	412,30000	461,95000	-7,70790	0,00131	262,27500	0,00127
0,16515	415,52000	464,49000	-8,61280	0,00132	264,00300	0,00128
0,18883	418,73000	467,02000	-9,51760	0,00134	265,72500	0,00129
0,21941	420,40000	468,13000	-9,90730	0,00134	266,55900	0,00129
0,25000	422,07000	469,23000	10,29700	0,00135	267,39000	0,00130



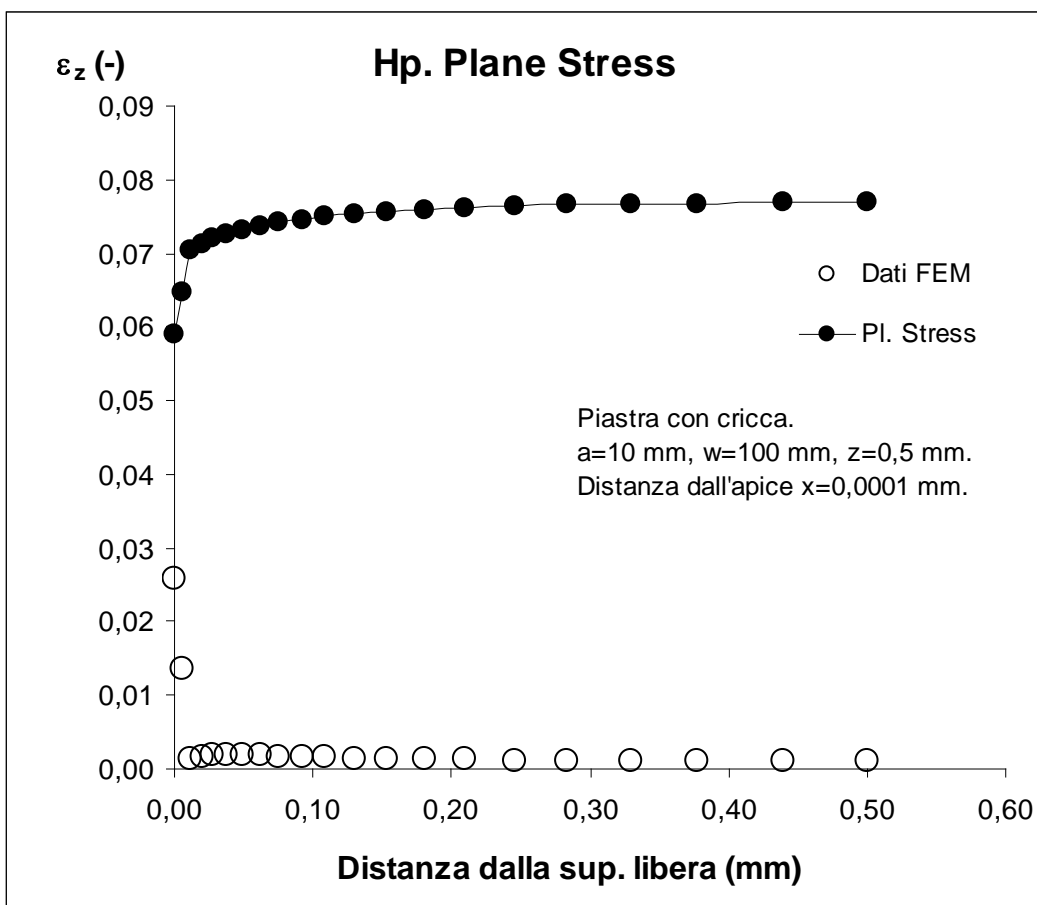
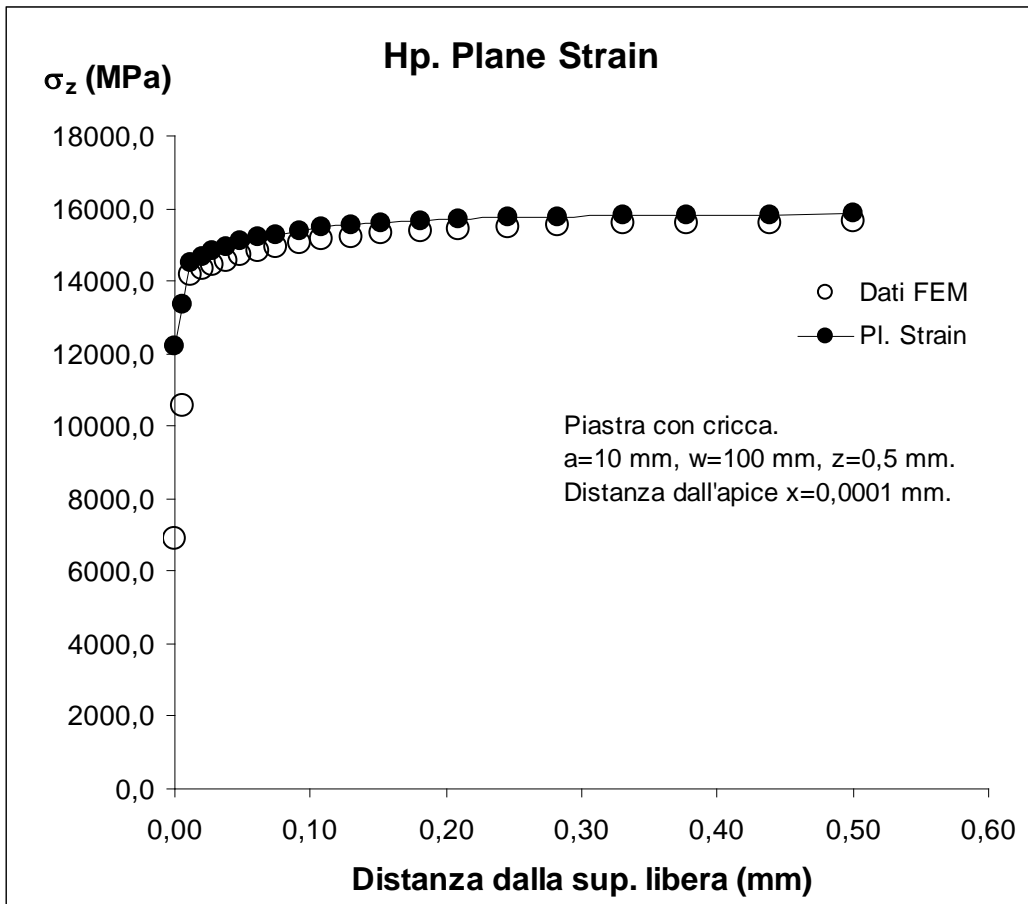
Dai risultati plottati, con distanza del path dall'apice della cricca pari a  $x=0.3$  mm, si può vedere che partendo a considerare la piastra dalla superficie libera si ha un andamento della tensione  $\sigma_z$  pari a 0, e ci si trova quindi in condizione di plane stress.

Man mano che ci si allontana dalla superficie libera il comportamento della piastra trovato in modo analitico non coincide con quello ricavato tramite FEM.

### 3.1.2. Spessore z=0.5 mm

Path con distanza x=0,0001 mm dall'apice di cricca.

<b>S [mm]</b>	<b>SX [MPa]</b>	<b>SY [MPa]</b>	<b>SZ [MPa]</b>	<b>EPTOZ [-]</b>	<b>SZ [MPa] (pl. Strain)</b>	<b>EPTOZ [-] (pl. Stress)</b>
0,00000	20391,0	20195,0	6876,8	0,02572	12175,8	0,05911
0,00612	22312,0	22118,0	10536,0	0,01356	13329,0	0,06470
0,01223	24233,0	24041,0	14196,0	0,00139	14482,2	0,07030
0,02013	24512,0	24317,0	14310,0	0,00165	14648,7	0,07111
0,02804	24792,0	24592,0	14424,0	0,00190	14815,2	0,07192
0,03824	25016,0	24813,0	14562,0	0,00188	14948,7	0,07257
0,04844	25241,0	25034,0	14700,0	0,00186	15082,5	0,07322
0,06162	25416,0	25208,0	14820,0	0,00178	15187,2	0,07372
0,07480	25591,0	25381,0	14939,0	0,00171	15291,6	0,07423
0,09182	25730,0	25520,0	15039,0	0,00163	15375,0	0,07464
0,10884	25869,0	25658,0	15139,0	0,00155	15458,1	0,07504
0,13083	25980,0	25769,0	15221,0	0,00147	15524,7	0,07536
0,15281	26091,0	25879,0	15304,0	0,00139	15591,0	0,07568
0,18120	26177,0	25966,0	15370,0	0,00132	15642,9	0,07594
0,20959	26263,0	26052,0	15436,0	0,00126	15694,5	0,07619
0,24627	26327,0	26116,0	15486,0	0,00120	15732,9	0,07637
0,28294	26391,0	26180,0	15536,0	0,00114	15771,3	0,07656
0,33030	26432,0	26222,0	15570,0	0,00110	15796,2	0,07668
0,37766	26474,0	26264,0	15603,0	0,00106	15821,4	0,07680
0,43883	26490,0	26280,0	15617,0	0,00104	15831,0	0,07685
0,50000	26506,0	26296,0	15630,0	0,00102	15840,6	0,07690





