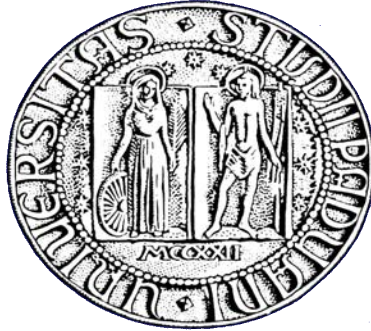


UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica:

**TARATURA DEL METODO DELLA TENSIONE DI
PICCO PER L'ANALISI A FATICA DI GIUNZIONI
SALDATE**

Relatore: Prof. Giovanni Meneghetti

Laureando: Carlo Giacomini

ANNO ACCADEMICO 2013-2014

Alla mia famiglia

INDICE

Nomenclatura

SOMMARIO

CAPITOLO 1 : INTRODUZIONE

1.1 Il campo di tensione nel intaglio.....	2
1.2 Il peak stress method:.....	7
1.3 Caratteristiche giunti saldati reali.....	11
1.4 L'effetto scala	12
1.5 Obbiettivi della tesi.....	14

CAPITOLO 2 : I MODELLI FEM

2.1 Geometrie dei giunti usate nelle analisi FEM.....	16
2.1.1 Giunto cruciforme Not Load Carrying (NLC).....	17
2.1.2 giunto cruciforme Load Carrying (LC)	21
2.1.3 giunto a “T” Not Load Carrying (NLC)	24
2.2 Parametri geometrici principali dei giunti in esame e definizione dei Keypoints base.....	27
2.3 Caso cruciforme NLC 2d modello per ricavare il KI preciso.....	30
2.3.1 Preprocessor: generazione della geometria, imposizione delle condizioni al contorno e creazione della mesh.....	31
2.3.2 Solution: lancio della soluzione.....	42
2.3.3 Postprocessor: definizione del sistema di riferimento polare, definizione path, lettura e stampa risultati.....	43
2.4 Caso cruciforme NLC 2d modello per ricavare la tensione di picco (PSM).....	50

2.4.1 Preprocessor: definizione della geometria delle condizioni al contorno e della mesh.	51
2.4.2 Solution: lancio della soluzione.....	53
2.4.3 Postprocessor: lettura e stampa dei risultati.....	53
2.5 Caso cruciforme NLC 3d modello per ricavare la tensione di picco (PSM).....	55
2.5.1 Definizione del materiale	55
2.5.2 Elementi e mesh nel caso di elementi cubici.....	56
2.5.3 Elementi e mesh nel caso di elementi tetraedrici.....	60
2.5.4 Imposizione dei carichi e dei vincoli.....	61
2.5.5 Lancio della soluzione.....	65
2.5.6 Analisi dei risultati	66
2.5.7 Analisi dei dati nel caso dei Solid 187, Solid 92 e Solid 285.....	69
2.5.8 Impostazioni aggiuntive per la corretta visualizzazione dei risultati per i Solid 187 e Solid 92.....	72
2.6 Caso cruciforme NLC tridimensionale metodo per individuare il NSIF mode I con metodo preciso della mesh fitta.....	74
2.6.1 Definizione del Materiale e costruzione della geometria base.....	75
2.6.2 Procedura nel caso di elementi tetraedrici	75
2.6.3 Procedura nel caso di elementi cubici.....	81
2.6.4 Imposizione al contorno e carichi e lancio della soluzione.....	84
2.6.5 I Sotto-modelli nel caso di elementi tetraedrici	85
2.6.6 I sotto-modelli nel caso di elementi cubici.....	87
2.6.7 La procedura per la sotto-modellazione.....	88
2.6.8 La lettura dei risultati.....	91

CAPITOLO 3 :IL PROGRAMMA IN MATLAB

3.1 I vari passi che compie il software	96
3.1.1 L'introduzione dei dati.....	96
3.1.2 Avviare la simulazione.....	96
3.1.3 Il controllo del processo.....	97
3.1.4 La lettura dei risultati.....	97

3.2 Come si creano le schede di inserimento dati	98
3.3 Le funzioni che compongono il programma.....	98
3.4 Guida all'uso del programma.....	102
3.5 Possibili problemi che portano all'arresto anomalo del programma.....	105

CAPITOLO 4 : RISULTATI DELLE ANALISI

4.1 L' NSIF valutato con il metodo preciso nelle simulazioni 2d	108
4.2 L' NSIF valutato tramite il PSM tramite simulazioni 2d.....	116
4.2.1 I risultati in condizione di tensione piana per i plane 42 e plane 182.....	117
4.2.2 I risultati in condizione di deformazione piana per i plane 42 e plane 182.....	124
4.2.3 I risultati in condizioni di tensione piana per i plane 82 e plane 183.....	131
4.2.4 I risultati in condizioni di deformazione piana per i plane 82 e plane 183.....	135
4.3 NSIF valutato tramite il PSM in simulazioni di giunti tridimensionali	139
4.3.1 Risultati simulazione per elementi solid 45 e solid 185 sotto la condizione di deformazione piana e individuazione del coefficiente del PSM.....	139
4.3.2 Risultati simulazione per elementi solid 95 e solid 186 sotto la condizione di deformazione piana e individuazione del coefficiente del PSM.....	147
4.3.3 Risultati simulazione per elementi solid 92 e solid 187 sotto la condizione di deformazione piana.....	154
4.3.4 Risultati simulazione per l'elemento Solid 285 sotto la condizione di deformazione piana.....	160
4.4 Risultati NSIF mode I ottenuti con la tecnica della sotto modellazione nel caso di giunti tridimensionali.....	164
4.4.1 Il giunti cruciforme NLC con carico di trazione e con l'uso del Solid 187.....	165
4.4.2 Il giunti cruciforme NLC con carico di flessione e con l'uso del Solid 187.....	185
4.4.3 Il giunti cruciforme NLC con carico di trazione e con l'uso del Solid Solid 186...	205
4.4.4 Il giunti cruciforme NLC con carico di flessione e con l'uso del Solid Solid 186...	225
4.5 Confronto tra l'utilizzo di una mesh di Solid 187 o Solid 186 per i calcolo del NSIF mode I con il metodo preciso nei casi tridimensionali.....	245
4.5.1 Confronto tra i risultati ottenuti per i vari giunti analizzati con la mesh con il Solid	

187 o Solid 92 e Solid 186 o Solid 95.....	246
4.6 Considerazioni finali.....	251

**CAPITOLO 5 : SINTESI DELLA PROCEDURA E DEI
RISULTATI DELLA TARATURA COEFFICIENTE DEL PSM**

5.1 Plane 182 e Plane 42.....	252
5.2 Plane 183 e Plane 82.....	255
5.3 Solid 185 e solid 45.....	256
5.4 Solid 186 e Solid 95.....	259
5.5 Solid 187 e Solid 92.....	261
5.6 Solid 285.....	264
5.7 Coefficiente unico per i Plane 182, Plane 42 ,Solid 185 e Solid 45.....	267
5.8 Coefficiente unico per i Plane 183, Plane 82, Solid 186 e Solid 95.....	267
5.9 Considerazioni finali.....	267

**CAPITOLO 6 : CONFRONTO TRA IL NSIF MODE I
OTTENUTO CON IL METODO PRECISO DELLA MESH FITTA
E IL PSM NELLE SIMULAZIONI TRIDIMENSIONALI**

6.1 Confronto tra NSIF mode I ricavato con il metodo preciso della mesh fitta e stimato tramite PSM in giunti cruciformi NLC .	270
6.1.1 Confronto tra NSIF mode I ricavato con il metodo preciso e NSIF mode I stimato tramite PSM con elementi Solid 185 o Solid 45	271
6.1.2 Confronto tra NSIF mode I ricavato con il metodo preciso e NSIF mode I stimato tramite PSM con elementi Solid 186 o Solid 95.....	275
6.1.3 Confronto tra NSIF mode I ricavato con il metodo preciso e NSIF mode I stimato tramite PSM con elementi Solid 187 o Solid 92.....	280
6.1.4 Confronto tra NSIF mode I ricavato con il metodo preciso e NSIF mode I stimato tramite PSM con elementi Solid 285.....	284
6.2 Confronto tra NSIF mode I ricavato in modo preciso e NSIF mode I stimato	

tramite il PSM utilizzando l'elemento Solid 187 in un giunto cruciforme tubo su tubo.....	288
6.2.1 Valori di NSIF mode I stimati tramite mesh PSM nella zona dove si incrociano linee	295
6.3 Confronto tra NSIF mode I ricavato in modo preciso e NSIF mode I stimato tramite il PSM utilizzando l'elemento Solid 187 nel giunto a T con sezione rettangolare cava.....	296
6.4 Considerazioni finali	301

CAPITOLO 7 : INDIVIDUAZIONE DEI COEFFICIENTI DELLA FORMULA DI TOVO E LAZZARIN

7.1 Giunto cruciforme NLC con carico di trazione.....	306
7.2 Il giunto cruciforme NLC con carico di flessione.....	308
7.3 Il giunto cruciforme LC con carico di flessione.....	310
7.4 Il giunto cruciforme LC con carico di trazione.....	312
7.5 Il giunto a T NLC con carico di flessione.....	313
7.6 Il giunto a T NLC con carico di trazione.....	315
7.7 Considerazioni finali.....	317

CONCLUSIONI

Bibliografia

Appendice A :gli script APDL

A.1 Giunto cruciforme NLC 2d metodo classico	330
A.2 Giunto cruciforme NLC 2d metodo PSM.....	339
A.3 Giunto cruciforme NLC 3d metodo PSM.....	343
A.4 Giunto cruciforme NLC 3d metodo classico della mesh precisa	351
A.5 Primo sotto modello	364
A.6 Sotto modelli dal 2° in poi.....	378

Nomenclatura

a = Profondità, lunghezza dell'intaglio

d = Dimensione degli elementi nella mesh del PSM

$h1$ = Lunghezza del piatto principale del giunto saldato

$h2$ = Lunghezza del piatto secondario del giunto saldato

$K_{I,PSM}^V$ = NSIF modo I stimato tramite la formula del PSM

K_t = Fattore di intensificazione delle tensioni

K_I^V = Notch Stress Intensity Factor (NSIF) modo I per intagli aperti senza raccordo.

K_{II}^V = Notch Stress Intensity Factor (NSIF) modo II per intagli aperti senza raccordo.

K_{FE}^* = Coefficiente della formula del Peak Stress Method (PSM)

$K_{\rho,I}^V$ = NSIF modo I per intagli raccordati

k = Pendenza della curva di Wöhler

r = Distanza dall'apice dell'intaglio

T = Spessore del piatto principale del giunto saldato

t = Spessore del piatto secondario del giunto saldato

z = Lunghezza del cateto del triangolo di saldatura

λ_1 = Autovalore di Williams per il Modo I

λ_2 = Autovalore di Williams per il Modo II

σ_{peak} = Tensione di picco, ovvero la prima tensione principale, presente all'intaglio

τ_{peak} = Tensione di taglio di picco presente all'intaglio

θ = Angolo di apertura rispetto alla bisettrice dell'angolo dell'intaglio

$\sigma_{\theta\theta}$ = Tensione perpendicolare alla bisettrice nel sistema di riferimento polare incentrato all'apice

σ_{rr} = Tensione lungo la bisettrice nel sistema di riferimento polare incentrato all'apice

$\tau_{r\theta}$ = Tensione di taglio nel sistema di riferimento polare

2α = Angolo di apertura dell'intaglio

ΔT_{σ} = Rapporto di sopravvivenza percentuale nelle curve di Wöhler

$k1, k2$ = Parametri delle formule di Lazzarin e Tovo

$A, B, \alpha, C, \beta, \gamma$ = Coefficienti delle formule di Lazzarin e Tovo

ρ = Raggio di fondo intaglio di intagli raccordati

σ_0 = Tensione remota applicata ai giunti

$S1, S2, S3$ o $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = Le tre tensioni principali

σ = Deviazione standard

SOMMARIO

Nelle strutture saldate la presenza al piede del cordone di saldatura di un intaglio provoca un indebolimento delle caratteristiche di resistenza statica e a fatica che sono già state ridotte a causa della zona termicamente alterata dove sono presenti tensioni residue e alterazioni della microstruttura. Nelle giunzioni saldate i raggi di raccordi ridotti con valori minimi che possono arrivare fino a valori compresi tra i 0,05 mm e i 0,6 mm se si usano tecnologie di saldatura convenzionale, rendono inapplicabile il fattore di intensificazione delle tensioni K_t . Si necessita quindi di altri metodi per individuare parametri utili alla valutazione delle resistenza a fatica dei componenti saldati. Visto il largo utilizzo di questo tipo di giunzione in numerose applicazioni industriali sono stati sviluppati vari metodi per valutarne la resistenza statica e/o a fatica, tra i vari si possono citare il metodo della distanza critica che prevede che ci sia frattura se la tensione supera un valore critico a una certa distanza dall'intaglio, il Strain Energy Density (SED) che valuta l'energia di deformazione in un volume/area in prossimità dell'intaglio, e il metodo degli Notch stress Intensity Factors (NSIFs). In questa tesi si svilupperà un metodo utile per una più agevole stima del NSIF di modo I. In letteratura vi sono numerose formule per descrivere il campo di tensione ([02][03][10]) che si sviluppa in prossimità di intagli raccordati e con angoli di apertura vari. Al fine di agevolare la trattazione del problema però, l'intaglio dei giunti saldati viene modellato con raggi di raccordo nulli, tale semplificazione è ragionevole per la piccola dimensione dei raggi di raccordo e dal fatto che ci si pone in una condizione di sicurezza. Gli NSIFs sono dei parametri che restituiscono una soddisfacente previsione dell'effettiva resistenza a fatica della giunzione saldata. Tuttavia il calcolo degli NSIF con l'uso di programmi agli elementi finiti, non è di agevole valutazione, infatti richiede mesh molto fitte e ben costruite e una successiva elaborazione dei dati ottenuti, con un dispendio di tempo e di risorse di calcolo elevato, che ne rendono difficile l'utilizzo nella pratica industriale. È stato quindi sviluppato un metodo locale chiamato Peak Stress Method (PSM) che grazie all'utilizzo di una mesh free con dimensione degli elementi costante e grande rispetto al metodo preciso della mesh fitta garantisce tempi più ridotti e una procedura più semplice. Il PSM si basa su un collegamento tra la tensione di picco presente all'intaglio in una mesh PSM e il NSIF

mode I espresso dalla semplice formula algebrica (nel caso di mode I)

$$K_I^V \approx K_{FE}^* \sigma_{peak} d^{1-\lambda_1}$$

dove K_{FE}^* è un coefficiente incognito che dipende dalle dal tipo di elemento finito usato (in particolare dalla sua geometria e funzione di forma), gli altri parametri sono noti a priori (λ_1) o definiti dal utente (d) o risultati della simulazione (σ_{peak}). La formula presenta un certo grado di approssimazione, ma risulta molto soddisfacente dal punto di vista ingegneristico, come risulterà dalle analisi in seguito riportate su giunti cruciformi e a T in acciaio e alluminio, l'errore massimo rispetto al metodo preciso non supera il 6% in valore assoluto applicando il PSM nel caso si usino elementi bidimensionali, e anche in molti di quelli tridimensionali si raggiunge il valore massimo del 6%, come sarà mostrato nei dati raccolti. Da qui il forte interesse nel sviluppare tale metodo in quanto, viste le sue caratteristiche già citate di semplicità di applicazione, velocità di calcolo, e precisione, è adatto alla realtà industriale. Questa tesi si pone come obiettivo l'individuazione del valore del coefficiente K_{FE}^* della formula

$$K_I^V \approx K_{FE}^* d^{1-\lambda_1} \sigma_{peak}$$

per i seguenti di elementi implementati in Ansys®:Plane 183, Plane 82, Solid 185, Solid 45, Solid 95, Solid 186, Solid 92, Solid 187, Solid 285. La tesi si articola nei seguenti capitoli:

- Nel 1 capitolo si fornisce una panoramica sull'argomento riportando i principali modelli matematici per il campo di tensione all'intaglio, e il metodo del PSM.
- Nel 2 capitolo si descrivono i modelli FEM utilizzati e la procedura usata per la loro realizzazione. Sia nel caso la si esegua con l'interfaccia grafica sia che si scelga di scriverla in Ansys Parametrical Design Language (APDL).
- Nel 3 capitolo si descrivere il programma matlab utilizzato per automatizzare la simulazioni dei modelli FEM e l'analisi dei dati.
- Nel 4 capitolo si riporteranno i risultati relativi ai tutti modelli FE simulati.
- Nel 5 capitolo si riporteranno i valori ottenuti per il coefficiente K_{FE}^* per i vari elementi con la procedura e il settaggio da seguire per ottenere i valori indicati.
- Nel 6 capitolo si confronteranno i valori di NSIF mode I ottenuti il metodo preciso della mesh fitta e quelli ottenuto tramite le mesh PSM per i seguenti elementi Solid 45 o Solid 185, Solid 95 o Solid 186, Solid 92 o Solid 187 e Solid 285.

- Nel 7 capitolo si esporrà la procedura usata per individuazione e i valori ottenuti per i coefficienti della formula di Tovo e Lazzarin [02] per i vari tipi di giunti analizzati e al variare del tipo di carico imposto.
- Nelle conclusioni oltre alle esiti finali relativi al lavoro di tesi si riporterà una tabella riassuntiva di tutti gli elementi trattati.
- Nella appendice A si riporteranno gli script APDL realizzati per simulare i modelli FEM.

CAPITOLO 1 : INTRODUZIONE

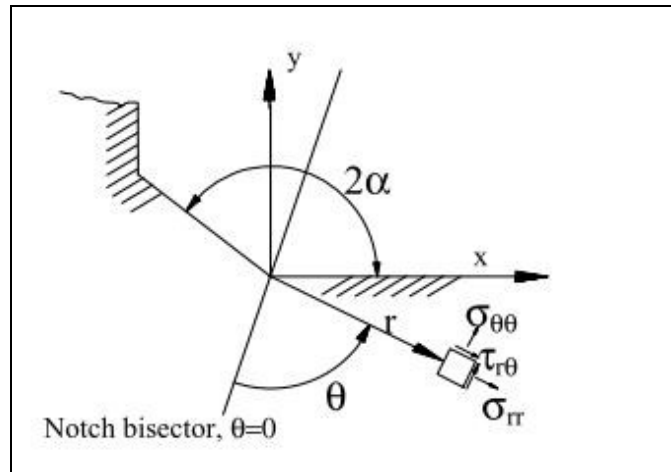


Figura 1.1: Sistema di riferimento adottato da Meneghetti [05]

1.1 Il campo di tensione nel intaglio

Il campo di tensione in prossimità dell'intaglio sotto l'ipotesi di comportamento lineare elastico e di problema piano, viene descritto dalle seguenti formule dovute a Williams [09] riferite ad un sistema di riferimento polare (r, θ) incentrato nell'apice dell'intaglio come riportato nell'immagine di figura 1.1.

Per il MODO I ad apertura si ha:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{\theta\theta} \\ \sigma_{rr} \\ \tau_{r\theta} \end{Bmatrix} = \lambda_1 r^{\lambda_1-1} a_1 \left[\begin{Bmatrix} (1+\lambda_1)\cos(1-\lambda_1)\theta \\ (3-\lambda_1)\cos(1-\lambda_1)\theta \\ (1-\lambda_1)\sin(1-\lambda_1)\theta \end{Bmatrix} + \chi_1(1-\lambda_1) \begin{Bmatrix} \cos(1+\lambda_1)\theta \\ -\cos(1+\lambda_1)\theta \\ \sin(1+\lambda_1)\theta \end{Bmatrix} \right] \quad (1.1)$$

Dove:

$$\chi_1 = \frac{-\sin[(1-\lambda_1)\gamma]}{\sin[(1+\lambda_1)\gamma]} \quad (1.2)$$

Mentre per il MODO II a taglio:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{\theta\theta} \\ \sigma_{rr} \\ \tau_{r\theta} \end{Bmatrix} = \lambda_2 r^{\lambda_2-1} a_2 \left[\begin{Bmatrix} (1+\lambda_2)\sin(1-\lambda_2)\theta \\ (3-\lambda_2)\sin(1-\lambda_2)\theta \\ (1-\lambda_2)\cos(1-\lambda_2)\theta \end{Bmatrix} + \chi_2 (1-\lambda_2) \begin{Bmatrix} \sin(1+\lambda_2)\theta \\ -\sin(1+\lambda_2)\theta \\ \cos(1+\lambda_2)\theta \end{Bmatrix} \right] \quad (1.3)$$

Dove:

$$\chi_2 = \frac{-\sin[(1-\lambda_2)\gamma]}{\sin[(1+\lambda_2)\gamma]} \quad (1.4)$$

Nelle formule sopra riportate r è la distanza dall'apice dell'intaglio, θ è l'angolo dalla bisettrice dell'intaglio e λ_1 e λ_2 sono gli autovalori derivanti dalle seguenti espressioni dovute a Williams:

$$\lambda_1 \sin 2\gamma + \sin 2\lambda_1 \gamma = 0 \text{ per il modo I} \quad (1.5)$$

$$\lambda_2 \sin 2\gamma - \sin 2\lambda_2 \gamma = 0 \text{ per il modo II} \quad (1.6)$$

dove $\gamma = \pi - \alpha$ con alfa che è la metà della ampiezza di apertura dell'intaglio. Tali formule descrivono la forma del campo di tensione in prossimità della punta di intagli a V con raggi di raccordo nulli. Gli unici parametri che dipendono dalla geometria e dai carichi remoti sono i due parametri a_1 e a_2 . Essi esprimono l'intensità del campo di tensione. Per ottenere dei parametri che fornissero la magnitudo del campo di tensione Gross e Mendelson [08] definirono i Notch stress intensity factors o NSIFs, con le seguenti ipotesi di partenza: intagli a V o cricche con raggi di raccordo nulli, con materiale lineare elastico isotropo e omogeneo, in condizioni di tensione o deformazione piana.

Per il modo I sollecitati ad apertura :

$$K_I^V = \sqrt{2\pi} \lim_{r \rightarrow 0} (\sigma_{\theta\theta})_{\theta=0} r^{1-\lambda_1} \quad (1.7)$$

E per il modo II a taglio :

$$K_{II}^V = \sqrt{2\pi} \lim_{r \rightarrow 0} (\tau_{r\theta})_{\theta=0} r^{1-\lambda_2} \quad (1.8)$$

dove r è la distanza dall'apice dell'intaglio, θ è l'angolo dalla bisettrice dell'intaglio, $\sigma_{\theta\theta}$ è la componente di stress nel sistema di riferimento polare perpendicolare a r , λ_1 e λ_2 sono gli autovalori per il modo I delle equazioni di Williams, e sono funzione dell'angolo di apertura dell'intaglio. Come si può visualizzare dalla tabella 1.1.

Tabella 1.1 Valori presi da Lazzarin e Filippi [03] degli autovalori di Williams in funzione dell'angolo di apertura

2α	λ_1	λ_2
0	0,500	0,500
30	0,501	0,598
45	0,505	0,660
60	0,512	0,731
90	0,545	0,909
120	0,616	1,149
135	0,674	1,302

I due parametri K_I^V e K_{II}^V sono vengono definiti lungo la bisettrice dell'intaglio in quanto lungo questo luogo geometrico le due componenti simmetrica e antisimmetrica sono disaccoppiate ossia K_I^V dipende solo dalle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$ e K_{II}^V dipende solo dalle tensioni $\tau_{r\theta}$; mentre in qualsiasi altra zona dell'intaglio sono accoppiate. È possibile riscrivere le relazioni di Williams sostituendo ai due parametri a_1 e a_2 , gli NSIF e $K_I^V : K_{II}^V$

Mode I:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{\theta\theta} \\ \sigma_{rr} \\ \tau_{r\theta} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{r^{\lambda_1-1} K_I^V}{(1+\lambda_1)+\chi_1(1-\lambda_1)} \left[\begin{Bmatrix} (1+\lambda_1)\cos(1-\lambda_1)\theta \\ (3-\lambda_1)\cos(1-\lambda_1)\theta \\ (1-\lambda_1)\sin(1-\lambda_1)\theta \end{Bmatrix} + \chi_1(1-\lambda_1) \begin{Bmatrix} \cos(1+\lambda_1)\theta \\ -\cos(1+\lambda_1)\theta \\ \sin(1+\lambda_1)\theta \end{Bmatrix} \right] \quad (1.9)$$

Mode II:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{\theta\theta} \\ \sigma_{rr} \\ \tau_{r\theta} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{r^{\lambda_2-1} K_{II}^V}{(1-\lambda_2)+\chi_2(1+\lambda_2)} \left[\begin{Bmatrix} -(1+\lambda_2)\sin(1-\lambda_2)\theta \\ -(3-\lambda_2)\sin(1-\lambda_2)\theta \\ (1-\lambda_2)\cos(1-\lambda_2)\theta \end{Bmatrix} + \chi_2(1+\lambda_2) \begin{Bmatrix} -\sin(1+\lambda_2)\theta \\ \sin(1+\lambda_2)\theta \\ \cos(1+\lambda_2)\theta \end{Bmatrix} \right] \quad (1.10)$$

La definizione degli NSIF di Gross e Mendelson riveste un forte interesse ingegneristico poiché vengono utilizzati nella meccanica della frattura come parametro per valutare la

resistenza statica e a fatica di pezzi con intagli gravosi realizzati in materiali fragili o quasi fragili ovvero dove è legittimo ipotizzare un comportamento lineare elastico del materiale. Infatti si può costruire tramite prove sperimentali delle curve di Wöhler con in ascissa il logaritmo in base dieci del numero di cicli e in ordinata il logaritmo in base dieci degli NSIFs, le curve di Wöhler così ottenute presentano una banda di dispersione dei dati soddisfacente, ad esempio per giunti cruciformi con angoli all'intaglio di 135° si hanno curve di Wöhler con ΔT_σ di 1,85 per l'acciaio da costruzione e di 1,90 per l'alluminio come riportano in Meneghetti e Lazzarin [06], per maggior chiarezza si sono riportati i grafici di tali curve. (vedi figure 1.2 e 1.3). In questo caso ΔT_σ è il rapporto tra la resistenza a fatica con probabilità di sopravvivenza al 97.7% e quella al 2,3%.

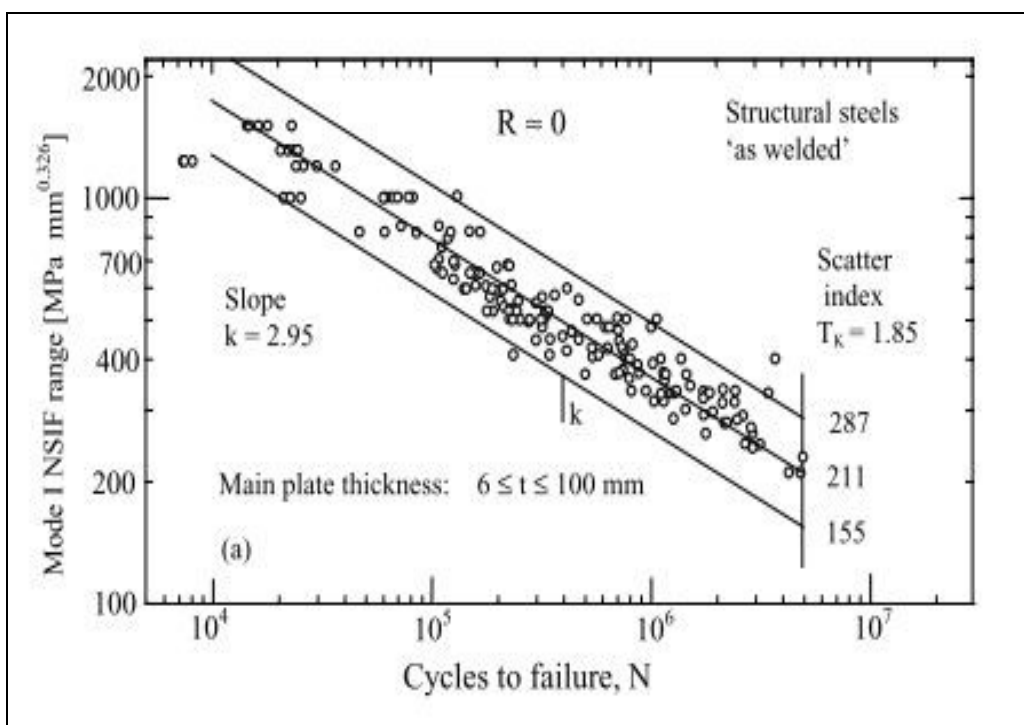


Figura 1.2: Curva di Wöhler per giunti in acciaio da costruzione senza trattamenti termici. Immagine tratta da Meneghetti e Lazzarin [06].

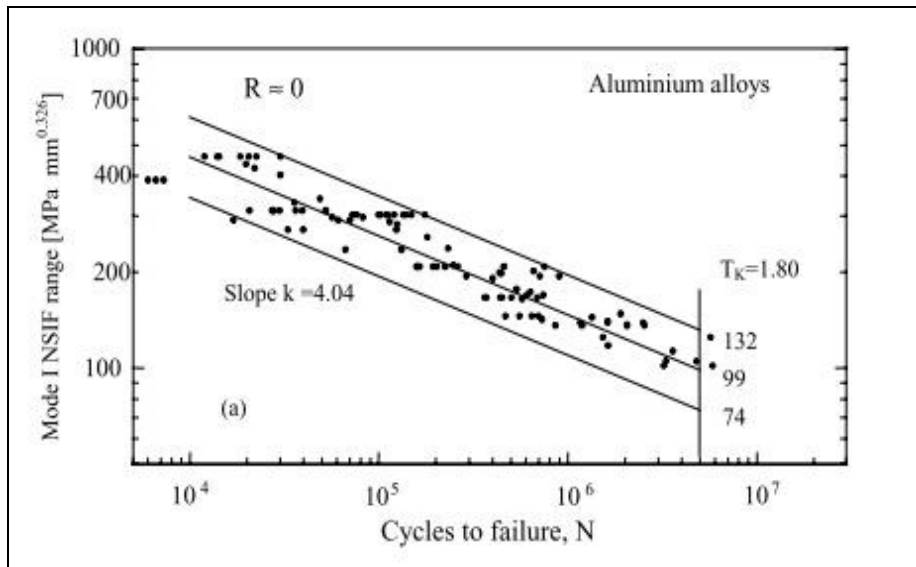


Figura 1.3: Curva di Wöhler per giunti in alluminio. Immagine tratta da Meneghetti e Lazzarin [06].

È di grande importanza che il limite con cui sono definiti gli NSIFs non converga puntualmente ma localmente, ossia esiste una piccola zona in prossimità dell'intaglio dove esso è già arrivato a convergenza. Tale caratteristica consente di ricavare gli NSIF tramite una analisi FEM (finite element method), tramite l'utilizzo di opportune mesh con infittimento molto elevato in prossimità dell'intaglio come sarà mostrato nel paragrafo 2.3. Bisogna precisare che al variare dell'angolo di apertura dell'intaglio si avrà un diversa forma campo del tensione descritto dalle formule 1.9 e 1.10 e stessi gli NSIF avranno una unità di misura differente in quanto cambieranno gli autovalori di Williams che sono gli esponenti delle radici nella formule 1.7 e 1.8. Da qui deriva l' impossibilità di riportare sulla stessa curva di Wöhler i ΔK_I^V o ΔK_{II}^V ottenuti da modelli con lo stesso materiale ma con apertura dell'intaglio differente, in quanto non sono confrontabili.

Tabella 1.2 Minimo valore della distanza \bar{x} dove la differenza tra le soluzioni di Williams e quella proposta da Lazzarin e Filippi per intagli raccordati si atesta al 2% o 5%. Tabella tratta da [03].

	$2\alpha = 0^\circ$	$2\alpha = 30^\circ$	$2\alpha = 45^\circ$	$2\alpha = 60^\circ$	$2\alpha = 90^\circ$	$2\alpha = 120^\circ$	$2\alpha = 135^\circ$
$C_{\mu 1} = 5\%$	3.73ρ	4.89ρ	5.04ρ	4.84ρ	3.27ρ	$<\rho$	$<\rho$
$C_{\mu 1} = 2\%$	11.33ρ	15.01ρ	15.87ρ	15.74ρ	11.87ρ	4.79ρ	1.71ρ
$C_{\mu 2} = 5\%$	14.37ρ	10.99ρ	9.29ρ	7.57ρ	4.25ρ	1.53ρ	0.63ρ
$C_{\mu 2} = 2\%$	36.87ρ	27.51ρ	22.91ρ	18.35ρ	9.72ρ	3.00ρ	1.03ρ

Lazzarin e Fillippi [03], valutarono la differenza tra il campo di tensione descritto dalle soluzioni di Williams per intagli di raccordo nullo e la loro soluzione per intagli con raccordo. I due campi risultano differenti in modo sostanziale solo nella zona strettamente a ridosso dell'apice dell'intaglio mentre allontanandosi tornano ad essere sovrapponibili. La distanza lungo la bisettrice [\bar{x}] in cui i due campi differiscono per un dato valore percentuale è di dimensione pari al raggio di raccordo moltiplicato per un coefficiente che è funzione dell'angolo di apertura come mostrato in tabella 1.2 dove C_{μ_1} e C_{μ_2} sono parametri definiti ad hoc per valutare la differenza tra la soluzione data dalle equazioni di Williams e quelle fornita per intagli raccordati di Lazzarin e Filippi. In tabella sono riportate le distanze dove la differenza massima si attesta al 5% o al 2%. Da notare come all'ampliarsi dell'angolo di apertura la lunghezza \bar{x} si riduca molto in proporzione a ρ . L'applicazione dei NSIF definiti da Gross e Mendelson per la previsione a della vita a fatica di giunti con raggi di raccordo piccoli ma non nulli, sembra giustificabile, e se la zona di materiale che governa il fenomeno della frattura è molto più grande della zona influenzata dal raggio di raccordo. Tale condizione sembra verificata per i giunti saldati tramite tecnologie convenzionali, grazie ai piccoli raggi di raccordo e agli angoli di apertura ampi (mediamente 135°). L'utilizzo degli NSIF di intagli a V come parametro per misurare il danneggiamento del materiale fino a rottura è valido, quanto la maggior parte della vita a fatica viene spesa quando la cricca è ancora poco profonda ed è immersa nel campo di tensione nell'intaglio a V.

1.2 Il peak stress method:

Il PSM si basa su una relazione tra il K_I^V e la prima tensione principale σ_1 presente all'apice dell'intaglio, che dipende unicamente dalla dimensione degli elementi, e dall'ampiezza dell'intaglio. Come si evince dalla formula sotto riportata:

$$K_I^V \simeq K_{FE}^* d^{1-\lambda_1} \sigma_{peak} \quad (1.11)$$

E in modo analogo per il K_{II}^V si ha:

$$K_{II}^V \simeq K_{FE}^* d^{1-\lambda_2} \tau_{peak} \quad (1.12)$$

è necessario specificare i limiti di validità di tale formula:

- solo per il modo I il coefficiente K_{FE}^* risulta costante al variare dell'angolo dell'intaglio mentre nel modo II esso varia come mostrato nella tesi di Filippo Costa [12].
- l'apice dell'intaglio deve appartenere a due elementi e la mesh deve essere opportunamente guidata con un area di controllo [12].
- l'angolo di apertura dell'intaglio 2α deve essere compreso tra i 0° e 135° [05]
- il coefficiente K_{FE}^* varia in base al tipo di funzione di forma dell'elemento e alla sua forma geometrica.
- la dimensione dell'elemento d deve essere limitata dalla seguente disuguaglianza $a/d > 3$ dove a è una dimensione caratteristica dell'intaglio [05]. Questo rapporto tuttavia risulta dover essere aumentato nel caso di geometrie più complesse [12].

È da precisare che a tale correlazione è stata solo verificata da Nititani e Teranishi [07] e data una giustificazione analitica da parte di Meneghetti e Lazzarin [06]. In particolare Nisitani e Teranishi verificarono che per cricche che partono da cavità ellissoidali esiste una relazione tra il rapporto tra il K_I e il rapporto delle tensioni di picco all'apice della cricche che dipende unicamente dalla dimensione degli elementi usati. Mentre Meneghetti e Lazzarin diedero una giustificazione analitica sfruttando alcune relazioni ricavate da Lazzarin e Filippi [03]. La prima collega il K_I^V per intagli a V senza raccordo e il $K_{\rho,I}^V$ per intagli a V con raccordi di raggio ρ ed è espressa dalla seguente formula

$$\frac{K_{\rho,I}^V}{K_I^V} = \varphi + \Psi \frac{\rho}{a} \quad (1.13)$$

dove a è la profondità dell'intaglio, ρ il raggio di raccordo, Ψ e φ due espressioni dipendenti solo dall'angolo di apertura dell'intaglio. La seconda collega il NSIF mode I per intagli a V raccordati alla tensione massima presente all'intaglio.

$$\sigma_{max} = (1 + \tilde{\omega}_1) \frac{K_{\rho,I}^V}{\sqrt{2\pi} r_o^{(1-\lambda_1)}} \quad (1.14)$$

dove $\tilde{\omega}_1$ è un parametro che dipende dall'angolo 2α , r_0 e la distanza dall'origine di un opportuno sistema polare di riferimento mostrato in figura 1.4, e λ_1 l'autovalore di Williams.

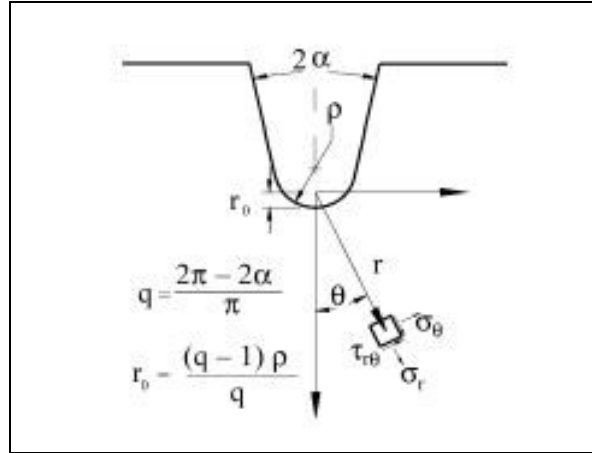


Figura 1.4: Sistema di riferimento adottato adottato in Meneghetti e Lazzarin.

Sostituendo la formula 1.13 nella 1.14 per eliminare il $K_{\rho, I}^V$, con l'ipotesi verificata a posteriori per i casi trattati di poter trascurare la componente $\Psi \frac{\rho}{a}$ della formula 1.13 si ottiene l'espressione 1.15 che collega la tensione massima presente all'apice dell'intaglio raccordato e il NSIF di un intaglio secco.

$$\frac{\sigma_{peak}}{K_I^V} = (1 + \tilde{\omega}_1) \frac{\varphi}{\sqrt{2\pi} \left(\frac{q-1}{q} \rho^* \right)^{1-\lambda_1}} \quad (1.15)$$

Dove :

$$q = \frac{2\pi - 2\alpha}{\pi} \quad (1.16)$$

La formula 1.15 mostra l'indipendenza del del rapporto tra la σ_{peak} e K_I^V dalla profondità dell'intaglio a supportando così il PSM. Nelle simulazioni FE riportate sempre nel lavoro di Meneghetti e Lazzarin [06] si verifica che effettivamente $\Psi^*(\rho/a)$ sia trascurabile e che ρ^* , ossia il raggio di fondo intaglio virtuale, resta pressoché costante al variare della profondità dell'intaglio e del variare dell'angolo dell'intaglio.

Tramite il PSM è possibile direttamente disegnare delle curve di Wöhler dove al posto del ΔK_I^V sulle ordinate si impone i σ_{peak} ottenuti normalizzati alla dimensione di elemento di dimensioni di 1 [mm], per chiarire, se si impongono dimensioni degli elementi di dimensioni differenti nella soluzione dei modelli FEM ci si può sempre riportare alla tensione che si otterrebbe con elementi di 1 mm usando la relazione 1.17

$$\sigma_{peak, d_1=1mm} = \sigma_{peak, d_x=xmm} * \frac{d_x^{1-\lambda_1}}{d_1^{1-\lambda_1}} \quad (1.17)$$

Le curve di Wöhler così ottenute sono pressoché uguali a quelle ottenute con gli NSIF mode I, ossia i valori T_σ di dispersione dei risultati e la pendenza k delle curve differiscono in maniera poco significativa. In particolare le curve Wöhler così ottenute in Meneghetti e Lazzarin, riferite agli stessi dati di riferimento delle immagini 1.2 e 1.3, riportano un $T_\sigma=1.85$ e un pendenza della curva $k=2.95$ per i giunti in acciaio e un $T_\sigma=1.90$ e un pendenza della curva $k=3.00$ per i giunti in alluminio.

Per ottenere valori attendibili nel PSM è necessario creare delle mesh con aree di controllo come è stato ben illustrato nella tesi di Filippo Costa [12]. Nel caso di giunti cruciformi e a T con angoli di apertura di 135° non è necessario imporre nessun controllo sulla mesh. Poiché nella seguente tesi si tratteranno solo le dette geometrie, si rimanda alle aree di controllo per gli angoli diversi da 135° o geometrie differenti alla tesi di Costa. Per quel che riguarda il NSIF di modo II, esso non verrà trattato in questa tesi, perché esso non risulta essere più singolare per angoli di apertura dell'intaglio superiori ai 102° . La formula del PSM è inizialmente stata adotta solo per elementi piani, la sua estensione a modelli tridimensionali merita delle considerazioni al riguardo. Il NSIF dipende dalla tensione $\sigma_{\theta\theta}$ nel sistema di riferimento polare in prossimità dell'intaglio, le componenti di tensione polari e cartesiane sono collegate dalla seguente relazione:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{rr} & \tau_{r\theta} & \tau_{rz} \\ \tau_{\theta r} & \sigma_{\theta\theta} & \tau_{\theta z} \\ \tau_{zr} & \tau_{z\theta} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} [T]^T \quad (1.18)$$

Dove T è la seguente matrice di rotazione:

$$T = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.19)$$

Dove β è l'angolo di rotazione attorno all'asse cartesiano z. Si ricava quindi il legame tra $\sigma_{\theta\theta}$ e le tensioni nel sistema di riferimento cartesiano:

$$\sigma_{\theta\theta} = \sigma_{xx} \cos^2 \beta - 2 \tau_{xy} \cos \beta \sin \beta + \sigma_{yy} \sin^2 \beta \quad (1.20)$$

Si evince che essa è funzione delle sole componenti di tensione nel piano XY. La tensione principale in stati piani di tensione o deformazione è anche essa funzione delle $\sigma_{xx} \sigma_{yy} \tau_{xy}$, se l'asse principale è Z, quindi un confronto tra le tensioni realizzato nella formula del PSM è ragionevole. In modelli tridimensionali la prima tensione principale è funzione di tutte le componenti di tensione, comprese le $\sigma_{zz} \sigma_{zy} \tau_{zx}$ che non contribuiscono al modo di apertura dell'intaglio, quindi l'applicazione del PSM a modelli tridimensionali non sarebbe propriamente corretta. Guzzella[11] nella sua tesi ha trattato i medesimi modelli FEM di giunti cruciformi e a T, ed ha confrontato la prima tensione di picco fornita da Ansys che tiene conto di tutti i contributi di tensione sia la prima tensione di picco ottenuta considerando unicamente lo stato di tensione nel piano XY. La differenza tra le due tensioni è risultata non significativa, quindi è possibile utilizzare la prima tensione fornita in automatico da Ansys nella formula del PSM per questo tipo di modelli tridimensionali senza il rischio di avere dei dati troppo falsati dalle componenti di tensione non utili.

1.3 Caratteristiche giunti saldati reali.

Le caratteristiche geometriche e di dello stato di tensione dei cordoni di saldatura di lamiera in acciaio sovrapposte sono state analizzate nel lavoro di Seto, Yoshida e Galtier [01]. Tali caratteristiche possono essere estese anche ad altri tipi di giunti saldati, purché la tecnologia di saldatura sia di tipo convenzionale, come nel caso citato in cui è stata usata la saldatura ad arco. Le caratteristiche salienti che sono state individuate nello studio [01] sono una forte variabilità dei raggi di raccordo lungo tutto il cordone di saldatura sia per quel che riguarda il valore medi compresi tra i 0.5 mm e i 1 mm con i valori minori all'inizio del cordone, sia per i valori minimi che arrivano fino a 0.05 mm i quali rendono

giustificabile modellizzare nelle analisi FEM i giunti saldati con intagli a spigolo vivo. Anche l'angolo di apertura definito come l'angolo delle tangenti al cerchio che approssima il raggio di curvatura dell'intaglio all'apice varia tra i valori di 165° e 115° con un valore medio di 135° nella zona di inizio e centro della saldatura. Tale valore sarà quello adottato nelle analisi FEM realizzate in questa tesi. Le tensioni residue sono state valutate tramite un'indagine ai raggi X e risultano variare lungo il cordone di saldatura passando uno stato di compressione all'inizio a valori di trazione alla fine, gli effetti di un rilassamento delle tensioni residue tramite un trattamento termico, nel caso di rapporto di sollecitazioni $R \geq 0$, sono un innalzamento del limite di fatica mentre non cambia la pendenza della curva di Wohler. Per quel che riguarda il cambiamento del rapporto delle sollecitazioni R in Lazzarin e Livieri [13] citando dati pubblicati in letteratura affermano che per $R=0.33$ c'è una leggera riduzione della vita a fatica, mentre per $R=-2$ c'è un aumento della resistenza a fatica. Nei test sperimentali è difficile la misura del campo di tensione in prossimità dell'intaglio in quanto, come mostrato in Atzori e Meneghetti [04] è necessario posizionare l'estensimetro molto vicino all'intaglio, già a distanze di 2-3 mm dall'apice non si cattura il campo di tensione, ciò nonostante il posizionamento degli estensimetri è utile per misurare l'effettivo carico nominale imposto, che non risulta mai perfettamente applicato, in particolare vi sono tensioni secondarie di flessione dovute alla non perfetta applicazione dei carichi che possono arrivare fino al 10-15% del carico imposto.

1.4 L'effetto scala

Lazzarin e Tovo [02] sfruttarono l'effetto scala per ottenere le seguenti relazioni tra il NSIFs e i parametri geometrici del giunto.

$$K_I^V \simeq k_1 \sigma_0 T^{1-\lambda_1} \quad (1.21)$$

$$K_{II}^V \simeq k_2 \sigma_0 T^{1-\lambda_2} \quad (1.22)$$

Prima di spiegare il significato delle formule sopra riportate si spiegherà brevemente l'effetto scala e come è stato usato per ottenerle. I campi di tensione che si generano in prossimità dell'intaglio in due giunti perfettamente uguali e con le stesse forze applicate ma in scala sono tra loro (anche le forze), i valori di NSIF mode I dei due giunti sono rapportati in tal modo:

$$\frac{K_{I, \text{primo giunto}}^V}{K_{I, \text{secondo giunto}}^V} = (\text{rapporto di scala})^{1-\lambda_1} \quad (1.23)$$

dove λ_1 è l'autovalore di Williams, tale caratteristica dei giunti saldati penalizza i giunti con dimensioni maggiori, che risultano avere NSIFs più elevati. Prendiamo ora un giunto di cui conosciamo il NSIF mode I e scriviamo la seguente relazione:

$$K_{I, \text{noto}}^V = k_1 * \sigma_0 \quad (1.24)$$

Dove k_1 è un parametro che è funzione della geometria e dei carichi (flessione, trazione). Nel caso giunti cruciformi e a T sono tre i parametri geometrici principali, lo spessore del piatto principale T, quello secondario t, e il cateto del triangolo di saldatura z. Se teniamo fisso lo spessore del piatto principale e valutiamo il k_1 al variare dei rapporti (t/T) e (z/T) il problema passa da avere tre variabili ad averne solo due, con una riduzione significativa della complessità del problema. Ricavando un certo numero di NSIF mode I tramite analisi FEM, essendo nota la σ_0 che non è altro che la tensione remota, si ottengono altrettanti k_1 che consentono di individuare i coefficienti di una formula interpolante (vedi formula 1.28) con solo 2 parametri (t/T) e (z/T). Ora prendiamo un giunto in scala, per ottenere il NSIF di tale giunto è sufficiente unire la formula 1.23 alla 1.24, ottenendo la seguente relazione.

$$K_{I, \text{giunto scalato}}^V = K_{I, \text{noto}}^V * T^{1-\lambda_1} = k_1 * \sigma_0 * T^{1-\lambda_1} \quad (1.25)$$

Dove T è il rapporto di scala, che nel nostro caso è il rapporto tra gli spessori dei piatti principali, ed essendo quello di riferimento di valore unitario, T coincide con lo spessore stesso del piatto principale del giunto scalato. In tal modo abbiamo ottenuto relazione tra il NSIF mode I e i parametri geometrici principali del giunto. In breve sfruttando l'effetto scala anziché risolvere questo tipo di problema :

$$K_I^V = f(T, t, z) * \sigma_0 \quad (1.26)$$

Si è risolto invece questo:

$$K_I^V = f(t/T, z/T) * \sigma_0 * T^{1-\lambda_1} \quad (1.27)$$

Dove $f(t/T, z/T)$ non è altro che k_1 . Medesima è la procedura per il NSIF mode II. Le formula di interpolante ottenuta da Lazzarin e Tovo per i coefficienti k_1 e k_2 delle formule 1.21 e 1.22 è la seguente:

$$k_i = A_i + B_i e^{\alpha_i(2z/T)} + C_i e^{\beta_i(2z/T) + \gamma_i(t/T)} \quad (1.28)$$

Dove i coefficienti $A_i, B_i, \alpha_i, C_i, \beta_i, \gamma_i$ cambiano al variare del tipo di giunto saldato e del tipo di carico applicato.

1.5 Obiettivi della tesi

Questa tesi si pone di individuare il coefficiente K_{FE}^* della formula i seguenti tipi di elementi nel software Ansys.

- Plane 182
- Solid 45
- Solid 185
- Plane 183
- Solid 95
- Solid 186
- Plane 42
- Solid 92
- Solid 285
- Plane 82
- Solid 187

Per alcuni il K_{FE}^* già stato ricavato: il plane 42 da Meneghetti e Lazzarin [06], plane 82 nella tesi di Costa [12], solid 45 dalla tesi di Guzella [11]. Nella più recenti versioni di Ansys® sono stati definiti dei nuovi elementi con il medesimo numero di nodi e forma geometrica ma con diverse funzioni di forma, il che implica che abbiano diversi K_{FE}^* . Tuttavia è possibile nel software settare le funzioni di forma dei nuovi elementi in modo risultino uguali ai vecchi elementi. In tal modo si ottengono gli stessi coefficienti della formula del PSM sia per i primi sia per i secondi. Nella tabella 1.3 si riportano gli elementi implementati nelle vecchie versioni Ansys e i loro corrispettivi implementati nelle più recenti versioni e le opzioni di settaggio utili per ottenerne l'equivalenza ai fini del PSM. Poi vi sono gli elementi solid 186 solid 187 solid 285 e i corrispettivi delle vecchie versioni (solid 95, solid 92), il cui coefficiente K_{FE}^* che non essendo ancora noto sarà individuato nelle analisi eseguite in questa tesi, in particolare i risultati ottenuti sono riportati nel capitolo 4, mentre la procedura usata è riportata nel capitolo 2.

Tabella 1.3 Settaggio per elementi delle versioni di Ansys più recenti per renderli equivalenti nel PSM ai corrispettivi implementati nelle versioni del software meno recenti.

ELEMENTO VERSIONI DI ANSYS PRECEDENTI ALLA 12	ELEMENTO VERSIONI DI ANSYS SUCCESSIVE ALLA 12	OPZIONI SUL ELEMENTO VERSIONE ANSYS SUCCESSIVE AL 12	COMANDO APDL
PLANE 42	PLANE 182	Settare il campo K1 come "simple enhanced strn"	KEYOPT,"numero del elemento", 1 ,3
PLANE 82	PLANE 183	Nessuna opzione aggiuntiva	Nessuna opzione aggiuntiva
SOLID 45	SOLID 185	Settare il campo K2 come "simple enhanced strn"	KEYOPT,"numero del elemento", 2 ,3
SOLID 95	SOLID 186	Settare il campo K2 come "full integration"	KEYOPT,"numero del elemento",2,1
SOLID 92	SOLID 187	Nessuna opzione aggiuntiva	Nessuna opzione aggiuntiva
SOLID 285	SOLID 285	L'ELEMENTO è LO STESSO	L'ELEMENTO è LO STESSO

Riportiamo una breve descrizione degli elementi trattati:

Tabella 1.4 Descrizione degli elementi in esame

ELEMENTI	DESCRIZIONE
PLANE 42 E PLANE 182	PIANI CON 4 NODI E FUNZIONI DI FORMA LINEARE
PLANE 82 E PLANE 183	PIANI CON 8 NODI E FUNZIONI DI FORMA QUADRATICHE
SOLID 45 E SOLID 95	CUBICI CON 8 NODI E FUNZIONI DI FORMA LINEARI
SOLID 95 E SOLID 186	CUBICI CON 20 NODI E FUNZIONI DI FORMA QUADRATICHE
SOLID 92 E SOLID 187	TETRAEDRICI CON 10 NODI E FUNZIONI DI FORMA QUADRATICHE
SOLID 285	TETRAEDRICO CON 4 NODI E FUNZIONI DI FORMA LINEARI

Per una descrizione più esaustiva e accurata degli elementi si invita a consultare la guida in linea di Ansys® . [14]

CAPITOLO 2 : I MODELLI FEM

Per l'individuazione del coefficiente K_{FE}^* della formula(1.11) per l'elemento di interesse è necessario ricavare per lo stesso pezzo il valore K_I^V con il metodo preciso della mesh fitta all'intaglio, e la tensione di picco usando la mesh del PSM. Una volta ottenuti i due parametri si ricava il valore del K_{FE}^* tramite la formula 2.1. È necessario ripetere l'operazione con altri giunti con caratteristiche geometriche diverse al fine di avere un numero di dati sufficiente a calcolare un valore medio e la relativa dispersione dei valori.

$$K_{FE}^* = \frac{K_I^V}{d^{1-\lambda_1} \sigma_{peak}} \quad (2.1)$$

Al fine si sono usati tre tipi di giunti, i quali sono stati simulati svariate volte cambiando le loro dimensioni geometriche.

2.1 Geometrie dei giunti usate nelle analisi FEM

Si sono usate tre differenti geometrie sia per i casi 2d che 3d:

1)Giunto cruciforme Not Load Carrying (NLC)

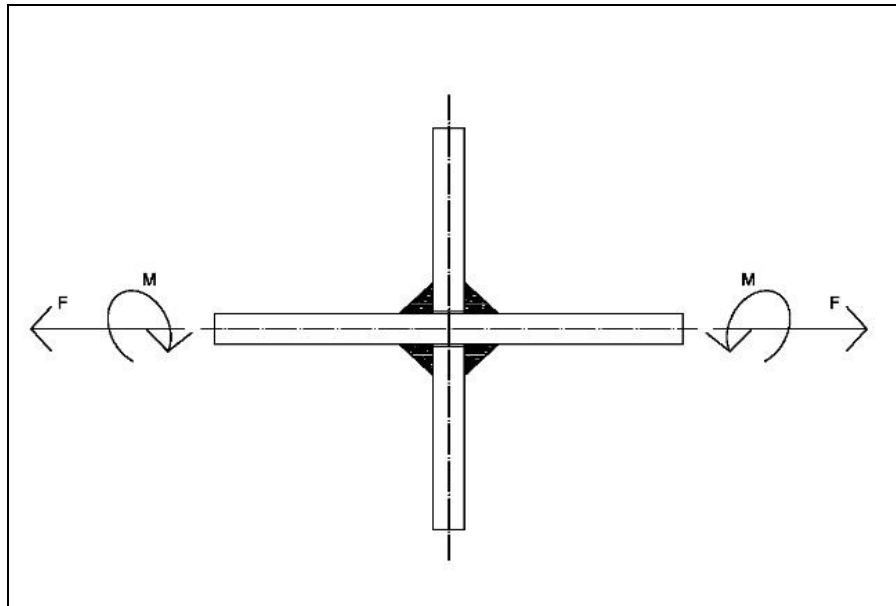


Figura 2.1: Il giunto cruciforme not load carrying

2)Giunto cruciforme Load Carrying (LC)

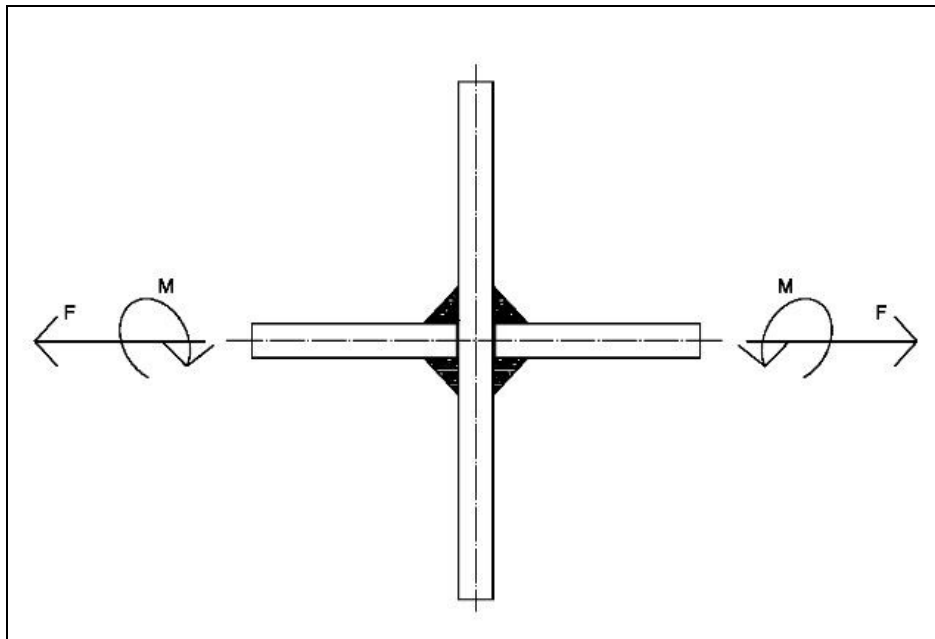


Figura 2.2: Il giunto cruciforme load carrying

3)Giunto a T Not load carrying (NLC)

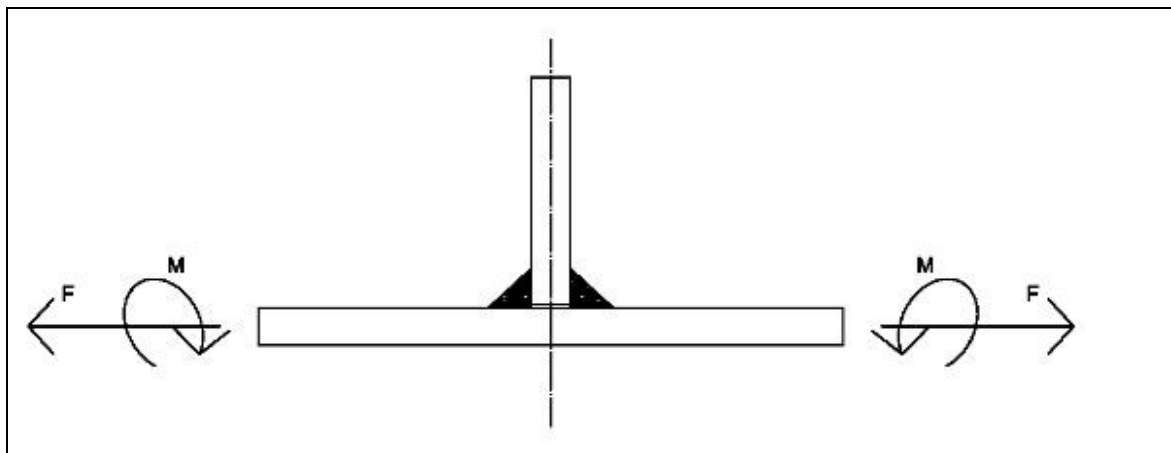


Figura 2.3: Il giunto a T not load carrying

2.1.1 Giunto cruciforme Not Load Carrying (NLC)

- giunto cruciforme Not Load Carrying (NLC) ossia con il cordone di saldatura non caricato.

per il caso 2d sfruttando le simmetrie della geometria si modella solo un quarto del pezzo, tenuto conto che la numerazione delle linee è quella di figura 2.4, si devono applicare i seguenti carichi e condizioni al contorno nel caso di trazione e flessione:

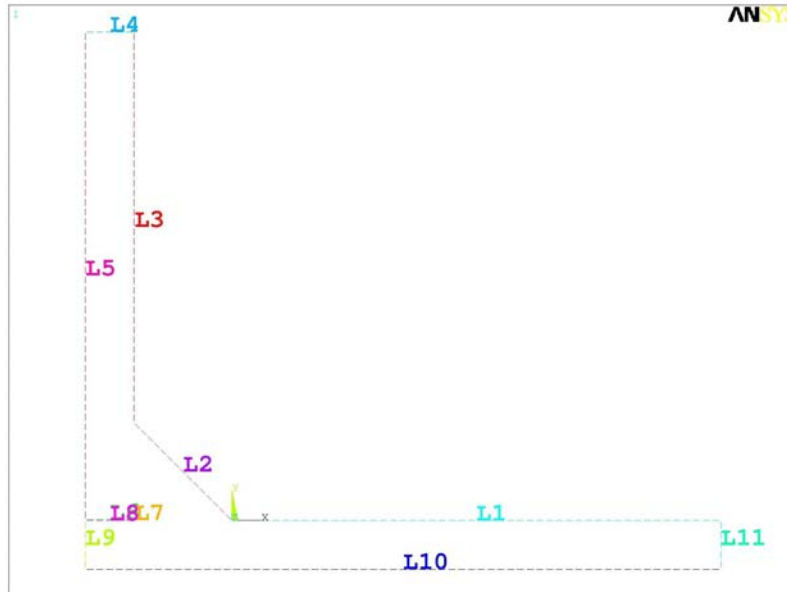


Figura 2.4: Numerazione delle linee

Nel caso di trazione è necessario imporre la simmetria sulle linee n° 5,9 e 10, e una pressione unitaria e negativa sulla linea n° 11, ottenendo il modello di immagine 2.5

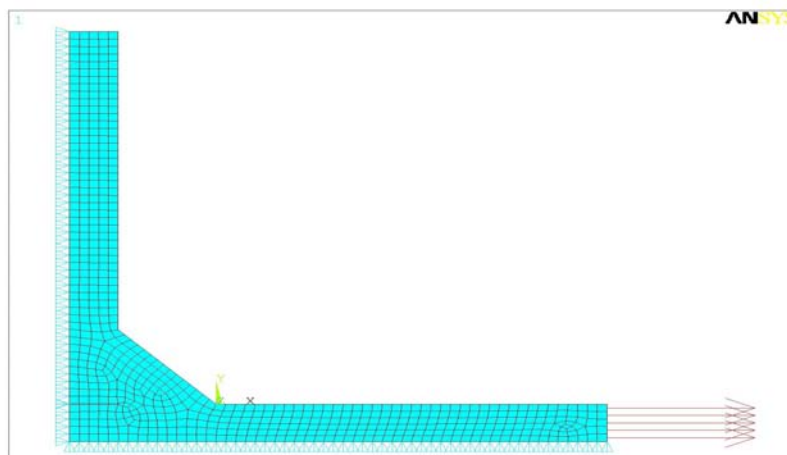


Figura 2.5: Giunto cruciforme NLC 2d con carico di trazione

Invece nel caso di flessione bisogna imporre la simmetria sulle linee n° 5 e 9 e una asimmetria sulla n° 10, e una pressione a rampa sulla linea n° 11 con valore nullo al keypoint condiviso dalle linee n° 10 e 11 e unitario e negativo per il keypoint condiviso dalle linee n° 11 e 1. Inoltre è necessario vincolare i gradi di libertà X e Y del keypoint condiviso dalle linee n° 9 e 10 per togliere ogni labilità al sistema. Il modello così ottenuto è mostrato in figura 2.6

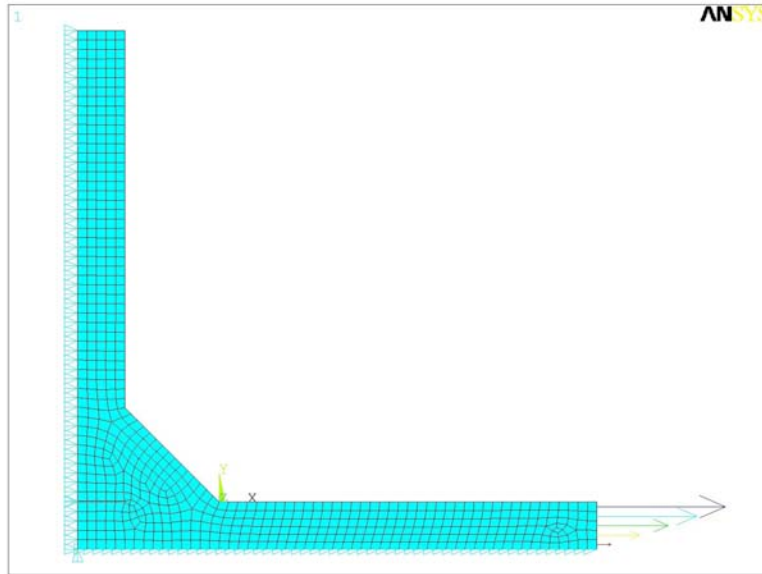


Figura 2.6: Giunto cruciforme NLC 2d con carico di flessione

per il caso 3d giunto sfruttando le simmetrie della geometria si modella solo un ottavo del pezzo, tenuto conto che la numerazione delle aree è quella delle figure 2.7 e 2.8.

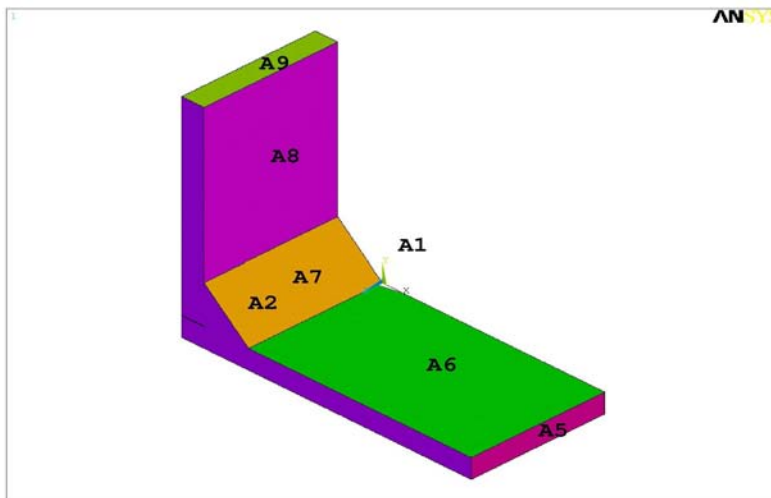


Figura 2.7: Numerazione aree fronte

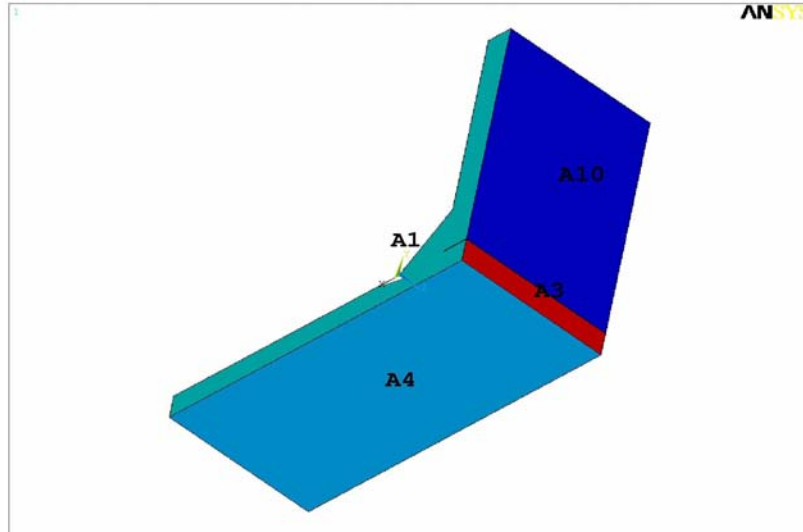


Figura 2.8: Numerazione aree retro

Nel caso il giunto sia sollecitato a trazione è necessario imporre una condizione di simmetria sulle aree n° 1,3,4,10 e caricare l' area n° 5 con una pressione costante, unitaria e negativa.

Mentre nel caso si imponga una carico di flessione va posta la simmetria sull'area n° 1, 3 e 10, l' asimmetria sulla faccia n° 4 , e una pressione a rampa sulla faccia n° 5 che parte da un valore nullo dalla linee condivisa tra le aree n° 4 e 5 e decresce fino a un valore unitario e negativo sulla linea condivisa dalla aree n° 5 e 6 come mostrato nella immagine 2.9. Se si vuole imporre uno stato di deformazione piano, è necessario aggiungere una condizione di vincolo sia per il caso di trazione che di flessione, nello specifico si deve imporre il vincolo di simmetria sulla area n° 2. Se invece si desidera imporre uno stato di tensione piana è invece necessario scegliere un materiale ortotropo come sarà mostrato nel paragrafo 2.5.1 a pagina 55.

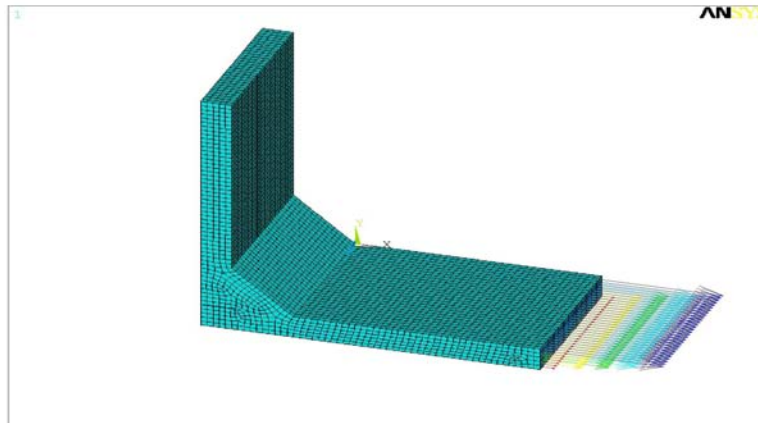


Figura 2.9: Pressione applicata per ottenere un carico di tipo flessionale

2.1.2 giunto cruciforme Load Carrying (LC)

- giunto cruciforme load carrying (LC) ossia con il cordone di saldatura caricato.

Per il caso bidimensionale sfruttando le simmetrie della geometria si modella solo un quarto del pezzo, quindi tenuto conto che la numerazione delle linee è quella della immagine 2.10 si deve applicare le seguenti condizioni al contorno nel caso di flessione o trazione:

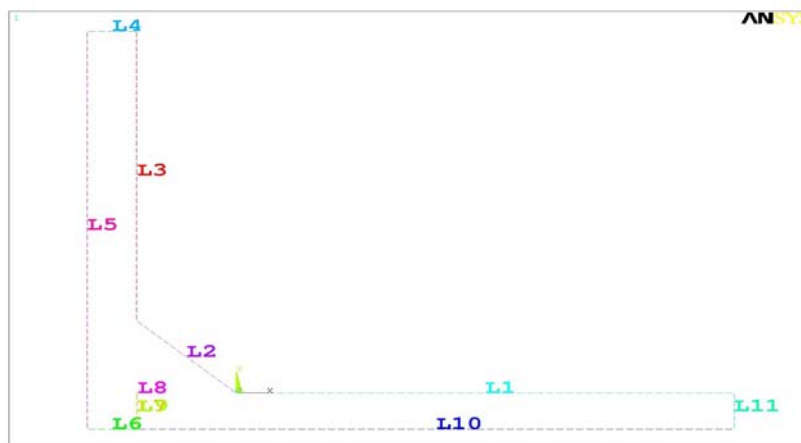


Figura 2.10: Numerazione linee

Nel caso di trazione bisogna applicare una condizione di simmetria per le linee n° 5,6,10 e una pressione unitaria e negativa sulla linea n° 11, ottenendo il modello di immagine 2.11

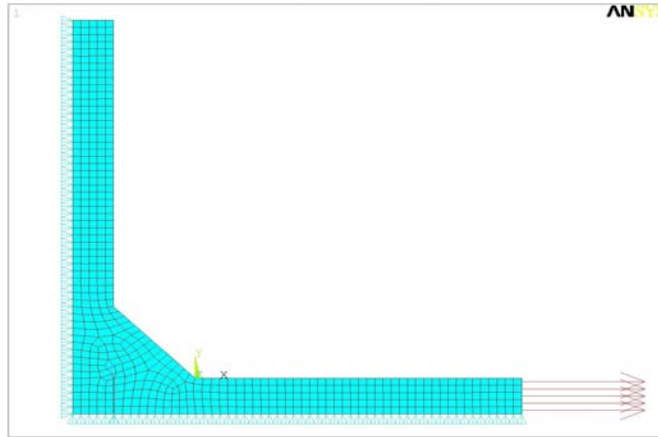


Figura 2.11: Giunto LC 2d caricato a trazione

mentre nel caso di flessione bisogna inserire un vincolo di simmetria per le linea n° 5 e una vincolo di asimmetria per le linee n° 6 e 10 e una pressione a rampa sulla linea n° 11 con valore nullo sul keypoints condiviso con la linea n° 10 e valore unitario e negativo sul nodo condiviso con la linea n°1. Poiché il sistema presenta è ancora libero di traslare lungo l'asse Y si aggiunge si vincola ogni grado di libertà del keypoints condiviso dalle linee n° 5 e 6, in tal modo si toglie ogni labilità al modello. Si ottiene il sistema di figura 2.12.

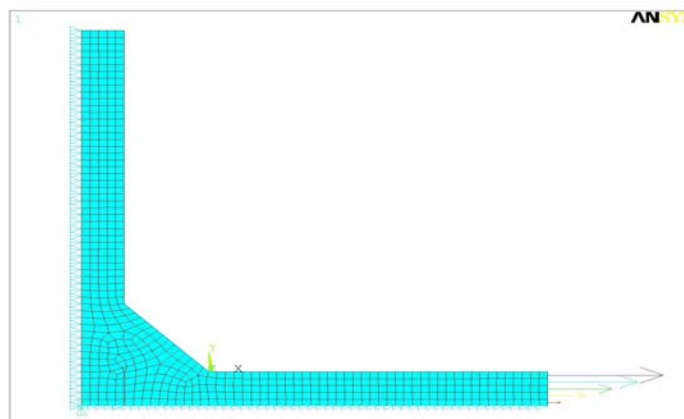


Figura 2.12: Giunto cruciforme LC 2d caricato a flessione

per il caso 3d, sfruttando le simmetrie della geometria, si modella solo un ottavo del pezzo, tenuto conto che la numerazione delle aree è quella delle figure 2.13 e 2.14.

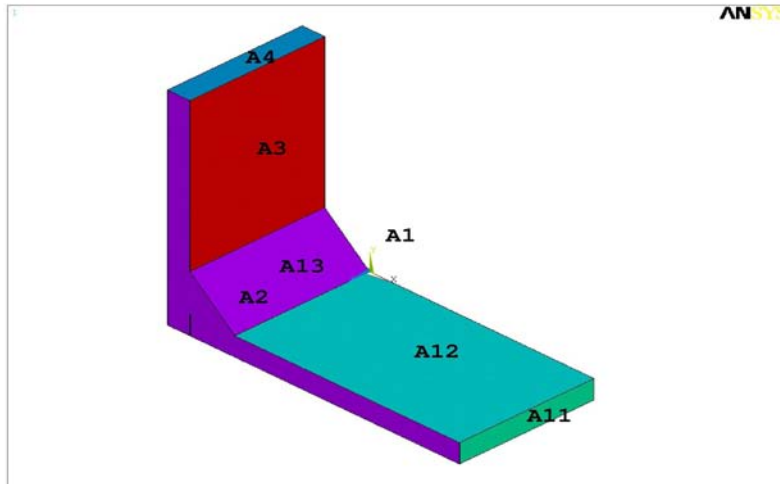


Figura 2.13: Numerazione aree fronte

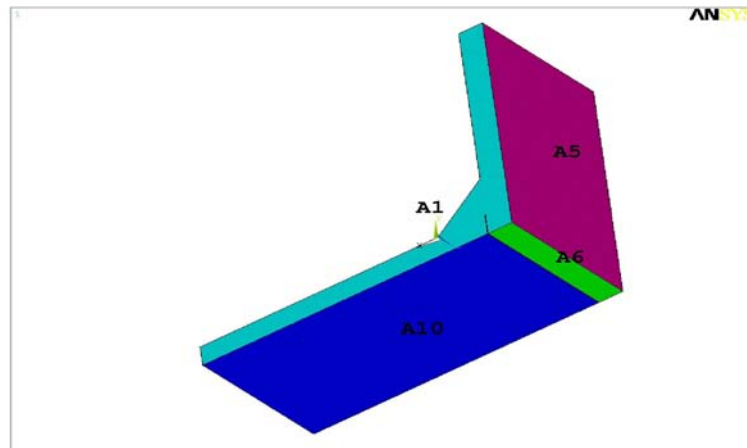


Figura 2.14: Numerazione aree retro

nel caso di trazione è necessario imporre la condizione di simmetria per le aree n° 1,5,6 e 10, e applicare una pressione unitaria e negativa sulla area n° 11.

Mentre nel caso di flessione si deve applicare una condizione di simmetria per le aree n° 1 e 5, una condizione di asimmetria per le aree 6 e 10 e una pressione a rampa sulla faccia n° 11 che passa dal valore nullo sulla linea condivisa dalle aree n° 10 e 11 a un valore unitario e negativo sulla linea condivisa dalla aree n° 11 e 12, ovvero come mostrato in figura 2.15. Per avere tensione piana si impone la simmetria sulla area n° 2 in entrambi i casi.

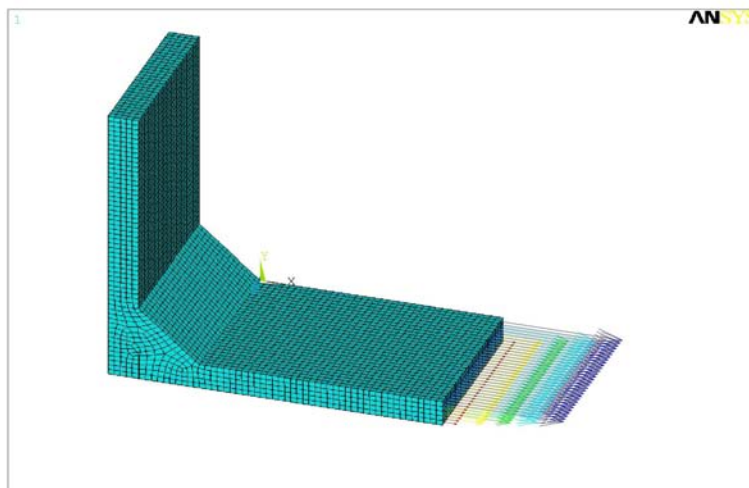


Figura 2.15: Pressione applicata per ottenere un carico di tipo flessionale

2.1.3 giunto a “T” Not Load Carrying (NLC)

- giunto a “T” not load carrying (NLC)

per il caso 2d sfruttando le simmetrie della geometria si modella solo un quarto del pezzo, tenuto conto che la numerazione delle linee è quella riportata in figura 2.16 si applicano le seguenti condizioni al contorno e di carico per i due tipi di sollecitazione:

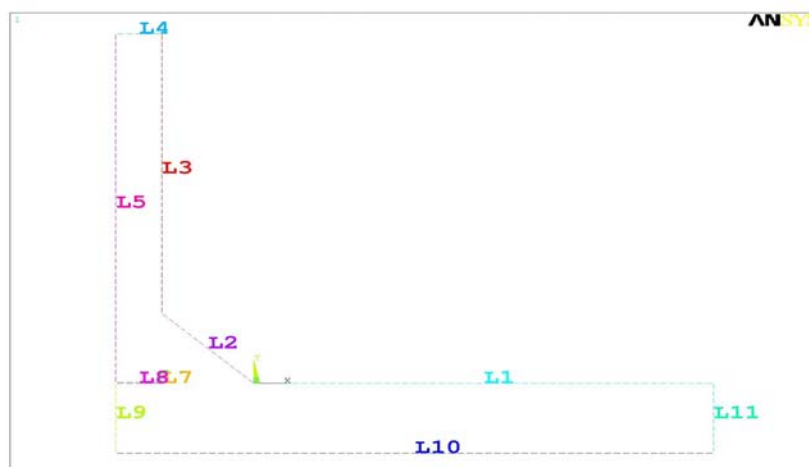


Figura 2.16: Numerazione linee

nel caso di trazione si impone la condizione di simmetria sulle linee n° 5 e 9 e una pressione costante, unitaria e negativa sulla linea n° 11, inoltre si deve vincolare entrambi i gradi di libertà del keypoint condiviso dalle linee n° 9 e 10 per togliere la labilità in

direzione Y del sistema. Applicando tali vincoli e carichi si ottiene il sistema di immagine 2.17 .

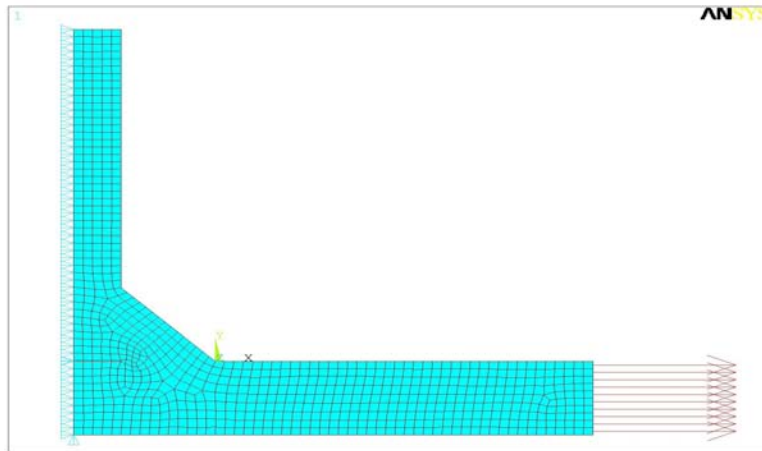


Figura 2.17: Giunto a T NLC sottoposto a trazione

Nel caso di flessione si applicano le stesse condizioni di vincolo sulle linee e sul keypoint del caso di trazione, mentre va applicata una pressione a rampa sulla linea n° 11 che passa da un valore unitario e positivo sul keypoint condiviso dalle linee n° 10 e 11 e unitario e negativo sul keypoint condiviso dalle linee n° 11 e 1 il sistema ottenuto è quello della illustrazione 2.18.

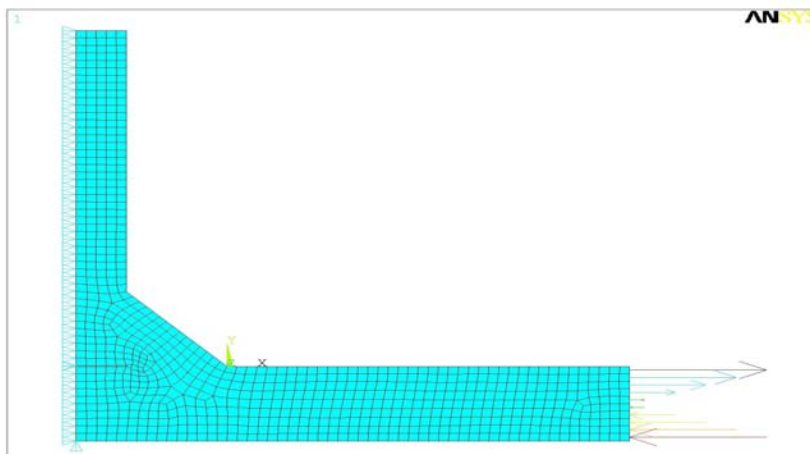


Figura 2.18: Giunto a T NLC sottoposto a flessione

Per il caso 3d sfruttando le simmetrie della geometria si modella solo un ottavo del giunto a T, tenuto conto che la numerazione delle aree è quella delle figure 2.19 e 2.20 le condizioni al contorno applicate sono:

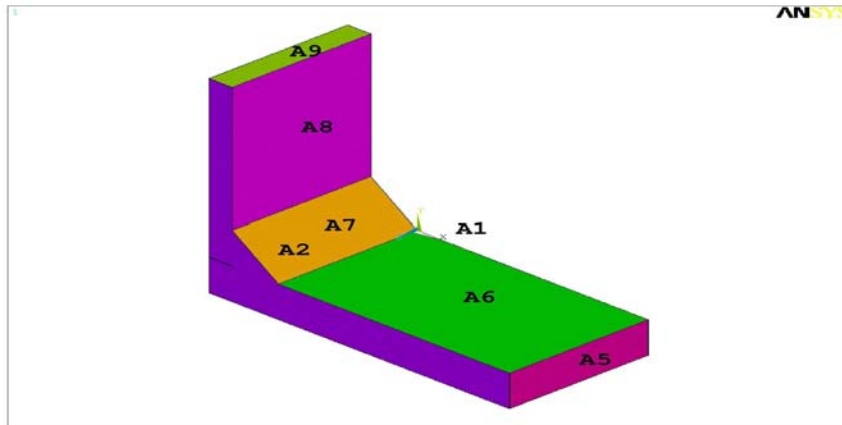


Figura 2.19: Numerazione aree fronte

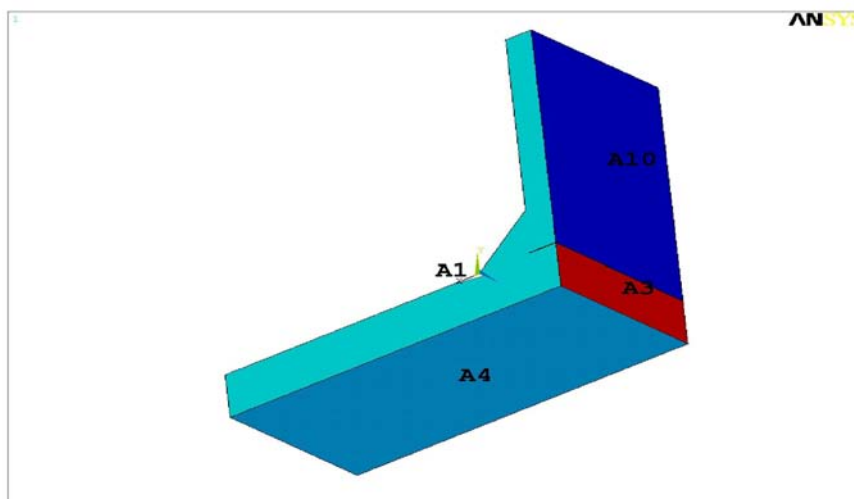


Figura 2.20: Numerazione aree retro

Per il caso di trazione si applica la condizione di simmetria sulle aree n° 1, 3 e 10 e si vincolano tutti i gradi di libertà delle linee condivisa dalle aree n° 3 e 4 per togliere la labilità rimasta al sistema. Inoltre si applica una pressione costante, unitaria e negativa alla area n° 5.

Per il caso di flessione le condizioni di vincolo sono le medesime di quelle di trazione mentre la pressione applicata alla area n° 5 ora è a rampa e passa da una valore unitario e positivo sulla linea condivisa dalle aree n° 4 e 5 a una valore unitario e negativo sulla linea condivisa dalle linee 5 e 6, come mostrato nella figura 2.21. Per avere tensione piana si impone la simmetria sulla area n° 2 in entrambi i casi.

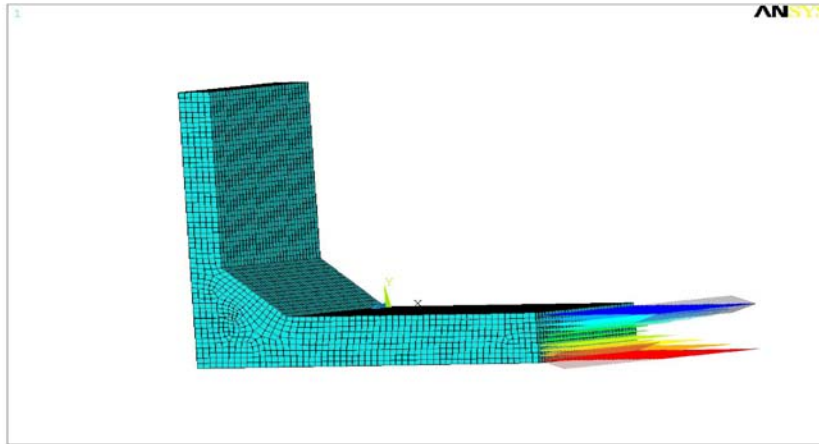


Figura 2.21: Pressione imposta per ottenere il carico di flessione

2.2 Parametri geometrici principali dei giunti in esame e definizione dei Keypoints base.

Nei successivi paragrafi si descrive come sono stati ottenute la geometria, la mesh e la lettura dei risultati per i giunti cruciformi NLC mentre si omette i casi dei giunti cruciforme LC e giunto a T NLC in quanto la loro procedura è pressoché identica e cambiano solo le condizioni al contorno che sono sopra riportate. Si riporteranno nel capitolo 4 i risultati ottenuti per ogni singola simulazione. Le principali caratteristiche geometriche dei modelli sono lo spessore del piatto principale $[T]$, del piatto secondario $[t]$ e il cateto della sezione del cordone di saldatura che è semplificata con la forma di un triangolo rettangolo $[z]$. La lunghezza dei due piatti, e nel caso tridimensionale anche la loro profondità è semplice funzione dei parametri sopracitati. In particolare essendo T lo spessore del piatto principale, t quello del secondario, z la lunghezza del cateto del triangolo di saldatura, si è scelto di imporre la lunghezza del piazzo principale $[h1]$ come 5 volte T , quella del secondario $[h2]$ come 5 volte t . Le coordinate dei keypoints base per costruire la geometria vengono quindi definiti come funzione dei parametri sopra definiti. Nel caso si scrivesse un APDL è conveniente definire i parametri principali e poi ricavare i successive usando le formule precedenti e successive. Nelle tabelle seguenti sono riportate le coordinate dei keypoints necessarie per costruire un quarto del pezzo nel caso di giunti cruciformi NLC e LC e metà giunto nel caso di giunto a T. Quindi riassumendo essendo così chiamati i vari parametri geometrici:

- T è lo spessore della piastra principale

- t è lo spessore della piastra secondaria
- z è la lunghezza del cateto del triangolo di saldatura
- $h_1 = 5 \cdot T$ è la lunghezza del piatto principale
- $h_2 = 5 \cdot t$ è la lunghezza del piatto secondario

le coordinate nel piano XY dei vari keypoints sono espresse nelle seguenti tabelle dove il sistema di riferimento ha origine al piede del cordone di saldatura.:

Tabella 2.1 Coordinate dei Keypoints base per creare la geometria nel caso di giunto cruciforme NLC

COORDINATA X	FORMULA PARAMETRICA	COORDINATA Y	FORMULA PARAMETRICA
X1=	h_1	Y1=	0
X2=	0	Y2=	0
X3=	$-z$	Y3=	z
X4=	$-z$	Y4=	h_2+z
X5=	$-z-t/2$	Y5=	h_2+z
X6=	$-z-t/2$	Y6=	0,1
X7=	$-z$	Y7=	0,1
X8=	$-z$	Y8=	0
X9=	$-z-t/2$	Y9=	0
X10=	$-z-t/2$	Y10=	$-T/2$
X11=	h_1	Y11=	$-T/2$

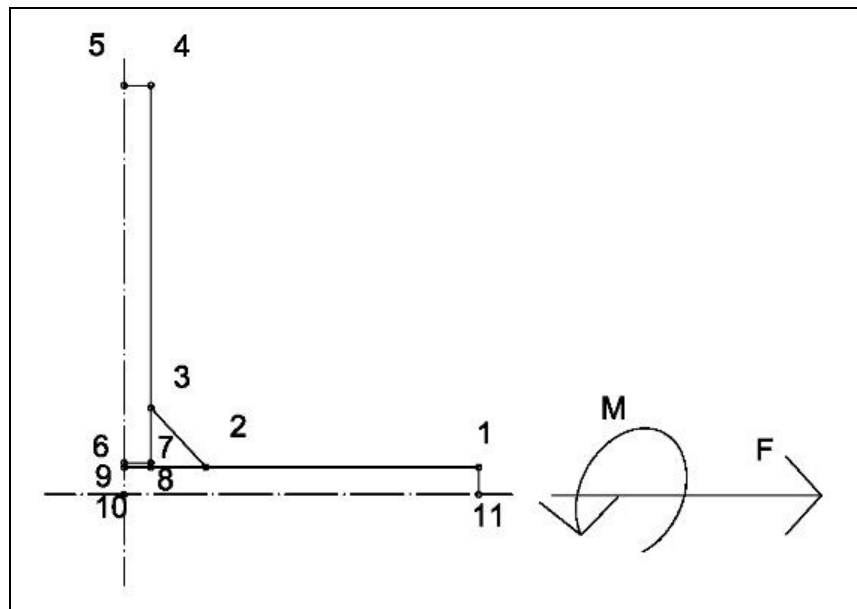


Figura 2.22: Schema dei Keypoints del giunto cruciforme NLC

Tabella 2.2 Coordinate dei Keypoints base per creare la geometria nel caso di giunto cruciforme LC

COORDINATA X	FORMULA PARAMETRICA	COORDINATA Y	FORMULA PARAMETRICA
X1=	h1	Y1=	0
X2=	0	Y2=	0
X3=	-z	Y3=	z
X4=	-z	Y4=	h2+z
X5=	-z-t/2	Y5=	h2+z
X6=	-z-t/2	Y6=	-T/2
X7=	-z	Y7=	-T/2
X8=	-z	Y8=	0
X9=	-z+0,1	Y9=	0
X10=	-z+0,1	Y10=	-T/2
X11=	h1	Y11=	-T/2

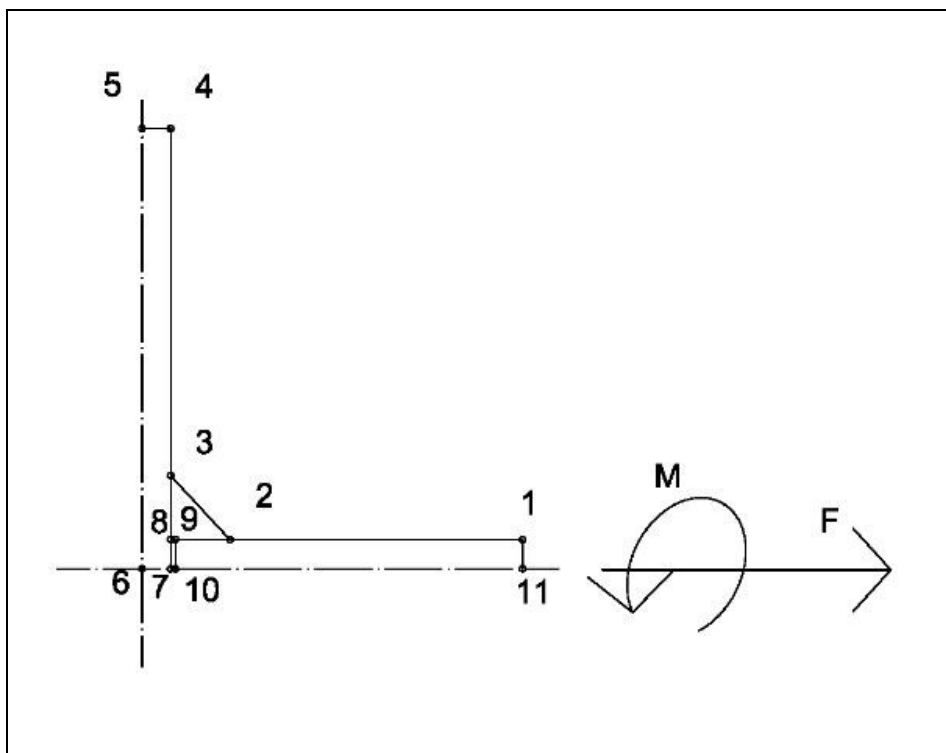


Figura 2.23: Schema dei Keypoints del giunto cruciforme LC

Tabella 2.3 Coordinate dei Keypoints base per creare la geometria nel caso di giunto a T NLC

COORDINATA X	FORMULA PARAMETRICA	COORDINATA Y	FORMULA PARAMETRICA
X1=	h1	Y1=	0
X2=	0	Y2=	0
X3=	-z	Y3=	z
X4=	-z	Y4=	h2+z
X5=	-z-t/2	Y5=	h2+z
X6=	-z-t/2	Y6=	0,1
X7=	-z	Y7=	0,1
X8=	-z	Y8=	0
X9=	-z-t/2	Y9=	0
X10=	-z-t/2	Y10=	-T
X11=	h1	Y11=	-T

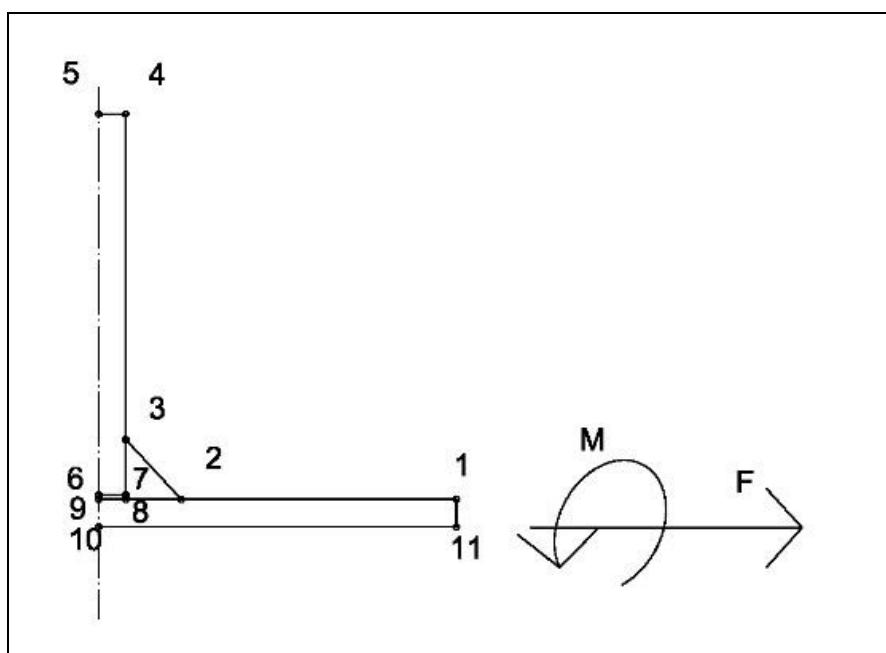


Figura 2.24: Schema dei Keypoints del giunto a T NLC

2.3 Caso cruciforme NLC 2d modello per ricavare il KI preciso.

Il metodo preciso o classico per ricavare gli NSIF prevede la costruzione di una mesh fitta in prossimità dell'intaglio, questo comporta un buon grado di pazienza da parte dell'utente nel costruirla, infatti essa deve essere ben guidata tramite la costruzione di linee guida che

vanno meshate con criterio e con ponderatezza. Vediamo ora tutti i comandi nel loro ordine di esecuzione necessari a ottenere un buon risultato finale.

2.3.1 Preprocessor: generazione della geometria, imposizione delle condizioni al contorno e creazione della mesh

Per cominciare si definisce il tipo di elemento ad esempio il plane 183:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → ELEMENT TYPE →
ADD/EDIT/DELETE → ADD...*

Si sceglie il tipo di elemento in questo caso il plane183 e si preme il tasto OK.

I comandi APDL per fare la medesima operazione sono:

- /PREP7

per entrare nel ambiente di preprocesso;

- ET,1,PLANE183

per definire l' elemento.

Per ottenere uno stato di tensione desiderato ossia tensione piana oppure deformazione piana:

si deve:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR →
ELEMENT TYPE → ADD/EDIT/DELETE → OPTIONS*

Scegliendo per il campo K3 “element behavior” fra le varie possibilità il plane stress o plane strain.

In APDL si deve digitare per la tensione piana:

- KEYOPT,1,3,0

mentre per la deformazione piana:

- KEYOPT,1,3,2

Si definisce ora il tipo di materiale

*MAIN MENU → MATERIAL PROPS → MATERIAL MODELS →
(material model numer n °) STRUCTURAL → LINEAR → ELASTIC → ISOTROPIC*

e si digita il modulo di Young e Poisson ddad esempio per l' acciaio E=206000 e v= 0.3

In APDL:

- MPDATA,EX,1, ,206000

per il modulo di Young.

- MPDATA,PRXY,1,,0.3

per il coefficiente di Poisson.

Ora di definisco i Keypoint per iniziare a tracciare la geometria del modello usato:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELING →
CREATE → KEYPOINT → 1N ACTIVE CS*

in APDL:

- K, "numero keypoint", "coordinata x", "coordinata y", "coordinata z",

Si passa poi alle linee:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELING → CREATE
→ LINES → LINES → STRAIGHT LINE*

e si selezionano a video due a due i nodi che si vogliono unire.

In APDL:

- LSTR, "n° primo nodo", "n° secondo nodo"

per tutti i nodi che si vogliono unire tra loro con una linea.

Ora si crea l'area tramite le selezione di tutte le linee create:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELING → CREATE →
AREAS → ARBITRARY → BY LINES*

e si selezionano tutte le linee.

In APDL:

- AL, "n° prima linea", "n° seconda linea", "n° terza linea", ecc.....

Si giunge infine alla geometria completa del pezzo da analizzare, il quale dovrà essere meshato con qualche accorgimento ovvero saranno costruite delle aree guida per ottenere una mesh idonea allo scopo preposto ossia in graduale infittimento in prossimità del intaglio.

Allo scopo si generano due cerchi:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELING → CREATE →
AREAS → CIRCLE → SOLID CIRCLE*

e inserisco del primo cerchio le coordinate del centro (0,0) coincidenti con l'apice dell'intaglio e il raggio $r=0.5$ mm, e del secondo (0,0) e $r=0,0001$ mm.

In APDL:

- CYL4, “coordinata centro x” , “coordinata centro y” , “raggio”

poiché dei cerchi servono solo le linee cancelliamo subito le loro aree con il comando:

MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELING → DELETE → AREAS ONLY

e si selezionano le aree dei due cerchi.

In APDL:

- ADELE, “n° area”

Ora con le linee dei cerchi si taglia l' area principale usando la seguente serie di comandi:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELING → OPERATE → BOOLEANS
→ DIVIDE → AREA BY LINE*

e seleziono prima l' area poi le linee.

In APDL:

si deve creare un listato con il comando FLST:

- FLST, “numero del campo dove comparirà il ' P51X ' nel comando che userà il listato ” , “numero degli elementi del listato” , “numero che specifica il tipo di elemento” ,ORDE, “numero di linee che specificherà il listato in seguito”

il campo dove è presente il comando ORDE serve a specificare che il listato è in ordine, in alternativa si scrive NOOR se non è ordinato.

Si prosegue selezionando le varie entità con il comando FITEM:

- FITEM, “numero del campo dove comparirà il ' P51X ' nel comando che userà il listato ” , “numero elemento”

il segno meno davanti numero del elemento significa che si selezionano tutti gli elementi compresi tra quello definito nel linea di comando precedente e l' attuale.

Infine si da il comando di taglio:

- ASBL, “numero area”, P51X

nel terzo campo del comando c'è scritto P51X, che è il listato definito con i comandi precedenti, nel nostro caso sostituendo i numeri corretti si scriverà:

```
FLST,3,4,4,ORDE,2
```

in quanto 3 è il numero di campo in cui il listato comparirà, 4 sta a indicare l' elemento linea, 4 il numero di linee, serie ordinata, 2 linee seguiranno per definire tutti gli elementi.

Seguirà:

```
FITEM,3,12
```

```
FITEM,3,-15
```

si sono scelte le linee dalla 12 alla 15 grazie al segno meno davanti al 15, il 3 sta sempre a indicare il numero di campo usato nel successivo comando ovvero il terzo:

```
ASBL, 1,P51X.
```

Si riusa la stessa serie di comandi per tagliare l' area con le linee del secondo cerchio quello di dimensioni maggiori.

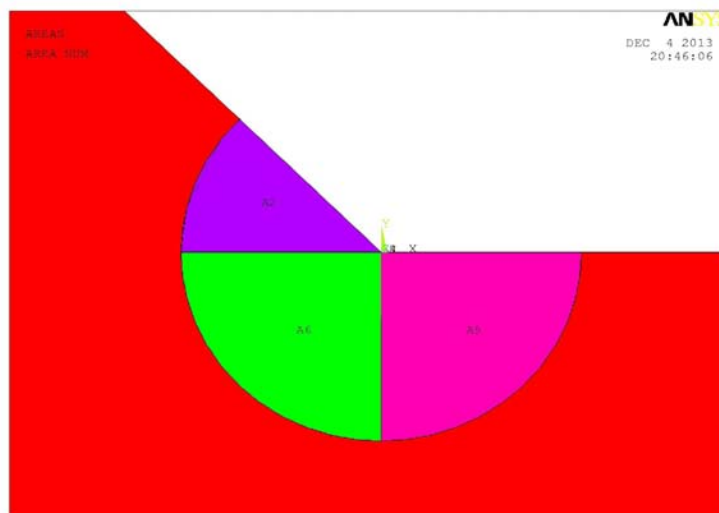


Figura 2.25: Aree con cui si è divisa la geometria utilizzando il cerchio di dimensioni maggiori

Si prosegue dividendo in sotto aree i spicchi di cerchio creati usando sempre gli stessi comandi usati in precedenza e per ottenere la suddivisione di figura 2.25 per il cerchio di dimensioni maggiori e di figura 2.26 per il minore.

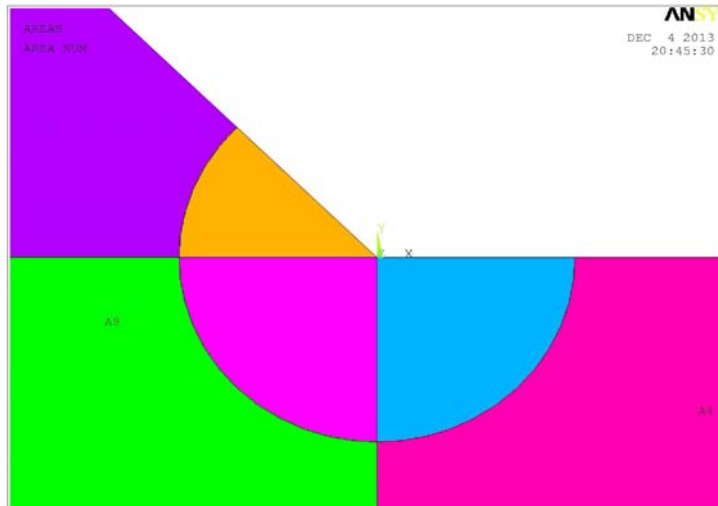


Figura 2.26: Aree con cui si è divisa la geometria utilizzando il cerchio di dimensioni minori

Ora è necessario meshare le linee nei due spicchi di cerchio per creare un mesh ottimale. Allo scopo si usa la seguente serie di comandi:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MESHING →
SIZE CNTRL → LINES → PICKED LINES*

si definirà quindi il numero di divisioni e lo spacing ratio definito come il rapporto tra il primo elemento della linea e l'ultimo.

In APDL:

- LESIZE, “numero linea”, , , “numero divisioni della linea”, “spacing ratio”.

Nella immagine 2.27 si mostra la numerazione delle linee, mentre in tabella 2.4 sono riportate il numero divisioni imposte e lo spacing ratio.

Tabella 2.4 Divisione e spacing ratio delle linee appartenenti al cerchio di dimensioni maggiori.

N° LINEA	N° DIVISIONI	SPACING RATIO
22	4	1
14	8	1
15	8	1
25	100	1500
20	100	1500
21	100	1500
13	100	1500

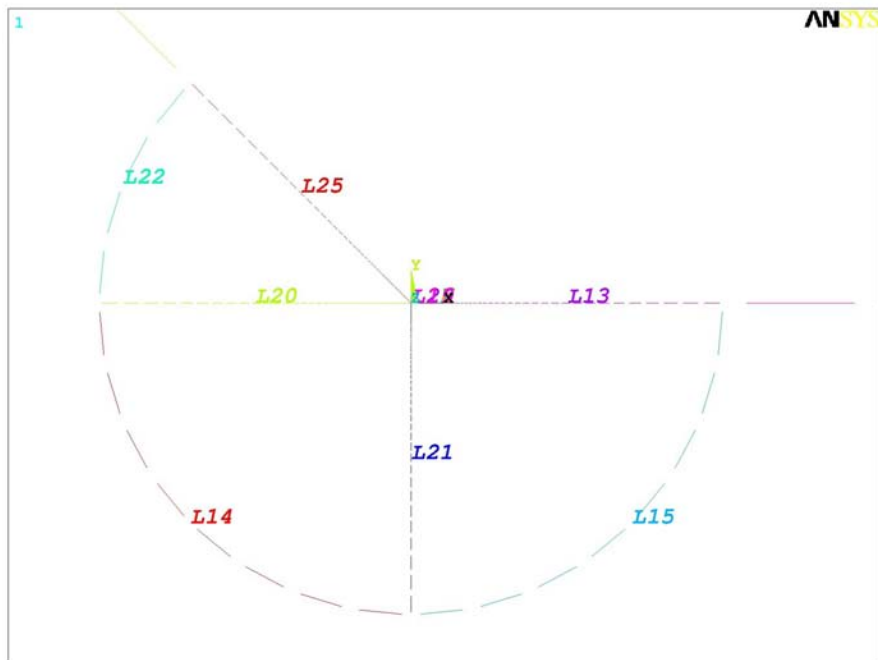


Figura 2.27: Numerazione linee cerchio maggiore.

Mentre per il cerchio minore:

Tabella 2.5 Divisione e spacing ratio delle linee appartenenti al cerchio di dimensioni minore.

N° LINEA	N° DIVISIONI	SPACING RATIO
12	4	1
18	8	1
19	8	1
2	5	1
17	5	1
16	5	1
1	5	1

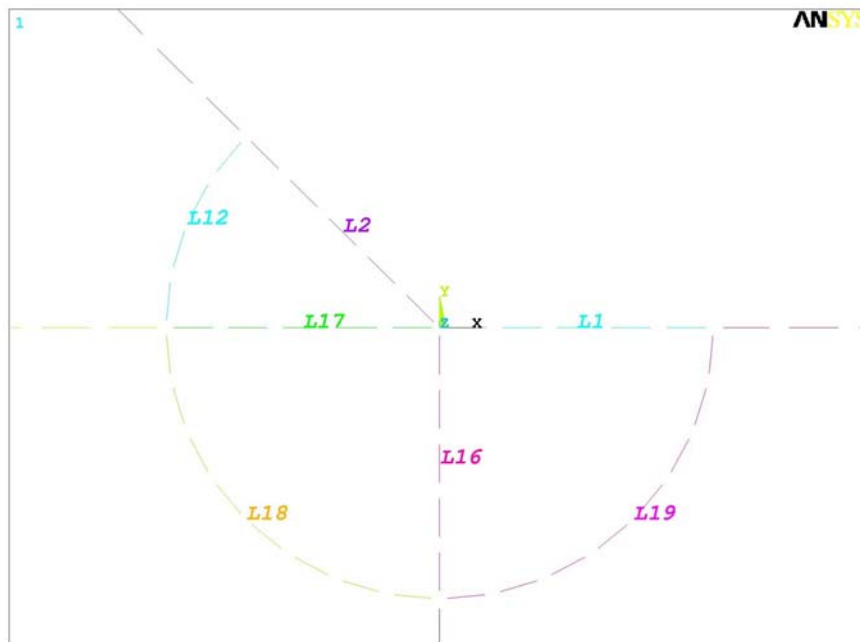


Figura 2.28: Numerazione delle linee per il cerchio di dimensioni minori

Usando questa suddivisione si arriverà ad avere una dimensione del lato dell'elementino quadrato in prossimità dell'incisione pari a 2×10^{-5} mm.

Ora è necessario definire un CONCENTRATION KEYPOINT al fine di guidare bene la mesh verso il punto di singolarità rappresentato dall'apice dell'incisione.

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MESHING →
SIZE CNTRLS → CONCENTRATION KPS → CREATE*

si seleziona il keypoint presente all'intaglio che nel nostro caso è il numero 2, mentre si impone per il campo DELR una dimensione di 0.00002 mm, per il campo RRAT il valore 1 e per il campo NTHET un valore di 4, come mostrato in figura 2.29.

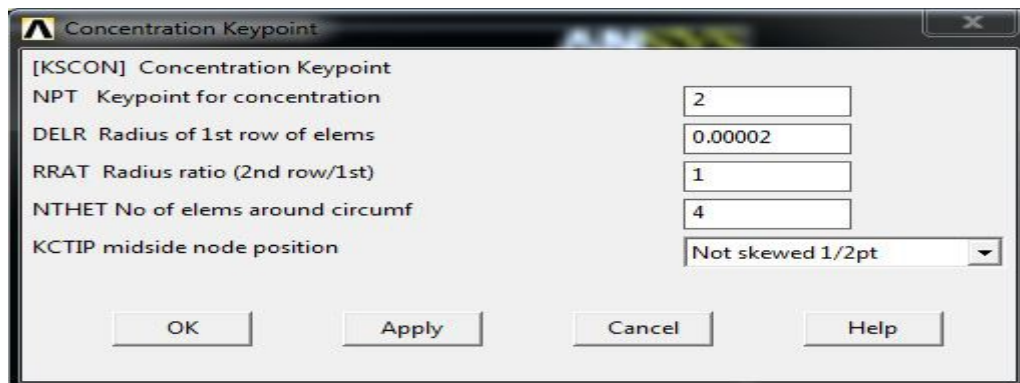


Figura 2.29: Schermata necessaria per la creazione del Concentration Keypoints.

Ora può meshare lo spicchio di dimensioni minori di figura 2.26.

In primis si definisce la forma degli elementi tramite:

MAIN MENU → *PREPROCESSOR* → *MESHING* → *MESHER OPTS*

E senza apportare alcun cambiamento alla schermata che compare si preme OK e si passa alla schermata successiva dove si impone una forma degli elementi quadrata.

Poi si dà il comando di mesh:

MAIN MENU → *PREPROCESSOR* → *MESHING* → *MESH* → *AREAS* → *FREE*

In APDL:

- KSCON, “numero keypoint”, “dimensione del primo elemento”, 0, “numero di divisioni angolari”, 1
- MSHKEY,0
- AMESH, “numero area”

Si ripete la definizione del concentration keypoint per ogni spicchio a contatto con l'apice dell'intaglio, per i due spicchi di dimensione maggiore è opportuno imporre un valore del campo NTHET di immagine 2.29 un valore di 8. Si ottiene la mesh di figura 2.30 .

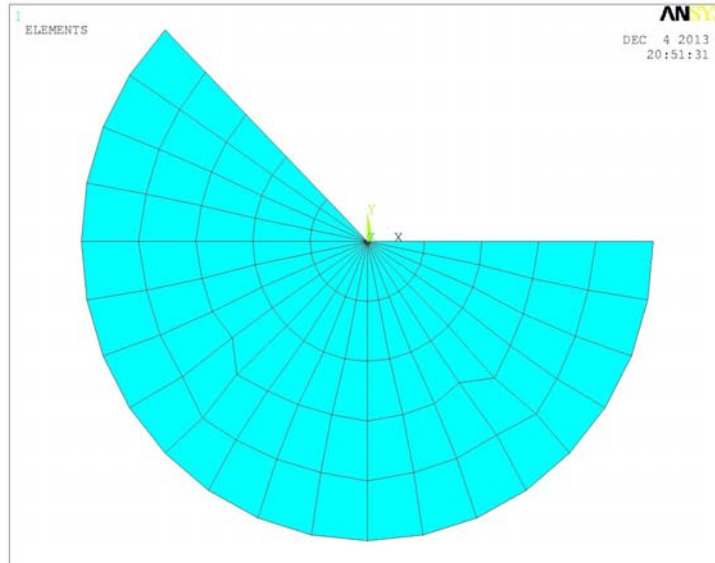


Figura 2.30: Mesh in prossimit  dell'angolo, ovvero del cerchio di dimensioni minori

Per gli spicchi appartenenti al cerchio di dimensioni maggiore non   necessario la definizione del concentration keypoint e si pu  creare la mesh con i comandi sopracitati, ottenendo come risultato la creazione degli elemento di figura 2.31.

Infine si mesha la rimanente area con mesh free senza particolari accorgimenti, solo imponendo una dimensione degli elementi tramite:

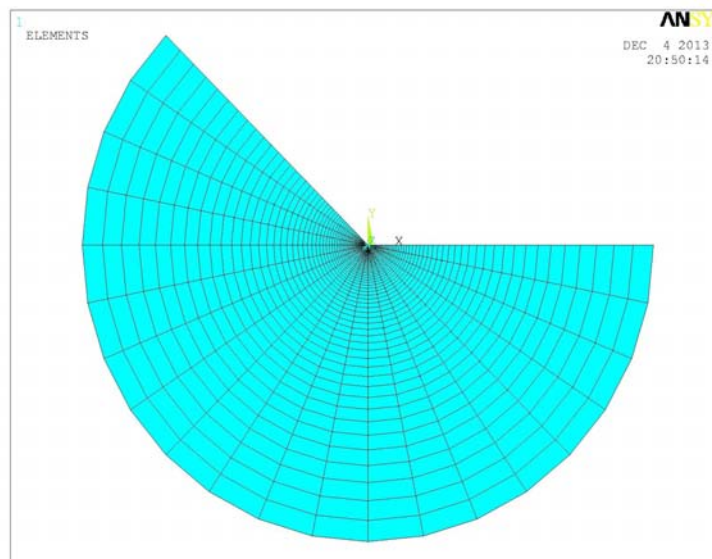


Figura 2.31: Mesh eseguita nell'area di controllo del cerchio di dimensioni maggiori

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MESHING → SIZE CNTRLS →
MANUALSIZE → GLOBAL → SIZE*

e si impone la dimensione desiderata per l'elemento che non crei una però un'eccessiva distorsione in prossimità dell'area ben guidata dalle aree di controllo. Se necessario si può creare un'ulteriore area di controllo per avere una mesh meno distorta.

Poi si mesha tramite :

MAIN MENU → PREPROCESSOR → MESHING → MESH → AREAS → FREE

e si seleziona l'area di interesse.

In APDL:

- ESIZE,d,0

per imporre la dimensione degli elementi.

- AMESH, “numero dell'area”

per eseguire la mesh della area rimanente.

La mesh risultante è mostrata nella immagine 2.32.

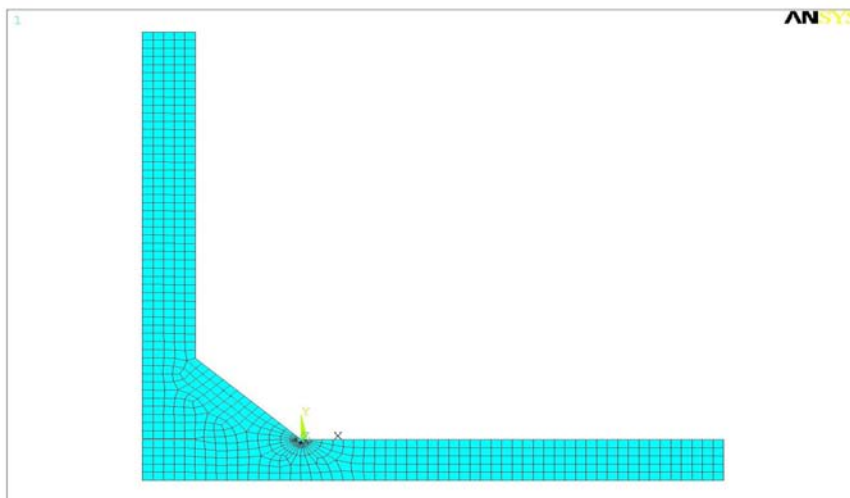


Figura 2.32: Mesh usata per ricavare NSIF con il metodo preciso.

Come ultimo passaggio prima di far partire la simulazione, si deve imporre le condizioni al contorno e i carichi, come mostrato nel paragrafo 2.1.1 .

Si espone ora quali sono i percorsi di comando da eseguire per applicare le varie tipologie di carico e vincolo necessarie.

Iniziamo su come si fa a imporre la simmetria su una linea:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → LOAD → DEFINE LOAD →
APPLY → STRUCTURAL → DISPLACEMENT → SYMMETRY B.C. → ON LINES*

e si selezionano le linee di interesse.

In APDL:

- DL, “numero della linea”, ,SYMM

Inoltre va imposta un pressione unitaria e negativa sulla linea esterna del piatto principale.

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → LOAD → DEFINE LOAD →
APPLY → STRUCTURAL → PRESSURE → ON LINES*

In APDL:

- SFL, “numero linea” ,PRES, “entità della pressione”,

In questo caso “entità della pressione” ha valore -1.

Se invece si vuole applicare un carico di tipo flessionale si deve applicare un vincolo di asimmetria sulla linea di interesse tramite :

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → LOAD → DEFINE LOAD →
APPLY → STRUCTURAL → DISPLACEMENT → ANTISYMM B.C. → ON LINES*

Bisogna a ricordarsi di vincolare il punto centrale del giunto per togliere la labilità del sistema, allo scopo si usa il comando:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → LOADS → DEFINE LOADS → APPLY →
STRUCTURAL → DISPLACEMENT → ON KEYPOINT*

e selezionato il nodo di interesse vincolo entrambi i gradi di libertà.

In APDL:

- DL, “numero della linea” , ,ASYM

per il vincolo di asimmetria

- DK, “numero del punto” , , , ,0,ALL, , , , , ,

Infine impongo una pressione che varia linearmente da 0 a -1 lungo la linea opportuna tramite:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → LOAD → DEFINE LOAD →
APPLY → STRUCTURAL → PRESSURE → ON LINES*

in questo caso inserisco il valore -1 nella prima casella e il valore 0 nella seconda casella a disposizione come mostrato in figura 2.33.

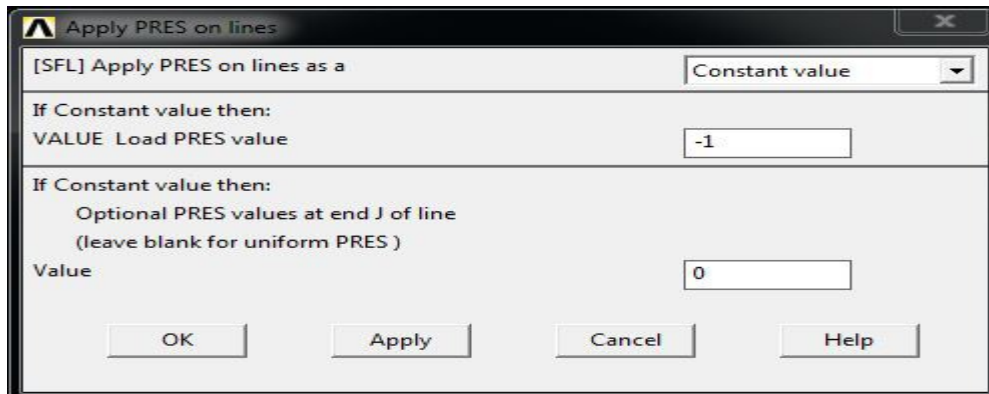


Figura 2.33: Scheda per assegnare la pressione lungo la linea

In APDL:

- SFL, “numero linea” ,PRES, “valore della pressione al inizio della linea” ,“valore della pressione alla fine della linea”

Ovviamente inizio e fine della linea dipende da come é stata definita l'orientazione di quest'ultima se l' andamento della pressione risulta opposto al desiderato basta invertire i due valori.

2.3.2 Solution: lancio della soluzione.

Giunti a questo punto si può lanciare la soluzione:

MAIN MENU → SOLUTION → SOLVE → CURRENT LS → OK

In APDL:

- FINISH

per uscire dal ambiente di preprocesso.

- /SOL

per entrare nel ambiente del solutore.

- /STATUS,SOLU
- SOLVE

terminata la simulazione si può iniziare la lettura dei risultati.

2.3.3 Postprocessor: definizione del sistema di riferimento polare, definizione path, lettura e stampa risultati

Come scritto nel capitolo 1 la definizione di K_I^V prevede un sistema di riferimento polare perciò si creerà un sistema polare con origine all'intaglio.

Per eseguire tale operazione si deve

BARRA DEGLI STRUMENTI → WORKPLANE → LOCAL COORDINATE SYSTEM → CREATE LOCAL CS → BY 3 KEYPOINT

e si seleziona prima il keypoint di origine del sistema che è quello presente nel vertice dell'intaglio, successivamente quello che definisce l'asse x, e infine l'asse y.

Nella scheda che comparirà alla voce KCN si assegna il valore 11 mentre alla voce KCS si deve imporre il sistema polare come si evince dalla figura 2.34.

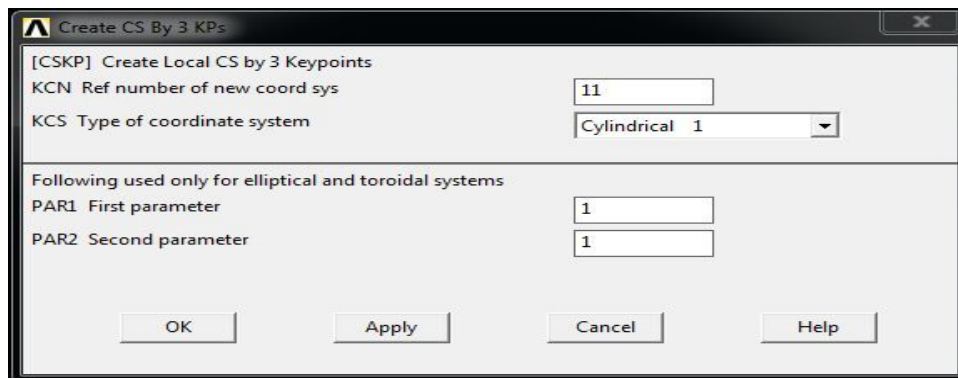


Figura 2.34: Scheda per la definizione del sistema di riferimento polare

In APDL:

- CSKP, “numero del sistema di riferimento”, “tipo di sistema di riferimento”, “n° keypoint per origine”, “n° keypoint per asse x”, “n° keypoint per asse y”, 1,1, ossia in questo caso specifico: CSKP,11,1,2,12,15,1,1,

Ora bisogna attivare il nuovo sistema di riferimento:

BARRA DEGLI STRUMENTI → WORKPLANE → CHANGE ACTIVE CS TO → SPECIFIED COORD SYS...

e si seleziona il sistema di riferimento polare precedentemente creato a cui abbiamo assegnato il numero 11 come mostrato in figura 2.35.

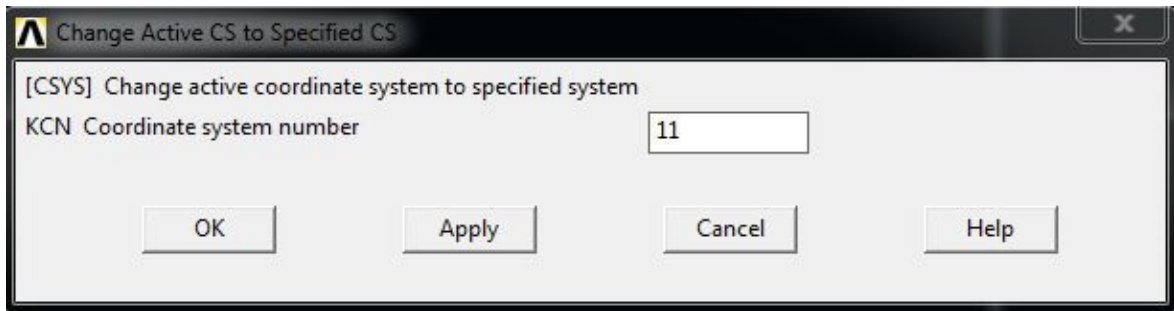


Figura 2.35: Cambio di sistema di riferimento

In APDL:

- CSYS,11,

Infine bisogna attivare la visualizzazione degli output nel nuovo sistema di riferimento:

MAIN MENU → GENERAL POSTPROC → OPTIONS FOR OUTPUT

e si assegna alla voce RSYS si seleziona local system mentre a LOCAL SYSTEM REFERENCE N° si assegna valore 11.

In APDL:

- FINISH

per uscire dal ambiente solution

- /POST1

per entrare nel ambiente post processor.

- RSYS,11

per selezionare il sistema di riferimento desiderato.

Ora si può passare alla analisi dei risultati. Allo scopo si definisce un path tramite il comando:

*MAIN MENU → GENERAL POSTPROC → PATH OPERATIONS →
DEFINE PATH → BY NODES*

Si selezionano i nodi lungo la bisettrice dall'intaglio partendo dall'apice fino alla distanza di 0.5 mm da quest'ultimo dove termina la mesh realizzata con le aree di controllo. Una

volta selezionati tutti i nodi e confermata la selezione si deve compilare un'ultima scheda dove si sceglierà il nome del path ad esempio "path1", il per il campo NSETS cioè il numero di parametri che potranno essere associati al path (qui lasceremo il valore di default 30), il campo NDIV cioè il numero di dati da ottenere per interpolazione tra un nodo e l'altro, che imporranno uguale a 1 al fine di avere solo dati in corrispondenza dei soli nodi.

In APDL:

- PATH, "nome del path", "numero dei nodi del path", "numero di parametri associabili al path", "numero di interpolazioni tra i nodi selezionati"
- PPATH, "numero del nodo lungo il path", "numero che identifica il nodo"

in alternativa se si è preferito eseguire un listato basta scrivere PPATH, P51X, 1.

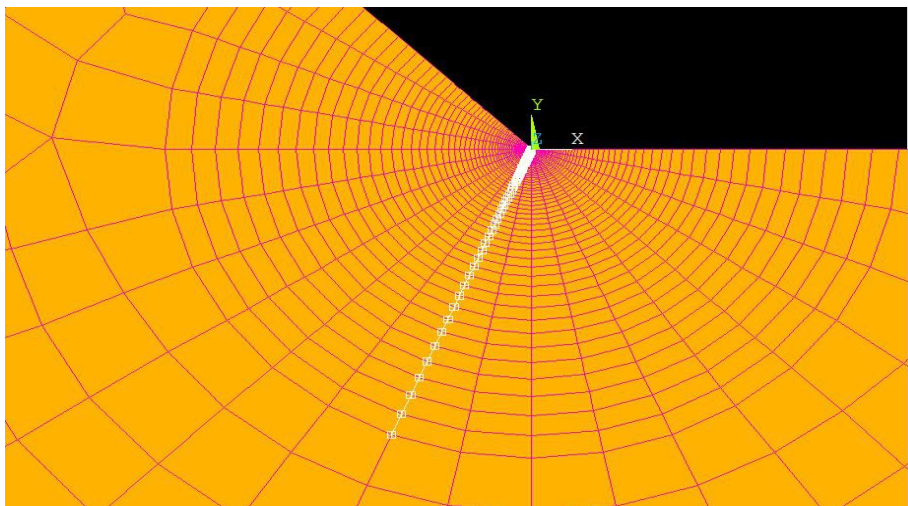


Figura 2.36: I nodi appartenenti al path lungo la bisettrice dell'intaglio

Ora bisogna inserire il tipo di parametro che deve essere associato al nostro path tramite:

MAIN MENU → GENERAL POSTPROC → PATH OPERATIONS → MAP ONTO PATH

Noi siamo interessati alla tensione $\sigma_{\theta\theta}$, che vista la adozione di un sistema di riferimento polare, ora nel software ora è associata alla σ_y . Quindi dai menu a tendina selezioneremo STRESS, e Y DIRECTION SY.

In APDL:

- PDEF, ,S,Y,AVG

Per visualizzare e stampare i valori del path:

MAIN MENU → GENERAL POSTPROC → LIST RESULT → PATH ITEMS

quindi si seleziona il path1, si definisce il parametro da listare σ_y , ovvero la $\sigma_{\theta\theta}$, e comparirà una schermata con due colonne, la prima rappresenta la distanza lungo il path e la seconda il valore di $\sigma_{\theta\theta}$, e possibile da qui stampare un file txt.

O in alternativa è possibile usare il comando paget per salvare i valori del path in un array:

MAIN MENU → GENERAL POSTPROC → PATH OPERATIONS → ARCHIVE PATH → STORE → PATH IN ARRAY

In APDL è possibile usare solo il comando paget:

- PAGET,TRACPOIN,POIN
- PAGET,TRACDATA,TABL
- PAGET,TRACLABL,LABE

Che servono a salvare in array specifici tutte le informazioni del path. Si specifica che i tre array devono avere lo stesso suffisso nel caso in questione TRAC. L'array dove sono stampati i valori di nostro interesse è quello chiamato TRACDATA. Nella prime tre colonne di questo array sono salvati le coordinate x,y,z dei punti, la quarta colonna invece riporta la distanza lungo il path, le colonne successive sono invece i valori che si è scelto di associare al path. Ora si può procedere al comando di stampa:

- *CFOPEN, “nome del file” , “formato del file”

che serve a creare il file prima della stampa. Poi :

- *vwrite,TRACDATA(1,4),TRACDATA(1,5)

che stampa la 4 e la 5 colonna del array TRACDATA dove sono presenti i valori di nostro interesse ovvero la distanza lungo il path e la tensione $\sigma_{\theta\theta}$. Tale comando deve essere seguito da

- (F13.9,' ',F13.9)

che è il formato di stampa, senza di esso la stampa non ha luogo.

Infine si chiude il file:

- *CFCLOS

Per ricaricare il Path salvato in una tabella è necessario eseguire il seguente comando:

MAIN MENU → GENERAL POSTPROC → PATH OPERATIONS → ARCHIVE PATH → RETRIEVE → PATH FROM ARRAY

comparirà una schermata dove è possibile richiamare il path si sceglierà il nome del path ad esempio “richiamopath” e si spunterà l'opzione “All information” come mostrato in figura 2.37.

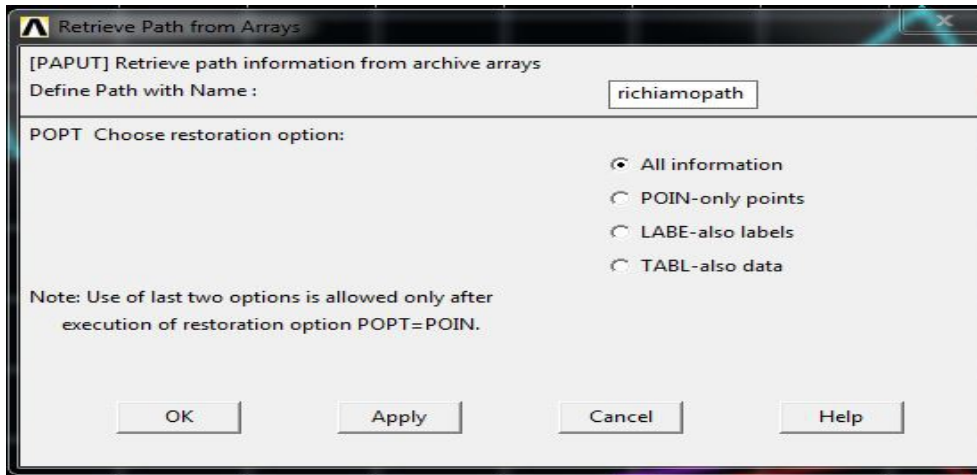


Figura 2.37: Schermata per ricaricare il path.

Nella schermata successiva si sceglierà come identificativo degli array archiviati il suffisso TRAC , a questo identificativo sono associati gli array TRACPOIN, TRACDATA e TRACTABL che contengono ciascuno informazioni riguardanti il path salvato. In tal modo si ricarica il path e i valori ad esso associati.

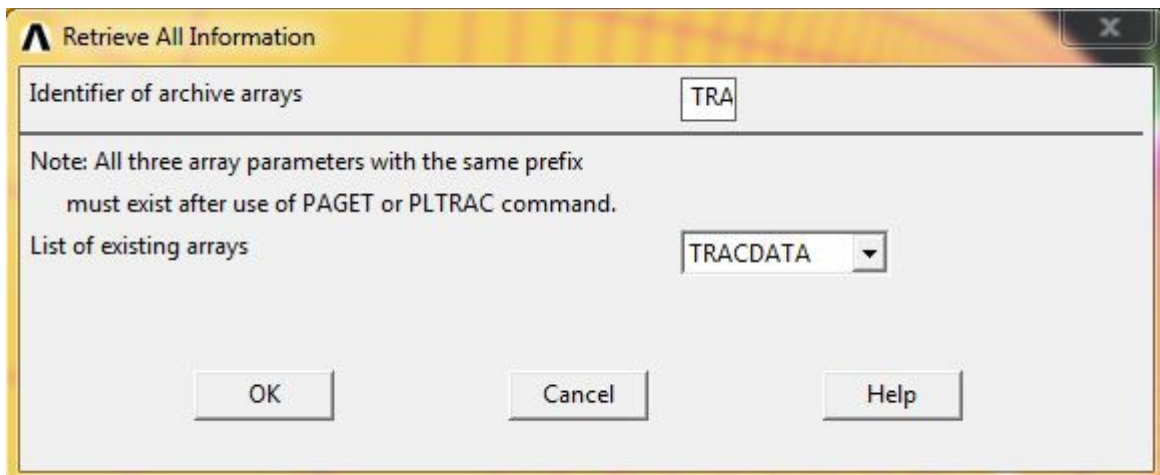


Figura 2.38: Schermata utile a caricare il path salvato negli Array

Se anziché esportare i risultati delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$ lungo la bisettrice in un file di testo per una successiva elaborazione, si preferisse eseguire l'elaborazione restando all'interno del software, Ansys Mechanical offre una serie di operazioni possibili sui valori definiti

lungo il path. Tramite alcuni di questi è possibile plottare il valori del K_I^V in scala logaritmica base 10 della lunghezza dall'intaglio in modo da individuare il plateau. Ora vediamo i comandi da usare.

Per prima cosa calcoliamo la distanza elevata al grado della singolarità. Il comando da usare è:

MAIN MENU → *GENERAL POSTPROC* → *PATH OPERATION* → *EXPONENTIATE*

E si eleva il parametro S che è la distanza lungo il path per il valore 0.326 che è il grado di singolarità per intagli di 135°. (vedi immagine 2.39). Il nuovo parametro così definito lo si è chiamato “S^0.326”.

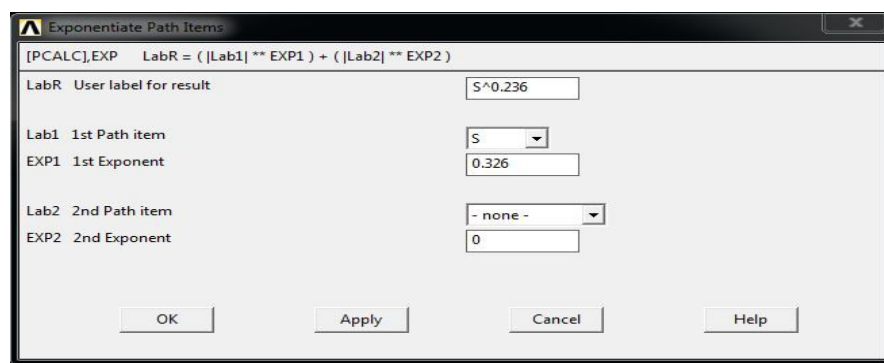


Figura 2.39: Scheda per l'elevamento a potenza della distanza

Ora si può definire il parametro K_I^V cioè l'NSIF mode I. Il comando da usare è il seguente:

MAIN MENU → *GENERAL POSTPROC* → *PATH OPERATION* → *MULPIPLY*

E si moltiplicherà tra loro il parametro “s^0.326” appena definito, il parametro SY che non è altro che la tensione $\sigma_{\theta\theta}$, con l' aggiunta di un fattore moltiplicativo del valore di 2.507 che non è altro che il valore di $\sqrt{2\pi}$, l'immagine 2.40 chiarifica quanto appena detto.

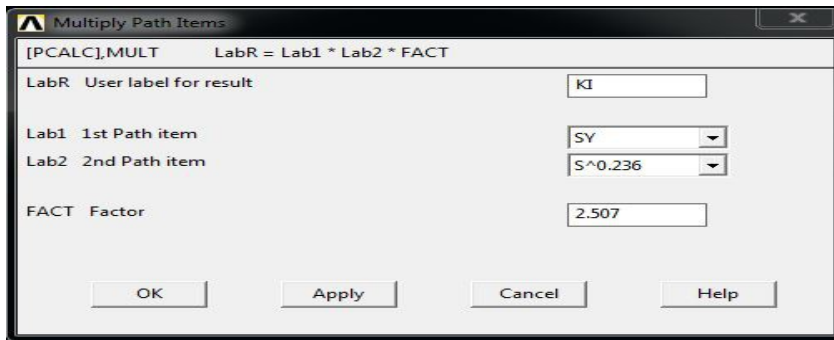


Figura 2.40: Scheda per definire il KI lungo il pah

Ora è necessario plottare NSIF mode I in una grafico con la distanza in scala logaritmica base dieci per visualizzare chiaramente il plateau di interesse. Al fine si deve settare le opzioni per i grafici tramite:

*BARRA DEGLI STRUMENTI → PLOTCTRLS → STYLE →
GRAPHS → MODIFY AXES*

e si seleziona la scala logaritmica per l'asse delle ascisse e delle ordinate.

Ora si può creare il grafico utile a visualizzare il plateau:

*MAIN MENU → GENERAL POSTPROC → PATH OPERATIONS →
PLOT PATH ITEM → ON GRAPH → KI*

I comandi in APDL sono:

- PCALC,EXP,S^0.236,S, ,0.326,0,
- PCALC,MULT,KI,SY,S^0.236,2.507,

per definire i nuovi parametri lungo il path.

- /GROPT,LOGX,ON

per la scala logaritmica sull'asse delle ascisse.

- /GROPT,LOGY,ON

per la scala logaritmica dell'asse delle ordinate.

- PLPATH,KI

per plottare i valori NSIF mode I calcolati.

Qui conviene salvare in un Array il path come mostrato nei passi precedenti, per salvare tutti i nuovi parametri che sono stati definiti.

Il grafico che si ottiene per il parametro KI è del tipo mostrato in figura 2.41 si può facilmente visualizzare il plateau che identifica il valore corretto del NSIF mode I.

