



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**  
**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

**PROGETTAZIONE DI UNA TESTA DI TAGLIO IN  
ACCIAIO PER UNA SEGATRICE A NASTRO E  
CONFRONTO PRESTAZIONALE, ECONOMICO E DEL  
PROCESSO PRODUTTIVO CON UNA TESTA DI  
TAGLIO IN GHISA**

**DESIGN OF A STEEL FABRICATED CUTTING HEAD  
FOR A BAND SAWING MACHINE AND  
PERFORMANCE, ECONOMIC AND PRODUCTION  
PROCESS BENCHMARK WITH A CAST IRON  
CUTTING HEAD**

Relatore:

Prof. Michele Germani

Correlatore:

Ing. Matteo Romiti

Tesi di Laurea di:

Giacomo Biagiotti

*Anno Accademico 2021/2022*

# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>1</b>
<b>1 - MEP SpA</b> .....	<b>2</b>
<b>2 - CLASSIFICAZIONE DELLE SEGATRICI</b> .....	<b>4</b>
<b>3 - LA TESTA DI TAGLIO</b> .....	<b>11</b>
3.1 - DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DELLA TESTA DI TAGLIO .....	19
<b>4 - PROGETTAZIONE STRUTTURE DELLE TESTE DI TAGLIO</b> .....	<b>21</b>
4.1 - VINCOLI GEOMETRICI .....	21
4.2 - DESCRIZIONE DELLE TESTE DI TAGLIO DISEGNATE .....	25
<b>5 - DEFINIZIONE PROVE E CARICHI AGENTI</b> .....	<b>40</b>
5.1 PREPARAZIONE DEL MODELLO CAD.....	40
5.2 PROVA STATICA: DEFINIZIONE CARICHI AGENTI E VINCOLI .....	41
5.3 PROVA DINAMICA: DEFINIZIONE DEL WORKFLOW .....	45
5.4 CENNI SULLA TEORIA DI TAGLIO DELLE SEGATRICI A NASTRO .....	45
5.5 PROVA DINAMICA: DEFINIZIONE CARICHI AGENTI E VINCOLI .....	50
5.5.1 SCENARIO DI TAGLIO 1 .....	52
5.5.2 SCENARIO DI TAGLIO 2 .....	55
5.5.3 SCENARIO DI TAGLIO 3 .....	59
<b>6 - RISULTATI</b> .....	<b>62</b>
6.1 RISULTATI ANALISI STATICA .....	62
6.1.1 GHISA .....	62
6.1.2 ACCIAIO 1.....	64
6.1.3 ACCIAIO MONOBLOCCO .....	67
6.1.4 ACCIAIO 3.....	69
6.1.5 ACCIAIO 4.....	71
6.2 RISULTATI ANALISI MODALE.....	73
6.2.1 GHISA .....	73
6.2.2 ACCIAIO 1.....	78
6.2.3 ACCIAIO MONOBLOCCO .....	83
6.2.4 ACCIAIO 3.....	86
6.2.5 ACCIAIO 4.....	90
6.3 RISULTATI ANALISI TRANSIENTE.....	94
6.3.1 GHISA .....	96

6.3.2 ACCIAIO 1.....	101
6.3.3 ACCIAIO MONOBLOCCO .....	104
6.3.4 ACCIAIO 4.....	107
<b>7 - PROCESSI PRODUTTIVI E COSTIFICAZIONI.....</b>	<b>110</b>
7.1 TESTA DI TAGLIO IN GHISA .....	110
7.1.1 CENNI SUI PROCESSI DI FONDERIA.....	110
7.1.2 PROCESSO PRODUTTIVO E COSTIFICAZIONE GHISA.....	117
7.2 TESTE DI TAGLIO IN ACCIAIO .....	127
7.2.1 PROCESSO PRODUTTIVO TESTE DI TAGLIO IN ACCIAIO .....	127
7.2.2 COSTIFICAZIONE TESTE DI TAGLIO IN ACCIAIO .....	131
7.2.3 CONFRONTO FRA COSTI E PROCESSI PRODUTTIVI ACCIAIO.....	134
<b>8 - CONFRONTO PRESTAZIONALE, ECONOMICO E DI PROCESSO PRODUTTIVO.....</b>	<b>135</b>
<b>9 - CONCLUSIONI .....</b>	<b>144</b>





## INTRODUZIONE

Quasi sempre, quando si parla del processo produttivo di un oggetto, si pensa a quali macchinari abbiano eseguito la lavorazione da grezzo a finito ed il pensiero va subito a torni, fresatrici, alesatrici, piegatrici, curvatubi e presse: quasi mai si pensa con quale macchinario siano state preparate le materie prime ed è qui che entrano in gioco le segatrici. Esse infatti rivestono un ruolo di primaria importanza per la preparazione delle materie prime da lavorare e la qualità del taglio influenza in maniera significativa il proseguo del ciclo di lavorazione: si pensi che con una segatrice in grado di eseguire un taglio preciso con un'alta ripetibilità, il sovrametallo da lasciare si potrebbe ridurre sensibilmente andando ad evitare quindi sprechi di materiale con conseguente risparmio economico oppure in alcune applicazioni si potrebbero addirittura evitare successive lavorazioni.

MEP SpA (acronimo di Magnani Enzo Pergola) è stata fondata nel 1964 da Enzo Magnani e da una piccola officina nel centro storico di Pergola è diventata una tra le aziende leader mondiali di produzione di segatrici per metalli con sedi in Canada, USA, Cina, Brasile con l'headquarter in Italia a Pergola.

Il catalogo MEP può vantare un'ampia gamma di segatrici per metalli in grado di soddisfare ogni esigenza di taglio e, in particolare, si contraddistingue per l'impiego di teste di taglio in ghisa, materiale largamente impiegato nel campo delle macchine utensili per via della sua elevata lavorabilità e della sua elevata capacità di smorzare le vibrazioni.

Il seguente lavoro di tesi è stato svolto su un nuovo modello in fase di sviluppo di una segatrice a nastro a doppia colonna che trova applicazione nel campo delle carpenterie metalliche pesanti e nelle officine che eseguono lavorazioni meccaniche di precisione su componenti di dimensioni elevate. Per questo nuovo modello di segatrice a nastro è stata effettuata dall'ufficio commerciale una previsione di vendita di nove unità all'anno.

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è di proporre diverse soluzioni per delle teste di taglio in acciaio in alternativa alla testa di taglio in ghisa sviluppata dall'ufficio R&D in MEP. Queste soluzioni in acciaio andranno poi confrontate in primis tra loro, e poi con la soluzione in ghisa sia sul piano prestazionale con analisi statiche e dinamiche svolte in Ansys Workbench (dove nelle analisi dinamiche sarà implementato un modello di taglio per segatrici a nastro) sia sul piano economico e di processo produttivo (tramite LeanCOST) per determinare quale sia il materiale più conveniente e che consenta di ridurre il time to market.

## 1 - MEP SpA

MEP Spa (acronimo di Magnani Enzo Pergola), fondata nel 1964 da Enzo Magnani, è una tra le aziende leader mondiali di produzione di segatrici per metalli (Figura 1.1). Nella sua piccola officina nel centro storico di Pergola, Enzo Magnani iniziò a costruire le prime TV300 troncatrici veloci a disco abrasivo (Figura 1.2). La scelta dei dischi abrasivi è dettata dalla reperibilità di tali utensili che, ruotando a 5500 giri/min, asportavano il materiale in grandi scie di scintille con un taglio poco preciso, ma che per le esigenze dei tempi era ampiamente soddisfacente. Con l'apporto di suo figlio Ezio, la MEP si espande. Ezio, supportato dal punto di vista organizzativo dal nuovo socio Giampaolo Garattoni, guida la crescita commerciale e indirizza lo sviluppo tecnologico dei prodotti e dei processi produttivi, diventando il punto di riferimento per i suoi dipendenti. Enzo, che purtroppo muore giovane a solo 52 anni, non potrà assistere ai tantissimi successi della sua azienda.

Negli anni '70, con l'economia del paese in fermento, nasce la necessità di eseguire dei tagli maggiormente precisi su barre di acciaio piene da avviare alla tornitura di alberi, con superfici non ricotte e indurite come nel caso del taglio abrasivo: è qui che MEP non si fa cogliere impreparata ed inizia a proporre nuovi modelli con tecnologia di taglio a freddo a giri lenti (30/60 m/min), con utensili in acciaio HSS con raffreddamento e lubrificazione a bagno di olio emulsionabile. Nel giro di poco tempo vengono costruiti vari modelli "pendolari" e semiautomatici i quali all'avvio del ciclo effettuavano in sequenza la chiusura della morsa pneumatica, la discesa con controllo idraulico della testa di taglio, il ritorno della testa e la riapertura della morsa.

Con il passare del tempo, le produzioni in serie sono sempre più richieste, ed in questo caso MEP progetta un controllore dedicato in "logica pneumatica" con il quale costruisce la sua prima macchina automatica in grado di garantire l'avanzamento automatico della barra (TRL 300 A). La suddetta macchina (Figura 1.3), in grado di lavorare senza il presidio di un operatore, era capace di fornire il taglio dei pezzi alla misura impostata dalla barra intera. Successivamente la meccanica delle "pendolari" diventerà non adeguata all'automazione e sarà sostituita da un modello molto più performante, ovvero la SV (a discesa verticale). Sulla SV si inizieranno ad applicare i controllori PLC in logica elettronica.

Negli anni '90, una nuova tipologia di segatrici (a freddo e a velocità lente) sta prendendo quota nel mercato: sono le segatrici a nastro, che, impegnando strutture similari a quelle delle macchine a disco, riescono ad ottenere lavorazioni su barre di dimensioni elevate con tagli più sottili e tempi di taglio ridotti, l'unico svantaggio è rappresentato da una superficie lavorata non così uniforme come quella ottenuta con il taglio con i dischi HSS. A questo fenomeno, MEP si adegua in tempi record progettando e realizzando il suo primo modello in fusione di ghisa SHARK 310 SX semiautomatica dotata di un controllo a scheda elettronica dedicata MEP04. Successivamente verrà poi presentato il modello automatico con alimentazione di barra con controllo tramite i primi plc programmabili.

Gli anni 2000 rappresentano per MEP l'ascesa da ditta individuale a competitore globale: essa acquisisce e fonda varie società sotto il logo MEP Group. MEP inizia a crescere in modo esponenziale, vende i suoi prodotti in tutto il mondo, acquisisce il gruppo HYDMECH in Nord America e si dedica sempre di più a progetti ambiziosi con macchine sempre più grandi e performanti per la lavorazione di grandi barre piene. È così che viene concepita anche una nuova linea completa di taglio per travi di grandi dimensioni, principalmente per il mercato nordamericano e nordeuropeo dove maggiormente vengono impiegate per le grandi costruzioni in acciaio.

Nel 2008, dopo cinque anni di esperienza sul mercato locale tramite la partecipazione in un Joint Venture, nasce in Cina la MEP SUZHOU, interamente controllata da MEP, localizzata a circa 80 km ad ovest di Shanghai, destinata a presidiare il maggior mercato produttivo del mondo.

Nel 2012 entra un'altra consociata in MEPGroup: si tratta di MEP DO BRASIL, società di vendita e assistenza tecnica che ha permesso al marchio MEP di entrare nel mercato brasiliano per coglierne le opportunità e consolidarne la presenza in Sud America.

Nel 2019 MEP GROUP è diventata una delle 5 divisioni del GROUPE LEGRIS INDUSTRIES.



Figura 1.1: Logo MEP SpA [14].



Figura 1.2: TV 300, la prima segatrice prodotta da MEP [14].



Figura 1.3: Segatrice a disco pendolare TRL 300 P [14].



Figura 1.4: Stabilimenti MEP SpA a Pergola (PU) [14].