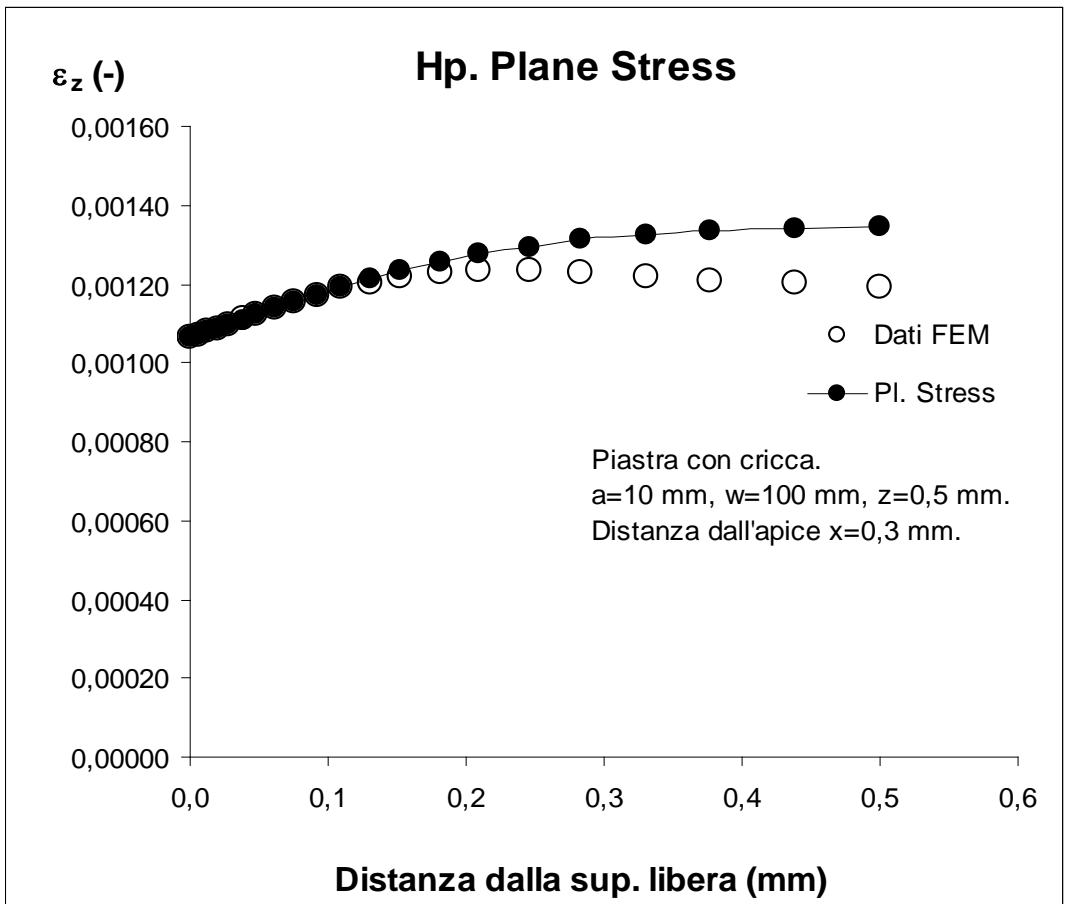
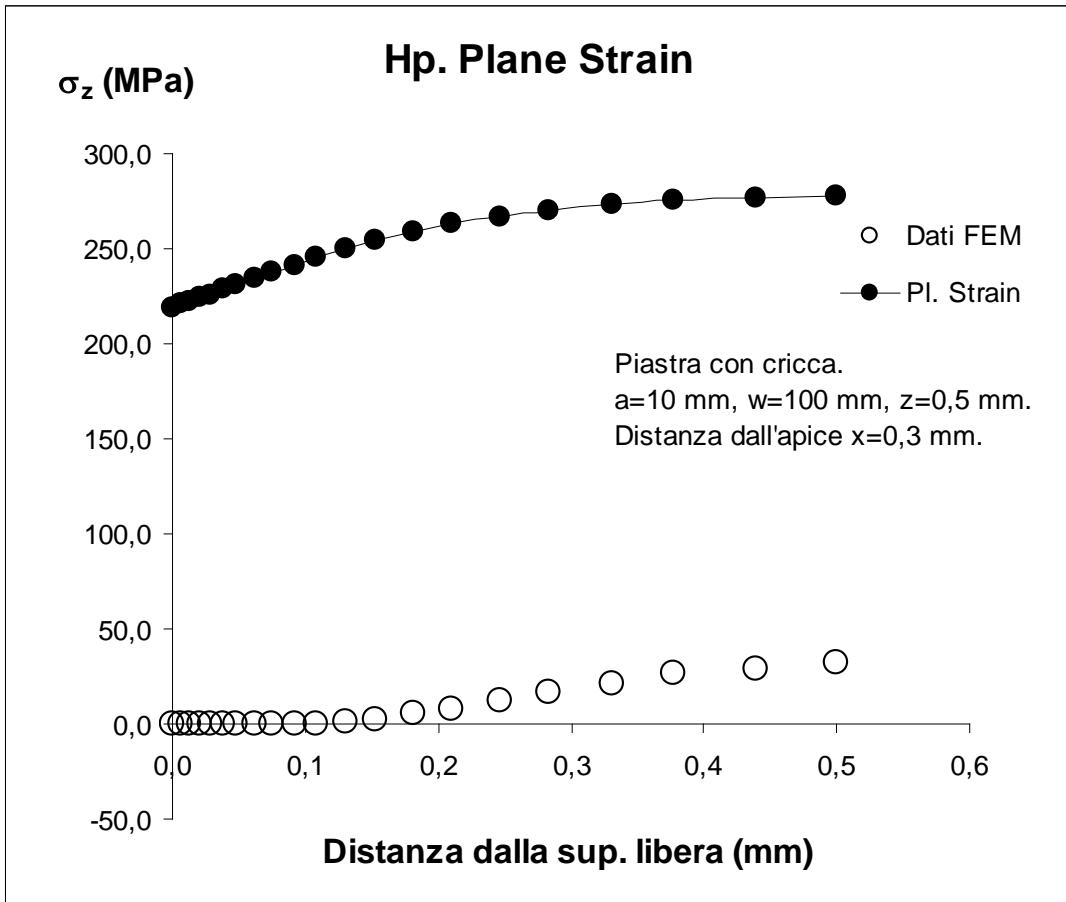
Considerando la piastra con spessore 0.5 mm, i dati ricavati con il FEM e quelli ricavati analiticamente, nell'ipotesi di plane strain, ovvero  $\varepsilon_z = 0$ , si può notare che vi è un andamento molto simile (vi è maggiore coincidenza dei dati rispetto alla piastra con spessore 0.25 mm) della  $\sigma_z$  lungo lo spessore a partire dalla superficie libera della piastra.

Si può anche notare che partendo dalla superficie libera della piastra e procedendo lungo lo spessore l'andamento della  $\varepsilon_z$  tende a un valore costante e diverso da zero, e di conseguenza ci si trova in una condizione di plane strain generalizzato.

Questa è la motivazione per cui l'andamento teorico di  $\sigma_z$  non è esattamente coincidente con i dati del FEM.

Path con distanza x=0,3 mm dall'apice di cricca.

<b>S</b> <b>[mm]</b>	<b>SX</b> <b>[MPa]</b>	<b>SY</b> <b>[MPa]</b>	<b>SZ</b> <b>[MPa]</b>	<b>EPTOZ</b> <b>[-]</b>	<b>SZ [MPa]</b> <b>(pl. Starin)</b>	<b>EPTOZ [-]</b> <b>(pl. Stress)</b>
0,00000	355,58000	374,75000	0,01054	0,00106	219,0990	0,001064
0,00612	356,01000	379,35000	-0,00875	0,00107	220,6080	0,001071
0,01223	356,44000	383,95000	-0,02803	0,00108	222,1170	0,001078
0,02013	357,62000	389,36000	-0,09356	0,00109	224,0940	0,001088
0,02804	358,80000	394,77000	-0,15908	0,00110	226,0710	0,001097
0,03824	361,17000	400,93000	-0,25068	0,00111	228,6300	0,001110
0,04844	363,53000	407,09000	-0,34228	0,00112	231,1860	0,001122
0,06162	367,55000	413,81000	-0,35592	0,00114	234,4080	0,001138
0,07480	371,57000	420,54000	-0,36956	0,00116	237,6330	0,001154
0,09182	377,55000	427,49000	-0,03127	0,00117	241,5120	0,001172
0,10884	383,54000	434,44000	0,30702	0,00119	245,3940	0,001191
0,13083	391,33000	441,15000	1,50870	0,00121	249,7440	0,001212
0,15281	399,12000	447,85000	2,71030	0,00122	254,0910	0,001233
0,18120	407,74000	453,76000	5,39110	0,00123	258,4500	0,001255
0,20959	416,36000	459,67000	8,07200	0,00124	262,8090	0,001276
0,24627	424,23000	464,33000	12,40500	0,00123	266,5680	0,001294
0,28294	432,09000	468,99000	16,73800	0,00123	270,3240	0,001312
0,33030	437,69000	472,10000	21,65500	0,00122	272,9370	0,001325
0,37766	443,28000	475,22000	26,57100	0,00121	275,5500	0,001338
0,43883	445,48000	476,44000	29,15700	0,00120	276,5760	0,001343
0,50000	447,69000	477,65000	31,74200	0,00119	277,6020	0,001348



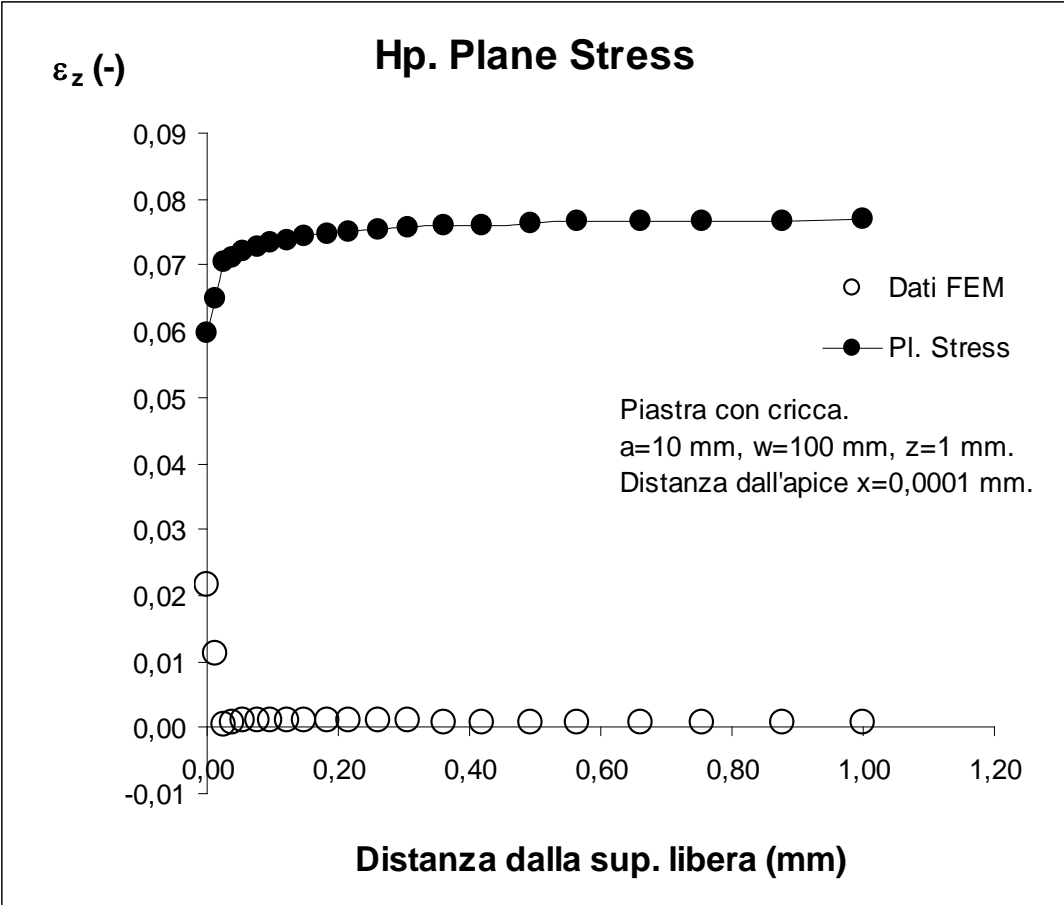
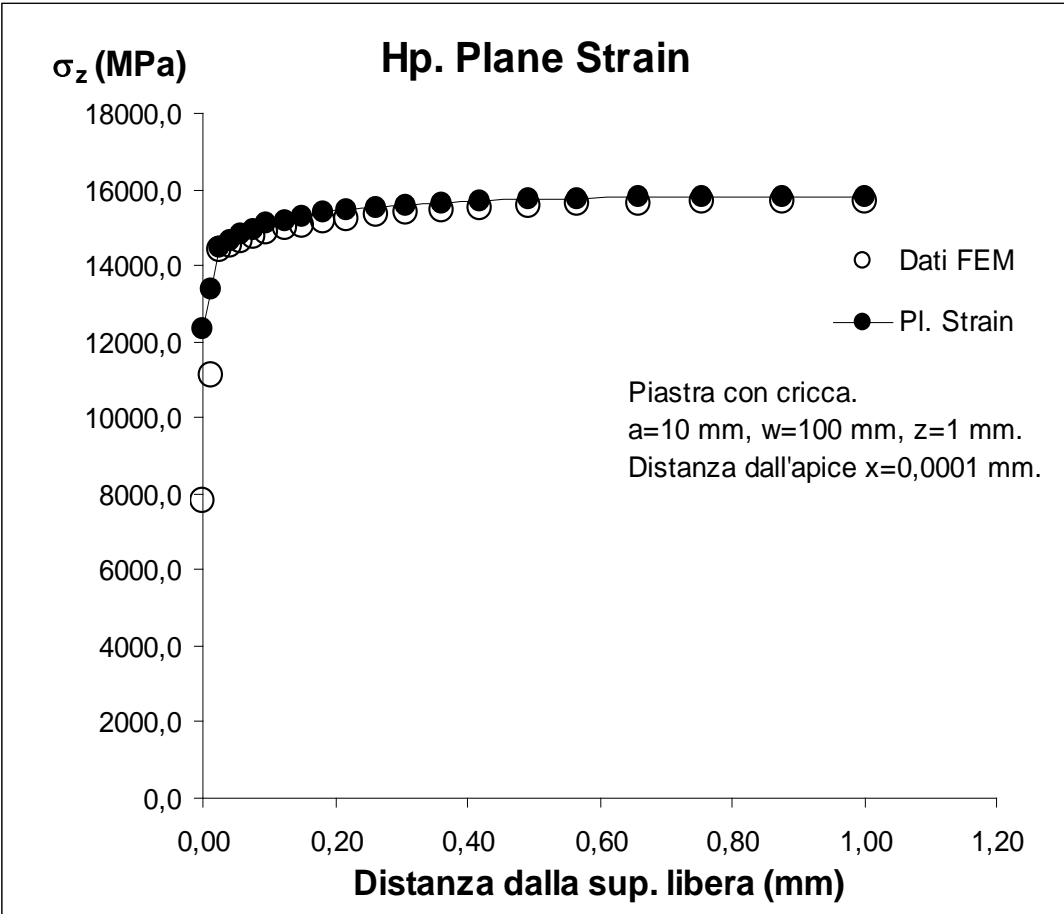
Dai risultati plottati, con distanza del path dall'apice della cricca pari a  $x=0.3$  mm, si può vedere che partendo a considerare la piastra dalla superficie libera si ha un andamento della tensione  $\sigma_z$  pari a 0, e ci si trova quindi in condizione di plane stress.