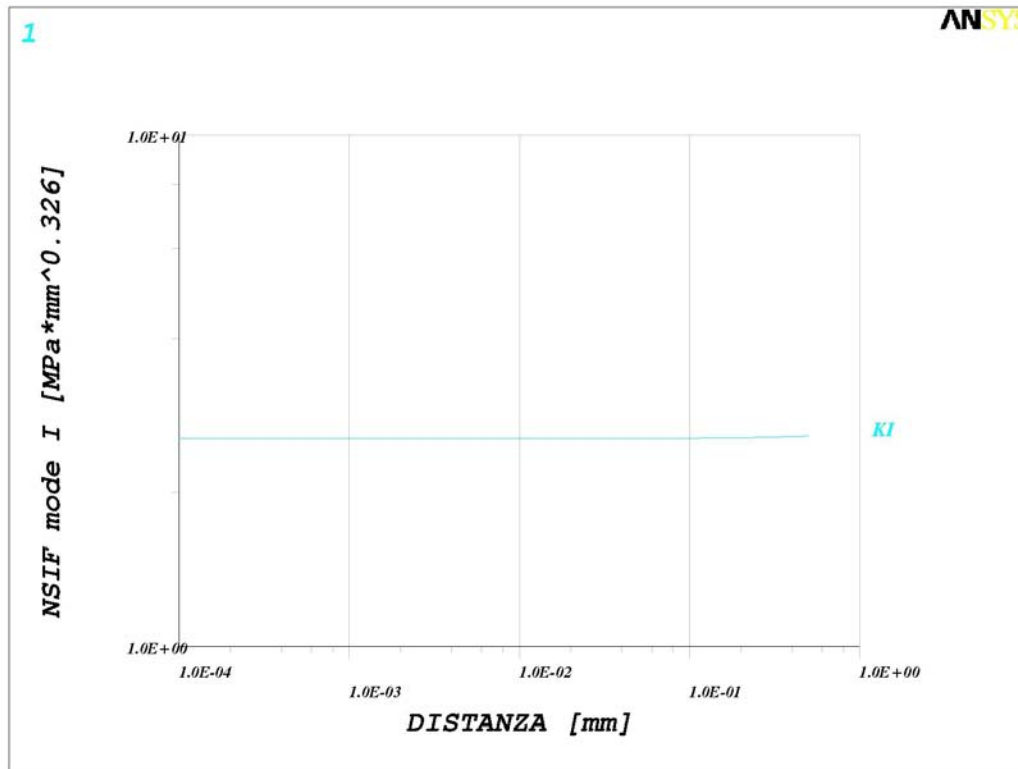


Figura 2.41: Grafico che si ottiene per il parametro K_I^V lungo il path usando Ansys ®

Ultima operazione da eseguire è il salvataggio di tutto il lavoro eseguito:

BARRA DEGLI STRUMENTI → FILE → SAVE AS

In APDL:

- SAVE,' "nome file" ', 'db',

2.4 Caso cruciforme NLC 2d modello per ricavare la tensione di picco (PSM)

Nelle versioni precedenti di Ansys erano implementati elementi con funzioni di forma differenti e per i quali sono già stati ricavati i coefficienti K_{FE}^* Meneghetti e Lazzarin [06] e da Costa [12] per evitare di creare troppa confusione con l'introduzione di un numero eccessivo di coefficienti si è scelto di imporre ai nuovi elementi implementati dalla

versione di Ansys® successive alla 12, le stesse funzioni di forma in modo da ottenere gli stessi coefficienti nella formula del PSM. Il settaggio da imporre per ogni elemento è riportato nella tabella 1.3 a pagina 15.

2.4.1 Preprocessor: definizione della geometria delle condizioni al contorno e della mesh.

Per la creazione della geometria, l'imposizione delle condizioni al contorno e l'imposizione dei carichi, la procedura è identica al caso riportato nel paragrafo 2.3 , e quindi si invita a rifarsi a quanto li scritto. Invece per la definizione degli elementi e la creazione della mesh vi sono alcuni sostanziali differenze. In primis è necessario una volta definito l'elemento tramite la serie di comandi:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → ELEMENT TYPE →
ADD/EDIT/DELETE → ADD...*

è assolutamente necessario settare le corretta funzione di forma nelle opzioni per l'elemento come riportato nella tabella 1.3 a pagina 15, oltre a scegliere che tipo di stato piano si desidera se di tensione piana o deformazione piana (campo K3 delle opzioni dell'elemento). In tal modo otterranno i medesimi K_{FE}^* sia per elementi delle vecchie versioni di Ansys® sia per quelli implementati nella nuova versione. Se si imponessero delle opzioni alternative si otterrebbero valori differenti da quelli qui calcolati. Altra sostanziale differenza rispetto al modello per ricavare il NSIF con il metodo preciso sta nel fatto che non si generano aree di controllo (nel caso di angoli di 135°), infatti giunti alla situazione rappresentata nell'immagine 2.42.

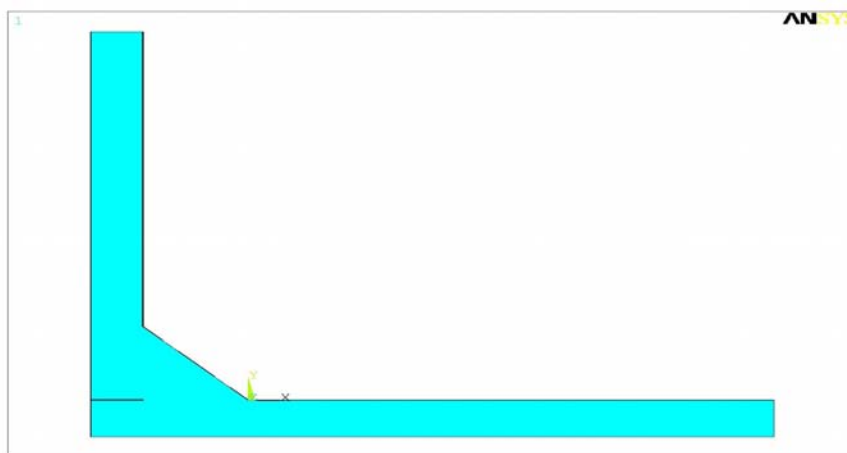


Figura 2.42: Area sulla quale si esegue la mesh

si genera una mesh free senza particolari accorgimenti, tramite i comandi:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MESHING → SIZE CNTRLS →
MANUALSIZE → GLOBAL → SIZE*

per imporre la dimensione desiderata per l' elemento.

Poi si definisce la forma degli elementi tramite:

MAIN MENU → PREPROCESSOR → MESHING → MESHER OPTS

E senza apportare alcun cambiamento alla schermata che compare si preme OK e si passa alla schermata successiva dove si impone una forma degli elementi quadrata.

Poi si mesha tramite :

MAIN MENU → PREPROCESSOR → MESHING → MESH → AREAS → FREE

e si seleziona l' area di interesse.

In APDL:

- `ESIZE,d,0`

per imporre la dimensione degli elementi.

- `MSHKEY,0`

per avere la forma degli elementi quadrata.

- `AMESH, “numero dell' area”`

per eseguire la mesh dell'area rimanente.

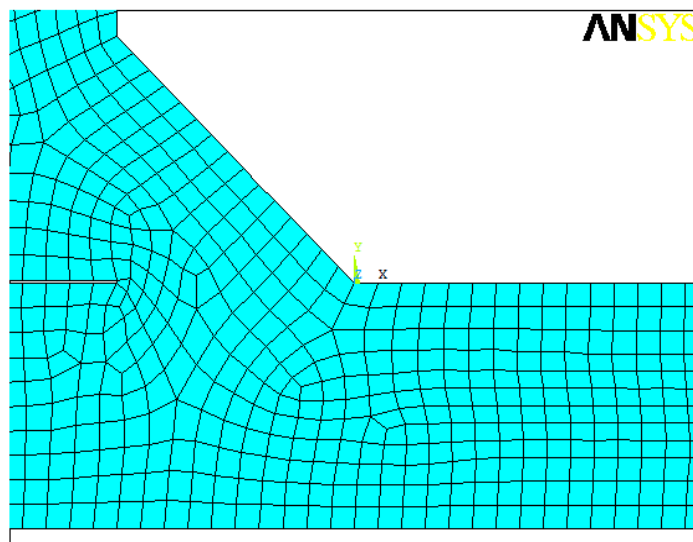


Figura 2.43: La mesh PSM in prossimità dell'intaglio.

2.4.2 Solution: lancio della soluzione

Giunti a questo punto si può lanciare la soluzione:

MAIN MENU → SOLUTION → SOLVE → CURRENT LS → OK In APDL:

- FINISH

per uscire dal ambiente di preprocesso.

- /SOL

per entrare nel ambiente del solutore.

- /STATUS,SOLU

- SOLVE

terminata la simulazione si può iniziare la lettura dei risultati.

2.4.3 Postprocessor: lettura e stampa dei risultati

Ora il valore di interesse è la prima tensione principale al intaglio. Per leggere tale valore si deve:

MAIN MENU → GENERAL POSTPROC → QUERY RESULT → SUBGRID SOLUTION

e dai menù a tendina si seleziona STRESS e 1ST PRINCIPAL S1.

O in alternativa:

BARRA DEGLI STRUMENTI → SELECT → ENTITIES.....

e dai menù a tendina si sceglie NODES, BY NUM/PICK e si seleziona il nodo all'intaglio.

Poi si stampa in un listato i nodi selezionati, in questo caso uno, tramite:

MAIN MENU → GENERAL POSTPROC → LIST RESULTS → NODAL SOLUTION

e si prosegue:

NODAL SOLUTION → STRESS → 1ST PRINCIPAL STRESS

e sarà visualizzata una tabella con i valori del nodo selezionato. Tabella che è possibile stampare in formato di testo.

Si consiglia di rifelezionare tutte le entità al termine della operazione tramite:

BARRA DEGLI STRUMENTI → SELECT → EVERYTHING

In APDL è possibile eseguire tale procedura per la selezione del nodo di interesse:

- /post1

per entrare nell'ambiente di post processo.

Poi si usa la stringa di comando:

- NSEL,S,LOC,Y, “limite sinistro”, “limite destro”

dove NSEL è il comando per la selezione di nodi, nel secondo campo S specifica che si sta eseguendo una nuova selezione, nel terzo campo LOC serve per indicare che la selezione si basa sulla posizione spaziale dei nodi, nel quarto campo Y serve ad indicare si è scelto l'asse Y nel rifermento cartesiano, mentre i due campi rimanenti servono a indicare l'intervallo spaziale lungo l'asse. Quindi NSEL,S,LOC,Y, -0.1,0.1 selezionerà tutti i nodi presenti tra la coordinata $Y=-0.1$ e $Y=0.1$. Proseguendo:

- NSEL,R,LOC,X,“limite sinistro”,“limite destro”

in questo caso R sta a significare che si rifelezionano ulteriormente i nodi della precedente selezione, in questo caso la selezione è lungo l'asse x. Ovviamente si imposteranno i valori in modo da selezionare solamente il nodo all'intaglio. Il successivo comando:

- NSORT,S,1,1,1

serve a selezionare il tipo di valore che siamo interessati a ottenere dalla selezione nodale precedentemente eseguita. In questo caso S serve a selezionare lo stress, 1 la prima tensione principale, 1 a riportare in ordine la selezione, 1 di riportare il risultati in valore assoluto.

Infine:

- *GET, “nome parametro”,sort,0,max

che seleziona dalla selezione nodale il valore massimo (in questo caso coincidente con il minimo essendo selezionato un unico nodo) e ne assegna tale valore a un parametro chiamato “nome parametro”. Ad esempio: S1principale.

Infine si stampa tale parametro in un file txt:

- *CFOPEN,I tensione principale al intaglio,TXT
- *vwrite,S1principale
- (F13.9)
- *CFCLOS

Infine si consiglia di rifelezionare tutte le entità tramite il comando:

- ALLSEL,ALL

Ultima operazione il salvataggio di tutto il lavoro eseguito:

BARRA DEGLI STRUMENTI → *FILE* → *SAVE AS*

In APDL:

- SAVE,'“nome file” ','db',

2.5 Caso cruciforme NLC 3d modello per ricavare la tensione di picco (PSM)

Nella modellazione di componenti tridimensionali per quanto concerne la parte iniziale si crea inizialmente una geometria del pezzo in 2d in maniera analoga a quanto riportato ai casi piani. Per la definizione degli elementi, come realizzare la mesh tridimensionale, l'imposizione dei carichi e l'analisi dei risultati la procedura è differente o richiede passi aggiuntivi e quindi sarà riportata in maniera completa.

2.5.1 Definizione del materiale

Come primo passo, definiamo il tipo di materiale. Con due possibili casi: materiale lineare elastico uniforme e materiale lineare elastico ortotropo. Il caso materiale lineare elastico ortotropo ci servirà a creare uno stato di tensione piana, mentre per il caso di deformazione piana sarà sufficiente vincolare opportunamente il pezzo come mostrato nei paragrafi 2.1.1 2.1.2 2.1.3 e il materiale usato in quel caso sarà lineare elastico isotropo.

Per definire il materiale lineare elastico isotropo si deve:

MAIN MENU → PREPPROCESSOR → MATERIAL PROPS → MATERIAL MODEL → STRUCTURAL → LINEAR → ELASTIC → ISOTROPIC

e si inserisce il modulo di Young (EX), il coefficiente di Poisson (PRXY).

In APDL:

- MPDATA,EX,1,,E
- MPDATA,PRXY,1,,V

dove E è il modulo di Young e V il coefficiente di poisson.

Mentre per il materiale ortotropo:

MAIN MENU → PREPPROCESSOR → MATERIAL PROPS → MATERIAL MODEL → STRUCTURAL → LINEAR → ELASTIC → ORTHOTROPIC

Qui per ottenere uno stato piano di tensione bisognerà assegnare i seguenti valori essendo E il modulo di Young, V il modulo di Poisson:

EX=E

EY=E

EZ=E

PRXY=V
PRYZ=0
PRXZ=0
GXY=E/(2*(1+V))
GYZ=E/(2*(1+V))
GXZ=E/(2*(1+V))

In APDL:

- MPDATA,EX,1,,E
- MPDATA,EY,1,,E
- MPDATA,EZ,1,,E
- MPDATA,PRXY,1,,V
- MPDATA,PRYZ,1,,0
- MPDATA,PRXZ,1,,0
- MPDATA,GXY,1,,E/(2*(1+V))
- MPDATA,GYZ,1,,E/(2*(1+V))
- MPDATA,GXZ,1,,E/(2*(1+V))

nel caso di E=206000 MPa e V=0.3 sarà:

- MPDATA,EX,1,,206000
- MPDATA,EY,1,,206000
- MPDATA,EZ,1,,206000
- MPDATA,PRXY,1,,0.3
- MPDATA,PRYZ,1,,0
- MPDATA,PRXZ,1,,0
- MPDATA,GXY,1,,79230
- MPDATA,GYZ,1,,79230
- MPDATA,GXZ,1,,79230

Ora è bene distinguere due casi, infatti se si usano elementi tetraedrici o cubici le procedure da seguire saranno differenti.

2.5.2 Elementi e mesh nel caso di elementi cubici

Come primo passaggio definiamo gli elementi; il primo sarà un elemento plane mentre il secondo un elemento solid.

Iniziamo con il plane:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → ELEMENT TYPE
→ ADD/EDIT/DELETE → ADD...*

e dal menù a tendina a sinistra scegliamo solid mentre in quello a destra scegliamo o il plane 182 o il plane 183, infine come ELEMENT TYPE REFERENCE NUMBER scegliamo 1.

Ora scegliamo un elemento cubico, quindi ripetendo:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → ELEMENT TYPE →
ADD/EDIT/DELETE → ADD...*

e dal menù a tendina a sinistra scegliamo solid mentre in quello a destra scegliamo o il solid 185 o il solid 186, infine come ELEMENT TYPE REFERENCE NUMBER scegliamo 2.

In APDL:

- ET,1,PLANE”numero del elemento”
- ET,2,SOLID”numero del elemento”

A questo punto è necessario settare le opzioni sul elemento SOLID come specificato dalla tabella 1.3 di pagina 15. Per gli elementi cubici i passi per creare la mesh opportuna sono due: nel primo si mesha il pezzo bidimensionale, nel secondo si estrude la mesh nella terza dimensione.

Iniziamo con la mesh dell'area:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR →
MESHING → MESH ATTRIBUTES → DEFAULT ATTRIBS*

e controlliamo che il tipo di elemento impostato sia del tipo Plane quindi in questo caso con il ELEMENT TYPE REFERENCE NUMBER pari a 1. Quindi si definisce la dimensione dell'elemento tramite:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR →
MESHING → SIZE CNTRLS → MANUALSIZE → GLOBAL → SIZE*

e si seleziona la dimensione desiderata degli elementi.

Si definisce la forma degli elementi , ovvero se triangolare o quadrata tramite:

MAIN MENU → PREPROCESSOR → MESHING → MESHER OPTS

E senza apportare alcun cambiamento alla prima schermata che compare si preme OK e si passa alla schermata successiva dove si impone una forma degli elementi quadrata.

Ora si mesha l'area:

MAIN MENU → PREPROCESSOR → MESHING → MESH → ARES → FREE

e si seleziona l'area di interesse.

Se si sta scrivendo in APDL i comandi sono:

- TYPE, 1

per selezionare l' elemento piano.

- ESIZE,d,0,

per settarne la dimensione globale.

- MSHKEY,0

per definirne la forma. (il valore 0 è per avere una forma quadrata).

Infine:

- AMESH, “numero dell'area”

per meshare l' area di interesse e si ottiene la mesh identica a quella realizzata nel paragrafo 2.4.1 , (vedi figura 2.44)

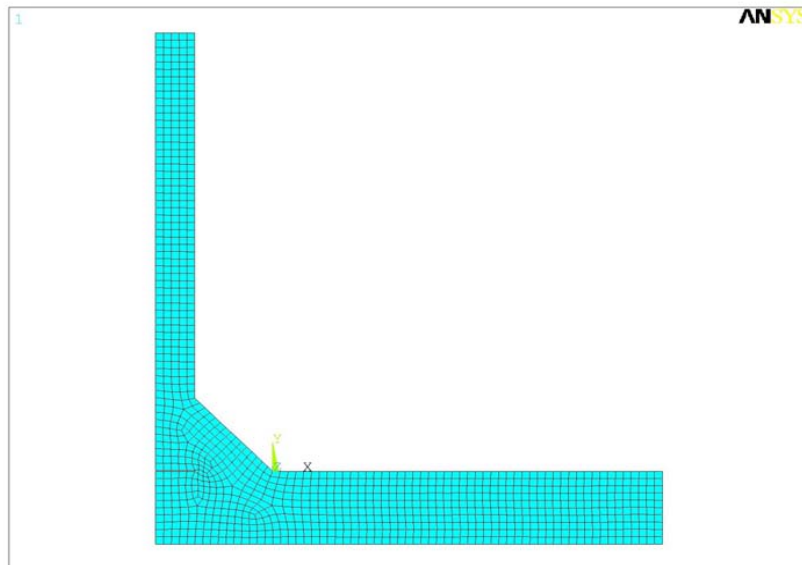


Figura 2.44: La mesh bidimensionale da estrarre lungo l'asse z.

Ora è necessario settare i parametri per eseguire l' estrusione del mesh bidimensionale:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELLING → OPERATE →
EXTRUDE → ELEM EXT OPTS*

per la casella TYPE si imposta l'elemento cubico precedentemente definito. Per VAL1 che definisce il numero di divisioni lungo la lunghezza di estrusione, si imposta un valore che assicuri una dimensione degli elementi nella terza dimensione prossima a quella impostata per gli elementi della area, VAL2 che definisce lo spacing ratio si imposta il valore 1. Per l'opzione ACLEAR si deve spuntare il pulsante e impostarla sul "si", in tal modo gli elementi di tipo plane saranno eliminati una volta eseguita l' estrusione. Questo punto è importante poiché se non vengono eliminati gli elementi piani, quando partirà la simulazione essi contribuiranno nella matrice di rigidezza e daranno un risultato falsato.

La stessa serie di comandi in APDL:

- TYPE, "numero con cui è stato definito l' elemento"

nel nostro caso "numero con cui è stato definito l' elemento" =2 .

- EXTOPT,ESIZE, "numero di elementi lungo la direzione di estrusione", "spacing ratio",
- EXTOPT,ACLEAR,1

per pulire l' area dopo l' estrusione.

Settati i parametri si può procedere con l' estrusione:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELLING → OPERATE →
EXTRUDE → AREAS → BY XYZ OFFSET*

e si imposta una lunghezza di estrusione desiderata. Nel nostro caso la lunghezza di estrusione è lungo l'asse z ed è fissata a 3 volte lo spessore del piatto principale, ma nei casi di dove si è creato uno stato di tensione piano o di deformazione piana , si è imposto una lunghezza di estrusione di solo 5 volte la dimensione dell'elemento, poiché in questi casi si spreca potenza di calcolo inutilmente estendendo oltre modo il pezzo nella terza dimensione.

In APDL:

- VEXT, "numero dell'area da estrarre" , , , "componente del vettore di estrusione lungo l'asse x" , "componente del vettore di estrusione lungo l'asse y" , "componente del vettore di estrusione lungo l'asse z" , , ,

2.5.3 Elementi e mesh nel caso di elementi tetraedrici

Se si intende generare una mesh con elementi tetraedrici i passi da compiere sono differenti. In primis si estrude l'area non meshata ottenuta in modo analogo al paragrafo 2.4.1 e si genera in tal modo un volume libero. Per fare questo si deve :

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELLING → OPERATE →
EXTRUDE → AREAS → BY XYZ OFFSET*

ottenendo il volume del solido. Poi si definisce l' elemento tetraedrico con cui si intende eseguire la mesh:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → ELEMENT TYPE →
ADD/EDIT/DELETE → ADD...*

e scegliamo tra i vari elementi tetraedrici a disposizione: Solid 187, Solid 92, Solid 285 e settiamo opportunamente le opzioni dell'elemento come mostrato in tabella 1.3 a pagina 15.

In APDL:

- VEXT, “numero dell' area da estrarre” , , , “componente del vettore di estrusione lungo l'asse x” , “componente del vettore di estrusione lungo l'asse y” , “componente del vettore di estrusione lungo l'asse z” , , , ,

per estrarre il volume.

- ET,1, “nome elemento”

per definire l'elemento. Il comando APDL per settare le opzioni dell'elemento è presente sulla tabella 1.3 a pagina 15.

Nel passo successivo si setta la dimensione degli elementi:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR →
MESHING → SIZE CNTRLS → MANUALSIZE → GLOBAL → SIZE*

In APDL:

- ESIZE, “dimensione dell'elemento”

E si mesha il volume:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MESHING → MESH →
VOLUMES → FREE*

In APDL:

- MSHKEY,0

per la mesh free

- MSHAPE,1,3d

per elementi tetraedrici e 3d

- VMESH, “numero del volume”

per meshare il volume.

2.5.4 Imposizione dei carichi e dei vincoli

Si passa ora all'imposizione dei carichi e delle condizioni al contorno qui i casi con gli elementi cubici e tetraedrici tornano a coincidere nella procedura da seguire; vi sono anche qui come nel caso 2d due tipi di condizione di carico: flessione e trazione. Le aree da vincolare sono quelle descritte nel paragrafo 2.1 . Qui si specificano i comandi per imporre ciascun tipo di vincolo e di carico.

Per il vincolo di simmetria sull'area:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → LOAD → DEFINE LOAD →
APPLY → STRUCTURAL → DISPLACEMENT → SYMMETRY B.C. → ON AREAS*

In APDL:

DA, “numero dell'area” ,SYMM

Mentre per la pressione uniforme sull'area si procede con il comando:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → LOAD → DEFINE LOAD →
APPLY → STRUCTURAL → PRESSURE → ON AREAS*

e selezionata l'area di interesse si impostato un valore costante della pressione di valore -1.

In APDL:

- SFA, “numero dell'area” ,1,PRES,-1

Nel caso di flessione va imposto anche un vincolo di asimmetria su un area per mezzo del comando:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → LOAD → DEFINE LOAD →
APPLY → STRUCTURAL → DISPLACEMENT → ANTISYMM B.C. → ON AREAS*

è anche necessario togliere la labilità del sistema vincolando una linea allo scopo si usa :

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → LOAD → DEFINE LOAD →
APPLY → STRUCTURAL → DISPLACEMENT → ON LINES*

e si bloccano tutti i gradi di libertà della linea di interesse.

In APDL:

- DA, “numero dell'area” ,ASYM

per la condizione di asimmetria.

- DL, “numero della linea” , ,ALL,

per vincolare la linea.

Nel caso di flessione l'applicazione della pressione desiderata sull'area di interesse è abbastanza laboriosa, tuttavia si è preferito imporre una pressione di questo tipo piuttosto che una semplice pressione su delle linee o delle forze concentrate su opportuni keypoints poiché sarebbe stato necessario allungare molto il pezzo per consentire alle tensioni di redistribuirsi. Facendo ciò il risultato della simulazione sarebbe stato il medesimo ma l'utilizzo delle risorse di calcolo sarebbe stato molto più ingente. I comandi da usare sono per imporre il profilo di pressione desiderato sono:

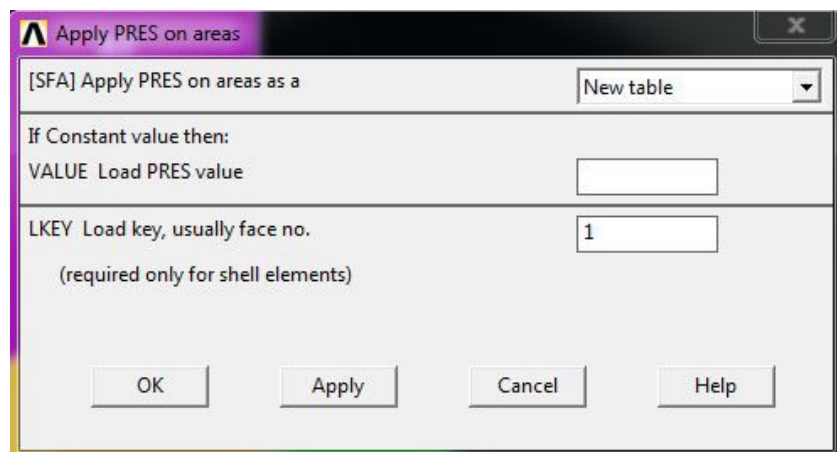


Figura 2.45: Creazione di una nuova tabella per definire il profilo di tensione

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → LOAD → DEFINE LOAD →
APPLY → STRUCTURAL → PRESSURE → ON AREAS*

e si seleziona nella casella “[SFA] APPLY PRES ON AREAS AS A” l'opzione “NEW TABLE” come mostrato in figura 2.45.

Poi si prosegue inserendo nella scheda successiva il nome della tabella che si va a generare come raffigurato in immagine 2.46, in questo esempio la chiameremo “pressione”.

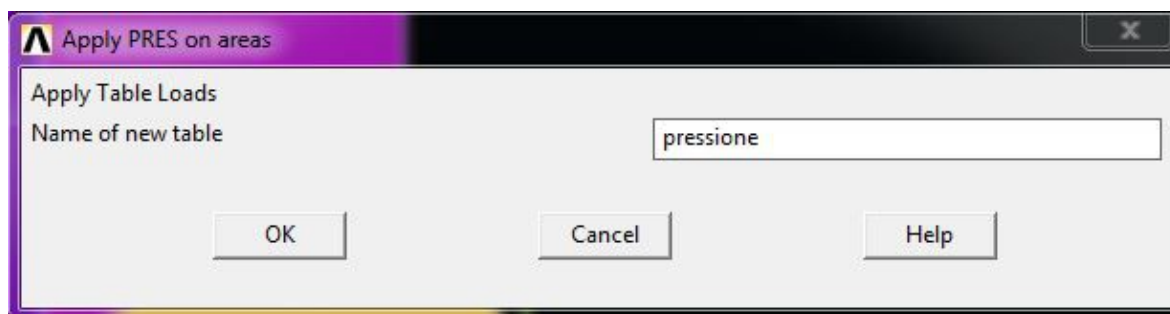


Figura 2.46: Definizione del nome per la nuova tabella

Nella schermata successiva settiamo come 2 il numero delle colonne e delle righe e 1 per quello dei piani. Visto che l' area si trova con la propria normale parallela all'asse X, settiamo come variabile per le righe il parametro Z, per le colonne il parametro Y, e il parametro X per i piani. Tali variabili sono già state definite in automatico da Ansys® e sono associate alle coordinate spaziali. La figura 2.47 chiarisce quanto appena detto.

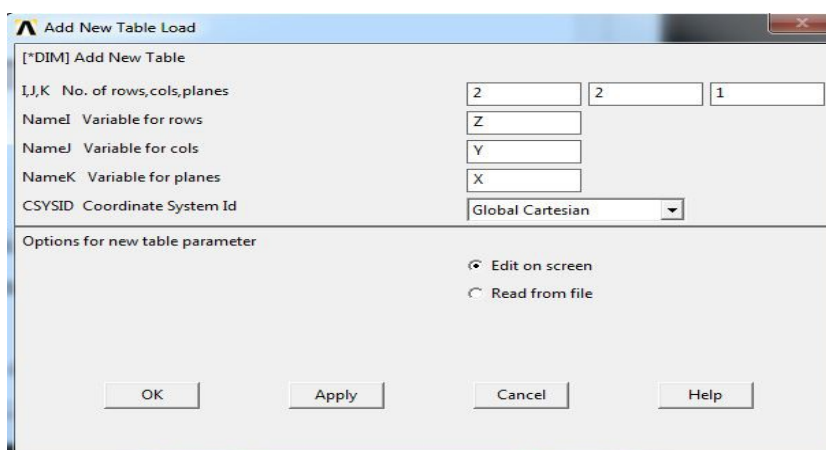


Figura 2.47: Scheda per la definizione delle variabili spaziali della tabella “pressione”

Si deve inoltre spuntare l'opzione “*edit on screen*” per definire il profilo di tensione a video. Quindi proseguendo comparirà un'ultima schermata sarà da definire i valori della tabella in particolare si setterà l' intervallo dei due parametri Z e Y con le coordinate spaziali dei vertici dell'area rettangolare su cui si sta imponendo il profilo di tensione e definirà il valore che assume la pressione in quei punti, nello specifico si imposterà -1 sui due vertici superiori e 0 in quelli inferiori per i giunti cruciformi mentre per i giunti a T si imposterà -1 sui due vertici superiori e -1 in quelli inferiori poiché per quest'ultimi possiedono un asse di simmetria in meno.

Table Array: PRESSIONE = f(Z,Y,X)

File Help

Page Increment Full Page

	Y	
Z	-5	0
0	0	0
30	-1	-1

Figura 2.48: Definizione dei valori della tabella “pressione” che definisce la forma profilo di tensione sulla area di interesse.

Si otterrà il profilo di pressione illustrato in figura 2.49:

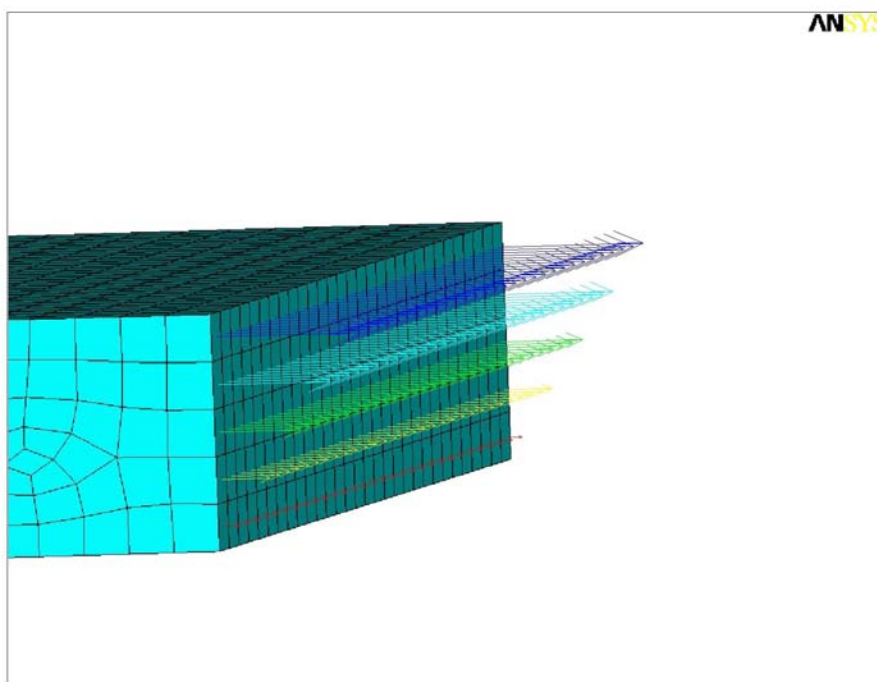


Figura 2.49: Profilo di tensione ottenuto

In APDL la serie di comandi è la seguente:

- *DIM, “nome della tabella” ,TABLE, “numero delle righe” , “numero delle colonne” , “numero dei piani”,z,y,x, 0

per creare la tabella e definire i parametri spaziali e i valori di pressione necessari.

- SFA, “numero dell'area” ,1,PRES, % “nome della tabella” %

per applicare la pressione definita dalla tabella all'area di interesse .

Resta ancora da definire i valori della pressione e i limiti spaziali entro cui e definita, questi ultimi coincidono con le coordinante dei vertici della area di interesse. Allo scopo i comandi sono:

- *SET, “nome della tabella”(“n°riga” , “n° colonna” , “n° piano”), valore

per definire gli stessi valori di immagine 2.48 la serie di linee di comando sono, per i limiti spaziali:

- *SET, pressione(0,1,1) , -5
- *SET,pressione(0,2,1) , 0
- *SET,pressione(1,0,1) , 0
- *SET,pressione(2,0,1) , 30

Mentre per i valori della pressione in quei punti:

- *SET,pressione(1,2,1) , -1
- *SET,pressione(2,2,1) , -1
- *SET,pressione(1,1,1) , 0
- *SET,pressione(2,1,1) , 0

2.5.5 Lancio della soluzione

Si lancia la soluzione sempre tramite il comando:

MAIN MENU → SOLUTION → SOLVE → CURRENT LS → OK

In APDL:

- FINISH

per uscire dal ambiente di preprocesso.

- /SOL

per entrare nel ambiente del solutore.

- /STATUS,SOLU
- SOLVE
- FINISH

come visto per i casi precedenti.

2.5.6 Analisi dei risultati

Per l'analisi dei risultati la procedura è molto simile a quanto riportato nel paragrafo 2.3.3, infatti si eseguirà la definizione di un path come fatto in quel paragrafo. I punti con i quali si deve definire il path sono quelli lungo la linea dell'intaglio, come mostrato in figura 2.50.

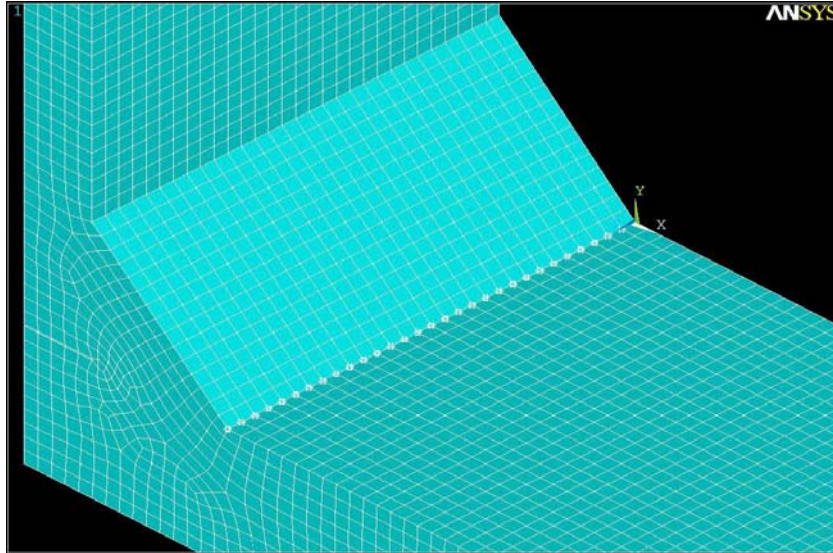


Figura 2.50: Il path creato lungo la linea dell'intaglio

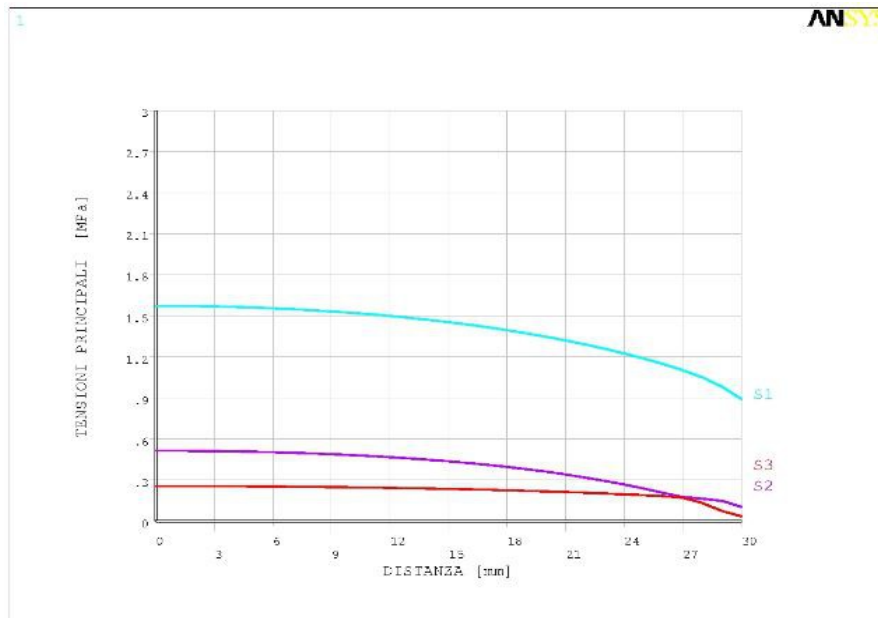


Figura 2.51: I valori delle tre tensioni principali S1 S2 S3 in MPa lungo la linea dell'intaglio dalla mezzeria fino al bordo esterno nel caso di carico flessionale senza aver indotto un stato piano.

Anche in questo caso ci interessa la prima tensione principale. Essa varierà lungo il cordone di saldatura a meno che non si abbia imposto tramite il materiale ortotropo uno stato di tensione piano o tramite il vincolo apposto uno stato di deformazione piano.

Nel caso non si imponesse uno stato di piano di tensione o deformazione l'andamento tipico dello stato di tensione è riportato nelle figure 2.51 e 2.52, si ricorda che la mesh adottata è quella tipica del PSM. Come si può osservare nel caso di flessione la prima tensione principale (S1) ha il suo massimo in mezzeria e cala man mano che ci si avvicina ai bordi esterni. Mentre nel caso di carico remoto di trazione c'è un picco della prima tensione principale (S1) in prossimità del bordo esterno e man mano che ci si avvicina alla mezzeria la tensione si assesta ad un valore costante e di entità minore.

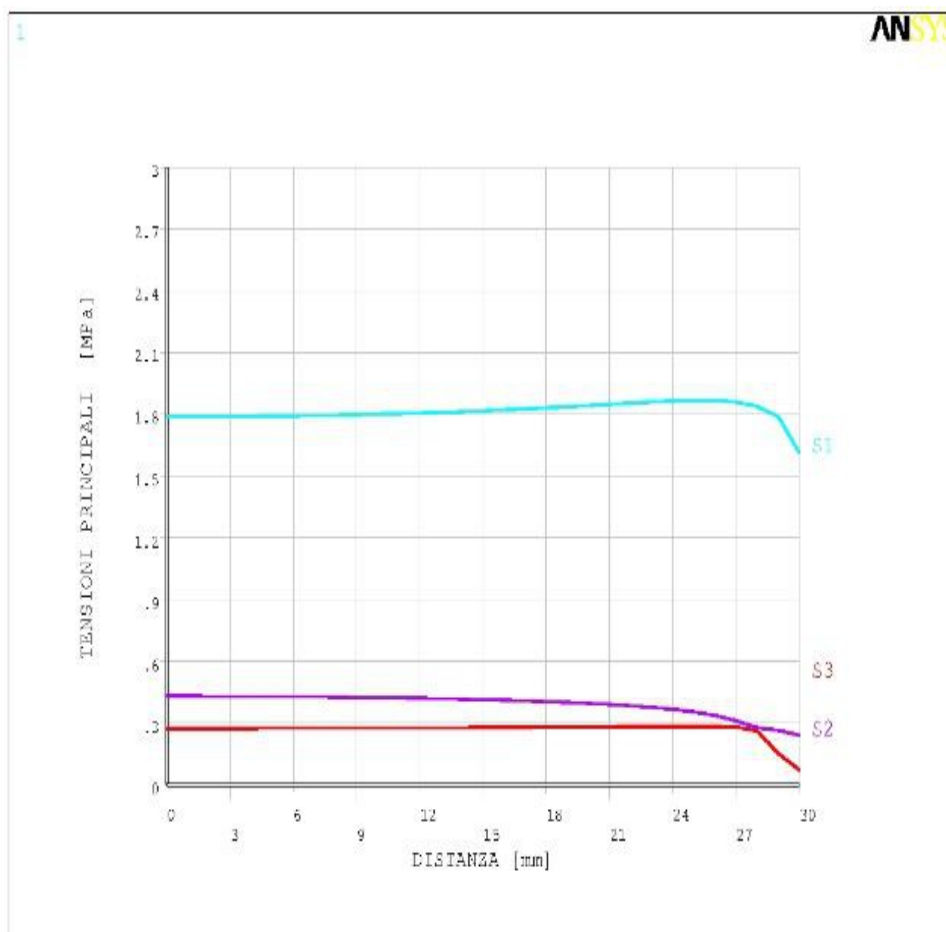


Figura 2.52: I valori delle tre tensioni principali S1 S2 S3 espressi in [MPa] lungo la linea dell'intaglio dalla mezzeria fino al bordo esterno senza aver indotto un stato piano.

Se invece si impone uno stato di tensione piano si ottiene vincolando opportunamente il giunto le tensioni principali che si risconteranno lungo il piede della saldatura saranno costanti come mostrato nella figura 2.54.

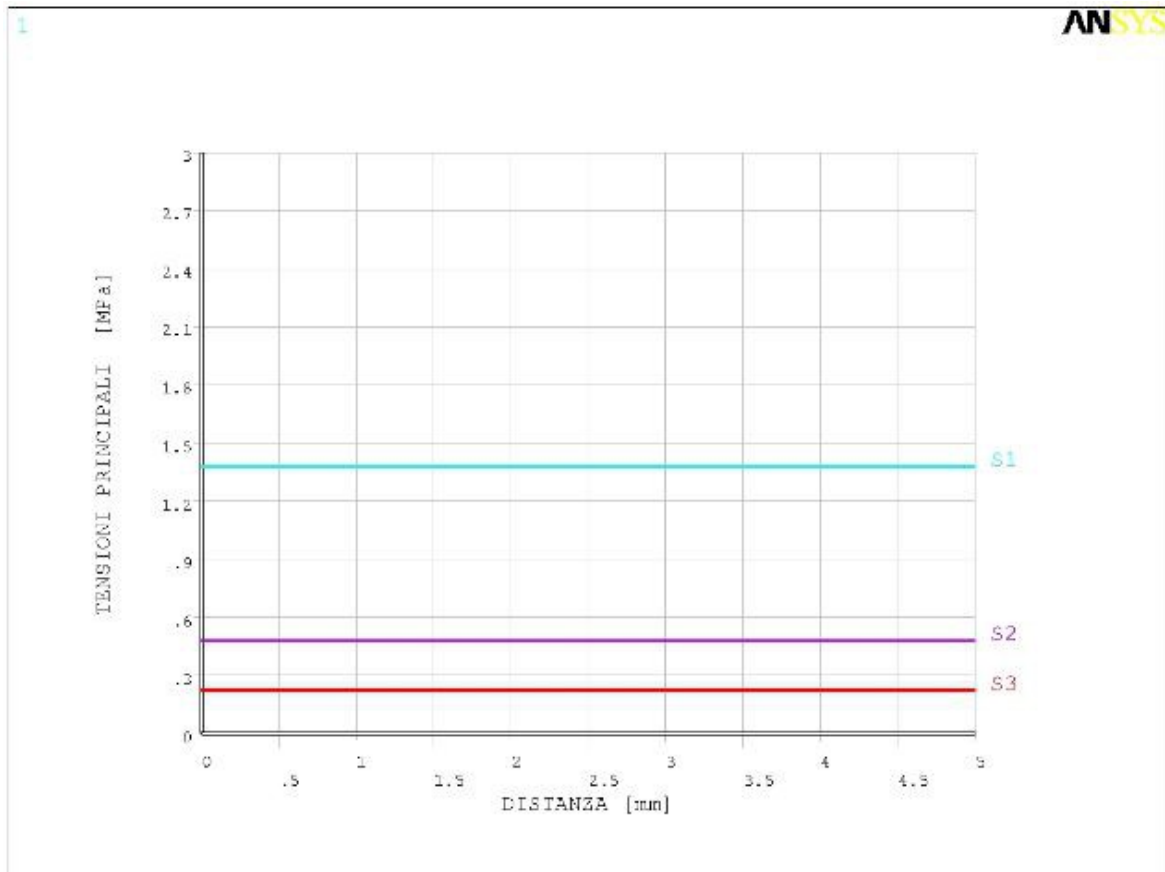


Figura 2.53: Le tre tensioni principali lungo il cordone di saldatura nel caso di tensione piana indotta tramite i vincoli imposti, tutte e tre le tensioni risultano costanti lungo tutto il piede del cordone.

Nel caso invece si adoperasse un materiale ortotropo con caratteristiche illustrate nel paragrafo 2.5.1 a pagina 55 e quindi si inducesse uno stato di tensione piano le tensioni principali lungo il piede sarebbero sempre costanti ma con la terza tensione principale nulla, come la figura 2.54 ben mostra.

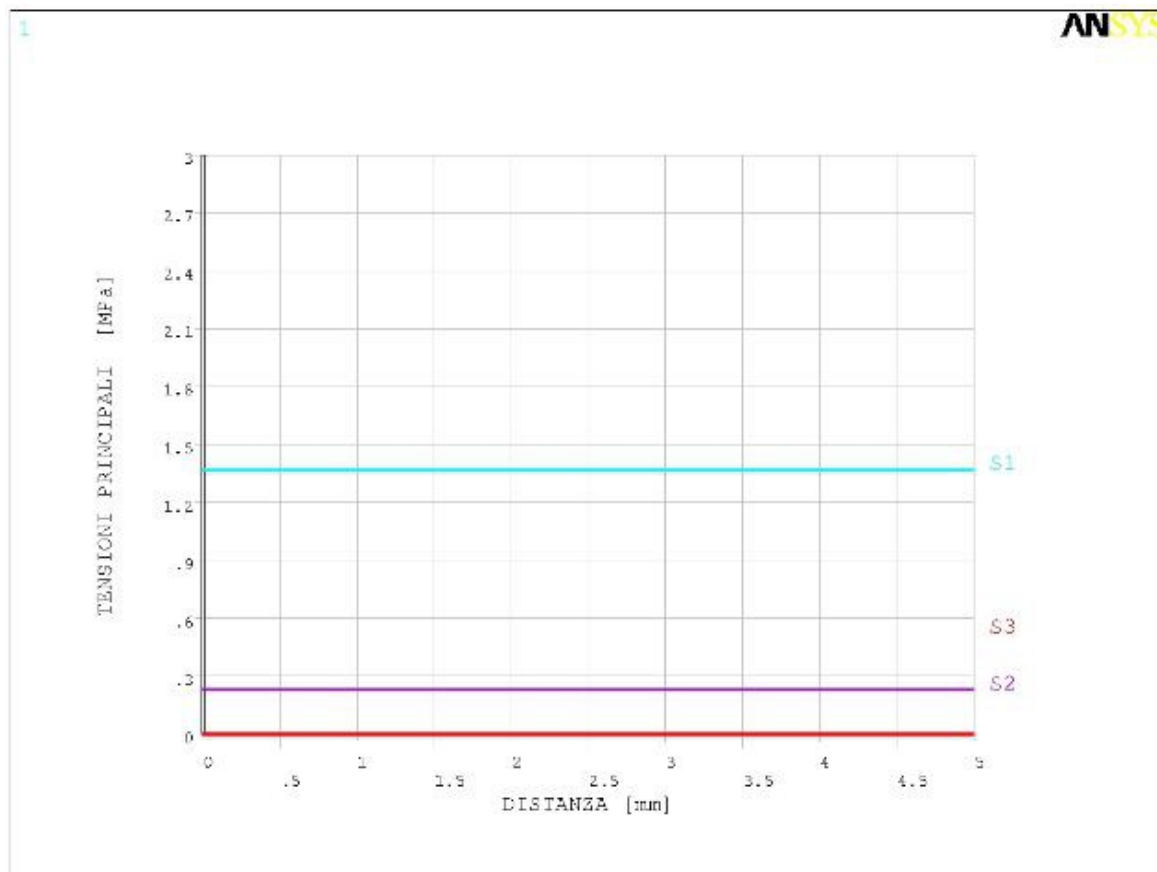


Figura 2.54: Le tre tensioni principali (S1, S2, S3) lungo il cordone di saldatura nel caso di tensione piana indotta tramite la definizione di un materiale ortotropo con caratteristiche ben definite, vedi paragrafo 2.5.1. Oltre ad avere tutte le tensioni costanti lungo tutto il cordone di saldatura risulta avere ovviamente la terza tensione principale nulla.

2.5.7 Analisi dei dati nel caso dei Solid 187, Solid 92 e Solid 285

Questi elementi caratterizzati dal fatto di essere tetraedrici si sono rivelati problematici nella loro applicazione nel PSM, se da un lato consento di eseguire la mesh di solidi complessi che non potrebbero essere meshati da una semplice estrusione di mesh bidimensionale, dall'altro canto a causa della loro forma il meshatore automatico di Ansys non riesce a far mantenere una dimensione costante a tali elementi, ma è costretto ad ingrandirli o rimpicciolirli per nella costruzione della mesh. Questo fatto causa una forte variabilità della tensione di picco lungo tutto il cordone di saldatura anche nel caso si imponesse uno stato di tensione o di deformazione piano. Nelle analisi a seguire si è attuato una scrematura al fine di limitare la dispersione di tali valori in particolare non si sono presi in considerazione i valori relativi ai primi e agli ultimi 4 elementi lungo il

cordone di saldatura che erano quelli maggiormente “deformati”, come mostrato in figura 2.55.

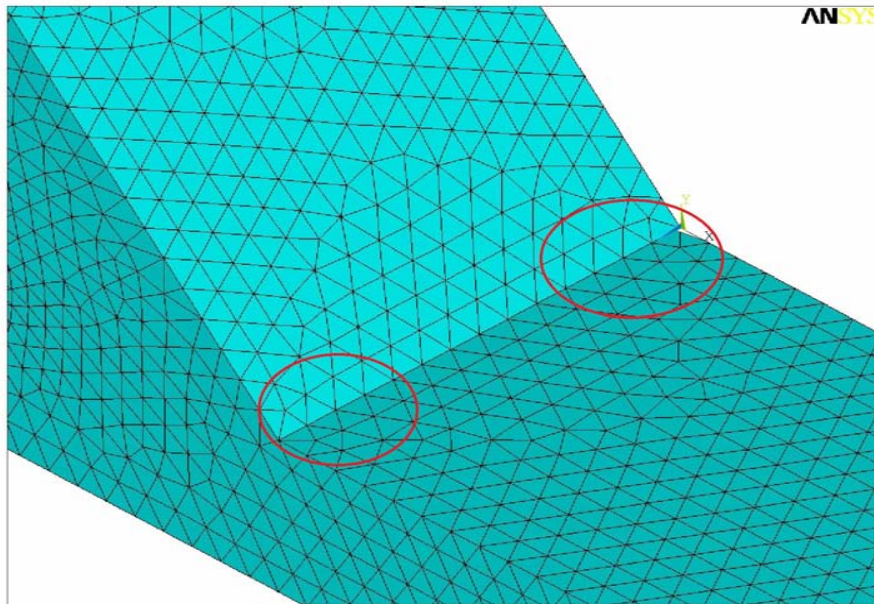


Figura 2.55: Elementi maggiormente deformati e quindi non tenuti in considerazione

Nell'immagine sopra stante gli elementi non sembrano di dimensioni molto variabili, in realtà all'interno del pezzo essi sono allungati o accorciati per adattarsi gli uni agli altri e questo li rende di dimensioni alquanto variabili. A prova di ciò si riporta il grafico contenente l'andamento della prima tensione principale, in un pezzo in cui è stato indotto uno stato piano di deformazione, lungo tutto il piede del cordone di saldatura, in figura si può osservare un andamento altalenante della tensione che si assesta in pratica su tre livelli. Il primo è l'ultimo sono riferiti alle tensioni dei nodi appartenenti ai primi e ultimi 4 elementi lungo il cordone di saldatura e sono quelli più sono stati rimpiccioliti e che sono stati scartati nella elaborazione dei dati, mentre il livello di tensione centrale appartiene ai nodi che sono stati presi in considerazione. La tensione come già ribadito risulta comunque sostanzialmente altalenante anche nella zona centrale della meta di cordone si saldatura modellato dovuto alla non perfetta costanza nella dimensione degli elementi.

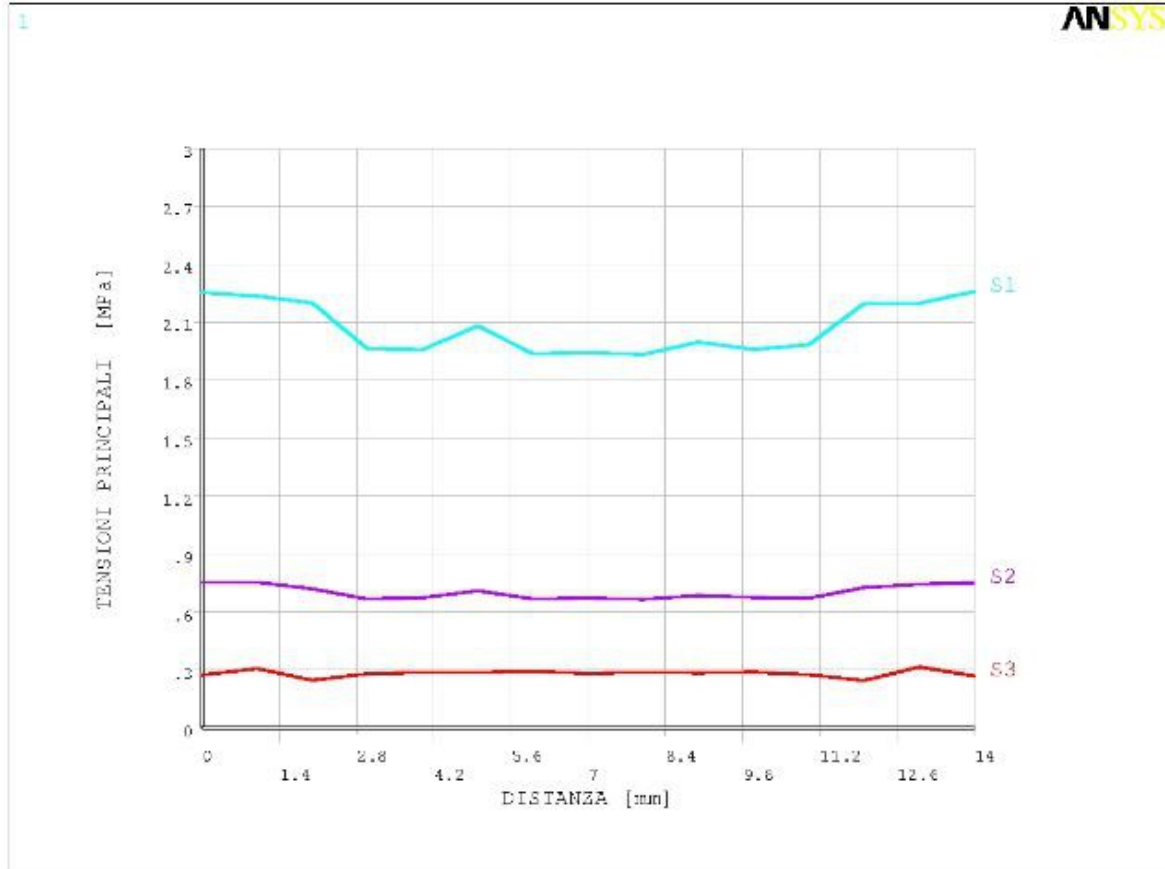


Figura 2.56: Andamento delle tre tensioni principali nel caso di utilizzo di elementi tetraedrici e di imposizione di uno stato di deformazione piano.

Inoltre per i solid 187 e il solid 92 (che sono il medesimo elemento solo che il primo appartiene solo alle più recenti versioni del software Ansys) che possiedono un nodo sia sui vertici sia a metà dei lati sia un nodo centrale, sono stati presi in considerazione solo i nodi presenti ai vertici, trascurando quindi quelli presenti sul lato anche se giacenti lungo la linea dell'intaglio.

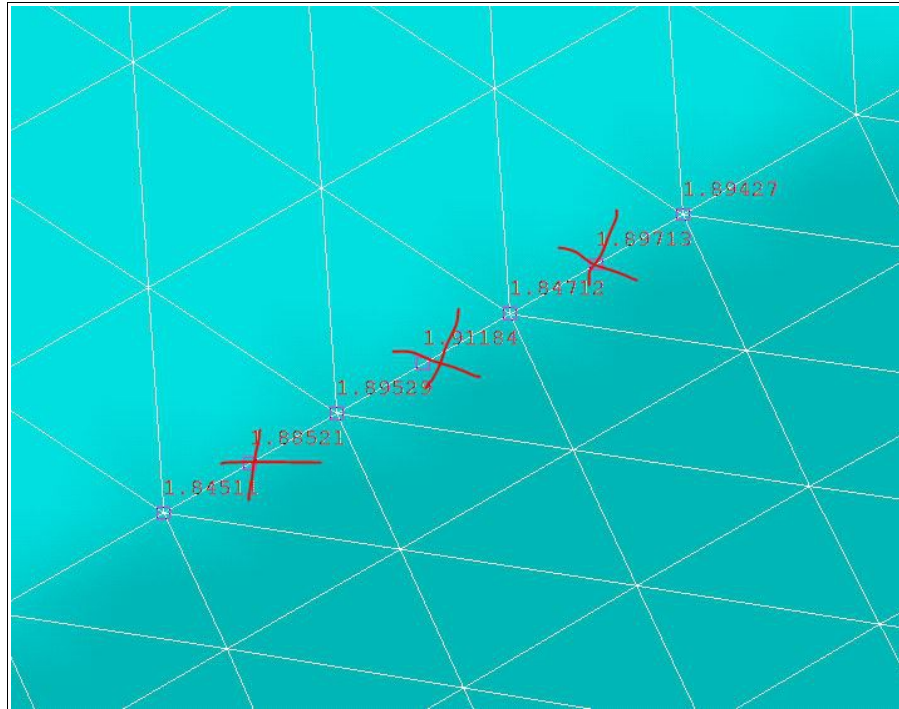


Figura 2.57: Si sono tenuti solo in considerazione i nodi presenti nei vertici degli elementi tetraedrici Solid 187 e Solid 92

2.5.8 Impostazioni aggiuntive per la corretta visualizzazione dei risultati per i Solid 187 e Solid 92

Ultimo accorgimento che è stato preso, è causato dal seguente problema: se si prende la principale tensione dei nodi lungo il cordone di saldatura tramite la definizione di un PATH o selezione dei nodi tramite il comando NSEL risulta un valore diverso rispetto a quello che si ottiene tramite il comando *QUERY RESULT*.

MAIN MENU → *GENERAL POSTPROC* → *QUERY RESULT* →
SUBGRID SOLU → *STRESS* → *1ST PRINCIPAL SI*

Ciò è dovuto al fatto che i primi due comandi visualizzazione degli output è impostata di default come *average result across element*, vedi figura 2.58, mentre nel comando *query* il settaggio è inverso, e va impostato manualmente tramite il comando :

MAIN MENU → *GENERAL POST PROCESSOR* → *OPTION FOR OUTPUT*

e si deve spuntare sul *si* l'opzione *use interior data*, come mostrato in figura 2.59.

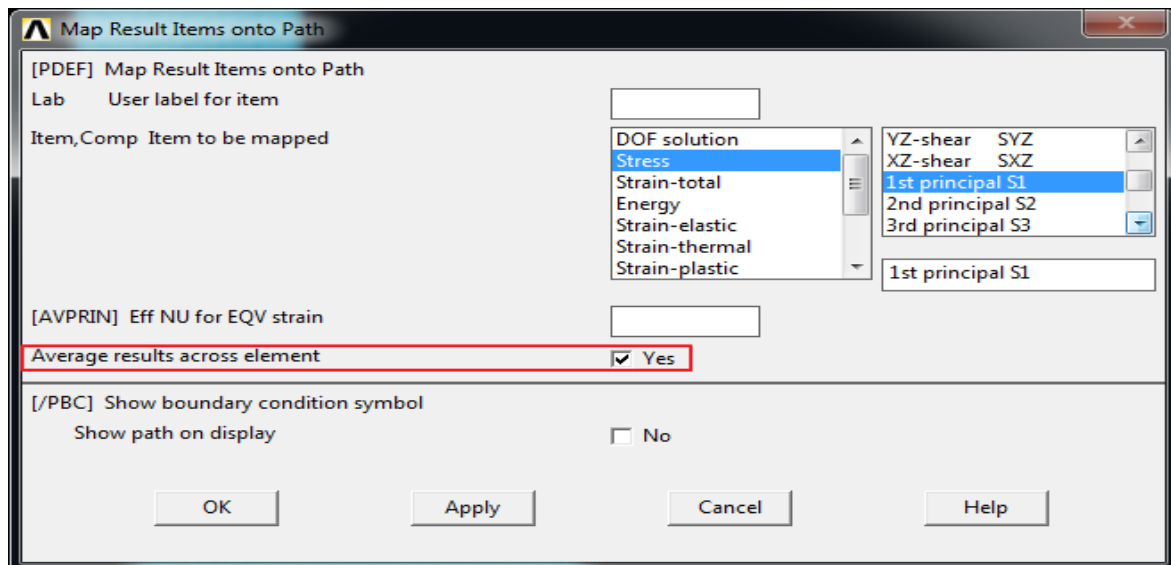


Figura 2.58: La impostazione di default dei path con cui sono stati tarati i Solid 92 e i Solid 187

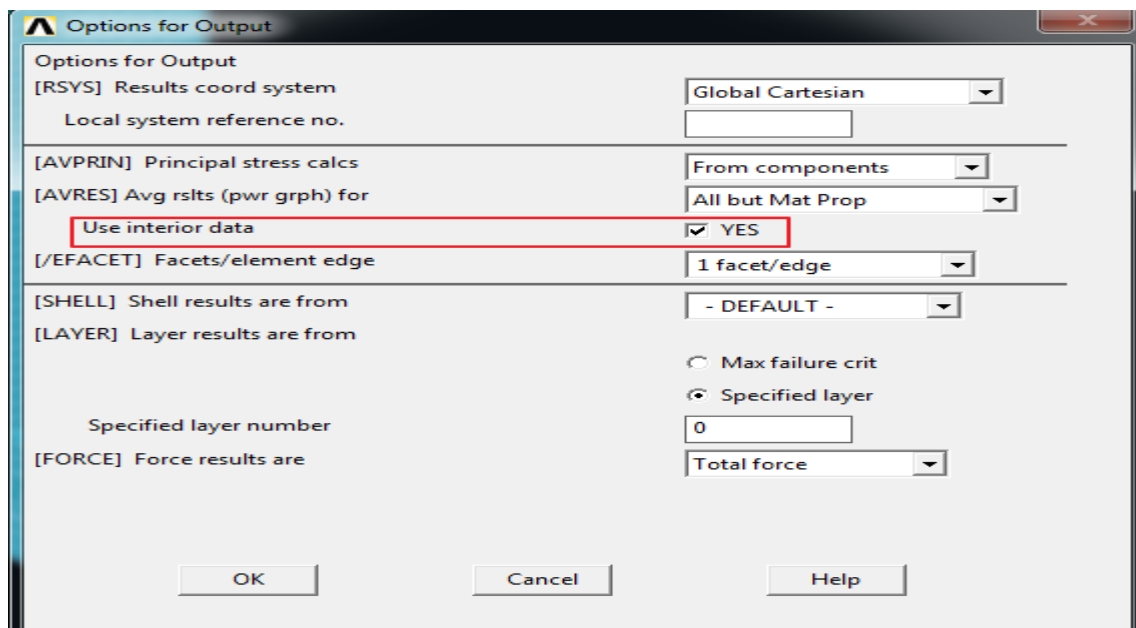


Figura 2.59: La impostazione da settare per catturare i risultati con il comando query result con cui sono stati tarati i Solid 92 e i Solid 187.

In tal modo sia i valori che si riportano tramite la definizione di un path, la sezione dei nodi e la successiva stampa dei valori i tali nodi riportano gli stessi risultati del comando query. Si specifica che il PSM per i Solid 187 e Solid 92 è stato tarato con queste opzioni settate come specificato, mentre per gli altri elementi queste impostazioni risultano non influenti.

2.6 Caso cruciforme NLC tridimensionale metodo per individuare il NSIF mode I con metodo preciso della mesh fitta.

L'individuazione del NSIF mode I con il metodo preciso della mesh fitta, necessita di utilizzare il metodo della sotto-modellazione a causa della elevato numero di elementi che altrimenti sarebbero usati se si risolvesse il problema con un unico modello che richiederebbe risorse di calcolo e memoria enormi. Si descriverà nei capitoli a seguire i passi da compiere per ottenere il modello principali i sotto-modelli e come passare tra di loro gli spostamenti nodali da assegnare come condizioni al contorno. Si illustrano tramite la figura 2.60 brevemente i vari passaggi che si compie tramite il software Ansys® nell'eseguire la tecnica della sotto-modellazione.

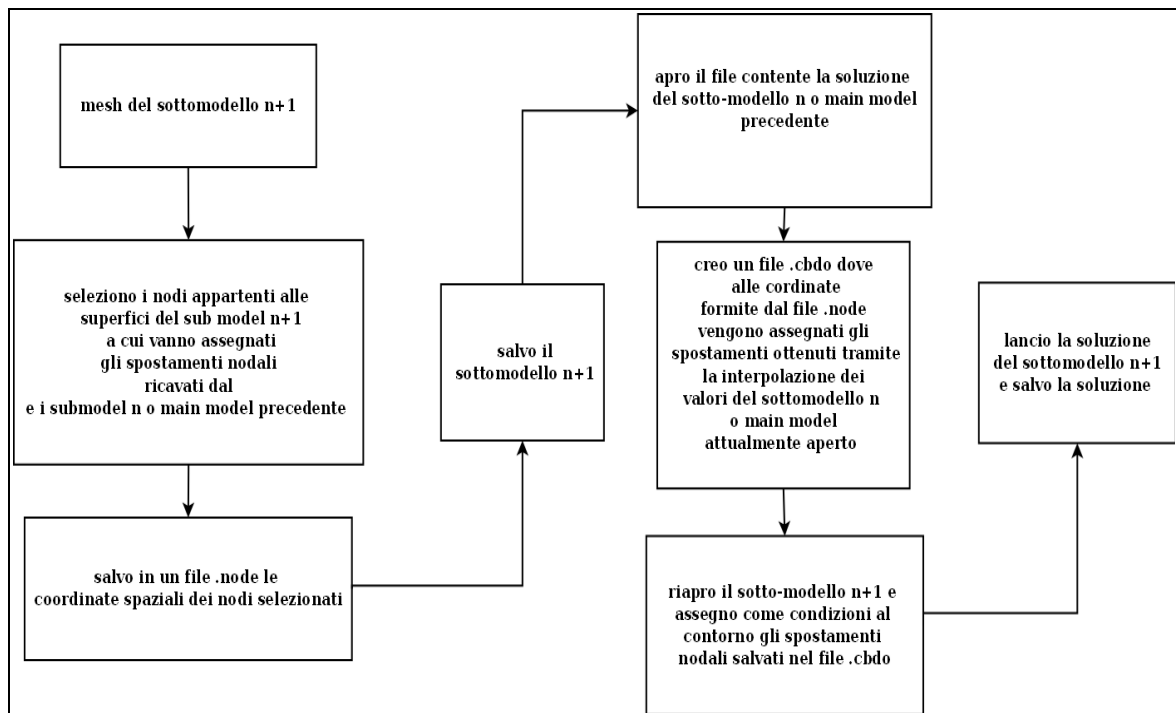


Figura 2.60: Schema della procedura usata in Ansys per eseguire la tecnica della sotto modellazione

2.6.1 Definizione del Materiale e costruzione della geometria base

Per la definizione del tipo di materiale e costruzione della geometria base bidimensionale la procedura è la stessa di quella usate nelle simulazioni bidimensionali e del metodo della tensione di picco in giunti tridimensionali, si invita quindi a visionare i paragrafi di interesse.

2.6.2 Procedura nel caso di elementi tetraedrici

Dopo aver costruito la geometria base bidimensionale, si può procedere nel seguente modo: come prima operazione selezioniamo l'elemento tetraedrico (Solid 187, Solid 92 o Solid 285) tramite il comando

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → ELEMENT TYPE →
ADD / EDIT / DELETE → ADD...*

in APDL:

ET, “numero di definizione elemento” , “nome del elemento”

ad esempio

- ET,1,Solid 187

In seguito si estrude l'area del giunto posta nel piano xy lungo l'asse z , per metà della profondità del giunto , (si sta sfruttando la simmetria di quest'ultimo), in seguito si creano dei cilindri con cui tagliare il volume appena creato al fine di generare delle aree di controllo.

In comandi sono :

*MAIN MENU → PREPROCESOR → MODELLING → OPERATE →
EXTRUDE → AREAS → BY XYZ OFFSET*

per estrarre l'area.

in APDL:

- VEXT, “numero dell'area da estrarre” , , , “componente del vettore di estrusione lungo l'asse x” , “componente del vettore di estrusione lungo l'asse y” , “componente del vettore di estrusione lungo l'asse z” , , , ,

per generare i cilindri

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELLING → CREATE →
VOLUMES → CYLINDER → SOLID CYLINDER*

e si impostano coordinate x e y del centro della base , il raggio ,e la profondità lungo l'asse z. In APDL:

- CYL4, “coordinata x” , “coordinata y” , “raggio” , , , “profondità”

poiché per tagliare il volume principale si necessita solo delle aree del cilindro si può eliminare il volume del cilindro conservando le aree che ne definiscono la superficie esterna , il comando è in questo caso è:

MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELLING → DELETE → VOLUMES ONLY

e si elimina il cilindro appena creato.

in APDL:

- VDELE, “numero del volume”

si taglia ora il volume principale con le aree del cilindro appena eliminato :

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELLING → OPERATE →
BOOLEANS → DIVIDE → VOLUME BY AREA*

in APDL si deve eseguire un listato delle area per poi eseguire il comando di taglio:

- FLST, “numero di campo del comando che usa gli elementi listati” , “numero delle entità che si stanno listando” , “tipo di entità” ,ORDE, “numero di linee che seguiranno”
- FITEM, “numero di campo del comando che usa gli elementi listati” , “numero della linea”
- FITEM, “numero di campo del comando che usa gli elementi listati” , “numero della linea”
- VSBA, “numero volume da tagliare “ , P51X

dove P51X è il listato appena creato.

ad esempio :

- FLST,3,4,5,ORDE,2

- FITEM,3,14
- FITEM,3,-17
- VSBA, 1,P51X

ora per guidare la mesh in maniera ancor più efficace si genera un ulteriore cilindretto di dimensione minori con il quale si taglierà il volumetto appena creato in precedenza i comandi da eseguire sono omologhi ai precedenti. Ora si può procedere con la costruzione di una area per dividere lungo la bisettrice dell'angolo i due volumi in prossimità dell'intaglio; tale passo non è indispensabile, ma rende ben chiaro dove è collocata la bisettrice, cosa utile quando si definiscono i path. Si giunge alla seguente divisione in volumi all'intaglio, riportata in figura 2.61.

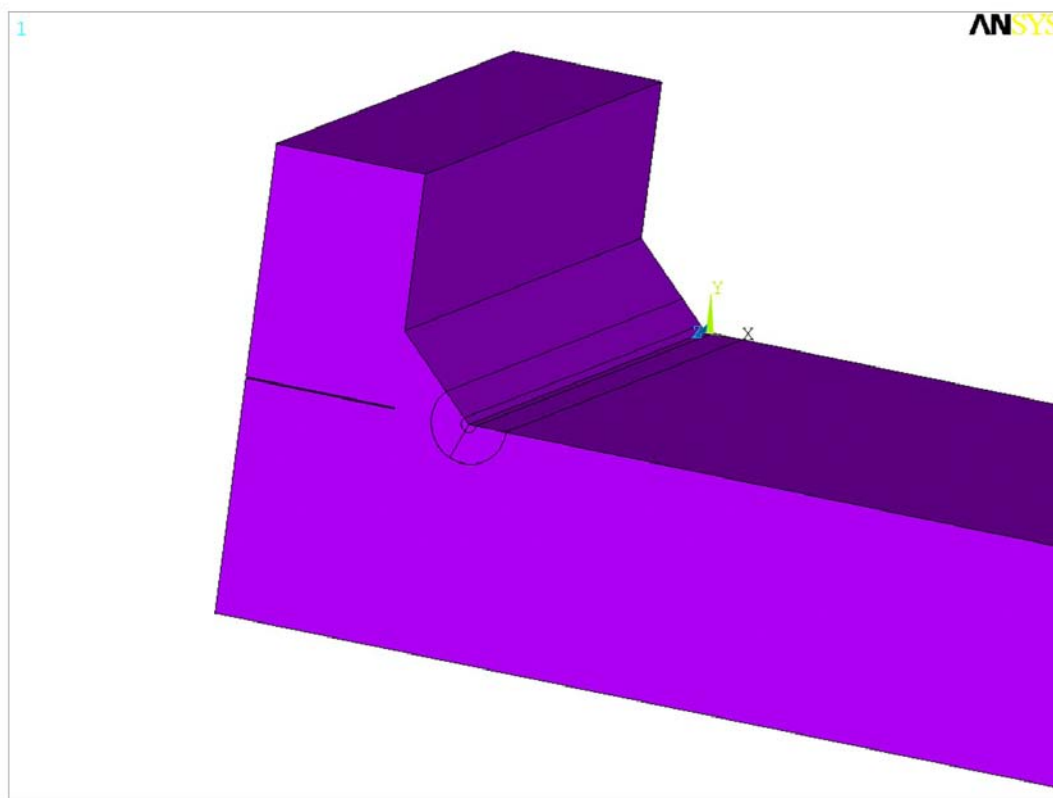


Figura 2.61: I volumi creati in prossimità dell'intaglio al fine di guidare la dimensione degli elementi

Infine si esegue una suddivisione delle linee per ottenere un mesh ottimale. La divisione delle linee adottata è riportata in tabella 2.6. I raggi dei due semi-cilindri sono nel caso

specifico 2.5 [mm] e 0.5 [mm], ma possono essere aumentati o diminuiti secondo le esigenze. Si ricorda che l'obiettivo base per cui si esegue questo infittimento della mesh è passare spostamenti arrivati a convergenza ai sotto-modelli successivi, prestando attenzione a non rendere eccessivamente pesante computazionalmente la mesh.

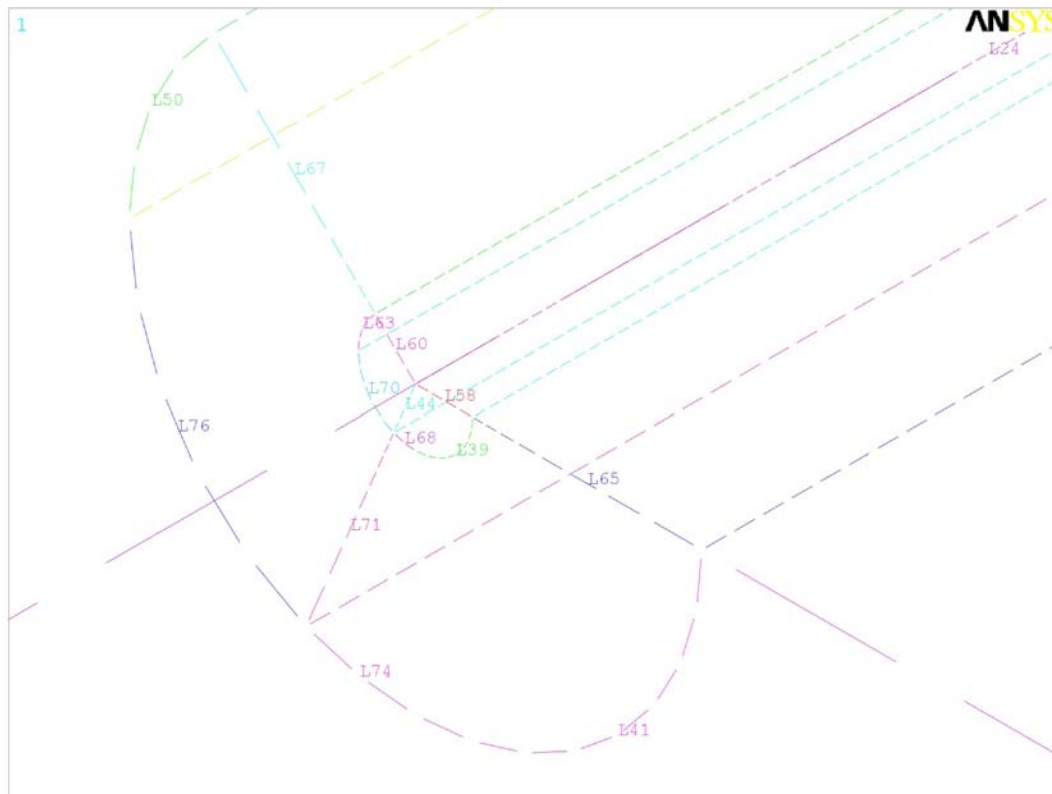


Figura 2.62: Numerazione linee in prossimità dell'intaglio per il main model

Tabella 2.6 La divisione e lo spacing ratio usato per le linee in prossimità dell'apice al fine di guidare l'infiltramento della mesh. Vedi immagine 2.62.

NUMERO LINEA	NUMERO DIVISIONI	SPACING RATIO
L 60	5	1
L 44	5	1
L58	5	1
L 63	4	1
L 70	5	1
L68	2	1
L39	8	1
L67	8	5
L 71	8	5
L 65	8	5
L 50	4	1
L 76	5	1
L74	2	1
L41	8	1

Per le linee poste al bordo opposto del giunto si usi il medesimo schema, mentre per le linee che ortogonali ai bordi si usi la dimensione di mesh pari alle linee a cui si appoggiano. Questa divisione consente di trasmettere spostamenti giunti a convergenza al sotto-modello di forma semi-cilindrica che possiede un raggio di 1 [mm]. Si ricorda che la convergenza va sempre verificata sia tra main model e primo sottomodello, sia tra sotto-modelli.

Quindi esegue la mesh dei volumi dove le linee sono state meshate tramite:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MESHING → MESH →
VOLUMES → FREE*

in APDL:

- VMESH, “numero del volume”

Ora si può procedere alla mesh del resto dei volumi presenti, essendo le linee dei volumi non più meshate, si deve definire una dimensione per gli elementi. In comandi sono quindi :

*MAIN MENU → PREPROCESSOR →
MESHING → SIZE CNTRLS → MANUALSIZE → GLOBAL → SIZE*

e si imposta la dimensione desiderata. In APDL:

- ESIZE,d,0,

Quindi si procede con la mesh:

MAIN MENU → *PREPROCESSOR* → *MESHING* → *MESH* →
VOLUMES → *FREE*

e si seleziona il volume di interesse.

- VMESH, “numero del volume”

Si riportano le figure della mesh creata:

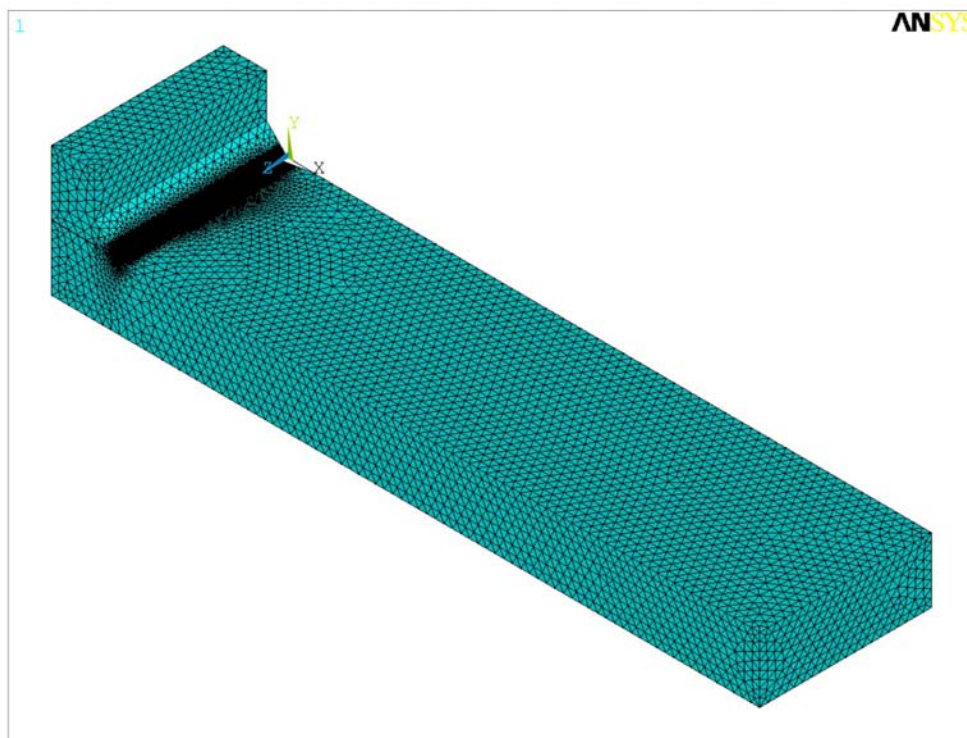


Figura 2.63: Mesh del main model

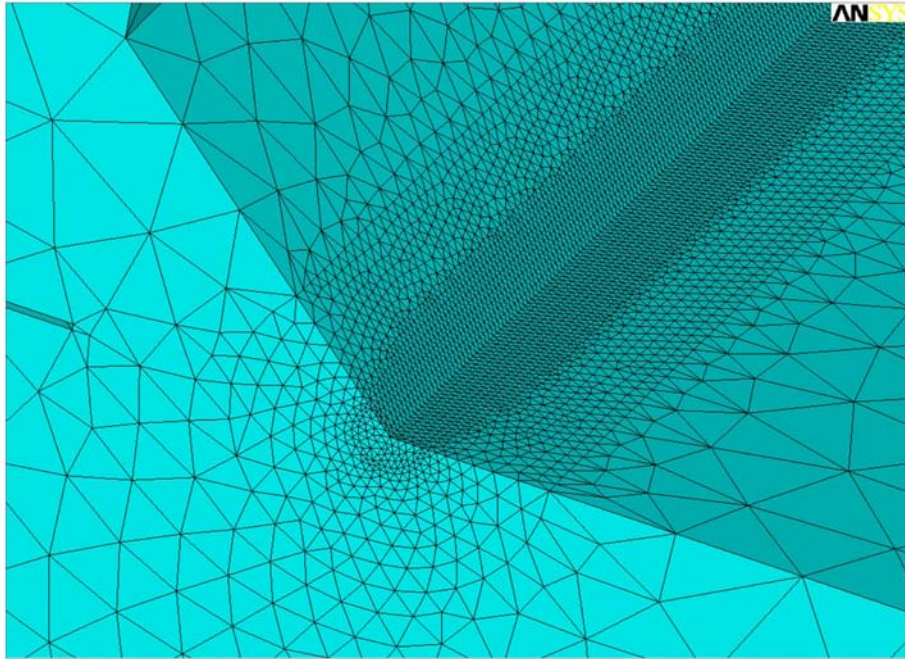


Figura 2.64: Zoom della mesh nella zona del piede del cordone di saldatura del main model

2.6.3 Procedura nel caso di elementi cubici

Nel caso di si preferisse usare elementi cubici (Solid 186, Solid 185, Solid 95, Solid 45) si adotterà una procedura leggermente diversa da quella usata nel caso di elementi tetraedrici. È opportuno chiarire alcuni aspetti della scelta di adottare questi elementi per risolvere tramite sotto modellazione le geometrie in analisi. A differenza degli elementi tetraedrici questi ultimi non possono essere resi piccoli a piacere in prossimità della zona di interesse e poi ingranditi man mano che ci si allontana, infatti essi si possono generare nella loro forma cubica solo da una estrusione di una mesh base bidimensionale con la profondità dell'elemento a scelta. Quindi si genereranno degli elementi oblunghi e altri molto schiacciati essendo la mesh di partenza del tipo di figura 2.44. Il problema qui considerato però ha forti gradienti di tensioni e deformazione solo nel piano xy mentre lungo l'asse z sono in confronto di limitata entità quindi si è ritenuto possibile adottare tali elementi, molto allungati nel verso dell'asse z (quindi usando un numero minore di elementi e alleggerendo il calcolo) ovviamente la lunghezza dell'elemento lungo l'asse z deve comunque consentire di seguire lo stato di tensione e deformazione che si va a creare. I risultati ricavati dall'utilizzo di tale mesh saranno verificati confrontandoli con i risultati

numerici ottenuti dagli altri tipi di mesh (bidimensionale precisa e tridimensionale precisa con elementi tetraedrici).

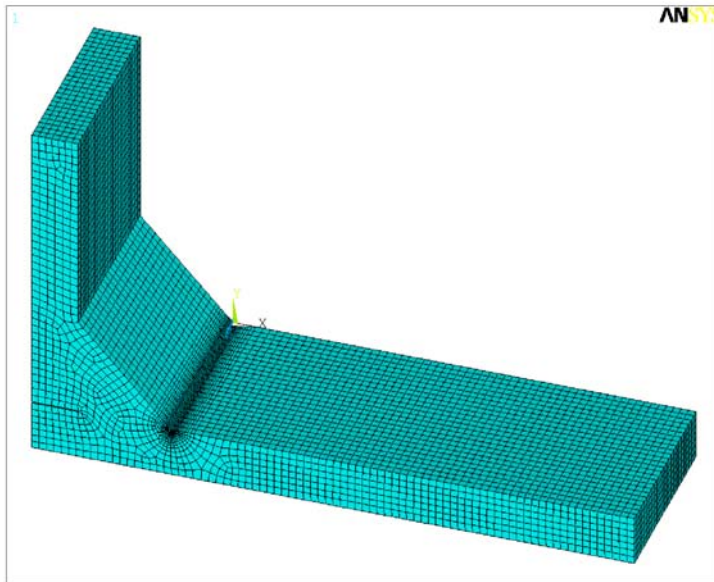


Figura 2.65: La mesh del main model utilizzando elementi di forma geometrica cubica

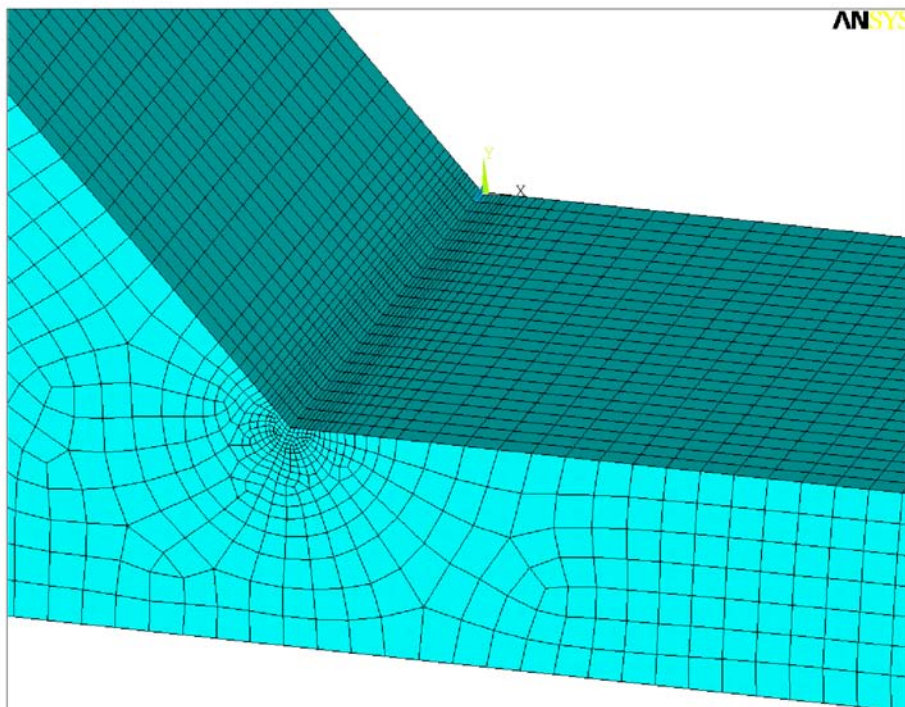


Figura 2.66: Zoom della mesh nei pressi dell'intaglio

La cui realizzazione è stata seguita la stessa procedura usata nel caso di metodo della mesh fitta di giunti bidimensionali e a cui si invita a far riferimento, per la dimensione della divisione delle linee e lo spacing ratio si faccia riferimento a quanto fatto per gli elementi tetraedrici (tabella 2.6 e figura 2.62), si procede quindi con un'estrusione della mesh bidimensionale. Il primo passo è andare a selezionare il tipo di elemento corretto con cui si intende operare meshare, (si ricorda che gli elementi qui definiti sono due, l'elemento piano e l'elemento tridimensionale) :

*MAIN MENU → PREPROCESSOR →
MESHING → MESH ATTRIBUTES → DEFAULT ATTRIBS*

e si seleziona la mesh con elemento cubico, visto che al momento è impostato l'elemento piano con cui si è in precedenza meshata l'area base. In APDL:

- TYPE, “numero del elemento tridimensionale”

ad esempio

- TYPE, 2

mentre l'elemento piano è (1).

Adesso si definisce il numero di divisioni con cui estrudere la mesh lungo l'asse z, si cercherà in questo caso di tenere una lunghezza z degli elementi pari a quella x e y degli elementi più grandi. In tal modo si otterranno nella zona dell'intaglio elementi molto allungati come precedentemente si è fatto menzione. La catena di comandi all'interfaccia grafica è la seguente :

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELLING → OPERATE →
EXTRUDE → ELEM EXT OPTS*

e si setta il numero di divisioni lungo la direzione di estrusione. Molto importante si deve spuntare l'opzione “ACLEAR” in modo da eliminare una volta eseguita l'estrusione la mesh delle aree base.

In APDL i comandi sono:

- EXTOPT,ESIZE, “numero di divisioni”,1,

per il numero di divisioni lungo la direzione di estrusione.

- EXTOPT,ACLEAR,1

per eliminare la mesh bidimensionale di partenza.

Infine si estrude le aree:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELLING → OPERATE →
EXTRUDE → AREAS → BY XYZ OFFSET*

In APDL:

Si esegue il listato delle aree:

- FLST, “numero di campo del comando che usa gli elementi listati”, “numero delle entità che si stanno listando”, “tipo di entità” ,ORDE, “numero di linee che seguiranno”
- FITEM, “numero di campo del comando che usa gli elementi listati” , “numero della area”
- FITEM, “numero di campo del comando che usa gli elementi listati” , “numero della area”

e si applica il comando di estrusione:

- VEXT, P51X, , , “componente del vettore di estrusione lungo l'asse x” , “componente del vettore di estrusione lungo l'asse y” , “componente del vettore di estrusione lungo l'asse z” , , , ,

ad esempio:

- FLST,2,5,5,ORDE,2
- FITEM,2,2
- FITEM,2,-6
- VEXT,P51X, , ,0,0,100,,,

Il segno meno davanti al 6 serve ad indicare che si selezionano le aree dalla 2 alla 6.

2.6.4 Imposizione al contorno e carichi e lancio della soluzione

Per imporre le condizioni al contorno e i carichi la procedura e il tipo di situazione è omologa a quella usata nel caso di giunto tridimensionale per il metodo della tensione di picco, così come il lancio della soluzione. Si invita quindi a prendere visione del paragrafo 2.5.4 per prendere visione della procedura da seguire.

2.6.5 I Sotto-modelli nel caso di elementi tetraedrici

Ora si creeranno in serie i sotto-modelli a cui assegnare gli spostamenti individuati nel main model o nei sotto-modelli precedenti, il primo sottomodello è illustrato in figura 2.67 e ha raggio di 2.5 [mm] ma può essere di dimensioni maggiori o minori è sufficiente che si controlli che siano giunte a convergenza le deformazioni che gli vengono assegnate.

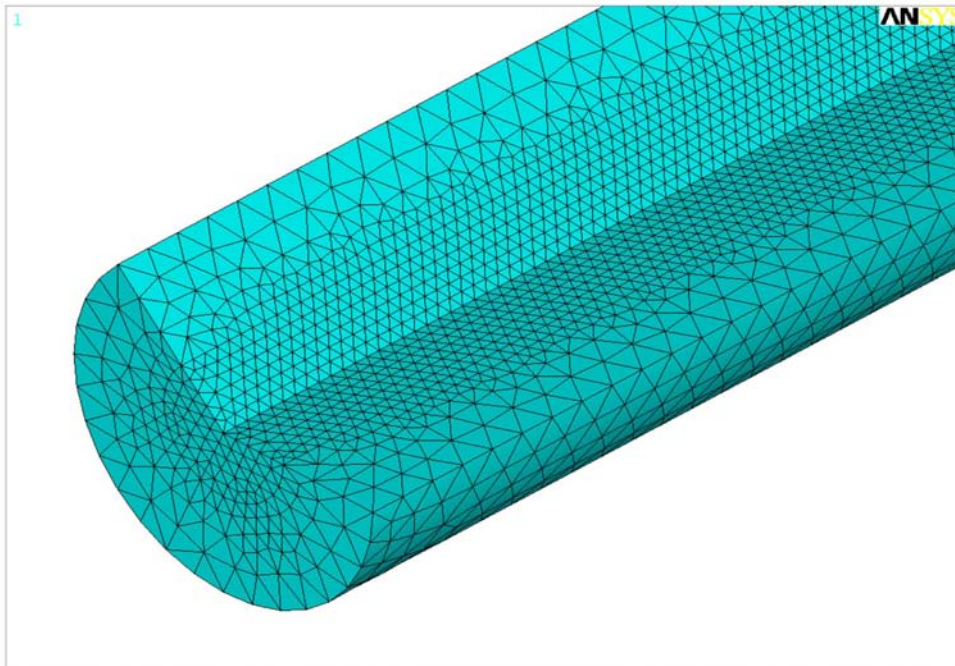


Figura 2.67: Lo zoom del primo sotto-modello, gli elementi usati sono i Solid 187

Ora poiché modelli successivi aumentano in maniera esponenziale la loro pesantezza computazionale si è scelto di modellizzare solo degli spezzoni di tutto il piede del cordone di saldatura. Questo comporta però una approssimazione che può invalidare i risultati raggiunti, poiché nella facce di estremità dei semi-cilindri gli spostamenti assegnati non sono giunti a convergenza. Tuttavia in considerazione del fatto che le zone dove sono stati imposti gli spostamenti non convergenti sono piccole e distanti da dalla zona di definizione del path e dalle zone dove si assegneranno gli spostamenti del modello successivo, e dal fatto le aree sono prevalentemente interessate da deformazioni ϵ_z che poco influiscono nella determinazione delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$ si ritiene accettabile tale approssimazione nelle condizioni al contorno. Verranno poi verificati i risultati ottenuti dal confronto con i risultati ottenuti dalle simulazioni bidimensionali con il metodo della mesh precisa. Il

rapporto tra il raggio del semi-cilindro del primo sotto-modello e il raggio del semi-cilindri del secondo sotto-modello è stato tenuto pari $1/5$. Si è tenuto tale rapporto anche per i sotto-modelli successivi, i quali sono una riproduzione in scala uno a cinque del sotto-modello numero 2. Ovviamente il baricentro geometrico del semi-cilindretto del modello n corrisponderà al baricentro geometrico del corrispondente semi-cilindretto nel modello $n+1$.

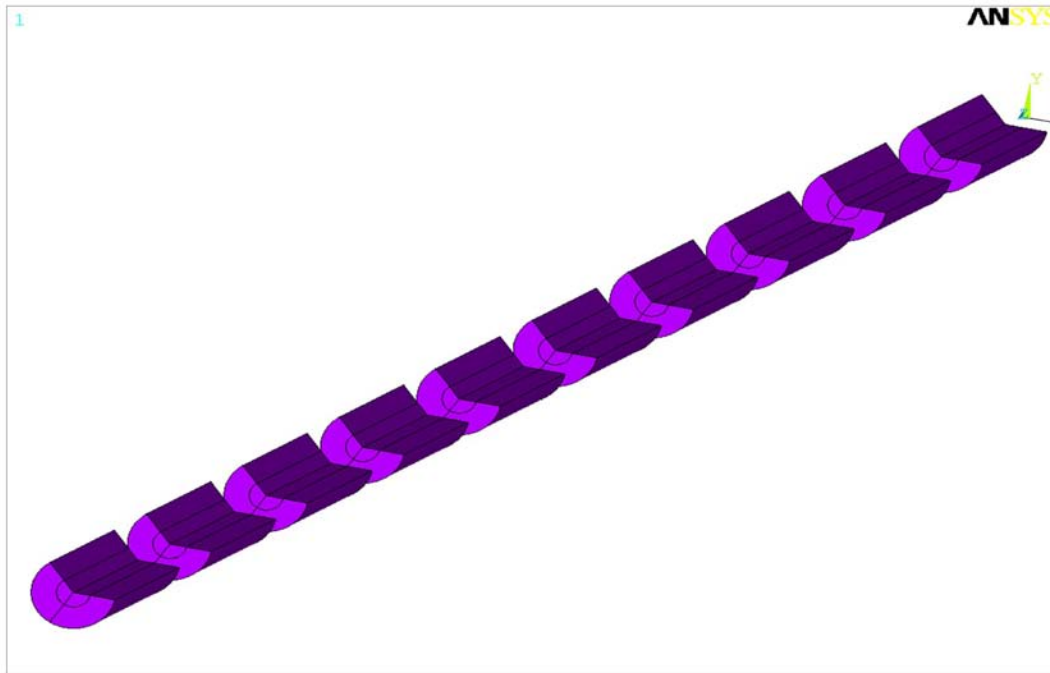


Figura 2.68: I volumi dei semi-cilindri generati nel sotto-modello numero 2, la vista prospettica è ingannevole il rapporto lunghezza su raggio è prossimo a 10 per i semi-cilindri in figura.

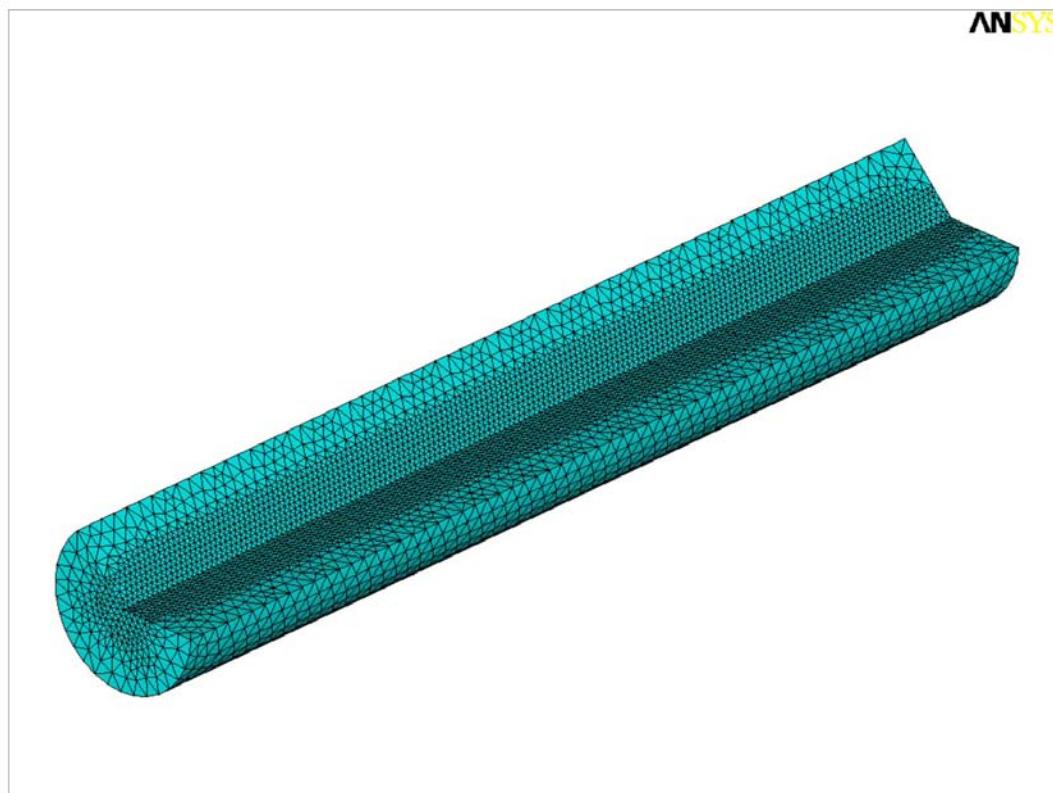


Figura 2.69: La mesh di uno dei semi-cilindretti di cui è composto il sotto-modello 2

2.6.6 I sotto-modelli nel caso di elementi cubici

Nel caso si usino elementi di forma cubica i sotto-modelli sono creati lungo tutto il cordone di saldatura. Ma per limitare un aumento vertiginoso della pesantezza del calcolo che man mano che si passa da un sotto-modello all'altro si diminuisce man mano il rapporto tra le distanze nodali nel piano xy e quelle lungo l'asse z . Questo porta ad elementi sempre più allungati con il pericolo che gli elementi non seguano più lo stato di tensione-deformazione, ma in merito al fatto che i gradienti di tensione e deformazione sono elevati nelle direzioni di massimo infittimento e sono ridotti nel verso del minimo infittimento si ritiene che tale mesh riesca a riportare risultati corretti. Saranno sempre confrontati con i risultati forniti dagli altri tipi di simulazioni per verificarne la correttezza. Anche qui si deve eseguire prima una mesh bidimensionale che va estrusa ricordandosi di eliminare la mesh dell'area di partenza, (vedi 2.6.3).

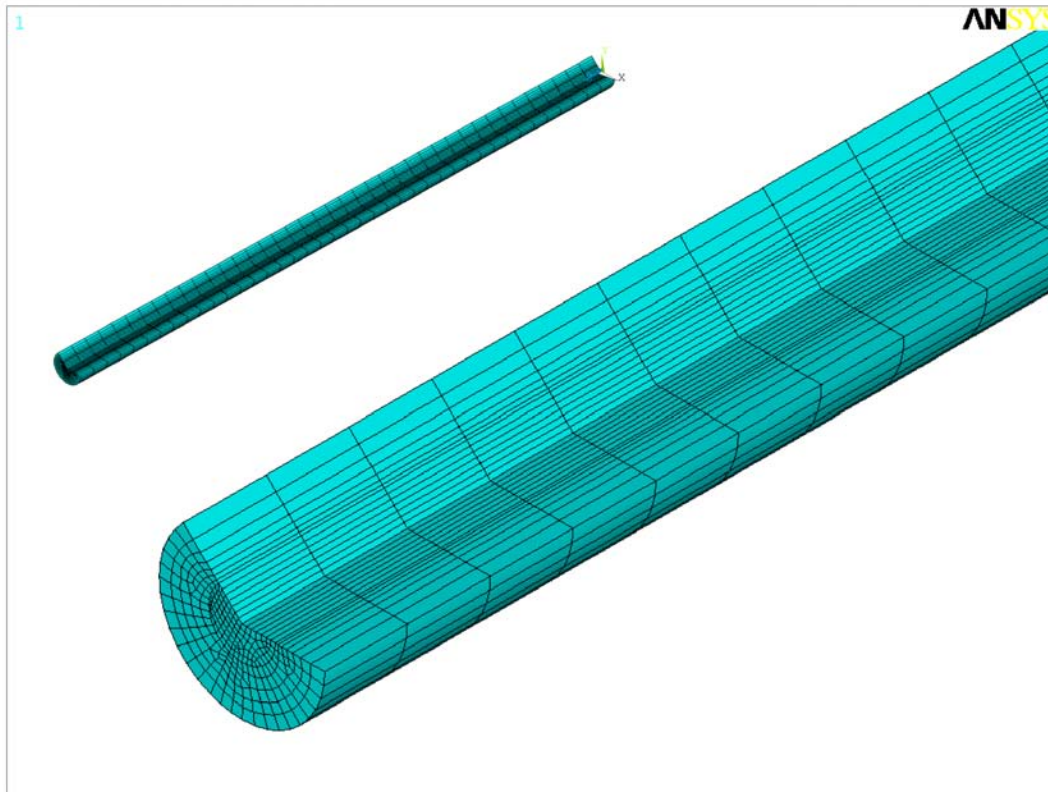


Figura 2.70: Il primo sotto-modello ottenuto il Solid 186 nella sua forma geometrica di parallelepipedo

2.6.7 La procedura per la sotto-modellazione

Una volta generata la mesh del sotto-modelli in analisi si devono trasferire gli spostamenti nodali ottenuti nel sotto-modello precedente, alle facce di taglio del modello attuale. Per far questo si deve come prima passo selezionare le facce in questione tramite:

UTILITY MENU → *SELECT* → *ENTITIES....* → *AREAS , BY NUM / PICK* → *OK*

e si selezionano le aree di interesse.

In APDL si esegue il listato delle aree e poi si selezionano, ad esempio:

- FLST,5,2,5,ORDE,2
- FITEM,5,19
- FITEM,5,23
- ASEL,S, , ,P51X

Nel passo successivo si selezionano i nodi appartenenti a tali facce:

UTILITY MENU → *SELECT* → *ENTITIES....* →
NODES , ATTACHED TO , AREAS ALL → *OK*

In questo modo si sono selezionati tutti i nodi che giacciono sulle area precedentemente selezionate. In APDL:

- NSLA,S,1

Ora si scrive un file dove salvare le posizioni e numerazione dei nodi tramite:

*MAIN MENU → PREPROCESSOR → MODELLING → CREATE →
NODES → WRITE NODE FILE*

In APDL:

- NWRITE,' "nome del file" ', 'node' , ' ',0

Ora è conveniente prima del salvataggio rifelezionare tutte le entità tramite:

UTILITY MENU → SELECT → EVERYTHING

In APDL:

- ALLSEL,ALL

E si salva il sotto-modello:

UTILITY MENU → FILE → SAVE AS...

In APDL:

- SAVE,' "nome del file" ', 'db',
- FINISH

A questo punto si inizia una nuova sessione:

UTILITY MENU → FILE → CLEAR AND START NEW...

In APDL:

- /CLEAR,NOSTART

E si ricarica il sotto-modello precedente:

UTILITY MENU → FILE → RESUME FROM

e si seleziona il file da cui si intende leggere gli spostamenti nodali. In APDL:

- RESUME,' "titolo main model precedente" ', 'db',

A questo punto si assegnano alle coordinate nodali del file *.node* gli spostamenti in tali punti tramite un'interpolazione degli spostamenti nodali del sotto-modello attualmente aperto e risolto in precedenza. Il comando è:

MAIN MENU → *GENERAL POSTPROCESSOR* → *SUBMODELLING* →
INTERPOLATE DOF

Si seleziona come file di input il file *.node* precedentemente creato e come file di output un file *.cbdo* e si setta l'opzione di submodelling *solid to solid*.

In APDL:

- */POST1*
- *CBDOF*, 'nome file dove erano stati salvati le posizioni nodali' ',node',' ',
'nome del file dove alle posizioni nodali vengono associati gli spostamenti' ' ',
'cbdo',' ',0,0

A questo punto si può ricaricare il sotto-modello che si intende risolvere:

UTILITY MENU → *FILE* → *RESUME FROM*

In APDL:

- *RESUME*, 'nome sottomodello che si intendeva risolvere' ',db',
- *FINISH*

Come ultimo passo si assegnano gli spostamenti salvati nel file *.cbdo* come condizioni al contorno:

UTILITY MENU → *FILE* → *READ INPUT FROM*

In APDL:

- */PREP7*
- */INPUT*, 'nome del file con gli spostamenti nodali' ' ', 'cbdo' ', , :cb1 , 0
- *FINISH*

E si può procedere al lancio della soluzione.

2.6.8 La lettura dei risultati

Quando si giunge alla soluzione del sotto-modello si deve definire un sistema di riferimento polare con origine in corrispondenza dell'apice con asse z sovrapposta all'asse z del sistema di riferimento cartesiano , poi lo si imposta come sistema di riferimento e infine si deve imporre la visualizzazione degli output nel sistema di riferimento adottato (vedi procedura dettagliata paragrafo 2.3.3). Quindi si è proceduto alla definizione di dieci path, in cui si è stata definita la tensione $\sigma_{\theta\theta}$, a distanza cadenzata lungo il piede del cordone di saldatura, in particolare nel caso si siano usati elementi tetraedrici si è usato la seguenti distanze dalla mezzeria $G/20$, $G/20+G/10$,....., $G-G/20$ dove G è la profondità modellata del giunto (ossia meta di quella reale del giunto poiché si è sfruttata la simmetria), mentre nel caso di elementi cubici la seguente $0,0+G/10$,....., G .

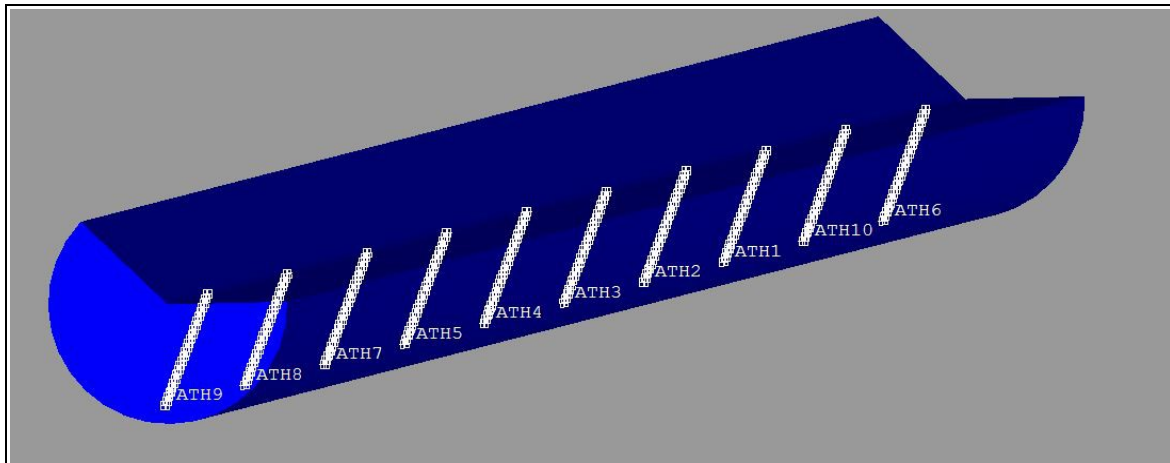


Figura 2.71: Disposizione dei path nel caso di elementi tetraedrici nel primo submodel

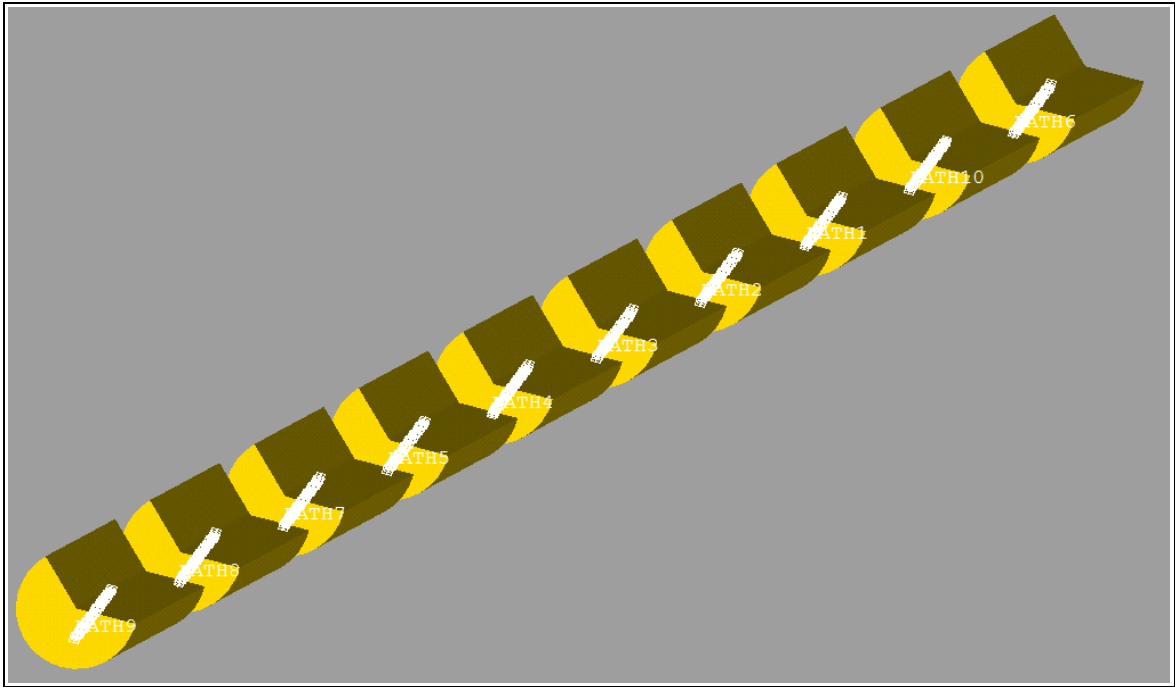


Figura 2.72: 1 path definiti nel secondo submodel nel caso di elementi tetraedrici

Nel caso presente per definire un path non si è usata la selezione di nodi della mesh ma si è scelto selezionare i punti del path in base alle loro coordinate nodali.

MAIN MENU → *GENERAL POSTPROC* → *PATH OPERATION* →
DEFINE PATH → *BY LOCATION*

E si selezionano una serie di punti lungo la bisettrice dell'intaglio alla distanza desiderata lungo il cordone di saldatura.

In APDL conviene scrivere eseguire la seguente serie di comandi:

- *AFUN, DEG

che serve impostare i gradi come unita di misura.

- S=SIN(-112.5)
- C=COS(-112.5)

serve a ottenere i valori dei seno e coseno dell'angolo con cui è definita la bisettrice dell'intaglio. Poi inizio un ciclo do per generare 10 path a distanza cadenzata lungo il cordone di saldatura:

- *DO, i, g/20, g-g/20,g/10
- PATH,PATHSUB,26,30,1,
- n=0

un secondo ciclo *DO* all'interno del primo serve a definire tutti i punti del path in creazione

- *DO, j, 0, R,R/25
- n=n+1

il comando che segue fornisce le coordinate espresse in forma parametrica dei nodi appartenenti al path in creazione.

- ppath,n,,j*C, j*S,i,0
- *ENDDO
- *ENDDO

Dove G è lunghezza del cordone di saldatura, R è il raggio del semi-cilindro definito come sotto-modello. Si deve avvertire che i punti di lettura delle tensione saranno influenzati dalla funzione di forma dell'elemento in quanto non saranno sovrapposti ai nodi della mesh generata. Questo costituisce un errore trascurabile. Definiti tutti i punti del path si deve proseguire a selezionare i valori che si desiderano associati al path, nel nostro caso la tensione σ_y , che visto il sistema polare definito e attivato è la tensione $\sigma_{\theta\theta}$. Nel caso si usino elementi di forma cubica (Solid 186, Solid 95, Solid 185, Solid 45) è importate che nella definizione dei risultati lungo il path non sia usino valori mediati lungo l'elemento in quanto si otterrebbero dei valori mediati su tutta la profondità del giunto. Quindi nel eseguire il comando:

MAIN MENU → GENERAL POSTPROC → PATH OPERATIONS → MAP ONTO PATH

e dopo aver selezionato il parametro σ_y ora associato alla tensione $\sigma_{\theta\theta}$ si deve verificare che non sia spuntata l'opzione *average results across element* prima di cliccare il push botton *OK*.

In APDL:

- PDEF, ,S,Y,NOAVG

Infine si salva opportuni array i dati relativi ai path (vedi paragrafo 2.3.3) creati al fine di poterli ricaricare in seguito. Per verificare che le tensioni siano giunte a convergenza path si è plottato in un unico grafico l'andamento delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$ appartenenti ai sub-model alla medesima distanza lungo il cordone, fatta tale verifica si è quindi proceduto a mettere in grafico i valori del NSIF mode I lungo i path dei 5 sotto-modelli per visualizzare il plateau che ne identifica la avvenuta convergenza del limite con cui esso è definito. Si ha quindi a disposizione 10 valori del K_I' lungo metà del del piede del giunto, più

ovviamente altri 10 noti dalla simmetria. Questi ultimi verranno in prima analisi messi a confronto con il valore di NSIF mode I fornito dalle analisi bidimensionali con mesh precisa per controllare se i risultati presentano incongruenze (vedi paragrafo 4.4). Eseguito questa operazione di controllo dovuta, si può confrontare i valori di NSIF mode I lungo il cordone di saldatura ottenuti tramite mesh fitta con quelli forniti dal metodo della tensione di picco (vedi capitolo 6). In questo modo si controlla la precisione del PSM nel caso di applicazione ai giunti tridimensionali. Inoltre è importante controllare che le sia avvenuta la convergenza dei risultati anche tra primo sotto-modello e main model allo scopo si è stampato il grafico delle tensioni σ_x lungo la mezzeria del giunto nella faccia superiore. Per prendere visione di tali grafici si veda il paragrafo 4.4 .

CAPITOLO 3 :IL PROGRAMMA IN MATLAB

Al fine di automatizzare la creazione dei modelli FEM, le lettura dei risultati, lanciare in sequenza i vari modelli senza l'intervento di un operatore è stato creato un programma con il software Matlab® 2012a. Si descrive ora passo per passo le operazione che esegue in sequenza il software per svolgere le funzioni sopra dette.

3.1 I vari passi che compie il software

Il software realizzato svolge i seguenti passi:

3.1.1 L'introduzione dei dati

Tramite l'ausilio di schede di interfaccia grafica si possono inserire i parametri geometrici base, l'elemento usato, il tipo di carico, il tipo di materiale, le condizioni tensione o deformazione piana, ecc... . Questi dati una volta inseriti e confermati dall'utente vengono salvati in un file di testo chiamato *record.txt* nel quale in ogni riga sono presenti tutti i dati necessari da inserire negli APDL presenti all'interno di una sotto cartella nella cartella principale del programma.

3.1.2 Avviare la simulazione

Una volta inseriti tutti i dati necessari l'operatore può avviare la simulazione cliccando un semplice push button. A questo punto il software inizia a leggere in file di testo dove sono presenti tutti i record, letto la prima riga ha tutte le informazioni necessarie per selezionare l'APDL corretto e iniziare a crearne una copia modificata in alcune stringhe chiave. Per spiegare in maniera più esaustiva il file originale APDL che noi chiameremo “matrice” presenta per esempio le seguenti stringhe:

- $t1=\$t1\$$
- $t2=\$t2\$$
- $h1=t1*5$
- $h2=t2*5$
- $a1=\$a1\$$
- $a2=a1$
- $d=\$d\$$
- $\$sollecitazione\$=1$
- $e=\$young\$$
- $v=\$poisson\$$

- $\$defosol\$=1$

le stringhe comprese tra i simboli del dollaro che da ora in poi chiameremo stringhe chiave saranno sostituite dai valori scelti dall'utente in fase di inserimento dati ossia le stringhe sopra riportate saranno ad esempio modificate in tal modo

- $t1=10$
- $t2=10$
- $h1=t1*5$
- $h2=t2*5$
- $a1=5$
- $a2=a1$
- $d=1$
- $flessione=1$
- $e=206000$
- $v=0.3$
- $deformazionepiana=1$

in tal modo nell'APDL nel vengono definiti sia dei parametri si geometrici, come $t1$ che è lo spessore del piatto principale, sia parametri di controllo come $deformazionepiana$ che vengono usati all'interno dello script nei cicli IF per imporre i giuste condizioni al contorno. A questo punto Matlab crea un file .bat che contiene le linee di comando per far avviare il software Ansys con in ingresso lo script APDL modificato e una cartella di destinazione per tutti gli output.

3.1.3 Il controllo del processo

Al fine di controllare il corretta esecuzione del programma Matlab crea tramite comandi in batch una *tasklist* dei programmi in esecuzione, finché nella *tasklist*, che non è altro che un file di testo dove sono listati tutti i programmi in esecuzione in quel momento, trova elencato anche il software Ansys non procede e attende che termini la simulazione. Quando ciò avviene Matlab inizia la lettura dei risultati.

3.1.4 La lettura dei risultati

Ogni script APDL lanciato in Ansys contiene stringhe di comando per salvare i risultati in file di testo con nomi prestabiliti. Terminata la simulazione Matlab che conosce la cartella di salvataggio di questi file ed il loro nome. Quindi li va ad aprire ed inizia a elaborarli in

maniera più o meno complessa per poi salvare il tutto in una riga di file di testo che è sia riassuntiva degli input che degli output. Fatto questo torna a leggere il file di testo *record.txt* passando alla riga seguente e ricominciando il ciclo per una nuova simulazione. Infine terminate tutte le simulazioni inserite, il software importa in Excel il file di testo che riassume gli input e output della simulazione separando in schede opportune in base al tipo di giunto , carico , elemento usato, ecc..

3.2 Come si creano le schede di inserimento dati

Tutte le schede per inserire i dati e di guida all'utente sono state realizzate tramite la funzione già implementata in matlab chiamata *guide*, che consente curarne l'aspetto delle finestre e la scrittura automatica di uno script che ne controlla i vari elementi inseriti (quali tasti di comando, caselle di inserimento dati, menu a tendina, ecc...) Per avviare tale procedura guidata basta digitare il comando “*guide*” nella *command window* di matlab.

3.3 Le funzioni che compongono il programma

Il diagramma di flusso del programma è mostrato nell'immagine 3.1 a seguire sono riportate un breve descrizione delle varie funzione che lo compongono

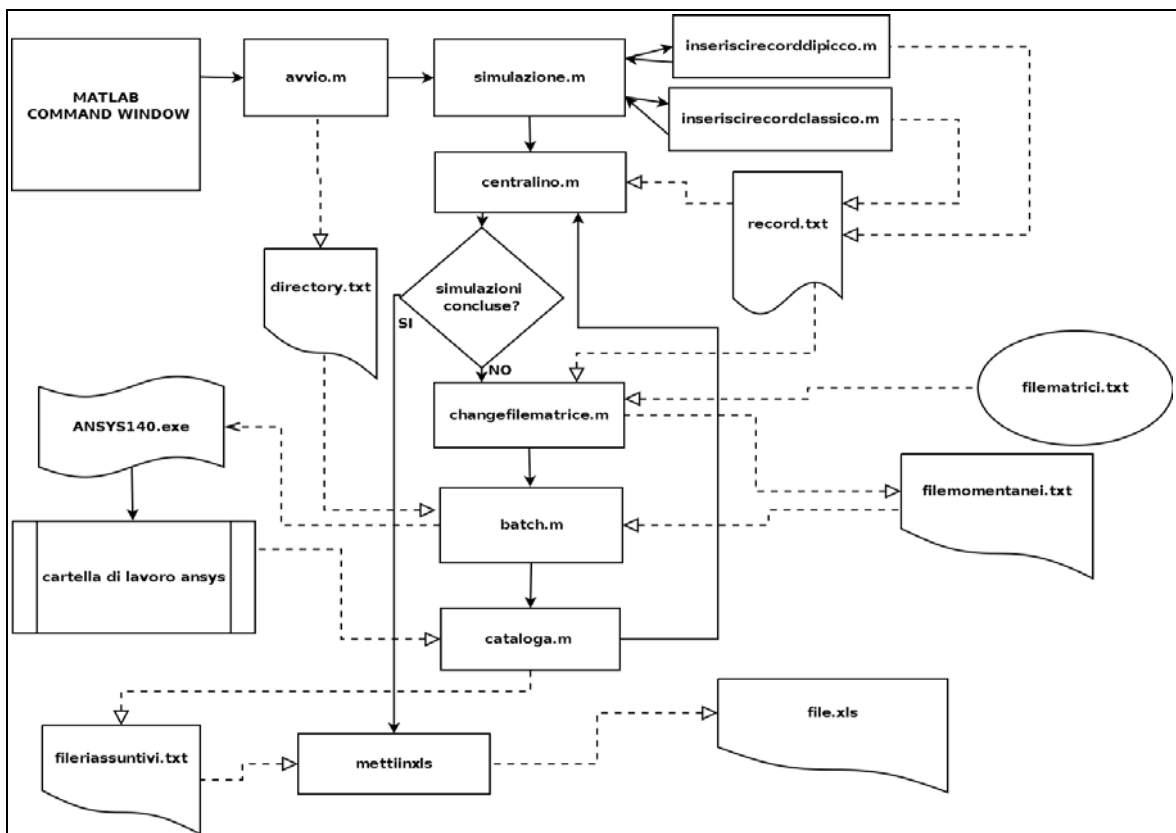


Figura 3.1: Diagramma di flusso del programma realizzato

- **avvio**

questa funzione è quella che deve essere chiamata nella *command window* per lanciare il software, controlla la scheda la cui componente grafica è salvata in *avvio.fig*. Uno dei comandi matlab più utili fin da qui usato è *pwd* che serve a leggere il percorso cartelle in cui attualmente ci si trova. Questo è importantissimo in quanto anche cambiando la directory nella quale si trova la cartella contenente il programma, per esempio quando la si passa da un computer all'altro, il software non va in crash a causa di percorsi file non riconosciuti. L'unico percorso file da inserire nella apposita casella è il percorso file in cui è contenuto l'eseguibile di Ansys che inserito la prima volta viene salvato in un file di testo chiamato *directory.txt* per non reinserirlo ad ogni lancio del programma, è però possibile modificarlo in qualsiasi momento. Si ricorda che matlab a differenza di Ansys è case sensitive.

- **simulazione**

chiamata tramite la scheda *avvio* questa funzione che controlla la scheda *simulazione.fig*. Tale scheda consente di scegliere il nome della cartella che conterrà i risultati delle simulazioni, che sarà presente all'interno della cartella principale del programma, di avviare la simulazione e di scegliere a quale delle due schede principali di inserimento dati si vuole accedere: *inseriscirecordpicco.fig* o *inseriscirecordclassico.fig* la prima serve a inserire un record per la simulazione di un modello del PSM, l'altra per il metodo classico o preciso.

- **inseriscirecordpicco e inseriscirecordclassico**

le due funzioni che controllano le rispettive schede *.fig* si occupano leggere i dati inseriti nelle caselle della scheda e di stamparli nel file di testo *record.txt*. In particolare con il comando *get* si legge il valore scelto dall'utente nella casella, menu a tendina o pulsantiera a scelta multipla. Tramite un controllo in *if* sulla lettura data dal comando *get* si assocerà ad una variabile una opportuna stringa, tutte le variabili stringhe così create saranno unite in una unica stringa tramite il comando *sprintf* e stampati in una nuova riga del file *record.txt* tramite il comando *fprintf*.

- **centralino**

questa è la prima funzione che non controlla una scheda, ma chiamata nella scheda *simulazione* si occupa di leggere i dati inseriti dentro al file di testo *record.txt*. La funzione *centralino* ogni volta che viene chiamata legge una riga di tale file tramite il comando

textscan e la salva in un array di stringhe chiamato *parametri*, fatto questo chiama la funzione *changefilematrice* e subito dopo la funzione *batch*.

- **changefilematrice**

questa funzione si occupa di aprire gli script APDL chiamati in tal modo “*tipodigiunto*”*matrice.txt* presenti nel seguente percorso:

C:\...\”cartella_del_programma”\mainfolder\codiciansysmatrice

e ne crea una copia chiamata “*tipodigiunto*”*momentaneo.txt* che andrà a modificare nelle stringhe chiave. Comandi chiave qui usati sono *frewind* che serve a riportare all'inizio del file di testo il puntatore che legge il file e *strrep* che è il comando che sostituisce la stringa chiave con il valore opportuno salvato nell'array *parametri* . Quando tutte le stringhe sono state modificate, la funzione termina e il programma torna alla funzione *centralino* che prosegue lanciando la funzione *batch*.

- **batch**

questa funzione innanzitutto crea il percorso file con cartelle e sottocartelle in base ai parametri imposti per la simulazione. Poi scrive un file *.bat* chiamato *muovixt.bat* per spostare il file di APDL di comando creato precedentemente nella cartella appena creata. Per lanciare un file *.bat* in matlab è sufficiente scrivere il “*nomefile*”*.bat* preceduto da un punto esclamativo. Poi crea un altro file *.bat* per lanciare in modalità *batch* ovvero senza la finestra grafica Ansys, questo file *.bat* deve il muovere matlab nel percorso dove si trova l'eseguibile di Ansys Mechanical APDL, percorso che veniva richiesto nella finestra *avvio* , e contiene anche la seguente riga per avviare il Ansys dalla prompt dei comandi:

```
<< start ANSYS140.exe -b -i “ percorso file di input ” -o “ percorso file di output ”  
-dir “directory di lavoro” >>
```

Il file *.bat* successivo creato e lanciato da matlab è stato chiamato *creatask.bat* il quale crea ,tramite il comando della prompt dei comandi *tasklist > task.txt* ,un file di testo dove sono presenti tutti i programmi in esecuzione in quel momento. Finché tra tali programmi risulta compreso anche Ansys, matlab continua a eseguire il controllo ad intervalli di tempo regolari. Una volta che però il programma Ansys non è più tra quelli presenti nella lista vuol dire che esso a terminato la simulazione che gli era stata assegnata oppure ha crashato, in questo ultimo caso anche matlab ha un arresto anomalo in quanto non trova i

file di output di Ansys nei percorsi indicati. Infine la funzione *batch* lancia a sua volta la funzione *cataloga*.

- **cataloga**

questa funzione serve a raccogliere i dati di input e output in file di testo riassuntivi e con record suddivisi in base a tipo di giunto tipo di carico elemento ecc. In particolare conosce i dati di ingresso dati dall'array *parametri* mentre va leggere i dati di output presente nella attuale cartella di lavoro Ansys. In particolare nel caso di simulazione di giunti PSM bidimensionali va a leggere il file di testo che contiene la prima tensione principale e la stampa. Nel caso di giunti metodo preciso legge il file di testo con dentro il campo di tensione $\sigma_{\theta\theta}$ e la distanza, li elabora e individua il K_I^V e lo stampa, per il caso di giunto é PSM 3d va a leggere le tensione principale massima minima e di mezzeria e le stampa. Infine nel caso di mesh 3d metodo preciso va a stampare i grafici dei plateau del NSIF mode I lungo il piede del cordone di saldatura, e li stampa come immagini in maniera che l'utente aprendo la cartella in cui sono stati salvati, (il percorso cartelle è creato in base ai parametri di input) possa prenderne visione. A questo punto le funzioni *cataloga* , *batch*, *changefilematrice* terminano una dopo l'altra e l'esecuzione torna alla funzione *centralino* che torna a leggere la riga successiva del file di testo record.txt e ricomincia il ciclo sopra riportato finché non termina la lettura di tale file a questo punto anche *centralino* termina e si ritorna alla funzione *simulazione* che lancia a sua volta la funzione *muovirecord* e *mettiinxls* e *fine*.

- **muovirecord**

questa funzione sposta il file *record.txt* in una sotto cartella all'interno della cartella *vecchirecord*, e crea un nuovo file *record.txt* nella cartella principale senza nessun record inserito

- **mettiinxls**

questa funzione legge i file di testo riassuntivi di tutte le simulazioni, (tranne di quelle 3d mesh precisa) e li esportano in file excel separandoli nelle rispettive schede.

- **fine**

fine e la sua corrispettiva se *fine.fig* serve a generare una scheda che avvisa l'utente che tutte le simulazioni sono state ultimate.

3.4 Guida all'uso del programma

Come primo passo si avvia il software Matlab®, e si imposta come directory di lavoro la cartella contenete il programma. Si può avviare il programma scrivendo “*avvio*” nella *command window* e premendo il tasto di Invio, si ricorda che Matlab a differenza di Ansys è case sensitive ossia è differente scrivere in maiuscole e in minuscole. Comparirà a schermo la scheda *avvio.fig* che richiede l'inserimento del percorso file dell'eseguibile di Ansys®. Si può reperire tale percorso cliccando col tasto destro del mouse sul collegamento desktop del programma Ansys è selezionare “*apri percorso file*”, si copia quindi il percorso e lo si incolla nella casella richiesta.

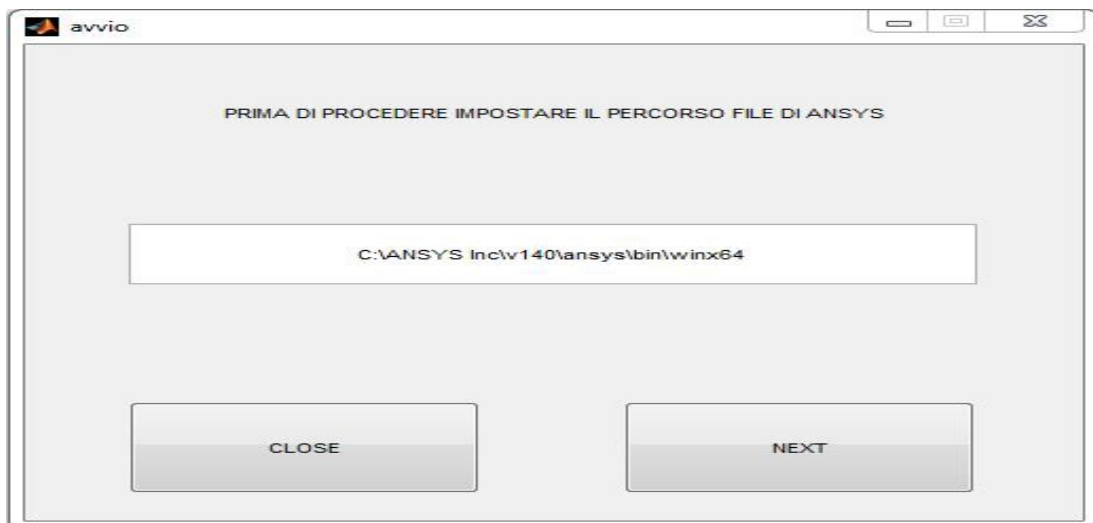


Figura 3.2: Scheda iniziale del programma

A questo punto si può procedere premendo il tasto “*next*” che fa aprire la schermata successiva chiamata *simulazione*.

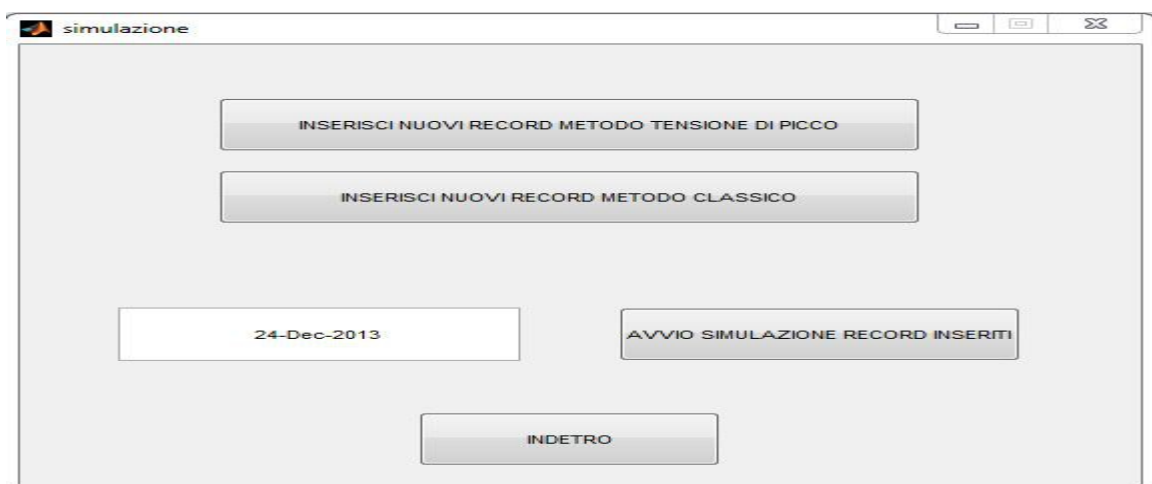


Figura 3.3: Scheda chiamata simulazione che chiama le schede di inserimento dati e avvia la simulazione

In tale scheda è possibile procedere con la selezione del tipo di record da inserire, infatti sono presenti i push button *inserisci nuovi record metodo tensione di picco* e *inserisci nuovi record metodo classico* appare la relativa scheda dove è possibile inserire parametri geometrici, tipo di carico, tipo di giunto, se la simulazione è 2d o 3d, il modulo di Young, il coefficiente di Poisson e il tipo di elemento da usare. Si inseriscono i dati tramite il tasto “*inserisci*” il record appena inserito comparirà nella casella in basso e se risulta incorretto è eliminabile tramite il tasto “*elimina l'ultimo record*”.

Figura 3.4: La schermata per l'inserimento dei record relativi ai modelli con la mesh tipica del PSM

Per tornare alla scheda *simulazione* è sufficiente premere il tasto presente nello spazio in basso delle due schede. Ora dopo aver inserito i record necessari, si può inserire il nome desiderato della cartella di salvataggio inserendolo nella apposita casella o lasciando quello di default e avviare le simulazioni con il tasto apposito chiamato *avvia simulazione record*

inseriti. A questo punto si apriranno due le finestrelle di esecuzione di Ansys in modalità batch, e man mano che le simulazioni vengono risolte queste due si apriranno e si chiuderanno. In questa fase non bisogna lasciare aperta nessuna finestra di Ansys che sia stata aperta manualmente poiché tale condizione non consente a Matlab di verificare che la simulazione in corso si sia conclusa e di avviare una nuova simulazione, restando semplicemente fermo in attesa. Una volta terminate tutte le simulazioni comparirà una scheda che avvisa l'utente di tale avvenimento; è quindi possibile spegnere Matlab e andare a visualizzare i risultati i quali sono salvati in una sotto cartella all'interno della cartella dove è presente codesto programma. Tale sotto cartella è stata nominata nella scheda *simulazione* (di default è presente la data attuale), al suo interno i dati sono separati in base al tipo di input di ingresso. Per la precisione sono separati in un percorso file così formulato:

...../cartella_contenente_il_programma/tipo di giunto / tipo di elemento usato / tipo di stato di tensione / tipo di sollecitazione / spessore piastra principale - spessore piastra secondaria – lunghezza cateto del cordone di saldatura – profondità del giunto-dimensione globale degli elementi usati - modulo young- coefficiente di poisson.

In tal modo si ottengono dei risultati divisi in categorie e facilmente consultabili dall'utente. All'interno di ogni cartella è presente l'APDL dato in input, il salvataggio della simulazione, i report degli errori, i file di testo dati in output da Ansys dove sono salvati i risultati di interesse o/e alcune immagini significative. Per ottenere una estrema sintesi dei risultati ottenuti in serie il programma Matlab stampa nelle righe di alcuni files di testo gli input e output di ciascuna simulazione. Tali files sono all'interno della cartella *tabelleriassuntive* e ogni files di testo contiene una ben precisa categoria di simulazione che è specificata dal titolo stesso del file. Per permettere all'utente di avere la possibilità di elaborare facilmente tali risultati queste tabelle di testo vengono importate in automatico in un file *Excel*, in particolare in ogni scheda vengono salvati tutti i dati presenti nel seguente albero di cartelle:

...../cartella_contenente_il_programma/tipo di giunto / tipo di elemento usato / tipo di stato di tensione / tipo di sollecitazione

In sostanza già divisi per categoria e quindi ordinati e di facile lettura, come si vede in figura.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	giuntocruciformenlclassico2d_trazione_tensione_piana_PLANE82.txt								
2	T[mm]	t[mm]	z[mm]	d[m]	E[Mpa]	v	KI [MPa*mm ^{0.326}]		
3	10	10	10	1	206000	0,3	2,551351	0,000031	
4	11	10	10	1	206000	0,3	2,612483	0,000021	
5	11	11	10	1	206000	0,3	2,621618	0,000022	
6	11	11	11	1	206000	0,3	2,63142	0,000026	
7	12	11	11	1	206000	0,3	2,689472	0,000019	
8									
9									
10									
11									

Figura 3.5: Come si presenta i file Excel che il programma presenta in uscita.

3.5 Possibili problemi che portano all'arresto anomalo del programma

Il programma può crashare per i seguenti motivi: memoria RAM insufficiente o consumo di tutta la memoria del disco. Per non causare tali problemi è quindi consigliabile creare simulazioni troppo pesanti per l'hardware a disposizione e non caricare un numero eccessivo di simulazioni in una sola volta specialmente nel caso di modelli 3d. Ovviamente è possibile che crashino anche Matlab o Ansys per ragioni più o meno oscure, in tal caso per far ripartire il programma da dove ha smesso di funzionare senza ripetere tutti le simulazioni fino a qui eseguite si controlla la ultima simulazione eseguita con successo nel albero delle cartelle di salvataggio o all'interno del file di testo *recordinlavorazione.txt*, poi manualmente si entra nel file di testo *record.txt*, si cancellano tutte le righe di input già eseguite e si fa ripartire il programma principale in Matlab. In tale procedura il testo *record.txt* va modificato con attenzione in quanto se si commettono errori Matlab non è in

grado di leggerlo correttamente e si blocca segnalando un errore all'interno di una funzione. Si consiglia di usare per tale operazione un file di text editor evoluto (si consiglia ad esempio *conText*®), si deve aggiungere che la modifica manuale del file di testo *record.txt* permette con un pò di abilità e di ingegno di inserire molti record più velocemente rispetto alla procedura guidata delle schede, ma , si ribadisce, con un certo rischio. Infine si sottolinea che il file *record.txt* non va assolutamente cancellato in quanto deve sempre essere presente all'interno della cartella principale del software.

CAPITOLO 4 : RISULTATI DELLE ANALISI

4.1 L' NSIF valutato con il metodo preciso nelle simulazioni 2d

In primo luogo sono individuati i K_I^V utilizzando il metodo preciso come descritto nel paragrafo 2.3, si sono stampati in un file di testo i valori di tensione presenti alla bisettrice dell'intaglio in funzione della distanza dall'apice, ottenendo un andamento illustrato in figura 4.1, in seguito si sono posti gli assi del grafico logaritmici ottenendo il grafico di figura 4.2, si deve notare che la pendenza della curva è uguale alla potenza della singolarità dell'intaglio pari ad uno meno l'autovalore di Williams, ovvero 0,326

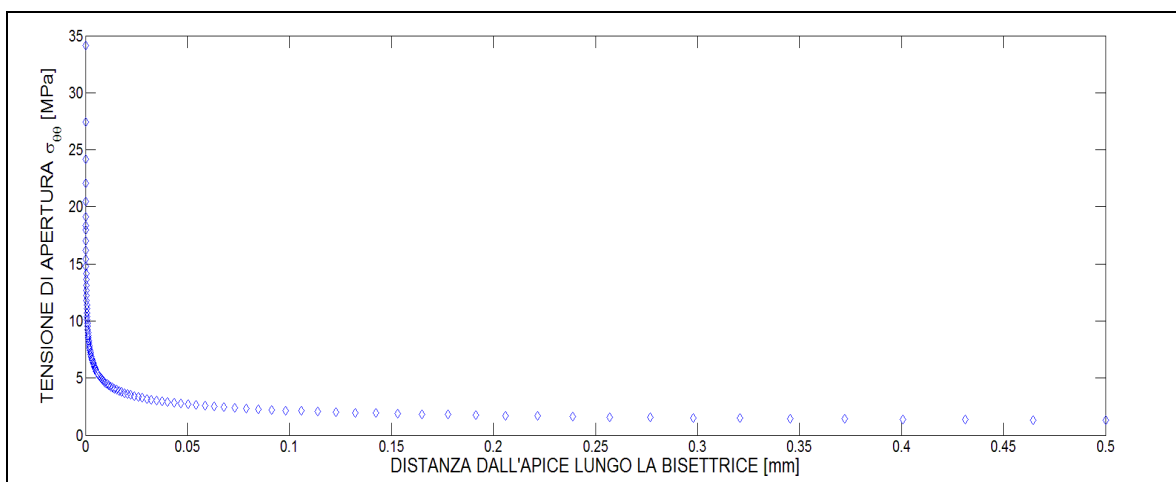


Figura 4.1: Andamento della tensione di apertura in prossimità dell'intaglio lungo la bisettrice.