## 2 - CLASSIFICAZIONE DELLE SEGATRICI

Le segatrici si suddividono in:

- Alternative
- A nastro
- A disco
- A mola
- Ad attrito

In una segatrice alternativa l'utensile è costituito da una lama, fissata ad un arco (Figura 2.1). L'arco è dotato di un moto alternativo di andata e ritorno ed è attuato da un sistema biella-manovella mosso da un motore elettrico. L'arco scorre su guide prismatiche registrabili tramite un lardone. Un sistema idraulico garantisce l'alzata dell'arco durante la corsa di ritorno.

In una segatrice a nastro (Figura 2.2) l'utensile è un nastro dentato su un lato in acciaio flessibile ed è avvolto su due pulegge. La puleggia motrice ha il supporto fisso, mentre quella condotta ha il supporto mobile per consentire la regolazione della tensione del nastro tramite una vite. Rispetto alle segatrici alternative, quelle a nastro non hanno un tempo passivo di ritorno della lama e hanno un raffreddamento più rapido.

Un'ulteriore suddivisione delle segatrici a nastro, si può effettuare in base alla modalità con la quale è vincolata la testa di taglio: esistono infatti segatrici a nastro a doppia colonna (Figura 2.4) dove la testa di taglio è vincolata tramite due pattini che scorrono lungo delle guide solidali alle colonne e quindi il moto di discesa risulta traslatorio, mentre nelle segatrici a nastro pendolari la testa di taglio è vincolata tramite un perno ed il moto di discesa della testa di taglio è ottenuto tramite una rotazione attorno al suddetto perno.

Nelle segatrici a disco, l'utensile impiegato è un disco avente i denti lungo la periferia. Il disco è posto in rotazione (moto di taglio) durante l'operazione di taglio, mentre il moto di avanzamento può essere orizzontale o verticale a seconda del tipo di macchina ed è ottenuto idraulicamente (ad una velocità lenta durante la corsa di lavoro e veloce per la corsa di ritorno) oppure manualmente per le segatrici più piccole. Il diametro del disco deve essere almeno tre volte lo spessore del materiale da tagliare.

Anche nelle segatrici a disco (Figura 2.3) si può fare un'ulteriore distinzione: nelle segatrici a disco verticali, il moto di avanzamento è dato dalla traslazione verticale della testa di taglio, mentre in quelle orizzontali è dato da una traslazione orizzontale; infine, ci sono anche segatrici a disco pendolari dove la testa di taglio dove è calettato il disco esegue il taglio eseguendo una rotazione attorno ad un perno.

La segatrice a mola, detta anche "troncatrice" è una macchina molto simile per struttura ad una a disco: l'unica differenza risiede nell'utensile che è una mola da taglio, tenera, ad agglomerante elastico (alla gomma o resinoide) e forma a disco. [1]

Le dimensioni del diametro della mola variano da 200 fino a 500 mm e lo spessore da 2 a 4 mm.

La mola lavora con una velocità periferica intorno agli 80 m/s, l'elevato calore sviluppato dallo strisciamento con il pezzo provoca la fusione e di conseguenza il taglio del metallo.



Figura 2.1: Segatrice alternativa [1].



Figura 2.2: Segatrice a nastro pendolare [14].



Figura 2.3: Segatrice a disco pendolare [14].



Figura 2.4: Segatrice a nastro a doppia colonna [14].

L'avanzamento è determinato in funzione della durezza del materiale da tagliare, della natura della mola e della velocità di taglio. È impiegata principalmente nel settore delle carpenterie metalliche.

Infine, l'ultima tipologia di segatrice è quella ad attrito, caratterizzata da una meccanica estremamente semplice e molto simile ad una segatrice a disco. Nella parte superiore è disposta una testa porta disco dove è alloggiato anche il motore elettrico. Il disco dotato di una parte esterna zigrinata ha una velocità periferica variabile nell'intervallo di 150 – 200 m/s [1]. A contatto del pezzo si origina per attrito un riscaldamento elevato e circoscritto alla zona di taglio che provoca la fusione del materiale. Durante l'operazione di taglio, la parte periferica del disco subisce una dilatazione di 0.5 – 1 mm: il taglio del materiale risulta più largo della stessa quantità e si evita lo strisciamento delle superfici tagliate del pezzo su quelle del disco. Siccome la quantità di calore in gioco è elevata, si procede al raffreddamento del disco tramite getto d'acqua oppure tramite una ventilazione molto elevata. Il vantaggio di questa lavorazione è il costo molto limitato dell'utensile, a dispetto però dello svantaggio presentato dalla finitura della superficie lavorata la quale presenta sbavature e una finitura non eccellente ed inoltre una zona della superficie di taglio risulta strutturalmente alterata [1]. Queste segatrici risultano molto efficaci per tagli veloci su acciai molto duri, come ad esempio gli acciai temprati.

Ritornando sulle segatrici a nastro, si andranno a descrivere nello specifico le parti funzionali che la compongono, di seguito riportate:

- Basamento
- Morsa
- Rulli pop-up per sollevamento materiale di taglio
- Quadro comandi
- Archetto o testa di taglio

Il basamento (Figura 2.5) è l'unica struttura della segatrice che poggia sul pavimento dello stabilimento, generalmente è fatto in carpenteria metallica e la struttura prevede asole nella parte inferiore per lo spostamento del macchinario tramite carrello elevatore e anche occhielli di carico per agganciare le catene in caso di movimentazione e sollevamento tramite gru o carroponti.

La struttura comprende un ampio piano di raccolta del fluido refrigerante che viene convogliato nella vasca posteriore passando per il coperchio della vasca e il cassetto raccogli trucioli. Nella parte interna della vasca sono alloggiate all'interno della vasca vi sono alloggiate le elettropompe, le quali aspirano il fluido pulito dal sistema progressivo di filtri.

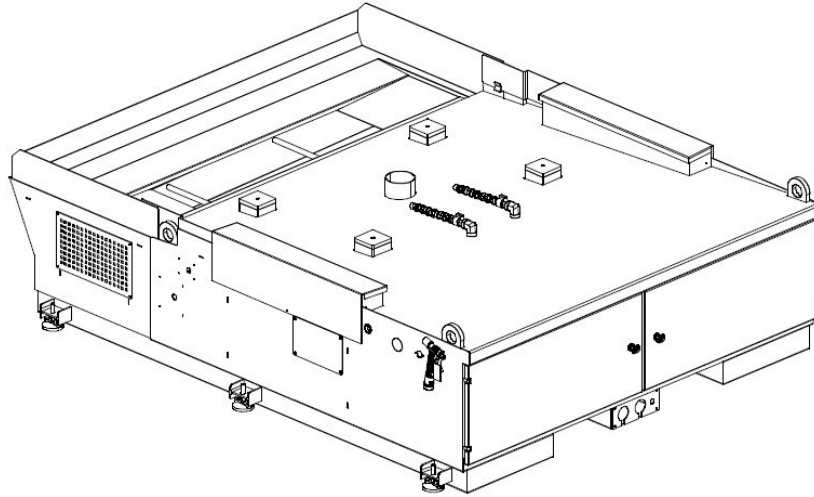


Figura 2.5: Basamento [2].

Nella parte sinistra c'è la pistola del fluido refrigerante per la pulizia del macchinario e il regolatore di pressione delle morse.

All'interno del basamento si trova la centralina idraulica, essa è estraibile dal vano anteriore del basamento ed è fornita di gambe telescopiche ed aziona la testa di taglio e le morse di troncatura. Lo scambio di olio nei circuiti è dato da elettrovalvole pilotate dal controllore della macchina.

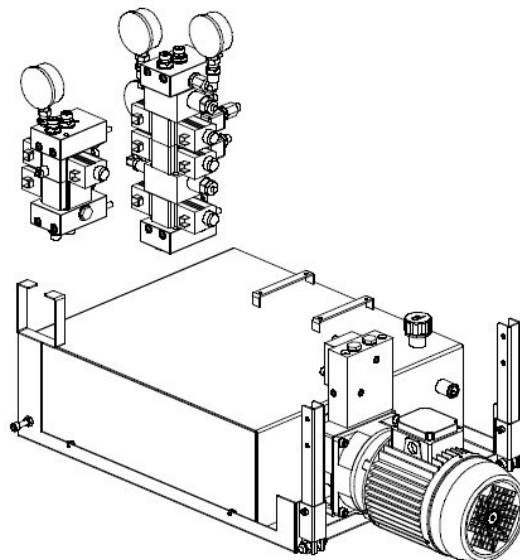


Figura 2.6: Centralina idraulica [2].

Il fissaggio del basamento della macchina a terra avviene tramite due grani posizionati ai lati del basamento e incassati rispetto allo stesso: questi grani vengono avvitati su un dado precedentemente affogato nel cemento e serrati superiormente da un altro dado (Figura 2.7).

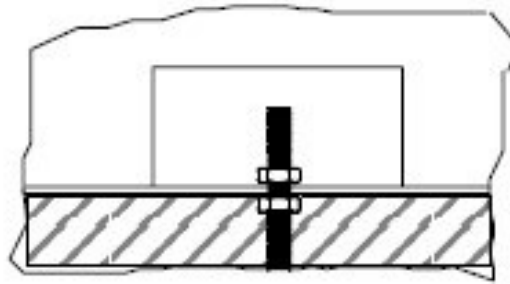


Figura 2.7: Particolare del fissaggio a terra del basamento [2].

Nella parte superiore della struttura del basamento si trovano le morse di troncatura indipendenti che bloccano il materiale;

La morsa verticale (Figura 2.8) serve a bloccare il materiale al piano di taglio, ed è posizionabile manualmente facendola scorrere lungo la guida presente nel montante delle colonne. Il movimento di apertura o chiusura si effettua tramite i relativi tasti della consolle.

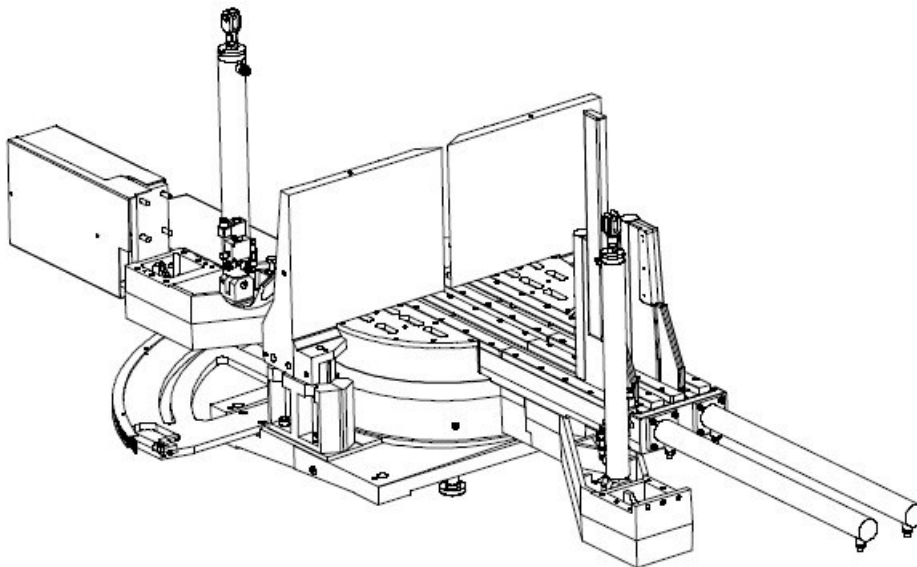


Figura 2.8: Morsa e piano di taglio [2].



La macchina può essere corredata da due dispositivi idraulici a rulli, posizionati sul lato carico e scarico, per il sollevamento del materiale di taglio. Questi accessori sono di grande utilità durante la fase di alimentazione, per agevolare il carico o lo scarico del materiale, e in fase di rotazione della testa per evitare l'interferenza del materiale con il piano di taglio.