Man mano che ci si allontana dalla superficie libera il comportamento della piastra trovato in modo analitico non coincide con quello ricavato tramite FEM.

### 3.1.3. Spessore z=1 mm

Path con distanza x=0,0001 mm dall'apice di cricca.

<b>S [mm]</b>	<b>SX [MPa]</b>	<b>SY [MPa]</b>	<b>SZ [MPa]</b>	<b>EPTOZ [-]</b>	<b>SZ [MPa] (pl. Strain)</b>	<b>EPTOZ [-] (pl. Stress)</b>
0,00000	20634,0	20381,0	7842,1	0,02166	12304,50	0,05973
0,01223	22428,0	22215,0	11121,0	0,01103	13392,90	0,06501
0,02447	24222,0	24048,0	14400,0	0,00039	14481,00	0,07030
0,04027	24505,0	24327,0	14509,0	0,00068	14649,60	0,07111
0,05607	24789,0	24605,0	14618,0	0,00097	14818,20	0,07193
0,07648	25013,0	24825,0	14739,0	0,00103	14951,40	0,07258
0,09689	25238,0	25045,0	14861,0	0,00109	15084,90	0,07323
0,12324	25412,0	25216,0	14966,0	0,00108	15188,40	0,07373
0,14960	25586,0	25388,0	15071,0	0,00107	15292,20	0,07423
0,18364	25723,0	25524,0	15160,0	0,00104	15374,10	0,07463
0,21768	25861,0	25660,0	15248,0	0,00101	15456,30	0,07503
0,26165	25969,0	25767,0	15322,0	0,00097	15520,80	0,07534
0,30562	26078,0	25875,0	15395,0	0,00093	15585,90	0,07566
0,36240	26162,0	25959,0	15453,0	0,00089	15636,30	0,07590
0,41919	26247,0	26043,0	15512,0	0,00085	15687,00	0,07615
0,49253	26308,0	26105,0	15556,0	0,00081	15723,90	0,07633
0,56587	26370,0	26166,0	15601,0	0,00078	15760,80	0,07651
0,66060	26410,0	26206,0	15630,0	0,00075	15784,80	0,07663
0,75532	26450,0	26247,0	15660,0	0,00072	15809,10	0,07674
0,87766	26466,0	26262,0	15671,0	0,00071	15818,40	0,07679
1,00000	26482,0	26278,0	15683,0	0,00070	15828,00	0,07683



Dai risultati plottati con i dati del FEM e quelli ricavati analiticamente si può vedere che nell'ipotesi di plane strain, ovvero  $\varepsilon_z = 0$ , vi è un andamento molto simile della  $\sigma_z$  lungo lo spessore. L'andamento della  $\sigma_z$  è sempre più coincidente man mano che aumenta lo spessore della piastra.

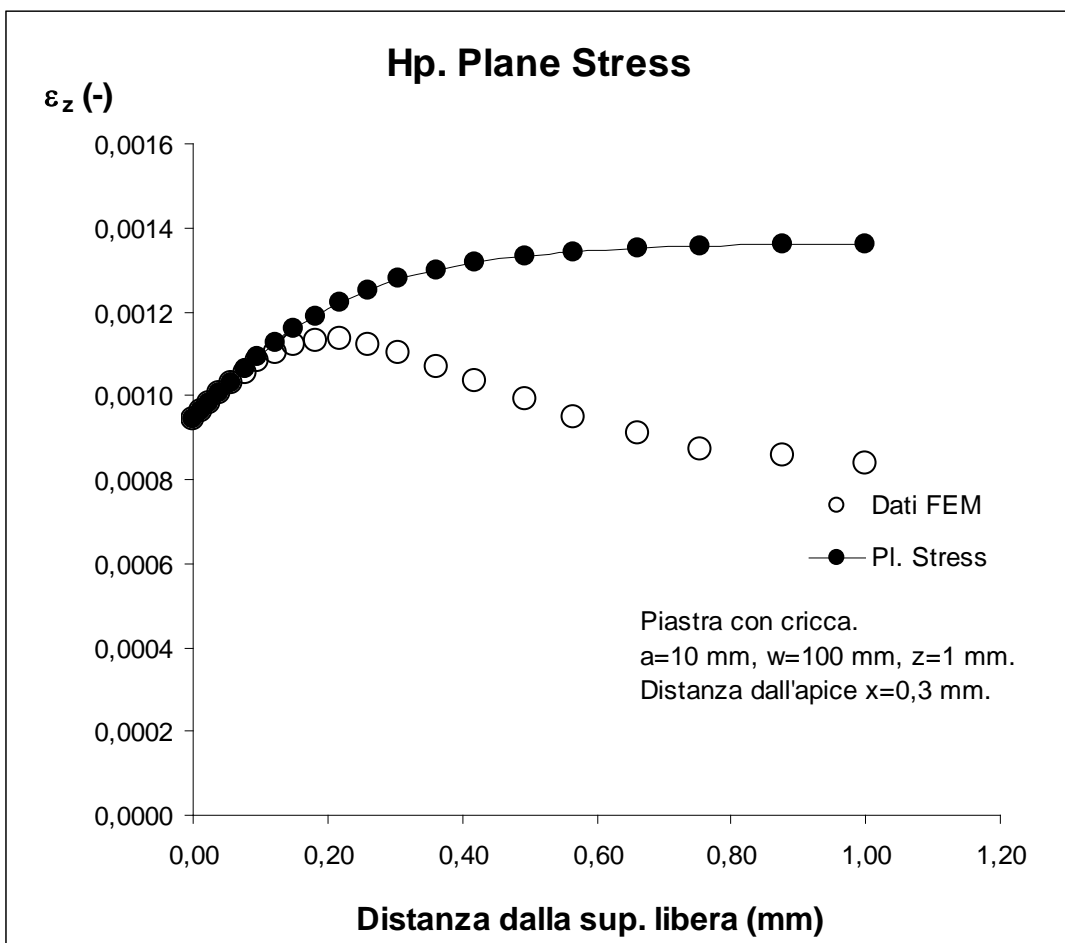
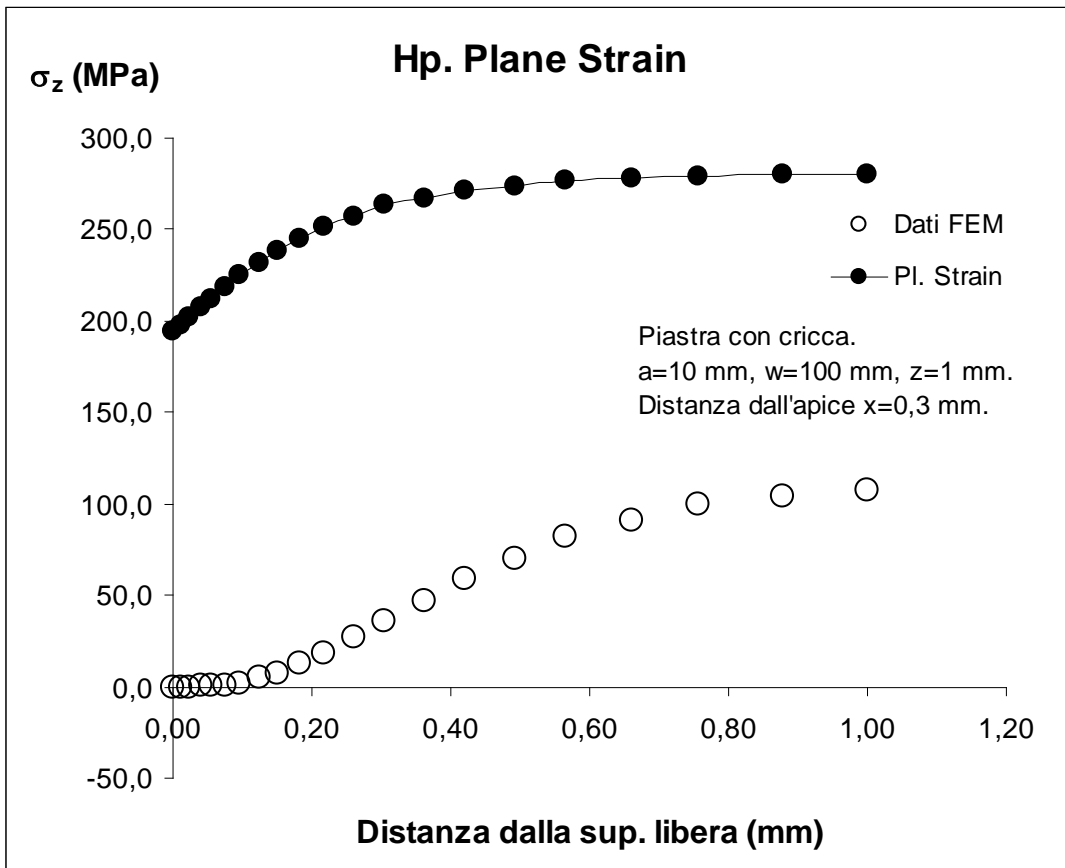
Si può anche notare che partendo dalla superficie libera della piastra e procedendo lungo lo spessore l'andamento della  $\varepsilon_z$  tende a un valore costante e diverso da zero, di conseguenza ci si trova in una condizione di plane strain generalizzato.

Questo è il motivo per cui l'andamento teorico di  $\sigma_z$  non è esattamente coincidente col FEM, anche se si può notare che vi è maggiore coincidenza rispetto ai casi con spessore inferiore visti in precedenza.

Path con distanza x=0,3 mm dall'apice di cricca.