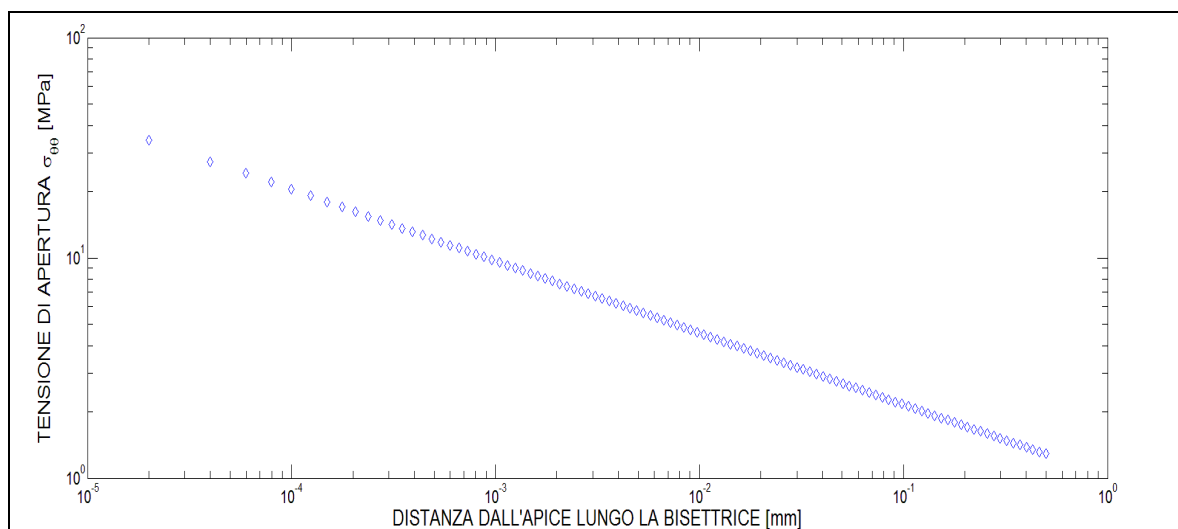


Figura 4.2: La pendenza della curva in scale logaritmiche è lineare con pendenza pari alla potenza della singolarità ovvero a $(1 - \lambda_1)$

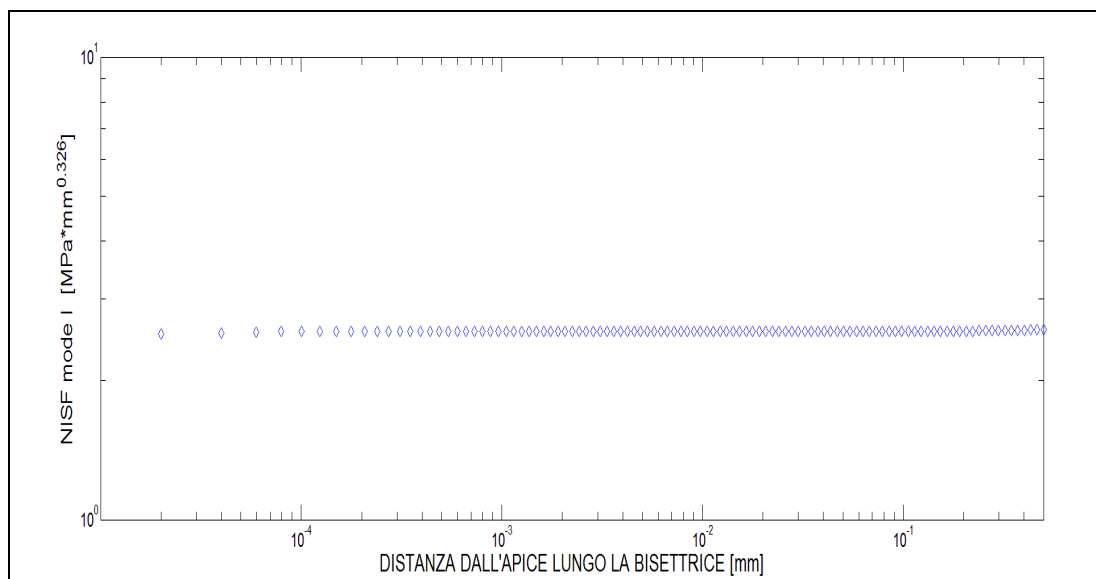


Figura 4.3: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I

Poi si è valutato il $K_I^V = \sqrt{2\pi} \sigma_{\theta\theta} * r^{0.326}$ lungo tutto il path e si è individuato il plateau (vedi figura 4.3) che individua la zona dove il limite del NSIF è andato a convergenza (si ricorda infatti che tale limite ha convergenza locale non puntuale) e si è assegnato al K_I^V il valore medio del plateau. In seguito si riportano i valori ricavati per i vari giunti variando i parametri geometrici e il materiale, per il giunto cruciforme NLC vedi tabelle 4.1 e 4.4 per il giunto cruciforme LC vedi tabelle 4.2 e 4.5, per il giunto a T NLC vedi tabelle 4.3 e 4.6.

Per i giunto cruciforme NLC, giunto cruciforme LC e il giunto a T NLC, vincolati in maniera opportuna come spiegato nel paragrafo 2.1 in base al tipo di sollecitazione applicata (trazione o flessione) sono stati trovati i seguenti valori di NSIF mode I riportati nelle tabelle sottostanti, dove si ricorda che T è lo spessore della piatto principale, t lo spessore del piatto secondario, z il cateto del triangolo di saldatura, E il modulo di Young, ν il coefficiente di Poisson. Le simulazioni condotte riguardano sia giunto in acciaio caratterizzati da modulo di Young di 206000 Mpa e da un coefficiente di Poisson di 0,3 sia giunti in alluminio con modulo di Young di 64000 Mpa e coefficiente di Poisson di 0,34.

Il K_I^V ottenuto è da intendersi riferito a una tensione remota di 1MPa che ottenuta caricando i modelli come spiegato nel paragrafo 2.1.1 . Per maggior chiarezza le immagini dei modelli con le condizioni di carico e di vincolo sono riportate appena prima della tabella.

Si comincia con i giunti cruciformi NLC sotto posti a flessione, il cui modello FEM è illustrato nell'immagine sottostante:

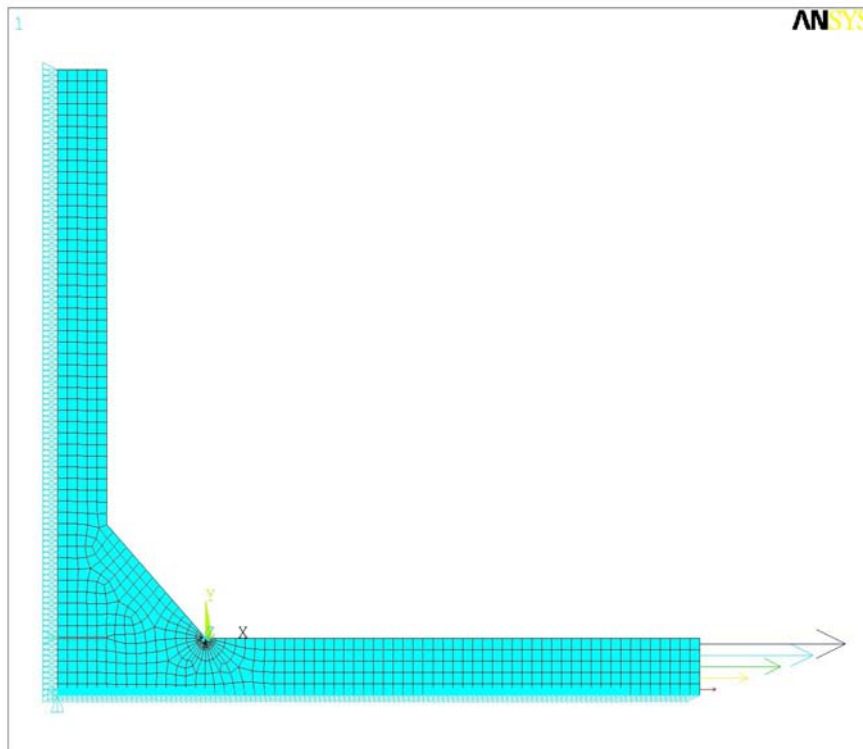


Figura 4.4: Il giunto cruciforme NLC caricato a flessione

È da notare nella figura 4.4 il forte infittimento della mesh in prossimità del piede del cordone di saldatura. Ecco i risultati delle analisi svolte:

Tabella 4.1 NSIF mode I per il giunto cruciforme NLC 2d caricato a flessione e con tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T[mm]	t[mm]	z[mm]	E[Mpa]	ν	$K_I^V [MPa * mm^{0.326}]$
13	10	8	206000	0,3	2,09
50	50	16	206000	0,3	3,33
100	50	16	206000	0,3	3,87
13	3	5	206000	0,3	2,02
25	3	5	206000	0,3	2,23
\25	32	9	206000	0,3	2,68
25	220	15	206000	0,3	2,73
38	13	8	206000	0,3	2,77
38	220	15	206000	0,3	3,31
100	3	5	206000	0,3	2,31
100	220	15	206000	0,3	4,89
50	3	5	206000	0,3	2,30
100	13	8	206000	0,3	2,96
6	6	2,2	206000	0,3	1,64
19	19	7,1	206000	0,3	2,42
25	25	9,4	206000	0,3	2,65
11	11	4,1	206000	0,3	2,01
6	6	6	206000	0,3	1,61
3	3	4,5	64000	0,34	1,26
6	6	7	64000	0,34	1,60
12	12	10	64000	0,34	2,04
24	24	20,5	64000	0,34	2,56
24	6	7	64000	0,34	2,41
12	6	7	64000	0,34	2,03

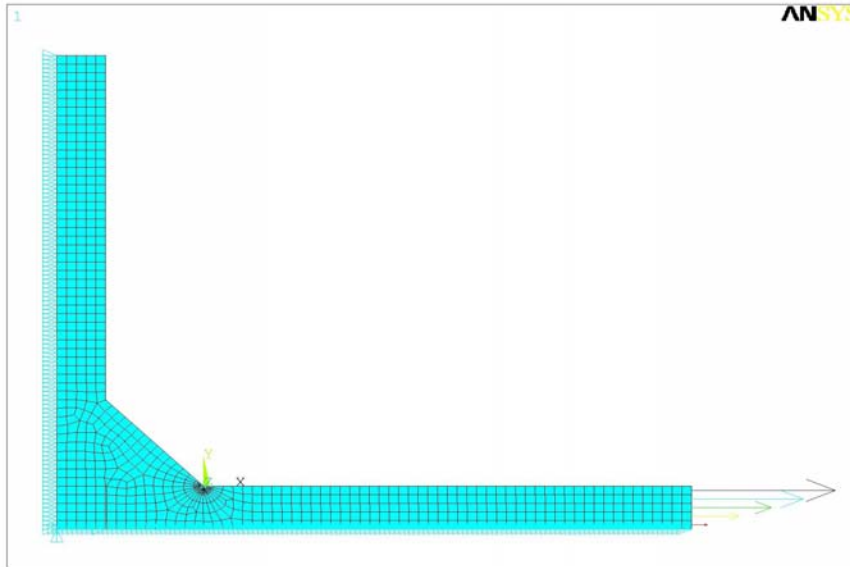


Figura 4.5: Il giunto cruciforme LC sollecitato a flessione.

Proseguendo con i giunti cruciformi LC sotto posti a flessione, il modello FEM è illustrato nella figura 4.5. Anche in questo caso i si sono modellizzati giunti sia in alluminio che in acciaio, la mesh è sempre quella del metodo preciso con un infittimento molto elevato in prossimità del piede.

Tabella 4.2 NSIF mode I per il giunto cruciforme LC 2d caricato a flessione e con tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T[mm]	t[mm]	z[mm]	E[Mpa]	v	$K_I^V [MPa * mm^{0.326}]$
6	6	6	206000	0,3	1,62
12	12	8	64000	0,34	2,13
12	12	6,4	64000	0,34	2,25

Infine si sono eseguite anche tre simulazioni per il giunto a T NLC, il cui modello FEM è illustrato nella figura sottostante.

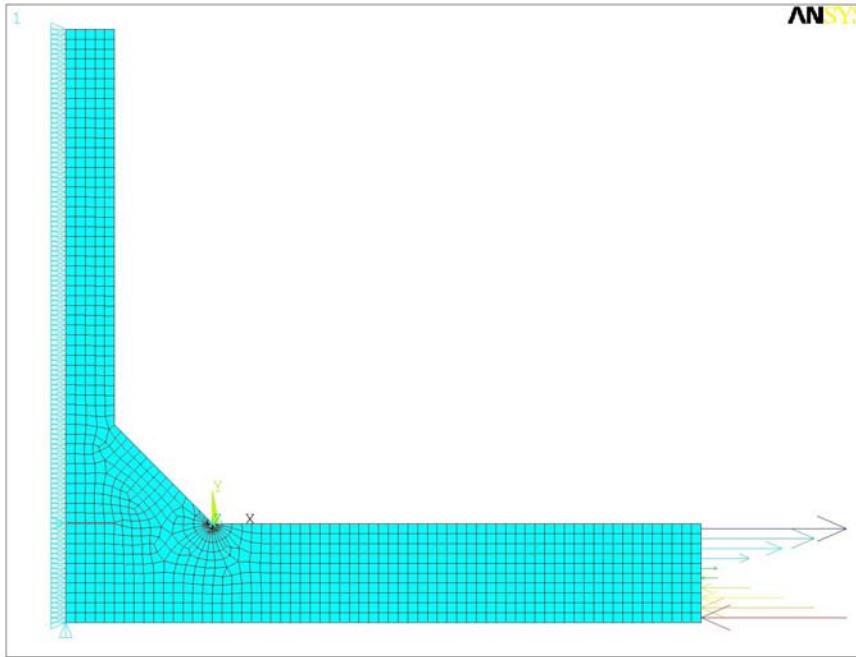


Figura 4.6: Il giunto a T NLC caricato a flessione

Tabella 4.3 NSIF mode I per il giunto a T NLC 2d caricato a flessione e con tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T[mm]	t[mm]	z[mm]	E[Mpa]	ν	$K_I^V [MPa * mm^{0.326}]$
6	6	6	206000	0,3	1,88
12	10	8	64000	0,34	2,38
12	12	8	64000	0,34	2,4

Ora per le stesse geometrie dei giunti delle tabelle sopra riportate si sono cambiate le condizioni al contorno e sono state imposte delle condizioni di carico di trazione con le conseguenti condizioni al contorno. Nella immagine a seguire si riporta il modello FEM per il giunto cruciforme NLC sottoposto a trazione:

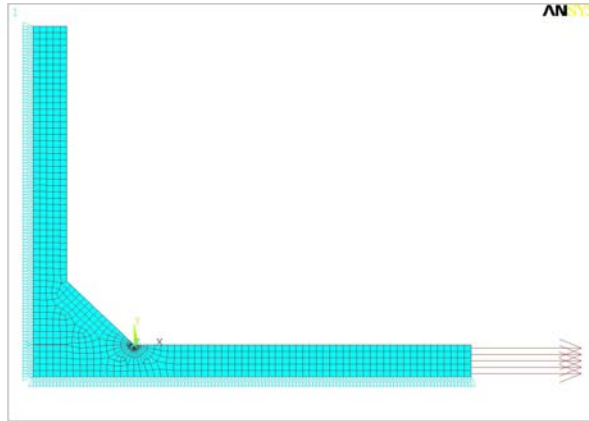


Figura 4.7: Il giunto cruciforme NLC caricato a trazione

Tabella 4.4 NSIF mode I per il giunto cruciforme NLC 2d caricato a trazione e con tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T[mm]	t[mm]	z[mm]	E[Mpa]	ν	$K_I^V [MPa * mm^{0.326}]$
13	10	8	206000	0,3	2,66
50	50	16	206000	0,3	3,98
100	50	16	206000	0,3	4,15
13	3	5	206000	0,3	2,30
25	3	5	206000	0,3	2,31
25	32	9	206000	0,3	3,31
25	220	15	206000	0,3	4,15
38	13	8	206000	0,3	2,97
38	220	15	206000	0,3	4,84
100	3	5	206000	0,3	2,29
100	220	15	206000	0,3	6,03
50	3	5	206000	0,3	2,29
100	13	8	206000	0,3	2,96
6	6	2,2	206000	0,3	2,00
19	19	7,1	206000	0,3	2,94
25	25	9,4	206000	0,3	3,21
11	11	4,1	206000	0,3	2,45
6	6	6	206000	0,3	2,16
3	3	4,5	64000	0,34	1,75
6	6	7	64000	0,34	2,17
12	12	10	64000	0,34	2,69
24	24	20,5	64000	0,34	3,37
24	6	7	64000	0,34	2,65
12	6	7	64000	0,34	2,52

In modo analogo per il giunto cruciforme LC si è imposto un carico di trazione:

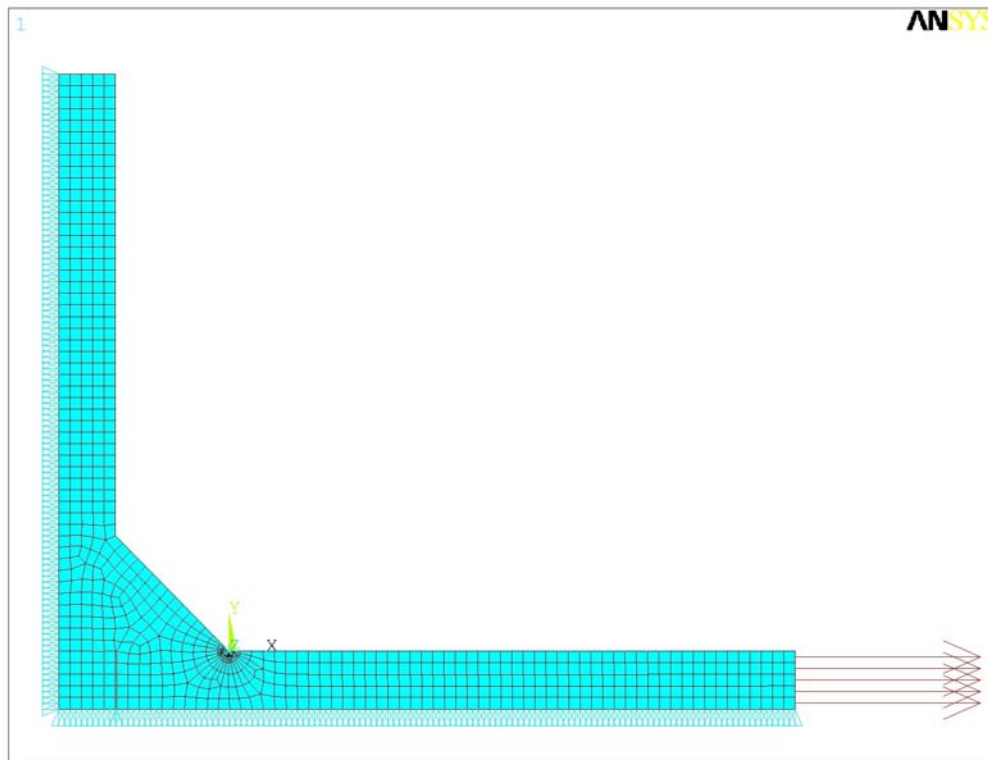


Figura 4.8: Il giunto cruciforme LC caricato a trazione

Tabella 4.5 NSIF mode I per il giunto cruciforme LC 2d caricato a trazione e con tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T[mm]	t[mm]	z[mm]	E[Mpa]	ν	$K_I^V [MPa * mm^{0.326}]$
6	6	6	206000	0,3	2,61
12	12	8	64000	0,34	4,11
12	12	6,4	64000	0,34	4,80

Infine il giunto a T NLC con carico di trazione:

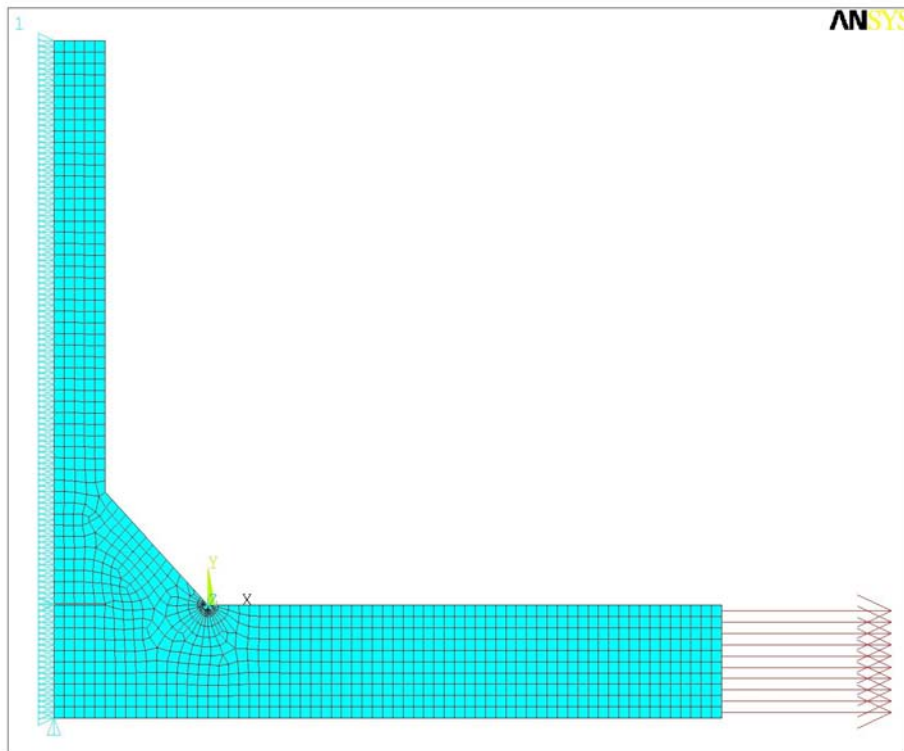


Figura 4.9: Il giunto a T NLC caricato a trazione

Tabella 4.6 NSIF mode I per il giunto a T NLC 2d caricato a trazione e con tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T[mm]	t[mm]	z[mm]	E[Mpa]	ν	$K_I^V [MPa * mm^{0.326}]$
6	6	6	206000	0,3	1,66
12	10	8	64000	0,34	2,08
12	12	8	64000	0,34	2,08

4.2 L' NSIF valutato tramite il PSM tramite simulazioni 2d.

Per i tipi di elementi piani usati, ovvero il Plane 182 e il suo predecessore plane 42 , e Plane 183 e suo predecessore il Plane 82 sono noti dalla letteratura i K_{FE}^* della formula del PSM 1.11 a pagina 7. Quindi utilizzando la σ_{peak} (prima tensione principale) ricavata della simulazioni e il valore di K_{FE}^* di 1,38 per il Plane 42 e Plane 182 sono stati valutati i $K_{I,PSM}^V$ tramite la formula 1.11 . Sono stati confrontati con i K_I^V ottenuti tramite il metodo preciso per valutarne la differenza percentuale

$(K_{I,PSM}^V - K_I^V) / (K_I^V) * 100$ e rendere una valutazione della affidabilità del metodo del PSM. Quindi si sono simulate con lo stesso materiale (acciaio o alluminio) le stesse geometrie di giunti riportate nel paragrafo 4.1. Le simulazioni sono state eseguite sia in condizione di tensione piana che di deformazione piana, i risultati sono riportati nelle tabelle dei sotto paragrafi a seguire.

4.2.1 I risultati in condizione di tensione piana per i plane 42 e plane 182

Usando gli elementi Plane 182 resi equivalenti ai Plane 42 settando l'opzione sul elemento come riportato in tabella 1.3 a pagina 15, e imponendo la condizione di tensione piana si sono ottenute le tensioni di picco nel piede del cordone di saldatura. Utilizzando il coefficiente della formula del PSM di 1.38 così come è individuato da Meneghetti [05] si sono valutati l'NSIF mode I per i giunti cruciformi NLC, per i giunti cruciformi LC, e per i giunti a T NLC e la loro differenza rispetto a quelli individuati tramite il metodo preciso della mesh fitta. Per il giunto cruciforme NLC caricato a flessione come mostrato in figura 4.10 si sono ottenuti i seguenti risultati:

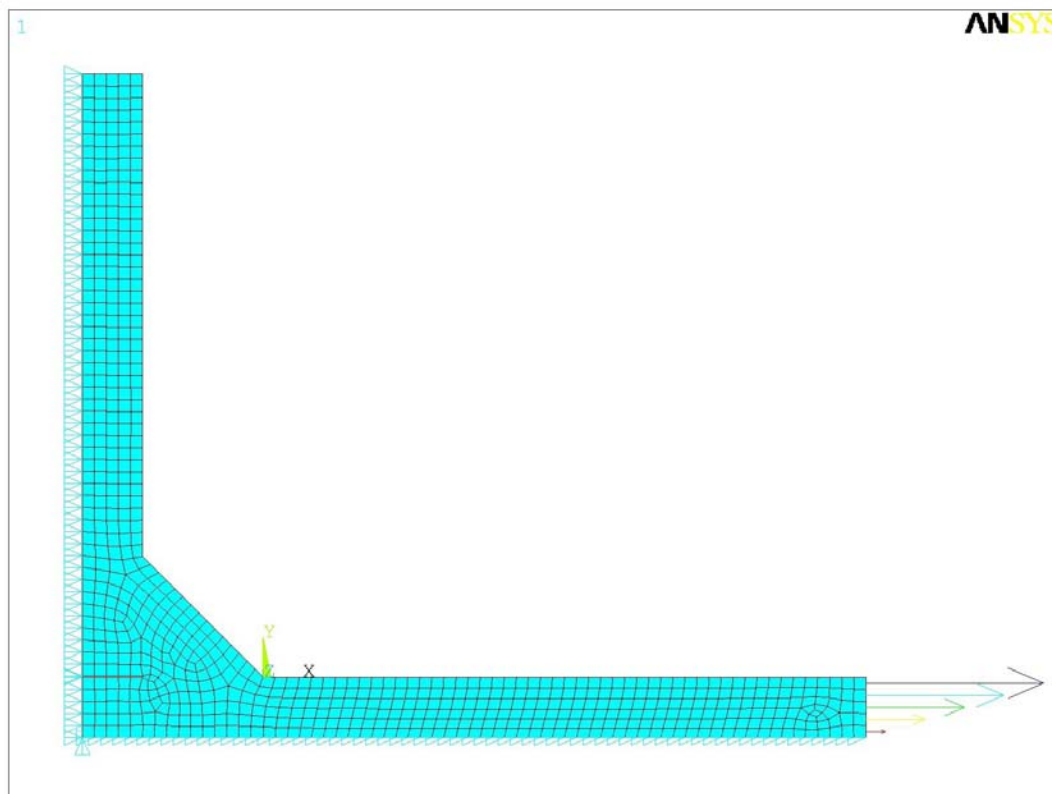


Figura 4.10: Il giunto cruciforme NLC caricato a flessione con mesh tipica del PSM

Tabella 4.7 Valori del NSIF mode I ottenuti per il giunto cruciforme NLC caricato a flessione tramite il PSM in condizione di tensione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] <i>metodo preciso</i>	$K_{I,PSM}^V$ [MPa*mm ^{0.326}]	Differenza percentuale tra K_I^V e $K_{I,PSM}^V$
13	10	8	1	206000	0,3	2,09	2,06	-1,63
50	50	16	1	206000	0,3	3,33	3,20	-3,91
100	50	16	1	206000	0,3	3,87	3,69	-4,50
13	3	5	1	206000	0,3	2,02	2,02	0,16
25	3	5	1	206000	0,3	2,23	2,21	-1,02
25	32	9	1	206000	0,3	2,68	2,55	-5,18
25	220	15	1	206000	0,3	2,73	2,63	-3,57
38	13	8	1	206000	0,3	2,77	2,70	-2,50
38	220	15	1	206000	0,3	3,31	3,18	-3,79
100	3	5	1	206000	0,3	2,31	2,31	0,11
100	220	15	1	206000	0,3	4,89	4,74	-3,07
50	3	5	1	206000	0,3	2,30	2,28	-0,71
100	13	8	1	206000	0,3	2,96	2,88	-2,88
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	1,64	1,66	1,14
19	19	7,1	1	206000	0,3	2,42	2,33	-3,46
25	25	9,4	1	206000	0,3	2,65	2,61	-1,49
11	11	4,1	1	206000	0,3	2,01	2,02	0,42
6	6	6	1	206000	0,3	1,61	1,57	-2,34
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,26	1,27	1,11
6	6	7	1	64000	0,34	1,60	1,55	-3,22
12	12	10	1	64000	0,34	2,04	2,00	-1,85
24	24	20,5	1	64000	0,34	2,56	2,48	-3,27
24	6	7	1	64000	0,34	2,41	2,35	-2,61
12	6	7	1	64000	0,34	2,03	2,02	-0,13

Come si può notare la differenza massima assoluta non supera il 6% e tale valore non viene superato nemmeno nei casi a seguire. Il secondo caso che si riporta è quello del giunto cruciforme LC sempre sottoposto a flessione.

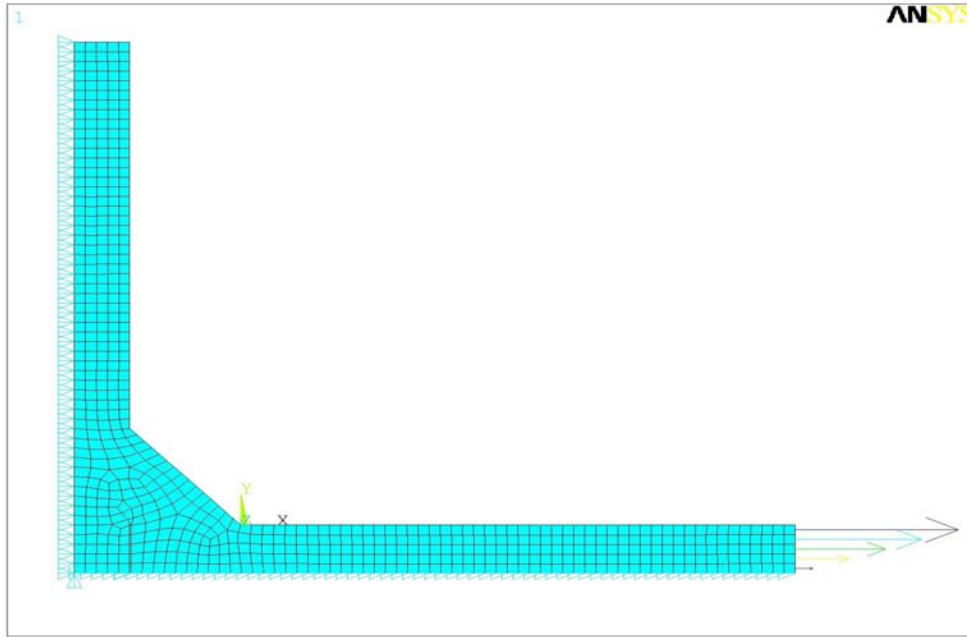


Figura 4.11: Il giunto cruciforme LC caricato a flessione

Tabella 4.8 Valori del NSIF mode I ottenuti per il giunto cruciforme LC caricato a flessione tramite il PSM in condizione di tensione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}] metodo preciso	$K_{I,PSM}^V$ [MPa*mm ^{0,326}]	Differenza percentuale tra K_I^V e $K_{I,PSM}^V$
6	6	6	0,5	206000	0,3	1,62	1,63	0,89
12	12	8	1	64000	0,34	2,13	2,14	0,61
12	12	6,4	1	64000	0,34	2,25	2,24	-0,51

Anche qui si riscontra un errore ridottissimo nell'utilizzo del PSM certamente dovuto anche al ridotto numero di casi considerati, ma che comunque supporta l'affidabilità del metodo anche al variare della geometria considerata.

Infine per il giunto a T NLC si sono ottenuti i seguenti risultati sempre usando i Plane 42 o, l'equivalente previo settaggio, Plane 182:

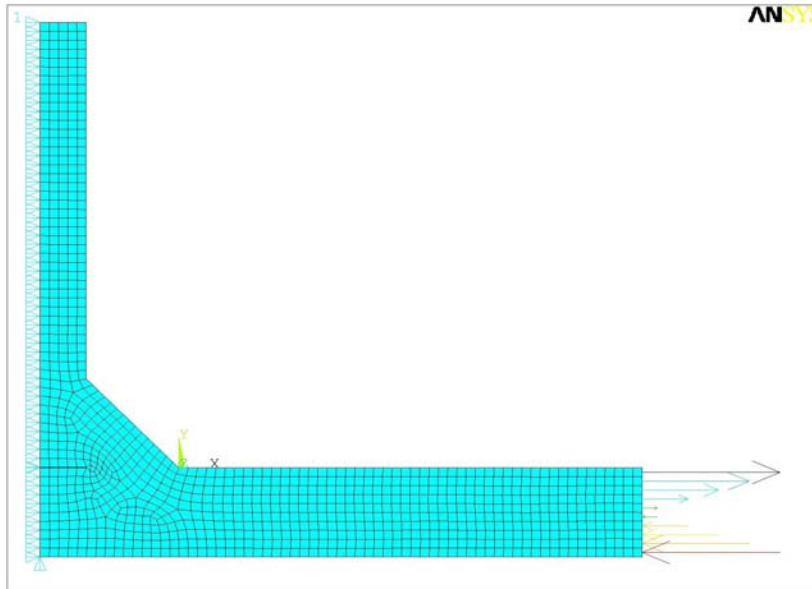


Figura 4.12: Il giunto a T NIC con carico di flessione

Tabella 4.9 Valori del NSIF mode I ottenuti per il giunto a T NLC caricato a flessione tramite il PSM in condizione di tensione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso	$K_{I,PSM}^V$ [MPa*mm ^{0.326}]	Differenza percentuale tra K_I^V e $K_{I,PSM}^V$
6	6	6	1	206000	0,3	1,88	1,89	0,35
12	10	8	1	64000	0,34	2,38	2,38	-0,10
12	12	8	1	64000	0,34	2,40	2,38	-0,65

Ora per gli stesse geometrie di giunti usando sempre Plane 182 con il corretto settaggio delle opzioni sul elemento come riportato in tabella 1.3 e la condizione di tensione piana , si è imposto un carico di trazione e si è confrontato l' NSIF mode I ottenuto con il PSM usando il coefficiente usato da Meneghetti pari a 1.38 e il metodo preciso. Anche qui l'errore massimo assoluto riscontrato non supera il 6%.

Tabella 4.10 Valori del NSIF mode I ottenuti per il giunto cruciforme NLC caricato a trazione tramite il PSM in condizione di tensione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] <i>metodo preciso</i>	$K_{I,PSM}^V$ [MPa*mm ^{0.326}]	Differenza percentuale tra K_I^V e $K_{I,PSM}^V$
13	10	8	1	206000	0,3	2,66	2,58	-3,05
50	50	16	1	206000	0,3	3,98	3,82	-4,10
100	50	16	1	206000	0,3	4,15	3,96	-4,56
13	3	5	1	206000	0,3	2,30	2,27	-0,91
25	3	5	1	206000	0,3	2,31	2,28	-1,23
25	32	9	1	206000	0,3	3,31	3,12	-5,55
25	220	15	1	206000	0,3	4,15	3,98	-4,10
38	13	8	1	206000	0,3	2,97	2,89	-2,78
38	220	15	1	206000	0,3	4,84	4,65	-3,99
100	3	5	1	206000	0,3	2,29	2,29	0,00
100	220	15	1	206000	0,3	6,03	5,84	-3,11
50	3	5	1	206000	0,3	2,29	2,27	-0,85
100	13	8	1	206000	0,3	2,96	2,87	-2,96
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	2,00	1,99	-0,98
19	19	7,1	1	206000	0,3	2,94	2,82	-3,95
25	25	9,4	1	206000	0,3	3,21	3,15	-2,04
11	11	4,1	1	206000	0,3	2,45	2,43	-1,02
6	6	6	1	206000	0,3	2,16	2,05	-5,13
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,75	1,67	-4,11
6	6	7	1	64000	0,34	2,17	2,05	-5,64
12	12	10	1	64000	0,34	2,69	2,60	-3,31
24	24	20,5	1	64000	0,34	3,37	3,24	-3,97
24	6	7	1	64000	0,34	2,65	2,57	-3,00
12	6	7	1	64000	0,34	2,52	2,48	-1,61

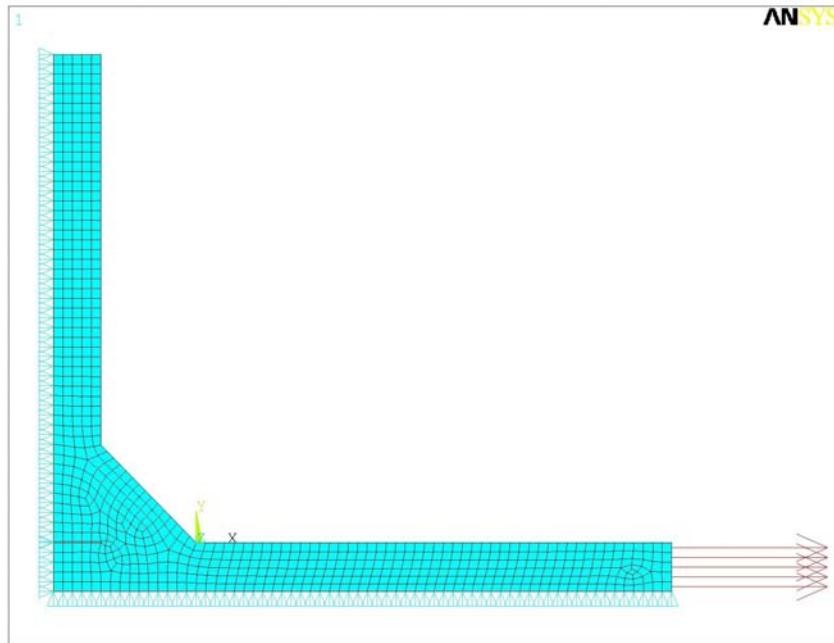


Figura 4.13: Il giunto cruciforme NLC caricato a trazione

Per il giunto cruciforme LC i risultati ottenuti sono:

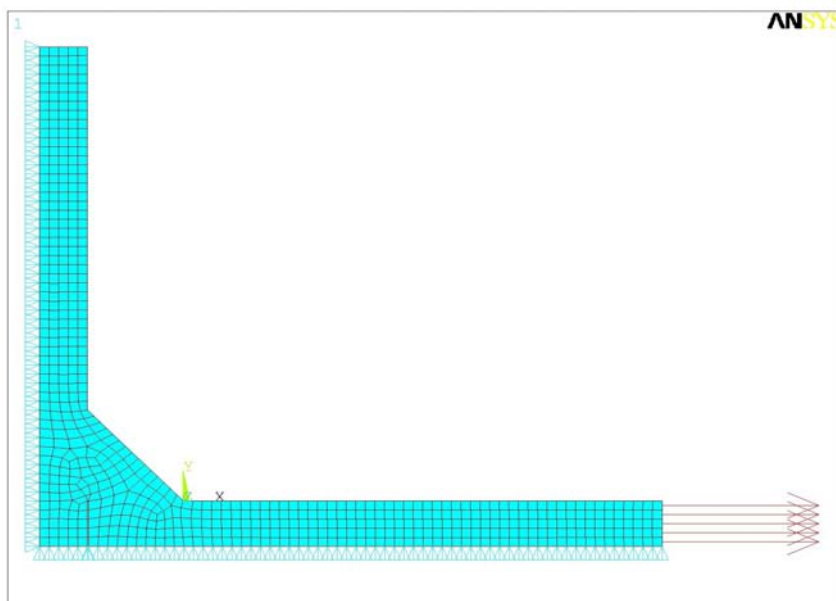


Figura 4.14: Il giunto cruciforme LC caricato a trazione

Tabella 4.11 Valori del NSIF mode I ottenuti per il giunto cruciforme LC caricato a trazione tramite il PSM in condizione di tensione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}] metodo preciso	$K_{I,PSM}^V$ [MPa*mm ^{0,326}]	Differenza percentuale tra K_I^V e $K_{I,PSM}^V$
6	6	6	0,5	206000	0,3	2,61	2,56	-1,91
12	12	8	1	64000	0,34	4,11	4,05	-1,47
12	12	6,4	1	64000	0,34	4,80	4,66	-2,81

Per il giunto a T NLC i risultati ottenuti sono:

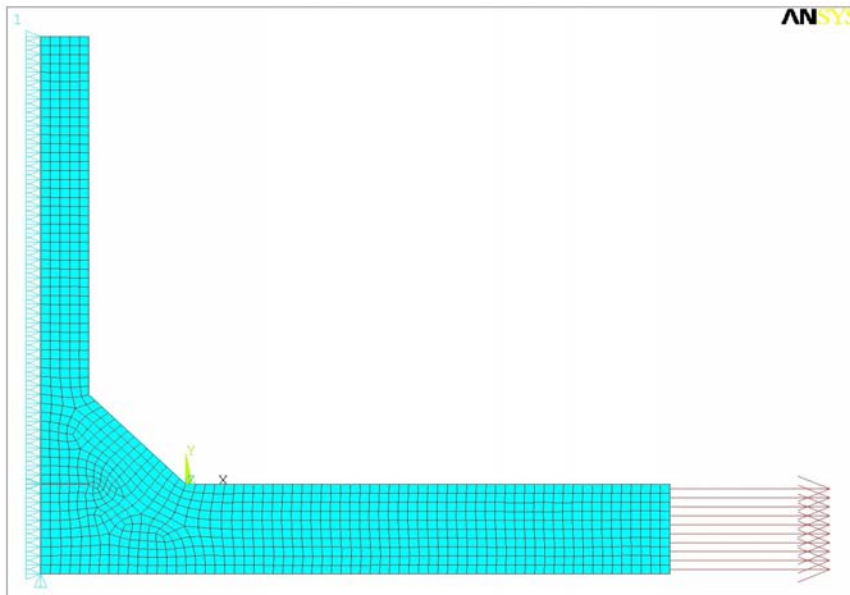


Figura 4.15: Il giunto a T NLC caricato a trazione

Tabella 4.12 Valori del NSIF mode I ottenuti per il giunto a T NLC caricato a trazione tramite il PSM in condizione di tensione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}] metodo preciso	$K_{I,PSM}^V$ [MPa*mm ^{0,326}]	Differenza percentuale tra K_I^V e $K_{I,PSM}^V$
6	6	6	1	206000	0,3	1,66	1,62	-2,17
12	10	8	1	64000	0,34	2,08	2,04	-1,72
12	12	8	1	64000	0,34	2,08	2,04	-2,14

4.2.2 I risultati in condizione di deformazione piana per i plane 42 e plane 182

Sempre utilizzando le geometria e le condizioni di carico del paragrafo 4.2.1 ma imponendo una condizione di deformazione piana anziché di tensione piana, sono state rieseguite le simulazioni. Anche qui si è ottenuto la tensione di picco al piede del cordone di saldatura si è ottenuta una valutazione dell'NSIF mode I utilizzando la formula del PSM con il coefficiente di tale formula posto pari 1.38 come indicato da Meneghetti. Il valore del $K_{I,PSM}^V$ così valutato è stato confrontato con quello ottenuto con il metodo preciso. Si riporta i risultati per il giunti cruciformi NLC, giunti cruciformi LC giunti a T NLC :

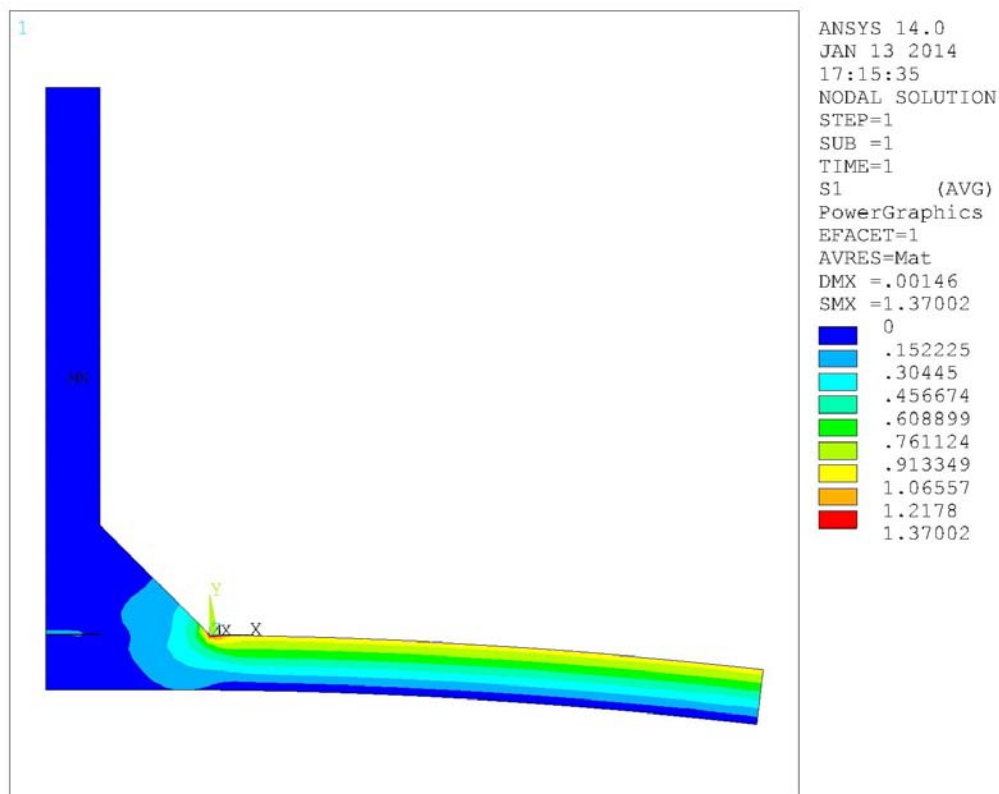


Figura 4.16: La prima tensione principale nel giunto cruciforme NLC con carico di flessione

Tabella 4.13 Valori del NSIF mode I ottenuti per il giunto cruciforme NLC caricato a flessione tramite il PSM in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}] <i>metodo preciso</i>	$K_{I,PSM}^V$ [MPa*mm ^{0,326}]	Differenza percentuale tra K_I^V e $K_{I,PSM}^V$
13	10	8	1	206000	0,3	2,09	2,08	-0,89
50	50	16	1	206000	0,3	3,33	3,23	-3,12
100	50	16	1	206000	0,3	3,87	3,72	-3,72
13	3	5	1	206000	0,3	2,02	2,03	0,92
25	3	5	1	206000	0,3	2,23	2,23	-0,26
25	32	9	1	206000	0,3	2,68	2,56	-4,48
25	220	15	1	206000	0,3	2,73	2,65	-2,80
38	13	8	1	206000	0,3	2,77	2,72	-1,73
38	220	15	1	206000	0,3	3,31	3,21	-3,00
100	3	5	1	206000	0,3	2,31	2,33	0,89
100	220	15	1	206000	0,3	4,89	4,78	-2,24
50	3	5	1	206000	0,3	2,30	2,30	0,07
100	13	8	1	206000	0,3	2,96	2,90	-2,11
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	1,64	1,67	1,95
19	19	7,1	1	206000	0,3	2,42	2,35	-2,72
25	25	9,4	1	206000	0,3	2,65	2,63	-0,69
11	11	4,1	1	206000	0,3	2,01	2,04	1,27
6	6	6	1	206000	0,3	1,61	1,58	-1,77
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,26	1,28	1,91
6	6	7	1	64000	0,34	1,60	1,57	-2,43
12	12	10	1	64000	0,34	2,04	2,02	-0,87
24	24	20,5	1	64000	0,34	2,56	2,50	-2,25
24	6	7	1	64000	0,34	2,41	2,38	-1,58
12	6	7	1	64000	0,34	2,03	2,05	0,96

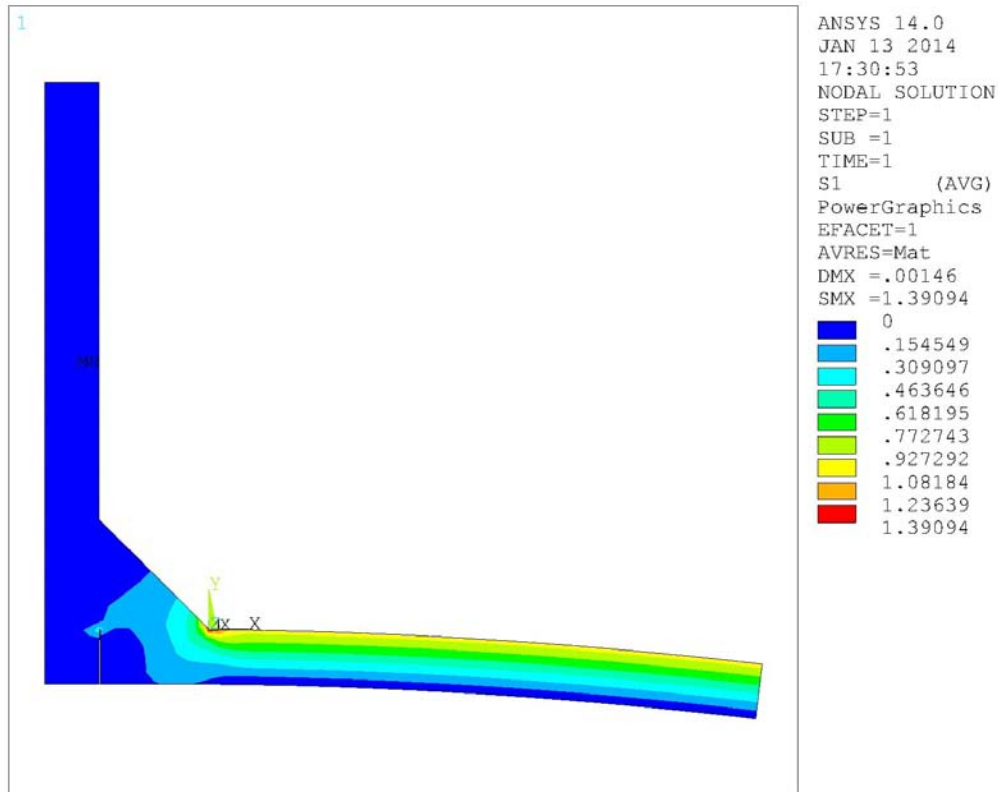


Figura : La prima tensione principale nel giunto cruciforme LC con carico di flessione

Tabella 4.14 Valori del NSIF mode I ottenuti per il giunto cruciforme LC caricato a flessione tramite il PSM in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] <i>metodo preciso</i>	$K_{I,PSM}^V$ [MPa*mm ^{0.326}]	Differenza percentuale tra K_I^V e $K_{I,PSM}^V$
6	6	6	0,5	206000	0,3	1,62	1,64	1,71
12	12	8	1	64000	0,34	2,13	2,17	1,75
12	12	6,4	1	64000	0,34	2,25	2,26	0,55

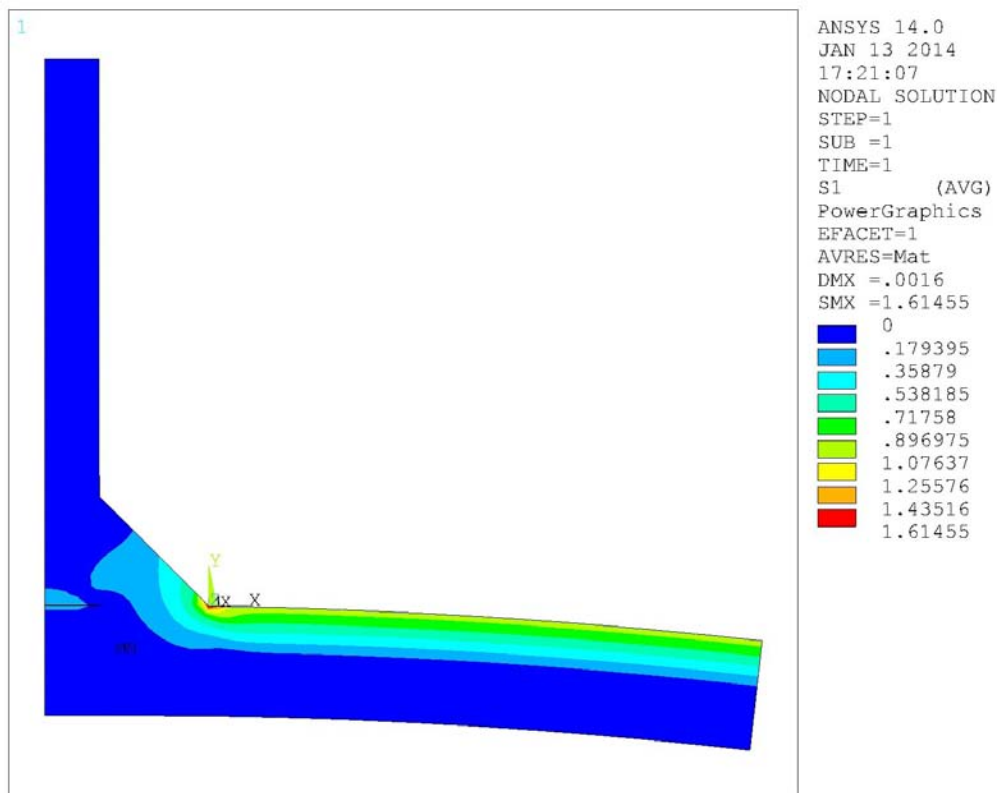


Figura : La prima tensione principale nel giunto a T NLC con carico di flessione

Tabella 4.15 Valori del NSIF mode I ottenuti per il giunto a T NLC caricato a flessione tramite il PSM in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso	$K_{I,PSM}^V$ [MPa*mm ^{0.326}]	Differenza percentuale tra K_I^V e $K_{I,PSM}^V$
6	6	6	1	206000	0,3	1,88	1,90	1,08
12	10	8	1	64000	0,34	2,38	2,41	1,02
12	12	8	1	64000	0,34	2,40	2,41	0,41

Per gli stessi giunti cruciformi NLC e LC e a T NLC caricati però a trazione i risultati ottenuti sono:

Tabella 4.16 Valori del NSIF mode I ottenuti per il giunto cruciforme NLC caricato a trazione tramite PSM in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso	$K_{I,PSM}^V$ [MPa*mm ^{0.326}]	Differenza percentuale tra K_I^V e $K_{I,PSM}^V$
13	10	8	1	206000	0,3	2,66	2,60	-2,29
50	50	16	1	206000	0,3	3,98	3,85	-3,31
100	50	16	1	206000	0,3	4,15	3,99	-3,79
13	3	5	1	206000	0,3	2,30	2,29	-0,12
25	3	5	1	206000	0,3	2,31	2,30	-0,44
25	32	9	1	206000	0,3	3,31	3,15	-4,85
25	220	15	1	206000	0,3	4,15	4,01	-3,32
38	13	8	1	206000	0,3	2,97	2,91	-2,01
38	220	15	1	206000	0,3	4,84	4,69	-3,21
100	3	5	1	206000	0,3	2,29	2,31	0,78
100	220	15	1	206000	0,3	6,03	5,89	-2,29
50	3	5	1	206000	0,3	2,29	2,29	-0,07
100	13	8	1	206000	0,3	2,96	2,89	-2,20
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	2,00	2,00	-0,18
19	19	7,1	1	206000	0,3	2,94	2,84	-3,19
25	25	9,4	1	206000	0,3	3,21	3,17	-1,23
11	11	4,1	1	206000	0,3	2,45	2,45	-0,16
6	6	6	1	206000	0,3	2,16	2,07	-4,46
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,75	1,69	-3,07
6	6	7	1	64000	0,34	2,17	2,07	-4,67
12	12	10	1	64000	0,34	2,69	2,62	-2,27
24	24	20,5	1	64000	0,34	3,37	3,27	-2,93
24	6	7	1	64000	0,34	2,65	2,60	-1,98
12	6	7	1	64000	0,34	2,52	2,50	-0,48

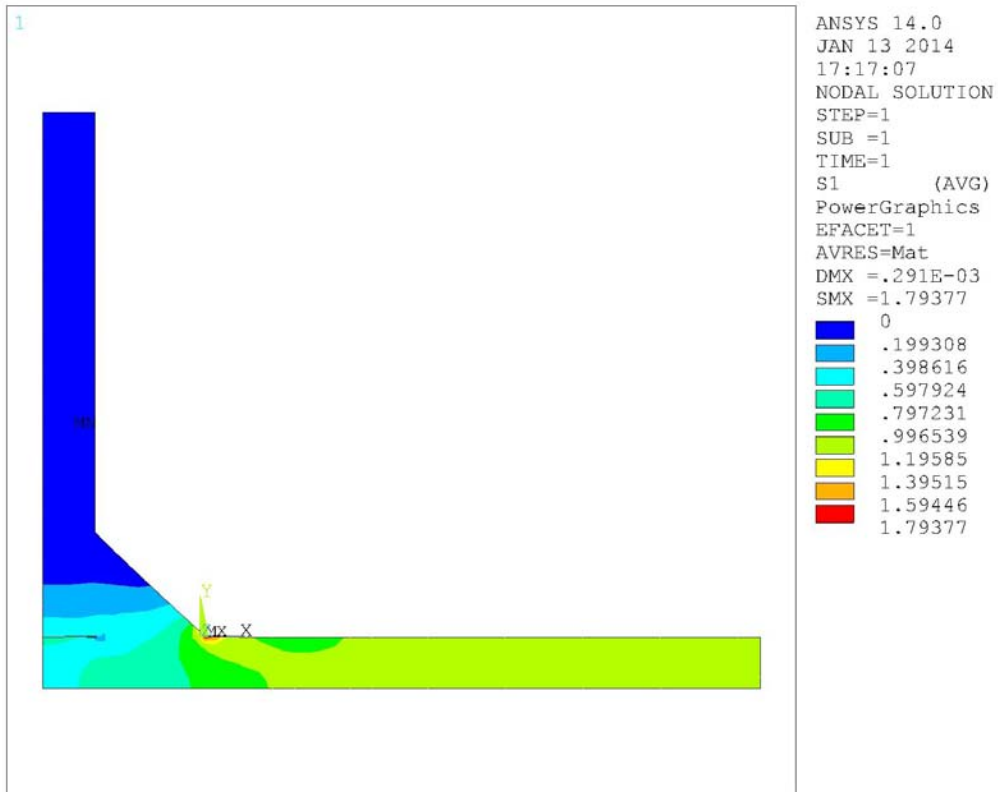


Figura 4.17: La prima tensione principale nel giunto a cruciforme NLC con carico di trazione

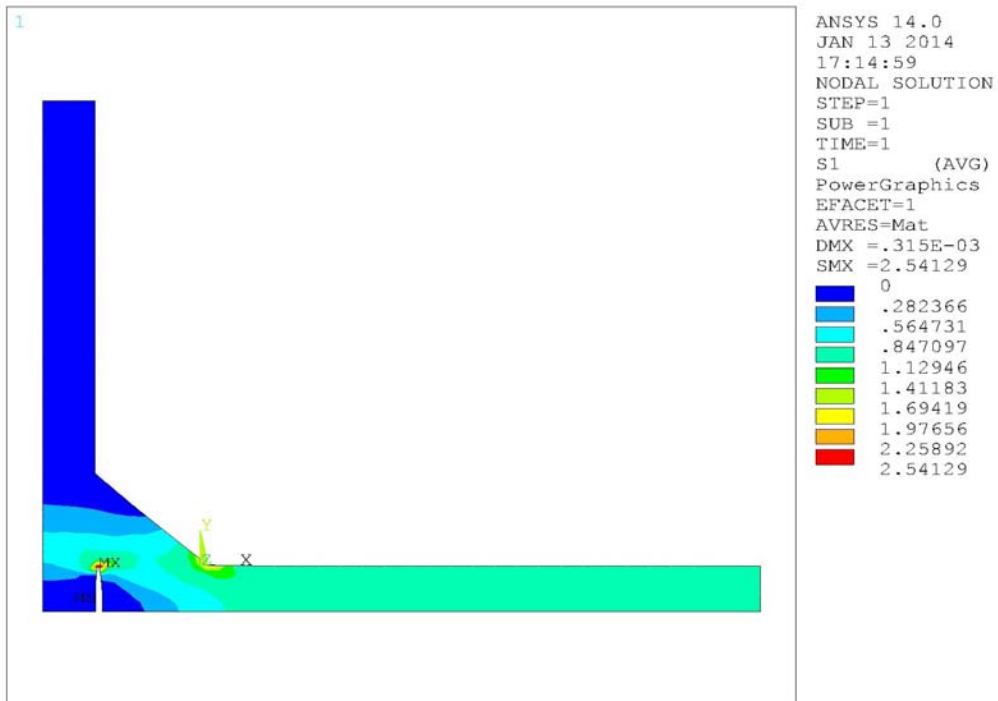


Figura 4.18: La prima tensione principale nel giunto a cruciforme LC con carico di trazione

Tabella 4.17 Valori del NSIF mode I ottenuti per il giunto cruciforme LC caricato a trazione tramite PSM in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso	$K_{I,PSM}^V$ [MPa*mm ^{0.326}]	Differenza percentuale tra K_I^V e $K_{I,PSM}^V$
6	6	6	0,5	206000	0,3	2,61	2,59	-1,05
12	12	8	1	64000	0,34	4,11	4,10	-0,34
12	12	6,4	1	64000	0,34	4,80	4,71	-1,81

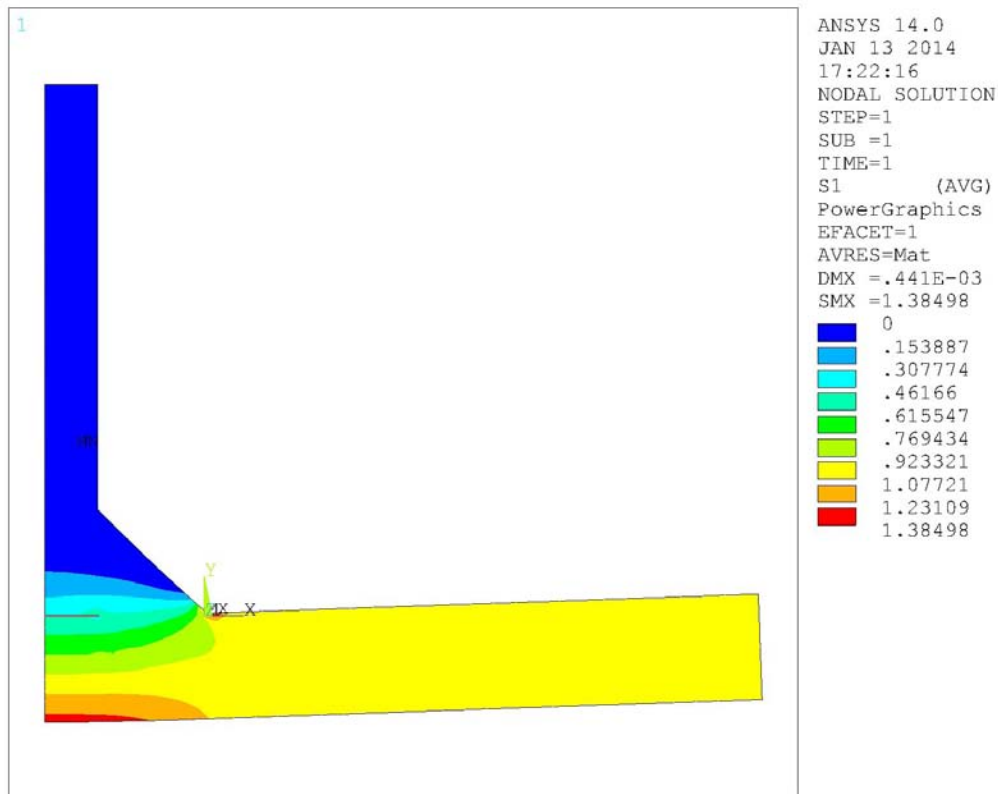


Figura 4.19: La prima tensione principale nel giunto a T NLC con carico di trazione

Tabella 4.18 Valori del NSIF mode I ottenuti per il giunto a T NLC caricato a trazione tramite PSM in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso	$K_{I,PSM}^V$ [MPa*mm ^{0.326}]	Differenza percentuale tra K_I^V e $K_{I,PSM}^V$
6	6	6	1	206000	0,3	1,66	1,63	-1,56
12	10	8	1	64000	0,34	2,08	2,07	-0,70
12	12	8	1	64000	0,34	2,08	2,06	-1,18

Si può osservare che nel caso si imponga la tensione piana l'errore massimo assoluto ottenuto è minore rispetto a quello ottenuto nel caso di deformazione piana, infatti mentre nel primo caso esso si attesta al massimo al 4.85% nel secondo caso arriva al 5.65% . L'errore che si commette resta dunque sufficientemente ridotto nel caso di applicazioni ingegneristiche e il PSM per il Plane 182 e Plane 42 è adatto alla applicazioni industriali

4.2.3 I risultati in condizioni di tensione piana per i plane 82 e plane 183

Per eseguire simulazioni di modelli bidimensionali in Ansys sono implementati anche gli elementi i Plane 183 e Plane 82 che a differenza di quel che accade per il plane 182 e il plane 42 non è necessario settare nessuna opzione aggiuntiva per rendere equivalenti i due elementi nel loro utilizzo nel PSM. Si sono quindi simulate le stesse geometrie e condizioni di vincolo del paragrafo 4.2.1 (Plane 182 e Plane 42) sia per stati di tensione che di deformazione piane. La tensione di picco individuata tramite la mesh del PSM è stata poi confrontata il valore del NSIF mode I individuato con la mesh del metodo preciso, in modo da individuare il valore del coefficiente del K_{FE}^* . Come primo caso si riportano i valori riferiti ai giunti cruciforme NLC sottoposto a flessione.

Tabella 4.19 Valori del coefficiente K_{FE}^* ottenuti per il giunto cruciforme NLC caricato a flessione in condizioni di tensione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}] metodo preciso mesh bimensionale	K_{FE}^*
13	10	8	1	206000	0,3	1,98	2,09	1,06
50	50	16	1	206000	0,3	3,06	3,33	1,09
100	50	16	1	206000	0,3	3,52	3,87	1,10
13	3	5	1	206000	0,3	1,91	2,02	1,05
25	3	5	1	206000	0,3	2,12	2,23	1,05
25	32	9	1	206000	0,3	2,44	2,68	1,10
25	220	15	1	206000	0,3	2,49	2,73	1,09
38	13	8	1	206000	0,3	2,56	2,77	1,08
38	220	15	1	206000	0,3	3,04	3,31	1,09
100	3	5	1	206000	0,3	2,27	2,31	1,02
100	220	15	1	206000	0,3	4,49	4,89	1,09
50	3	5	1	206000	0,3	2,22	2,30	1,04
100	13	8	1	206000	0,3	2,78	2,96	1,07
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	2,00	1,64	1,03
19	19	7,1	1	206000	0,3	2,22	2,42	1,09
25	25	9,4	1	206000	0,3	2,50	2,65	1,06
11	11	4,1	1	206000	0,3	1,98	2,01	1,02
6	6	6	1	206000	0,3	1,51	1,61	1,06
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,48	1,26	1,07
6	6	7	1	64000	0,34	1,50	1,60	1,07
12	12	10	1	64000	0,34	1,89	2,04	1,08
24	24	20,5	1	64000	0,34	2,36	2,56	1,09
24	6	7	1	64000	0,34	2,23	2,41	1,08
12	6	7	1	64000	0,34	1,94	2,03	1,04

Si riportano anche i valori ottenuti nel caso di giunto cruciforme LC caricato a flessione:

Tabella 4.20 Valori del coefficiente K_{FE}^* ottenuti per il giunto cruciforme LC caricato a flessione in condizioni di tensione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	0,5	206000	0,3	1,98	1,62	1,02
12	12	8	1	64000	0,34	2,04	2,13	1,04
12	12	6,4	1	64000	0,34	2,11	2,25	1,06

Infine i valori ottenuti nel caso di giunto a T NLC caricato a flessione:

Tabella 4.21 Valori del coefficiente K_{FE}^* ottenuti per il giunto a T NLC caricato a flessione in condizioni di tensione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	1	206000	0,3	1,75	1,88	1,07
12	10	8	1	64000	0,34	2,26	2,38	1,05
12	12	8	1	64000	0,34	2,25	2,40	1,07

Gli stessi giunti sono poi stati caricati a trazione, ovviamente con le opportune condizioni al contorno come riportato nel capitolo 2.

Tabella 4.22 Valori del coefficiente K_{FE}^* ottenuti per il giunto cruciforme NLC caricato a trazione in condizioni di tensione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
13	10	8	1	206000	0,3	2,50	2,66	1,06
50	50	16	1	206000	0,3	3,64	3,98	1,09
100	50	16	1	206000	0,3	3,78	4,15	1,10
13	3	5	1	206000	0,3	2,17	2,30	1,06
25	3	5	1	206000	0,3	2,18	2,31	1,06
25	32	9	1	206000	0,3	2,99	3,31	1,10
25	220	15	1	206000	0,3	3,79	4,15	1,09
38	13	8	1	206000	0,3	2,74	2,97	1,08
38	220	15	1	206000	0,3	4,45	4,84	1,09
100	3	5	1	206000	0,3	2,25	2,29	1,02
100	220	15	1	206000	0,3	5,53	6,03	1,09
50	3	5	1	206000	0,3	2,21	2,29	1,04
100	13	8	1	206000	0,3	2,77	2,96	1,07
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	2,41	2,00	1,04
19	19	7,1	1	206000	0,3	2,69	2,94	1,09
25	25	9,4	1	206000	0,3	3,04	3,21	1,06
11	11	4,1	1	206000	0,3	2,40	2,45	1,02
6	6	6	1	206000	0,3	2,01	2,16	1,07
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,98	1,75	1,10
6	6	7	1	64000	0,34	2,01	2,17	1,08
12	12	10	1	64000	0,34	2,48	2,69	1,08
24	24	20,5	1	64000	0,34	3,10	3,37	1,09
24	6	7	1	64000	0,34	2,44	2,65	1,09
12	6	7	1	64000	0,34	2,40	2,52	1,05

Tabella 4.23 Valori del coefficiente K_{FE}^* ottenuti per il giunto cruciforme LC caricato a trazione in condizioni di tensione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	0,5	206000	0,3	3,17	2,61	1,03
12	12	8	1	64000	0,34	3,93	4,11	1,05
12	12	6,4	1	64000	0,34	4,49	4,80	1,07

Tabella 4.24 Valori del coefficiente K_{FE}^* ottenuti per il giunto a T NLC caricato a trazione in condizioni di tensione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	1	206000	0,3	1,52	1,66	1,09
12	10	8	1	64000	0,34	1,96	2,08	1,06
12	12	8	1	64000	0,34	1,93	2,08	1,08

Per questi valori del K_{FE}^* riferiti a giunto cruciformi NLC ed LC a giunto a T NLC in condizione di tensione piana e a si è individuato il valore medio e la deviazione standard.

$$K_{FE, medio}^* = 1.067 \quad 2\sigma = 0.049$$

Per i Plane 183 e Plane 82 in condizione di tensione piana

Tali valori riportano quindi un incertezza di +/- 5% con una confidenza del 95%.

4.2.4 I risultati in condizioni di deformazione piana per i plane 82 e plane 183

Ora anziché imporre una condizione di tensione piana come nel paragrafo 4.2.3 , si impone la condizione di deformazione piana agli elementi Plane 183 e Plane 82 per il resto le geometrie i carichi e le condizioni al contorno sono le medesime.

Tabella 4.25 Valori del coefficiente K_{FE}^* ottenuti per il giunto cruciforme NLC caricato a flessione in condizioni di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
13	10	8	1	206000	0,3	1,98	2,09	1,06
50	50	16	1	206000	0,3	3,05	3,33	1,09
100	50	16	1	206000	0,3	3,52	3,87	1,10
13	3	5	1	206000	0,3	1,91	2,02	1,06
25	3	5	1	206000	0,3	2,11	2,23	1,06
25	32	9	1	206000	0,3	2,43	2,68	1,10
25	220	15	1	206000	0,3	2,49	2,73	1,09
38	13	8	1	206000	0,3	2,55	2,77	1,08
38	220	15	1	206000	0,3	3,04	3,31	1,09
100	3	5	1	206000	0,3	2,27	2,31	1,02
100	220	15	1	206000	0,3	4,48	4,89	1,09
50	3	5	1	206000	0,3	2,22	2,30	1,04
100	13	8	1	206000	0,3	2,78	2,96	1,07
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	2,00	1,64	1,03
19	19	7,1	1	206000	0,3	2,22	2,42	1,09
25	25	9,4	1	206000	0,3	2,50	2,65	1,06
11	11	4,1	1	206000	0,3	1,98	2,01	1,02
6	6	6	1	206000	0,3	1,51	1,61	1,06
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,47	1,26	1,07
6	6	7	1	64000	0,34	1,50	1,60	1,07
12	12	10	1	64000	0,34	1,89	2,04	1,08
24	24	20,5	1	64000	0,34	2,35	2,56	1,09
24	6	7	1	64000	0,34	2,22	2,41	1,09
12	6	7	1	64000	0,34	1,94	2,03	1,05

Tabella 4.26 Valori del coefficiente K_{FE}^* ottenuti per il giunto cruciforme LC caricato a flessione in condizioni di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	0,5	206000	0,3	1,98	1,62	1,02
12	12	8	1	64000	0,34	2,04	2,13	1,04
12	12	6,4	1	64000	0,34	2,11	2,25	1,07

Tabella 4.27 Valori del coefficiente K_{FE}^* ottenuti per il giunto cruciforme NLC caricato a trazione in condizioni di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
13	10	8	1	206000	0,3	2,50	2,66	1,06
50	50	16	1	206000	0,3	3,64	3,98	1,09
100	50	16	1	206000	0,3	3,78	4,15	1,10
13	3	5	1	206000	0,3	2,17	2,30	1,06
25	3	5	1	206000	0,3	2,18	2,31	1,06
25	32	9	1	206000	0,3	2,99	3,31	1,11
25	220	15	1	206000	0,3	3,79	4,15	1,10
38	13	8	1	206000	0,3	2,74	2,97	1,09
38	220	15	1	206000	0,3	4,45	4,84	1,09
100	3	5	1	206000	0,3	2,25	2,29	1,02
100	220	15	1	206000	0,3	5,53	6,03	1,09
50	3	5	1	206000	0,3	2,21	2,29	1,04
100	13	8	1	206000	0,3	2,77	2,96	1,07
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	2,41	2,00	1,04
19	19	7,1	1	206000	0,3	2,69	2,94	1,09
25	25	9,4	1	206000	0,3	3,03	3,21	1,06
11	11	4,1	1	206000	0,3	2,40	2,45	1,02
6	6	6	1	206000	0,3	2,01	2,16	1,07
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,98	1,75	1,10
6	6	7	1	64000	0,34	2,01	2,17	1,08
12	12	10	1	64000	0,34	2,48	2,69	1,09
24	24	20,5	1	64000	0,34	3,09	3,37	1,09
24	6	7	1	64000	0,34	2,43	2,65	1,09
12	6	7	1	64000	0,34	2,40	2,52	1,05

Tabella 4.28 Valori del coefficiente K_{FE}^* ottenuti per il giunto a T NLC caricato a flessione in condizioni di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	1	206000	0,3	1,75	1,88	1,07
12	10	8	1	64000	0,34	2,26	2,38	1,06
12	12	8	1	64000	0,34	2,24	2,40	1,07

Tabella 4.29 Valori del coefficiente K_{FE}^* ottenuti per il giunto cruciforme LC caricato a trazione in condizioni di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	0,5	206000	0,3	3,17	2,61	1,03
12	12	8	1	64000	0,34	3,93	4,11	1,05
12	12	6,4	1	64000	0,34	4,49	4,80	1,07

Tabella 4.30 Valori del coefficiente K_{FE}^* ottenuti per il giunto a T NLC caricato a trazione in condizioni di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	1	206000	0,3	1,52	1,66	1,09
12	10	8	1	64000	0,34	1,95	2,08	1,06
12	12	8	1	64000	0,34	1,93	2,08	1,08

Per questi valori del K_{FE}^* riferiti a giunto cruciformi NLC ed LC a giunto a T NLC in condizione di deformazione piana si è individuato il valore medio e la deviazione standard.

$K_{FE, medio}^* = 1.068$	$2\sigma = 0.049$
Per i Plane 183 e Plane 82 in condizione di deformazione piana	

Che sono valori pressoché identici a quelli individuati nel caso di tensione piana.

4.3 NSIF valutato tramite il PSM in simulazioni di giunti tridimensionali

Al fine di riportarsi in una condizione di stato piano per cui è valida la formulazione degli NSIF si è imposto una condizione di deformazione piana imponendo un'ulteriore vincolo di simmetria come riportato nel paragrafo 2.1 . Poiché ci si è riportati a uno stato di deformazione piana (e in ugual modo se fosse di tensione piana), non risulta necessario avere una profondità del pezzo elevata in quanto è nullo il gradiente di tensione e deformazione lungo la terza dimensione. In tal modo si riduce la pesantezza delle simulazioni che nei casi tridimensionali sono molto impegnative. Nello specifico nel caso degli elementi: Solid 185, Solid 186, Solid 45, Solid 95 si è imposto una profondità del pezzo pari a 5 elementi (anche se in realtà sarebbe bastato averne solo 1) mentre per i solid 187, solid 92 e solid 285 a causa di problemi legati alla forma degli elementi (tetredrica) si è imposto una lunghezza pari a 15 elementi.

4.3.1 Risultati simulazione per elementi solid 45 e solid 185 sotto la condizione di deformazione piana e individuazione del coefficiente del PSM

Qui le geometrie dei giunti trattati nei paragrafi precedenti, sono state simulate in modelli tridimensionali utilizzando gli elementi Solid 185 e Solid 45 che sono identici previa il settaggio opportuno delle keyoptions dell'elemento Solid 185 come riportato in tabella 1.3 a pagina 15. Al fine di individuare il coefficiente K_{FE}^* della formula del PSM, ci si è posti in una condizione di deformazione piana vincolando il giunto come riportato nel paragrafo 2.5 , e confrontato il valore della tensione di picco, che risulta costante lungo tutto il piede del cordone di saldatura, con il NSIF mode I trovato in simulazioni bidimensionali mediante il metodo preciso della mesh fitta, si è valutato il valore di K_{FE}^* riscontrato in ogni giunto. Il primi risultati sono riferiti al giunto cruciforme NLC con carico flessione la mesh è il modello è quello riportato in figura 4.20, si ribadisce ancora che entrambe le superfici laterali sono state vincolate per creare uno stato di deformazione piano.

Tabella 4.31 Coefficienti K_{FE}^* per giunti cruciformi NLC sottoposti a flessione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] <i>metodo preciso</i> <i>mesh dimensionale</i>	K_{FE}^*
13	10	8	1	206000	0,3	1,52	2,09	1,38
50	50	16	1	206000	0,3	2,34	3,33	1,43
100	50	16	1	206000	0,3	2,70	3,87	1,43
13	3	5	1	206000	0,3	1,48	2,02	1,37
25	3	5	1	206000	0,3	1,62	2,23	1,38
25	32	9	1	206000	0,3	1,87	2,68	1,44
25	220	15	1	206000	0,3	1,96	2,73	1,40
38	13	8	1	206000	0,3	1,97	2,77	1,41
38	220	15	1	206000	0,3	2,38	3,31	1,39
100	3	5	1	206000	0,3	1,68	2,31	1,37
100	220	15	1	206000	0,3	3,46	4,89	1,41
50	3	5	1	206000	0,3	1,67	2,30	1,38
100	13	8	1	206000	0,3	2,11	2,96	1,40
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	1,51	1,64	1,36
19	19	7,1	1	206000	0,3	1,73	2,42	1,40
25	25	9,4	1	206000	0,3	1,91	2,65	1,39
11	11	4,1	1	206000	0,3	1,48	2,01	1,36
6	6	6	1	206000	0,3	1,14	1,61	1,40
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,18	1,26	1,34
6	6	7	1	64000	0,34	1,13	1,60	1,42
12	12	10	1	64000	0,34	1,46	2,04	1,39
24	24	20,5	1	64000	0,34	1,80	2,56	1,42
24	6	7	1	64000	0,34	1,72	2,41	1,41
12	6	7	1	64000	0,34	1,46	2,03	1,38

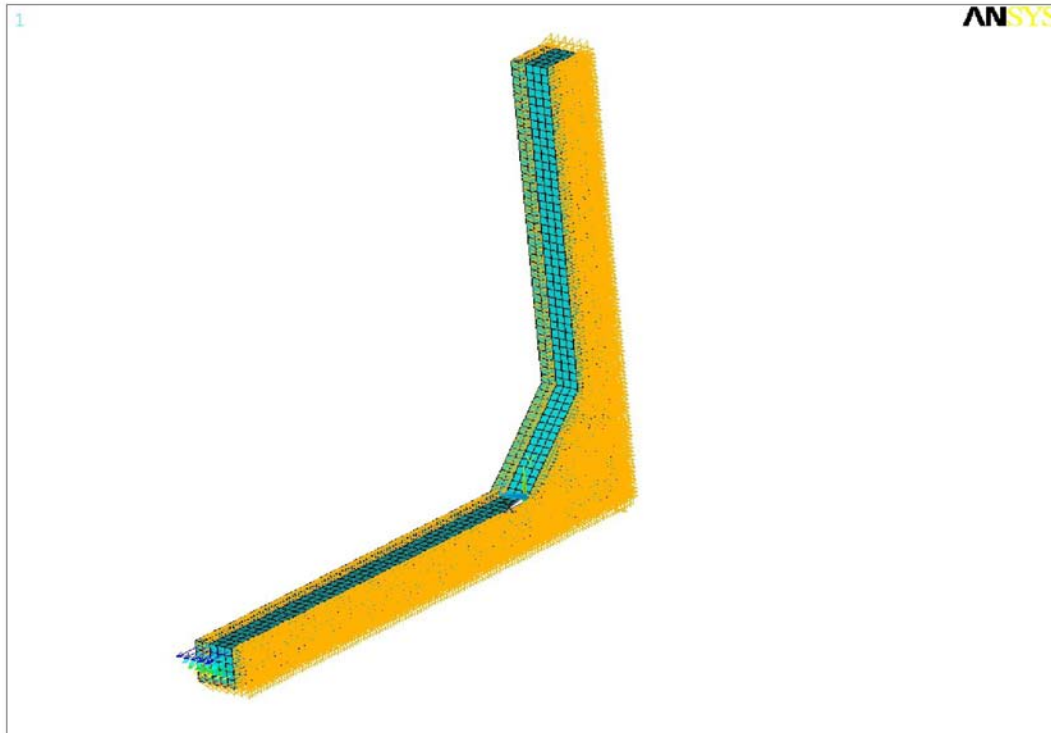


Figura 4.20: Il modello meshato con elementi Solid 185 o Solid 45 vincolato e sollecitato a flessione
Successivamente sono riportati i risultati per i giunti caricati a trazione, si riporta un ulteriore immagine per illustrare in maniera migliore il tipo di mesh usata:

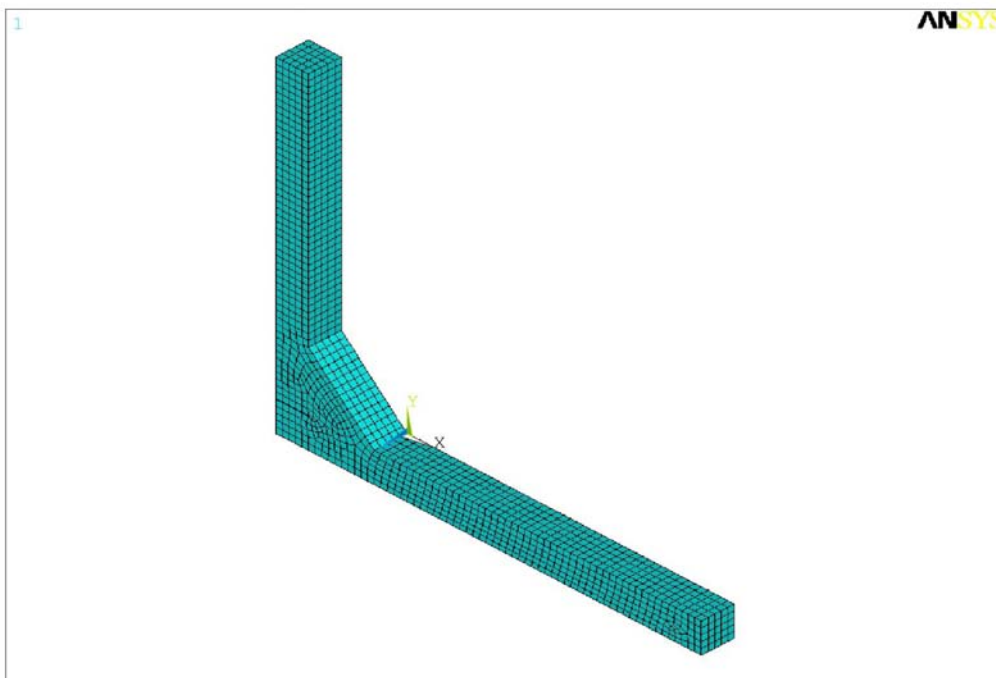


Figura 4.21: La mesh PSM usata per il modello del giunto cruciforme NLC, gli elementi in questione sono i Solid 45 e Solid 185

Tabella 4.32 Coefficienti K_{FE}^* per giunti cruciformi NLC sottoposti a trazione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh bidimensionale	K_{FE}^*
13	10	8	1	206000	0,3	1,90	2,66	1,40
50	50	16	1	206000	0,3	2,78	3,98	1,43
100	50	16	1	206000	0,3	2,89	4,15	1,43
13	3	5	1	206000	0,3	1,67	2,30	1,38
25	3	5	1	206000	0,3	1,67	2,31	1,38
25	32	9	1	206000	0,3	2,29	3,31	1,44
25	220	15	1	206000	0,3	2,96	4,15	1,40
38	13	8	1	206000	0,3	2,11	2,97	1,41
38	220	15	1	206000	0,3	3,47	4,84	1,40
100	3	5	1	206000	0,3	1,67	2,29	1,37
100	220	15	1	206000	0,3	4,26	6,03	1,41
50	3	5	1	206000	0,3	1,66	2,29	1,38
100	13	8	1	206000	0,3	2,11	2,96	1,41
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	1,81	2,00	1,39
19	19	7,1	1	206000	0,3	2,09	2,94	1,40
25	25	9,4	1	206000	0,3	2,30	3,21	1,40
11	11	4,1	1	206000	0,3	1,77	2,45	1,38
6	6	6	1	206000	0,3	1,50	2,16	1,44
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,60	1,75	1,37
6	6	7	1	64000	0,34	1,50	2,17	1,45
12	12	10	1	64000	0,34	1,90	2,69	1,41
24	24	20,5	1	64000	0,34	2,36	3,37	1,43
24	6	7	1	64000	0,34	1,88	2,65	1,41
12	6	7	1	64000	0,34	1,79	2,52	1,41

A seguire invece sono riportati i casi riferiti al giunto cruciforme LC, dove la mesh e geometria e illustrata nella figura seguente:

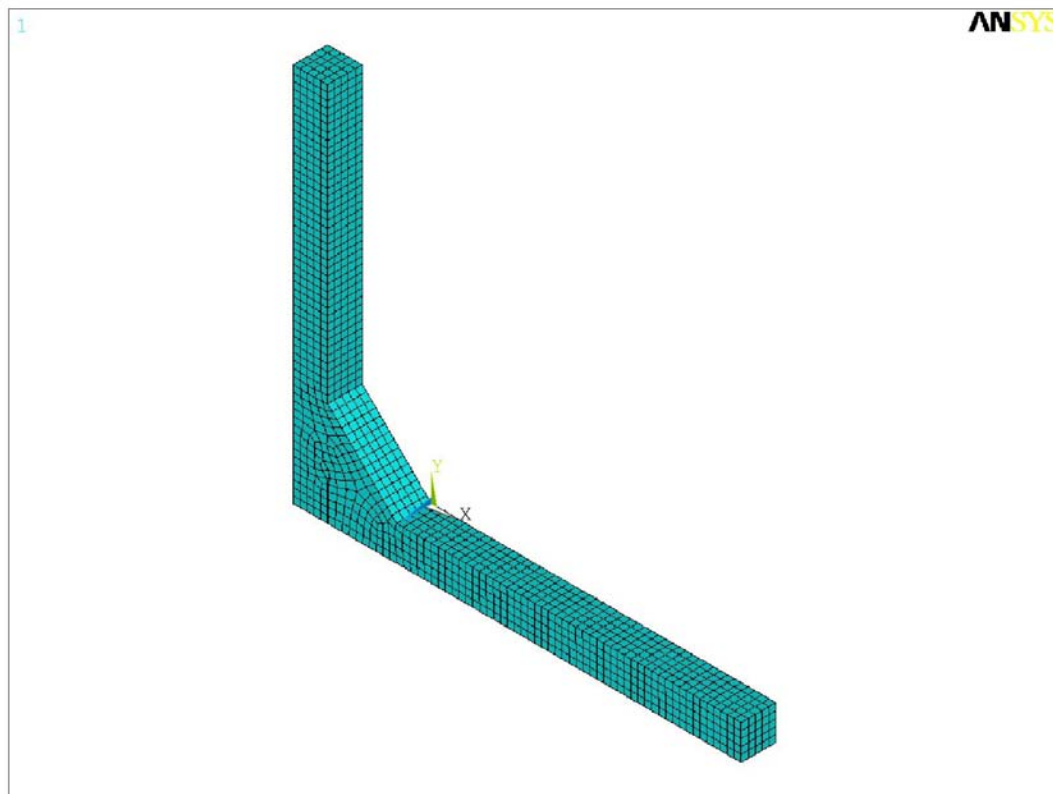


Figura 4.22: La mesh PSM usata per il modello del giunto cruciforme LC, gli elementi in questione sono i Solid 45 e Solid 185

Tabella 4.33 Coefficienti K_{FE}^* per giunti cruciformi LC sottoposti a flessione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	0,5	206000	0,3	1,49	1,62	1,36
12	12	8	1	64000	0,34	1,56	2,13	1,37
12	12	6,4	1	64000	0,34	1,64	2,25	1,37

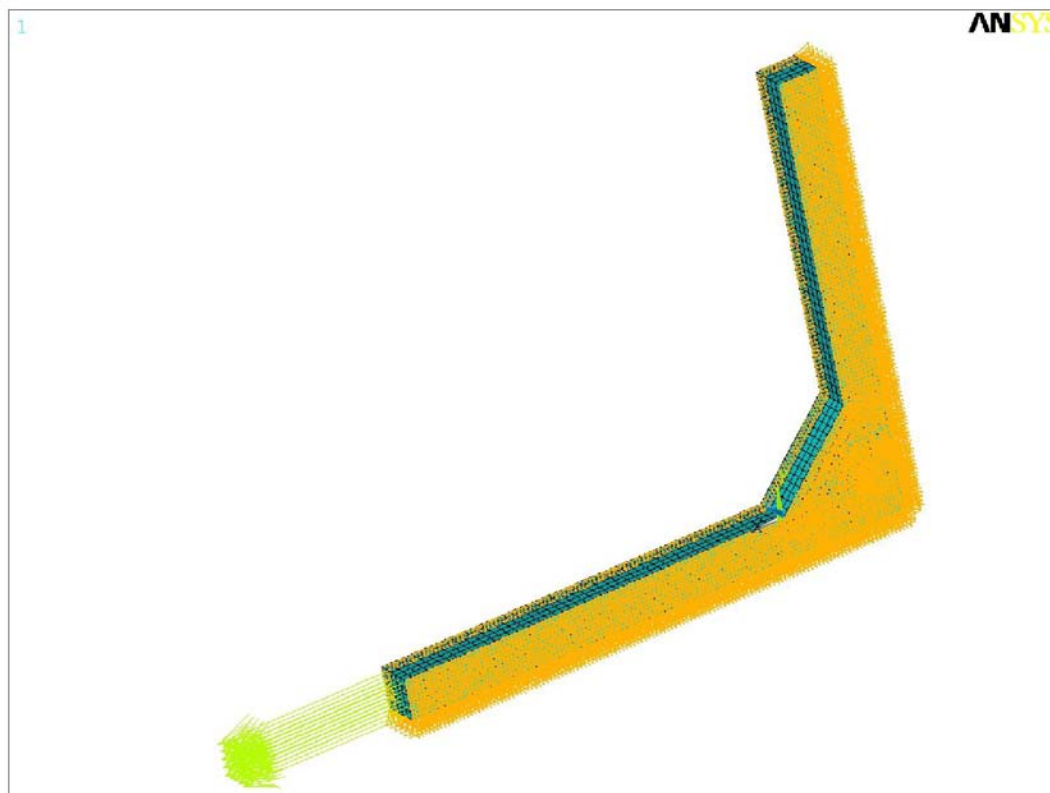


Figura 4.23:

Tabella 4.34 Coefficienti K_{FE}^* per giunti cruciformi LC sottoposti a trazione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	0,5	206000	0,3	2,35	2,61	1,40
12	12	8	1	64000	0,34	2,93	4,11	1,40
12	12	6,4	1	64000	0,34	3,41	4,80	1,41

Ultimi risultati riportati sono quelli dei giunti a T NLC, la geometria e la mesh sono riportate in figura 4.24, si ricorda che la profondità ridotta del pezzo è stata adottata in seguito al fatto che si sta trattando uno stato piano, nello specifico di deformazione piana, indotta vincolando opportunamente il pezzo, e che quindi le tensioni principali sono costanti lungo tutto il cordone di saldatura e non sono influenzate dalla sua misura.

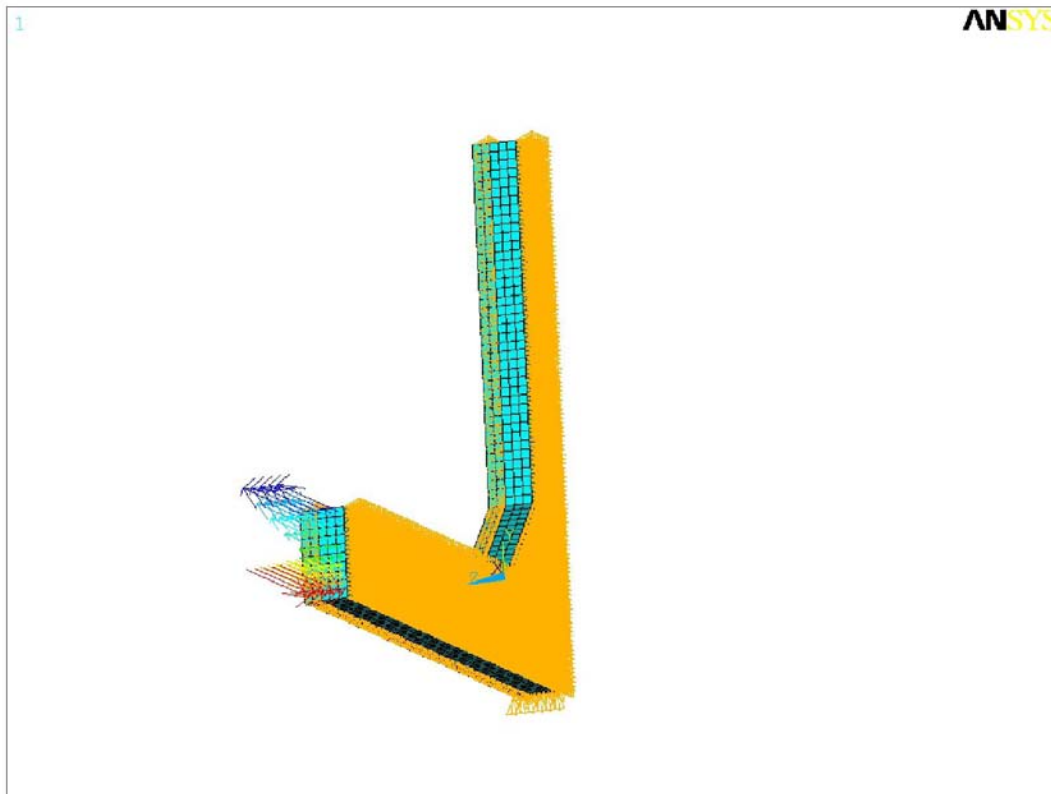


Figura 4.24: Carichi e condizioni al contorno del giunto a T NLC sottoposto a flessione

Tabella 4.35 Coefficienti K_{FE}^* per giunti a T NLC sottoposti a flessione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	1	206000	0,3	1,39	1,88	1,35
12	10	8	1	64000	0,34	1,74	2,38	1,37
12	12	8	1	64000	0,34	1,71	2,40	1,40

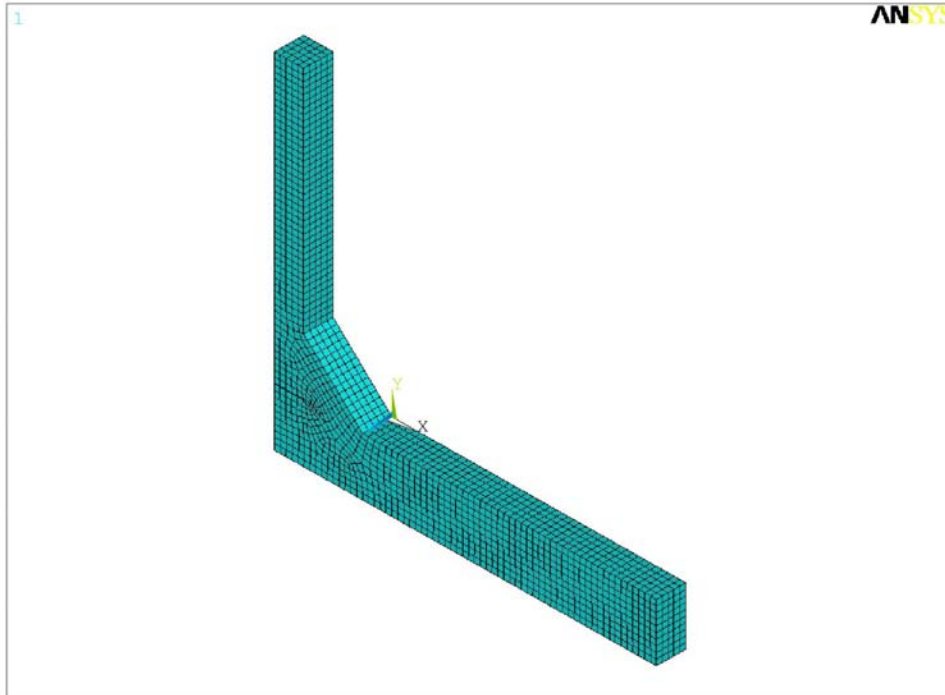


Figura 4.25: La mesh del PSM utilizzata per il giunto a T NLC, gli elementi adottato sono il Solid 45 e il Solid 185

Tabella 4.36 Coefficienti K_{FE}^* per giunti a T NLC sottoposti a trazione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	1	206000	0,3	1,18	1,66	1,40
12	10	8	1	64000	0,34	1,49	2,08	1,39
12	12	8	1	64000	0,34	1,47	2,08	1,42

Per questi valori del K_{FE}^* riferiti a giunto cruciformi NLC ed LC a giunto a T NLC in condizione di deformazione piana si è individuato il valore medio e la deviazione standard.

$$K_{FE, medio}^* = 1.396 \qquad 2\sigma = 0.054$$

Per i Solid 185 e solid 45 in condizione di deformazione piana

Anche qui si ha come nei casi piani si ha un errore contenuto che si attesta al +/- 4% , inoltre si può osservare che il valore di K_{FE}^* medio individuato è molto vicino a quello dei Plane 182 e Plane 42. I 4 elementi hanno infatti oltre una geometria cubica/quadrata anche le stesse funzioni di forma lineari, questo due condizioni sembrano propedeutiche a possedere il medesimo K_{FE}^* .

4.3.2 Risultati simulazione per elementi solid 95 e solid 186 sotto la condizione di deformazione piana e individuazione del coefficiente del PSM

Eseguito le stesse simulazioni del paragrafo 4.3.1 ma utilizzando gli elementi Solid 95 e Solid 186 , dove quest'ultimo necessita di un opportuno settaggio, vedi tabella 1.3 a pagina 15, affinché sia equivalente al primo, sono stati riscontrati i seguenti K_{FE}^* . Come primi casi si riportano i giunto cruciformi NLC con carico di trazione.

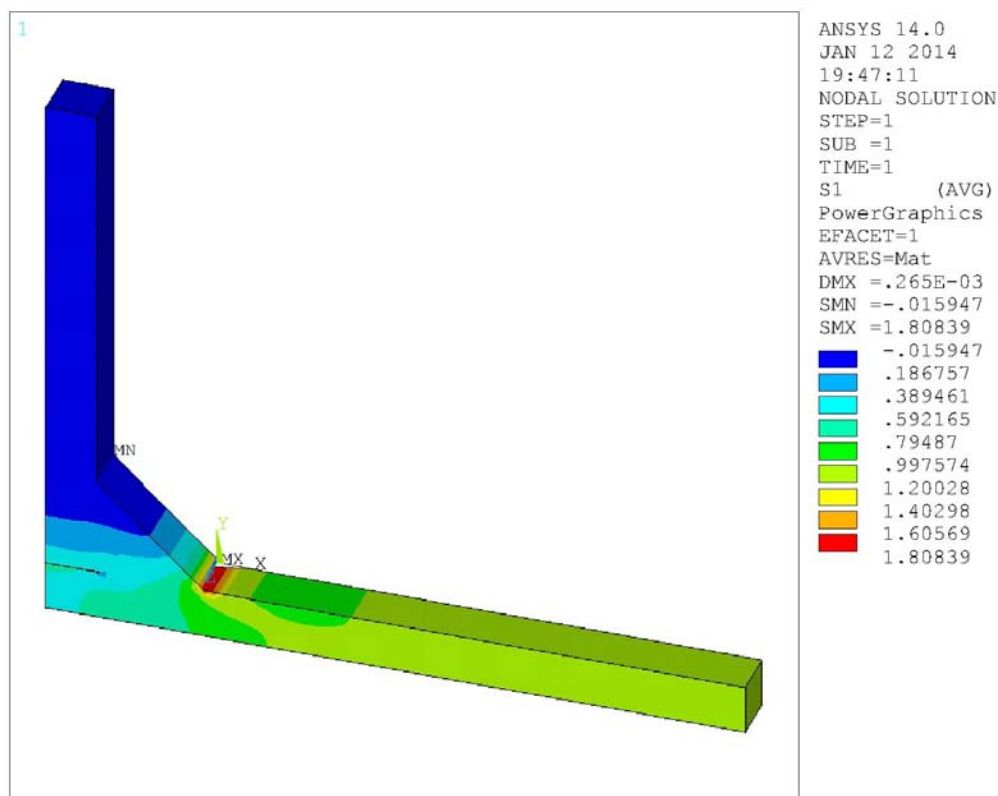


Figura 4.26: Distribuzione della prima tensione principale nel pezzo caricato a trazione

Si può osservare dalla figura la costanza dello stato tensionale lungo l'asse z del pezzo.

Tabella 4.37 Coefficienti K_{FE}^* per giunti cruciformi NLC sottoposti a trazione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] <i>metodo preciso</i> <i>mesh dimensionale</i>	K_{FE}^*
13	10	8	1	206000	0,3	2,59	2,66	1,03
50	50	16	1	206000	0,3	3,73	3,98	1,07
100	50	16	1	206000	0,3	3,90	4,15	1,06
13	3	5	1	206000	0,3	2,28	2,30	1,01
25	3	5	1	206000	0,3	2,22	2,31	1,04
25	32	9	1	206000	0,3	3,09	3,31	1,07
25	220	15	1	206000	0,3	3,98	4,15	1,04
38	13	8	1	206000	0,3	2,83	2,97	1,05
38	220	15	3	206000	0,3	3,35	4,84	1,01
100	3	5	1	206000	0,3	2,24	2,29	1,02
100	220	15	3	206000	0,3	4,05	6,03	1,04
50	3	5	1	206000	0,3	2,23	2,29	1,03
100	13	8	1	206000	0,3	2,85	2,96	1,04
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	2,46	2,00	1,02
19	19	7,1	1	206000	0,3	2,85	2,94	1,03
25	25	9,4	1	206000	0,3	3,12	3,21	1,03
11	11	4,1	1	206000	0,3	2,44	2,45	1,01
6	6	6	1	206000	0,3	2,07	2,16	1,04
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	2,16	1,75	1,01
6	6	7	1	64000	0,34	2,07	2,17	1,05
12	12	10	1	64000	0,34	2,57	2,69	1,05
24	24	20,5	1	64000	0,34	3,20	3,37	1,05
24	6	7	1	64000	0,34	2,51	2,65	1,05
12	6	7	1	64000	0,34	2,41	2,52	1,04

Lo stesso giunto è stato poi caricato con un carico di trazione nominale di 1MPa, il cui stato tensionale riferito alla prima tensione principale è riportato nella figura sottostante:

Tabella 4.38 Coefficienti K_{FE}^* per giunti cruciformi NLC sottoposti a flessione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
13	10	8	1	206000	0,3	2,05	2,09	1,02
50	50	16	1	206000	0,3	3,13	3,33	1,07
100	50	16	1	206000	0,3	3,64	3,87	1,06
13	3	5	1	206000	0,3	2,01	2,02	1,00
25	3	5	1	206000	0,3	2,15	2,23	1,04
25	32	9	1	206000	0,3	2,51	2,68	1,07
25	220	15	1	206000	0,3	2,62	2,73	1,04
38	13	8	1	206000	0,3	2,64	2,77	1,05
38	220	15	3	206000	0,3	2,29	3,31	1,01
100	3	5	1	206000	0,3	2,26	2,31	1,02
100	220	15	3	206000	0,3	3,28	4,89	1,04
50	3	5	1	206000	0,3	2,24	2,30	1,03
100	13	8	1	206000	0,3	2,85	2,96	1,04
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	2,04	1,64	1,01
19	19	7,1	1	206000	0,3	2,35	2,42	1,03
25	25	9,4	1	206000	0,3	2,57	2,65	1,03
11	11	4,1	1	206000	0,3	2,01	2,01	1,00
6	6	6	1	206000	0,3	1,56	1,61	1,03
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,62	1,26	0,98
6	6	7	1	64000	0,34	1,55	1,60	1,03
12	12	10	1	64000	0,34	1,96	2,04	1,04
24	24	20,5	1	64000	0,34	2,43	2,56	1,05
24	6	7	1	64000	0,34	2,30	2,41	1,05
12	6	7	1	64000	0,34	1,95	2,03	1,04

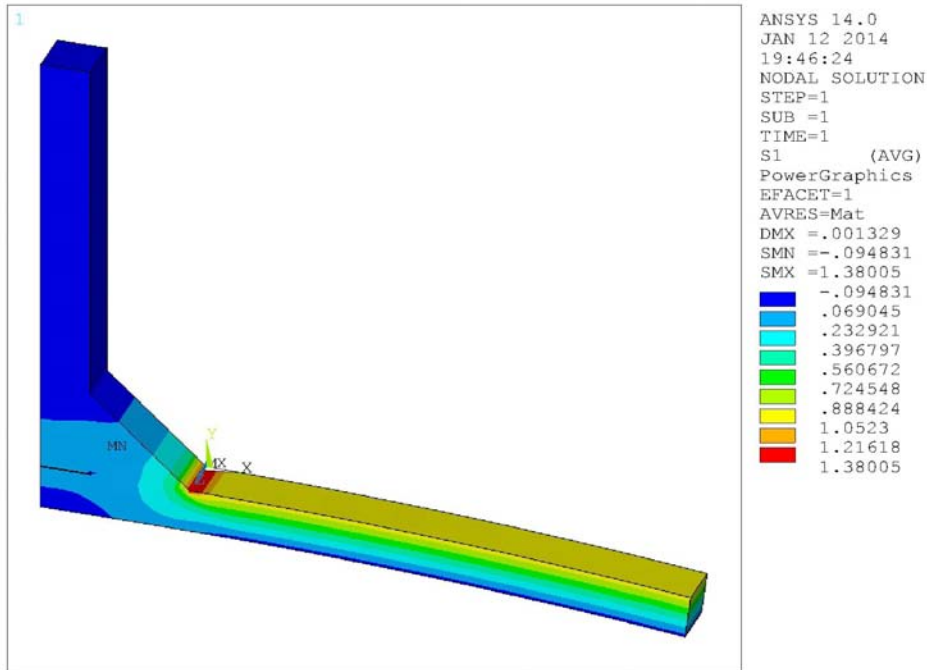


Figura 4.27: Distribuzione della prima tensione principale nel pezzo caricato a flessione

Anche il giunto cruciforme LC meshato con i Solid 186 o il Solid 95 è stato simulato, lo stato di tensione riferito alla prima tensione principale viene illustrato nella figura 4.28 nel caso di flessione e in figura 4.29 nel caso di trazione.

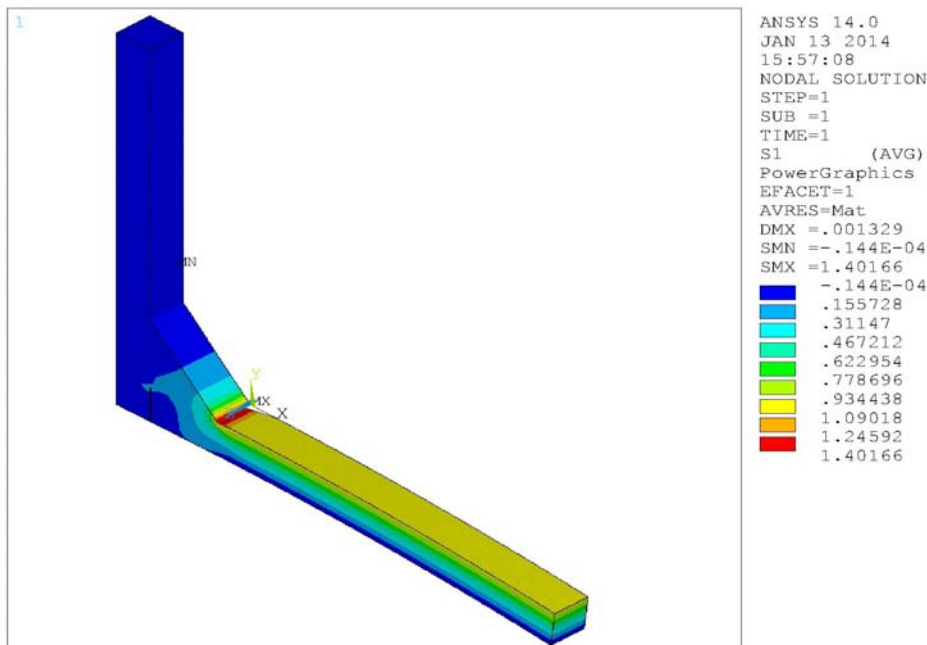


Figura 4.28: Distribuzione della prima tensione principale nel giunto cruciforme LC caricato a flessione

Tabella 4.39 Coefficienti K_{FE}^* per giunti cruciformi LC sottoposti a flessione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	0,5	206000	0,3	2,04	1,62	0,99
12	12	8	1	64000	0,34	2,11	2,13	1,01
12	12	6,4	1	64000	0,34	2,19	2,25	1,03

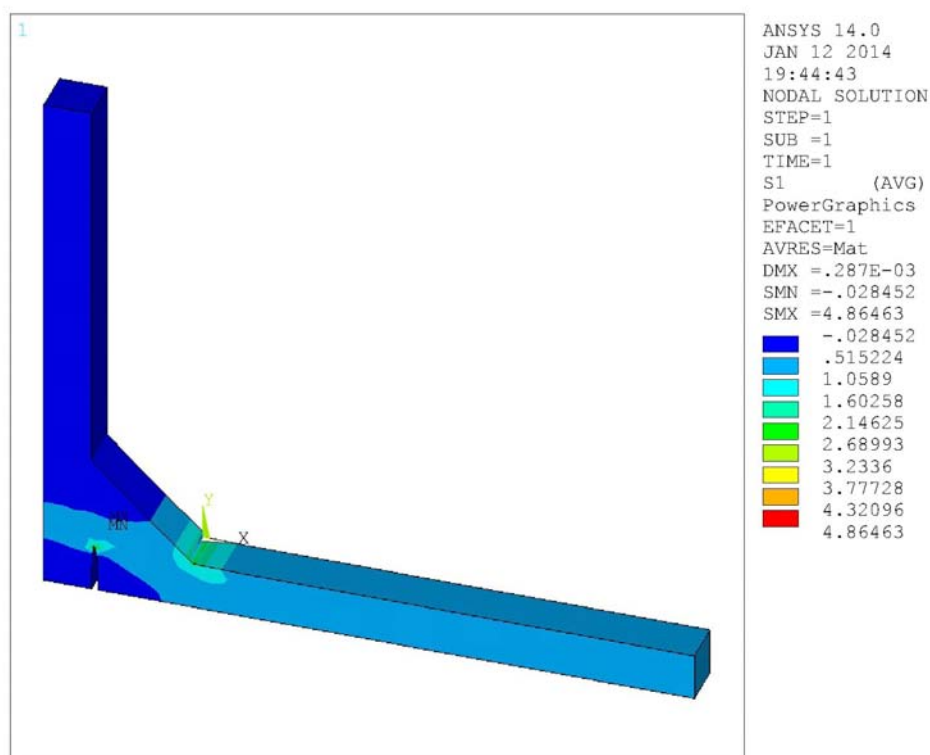


Figura 4.29: Distribuzione della prima tensione principale nel giunto cruciforme LC caricato a trazione

Tabella 4.40 Coefficienti K_{FE}^* per giunti cruciformi LC sottoposti a trazione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	0,5	206000	0,3	3,25	2,61	1,01
12	12	8	1	64000	0,34	4,05	4,11	1,02
12	12	6,4	1	64000	0,34	4,65	4,80	1,03

Infine si riportano i risultati nel caso del giunto a T NLC:

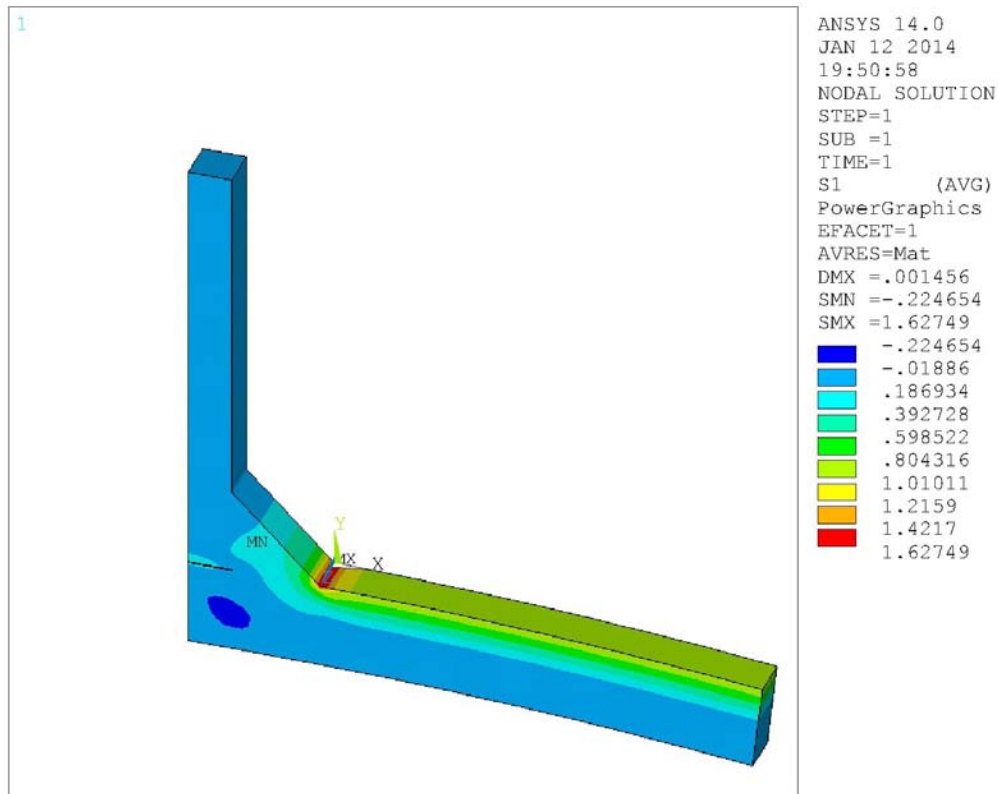


Figura 4.30: Distribuzione della prima tensione principale nel giunto a T NLC caricato a flessione

Tabella 4.41 Coefficienti K_{FE}^* per a T NLC sottoposti a flessione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	1	206000	0,3	1,85	1,88	1,02
12	10	8	1	64000	0,34	2,33	2,38	1,02
12	12	8	1	64000	0,34	2,30	2,40	1,04

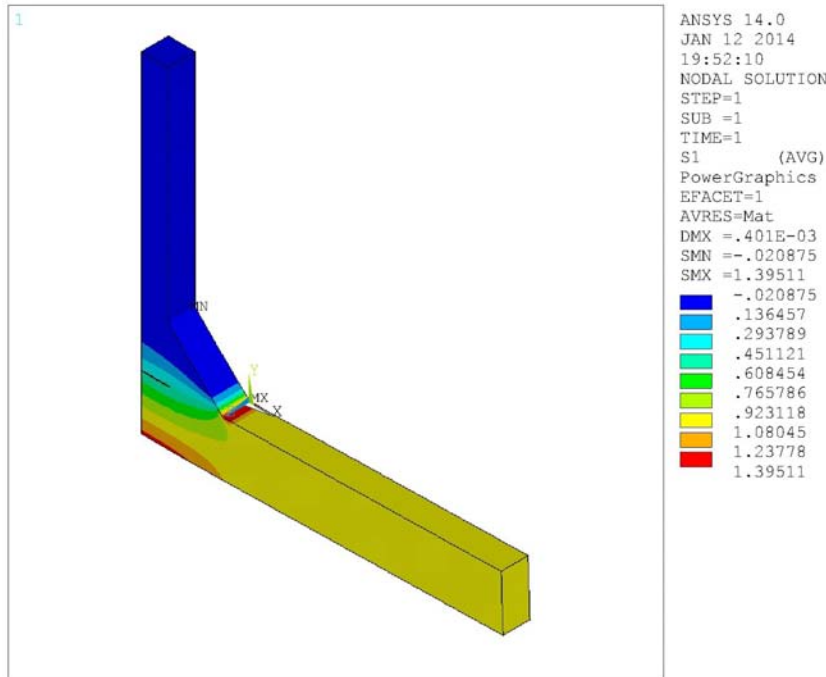


Figura 4.31: Distribuzione della prima tensione principale nel giunto a T NLC caricato a trazione

Tabella 4.42 Coefficienti K_{FE}^* per a T NLC sottoposti a trazione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [MPa]	ν	σ_{peak} [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}] metodo preciso mesh dimensionale	K_{FE}^*
6	6	6	1	206000	0,3	1,59	1,66	1,04
12	10	8	1	64000	0,34	2,01	2,08	1,03
12	12	8	1	64000	0,34	1,98	2,08	1,05

Per questi valori del K_{FE}^* riferiti a giunto cruciformi NLC ed LC a giunto a T NLC in condizione di deformazione piana si è individuato il valore medio e la deviazione standard.

$$K_{FE, medio}^* = 1.032 \qquad 2\sigma = 0.039$$

Per i Solid 186 e Solid 95 in condizione di deformazione piana

l' errore che si commette è quindi all'incirca a +/-4% con una confidenza del 95%. Si sottolinea che il K_{FE}^* è molto prossimo a quello individuato nel caso dei Plane 183 e

Plane 82, si ritiene che sia dovuto al fatto che le geometrie sono cubiche/quadrate e le funzione di forma sono le medesime (quadratiche).

4.3.3 Risultati simulazione per elementi solid 92 e solid 187 sotto la condizione di deformazione piana.

Per questo tipo di elementi il PSM si è dimostrato di difficile applicazione, in particolare sebbene impostata la deformazione piana le tensioni principali non si sono mostrate costanti lungo il piede della saldatura. Ciò è dovuto alla forte variabilità della dimensione degli elementi che non è stato possibile mantenere costante in quanto per realizzare una mesh di tetraedri il meshatore automatico di Ansys ha la necessità di creare elementi piuttosto variabili in dimensioni. Si sono quindi esclusi i valori dei nodi di inizio e fine della linea di intaglio che erano quelli più alterati (vedi figura 4.32) e si sono selezionati solo i nodi giacenti sulla linea che appartenessero ai vertici dei tetraedri trascurando quelli di presenti sui lati in quanto essi risultavano avere tensione nettamente maggiori rispetto ai primi. Nonostante questa scrematura il valori di σ_{peak} ottenuti si è rivelato comunque abbastanza variabile. Nelle tabelle a seguire sono riportati i valori massimi minimi e quello medio (fra il massimo e minimo) riscontrati in ogni simulazione.

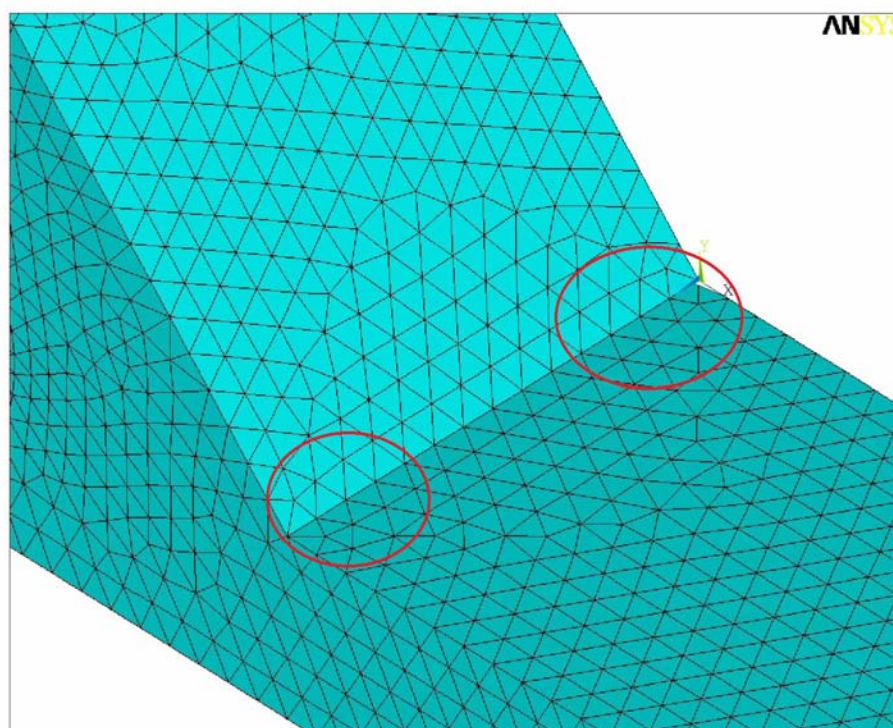


Figura 4.32: La mesh generata usando gli elementi Solid 187 o Solid 92 i nodi non presi in considerazione cerchiati in rosso.

Nonostante gli elementi lungo il resto del piede del cordone di saldatura sembrano di dimensione costante, in realtà all'interno del pezzo essi sono deformati per adattarsi gli uni agli altri e quindi sono di dimensioni variabili. Si è proceduto nel seguente modo: per tutti i giunti trattati si è considerata la tensione principale massima, minima e media lungo la linea del piede del cordone di saldatura, ottenendo dal confronto con il NSIF mode I ricavato tramite il metodo preciso un $K_{FE, minimo}^*$, $K_{FE, massimo}^*$, $K_{FE, medio}^*$. Il primo giunto in analisi è quello cruciforme NLC caricato a trazione e a flessione.

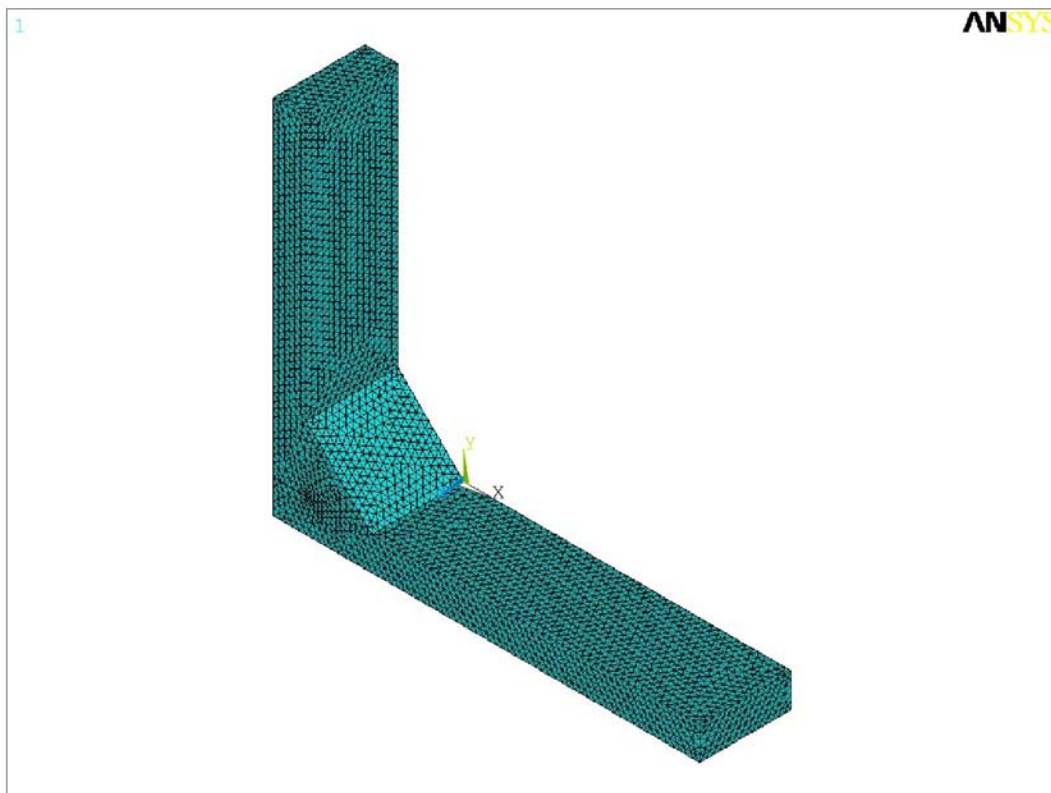


Figura 4.33: La Mesh PSM adottata nel giunto cruciforme NLC, gli elementi in questione sono i Solid 187 e Solid 92

Tabella 4.43 K_{FE}^* per giunto cruciformi NLC con carico di flessione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [Mpa]	ν	σ_{peak} max [MPa]	σ_{peak} min [MPa]	σ_{peak} media [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0.326}]	K_{FE}^* max	K_{FE}^* min	K_{FE}^* medio
13	10	8	1	206000	0,3	1,73	1,60	1,67	2,09	1,21	1,31	1,26
50	50	16	1	206000	0,3	2,88	2,77	2,83	3,33	1,16	1,20	1,18
100	50	16	2	206000	0,3	2,60	2,53	2,57	3,87	1,19	1,22	1,20
13	3	5	1	206000	0,3	1,67	1,57	1,62	2,02	1,20	1,28	1,24
25	3	5	1	206000	0,3	1,80	1,73	1,77	2,23	1,24	1,29	1,26
25	32	9	1	206000	0,3	2,25	2,13	2,19	2,68	1,20	1,26	1,23
25	220	15	3	206000	0,3	1,53	1,42	1,48	2,73	1,24	1,34	1,29
38	13	8	1	206000	0,3	2,40	2,29	2,35	2,77	1,15	1,21	1,18
38	220	15	5	206000	0,3	1,73	1,40	1,56	3,31	1,13	1,40	1,25
100	3	5	1,5	206000	0,3	1,74	1,61	1,67	2,31	1,16	1,26	1,21
100	220	15	9	206000	0,3	1,84	1,76	1,8	4,89	1,30	1,36	1,33
50	3	5	1	206000	0,3	1,90	1,86	1,88	2,30	1,21	1,24	1,22
100	13	8	2	206000	0,3	1,97	1,87	1,92	2,96	1,20	1,27	1,23
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	1,70	1,66	1,68	1,64	1,21	1,23	1,22
19	19	7,1	1	206000	0,3	2,00	1,89	1,94	2,42	1,21	1,28	1,24
25	25	9,4	1	206000	0,3	2,17	2,12	2,14	2,65	1,22	1,25	1,24
11	11	4,1	1	206000	0,3	1,64	1,54	1,59	2,01	1,23	1,30	1,27
6	6	6	1	206000	0,3	1,36	1,23	1,30	1,61	1,18	1,30	1,24
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,39	1,25	1,32	1,26	1,13	1,26	1,20
6	6	7	1	64000	0,34	1,33	1,23	1,28	1,60	1,21	1,30	1,25
12	12	10	1	64000	0,34	1,66	1,56	1,61	2,04	1,23	1,30	1,27
24	24	20,5	1	64000	0,34	2,22	1,97	2,10	2,56	1,15	1,30	1,22
24	6	7	1	64000	0,34	2,12	1,87	2,00	2,41	1,14	1,29	1,21
12	6	7	1	64000	0,34	1,65	1,57	1,61	2,03	1,23	1,29	1,26

Tabella 4.44 K_{FE}^* per giunto cruciformi NLC con carico di trazione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [Mpa]	v	σ_{peak} max [MPa]	σ_{peak} min [MPa]	σ_{peak} media [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}]	K_{FE}^* max	K_{FE}^* min	K_{FE}^* medio
13	10	8	1	206000	0,3	2,19	2,02	2,11	2,66	1,21	1,31	1,26
50	50	16	1	206000	0,3	3,43	3,31	3,37	3,98	1,16	1,20	1,18
100	50	16	2	206000	0,3	2,79	2,72	2,75	4,15	1,19	1,22	1,20
13	3	5	1	206000	0,3	1,90	1,78	1,84	2,30	1,21	1,29	1,25
25	3	5	1	206000	0,3	1,86	1,79	1,82	2,31	1,24	1,29	1,27
25	32	9	1	206000	0,3	2,76	2,62	2,69	3,31	1,20	1,26	1,23
25	220	15	3	206000	0,3	2,32	2,15	2,24	4,15	1,25	1,35	1,29
38	13	8	1	206000	0,3	2,58	2,46	2,52	2,97	1,15	1,21	1,18
38	220	15	5	206000	0,3	2,53	2,05	2,29	4,84	1,13	1,40	1,25
100	3	5	1,5	206000	0,3	1,73	1,59	1,66	2,29	1,16	1,26	1,21
100	220	15	9	206000	0,3	2,27	2,17	2,22	6,03	1,30	1,36	1,33
50	3	5	1	206000	0,3	1,89	1,86	1,87	2,29	1,21	1,24	1,22
100	13	8	2	206000	0,3	1,96	1,86	1,91	2,96	1,20	1,27	1,23
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	2,05	2,01	2,03	2,00	1,23	1,25	1,24
19	19	7,1	1	206000	0,3	2,42	2,29	2,36	2,94	1,21	1,28	1,25
25	25	9,4	1	206000	0,3	2,63	2,57	2,60	3,21	1,22	1,25	1,24
11	11	4,1	1	206000	0,3	1,99	1,87	1,93	2,45	1,23	1,31	1,27
6	6	6	1	206000	0,3	1,81	1,65	1,73	2,16	1,19	1,31	1,25
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,87	1,68	1,78	1,75	1,17	1,30	1,23
6	6	7	1	64000	0,34	1,78	1,66	1,72	2,17	1,22	1,31	1,26
12	12	10	1	64000	0,34	2,18	2,05	2,11	2,69	1,23	1,31	1,27
24	24	20,5	1	64000	0,34	2,91	2,59	2,75	3,37	1,16	1,30	1,22
24	6	7	1	64000	0,34	2,32	2,04	2,18	2,65	1,14	1,30	1,21
12	6	7	1	64000	0,34	2,03	1,94	1,99	2,52	1,24	1,30	1,27

Nel caso di giunto cruciforme LC si hanno i seguenti risultati, si ricorda sempre riferiti ad una tensione remota di 1 MPa , la mesh e la geometria è quella di figura 4.34.

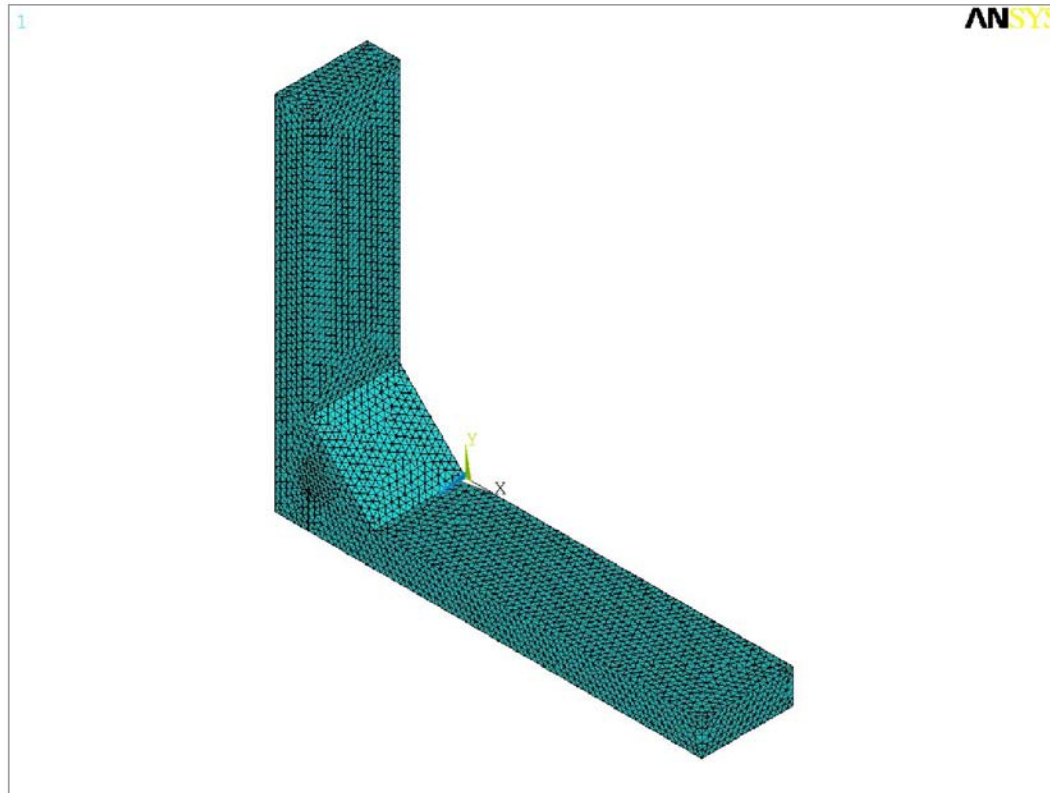


Figura 4.34: La Mesh PSM adottata nel giunto cruciforme LC, gli elementi in questione sono i Solid 187 e Solid 92

Tabella 4.45 K_{FE}^* per giunti cruciformi LC caricati a flessione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [Mpa]	ν	σ_{peak} max [MPa]	σ_{peak} min [MPa]	σ_{peak} media [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}]	K_{FE}^* max	K_{FE}^* min	K_{FE}^* medio
6	6	6	0,5	206000	0,3	1,65	1,59	1,62	1,62	1,23	1,27	1,25
12	12	8	1	64000	0,34	1,75	1,61	1,68	2,13	1,21	1,32	1,27
12	12	6,4	1	64000	0,34	1,86	1,72	1,79	2,25	1,21	1,31	1,26

Tabella 4.46 K_{FE}^* per giunti cruciformi LC caricati a trazione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [Mpa]	ν	σ_{peak} max [MPa]	σ_{peak} min [MPa]	σ_{peak} media [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}]	K_{FE}^* max	K_{FE}^* min	K_{FE}^* medio
6	6	6	0,5	206000	0,3	2,63	2,54	2,58	2,61	1,25	1,29	1,27
12	12	8	1	64000	0,34	3,38	3,07	3,23	4,11	1,21	1,34	1,27
12	12	6,4	1	64000	0,34	3,90	3,63	3,77	4,80	1,23	1,32	1,27

Infine si riporta i risultati per il giunto a T NLC:

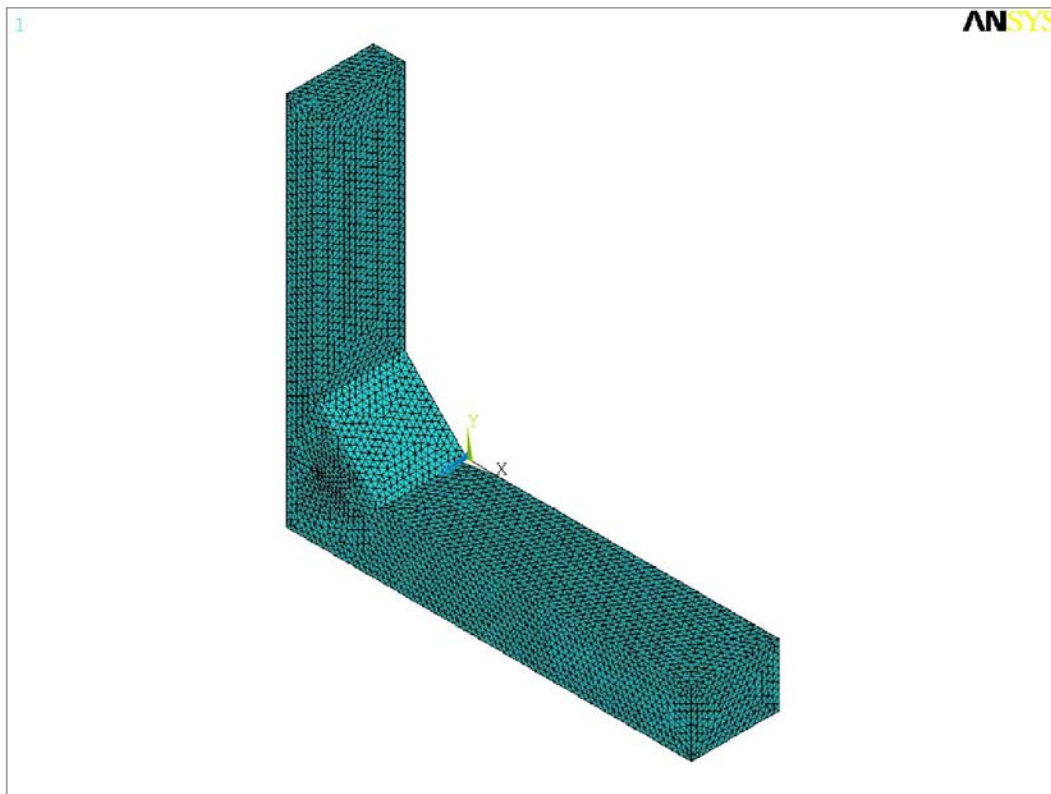


Figura 4.35: La Mesh PSM adottata nel giunto a T NLC, gli elementi in questione sono i Sold 187 e Solid 92

Tabella 4.47 K_{FE}^* per giunti a "T" caricati a flessione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [Mpa]	ν	σ_{peak} max [MPa]	σ_{peak} min [MPa]	σ_{peak} media [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}]	K_{FE}^* max	K_{FE}^* min	K_{FE}^* medio
6	6	6	1	206000	0,3	1,53	1,50	1,51	1,88	1,23	1,26	1,24
12	10	8	1	64000	0,34	2,00	1,86	1,93	2,38	1,19	1,28	1,24
12	12	8	1	64000	0,34	1,99	1,90	1,94	2,40	1,21	1,26	1,23

Tabella 4.48 K_{FE}^* per giunti a “T” caricati a trazione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [Mpa]	v	σ_{peak} max [MPa]	σ_{peak} min [MPa]	σ_{peak} media [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}]	K_{FE}^* max	K_{FE}^* min	K_{FE}^* medio
6	6	6	1	206000	0,3	1,33	1,31	1,32	1,66	1,25	1,26	1,25
12	10	8	1	64000	0,34	1,74	1,62	1,68	2,08	1,19	0,29	1,24
12	12	8	1	64000	0,34	1,72	1,64	1,68	2,08	1,21	1,27	1,24

$K_{FE, minimo}^* = 1.205$	$2\sigma = 0.081$
$K_{FE, medio}^* = 1.244$	$2\sigma = 0.07$
$K_{FE, massimo}^* = 1.287$	$2\sigma = 0.094$
Per i Solid 186 e Solid 95 in condizione di deformazione piana	
$K_{FE}^* = 1.244$	± 0.137 con una confidenza del 95 per cento

4.3.4 Risultati simulazione per l'elemento Solid 285 sotto la condizione di deformazione piana.

Come nel caso dei Solid 187 e Solid 92 anche il Solid 285 a causa della sua forma tetraedrica, da lungo l'intaglio una variabilità della prima tensione principale, poiché gli elementi della mesh sono di dimensione alquanto variabili per adattarsi gli uni agli altri. Anche in questo caso, come per gli elementi Solid 187 e Solid 92, non si sono presi in considerazioni i valori di tensione appartenenti ai primi e ultimi 4 elementi lungo l'intaglio, poiché i visibilmente i più deformati, non stante questo provvedimento i valori della tensione si sono rivelati comunque molto variabili lungo tutta la linea dell'intaglio. Si sono prese in considerazione quindi la tensione principale massima minima e media, e si sono ricavati un K_{FE}^* minimo massimo e medio per ogni modello dal confronto con il NSIF mode I ricavato con il metodo preciso dalle simulazioni bidimensionali. Si sono quindi ricavati i valori medi per $K_{FE, max}^*$, $K_{FE, min}^*$, $K_{FE, medio}^*$ e la relativa dispersione tramite il calcolo della deviazione standard.