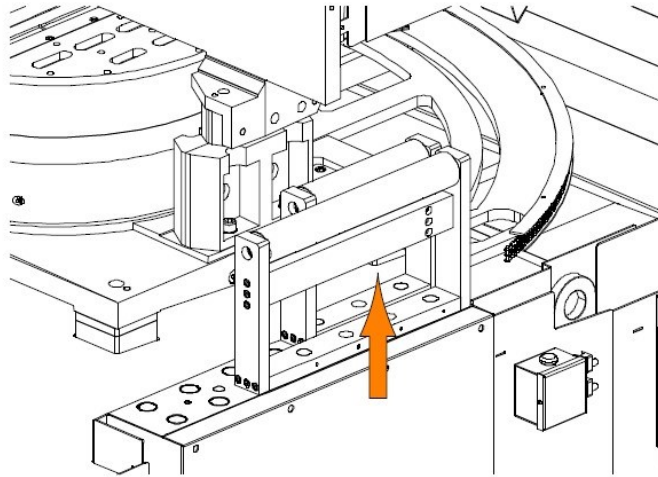


Figura 2.9: Rulli pop-up per sollevamento materiale di taglio [2].

Il quadro comandi ha un grado di protezione IP 54 e al suo interno si trova l'apparecchiatura elettronica. L'accesso ad esso è delimitato da uno sportello montato su cardini chiuso da viti, concepito in modo da impedire ogni tipo di manomissione intenzionale. Il quadro comandi è montato su un pulpito in carpenteria, liberamente posizionabile, che permette all'operatore il monitoraggio costante della zona di taglio, in totale sicurezza [2].



Figura 2.9.1: Quadro comandi [2].

La testa di taglio è l'organo che esegue il taglio ed è composto da un archetto ricavato da una fusione di ghisa sulla quale sono montati: il nastro, gli organi di guida del nastro, il gruppo di tensionamento del nastro, il riduttore a vite senza fine e il motore mandrino. La testa di taglio scorre su guide lineari, con pattini a ricircolo di sfere, montate su colonne, conferendo maggiore stabilità di taglio e durata delle lame.

L'avanzamento è determinato da un cilindro idraulico montato su guide lineari con pattini a ricircolo di sfere. La macchina è dotata di un sistema laser per posizionare con precisione la barra per tagli non di serie o di intestatura.

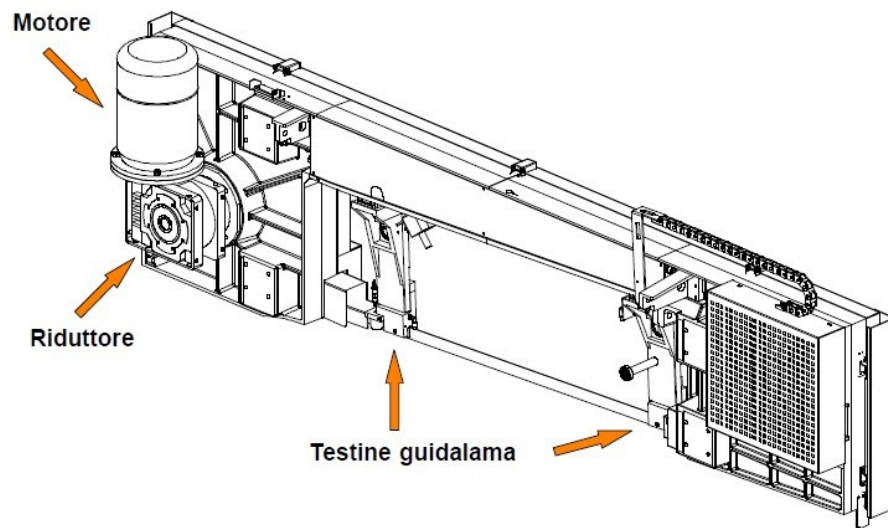


Figura 2.9.2: Testa di taglio [2].

### 3 - LA TESTA DI TAGLIO

In una sega a nastro, la testa di taglio (o archetto) è la struttura nella quale vengono alloggiati la maggior parte degli organi che concorrono al taglio. La struttura della testa di taglio può essere composta da un unico pezzo, generalmente però è composta di più parti per questioni legate ad aspetti produttivi. Il materiale può essere ghisa oppure acciaio.

Essa è l'organo che esegue il taglio ed è composta da una struttura ricavata da una fusione di ghisa oppure in acciaio. Le parti che la compongono sono: sezione puleggia motrice, sezione puleggia folle e la trave centrale si compone di due pezzi per questioni legate ad aspetti produttivi.

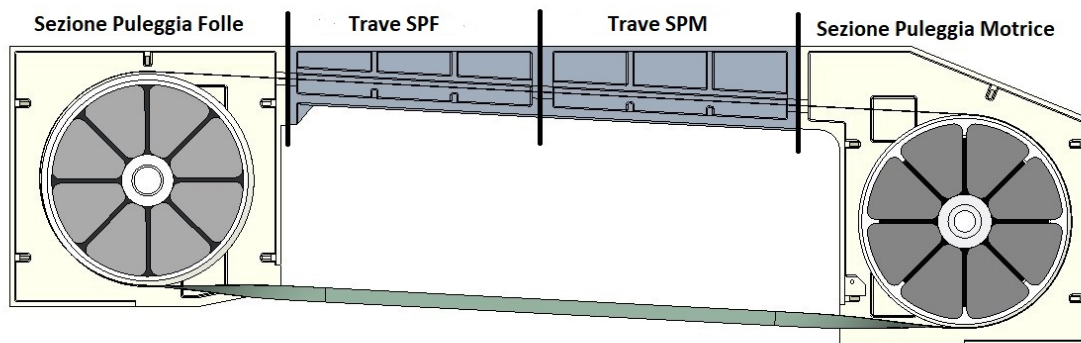


Figura 3.1: Componenti della testa di taglio.

Sulla struttura della testa di taglio sono montati:

- Il nastro
- Gli organi di guida del nastro
- Il gruppo di tensionamento del nastro
- Il riduttore a vite senza fine
- Il motore

Il nastro è a sezione rettangolare; in uno dei lati minori della sezione è presente la dentatura che si sviluppa per tutta la lunghezza del nastro ed entrerà in contatto con il pezzo con un'inclinazione di 3 gradi rispetto al piano di taglio. Il nastro è avvolto su due pulegge-volano, di cui una motrice e una folle. Il tensionamento del nastro avviene tramite lo scorrimento del tendilama che, essendo collegato con la puleggia folle lo pone in tensione, motivo per il quale la lunghezza del nastro è variabile. Il nastro nel taglio è guidato dalla presenza dei due braccetti guidalama, i quali sono solidali alla struttura tramite dei pattini collegati a guide lineari.

Quando si usano delle lame a nastro per il taglio dei metalli è necessario scegliere il passo dei denti, ovvero il numero di denti per pollice (25,4 mm) adeguato al materiale che si deve tagliare. In linea di massima, materiali con pareti sottili come lamiere, tubi e profilati richiedono dentatura fitta mentre grandi sezioni trasversali richiedono una dentatura rada per il maggiore volume del truciolo e per una migliore penetrazione dei denti, stessa cosa vale anche per materiali dolci quali leghe di alluminio e bronzo dolce. È evidente quindi che la scelta del numero di denti per pollice (TPI) dipende quindi dalla dimensione della sezione, dalla durezza del materiale e dalle dimensioni dello spessore della parete: dimensioni molto grandi richiedono l'uso di lame con denti spazati mentre dimensioni piccole richiedono denti più fini. Ad ogni modo è bene che vi siano almeno sei denti impegnati nel taglio.

A titolo esemplificativo si riporta una tabella valida per la tipologia di macchine "Shark" prodotte in MEP SpA che fa una prima distinzione rispetto alla durezza dei materiali (Tabella 3.1):

**Tabella 3.1:** Valori di TPI del nastro in base al materiale da tagliare.

	<b>Acciai poco duri</b> < 61 HRB < 55 kg/mm <sup>2</sup>	<b>Acciai duri</b> > 65 HRB > 65 kg/mm <sup>2</sup>
	<b>NR. DENTI/POLLICE</b>	<b>NR. DENTI/POLLICE</b>
<b>MINIMO</b>	3 / 4	5 / 8
<b>OTTIMO</b>	4 / 6	6 / 10
<b>MASSIMO</b>	8 / 12	10 / 14

La velocità di taglio, indicata con m/min, e la velocità di avanzamento, indicata con cm<sup>2</sup>/min, sono limitate dallo sviluppo di calore in prossimità delle creste dei denti [2]. Una velocità di avanzamento troppo alta determinerà dei tagli non rettilinei sia sul piano verticale che su quello orizzontale. La velocità di taglio dipende, come già detto, dalla resistenza del materiale (Kg/mm<sup>2</sup>), dalla durezza (HRB) e dalle dimensioni delle sezioni più larghe. La velocità di avanzamento dipende dalla sezione del materiale. Per cui, materiali con grandi sezioni, piene o con pareti spesse (s > 5 mm), consentiranno velocità di avanzamento alte, compatibilmente con la capacità di asportazione di truciolo dell'utensile; materiali con pareti sottili, come tubi di piccolo spessore o profili, dovranno essere tagliati con basse velocità di avanzamento e, soprattutto, costanti [2].

Una nuova lama necessita di un periodo di rodaggio che consiste in una riduzione della velocità di avanzamento, circa la metà della velocità di avanzamento normale (da 60 a 70 cm<sup>2</sup>/min su acciai normali), per una superficie asportata di circa 300 – 600 cm<sup>2</sup>. [2]

Un'informazione sulla bontà dei parametri è fornita dalla forma dei trucioli, ad esempio trucioli molto fini o polverizzati indicano una velocità di avanzamento e/o una pressione di taglio troppo bassa (Figura 3.2), trucioli spessi e/o di colore blu, segnalano un sovraccarico della lama (Figura 3.3) mentre trucioli in lunga spirale indicano condizioni di taglio ideali (Figura 3.4) [2].

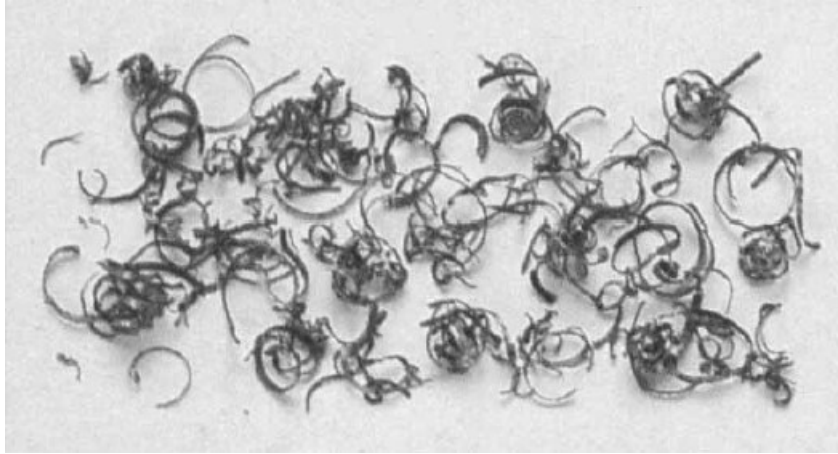


Figura 3.2: Trucioli fini [2].

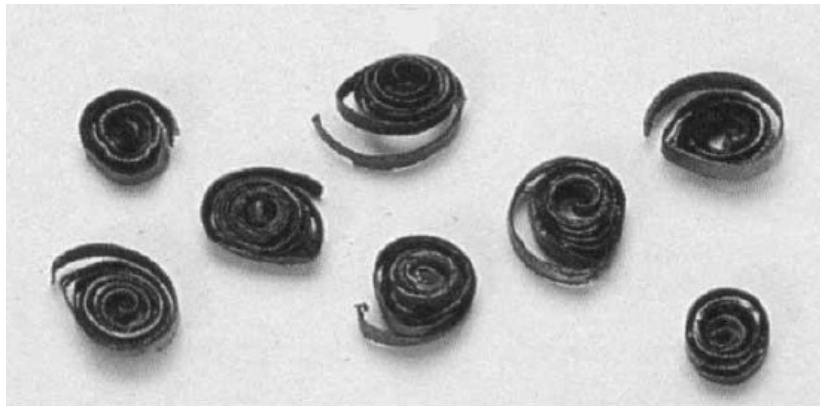


Figura 3.3: Trucioli spessi blu [2].