<b>S [mm]</b>	<b>SX [MPa]</b>	<b>SY [MPa]</b>	<b>SZ [MPa]</b>	<b>EPTOZ [-]</b>	<b>SZ [MPa] (pl. Strain)</b>	<b>EPTOZ [-] (pl. Stress)</b>
0,00000	308,60000	338,27000	0,00094	0,00094	194,06100	0,00094
0,01223	311,82000	348,58000	-0,00044	0,00096	198,12000	0,00096
0,02447	315,03000	358,89000	-0,00182	0,00098	202,17600	0,00098
0,04027	321,01000	370,01000	0,15189	0,00101	207,30600	0,00101
0,05607	326,98000	381,14000	0,30559	0,00103	212,43600	0,00103
0,07648	336,24000	392,44000	1,13880	0,00106	218,60400	0,00106
0,09689	345,50000	403,74000	1,97210	0,00108	224,77200	0,00109
0,12324	357,58000	414,41000	4,50680	0,00110	231,59700	0,00112
0,14960	369,66000	425,08000	7,04160	0,00112	238,42200	0,00116
0,18364	382,70000	434,35000	12,53600	0,00113	245,11500	0,00119
0,21768	395,74000	443,63000	18,03000	0,00113	251,81100	0,00122
0,26165	407,21000	451,04000	27,00600	0,00112	257,47500	0,00125
0,30562	418,68000	458,45000	35,98100	0,00110	263,13900	0,00128
0,36240	426,96000	463,94000	47,35000	0,00107	267,27000	0,00130
0,41919	435,25000	469,43000	58,71900	0,00103	271,40400	0,00132
0,49253	440,29000	473,18000	70,18100	0,00099	274,04100	0,00133
0,56587	445,33000	476,94000	81,64200	0,00095	276,68100	0,00134
0,66060	447,91000	479,23000	90,71500	0,00091	278,14200	0,00135
0,75532	450,49000	481,51000	99,78700	0,00087	279,60000	0,00136
0,87766	451,33000	482,36000	103,69000	0,00086	280,10700	0,00136
1,00000	452,17000	483,21000	107,60000	0,00084	280,61400	0,00136





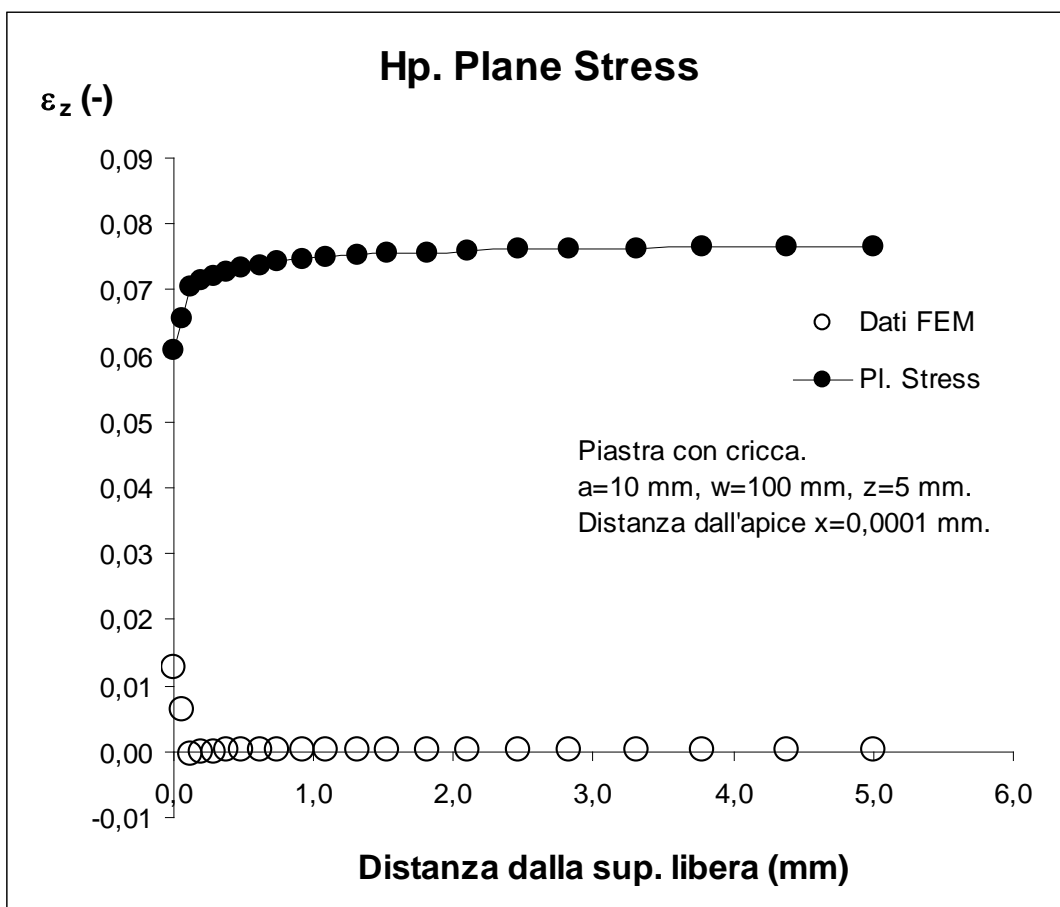
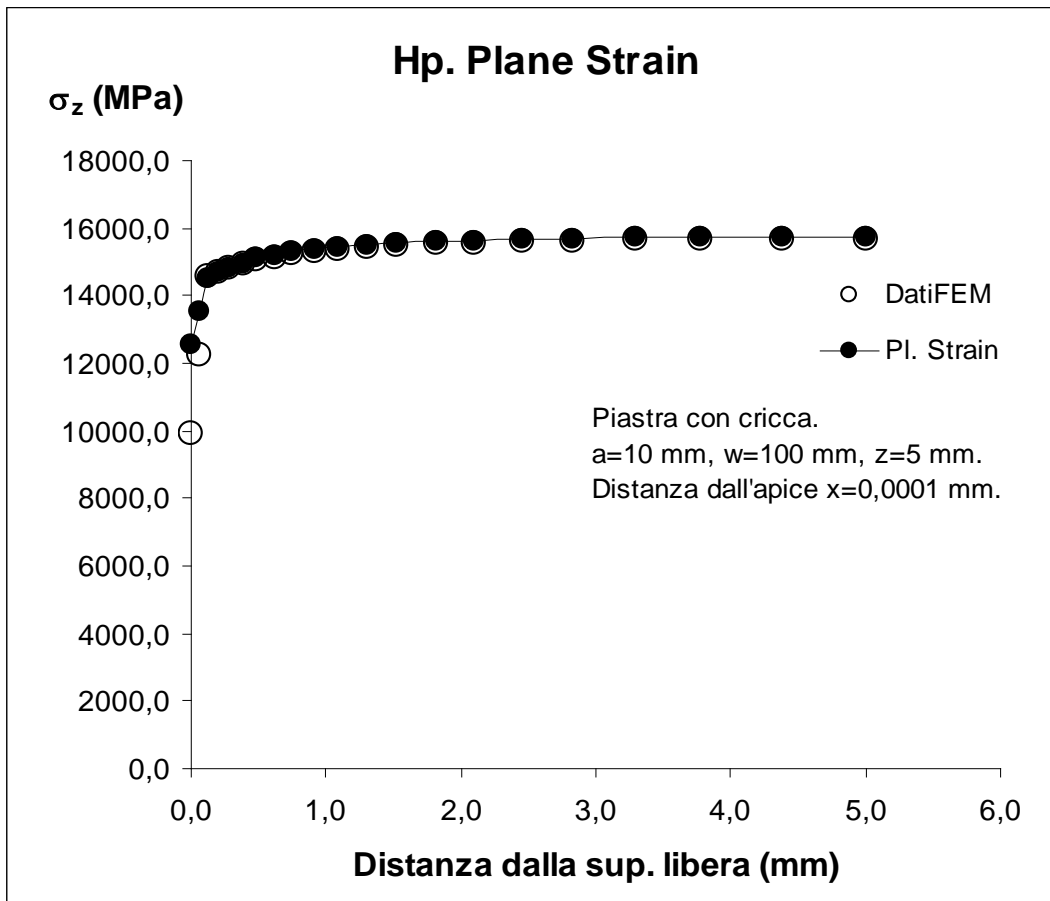
Dai risultati plottati, con distanza del path dall'apice della cricca pari a  $x=0.3$  mm, si può vedere che partendo a considerare la piastra dalla superficie libera si ha un andamento della tensione pari a 0, e ci si trova quindi in condizione di plane stress.

Man mano che ci si allontana dalla superficie libera il comportamento della piastra trovato in modo analitico non coincide con quello ricavato tramite FEM.

### 3.1.4. Spessore z=5 mm

Path con distanza x=0,0001 mm dall'apice di cricca.