Tabella 4.49 K_{FE}^* per giunti cruciformi NLC caricati a flessione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [Mpa]	ν	σ_{peak} max [MPa]	σ_{peak} min [MPa]	σ_{peak} media [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}]	K_{FE}^* max	K_{FE}^* min	K_{FE}^* medio
13	10	8	1	206000	0,3	1,17	1,04	1,10	2,09	1,80	2,02	1,90
50	50	16	2	206000	0,3	1,56	1,33	1,44	3,33	1,71	2,00	1,85
100	50	16	3	206000	0,3	1,65	1,51	1,58	3,87	1,64	1,79	1,71
13	3	5	1	206000	0,3	1,11	1,06	1,09	2,02	1,81	1,90	1,85
25	3	5	1	206000	0,3	1,33	1,21	1,27	2,23	1,68	1,84	1,76
25	32	9	1,5	206000	0,3	1,34	1,22	1,28	2,68	1,75	1,92	1,83
25	220	15	4	206000	0,3	1,00	0,85	0,92	2,73	1,74	2,05	1,88
38	13	8	1,5	206000	0,3	1,48	1,33	1,41	2,77	1,63	1,83	1,73
38	220	15	4	206000	0,3	1,10	1,03	1,07	3,31	1,92	2,04	1,98
100	3	5	2	206000	0,3	1,21	1,09	1,15	2,31	1,52	1,68	1,60
100	220	15	4	206000	0,3	1,94	1,50	1,72	4,89	1,60	2,08	1,81
50	3	5	1,25	206000	0,3	1,26	1,12	1,19	2,30	1,70	1,90	1,80
100	13	8	2	206000	0,3	1,38	1,34	1,36	2,96	1,72	1,77	1,74
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	1,13	1,06	1,10	1,64	1,81	1,94	1,87
19	19	7,1	1	206000	0,3	1,38	1,28	1,33	2,42	1,76	1,89	1,82
25	25	9,4	1	206000	0,3	1,53	1,40	1,47	2,65	1,73	1,89	1,81
11	11	4,1	1	206000	0,3	1,11	1,01	1,06	2,01	1,81	1,99	1,89
6	6	6	1	206000	0,3	0,89	0,77	0,83	1,61	1,80	2,09	1,93
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	0,85	0,79	0,82	1,26	1,87	1,99	1,93
6	6	7	1	64000	0,34	0,85	0,77	0,81	1,60	1,88	2,07	1,97
12	12	10	1	64000	0,34	1,19	1,03	1,11	2,04	1,72	1,98	1,84
24	24	20,5	1,5	64000	0,34	1,23	1,15	1,19	2,56	1,82	1,96	1,89
24	6	7	1	64000	0,34	1,58	1,30	1,44	2,41	1,53	1,86	1,68
12	6	7	1	64000	0,34	1,10	1,03	1,07	2,03	1,84	1,97	1,90

Tabella 4.50 K_{FE}^* per giunti cruciformi NLC caricati a trazione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [Mpa]	v	σ_{peak} max [MPa]	σ_{peak} min [MPa]	σ_{peak} media [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}]	K_{FE}^* max	K_{FE}^* min	K_{FE}^* medio
13	10	8	1	206000	0,3	1,53	1,39	1,46	2,66	1,74	1,92	1,83
50	50	16	2	206000	0,3	1,87	1,62	1,75	3,98	1,70	1,95	1,82
100	50	16	3	206000	0,3	1,78	1,64	1,71	4,15	1,63	1,77	1,70
13	3	5	1	206000	0,3	1,32	1,28	1,30	2,30	1,73	1,80	1,77
25	3	5	1	206000	0,3	1,39	1,29	1,34	2,31	1,66	1,79	1,72
25	32	9	1,5	206000	0,3	1,68	1,55	1,62	3,31	1,72	1,87	1,79
25	220	15	4	206000	0,3	1,60	1,40	1,50	4,15	1,65	1,88	1,76
38	13	8	1,5	206000	0,3	1,61	1,46	1,54	2,97	1,62	1,78	1,70
38	220	15	4	206000	0,3	1,67	1,58	1,63	4,84	1,85	1,95	1,90
100	3	5	2	206000	0,3	1,21	1,11	1,16	2,29	1,51	1,65	1,57
100	220	15	4	206000	0,3	2,41	1,88	2,14	6,03	1,59	2,04	1,79
50	3	5	1,25	206000	0,3	1,27	1,14	1,21	2,29	1,68	1,87	1,77
100	13	8	2	206000	0,3	1,39	1,35	1,37	2,96	1,70	1,75	1,73
6	6	2,2	0,5	206000	0,3	1,43	1,35	1,39	2,00	1,75	1,86	1,80
19	19	7,1	1	206000	0,3	1,70	1,60	1,65	2,94	1,73	1,84	1,78
25	25	9,4	1	206000	0,3	1,88	1,73	1,80	3,21	1,71	1,86	1,78
11	11	4,1	1	206000	0,3	1,42	1,31	1,36	2,45	1,73	1,88	1,80
6	6	6	1	206000	0,3	1,29	1,17	1,23	2,16	1,67	1,84	1,75
3	3	4,5	0,5	64000	0,34	1,24	1,20	1,22	1,75	1,76	1,82	1,79
6	6	7	1	64000	0,34	1,27	1,18	1,23	2,17	1,71	1,84	1,77
12	12	10	1	64000	0,34	1,60	1,42	1,51	2,69	1,68	1,89	1,78
24	24	20,5	1,5	64000	0,34	1,65	1,57	1,61	3,37	1,79	1,89	1,84
24	6	7	1	64000	0,34	1,74	1,46	1,60	2,65	1,52	1,81	1,65
12	6	7	1	64000	0,34	1,43	1,35	1,39	2,52	1,77	1,87	1,82

Tabella 4.51 K_{FE}^* per giunti cruciformi LC caricati a flessione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [Mpa]	v	σ_{peak} max [MPa]	σ_{peak} min [MPa]	σ_{peak} media [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}]	K_{FE}^* max	K_{FE}^* min	K_{FE}^* medio
6	6	6	0,5	206000	0,3	1,12	0,98	1,05	1,62	1,81	2,07	1,93
12	12	8	1	64000	0,34	1,17	1,07	1,12	2,13	1,83	2,00	1,91
12	12	6,4	1	64000	0,34	1,28	1,16	1,22	2,25	1,75	1,95	1,84

Tabella 4.52 K_{FE}^* per giunti cruciformi LC caricati a trazione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [Mpa]	ν	σ_{peak} max [MPa]	σ_{peak} min [MPa]	σ_{peak} media [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}]	K_{FE}^* max	K_{FE}^* min	K_{FE}^* medio
6	6	6	0,5	206000	0,3	1,80	1,64	1,72	2,61	1,82	1,99	1,90
12	12	8	1	64000	0,34	2,28	2,05	2,17	4,11	1,80	2,00	1,89
12	12	6,4	1	64000	0,34	2,68	2,45	2,57	4,80	1,79	1,96	1,87

Tabella 4.53 K_{FE}^* per giunti a T NLC caricati a flessione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [Mpa]	ν	σ_{peak} max [MPa]	σ_{peak} min [MPa]	σ_{peak} media [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}]	K_{FE}^* max	K_{FE}^* min	K_{FE}^* medio
6	6	6	1	206000	0,3	1,01	0,94	0,97	1,88	1,86	2,01	1,93
12	10	8	1	64000	0,34	1,42	1,23	1,32	2,38	1,68	1,94	1,80
12	12	8	1	64000	0,34	1,40	1,27	1,33	2,40	1,72	1,88	1,80

Tabella 4.54 K_{FE}^* per giunti a T NLC caricati a trazione e in condizione di deformazione piana e tensione remota di riferimento σ_0 pari a 1 [MPa]

T [mm]	t [mm]	z [mm]	d [mm]	E [Mpa]	ν	σ_{peak} max [MPa]	σ_{peak} min [MPa]	σ_{peak} media [MPa]	K_I^V [MPa*mm ^{0,326}]	K_{FE}^* max	K_{FE}^* min	K_{FE}^* medio
6	6	6	1	206000	0,3	0,99	0,98	0,99	1,66	1,67	1,69	1,68
12	10	8	1	64000	0,34	1,28	1,15	1,22	2,08	1,62	1,80	1,71
12	12	8	1	64000	0,34	1,28	1,18	1,23	2,08	1,63	1,77	1,70

Utilizzando questa raccolta di dati si sono calcolati quindi i valori medi e la deviazione standard ottenendo:

$K_{FE, minimo}^* = 1.72$	$2\sigma = 0.18$
$K_{FE, massimo}^* = 1.90$	$2\sigma = 0.20$
$K_{FE, medio}^* = 1.80$	$2\sigma = 0.18$
Per i solid 285 in condizione di deformazione piana	
$K_{FE}^* = 1.80$	± 0.40 con una confidenza del 95 %

4.4 Risultati NSIF mode I ottenuti con la tecnica della sotto modellazione nel caso di giunti tridimensionali.

Si sono simulati un totale di 4 giunti cruciformi NLC con caratteristiche geometriche variabili, caricati sia a trazione che a flessione, si è tenuta costante la profondità fissata pari a 80 [mm] per tutti. Le simulazioni sono state eseguite usando il metodo preciso, ovvero quello che individua il valore del K_I^V tramite la visualizzazione del plateau, sia utilizzando elementi tetraedrici quali i Solid 187 o Solid 92, sia elementi Solid 186 o Solid 95 nella loro forma geometrica di parallelepipedi. Si sono ottenuti quindi 10 valori di NSIF lungo la metà del piede del cordone di saldatura del giunto per simulazione nel caso di tetraedri, 20 nel caso dei parallelepipedi. Si mostreranno quindi i grafici doppio logaritmici relativi ai plateau del NSIF mode I e al andamento delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$ lungo la bisettrice in avvicinamento all'apice. Quest'ultimo apparirà come una retta con pendenza pari al grado di singolarità dell'intaglio, $(1-\lambda_1)$, ovvero 0.326. Per non rendere eccessivo il numero di grafici e rendere eccessivamente prolisso questo capitolo, si riporteranno solo quelli relativi alla mezzeria, alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno di ogni giunto. Inoltre poiché va sempre verificata la avvenuta convergenza tra primo sotto-modello e main model si riporterà il grafico semi-logaritmico relativo alle tensione σ_x sulla faccia superiore del piatto principale in corrispondenza della mezzeria.

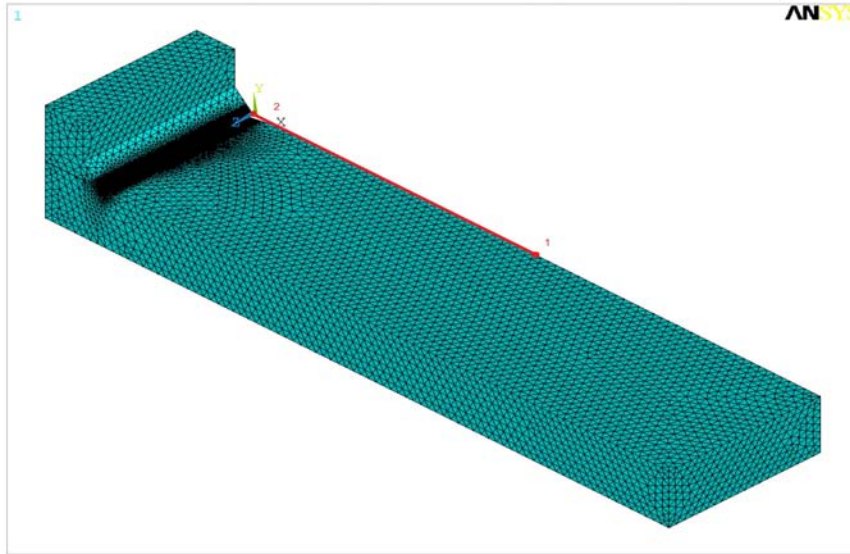


Figura 4.36 Il path definito sulla faccia superiore del piatto principale lungo la mezzeria per la verifica della convergenza tra main model e primo sotto-modello

4.4.1 Il giunti cruciforme NLC con carico di trazione e con l'uso del Solid 187

- Per il giunto con $T=100$ [mm], $t=20$ [mm] $z=10$ [mm] e $W=80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

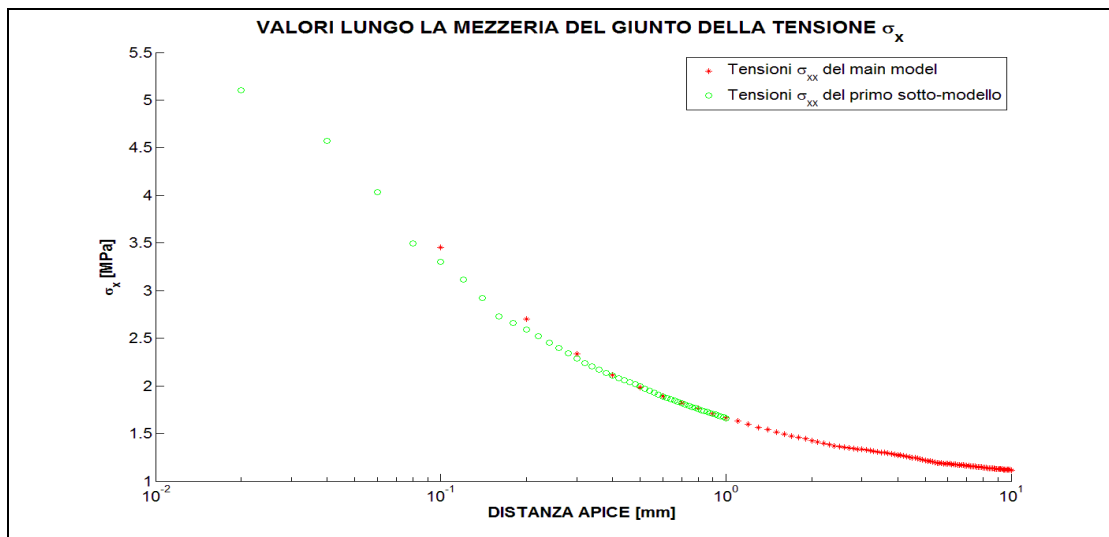


Figura 4.37: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello.

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamento nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria, alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della mezzeria:

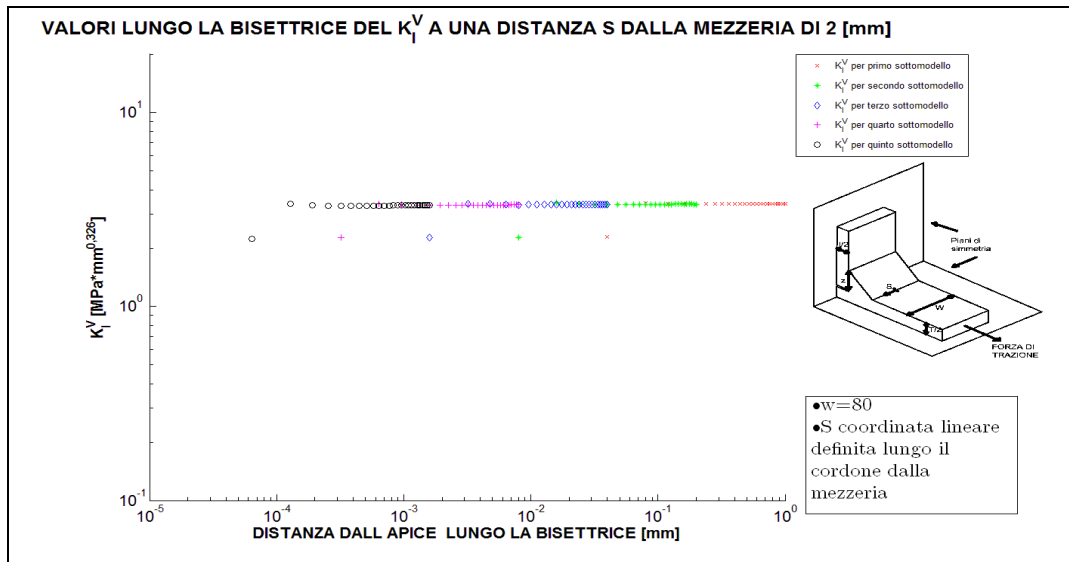


Figura 4.38: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,35 [MPa*mm^{0.326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

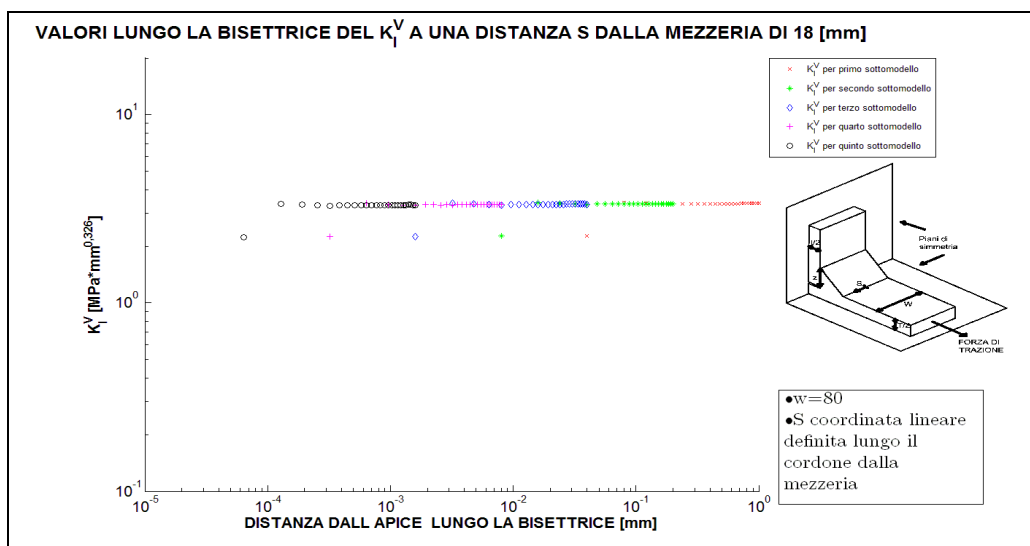


Figura 4.39: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,33 [MPa*mm^{0.326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità del bordo del giunto :

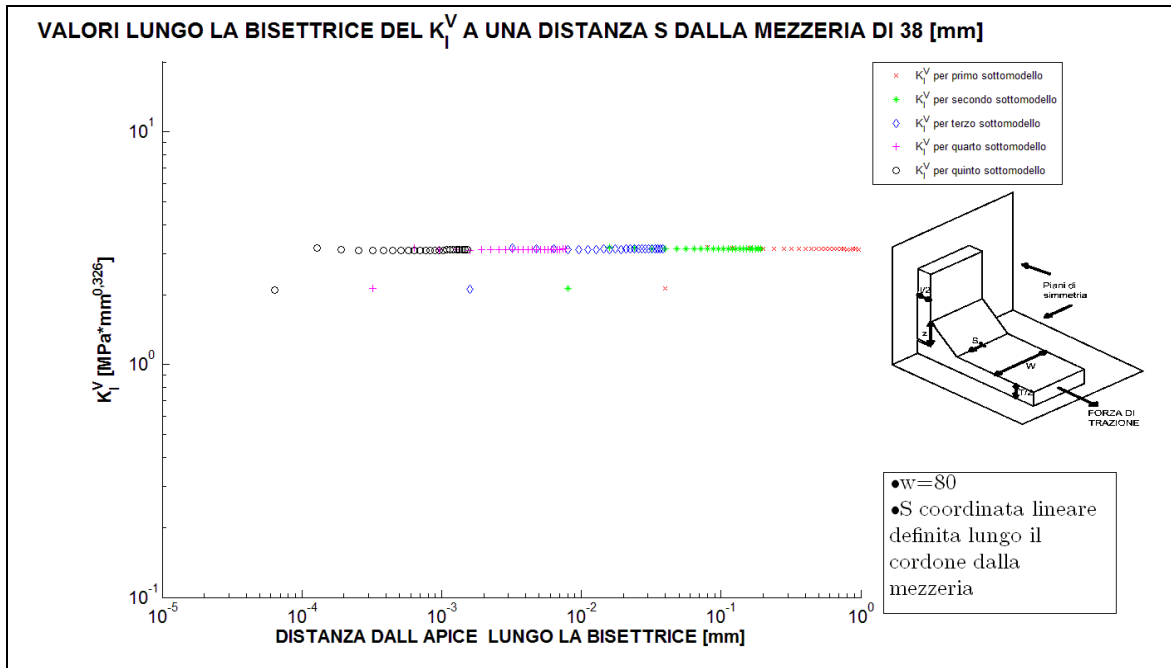


Figura 4.40: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,13 [MPa*mm^{0.326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della mezzeria:

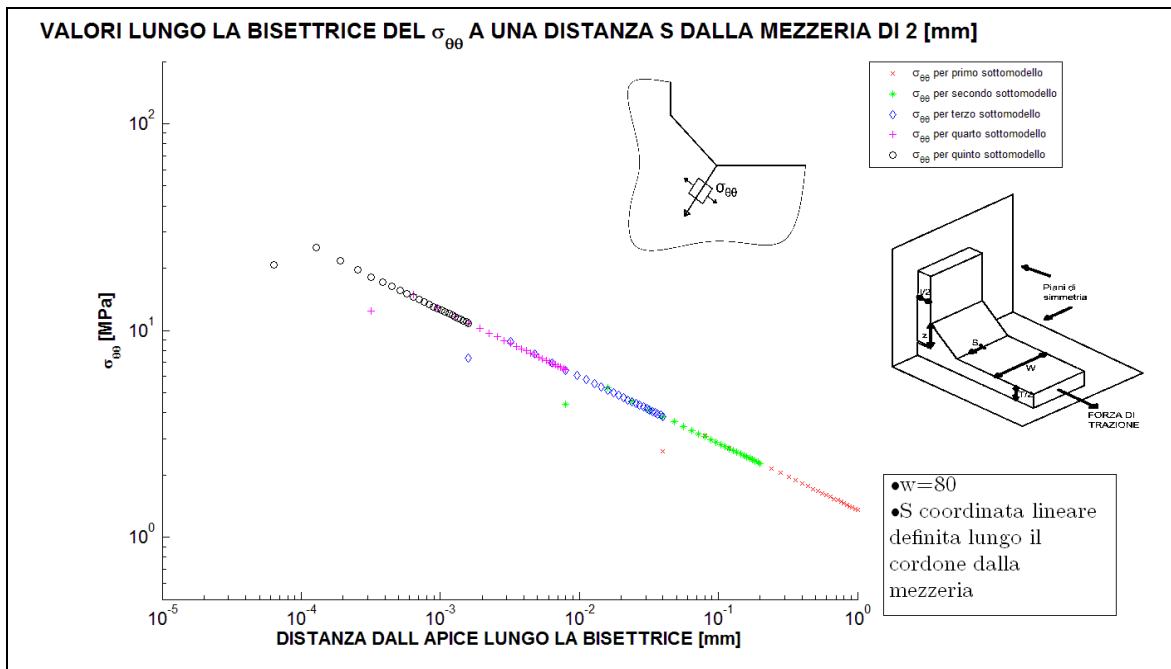


Figura 4.41: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

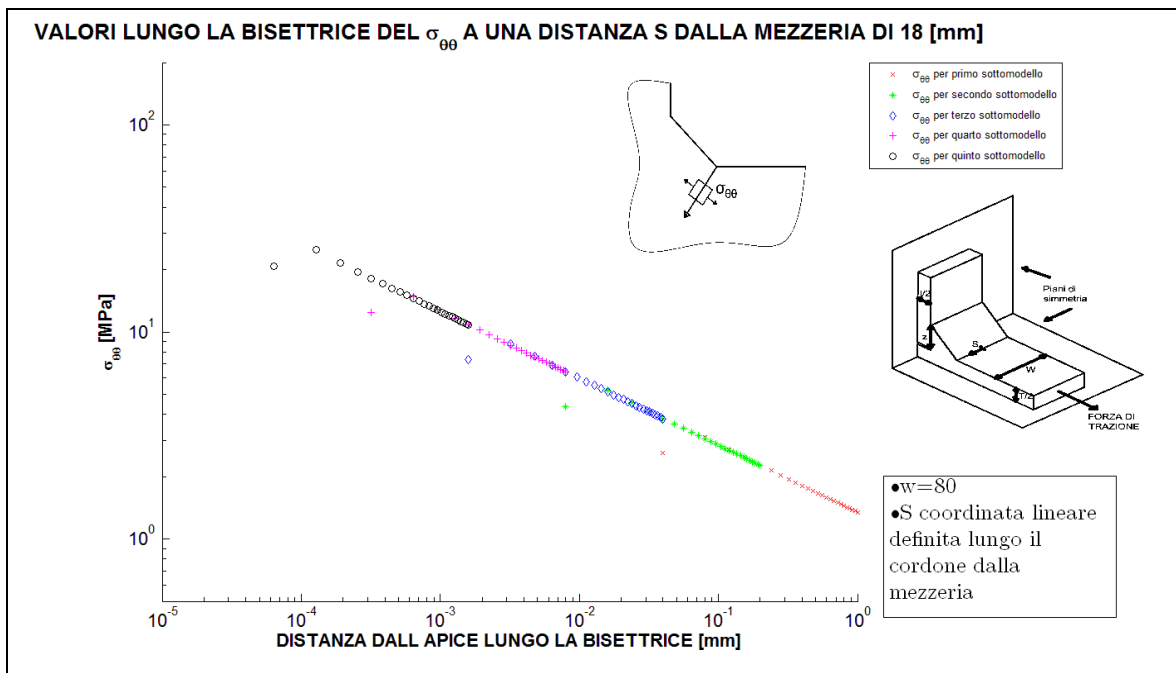


Figura 4.42: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità del bordo del giunto :

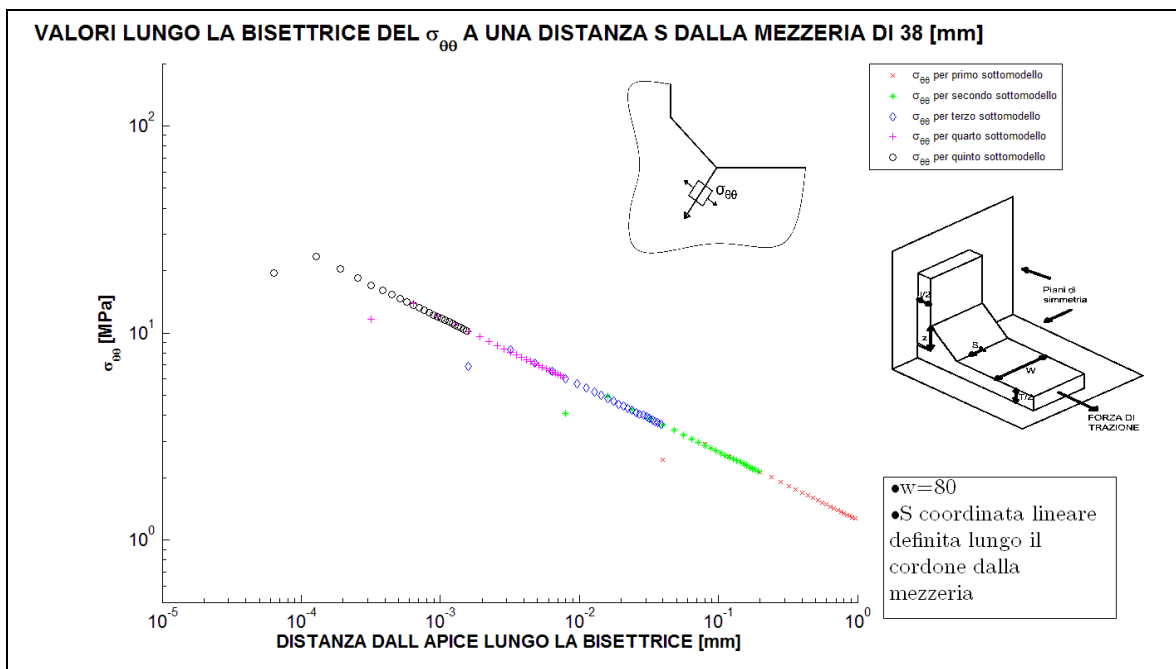


Figura 4.43: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.55 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.55 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione

VALORI K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO										
del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di trazione σ_0 di 1 [MPa]										
con $T=100$ [mm], $t=20$ [mm], $z=10$ [mm], $W=80$ [mm]										
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	3,35	3,35	3,35	3,33	3,33	3,32	3,31	3,29	3,26	3,13
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]							3,29			
<i>dalla simulazione bidimensionale precisa</i>										

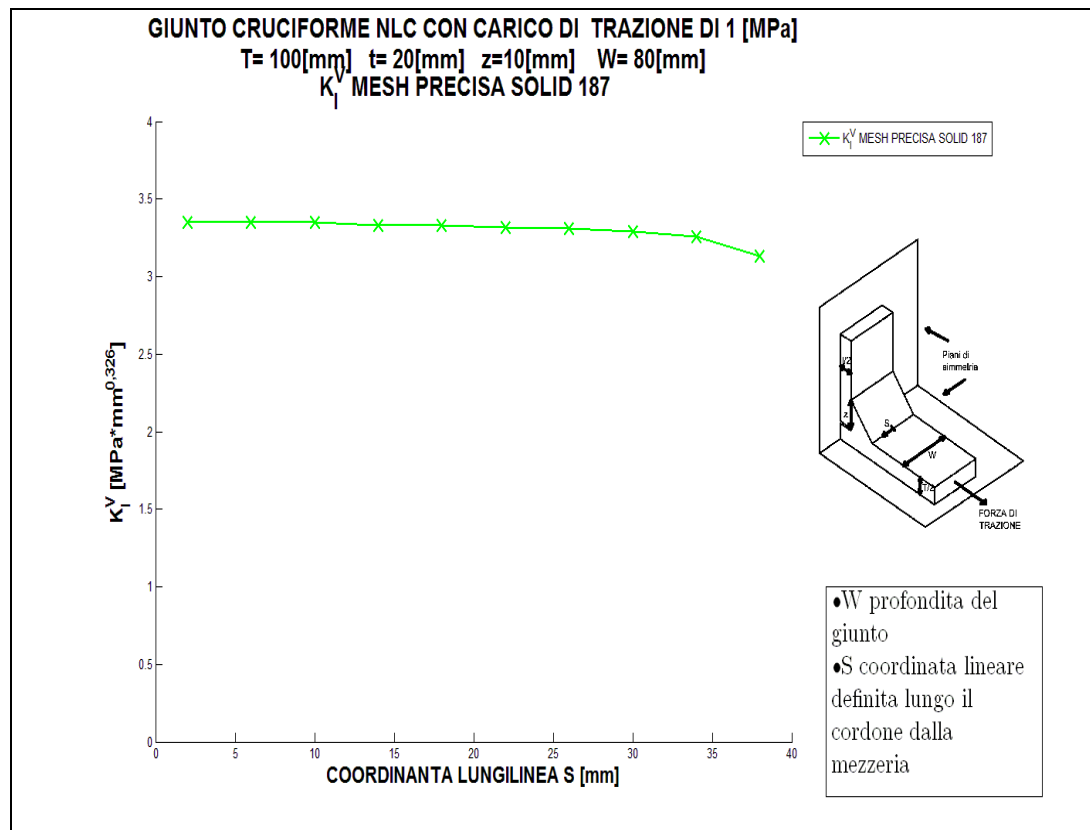


Figura 4.44: Plottaggio valori della tabella 4.55

- Per il giunto con $T=50$ [mm], $t=20$ [mm] $z=10$ [mm] e $W = 80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

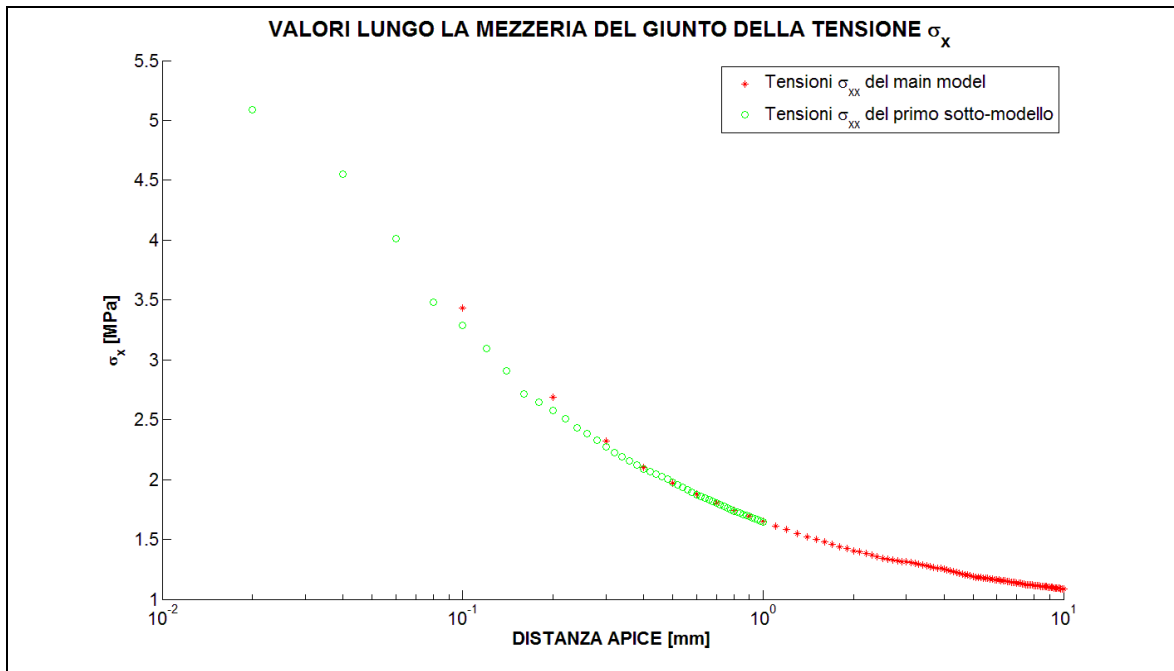


Figura 4.45: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamenti nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria, alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della mezzeria:

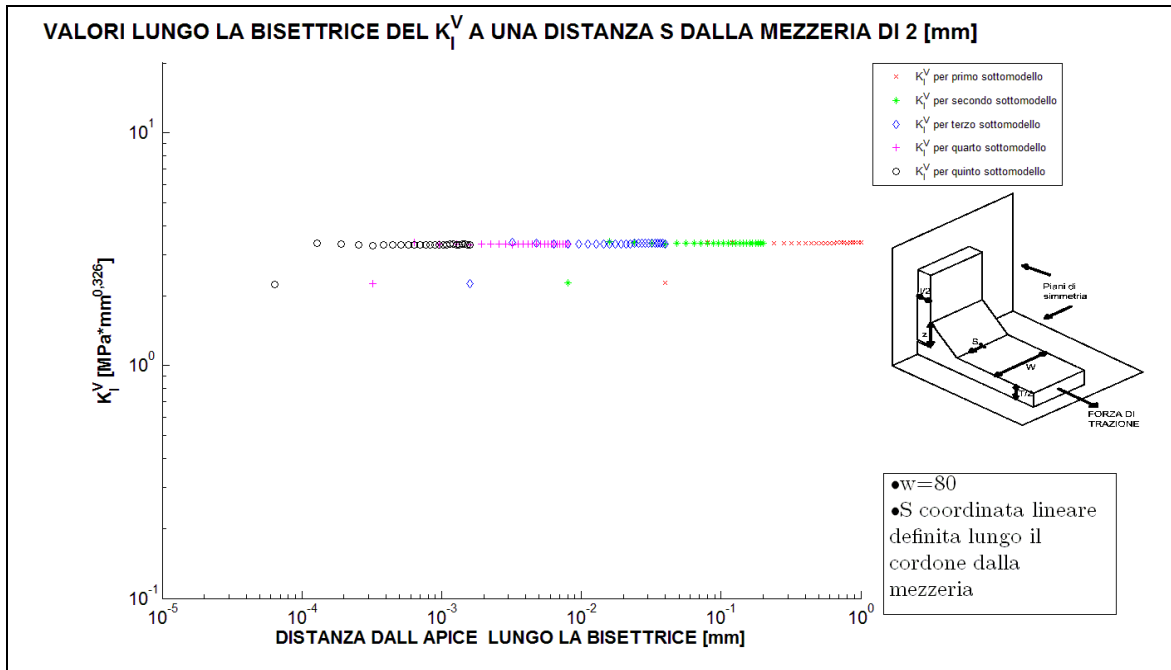


Figura 4.46: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,34 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

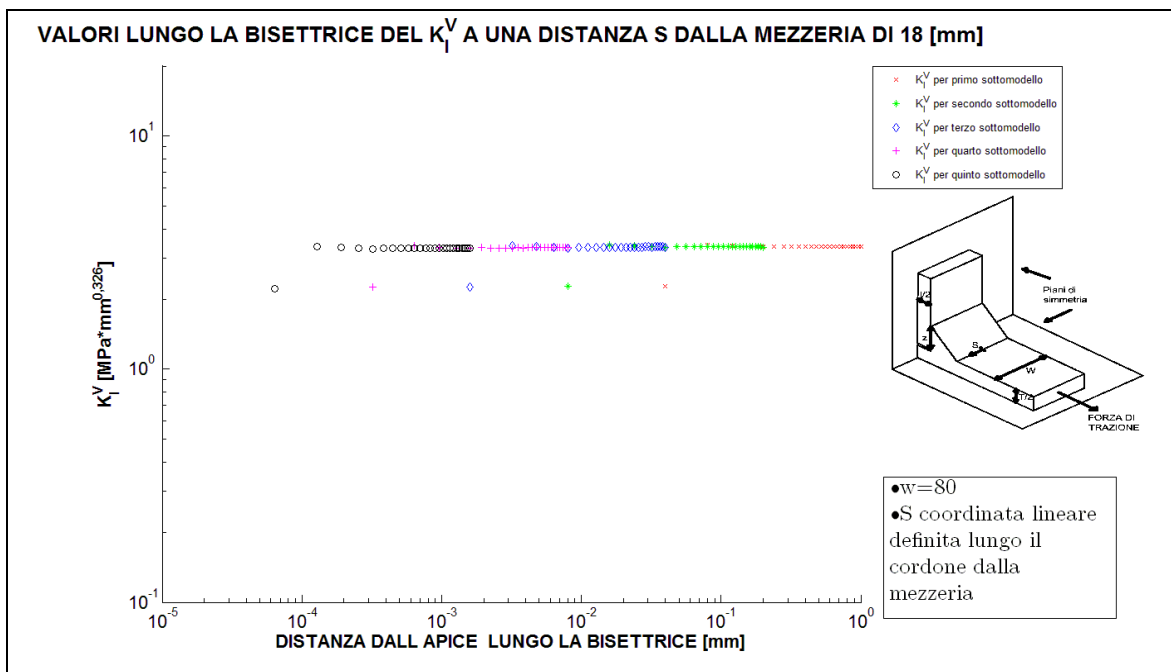


Figura 4.47: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,33 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità del bordo del giunto :

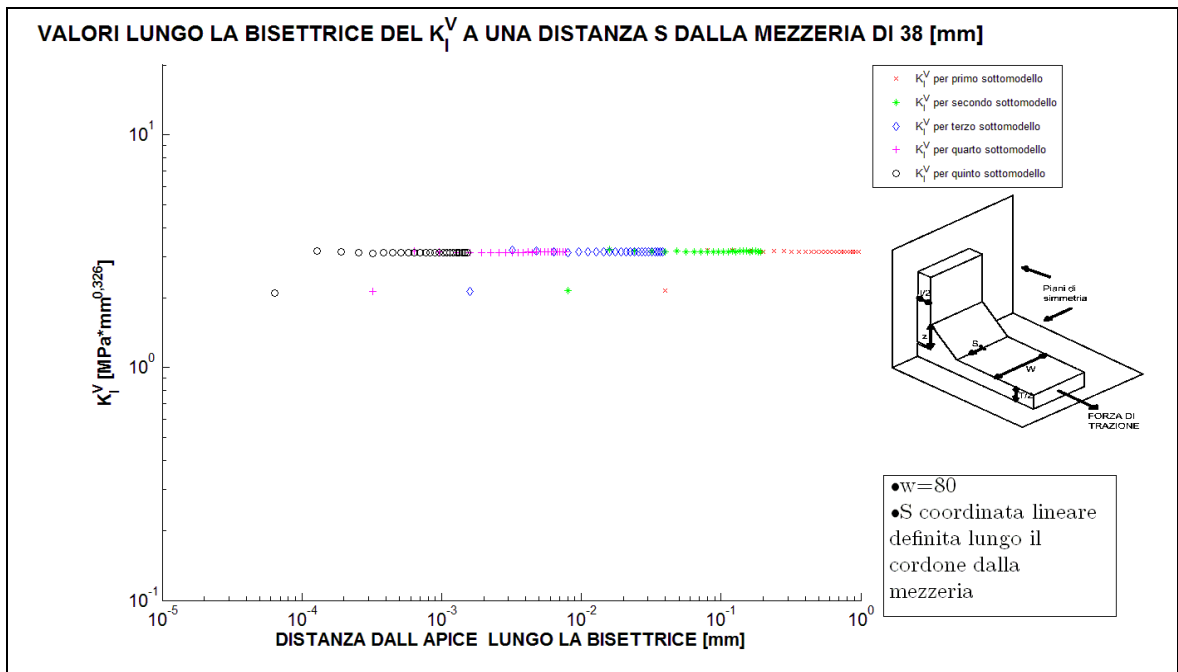


Figura 4.48: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,13 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della mezzeria:

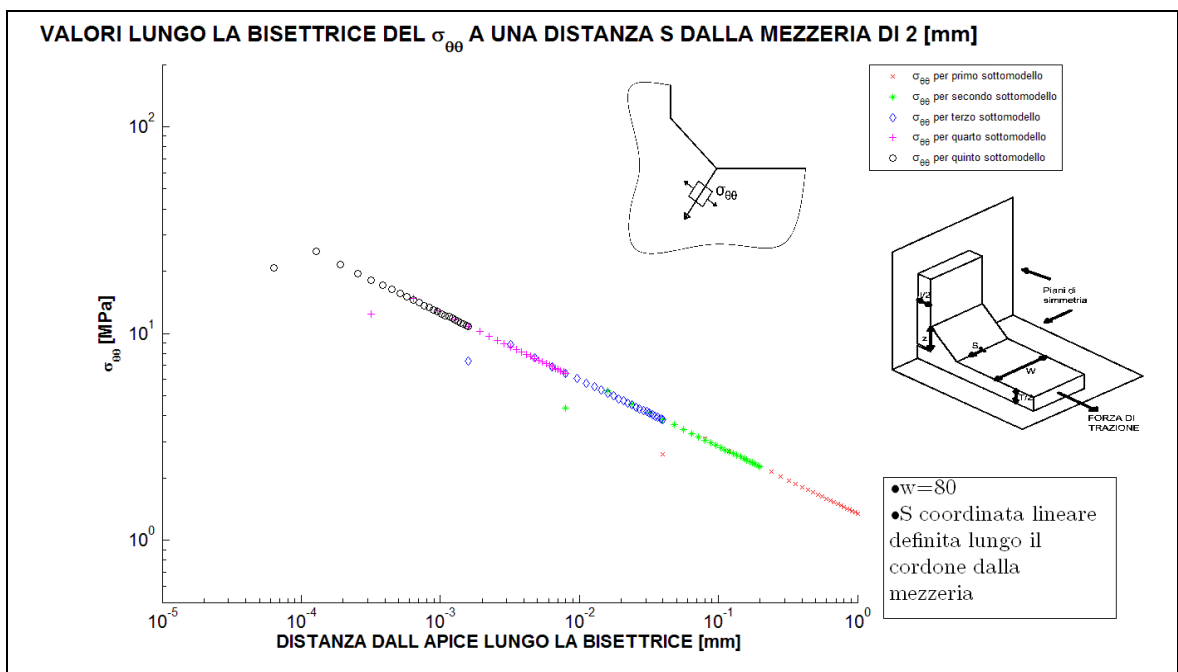


Figura 4.49: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

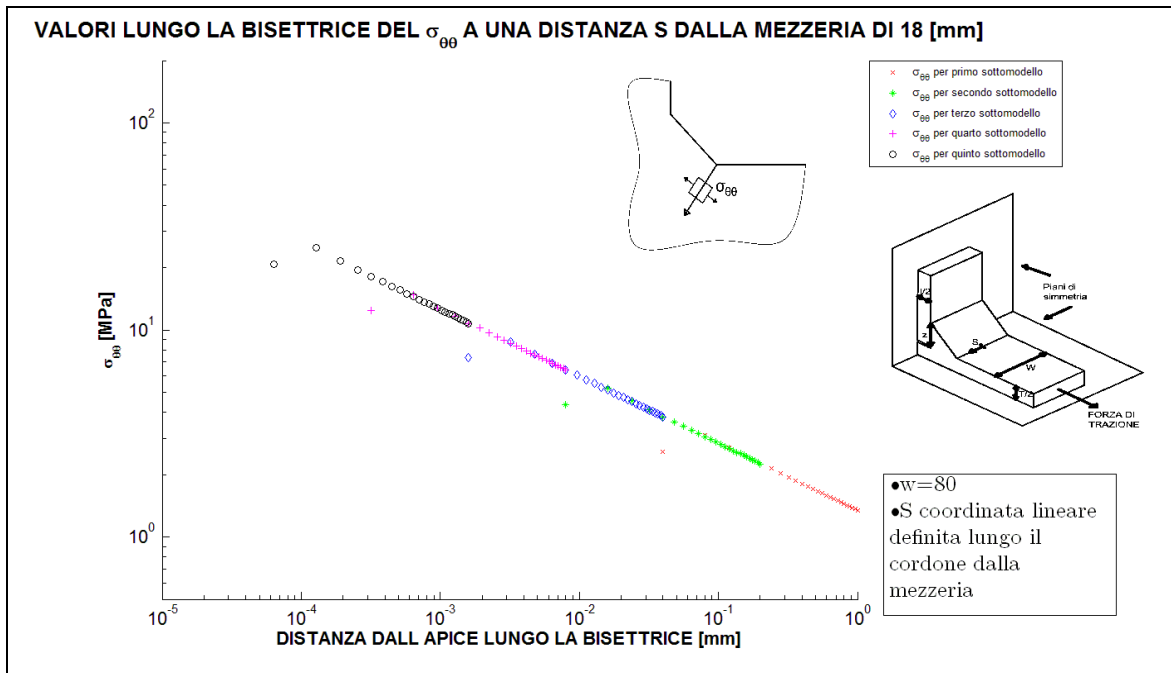


Figura 4.50: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità del bordo del giunto :

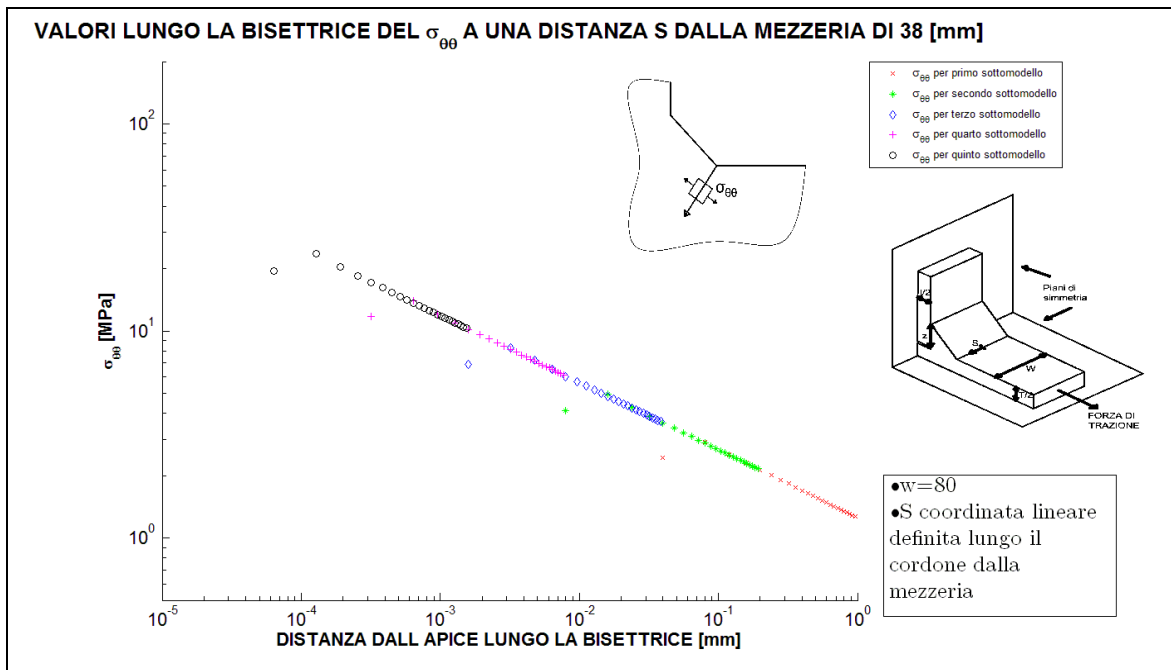


Figura 4.51: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.56 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.56 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione usando il Solid 187

VALORI K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO										
del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di trazione σ_0 di 1 [MPa]										
con $T=50$ [mm], $t=20$ [mm], $z=10$ [mm], $W=80$ [mm]										
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$]	3,34	3,33	3,33	3,33	3,33	3,32	3,32	3,3	3,27	3,13
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$]						3,29				
<i>dalla simulazione bidimensionale precisa</i>										

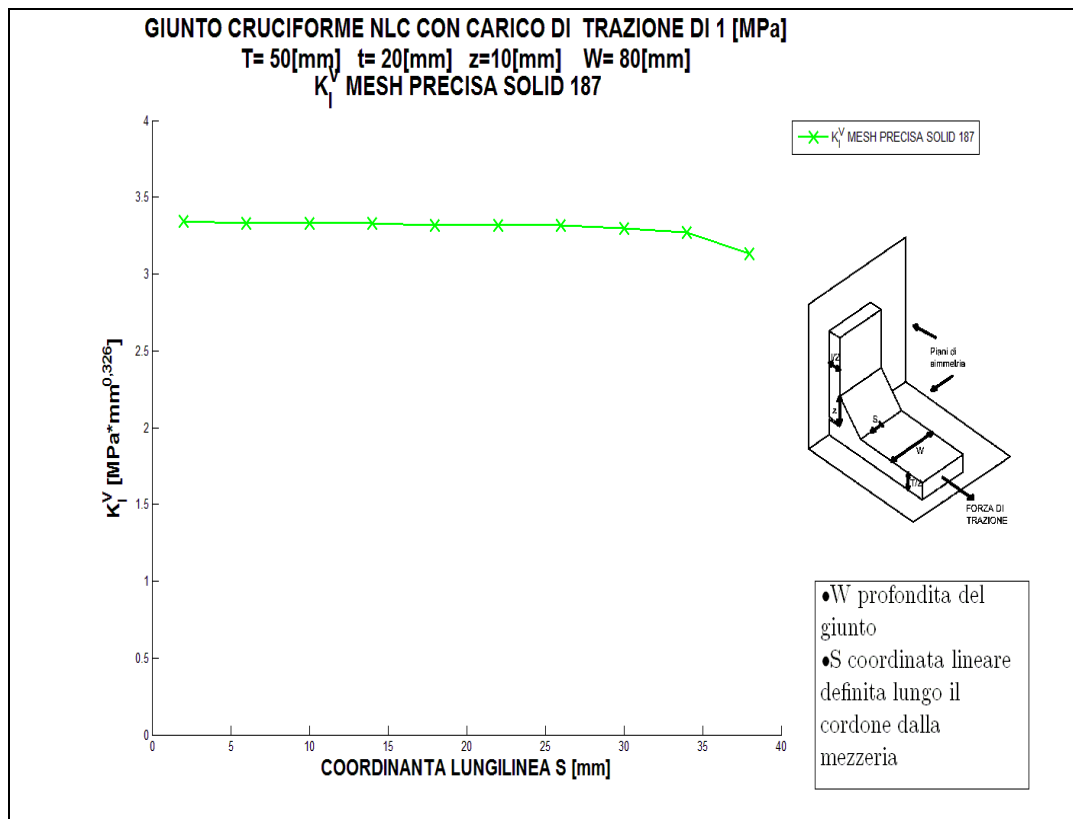


Figura 4.52: Plottaggio dei valori della tabella 4.56

- Per il giunto con $T=30$ [mm], $t=20$ [mm] $z=5$ [mm] e $W=80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

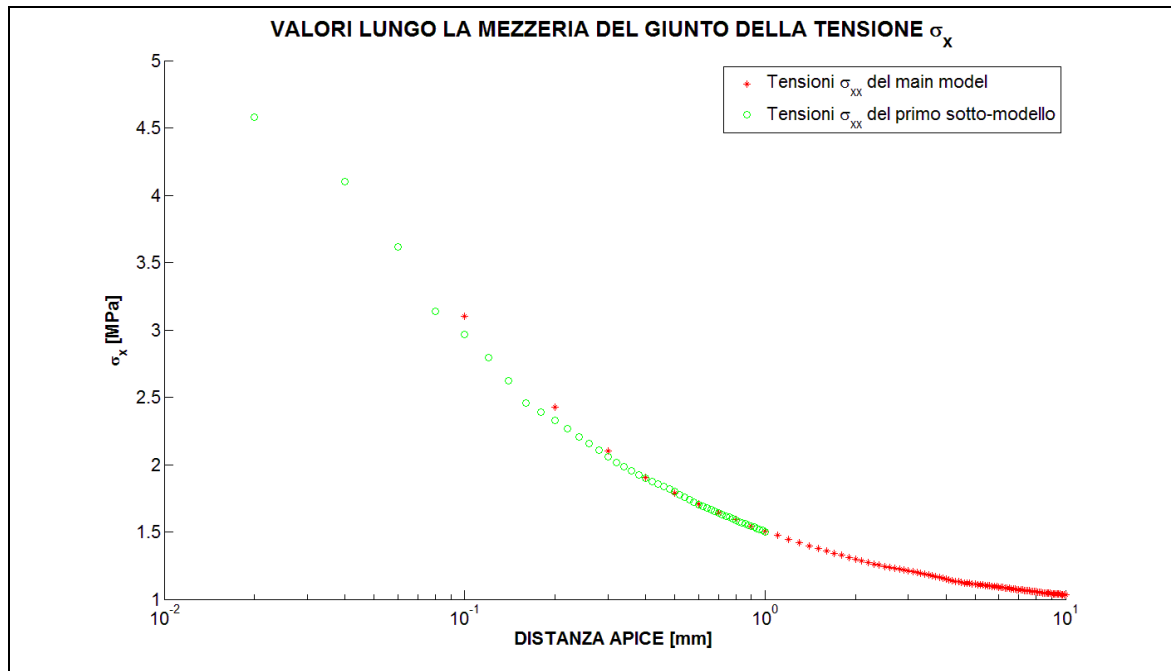


Figura 4.53: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamenti nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria, alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della mezzeria:

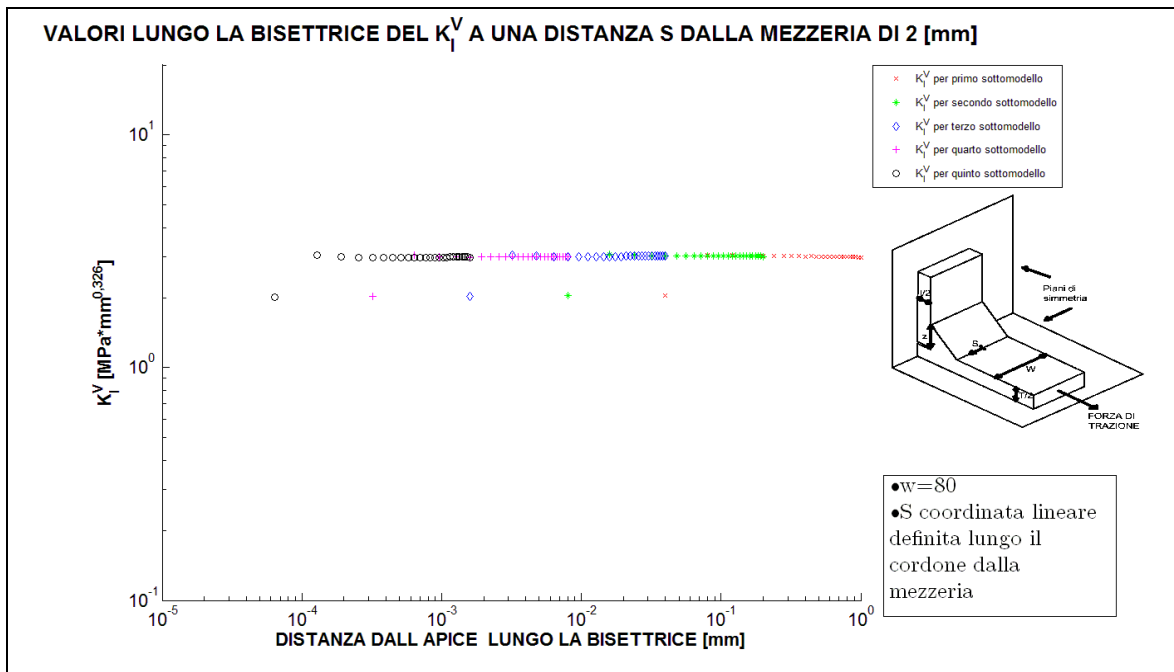


Figura 4.54: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,99 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

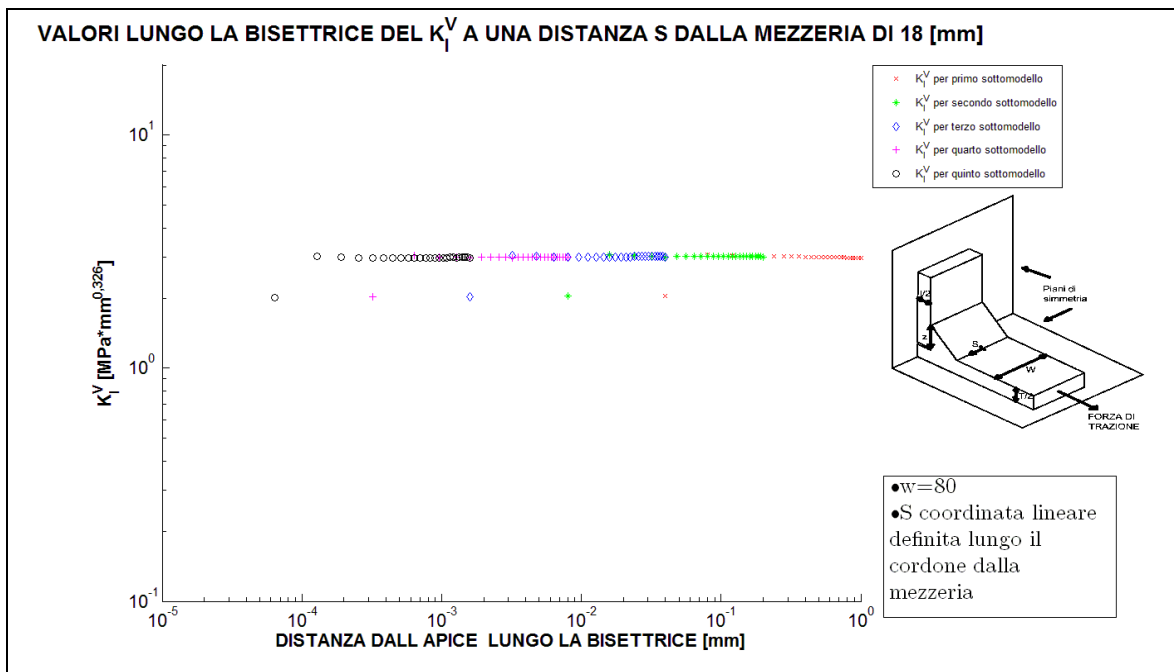


Figura 4.55: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,99 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità del bordo del giunto :

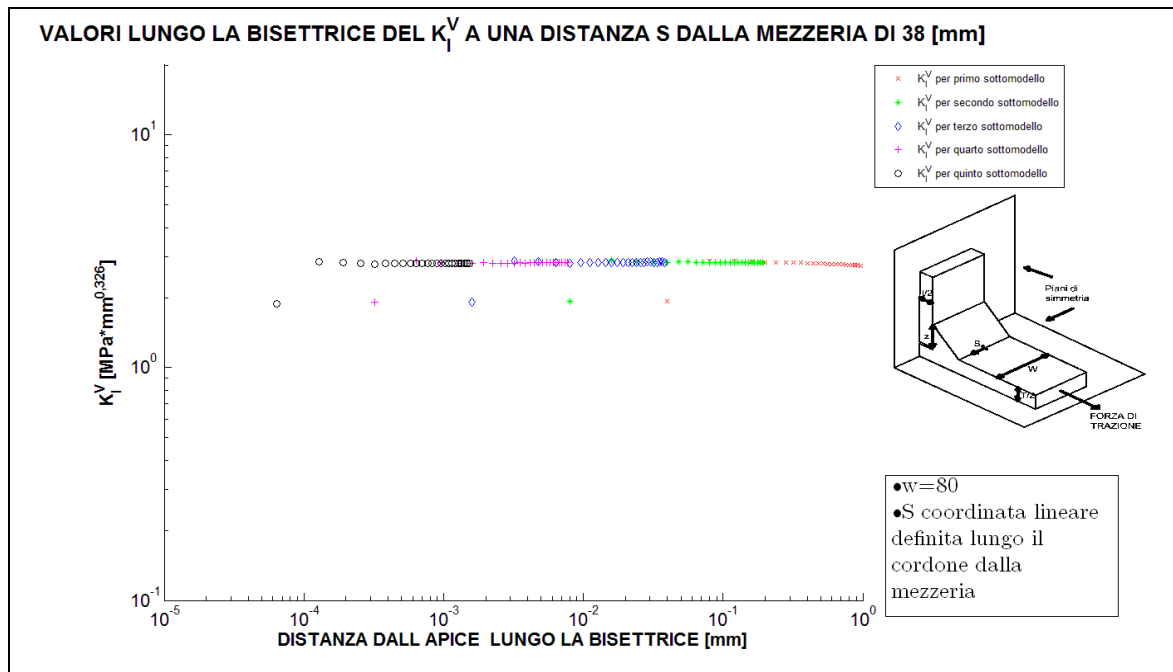


Figura 4.56: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,83[MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della mezzeria:

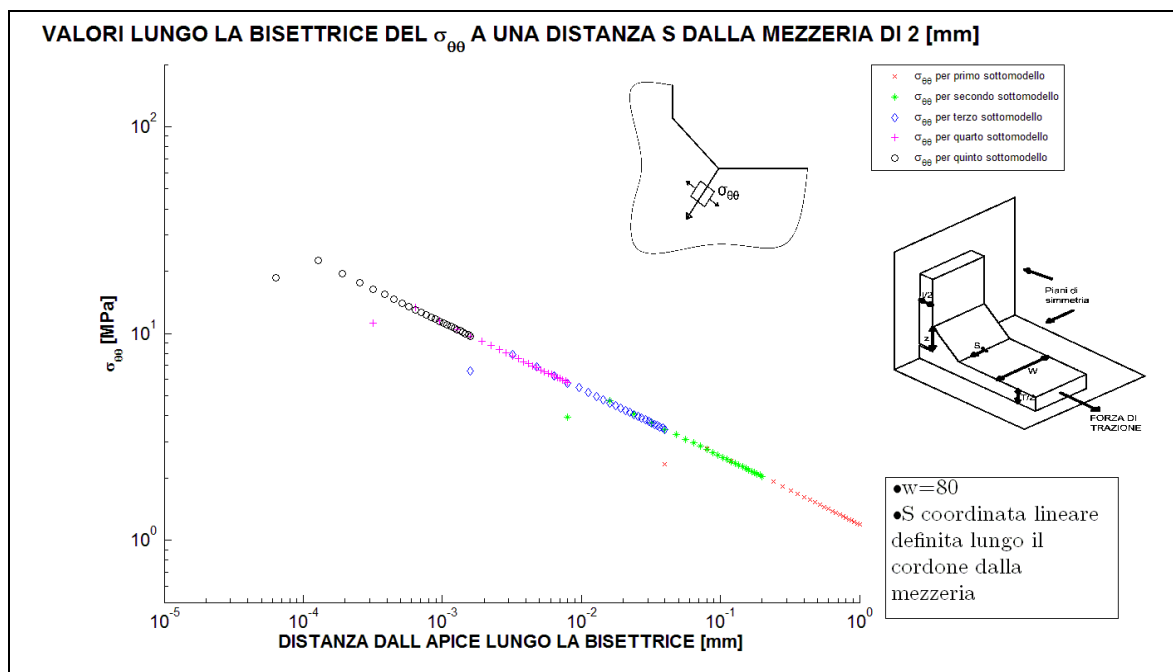


Figura 4.57: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

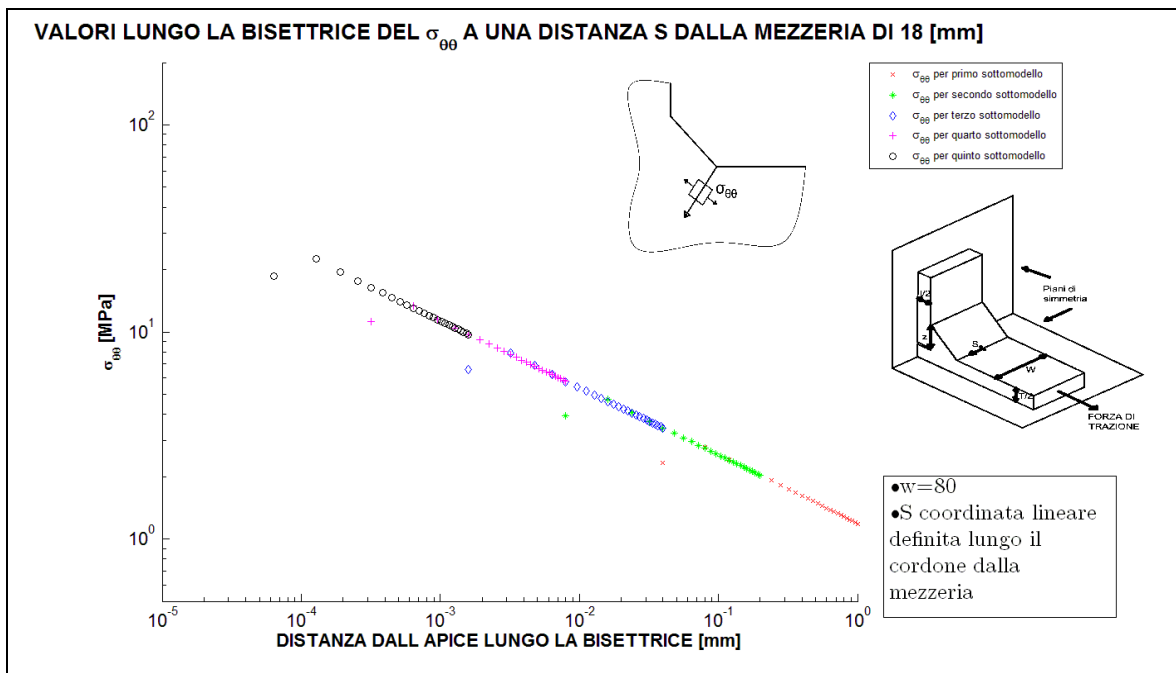


Figura 4.58: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità del bordo del giunto :

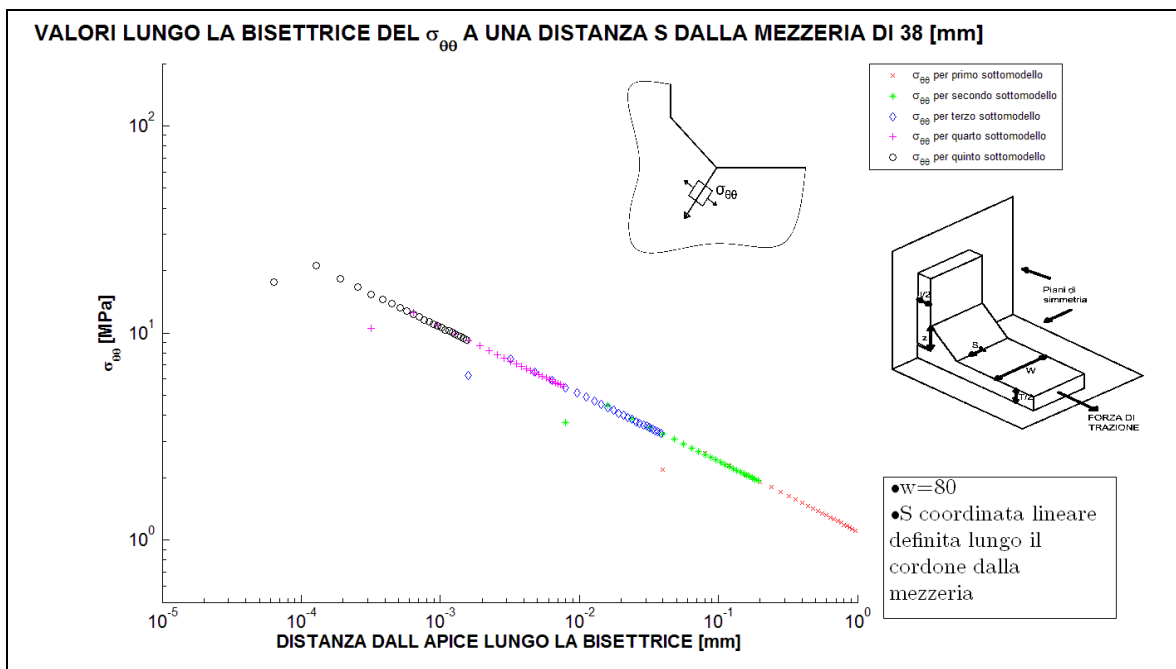


Figura 4.59: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.57 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.57 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione

VALORI K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di trazione σ_0 di 1 [MPa] con $T=50$ [mm], $t=20$ [mm], $z=5$ [mm], $W=80$ [mm]										
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$]	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,98	2,98	2,97	2,93	2,83
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$] <i>dalla simulazione bidimensionale precisa</i>						2,97				

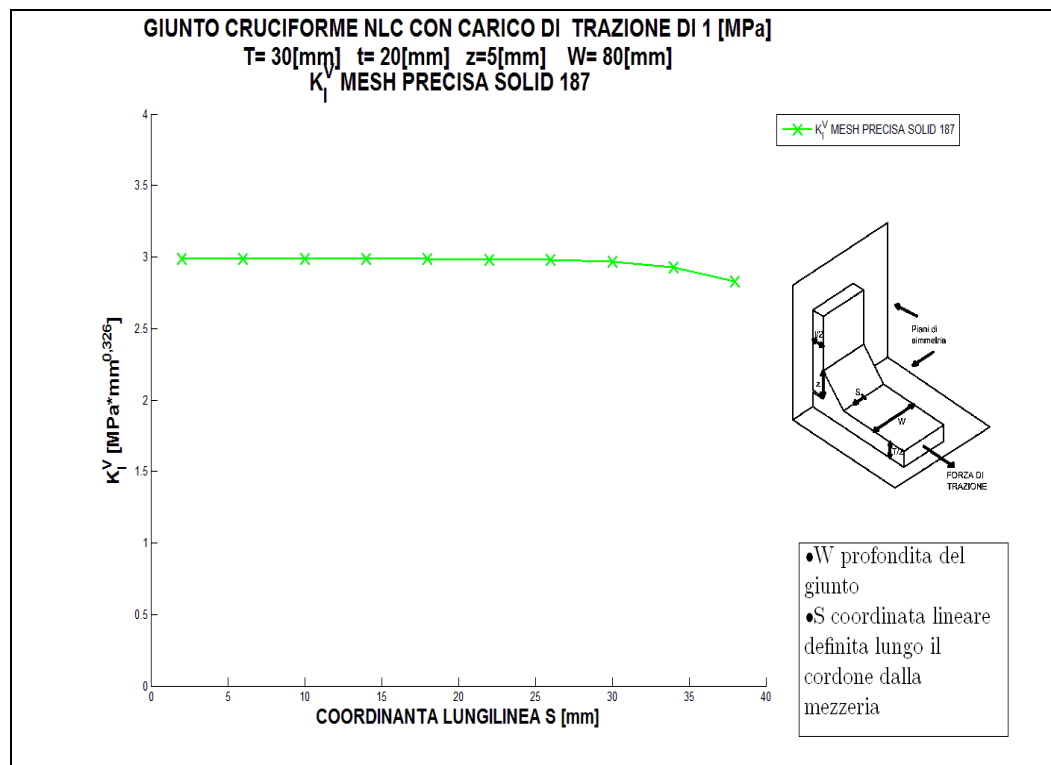


Figura 4.60: Plottaggio dei valori relative alla tabella 4.57

- Per il giunto con $T=10$ [mm], $t=20$ [mm] $z=5$ [mm] e $W=80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

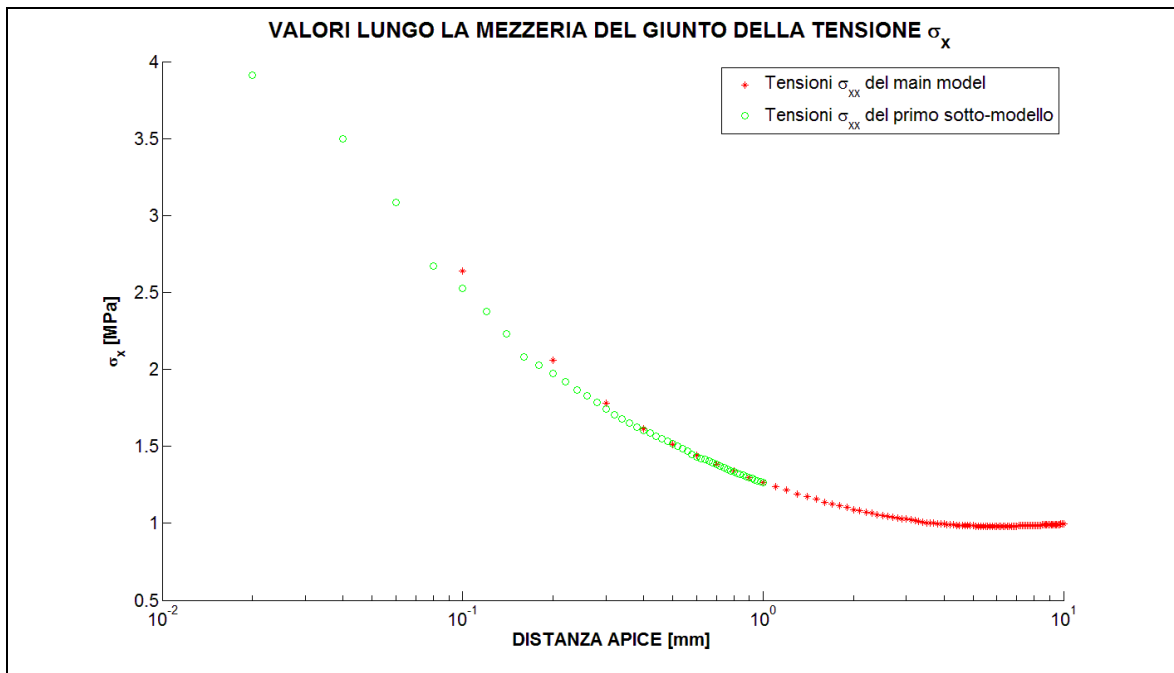


Figura 4.61: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamento nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria, alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della mezzeria:

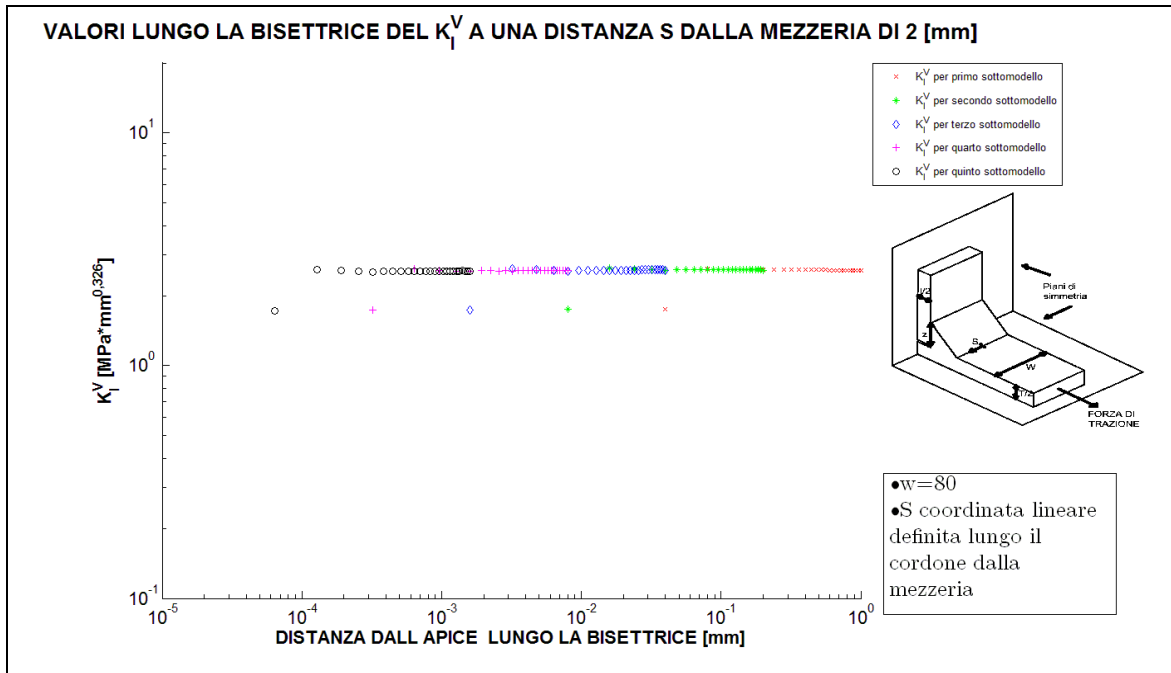


Figura 4.62: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,57 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

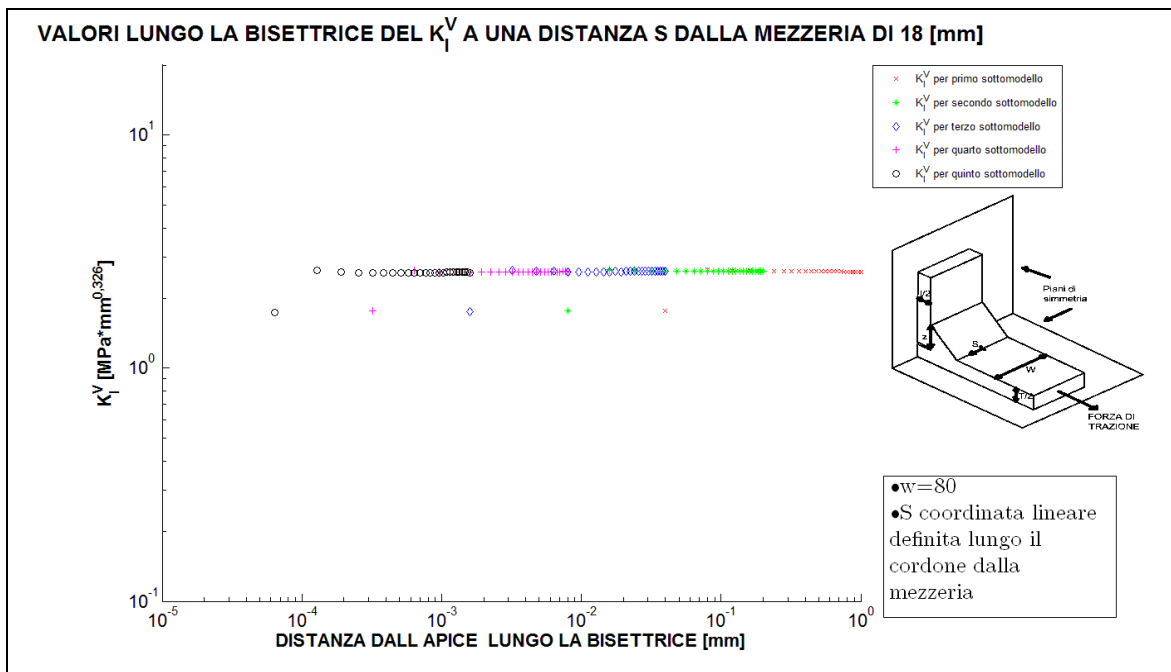


Figura 4.63: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,58 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità del bordo del giunto :

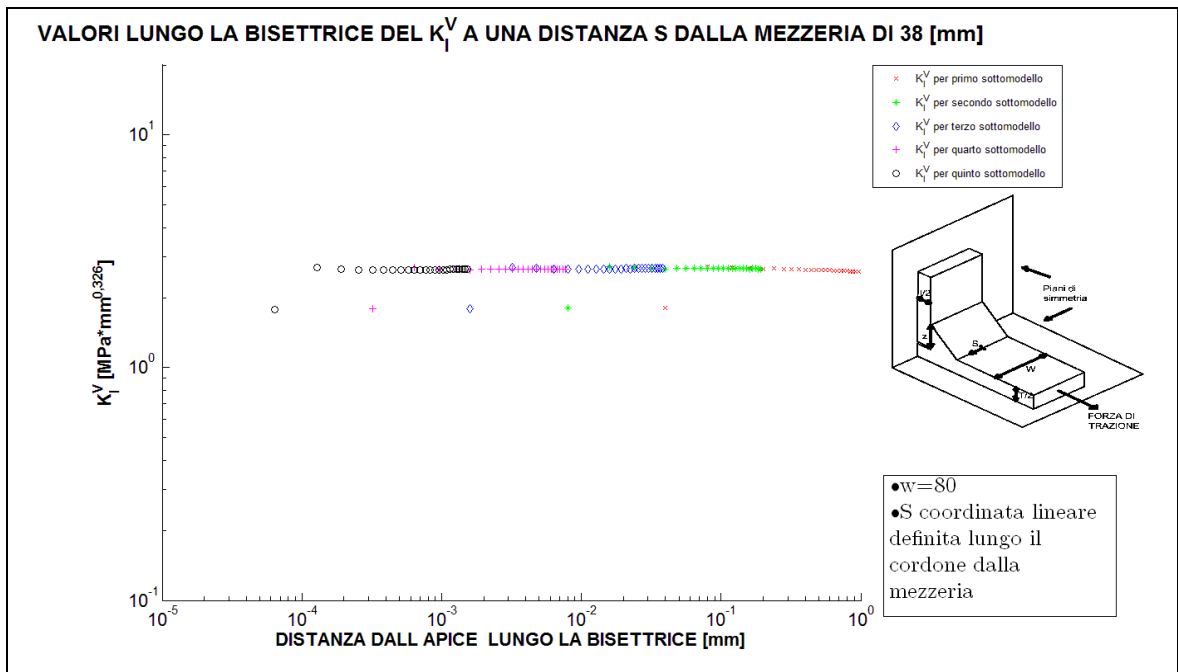


Figura 4.64: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,65 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della mezzeria:

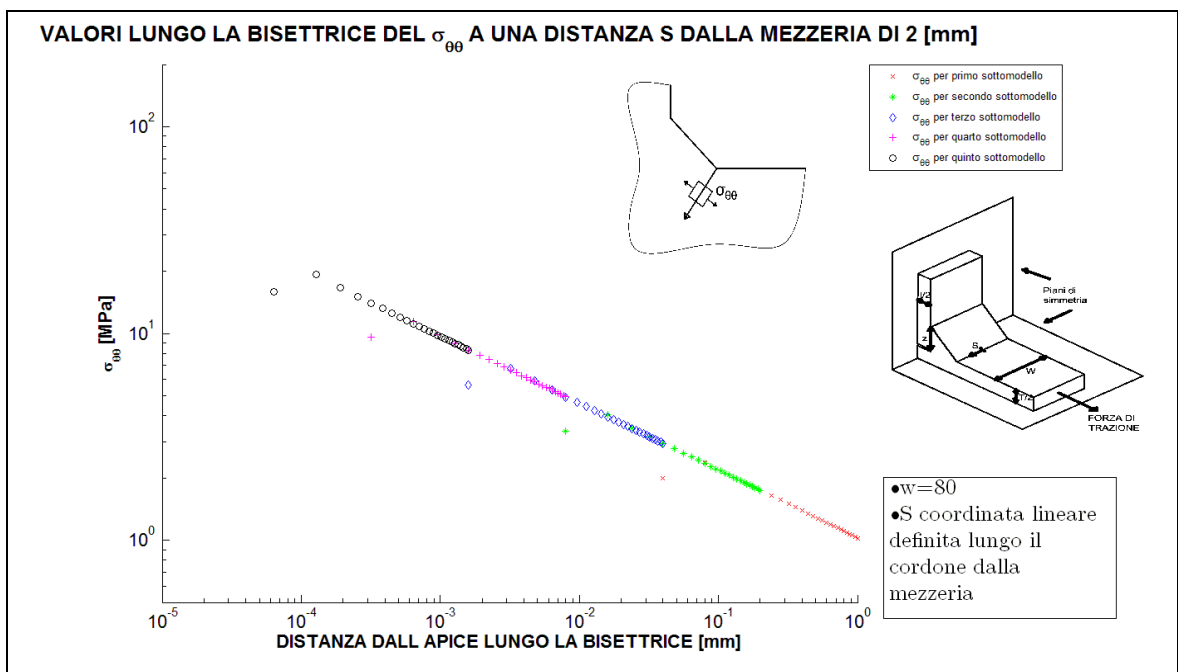


Figura 4.65: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

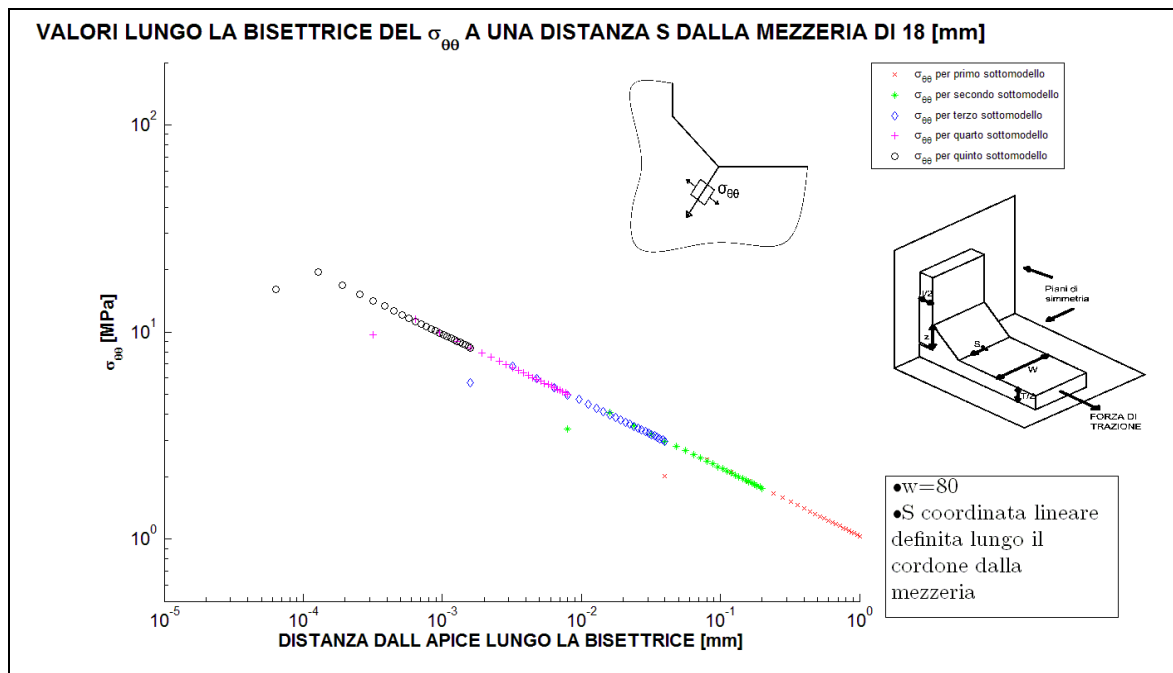


Figura 4.66: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità del bordo del giunto :

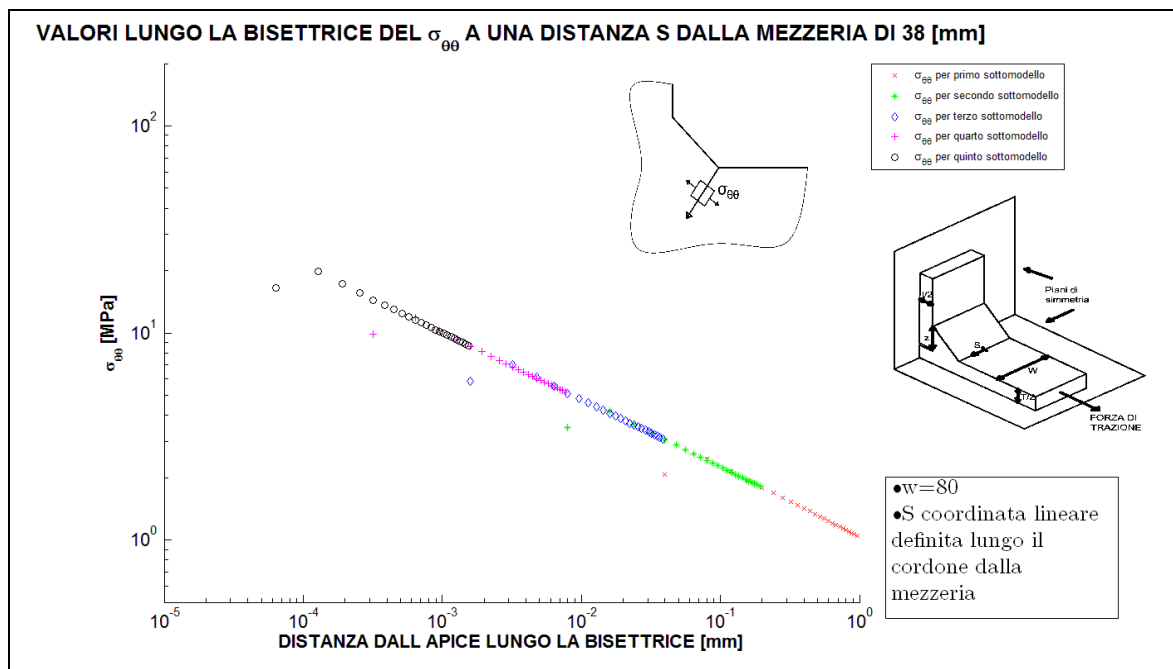


Figura 4.67: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.58 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.58 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione

VALORI K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO										
del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di trazione σ_0 di 1 [MPa]										
con $T=10$ [mm], $t=20$ [mm], $z=5$ [mm], $W=80$ [mm]										
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	2,57	2,57	2,57	2,57	2,58	2,6	2,62	2,63	2,67	2,65
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]						2,61				
<i>dalla simulazione bidimensionale precisa</i>										

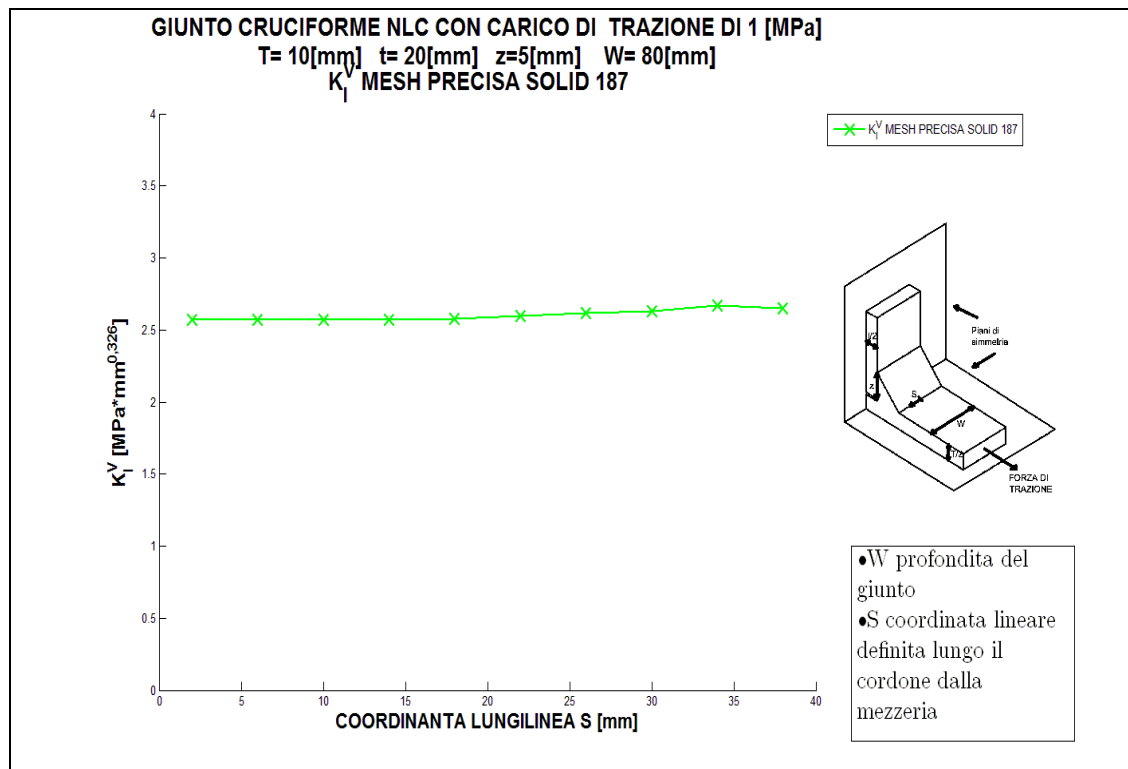


Figura 4.68: Plottaggio dei valori relativi alla tabella 4.58

4.4.2 Il giunti cruciforme NLC con carico di flessione e con l'uso del Solid 187

- Per il giunto con $T=100$ [mm], $t=20$ [mm] $z=10$ [mm] e $W=80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

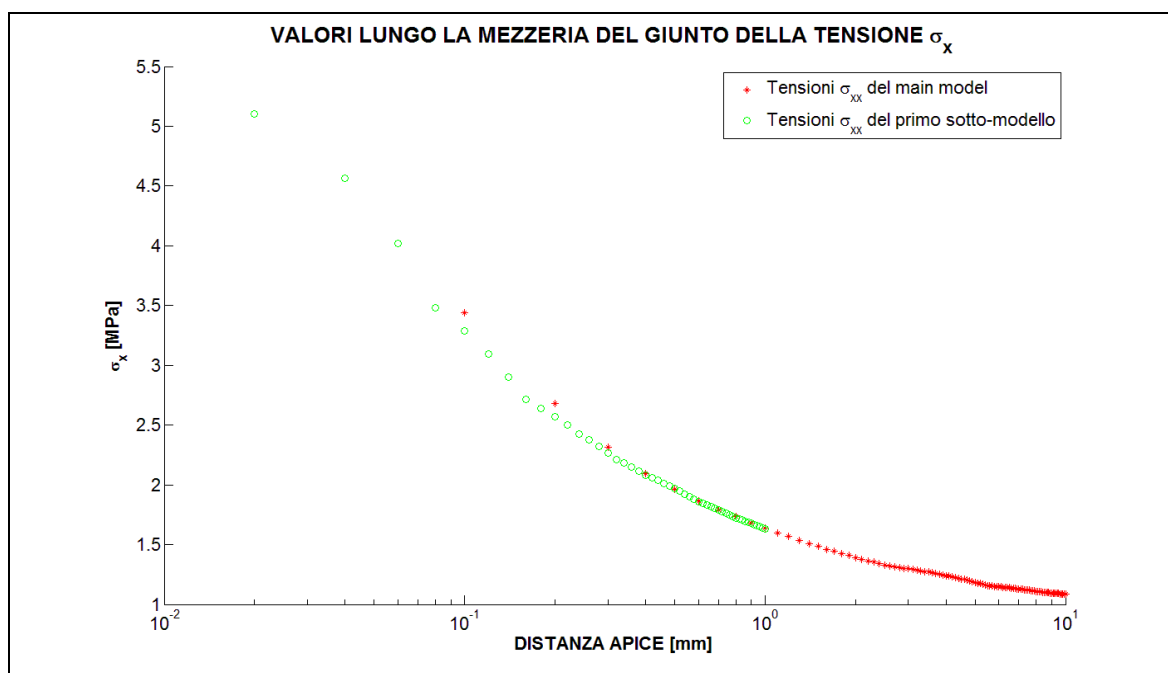


Figura 4.69: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamento nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria, alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della mezzeria:

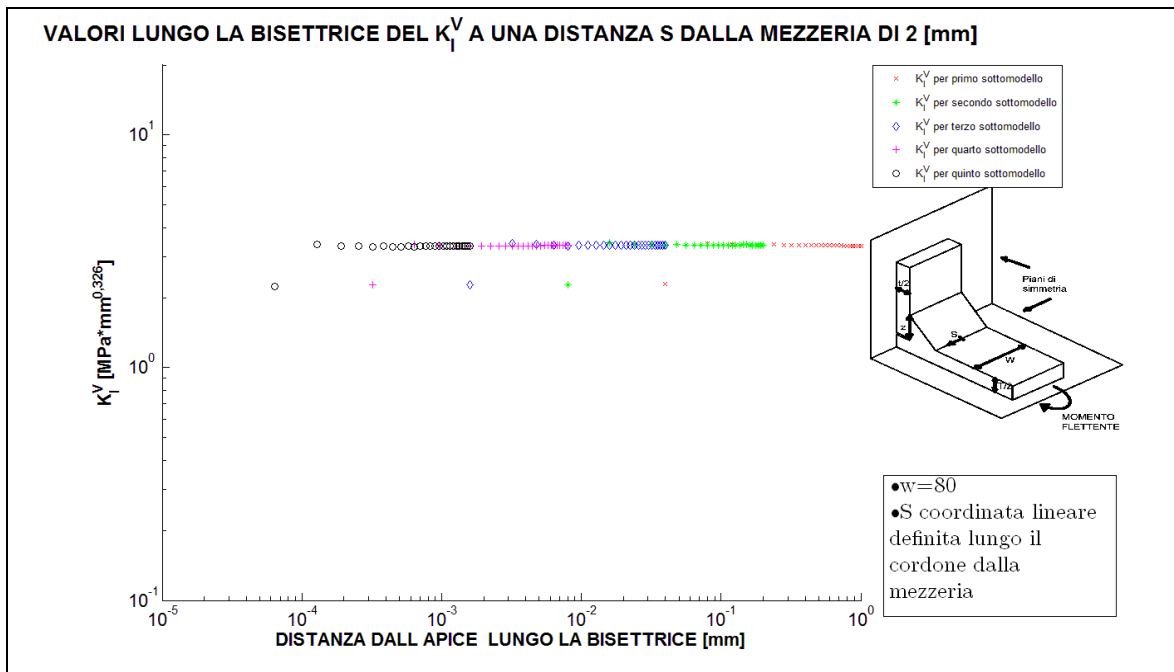


Figura 4.70: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,35 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

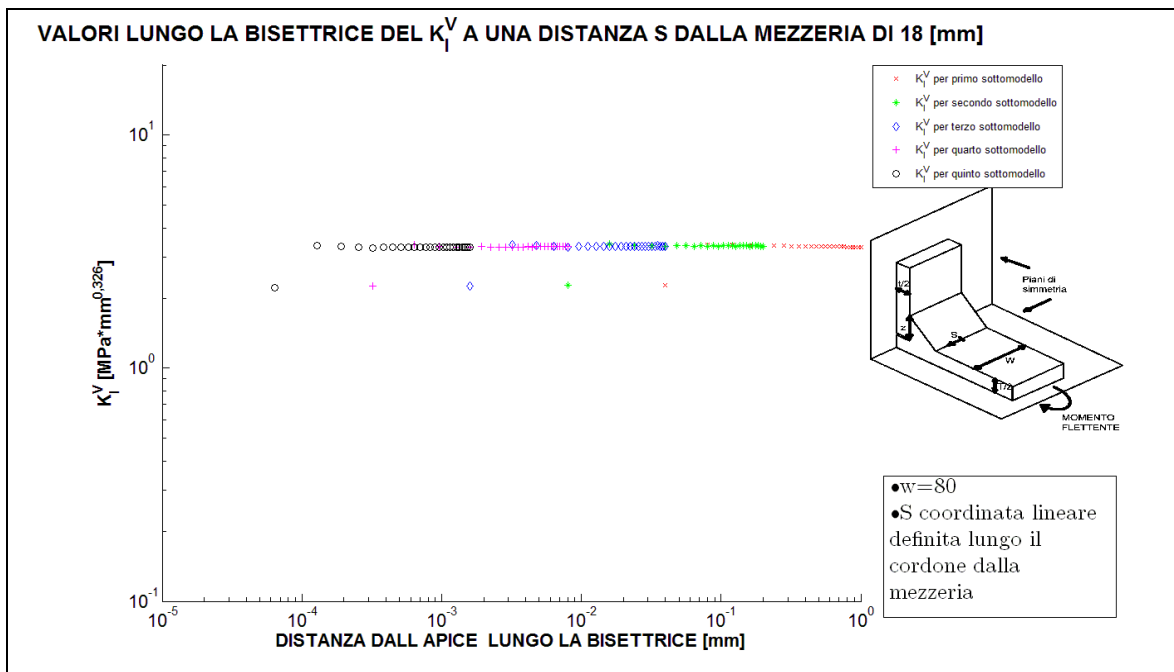


Figura 4.71: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,32 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità del bordo del giunto :

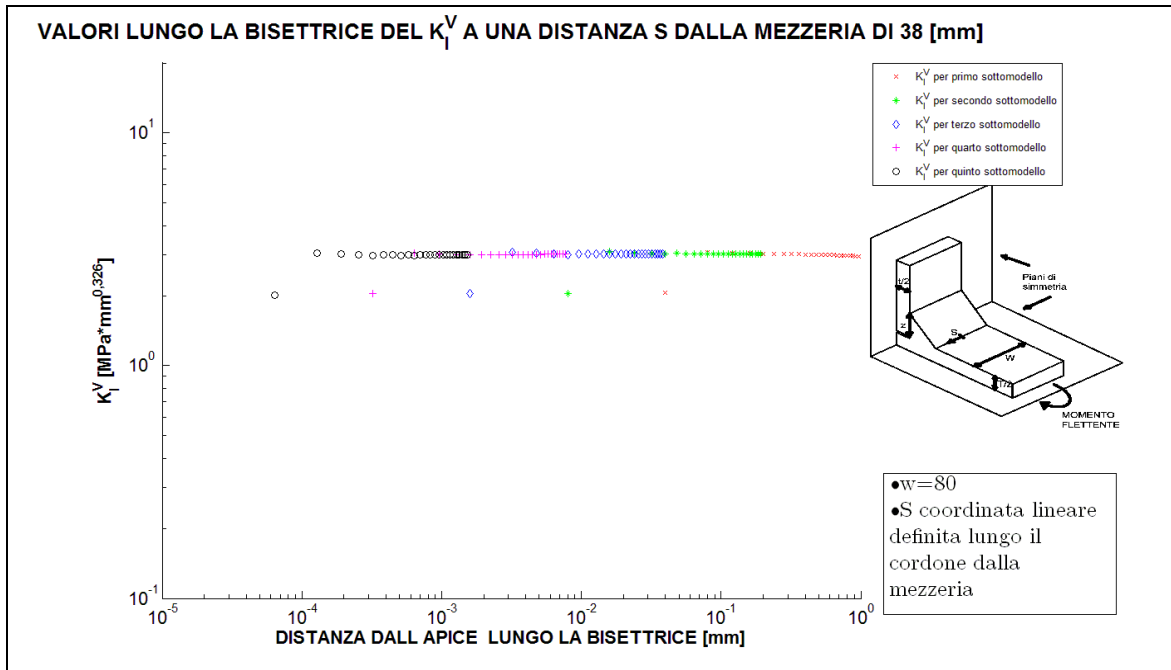


Figura 4.72: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,02 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della mezzeria:

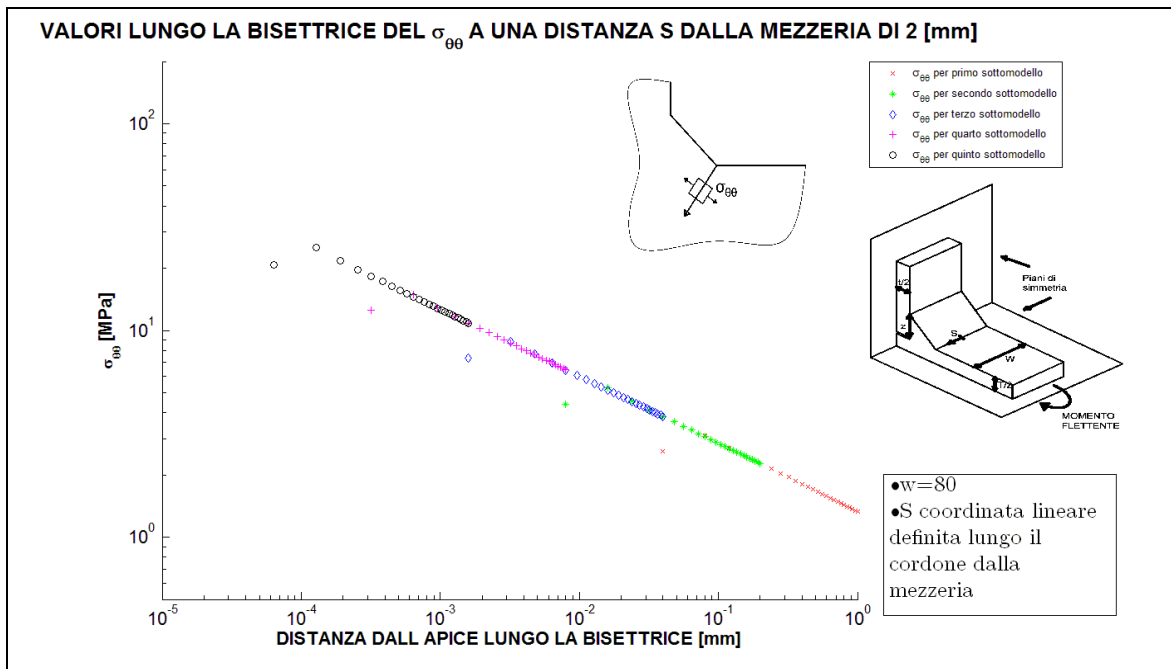


Figura 4.73: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

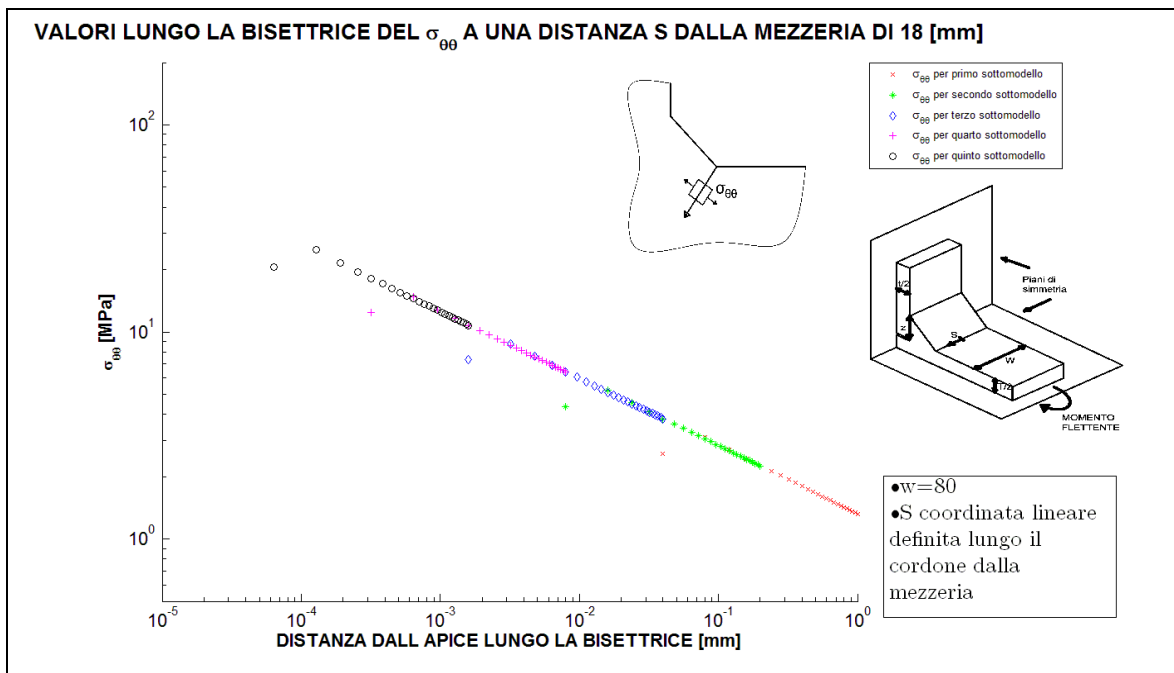


Figura 4.74: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità del bordo del giunto :

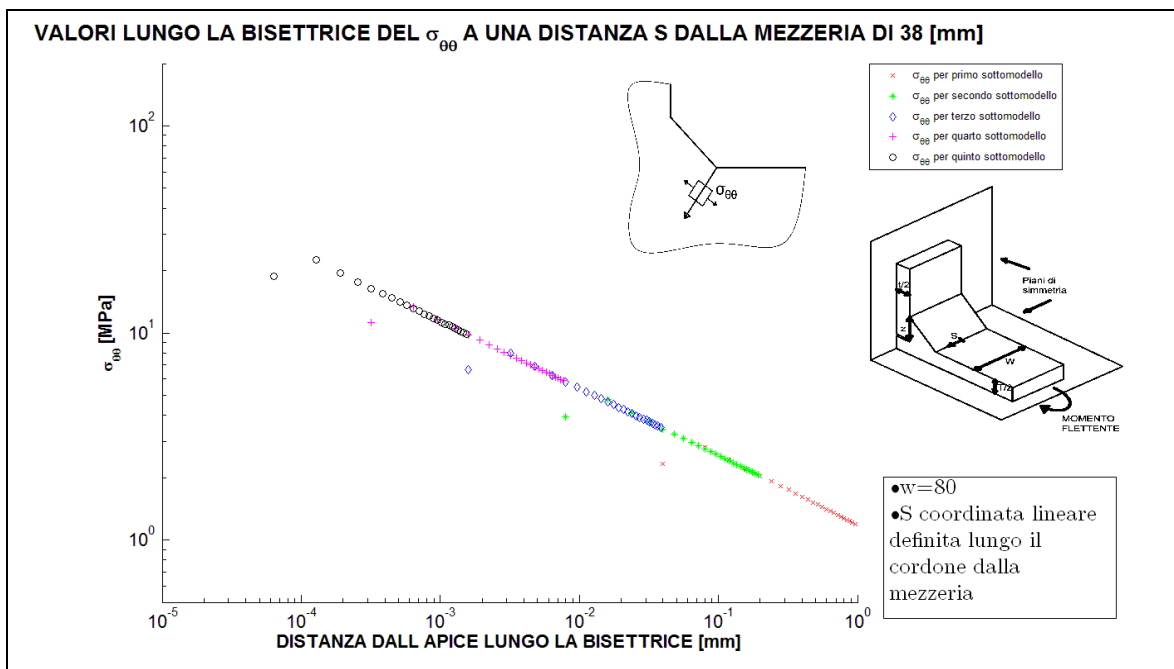


Figura 4.75: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.59 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.59 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione usando il Solid 187

VALORI K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di flessione σ_0 di 1 [MPa] con $T=100$ [mm], $t=20$ [mm], $z=10$ [mm], $W=80$ [mm]										
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	3,35	3,35	3,34	3,33	3,32	3,31	3,27	3,25	3,2	3,02
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] <i>dalla simulazione bidimensionale precisa</i>						3,26				

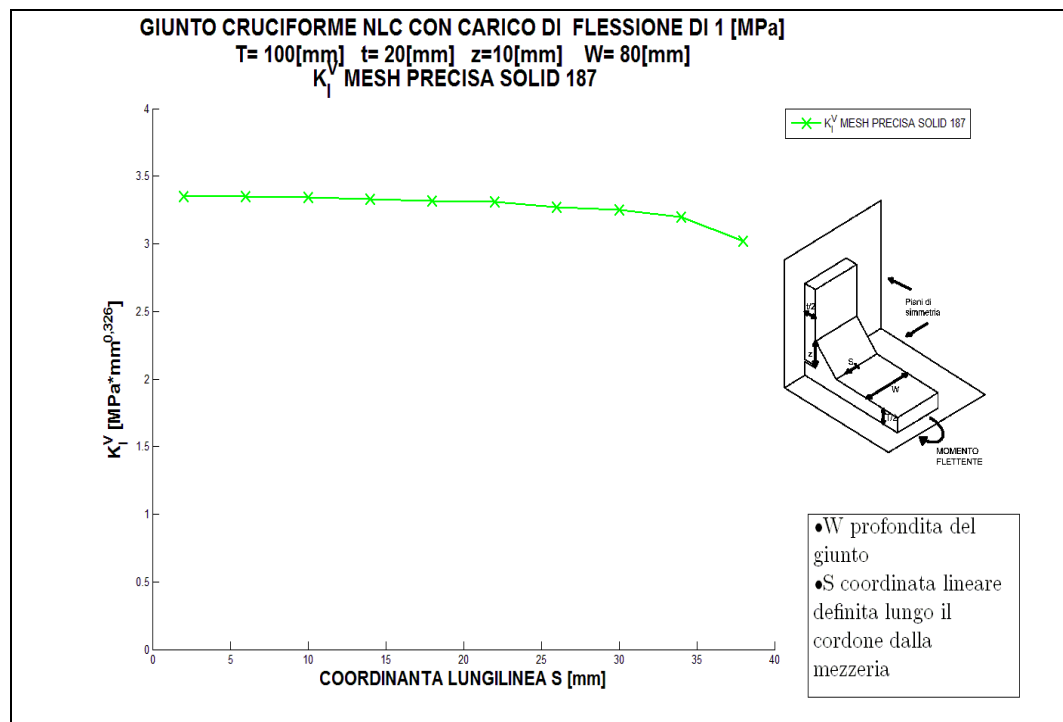


Figura 4.76: Plottaggio dei valori relativi alla tabella 4.59

- Per il giunto con $T=50$ [mm], $t=20$ [mm] $z=10$ [mm] e $W=80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

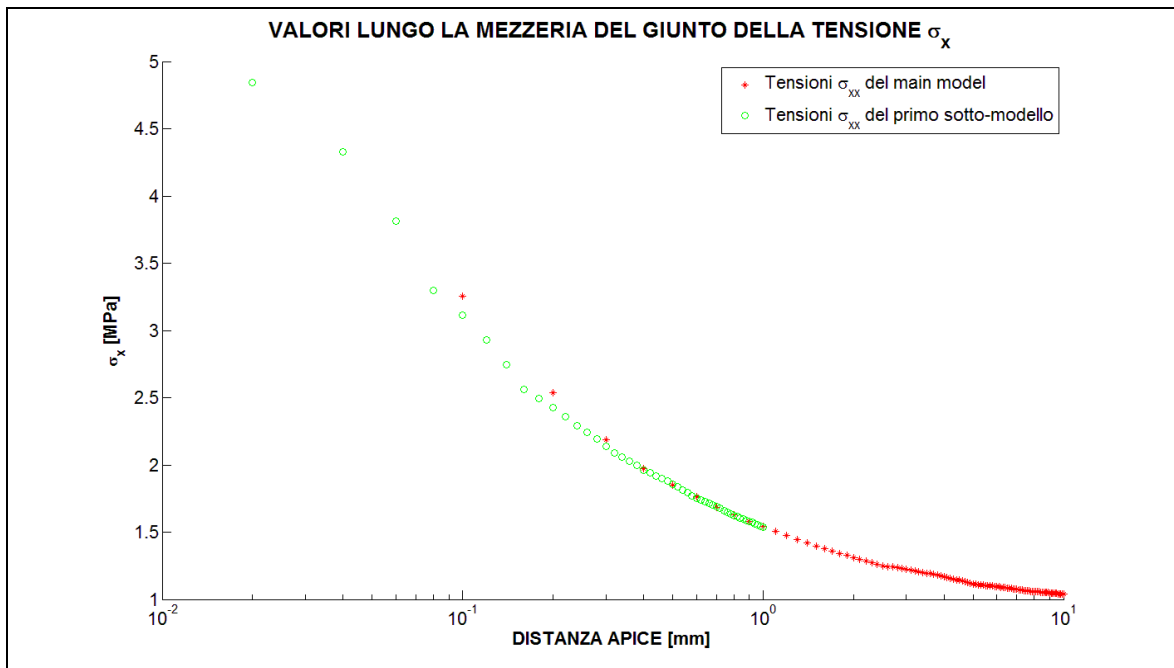


Figura 4.77: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamento nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria, alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della mezzeria:

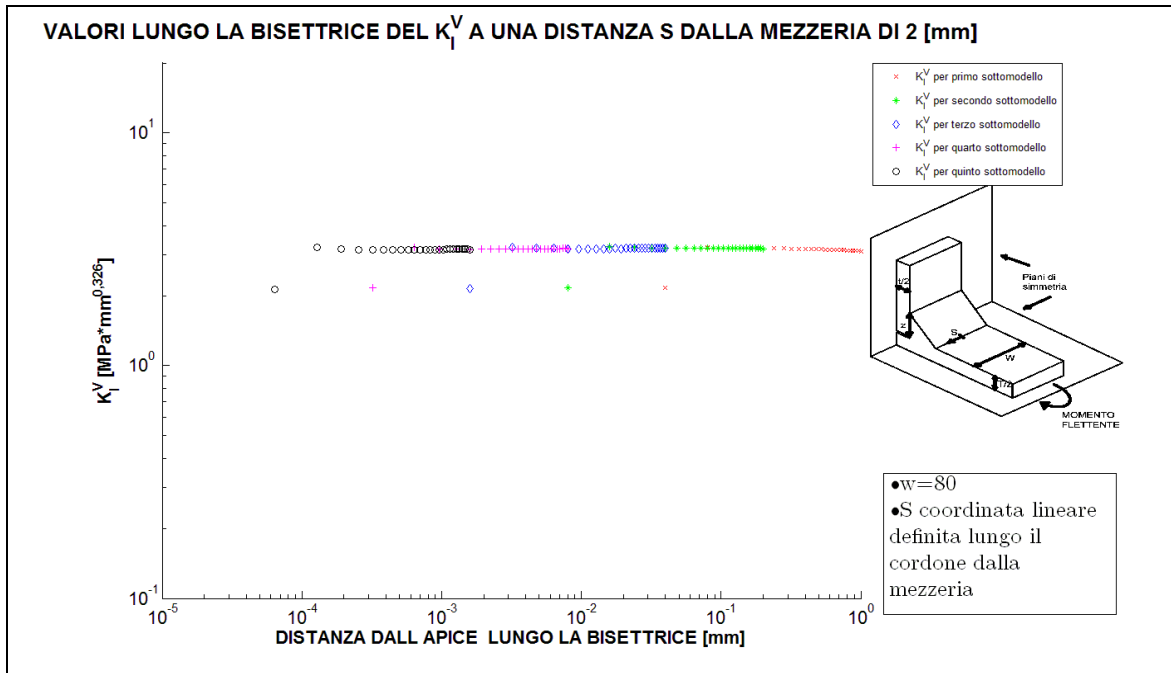


Figura 4.78: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,18 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

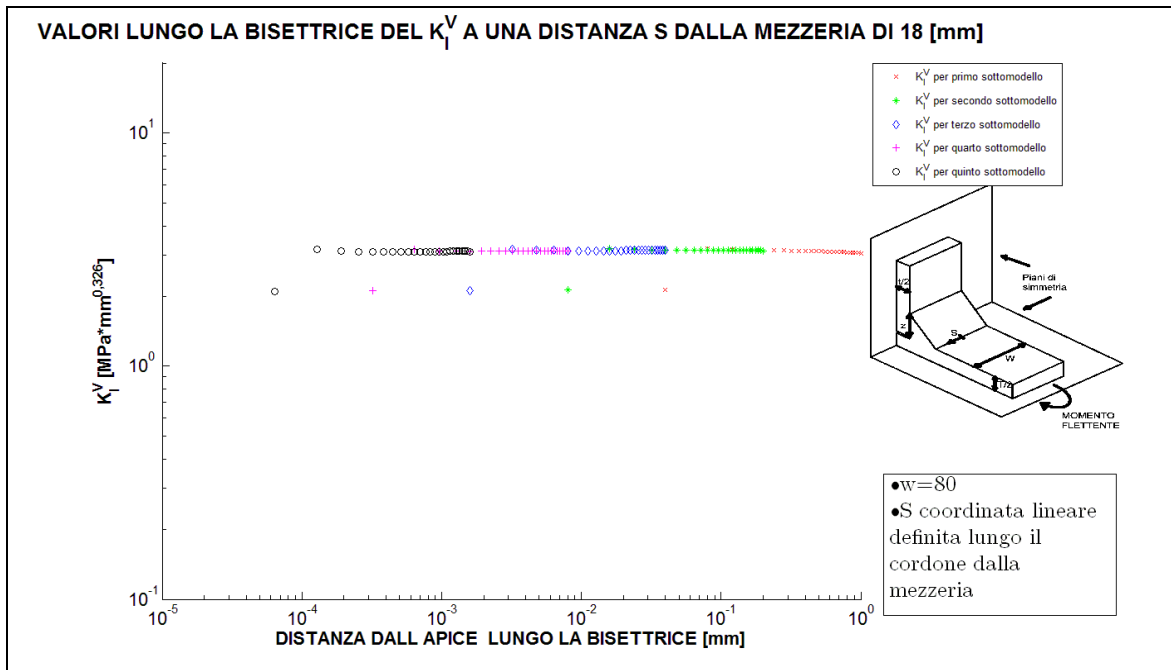


Figura 4.79: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,12 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità del bordo del giunto :

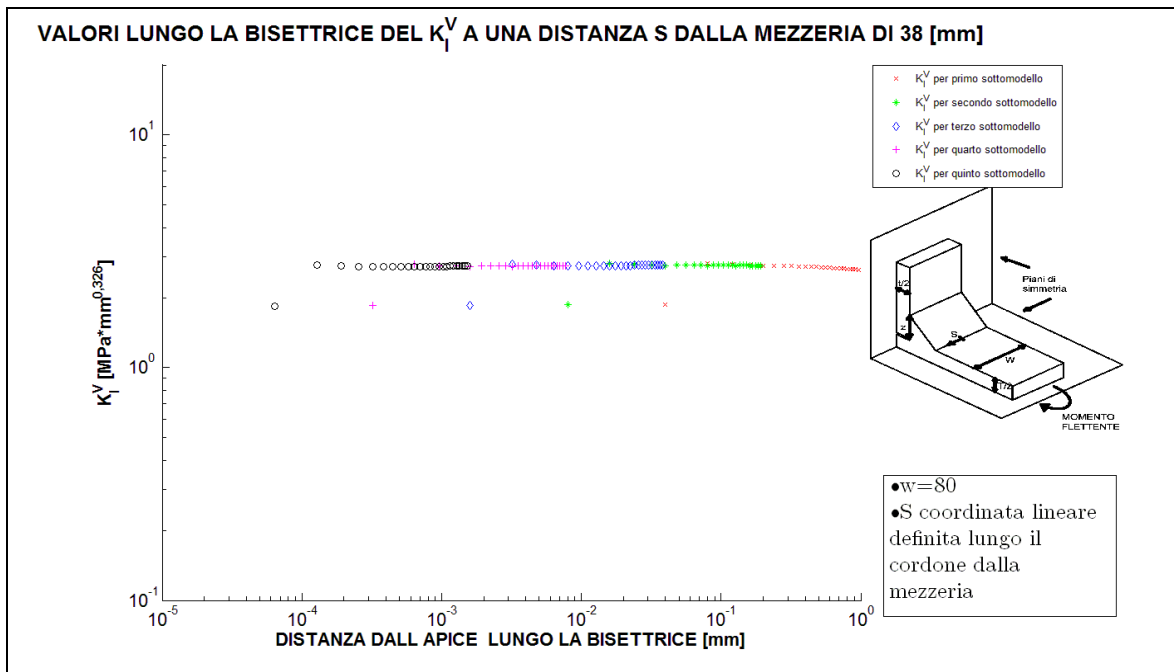


Figura 4.80: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,73 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della mezzeria:

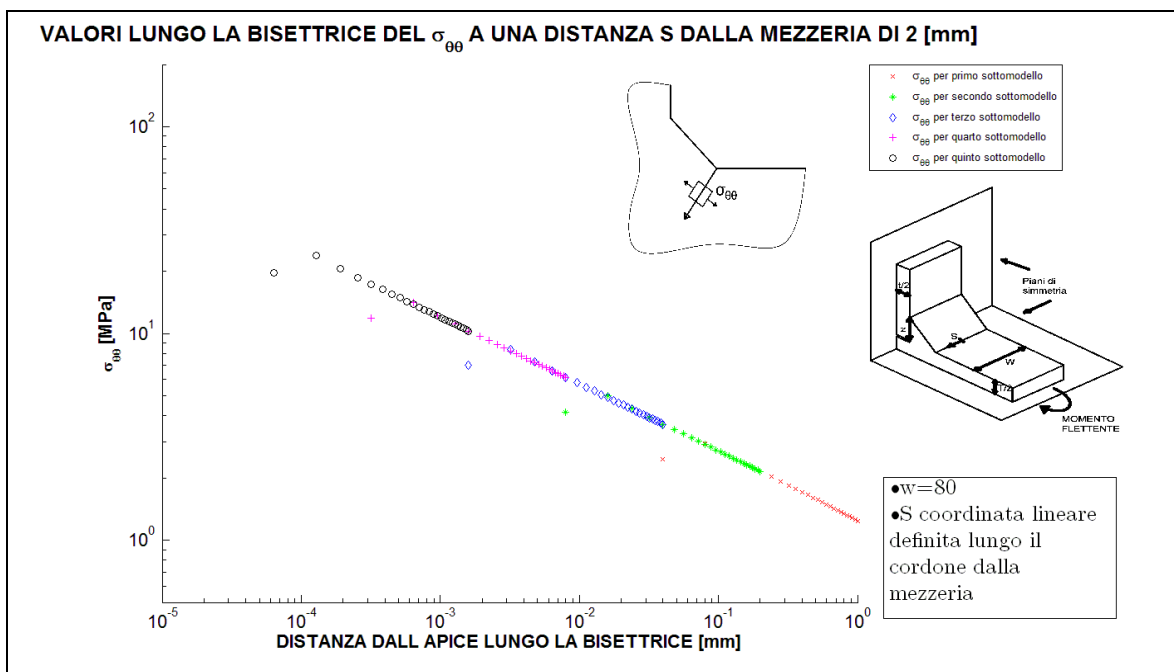


Figura 4.81: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

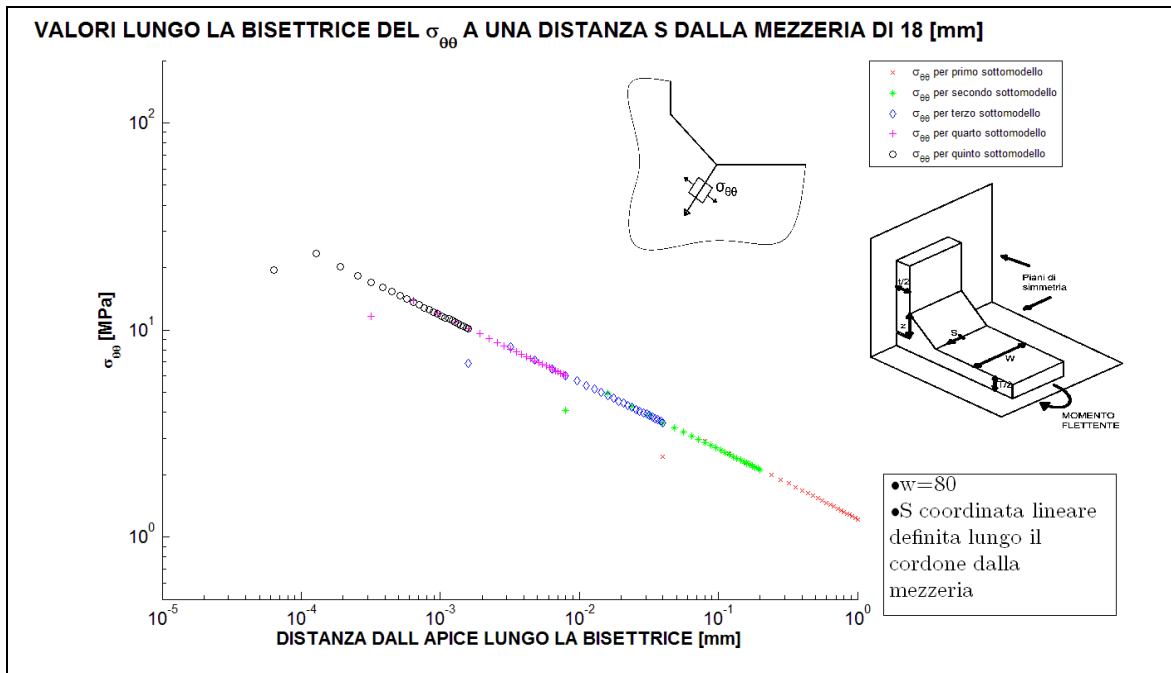


Figura 4.82: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità del bordo del giunto :

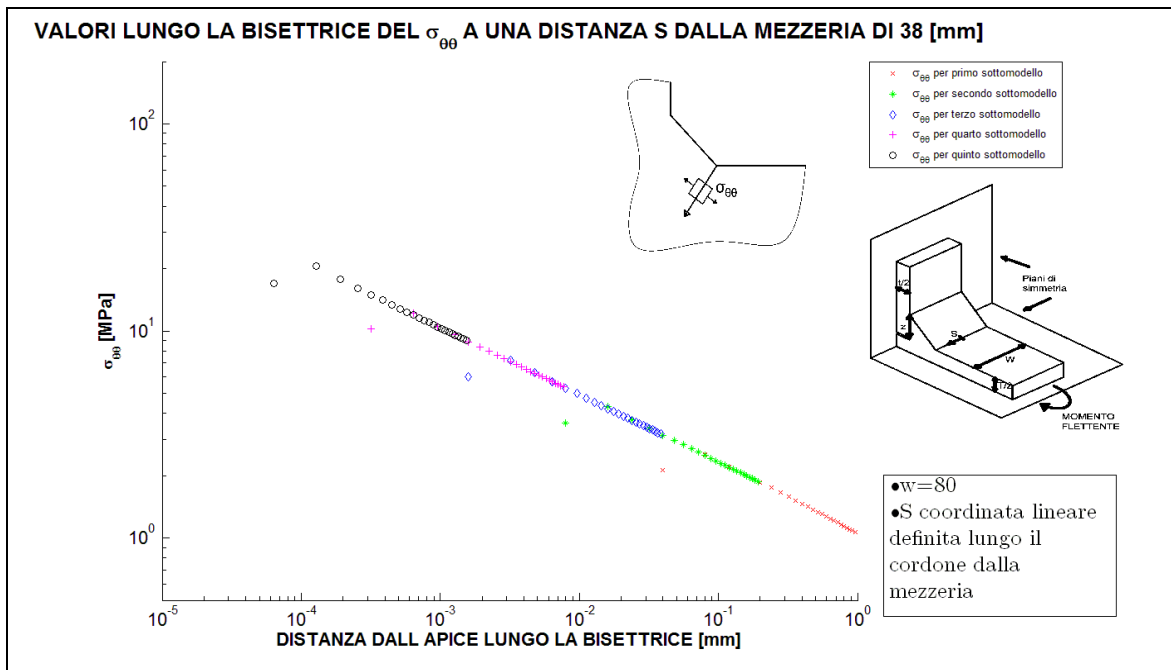


Figura 4.83: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.60 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.60 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione usando i Solid 187

VALORI K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di flessione σ_0 di 1 [MPa] con $T=50$ [mm], $t=20$ [mm], $z=10$ [mm], $W=80$ [mm]										
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$]	3,18	3,18	3,17	3,15	3,12	3,08	3,06	3,01	2,97	2,73
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$] dalla simulazione bidimensionale precisa						3,05				

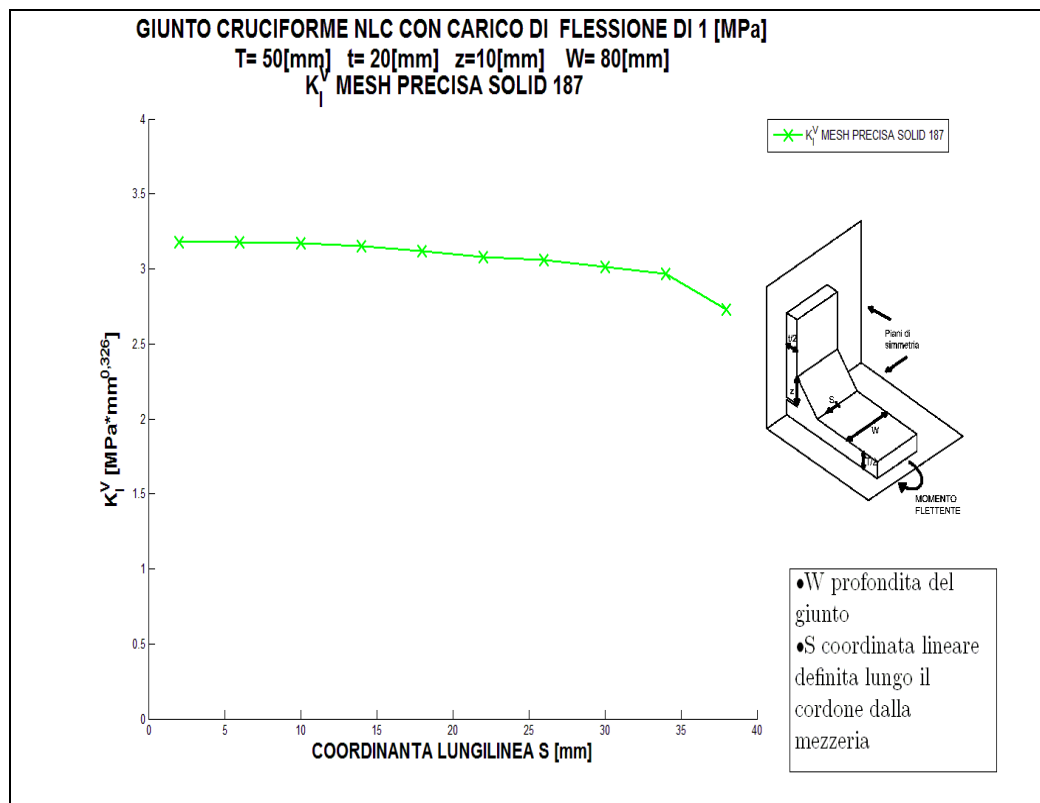


Figura 4.84: Plottaggio dei valori relativi alla tabella 4.60

- Per il giunto con $T=30$ [mm], $t=20$ [mm] $z=5$ [mm] e $W=80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

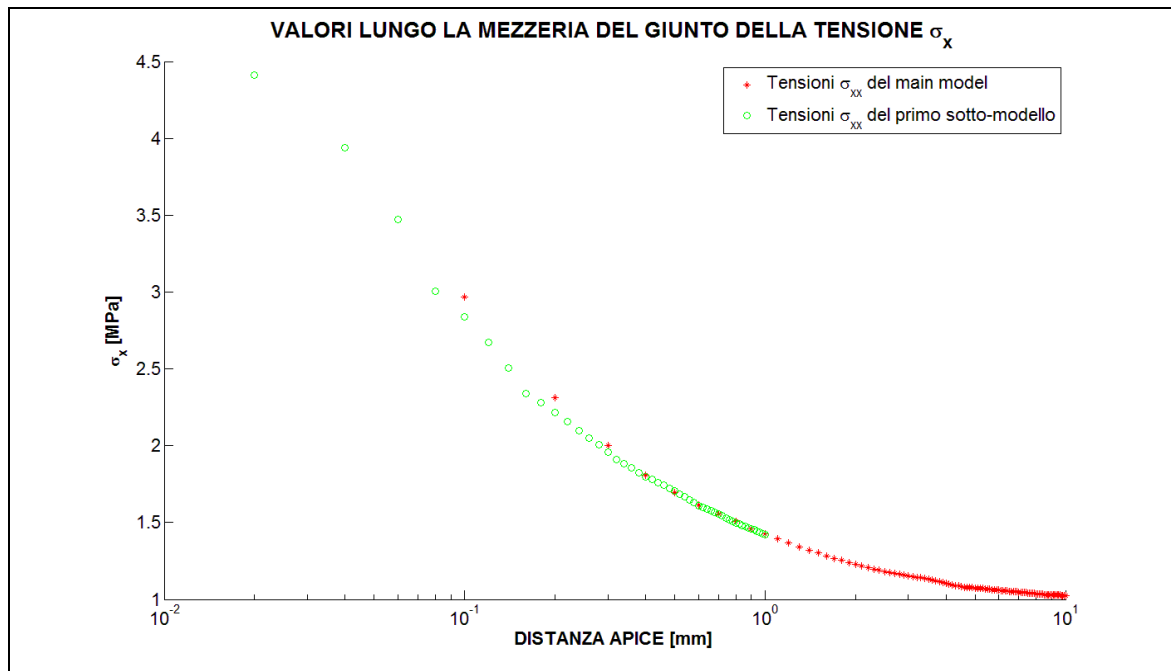


Figura 4.85: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamenti nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria, alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della mezzeria:

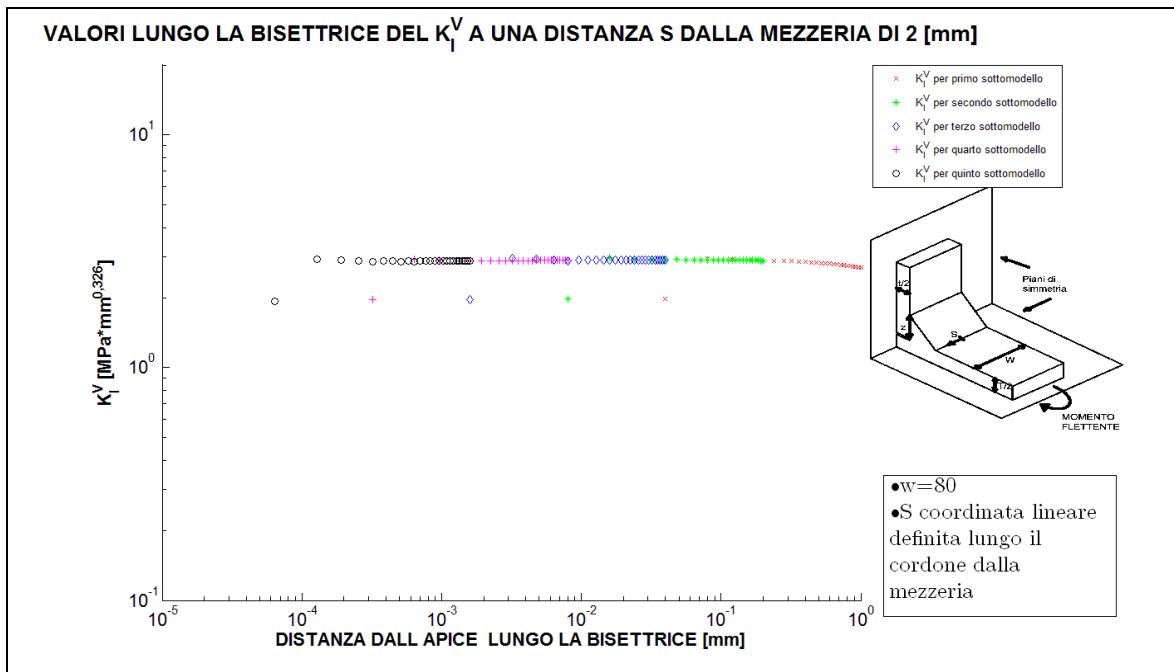


Figura 4.86: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,88 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

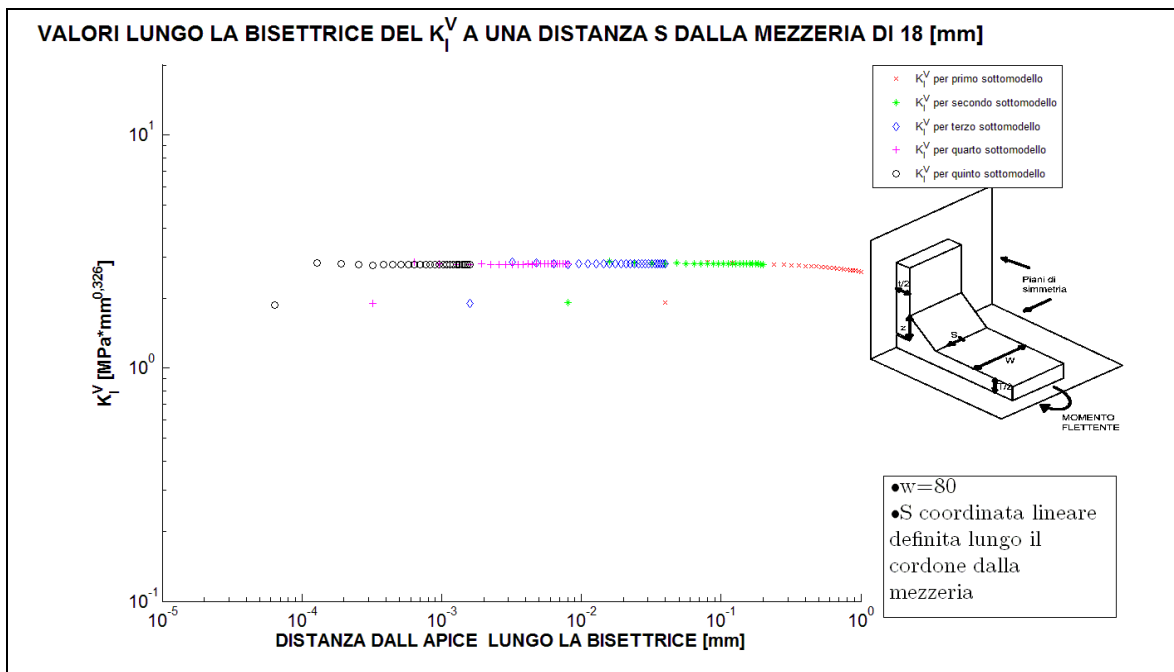


Figura 4.87: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,80 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità del bordo del giunto :

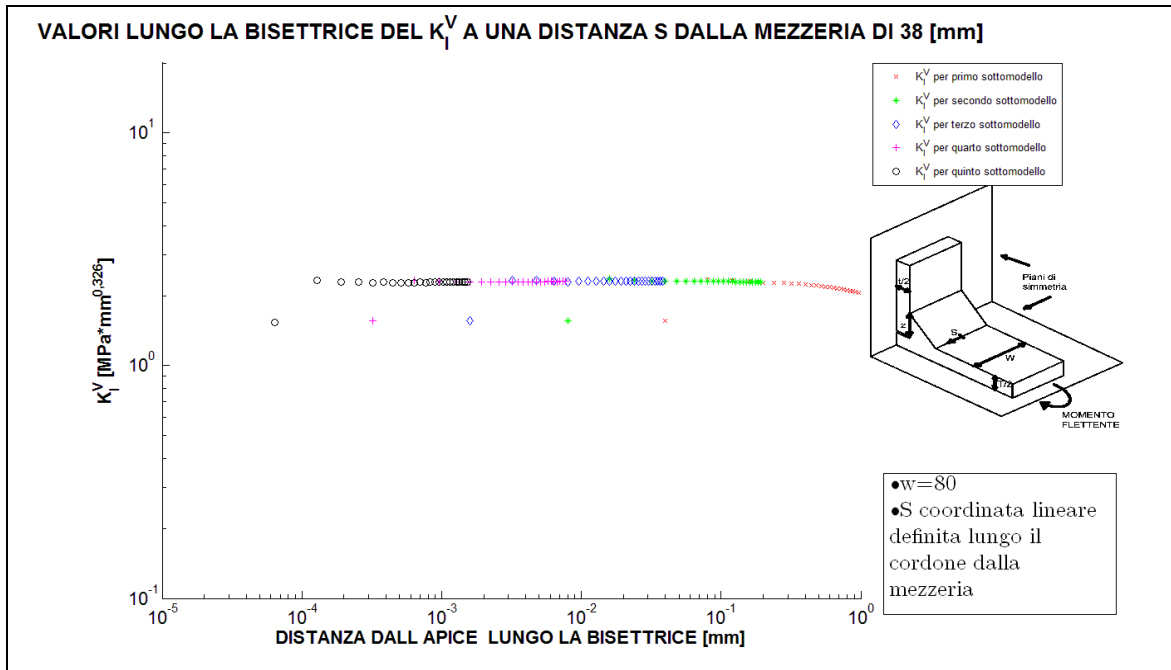


Figura 4.88: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,29 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della mezzeria:

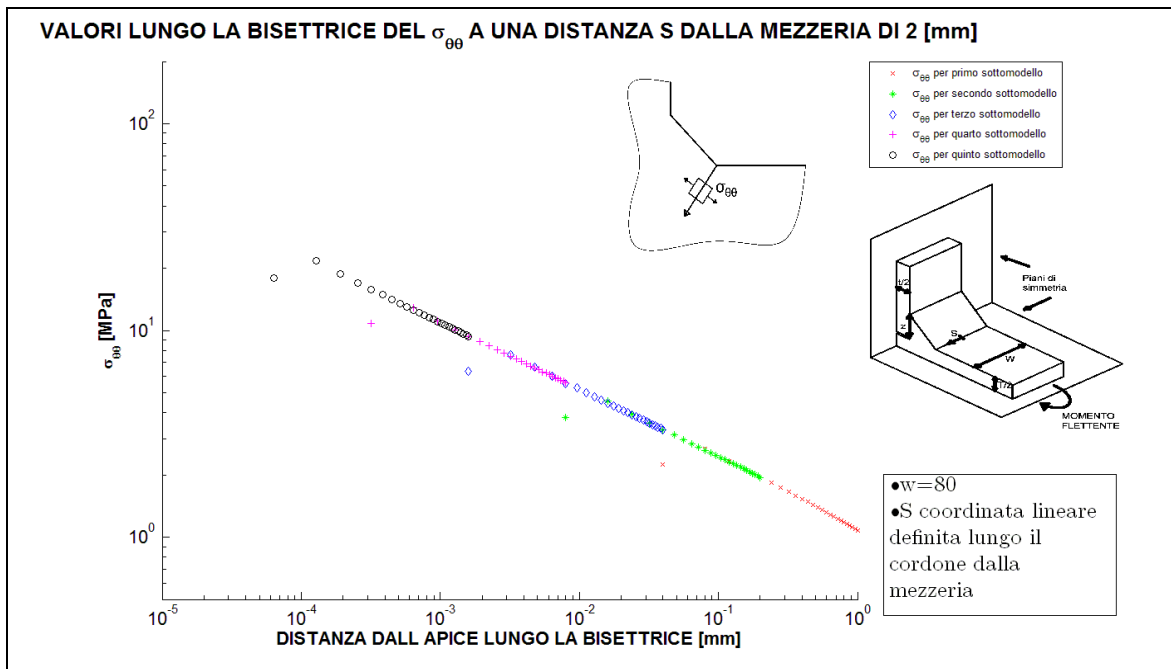


Figura 4.89: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

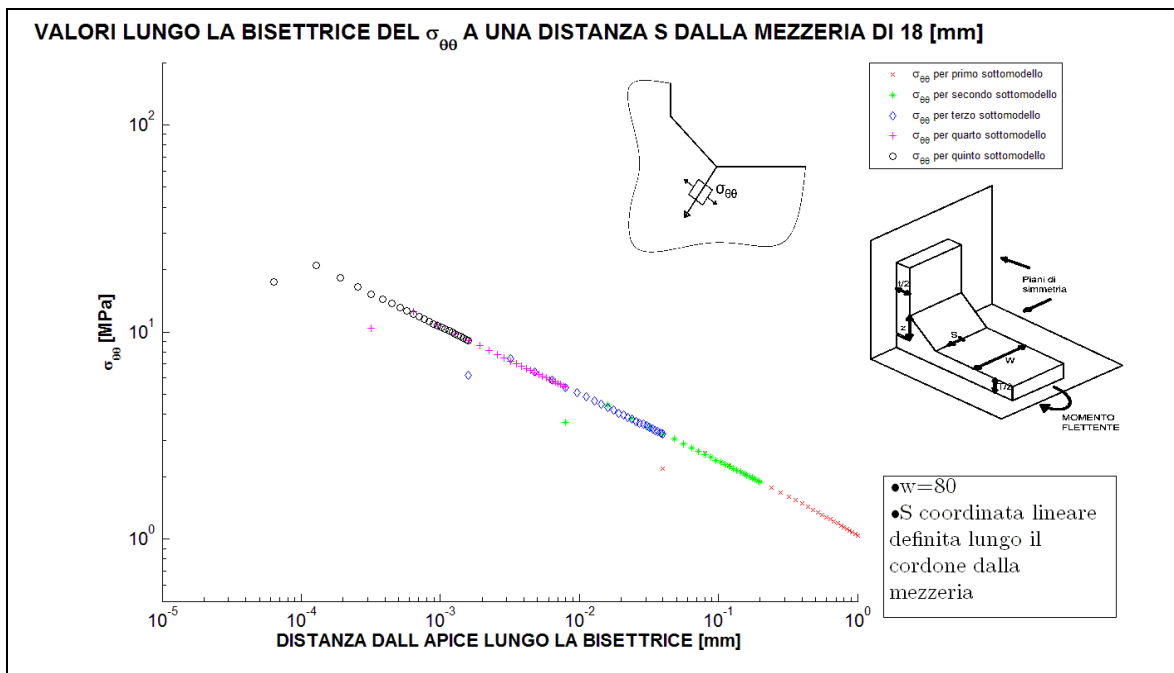


Figura 4.90: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità del bordo del giunto :

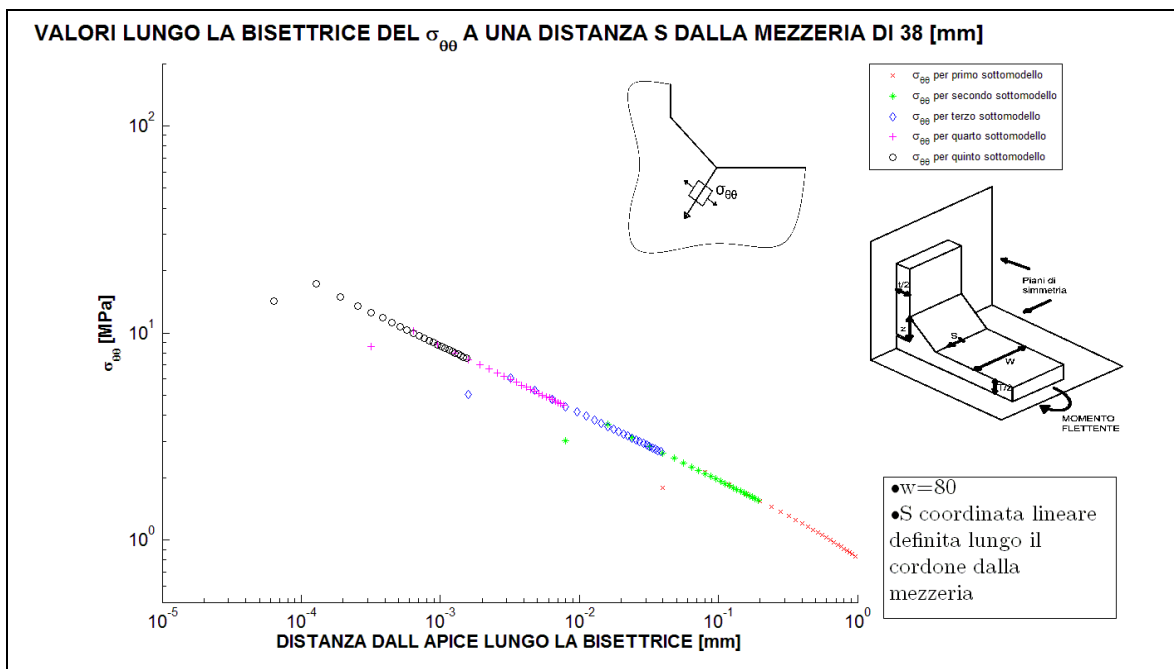


Figura 4.91: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.61 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.61 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione

VALORI K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di flessione σ_0 di 1 [MPa] con $T=30$ [mm], $t=20$ [mm], $z=5$ [mm], $W=80$ [mm]										
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	2,88	2,88	2,86	2,83	2,8	2,75	2,68	2,61	2,49	2,29
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] <i>dalla simulazione bidimensionale precisa</i>							2,71			

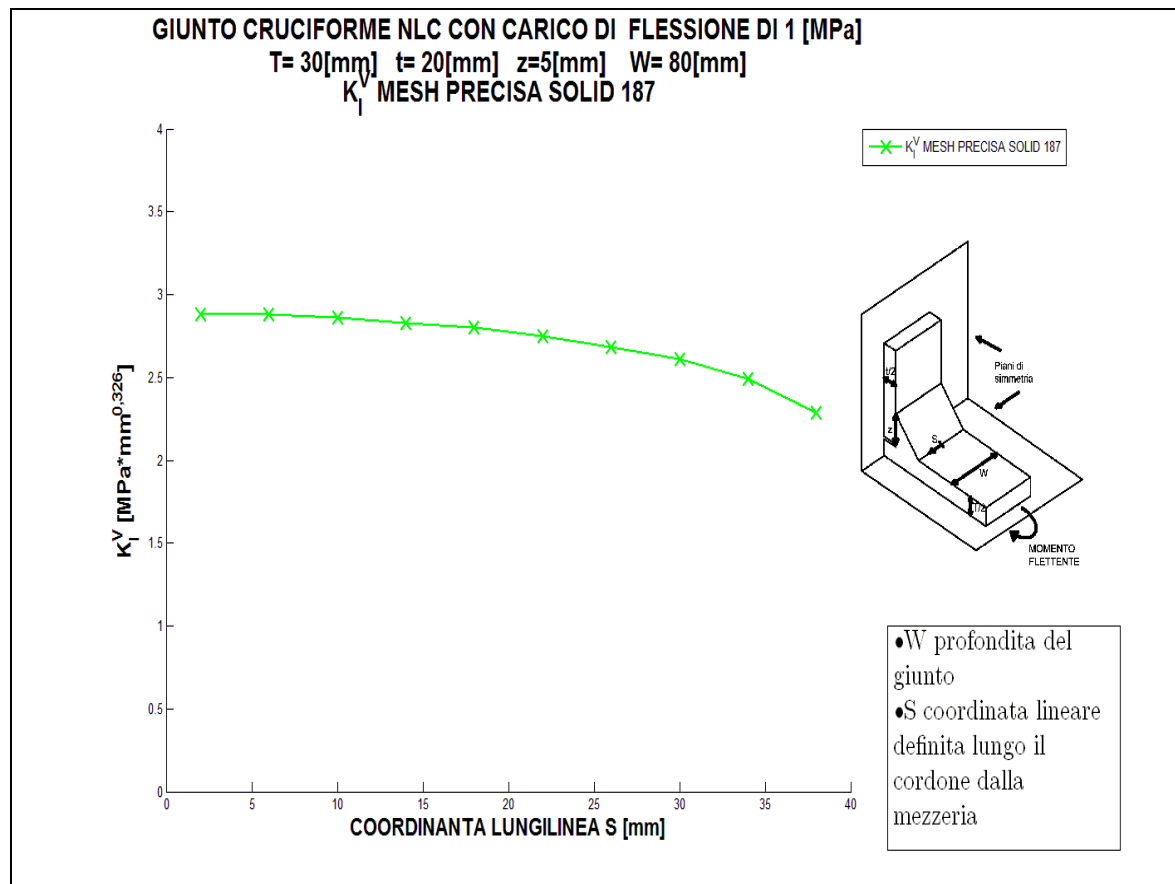


Figura 4.92: Plottaggio dei valori relativi alla tabella 4.61

- Per il giunto con $T=10$ [mm], $t=20$ [mm] $z=5$ [mm] e $W = 80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

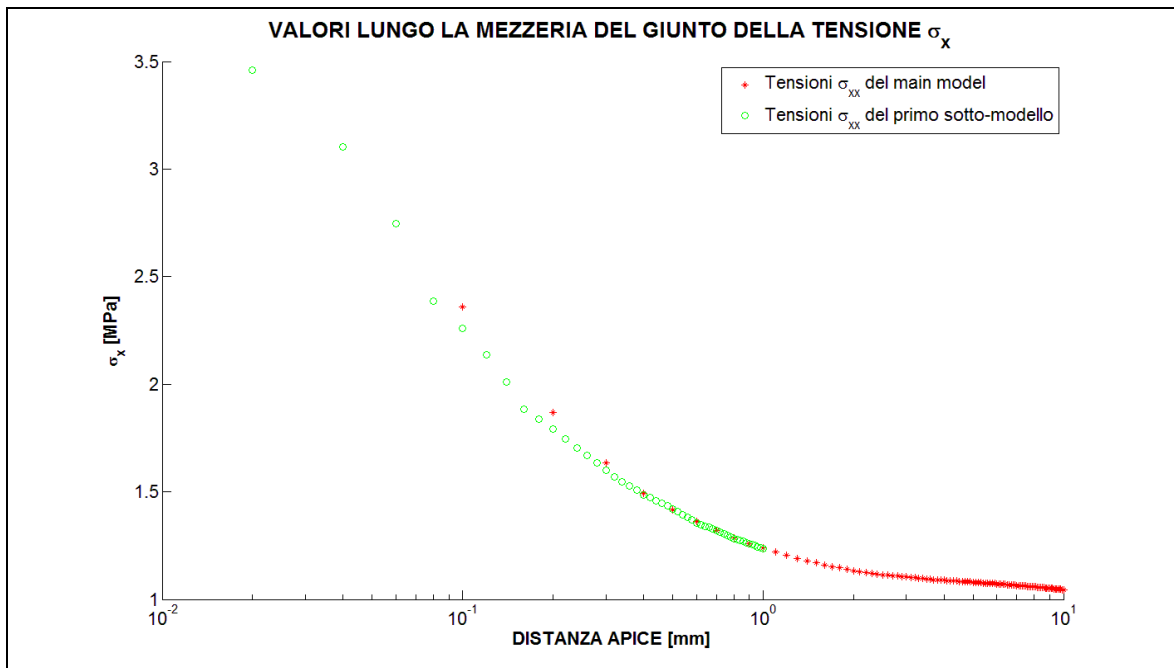


Figura 4.93: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamento nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria , alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della mezzeria:

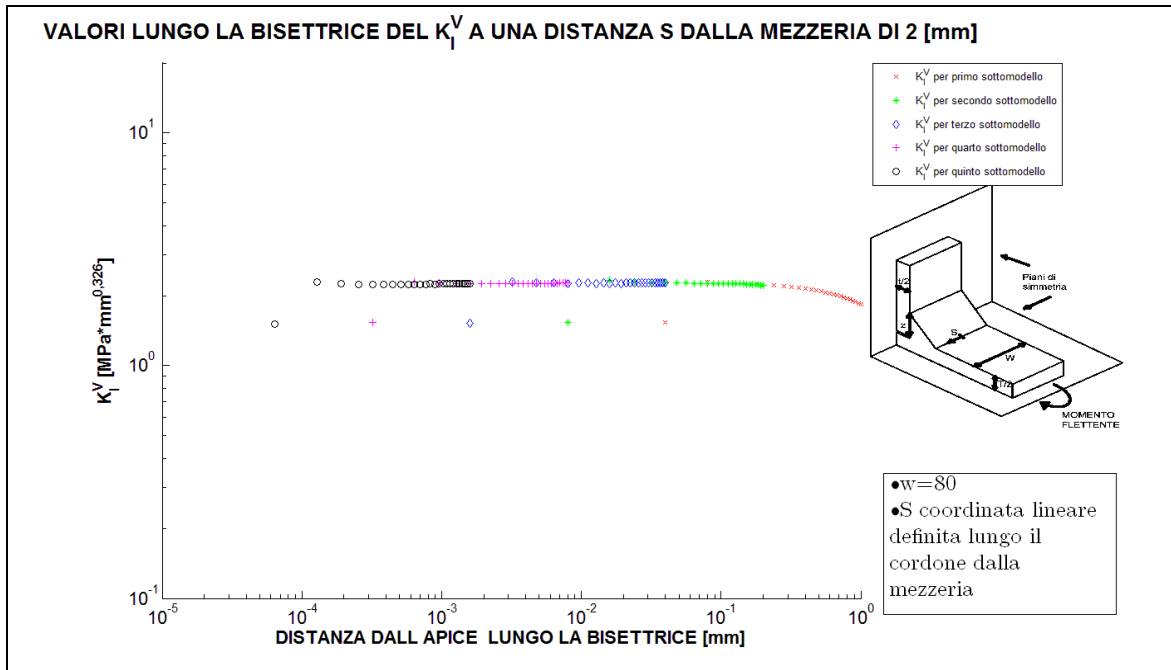


Figura 4.94: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,26 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

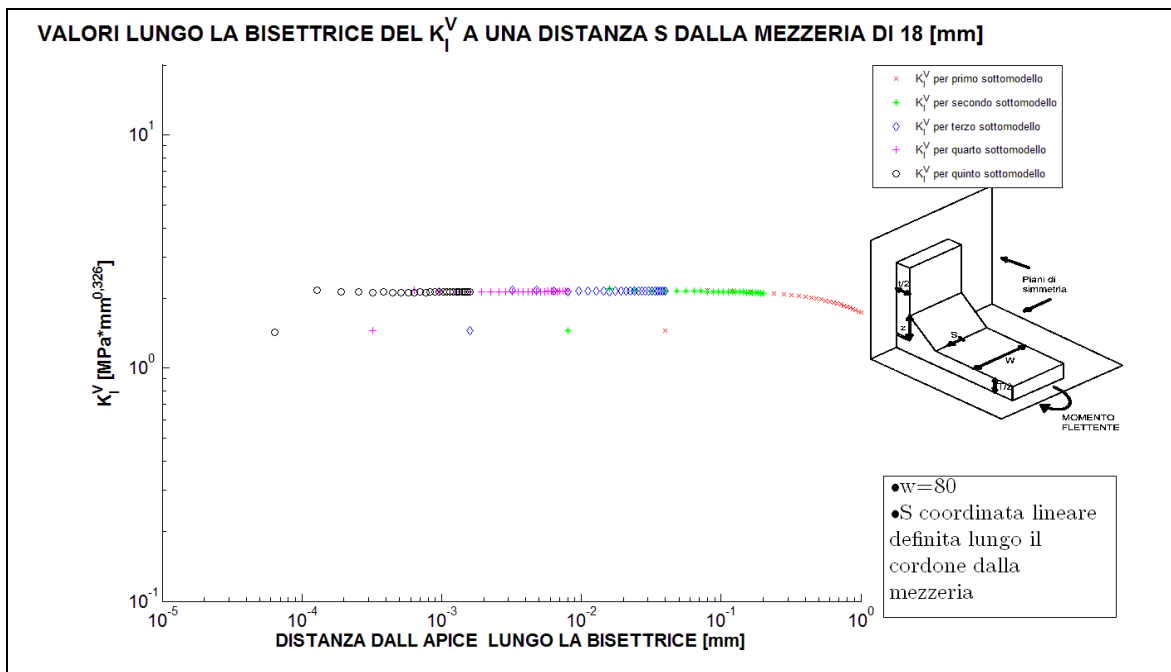


Figura 4.95: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,13 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V in prossimità del bordo del giunto :

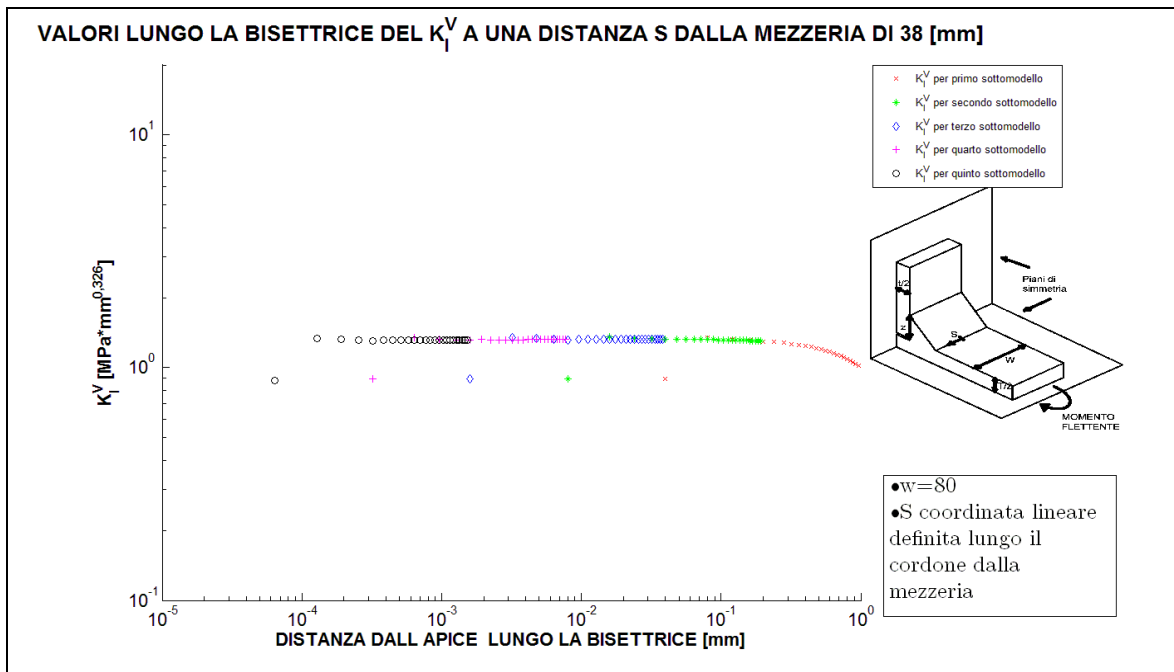


Figura 4.96: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 1,32 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della mezzeria:

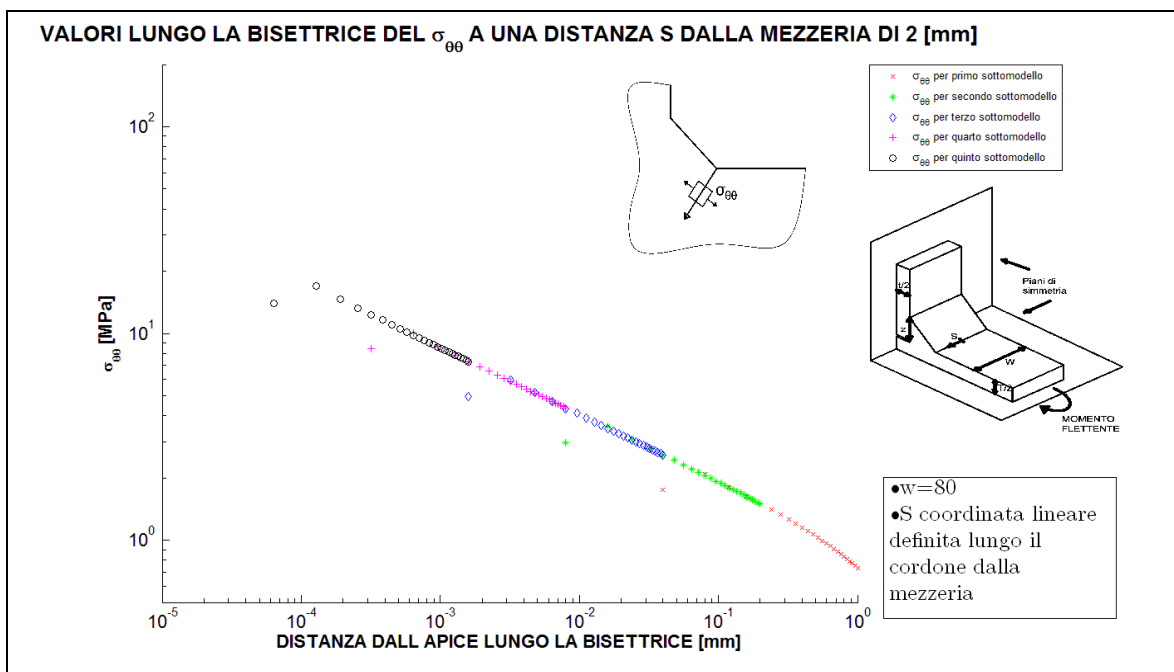


Figura 4.97: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto:

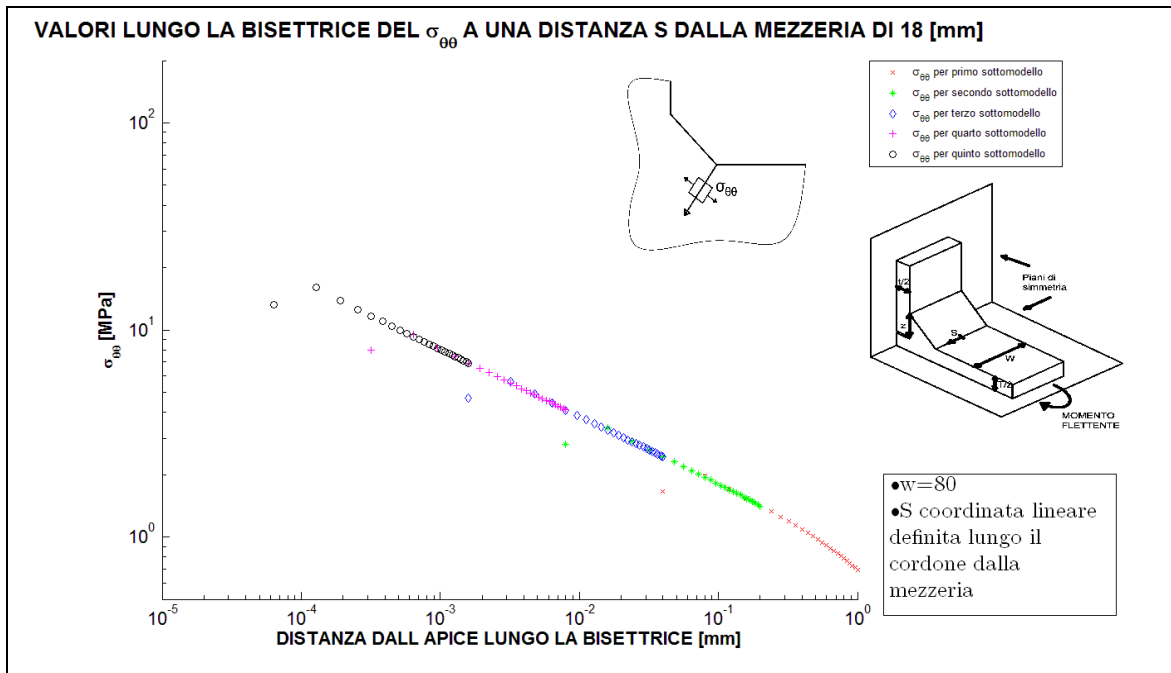


Figura 4.98: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ in prossimità del bordo del giunto :

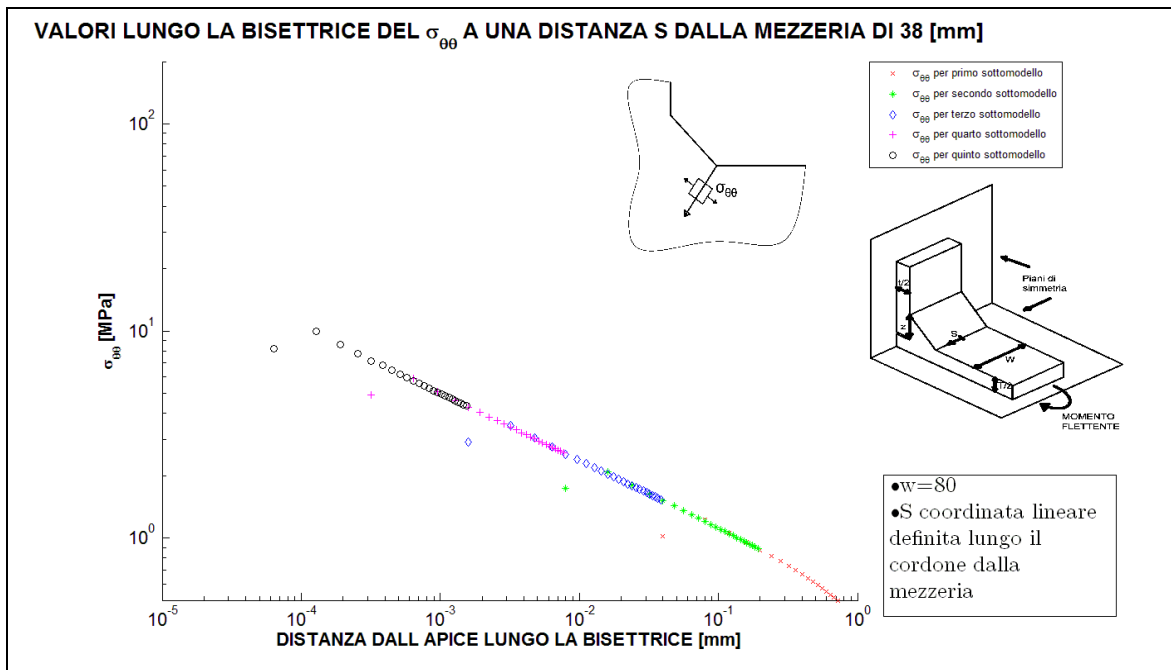


Figura 4.99: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.62 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.62 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione

VALORI K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di flessione σ_0 di 1 [MPa] con $T=10$ [mm], $t=20$ [mm], $z=5$ [mm], $W=80$ [mm]										
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	2,26	2,24	2,22	2,18	2,13	2,05	1,94	1,79	1,59	1,32
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] dalla simulazione bidimensionale precisa							1,99			

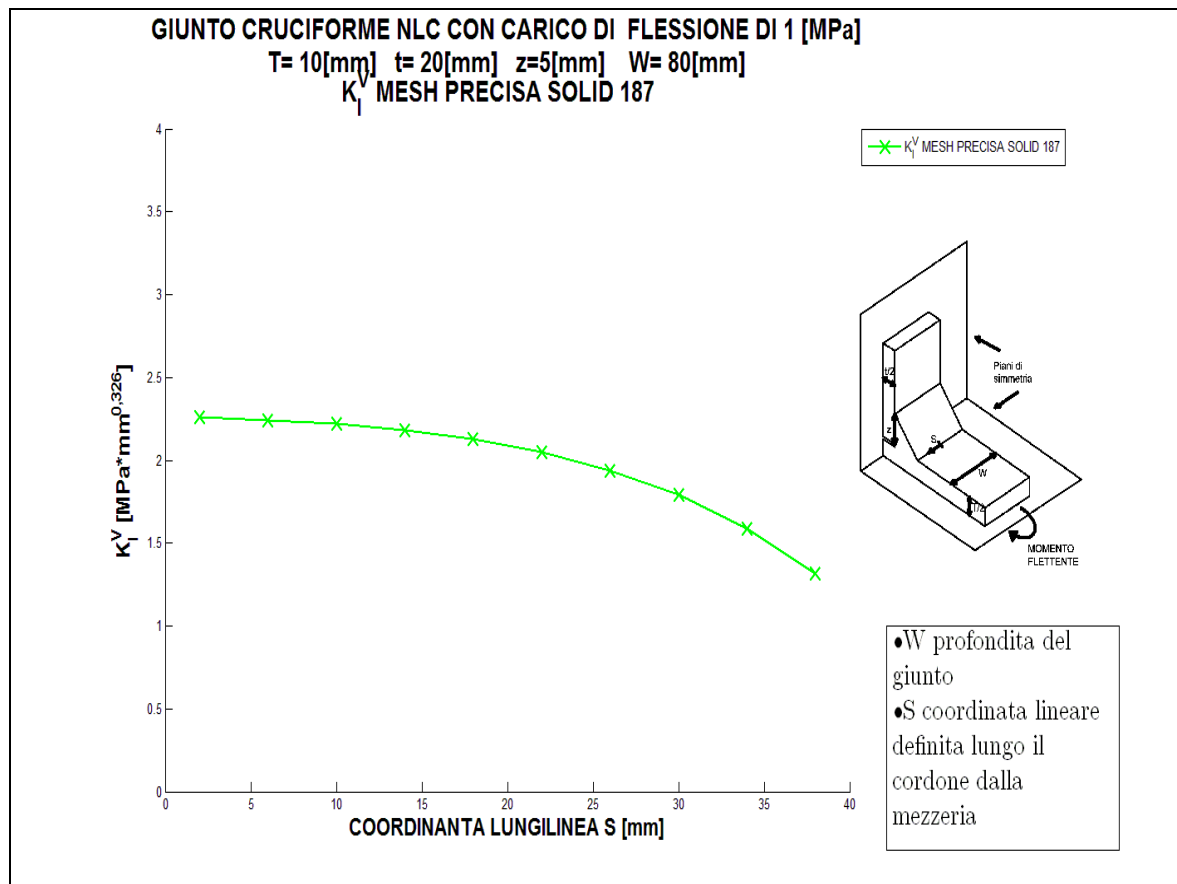


Figura 4.100: Plottaggio relativo alla tabella 4.62

4.4.3 Il giunti cruciforme NLC con carico di trazione e con l'uso del Solid Solid 186

- Per il giunto con $T=100$ [mm], $t=20$ [mm] $z=10$ [mm] e $W=80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

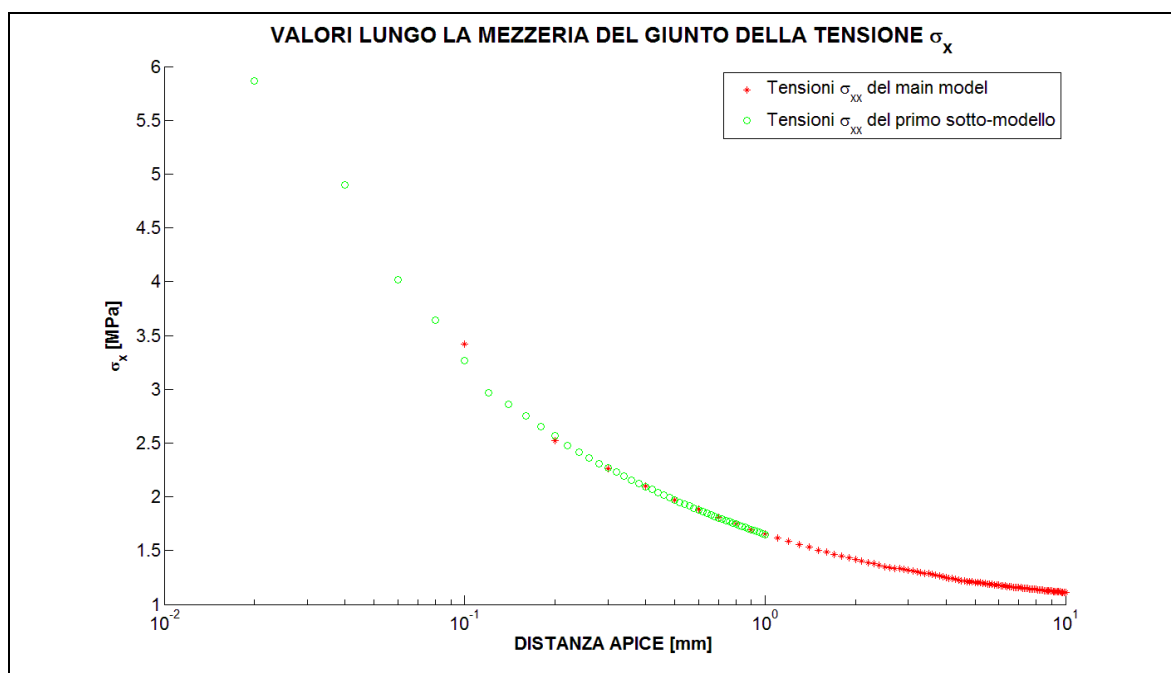


Figura 4.101: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamenti nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria, alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V alla mezzeria:

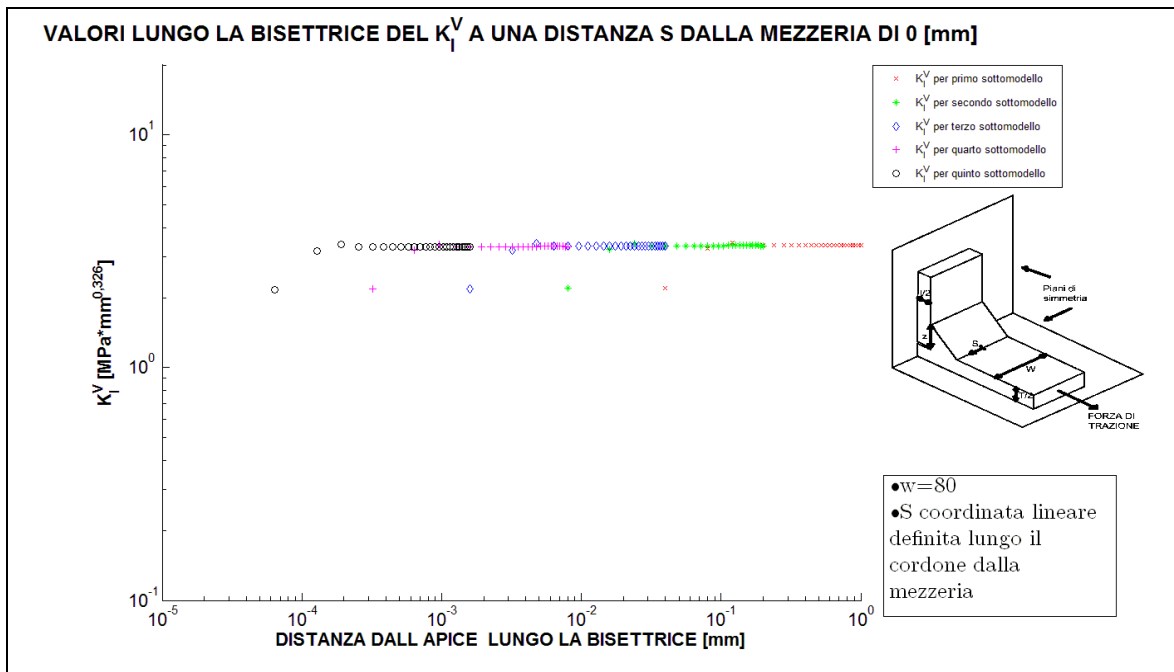


Figura 4.102: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,34 [MPa*m^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

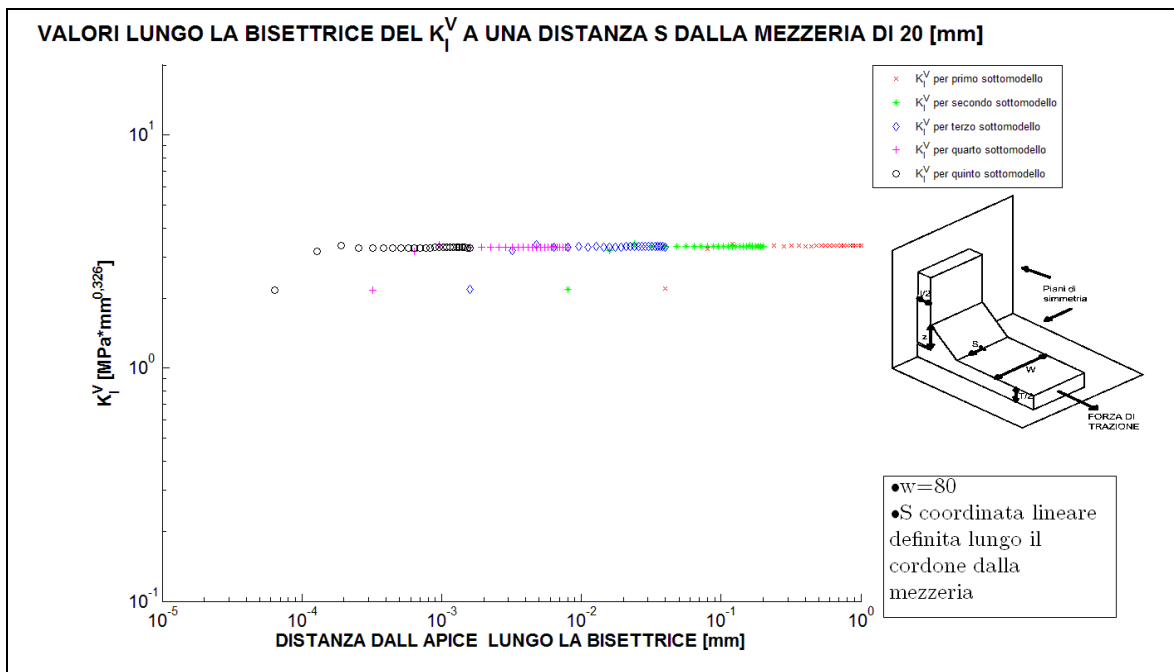


Figura 4.103: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,32 [MPa*m^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V al bordo del giunto :

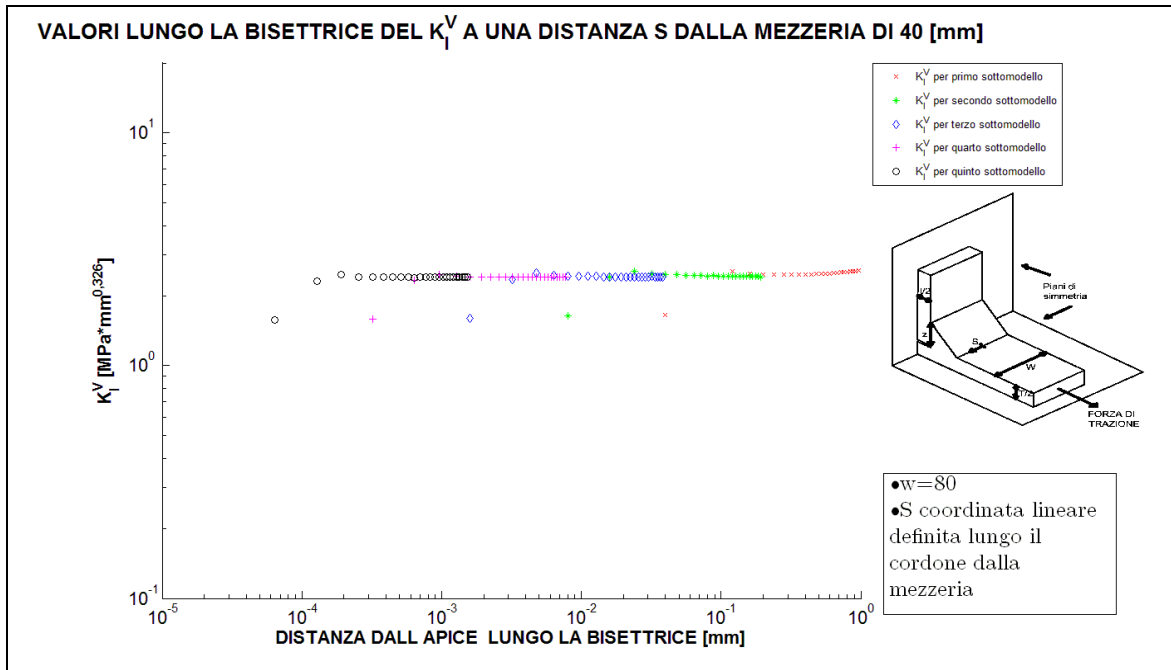


Figura 4.104: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,40 [MPa*m^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla mezzeria:

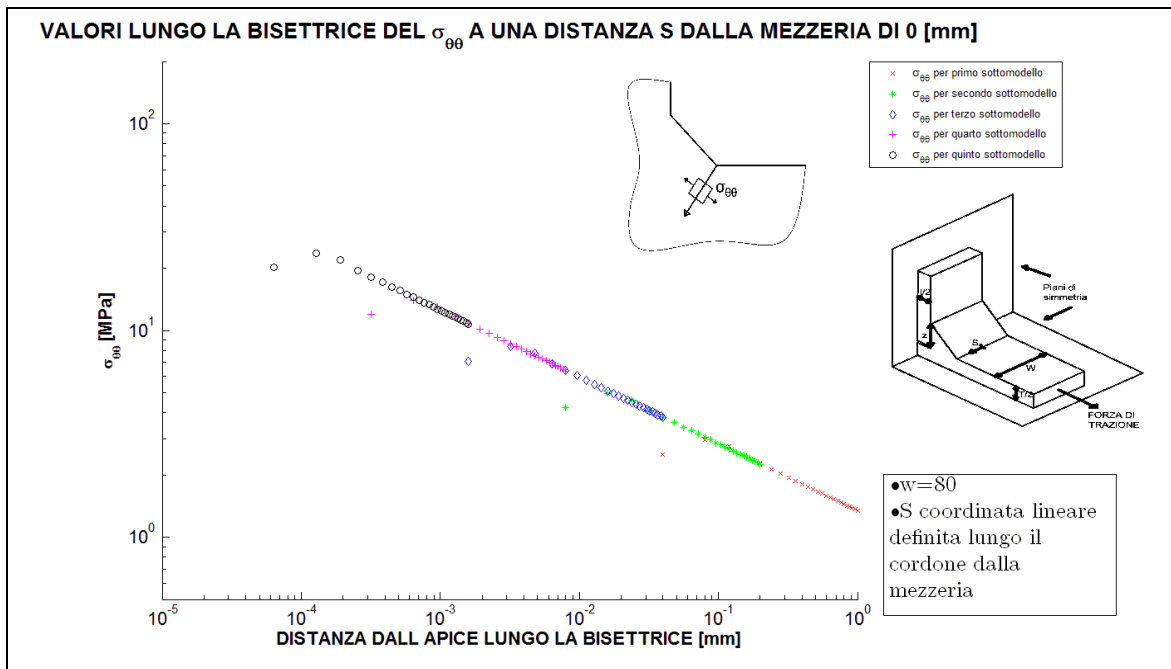


Figura 4.105: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

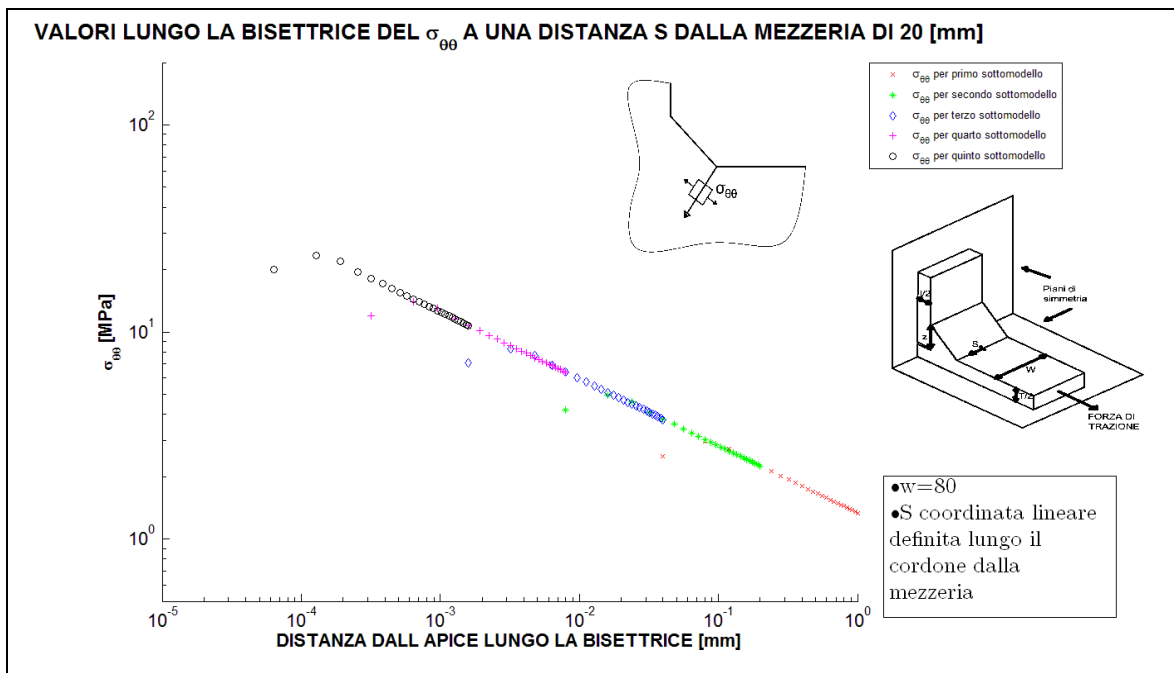


Figura 4.106: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ al bordo del giunto :

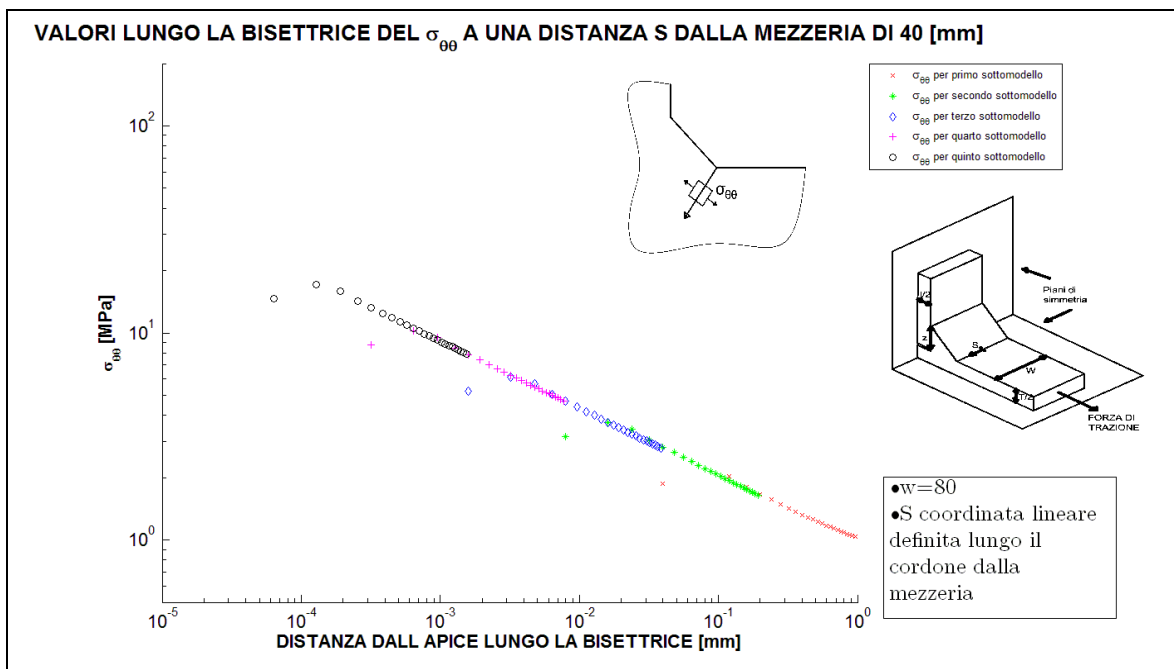


Figura 4.107: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.63 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.63 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione con Solid 186 nella forma di parallelepipedi

VALORI K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO											
del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di trazione σ_0 di 1 [MPa]											
con $T=100$ [mm], $t=20$ [mm], $z=10$ [mm], $W=80$ [mm]											
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,33	3,33	3,32	3,32
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	3,32	3,32	3,32	3,31	3,3	3,28	3,25	3,23	3,13	2,4	
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] dalla simulazione bidimensionale precisa							3,29				

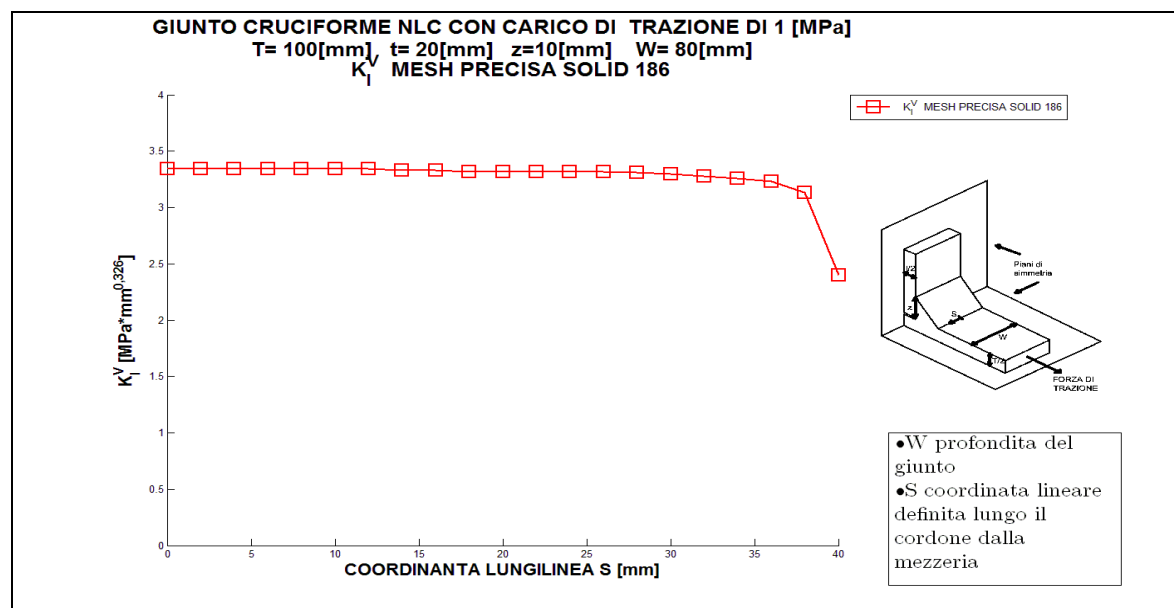


Figura 4.108: Plottaggio dei valori della tabella 4.63

- Per il giunto con $T=50$ [mm], $t=20$ [mm] $z=10$ [mm] e $W = 80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

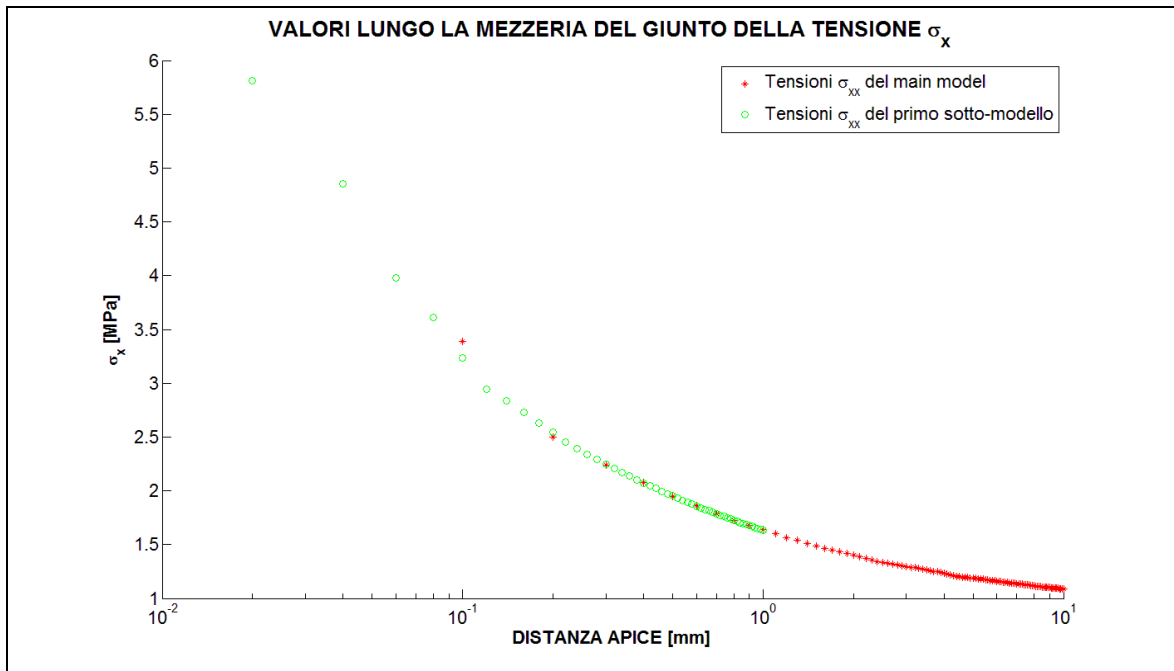


Figura 4.109: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamento nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria , alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V alla mezzeria:

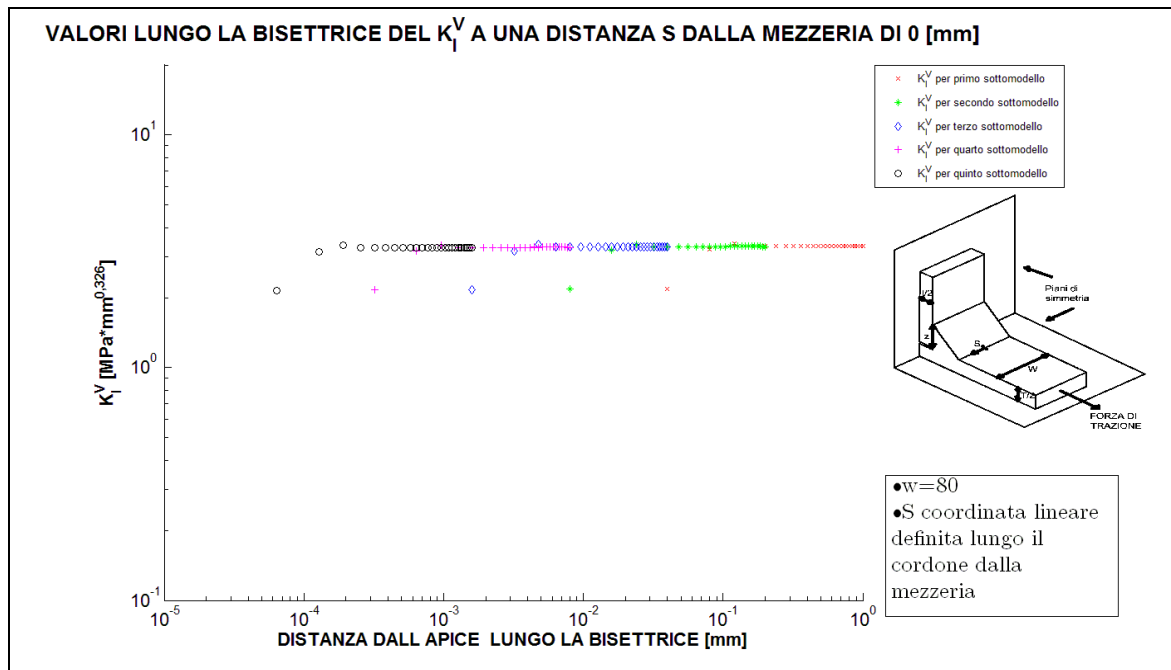


Figura 4.110: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,31 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

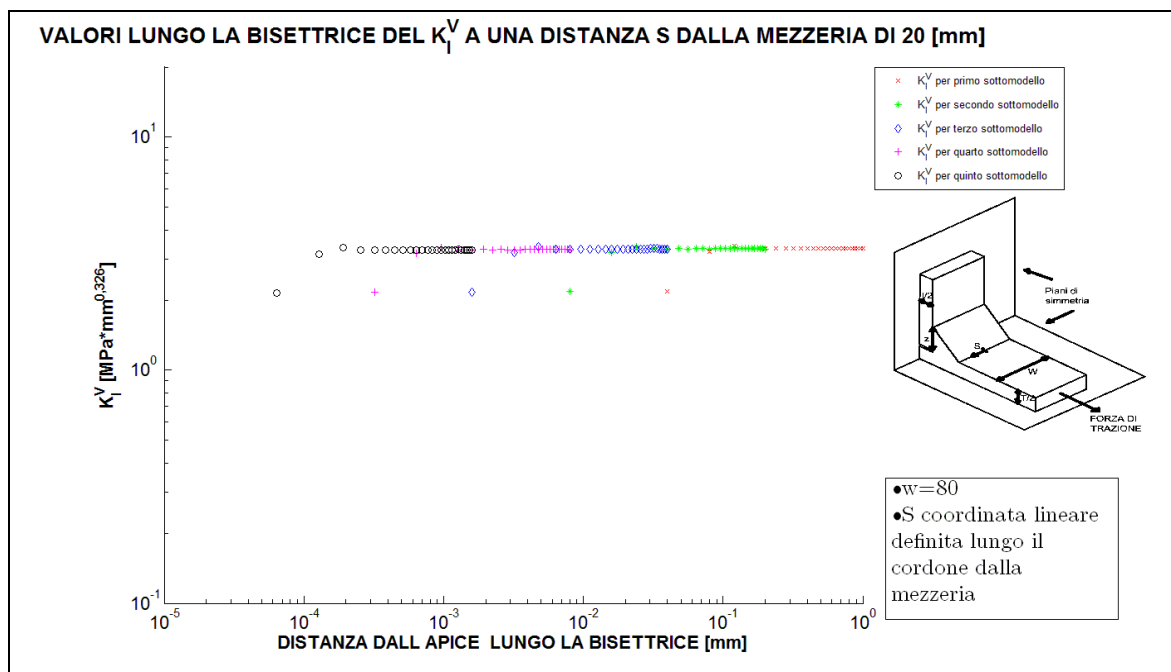


Figura 4.111: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,30 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V al bordo del giunto :

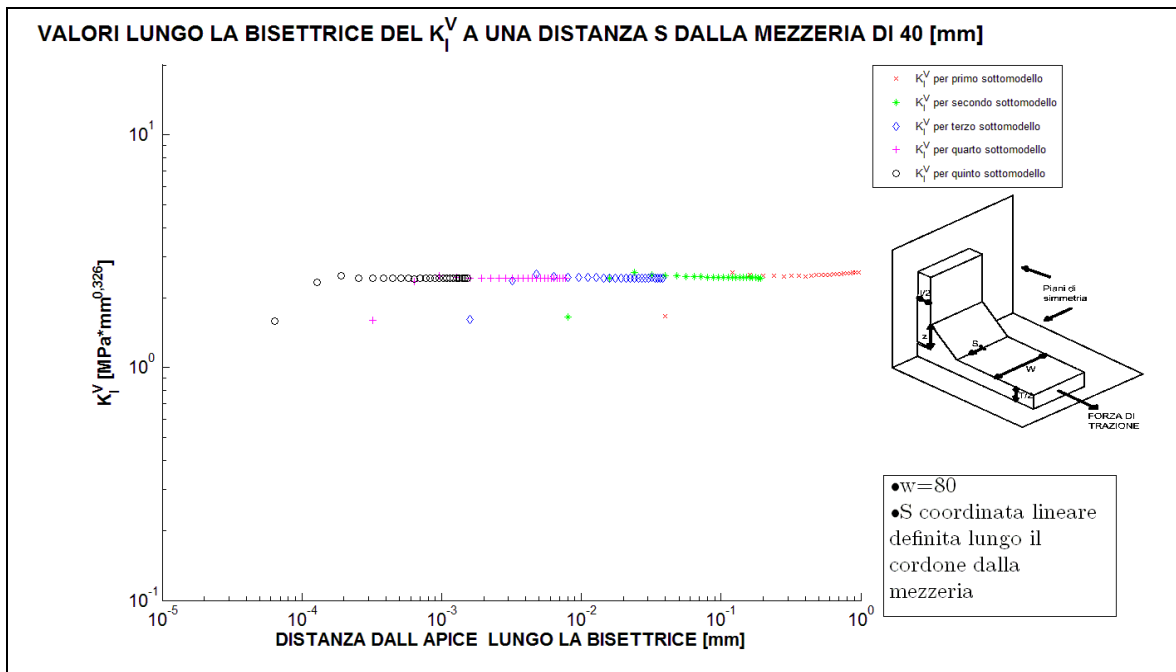


Figura 4.112: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,45 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla mezzeria:

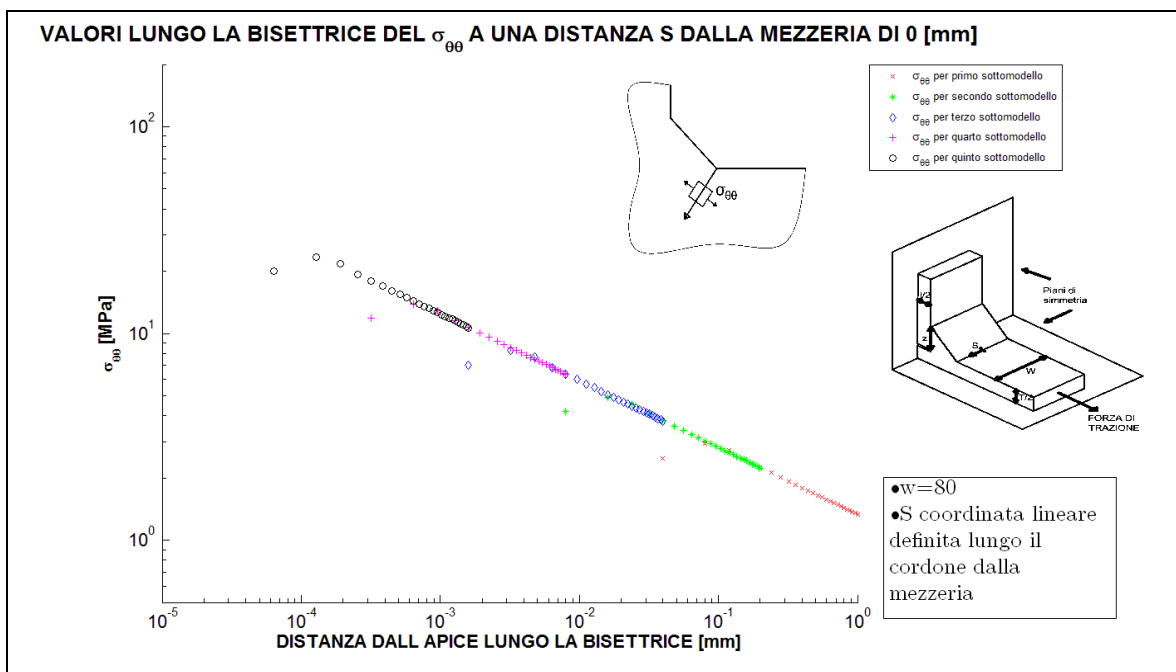


Figura 4.113: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

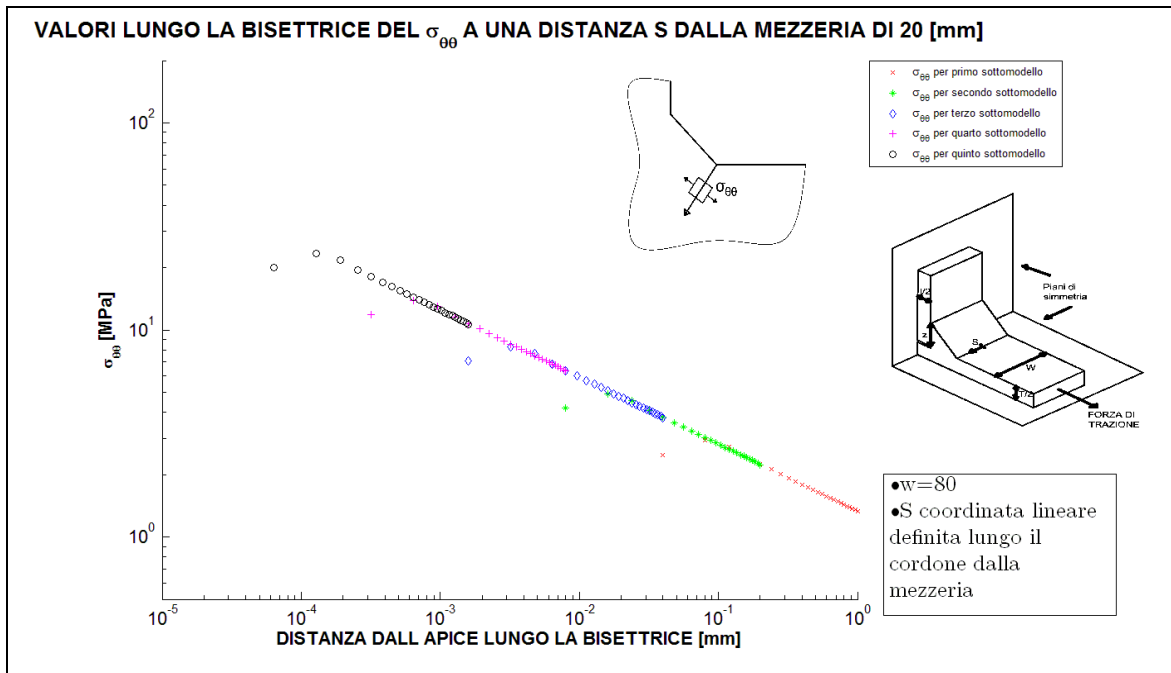


Figura 4.114: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ al bordo del giunto :

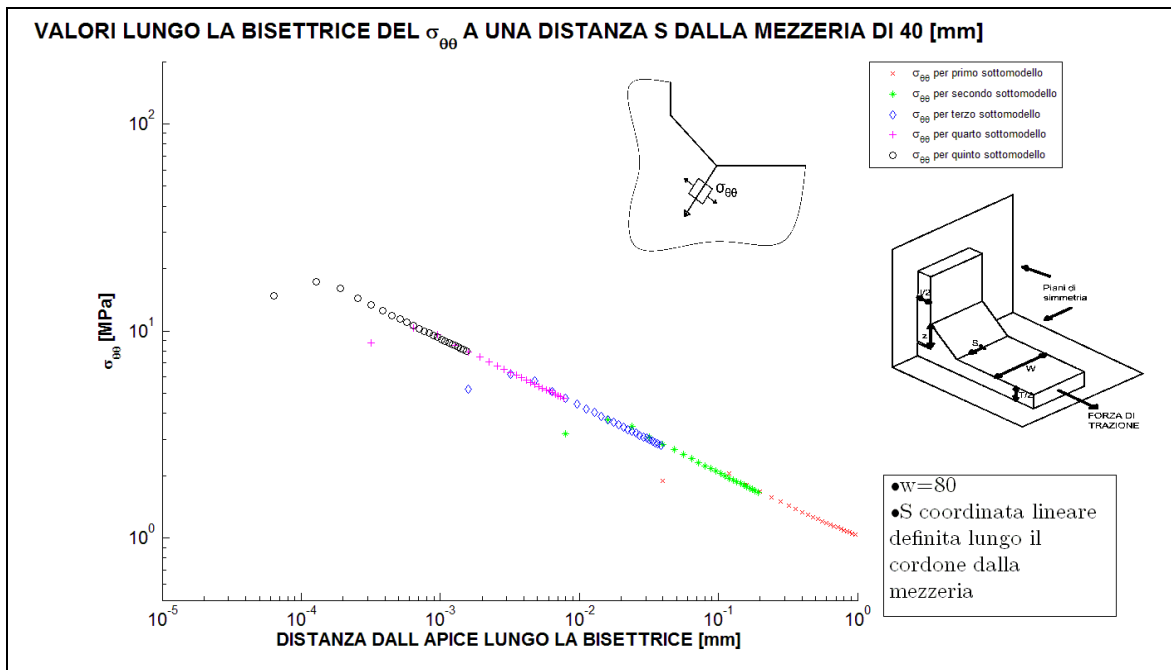


Figura 4.115: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.64 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.64 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione con Solid 186 nella forma di parallelepipedi

VALORI K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di trazione σ_0 di 1 [MPa] con $T=50$ [mm], $t=20$ [mm], $z=10$ [mm], $W=80$ [mm]											
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	3,31	3,31	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,28	3,27	3,24	3,14	2,45	
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] dalla simulazione bidimensionale precisa							3,29				

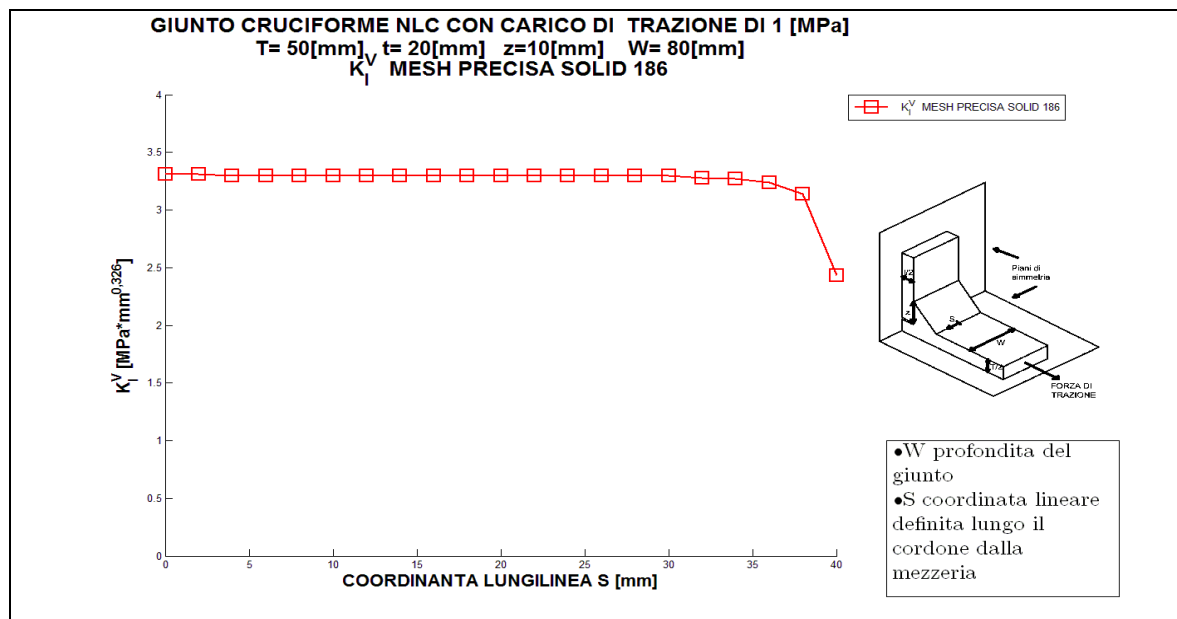


Figura 4.116: Plottaggio dei valori relativi alla tabella 4.64

- Per il giunto con $T=30$ [mm], $t=20$ [mm] $z=5$ [mm] e $W=80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

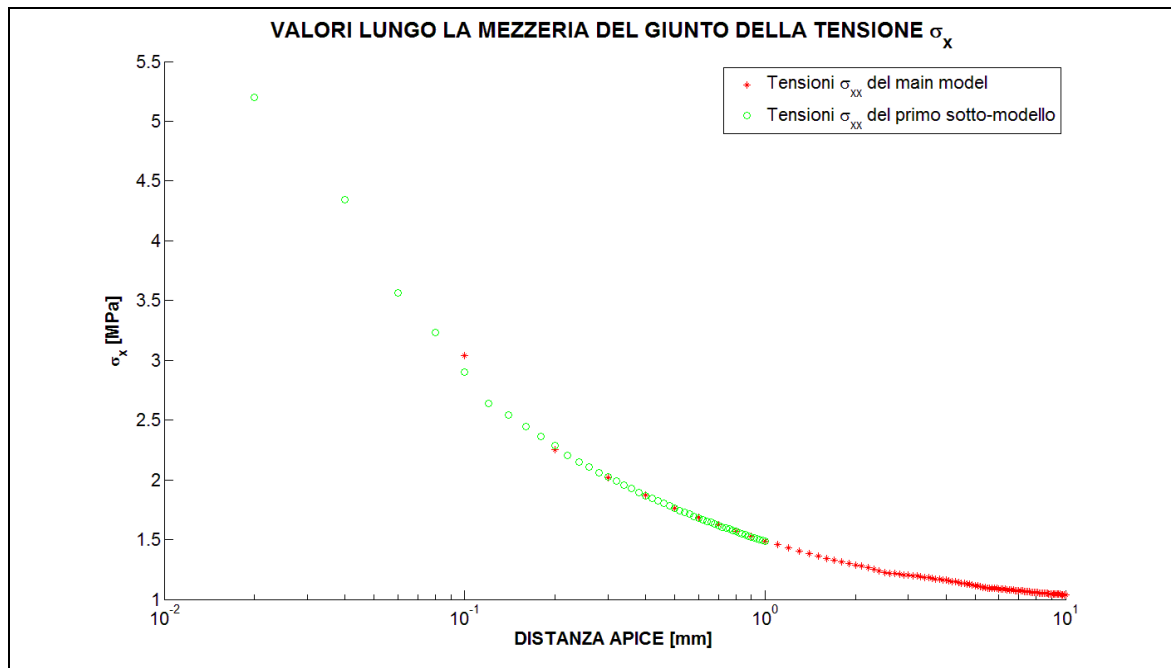


Figura 4.117: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamento nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria , alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V alla mezzeria:

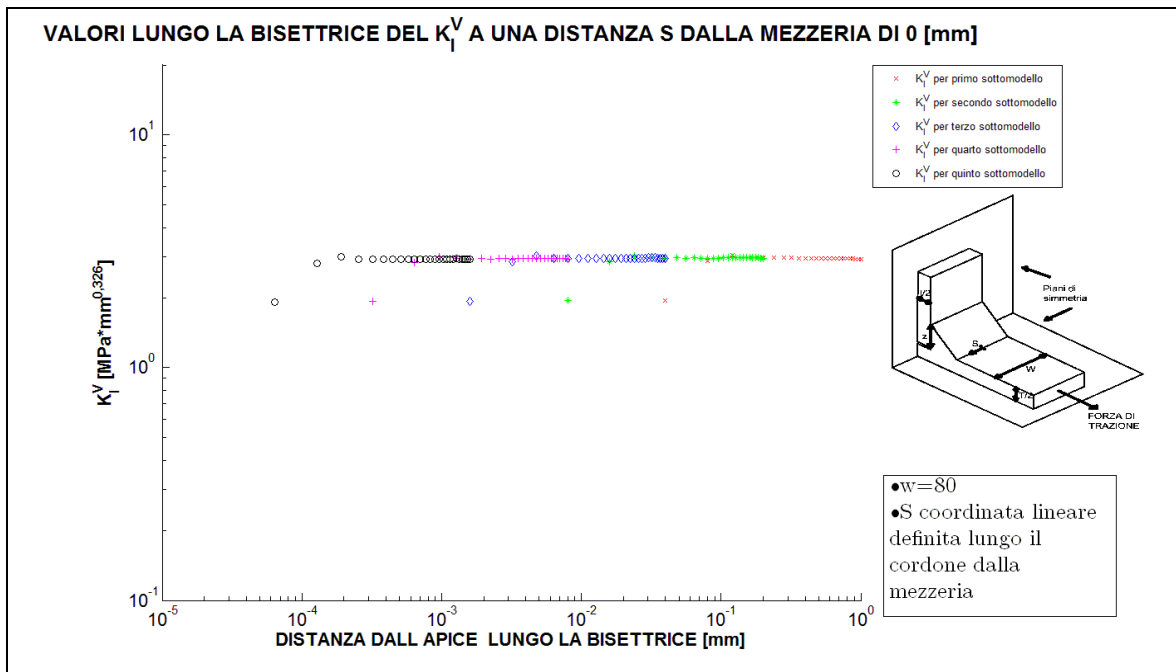


Figura 4.118: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,94 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

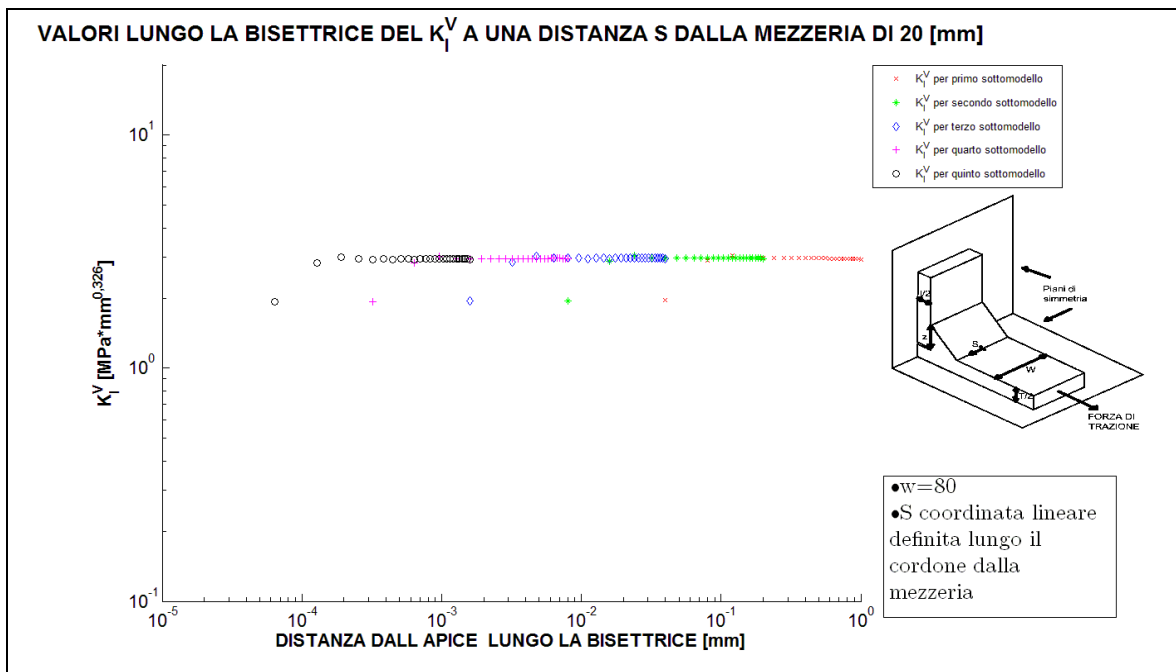


Figura 4.119: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,96 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V al bordo del giunto :

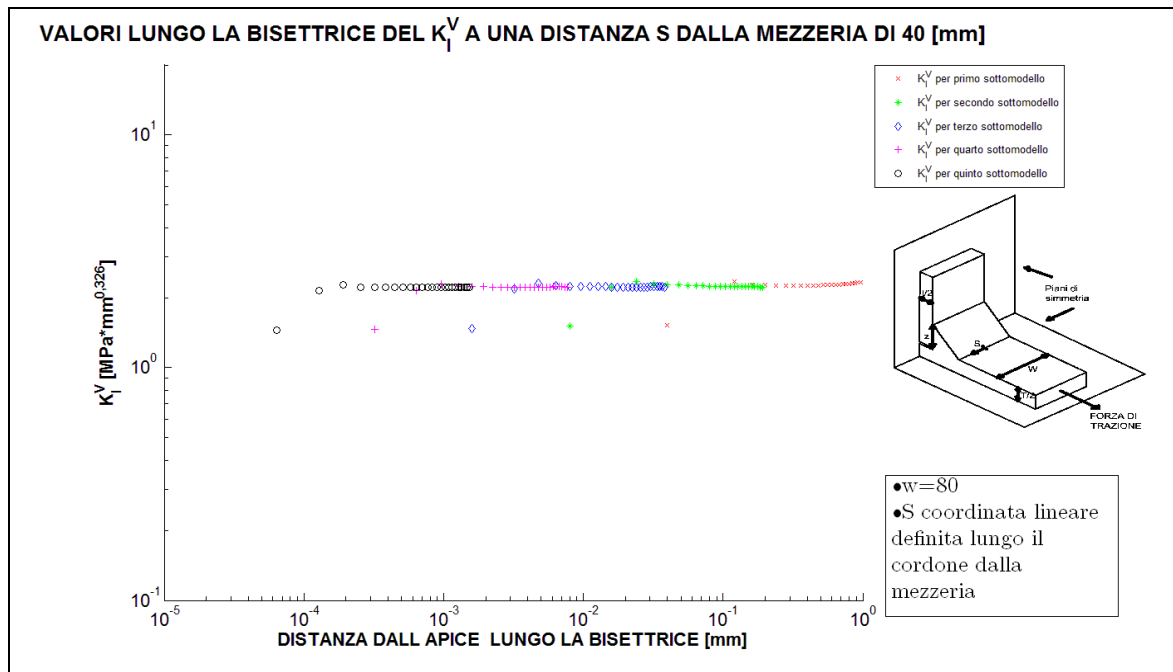


Figura 4.120: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,22 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla mezzeria:

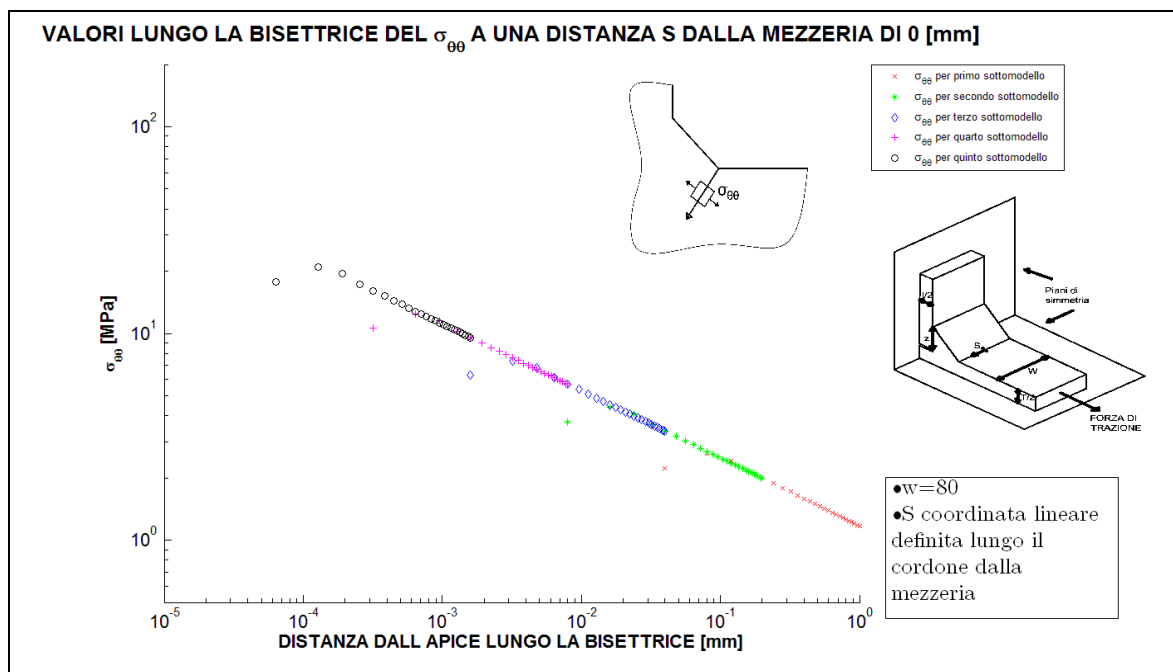


Figura 4.121: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

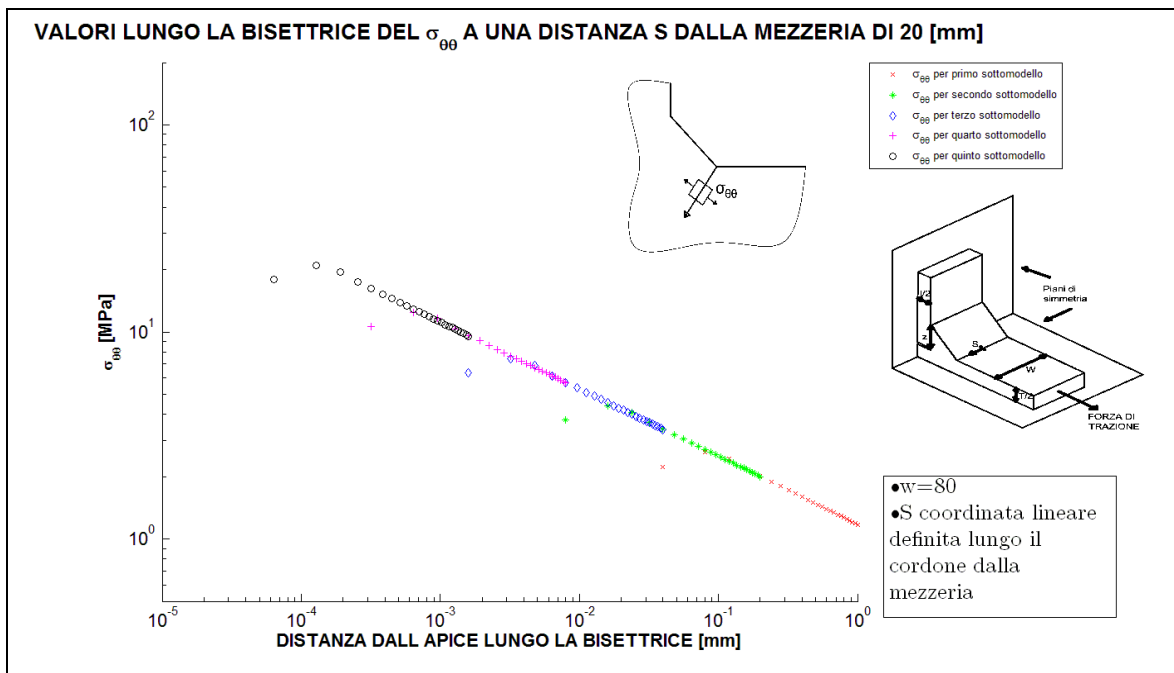


Figura 4.122: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ al bordo del giunto :

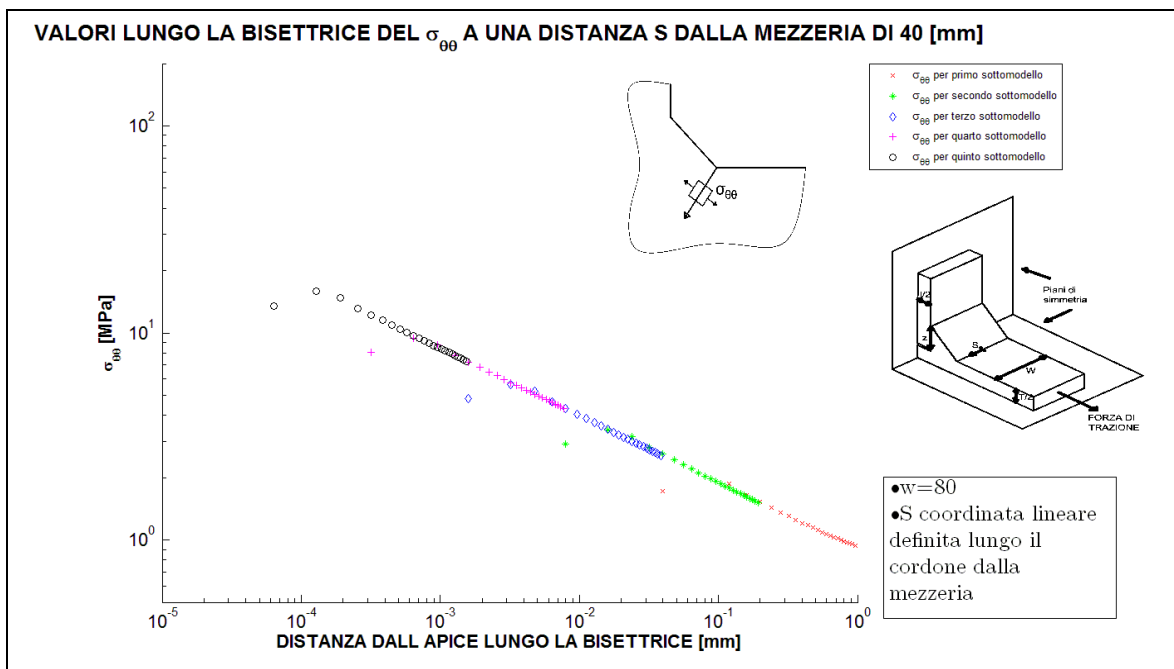


Figura 4.123: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.65 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.65 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione con Solid 186 nella forma di parallelepipedi

VALORI K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di trazione σ_0 di 1 [MPa] con $T=30$ [mm], $t=20$ [mm], $z=5$ [mm], $W=80$ [mm]											
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	2,94	2,94	2,94	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,96	2,96
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,95	2,93	2,9	2,22	
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] dalla simulazione bidimensionale precisa							2,97				

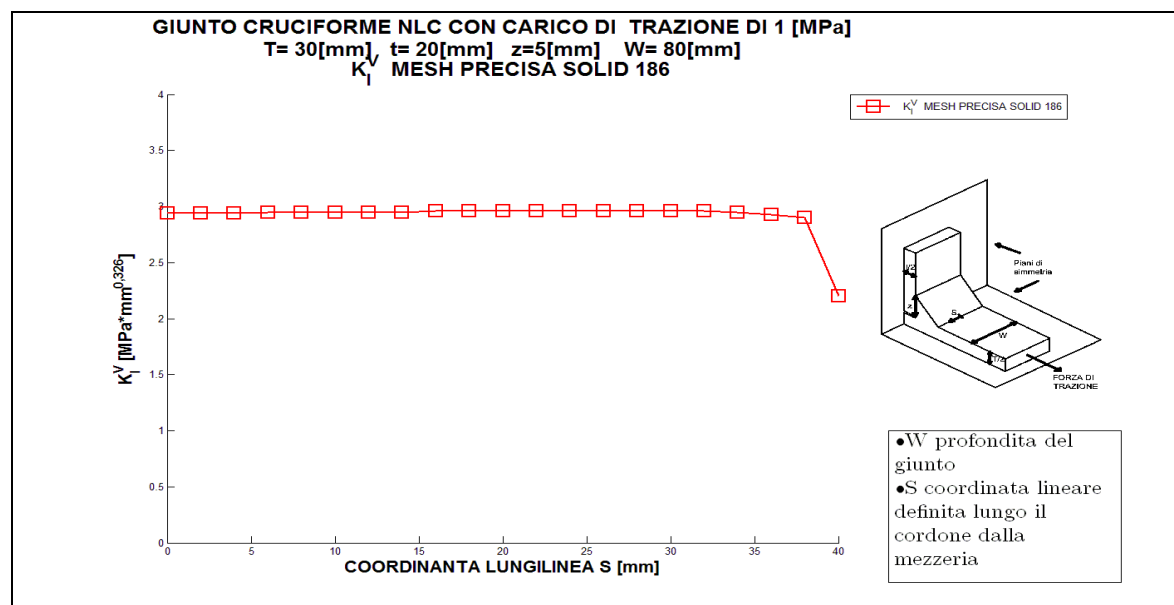


Figura 4.124: Plottaggio dei valori della tabella 4.65

- Per il giunto con $T=10$ [mm], $t=20$ [mm] $z=5$ [mm] e $W = 80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

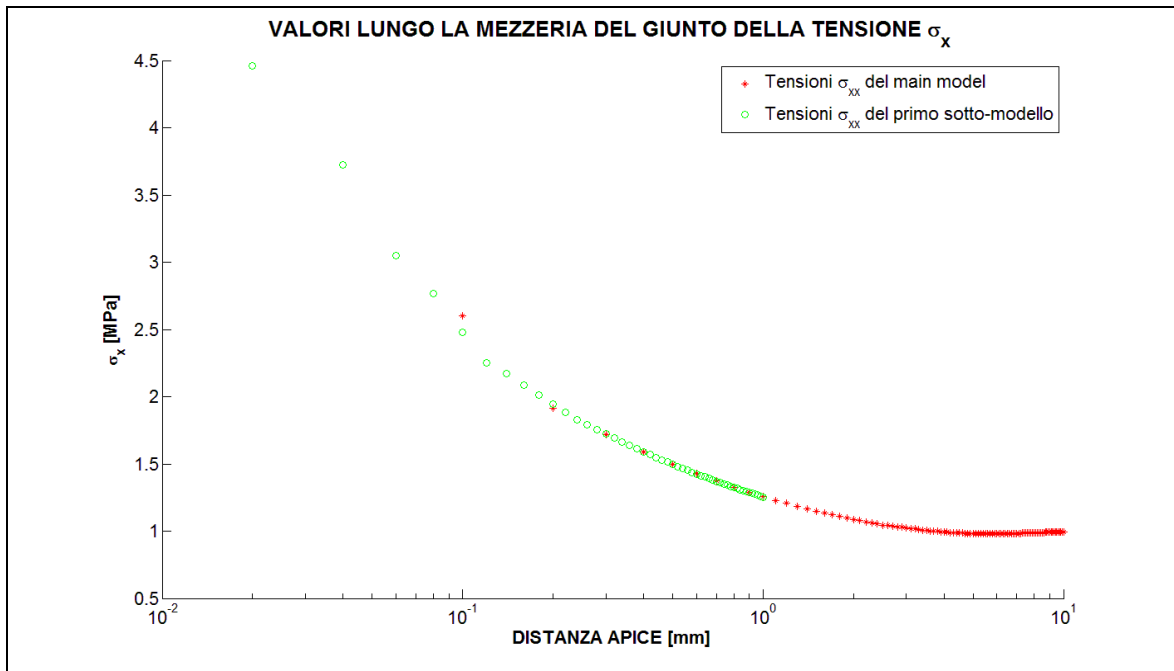


Figura 4.125: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamento nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria , alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V alla mezzeria:

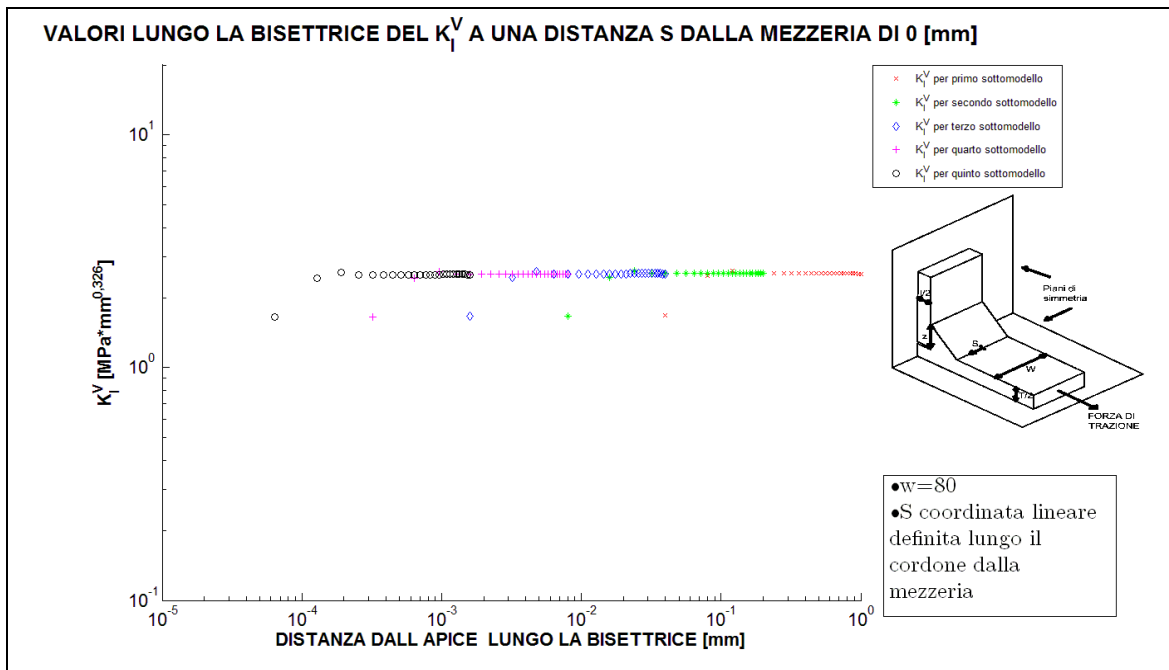


Figura 4.126: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,53 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

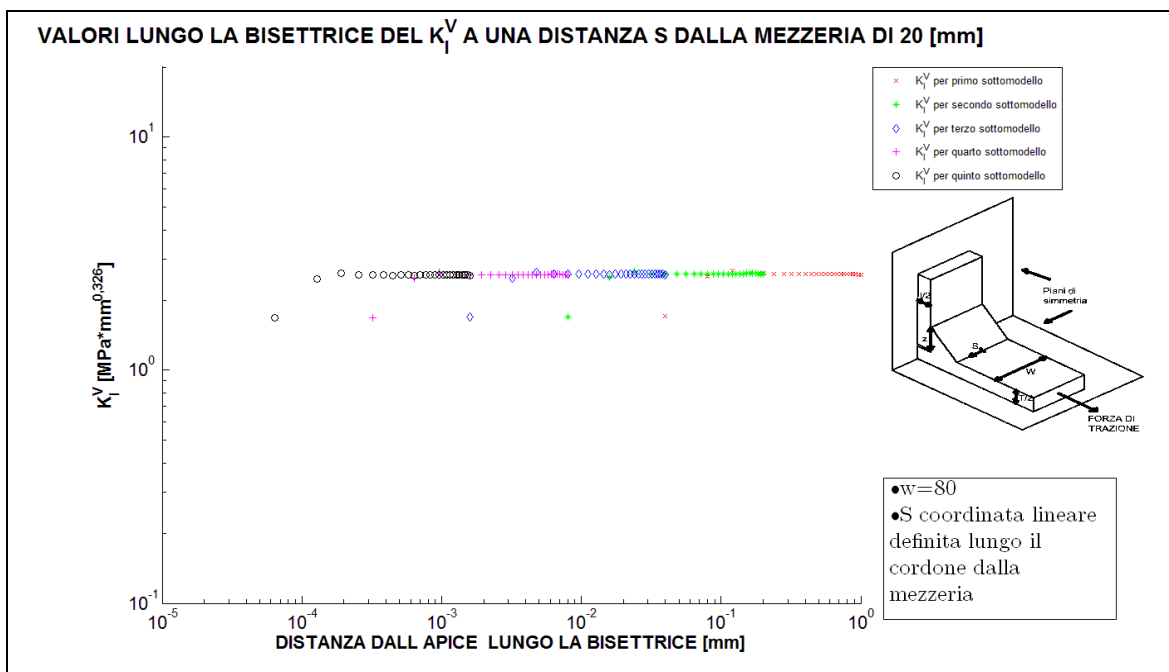


Figura 4.127: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,57 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V al bordo del giunto :

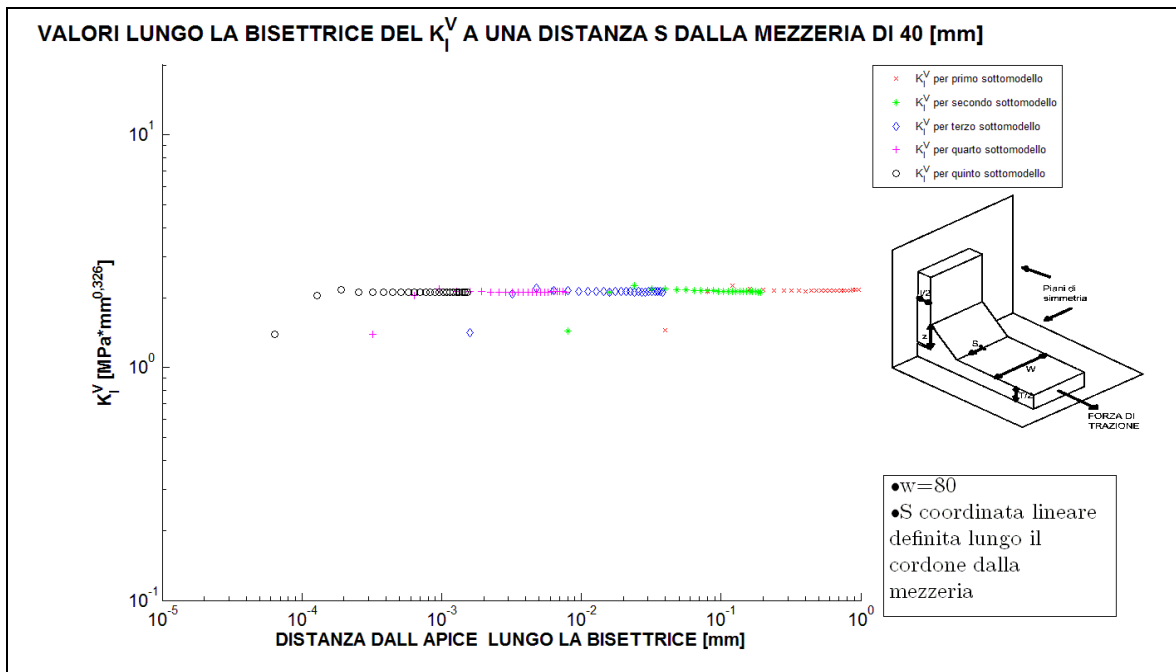


Figura 4.128: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,12 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla mezzeria:

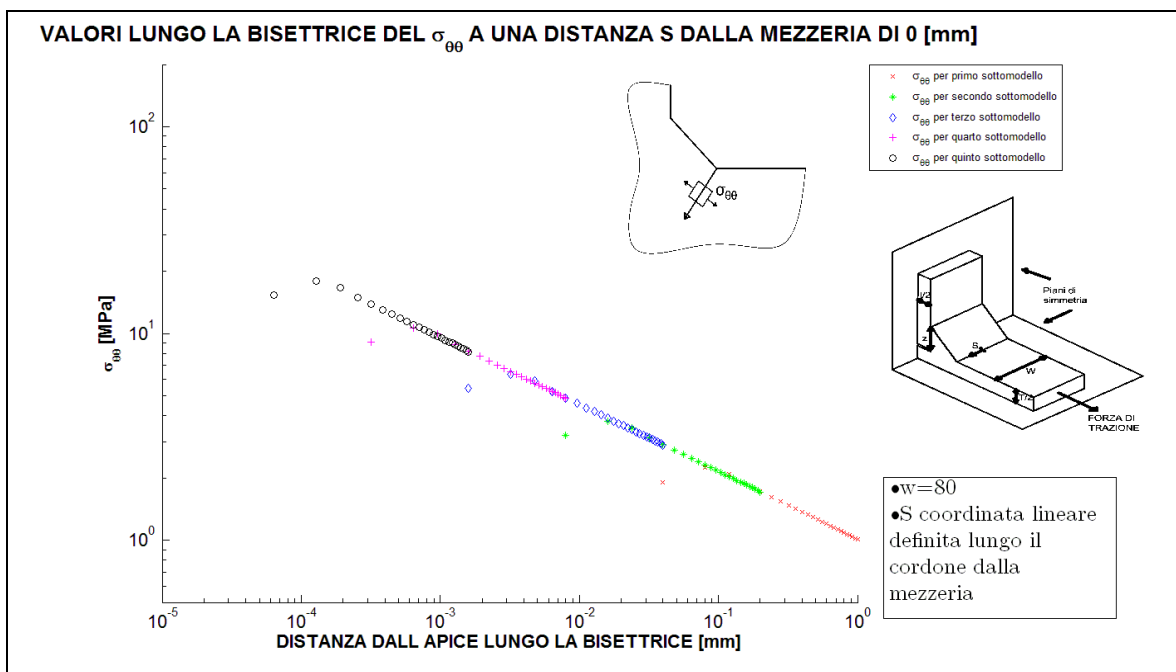


Figura 4.129: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

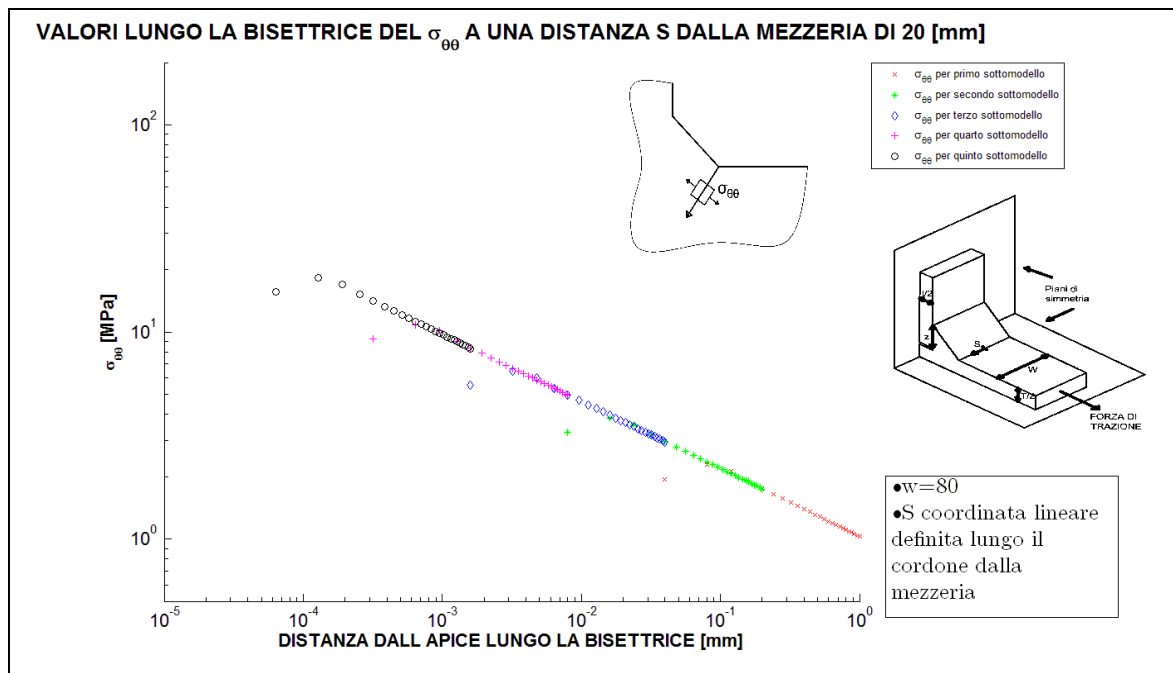


Figura 4.130: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ al bordo del giunto :

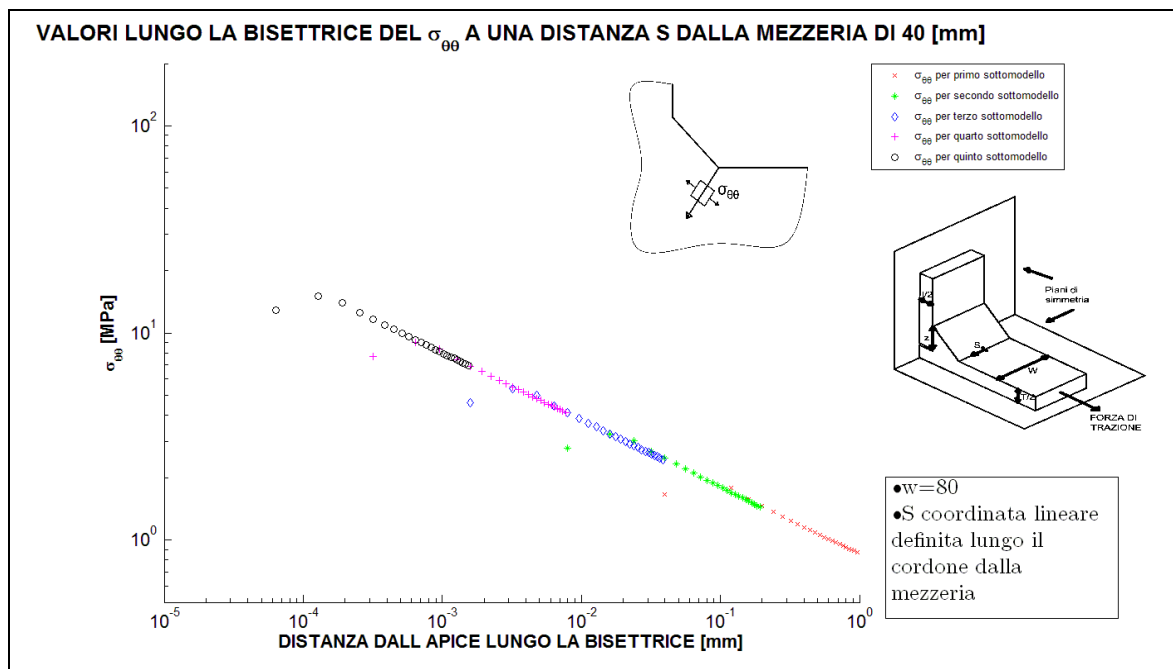


Figura 4.131: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tale curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.66 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.66 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione con Solid 186 nella forma di parallelepipedi

VALORI K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di trazione σ_0 di 1 [MPa] con $T=10$ [mm], $t=20$ [mm], $z=5$ [mm], $W=80$ [mm]											
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53	2,54	2,55	2,56	2,56	2,57	2,57
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	2,58	2,6	2,61	2,63	2,65	2,67	2,69	2,71	2,71	2,12	
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] dalla simulazione bidimensionale precisa							2,61				

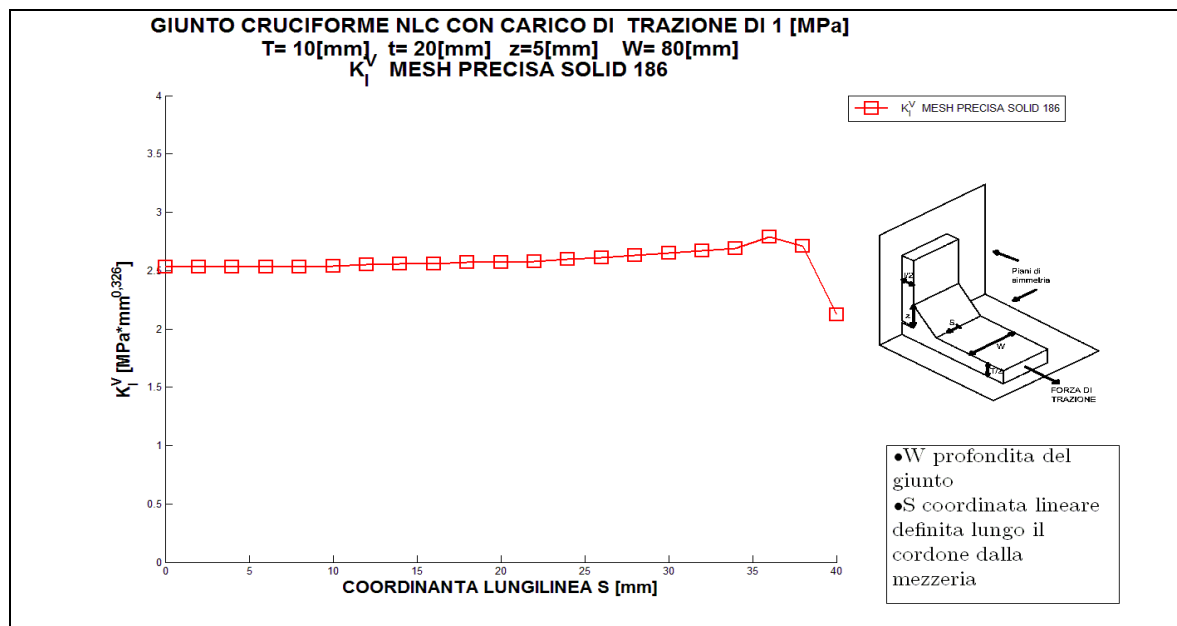


Figura 4.132: Plottaggio relativo alla tabella 4.66

4.4.4 Il giunti cruciforme NLC con carico di flessione e con l'uso del Solid Solid 186

- Per il giunto con $T=100$ [mm], $t=20$ [mm] $z=10$ [mm] e $W = 80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

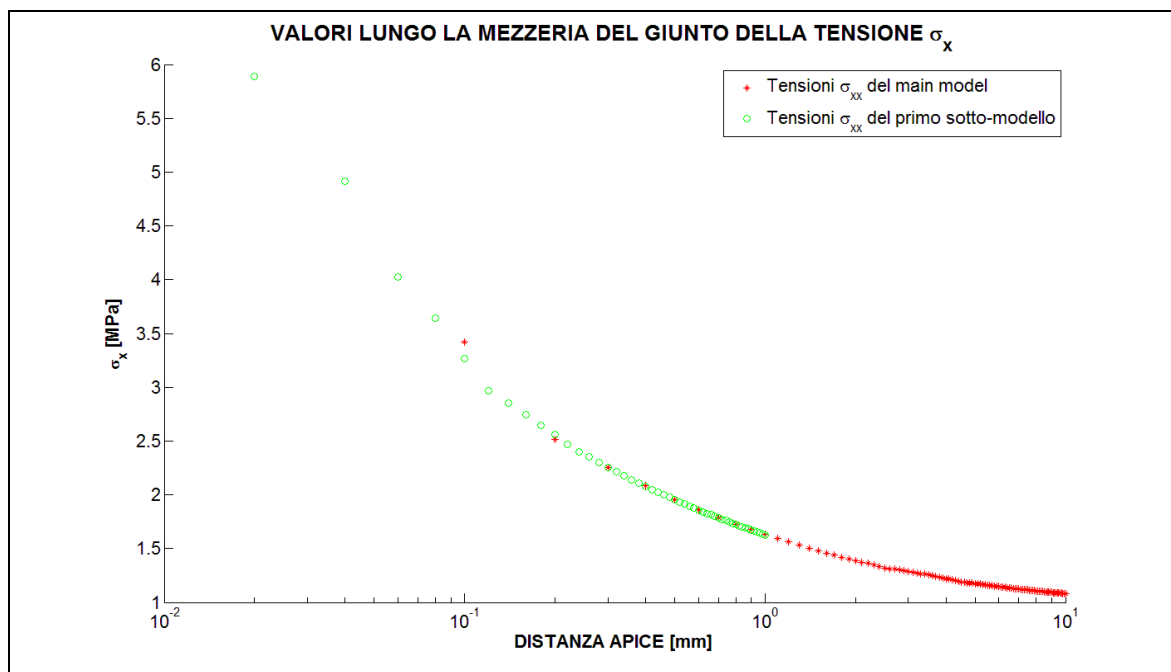


Figura 4.133: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamento nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria, alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V alla mezzeria:

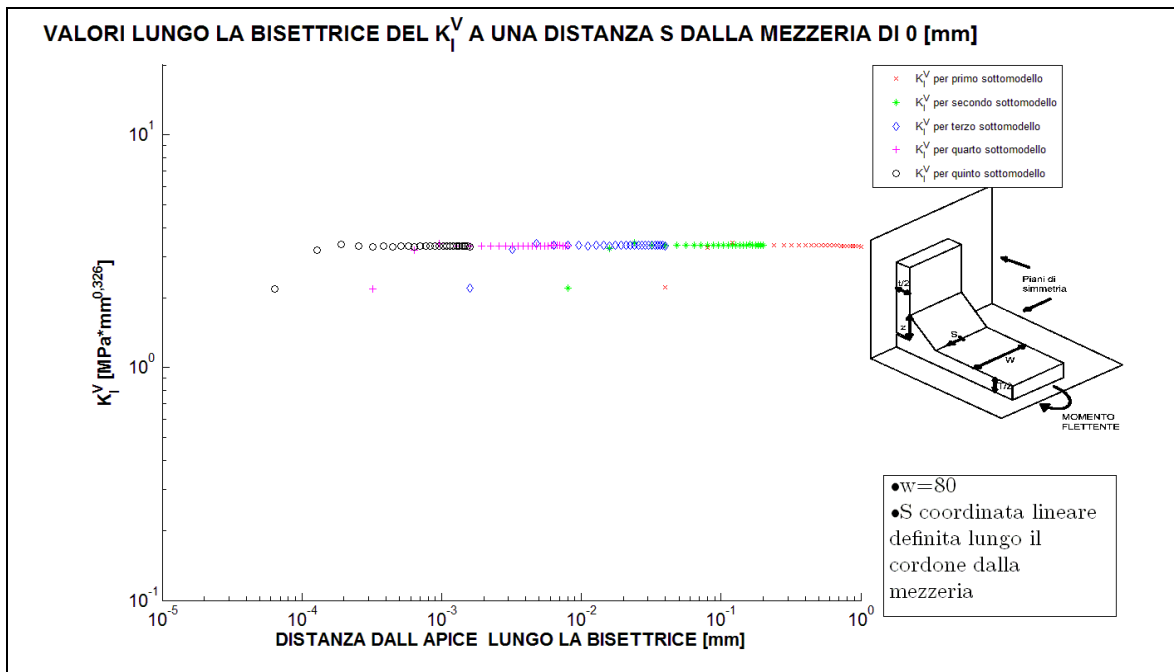


Figura 4.134: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,33 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

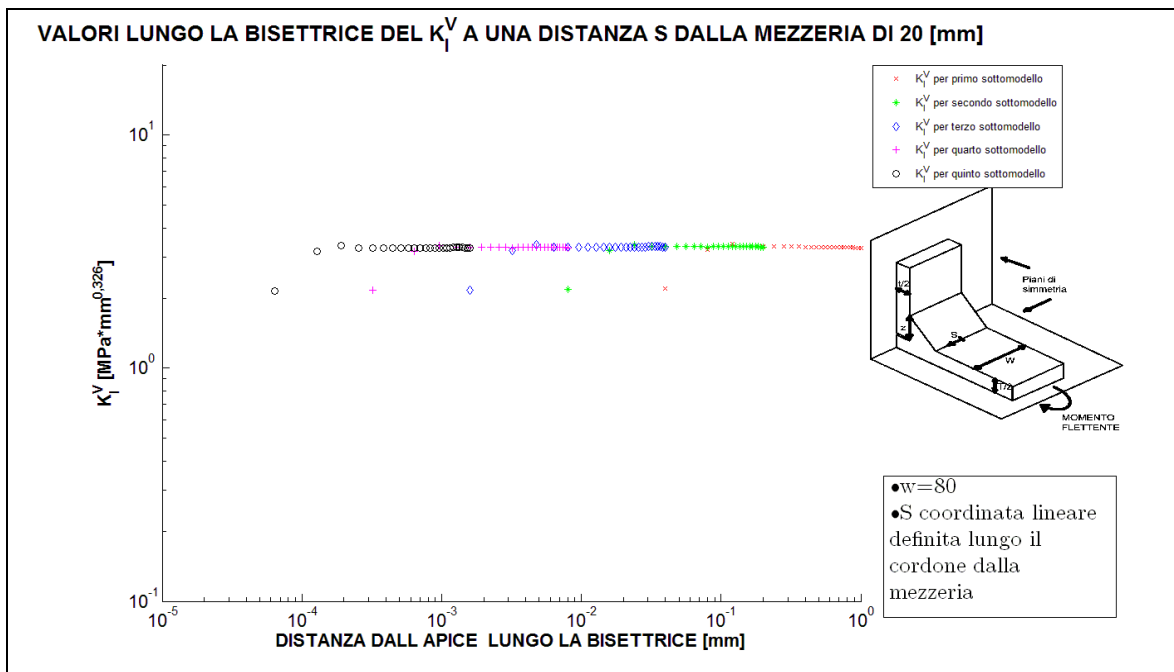


Figura 4.135: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,31 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V al bordo del giunto :

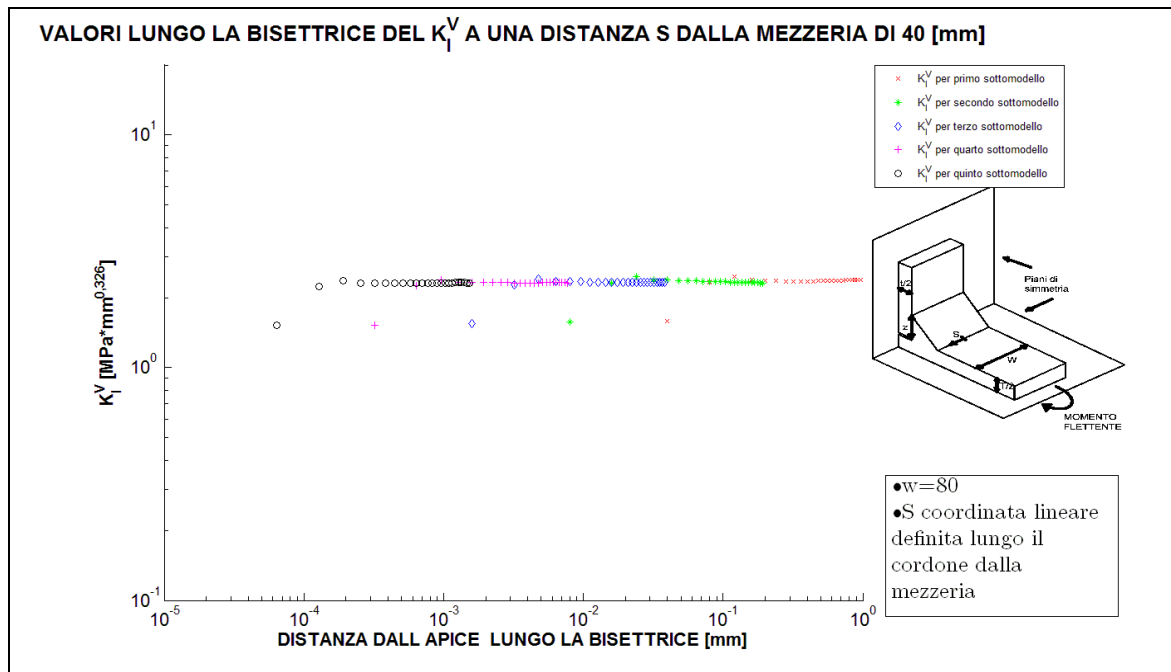


Figura 4.136: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,32 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla mezzeria:

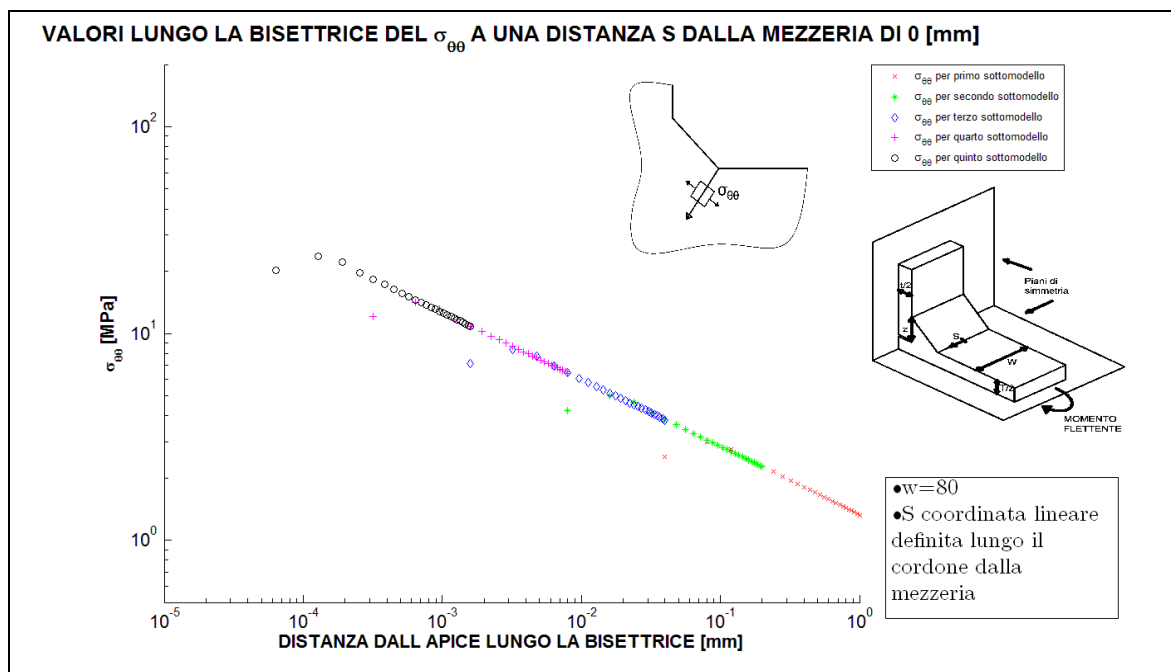


Figura 4.137: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

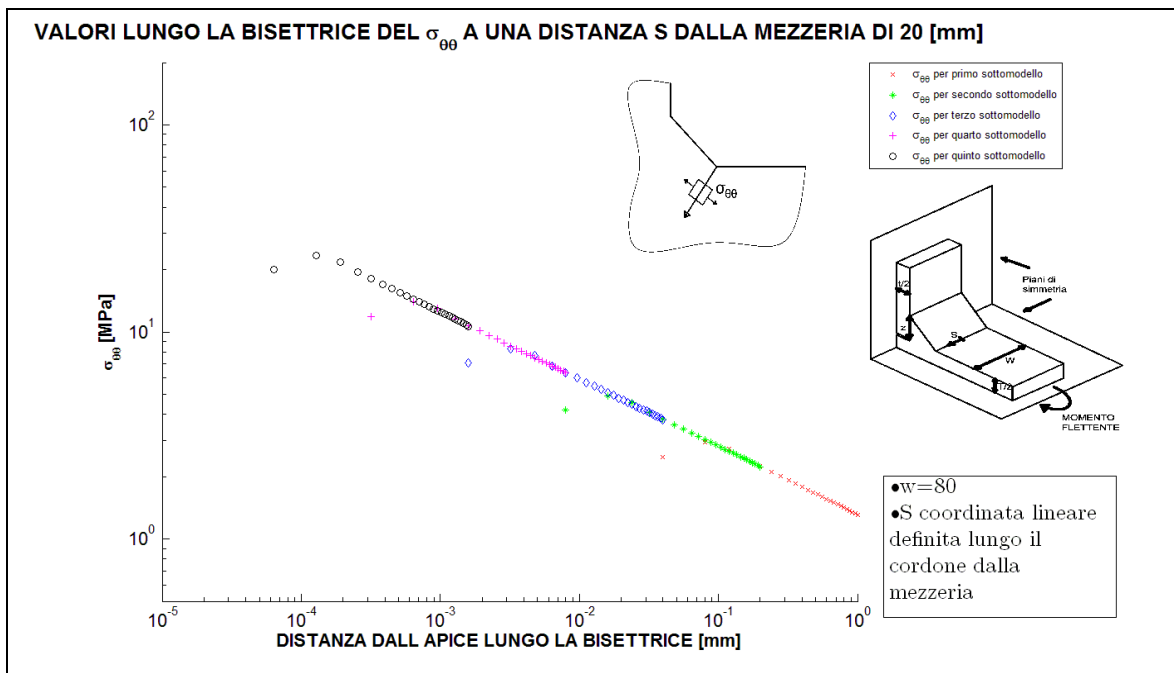


Figura 4.138: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ al bordo del giunto :

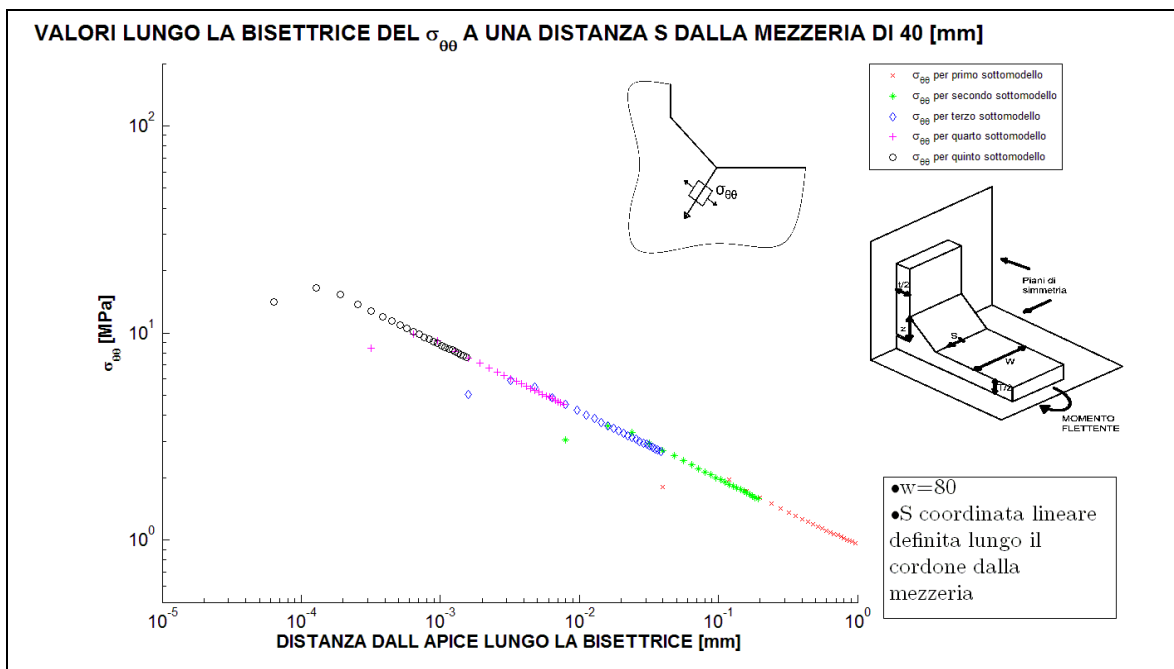


Figura 4.139: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.67 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.67 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione con Solid 186 nella forma di parallelepipedi

VALORI K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di flessione σ_0 di 1 [MPa] con $T=100$ [mm], $t=20$ [mm], $z=10$ [mm], $W=80$ [mm]											
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$]	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,32	3,31
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$]	3,3	3,28	3,27	3,26	3,25	3,23	3,19	3,13	3,03	2,32	
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$] <i>dalla simulazione bidimensionale precisa</i>							3,26				

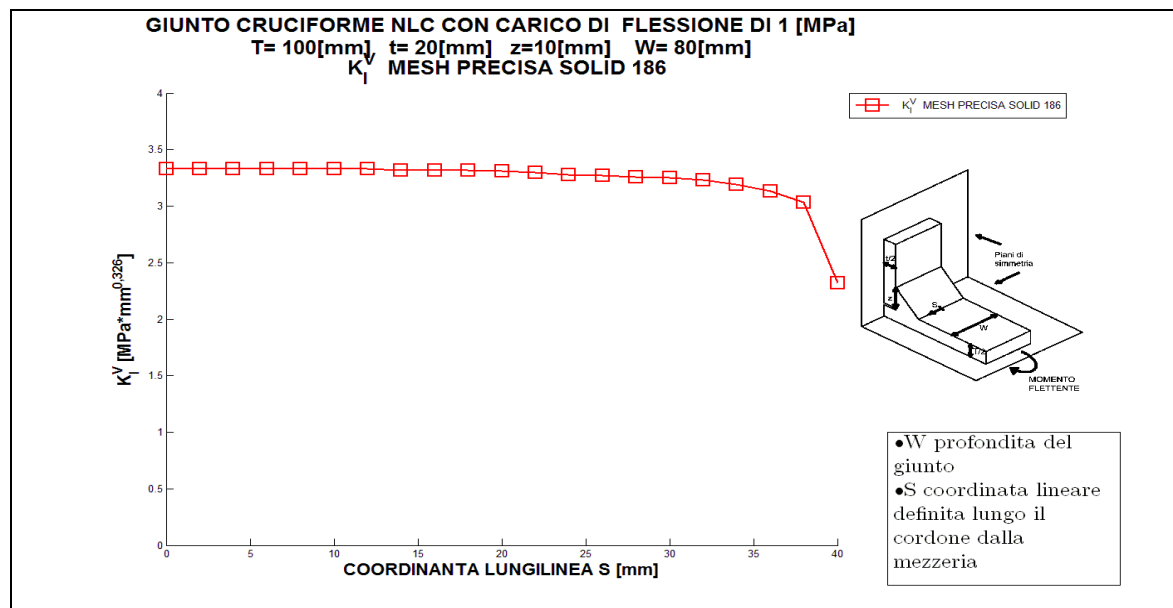


Figura 4.140: Plottaggio dei valori della tabella 4.67

- Per il giunto con $T=50$ [mm], $t=20$ [mm] $z=10$ [mm] e $W=80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

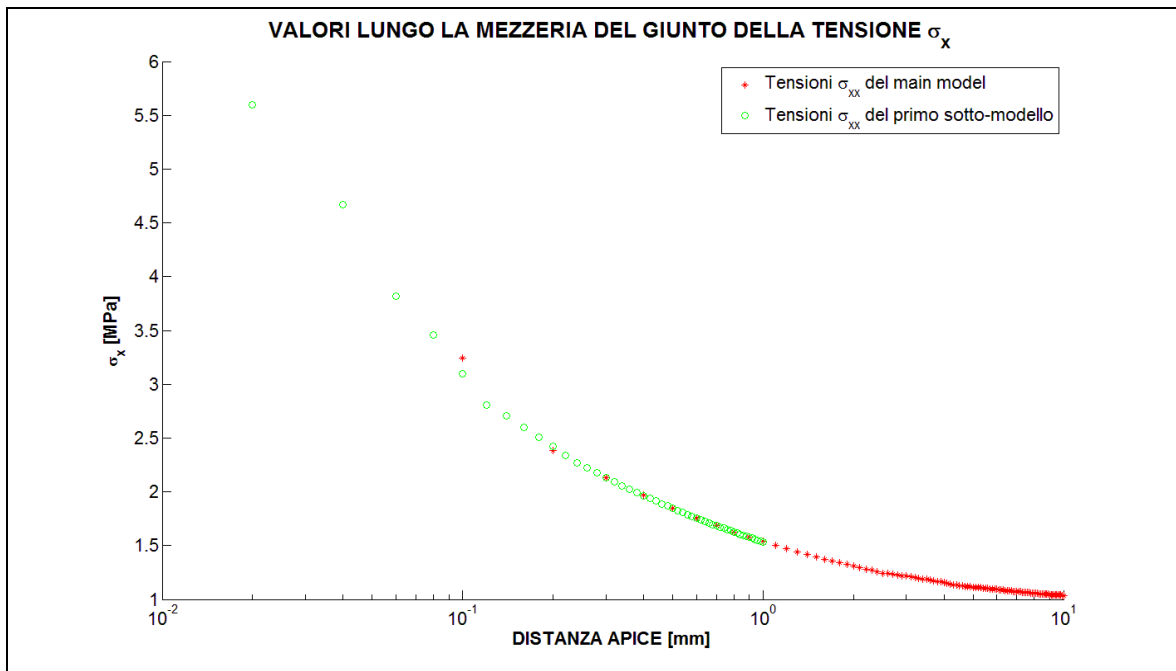


Figura 4.141: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamento nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria , alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V alla mezzeria:

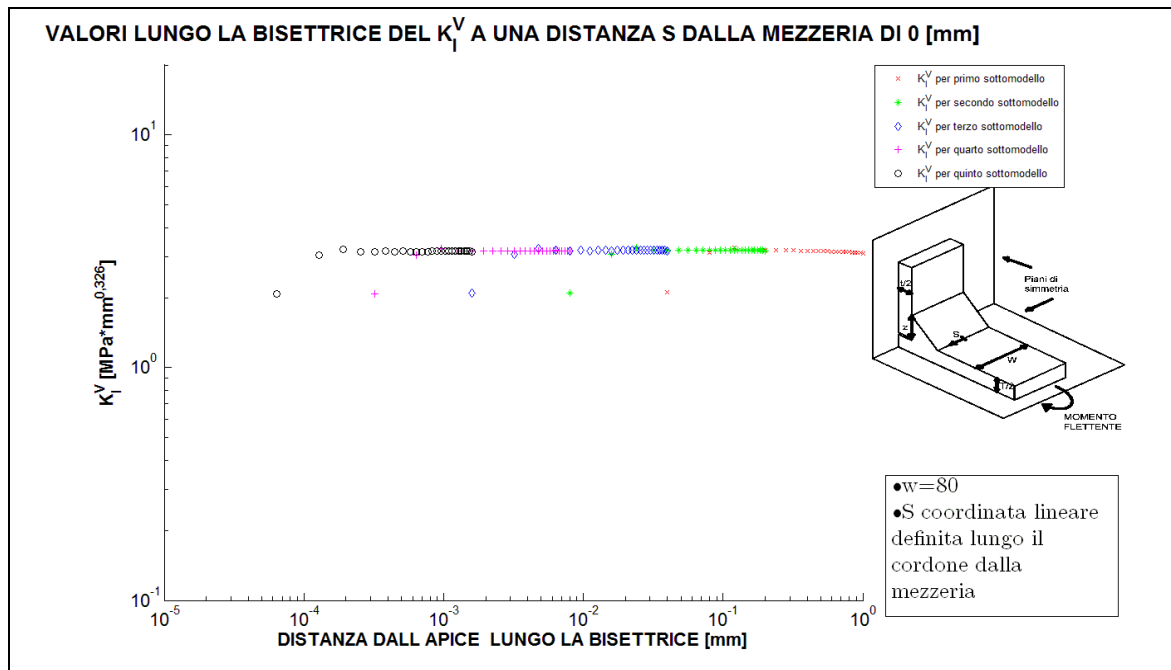


Figura 4.142: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,18 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

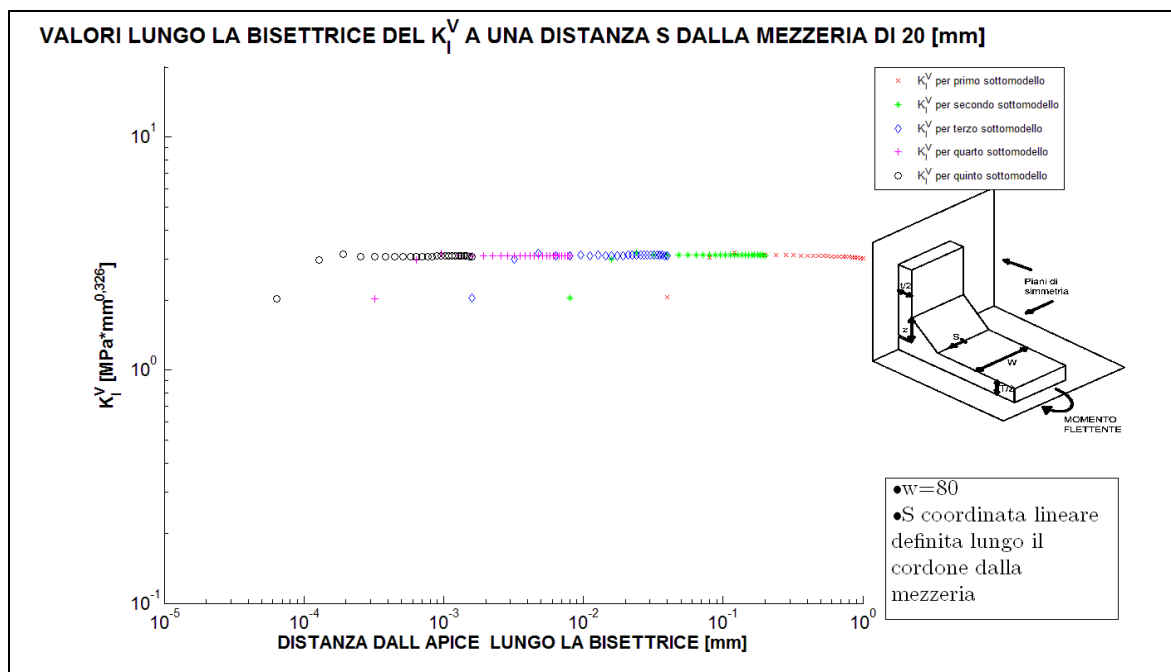


Figura 4.143: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 3,10 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V al bordo del giunto :

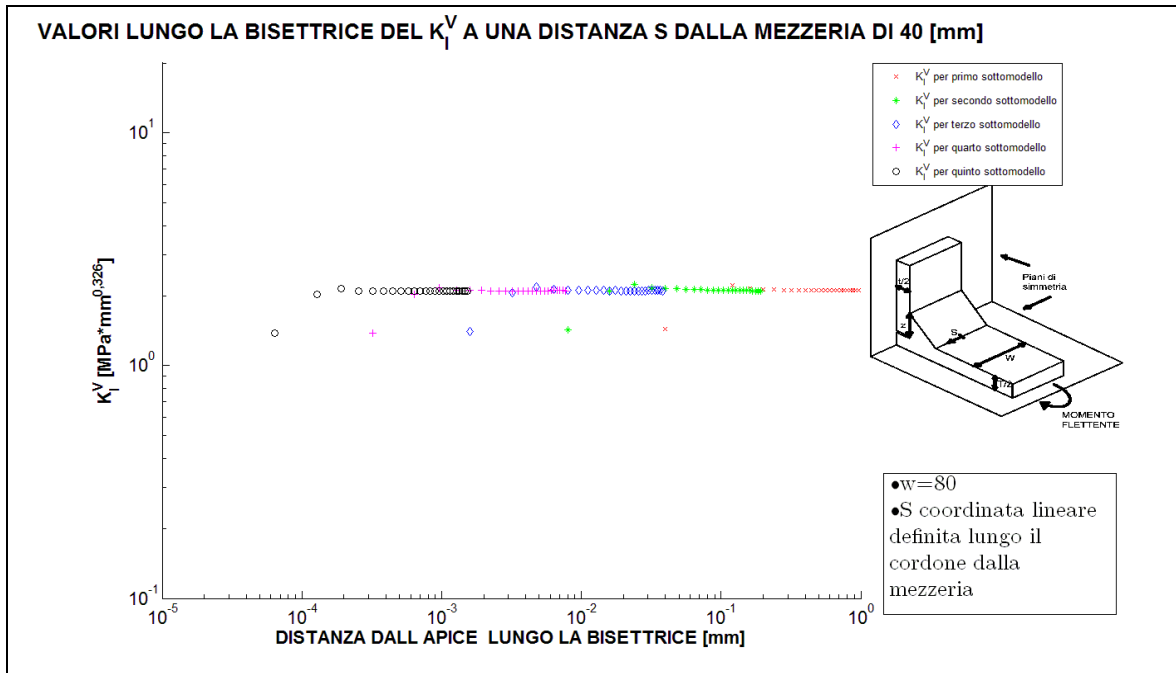


Figura 4.144: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,09 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla mezzeria:

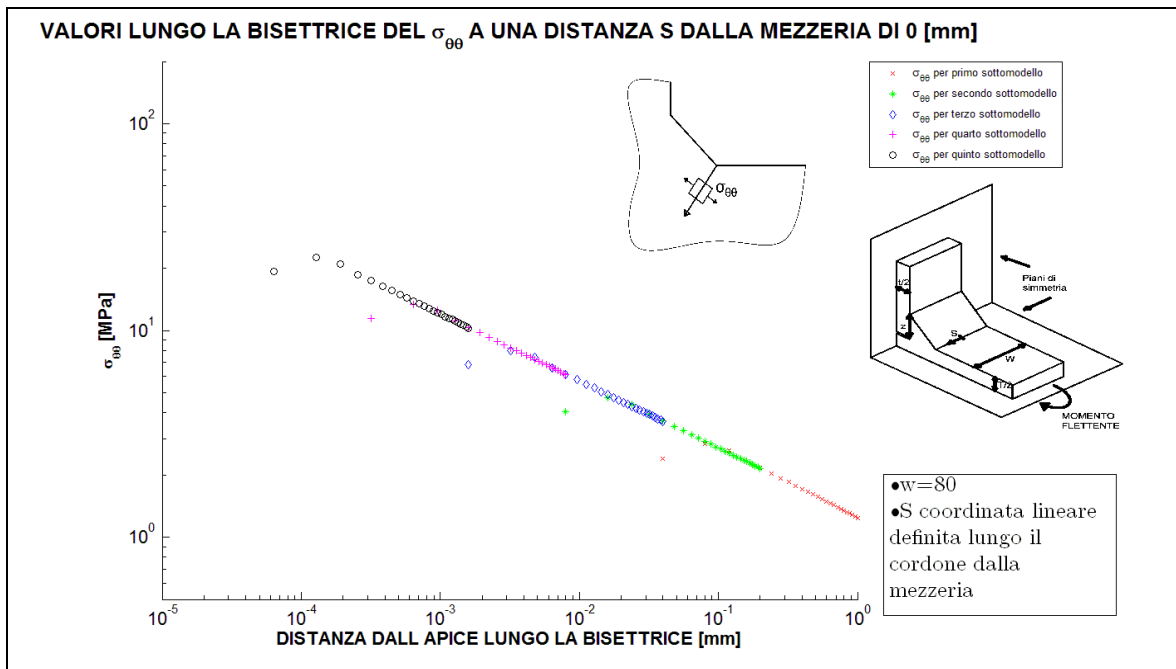


Figura 4.145: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

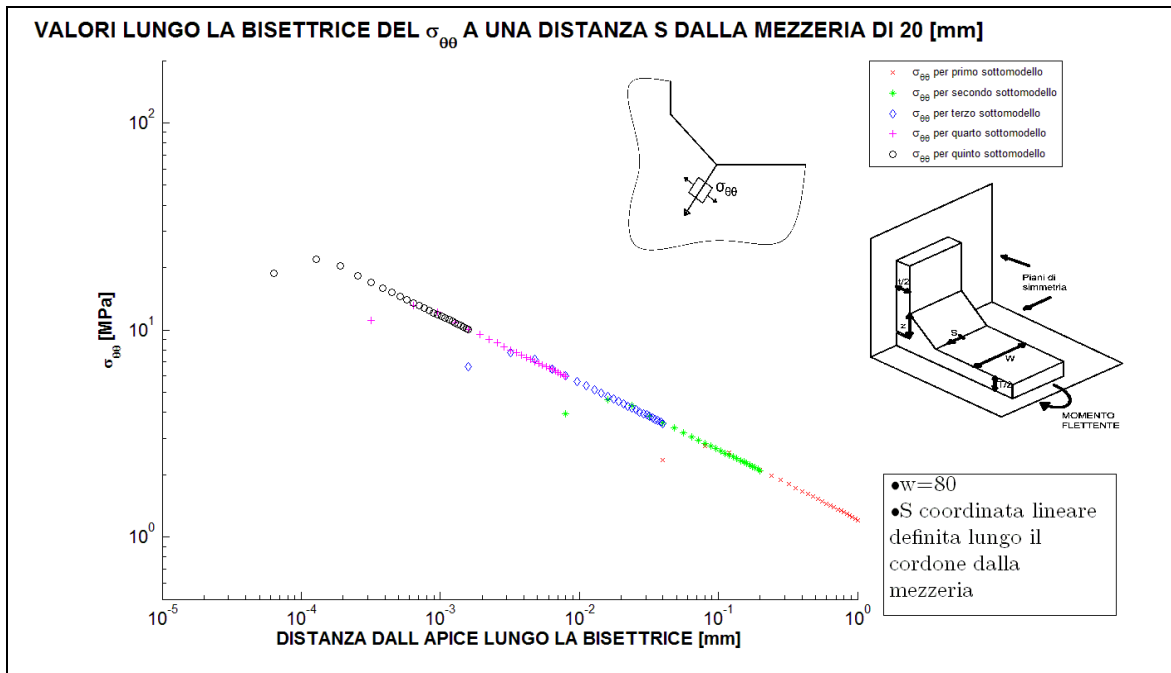


Figura 4.146: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ al bordo del giunto :

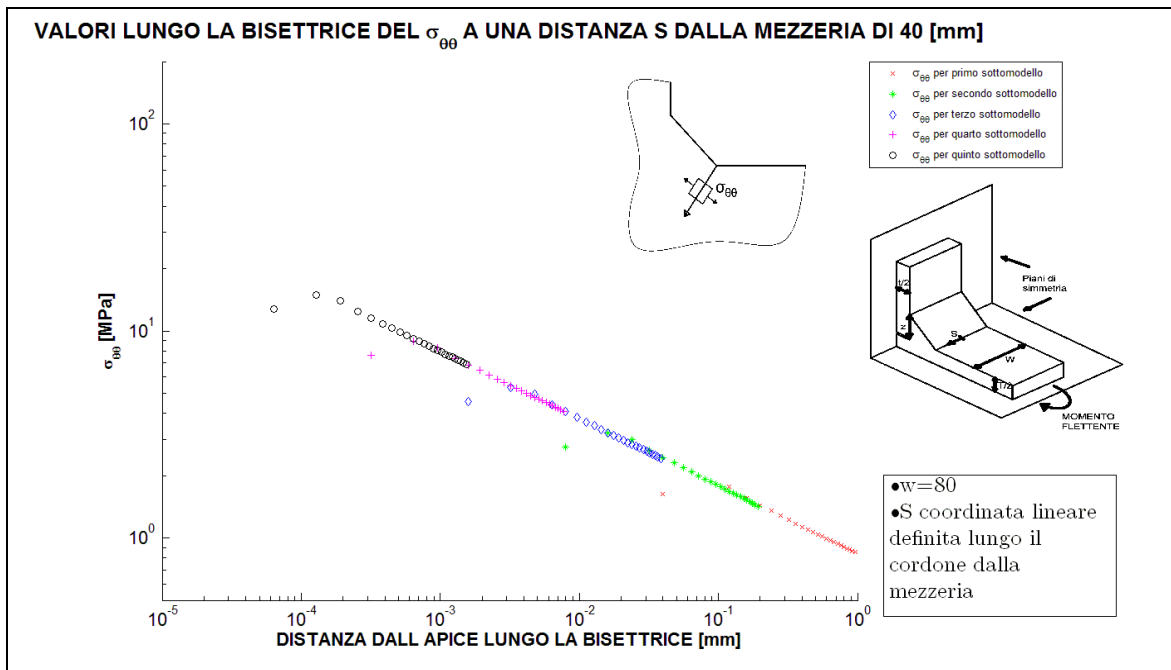


Figura 4.147: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.68 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.68 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione con Solid 186 nella forma di parallelepipedi

VALORI K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di flessione σ_0 di 1 [MPa] con $T=50$ [mm], $t=20$ [mm], $z=10$ [mm], $W=80$ [mm]											
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$]	3,18	3,18	3,18	3,17	3,17	3,16	3,16	3,15	3,14	3,12	3,1
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$]	3,08	3,07	3,05	3,03	3,01	2,97	2,83	2,87	2,76	2,09	
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$] dalla simulazione bidimensionale precisa							3,05				

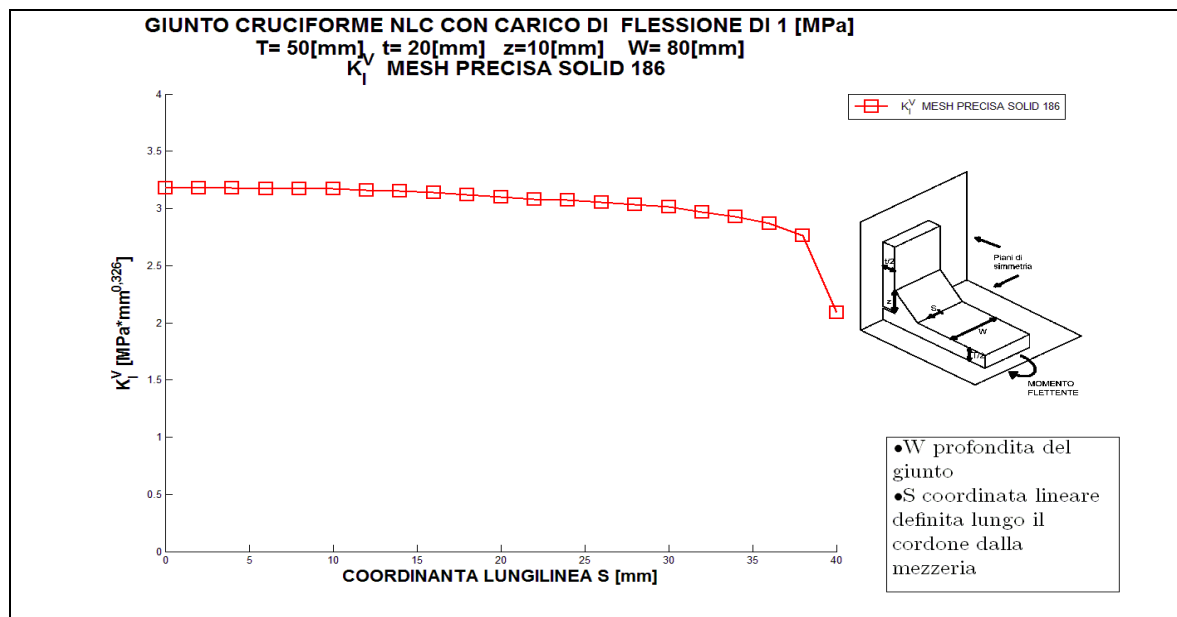


Figura 4.148: Plottaggio dei valori relativi alla tabella 4.68

- Per il giunto con $T=30$ [mm], $t=20$ [mm] $z=5$ [mm] e $W = 80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

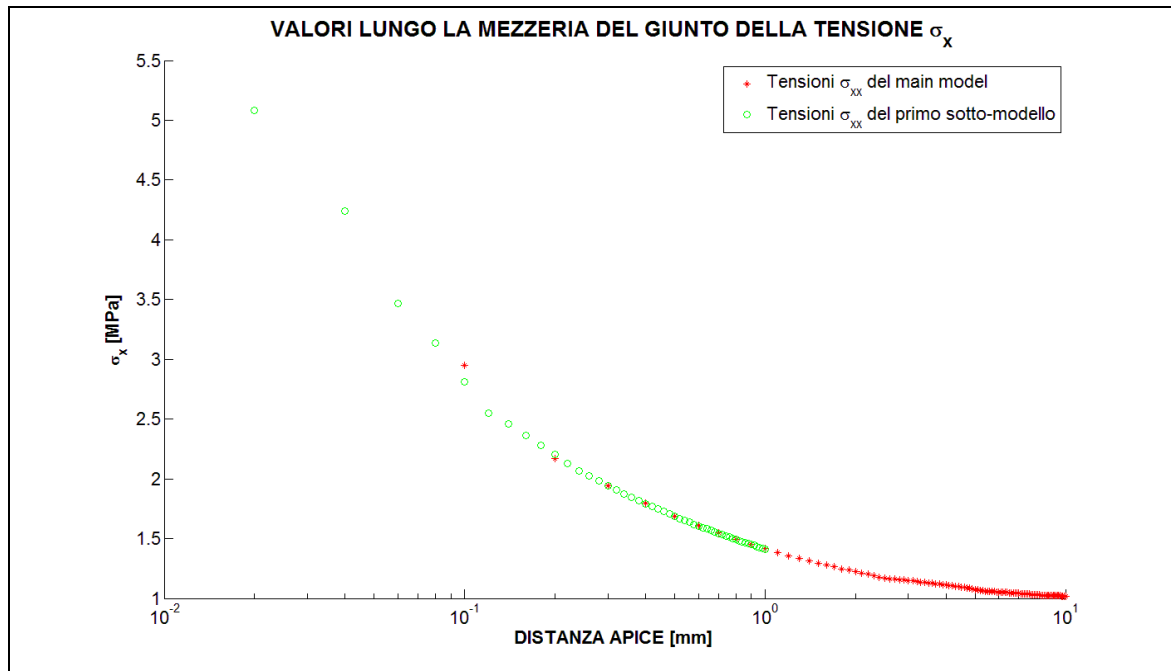


Figura 4.149: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamento nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria , alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V alla mezzeria:

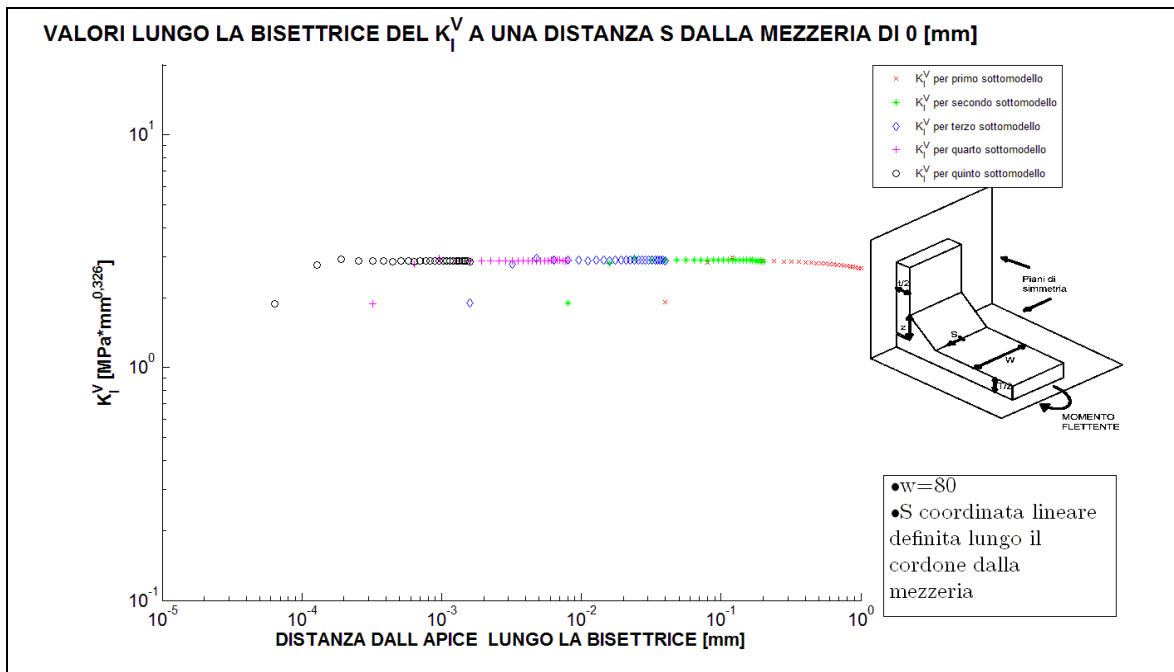


Figura 4.150: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,88 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

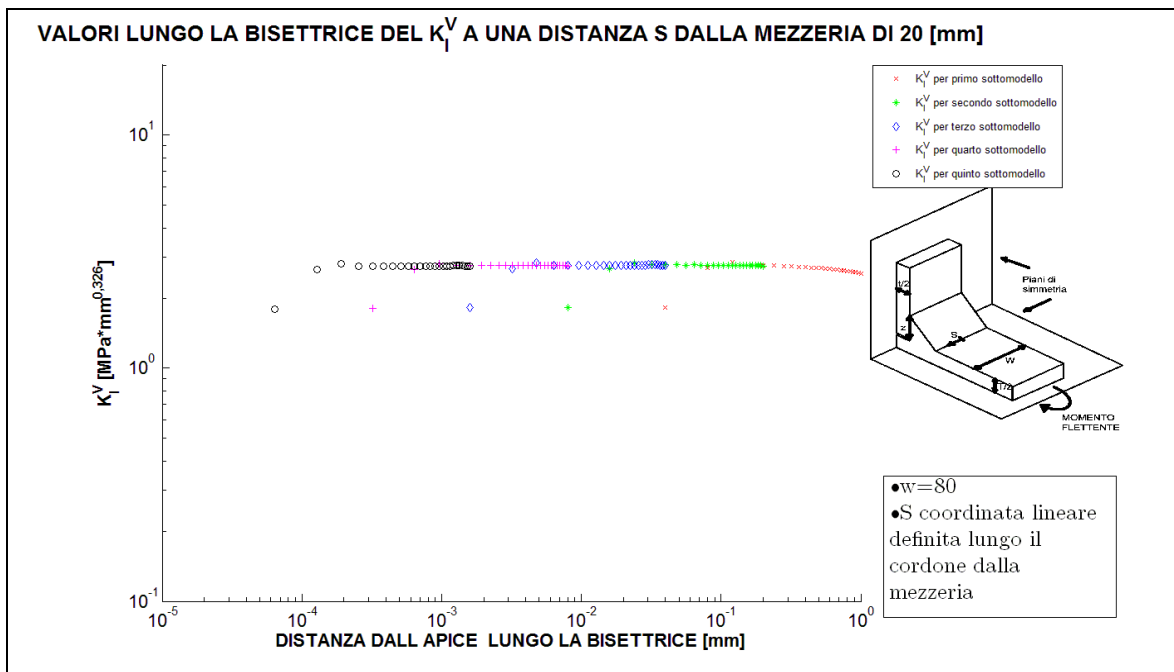


Figura 4.151: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,76 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V al bordo del giunto :

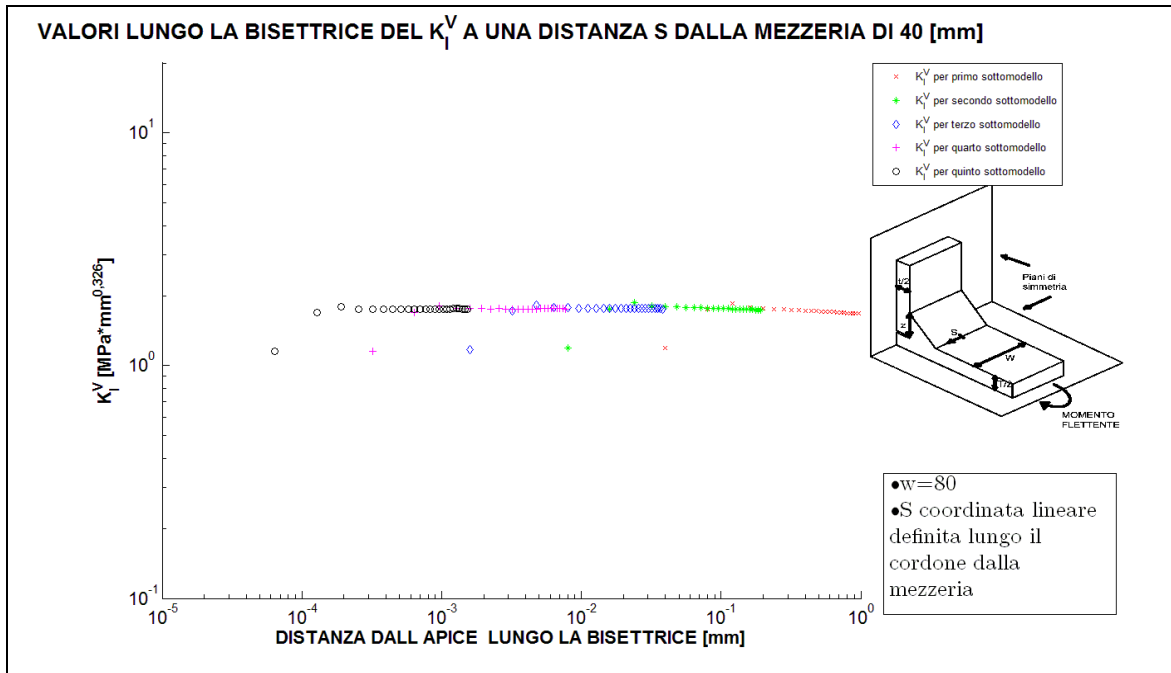


Figura 4.152: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 1,75 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla mezzeria:

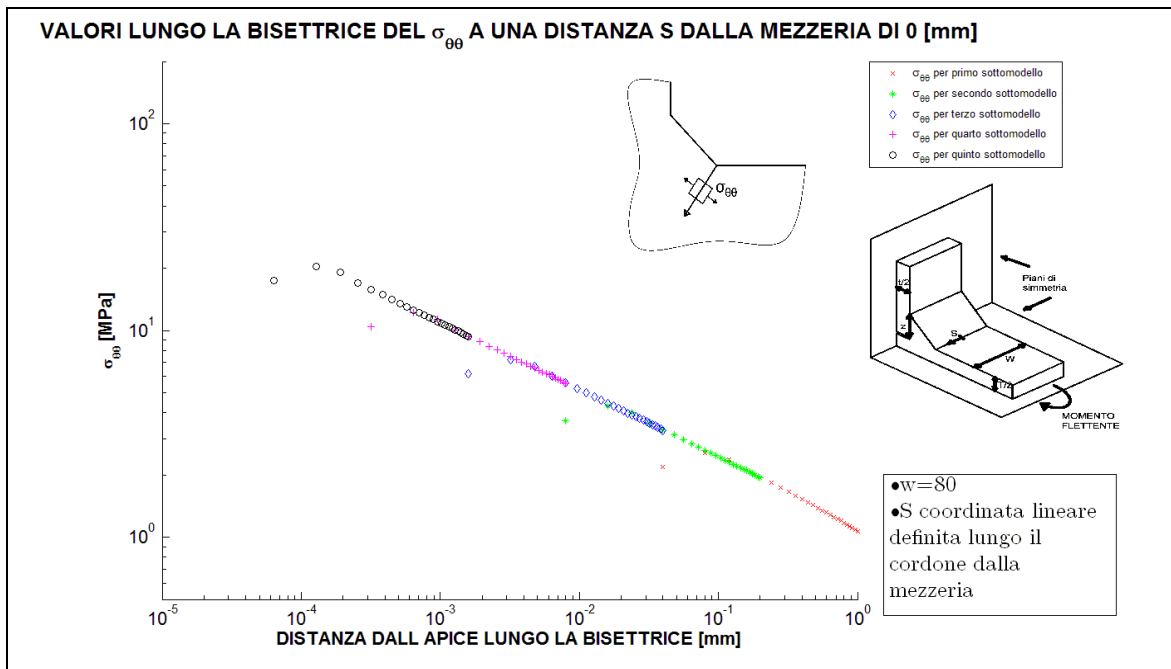


Figura 4.153: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

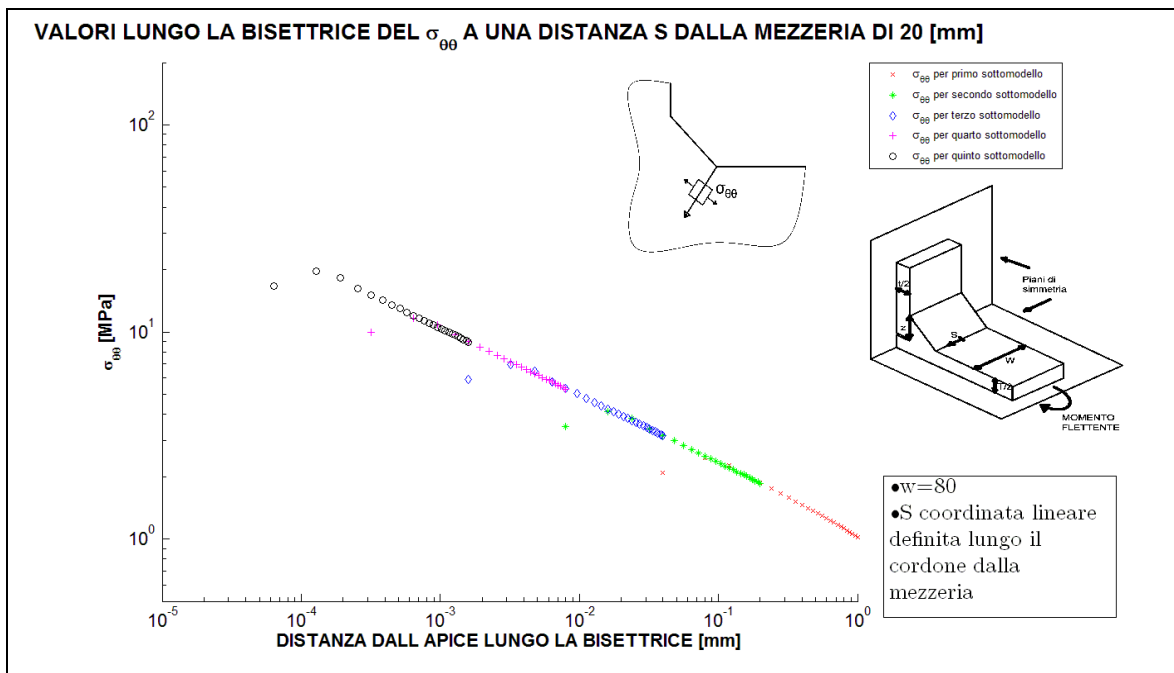


Figura 4.154: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ al bordo del giunto :

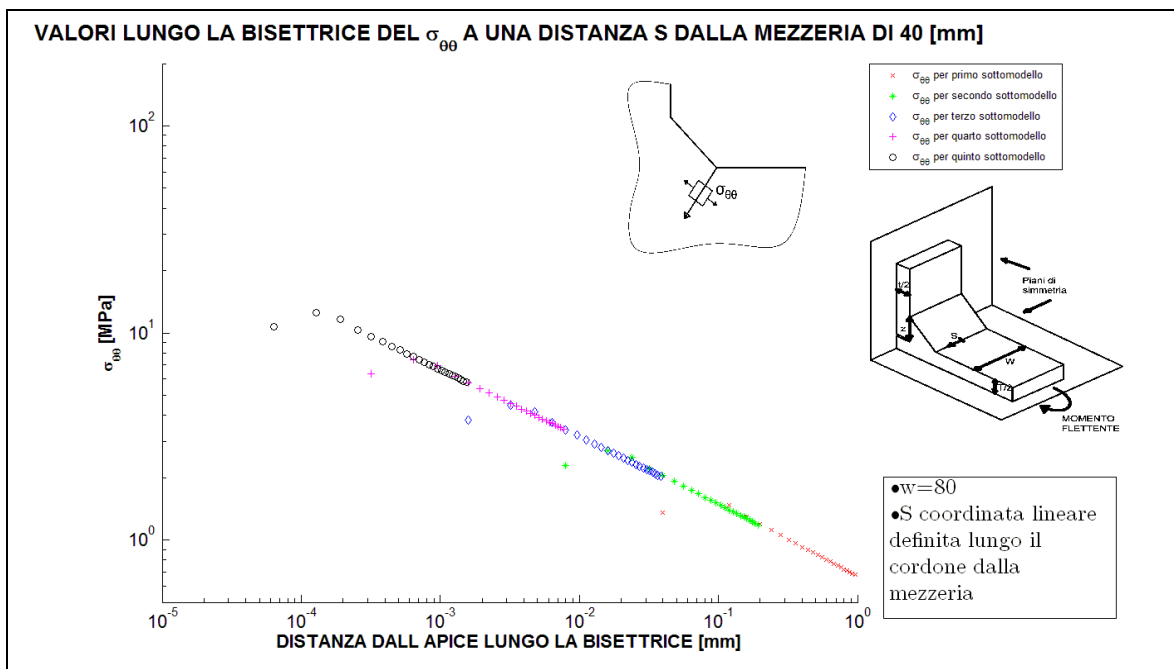


Figura 4.155: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.69 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.69 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione con Solid 186 nella forma di parallelepipedi

VALORI K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO											
del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di flessione σ_0 di 1 [MPa]											
con $T=30$ [mm], $t=20$ [mm], $z=5$ [mm], $W=80$ [mm]											
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	2,88	2,88	2,88	2,87	2,86	2,85	2,84	2,83	2,81	2,78	2,76
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	2,73	2,7	2,66	2,63	2,58	2,53	2,48	2,43	2,34	1,75	
K_I^V [$MPa \cdot mm^{0.326}$] dalla simulazione bidimensionale precisa							2,71				

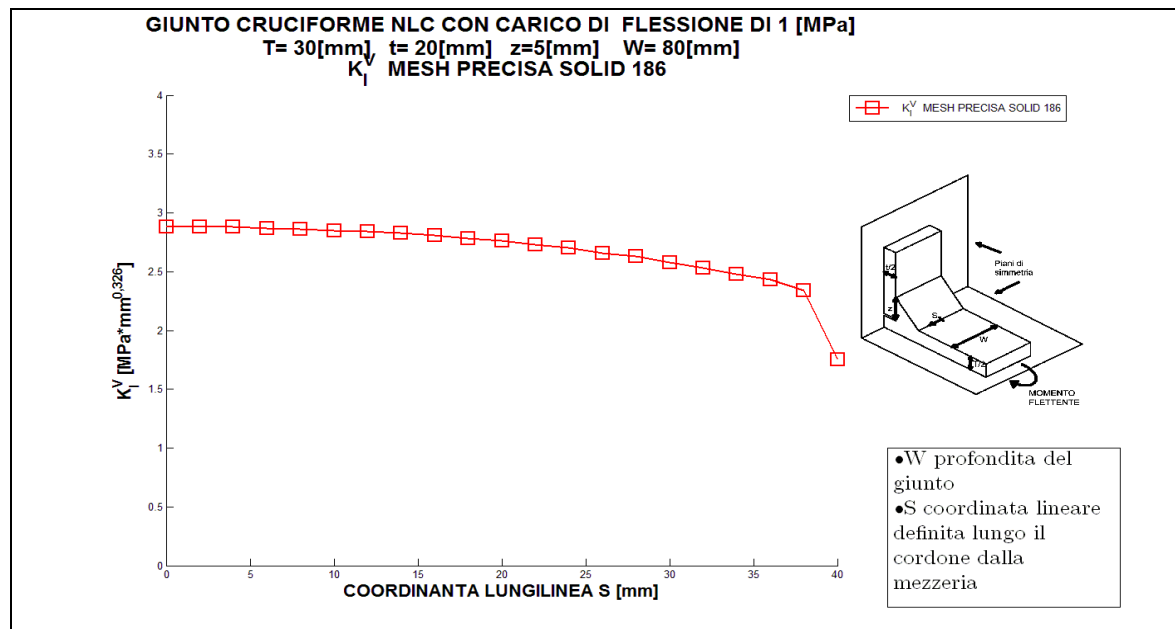


Figura 4.156: Plottaggio relativo alla tabella 4.69

- Per il giunto con $T=10$ [mm], $t=20$ [mm] $z=5$ [mm] e $W = 80$ [mm]

Come primo passo si mostra il grafico di confronto tra l'andamento delle tensioni σ_x del primo sotto-modello e il main model.

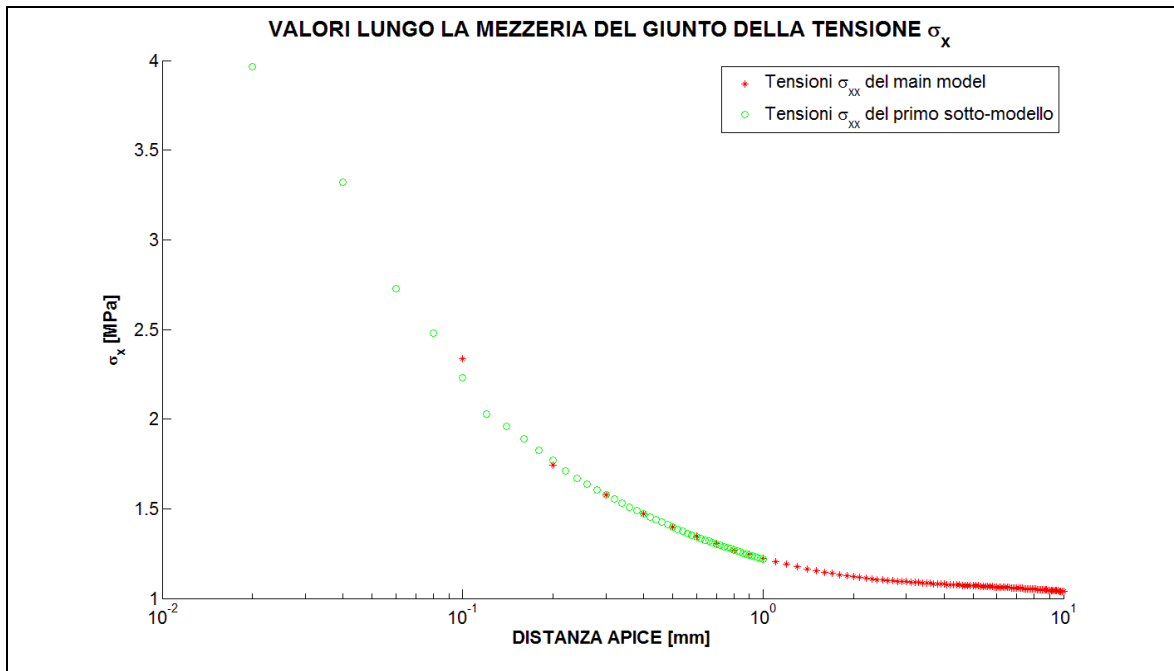


Figura 4.157: Si osserva la sovrapposizione delle tensioni che garantisce la convergenza tra main model e primo sotto-modello

Dalla sovrapposizione delle tensioni per i due modelli nella zona dove avviene il trasferimento degli spostamento nodali è verificata la convergenza. Ora si riportano per sintesi solo i grafici del plateau in tre dei dieci punti in cui è stato valutato corrispondenti alla mezzeria, alla $\frac{3}{4}$ e al bordo esterno del giunto:

- Grafico del plateau del K_I^V alla mezzeria:

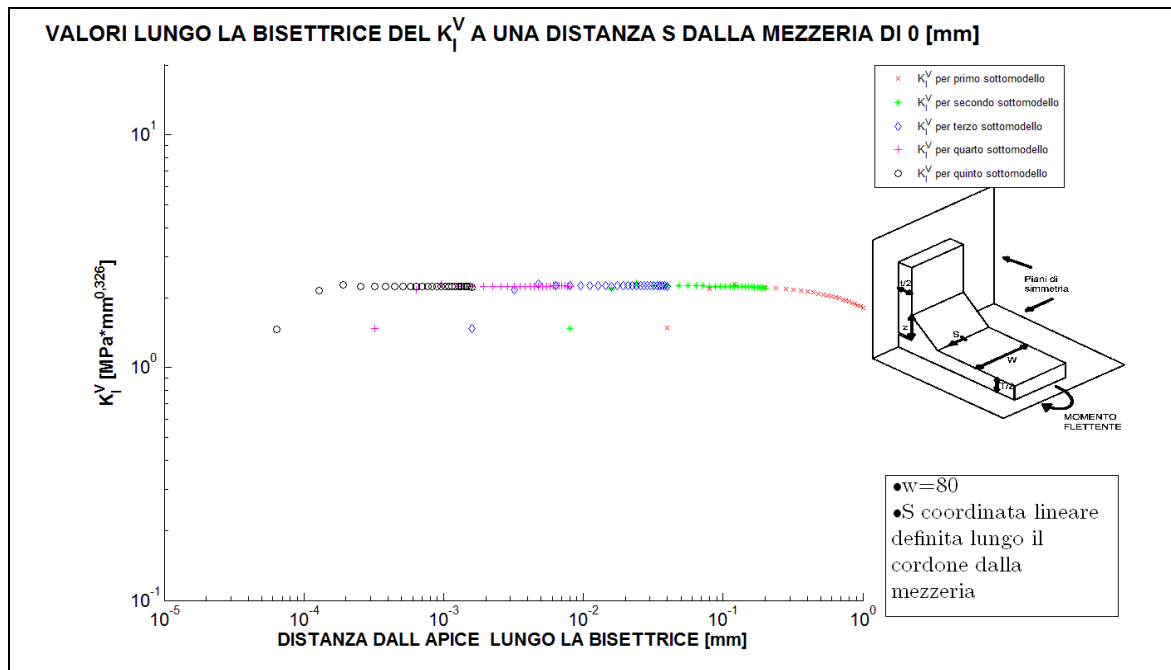


Figura 4.158: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della mezzeria, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,24 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

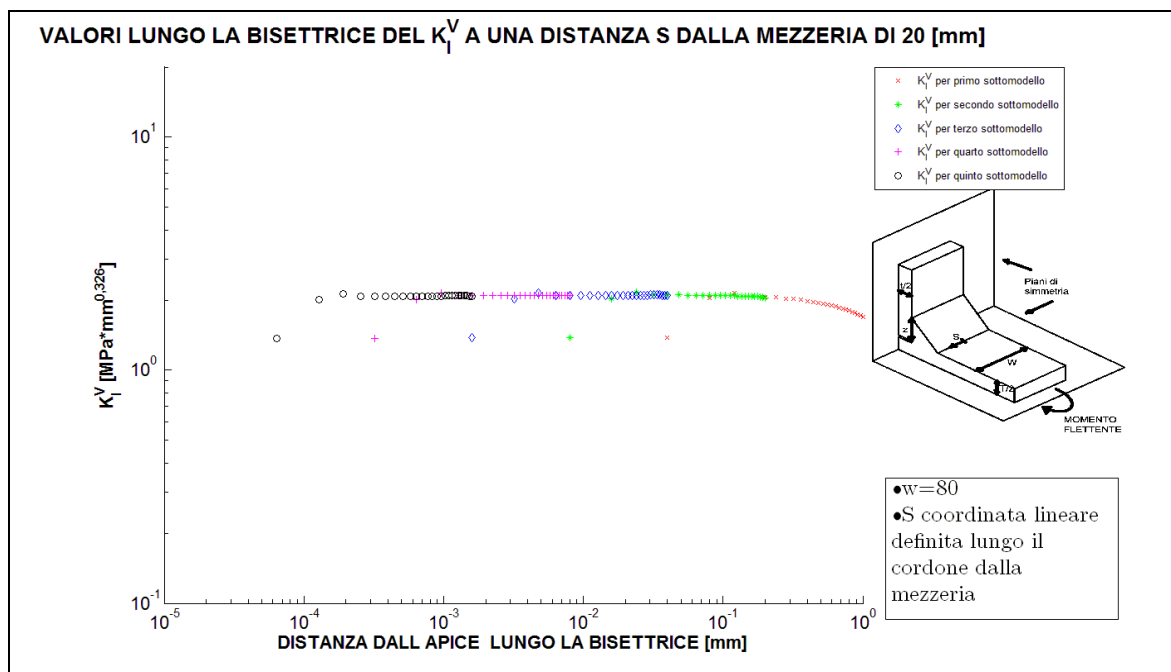


Figura 4.159: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità della $\frac{3}{4}$ del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 2,09 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico del plateau del K_I^V al bordo del giunto :

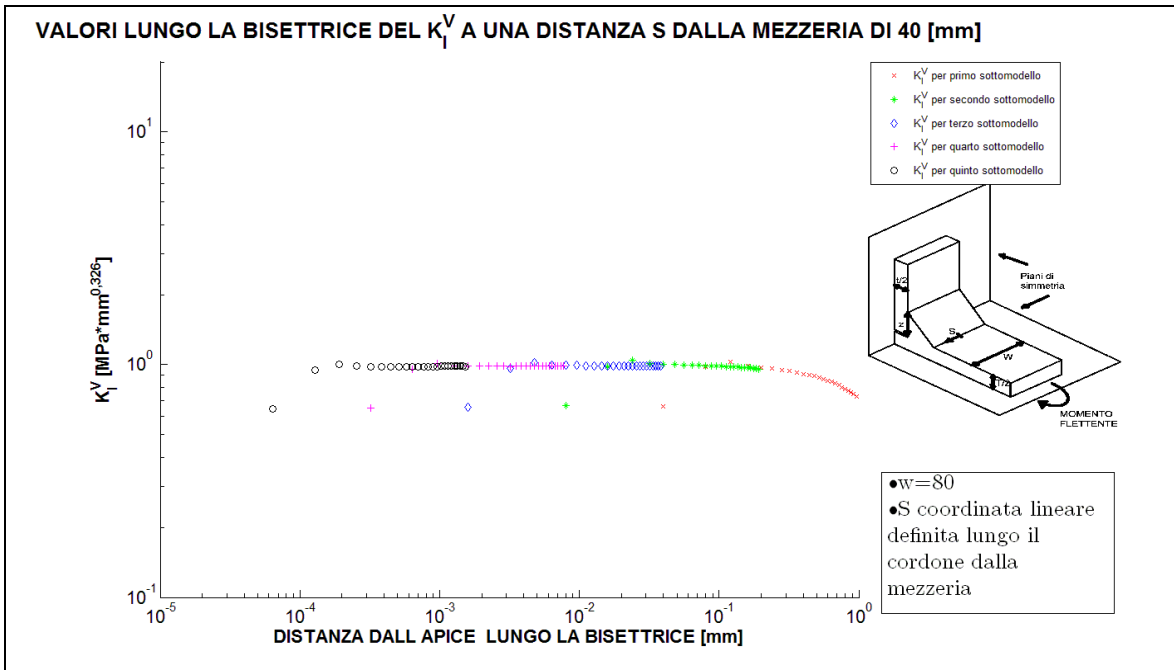


Figura 4.160: Il plateau che individua il valore del NSIF mode I in prossimità del bordo esterno del giunto, in questo caso il NSIF mode I individuato è pari a 0,99 [MPa*mm^{0,326}]

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla mezzeria:

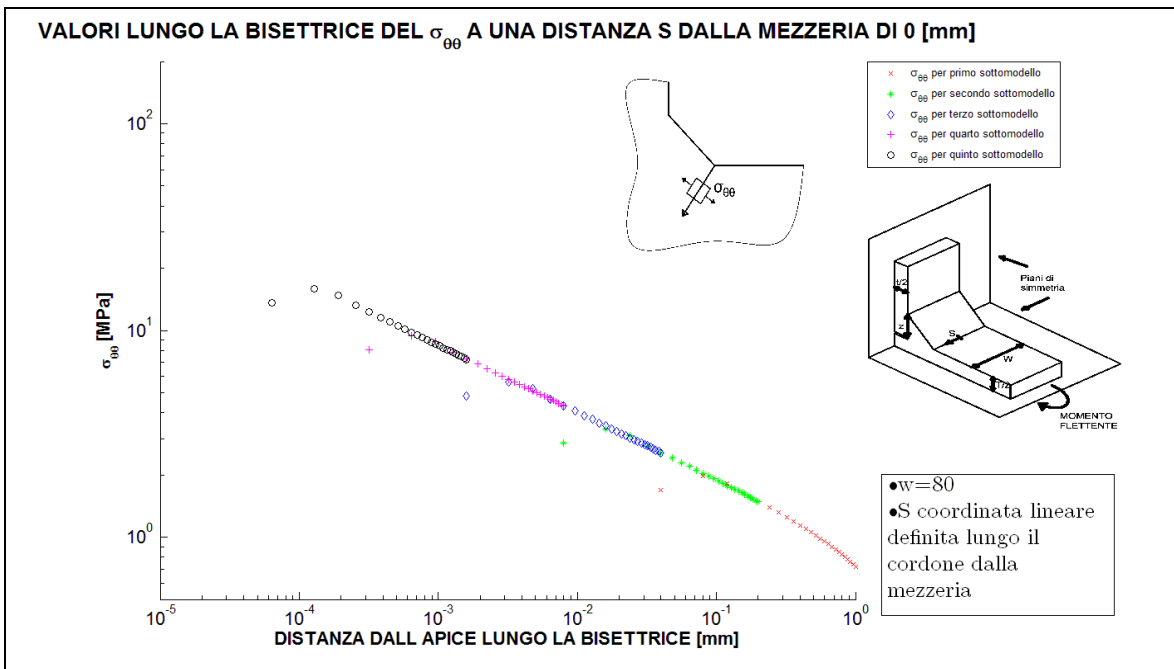


Figura 4.161: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ alla $\frac{3}{4}$ del giunto:

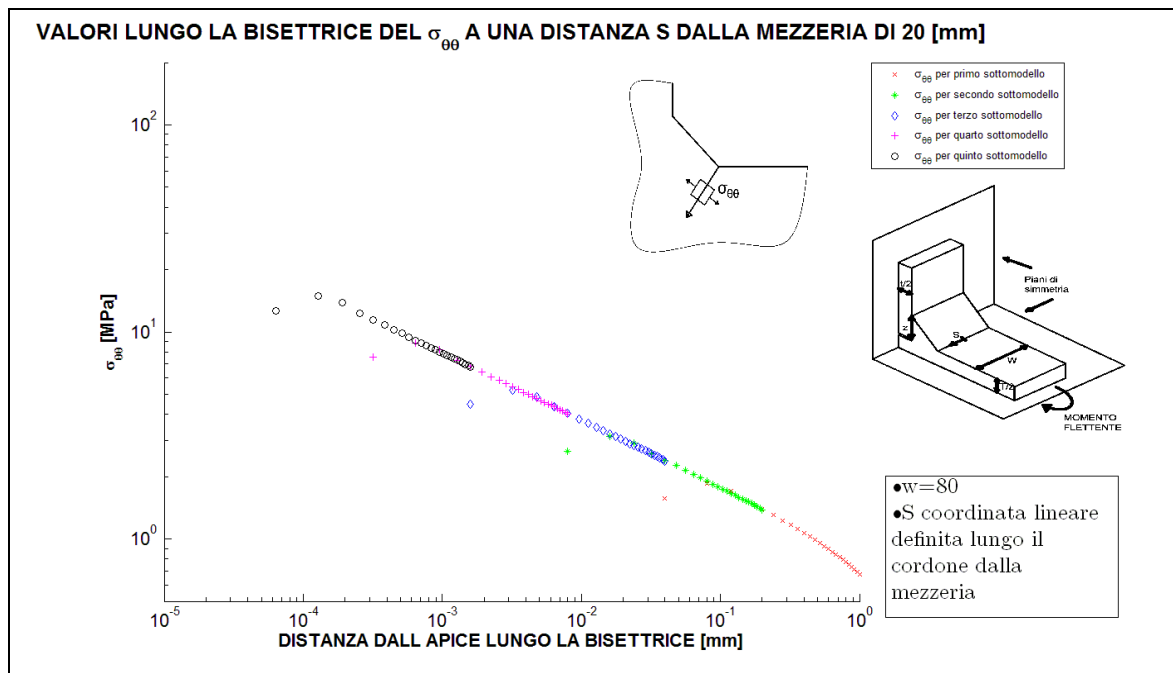


Figura 4.162: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

- Grafico delle $\sigma_{\theta\theta}$ al bordo del giunto :

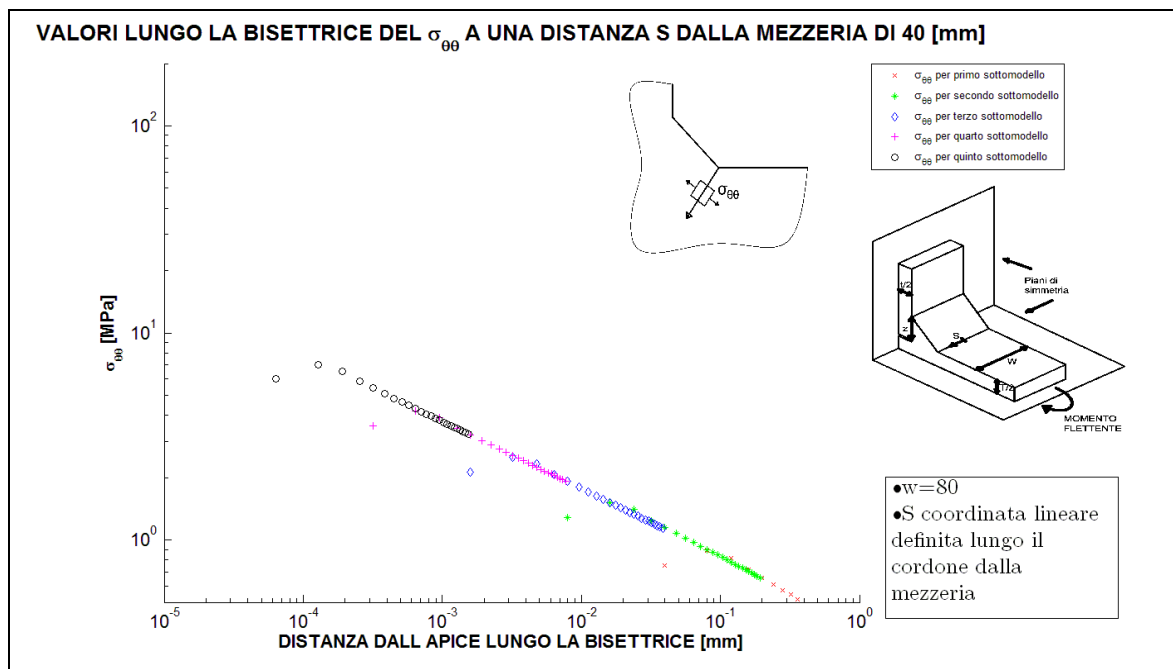


Figura 4.163: Grafico doppio logaritmico delle tensioni $\sigma_{\theta\theta}$

Si vede che la pendenza di tali curve è pari a quella prevista. Ora si riportano in tabella 4.70 tutti i valori di NSIF mode I individuati lungo il cordone di saldatura a partire dalla mezzeria fino al bordo esterno, ovviamente per la simmetria del problema si avranno gli stessi valori nell'altra metà del giunto. Si riporta anche il valore ottenuto da la simulazione bidimensionale sempre con mesh precisa che risulta in buon accordo con i valori del giunto tridimensionale.

Tabella 4.70 Valori di NSIF mode I individuati dalle analisi FEM utilizzando la tecnica della sotto-modellazione con Solid 186 nella forma di parallelepipedi

VALORI K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$] DALLA MEZZERIA FINO AL BORDO ESTERNO del giunto cruciforme NLC sollecitato a tensione remota di flessione σ_0 di 1 [MPa] con $T=10$ [mm], $t=20$ [mm], $z=5$ [mm], $W=80$ [mm]											
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$]	2,24	2,24	2,24	2,23	2,22	2,21	2,2	2,17	2,16	2,13	2,09
DISTANZA DALLA MEZZERIA [mm]	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$]	2,06	2,01	1,95	1,88	1,81	1,71	1,61	1,49	1,35	0,99	
K_I^V [$MPa * mm^{0.326}$] dalla simulazione bidimensionale precisa							1,99				

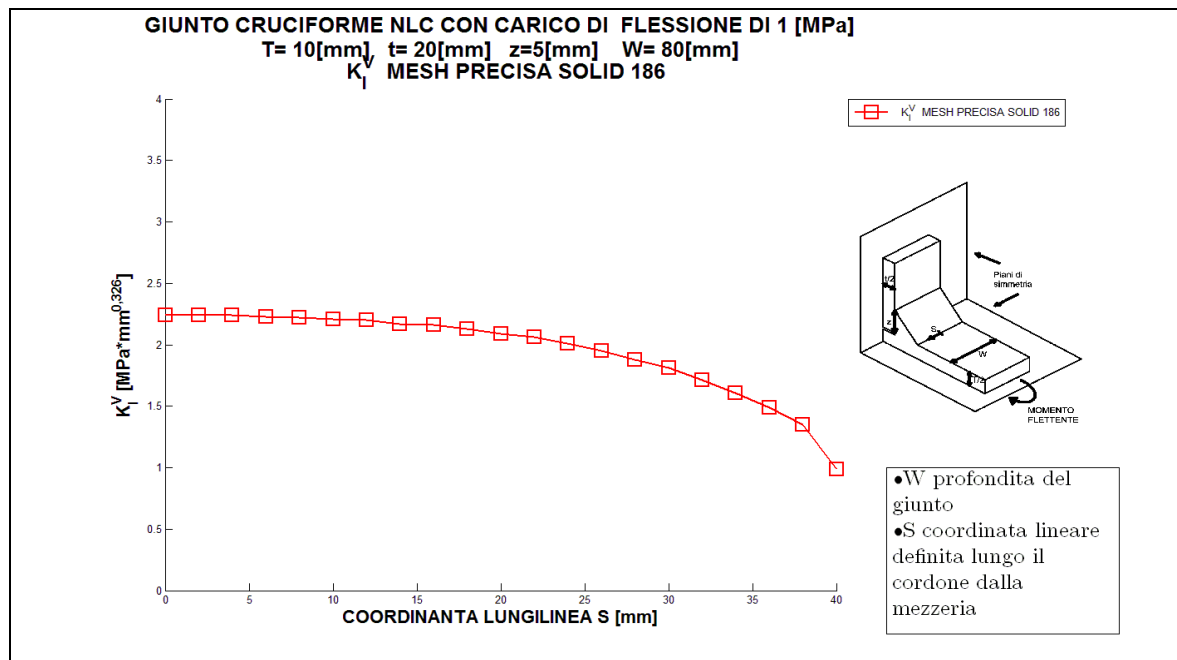


Figura : Plottaggio dei dati della tabella 4.70

4.5 Confronto tra l'utilizzo di una mesh di Solid 187 o Solid 186 per il calcolo del NSIF mode I con il metodo preciso nei casi tridimensionali

Per i giunti riportati nei paragrafi precedenti di questo capitolo si sono valutati i valori del K_I^V tramite l'uso di una mesh fitta con l'utilizzo della tecnica sotto-modellazione sia usando elementi Solid 187 o Solid 92 che possiedono la forma geometrica di tetraedri sia Solid 186 o Solid 95 che possiedono la forma geometrica di rettangolare. La procedura seguita e le scelte fatte sono descritte nel paragrafo 2.6, qui ci si limiterà a descrivere i vantaggi e gli svantaggi derivanti dal uso dei due tipologie di elementi.

- Solid 187 e Solid 92

Poiché le simulazioni sono molto gravose già dai primi sotto-modelli si è scelto di modellare a tratti il cordone di saldatura. Questo introduce una condizione di disturbo-errore nei fianchi dei semi cilindretti creati perché in tali zone vengono assegnati spostamenti non giusti a convergenza, tuttavia se il rapporto tra il raggio e la lunghezza dei semi cilindretti è sufficientemente alta (nei casi trattati il rapporto è pari a 10) la fonte di disturbo-errore non compromette in maniera sensibile la zona dove verranno trasmessi gli spostamenti al modello successivo o dove verranno lette le tensioni $\sigma_{\theta\theta}$ per il calcolo del K_I^V . Il vantaggio di questa procedura sta che la gravosità di calcolo tra un sotto-modello N e il sotto-modello N+1 resta invariata, infatti il sotto-modello N+1 è una precisa riproduzione in scala del sotto-modello N, si ha quindi la certezza che una volta risolto il sotto-modello N in un determinato tempo, si risolverà anche i successivi nel medesimo tempo senza esaurire la RAM disponibile.

- Solid 186 o Solid 95

Poiché i gradienti di tensioni e di deformazione sono molto elevati solo in direzione perpendicolare al cordone di saldatura, si è ritenuto possibile utilizzare questi elementi nella loro forma geometrica di parallelepipedi, rendendoli molto allungati per ottenere una mesh fitta nel piano xy (quello perpendicolare al cordone di saldatura) e molto più rada in confronto lungo l'asse z. Per di più per non far crescere in maniera troppo elevata la pesantezza computazionale della mesh da un sotto-modello all'altro il rapporto tra le dimensioni degli lati degli elementi nel piano xy e l'asse z va man mano aumentando. Questo stratagemma rende la pesantezza di calcolo di ciascun sotto-modello di entità molto inferiore rispetto ai Solid 187 e Solid 92. È però necessario mettere delle limitazioni, la lunghezza degli elementi lungo l'asse z non può essere resa lunga a piacere poiché oltre a

un certo valore la mesh non è più in grado di seguire le reali deformazioni del modello e quindi fornisce risultati falsati, visibili da deformazioni anomale dei sotto-modelli e da un plateau che individua il K_I^V non costante fra un sotto-modello e l'altro. Vista la minore gravosità della mesh così creata, nei vari sotto-modelli è stato simulato l'intera lunghezza del piede del cordone di saldatura del giunto, bisogna sottolineare che in questo caso la mesh diviene, passando da un sotto-modello al successivo, sempre più pesante quindi vi è il rischio di esaurire le risorse di calcolo a disposizione soprattutto se il cordone è particolarmente lungo. Nei casi trattati il tempo di risoluzione si è rivelato 8 volte minore rispetto alla mesh composta dagli elementi Solid 187 o Solid 92 quindi il vantaggio in termini di tempo è considerevole. La limitazione maggiore nel utilizzo dei Solid 186 o Solid 95 nella loro forma di parallelepipedi è che è possibile creare la mesh tridimensionale dall'estrusione di una mesh bidimensionale, questo limita l'utilizzo di tale mesh alle sole geometrie meno complesse.

4.5.1 Confronto tra i risultati ottenuti per i vari giunti analizzati con la mesh con il Solid 187 o Solid 92 e Solid 186 o Solid 95.

Nei paragrafo 4.4 sono stati riportati i risultati ottenuti per 4 giunti cruciformi NLC con diverse caratteristiche geometriche sottoposte a sia a carico di trazione che di flessione, con una tensione remota σ_0 unitaria. Sono stati risolti sia utilizzando la mesh con forma geometrica degli elementi tetraedrica sia a con la forma geometrica di parallelepipedi. Ovviamente i risultati ottenuti con le due procedure devono essere uguali a meno di piccolissime discrepanze in quanto in entrambi si usa il metodo preciso di individuazione del K_I^V ossia con la visualizzazione del plateau lungo la bisettrice dell'angolo dell'intaglio. Si riporta in ora nei grafici a seguire i valori lungo il cordone di saldatura dei valori del NSIF mode I ottenuti per i due metodi.

- Giunto cruciforme NLC con carico di flessione

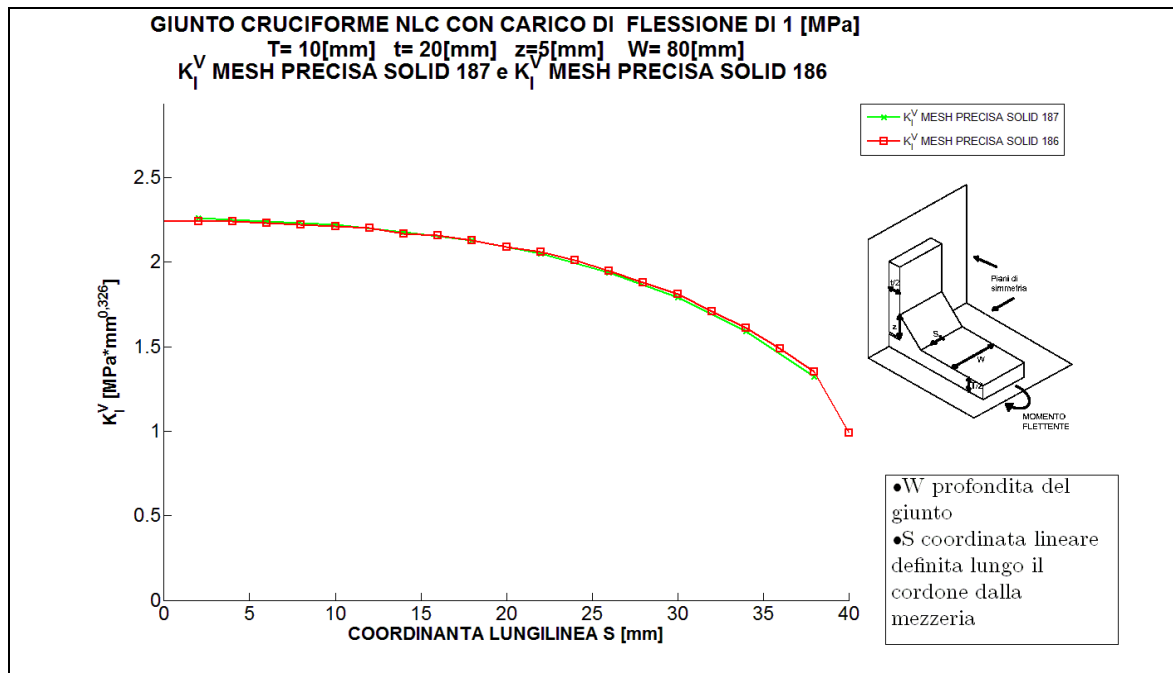


Figura 4.164

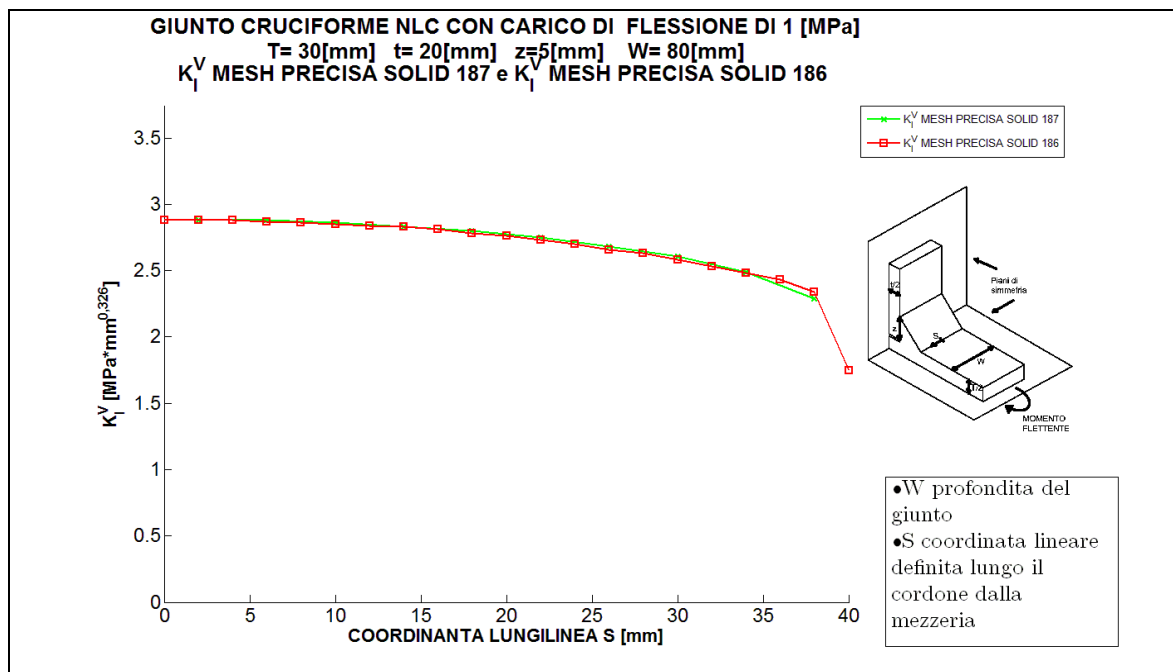


Figura 4.165

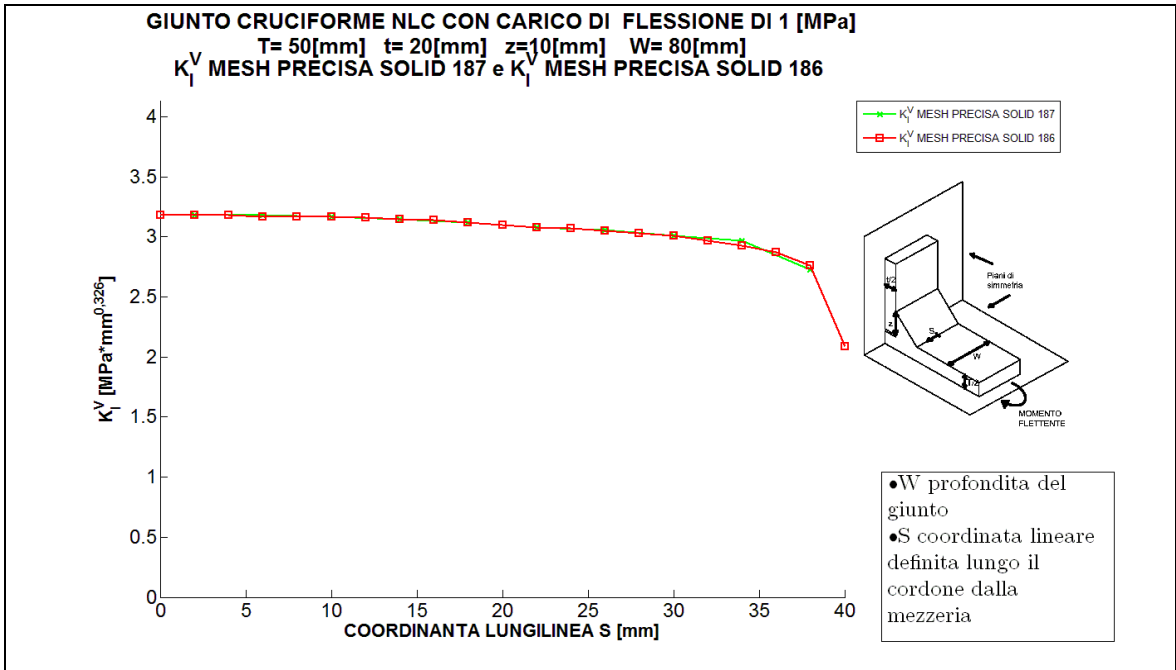


Figura 4.166

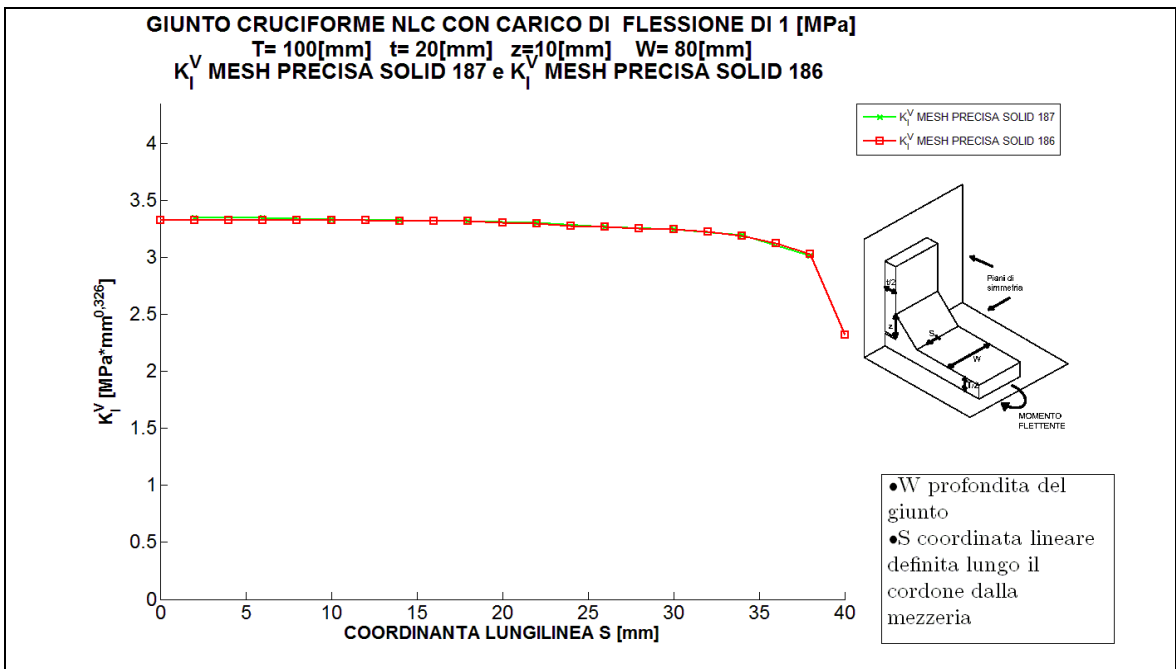


Figura 4.167

- Giunto cruciforme NLC con carico di trazione

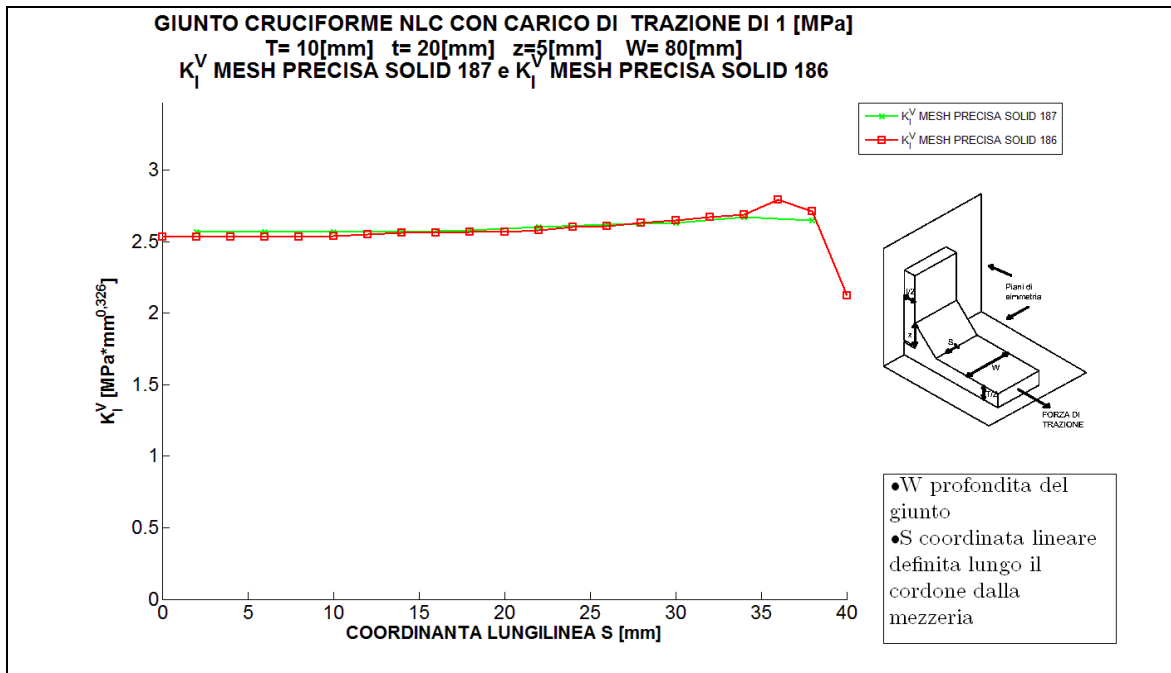


Figura 4.168

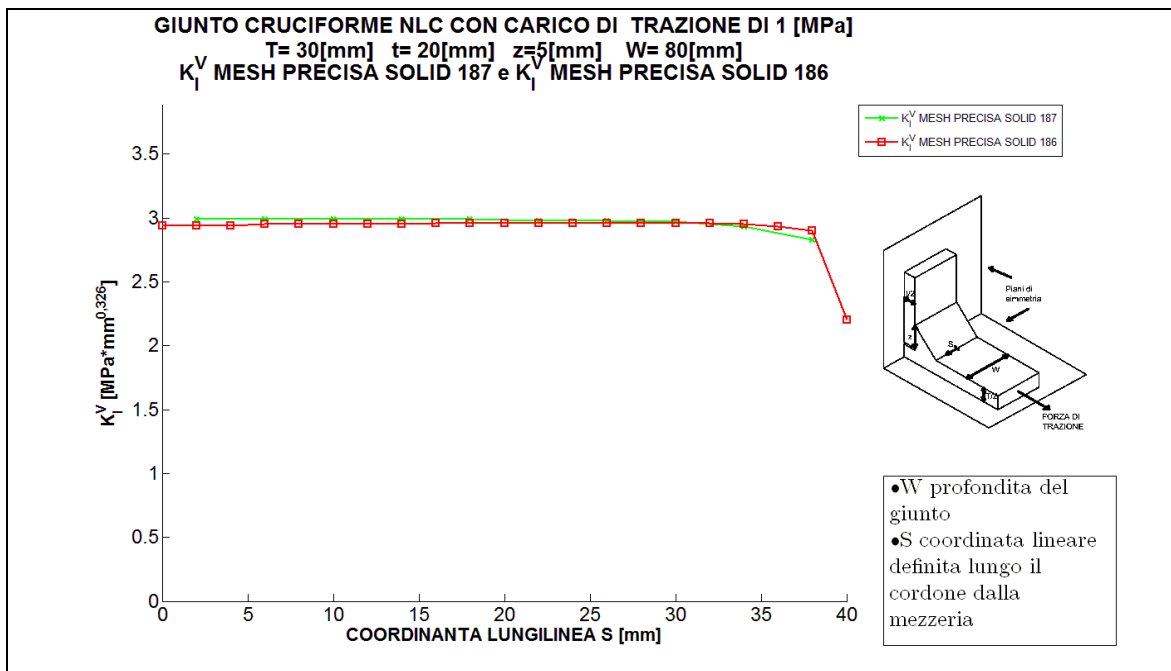


Figura 4.169

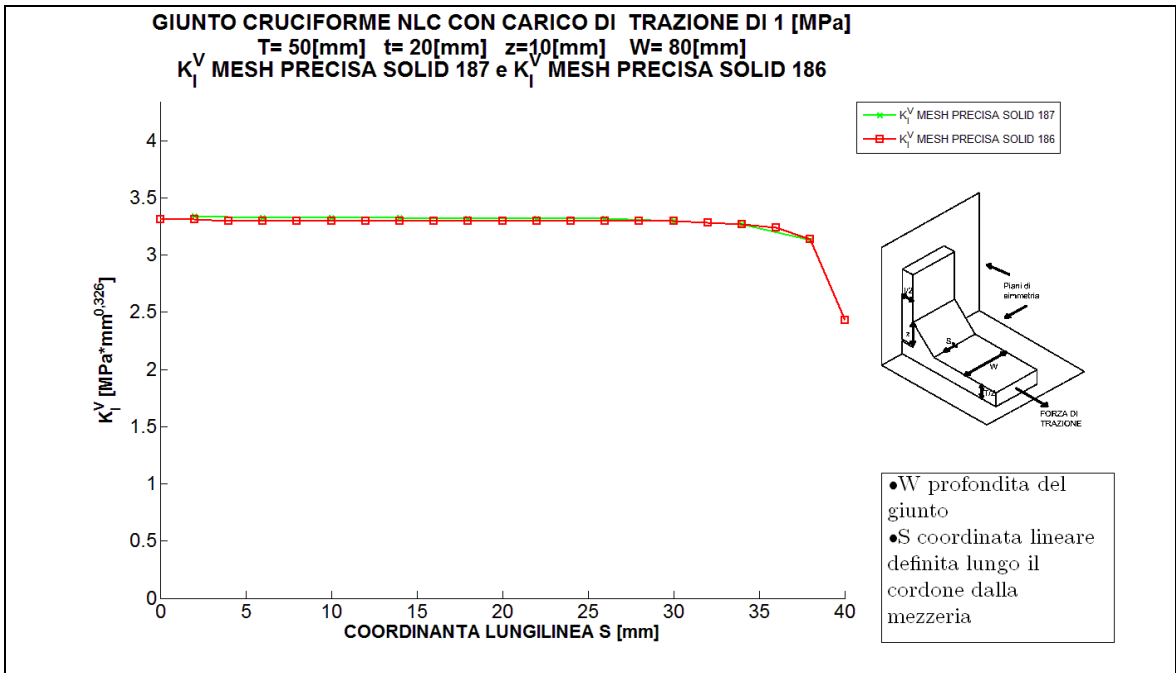


Figura 4.170

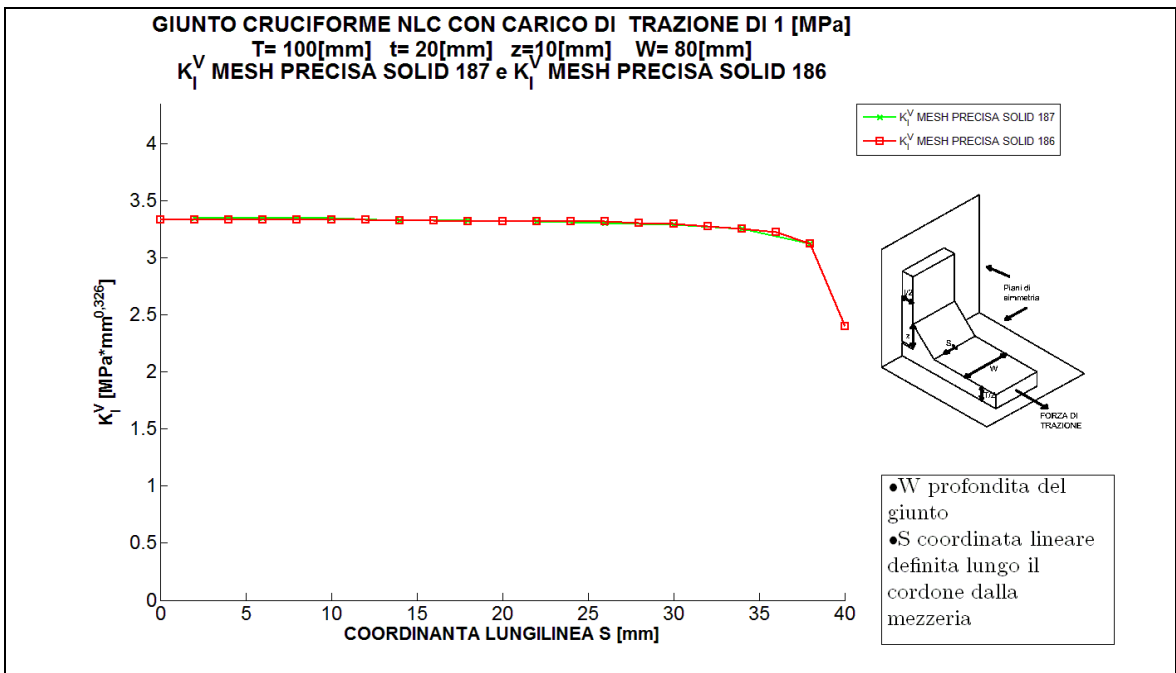


Figura 4.171

Come si evince dai grafici sopra riportati i due metodi forniscono le medesimi risultati, come era si era preventivato. Questo valida il metodo della mesh di elementi Solid 186 o Solid 95 nella loro forma geometrica di parallelepipedi.

4.6 Considerazioni finali

Nel seguente capitolo sono state fatte le seguenti operazioni allo scopo di tarare il coefficiente del PSM di elementi implementati nel software Ansys®. Come primo passo si sono ricavati i valori di NSIF mode I ottenuto con mesh precisa per diversi modelli piani di giunti cruciformi NLC , giunti cruciformi LC, giunti a T NLC . Poi sono state individuate le tensioni principali presenti al piede del cordone di saldatura degli stessi giunti avendo adoperato una mesh PSM. Poiché si sono tarati sia elementi piani che tridimensionali sono state usate sia geometrie piane, sia di geometrie tridimensionali ma in queste ultime è stato indotto uno stato piano di deformazione. Simulati diversi giunti usando il medesimo elemento, e ricavate quindi le tensioni principali presenti all'intaglio e con i valori precisi di NSIF mode I e sono stati calcolati i coefficienti K_{FE}^* della formula del PSM in ciascun giunto . La formula adoperata è la seguente $K_{FE}^* = K_I^V / (\sigma_{peak} * d^{0.326})$ dove d è la dimensione dell'elemento usata. Avendo diversi valori di K_{FE}^* per ciascun giunto nonostante l'elemento usato fosse il medesimo, si è eseguita la media di tutti i valori ottenendo un K_{FE}^* medio, in seguito per poter attribuire una precisione al metodo della tensione di picco si è ipotizzata una distribuzione di Student dei valori di K_{FE}^* attorno al valor medio, verificando tramite il test di Pearson la correttezza di tale assunzione. Un riassunto dettagliato dei risultati per ciascun elemento e la procedura adoperata è riportato nel capitolo 5. Come ultimo passo si sono calcolati utilizzando la tecnica della sotto-modellazione i valori di K_I^V lungo il piede del cordone di saldatura di giunti cruciformi tridimensionali NLC sollecitati sia a trazione che a flessione. Nel capitolo 6 si riporteranno i grafici di confronto tra NSIF mode I così ottenuto è quelli stimati tramite PSM.

CAPITOLO 5 : SINTESI DELLA PROCEDURA E DEI RISULTATI DELLA TARATURA COEFFICIENTE DEL PSM

Per l'individuazione del coefficiente K_{FE}^* della formula del PSM per elementi implementati nel software Ansys® 14 si sono simulate diverse geometrie di giunti cruciformi NLC, giunti cruciformi LC e giunti a T NLC sia in acciaio che in alluminio. Al fine di stabilire l'incertezza che l'adozione di tale parametro comporta si è ipotizzato che esso possieda una distribuzione di student attorno al suo valore medio. Poiché per ogni elemento sono state simulate 60 differenti geometrie, il t di student da assegnare per avere una confidenza del 95% è pari a 2. Ora è opportuno verificare tramite il test di Pearson se tale distribuzione è ragionevole. Per semplificare visto che la distribuzione di Student è molto simile a quella di Gauss se il numero di dati è sufficientemente elevato, come nel nostro caso dove si possiedono 60 record, si è presa quest'ultima come distribuzione prevista. Si è quindi proceduto a confrontarla con la distribuzione effettivamente ottenuta. Il test di Pearson è stato superato con successo dai Solid 185 e Solid 45, i Solid 186 e Solid 95, i Solid 187 e Solid 92, mentre il Plane 183 e Plane 82 non ha superato tale test. Quindi per ogni elemento considerato si è calcolato il valore medio del K_{FE}^* e l'incertezza che gli si deve attribuisce considerando una confidenza del 95%

5.1 Plane 182 e Plane 42

I Plane 182 e i Plane 42 sono elementi piani implementati nel software Ansys® 14 con 4 nodi di forma quadrata o triangolare con funzioni di forma lineari.

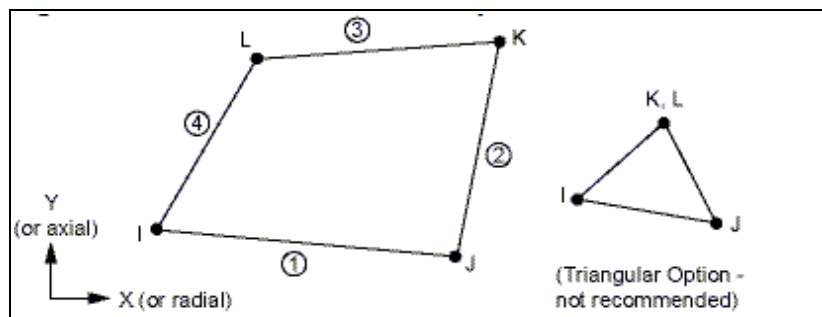


Figura 5.1: L'elemento plane 182 o plane 42 nella forma quadrata o triangolare, nel PSM è stata tarata unicamente la forma quadrata. Immagine tratta dalla guida di Ansys® [14].

Il coefficiente K_{FE}^* qui riportato e tratto dalla letteratura [05] è da ritenersi valido previa le seguenti condizioni:

- materiale lineare elastico uniforme
- settato il campo K1 nelle opzioni dell'elemento Plane 182 come *simple enhanced strn*
- imponendo una condizione di tensione o deformazione piana
- imponendo una dimensione globale degli elementi desiderata [d]
- eseguendo una mesh free sull'area del giunto con la forma degli elementi quadrata
- T/d maggiore di 3 dove T è lo spessore del piatto principale effettivamente simulato
- z/d maggiore di 3 dove z è l'altezza del cateto del cordone di saldatura
- utilizzando il K_{FE}^* tratto dalla letteratura [06] pari a 1.38
- angoli di apertura dell'intaglio compresi tra 0° e 135° , vedi [12], [06]
- al variare dell'angolo di apertura cambia il comportamento della mesh free che genera automaticamente Ansys in prossimità dell'intaglio, vedi immagine 5.2 tratta da [06], in alcune geometrie può essere necessario la creare delle aree di controllo per creare la mesh adeguata all'angolo di apertura in prossimità dell'intaglio [12].

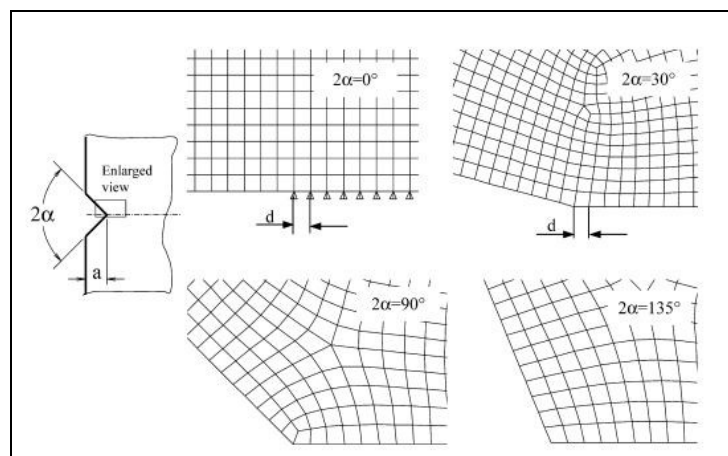


Figura 5.2: I diversi modelli di mesh al variare dell'angolo di intaglio, immagine tratta da [06]

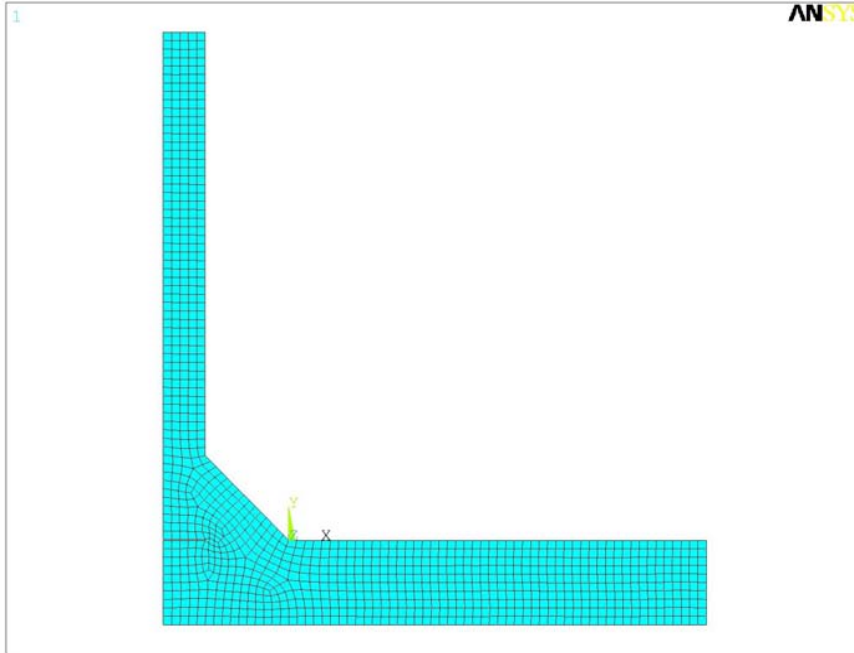


Figura 5.3: Esempio di mesh utilizzata, la forma degli elementi come si vede deve essere quadrata.

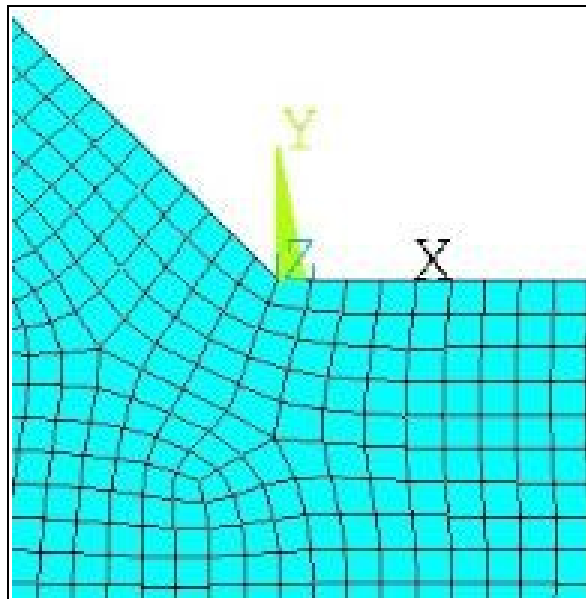


Figura 5.4: La mesh generata in automatico da Ansys in prossimità dell'intaglio.

si è ottenuto tramite la formula del PSM un $K_{I,PSM}^V$ la cui differenza massima assoluta dal K_I^V ottenuto dalle simulazione bidimensionali con la mesh precisa pari a:

1. nel caso di tensione piana di 5.65%
2. nel caso deformazione piana di 4.85%

5.2 Plane 183 e Plane 82

I Plane 183 e Plane 82 sono elementi di forma triangolare o quadrata con 8 nodi e funzioni di forma quadratiche implementati nel software Ansys® 14.

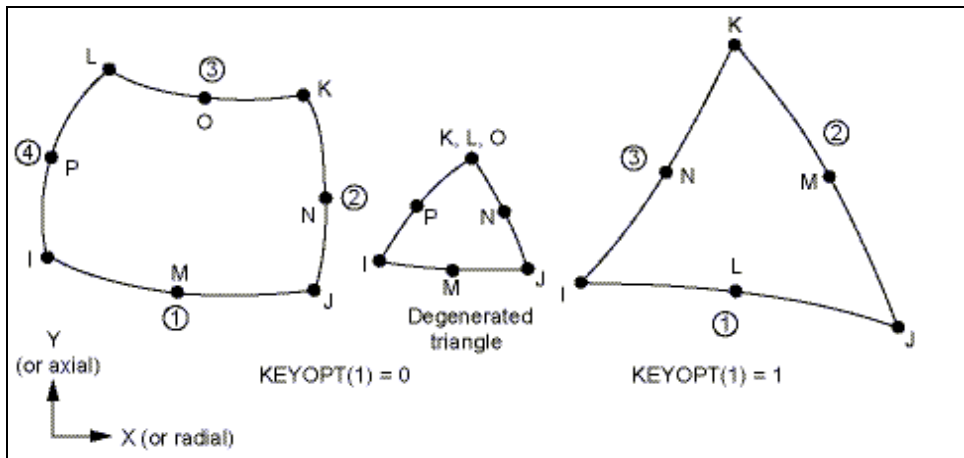


Figura 5.5: L'elemento plane 183 o plane 82, nella sua forma quadrata o triangolare, nel PSM è stata tarata solo la forma quadrata. Immagine tratta dalla guida di Ansys® [14].

Il coefficiente K_{FE}^* qui riportato è da ritenersi valido previa le seguenti condizioni:

- materiale lineare elastico uniforme
- imponendo una condizione di tensione o deformazione piana
- imponendo una dimensione globale degli elementi desiderata [d]
- eseguendo una mesh free sull'area del giunto con la forma degli elementi quadrata
- T/d maggiore di 3 dove T è lo spessore del piatto principale effettivamente simulato
- z/d maggiore di 3 dove z è l'altezza del cateto del cordone di saldatura
- angoli di apertura dell'intaglio compresi tra 0° e 135°, [12]
- al variare dell'angolo di apertura cambia il comportamento della mesh free che genera automaticamente Ansys in prossimità dell'intaglio, vedi immagine 5.2 tratta da [06], in alcune geometrie può essere necessario la creazione delle aree di controllo per ottenere la mesh adeguata all'angolo di apertura in prossimità dell'intaglio [12].

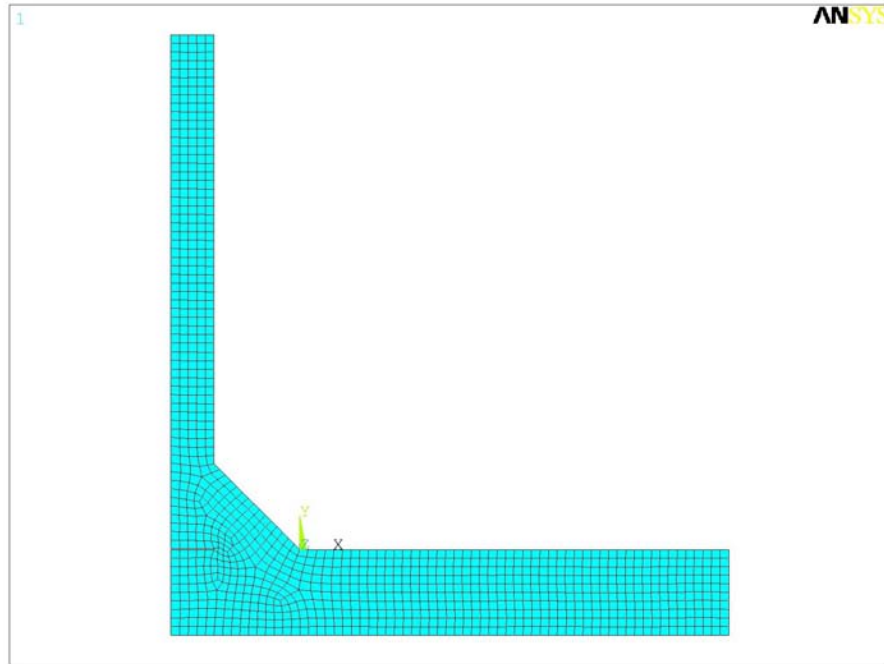


Figura 5.6: Esempio di mesh utilizzata, la forma degli elementi come si vede deve essere quadrata.

In condizioni di tensione o deformazione piana, il valore del coefficiente K_{FE}^* individuato tramite il confronto tra la prima tensione principale nel nodo presente all'apice dell'intaglio e il NSIF mode I individuato da simulazioni bidimensionali con il metodo preciso della mesh fitta è:

$$K_{FE}^* = 1.068 \pm 0.049 \text{ con una confidenza del } 95\%$$

5.3 Solid 185 e solid 45

I Solid 185 e Solid 45 sono elementi di forma cubica con 8 nodi e funzioni di forma lineari implementati nel software Ansys® 14, possono assumere anche forma tetraedrica diventando equivalenti ai Solid 285.

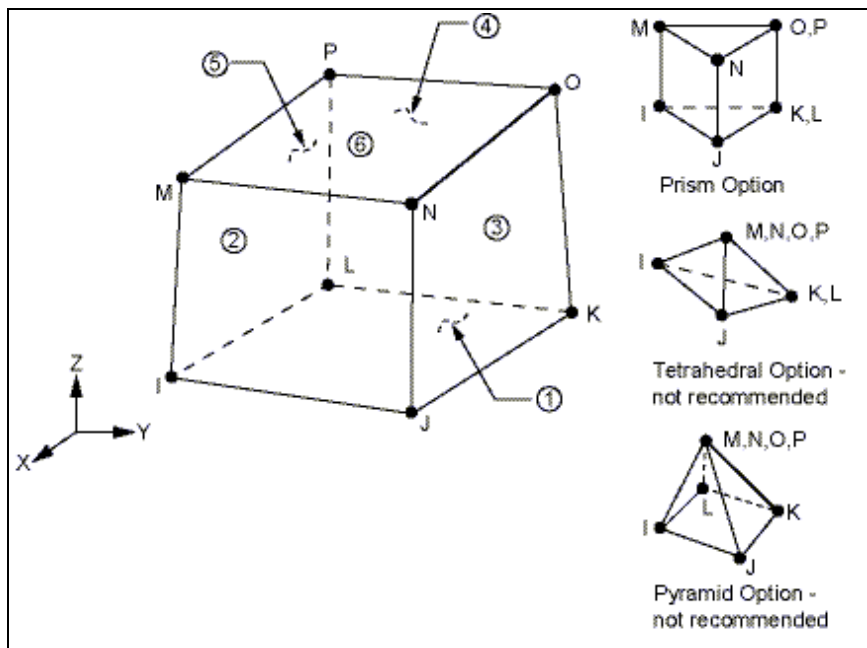


Figura 5.7: L'elemento Solid 185 o Solid 45 nella sua forma cubica e nelle sue altre eventuali forme, nel PSM è stata tarata nella sua forma cubica, nel caso di forma tetraedrica si veda il Solid 285. (vedi paragrafo 5.6). Immagine tratta dalla guida di Ansys® [14].

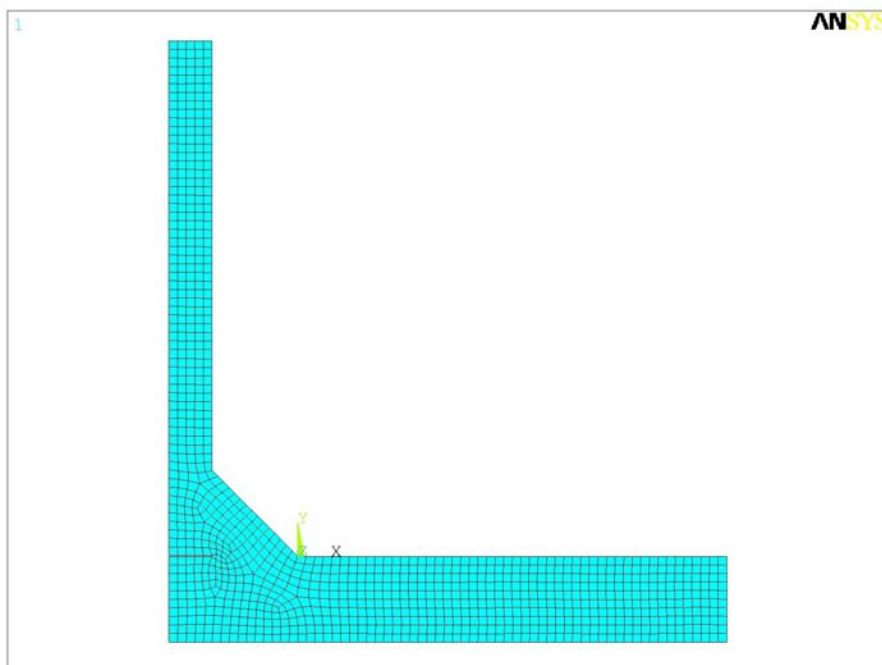


Figura 5.8: Esempio di mesh bidimensionale usata per l'estrusione lungo l'asse Z, la forma degli elementi come si vede deve essere quadrata. La mesh bidimensionale va successivamente eliminata.

Il coefficiente K_{FE}^* qui riportato è da ritenersi valido previa le seguenti condizioni:

- materiale lineare elastico uniforme
- settando il campo K2 nelle opzioni dell'elemento Solid 185 come *simple enhanced strn*
- imponendo una dimensione globale degli elementi desiderata [d]
- eseguendo prima una mesh free bidimensionale dell'area usando elementi quadrati, poi estrudendola nella terza dimensione tenendo una dimensione di estrusione pari alla dimensione degli elementi bidimensionali
- eliminando la mesh bidimensionale
- T/d maggiore di 3 dove T è lo spessore del piatto principale effettivamente simulato
- z/d maggiore di 3 dove z è l'altezza del cateto del cordone di saldatura
- angoli di apertura dell'intaglio si possono in teoria ritenere compresi tra 0° e 135° come nel caso delle simulazioni bidimensionali ma non sono stati valutati in questa tesi unicamente angoli di 135° l'estensione della validità ad angoli differenti merita ulteriori analisi.

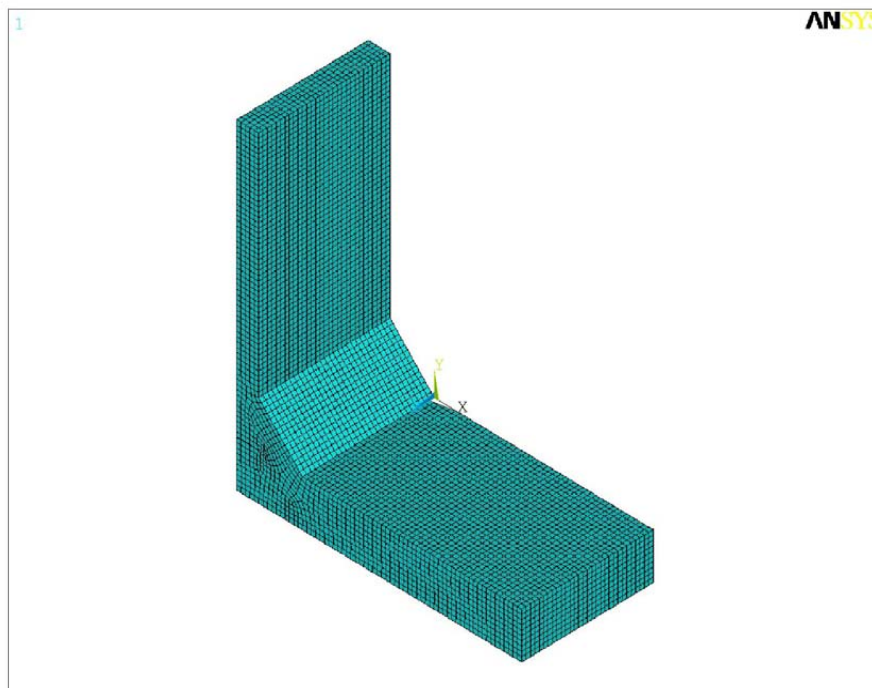


Figura 5.9: Mesh tridimensionale che si ottiene eseguendo la procedura usando elementi Solid 185 o Solid 45 estrusi da una mesh bidimensionale

Dopo aver imposto uno stato piano di tensione tramite l'imposizione di opportune condizioni al contorno, il valore del coefficiente K_{FE}^* individuato tramite il confronto tra la prima tensione principale al piede del cordone di saldatura, costante lungo tutta la sua lunghezza grazie allo stato piano indotto, e il NSIF mode I individuato da simulazioni bidimensionali con il metodo preciso della mesh fitta è:

$$K_{FE}^* = 1.396 \pm 0.054 \text{ con una confidenza del } 95\%$$

Si precisa che se si eseguisse una mesh free direttamente sul volume, cioè senza estrusione di una mesh bidimensionale si otterrebbe una mesh composta da elementi identici al Solid 285 ovvero con forma tetraedrica, con 4 nodi e funzioni di forma lineari. In tal caso il valore del K_{FE}^* sarebbe pari a quello di questi ultimi.

5.4 Solid 186 e Solid 95

I solid 186 e Solid 95 sono elementi cubici con 20 nodi con funzioni di forma quadratiche implementati nel software Ansys® 14, possono anche assumere forma tetraedrica diventando equivalenti ai Solid 187 e Solid 92.

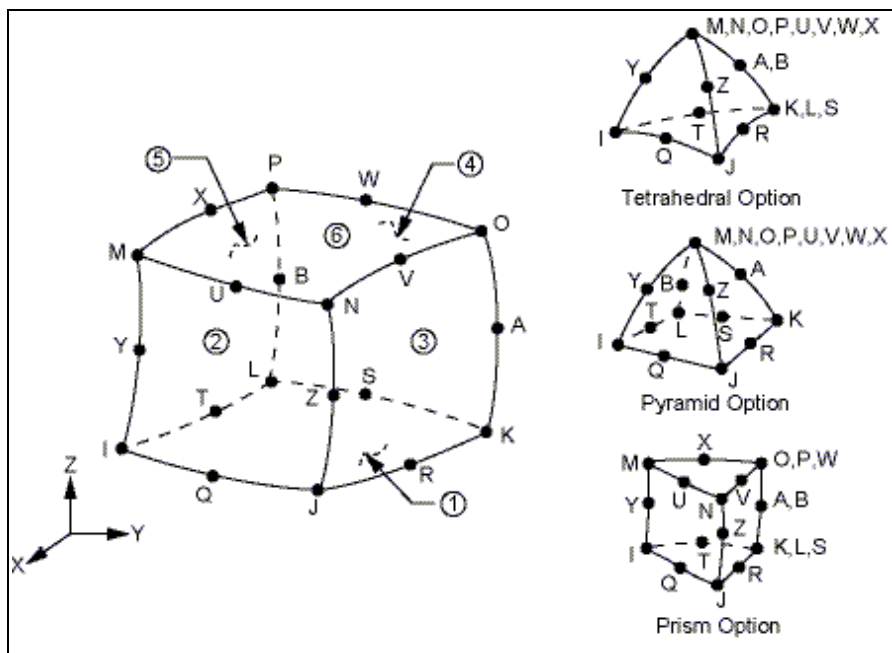


Figura 5.10: L'elemento Solid 186 o Solid 95 nella sua forma cubica e nella sue altre forme geometriche implementate all'interno del software Ansys, nel PSM è stata tarata la sua forma geometrica cubica per la forma tetraedrica si veda il Solid 187 o Solid 92 (vedi paragrafo 5.5). Immagine tratta dalla guida di Ansys® [14].

Previa il rispetto di queste indicazioni sotto riportate:

- materiale lineare elastico uniforme
- settando il campo K2 nelle opzioni dell'elemento Solid 186 come *full integration*
- imponendo una dimensione globale degli elementi desiderata [d]
- eseguendo prima una mesh free bidimensionale dell'area usando elementi quadrati, poi estrudendola nella terza dimensione tenendo una dimensione di estrusione pari alla dimensione degli elementi bidimensionali

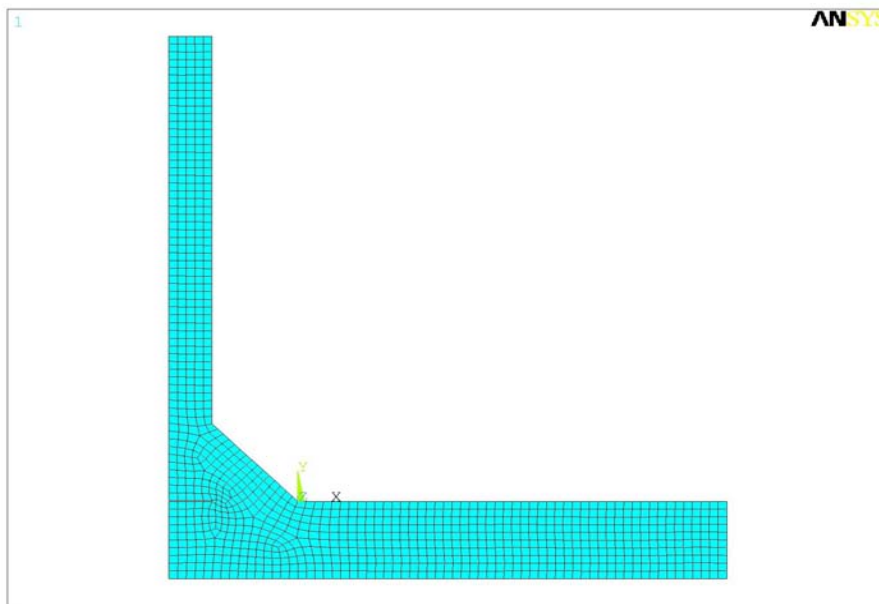


Figura 5.11: Esempio di mesh bidimensionale usata per l'estrusione lungo l'asse Z, la forma degli elementi come si vede deve essere quadrata. La mesh bidimensionale va successivamente eliminata.

- eliminando la mesh bidimensionale
- T/d maggiore di 3 dove T è lo spessore del piatto principale effettivamente simulato
- z/d maggiore di 3 dove z è l'altezza del cateto del cordone di saldatura
- angoli di apertura dell'intaglio si possono in teoria ritenere compresi tra 0° e 135° come nel caso delle simulazioni bidimensionali ma non sono stati valutati in questa tesi unicamente angoli di 135° l'estensione della validità ad angoli differenti merita ulteriori analisi.

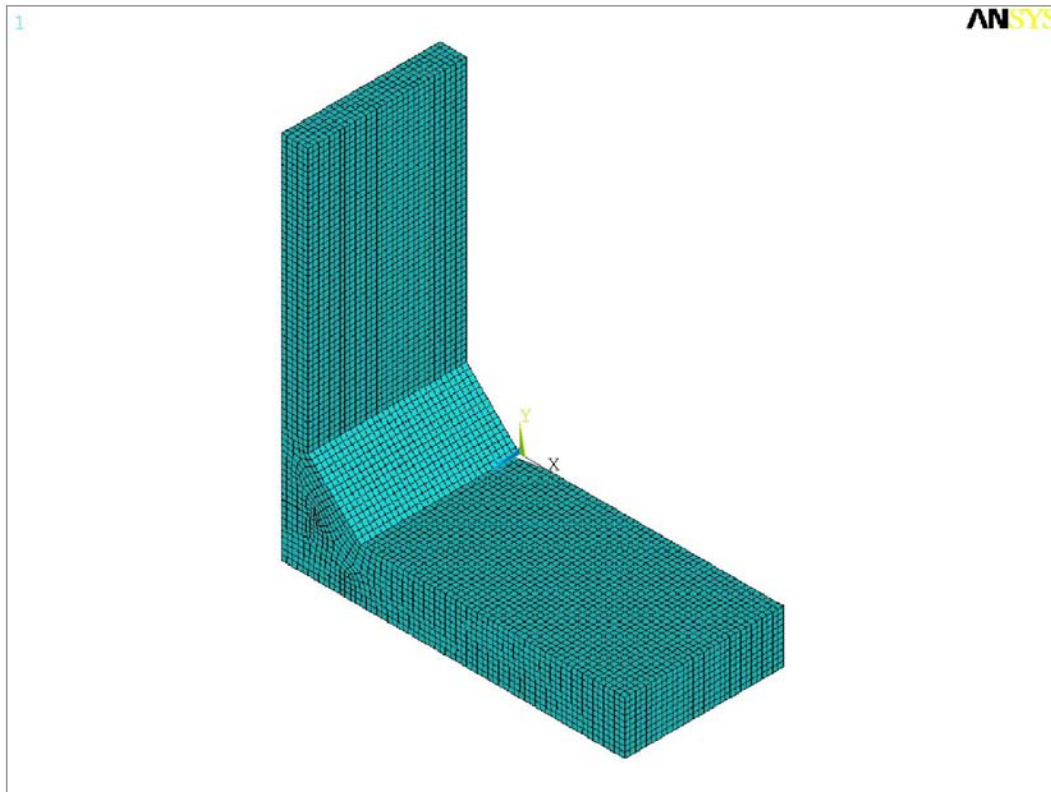


Figura 5.12: Mesh tridimensionale che si ottiene eseguendo la procedura usando elementi Solid 186 o Solid 95 estrusi da una mesh bidimensionale

Dopo aver imposto uno stato piano di tensione tramite l'imposizione di opportune condizioni al contorno, il valore del coefficiente K_{FE}^* individuato tramite il confronto tra la prima tensione principale al piede del cordone di saldatura, costante lungo tutta la sua lunghezza grazie allo stato piano indotto, e il NSIF mode I individuato da simulazioni bidimensionali con il metodo preciso della mesh fitta è:

$$K_{FE}^* = 1.033 \pm 0.039 \text{ con una confidenza del } 95\%$$

Si precisa che se si eseguisse una mesh free direttamente sul volume, cioè senza estrusione di una mesh bidimensionale si otterrebbe una mesh di Solid 187 e Solid 92 cioè tetraedrici con 10 nodi con funzioni di forma quadratiche per cui il K_{FE}^* sarebbe pari a quello di questi ultimi.

5.5 Solid 187 e Solid 92

I Solid 187 e Solid 92 implementati nel software Ansys® 14 hanno forma tetraedrica con 10 nodi e funzioni di forma quadratiche.

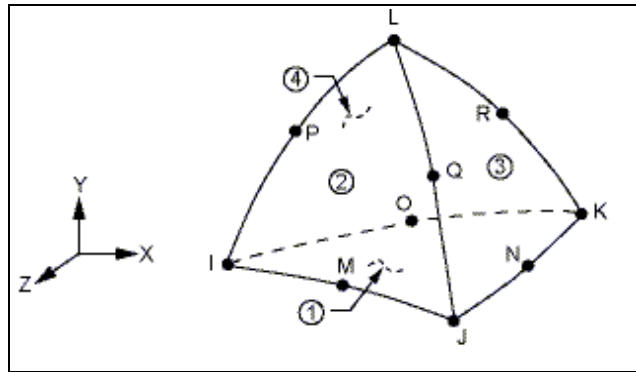


Figura 5.13: L'elemento Solid 187 o Solid 92. Immagine tratta dalla guida di Ansys® [14].

Il coefficiente K_{FE}^* qui riportato è da ritenersi valido previa le seguenti condizioni:

- materiale lineare elastico uniforme
- imponendo una dimensione globale degli elementi desiderata [d]
- eseguendo una mesh free direttamente sul volume
- T/d maggiore di 3 dove T è lo spessore del piatto principale effettivamente simulato
- z/d maggiore di 3 dove z è l'altezza del cateto del cordone di saldatura
- non considerando i risultati della tensione dei primi e ultimi 4 elementi lungo il piede di cordone di saldatura
- considerando solo i valori di tensione appartenenti ai vertici dei tetraedri
- settando la visualizzazione degli output con attiva l'opzione *average result across element*, vedi sotto-paragrafo 2.5.8.
- nella presente tesi sono stati simulati solo geometrie che possiedono intagli con angoli di apertura di 135° , quindi al momento si può assicurare la validità K_{FE}^* trovato solo per tale angolo.

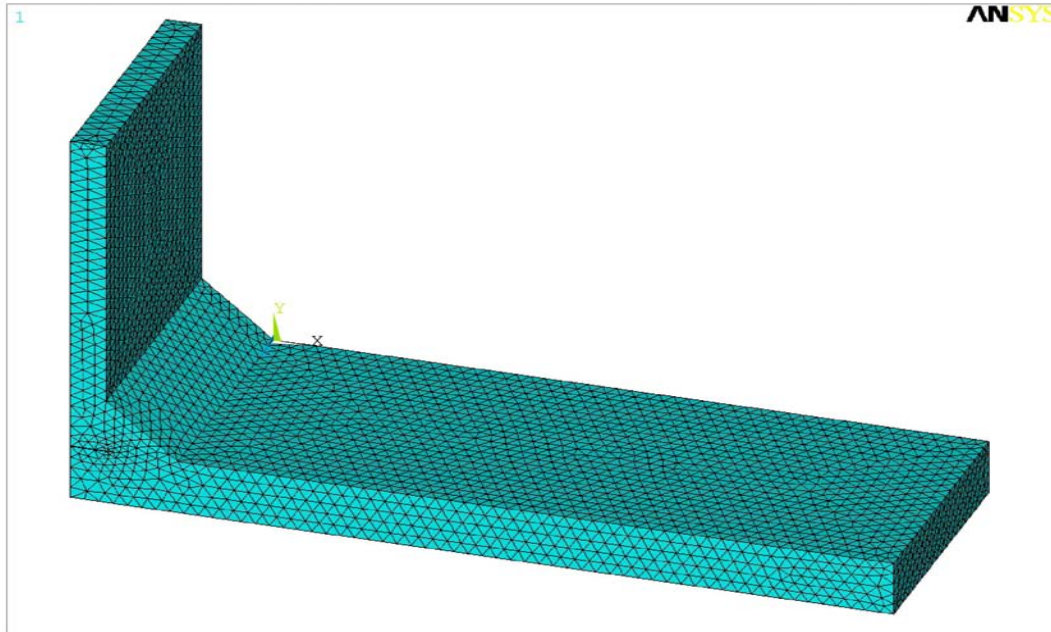


Figura 5.14: Mesh tridimensionale usando gli elementi Solid 187 o Solid 92 nel PSM.

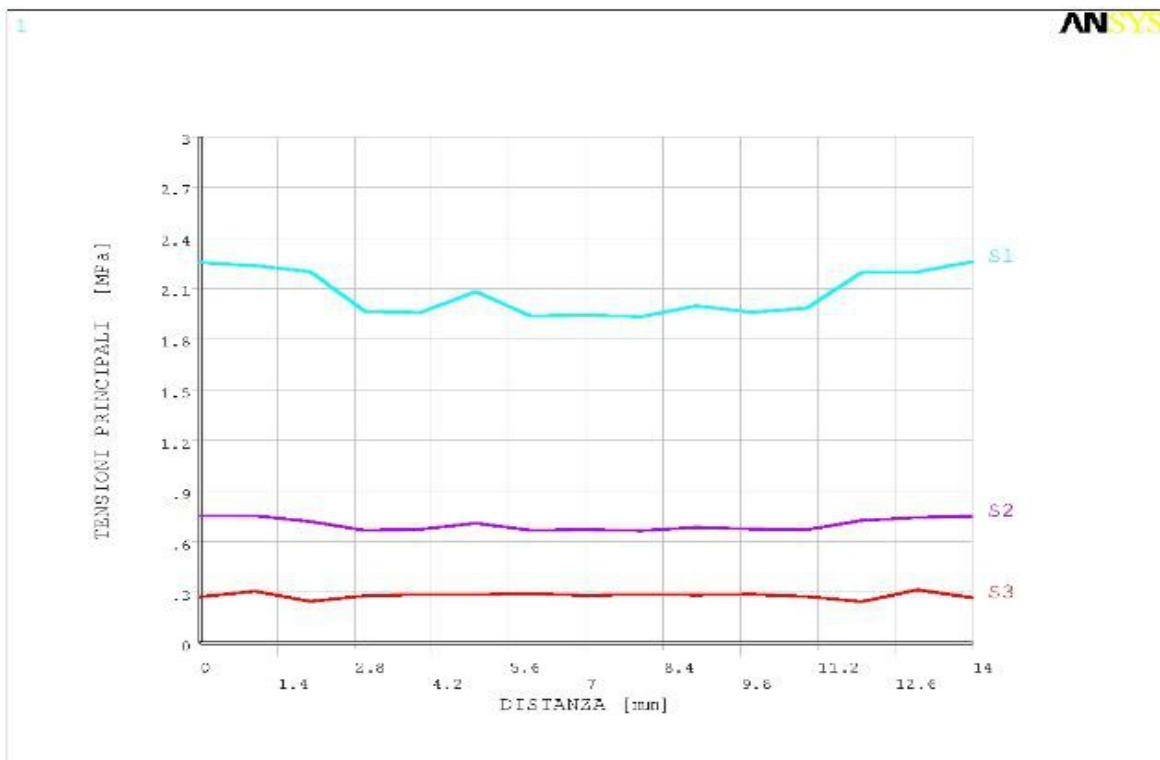


Figura 5.15: Andamento delle tre tensioni principali S1, S2, S3 lungo il cordone di saldatura partendo dalla mezzeria fino al bordo esterno, si nota che alle estremità le tensioni subiscono un innalzamento dovuto alla maggiore deformazione degli elementi.

Si è imposto uno stato piano di tensione vincolando opportunamente il giunto; e nonostante questo, si sono ottenuti valori di K_{FE}^* variabili lungo tutto il piede del cordone di saldatura in quanto la dimensione degli elementi non risulta costante poiché dovendosi adattare gli uni agli altri il meshatore automatico di Ansys li deforma rendendoli più o meno grandi e giungendo quindi a valori della prima tensione principale oscillante lungo tutto il piede del cordone di saldatura con valori molto alti all'inizio e alla fine che però sono stati scartati. Si è eseguita la media da tutti i giunti analizzati dei valori massimi, minimi e medi di K_{FE}^* ottenuti dal confronto con il NSIF ottenuti dalle simulazioni bidimensionale tramite il metodo preciso della mesh fitta ottenendo i seguenti risultati:

$$K_{FE, minimo}^* = 1.205 \pm 0.081 \quad \text{con una confidenza del 95\%}$$

$$K_{FE, medio}^* = 1.244 \pm 0.07 \quad \text{con una confidenza del 95\%}$$

$$K_{FE, massimo}^* = 1.287 \pm 0.094 \quad \text{con una confidenza del 95\%}$$

nel caso si avesse un pezzo e si prendesse un solo valore di tensione principale lungo l'intaglio il K_{FE}^* da adottare con la relativa incertezza sarebbe:

$$K_{FE}^* = 1.25 \pm 0.14 \quad \text{con una confidenza del 95\%}$$

dove il valore dell'incertezza è dato da:

$$0.14 = \max\left(\left(K_{FE, max}^* - K_{FE, medio}^*\right) + 2\sigma_{K_{FE, max}^*}, \left(K_{FE, medio}^* - K_{FE, minimo}^*\right) + 2\sigma_{K_{FE, minimo}^*}\right)$$

mentre se si prendesse il valore medio lungo tutta la saldatura eseguendo la scrematura sopra riportata e presupponendo un valore costante del NSIF mode I lungo tutto il cordone di saldatura come avviene nei casi di tensione o deformazione piana si può considerare di ridurre l'incertezza a +/-0.07. In caso contrario l'incertezza è da considerarsi del 11%.

5.6 Solid 285

Il Solid 285 implementato nel software Ansys® 14 possiede forma tetraedrica con 4 nodi e funzioni di forma lineari.

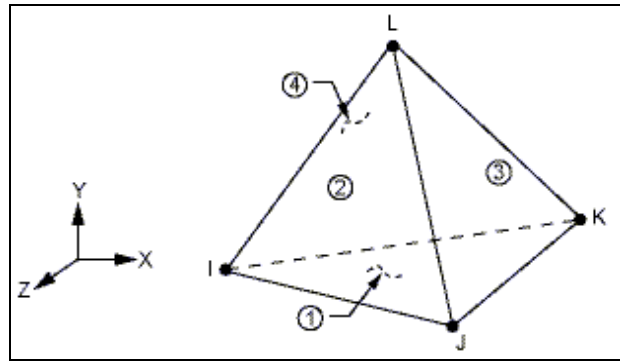


Figura 5.16: L'elemento Solid 285. Immagine tratta dalla guida di Ansys® [14].

Il coefficiente K_{FE}^* qui riportato è da ritenersi valido previa le seguenti condizioni:

- materiale lineare elastico uniforme
- imponendo una dimensione globale degli elementi desiderata [d]
- eseguendo una mesh free direttamente sul volume
- T/d maggiore di 3 dove T è lo spessore del piatto principale effettivamente simulato
- z/d maggiore di 3 dove z è l'altezza del cateto del cordone di saldatura
- non considerando i risultati della tensione dei primi e ultimi 4 elementi lungo il piede di cordone di saldatura.
- nella presente tesi sono stati simulati solo geometrie che possiedono intagli con angoli di apertura di 135° , quindi al momento si può assicurare la validità K_{FE}^* trovato solo per tale angolo.

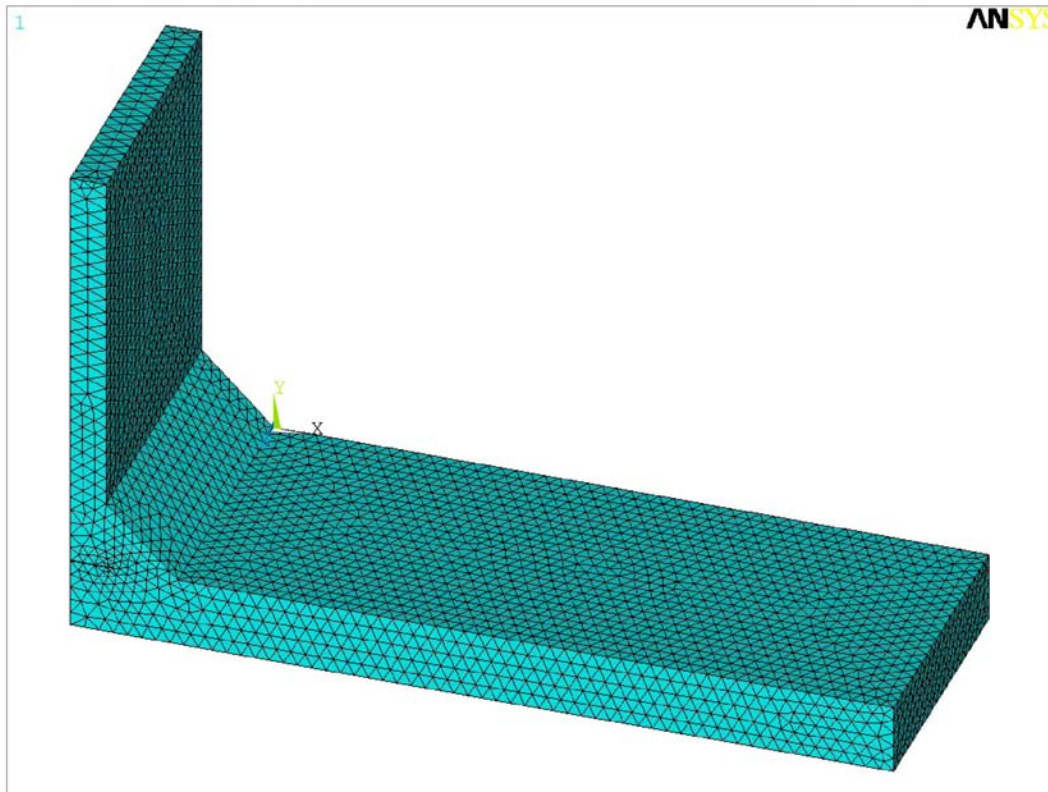


Figura 5.17: Mesh tridimensionale usando gli elemento Solid 285 nel PSM.

Si è imposto uno stato piano di tensione vincolando opportunamente il giunto; e nonostante questo, si sono ottenuti valori di K_{FE}^* variabili lungo tutto il piede del cordone di saldatura in quanto la dimensione degli elementi non risulta costante poiché dovendosi adattare gli uni agli altri il meshatore automatico di Ansys li deforma rendendoli più o meno grandi. Si è eseguita una media per i valori massimi, minimi e medi di K_{FE}^* riscontrati in tutti i giunti analizzati ottenendo i seguenti risultati:

$$K_{FE, minimo}^* = 1.723 \pm 0.184 \quad \text{con una confidenza del 95\%}$$

$$K_{FE, medio}^* = 1.805 \pm 0.176 \quad \text{con una confidenza del 95\%}$$

$$K_{FE, massimo}^* = 1.898 \pm 0.206 \quad \text{con una confidenza del 95\%}$$

nel caso si avesse un pezzo e si prendesse un solo valore di tensione principale lungo l'intaglio il K_{FE}^* da adottare con la relativa incertezza sarebbe:

$$K_{FE}^* = 1.80 \pm 0.40 \quad \text{con una confidenza del 95\%}$$

dove il valore dell'incertezza è dato da:

$$0.40 = \max\left(\left(K_{FE,max}^* - K_{FE,medio}^*\right) + 2\sigma_{K_{FE,max}^*}, \left(K_{FE,medio}^* - K_{FE,minimo}^*\right) + 2\sigma_{K_{FE,minimo}^*}\right)$$

mentre se si prendesse il valore medio lungo tutta la saldatura eseguendo la scrematura sopra riportata e presupponendo un valore costante del NSIF mode I lungo tutto il cordone di saldatura come avviene nei casi di tensione o deformazione piana si può considerare di ridurre l'incertezza a +/-0.176. Questo elemento a causa della elevata incertezza per il PSM è il meno adatto, infatti l'utilizzo di tale elemento comporta un'incertezza sul valore NSIF mode I del +/-23% eccessiva per qualsiasi utilizzo.

5.7 Coefficiente unico per i Plane 182, Plane 42 ,Solid 185 e Solid 45

Per semplificare l'utilizzo del PSM si può pensare di utilizzare un unico coefficiente per i Plane 182, Plane 42 ,Solid 185, Solid 45 pari a:

$$K_{FE}^* = 1.38$$

in questo caso l'incertezza tenendo conto del valore medio dei vari elementi e della loro deviazione standard si attesta al 6% sempre con una confidenza del 95%

5.8 Coefficiente unico per i Plane 183, Plane 82, Solid 186 e Solid 95

In medesimo modo si può adottare un unico coefficiente anche per i Plane 183, i Plane 82, i Solid 186 e i Solid 95 pari a :

- $K_{FE}^* = 1.05$ in questo caso l'incertezza tenendo conto del valore medio dei vari elementi e della loro deviazione standard si attesta al 6% sempre con una confidenza del 95%

5.9 Considerazioni finali

I valori dei K_{FE}^* individuati per gli elementi ,del software Ansys®, Plane 182, Plane 42 ,Solid 185 e Solid 45 Plane 183, Plane 82, Solid 186 e Solid 95 e con la dispersione ottenuta, si può assegnare al metodo del PSM una incertezza sulla valutazione del NSIF mode I tramite la conoscenza della sola tensione di picco presente all'intaglio e della dimensione dell'elemento usata pari al +/-6% con una confidenza del 95%, con questo grado di precisione si ritiene il metodo adatto all'utilizzo nella pratica industriale. Per i Solid 187 e Solid 92 l'incertezza trovata è del 11% con una confidenza del +/-95%, si ritiene quindi questi ultimi al limite per il loro impiego nel Peak Stress Method, infine il

solid 285 a causa dell'incertezza del +/-23% con una confidenza del 95% sia inutilizzabile nel PSM.

Tabella 5.1 Si riporta i valori del K_{FE}^* per gli elementi analizzati con la incertezza assegnata, si ribadisce che vi sono condizioni e procedure sopra riportate che devono assolutamente essere eseguite affinché i valori qui riportati siano corretti.

ELEMENTO	K_{FE}^*	INCERTEZZA CON UNA CONFIDENZA DEL 95%
Plane 182 o Plane 42, Solid 185 o Solid 45	1,38	+/- 6%
Plane 183 o Plane 82, Solid 186 o Solid 95	1,05	+/- 6%
Solid 187 o Solid 92	1,25	+/- 11%
Solid 285	1,80	+/-23%

CAPITOLO 6 : CONFRONTO TRA IL NSIF MODE I OTTENUTO CON IL METODO PRECISO DELLA MESH FITTA E IL PSM NELLE SIMULAZIONI TRIDIMENSIONALI

6.1 Confronto tra NSIF mode I ricavato con il metodo preciso della mesh fitta e stimato tramite PSM in giunti cruciformi NLC .

In questo paragrafo si confronteranno i valori del NSIF mode I individuati dalle analisi con mesh tridimensionale e fitta, quindi tramite l'utilizzo della tecnica della sotto-modellazione , con i valori stimati di $K_{I,PSM}^V$ tramite l'utilizzo di una mesh tridimensionale PSM. I K_{FE}^* usati, noti dalla letteratura o tarati in questa tesi sono riportati nel capitolo 5, nel quale sono anche riportate la procedura da seguire e i vincoli a cui attenersi affinché la mesh PSM dia risultati validi. Si è eseguito il confronto per ogni tipo di elemento trattato nella seguente tesi, usando allo scopo 4 giunti cruciformi NLC sollecitati sia a trazione che a flessione, con una tensione remota σ_0 unitaria. Il materiale usato è in tutti i casi acciaio. Per le condizioni di vincolo si veda il paragrafo 2.1.1. Per la procedura si vedano i paragrafi 2.5 e 2.6. I valori precisi di NSIF mode I sono riportati con maggiore dettaglio nel paragrafo 4.4 . Dai grafici di confronto sotto riportati si evince che la differenza tra i valori di K_I^V e $K_{I,PSM}^V$ è sempre inferiore alla incertezza assegnata al metodo per ciascun elemento in indagine (vedi capitolo 5), quindi conferma la corretta taratura dei coefficienti K_{FE}^* del PSM.

6.1.1 Confronto tra NSIF mode I ricavato con il metodo preciso e NSIF mode I stimato tramite PSM con elementi Solid 185 o Solid 45

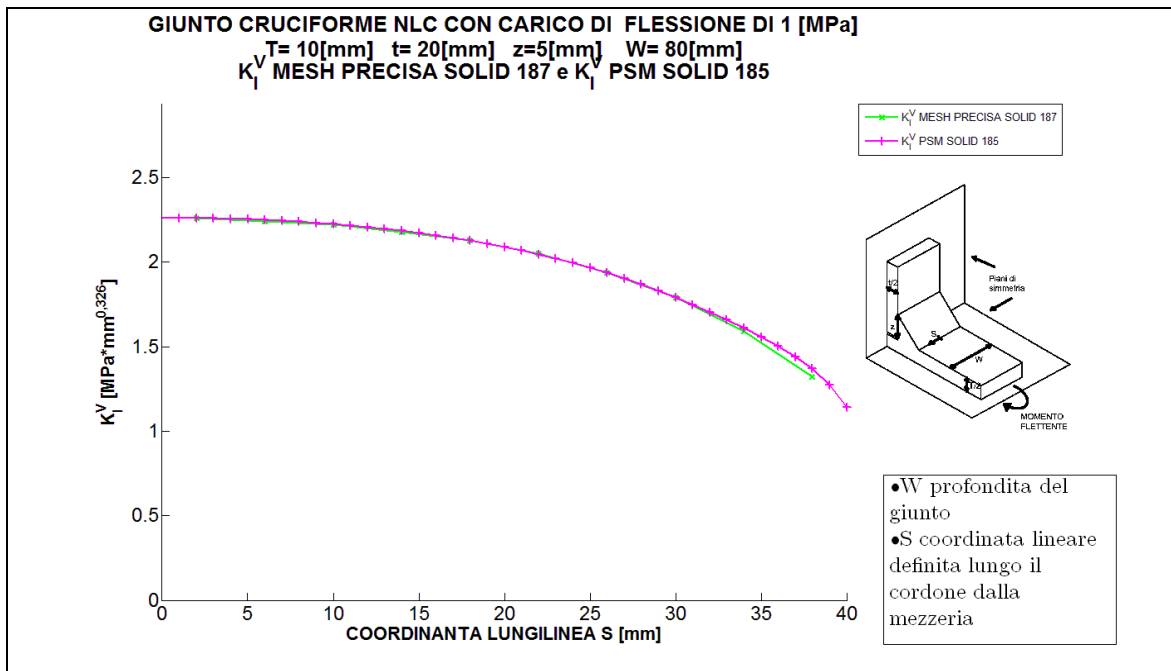


Figura 6.1 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 1 [mm]

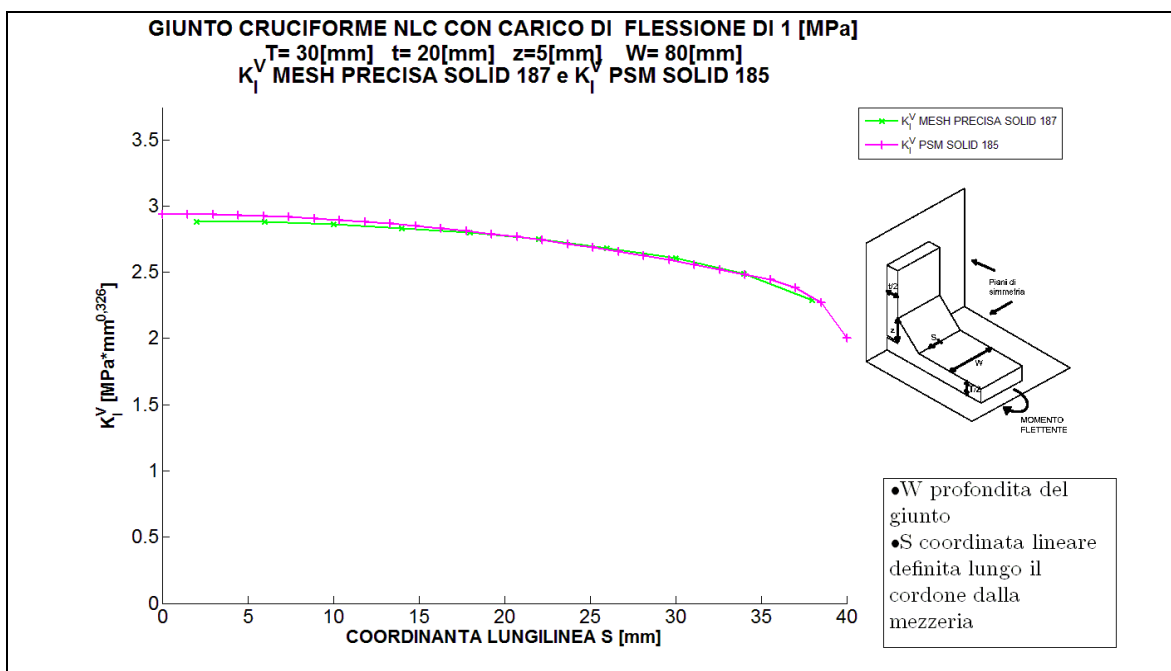


Figura 6.2 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 1.5 [mm]

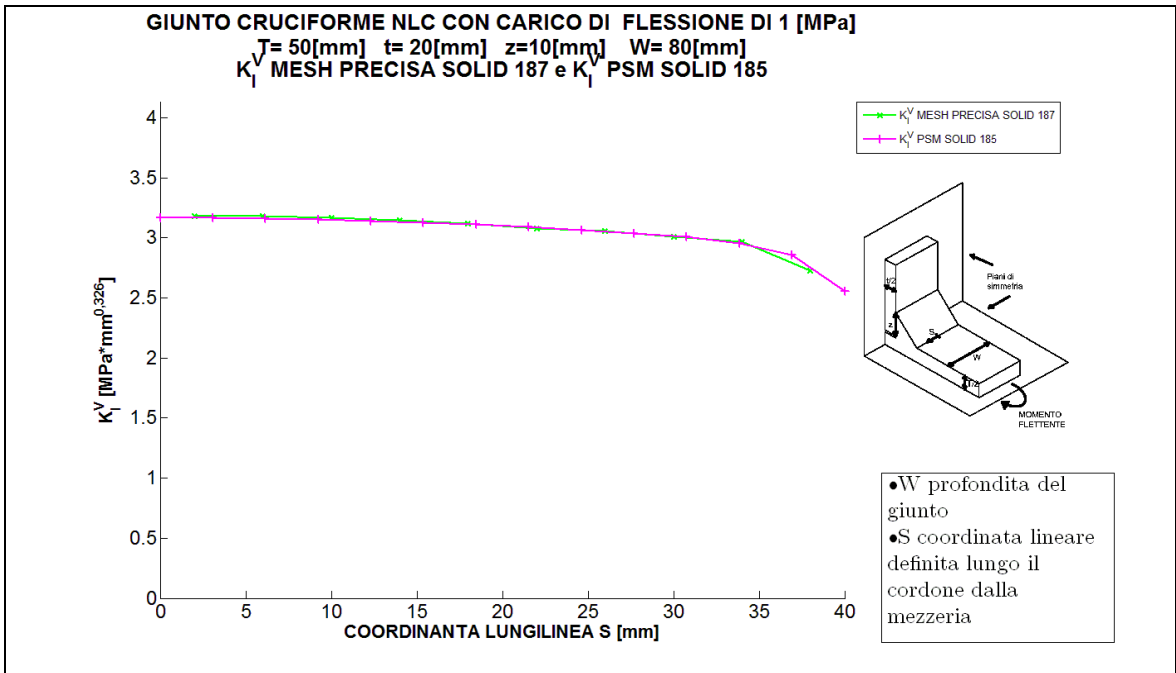


Figura 6.3 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

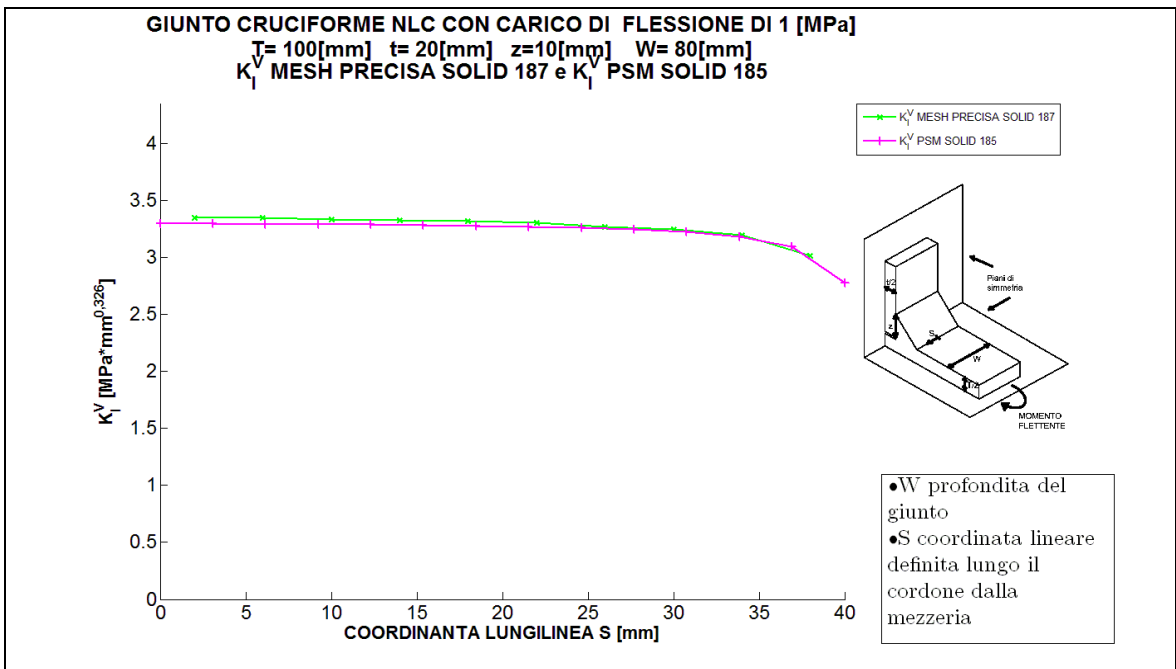


Figura 6.4 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

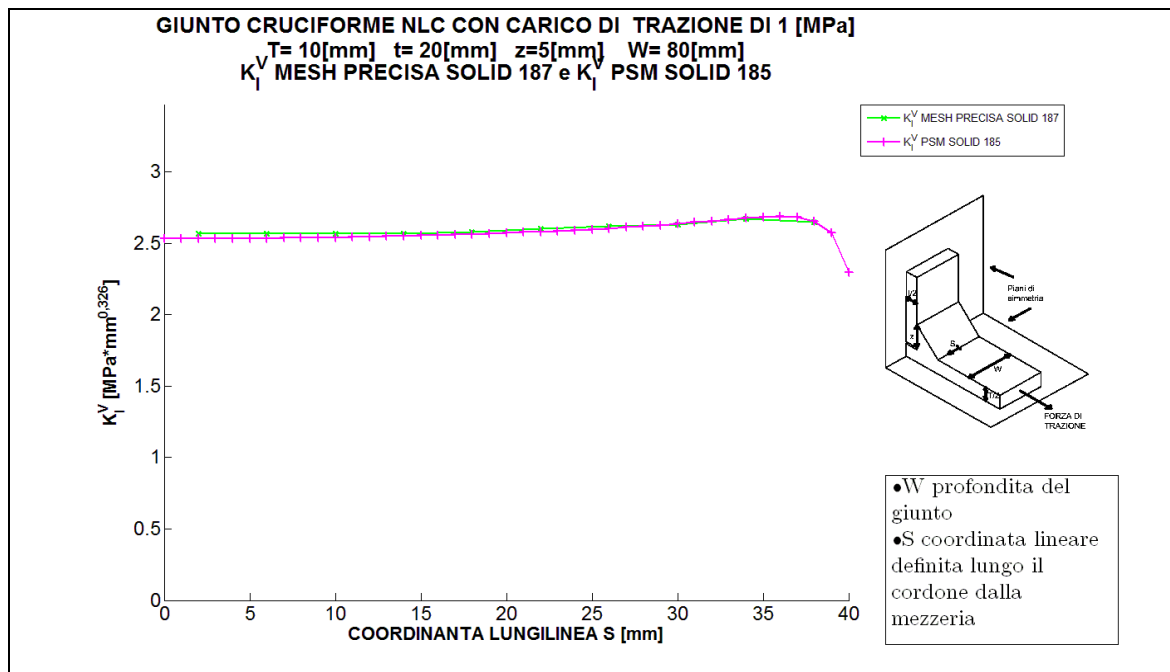


Figura 6.5 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 1 [mm]

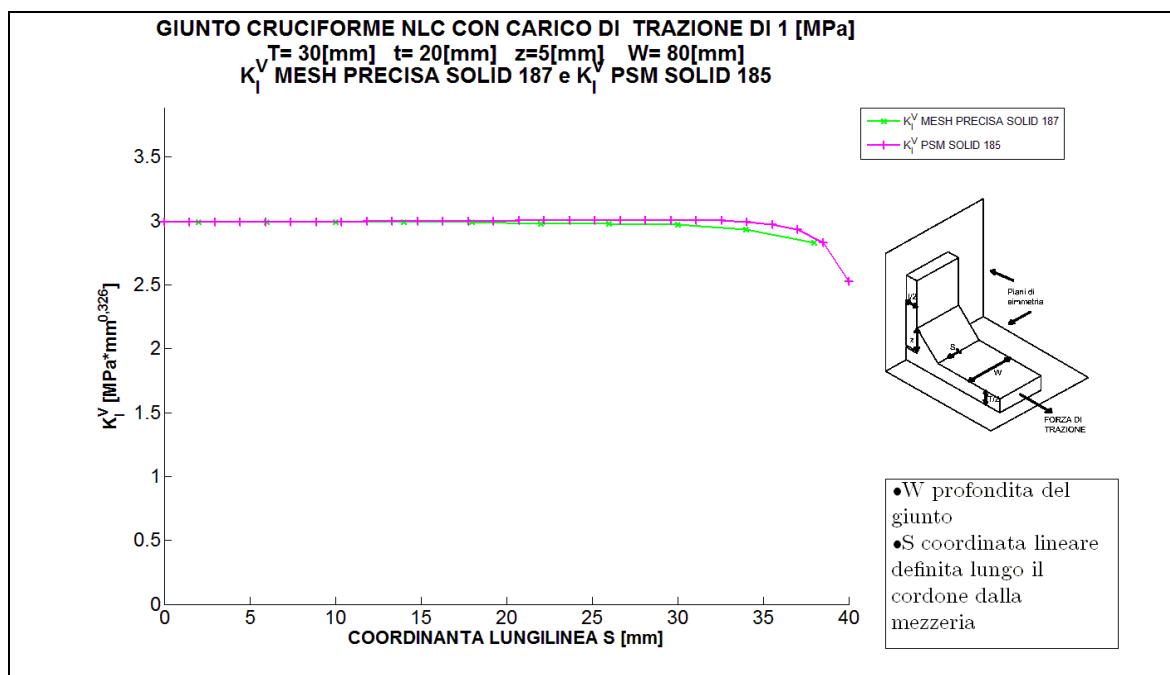


Figura 6.6 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 1.5 [mm]

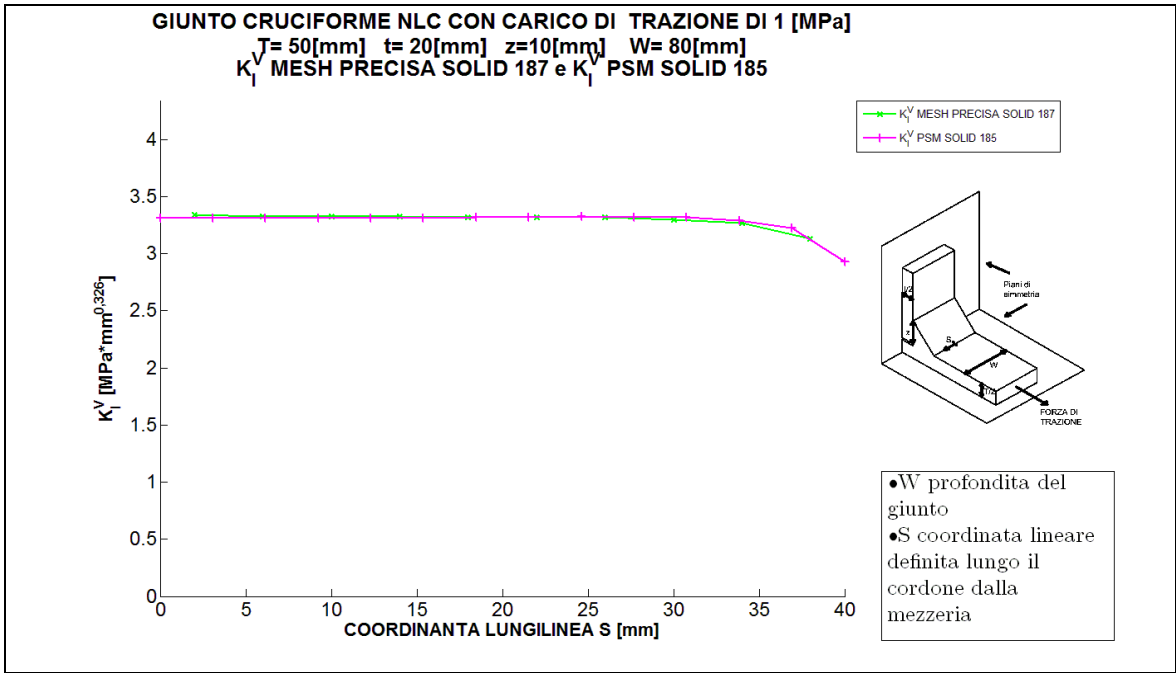


Figura 6.7 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

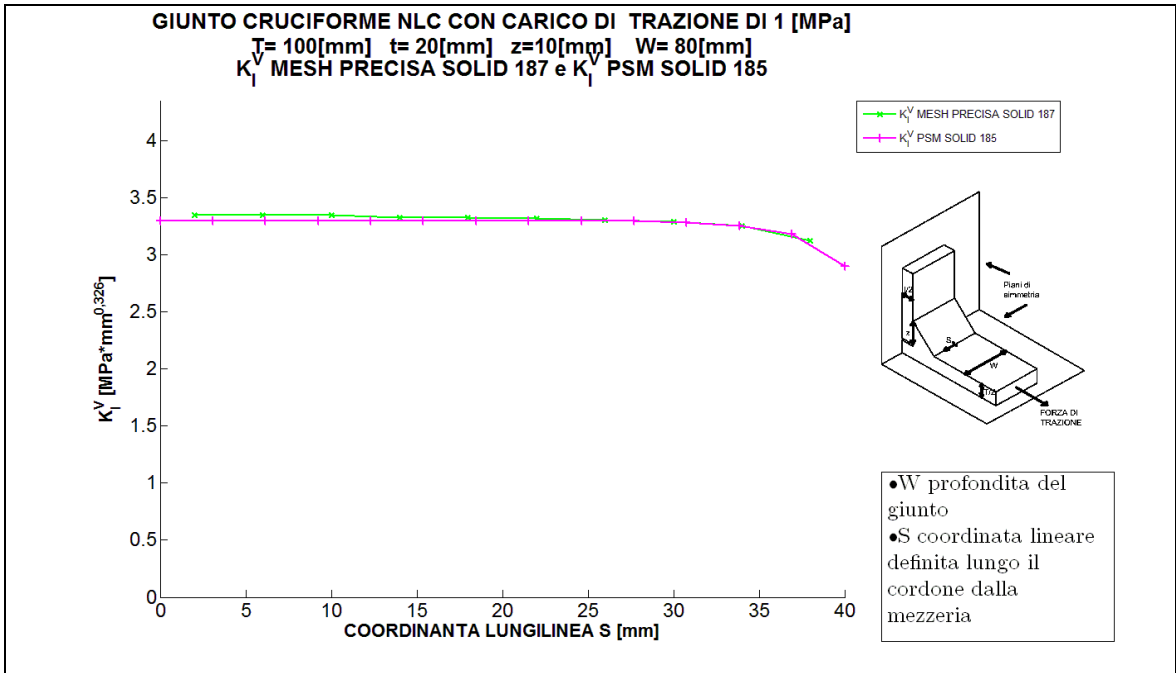


Figura 6.8 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

I grafici di confronto tra il K_I^V e il $K_{I,PSM}^V$ lungo il piede del cordone di saldatura dei giunti cruciformi NLC dimostrano la ottima precisione del metodo, in quanto si vede che la differenza tra il NSIF mode I esatto e quello stimato tramite il PSM è sempre inferiore alla incertezza del +/- 6% assegnata al metodo nel caso di elementi Soldi 185 o Solid 45. Si ricorda che il K_I^V è stato ricavato adoperando la tecnica della sotto-modellazione e visualizzando il plateau che identifica il valore corretto degli NSIF. Il $K_{I,PSM}^V$ è stato ottenuto usando una mesh di elementi Solid 185 o Solid 45 che hanno come coefficiente K_{FE}^* , della formula del PSM pari a 1,38.