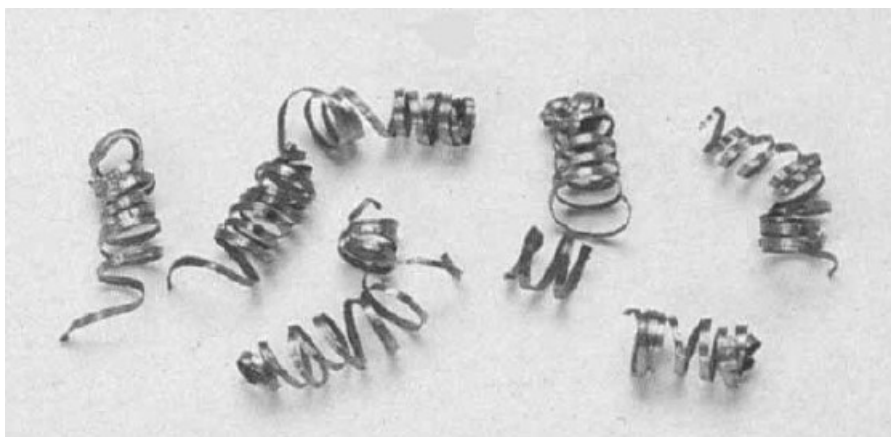


Figura 3.4: Trucioli in lunga spirale [2].

Un aspetto da non sottovalutare è il fluido lubrorefrigerante: esso deve operare in modo da evitare il surriscaldamento dei denti della lama e del materiale nella zona di taglio. Inoltre, deve essere fornito di quantità e pressione sufficienti al fine di asportare i trucioli dalle zone di taglio, deve impedire fenomeni di abrasione dei denti e saldatura dei trucioli sui denti (grippaggio).

Le lame più usate sono le bimetalliche, ossia costituite da un corpo in acciaio al silicio, con grande capacità di resistenza a fatica, e denti in acciaio superrapido; le due parti vengono legate insieme con sistemi di saldatura elettronica o laser. I tipi di denti standardizzati sono definiti M2 ed M42; la differenza è costituita da una maggior durezza della M42, ottenuta tramite l'aggiunta di cobalto, nella composizione dell'acciaio dei denti. Le caratteristiche dei denti sono riepilogate in Tabella 3.2:

**Tabella 3.2:** Elementi alliganti [2].

<b>TIPO LAMA</b>	<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>W</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>	<b>Ni</b>	<b>Co</b>	<b>Al</b>	<b>HRC</b>
<b>CORPO LAMA</b>	0,47	0,75	0,22	1,00		1,00	0,12	0,52		0,08	45-50
<b>HSS M2</b> HRC 65-66											
	0,85	0,25	0,30	4,15	6,37	5,00	1,92				64-66
HRC 45-50											
<b>HSS M42</b> HRC 67-68											
	1,07	0,25	0,20	3,75	1,50	9,50	1,15		8,00		67-69
HRC 45-50											

Un'ulteriore distinzione delle lame, oltre che per le dimensioni e il passo dei denti, è fatta in base alle caratteristiche geometriche che ne determinano i differenti utilizzi:

- angolo di taglio del dente, può essere 0 gradi oppure positivo
- Il passo dei denti può essere costante o variabile
- la stradatura, cioè i diversi allineamenti dei denti, ha molteplici configurazioni

La dentatura convenzionale prevede un angolo di taglio 0 gradi, passo costante ed è impiegata per il taglio di acciai, ghise, materiali laminati o rullati, di dimensioni piccole o medie sia per tagli dritti o inclinati.

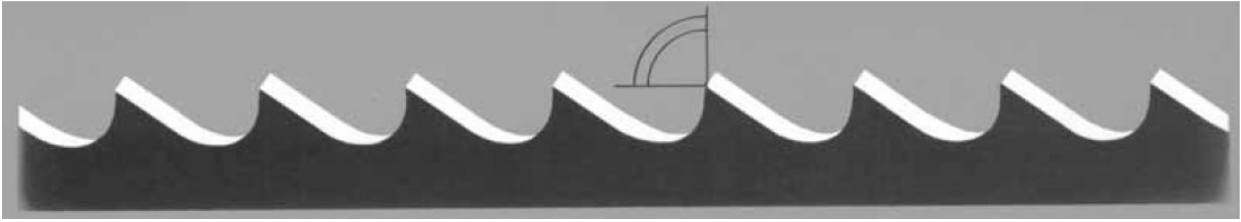


Figura 3.5: Dentatura con angolo di taglio a 0° [2].

Per il taglio di tutti i tipi di materiali e per gli acciai a basso contenuto di carbonio e per sezioni e diametri molto grandi, può essere impiegata una lama a dentatura positiva, ovvero con angolo di taglio positivo 9-10 gradi, a passo costante.

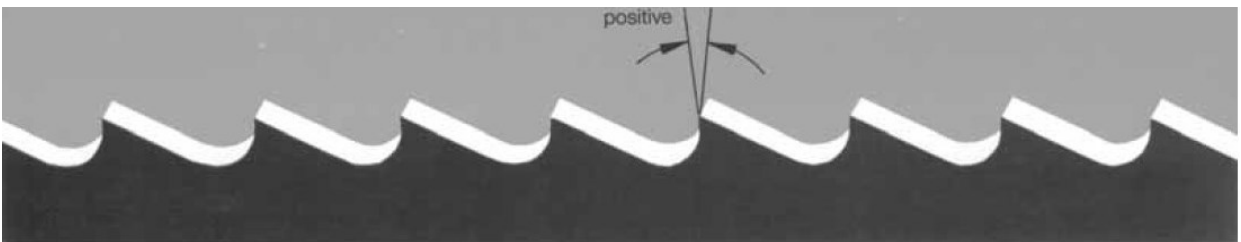


Figura 3.6: Dentatura con angolo di taglio positivo [2].

Qualora l'esigenza di taglio prevedesse un'ampia gamma di materiali diversi sia in dimensioni che in tipologia, si ricorre all'utilizzo di lame con dentature a passo variabile con configurazioni di denti ad angolo di taglio nullo o positivo. Inoltre, l'alternanza di denti diversi previene le vibrazioni e la rumorosità con conseguente aumento della durata della vita dell'utensile ed un sensibile miglioramento delle superfici di taglio.

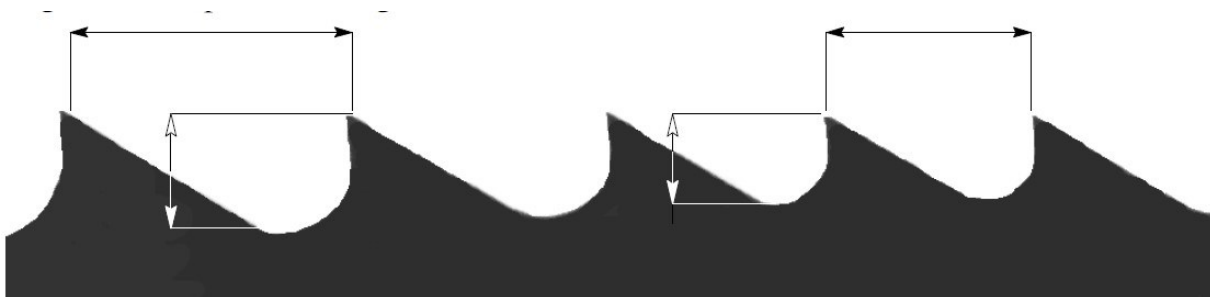


Figura 3.7: Dentatura a passo variabile [2].

Invece, se l'esigenza di taglio presentasse il taglio di tubi e profilati in singoli pezzi o a fasci, è consigliata una dentatura a passo variabile con angolo di taglio a 0 gradi, mentre la stessa dentatura con angolo di taglio positivo da 9 a 10 gradi è possibile tagliare profilati e tubi con grosse dimensioni e grandi spessori.

Un altro parametro della lama è la stradatura, termine con il quale si intende la sezione di materiale asportata dalla lama durante il taglio, larghezza di taglio, per effetto della posizione sterzata dei

denti rispetto al dorso della lama. Tra le varie tipologie di stradatura possiamo trovare quella standard o a rastrello (Figura3.8a), quella ondulata (Figura3.8b), a gruppi di denti alternati (Figura3.8c) oppure a denti alternati (Figura3.8d). La stradatura standard o a rastrello presenta un'alternanza di denti sterzati uno a destra, uno a sinistra e uno dritto ed è impiegata principalmente per il taglio di acciai, getti di fusione e materiali non ferrosi duri. La stradatura ondulata si sviluppa con gruppi di denti sterzati in forma ondulata alternativamente a destra e sinistra: è una stradatura associata a principalmente a dentature molto fini e a tagli di tubi e profilati di piccolo spessore.

Invece le stradature a gruppi di denti alternati o a denti alternati sono caratterizzate da gruppi di denti o denti alternativamente sterzati a destra e a sinistra, e trovano impiego per tagli di spessori molto sottili, materiali teneri non ferrosi e materiali plastici.



Figura 3.8a: Stradatura standard o a rastrello [2].



Figura 3.8b: Stradatura ondulata [2].

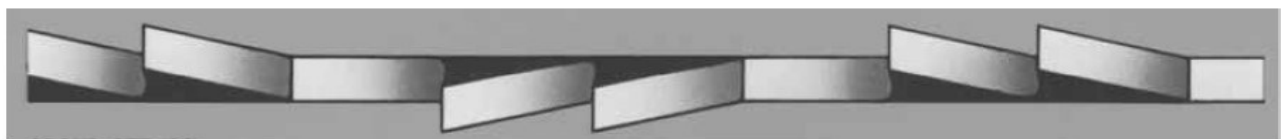


Figura 3.8c: Stradatura a gruppi di denti alternati [2].

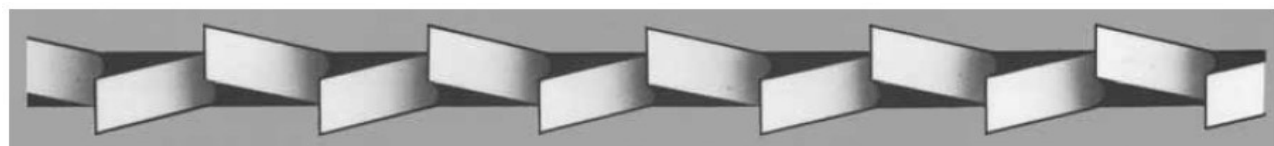


Figura 3.8d: Stradatura a denti alternati [2].



Il corretto posizionamento del nastro durante il taglio è assicurato dalle testine guidalama (Figura 3.9.1) che consentono di effettuare parte delle regolazioni del nastro e lo guidano nella direzione corretta durante il taglio. Le testine sono due, anteriore e posteriore: nel loro assieme comprendono le placchette guidalama per il controllo dell'assetto longitudinale del nastro, i bottoni premilama per il controllo della flessione verticale del nastro e i rubinetti che assicurano la distribuzione del fluido refrigerante. Nello specifico, i bottoni premilama impediscono la flessione verso l'alto dovuta alla componente verticale dello sforzo di taglio. Questo dispositivo è un componente presente in entrambe le testine e non necessita regolazione.