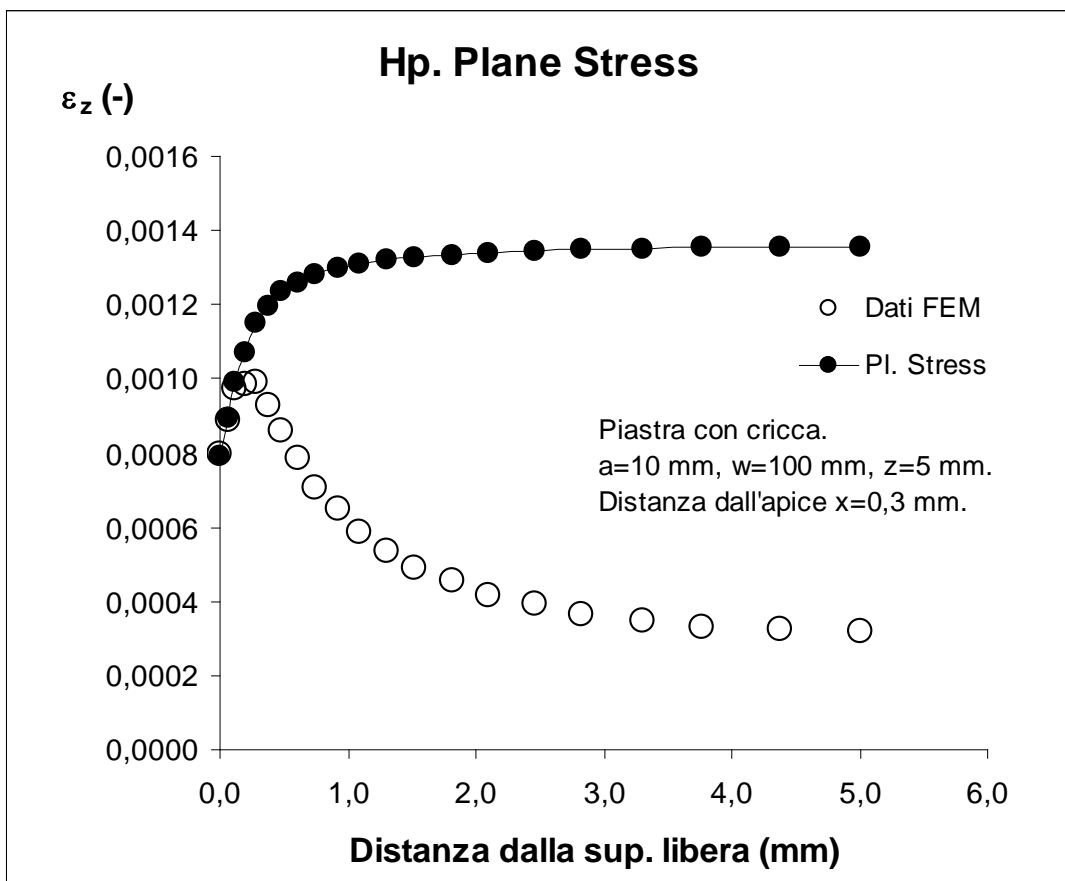
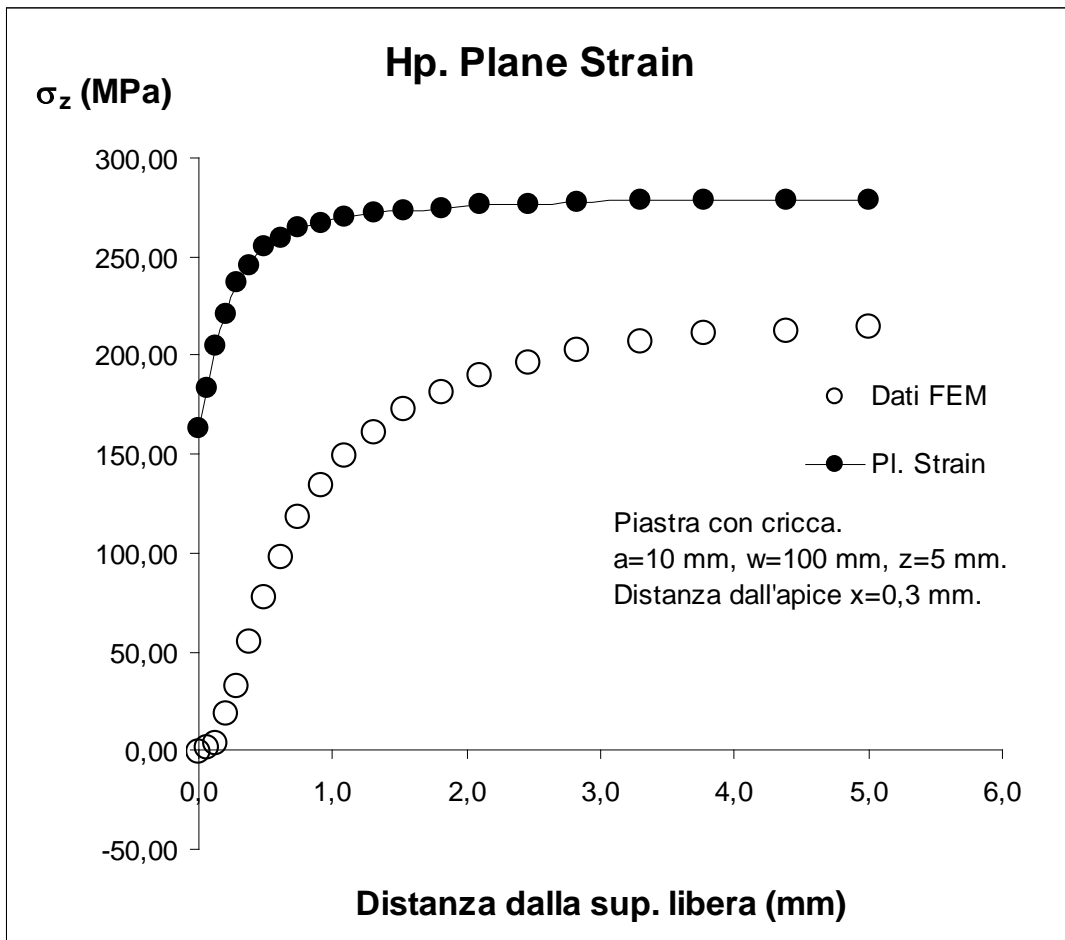
<b>S</b> <b>[mm]</b>	<b>SX</b> <b>[MPa]</b>	<b>SY</b> <b>[MPa]</b>	<b>SZ</b> <b>[MPa]</b>	<b>EPTOZ</b> <b>[-]</b>	<b>SZ [MPa]</b> <b>(pl. Strain)</b>	<b>EPTOZ [-]</b> <b>(pl. Stress)</b>
0,00000	21057,0	20792,0	9900,8	0,01288	12554,7	0,06095
0,06117	22666,0	22453,0	12248,0	0,00625	13535,7	0,06571
0,12234	24274,0	24114,0	14595,0	0,00038	14516,4	0,07047
0,20134	24549,0	24383,0	14710,0	0,00015	14679,6	0,07126
0,28035	24823,0	24652,0	14824,0	0,00009	14842,5	0,07205
0,38239	25036,0	24860,0	14932,0	0,00018	14968,8	0,07266
0,48443	25248,0	25067,0	15039,0	0,00027	15094,5	0,07327
0,61621	25409,0	25225,0	15127,0	0,00030	15190,2	0,07374
0,74800	25569,0	25383,0	15216,0	0,00034	15285,6	0,07420
0,91821	25694,0	25506,0	15288,0	0,00035	15360,0	0,07456
1,08840	25818,0	25629,0	15360,0	0,00036	15434,1	0,07492
1,30830	25915,0	25724,0	15418,0	0,00036	15491,7	0,07520
1,52810	26012,0	25820,0	15477,0	0,00035	15549,6	0,07548
1,81200	26086,0	25893,0	15523,0	0,00034	15593,7	0,07570
2,09590	26159,0	25966,0	15569,0	0,00034	15637,5	0,07591
2,46270	26213,0	26020,0	15603,0	0,00032	15669,9	0,07607
2,82940	26267,0	26074,0	15638,0	0,00031	15702,3	0,07622
3,30300	26302,0	26109,0	15660,0	0,00031	15723,3	0,07633
3,77660	26338,0	26143,0	15683,0	0,00030	15744,3	0,07643
4,38830	26351,0	26157,0	15692,0	0,00029	15752,4	0,07647
5,00000	26365,0	26171,0	15701,0	0,00029	15760,8	0,07651



Dai risultati plottati con i dati del FEM e quelli ricavati analiticamente si può vedere che nell'ipotesi di plane strain, ovvero  $\varepsilon_z = 0$ , vi è un andamento molto simile, in certi punti coincidente, della  $\sigma_z$  lungo lo spessore a partire dalla superficie libera della piastra. Analizzando questo spessore,  $z=5$  mm, che è la piastra con lo spessore maggiore, il comportamento è di plane strain che tende a plane strain generalizzato, in quanto la  $\varepsilon_z$  tende ad un valore costante e diverso da zero.

Path con distanza x=0,3 mm dall'apice di cricca.

<b>S [mm]</b>	<b>SX [MPa]</b>	<b>SY [MPa]</b>	<b>SZ [MPa]</b>	<b>EPTOZ [-]</b>	<b>SZ [MPa] (pl. Strain)</b>	<b>EPTOZ [-] (pl. Stress)</b>
0,00000	247,16	296,83	-1,05	0,00080	163,19700	0,00079
0,06117	275,91	336,72	1,24	0,00089	183,78900	0,00089
0,12234	304,66	376,61	3,53	0,00098	204,38100	0,00099
0,20134	336,98	398,70	18,08	0,00098	220,70400	0,00107
0,28035	369,30	420,79	32,64	0,00099	237,02700	0,00115
0,38239	386,64	432,88	55,16	0,00093	245,85600	0,00119
0,48443	403,98	444,97	77,69	0,00086	254,68500	0,00124
0,61621	412,43	452,29	97,91	0,00078	259,41600	0,00126
0,74800	420,88	459,61	118,13	0,00071	264,14700	0,00128
0,91821	425,58	464,44	133,74	0,00065	267,00600	0,00130
1,08840	430,28	469,27	149,35	0,00059	269,86500	0,00131
1,30830	433,14	472,59	161,03	0,00054	271,71900	0,00132
1,52810	436,01	475,92	172,71	0,00049	273,57900	0,00133
1,81200	437,83	478,24	181,37	0,00045	274,82100	0,00133
2,09590	439,65	480,55	190,03	0,00042	276,06000	0,00134
2,46270	440,78	482,12	196,27	0,00039	276,87000	0,00134
2,82940	441,92	483,69	202,52	0,00036	277,68300	0,00135
3,30300	442,57	484,66	206,60	0,00035	278,16900	0,00135
3,77660	443,22	485,63	210,69	0,00033	278,65500	0,00135
4,38830	443,45	486,00	212,30	0,00032	278,83500	0,00135
5,00000	443,69	486,36	213,92	0,00032	279,01500	0,00135



Dai risultati plottati, con distanza del path dall'apice della cricca pari a  $x=0.3$  mm, si può vedere che partendo a considerare la piastra dalla superficie libera si ha un andamento della tensione pari a 0, e ci si trova quindi in condizione di plane stress.

Man mano che ci si allontana dalla superficie libera il comportamento della piastra trovato in modo analitico non coincide con quello ricavato tramite FEM.

### 3.1.5. Considerazioni

Al variare dello spessore della piastra, partendo a considerare lo spessore dalla superficie libera il comportamento del modello è plane strain, che tende a plane strain generalizzato per spessori via via maggiori.