6.1.2 Confronto tra NSIF mode I ricavato con il metodo preciso e NSIF mode I stimato tramite PSM con elementi Solid 186 o Solid 95

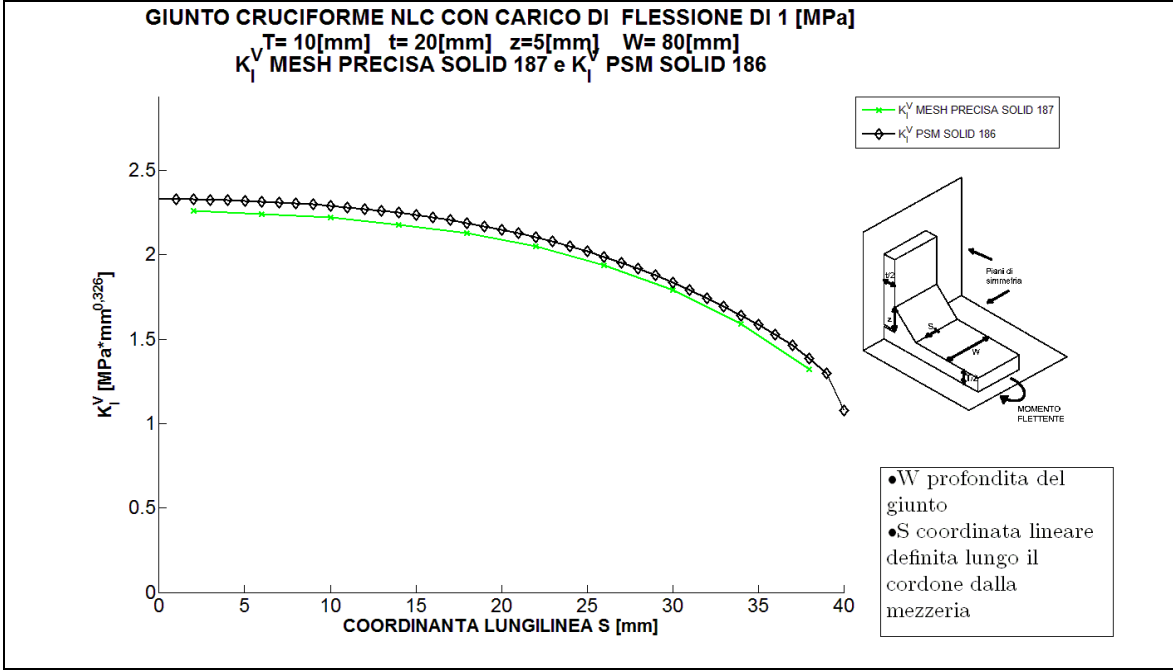


Figura 6.9 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 1 [mm]

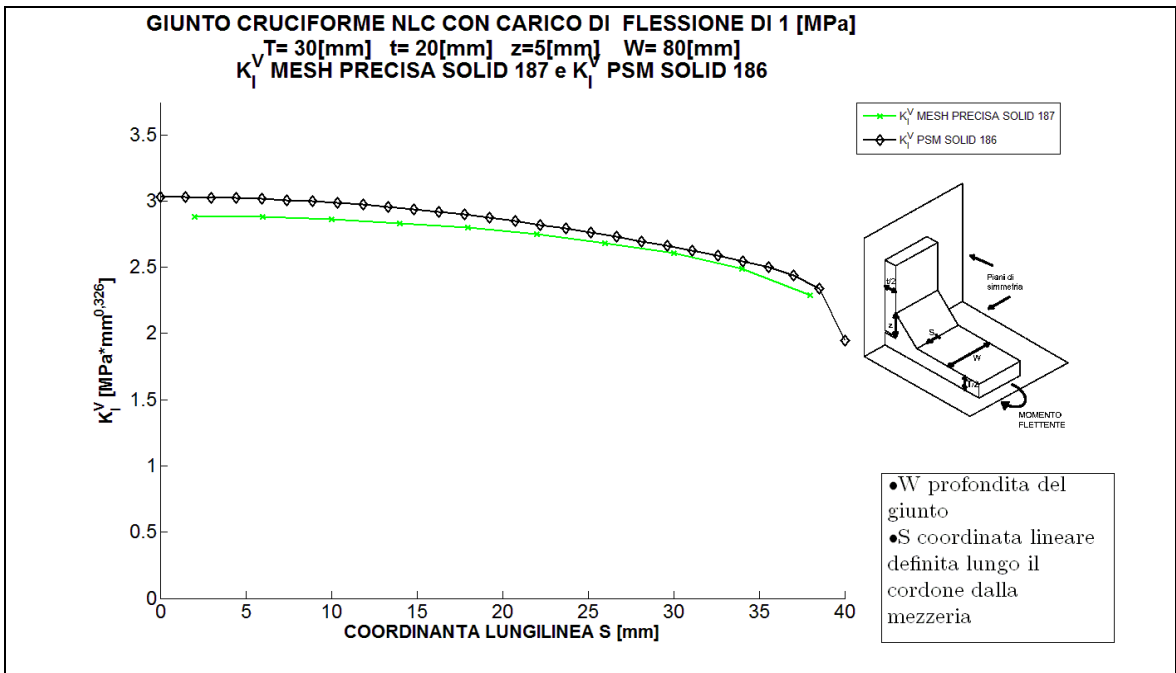


Figura 6.10 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 1.5 [mm]

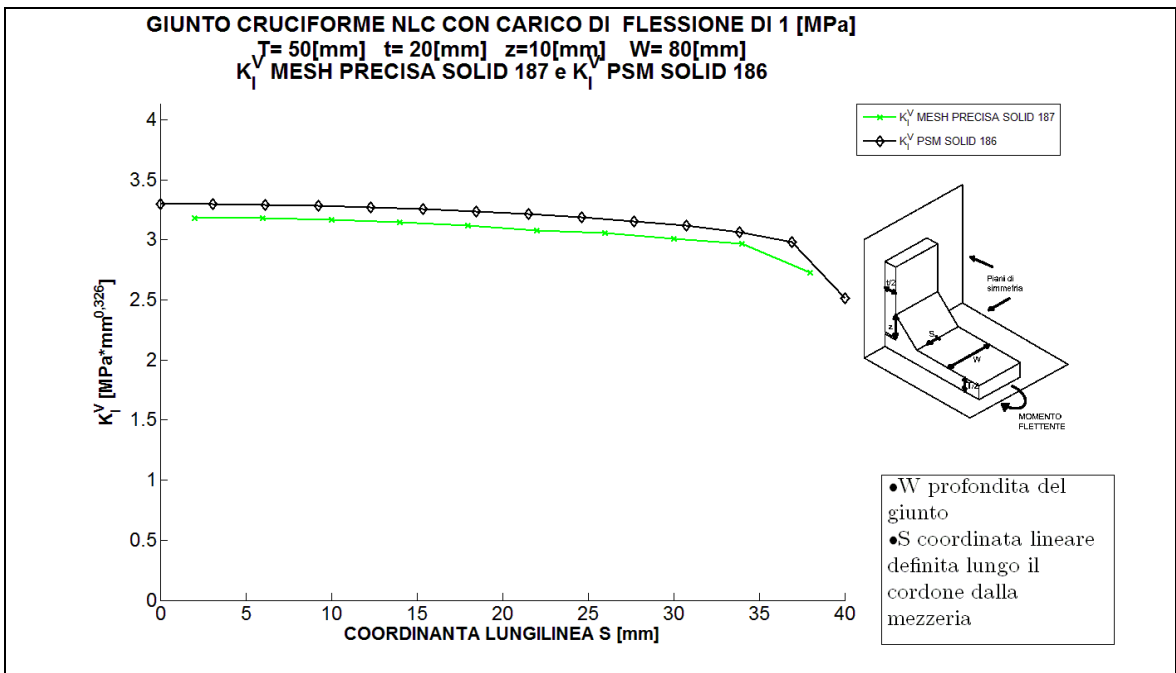


Figura 6.11 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

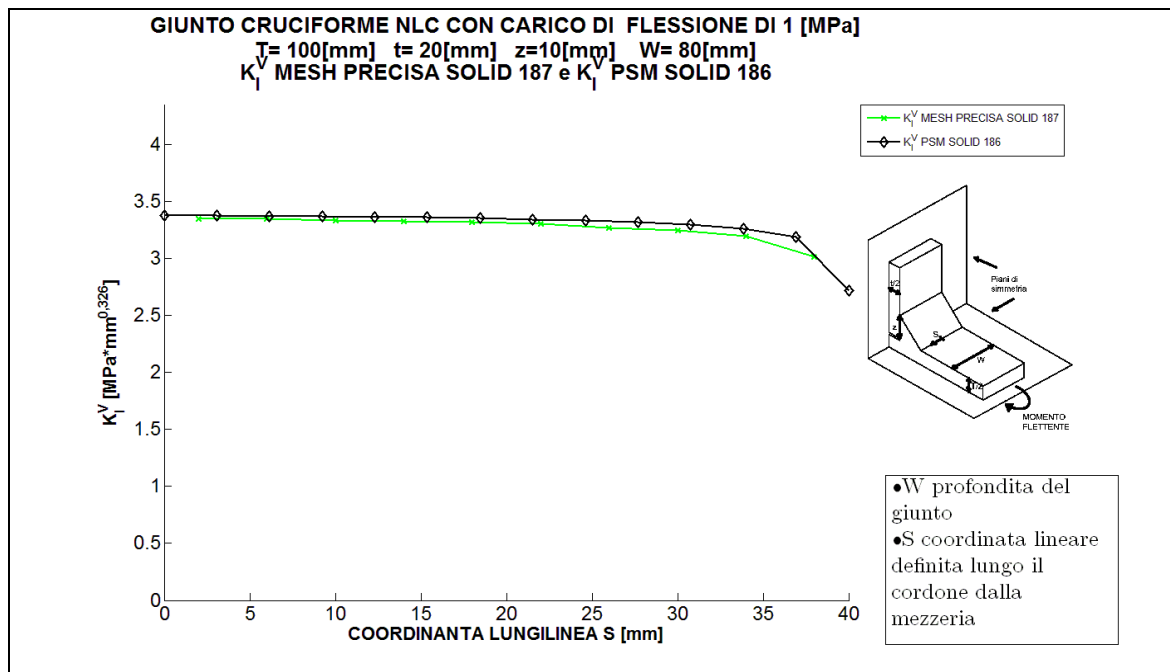


Figura 6.12 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

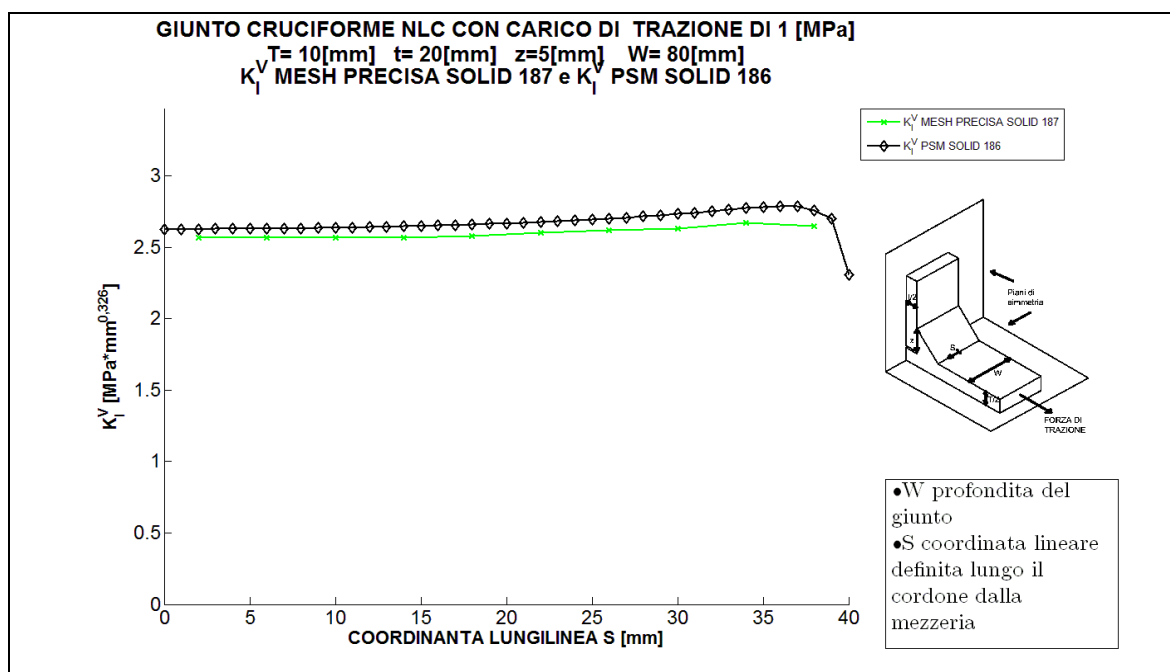


Figura 6.13 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 1 [mm]

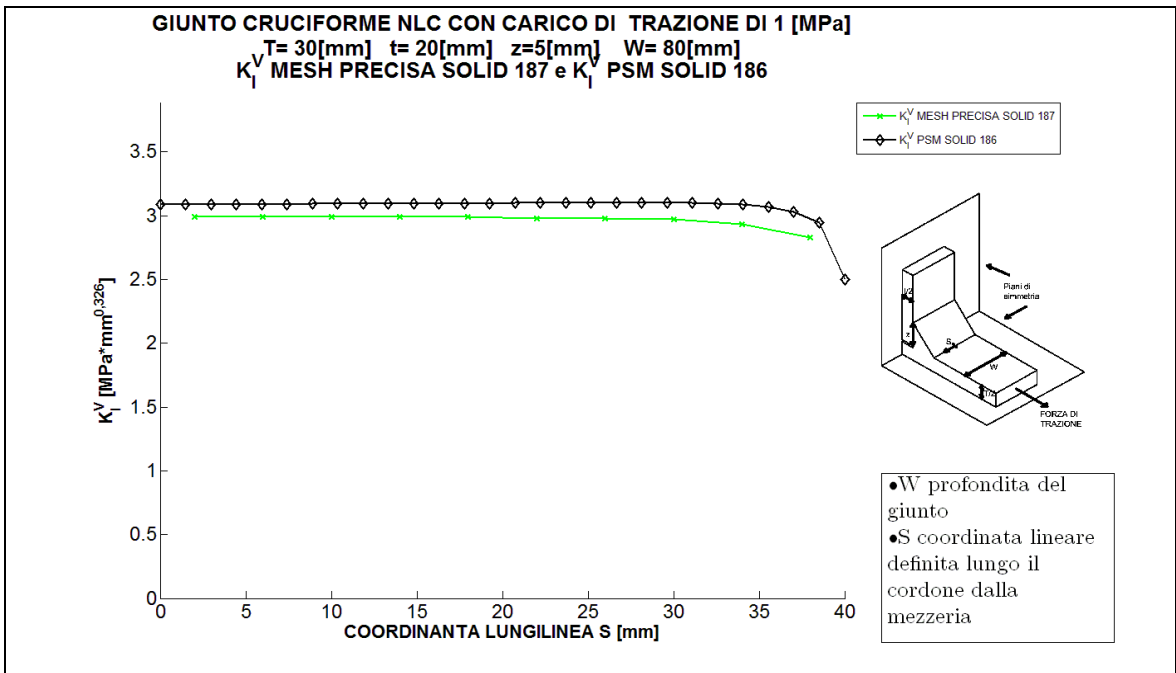


Figura 6.14 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 1.5 [mm]

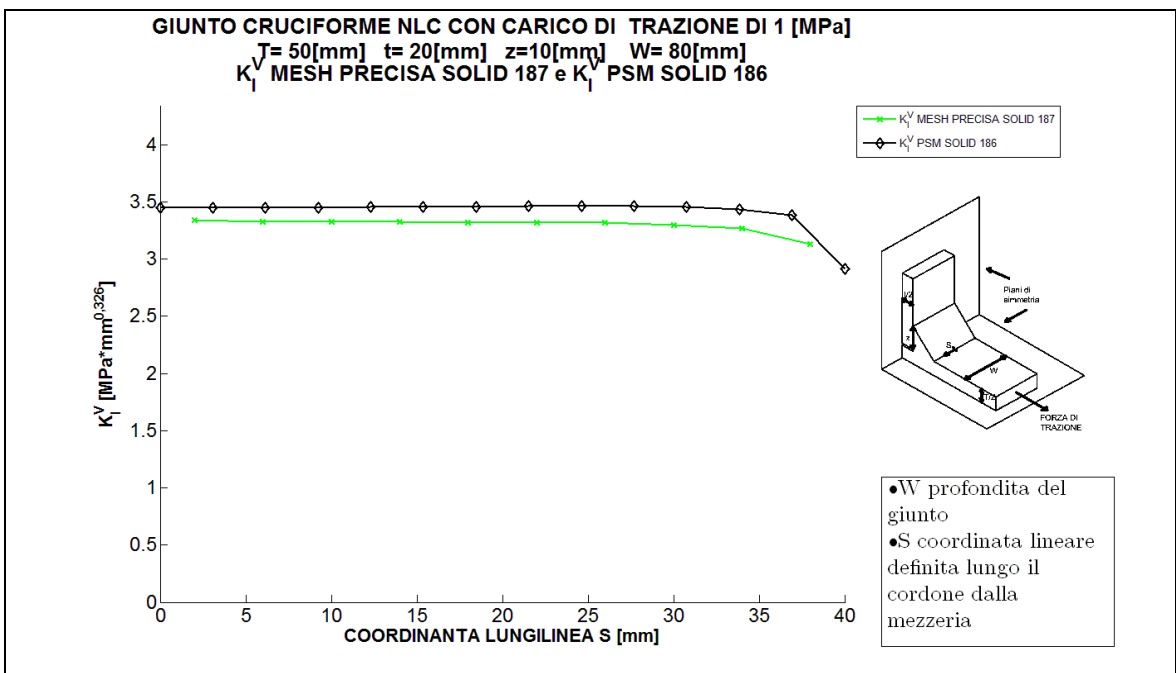


Figura 6.15 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

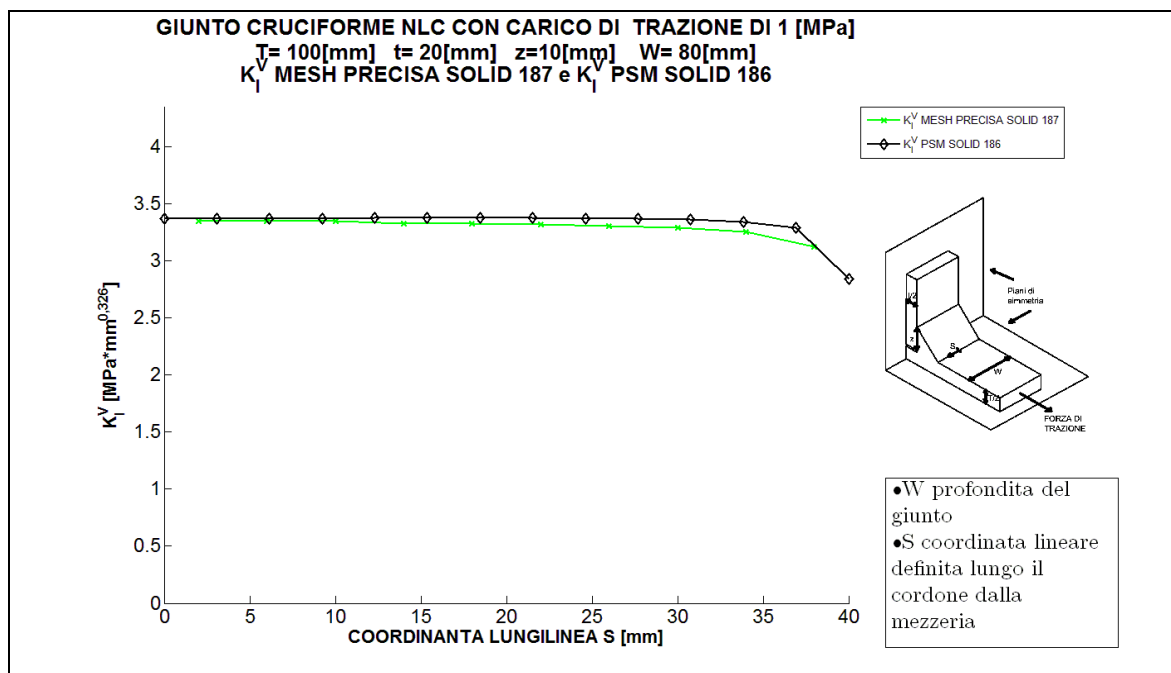


Figura 6.16 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

I grafici di confronto tra il K_I^V e il $K_{I,PSM}^V$ lungo il piede del cordone di saldatura dei giunti cruciformi NLC dimostrano la buona precisione del metodo, in quanto si vede che la differenza tra il NSIF mode I esatto e quello stimato tramite il PSM è sempre inferiore alla incertezza del +/- 6% assegnata al metodo nel caso di elementi Solid 186 o Solid 95. Si ricorda che il K_I^V è stato ricavato adoperando la tecnica della sotto-modellazione e visualizzando il plateau che identifica il valore corretto degli NSIF. Il $K_{I,PSM}^V$ è stato ottenuto usando una mesh di elementi Solid 186 o Solid 95 che hanno come coefficiente K_{FE}^* , della formula del PSM pari a 1,05. Rispetto agli elementi Solid 185 e Solid 45, se si visualizzano i grafici di confronto con il metodo preciso della mesh fitta, il metodo del PSM con i Solid 186 o Solid 95 risulta in paragone meno accurato. Si ritiene che vi sia in particolare un errore sistematico in quanto il risultati sovrastimano sempre il valore esatto, il fatto è probabilmente causato dall'aver usato un K_{FE}^* per tali elementi mediato con quello ottenuto per gli elementi piani Plane 183 e Plane 82 (vedi capitolo 5).

6.1.3 Confronto tra NSIF mode I ricavato con il metodo preciso e NSIF mode I stimato tramite PSM con elementi Solid 187 o Solid 92

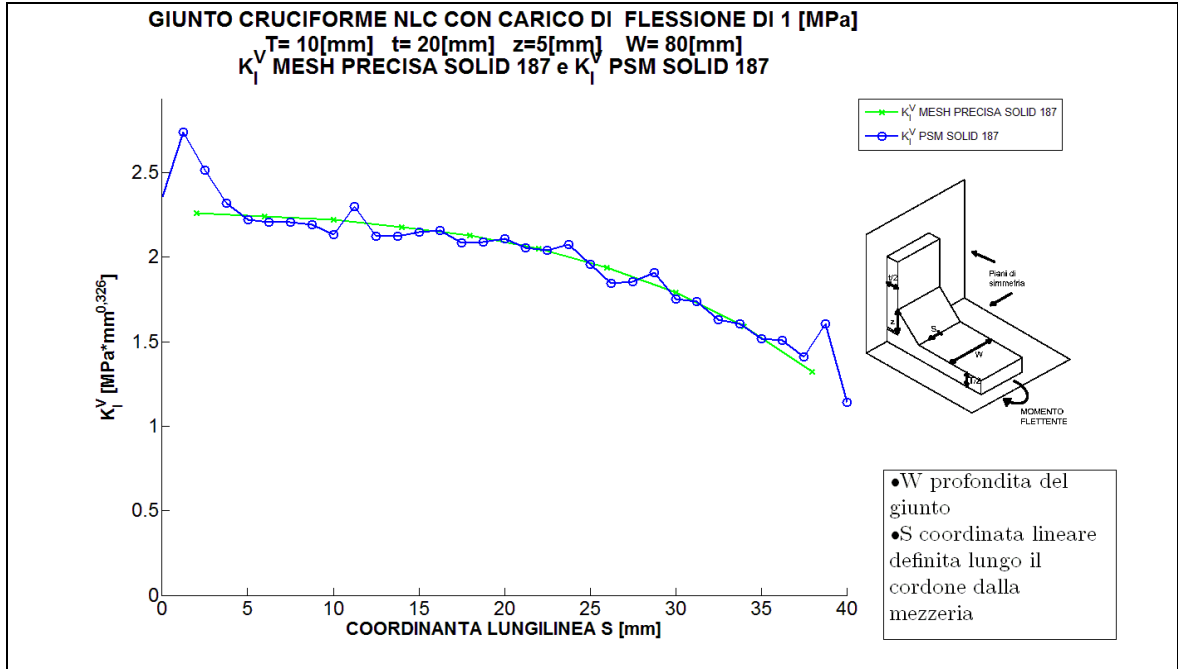


Figura 6.17 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 1.25 [mm]

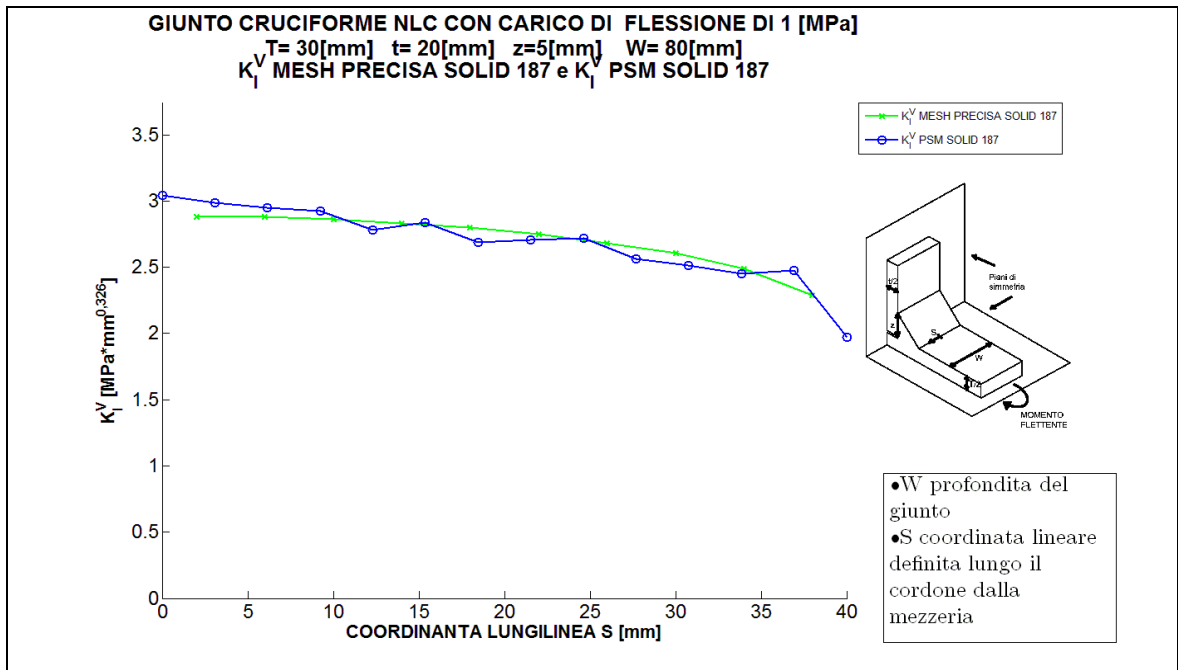


Figura 6.18 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

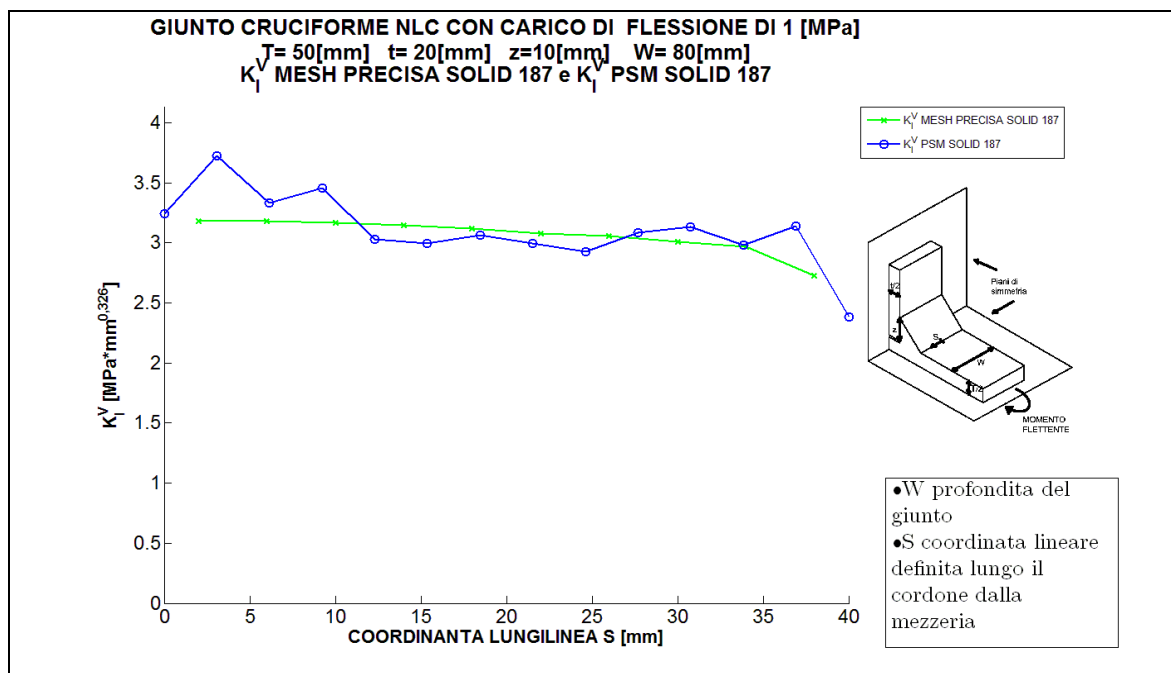


Figura 6.19 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

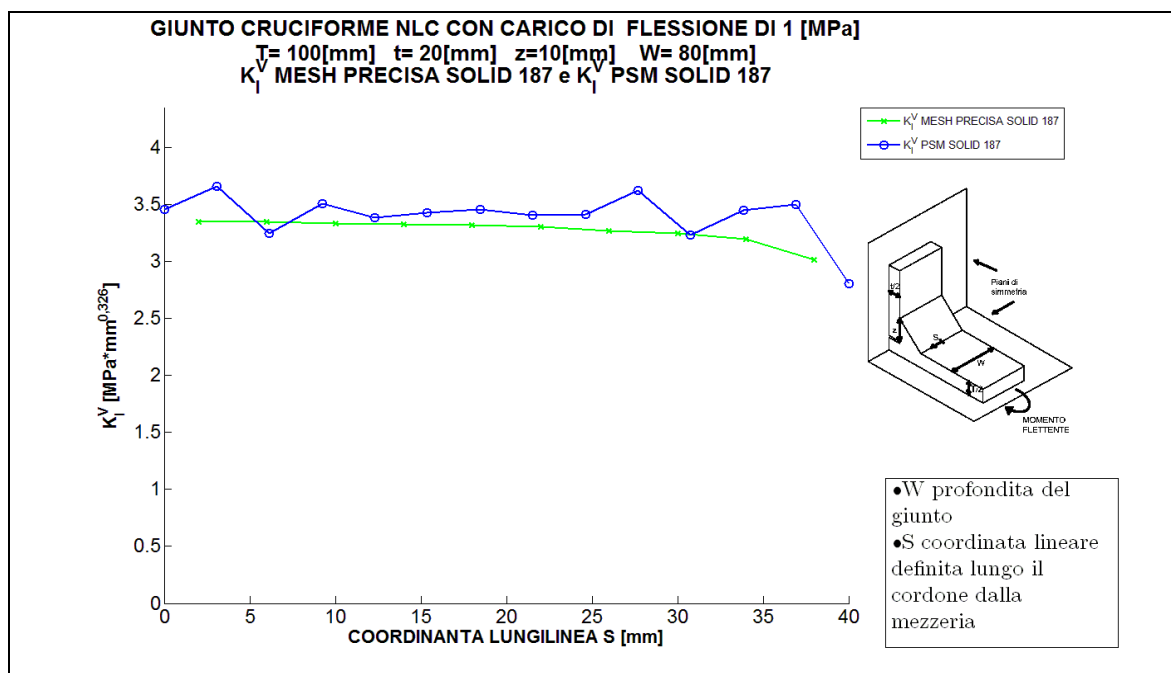


Figura 6.20 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

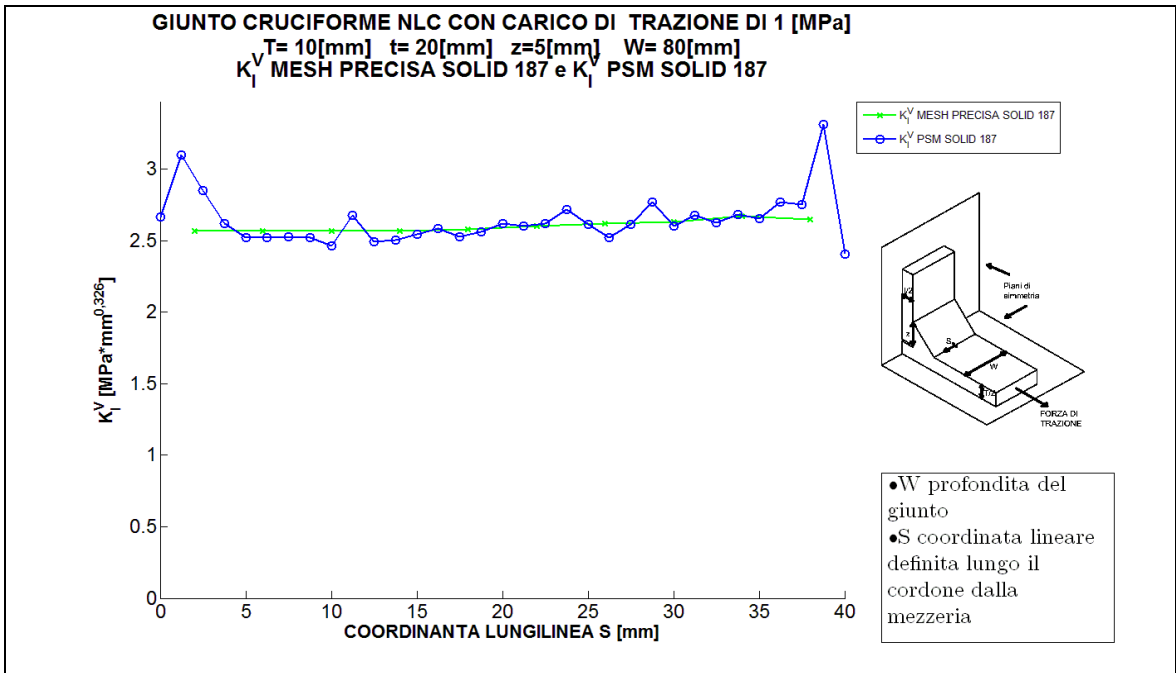


Figura 6.21 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 1.25 [mm]

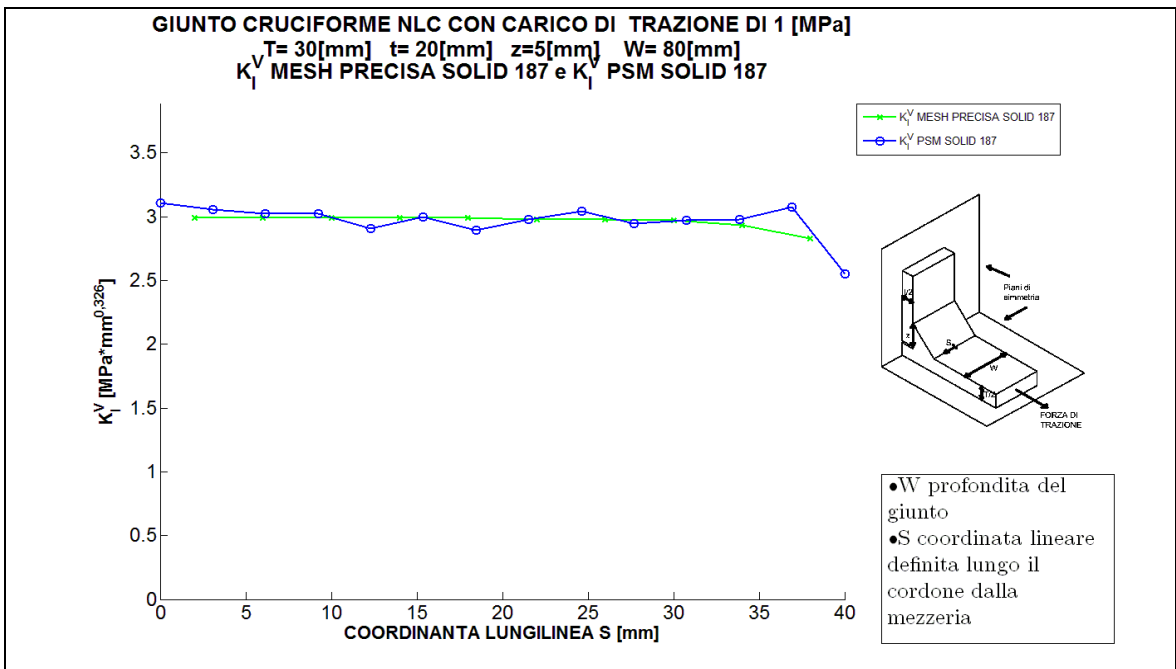


Figura 6.22 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

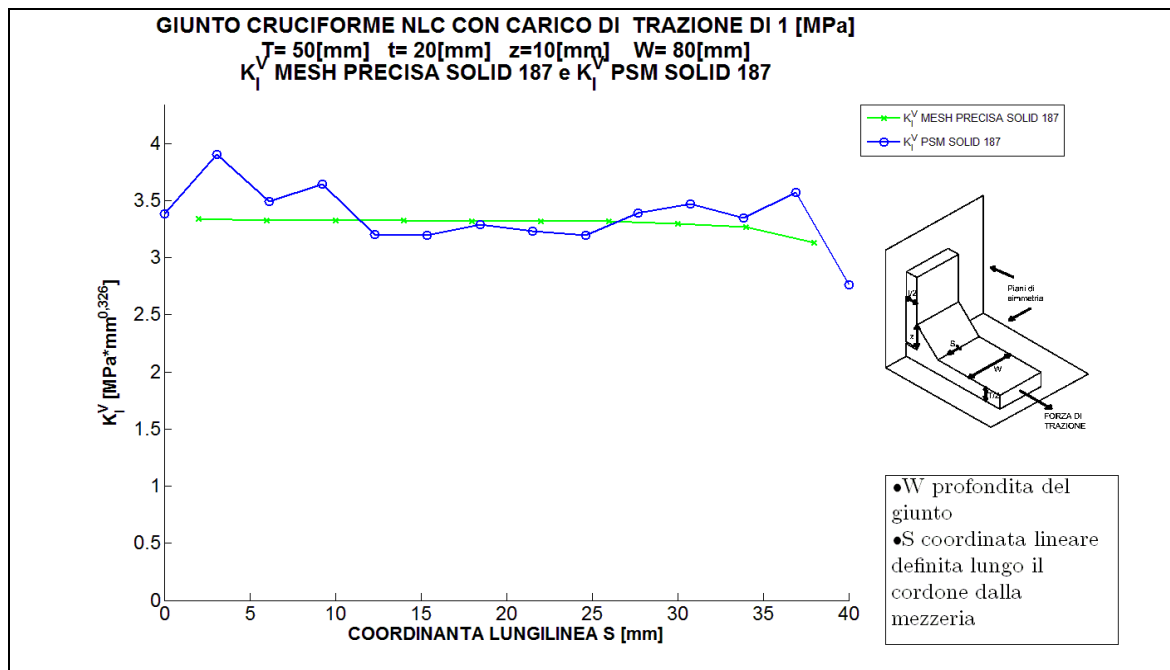


Figura 6.23 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

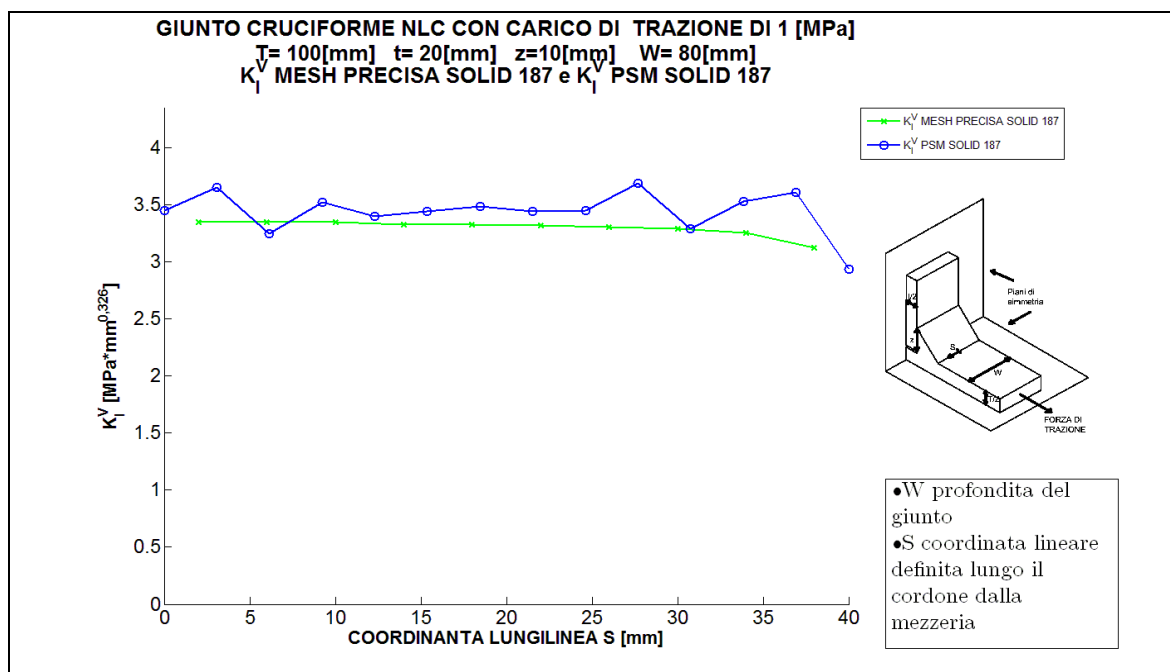


Figura 6.24 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

In questo sotto-paragrafo sono riportati i grafici di confronto tra il K_I^V e il $K_{I,PSM}^V$ lungo il piede del cordone di saldatura dei giunti cruciformi NLC. Si ricorda che il K_I^V

è stato ricavato adoperando la tecnica della sotto-modellazione e visualizzando il plateau che identifica il valore corretto degli NSIF. Il $K_{I,PSM}^V$ è stato ottenuto usando una mesh di elementi Solid 187 o Solid 92, per i quali si è tarato un coefficiente K_{FE}^* , della formula del PSM pari a 1,25. È visibile una sufficiente precisione del metodo, in particolare si vede che la differenza tra il NSIF mode I esatto e quello stimato tramite il PSM è sempre inferiore alla incertezza del +/- 11% assegnata al metodo, tranne che per i primi e ultimi 4 risultati nodali appartenenti ai primi e ultimi 3-4 elementi lungo il cordone di saldatura. Questi elementi infatti possiedono dimensioni minori rispetto al resto della mesh, Infatti il meshatore automatico di Ansys® nelle zone dove si intersecano più linee (come in questo caso ai bordi dei giunti) rende gli elementi più piccoli per adattarli alla geometria, questo porta ad una sovrastima dei valori di NSIF mode I. Si ribadisce che la dimensione degli elementi risulta variabile anche nel resto della geometria (da qui l'andamento a denti di sega dei valori del $K_{I,PSM}^V$) ma l'entità della variazione è di minore entità rispetto alla zona segnalata.

6.1.4 Confronto tra NSIF mode I ricavato con il metodo preciso e NSIF mode I stimato tramite PSM con elementi Solid 285

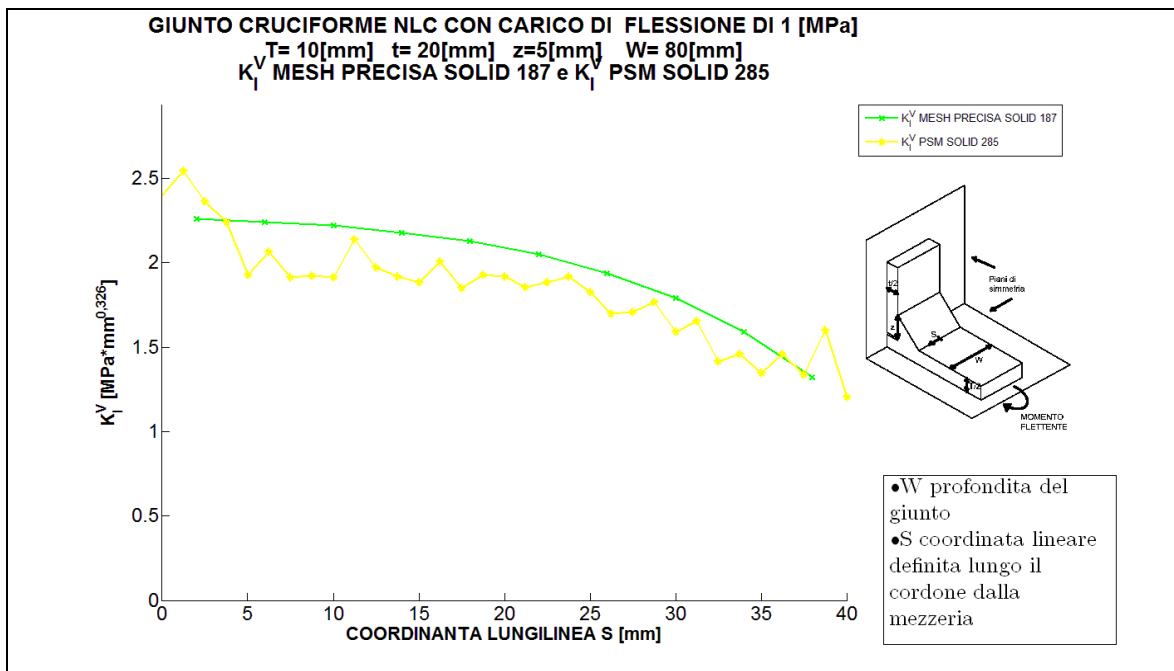


Figura 6.25 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 1.25 [mm]

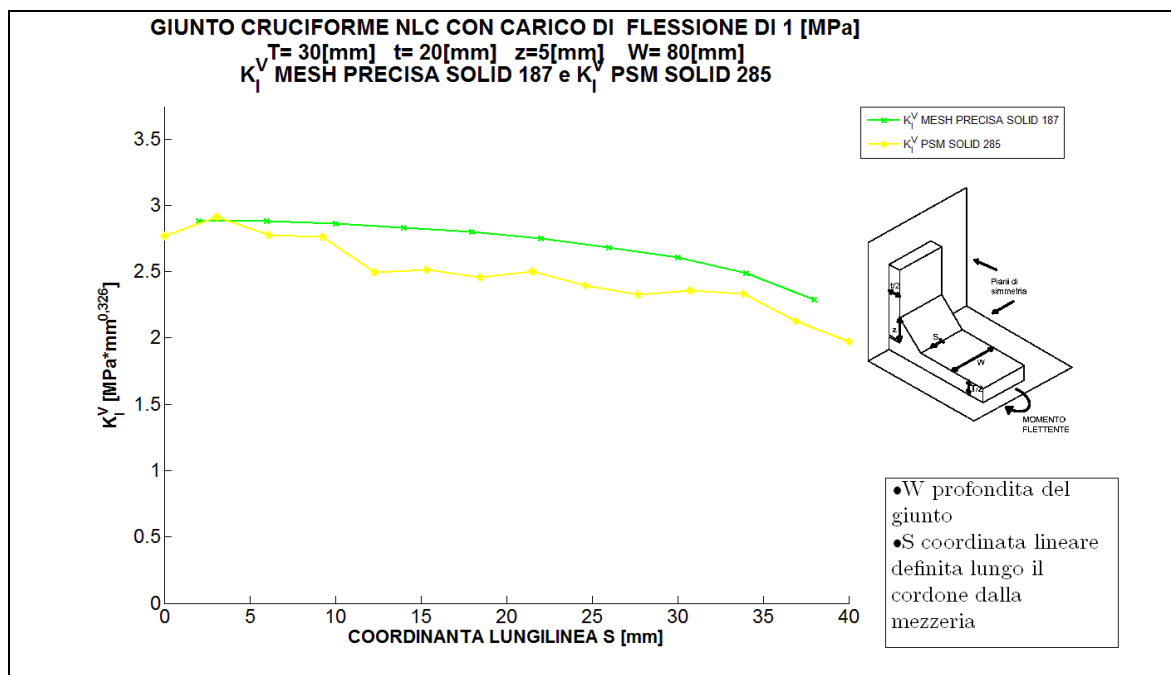


Figura 6.26 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

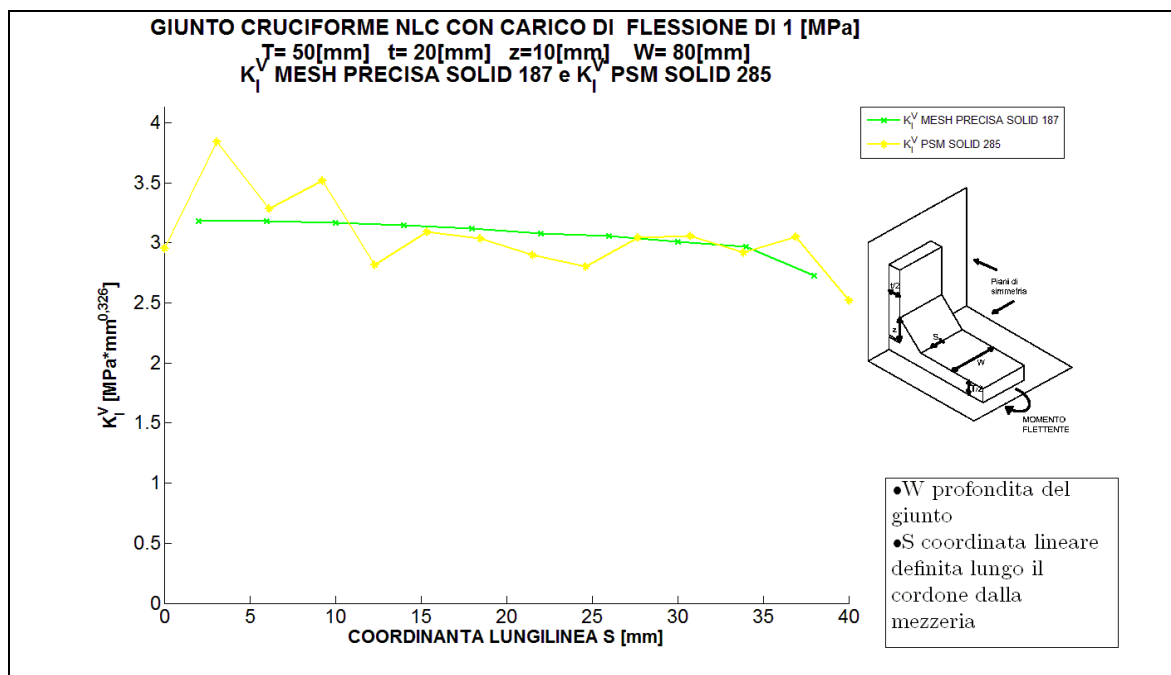


Figura 6.27 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

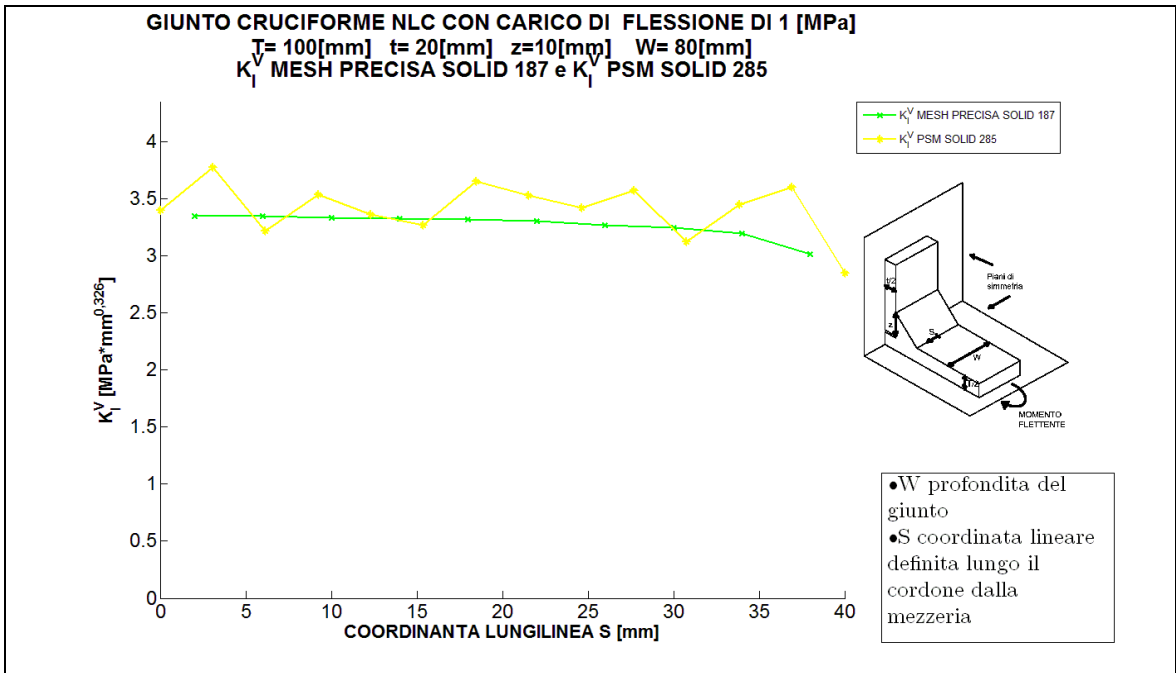


Figura 6.28 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

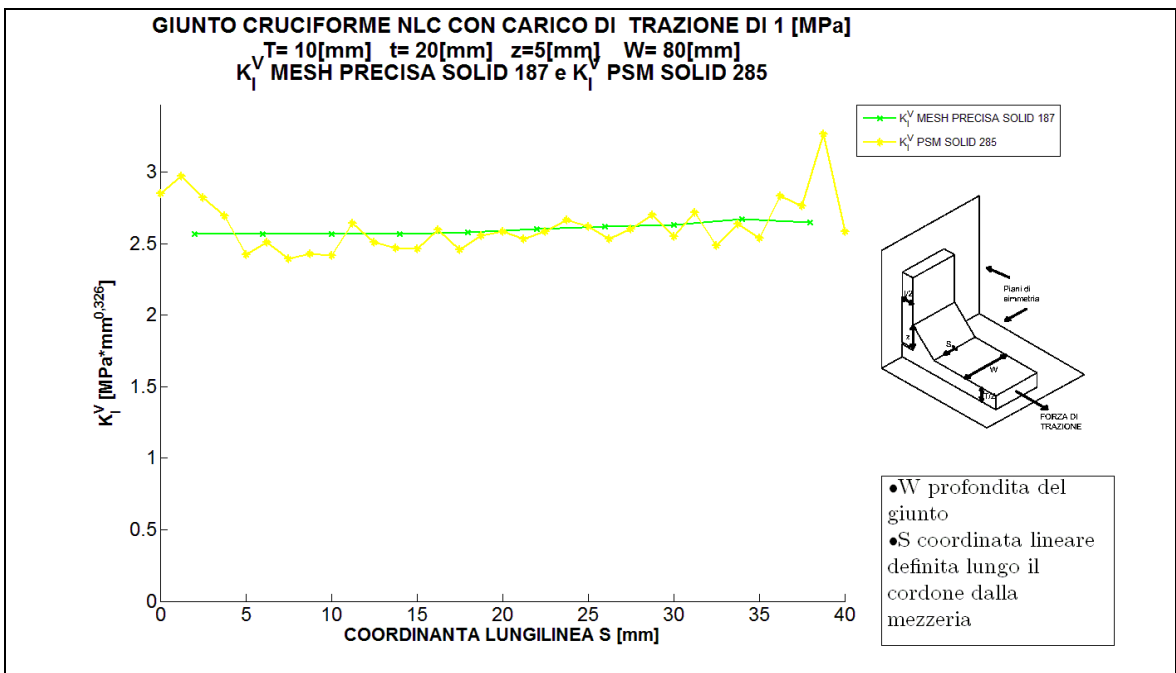


Figura 6.29 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 1.25 [mm]

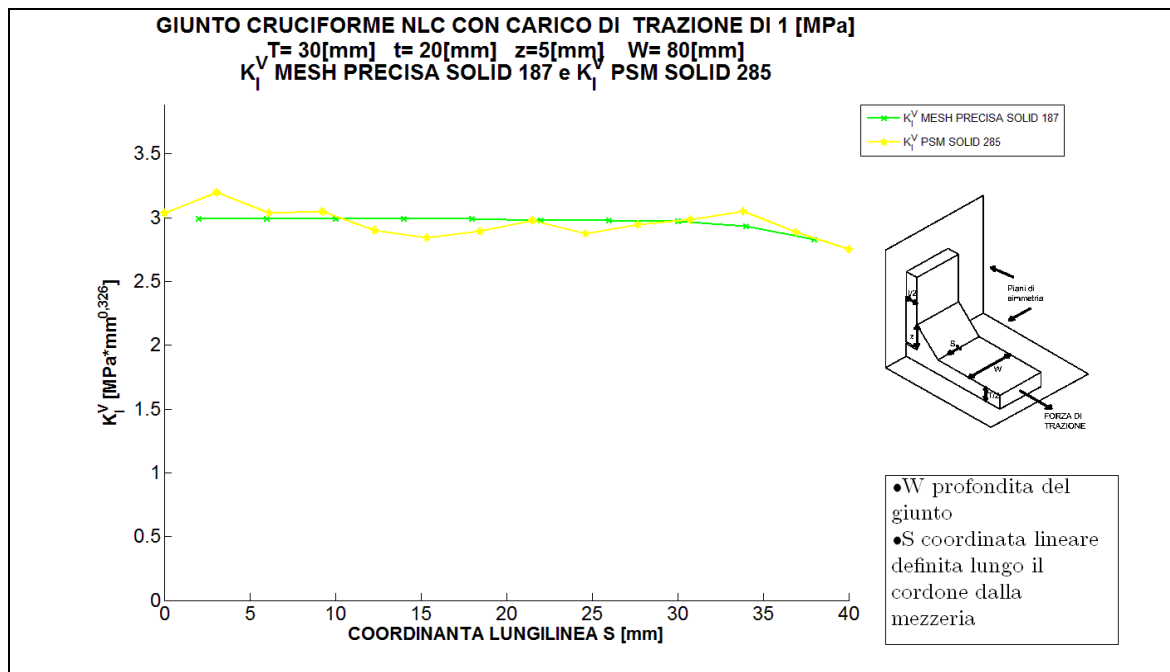


Figura 6.30 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

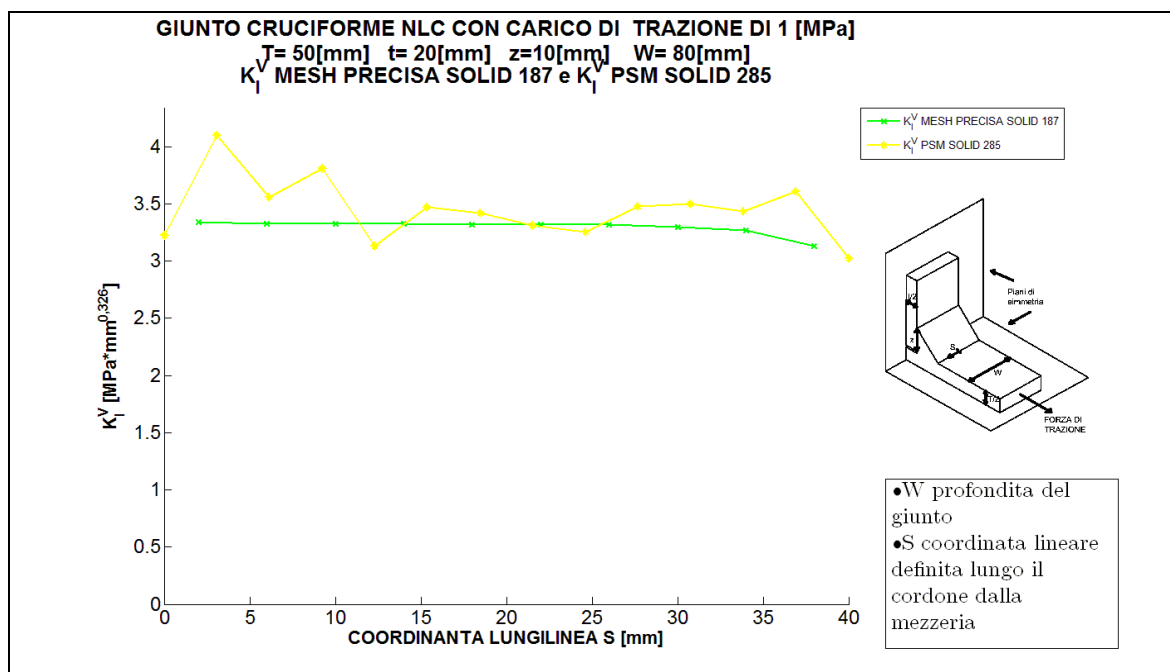


Figura 6.31 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

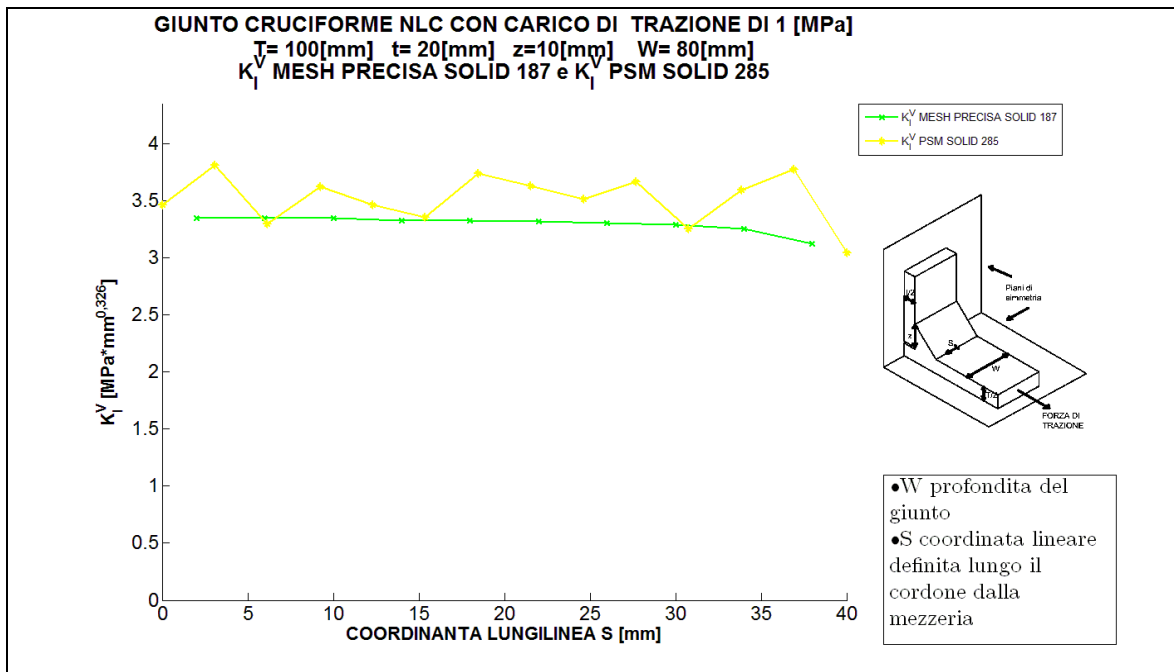


Figura 6.32 La dimensione d dell'elemento usata nella mesh PSM è pari a 3 [mm]

In questo sotto-paragrafo sono riportati i grafici di confronto tra il K_I^V e il $K_{I,PSM}^V$ lungo il piede del cordone di saldatura dei giunti cruciformi NLC. Si ricorda che il K_I^V è stato ricavato adoperando la tecnica della sotto-modellazione e visualizzando il plateau che identifica il valore corretto degli NSIF. Il $K_{I,PSM}^V$ è stato ottenuto usando una mesh di elementi Solid 285, per i quali si è tarato un coefficiente K_{FE}^* , della formula del PSM pari a 1,80. È visibile una scadente precisione del metodo, visibilmente molto prossima a quella precedentemente calcolata per gli elementi Solid 285 ovvero pari a +/- 23%, inoltre per i primi e ultimi 4 risultati nodali è presente la stessa problematica dei Solid 187 o Solid 92 (vedi paragrafo 6.1.3).

6.2 Confronto tra NSIF mode I ricavato in modo preciso e NSIF mode I stimato tramite il PSM utilizzando l'elemento Solid 187 in un giunto cruciforme tubo su tubo.

Tra i vari elementi a cui è stato tarato il metodo della tensione di picco il Solid 187 o Solid 92 è quello che possiede la maggior praticità di utilizzo, in quanto la sua forma tetraedrica consente di meshare geometrie complesse. Si ricorda che i Solid 186 e Solid 95 sono

equivalenti al Solid 187 se presi nella loro forma tetraedrica. Allo scopo di verificare la bontà del PSM anche per geometria differenti dai giunti cruciformi si è deciso di eseguire un confronto tra il NSIF mode I noto dalla letteratura [11] [15] relativo a un giunto cruciforme tubo su tubo e quello si che provvederà a stimare tramite il PSM. Il giunto trattato possiede le caratteristiche geometriche rappresentate in figura 6.33, le forze a cui è sottoposto sono pari a 1000 [N] ed è in acciaio da costruzione.

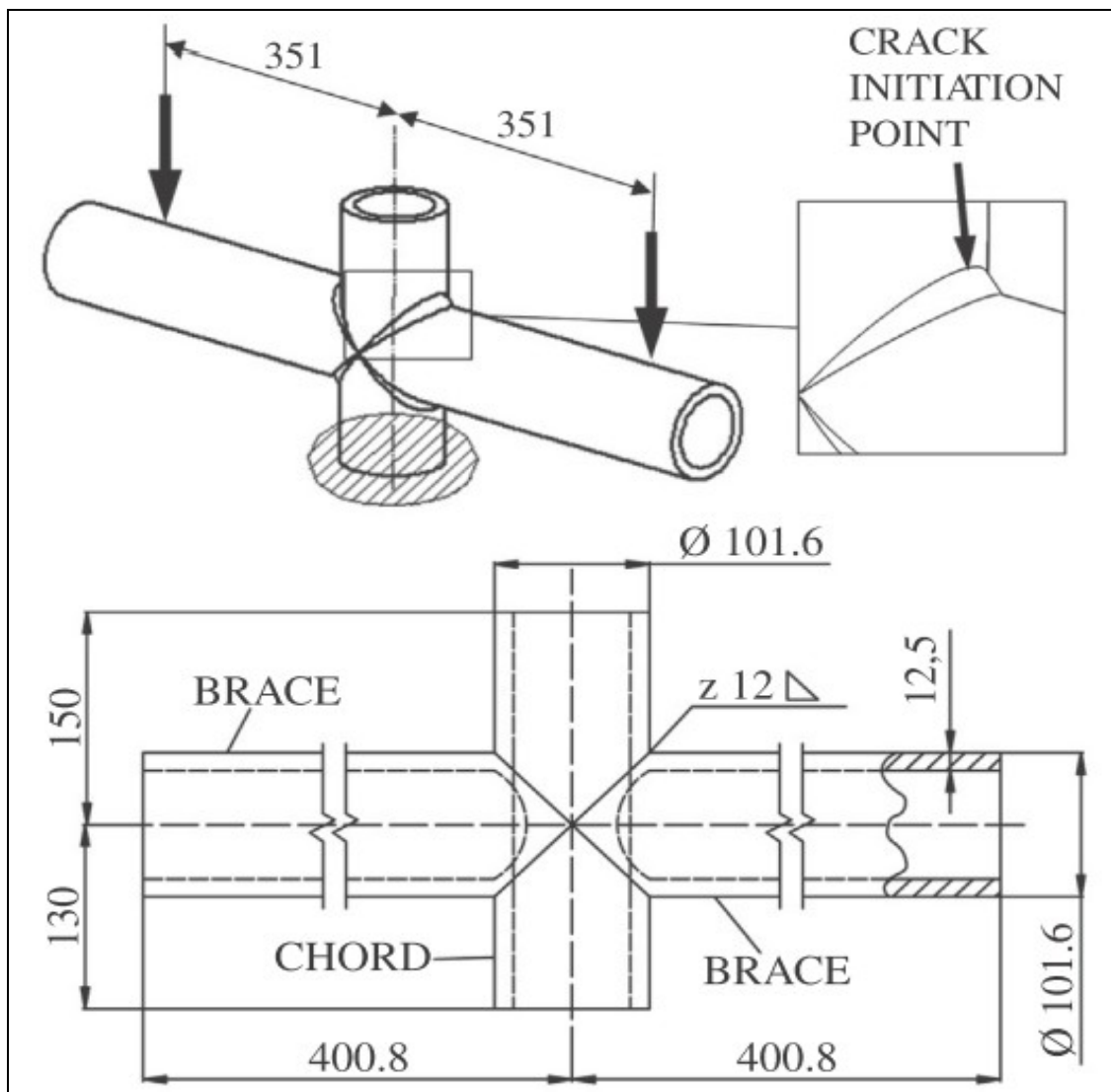


Figura 6.33: Il geometria e carichi del giunto cruciforme tubo su tubo , immagine tratta da [15]

I punti in cui è stato valutato il NSIF mode I in modo preciso è indicato in figura 6.34, il valore riportato nell'articolo [15] per braccio chord è pari a $12.79 [MPa * mm^{0.326}]$ mentre nella tesi di Guzzella [11] vi è riportato il valore relativo al brace è pari a $16.21 [MPa * mm^{0.326}]$.

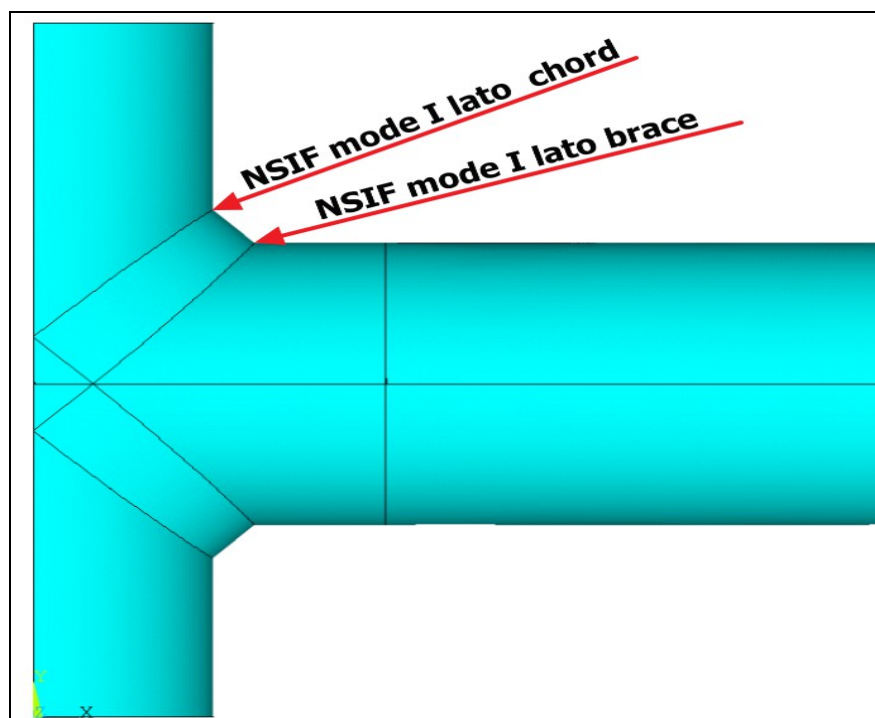


Figura 6.34: I punti in corrispondenza della mezzeria del giunto in cui si sono valutati gli NSIF mode I

Nella analisi FEM tramite il software commerciale Ansys è stato simulata $\frac{1}{4}$ della geometria, si poteva sfruttare un'ulteriore simmetria ma poiché si è notato che gli elementi tetraedrici presentano problemi nel PSM se sono vicini a linee che si intersecano (in tali zone il meshatore free di Ansys è costretto a rimpicciolire le dimensioni degli elementi per adattarli alla geometria in questione) si è preferito non sfruttarla in quanto il punto in analisi cadeva proprio su quel piano di simmetria, si specifica inoltre che in suddette zone vi è sempre una sovrastima del NSIF mode I. La geometria in analisi è mostrata in figura 6.35. Si è applicato il vincolo di simmetria sulle aree n° 28, 26, 37, 38, 15, 32, 27, 25 mentre si è applicato un vincolo di incastro sulla faccia n° 27, le aree sono riportate in figura 6.37. È stata applicata, come mostrato in figura 6.35, una forza concentrata su 4 keypoints pari a una forza complessiva di pari a $1000[N]$ ad una distanza di 351 [mm] dall'asse di simmetria del braccio chord.

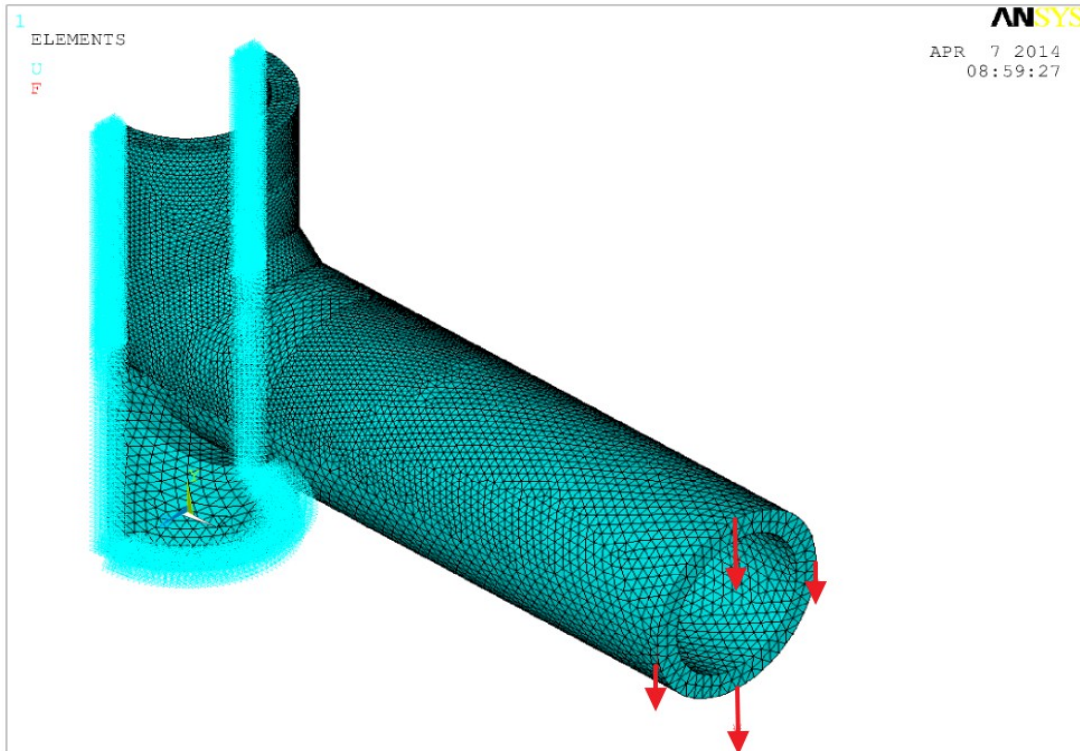


Figura 6.35: Mesh, vincoli e carichi applicati al giunto cruciforme tubo su tubo in analisi

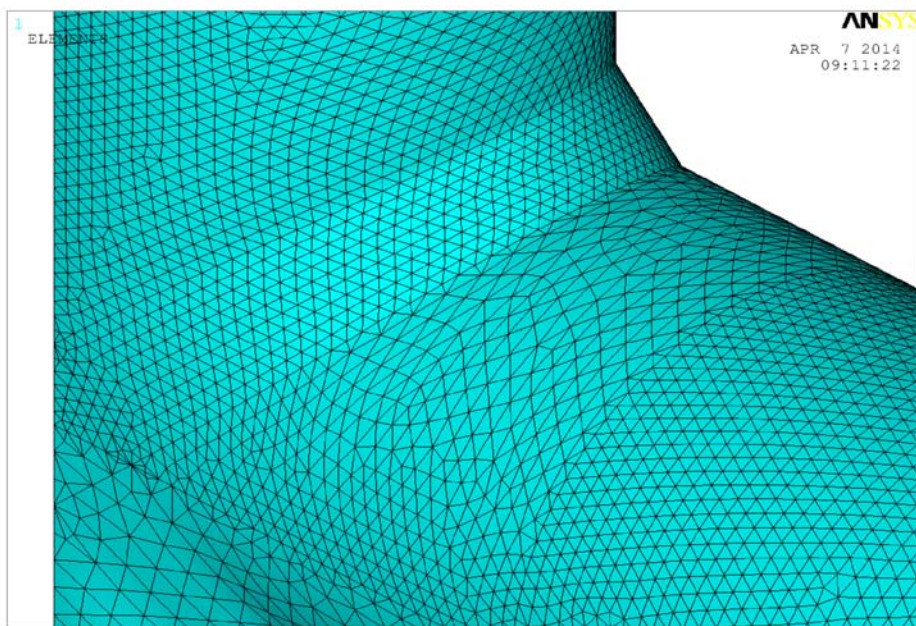


Figura 6.36: La mesh nella zona della saldatura sul giunto cruciforme tubo su tubo, si nota come gli elementi sul lato brace siano visivamente peggiori rispetto al lato brace, tuttavia non portano stime peggiori del NSIF mode I. La forma così distorta di tali elementi è dovuta alla eccessiva vicinanza della superficie esterna del volume che racchiude la zona della saldatura. La dimensione globale imposta agli elementi nella seguente immagine è di 3 [mm]

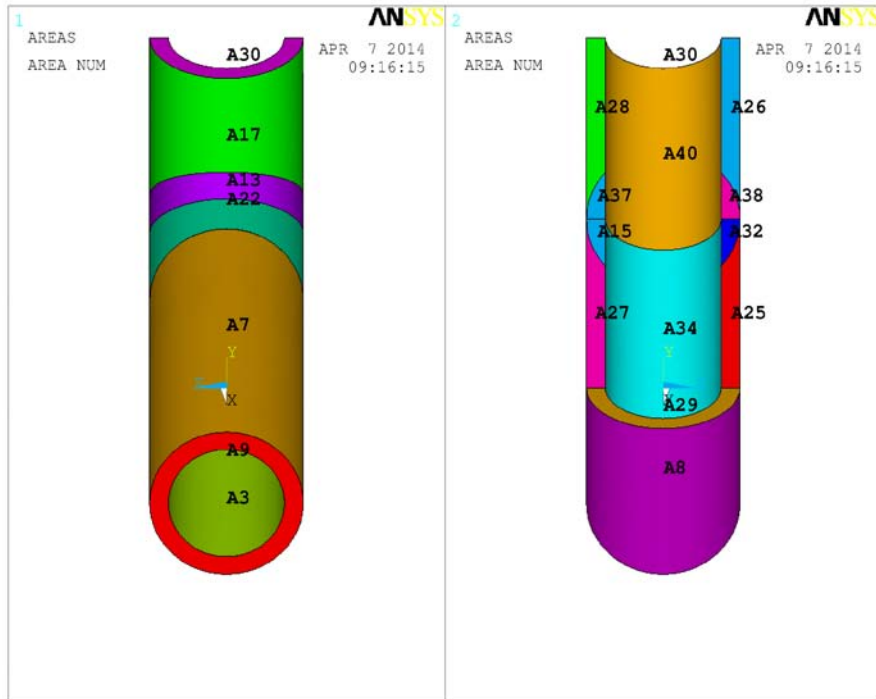


Figura 6.37: Numerazione delle aree del giunto cruciforme tubo su tubo simulato in Ansys® 14

Si è meshato il volume della zona della saldatura tramite la mesh free impostando unicamente la dimensione globale dell'elemento, con l'unico accorgimento di rispettare i seguenti vincoli: rapporto tra lo spessore del giunto tubolare e la dimensione dell'elemento maggiore o uguale a 3 e rapporto tra la il cateto del triangolo di saldatura e la dimensione dell'elemento maggiore o uguale a 3. In seguito si sono meshati i volumi rimanenti sempre tramite l'uso di una mesh free ma utilizzando una dimensione degli elementi più grande. Prima di passare all'acquisizione dei risultati relativi alla prima tensione principale tramite il comando *query result*, si è spuntata l'opzione *use interior data*, nella scheda *options for output* (vedi figura 6.38).

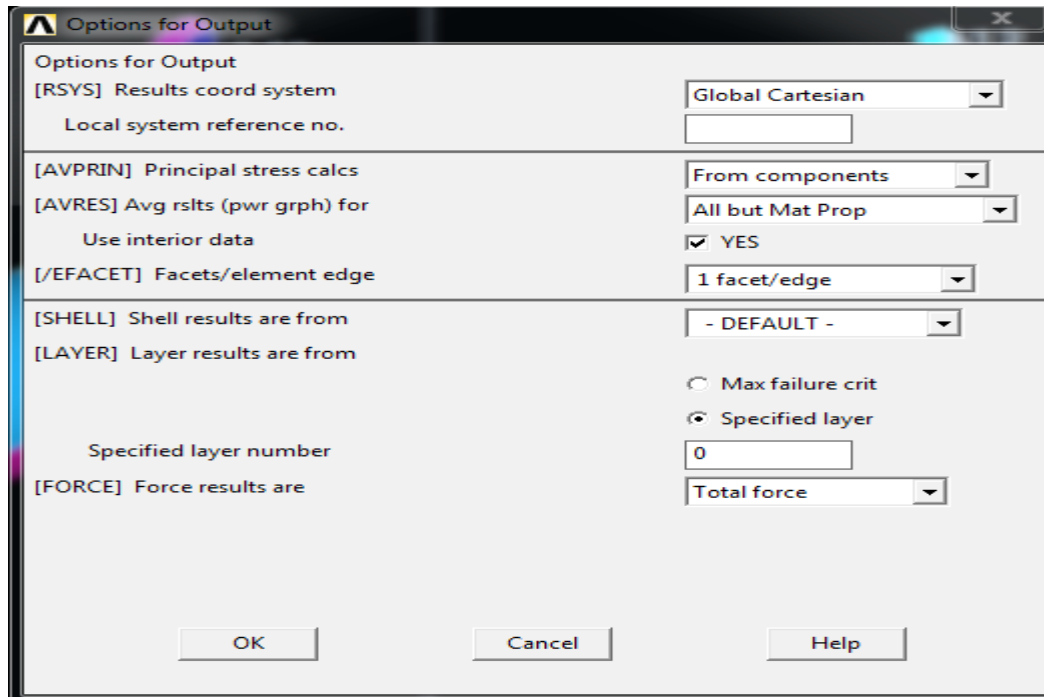


Figura 6.38: La scheda per le opzioni sugli output, è necessario spuntare l'opzione *use interior data* se si usano elementi di forma geometrica tetraedrica.

Si sono eseguite una serie di simulazioni con la medesima procedura variando unicamente la dimensione globale degli elementi nel volume che racchiude la saldatura e le zone limitrofe, i risultati ottenuti sono sintetizzati in tabella 6.1 per il punto sul lato chord e la tabella 6.2 per il punto sul lato brace. Si rammenta la formula del PSM valida per gli angoli di apertura all'intaglio di 135° : $K_{I,PSM}^V = K_{FE}^* \cdot \sigma_{peak} \cdot d^{0.326}$, dove il coefficiente numerico K_{FE}^* nel caso degli elemento usato Solid 187 o Solid 92 è pari a 1.25. Si ricorda che il valore di NSIF mode I preciso individuato nel lato chord è pari a $12.79 [MPa \cdot mm^{0.326}]$ mentre per il lato brace è pari a $16.21 [MPa \cdot mm^{0.326}]$.

Tabella 6.1 Valori ottenuti per il giunto cruciforme tubo su tubo di figura 6.33 al piede del cordone di saldatura del braccio chord al variare della dimensione degli elementi della mesh PSM.

Dimensione degli elementi d [mm]	Tensione di picco [MPa]	$K_{I, PSM}^V$ [MPa*mm ^{0.326}]	Differenza in percentuale con lo NSIF mode I preciso
4	6,22	12,21	-4%
3,5	6,66	11,69	-9%
3	7,08	12,66	-2%
2,9	6,36	11,24	-12%
2,8	7,08	12,37	-3%
2,7	6,68	11,54	-10%
2,6	6,92	11,81	-7%
2,5	7,25	12,21	-4%
2	7,3	11,43	-10%
1,5	8,43	12,02	-6%

I valori relativi al lato chord rientrano tutti nella banda di incertezza assegnata al metodo, tranne uno che eccede per un unità percentuale.

Tabella 6.2 Valori ottenuti per il giunto cruciforme tubo su tubo di figura 6.33 al piede del cordone di saldatura del braccio brace al variare della dimensione degli elementi della mesh PSM.

Dimensione degli elementi d [mm]	Tensione di picco [MPa]	$K_{I, PSM}^V$ [MPa*mm ^{0.326}]	Differenza in percentuale con lo NSIF mode I preciso
4	8,82	17,02	+7%
3,5	10,18	19,1	+18%
3	9,2	16,45	-2%
2,9	9,54	16,87	+4%
2,8	9,59	16,76	+4%
2,7	9,58	16,55	+2%
2,6	10,1	17,23	+6%
2,5	10,61	17,87	+10%
2	10,44	16,35	+1%
1,5	11,51	16,4	+1%

I valori relativi al lato brace presentano un valore che esce in maniera considerevole dalla banda di incertezza assegnata, si ritiene che questo sia dovuto alla qualità della mesh che risulta qualitativamente peggiore rispetto al lato chord e per la sua validità deve essere rispettato un valore maggiore del rapporto spessore del giunto su dimensione dell'elemento della mesh (T/d). I risultati riportati nelle tabelle sopra riportate confermano i valori di

taratura del K_{FE}^* e la precisione assegnata al metodo della tensione di picco nel caso si usi il Solid 187 o Solid 92.

6.2.1 Valori di NSIF mode I stimati tramite mesh PSM nella zona dove si incrociano linee

In quelle zone dove si incrociano più linee geometriche vi è una dimensione più ridotta degli elementi che si appoggiano su tali linee, ad esempio nel giunto cruciforme tubo su tubo trattato nel paragrafo 6.2, se si facesse passare una linea lungo la mezzeria del giunto si otterrebbe la mesh di figura 6.39. La dimensione degli elementi della mesh è pari a 3 [mm]. La mesh in questione porta ad una sovrastima del NSIF mode I del 20% mentre la mesh usata nel paragrafo 6.2 riportata in figura 6.36 porta a una sottostima del 2%. È stato accurato che dove è presente la mesh indicata dalle frecce vi è sempre una sovrastima del NSIF mode I se si usa il coefficiente K_{FE}^* pari a 1,25 così come è stato tarato per il Solid 187.

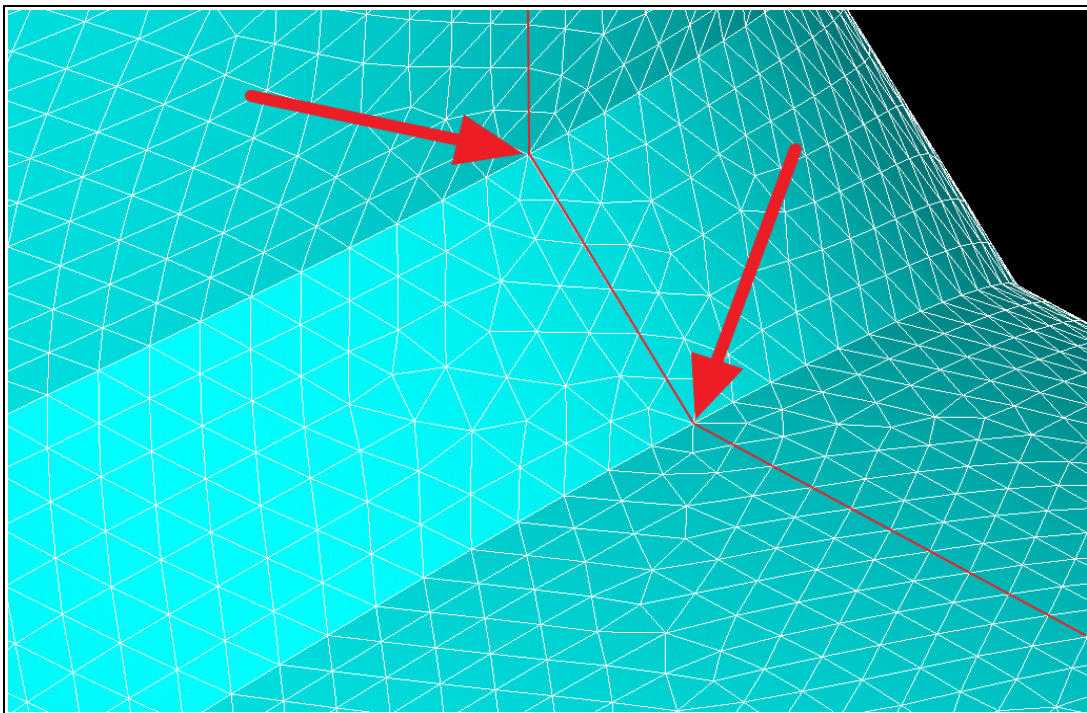


Figura 6.39: La mesh ottenuta nel caso ci sia una linea geometrica che passa per la mezzeria del giunto. I punti dove si prendono le tensioni di picco è segnalata dalla frecce, la linea geometrica è invece segnalata evidenziandola in rosso. La dimensione degli elementi Solid 187 adottata è pari a 3 [mm]. Questa mesh porta a una sovrastima del NSIF mode I del 20%.

6.3 Confronto tra NSIF mode I ricavato in modo preciso e NSIF mode I stimato tramite il PSM utilizzando l'elemento Solid 187 nel giunto a T con sezione rettangolare cava.

Per testare l'uso dell'elemento Solid 187 nel PSM su varie geometrie si è confrontato il valore esatto noto dalla letteratura di NSIF mode I [15] su un giunto a T con sezione rettangolare cava con quello ottenuto da simulazioni con mesh PSM. Le caratteristiche geometriche del giunto sono riportate in figura 6.40, il momento flettente nel punto dove è stato calcolato il K_I^V è pari a $10^4 [Nmm]$. Il materiale del giunto è alluminio.

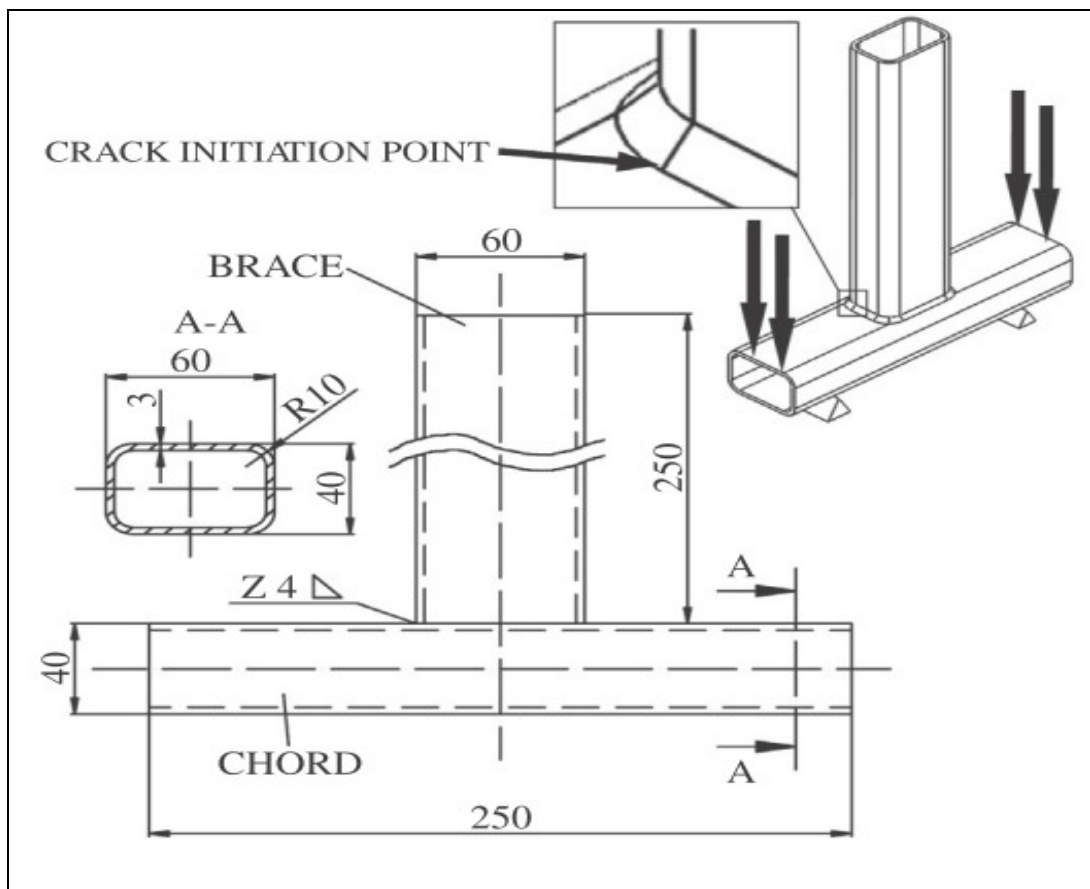


Figura 6.40: Il giunto a T con sezione rettangolare cava, il punto di inizio frattura indicato con la freccia è il punto in cui è stato valutato il NSIF mode I, immagine tratta da [15]

Sfruttando le simmetrie geometriche è stato simulato solo $\frac{1}{4}$ del intero giunto. Le condizioni di vincolo sono le seguenti: un vincolo di simmetria sulle aree n° 24, 50, 9, 8, 51, 44 e 23 inoltre è stata vincolata una linea appartenente all'area n°51 per togliere la labilità al sistema. Si è preferito ricreare lo stato di sollecitazione riportato in figura 6.40 tramite l'applicazione di una pressione costante e negativa sulla area n°3 e una uguale e contraria sull'area n° 1.

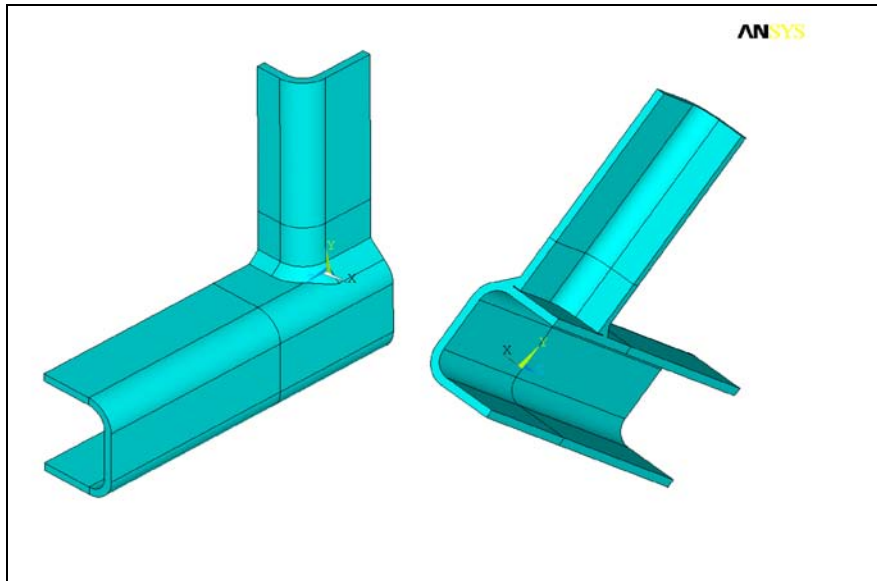


Figura 6.41: Vista fronte e retro del giunto in analisi

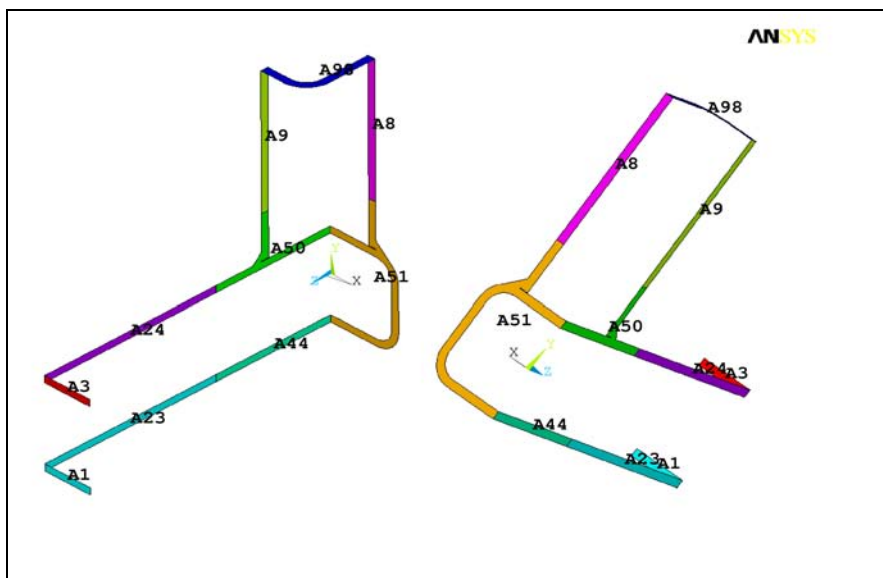


Figura 6.42: Le aree soggette a vincoli e carichi

Si riportano ora i passaggi per il calcolo corretto del valore della pressione da applicare.

Per prima cosa si calcola la forza equivalente alla pressione.

$$FORZA = \frac{MOMENTO}{BRACCIO} = \frac{10^4}{37} = 270.27 [N]$$

Ma per la simmetria la forza da applicare è la metà:

$$FORZA_{Simm} = 135.135 [N]$$

essendo l'area di applicazione pari a:

$$Area = l * b = 20 * 3 = 60 [mm^2]$$

si giunge alla seguente pressione:

$$Pressione = \frac{FORZA_{simm}}{Area} = \frac{135.135}{60} = 2.252 [MPa]$$

Ora confrontiamo il valore di tensione restituito dal software FEM sul bordo superiore tubo chord con quello calcolato tramite le formule della scienza delle costruzioni. Tale controllo serve a verificare che le condizioni al contorno imposte e i carichi applicati siano corretti e che la distanza del punto di acquisizione dei risultati sia a sufficiente distanza dal punto di applicazione di carichi da consentire la redistribuzione delle tensioni. Si riportano i passaggi algebrici eseguiti, per prima cosa si calcola il momento di inerzia lungo l'asse x della sezione del giunto trascurando l'inerzia relativa al loro baricentro delle corone circolari.

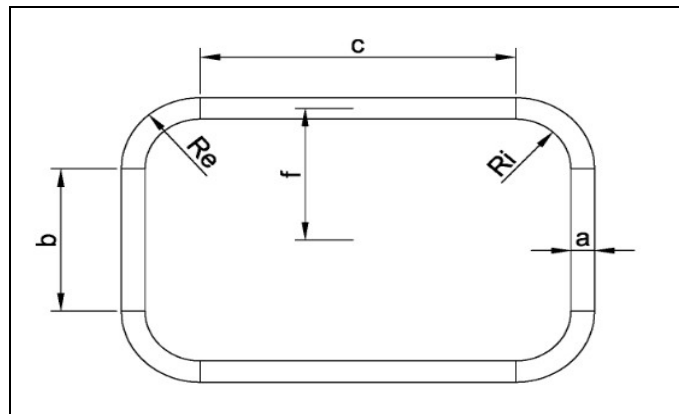


Figura 6.43: I parametri che descrivono la sezione chord del giunto a T con sezione rettangolare cava

Il baricentro delle sezioni circolari si calcola con la seguente formula:

$$y_s = \frac{\frac{4}{(3\pi)} * (R_e^3 - R_i^3)}{(R_e^2 - R_i^2)} = \frac{\frac{4}{(3\pi)} * (10^3 - 7^3)}{(10^2 - 7^2)} = 5.47 [mm]$$

che sarà usata nella formula per il calcolo del momento di inerzia lungo l'asse baricentrale

x:

$$\begin{aligned}
I_x &= 2 * \left(\frac{1}{12} * a * b^3 \right) + 2 * \left(\frac{1}{12} * c * a^3 \right) + 2 * a * c * \left(\frac{f}{2} \right)^2 + \pi * (R_e^2 - R_i^2) * (y_s + b/2)^2 \\
&= 2 * \left(\frac{1}{12} * 3 * 20^3 \right) + 2 * \left(\frac{1}{12} * 40 * 3^3 \right) + 2 * 3 * 40 * \left(\frac{18.5}{2} \right)^2 + \pi * (10^2 - 7^2) * (5.47 + 10)^2 \quad \text{la} \\
&= 124,6 * 10^3 [mm^4]
\end{aligned}$$

tensione che si deve ottenere anche nel modello FEM sarà quindi:

$$\sigma_z = \frac{M_x * l}{I_x} = \frac{10^4 * 20}{124,6 * 10^3} = 1,60 [MPa]$$

nel modello fem la tensione risulta pari a 1,64 [MPa], la differenza è dovuta al calcolo approssimato del momento di inerzia della sezione del giunto. Poiché la lunghezza del lato brace è poco influente sulla soluzione finale quest'ultimo è stato accorciato per ridurre la pesantezza del calcolo. Si è meshato infine il volume che racchiude la saldatura e le zone limitrofe con una mesh free impostando unicamente la dimensione globale degli elementi, rispettando le seguenti condizioni: rapporto spessore del giunto su la dimensione degli elementi superiore a 4 e rapporto cateto del triangolo di saldatura e dimensione globale degli elementi superiore o uguale a 3 . Si sono quindi lanciate diverse simulazioni variando la dimensione degli elementi e confrontando il valore di $K_{I,PSM}^V$ con il K_I^V tratto da [15] pari a $3.712 [MPa * mm^{0.326}]$. I risultati ottenuti sono riportati in tabella 6.3. Si ricorda che se si prende visione tramite il comando *query result*, si deve spuntare l'opzione *use interior data*, nella scheda *options for output* (vedi figura 6.38).

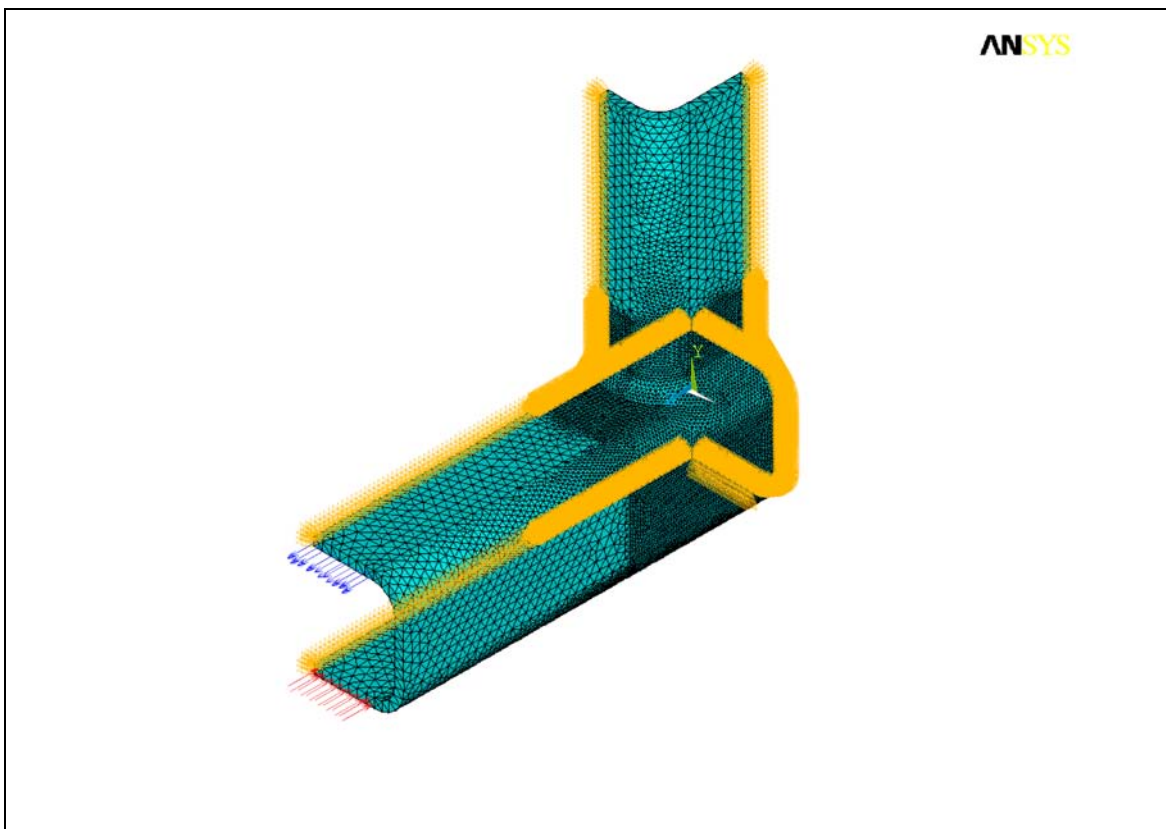


Figura 6.44: Mesh vincoli e carichi del giunto a T con sezione rettangolare cava simulato in Ansys® 14.

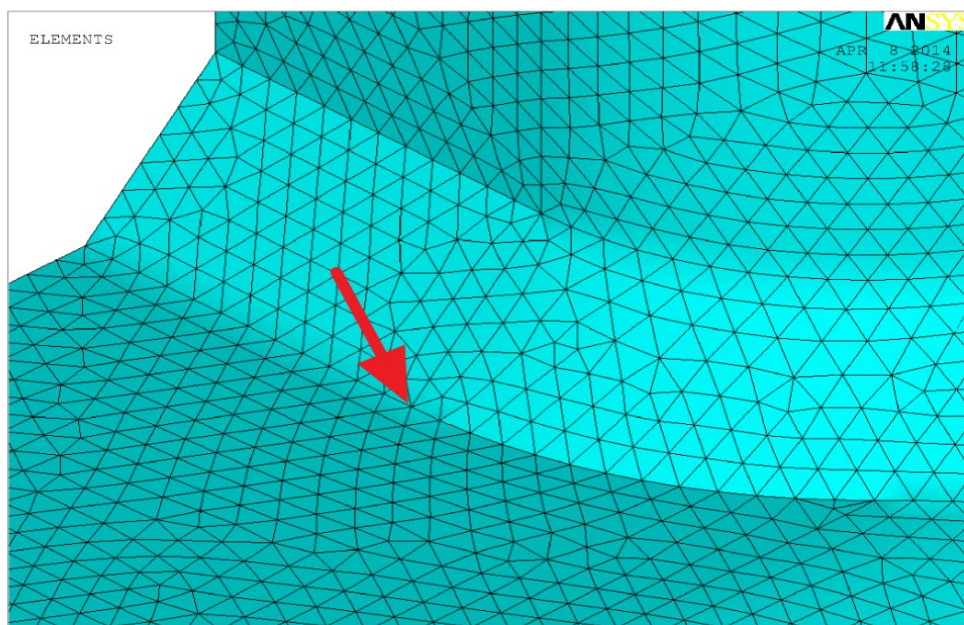


Figura 6.45: Ingrandimento della mesh nella zona dove è stata catturata la tensione di picco

Si rammenta la formula del PSM valida per gli angoli di apertura all'intaglio di 135°:

$$K_{I,PSM}^V = K_{FE}^* \cdot \sigma_{peak} \cdot d^{0.326}$$

dove il coefficiente numerico K_{FE}^* nel caso degli elemento usato Solid 187 o Solid 92 è pari a 1.25.

Tabella 6.3 Valori ottenuti per il giunto a T con sezione rettangolare cava di figura 6.40 al variare della dimensione globale degli elementi della mesh .

Dimensione degli elementi d [mm]	Tensione di picco [MPa]	$K_{I,PSM}^V$ [$MPa \cdot mm^{0.326}$]	Differenza in percentuale con lo NSIF mode I preciso
1	3,05	3,82	+3%
0,9	3,42	4,13	+11%
0,8	3,36	3,9	+5%
0,7	3,46	3,85	+3%
0,6	3,44	3,64	-2%
0,5	3,86	3,84	+3%
0,4	4,13	3,82	+3%

I risultati sono soddisfacenti in quanto i valori stimanti di NSIF mode I ricadono dentro la fascia di incertezza assegnata al metodo della tensione di picco per l'elemento Solid 187 o Solid 92 .

6.4 Considerazioni finali

I coefficienti K_{FE}^* degli elementi tridimensionali Solid 185 o Solid 45 , Solid 186 o Solid 95 , Solid 187 o Solid 92 e il Solid 285 erano noti dalla letteratura [11],[05],[12] oppure sono stati tarati nel seguente lavoro di tesi utilizzando diversi giunti saldati . Nello specifico si sono usati giunti cruciformi NLC , giunti cruciformi LC , giunti a T NLC, i quali sono stati sollecitati sia a trazione che a flessione, come illustrato nei capitoli 2, 4. Inoltre su tali giunti è stato indotto , tramite l'applicazione di opportuni vincoli, uno stato piano di deformazione. In questo capitolo utilizzando gli stessi giunti (senza però aver indotto uno stato piano di tensione o deformazione) si sono confrontati i valori degli NSIF

mode I ottenuti in modo preciso e quelli stimanti tramite il PSM. I risultati osservati confermano la corretta taratura dei coefficienti K_{FE}^* della formula del PSM, in quanto le differenze tra i valori precisi e quelli stimati tramite PSM rientrano dentro la banda di incertezza assegnata al metodo per ciascun elemento. Gli elementi Solid 187 o Solid 92, in virtù della loro forma tetraedrica consentono di eseguire mesh su geometrie complesse, dopo la taratura, sono stati usati per ricavare i $K_{I,PSM}^V$ su un giunto cruciforme tubo su tubo e su un giunto a T con sezione rettangolare cava. I valori ottenuti sono stati confrontati con quello precisi noti dalla letteratura [15],[11]. Anche in questo caso i valori ottenuti ricadono all'interno della banda di incertezza assegnata al metodo confermando la correttezza della taratura.

CAPITOLO 7 : INDIVIDUAZIONE DEI COEFFICIENTI DELLA FORMULA DI TOVO E LAZZARIN

Utilizzando la formula 7.1 data da Tovo e Lazzarin [02] che descrive la variazione del parametro kI al variare del rapporto tra i parametri geometrici dei giunti saldati , si è cercato di ricavare i coefficiente di tale formula anche per i giunti trattati in questa tesi.

$$kI = A + Be^{\alpha(2z/T)} + Ce^{\beta(2z/T) + \gamma(t/T)} \quad (7.1)$$

Dove i coefficienti:

$$A, B, \alpha, C, \beta, \gamma \quad (7.2)$$

cambiano al variare del tipo di giunto saldato e del tipo di carico applicato. L'unico giunto che è stato qui trattato a cui Tovo e Lazzarin abbiano individuato i coefficienti della formula 1.28 è il giunto cruciforme NLC caricato a trazione.

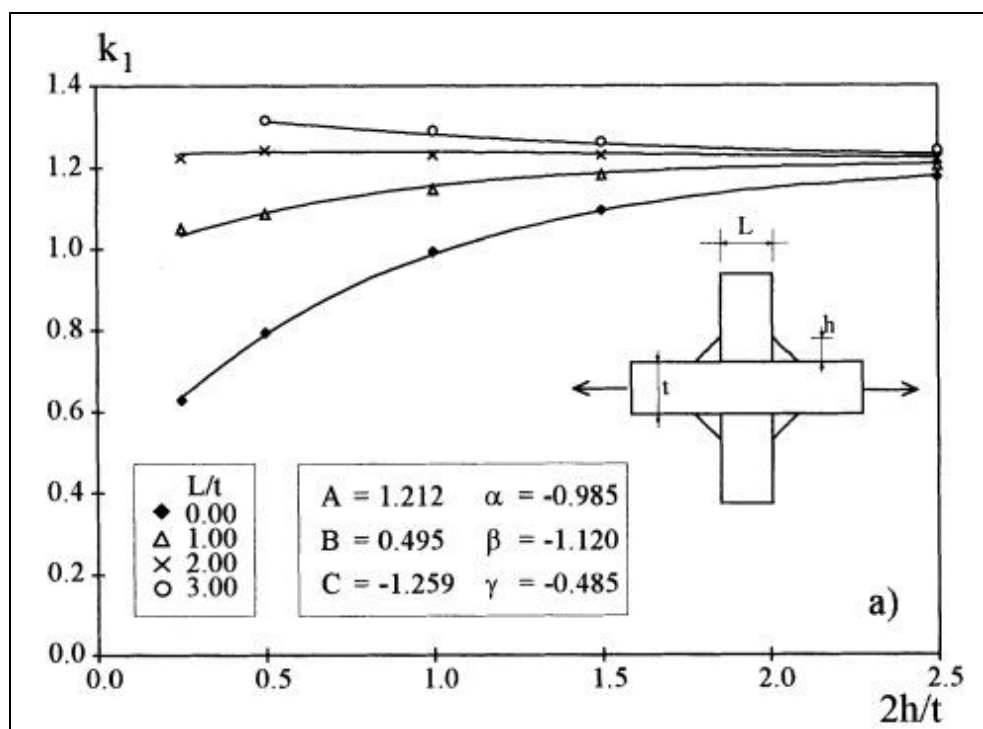


Figura 7.1: Le curve del k_1 e i coefficienti ricavati da Lazzarin e Tovo per il giunto cruciforme NLC a piena penetrazione e caricato a trazione , immagine tratta da [02]

È da sottolineare che il giunto cruciforme NLC caricato a trazione a cui fa riferimento Lazzarin e Tovo è a piena penetrazione del cordone di saldatura mentre quello trattato in questa tesi non vi è alcuna penetrazione quindi è prevedibile che le curve che si troveranno presenteranno alcune differenze. Si illustrerà ora la procedura eseguita per l'individuazione dei coefficienti della formula 7.1 anche per il giunto cruciforme NLC con carico di flessione, giunto cruciforme LC con carico di trazione, giunto cruciforme LC con carico di flessione, giunto a T con carico di trazione, giunto a T con carico di flessione. Come primo passo si sono simulate le svariate geometrie bidimensionali dei giunti tramite il software agli elementi finiti Ansys® al fine di individuare il NSIF mode I con il metodo preciso della mesh fitta per avere un numero sufficiente di dati. Si sono poi importati i risultati in un file Excel dove si è calcolato il valore del kI_{reale} per ogni geometria, che è stato confrontato con quello stimato tramite la formula 7.1. Tali valori di $kI_{stimato}$ sono inizialmente dei valori puramente casuali in quanto non noti i coefficienti appropriati della formula. Si è calcolata la differenza percentuale tra i due kI per ogni giunto (quello ricavato con il metodo preciso della mesh fitta è quello stimato con le formula di Tovo e Lazzarin), e lo scarto quadratico medio di tali valori. A questo punto tramite il risolutore genetico presente in excel si è imposto la minimizzazione di quest'ultimo valore tramite la modifica dei coefficienti 7.2 della formula 7.1 del kI (quindi tenendo come variabili di decisione i coefficienti e come funzione obbiettivo lo scarto quadratico medio). Si sono ottenuti appropriati coefficienti 7.2 riportati nelle tabelle a seguire dove è riportato anche l'errore percentuale massimo assoluto alla fine ottenuto tra il kI ottenuto con il metodo preciso della mesh fitta da analisi FEM e quello infine stimato tramite la formula di Lazzarin e Tovo. Inizialmente si è preso come spazio di indagine quello compreso tra $2z/T$ compreso tra 0,1 e 2,5 e t/T compreso tra 0,1 e 3,1. Però a causa di una forte variabilità per valori di kI ottenuti dalle analisi FEM al variare del rapporto t/T per rapporti di $2z/T$ minore di 0,2, che non sono riproducibili con sufficiente precisione dalla formula adottata, si è limitato il campo di ottimizzazione a rapporti $2z/T$ compresi tra 0,2 e 2,5 riportando comunque sulle tabelle anche i dati ottenuti dalle simulazione FEM al di fuori di tale campo. Lo spazio di indagine è stato valutato per ogni tipo di giunto in circa 180 punti distribuiti in modo uniforme, i coefficienti $A, B, \alpha, C, \beta, \gamma$ trovati nel seguente lavoro sono da ritenersi validi solo negli intervalli t/T [0,1 -3,1] e $2z/T$ [0,2 -2,5]. Si ricorda che z è l'altezza del cordone di saldatura, t lo spessore del piatto secondario, T lo spessore del

piatto principale. Se si sovrappongono (anche se non corretto in quanto un giunto è a piena penetrazione mentre l'altro no) le linee ottenute da Lazzarin e Tovo nel loro lavoro per il giunto cruciforme NLC con carico di trazione con quelle ottenute per il medesimo giunto nella presente tesi si nota un certa discordanza, questo si ritiene possa essere dovuto a due ragioni: i campi di validità i due tipi di curve sono differenti, e in secondo luogo il giunti simulati da Tovo e Lazzarin sono a piena penetrazione del cordone di saldatura mentre quelli analizzati in questa tesi non vi è alcuna penetrazione della saldatura. In particolare per questo secondo motivo porta a un diverso andamento delle curve in particolare quando il rapporto $2z/t$ diventa via di minore entità. Ora si riporta nei paragrafi a seguire i coefficienti ottenuti per i vari tipi di giunto e i grafici con le curve sovrapposte ai valori di kI ottenuti dalle analisi FEM utilizzando il metodo preciso della mesh fitta di giunti piani.

7.1 Giunto cruciforme NLC con carico di trazione

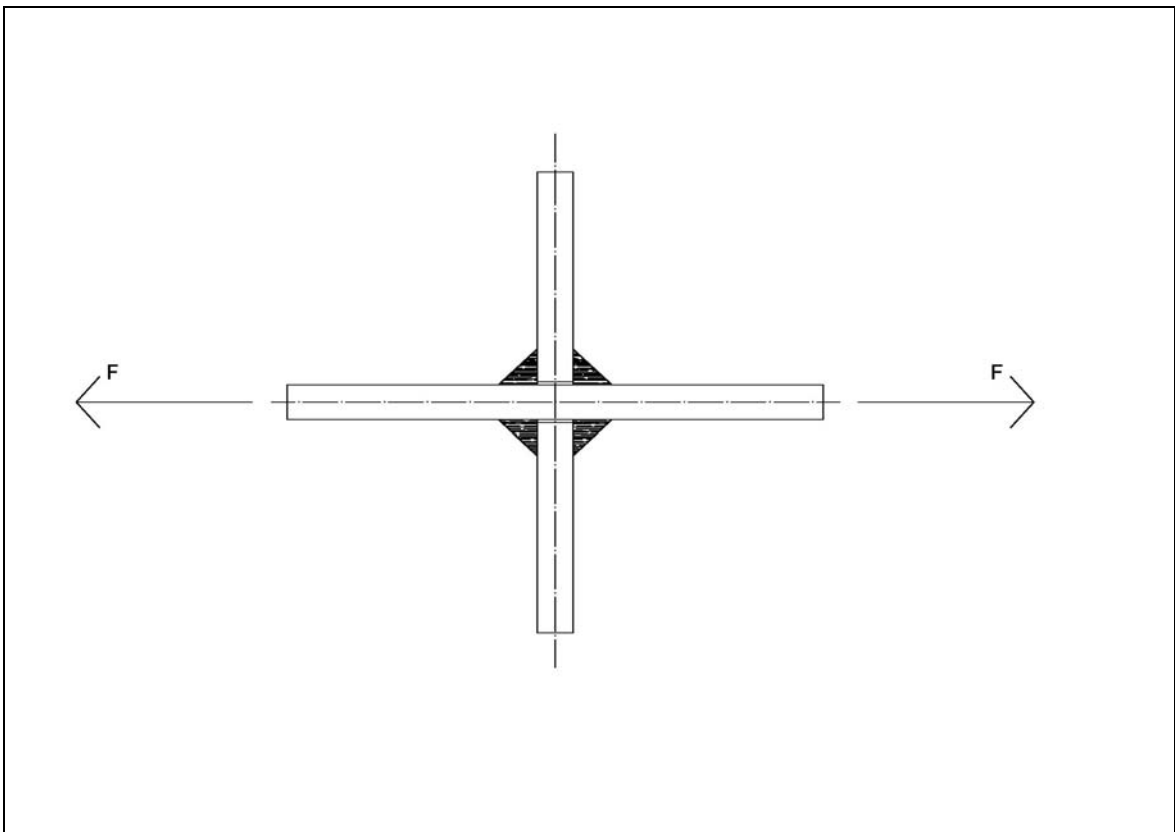


Figura 7.2: Il giunto cruciforme NLC caricato a trazione

Il giunto cruciforme NLC con carico di trazione differisce da quello considerato da Tovo e Lazzarin poiché nel seguente caso non vi è penetrazione del cordone di saldatura all'interno del pezzo, e la giunzione dei due piatte è assicurata unicamente dal cordone di saldatura schematizzabile in un triangolo rettangolo.

Nella tabella sottostante sono riportati i coefficiente della formula 7.1 di Lazzarin e Tovo trovate nella analisi eseguita, le curve riferite al parametro $kI_{stimato}$ sono plottate nella figura, con sovrapposti i dati ottenuti con le simulazioni FEM con il metodo preciso della mesh fitta.

Tabella 7.1 Coefficienti della formula di Lazzarin e Tovo che minimizzano lo scarto quadratico medio dei record relativi al giunto cruciforme NLC con carico di trazione

A	B	α	C	β	γ	Errore % massimo assoluto	Scarto quadratico medio
1,2406	0,9105	-1,6664	-1,6748	-1,4150	-0,4201	6,03	1,09

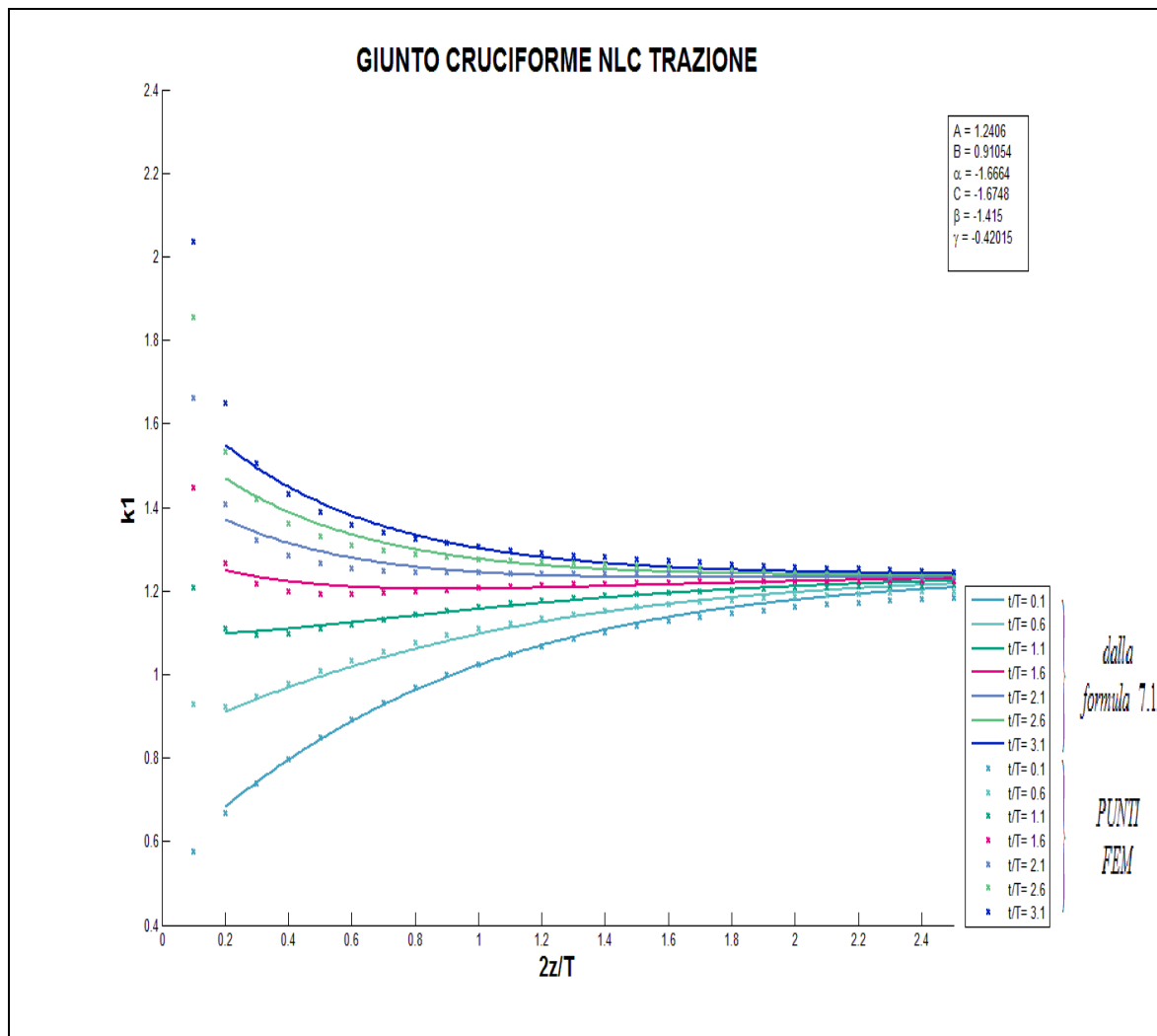


Figura 7.3: Il coefficiente k_1 per il giunto cruciforme NLC con carico di trazione

L'errore percentuale massimo assoluto riscontrato è abbastanza elevato, ovvero il 6%, ma come si evince dal grafico sopra riportato la zona più problematica da questo punto di vista è compresa tra $2z/T$ minore 0,5 e t/T maggiore di 1,6 . Nel resto dello spazio di indagine l'errore è molto più contenuto.

7.2 Il giunto cruciforme NLC con carico di flessione

Cambiando il tipo di carico imposto ossia passando da trazione a flessione si otterranno dei coefficienti differenti, che sono riportati in tabella 7.2, la figura 7.5 riporta le curve ottenute per il parametro k_1 .

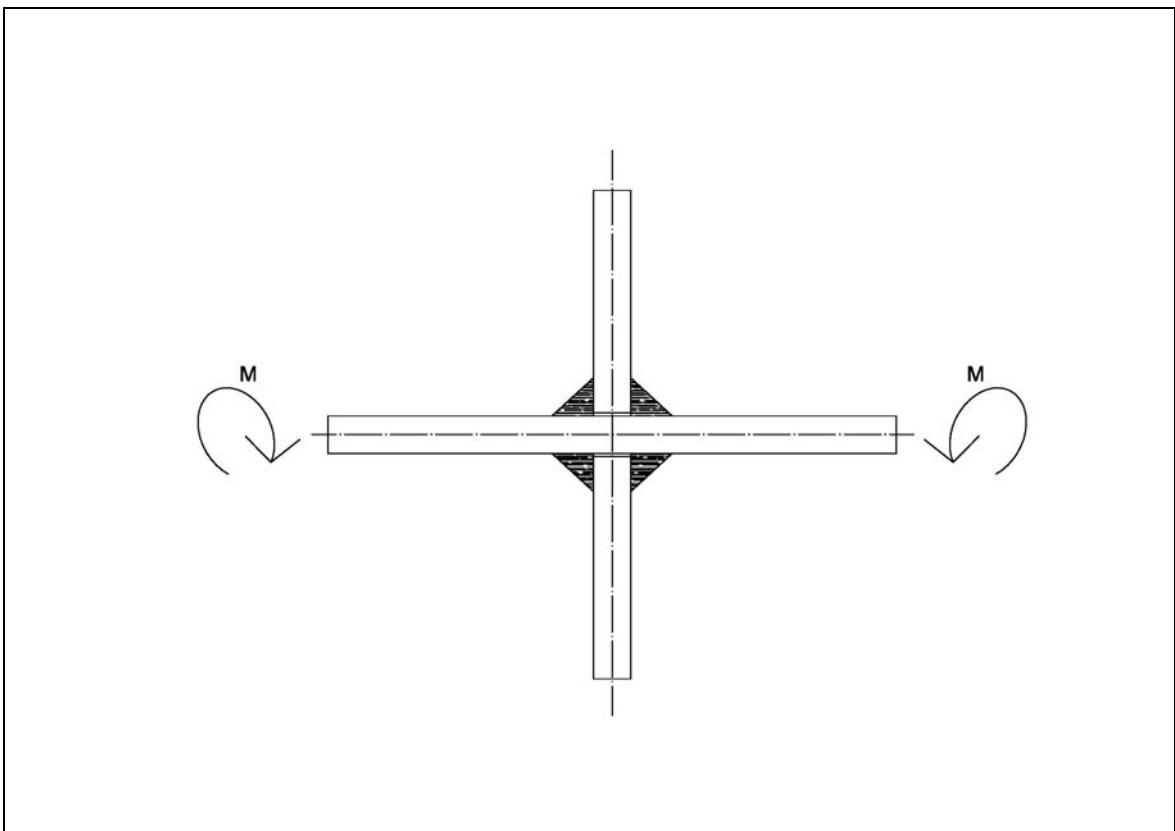


Figura 7.4: Il giunto cruciforme NLC caricato a momento flettente

Tabella 7.2 Coefficienti della formula di Lazzarin e Tovo che minimizzano lo scarto quadratico medio dei record relativi al giunto cruciforme NLC con carico di flessione

A	B	α	C	β	γ	Errore % massimo assoluto	Scarto quadratico medio
0,9088	0,7315	-2,7385	-1,2322	-2,7974	-0,6596	2,93	0,51

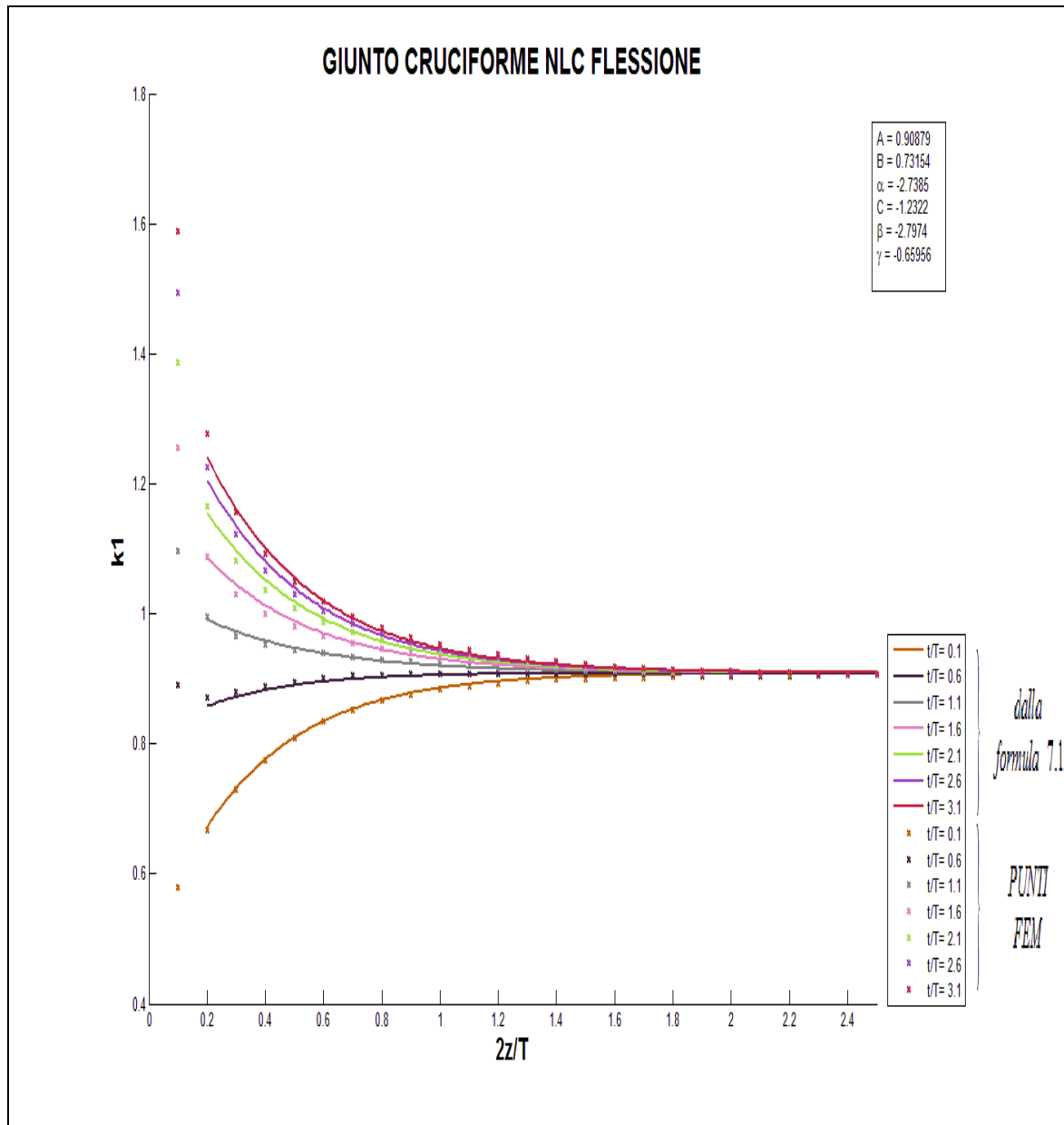


Figura 7.5: Il parametro k_1 per il giunto cruciforme NLC con carico di flessione

Nel grafico 7.5 si può visualizzare una sostanziale costanza del parametro k_1 e indipendenza dal parametro t/T per valori $2z/T$ superiori a 1,8. In questo caso l'errore percentuale massimo assoluto è contenuto essendo sempre inferiore al 3%, si sottolinea

ancora una volta la completa inaffidabilità dei coefficienti individuati al di fuori dei campi di validità anche se si considera valori molto prossimi, infatti se si osservano i valori sperimentali del k_1 riportati al di fuori della zona di validità considerata si osserva come questi non siano assolutamente vicini ai prolungamenti delle curve tracciate.