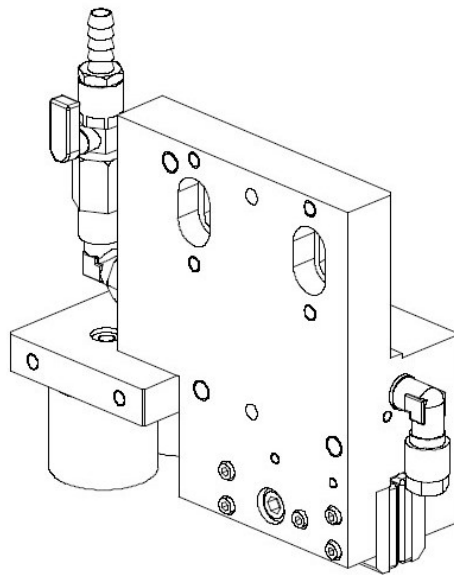


Figura 3.9.1: Testine guidalama [2].

Le testine riescono a guidare longitudinalmente il nastro attraverso le placchette guidalama, quest'ultime hanno il punto di contatto con riporto al widia e devono avere un minimo gioco sul nastro di modo tale che lo scorrimento della lama perpendicolare al piano di taglio sia garantito. Le testine costituiscono la parte terminale dei due braccetti guidalama (Figura 3.9.2): di questi ultimi due, uno è fisso mentre l'altro è mobile per consentire la regolazione in base alla larghezza del pezzo in direzione longitudinali. Entrambi i braccetti sono solidali alla trave centrale costituente la struttura, lo scorrimento è assicurato attraverso guide lineari.

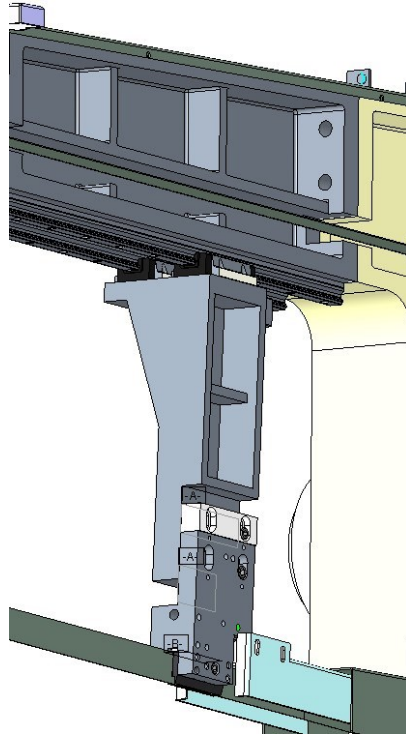


Figura 3.9.2: Braccetto guidalama.




Il tensionamento del nastro avviene tramite la movimentazione della puleggia folle: l'asse di essa è solidale ad una slitta situata nella parte posteriore della "sezione puleggia folle" ed azionata idraulicamente, il valore del tensionamento si ottiene tramite una cella di carico.

La puleggia motrice è azionata dal motore a 4 poli che a sua volta è collegato al riduttore a vite senza fine, al fine di spaziare un certo range di velocità di taglio e ottimizzare l'uso della lama, il motore è collegato ad un inverter: quest'ultimo consente la variazione della velocità di rotazione andando ad agire sulla frequenza di alimentazione del motore.

### 3.1 - DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DELLA TESTA DI TAGLIO

La capacità di taglio di una segatrice a nastro è rappresentata dalle massime dimensioni che si possono tagliare riferite a tre diversi tipi di sezioni e a tagli a diverse inclinazioni. Per la tipologia di segatrice trattata in questo lavoro, le capacità di taglio a 0 gradi sono rappresentate nella tabella 3.1.2.

Tabella 3.1.2: Capacità di taglio della segatrice.

SEZIONE			
0°	430	420	460 x 420
60+	190	190	190 x 420
45+	305	305	305 x 420
60-	190	190	190 x 420
45-	305	305	305 x 420

La capacità di taglio è il principale input per il dimensionamento dei componenti della testa di taglio, a cascata, una volta nota essa si può risalire alla taglia del nastro.

In generale, la progettazione segue il seguente workflow:

1. CAPACITA' DI TAGLIO
2. TAGLIA NASTRO - POTENZA RICHIESTA PER L'ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO
3. DIMENSIONAMENTO TRASMISSIONE (input di progetto)
  - a. Diametro minimo pulegge in base alla taglia del nastro (vanno considerati anche i limiti del materiale della lama)
  - b. Lunghezza minima del twist lama, anch'esso derivante dalle caratteristiche dimensionali del nastro e del materiale del nastro. Dalla capacità di taglio e da (1) deriva l'interasse delle pulegge.
  - c. Rapporto di riduzione:
    - i. Bisogna considerare il diametro della puleggia motrice
    - ii. Dimensionamento riduttore vite senza fine, considerando che il rapporto di riduzione garantisca la velocità di taglio, considerando la coppia richiesta all'asse lento e la coppia ammissibile all'asse veloce.
  - d. Dimensionamento motore.

Seguendo questo workflow, abbiamo che:

- consultando [15] si risale ad un nastro avente taglia 34 mm e spessore 1,1 mm;
- le pulegge hanno un diametro pari a 510 mm;
- consultando [16] risaliamo al riduttore e al rapporto di riduzione 1:40 (Figura 3.1.1);
- consultando [17] dimensioniamo il motore (Figura 3.1.2).



Figura 3.1.1: Targa del riduttore.

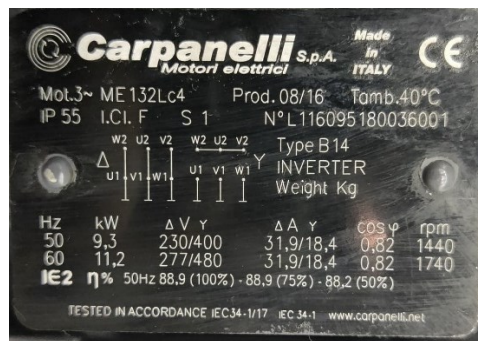


Figura 3.1.1: Targa del motore elettrico.

## 4 - PROGETTAZIONE STRUTTURE DELLE TESTE DI TAGLIO


In questo capitolo si andranno a definire dapprima i vincoli geometrici, successivamente i carichi agenti ed infine si andranno a disegnare le strutture in acciaio saldato che costituiranno le varie proposte progettuali di teste di taglio.

### 4.1 - VINCOLI GEOMETRICI

I primi vincoli progettuali che si presentano, sono di natura geometrica: dovendo implementare una soluzione alternativa ad una testa di taglio in ghisa preesistente, quest'ultima detterà insieme alla capacità di taglio le dimensioni principali.

Come già illustrato nel capitolo precedente, le capacità di taglio che deve garantire la segatrice sono:

Tabella 4.1.1: Capacità di taglio della segatrice.

SEZIONE			
0°	430	420	460 x 420
60+	190	190	190 x 420
45+	305	305	305 x 420
60-	190	190	190 x 420
45-	305	305	305 x 420

Dal dimensionamento di massima abbiamo noti i diametri delle pulegge, i quali detteranno la larghezza della "sezione puleggia folle" e "sezione puleggia motrice" (Figura 4.1.1). Dobbiamo considerare inoltre il passaggio del nastro che comporterà nelle parti inferiori e superiori delle suddette la presenza di un'apertura per consentirne il passaggio e questo è un aspetto che merita attenzione anche nella progettazione della trave centrale.

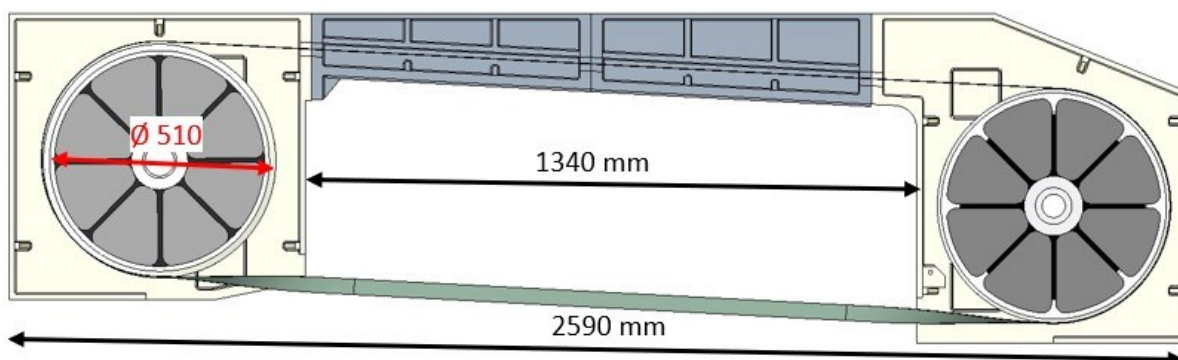


Figura 4.1.1: Ingombri generali.

Un altro aspetto è la presenza dei braccetti guidalama (Figura 4.1.2) che devono essere liberi di scorrere lungo tutta la lunghezza della testa di taglio (in quanto per la funzione espletata devono stare il più vicino possibile al pezzo durante l'operazione di taglio) e devono rimanere paralleli alla lama: ciò comporta il fatto che la parte inferiore della trave centrale abbia un'inclinazione di 3° e che, sempre nella parte inferiore dovranno essere accoppiate le guide sulle quali scorreranno i pattini dei braccetti guidalama. È inoltre di fondamentale importanza il fatto che i braccetti guidalama non interferiscano con le ganasce della morsa.

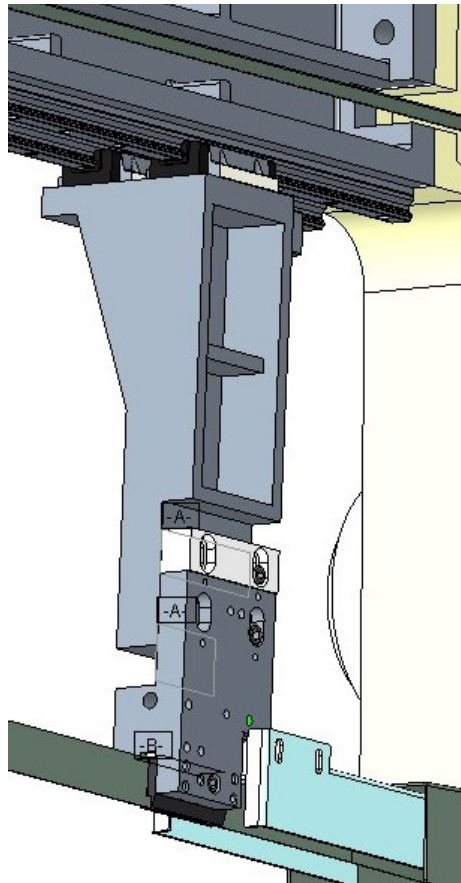


Figura 4.1.2: Braccetto guidalama.

Nelle “sezioni puleggia folle” e “sezione puleggia motrice” bisogna considerare anche la presenza degli organi che collegheranno la testa di taglio al resto della macchina e la vincoleranno ad un movimento puramente di traslatorio in direzione verticale. Nella fattispecie l'arco scorre su guide lineari con pattini, inoltre entrambe le sezioni (motrice e folle) è presente un cilindro idraulico (Figura 4.1.3).