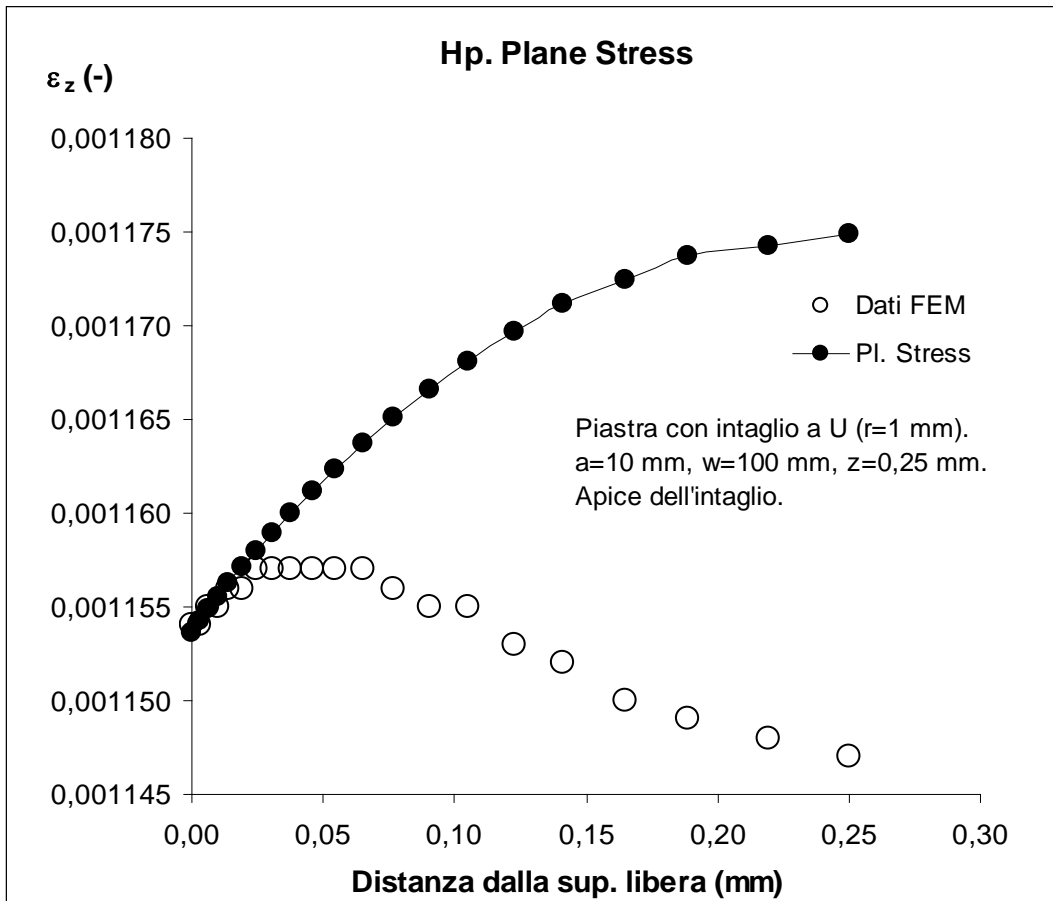
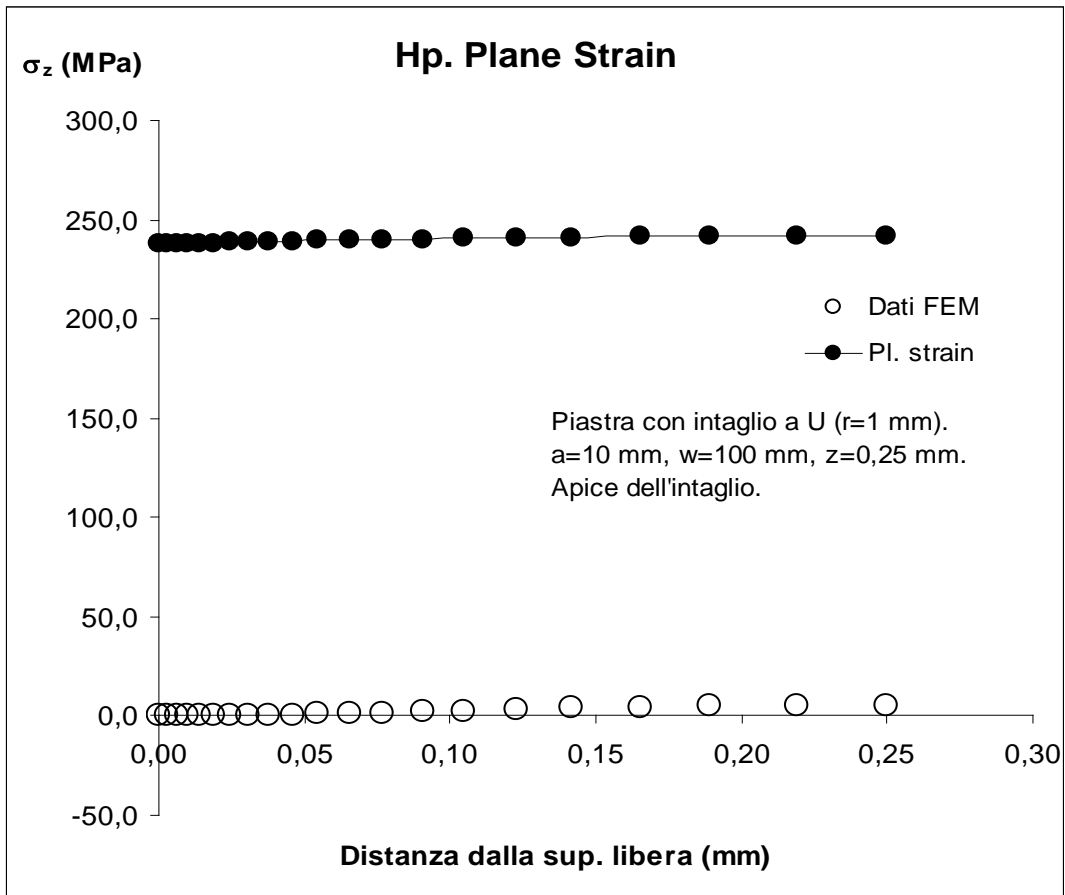
Inoltre se si parte a considerare l'apice di cricca, si ha comportamento a plane strain nelle immediate vicinanze dell'apice e allontanandosi progressivamente da questo, la condizione della piastra diventa a plane stress.



## 3.2. Piastra con intaglio a U

### 3.2.1. Spessore z=0.25 mm

S [mm]	SX [MPa]	SY [MPa]	SZ [MPa]	EPTOZ [-]	SZ [MPa] (pl. strain)	EPTOZ [-] (pl. stress)
0	0,61421	791,5300	-0,00267	0,0011540	237,64326	0,001154
0,00306	0,65151	791,9200	0,00456	0,0011540	237,77145	0,001154
0,00612	0,68881	792,3100	0,01179	0,0011550	237,89964	0,001155
0,01007	0,69657	792,7800	0,04357	0,0011550	238,04297	0,001156
0,01402	0,70432	793,2400	0,07536	0,0011560	238,18330	0,001156
0,01912	0,71369	793,8200	0,15474	0,0011560	238,36011	0,001157
0,02422	0,72306	794,3900	0,23413	0,0011570	238,53392	0,001158
0,03081	0,73147	795,0800	0,38580	0,0011570	238,74344	0,001159
0,03740	0,73989	795,7700	0,53746	0,0011570	238,95297	0,001160
0,04591	0,74884	796,5900	0,79055	0,0011570	239,20165	0,001161
0,05442	0,75779	797,4000	1,04360	0,0011570	239,44734	0,001162
0,06541	0,76778	798,3400	1,42160	0,0011570	239,73233	0,001164
0,07640	0,77778	799,2700	1,79960	0,0011560	240,01433	0,001165
0,09060	0,78772	800,2900	2,30560	0,0011550	240,32332	0,001167
0,10480	0,79765	801,3100	2,81160	0,0011550	240,63230	0,001168
0,12313	0,80634	802,3400	3,40550	0,0011530	240,94390	0,001170
0,14147	0,81503	803,3600	3,99940	0,0011520	241,25251	0,001171
0,16515	0,82053	804,2400	4,56370	0,0011500	241,51816	0,001172
0,18883	0,82602	805,1100	5,12800	0,0011490	241,78081	0,001174
0,21941	0,82781	805,5100	5,40420	0,0011480	241,90134	0,001174
0,25000	0,82959	805,9100	5,68040	0,0011470	242,02188	0,001175

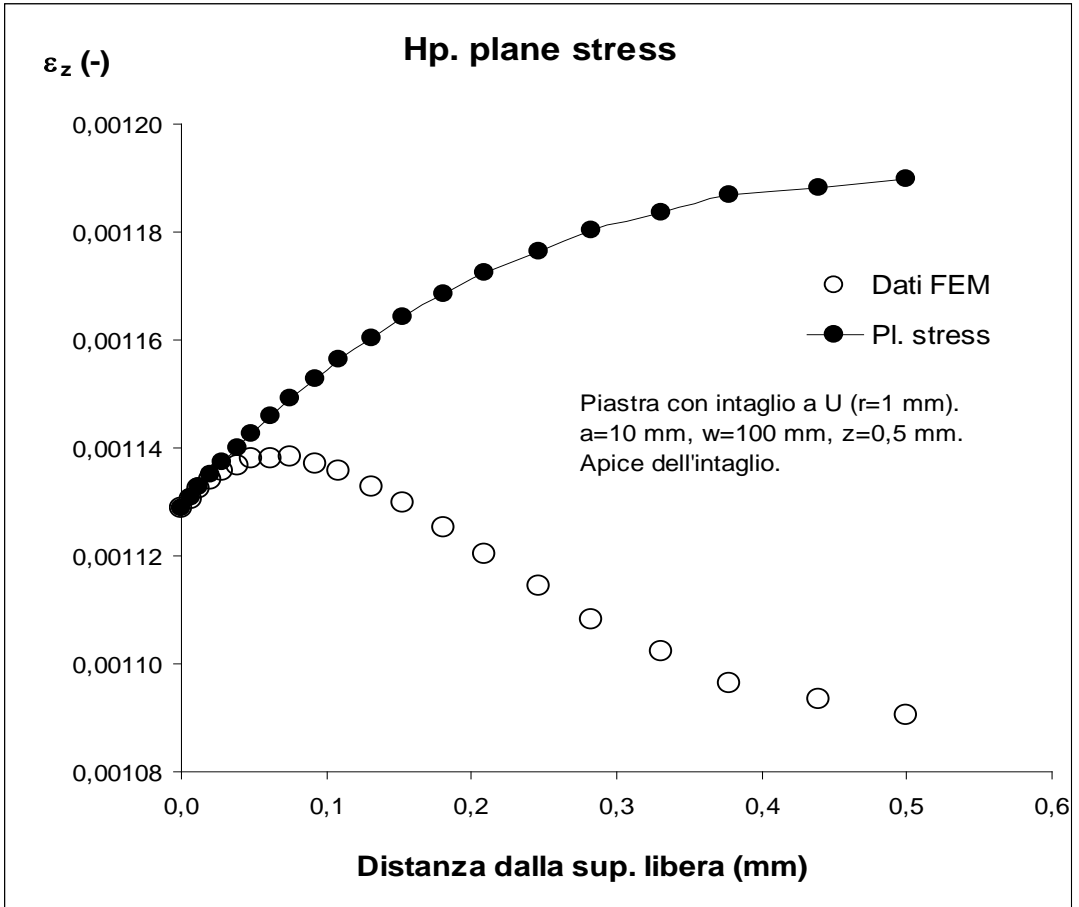
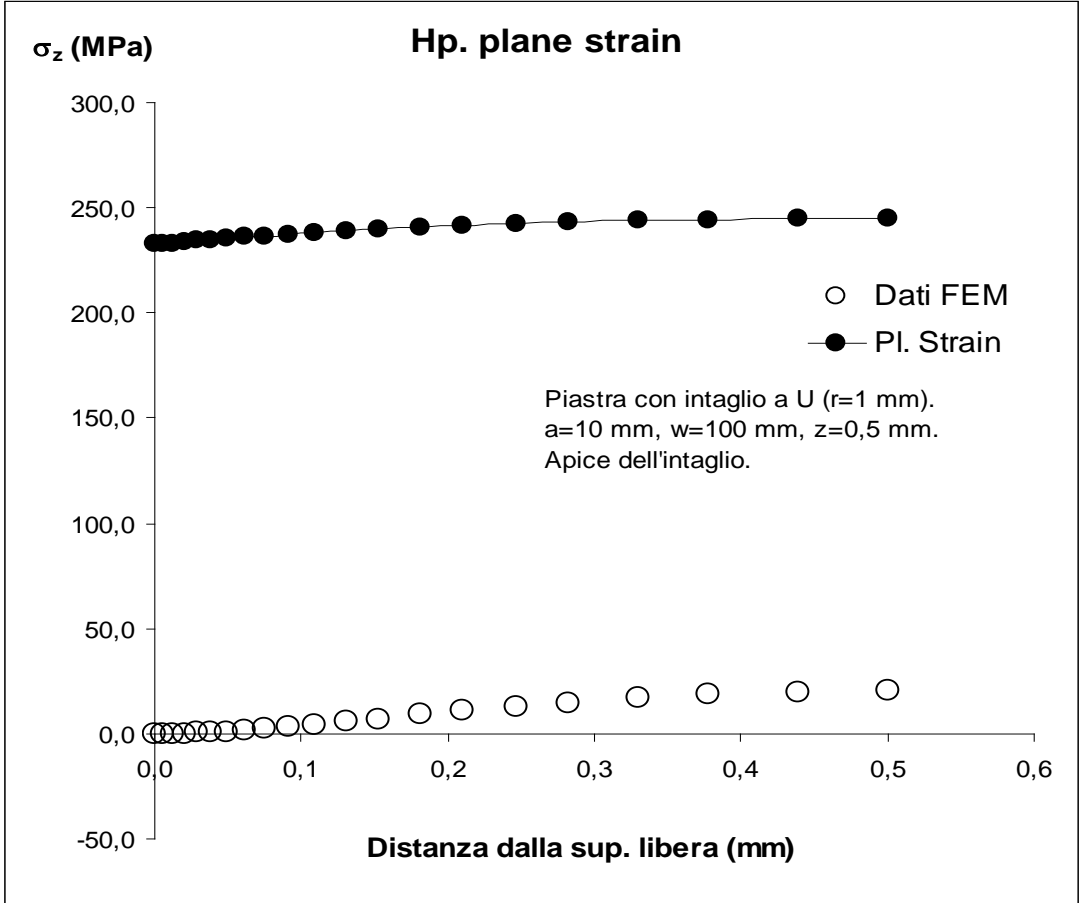


Analizzando i grafici precedenti si può notare che partendo a considerare la piastra dalla superficie libera si ha un comportamento a plane stress, in quanto nel primo grafico si può notare che la piastra ha una  $\sigma_z$  pari a 0.