7.3 Il giunto cruciforme LC con carico di flessione

Per giunto cruciforme NLC con carico di flessione, sono stati individuati i seguenti coefficienti della formula interpolante i punti ottenuti riportati in figura 7.7.

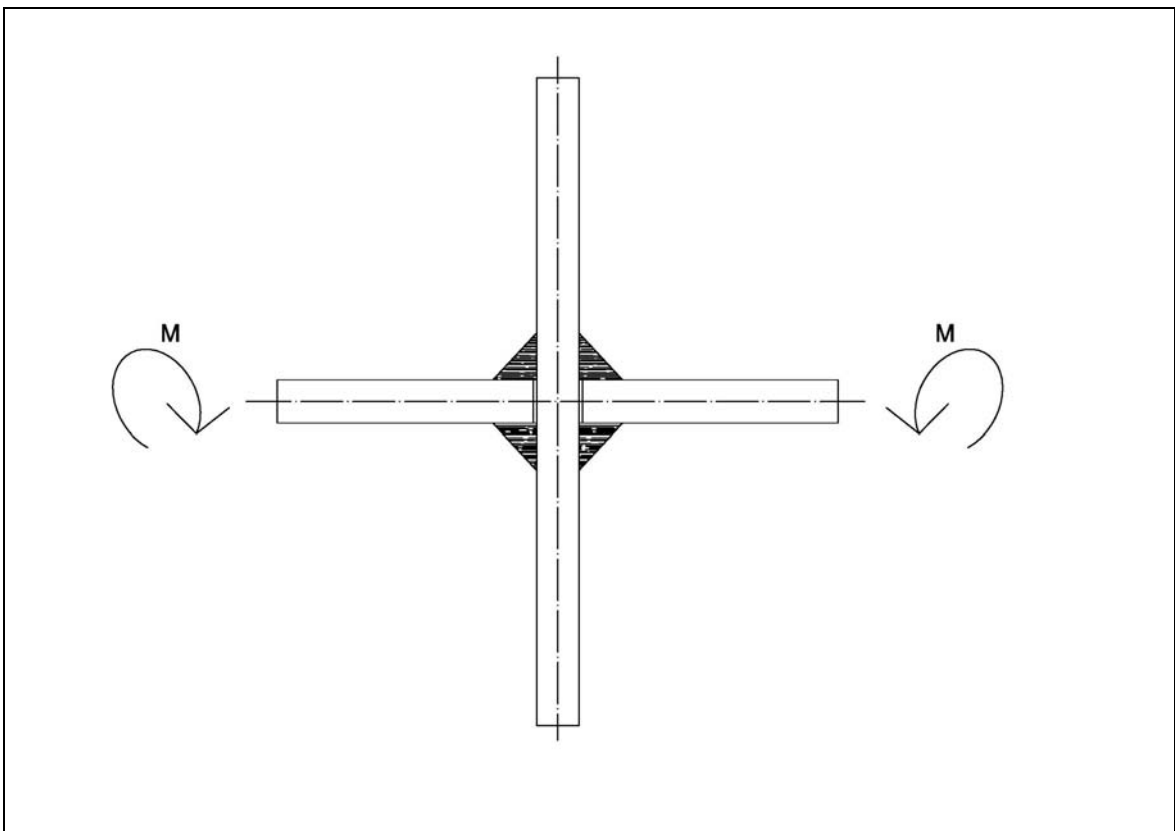


Figura 7.6: Il giunto cruciforme LC caricato a trazione

Tabella 7.3 Coefficienti della formula di Lazzarin e Tovo che minimizzano lo scarto quadratico medio dei record relativi al giunto cruciforme NLC con carico di trazione

A	B	α	C	β	γ	Errore % massimo assoluto	Scarto quadratico medio
0,9156	3,5145	-3,5866	-0,2655	-2,3485	-2,7774	4,43	1,25

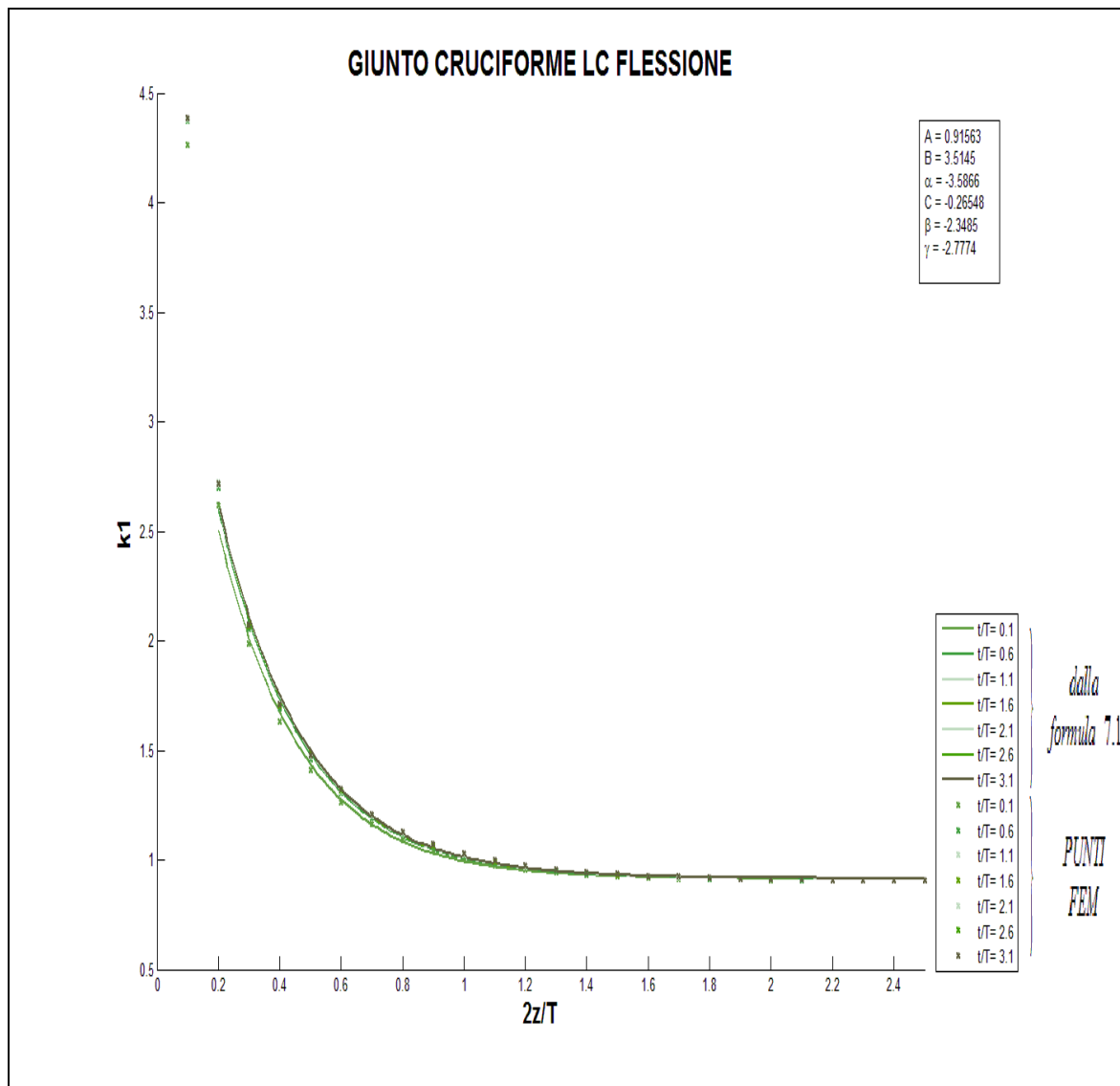


Figura 7.7: Il parametro k_1 per il giunto cruciforme LC con carico di flessione

Per il giunto cruciforme si nota la pressoché completa ininfluenza del rapporto t/T nel valore del parametro k_1 , sarebbe quindi possibile adottare una equazione meno complessa per interpolare in dati, ma è tuttavia conveniente per semplicità di applicazione utilizzare un'unica formulazione per tutte le tipologie di giunti. Va aggiunto poi che il giunto cruciforme LC preso in considerazione non ha alcuna penetrazione della saldatura all'interno del pezzo, si ritiene a logica che man mano che la profondità della saldatura aumenti l'influenza del rapporto t/T non sia più trascurabile. Inoltre oltre i rapporti di $2z/T$ maggiori di 1.6 si nota la costanza del valore del k_1 .

7.4 Il giunto cruciforme LC con carico di trazione

Le curve del kI interpolanti i valori ottenuti dai modelli FEM di giunto cruciforme LC caricati a trazione sono riportate in figura 7.9, sovrapposte ai valori calcolati tramite il metodo preciso della mesh fitta.

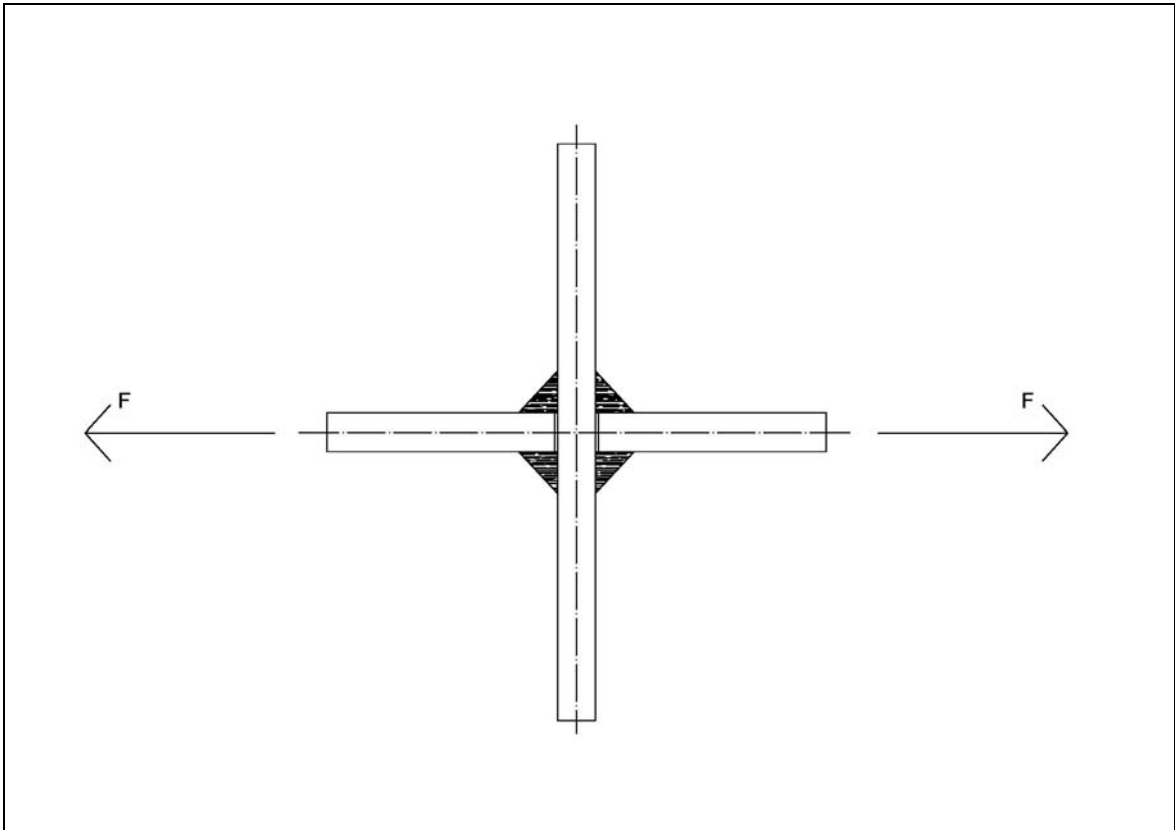


Figura 7.8: Il giunto cruciforme LC caricato a momento flettente

Tabella 7.4 Coefficienti della formula di Lazzarin e Tovo che minimizzano lo scarto quadratico medio dei record relativi al giunto cruciforme LC con carico di trazione.

A	B	α	C	β	γ	Errore % massimo assoluto	Scarto quadratico medio
1,2487	4,8773	-1,6073	10,1033	-7,6804	-0,0800	3,05	0,79

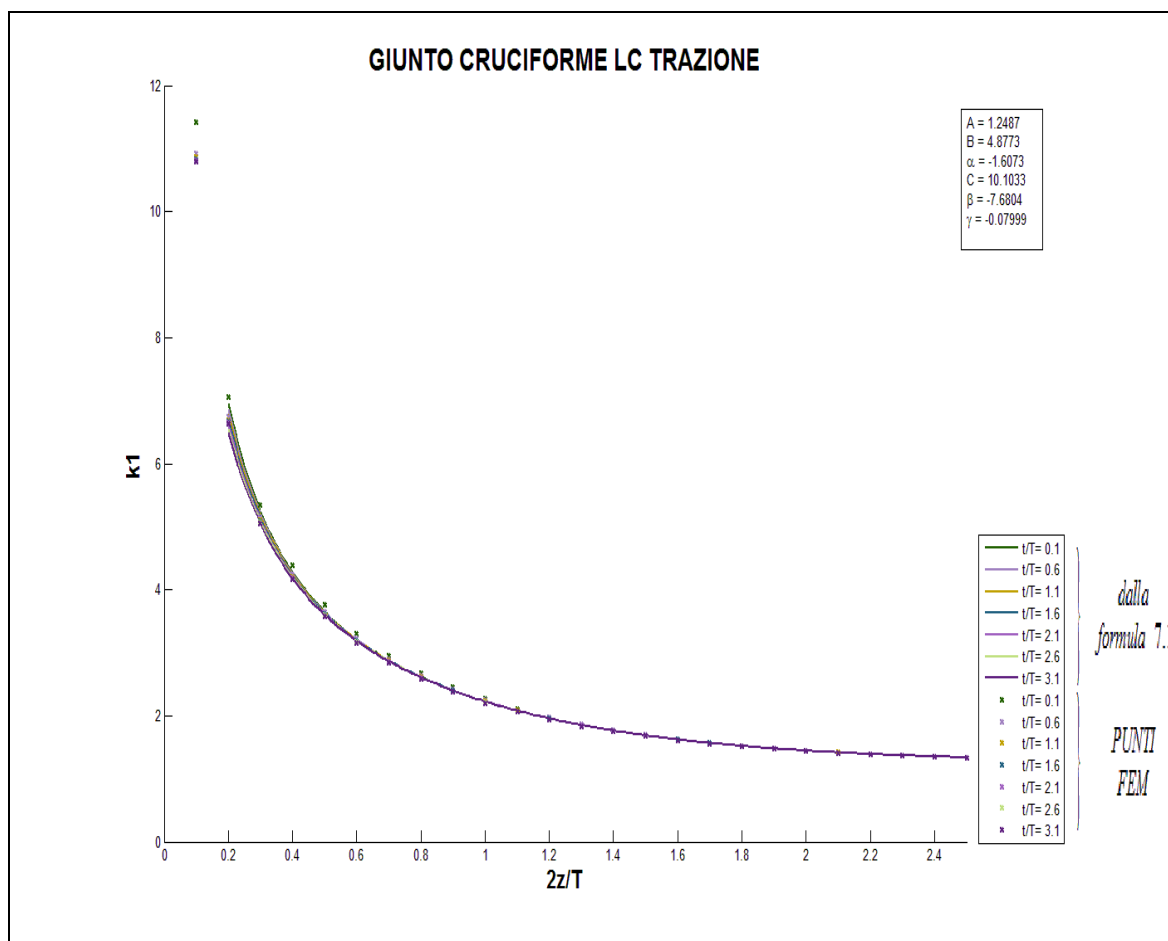


Figura 7.9: Il parametro $k1$ per il giunto cruciforme LC con carico di trazione

Come nel caso di carico a flessione, anche qui il parametro $k1$ è quasi indipendente dal rapporto t/T e tutte le linee collassano in un'unica. Anche in questo caso il giunto saldato è unito dal solo triangolo di saldatura, senza che quindi vi sia saldatura tra i due piatti principali, se vi fosse una maggiore profondità di saldatura si suppone che l'influenza del rapporto t/T aumenti considerevolmente.

7.5 Il giunto a T NLC con carico di flessione

Il giunto in questione torna a essere influenzato anche dal rapporto t/T , le curve sovrapposte ai valori di riferimento sono riportate in immagine 7.11. I coefficienti della curva interpolante sono riportati in tabella 7.5.

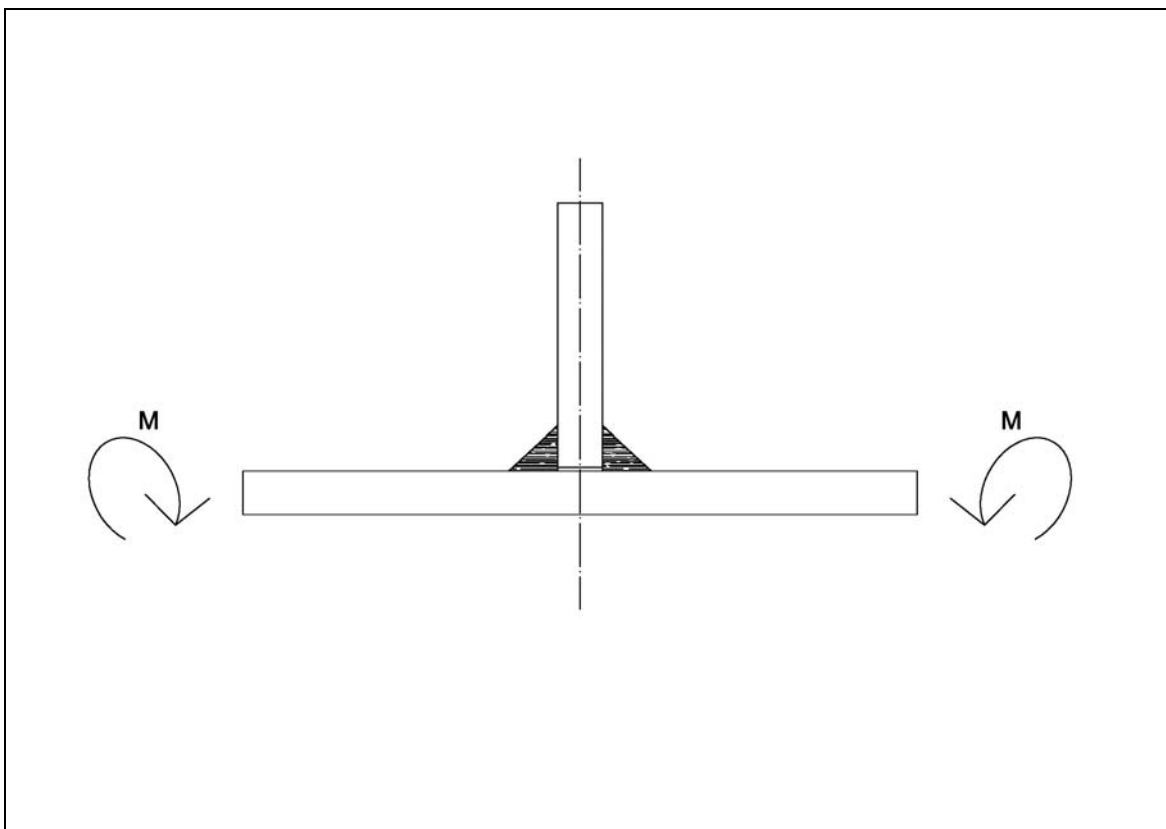


Figura 7.10: Il giunto a T NLC caricato con momento flettente

Tabella 7.5 Coefficienti della formula di Lazzarin e Tovo che minimizzano lo scarto quadratico medio dei record relativi al giunto a T NLC con carico di flessione

A	B	α	C	β	γ	Errore % massimo assoluto	Scarto quadratico medio
1,0626	0,8313	-1,8018	-1,4817	-1,9034	-0,5244	4,20	0,73

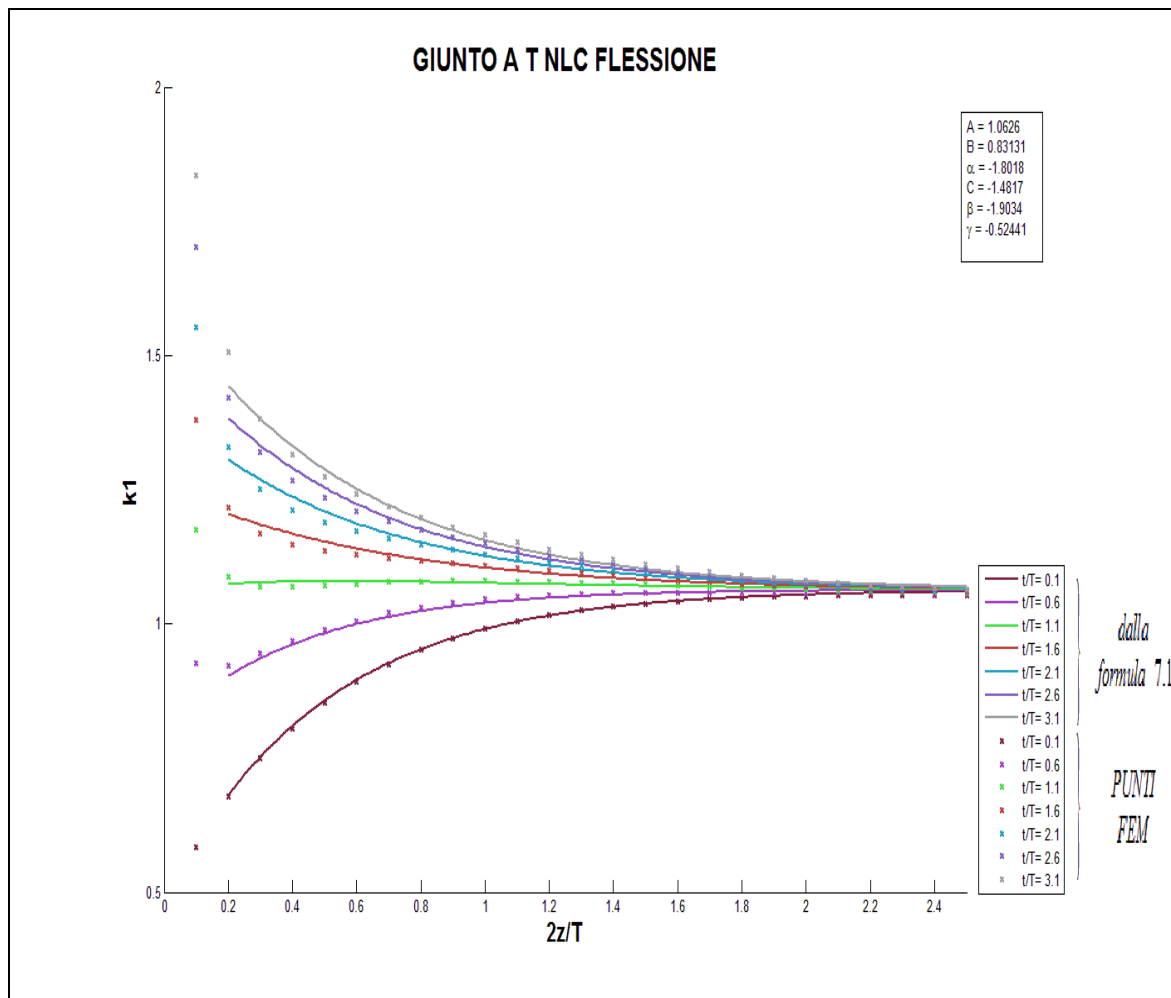


Figura 7.11: Il parametro k_1 per il giunto a T NLC con carico di flessione

7.6 Il giunto a T NLC con carico di trazione

Infine si presenta il caso del giunto a T con carico di trazione, qui il processo di ottimizzazione ha portato ai seguenti coefficienti, da notare in questo caso che l'equazione 7.1 ben descrive il comportamento del giunto, infatti presenta un errore percentuale massimo assoluto molto contenuto, ovvero del 2,89%, ed un altrettanto basso scarto quadratico medio 0,77.

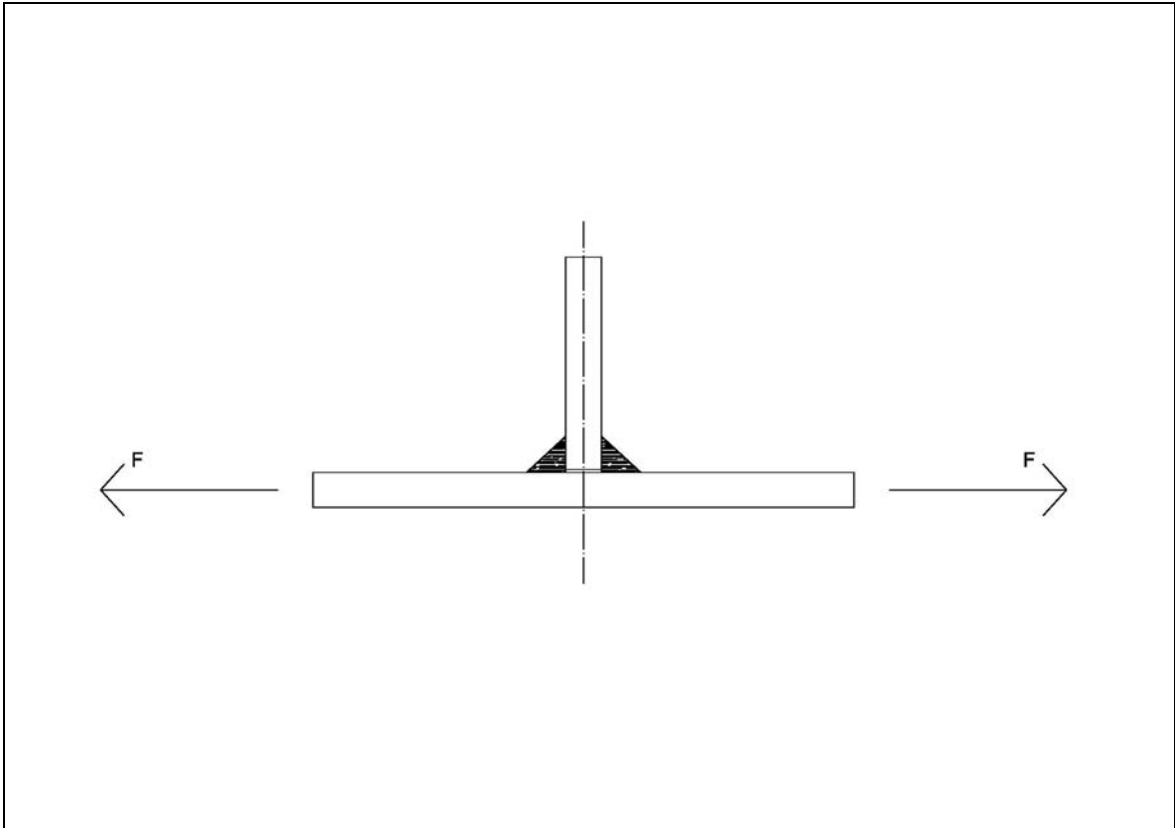


Figura 7.12: Giunto a T NLC caricato a trazione

Tabella 7.6 Coefficienti della formula di Lazzarin e Tovo che minimizzano lo scarto quadratico medio dei record relativi al giunto a T NLC con carico di trazione

A	B	α	C	β	γ	Errore % massimo assoluto	Scarto quadratico medio
0,9151	0,9472	-3,5375	-1,5712	-3,4811	-0,6761	2,84	0,77

Si riporta quindi il parametro k_I plottato in figura 7.13.

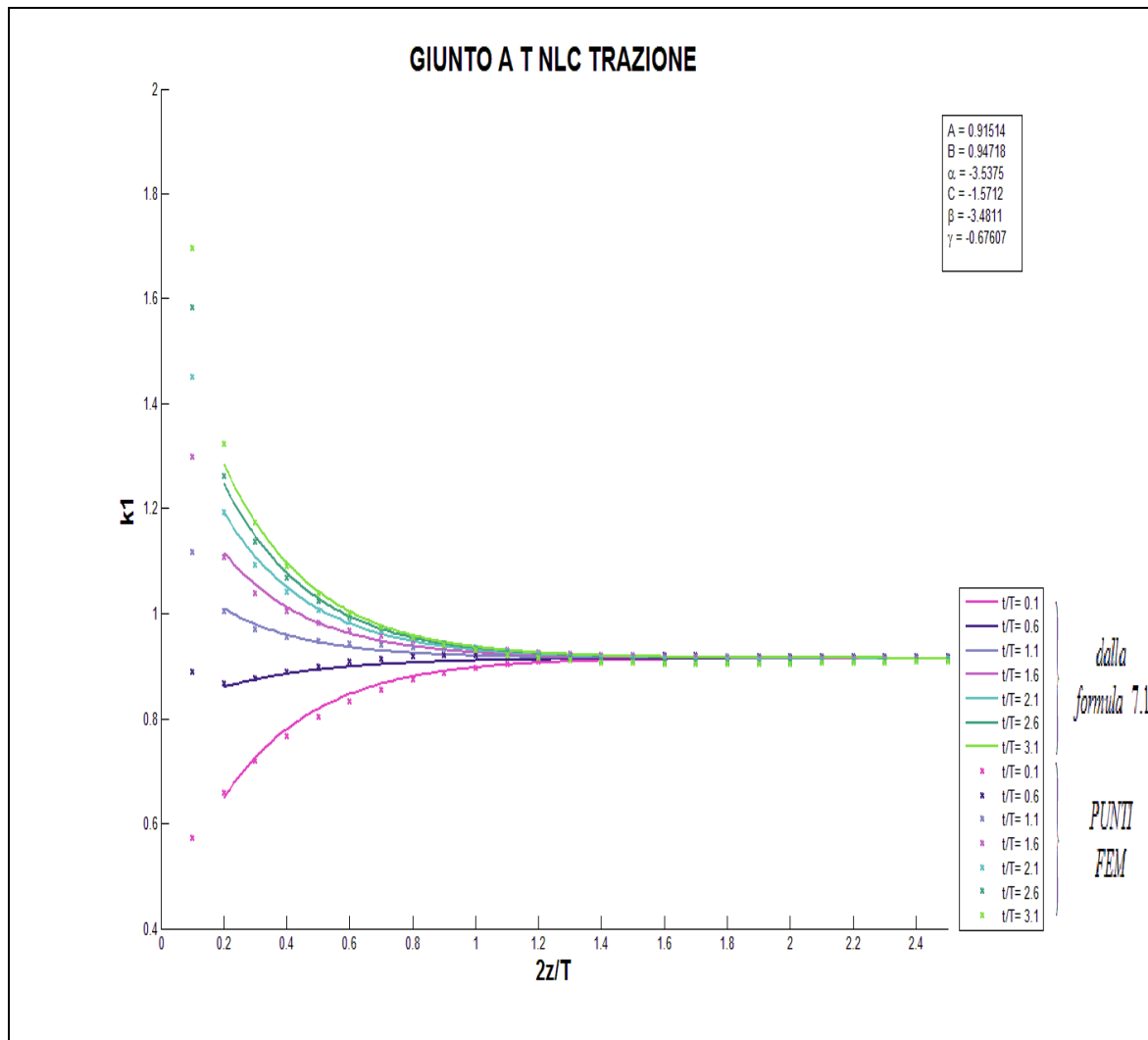


Figura 7.13: Il parametro k_I per il giunto a T NLC con carico di trazione

In questo caso per valori di $2z/T$ superiori a 1,4 il rapporto t/T diventa ininfluenza e le curve convergono l'una sull'altra.

7.7 Considerazioni finali

In questo capitolo si sono individuati i coefficienti della formula 7.1 dovuta a Lazzarin e Tovo [02], per giunti cruciformi NLC, giunti cruciformi LC, giunti a T NLC caricati a trazione o a flessione. Per l'individuazione si è adoperato il risolutore genetico presente in Excel, nel quale si sono assegnate come variabili di decisione i coefficienti 7.2 della formula, e come funzione obiettivo è lo scarto quadratico medio tra i valori della formula

e quelli ottenuti da analisi FEM. Le curve finali ottenute seguono in maniera soddisfacente i valori FEM che interpolano, la differenza massima percentuale in valore assoluto riscontrata è infatti pari al 6%. Con questo si può affermare che nel campo di validità assegnatogli la formula 7.1 riesce seguire in maniera adeguata l'andamento dei valori NSIF mode I al variare dei parametri geometrici dei giunti trattati. Quindi una volta individuati i corretti valori dei coefficienti, la equazione 7.1 è risulta un strumento ,dal punto di vista ingegneristico, veloce e preciso per stimare il K_I^V .

CONCLUSIONI

Questo lavoro di tesi si proponeva di raggiungere i seguenti obiettivi:

- Taratura del metodo della tensione di picco dei seguenti elementi implementati nel software commerciale Ansys®:
 - Solid 186 o Solid 95
 - Solid 187 o Solid 92
 - Solid 285
 - Solid 185 o Solid 45
 - Plane 183 o Plane 82
- Verifica della taratura del metodo della tensione di picco per seguenti elementi implementati nel software commerciale Ansys®:
 - Plane 182 o Plane 42

La formula adottata per la taratura è la seguente:

$$K_{FE}^* = \frac{K_I^V}{\sigma_{peak} * d^{1-\lambda_1}}$$

Dove il K_I^V è il valore corretto del NSIF mode I e il σ_{peak} è la prima tensione principale all'intaglio con mesh PSM con dimensioni degli elementi pari a d . Al fine di raggiungere lo scopo si sono simulate diverse semplici geometrie di giunti saldati al fine di ottenere un numero statisticamente rilevante di dati per poter calcolare un valore medio del coefficiente K_{FE}^* della formula del PSM e poter attribuire una incertezza al metodo. I risultati ottenuti e la procedura sono riportati in maniera esaustiva nel capitolo 5. I risultati sono riassunti nella tabella sottostante, ed evidenziano come l'incertezza del metodo sia eccellente per un impiego ingegneristico se si usano gli elementi Plane 182 o Plane 42, Solid 185 o Solid 45 che possiedono un coefficiente K_{FE}^* di 1,38 e i Plane 183 o Plane 82, Solid 186 o Solid 95 che possiedono un coefficiente K_{FE}^* di 1,05. Con questi elementi, a causa della loro forma geometrica di parallelepipedo nel caso degli elementi

tridimensionali, o quadrata nel caso degli elementi piani, non è possibile meshare geometrie complesse che sono molto comuni nella pratica industriale. Invece con gli elementi Solid 187 e Solid 92 che presentano forma geometrica tetraedrica è potenzialmente possibile meshare qualsiasi geometria con la mesh PSM. La taratura degli elementi tetraedrici è stata eseguita sulle stesse geometrie degli elementi sopra citati e ha portato all'individuazione di un coefficiente K_{FE}^* pari a 1.25 e all'assegnazione di un'incertezza di +/-11%, che è maggiore rispetto agli elementi parallelepipedi ma risulta dal punto di vista ingegneristico accettabile. Al fine di controllare se è possibile eseguire mesh PSM con il Solid 187 o Solid 92 su geometrie complesse, si sono simulate le seguenti 2 geometrie:

- 1) Giunto cruciforme tubo su tubo
- 2) Giunto a T con sezioni rettangolari cave

I $K_{I,PSM}^V$ ottenuti differiscono dai valori esatti di NSIF mode I restando dentro la banda di incertezza individuata, confermando la correttezza della taratura. L'ultimo elemento analizzato, il Solid 285, che possiede forma geometrica tetraedrica e un K_{FE}^* pari a 1,80. Poiché questo elemento presenta un'incertezza elevata se ne sconsiglia l'applicazione nel metodo della tensione di picco.

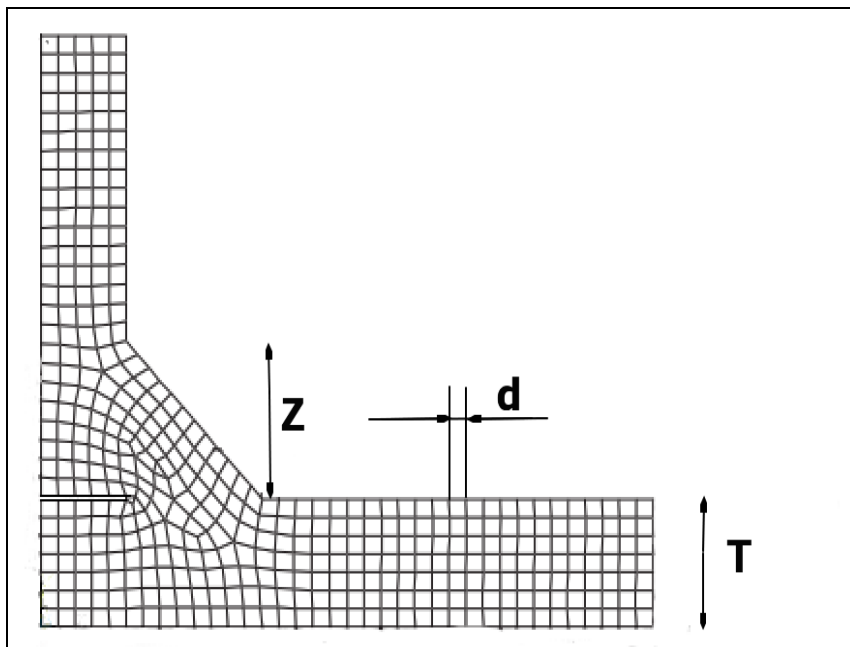
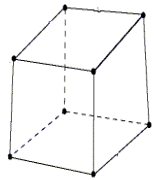

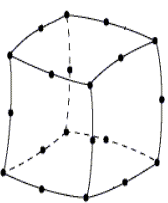
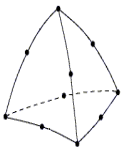

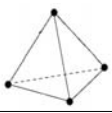
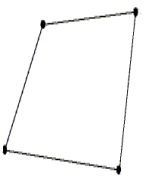



Figura esplicativa per la tabella riassuntiva sottostante

Tabella Riassuntiva. In questa tabella si riportano in maniera riassuntiva i risultati della taratura degli elementi implementati nel software Ansys®. Poiché non è possibile inserirvi tutte le specifiche e i distinguo del caso si invita a prendere visione dei capitoli di cui è composta la seguente tesi e in particolare il capitolo 5.

ELEMENTO	K_{FE}^*	INCERTEZZA CON UNA CONFIDENZA DEL 95%	DISEGNO ELEMENTO	KEYOPTION	N° DI NODI	FUNZIONI DI FORMA	LIMITI DI APPLICAZIONE	TIPO MESH	DISEGNO MESH
SOLID 45	1,38	+/-6%		X	8	LINEARI	$T/d > 3$ $z/d > 3$	ESTRUSA DA PIANA FREE	
SOLID 185	1,38	+/-6%		K2 → 3	8	LINEARI	$T/d > 3$ $z/d > 3$	ESTRUSA DA PIANA FREE	
SOLID 95	1,05	+/-6%		X	20	QUADRATICHE	$T/d > 3$ $z/d > 3$	ESTRUSA DA PIANA FREE	
SOLID 186	1,05	+/-6%		K2 → 1	20	QUADRATICHE	$T/d > 3$ $z/d > 3$	ESTRUSA DA PIANA FREE	
SOLID 187	*1,25	+/-11%		X	10	QUADRATICHE	$T/d > 3$ $z/d > 3$	FREE	
SOLID 92	*1,25	+/-11%		X	10	QUADRATICHE	$T/d > 3$ $z/d > 3$	FREE	
SOLID 285	1,80	+/-23%		X	4	LINEARI	$T/d > 3$ $z/d > 3$	FREE	
PLANE 42	1,38	+/-6%		X	4	LINEARI	$T/d > 3$ $z/d > 3$	FREE	
PLANE 182	1,38	+/-6%		K1 → 3	4	LINEARI	$T/d > 3$ $z/d > 3$	FREE	
PLANE 82	1,05	+/-6%		X	8	QUADRATICHE	$T/d > 3$ $z/d > 3$	FREE	
PLANE 183	1,05	+/-6%		X	8	QUADRATICHE	$T/d > 3$ $z/d > 3$	FREE	

* per gli elementi Solid 187 e Solid 92 nella visualizzazione degli output deve essere impostata l'opzione average result across element, che è impostata di default nella visualizzazione dei risultati tramite la definizione di path, mentre nella visualizzazione tramite il comando query result va settata manualmente, vedi per chiarimenti il sotto-paragrafo 2.5.8

Si può quindi concludere che gli elementi:

- Plane 182 o Plane 42, Solid 185 o Solid 45 sono adatti ad essere usati nel PSM ma sono limitati a geometrie poco complesse, nello specifico tutte le geometrie piane o geometrie la cui mesh può essere estrusa da mesh piane.
- Plane 183 o Plane 82, Solid 186 o Solid 95 sono adatti ad essere usati nel PSM ma sono limitati a geometrie poco complesse, nello specifico tutte le geometrie piane o geometrie la cui mesh può essere estrusa da mesh piane.
- Solid 187 o Solid 92 sono adatti ad essere usati nel PSM e sono adoperabili anche in geometrie complesse.
- Solid 285 nonostante possa essere impiegato in geometrie complesse la sua scarsa precisione ne sconsiglia l'utilizzo.

Va sottolineato che vi sono ben definiti settaggi, procedure e condizioni sotto le quali i K_{FE}^* riportati sono corretti, si invita quindi a prendere visione dei vari capitoli della tesi per prenderne visione in particolare il capitolo 5.

Bibliografia

[01]: A. Seto, Y. Hoshida and A. Galtier,(2004),Fatigue proprieties of arc-welded lap joints with weld start and end points . Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.,27, pag: 1147-1155.

[02]: P. Lazzarin and R. Tovo,(1996),A unified approach to the avaluation of linear elastic stress field in the neighborhood of cracks and notches. Int. J. Fract.,78, pag: 3-19.

[03]: P. Lazzarin and S. Filippi,(2006),A generalized stress intensity factor to be applied to rounded V-shaped notches. Int. J. Solid Struct.,43, pag: 2461-2478.

[04]: B. Atzori and G. Meneghetti,(2001),Fatigue strenght of fillet welded structural steels: finite elements, strain gauges and reality. Int. J. Fatigue,23, pag: 713-721.

[05]: G. Meneghetti,(2008),The peak stress method applied to fatigue assessments of steel and aluminium fillet-welded joints subjected to mode I loading . Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.,31, pag: 346-369.

[06]: G. Meneghetti and P. Lazzarin,(2006),Significance of elastic peak stress evaluated by FE analyses at the point of singularity of sharp V-notched components. Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.,30, pag: 95-106.

[07]: H. Nisitani and T. Teranishi,(2004),KI of a circumferential crack emanating from an ellipsoidal cavity obtained by the crack tip stress method in FEM. Eng. Fract. Mech.,71, pag: 579-585.

[08]: B. Gross and A. Mendelson,(1972),Plane Elastostatic Analisys of V- notched Plates. Int. J. Fract. Mech.,8, pag: 267-276.

[09]: M. L. Williams ,(1952),Stress singularities resulting from various boundary conditions in angular corners of plates in extension. J. Appl. Mech.,19, pag: 526-528.

[10]: P. Lazzarin and R. Tovo,(1998),A notch intensity factors approach to the stress analysis of welds. Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.,21, pag: 1089-1103.

[11] : Guzzella Carlo, Tesi di laurea: Applicazioni ingegneristiche di approcci locali per la progettazione a fatica di giunti saldati, 2009-2010 , Università degli Studi di Padova

[12] : Costa Filippo, Tesi di laurea: Applicazioni di approcci locali all'analisi della resistenza a fatica di giunti saldati sollecitati a modo I e II, 2010-2011 , Università degli Studi di Padova

[13]: P. Lazzarin, P. Livieri,(2001), Notch stress intensity factors and fatigue strength of aluminium and steel welded joints. *Int. J. Fatigue*, 23, pag: 225-232.

[14] : Guida Ansys 14

[15]: G. Meneghetti, C. Guzzella,(2014), The peak stress method to estimate the mode I notch stress intensity factor in welded joints using three-dimensional finite element models . *Eng. Frac. Mechanics* , 115, pag: 154-171.

Appendice A :gli script APDL

Si riportano gli script APDL utilizzati, che sono stati già esposti nel capitolo 2 nei loro comandi base. Si ricorda dal capitolo 3 che i termini compresi tra i simboli del dollaro vengono poi scambiati dal programma Matlab da stringhe opportune, che possono essere sia valori numerici che lettere. I commenti sono preceduti dal simbolo “!” . Si riportano solo gli APDL relativi ai giunti cruciformi NLC in quanto, gli script degli altri giunti differiscono solo per la costruzione geometrica e la situazione di vincolo ma riportano la stessa serie di comandi. Si ricorda che Ansys non è case sensitive.

A.1 Giunto cruciforme NLC 2d metodo classico

!script matrice per il giunto cruciforme NLC metodo preciso con mesh 2d

!entro nel ambiente di preprocesso
/PREP7

!inizializzo alcuni parametri
FLESSIONE=0
TRAZIONE=0
tensionepiana=0
deformazionepiana=0

!qui le stringhe comprese tra i simboli del dollaro vengono sostituite da matlab
!da valori o stringhe decise dall'utente, con i parametri in tal modo definiti si
!costuirà in seguito la geometria e si assegneranno le adeguate condizioni al contorno

t1=\$t1\$
t2=\$t2\$
G=3*t1
a1=\$a1\$
a2=a1
h1=t1*5
h2=t2*5+a1
d=\$d\$
\$sollecitazione\$=1
e=\$young\$
v=\$poisson\$
\$defosol\$=1
S\$elemento\$=1 !\$\$

!*

! anche qui matlab sostituisce alla stringa compresa tra i dollari la stringa opportuna e si
!definisce in tal modo l'elemento desiderato dall'utente
!DEFINIZIONE DEL TIPO DI ELEMENTO
ET,1,\$elemento\$

!qui con il comando if si assegna la condizione di deformazione piana o tensione piana
!in base al valore di opportuni parametri che sono stati modificati da matlab tramite la
!sostituzione di alcune stringhe

```

!*
!OPZIONI SUL TIPO DI ELEMENTO (PLANE STRESS)
*IF,tensionepiana,EQ,1,THEN
KEYOPT,1,1,0
KEYOPT,1,3,0
KEYOPT,1,6,0

!OPZIONI SUL TIPO DI ELEMENTO (PLANE STRAIN)
*ELSEIF,deformazionepiana,EQ,1,THEN

KEYOPT,1,1,0
KEYOPT,1,3,2
KEYOPT,1,6,0

*ENDIF

```

!qui si definisco le proprietà del materiale anche qui si utilizzano i parametri definiti all'inizio

```

!SCELTA DEL TIPO DI MATERIALE: LINEARE ELASTICO ISOTROPICO
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,e
MPDATA,PRXY,1,,v

```

!ora tramite sempre i parametri definiti all' inizio si definisco le coordinate x e y dei
!keypoint in particolare si ha t1 è lo spessore del piatto principale, t2 del secondario , a1 o
!a2 con a1=a2 è l'altezza del triangolo di saldatura

```

x1=h1
y1=0
x2=0
y2=0
x3=-a1
y3=a2
x4=-a1
y4=h2
x5=-a1-t2/2
y5=h2
x6=-a1-t2/2
y6=0.1
x7=-a1
y7=0.1
x8=-a1
y8=0
x9=-a1-t2/2
y9=0
x10=-a1-t2/2
y10=-t1/2
x11=h1
y11=-t1/2

```

```

!QUINDI PROCEDO A CREARE I KEYPOINTS
K,1,x1,y1,0,
K,2,x2,y2,0,
K,3,x3,y3,0,
K,4,x4,y4,0,

```

K,5,x5,y5,0,
K,6,x6,y6,0,
K,7,x7,y7,0,
K,8,x8,y8,0,
K,9,x9,y9,0,
K,10,x10,y10,0,
K,11,x11,y11,0,

!CREAZIONE DELLE LINEE

LSTR, 1, 2
LSTR, 2, 3
LSTR, 3, 4
LSTR, 4, 5
LSTR, 5, 6
LSTR, 6, 7
LSTR, 7, 8
LSTR, 8, 9
LSTR, 9, 10
LSTR, 10, 11
LSTR, 11, 1

!INFINE CREO L'AREA

FLST,2,11,4
FITEM,2,3
FITEM,2,4
FITEM,2,5
FITEM,2,6
FITEM,2,7
FITEM,2,8
FITEM,2,9
FITEM,2,10
FITEM,2,11
FITEM,2,1
FITEM,2,2
AL,P51X

!CREO DUE CERCHI ALL'INTAGLIO

!CERCHIO PICCOLO

CYL4,0,0,0.5

!CERCHIO MEDIO

CYL4,0,0,0.0001

!elimino solo le aree dei cerchi

ADELE, 3
ADELE, 2

!TAGLIO L'AREA DEL PEZZO CON LE LINEE DEI CERCHI APPENA CREATI E

!ELIMINATI

!CREO UN LISTATO DI LINEE (QUELLE DI UN CERCHIO)

FLST,3,4,4,ORDE,2
FITEM,3,12
FITEM,3,-15

!TAGLIO LA AREA DI INTERESSE CON IL LISTATO APPENA CREATO

ASBL, 1,P51X

```
!SI RIUSANO I COMANDI PRECEDENTI PER ESEGUIRE UN SECONDA DIVISIONE DIU AREE
FLST,3,4,4,ORDE,2
FITEM,3,16
FITEM,3,-19
ASBL, 2,P51X
```

```
!IN TAL MODO O CREATO DUE SEMICERCHI IN PROSSIMITA DELL'INTAGLIO
```

```
!DIVIDO IN SOTTOAREE I CERCHI
!CREO DELLE LINEE ALLO SCOPO
LSTR, 2, 15
LSTR, 2, 14
```

```
!ESEGUO IL TAGLIO DELLE AREE
FLST,3,2,4,ORDE,2
FITEM,3,16
FITEM,3,-17
ASBL, 4,P51X
```

```
!CREO ULTERIORI LINEE
LSTR, 2, 19
LSTR, 2, 18
```

```
!TAGLIO
FLST,3,2,4,ORDE,2
FITEM,3,16
FITEM,3,-17
ASBL, 1,P51X
```

```
!MESH DELLE LINEE DEL CERCHIO PICCOLO
LESIZE,2,,5,1
LESIZE,16,,5,1
LESIZE,17,,5,1
LESIZE,1,,5,1
```

```
LESIZE,12,,4,1
LESIZE,18,,8,1
LESIZE,19,,8,1
```

```
!MESH DELLE AREE DEL CERCHIO PICCOLO
```

```
!CREO I CONCENTRATION KEYPOINT PER GUIDARE BENE LA MESH
KSCON,2,0.00002,0,4,1,
MSHKEY,0
```

```
!MESH DELL'AREA DESIDERATA
AMESH,7
```

```
KSCON,2,0.00002,0,8,1,
MSHKEY,0
AMESH,8
```

```
KSCON,2,0.00002,0,8,1,
MSHKEY,0
```

AMESH,4

!MESH DELLE LINEE DEL CERCHIO GRANDE

LESIZE,25,,,100,1500

LESIZE,20,,,100,1/1500

LESIZE,21,,,100,1/1500

LESIZE,13,,,100,1/1500

LESIZE,22,,,4,1

LESIZE,14,,,8,1

LESIZE,15,,,8,1

!creo una nuova divisione per guidare la mesh

!CREO UN ALTRO CERCHIO

!CERCHIO GRANDE

CYL4,0,0,1

!LO ELIMINO

ADELE, 1

!taglio l'area

FLST,3,4,4,ORDE,2

FITEM,3,26

FITEM,3,-29

ASBL, 3,P51X

!unisco le linee

FLST,2,3,4,ORDE,3

FITEM,2,28

FITEM,2,-29

FITEM,2,32

LCOMB,P51X, ,0

!mesho la linea

FLST,5,1,4,ORDE,1

FITEM,5,28

CM, _Y,LINE

LSEL, , , ,P51X

CM, _Y1,LINE

CMSEL,,_Y

!*

LESIZE,_Y1, , ,20, , , ,1

!*

!mesh cerchio medio

MSHKEY,1

AMESH,2

AMESH,6

AMESH,5

!mesh cerchio grande

MSHKEY,0

CM, _Y,AREA

ASEL, , , , 1

CM, _Y1,AREA

CHKMSH,'AREA'

```

CMSEL,S,_Y
!*
AMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*

!mesh del resto del pezzo
FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,9
AESIZE,P51X,d,
MSHKEY,0
CM,_Y,AREA
ASEL, , , , 9
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
!*
AMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2

```

!CON IL COMANDO IF CONTROLLATO DAI PARAMETRI DEFINITI ALL' INIZIO E !
CONTROLLATI CON MATLAB IMPONGO LE CONDIZIONI AL CONTORNO

!IMPOSIZIONE DELLE CONDIZIONI DI SIMMETRIA CASO TRAZIONE

*IF,TRAZIONE,EQ,1,THEN

!simmetria sulle linee

DL,5, ,SYMM

DL,9, ,SYMM

DL,10, ,SYMM

!pressione

SFL,11,PRES,-1,

!IMPOSIZIONE DELLE CONDIZIONI DI ANTIMETRIA CASO FLESSIONE

*ELSEIF,FLESSIONE,EQ,1,THEN

!simmetria

DL,5, ,SYMM

DL,9, ,SYMM

DL,10, ,ASYM

!VINCOLO UN PUNTO PER RENDERE NON LABILE IL SISTEMA

DK,10, , , ,0,ALL, , , , ,

!pressione

SFL,11,PRES,0,-1

*ENDIF

!ESCO DAL AMBIENTE DI PREPROCESSO

FINISH

!ENTRO NEL AMBIENTE SI SOLUZIONE
/SOL
/STATUS,SOLU

!LANCIO DELLA SOLUZIONE
SOLVE

!DEFINIZIONE DEL NUOVO SISTEMA DI RIFERIMENTO POLARE
CSKP,11,1,2,12,15,1,1,
!SI ATTIVA IL NUOVO SISTEMA DI RIFERIMENTO
CSYS,11,

!ESCO DAL AMBIENTE DI SOLUZIONE
FINISH

!SI ATTIVA LA VISUALIZZAZIONE DEGLI OUTPUT NEL NUOVO SISTEMA DI RIF

/POST1
!*
RSYS,11

!DEFINISCO UN LISTATO DI PUNTI
FLST,2,106,1
FITEM,2,1
FITEM,2,98
FITEM,2,105
FITEM,2,117
FITEM,2,116
FITEM,2,84
FITEM,2,3713
FITEM,2,3711
FITEM,2,3709
FITEM,2,3707
FITEM,2,3705
FITEM,2,3703
FITEM,2,3701
FITEM,2,3699
FITEM,2,3697
FITEM,2,3695
FITEM,2,3693
FITEM,2,3691
FITEM,2,3689
FITEM,2,3687
FITEM,2,3685
FITEM,2,3683
FITEM,2,3681
FITEM,2,3679
FITEM,2,3677
FITEM,2,3675
FITEM,2,3673
FITEM,2,3671
FITEM,2,3669
FITEM,2,3667
FITEM,2,3665
FITEM,2,3663

FITEM,2,3661
FITEM,2,3659
FITEM,2,3657
FITEM,2,3655
FITEM,2,3653
FITEM,2,3651
FITEM,2,3649
FITEM,2,3647
FITEM,2,3645
FITEM,2,3643
FITEM,2,3641
FITEM,2,3639
FITEM,2,3637
FITEM,2,3635
FITEM,2,3633
FITEM,2,3631
FITEM,2,3629
FITEM,2,3627
FITEM,2,3625
FITEM,2,3623
FITEM,2,3621
FITEM,2,3619
FITEM,2,3617
FITEM,2,3615
FITEM,2,3613
FITEM,2,3611
FITEM,2,3609
FITEM,2,3607
FITEM,2,3605
FITEM,2,3603
FITEM,2,3601
FITEM,2,3599
FITEM,2,3597
FITEM,2,3595
FITEM,2,3593
FITEM,2,3591
FITEM,2,3589
FITEM,2,3587
FITEM,2,3585
FITEM,2,3583
FITEM,2,3581
FITEM,2,3579
FITEM,2,3577
FITEM,2,3575
FITEM,2,3573
FITEM,2,3571
FITEM,2,3569
FITEM,2,3567
FITEM,2,3565
FITEM,2,3563
FITEM,2,3561
FITEM,2,3559
FITEM,2,3557
FITEM,2,3555
FITEM,2,3553
FITEM,2,3551
FITEM,2,3549
FITEM,2,3547


```

FITEM,2,3545
FITEM,2,3543
FITEM,2,3541
FITEM,2,3539
FITEM,2,3537
FITEM,2,3535
FITEM,2,3533
FITEM,2,3531
FITEM,2,3529
FITEM,2,3527
FITEM,2,3525
FITEM,2,3523
FITEM,2,3521
FITEM,2,3519
FITEM,2,3517
FITEM,2,1724
!*

```

```

!CREO IL PATH CON IL LISTATO DI PUNTI APPENA CREATO
PATH,path1,106,30,1,
PPATH,P51X,1
PATH,STAT
!*
!DEFINISCO NEL PATH LA TENSIONE SIGMA Y OVVERO PER IL SISTEMA
!POLARE LA SIGMA THETA THETA
!*
PDEF, ,S,Y,AVG
/PBC,PATH, ,0
!*

```

```

!definire i nuovi parametri lungo il path.
PCALC,EXP,S^0.236,S, ,0.326,0,
PCALC,MULT,KI,SY,S^0.236,2.507,

```

```

!SALVO IL PATH IN ARRAY CON IL MEDESIMO SUFFISSO (TRAC)

```

```

PAGET,TRACPOIN,POIN
PAGET,TRACDATA,TABL
PAGET,TRACLABL,LABE

```

```

!PLOTTO I VALORI DEL  $K_I^V$ 
!per la scala logaritmica sull'asse delle ascisse e ordinate.
/GROPT,LOGX,ON
/GROPT,LOGY,ON
/AXLAB,X,distanza [mm]
/AXLAB,Y,KI [MPa*mm^0.326]
/YRANGE,1,1.1*tracdata(30,7,1),1
!plottare
PLPATH,KI
!stampa immagine
! Start of report captures.
~eui,'package require ansys'
~eui,'ansys::report::setdirectory "KI grafico"'

```

```

!plottare
PLPATH,KI
/REPLOT,RESIZE
/PLOPTS,MINM,OFF
/REPLOT,RESIZE
~eui,'ansys::report::imagecapture {KI grafico} '
~eui,'ansys::report::finished'

!STAMPO I RISULTATI DEL PATH IN UN FILE TXT , PER LA PRECISIONE SI
!STAMPANO I VALORI SALVATI NEGLI ARRAY DI SALVATAGGIO (TRACADATA)

*CFOOPEN,PATH distanza e S1,TXT
*vwrite,TRACDATA(1,4),TRACDATA(1,5)
(F13.9,',',F13.9)
*CFCLOS

!INFINE SALVO TUTTO IL LAVORO SVOLTO
SAVE,'giuntocruciformenlcclassico2d~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','db',

```

A.2 Giunto cruciforme NLC 2d metodo PSM

```

!giunto cruciforme NLC mesh PSM 2d
!entro nel ambiente di preprocesso
/PREP7

```

```

!inizializzo alcuni parametri
FLESSIONE=0
TRAZIONE=0
tensioneplana=0
deformazioneplana=0
splane42=0
splane182=0
splane82=0
splane183=0

```

```

!qui le stringhe comprese tra i simboli del dollaro vengono sostituite da matlab
!da valori o stringhe decise dall'utente, con i parametri in tal modo definiti si
!costruirà in seguito la geometria e si assegneranno le adeguate condizioni al contorno
t1=$t1$
t2=$t2$
G=3*t1
a1=$a1$
a2=a1
h1=t1*5
h2=t2*5+a1
d=$d$
$sollecitazione$=1
e=$young$
v=$poisson$
$defosol$=1
$Selemento$=1  !$$

```

```

! anche qui matlab sostituisce alla stringa compresa tra i dollari la stringa opportuna e si
!definisce in tal modo l'elemento desiderato dall'utente
!DEFINIZIONE DEL TIPO DI ELEMENTO
ET,1,$elemento$

```

```

!ulteriore parametro per controllare un futuro controllo if
s$elemento$=1
!*
!keyoption per gli elementi implementati nelle ultime versioni di Ansys allo scopo di
!renderli equivalenti a quelli vecchi ossia con il medesimo K*fe del PSm di quelli
!implementati nelle vecchie versioni di Ansys
!si usa il comando if controllato da parametri di controllo controllati da matlab

```

```

*if,splane182,eq,1,then
KEYOPT,1,1,3
*endif

```

!qui con il comando if si assegna la condizione di deformazione piana o tensione piana
!in base al valore di opportuni parametri che sono stati modificati da Matlab tramite la
!sostituzione di alcune stringhe

```

!OPZIONI SUL TIPO DI ELEMENTO (PLANE STRESS)
*IF,tensionepiana,EQ,1,THEN
KEYOPT,1,3,0

```

```

!OPZIONI SUL TIPO DI ELEMENTO (PLANE STRAIN)
*ELSEIF,deformazionepiana,EQ,1,THEN
KEYOPT,1,3,2

```

```

*ENDIF

```

```

!qui si definisco le proprietà del materiale anche qui si utilizzano i parametri definiti
!all'inizio
!*
!SCELTA DEL TIPO DI MATERIALE: LINEARE ELASTICO ISOTROPICO
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,e
MPDATA,PRXY,1,,v

```

!ora tramite sempre i parametri definiti all' inizio si definisco le coordinate x e y dei
!keypoints in particolare si ha t1 è lo spessore del piatto principale, t2 del secondario ,
!a1 o a2 con a1=a2 è l'altezza del triangolo di saldatura

```

x1=h1
y1=0
x2=0
y2=0
x3=-a1
y3=a2
x4=-a1
y4=h2
x5=-a1-t/2
y5=h2
x6=-a1-t/2
y6=0.1
x7=-a1
y7=0.1
x8=-a1

```

```
y8=0
x9=-a1-t2/2
y9=0
x10=-a1-t2/2
y10=-t1/2
x11=h1
y11=-t1/2
x12=x1
```

!QUINDI PROCEDO A CREARE I KEYPOINTS

```
K,1,x1,y1,0,
K,2,x2,y2,0,
K,3,x3,y3,0,
K,4,x4,y4,0,
K,5,x5,y5,0,
K,6,x6,y6,0,
K,7,x7,y7,0,
K,8,x8,y8,0,
K,9,x9,y9,0,
K,10,x10,y10,0,
K,11,x11,y11,0,
```

!CREO LE LINEE

```
LSTR, 1, 2
LSTR, 3, 2
LSTR, 3, 4
LSTR, 4, 5
LSTR, 5, 6
LSTR, 6, 7
LSTR, 7, 8
LSTR, 8, 9
LSTR, 9, 10
LSTR, 10, 11
LSTR, 11, 1
```

! INFINE CREO L'AREA

```
FLST,2,11,4
FITEM,2,9
FITEM,2,8
FITEM,2,6
FITEM,2,7
FITEM,2,2
FITEM,2,5
FITEM,2,10
FITEM,2,3
FITEM,2,1
FITEM,2,4
FITEM,2,11
AL,P51X
```

!CON IL COMANDO IF CONTROLLATO DAI PARAMETRI DEFINITI ALL' INIZIO E

!CONTROLLATI CON MATLAB IMPONGO LE CONDIZIONI AL CONTORNO

!IMPOSIZIONE DELLE CONDIZIONI DI SIMMETRIA CASO TRAZIONE

*IF,TRAZIONE,EQ,1,THEN

!simmetria sulle linee

FLST,2,3,4,ORDE,3

FITEM,2,5

FITEM,2,9

FITEM,2,-10

DL,P51X, ,SYMM

!pressione

FLST,2,1,4,ORDE,1

FITEM,2,11

/GO

!*

SFL,P51X,PRES,-1,

!IMPOSIZIONE DELLE CONDIZIONI DI ANTIMETRIA CASO FLESSIONE

*ELSEIF,FLESSIONE,EQ,1,THEN

!simmetria

FLST,2,2,4,ORDE,2

FITEM,2,5

FITEM,2,9

DL,P51X, ,SYMM

!asimmetria

DL, 10, ,ASYM

!pressione

SFL,11,PRES,0,-1

!punto incastrato per rendere isostatica la struttura

FLST,2,1,3,ORDE,1

FITEM,2,10

!*

/GO

DK,P51X, , ,0,ALL, , , , ,

*ENDIF

!DEFINISCO LA DIMENSIONE GLOBALE DELLA ESH

ESIZE,d,0

!MESH FREE

MSHKEY,0

!MESHO L'AREA

AMESH,1

!ESCO DAL AMBIENTE DI PREPROCESSO

FINISH

!ENTRO NEL AMBIENTE DI SOLUZIONE

/SOL

/STATUS,SOLU

```

!LANCIO DELLA SOLUZIONE
SOLVE

!ESCO DAL AMBIENTE DI SOLUZIONE
FINISH

!ENTRO NEL AMBIENTE DI POST-PROCESSO
/post1

!ESEGUO UN SELEZIONE NODALE ASSICURANDOMI DI SELEZIONARE IL
!SOLO NODO ALL'APICE DELL'INTAGLIO d è LA DIMENSIONE DEGLI
!ELEMENTI DELLA MESH

NSEL,S,LOC,Y,-d/2,d/2
NSEL,R,LOC,X,-d/2,d/2

!CREO UN SELEZIONE DI TUTTE PRIME TENSIONI PRINCIPALI DELLA
!SELEZIONE NODALE PRECEDENTEMENTE ESEGUITA
nsort,s,1,1,1

!DEFINISCO UN PARAMETRO CHE CON VALORE PARI ALLA MASSIMA PRIMA
!TENSIONE PRINCIPAE DELLA SELEZIONE PRECEDENTE
!POICHE E' STATO SELEZIONATO UN UNICO NODO LA TENSIONE E' ANCHE LA
!MINIMA

*get,S1principale,sort,0,max

!STAMPO I VALORE DEL PARAMETRO APPENA CREATO IN UN FILE TXT

!APRO IL FILE TXT
*CFOPEN,I tensione principale al intaglio,TXT
!STAMPO
*vwrite,S1principale
(F13.9)
*CFCLOS
!CHIUDO F13.9 è IL FORMATO DI STAMPA

!RISELEZIONO TUTTE LE ENTITA' GEOMETRICHE
ALLSEL,ALL

!SALVO IL LAVORO REALIZZATO
SAVE,'giuntocruciformenlctensionedipicco2d~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','db',

```

A.3 Giunto cruciforme NLC 3d metodo PSM

!script matrice per il giunto cruciforme nlc mesh PSM 3d

!serve per il numero di warning massimo che Ansys stampa nel file di segnalazione errori
/NERR,200,999999999,0,0

!entro nel ambiente di preprocesso

/PREP7

!inizializzo alcuni parametri

lineare=0

ortotopro=0

contrazioneimpedita=0

trazione=0

FLESSIONE=0

TETRA=0

SSOLID187=0

ssolid92=0

SSOLID285=0

QUAD=0

SSOLID185=0

SSOLID186=0

ssolid45=0

ssolid95=0

!qui le stringhe comprese tra i simboli del dollaro vengono sostituite da matlab

!da valori o stringhe decise dall'utente, con i parametri in tal modo definiti si

!costruirà in seguito la geometria e si assegneranno le adeguate condizioni al contorno

t1=\$t1\$

t2=\$t2\$

G=\$g\$/2

a1=\$a1\$

a2=a1

h1=t1*5

h2=t2*5+a1

d=\$d\$

\$sollecitazione\$=1

e=\$young\$

v=\$poisson\$

\$defosol\$=1

\$elemento\$=1 !\$\$

!qui si definisce l'elemento piano in funzione di quello tridimensionale

!se l'elemento tridimensionale è di quelli definiti nelle vecchie versioni

!di Ansys anche l'elemento piano lo sarà , questo serve per rendere utilizzabile

!lo script anche se si usa una versione di Ansys non recente

*IF,SSOLID45,EQ,1,THEN

ET,1,PLANE82

*ELSEIF,SSOLID95,EQ,1,THEN

ET,1,PLANE82

*ELSEIF,SSOLID92,EQ,1,THEN

ET,1,PLANE82

*ELSE

ET,1,PLANE183

*ENDIF

!qui si definisce l'elemento tridimensionale

ET,2,\$elemento\$

!altri comandi if necessari per il controllo logico dello script

!TETRAEDRI O CUBI?

```
*IF,SSOLID45,EQ,1,THEN
QUAD=1
*ENDIF
*IF,SSOLID95,EQ,1,THEN
QUAD=1
*ENDIF
*IF,SSOLID185,EQ,1,THEN
QUAD=1
*ENDIF
*IF,SSOLID186,EQ,1,THEN
QUAD=1
*ENDIF
```

```
*IF,SSOLID92,EQ,1,THEN
TETRA=1
*ENDIF
*IF,SSOLID187,EQ,1,THEN
TETRA=1
*ENDIF
*IF,SSOLID285,EQ,1,THEN
TETRA=1
*ENDIF
```

!se si definiscono stati piani qui si limita la profondità del giunto per non sprecare risorse
!di calcolo, d è la dimensione dell'elemento

```
*IF,contrazioneimpedita,EQ,1,AND,QUAD,eq,1,then
g=5*d
*ELSEIF,contrazioneimpedita,EQ,1,AND,tetra,eq,1,then
g=14*d
*ELSEIF,ortotopro,EQ,1,AND,QUAD,eq,1,then
g=5*d
*ELSEIF,ortotopro,EQ,1,AND,tetra,eq,1,then
g=14*d
*ENDIF
```

!parametri necessari per il controllo della mesh
!numero di divisioni della linea del path
k=nint(g/d)
q=g/k

!keyoption per gli elementi implementati nelle ultime versioni di Ansys allo scopo di
!renderli equivalenti a quelli vecchi ossia con il medesimo K*fe del PSm di quelli
!implementati nelle vecchie versioni di Ansys si usa il comando if controllato da parametri
!di controllo controllati da matlab

```
*IF,SSOLID185,EQ,1,THEN
KEYOPT,2,2,3
*ENDIF
```

```
*IF,SSOLID186,EQ,1,THEN
KEYOPT,2,2,1
```


*ENDIF

!qui sempre tramite comando if si definiscono le proprietà del materiale

!*

!OPZIONI SUL TIPO DI MATERIALE: LINEARE ELASTICO ISOTROPICO

*IF,lineare,EQ,1,THEN

MPTEMP,,,,,,,,

MPTEMP,1,0

MPDATA,EX,1,,e

MPDATA,PRXY,1,,v

!OPZIONI SUL TIPO DI MATERIALE: LINEARE ELASTICO ORTOTROPO

*ELSEIF,ortotropro,EQ,1,THEN

MPTEMP,,,,,,,,

MPTEMP,1,0

MPDATA,EX,1,,e

MPDATA,EY,1,,e

MPDATA,EZ,1,,e

MPDATA,PRXY,1,,v

MPDATA,PRYZ,1,,0

MPDATA,PRXZ,1,,0

MPDATA,GXY,1,,e/(2*(1+v))

MPDATA,GYZ,1,,e/(2*(1+v))

MPDATA,GXZ,1,,e/(2*(1+v))

!NEL CASO DI DEFORMAZIONE PIANA

*ELSEIF,contrazioneimpedita,EQ,1,THEN

MPTEMP,1,0

MPDATA,EX,1,,e

MPDATA,PRXY,1,,v

*ENDIF

!*

!*

!ora tramite sempre i parametri definiti all' inizio si definisco le coordinate x e y dei

!keypoint in particolare si ha t1 è lo spessore del piatto principale, t2 del secondario

! a1 o a2 con a1=a2 è l'altezza del triangolo di saldatura

x1=h1

y1=0

x2=0

y2=0

x3=-a1

y3=a2

x4=-a1

y4=h2

x5=-a1-t2/2

y5=h2

x6=-a1-t2/2

y6=0.1

x7=-a1

y7=0.1

x8=-a1

y8=0

x9=-a1-t2/2

y9=0

x10=-a1-t2/2

```
y10=-t1/2
x11=h1
y11=-t1/2
x12=x1
```

```
!CREO I KEYPOINTS
```

```
K,1,x1,y1,0,
K,2,x2,y2,0,
K,3,x3,y3,0,
K,4,x4,y4,0,
K,5,x5,y5,0,
K,6,x6,y6,0,
K,7,x7,y7,0,
K,8,x8,y8,0,
K,9,x9,y9,0,
K,10,x10,y10,0,
K,11,x11,y11,0,
```

```
!CREO LE LINEE
```

```
LSTR, 1, 2
LSTR, 3, 2
LSTR, 3, 4
LSTR, 4, 5
LSTR, 5, 6
LSTR, 6, 7
LSTR, 7, 8
LSTR, 8, 9
LSTR, 9, 10
LSTR, 10, 11
LSTR, 11, 1
```

```
!CREO L'AREA
```

```
FLST,2,11,4
FITEM,2,9
FITEM,2,8
FITEM,2,6
FITEM,2,7
FITEM,2,2
FITEM,2,5
FITEM,2,10
FITEM,2,3
FITEM,2,1
FITEM,2,4
FITEM,2,11
AL,P51X
```

```
!ORA POICHE' SE SI USANO ELEMENTI TETRAEDICI O CUBICI LE PROCEDURE
!CAMBIANO SI ESEGUE UNA PROCEDURA PIUTTOSTO CHE L'ALTRA SEMPRE
!ESEGUENDO UN CONTROLLO DI UN PARAMETRO DI CONTROLLO (QUAD E
!TETRA) TRAMITE IL COMANDO IF
!caso degli elementi tetraedrici
*IF,TETRA,EQ,1,THEN
!estrudo l'area
VEXT,1, , ,0,0,G,,,
!mesho la linea del path lungo il cordone di saldatura
!è un passo non necessario ma utile ad avere i nodi a distanza nota
```

```

LESIZE,27, , ,k, , , , ,1

!dimensioni globali dell'elemento
ESIZE,d
!scelgo il tipo di elemento (quello 3d nel presente caso)
TYPE, 2

!free
MSHKEY,0
!mesh tetraedrica
MSHAPE,1,3d
!mesh del volume
VMESH,1

!caso elementi cubici
*ELSEIF,QUAD,EQ,1,THEN
!mesh del area con l'elemento 2d
ESIZE,d,0,
!mesh free
MSHKEY,0
!mesh dell'area
AMESH,1

!scelta elemento 3d

TYPE, 2
!scelta numero divisioni lungo la lunghezza di estrusione
EXTOPT,ESIZE,k,1,
!opzione per pulire area dai vecchi elementi 2d
EXTOPT,ACLEAR,1

EXTOPT,ATTR,0,0,0
MAT,1
REAL, _Z4
ESYS,0

!estrudo la mesh 2d
VEXT,1, , ,0,0,G,,,
!dove G è la lunghezza di estrusione
*ENDIF

!CON IL COMANDO IF CONTROLLATO DAI PARAMETRI DEFINITI ALL' INIZIO E !
CONTROLLATI CON MATLAB IMPONGO LE CONDIZIONI AL CONTORNO

!IMPOSIZIONE DELLE CONDIZIONI DI SIMMETRIA CASO TRAZIONE
*IF,TRAZIONE,EQ,1,THEN
!condizioni di simmetria
FLST,2,4,5,ORDE,4
FITEM,2,1
FITEM,2,3
FITEM,2,-4
FITEM,2,10
DA,P51X,SYMM

!pressione
FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,5

```

```

/GO
!*
SFA,P51X,1,PRES,-1

!IMPOSIZIONE DELLE CONDIZIONI DI ANTIMETRIA CASO FLESSIONE
*ELSEIF,FLESSIONE,EQ,1,THEN

!simmetria
FLST,2,3,5,ORDE,3
FITEM,2,1
FITEM,2,3
FITEM,2,10
DA,P51X,SYMM

!asimmetria
DA, 4,ASYM

!pressione
FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,5
/GO
!*
!*

!qui creo una tabella per descrivere il campo di pressione presente sull'area
!di applicazione
*DIM,pressione,TABLE,2,2,1,z,y,x, 0
!*
!applico la pressione definita nella tabella
SFA,P51X,1,PRES, %pressione%

!qui si descrive le componenti della tabella %pressione%
*SET,PRESSIONE(0,1,1) , -t1/2
*SET,PRESSIONE(0,2,1) , 0
*SET,PRESSIONE(1,0,1) , 0
*SET,PRESSIONE(1,2,1) , -1
*SET,PRESSIONE(2,0,1) , G
*SET,PRESSIONE(2,2,1) , -1

!si vincola la linea per rendere fisso il modello
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,24
!*
/GO
DL,P51X, ,ALL,

*ENDIF

!ulteriori condizioni al contorno per creare uno stato di tensione piano
*IF,contrazioneimpedita,EQ,1,THEN
DA, 2,SYMM
*ENDIF

!esco dal ambiente di preprocesso
FINISH

```

```
!entro nel ambiente di soluzione
/SOL
/STATUS,SOLU
```

```
!LANCIO DELLA SOLUZIONE
SOLVE
```

```
!esco dal ambiente si soluzione
finish
```

```
!entro nel ambiente di post processo
/post1
!definisco un path tramite la definizione della posizione dei nodi
!essi saranno posizionati lungo il piede del cordone di saldatura
```

```
PATH,path1,k+1,30,1,
j=0
*DO, i, 0, G, q
j=j+1
PPATH,j,,0,0,i,0,
*ENDDO
```

```
!valori definiti lungo il path nel caso specifico le tre tensioni principali
!*
PDEF, ,S,1,AVG
PDEF, ,S,2,AVG
PDEF, ,S,3,AVG
/PBC,PATH, ,0
!*
```

```
!salvo il path e i valori in esso definiti in appositi array
PAGET,TRACPOIN,POIN
PAGET,TRACDATA,TABL
PAGET,TRACLABL,LABE
```

```
!STAMPO I RISULTATI DEL PATH IN UN FILE TXT , PER LA PRECISIONE SI
!STAMPANO I VALORI SALVATI NEGLI ARRAY DI SALVATAGGIO
*CFOPEN,path1 distanza S1 S2 S3,TXT
*vwrite,TRACDATA(1,4),TRACDATA(1,5),TRACDATA(1,6),TRACDATA(1,7)
(F13.9,' ',F13.9,' ',F13.9,' ',F13.9)
*CFCLOS
```

```
!cattura della prima tensione principale massima minima e in mezzeria lungo il path
```

```
!se gli elementi sono tetraedrici
*IF,tetra,EQ,1,then
NSEL,S,LOC,Y,-d/1000,d/1000
NSEL,R,LOC,X,-d/1000,d/1000
```

```
!si escludono dalla selezione nodale i primi e ultimi 4 nodi lungo
!il cordone di saldatura
NSEL,R,LOC,Z,G-4.6*d,4.6*d
nsort,s,1,1,1
*get,S1max,sort,0,max
*get,S1min,sort,0,min
```

```
!nel caso di elementi tetraedrici non si cattura la prima tensione principale in mezzeria ma
!si stampa la tensione media tra la massima e la minima
```

$S1_{mezzo}=(S1_{max}+S1_{min})/2$

!rileziono tutte le entità geometriche
ALLS,ALL

!stampo i valori di tensione catturati
*CFOPEN,S1MAX S1MIN S1MEZZERIA,TXT
*vwrite,S1max,S1min,S1mezzo
(F13.9,' ',F13.9,' ',F13.9)
*CFCLOS

*ELSE

!se gli elementi sono cubici
!catturo la prima tensione principale massima e minima lungo il cordone di saldatura
NSEL,S,LOC,Y,-d/1000,d/1000
NSEL,R,LOC,X,-d/1000,d/1000
nsort,s,1,1,1
*get,S1max,sort,0,max
*get,S1min,sort,0,min

!catturo la prima tensione principale presente sul piede del cordone
!in corrispondenza della mezzeria del giunto
NSEL,R,LOC,Z,-(d/10),(d/10)
nsort,s,1,1,1
*get,S1mezzo,sort,0,min

!rileziono tutte le entità geometriche
ALLS,ALL

!stampo i valori di tensione catturati
*CFOPEN,S1MAX S1MIN S1MEZZERIA,TXT
*vwrite,S1max,S1min,S1mezzo
(F13.9,' ',F13.9,' ',F13.9)
*CFCLOS

*ENDIF

!salvo il lavoro svolto
SAVE,'giuntocruciformenlctensionedipicco3d~\$t1\$~\$t2\$~\$a1\$~\$d\$~\$young\$~\$poisson\$','db',

A.4 Giunto cruciforme NLC 3d metodo classico della mesh precisa

!script matrice per il giunto cruciforme nlc con mesh precisa 3d

!entro nel ambiente di preprocesso
/PREP7

!inizializzo alcuni paramentri
lineare=0
ortotopro=0

```
contrazioneimpedita=0
trazione=0
FLESSIONE=0
```

```
!TRETRA
SSOLID187=0
Ssolid92=0
```

```
!QUAD
Ssolid95=0
SSOLID186=0
```

!qui le stringhe comprese tra i simboli del dollaro vengono sostituite da matlab
!da valori o stringhe decise dall'utente, con i parametri in tal modo definiti si
!costuirà in seguito la geometria e si assegneranno le adeguate condizioni al contorno

```
t1=$t1$
t2=$t2$
G=$g$/2
a1=$a1$
a2=a1
h1=t1*5
h2=3*a1
d=$d$
$sollecitazione$=1
e=$young$
v=$poisson$
$defoso1$=1
S$elemento$=1
```

!parametri utili per realizzare una mesh ben guidata
k=nint(g/d)
q=g/k

!qui si defisce l'elemento piano in funzione di quello tridimensionale
!se l'elemento tridimensionale è di quelli definiti nelle vecchie versioni
!di Ansys anche l'elemento piano lo sarà , questo serve per rendere utilizzabile
!lo script anche se si usa una versione di Ansys non recente

```
*IF,SSOLID95,EQ,1,THEN
ET,1,PLANE82
*ELSEIF,SSOLID92,EQ,1,THEN
ET,1,PLANE82
*ELSE
ET,1,PLANE183
*ENDIF
```

!qui si definisce l'elemento tridimensionale
ET,2,\$elemento\$

```
!$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
```

!qui sempre tramite comando if si definiscono le proprietà del materiale

```
!*
!OPZIONI SUL TIPO DI MATERIALE: LINEARE ELASTICO ISOTROPICO
*IF,lineare,EQ,1,THEN
  MPTEMP,,,,,,,,
  MPTEMP,1,0
  MPDATA,EX,1,,e
  MPDATA,PRXY,1,,v
```

```
!OPZIONI SUL TIPO DI MATERIALE: LINEARE ELASTICO ORTOTROPO
*ELSEIF,ortotopro,EQ,1,THEN
  MPTEMP,,,,,,,,
  MPTEMP,1,0
  MPDATA,EX,1,,e
  MPDATA,EY,1,,e
  MPDATA,EZ,1,,e
  MPDATA,PRXY,1,,v
  MPDATA,PRYZ,1,,0
  MPDATA,PRXZ,1,,0
  MPDATA,GXY,1,,e/(2*(1+v))
  MPDATA,GYZ,1,,e/(2*(1+v))
  MPDATA,GXZ,1,,e/(2*(1+v))
```

```
*ELSEIF,contrazioneimpedita,EQ,1,THEN
  MPTEMP,1,0
  MPDATA,EX,1,,e
  MPDATA,PRXY,1,,v
```

```
*ENDIF
```

```
!*
!*
```

!ora tramite sempre i parametri definiti all' inizio si definisco le coordinate x e y dei
!keypoint in particolare si ha t1 è lo spessore del piatto principale, t2 del secondario ,
! a1 o a2 con a1=a2 è l'altezza del triangolo di saldatura

```
x1=h1
y1=0
x2=0
y2=0
x3=-a1
y3=a2
x4=-a1
y4=h2
x5=-a1-t2/2
y5=h2
x6=-a1-t2/2
y6=0.1
x7=-a1
y7=0.1
x8=-a1
y8=0
x9=-a1-t2/2
y9=0
x10=-a1-t2/2
y10=-t1/2
x11=h1
y11=-t1/2
```



```

x12=x1
!CREO I KEYPOINTS
K,1,x1,y1,0,
K,2,x2,y2,0,
K,3,x3,y3,0,
K,4,x4,y4,0,
K,5,x5,y5,0,
K,6,x6,y6,0,
K,7,x7,y7,0,
K,8,x8,y8,0,
K,9,x9,y9,0,
K,10,x10,y10,0,
K,11,x11,y11,0,

```

```

!CREO LE LINEE
LSTR, 1, 2
LSTR, 3, 2
LSTR, 3, 4
LSTR, 4, 5
LSTR, 5, 6
LSTR, 6, 7
LSTR, 7, 8
LSTR, 8, 9
LSTR, 9, 10
LSTR, 10, 11
LSTR, 11, 1

```

```

!CREO L'AREA
FLST,2,11,4
FITEM,2,9
FITEM,2,8
FITEM,2,6
FITEM,2,7
FITEM,2,2
FITEM,2,5
FITEM,2,10
FITEM,2,3
FITEM,2,1
FITEM,2,4
FITEM,2,11
AL,P51X

```

!LA PROCEDURA PER GENERARE LA MESH NEL CASO DI ELEMENTI CUBICI
! SONO DIVERSE DAL CASO DEI TETRAEDRI

```

!PROCEDURA TETRAEDRI
*IF,SSOLID187,EQ,1,OR,Ssolid92,EQ,1,THEN
!estrudo l'area ottenere un volume privo di mesh
VEXT,1, , ,0,0,G,,,

```

```

!creo il cilindro grande
CYL4,0,0,2.5, , , ,g
!lo elimino
VDELE, 2
!con le aree del vecchio cilindro taglio il volume del pezzo
FLST,3,4,5,ORDE,2
FITEM,3,14

```

```
FITEM,3,-17
VSBA, 1,P51X
```

```
!creo il cilindro più piccolo
CYL4,0,0,0.5, , , ,g
!lo elimino
VDELE, 1
!taglio il volumetto ottenuto prima
FLST,3,4,5,ORDE,4
FITEM,3,1
FITEM,3,-2
FITEM,3,6
FITEM,3,-7
VSBA, 2,P51X
```

```
!creo un area lungo la bisettrice
!per dividere in due i semi cilindri creati
!in prossimità dell'intaglio
```

```
!creo delle linee
LSTR, 32, 27
LSTR, 31, 24
LANG, 15, 16,90, ,
LANG, 16, 2,90, ,
```

```
!ne estendo alcune
LEXTND,37,16,2.5,1
```

```
LEXTND,45,2,2.5,1
```

```
!elimino le linee non utili
FLST,2,3,4,ORDE,3
FITEM,2,15
FITEM,2,36
FITEM,2,-37
LDELE,P51X, , ,1
```

```
FLST,2,3,4,ORDE,3
FITEM,2,16
FITEM,2,44
FITEM,2,-45
LDELE,P51X, , ,1
```

```
!creo altre linee
LSTR, 36, 34
LSTR, 41, 42
```

```
L PLOT
```

```
!creo l'area
FLST,2,4,4
FITEM,2,16
FITEM,2,46
FITEM,2,47
```

FITEM,2,15
AL,P51X

!taglio i semi-cilindri con l'area appena creata
FLST,2,2,6,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,4
VSBA,P51X, 1

!mesho le linee attorno all' intaglio
LESIZE,60,,,4,1
LESIZE,44,,,4,1
LESIZE,58,,,4,1
LESIZE,59,,,4,1
LESIZE,36,,,4,1
LESIZE,57,,,4,1

!creo dei parametri per meshare le linee con maggiore
!controllo

*GET,PAR1,LINE,57,LENG
*GET,PAR2,LINE,57,ATTR,NDNX
PAR3=PAR1/PAR2
*GET,PAR4,LINE,27,LENG
NDIVIS=NINT(PAR4/PAR3)

LESIZE,27,,,NDIVIS,1
LESIZE,61,,,NDIVIS,1
LESIZE,55,,,NDIVIS,1
LESIZE,45,,,NDIVIS,1
LESIZE,56,,,NDIVIS,1

LESIZE,67,,,8,1/5
LESIZE,71,,,8,1/5
LESIZE,65,,,8,1/5
LESIZE,66,,,8,1/5
LESIZE,72,,,8,1/5
LESIZE,64,,,8,1/5

LESIZE,62,,,4,1
LESIZE,69,,,5,1
LESIZE,37,,,2,1
LESIZE,1,,,8,1
LESIZE,49,,,4,1
LESIZE,75,,,5,1
LESIZE,73,,,2,1
LESIZE,34,,,8,1

LESIZE,63,,,4,1
LESIZE,70,,,5,1
LESIZE,68,,,2,1
LESIZE,39,,,8,1
LESIZE,50,,,4,1
LESIZE,76,,,5,1
LESIZE,74,,,2,1
LESIZE,41,,,8,1

```

*GET,PAR1,LINE,67,LENG
*GET,PAR2,LINE,67,ATTR,NDNX
PAR3=PAR1/PAR2
*GET,PAR4,LINE,27,LENG
NDIVIS=NINT(PAR4/PAR3)

```

```

LESIZE,48,,NDIVIS,1
LESIZE,42,,NDIVIS,1
LESIZE,16,,NDIVIS,1
LESIZE,43,,NDIVIS,1

```

!qui si impongono le condizioni al contorno in base ai parametri
!di controllo dei cicli if scelti dal utente e inseriti con matlab

!IMPOSIZIONE DELLE CONDIZIONI DI SIMMETRIA CASO TRAZIONE

```
*IF,TRAZIONE,EQ,1,THEN
```

```
!condizioni di simmetria
```

```
FLST,2,6,5,ORDE,6
```

```
FITEM,2,2
```

```
FITEM,2,10
```

```
FITEM,2,21
```

```
FITEM,2,25
```

```
FITEM,2,35
```

```
FITEM,2,39
```

```
DA,P51X,SYMM
```

```
DA,3,SYMM
```

```
DA,4,SYMM
```

```
!pressione
```

```
FLST,2,1,5,ORDE,1
```

```
FITEM,2,5
```

```
/GO
```

```
!*
```

```
SFA,P51X,1,PRES,-1
```

!IMPOSIZIONE DELLE CONDIZIONI DI ANTIMETRIA CASO FLESSIONE

```
*ELSEIF,FLESSIONE,EQ,1,THEN
```

```
!simmetria
```

```
FLST,2,6,5,ORDE,6
```

```
FITEM,2,2
```

```
FITEM,2,10
```

```
FITEM,2,21
```

```
FITEM,2,25
```

```
FITEM,2,35
```

```
FITEM,2,39
```

```
DA,P51X,SYMM
```

```
DA,3,SYMM
```

```
!asimmetria
```

```
DA,4,ASYM
```

```
!pressione
```

```

FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,5
/GO
!*
!*

!creo una tabella che descrive la pressione applicata sulla
!faccia di interesse
*DIM,pressione, TABLE,2,2,1,z,y,x, 0
!*

!applico la pressione
SFA,P51X,1,PRES, %pressione%

!qui si descrive la tabella pressione
*SET,PRESSIONE(0,1,1) , -t1/2
*SET,PRESSIONE(0,2,1) , 0
*SET,PRESSIONE(1,0,1) , 0
*SET,PRESSIONE(1,2,1) , -1
*SET,PRESSIONE(2,0,1) , G
*SET,PRESSIONE(2,2,1) , -1

!vincolo una linea per rendere non labile il sistema

DL,31, ,ALL,

*ENDIF

!ulteriori condizioni al contorno nel caso si sia voglia
!indurre uno stato di deformazione

*IF,contrazioneimpedita,EQ,1,THEN
DA, 26,SYMM
DA, 22 ,SYMM
DA, 18 ,SYMM
DA, 40 ,SYMM
DA, 37 ,SYMM

*ENDIF

!scelta del tipo di elemento della mesh
TYPE, 2
MAT, 1
REAL,
ESYS, 0
SECNUM,
!*

!dimensione globale della mesh
ESIZE,d,0,
!mesh free
MSHKEY,0
!elementi tetraedrici
MSHAPE,1,3d

```

```

!mesh del volume maggiore e lontano dall'intaglio
CM,_Y,VOLU
VSEL,, , , 3
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*
!mesh del resto dei volumi
MSHKEY,0
MSHAPE,1,3d
FLST,5,4,6,ORDE,3
FITEM,5,2
FITEM,5,5
FITEM,5,-7
CM,_Y,VOLU
VSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!ora la procedura per gli elementi cubici

*ELSEIF,$solid95,EQ,1,OR,$SOLID186,EQ,1,THEN
!creo i due cerchi
CYL4,0,0,2.5
CYL4,0,0,0.5
!gli elimino le aree
FLST,2,2,5,ORDE,2
FITEM,2,2
FITEM,2,-3
ADELE,P51X
!taglio le aree con le linee dei cerchi
FLST,3,4,4,ORDE,2
FITEM,3,12
FITEM,3,-15
ASBL, 1,P51X
FLST,3,4,4,ORDE,2
FITEM,3,16
FITEM,3,-19
ASBL, 2,P51X

!creo la bisettrice all' intaglio
LSTR, 20, 12
LANG, 16, 2,90, ,
!*

!allungo una linea

```

```
LEXTND,20,2,2.5,1
ASBL, 4, 21
LSTR, 22, 2
ASBL, 1, 14
```

```
!elimino alcune linee non più necessarie
FLST,2,3,4,ORDE,3
FITEM,2,16
FITEM,2,-17
FITEM,2,20
LDELE,P51X, , ,1
```

```
!mesh delle line all'intaglio
LESIZE,2,,,5,1
LESIZE,14,,,5,1
LESIZE,1,,,5,1
```

```
LESIZE,12,,,4,1
LESIZE,27,,,5,1
LESIZE,30,,,2,1
LESIZE,19,,,8,1
```

```
LESIZE,25,,,10,5
LESIZE,28,,,10,1/5
LESIZE,13,,,10,1/5
```

```
LESIZE,22,,,4,1
LESIZE,26,,,5,1
LESIZE,29,,,2,1
LESIZE,15,,,8,1
```

```
!selezione la prima mesh definita ovvero quella dell'elemento piano
TYPE, 1
!queste stringhe sono di default
MAT, 1
REAL,
ESYS, 0
SECNUM,
!*
```

```
!dimensione globale degli elementi
ESIZE,d,0,
```

```
!mesh free
MSHKEY,0
```

```
!eseguo la mesh della area più esterna
AMESH,3
```

```
!eseguo la mesh delle line all'intaglio la mesh sarà guidata
!dalla divisione imposta delle linee
```

```
MSHKEY,0
```

```

FLST,5,4,5,ORDE,3
FITEM,5,2
FITEM,5,4
FITEM,5,-6
CM,_Y,AREA
ASEL,,,P51X
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
!*
AMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*

```

```

!estrudo l'area
!k= nint(g/d)  DEFINITO ALL' INIZIO

```

```

!mesh di tipo tridimensionale
TYPE, 2

```

```

!opzione sulla dimensione di estrusione degli elementi piani
EXTOPT,ESIZE,k,1,
!per eliminare la mesh piana
EXTOPT,ACLEAR,1
!*

```

```

EXTOPT,ATTR,0,0,0
MAT,1
REAL,_Z4
ESYS,0
!*

```

```

!estrudo la mesh piana ottenendo una mesh tridimensionale
FLST,2,5,5,ORDE,2
FITEM,2,2
FITEM,2,-6
VEXT,P51X,,,0,0,g,,,,

```

!IMPOSIZIONE DELLE CONDIZIONI DI SIMMETRIA CASO TRAZIONE

```
*IF,TRAZIONE,EQ,1,THEN
```

```
!condizioni di simmetria
```

```

FLST,2,6,5,ORDE,3
FITEM,2,2
FITEM,2,-6
FITEM,2,23
DA,P51X,SYMM
DA,14,SYMM
DA,15,SYMM

```

```
!pressione
```

```

FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,16

```



```

/GO
!*
SFA,P51X,1,PRES,-1

!si vincola la linea per rendere fisso il modello
DL,52, ,ALL,

!!IMPOSIZIONE DELLE CONDIZIONI DI ANTIMETRIA CASO FLESSIONE
*ELSEIF,FLESSIONE,EQ,1,THEN
!simmetria
FLST,2,6,5,ORDE,3
FITEM,2,2
FITEM,2,-6
FITEM,2,23
DA,P51X,SYMM
DA,14,SYMM

!asimmetria
DA,15,ASYM

!pressione
FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,16
/GO
!*
!*

!creo una tabella che descrive il campo di pressione sull'area

*DIM,pressione,TABLE,2,2,1,z,y,x, 0
!*
!applico la pressione sull'area
SFA,P51X,1,PRES, %pressione%

!qui descrivo le componenti della tabella
*SET,PRESSIONE(0,1,1) , -t1/2
*SET,PRESSIONE(0,2,1) , 0
*SET,PRESSIONE(1,0,1) , 0
*SET,PRESSIONE(1,2,1) , -1
*SET,PRESSIONE(2,0,1) , G
*SET,PRESSIONE(2,2,1) , -1

!si vincola la linea per rendere fisso il modello

DL,52, ,ALL,

*ENDIF

!ulteriori condizioni al contorno se si vuole definire uno stato di tensione piano
*IF,contrazioneimpedita,EQ,1,THEN

DA,1 ,SYMM
DA, 34 ,SYMM
DA, 27 ,SYMM
DA, 32,SYMM
DA, 13 ,SYMM
*ENDIF

```

```
*ENDIF
```

```
FINISH
```

```
!lancio della soluzione
```

```
/SOL
```

```
/STATUS,SOLU
```

```
SOLVE
```

```
FINISH
```

```
!entro nel ambiente di post processo
```

```
/POST1
```

```
*CFOPEN,PATHCON,TXT,,
```

```
*vwrite
```

```
('DISTANZA DAL INTAGLIO','      ','SIGMA X')
```

```
*CFCLOS
```

```
!definisco un path sulla faccia superiore del piatto principale
```

```
!in corrispondenza della mezzeria
```

```
PATH,PATHCON,2,30,100,
```

```
ppath,1,,0, 0,0,0
```

```
ppath,2,,10, 0,0,0
```

```
!definisco come parametro nel path la tensione sigma x
```

```
PDEF, ,S,X,AVG
```

```
/PBC,PATH, ,0
```

```
!*
```

```
!salvo negli array il path appena definito
```

```
PAGET,TRACPOIN,POIN
```

```
PAGET,TRACDATA,TABL
```

```
PAGET,TRACLABL,LABE
```

```
!STAMPO I RISULATATI DEL PATH
```

```
*CFOPEN,PATHCON,TXT,,append
```

```
*vwrite,TRACDATA(1,4),TRACDATA(1,5)
```

```
(F13.9,'      ',F13.9)
```

```
*CFCLOS
```

```
!salvo il mainmodel
```

```
SAVE,'mainmodel~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','db',
```

```
FINISH
```

```
!ora pulisco lo spazio di lavoro di Ansys
```

```
/CLEAR,NOSTART
/COM,ANSYS RELEASE 14.0  UP20111024  15:10:37  08/22/2013
!*
!ora posso caricare il primo sotto-modello
!basta aggiungere allo script realizzato fino ad ora quello riportati nei paragrafi a seguire.
```

A.5 Primo sotto modello

```
!primo sotto-modello
```

```
!come primo passo diamo un nome al file
/FILNAME,submodel1,0
```

```
!si entra nel ambiente di preprocesso
/PREP7
```

```
!ridefinisco tutti i parametri che son stati cancellati con il comando clear nel main model
!alcuni sono inutilizzati ma si è preferito eseguire un semplice copia incolla
!che rifare un selezione accurata dei parametri utili
```

```
lineare=0
ortotopro=0
contrazioneimpedita=0
trazione=0
FLESSIONE=0
```

```
!TRETRE
SSOLID187=0
Ssolid92=0
```

```
!QUAD
Ssolid95=0
SSOLID186=0
```

```
!qui le stringhe comprese tra i simboli del dollaro vengono sostituite da matlab
!da valori o stringhe decise dall'utente, con i parametri in tal modo definiti si
!costruirà in seguito la geometria e si assegneranno le adeguate condizioni al contorno
```

```
t1=$t1$
t2=$t2$
h1=t1*10+t2
h2=t2*5+t1
G=$g$/2
a1=$a1$
a2=a1
d=$d$
$sollecitazione$=1
e=$young$
v=$poisson$
$defosol$=1
S$elemento$=1  !$$
```

!scelgo il raggio maggiore del cilindretto in funzione della profondità del giunto per
!limitare la pesantezza del calcolo
!va sempre controllata la convergenza degli spostamenti assegnati al sotto-modello, sempre
 $Rg=G/20*0.5$

```
!limite il valore massimo e minimo del raggio maggiore
*IF,RG,LT,0.5,THEN
RG=0.5
*ELSEIF,RG,GT,3.5,THEN
RG=3.5
*ENDIF
```

!il raggio del semi-cilindretto minore è funzione di quello maggiore
 $RP=RG/5*2$

!qui si definisce l'elemento piano in funzione di quello tridimensionale
!se l'elemento tridimensionale è di quelli definiti nelle vecchie versioni
!di Ansys anche l'elemento piano lo sarà , questo serve per rendere utilizzabile
!lo script anche se si usa una versione di Ansys non recente

```
!DEFINIZIONE DEL TIPO DI ELEMENTO
*IF,SSOLID95,EQ,1,THEN
ET,1,PLANE82
*ELSEIF,SSOLID92,EQ,1,THEN
ET,1,PLANE82
*ELSE
ET,1,PLANE183
*ENDIF
ET,2,$elemento$
```

```
!parametri utili alla gestione della mesh
d=d/10
k=nint(g/d)
q=g/k
k=g/rg
```

!qui sempre tramite comando if si definiscono le proprietà del materiale
!*

```
!OPZIONI SUL TIPO DI MATERIALE: LINEARE ELASTICO ISOTROPICO
*IF,lineare,EQ,1,THEN
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,e
MPDATA,PRXY,1,,v
```

```
!OPZIONI SUL TIPO DI MATERIALE: LINEARE ELASTICO ORTOTROPO
*ELSEIF,ortotro,EQ,1,THEN
```

```
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,e
```

```

MPDATA,EY,1,,e
MPDATA,EZ,1,,e
MPDATA,PRXY,1,,v
MPDATA,PRYZ,1,,0
MPDATA,PRXZ,1,,0
MPDATA,GXY,1,,e/(2*(1+v))
MPDATA,GYZ,1,,e/(2*(1+v))
MPDATA,GXZ,1,,e/(2*(1+v))

*ELSEIF,contrazioneimpedita,EQ,1,THEN
  MPTEMP,1,0
  MPDATA,EX,1,,e
  MPDATA,PRXY,1,,v

```

```

*ENDIF
!*
!*

```

```

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

!la procedura è diversa se si usano elementi tetraedrici o parallelepipedi
!si procede quindi con due procedure differenti tramite un controllo if
!basato su parametri definiti all'inizio (SSolid 187 , SSolid 186 ecc ...)

```

!caso elementi tetraedrici
*IF,SSOLID187,EQ,1,OR,SSolid92,EQ,1,THEN

```

```

!creo due semicilindri
lung=g
CYL4,0,0,0,rg,-225,lung
CYL4,0,0,0,rp,-225,lung

```

```

!elimino il volume piu piccolo
VDELE, 2

```

```

!divido il volume rimasto con le aree di quello eliminato
FLST,3,5,5,ORDE,2
FITEM,3,6
FITEM,3,-10
VSBA, 1,P51X

```

```

!creo delle linee e faccio altre operazioni geometriche
!per creare un'area sulla bisettrice dell'angolo di apertura
!e dividere simmetricamente in due i semi cilindri appena creati
LSTR, 4, 5
LSTR, 2, 3
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,1
LDIV,P51X,0.5, ,2,0
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,2
LDIV,P51X,0.5, ,2,0
LSTR, 7, 6

```

```

LSTR, 12, 1
!*
LEXTND,10,6,2*rg,0
!*
LEXTND,11,1,2*rg,0
LSTR, 13, 14
LSTR, 7, 12
FLST,2,4,4
FITEM,2,27
FITEM,2,15
FITEM,2,14
FITEM,2,18
AL,P51X
!qui ho appena finito di creare l area

```

!ora procedo a tagliare i volumi

```

FLST,2,2,6,ORDE,2
FITEM,2,2
FITEM,2,-3
VSBA,P51X, 1
!elimino le linee inutili
FLST,2,8,4,ORDE,8
FITEM,2,1
FITEM,2,2
FITEM,2,5
FITEM,2,6
FITEM,2,10
FITEM,2,11
FITEM,2,18
FITEM,2,27
LDELE,P51X, , ,1

```

!definisco il tipo di mesh che mi interessa

!in questo caso il type 2 è il solid 187

```

TYPE, 2
MAT, 1
REAL,
ESYS, 0
SECNUM,
!*

```

!definisco le dimensioni della mesh nel semi-cilindro di dimensioni minori

```

ESIZE,rp/5,0,

```

!mesh free

```

MSHKEY,0

```

!mesh tetraedrica

```

MSHAPE,1,3d

```

!eseguo la mesh sui 2 volumi di dimensioni minori(assolutamente prima loro)

```

FLST,5,2,6,ORDE,2
FITEM,5,1
FITEM,5,4
CM,_Y,VOLU
VSEL, , , P51X
CM,_Y1,VOLU

```

```
CHKMSH,'VOLU'  
CMSEL,S,_Y  
!*  
VMESH,_Y1  
!*  
CMDELE,_Y  
CMDELE,_Y1  
CMDELE,_Y2
```

!eseguo la mesh dei volumi più grandi

```
!ridimensiono la dimensione della mesh  
ESIZE,rg/5,0,
```

```
!mesh free  
MSHKEY,0
```

```
!mesh tetraedrica  
MSHAPE,1,3d
```

!eseguo la mesh sue due volumi maggiori

```
FLST,5,2,6,ORDE,2  
FITEM,5,5  
FITEM,5,-6  
CM,_Y,VOLU  
VSEL,, , ,P51X  
CM,_Y1,VOLU  
CHKMSH,'VOLU'  
CMSEL,S,_Y  
!*  
VMESH,_Y1  
!*  
CMDELE,_Y  
CMDELE,_Y1  
CMDELE,_Y2  
!*
```

!condizioni di simmetria

```
DA,2,SYMM  
DA,7,SYMM  
DA,24,SYMM  
DA,20,SYMM
```

!nel caso di deformazione piana bisogna imporre ulteriori vincoli

```
*IF,contrazioneimpedita,EQ,1,THEN  
DA,25,SYMM  
DA,9,SYMM  
DA,4,SYMM  
DA,21,SYMM  
*ENDIF
```

!ora seleziono i nodi a cui devo assegnare gli spostamenti provenienti
!dal main model

```
!seleziono le aree a cui sono attaccati  
FLST,5,2,5,ORDE,2
```

```
FITEM,5,19
FITEM,5,23
ASEL,S,,P51X
```

```
!quindi seleziono i nodi che giacciono alle aree precedentemente selezionate
NSLA,S,1
```

```
!salvo un listato con estensione .node con salvato all'interno le coordinate nodali
!e il numero di identificazione di ogni nodo
```

```
NWRITE,'submodell1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','node','',0
```

```
!riseleziono tutte le entità geometriche
ALLSEL,ALL
```

```
!salvo il lavoro svolto fino ad ora
SAVE,'submodell1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','db',
```

```
!esco dal preprocessore
FINISH
```

```
!pulisco lo spazio di lavoro ansys
/CLEAR,NOSTART
```

```
!ricarico il main model
RESUME,'mainmodell~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','db',
```

```
!entro nel ambiente di post processo
/POST1
```

```
!qui assegno al file .node creato nel primo sotto modello gli spostamenti
!presenti nel main model ottenuti per interpolazioni in quei punti spaziali
```

```
CBDOF,'submodell1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','node',
',submodell1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','cbdo','',0,0
```

```
!ricarico quindi il primo sotto-modello
RESUME,'submodell1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','db',
```

```
!esco dal ambiente di post-processo
FINISH
```

```
!rientro nel ambiente di pre-processo
/PREP7
```

```
!assegno gli spostamenti nodali ottenuti dal main model
/INPUT,'submodell1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','cbdo',
/INPUT,'submodell1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','cbdo',,cb1,0
FINISH
```

```
!lancio la soluzione
/SOL
```



```
/STATUS,SOLU
SOLVE
FINISH
```

```
!entro nel ambiente di post-processo
/POST1
```

```
!creo un file txt
```

```
*CFOPEN,PATHSUBMODEL1,TXT,
*vwrite
('DISTANZA DAL INTAGLIO,' 'DISTANZA DAL CENTRO,' 'SY-POLARE,' 'S1,' 'S2,' 'S3')
*CFCLOS
```

```
! questo comando serve a passare ai GRADI come unita di misura degli angoli
*AFUN, DEG
```

```
!calcolo il seno e il coseno
S=SIN(-112.5)
C=COS(-112.5)
```

```
!creo una serie di path lungo il cordone di saldatura
*DO, i, g/20, g-g/20,g/10
PATH,PATHSUB,26,30,1,
n=0
```

```
!definisco i punti del path in definizione
*DO, j, 0, rg,rg/25
n=n+1
ppath,n,,j*c, j*s,i,0
*ENDDO
!*
```

```
!attivo il sistema di riferimento cilindrico
```

```
!lo creo
CSKP,11,1,1,9,15,1,1,
```

```
!lo imposto come sistema di riferimento
CSYS,11,
```

```
!*
```

```
!impongo la visulizzazione dei risultati nel sistema di riferimento appena attivato
```

```
!
RSYS,11
AVPRIN,0
AVRES,2,
/EFACET,1
LAYER,0
FORCE,TOTAL
!*
```

```
!definisco i seguenti parametri lungo il path
! tensione sigma theta theta
PDEF, ,S,Y,AVG
```

```
!le tre tensioni principali
PDEF, ,S,1,AVG
PDEF, ,S,2,AVG
PDEF, ,S,3,AVG
/PBC,PATH, ,0
!*

```

```
!creo una stringa
!in lettere la posizione del path dalla mezzeria
str1= CHRVAL(i)
```

```
!taglio la stringa se è troppo lunga
stringa = STRSUB(Str1, 1,3)
```

```
!creo gli array nominandoli tramite la stringa appena creata
!ansys sostituisce alla parametro stringa compreso tra i percentuali
!il valore ad esso associato nel caso specifico una stringa
PAGET,T%stringa%POIN,POIN
PAGET,T%stringa%DATA,TABL
PAGET,T%stringa%LABL,LABE
```

```
!ora stampo i risultati salvati negli array
!STAMPO I RISULATATI DEL PATH
*CFOPEN,PATHSUBMODEL1,TXT,,append
*vwrite,T%stringa%DATA(1,4),T%stringa%DATA(1,3),T%stringa%DATA(1,5),T%stringa%DATA(1,6),T
%stringa%DATA(1,7),T%stringa%DATA(1,8)
(F13.9,' ',F13.9,' ',F13.9,' ',F13.9,' ',F13.9,' ',F13.9)
*CFCLOS
```

```
!vecchie stringhe inutili
PADEL,PATHSUB
PATH,STAT
```

```
*ENDDO
```

```
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!qqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqq
```

```
!ora si prosegue nel caso si usino elementi di forma geometrica cubica
*ELSEIF,SSolid95,EQ,1,OR,SSOLID186,EQ,1,THEN
```

```
!creo le due cerchi
CYL4,0,0,Rg
CYL4,0,0,Rp
```

```
!qui eseguo una procedura per tagliare i cerchi e creare i semi-cerchi
!che servono per creare la geometria voluta
```

```
!creo una linea
LSTR, 1, 3
```

```
!la divido
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,9
LDIV,P51X,0.5, ,2,0
!*
!*
```

```
!ridivido
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,2
LDIV,P51X,0.5, ,2,0
```

```
!creo una linea
LSTR, 9, 10
LPLOT
```

```
!elimino una linea
LDELE, 10, , ,1
```

```
!taglio le aree
FLST,3,2,4,ORDE,2
FITEM,3,9
FITEM,3,12
ASBL, 1,P51X
!qui ho appena ottenuto i semi-cerchi
```

```
!elimino le aree piccole tenendo le linee
ADELE, 3, , ,1
ADELE, 2
```

```
!taglio le aree grandi con le linee di quelle appena eliminate
FLST,3,4,4,ORDE,2
FITEM,3,5
FITEM,3,-8
ASBL, 4,P51X
```

```
!creo una linea lungo la bisettrice
LSTR, 10, 1
LANG, 5, 9,90, ,
!*
```

```
LEXTND,9,9,rg,1
```

```
!elimino le linee di costruzione ormai inutili
FLST,2,3,4,ORDE,3
FITEM,2,5
FITEM,2,-6
FITEM,2,9
LDELE,P51X, , ,1
!taglio le are con la bisettrice
ASBL, 2, 12
!nuova bisettrice per tagliare le aree rimanste
```

```
LSTR, 12, 9
ASBL, 1, 3
```

```
!mesho le linee in modo che si ottenga una mesh più fitta
!in prossimità dell'apice
```

```
LESIZE,10,,,7,1
LESIZE,3,,,7,1
LESIZE,1,,,7,1
```

```
LESIZE,14,,,7,5
LESIZE,9,,,7,1/5
LESIZE,13,,,7,1/5
```

```
LESIZE,2,,,5,1
LESIZE,6,,,7,1
LESIZE,16,,,3,1
LESIZE,8,,,10,1
```

```
LESIZE,11,,,5,1
LESIZE,5,,,7,1
LESIZE,15,,,3,1
LESIZE,4,,,10,1
```

```
!MESHO L'AREE
```

```
!scelgo l'elemento definito dal numero 1 (type 1)
!ovvero l'elemento piano plane 183
```

```
TYPE, 1
MAT, 1
REAL,
ESYS, 0
SECNUM,
!*

```

```
!mesh FREE
MSHKEY,0
```

```
!seleziono le aree e mesho
```

```
FLST,5,4,5,ORDE,2
FITEM,5,2
FITEM,5,-5
CM,_Y,AREA
ASEL,,,P51X
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
!*
AMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*
```

```
!estrudo l'area
```

```
!seleziono la mesh numero 2 ovvero quello con 1 elemento
!3d (Solid 186 o Solid 95)
TYPE, 2
```

```
!lunghezza degli elementi nell'estrusione
!k è stato definito all' inizio dello script
EXTOPT,ESIZE,k,1,
```

```
!dico di eliminare la mesh 2d una volta estrusa
EXTOPT,ACLEAR,1
!*
EXTOPT,ATTR,0,0,0
MAT,1
REAL,_Z4
ESYS,0
!*
```

```
!selezione le aree e le estrudo
FLST,2,4,5,ORDE,2
FITEM,2,2
FITEM,2,-5
VEXT,P51X, , ,0,0,g,,,
```

```
!impongo le condizioni di simmetria sulle aree
FLST,2,4,5,ORDE,2
FITEM,2,2
FITEM,2,-5
DA,P51X,SYMM
```

```
!ulteriori condizioni al contorno se si è definito uno stato piano di tensione
*IF,contrazioneimpedita,EQ,1,THEN
```

```
FLST,2,4,5,ORDE,4
FITEM,2,1
FITEM,2,10
FITEM,2,17
FITEM,2,21
DA,P51X,SYMM
```

```
*ENDIF
```

```
!seleziono le aree su cui giacciono i nodi a cui vanno assegnati gli spostamenti
!nodali
FLST,5,4,5,ORDE,4
FITEM,5,12
FITEM,5,-13
FITEM,5,18
FITEM,5,-19
ASEL,S, , P51X
```

```
!seleziono i nodi delle aree prima selezionate
NSLA,S,1
```

```
!creo un listato con estensione .node in cui sono riportate le coordinate
!cartesiane dei nodi e il loro numero di identificazione
NWRITE,'submodel1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','node',' ',0
```

```
!rileggo tutte le entità geometriche
ALLSEL,ALL
```

```
!salvo il lavoro fin qui eseguito
SAVE,'submodel1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','db',
```

```
!esco dal ambiente di pre-processo
FINISH
```

```
!pulisco lo spazio di lavoro ansys
/CLEAR,NOSTART
```

```
!ricarico il main model
RESUME,'mainmodel~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','db',
```

```
!entro nel ambiente di post processo
/POST1
```

```
!creo un file con estensione .cbdo in cui assegno gli spostamenti individuati nel main model per
!l'interpolazione al listato di nodi precedentemente creato dal sub model
CBDOF,'submodel1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','node','
','submodel1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','cbdo',' ',0, ,0
```

```
!ricarico il sub- model
RESUME,'submodel1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','db',
```

```
!esco dal ambiente di pre-processo
FINISH
```

```
!entro nel ambiente di pre-processo
/PREP7
```

```
!assegno gli spostamenti del main model ai nodi del sub-model
/INPUT,'submodel1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','cbdo',
/INPUT,'submodel1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','cbdo',,cb1, 0
FINISH
```

```
!lancio la soluzione
/SOL
/STATUS,SOLU
SOLVE
FINISH
```

```
!creo il sistema di riferimento cilindrico
CSKP,11,1,9,1,4,1,1,
```

```
!lo attivo
CSYS,11,
```

!entro nel ambiente di post processo
/POST1

!*

!attivo la visualizzazione dei risultati nel sistema di riferimento appena attivato

RSYS,11
AVPRIN,0
AVRES,2,
/EFACET,1
LAYER,0
FORCE,TOTAL
!*

!creo un file txt

*CFOPEN,PATHSUBMODEL1,TXT,
*vwrite
('DISTANZA DAL INTAGLIO',' 'DISTANZA DAL CENTRO',' 'SY-POLARE',' 'S1'
'S2',' 'S3')
*CFCLOS

!selezione i gradi come unita di misura

*AFUN, DEG

!calcolo il seno e il coseno del angolo della bisettrice

S=SIN(-112.5)

C=COS(-112.5)

!creo una serie di path lungo il cordone di saldatura

!a distanza cadenzata

*DO, i, 0, g,g/20

PATH,PATHSUB,26,30,1,

n=0

!definisco i punti del path in creazione

!ovviamente lungo la bisettrice del angolo di intaglio

*DO, j, 0, rg,rg/25

n=n+1

ppath,n,,j*c, j*s,i,0

*ENDDO

!*

!definisco i valori da definire nel path appena creato

!sigma theta theta

PDEF, ,S,Y,NOAVG

!le tre tensioni principali

PDEF, ,S,1,NOAVG

PDEF, ,S,2,NOAVG

PDEF, ,S,3,NOAVG

/PBC,PATH, ,0

!*

```
!creo una stringa dal valore della distanza i dalla mezzzeria
str1= CHRVAL(i)
```

```
!taglio la stringa se è troppo lunga
stringa = STRSUB(Str1, 1,3)
```

```
!salvo negli array i valori del path che nomino utilizzando la stringa
!ansys sostituisce alla parametro compreso tra i simboli del percentuale
!il suo valore nel caso specifico una stringa
PAGET,T%stringa%POIN,POIN
PAGET,T%stringa%DATA,TABL
PAGET,T%stringa%LABL,LABE
```

```
!STAMPO I RISULATATI DEL PATH
*CFOPEN,PATHSUBMODEL1,TXT,,append
*vwrite,T%stringa%DATA(1,4),T%stringa%DATA(1,3),T%stringa%DATA(1,5),T%stringa%DATA(1,6),T
%stringa%DATA(1,7),T%stringa%DATA(1,8)
(F13.9,'      ',F13.9,'      ',F13.9,'      ',F13.9,'      ',F13.9,'      ',F13.9)
*CFCLOS
```

```
!vecchie stringhe inutili
PADEL,PATHSUB
PATH,STAT
```

```
*ENDDO
```

```
*ENDIF
```

```
!qui la procedura è uguale per entrambi i tipi di elementi
!sia tetraedrici che parallelepipedi
```

```
!si attiva il sistema di riferimento cartesiano globale
CSYS,0
```

```
!ambiente di pre-processo
/POST1
!*
```

```
!mostrare i risultati nel sistema di riferimento cartesiano
RSYS,0
```

```
AVPRIN,0
AVRES,2,
/EFACET,1
LAYER,0
FORCE,TOTAL
!*
```

```
!creo un file txt
*CFOPEN,PATHCON1,TXT,,
*vwrite
('DISTANZA DAL INTAGLIO','      ','SIGMA X')
```



```
*CFCLOS
```

```
!definisco un path sulla faccia superiore del piatto principale  
!lungo la mezzeria  
PATH,PATHCON,2,30,50,
```

```
ppath,1,,0, 0,0,0  
ppath,2,,RG, 0,0,0
```

```
!definisco la tensione sigma x  
PDEF, ,S,X,AVG
```

```
/PBC,PATH, ,0  
!*  

```

```
!salvo il path negli array  
PAGET,TRACPOIN,POIN  
PAGET,TRACDATA,TABL  
PAGET,TRACLABL,LABE
```

```
!STAMPO I RISULATATI DEL PATH  
*CFOPEN,PATHCON1,TXT,,append  
*vwrite,TRACDATA(1,4),TRACDATA(1,5)  
(F13.9,'      ',F13.9)  
*CFCLOS
```

```
!salvo il submodel  
SAVE,'submodel1~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','db',      !nnnnnn
```

```
FINISH
```

```
!pulisco lo spazio di lavoro Ansys  
/CLEAR,NOSTART  
/COM,ANSYS RELEASE 14.0  UP20111024  15:10:37  08/22/2013
```

A.6 Sotto modelli dal 2° in poi

```
!ciclo sub-model 2-3-4-5
```

```
!inizio con un ciclo do dove ad ogni ogni ciclo simulo un sotto-modello
```

```
*do,sub,2,5,1
```

```
!sub è il numero del sotto-modello
```

```
!numersub è la stringa del numero sub  
numerosub=CHRVAL(sub)
```

```
!su è il numero del sotto-modello precedente  
su=sub-1
```

```
!stringa del numero del sotto-modello precedente
```

subprec=CHRVAL(su)

!fattore di scala tra il sotto-modello n e il sotto-modello n+1
rap=5

!do un titolo al file usando la stringa definita in precedenza
/FILENAME,submodel%numerosub%,0

!entro nel ambiente di preprocesso
/PREP7

!inizializzo alcuni parametri alcuni sono inutili

lineare=0
ortotopro=0
contrazioneimpedita=0
trazione=0
FLESSIONE=0

!TRETRE
SSOLID187=0
Ssolid92=0

!QUAD
Ssolid95=0
SSOLID186=0

!qui le stringhe comprese tra i simboli del dollaro vengono sostituite da matlab
!da valori o stringhe decise dall'utente, con i parametri in tal modo definiti si
!costruirà in seguito la geometria e si assegneranno le adeguate condizioni al contorno

t1=\$t1\$
t2=\$t2\$
h1=t1*10+t2
h2=t2*5+t1
G=\$g\$/2
a1=\$a1\$
a2=a1
d=\$d\$
\$sollecitazione\$=1
e=\$young\$
v=\$poisson\$
\$defosol\$=1
S\$elemento\$=1 !\$\$

!
!scelgo il raggio maggiore del semi-cilindretto in funzione della profondità del giunto per
!limitare la pesantezza del calcolo
Rg=G/20*0.5

!limito i valore massimo e minimo che il raggio del semi-cilindro maggiore può raggiungere
*IF,RG,LT,0.5,THEN


```

MPDATA,EX,1,,e
MPDATA,EY,1,,e
MPDATA,EZ,1,,e
MPDATA,PRXY,1,,v
MPDATA,PRYZ,1,,0
MPDATA,PRXZ,1,,0
MPDATA,GXY,1,,e/(2*(1+v))
MPDATA,GYZ,1,,e/(2*(1+v))
MPDATA,GXZ,1,,e/(2*(1+v))

```

```

*ELSEIF,contrazioneimpedita,EQ,1,THEN
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,e
MPDATA,PRXY,1,,v

```

```

*ENDIF
!*
!*

```

```

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!

```

!le procedure nel caso di elementi tetraedrici sono differenti da quelle degli elementi cubici
!con un controllo if si esegue una rispetto all'altra in base al tipo di elemento definito

!si comincia con gli elementi tetraedrici
!qui il piede del cordone viene modellato a tratti con una serie di semi-cilindri distanziati

```

*IF,SSOLID187,EQ,1,OR,Ssolid92,EQ,1,THEN

```

!tramite alcuni parametri definiti all'inizio tra cui il numero del sotto-modello in esecuzione
!si controlla la dimensione dei semi-cilindretti
!è importante che il rapporto raggio lunghezza di questi ultimi sia abbastanza alto perché sui
!fianchi dei cilindretti si assegnano spostamenti non arrivati a convergenza
!nel caso di questo script il rapporto è pari a 10

```

lung=g/(3*rap**(sub-1))

```

!creo due semi-cilindri con la lunghezza scelta

```

CYL4,0,0,0,0,rg,-225,lung
CYL4,0,0,0,0,rp,-225,lung

```

!elimino il volume più piccolo

```

VDELE, 2

```

!taglio il volume rimasto con le aree del più piccolo

```

FLST,3,5,5,ORDE,2
FITEM,3,6
FITEM,3,-10
VSBA, 1,P51X

```

!creo le linee per creare un area di divisione sulla bisettrice

```

LSTR, 4, 5

```

```

LSTR, 2, 3
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,1
LDIV,P51X,0.5, ,2,0
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,2
LDIV,P51X,0.5, ,2,0
LSTR, 7, 6
LSTR, 12, 1

```

```

!*
LEXTND,10,6,2*rg,0
!*

```

```

LEXTND,11,1,2*rg,0
LSTR, 13, 14
LSTR, 7, 12

```

```

FLST,2,4,4
FITEM,2,27
FITEM,2,15
FITEM,2,14
FITEM,2,18
AL,P51X

```

!qui ho finito di creare l'area sulla bisettrice
!creare l'area per dividere i due semi-cilindri non è
!necessario ma rende chiaro visivamente la bisettrice
!ed è utile per controllare che i futuri path siano posizionati correttamente

```

!taglio in due i i due volumi con l'area giacente sulla bisettrice dell'angolo di apertura
FLST,2,2,6,ORDE,2
FITEM,2,2
FITEM,2,-3
VSBA,P51X, 1

```

```

!elimino le linee inutili
FLST,2,8,4,ORDE,8
FITEM,2,1
FITEM,2,2
FITEM,2,5
FITEM,2,6
FITEM,2,10
FITEM,2,11
FITEM,2,18
FITEM,2,27
LDELE,P51X, , ,1

```

```

!traslo il volumi creati in modo tale che il baricentro del semi-cilindretto si trovi
!ad un ventesimo della lunghezza del cordone di saldatura modellato
FLST,3,4,6,ORDE,3
FITEM,3,1
FITEM,3,4
FITEM,3,-6
VGEN, ,P51X, , ,0,0,g/20-lung/2, , ,1

```

!scelgo il tipo di mesh il type 2 è la mesh 3d in questo caso composta da elementi tetraedrici
TYPE, 2

MAT, 1
REAL,
ESYS, 0
SECNUM,
!*

!definisco le globali dimensioni della mesh
ESIZE,rp/5,0,

!mesh free
MSHKEY,0

!mesh di tetraedri
MSHAPE,1,3d

!eseguo la mesh sui volumi di dimensioni minori(assolutamente prima loro)
!quelli più prossimi all'intaglio

FLST,5,2,6,ORDE,2
FITEM,5,1
FITEM,5,4
CM,_Y,VOLU
VSEL, , , P51X
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2

!eseguo la mesh dei volumi più grandi
!rispetto la dimensione globale della mesh
ESIZE,rg/5,0,

MSHKEY,0
MSHAPE,1,3d

!mesho i volumi rimasti
FLST,5,2,6,ORDE,2
FITEM,5,5
FITEM,5,-6
CM,_Y,VOLU
VSEL, , , P51X
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2

!*

!creo 10 copie del volume meshato lungo tutto il piede del cordone di saldatura a distanze fisse e regolari

FLST,3,4,6,ORDE,3
FITEM,3,1
FITEM,3,4
FITEM,3,-6
VGEN,10,P51X, , ,0,0,g/10, ,0

!seleziono le aree a cui devo assegnare gli spostamenti nodali (tutte le superfici di taglio)

FLST,5,100,5,ORDE,77
FITEM,5,2
FITEM,5,-4
FITEM,5,7
FITEM,5,9
FITEM,5,11
FITEM,5,19
FITEM,5,-21
FITEM,5,23
FITEM,5,-27
FITEM,5,29
FITEM,5,-31
FITEM,5,34
FITEM,5,-36
FITEM,5,38
FITEM,5,40
FITEM,5,44
FITEM,5,-45
FITEM,5,47
FITEM,5,-49
FITEM,5,52
FITEM,5,-54
FITEM,5,56
FITEM,5,58
FITEM,5,62
FITEM,5,-63
FITEM,5,65
FITEM,5,-67
FITEM,5,70
FITEM,5,-72
FITEM,5,74
FITEM,5,76
FITEM,5,80
FITEM,5,-81
FITEM,5,83
FITEM,5,-85
FITEM,5,88
FITEM,5,-90
FITEM,5,92
FITEM,5,94
FITEM,5,98
FITEM,5,-99
FITEM,5,101
FITEM,5,-103
FITEM,5,106
FITEM,5,-108

```

FITEM,5,110
FITEM,5,112
FITEM,5,116
FITEM,5,-117
FITEM,5,119
FITEM,5,-121
FITEM,5,124
FITEM,5,-126
FITEM,5,128
FITEM,5,130
FITEM,5,134
FITEM,5,-135
FITEM,5,137
FITEM,5,-139
FITEM,5,142
FITEM,5,-144
FITEM,5,146
FITEM,5,148
FITEM,5,152
FITEM,5,-153
FITEM,5,155
FITEM,5,-157
FITEM,5,160
FITEM,5,-162
FITEM,5,164
FITEM,5,166
FITEM,5,170
FITEM,5,-171
FITEM,5,173
FITEM,5,-175
FITEM,5,178
FITEM,5,-180
ASEL,S,,P51X

```

```

!selezione i nodi appartenenti alle aree
NSLA,S,1

```

```

!creo un file con estensione .node in cui salvo le coordinate nodali dei nodi selezionati
!e il loro numero identificativo a loro assegnato

```

```

NWRITE,'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$', 'node',' ',0

```

```

!riselezione tutte le entità definite
ALLSEL,ALL

```

```

!salvo il lavoro fin qui eseguito
SAVE,'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$', 'db',

```

```

FINISH

```

```

!poiché la stringa numerosub mi serve ancora in seguito e verrebbe cancellata dai comandi clear
!salvo i parametri fin qui definiti in un apposito file con il comando parsav

```

```

PARSAV,scalar,param,param

```

```

!pulisco lo spazio di lavoro ansys

```



```
/CLEAR,NOSTART
```

```
!ricarico i vecchi parametri  
PARRES,CHANGE,param,param
```

```
!ricarico il sub-model precedente ( sub-model n-1 )  
RESUME,'submodel%subprec%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','db',
```

```
!ricarico una seconda volta i vecchi parametri  
PARRES,CHANGE,param,param
```

```
!entro nel ambiente di post-processor  
/POST1
```

```
!assegno gli spostamenti nodali del sub-model n-1 ai nodi del listato con estensione .node del sub-model n
```

```
CBDOF,'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','node','  
,submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','cbdo','0,0
```

```
!ricarico il sub model n  
RESUME, 'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$ ', 'db' ,
```

```
!ricarico una seconda volta i vecchi parametri  
PARRES,CHANGE,param,param
```

```
FINISH
```

```
!entro nel ambiente di pre-processo  
/PREP7
```

```
!assegno gli spostamenti nodali caricando il file .cbdo  
/INPUT,'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','cbdo',  
/INPUT,'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','cbdo',,cb1,0  
FINISH
```

```
!!lancio la soluzione  
/SOL  
/STATUS,SOLU  
SOLVE  
FINISH
```

```
/POST1
```

```
!creo un file txt  
*CFOPEN,PATHSUBMODEL%numerosub%,TXT,  
*vwrite  
( 'DISTANZA DAL INTAGLIO',' ', 'DISTANZA DAL CENTRO',' ', 'SY-POLARE',' ', 'S1',' ', 'S2',' ', 'S3')  
*CFCLOS
```

```
!definisco i gradi come unità di misura
*AFUN, DEG
```

```
!calcolo il seno e il coseno
S=SIN(-112.5)
C=COS(-112.5)
```

```
!definisco una serie di path dall'apice lungo la bisettrice nel centro dei semi-cilindretti
*DO, i, g/20, g-g/20, g/10
PATH, PATHSUB, 26, 30, 1,
n=0
```

```
!definisco i punti del path in creazione tramite le coordinate nodali
*DO, j, 0, rg, rg/25
n=n+1
ppath, n, j*c, j*s, i, 0
*ENDDO
!*
```

```
!creo un sistema di riferimento polare incentrato all'apice
CSKP, 11, 1, 1, 9, 15, 1, 1,
```

```
!attivo il sistema di riferimento appena creato
CSYS, 11,
```

```
!attivo la visualizzazione degli output nel sistema polare
RSYS, 11
```

```
AVPRIN, 0
AVRES, 2,
/EFACET, 1
LAYER, 0
FORCE, TOTAL
!*
```

```
!definisco i valori da definire lungo il path
!sigma theta theta
PDEF, , S, Y, AVG
```

```
!le tre tensioni principali
PDEF, , S, 1, AVG
PDEF, , S, 2, AVG
PDEF, , S, 3, AVG
/PBC, PATH, , 0
!*
```

```
!creo una stringa con la distanza i dalla mezzzeria del giunto
str1= CHRVAL(i)
```

```
!taglio la stringa se è troppo lunga
stringa = STRSUB(Str1, 1, 3)
```

```
!salvo le informazioni relative al path negli array usando la stringa appena create per nominarli
```

```
PAGET,T%stringa%POIN,POIN
PAGET,T%stringa%DATA,TABL
PAGET,T%stringa%LABL,LABE
```

```
!stampo i risultati in un file .txt
!STAMPO I RISULATATI DEL PATH
*CFOPEN,PATHSUBMODEL%numerosub%,TXT,,append
*vwrite,T%stringa%DATA(1,4),T%stringa%DATA(1,3),T%stringa%DATA(1,5),T%stringa%DATA(1,6),T
%stringa%DATA(1,7),T%stringa%DATA(1,8)
(F13.9,' 'F13.9,' 'F13.9,' 'F13.9,' 'F13.9,' 'F13.9)
*CFCLOS
```

```
!vecchie stringhe inutili
PADEL,PATHSUB
PATH,STAT
```

```
*ENDDO
```

```
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!qqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqq
```

```
!ora comincia la procedura nel caso di elementi parallelepipedi
*ELSEIF,SSolid95,EQ,1,OR,SSOLID186,EQ,1,THEN
```

```
!creo le due cerchi
CYL4,0,0,Rg
CYL4,0,0,Rp
```

```
!costruisco una serie di linee per tagliare correttamente i cerchi con
!!angolo di apertura desiderato
LSTR, 1, 3
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,9
LDIV,P51X,0.5, ,2,0
!*
!*
```

```
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,2
LDIV,P51X,0.5, ,2,0
LSTR, 9, 10
LPLOT
LDELE, 10, , ,1
FLST,3,2,4,ORDE,2
FITEM,3,9
FITEM,3,12
ASBL, 1,P51X
```

```
!ora elimino le aree tenendo le linee
ADELE, 3, , ,1
ADELE, 2
```

```
!taglio le aree di dimensioni maggiori con le linee di quelle piccole
FLST,3,4,4,ORDE,2
```

```
FITEM,3,5
FITEM,3,-8
ASBL, 4,P51X
```

```
!creo la bisettrice
LSTR, 10, 1
LANG, 5, 9,90, ,
!*
LEXTND,9,9,rg,1
```

```
!elimino le linee di costruzione ormai inutili
FLST,2,3,4,ORDE,3
FITEM,2,5
FITEM,2,-6
FITEM,2,9
LDELE,P51X, , ,1
```

```
!taglio in due le aree con la bisettrice
ASBL, 2, 12
LSTR, 12, 9
ASBL, 1, 3
```

```
!mesho le linee in modo da ottenere una mesh ben guidata
LESIZE,10,,,7,1
LESIZE,3,,,7,1
LESIZE,1,,,7,1
```

```
LESIZE,14,,,7,5
LESIZE,9,,,7,1/5
LESIZE,13,,,7,1/5
```

```
LESIZE,2,,,5,1
LESIZE,6,,,7,1
LESIZE,16,,,3,1
LESIZE,8,,,10,1
```

```
LESIZE,11,,,5,1
LESIZE,5,,,7,1
LESIZE,15,,,3,1
LESIZE,4,,,10,1
```

```
!procedo con la mesh delle aree
!selezione il tipo di mesh in questo caso il type 1 è la mesh piana plane 183
TYPE, 1
```

```
MAT, 1
REAL,
ESYS, 0
SECNUM,
!*
!mesh FREE
MSHKEY,0
```

```
!mesho le aree
FLST,5,4,5,ORDE,2
FITEM,5,2
```

```

FITEM,5,-5
CM,_Y,AREA
ASEL,,,P51X
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
!*
AMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*

```

!ora ci si appresta a estrarre le aree
!k= DEFINITO ALL' INIZIO

!seleziono il secondo tipo di mesh (il secondo 2) associato al mesh
!tridimensionale di parallelepipedi solid 186 solid 95
TYPE, 2

!opzioni sulla lunghezza degli estrusione degli elementi
!il parametro k è definito all'inizio
EXTOPT,ESIZE,k,1,

!assegno di eliminare la mesh 2d una volta eseguita la estrusione
EXTOPT,ACLEAR,1
!*
EXTOPT,ATTR,0,0,0
MAT,1
REAL,_Z4
ESYS,0
!*

!estrude la mesh 3d
FLST,2,4,5,ORDE,2
FITEM,2,2
FITEM,2,-5
VEXT,P51X, , ,0,0,g,,,

!poiché si modella tutto il piede del cordone di saldatura alle estremità
!si assegnano le condizioni al contorno necessarie
FLST,2,4,5,ORDE,2
FITEM,2,2
FITEM,2,-5
DA,P51X,SYMM

!ulteriori condizioni al contorno nel caso di aver imposto uno stato piano di deformazione
*IF,contrazioneimpedita,EQ,1,THEN

FLST,2,4,5,ORDE,4

```
FITEM,2,1
FITEM,2,10
FITEM,2,17
FITEM,2,21
DA,P51X,SYMM
```

```
*ENDIF
```

```
!si selezionano le aree con i nodi a cui assegnare gli spostamenti nodali
```

```
FLST,5,4,5,ORDE,4
FITEM,5,12
FITEM,5,-13
FITEM,5,18
FITEM,5,-19
ASEL,S,,P51X
```

```
!si selezionano i nodi giacenti sulle aree appena selezionate
```

```
NSLA,S,1
```

```
!creo un file con estensione .node in cui salvo le coordinate dei nodi selezionati e il  
!loro numero di riferimento
```

```
NWRITE,'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$', 'node','',0
```

```
!riseleziono tutte entità
```

```
ALLSEL,ALL
```

```
!salvo il lavoro fin qui svolto
```

```
SAVE,'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$', 'db',
```

```
FINISH
```

```
!poiché ho necessita di non perdere alcune parametri stringa che verrebbero cancellati con il comandi
```

```
!clear o resume , salvo tutti i parametri in un apposito file con il comando
```

```
PARSAV,scalar,param,param
```

```
!pulisco lo spazio di lavoro ansys
```

```
/CLEAR,NOSTART
```

```
!ricarico i parametri salvati
```

```
PARRES,CHANGE,param,param
```

```
!carico il sotto-modello precedente (sub-model n-1)
```

```
RESUME,'submodel%subprec%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$', 'db',
```

```
!ricarico i vecchi parametri
```

```
PARRES,CHANGE,param,param
```

```
!entro nel ambiente di post processor
/POST1
```

```
!creo un file con estensione .cbdo i cui ai nodi salvati nel file .node assegno
! gli spostamenti nodali del sub-model attualmente aperto sub-model (n-1)
CBDOF,'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$', 'node', ' '
      , 'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$', 'cbdo', ' ', 0, 0
```

```
!ricarico il sub model n
RESUME,'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$', 'db',
```

```
!ricarico i vecchi parametri
PARRES,CHANGE,param,param
```

```
FINISH
```

```
!entro nel ambiente di pre-processo
/PREP7
```

```
!assegno gli spostamenti ottenuti dal modello precedente al modello attuale
/INPUT,'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$', 'cbdo',
/INPUT,'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$', 'cbdo', :,cb1, 0
FINISH
```

```
!!lancio la soluzione
/SOL
/STATUS,SOLU
SOLVE
FINISH
```

```
!creo un sistema di riferimento polare incentrato all'apice
CSKP,11,1,9,1,4,1,1,
```

```
!!lo attivo
CSYS,11,
```

```
!entro nel ambiente di post processo
/POST1
!*
```

```
!impongo la visualizzazione degli output nel sistema di riferimento polare
RSYS,11
```

```
AVPRIN,0
AVRES,2,
/EFACET,1
LAYER,0
FORCE,TOTAL
!*
```

```
!creo un file .txt
*CFOOPEN,PATHSUBMODEL%numerosub%,TXT,
*vwrite
('DISTANZA DAL INTAGLIO,' ', 'DISTANZA DAL CENTRO,' ', 'SY-POLARE,' ', 'S1,' ', 'S2,' ', 'S3')
*CFCLOS
```

```
!seleziono i gradi
*AFUN, DEG
```

```
!calcolo il seno e il coseno della bisettrice
S=SIN(-112.5)
C=COS(-112.5)
```

```
!definisco una serie di path lungo il cordone di saldatura
*DO, i, 0, g,g/20
PATH,PATHSUB,26,30,1,
n=0
```

```
!definisco i nodi appartenenti al path in creazione lungo la bisettrice dell'intaglio dall'apice allontanandosi
*DO, j, 0, rg,rg/25
n=n+1
ppath,n,j*c, j*s,i,0
*ENDDO
!*
```

!qui è importante non prendere il calore medio (avg) ma delle tensioni
!infatti medierebbe il valore lungo la profondità per ogni path dando risultati
!identici per ogni path

```
!tensione sigma theta theta
PDEF, ,S,Y,NOAVG
```

```
!le tre tensioni principali
PDEF, ,S,1,NOAVG
PDEF, ,S,2,NOAVG
PDEF, ,S,3,NOAVG
/PBC,PATH, ,0
!*
```

```
!creo una stringa la distanza i del path dalla mezzeria del giunto
str1= CHRVAL(i)
```

```
!taglio la stringa se è troppo lunga
stringa = STRSUB(Str1, 1,3)
```

```
!salvo il path in appositi array che nomino con la stringa appena creata
PAGET,T%stringa%POIN,POIN
PAGET,T%stringa%DATA,TABL
PAGET,T%stringa%LABL,LABEL
```

```
!STAMPO I RISULATATI DEL PATH
*CFOOPEN,PATHSUBMODEL%numerosub%,TXT,,append
```



```
*vwrite,T%stringa%DATA(1,4),T%stringa%DATA(1,3),T%stringa%DATA(1,5),T%stringa%DATA(1,6),T
%stringa%DATA(1,7),T%stringa%DATA(1,8)
(F13.9,'      ',F13.9,'      ',F13.9,'      ',F13.9,'      ',F13.9,'      ',F13.9)
*CFCLOS
```

```
!vecchie stringe inutilizzate
PADEL,PATHSUB
PATH,STAT
```

```
*ENDDO
```

```
*ENDIF
```

```
!salvo il submodel
SAVE,'submodel%numerosub%~$t1$~$t2$~$a1$~$d$~$young$~$poisson$','db',
```

```
FINISH
```

```
!pulisco lo spazio di lavoro ansys
/CLEAR,NOSTART
/COM,ANSYS RELEASE 14.0  UP20111024   15:10:37  08/22/2013
!*
```

```
!il ciclo do continua fino al valore impostato n generando quindi n sub-model
```

```
*ENDDO
```