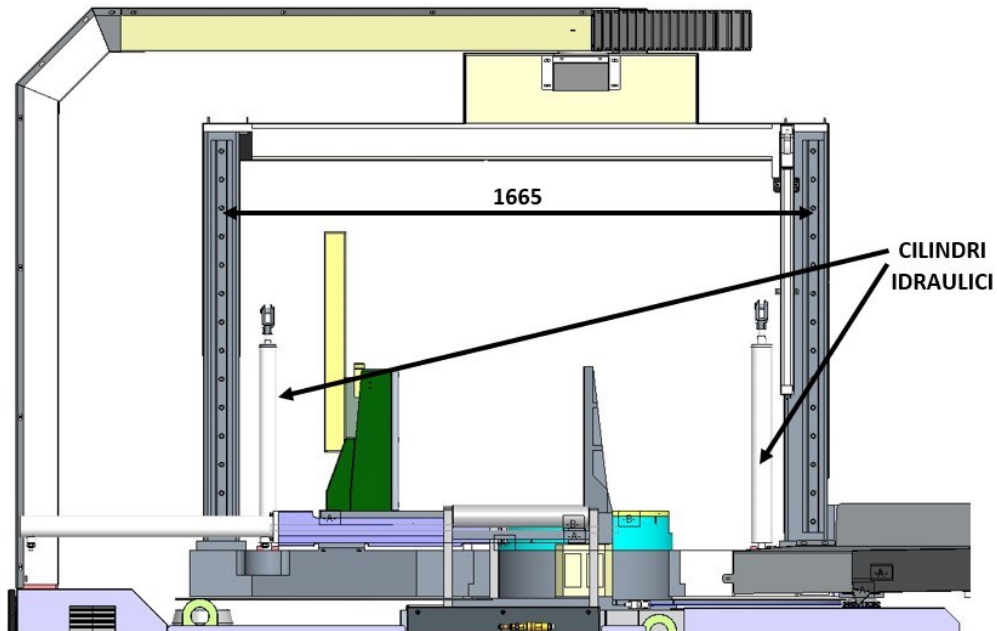


Figura 4.1.3: Cilindri idraulici e interasse fra le guide.

L'interasse delle guide lineari (Figura 4.1.3) influirà sulla lunghezza della testa di taglio e la dimensione determinerà quella degli appoggi (detti anche tasselli) da prevedere nella struttura.

Un altro vincolo è dato dagli organi di moto e trasmissione: volendo fare una struttura equivalente tra ghisa e acciaio, è necessario considerarli negli ingombri, in particolare nella parte posteriore della "sezione puleggia motrice" saranno presenti il motore ed il riduttore, inoltre bisogna anche considerare anche le dimensioni dell'albero che collegherà essi alla puleggia motrice, di modo tale da non portare grandi variazioni dimensionali tra gli organi necessari per una testa di taglio in ghisa e una in acciaio. Nella "sezione puleggia folle", dovrà essere previsto nella parte posteriore l'alloggiamento per consentire l'accoppiamento prismatico con la slitta tendilama (Figura 4.1.5), inoltre valgono le stesse considerazioni sull'albero fatte per la "sezione puleggia motrice" (Figura 4.1.4).

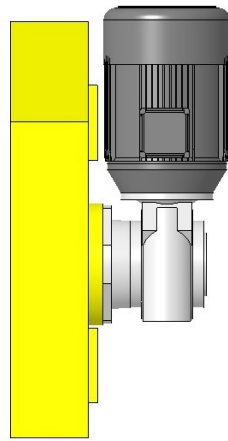


Figura 4.1.4: Motoriduttore e sezione puleggia motrice.

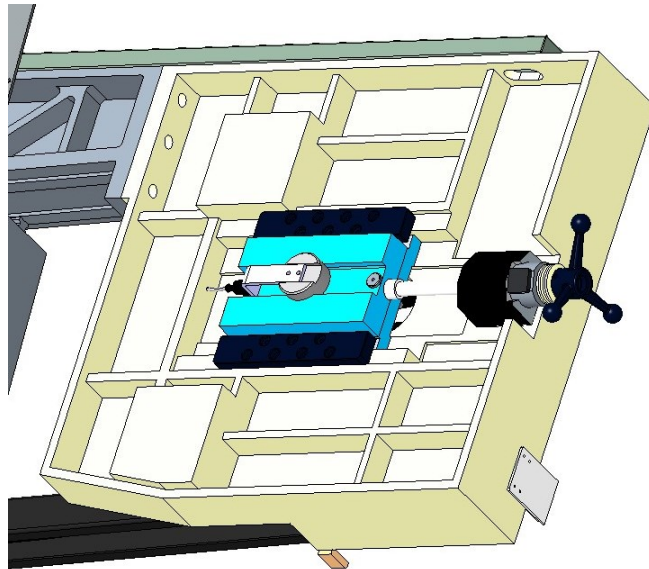


Figura 4.1.5: Slitta tendilama.



Ultimo vincolo, ma non per importanza è la necessità di eseguire la struttura in componenti distinti e collegabili tramite collegamenti bullonati e spinati. I componenti sono nominati “sezione puleggia folle”, “sezione puleggia motrice”, “trave lato folle” e “trave lato motrice”.

## 4.2 - DESCRIZIONE DELLE TESTE DI TAGLIO DISEGNATE

La prima testa di taglio in acciaio S275 JR disegnata è costituita da quattro parti imbullonate tra loro con viti M16 (Figura 4.2.1).

La particolarità di questa soluzione è che riproduce la geometria della testa di taglio in ghisa.

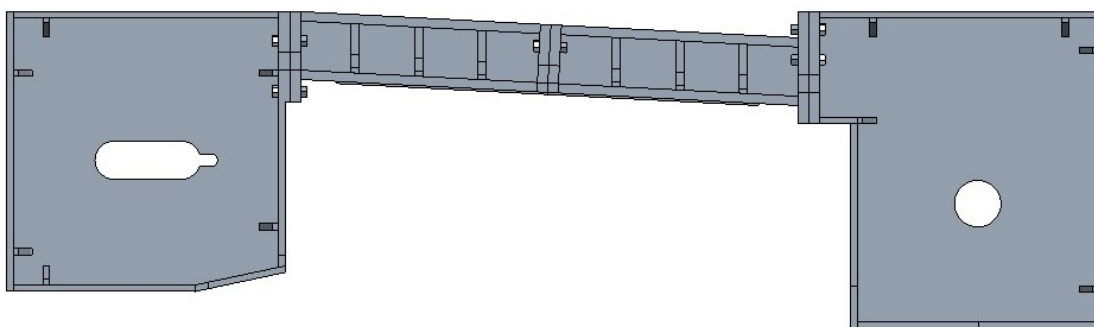


Figura 4.2.1: Vista frontale della testa di taglio "Acciaio 1".

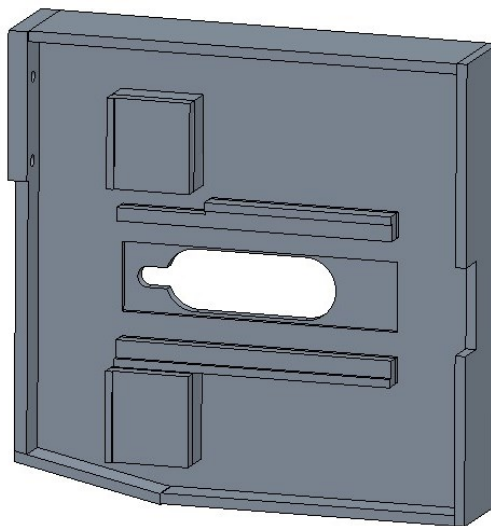
Entrambe le sezioni “puleggia motrice” e “puleggia folle” (Figure 4.2.2 e 4.2.3) sono realizzate in carpenteria metallica saldata costituita da una lamiera in acciaio sagomata spessa 25mm alla quale sono saldati profilati commerciali 140 x 15mm come contorno e fazzoletti di rinforzo triangolari dallo spessore di 15mm.

Nella parte posteriore della sezione “puleggia motrice” sono saldate due corone circolari che andranno successivamente lavorate di fresatura per consentire il calettamento di tutto il gruppo motore, riduttore, alberi e cuscinetti fino ad arrivare alla puleggia motrice. Inoltre, vi è saldato un profilato rettangolare pieno da 120 x 40mm nel quale sono saldate a loro volta delle piastre da 120x25mm; quest’ultime saranno lavorate per ricavare le sedi di alloggiamento dei pattini.

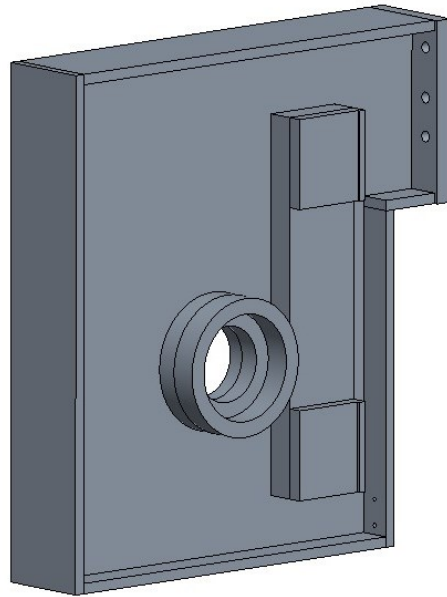
Nella parte posteriore della “sezione puleggia folle” sono saldate due piatte rettangolari alle quali sono saldate due barre prismatiche piene che andranno successivamente lavorate di fresatura per ricavare le superfici per consentire l’accoppiamento prismatico con il tendilama.

Le due parti della trave centrale (“lato motrice” e “lato folle”) sono costituite da un profilato HEM 140 (Figure 4.2.4a e 4.2.4b) nelle cavità del quale sono saldati fazzoletti di rinforzo dallo spessore di 20mm, ad entrambe le estremità in testa sono state saldate delle lamiere opportunamente sagomate per consentire il passaggio del nastro e forate per consentire il collegamento bullonato. Nella parte inferiore di esse sono saldate due piatti rettangolari da 20 x 8mm, che successivamente andranno spianati e forati in quanto ci andranno avvitate le viti delle guide per i pattini dei braccetti guidalama.

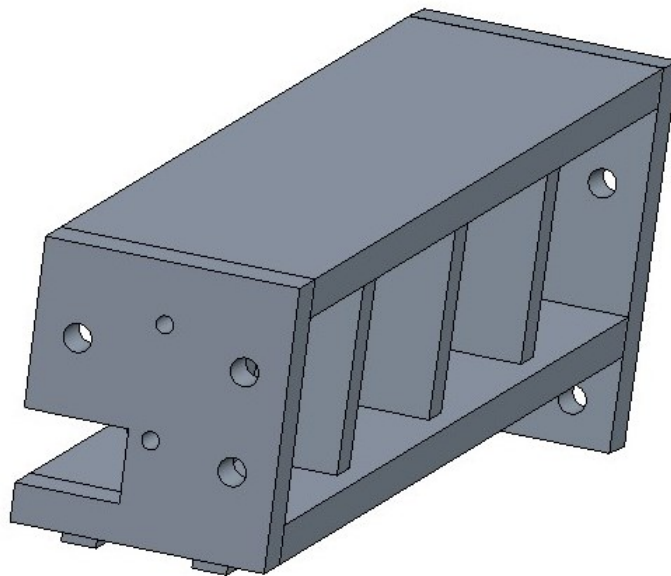
Nel proseguire della trattazione la suddetta testa di taglio sarà rinominata “Acciaio 1”.



**Figura 4.2.2:** Sezione puleggia folle della testa di taglio "Acciaio 1".



**Figura 4.2.3:** Sezione puleggia motrice della testa di taglio "Acciaio 1".



**Figura 4.2.4a:** Trave SPF della testa di taglio "Acciaio 1".

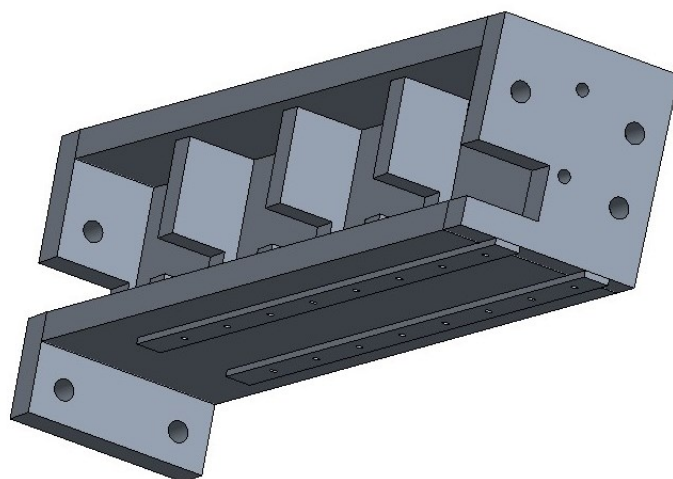


Figura 4.2.4b: Appoggi per il montaggio delle guide trave SPF.