Man mano si aumenta il valore dello spessore la  $\sigma_z$  aumenta leggermente di valore, ma mantenendosi sempre con valori prossimi allo 0.

### 3.2.2. Spessore z=0.5 mm

<b>S [mm]</b>	<b>SX [MPa]</b>	<b>SY [MPa]</b>	<b>SZ [MPa]</b>	<b>EPTOZ [-]</b>	<b>SZ [MPa] (pl. Strain)</b>	<b>EPTOZ [-] (pl. Stress)</b>
0,00000	0,62690	774,41000	-0,01272	0,00113	232,51107	0,00113
0,00612	0,66349	775,73000	0,01669	0,00113	232,91805	0,00113
0,01223	0,70008	777,06000	0,04610	0,00113	233,32802	0,00113
0,02013	0,70559	778,64000	0,18692	0,00113	233,80368	0,00113
0,02804	0,71109	780,21000	0,32775	0,00114	234,27633	0,00114
0,03824	0,71892	782,08000	0,66364	0,00114	234,83968	0,00114
0,04844	0,72675	783,94000	0,99953	0,00114	235,40003	0,00114
0,06162	0,73561	786,12000	1,62420	0,00114	236,05668	0,00115
0,07480	0,74448	788,29000	2,24890	0,00114	236,71034	0,00115
0,09182	0,75567	790,77000	3,24950	0,00114	237,45770	0,00115
0,10884	0,76686	793,25000	4,25010	0,00114	238,20506	0,00116
0,13083	0,77796	795,97000	5,67610	0,00113	239,02439	0,00116
0,15281	0,78906	798,68000	7,10210	0,00113	239,84072	0,00116
0,18120	0,79813	801,51000	8,92480	0,00113	240,69244	0,00117
0,20959	0,80721	804,34000	10,74800	0,00112	241,54416	0,00117
0,24627	0,81394	807,05000	12,80000	0,00111	242,35918	0,00118
0,28294	0,82068	809,75000	14,85300	0,00111	243,17120	0,00118
0,33030	0,82353	811,95000	16,73900	0,00110	243,83206	0,00118
0,37766	0,82639	814,15000	18,62600	0,00110	244,49292	0,00119
0,43883	0,82697	815,13000	19,53100	0,00109	244,78709	0,00119
0,50000	0,82756	816,11000	20,43700	0,00109	245,08127	0,00119

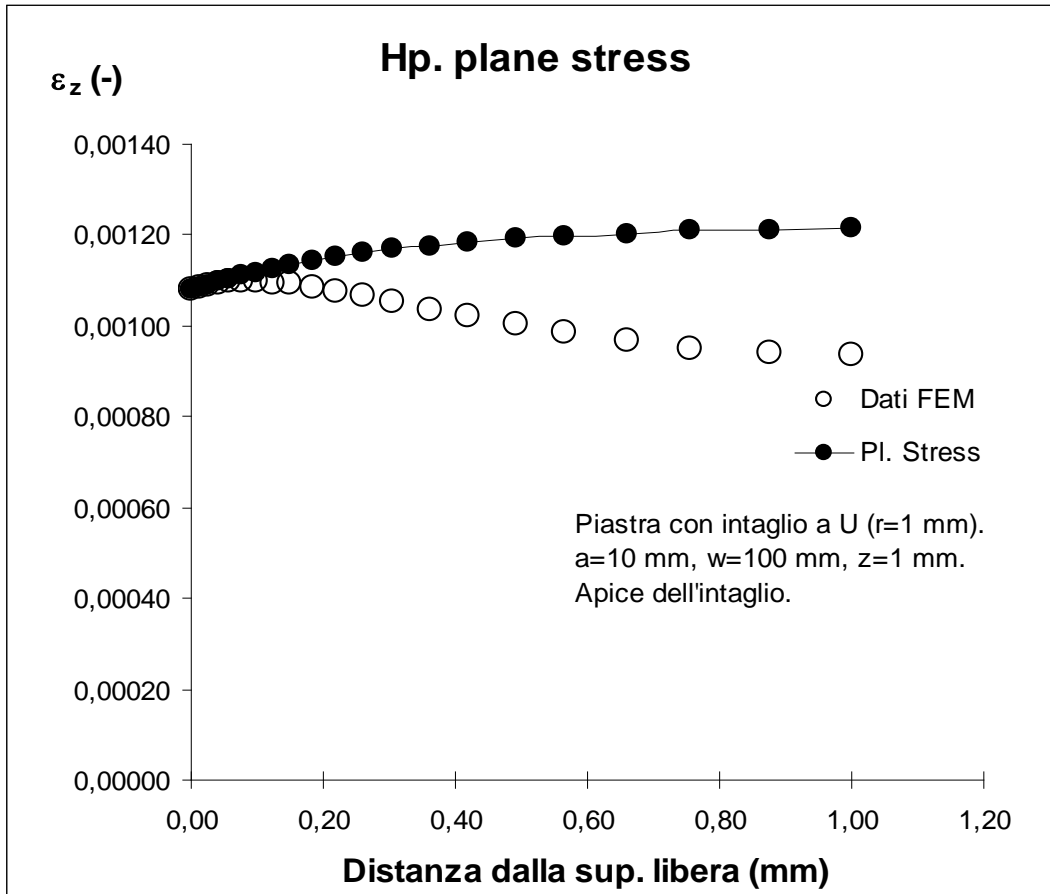
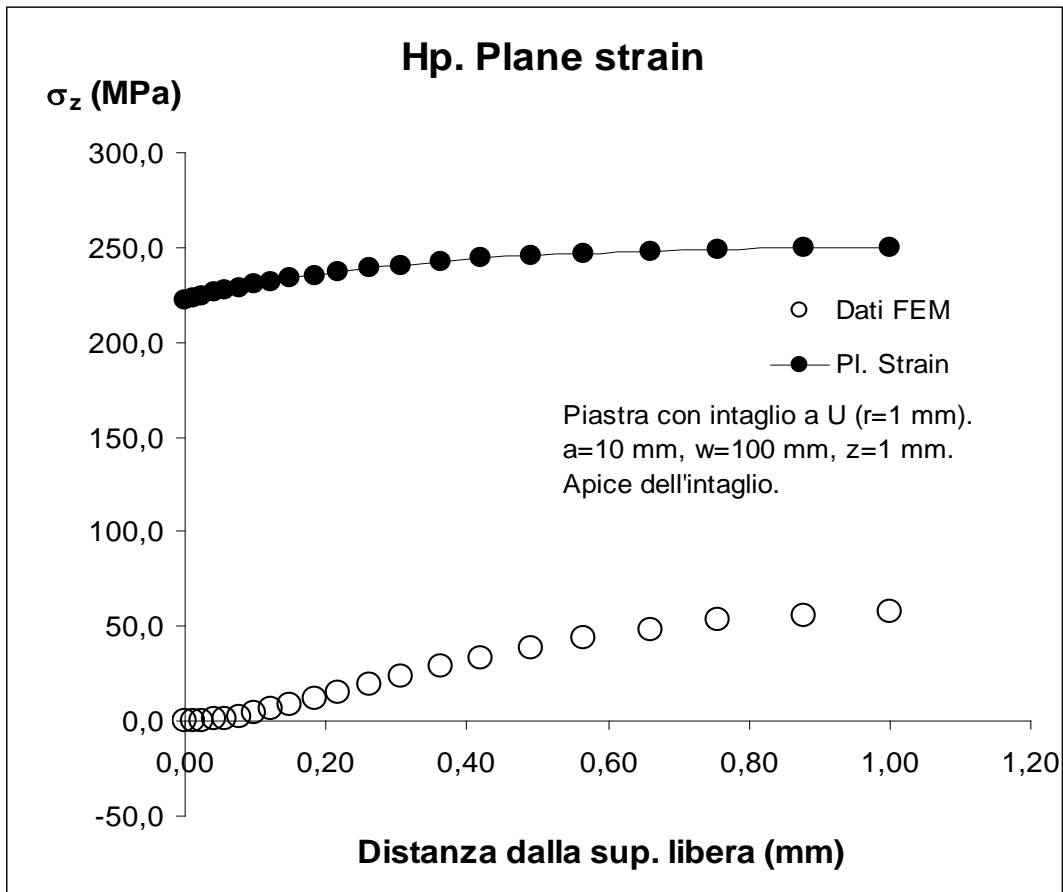


Analizzando i grafici precedenti si può notare che partendo a considerare la piastra dalla superficie libera si ha un comportamento a plane stress, in quanto nel primo grafico si può notare che la piastra ha una  $\sigma_z$  pari circa a 0.

Man mano si aumenta il valore dello spessore la  $\sigma_z$  aumenta leggermente di valore e tende a uniformarsi con valori costanti.

### 3.2.3. Spessore z=1 mm

<b>S [mm]</b>	<b>SX [MPa]</b>	<b>SY [MPa]</b>	<b>SZ [MPa]</b>	<b>EPTOZ [-]</b>	<b>SZ [MPa] (pl. Strain)</b>	<b>EPTOZ [-] (pl. Stress)</b>
0,00000	0,66992	740,30000	-0,05845	0,00108	222,29098	0,00108
0,01223	0,70203	744,26000	0,09149	0,00108	223,48861	0,00108
0,02447	0,73415	748,22000	0,24142	0,00109	224,68625	0,00109
0,04027	0,73333	752,69000	0,86217	0,00109	226,02700	0,00110
0,05607	0,73252	757,16000	1,48290	0,00110	227,36776	0,00110
0,07648	0,74067	762,18000	2,81880	0,00110	228,87620	0,00111
0,09689	0,74882	767,19000	4,15480	0,00110	230,38165	0,00112
0,12324	0,75928	772,70000	6,39720	0,00110	232,03778	0,00113
0,14960	0,76973	778,20000	8,63960	0,00109	233,69092	0,00113
0,18364	0,77996	784,01000	11,89600	0,00109	235,43699	0,00114
0,21768	0,79018	789,83000	15,15300	0,00108	237,18605	0,00115
0,26165	0,79783	795,70000	19,40000	0,00107	238,94935	0,00116
0,30562	0,80547	801,57000	23,64700	0,00105	240,71264	0,00117
0,36240	0,81017	807,14000	28,65600	0,00104	242,38505	0,00118
0,41919	0,81486	812,71000	33,66500	0,00102	244,05746	0,00118
0,49253	0,81795	817,54000	38,91100	0,00100	245,50739	0,00119
0,56587	0,82104	822,37000	44,15600	0,00098	246,95731	0,00120
0,66060	0,82181	825,96000	48,68900	0,00097	248,03454	0,00120
0,75532	0,82259	829,54000	53,22300	0,00095	249,10878	0,00121
0,87766	0,82259	831,05000	55,31800	0,00094	249,56178	0,00121
1,00000	0,82260	832,55000	57,41300	0,00093	250,01178	0,00121