L'ultimo passaggio consiste nella verifica visiva tramite cad 3D della capacità di taglio della testa, sia per sezioni prismatiche che per sezioni circolari (Figure 4.2.5a e 4.2.5b).

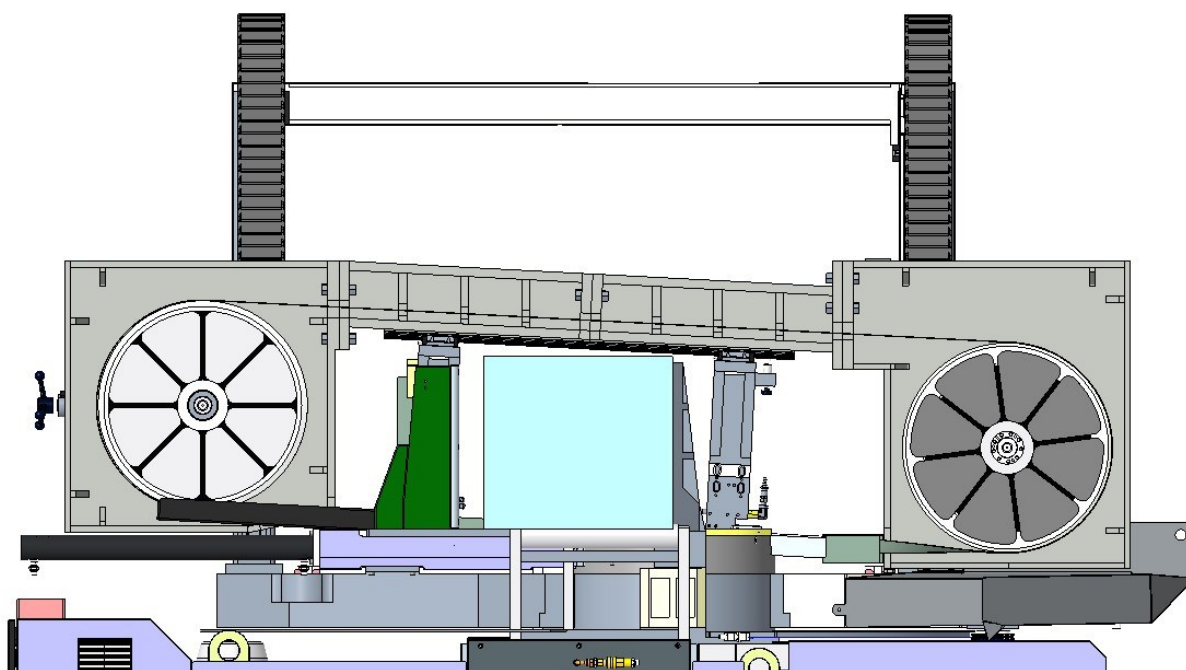


Figura 4.2.5a: Verifica della capacità di taglio su sezioni quadrate.

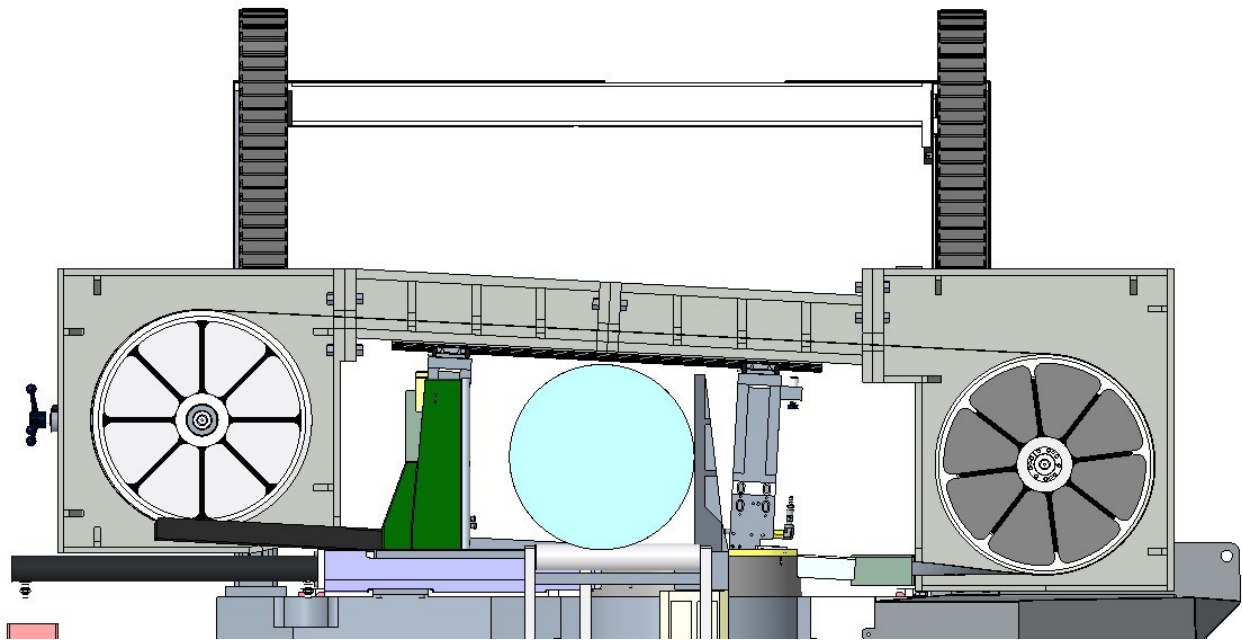


Figura 4.2.5b: Verifica della capacità di taglio su sezioni tonde.

Un'ulteriore verifica consiste nell'accertarsi che il nastro (in questo caso in giallo) non interferisca con il piano di taglio, possiamo vedere in Figura 4.2.8 che la suddetta situazione non si verifica.

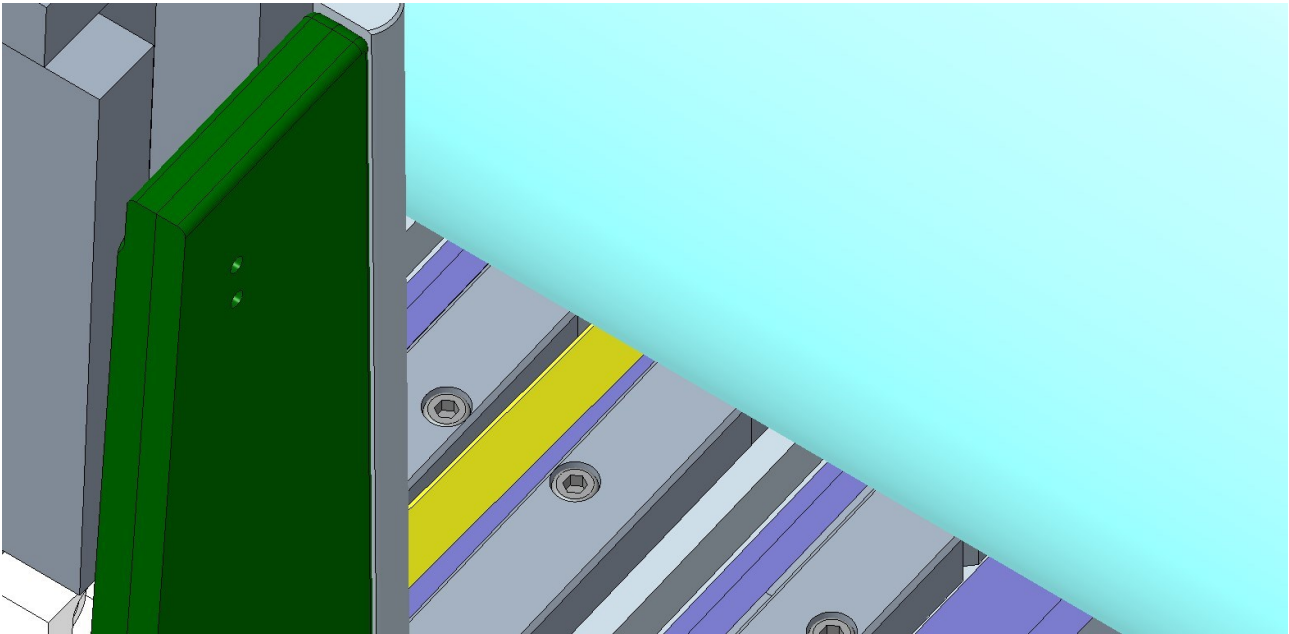
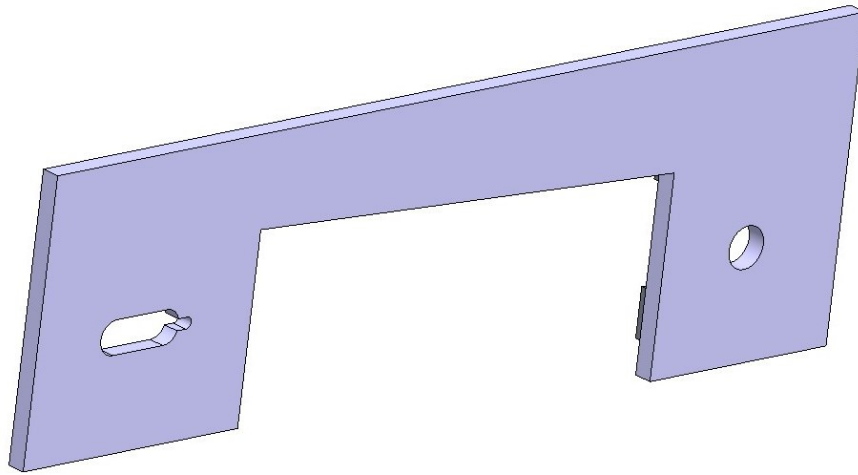


Figura 4.2.6: Verifica della interferenza del nastro con il piano di taglio.

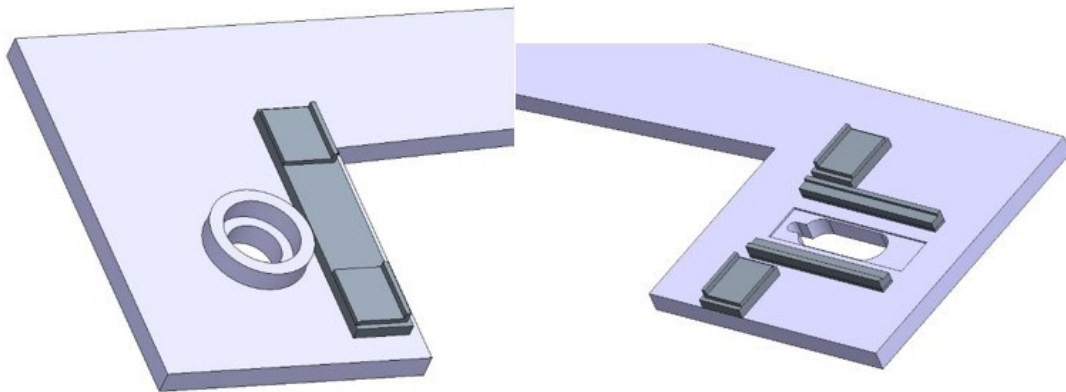
La seconda testa di taglio è detta anche testa di taglio “monoblocco”: essa, infatti, non rispetta il requisito dell’archetto composto in quattro parti. La struttura è composta da un’unica lamiera in acciaio S275JR spessa 50 mm sagomata come una testa di taglio (Figura 4.2.7).