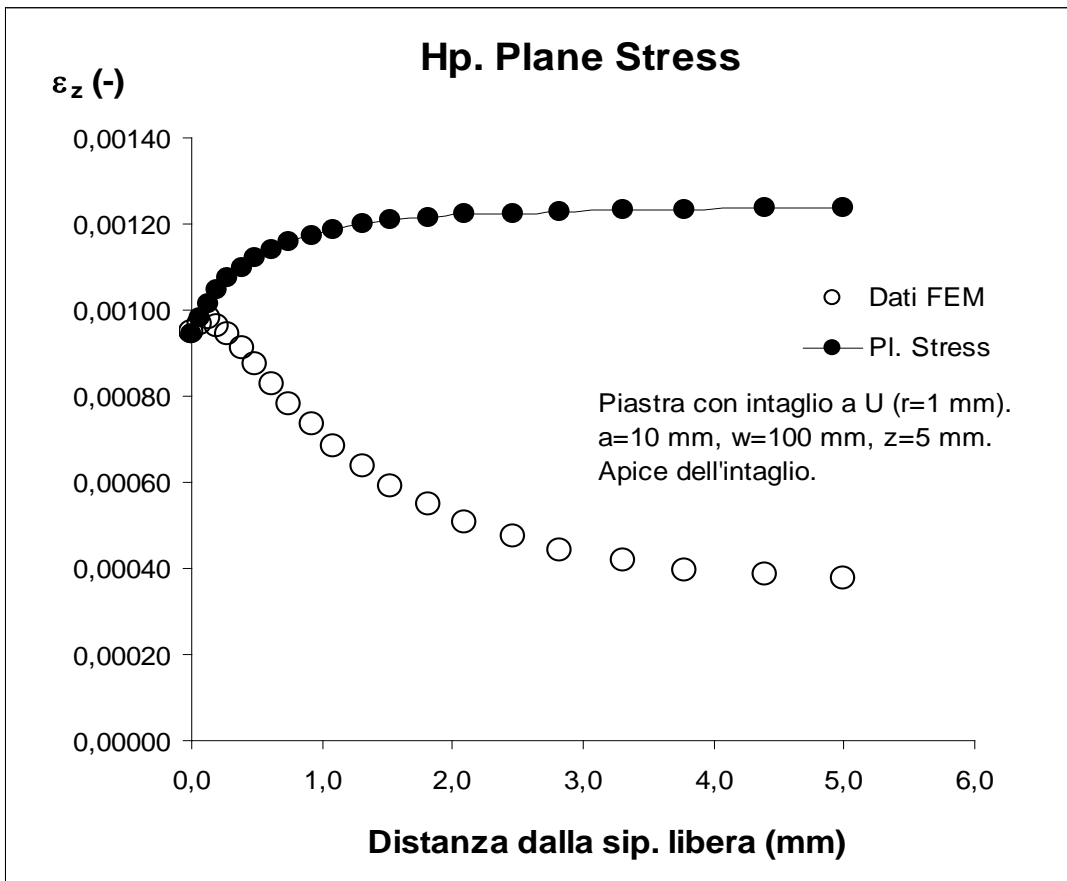
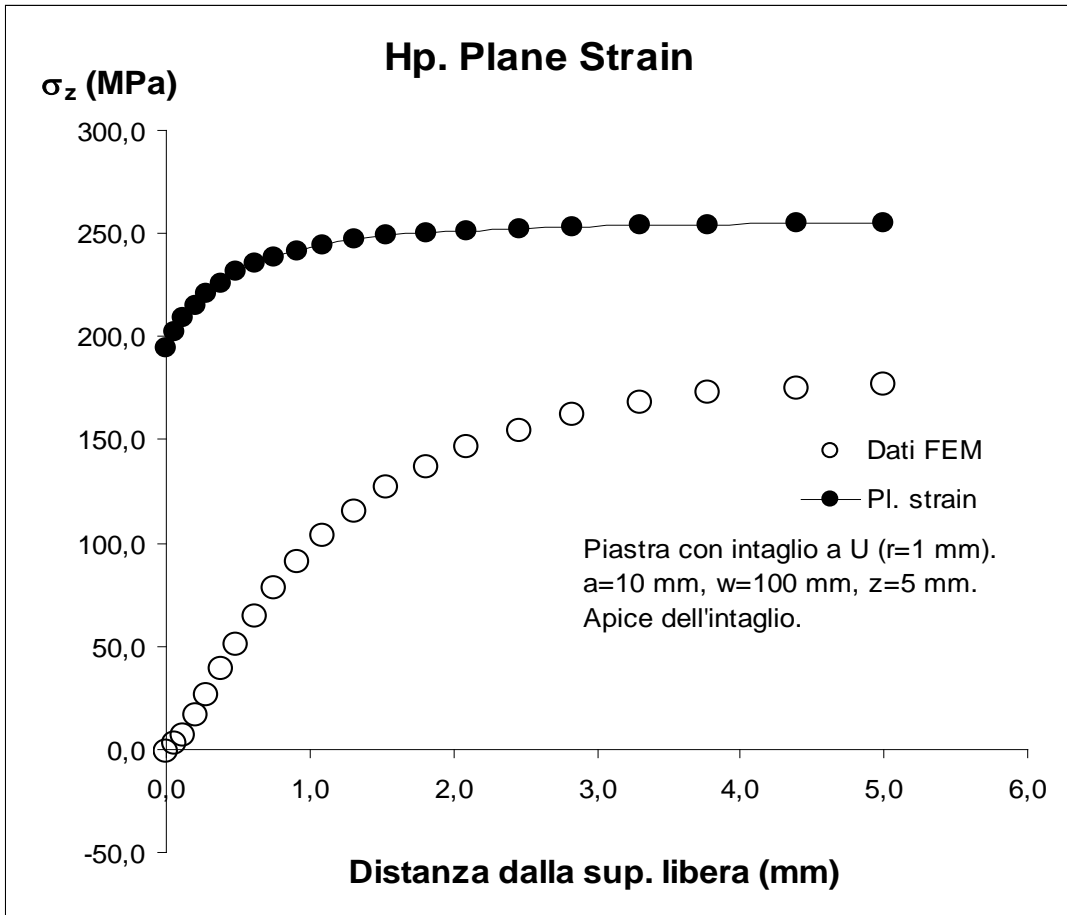
Analizzando i grafici precedenti si può notare che partendo a considerare la piastra dalla superficie libera si ha un comportamento a plane stress, in quanto nel primo grafico si può notare che la piastra ha una  $\sigma_z$  pari a 0.

Man mano si aumenta il valore dello spessore la  $\sigma_z$  aumenta leggermente di valore.

Si può anche notare che aumentando lo spessore vi è un progressivo innalzamento dei valori del FEM che si avvicinano sempre più ai valori teorici.

### 3.2.4. Spessore z=5 mm

<b>S [mm]</b>	<b>SX [MPa]</b>	<b>SY [MPa]</b>	<b>SZ [MPa]</b>	<b>EPTOZ [-]</b>	<b>SZ [MPa] (pl. Strain)</b>	<b>EPTOZ [-] (pl. Stress)</b>
0,00000	0,67383	648,05000	-1,07110	0,00095	194,61715	0,00094
0,06117	0,71717	672,14000	2,95030	0,00097	201,85715	0,00098
0,12234	0,76050	696,24000	6,97160	0,00098	209,10015	0,00102
0,20134	0,77633	716,40000	16,61200	0,00096	215,15290	0,00104
0,28035	0,79215	736,55000	26,25300	0,00095	221,20265	0,00107
0,38239	0,79500	753,08000	38,63700	0,00091	226,16250	0,00110
0,48443	0,79785	769,61000	51,02000	0,00087	231,12236	0,00112
0,61621	0,80266	782,54000	64,38400	0,00083	235,00280	0,00114
0,74800	0,80747	795,47000	77,74700	0,00078	238,88324	0,00116
0,91821	0,80961	805,11000	90,75600	0,00073	241,77588	0,00117
1,08840	0,81175	814,75000	103,76000	0,00068	244,66853	0,00119
1,30830	0,81377	821,60000	115,48000	0,00064	246,72413	0,00120
1,52810	0,81578	828,46000	127,20000	0,00059	248,78273	0,00121
1,81200	0,81730	833,11000	137,05000	0,00055	250,17819	0,00121
2,09590	0,81883	837,76000	146,91000	0,00051	251,57365	0,00122
2,46270	0,82007	840,73000	154,59000	0,00048	252,46502	0,00123
2,82940	0,82131	843,71000	162,28000	0,00044	253,35939	0,00123
3,30300	0,82203	845,42000	167,53000	0,00042	253,87261	0,00123
3,77660	0,82275	847,13000	172,78000	0,00040	254,38583	0,00123
4,38830	0,82295	847,74000	174,89000	0,00039	254,56889	0,00124
5,00000	0,82314	848,36000	177,01000	0,00038	254,75494	0,00124



Analizzando i grafici precedenti si può notare che partendo a considerare la piastra dalla superficie libera si ha un comportamento a plane stress, in quanto nel primo grafico si può notare che la piastra ha una  $\sigma_z$  pari a 0.

Man mano che si aumenta il valore dello spessore la  $\sigma_z$  aumenta di valore e tende a portarsi a una condizione con  $\sigma_z = \text{cost.}$

### 3.2.5. Considerazioni

Partendo a considerare la piastra dalla superficie libera, inizialmente con lo spessore  $z=0,25$  mm si ha una condizione di plane stress. Mano a mano che si aumenta lo spessore il comportamento tensionale diviene di plane strain (in quanto i dati del FEM tendono sempre di più ad avvicinarsi ai dati teorici). Inoltre nella piastra con spessore maggiore,  $z=5$  mm, si può vedere che si tende ad una condizione di plane strain generalizzato in quanto il valore della  $\varepsilon_z$  tende a uniformarsi diventando costante e diverso da zero.

# Conclusioni

Con l'ausilio del programma Ansys sono stati creati 4 modelli di piastra con intaglio a U e 4 modelli di piastra con cricca sottoposti a una sollecitazione di trazione con tensione nominale pari a 100 MPa.

Per ogni modello è stato calcolato in modo analitico la  $\varepsilon_z$  e la  $\sigma_z$ , le quali definiscono lo stato tensionale all'apice della cricca e dell'intaglio a U.

Dai grafici plottati si è in seguito analizzato l'andamento delle tensioni e si è definito il comportamento della piastra.

## **Piastra con cricca**

In questa piastra partendo a considerare dalla superficie libera si ha un iniziale comportamento a plane strain che tende a plane strain generalizzato man mano che si aumenta lo spessore. Mentre se ci si allontana dall'apice di cricca il comportamento diventa a plane stress.

## **Piastra con intaglio a U**

Considerando questa piastra l'andamento delle tensioni, partendo a considerare dalla superficie libera è a plane stress. Man mano che si aumenta lo spessore della piastra il comportamento delle tensioni diventa a plane strain e in particolare nella piastra con spessore  $z=5$  mm si ha comportamento di plane strain generalizzato.



## **Bibliografia**

“Lezioni ed esercizi di Costruzione di Macchine e Laboratorio”, di M. Quaresimin  
e M. Zappalorto





# Ringraziamenti

*Vorrei ringraziare il Professor Quaresimin per avermi permesso di realizzare questa  
tesi sotto la Sua supervisione.*

*Un sincero grazie all'ingegner Zappalorto e all'ingegner Carraro per la grande  
disponibilità dimostratami durante la stesura della tesi.*

*Un grande ringraziamento va alla mia famiglia che mi ha dato la possibilità  
di poter studiare e mi ha sostenuto durante questo percorso.*