Nel “lato motrice” (Figura 4.2.8) è saldato un anello in acciaio che funge da flangia per l’alloggiamento di tutto il gruppo motrice (motore, riduttore, albero, cuscinetti e puleggia motrice). I profilati rettangolari pieni da 120 x 25 mm vengono saldati nella struttura come appoggio per delle piastre da 110 x 25 mm che saranno spianate per ricavare gli appoggi dei pattini.

Nel proseguire della trattazione la suddetta testa di taglio sarà rinominata “Acciaio monoblocco”.



**Figura 4.2.7:** Testa di taglio in "Acciaio monoblocco".



**Figura 4.2.8:** Lato motore e lato folle, testa di taglio "Acciaio monoblocco".

Anche la testa di taglio monoblocco garantisce la capacità di taglio sia per le sezioni rettangolari che per le sezioni circolari (Figure 4.2.9a e 4.2.9b).

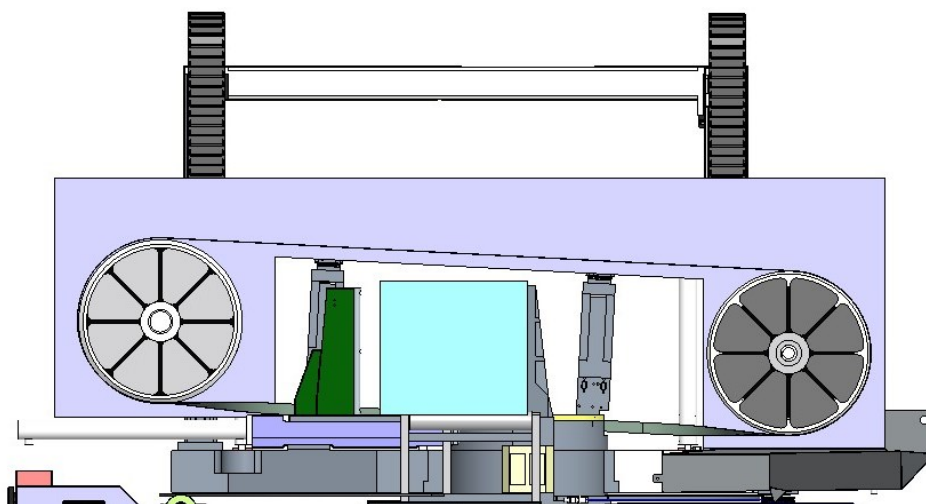


Figura 4.2.9a: Verifica della capacità di taglio su sezioni quadrate.

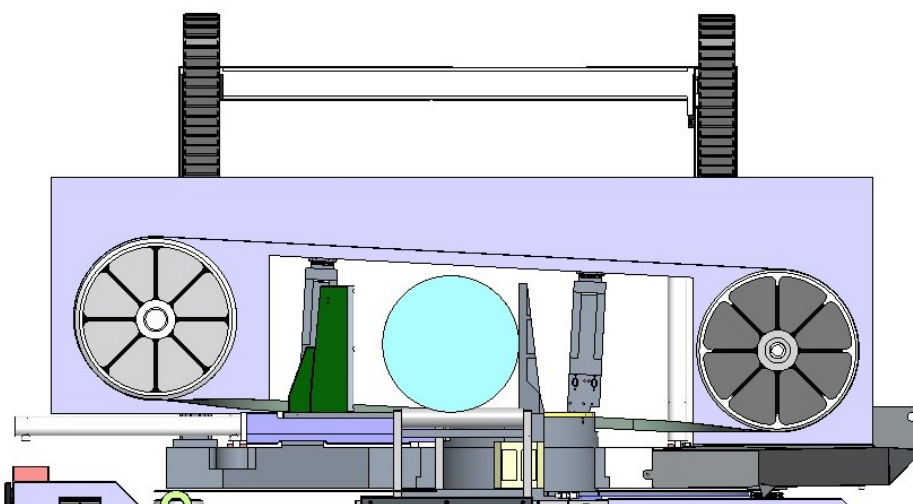
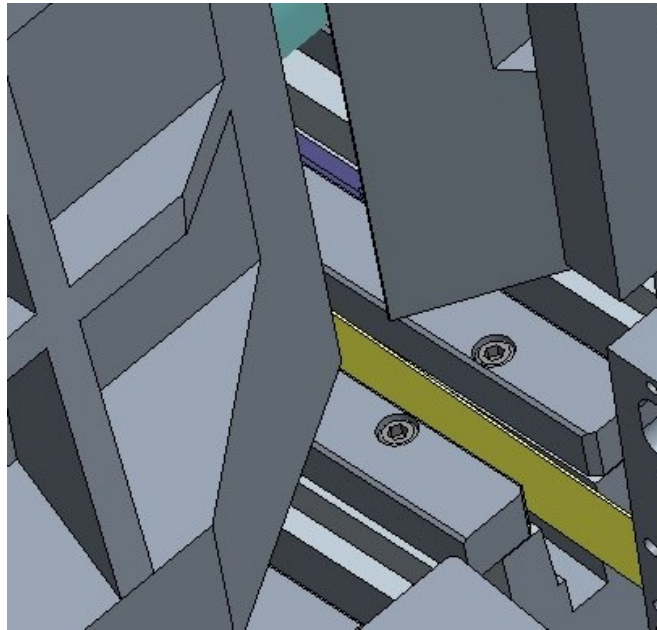


Figura 4.2.9b: Verifica della capacità di taglio su sezioni tonde.

Di seguito (Figura 4.2.9.1) vediamo come la lama (in giallo in questa illustrazione) non interferisce con il piano di taglio.

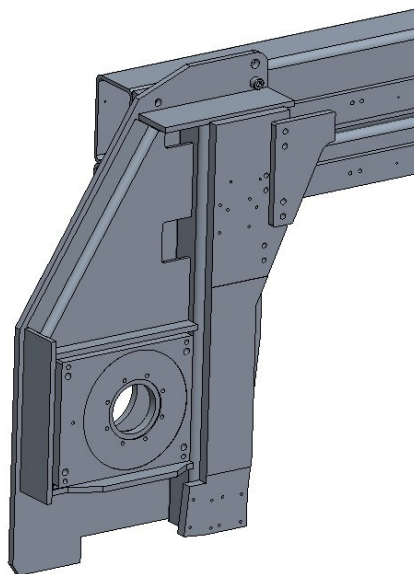




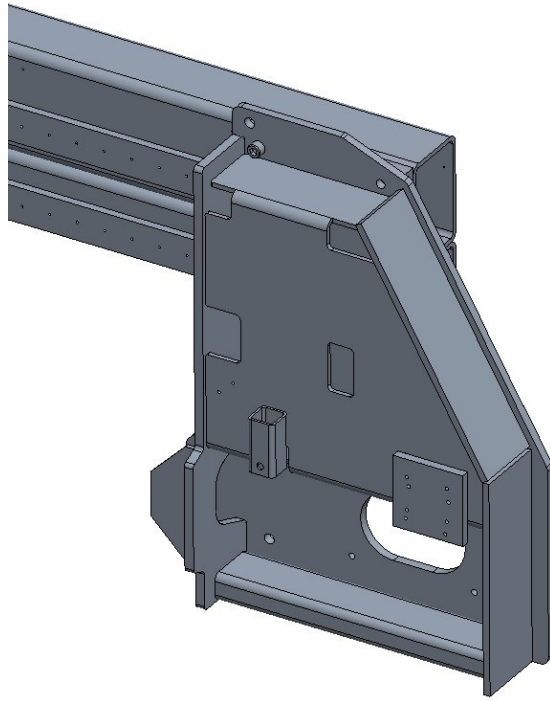
**Figura 4.2.9.1:** Verifica della interferenza del nastro con il piano di taglio.

La terza testa di taglio, sempre in acciaio S275JR, è costituita da una trave unica a sua volta costituita da due tubolari sovrapposti e saldati tra loro. La sezione puleggia motrice (Figura 4.2.9.2) è costituita da una lamiera rafforzata con un'altra lamiera piegata e saldata nella parte posteriore, così come la "sezione puleggia folle".

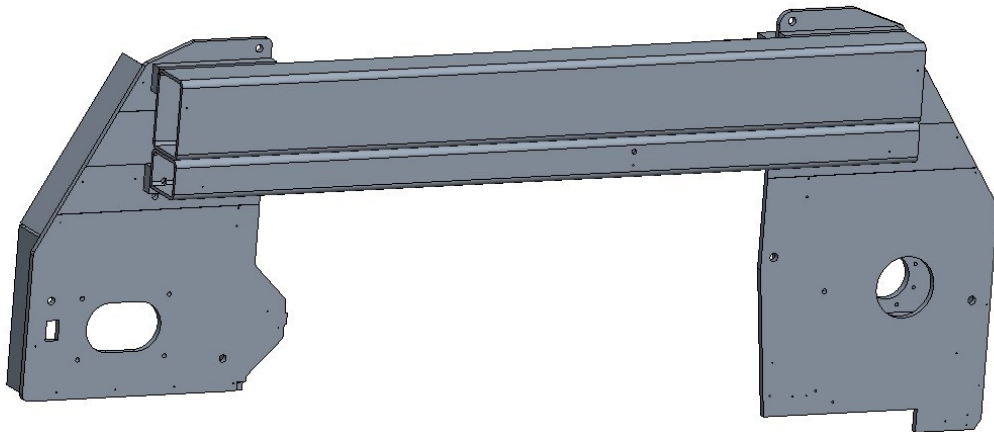
Nel proseguire della trattazione la suddetta testa di taglio sarà rinominata "Acciaio 3".



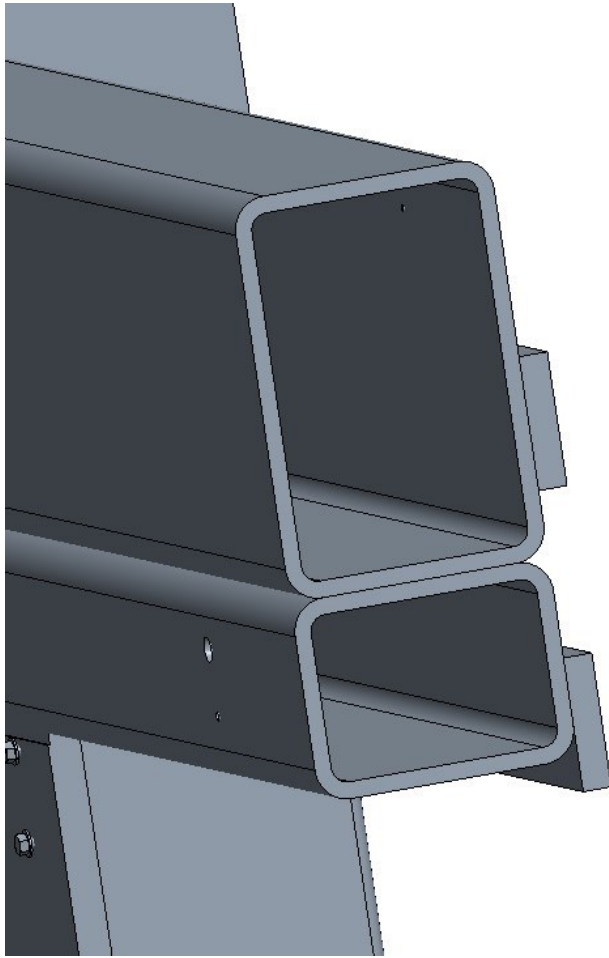
**Figura 4.2.9.2:** Sezione puleggia motrice della testa di taglio "Acciaio 3".



**Figura 4.2.9.3:** Sezione puleggia folle della testa di taglio "Acciaio 3".



**Figura 4.2.9.3:** Testa di taglio "Acciaio 3".



**Figura 4.2.9.4:** Dettaglio della sezione della trave centrale.

La quarta testa di taglio in S275JR disegnata è costituita da quattro parti imbullonate tra loro con viti M16 (Figura 4.2.9.5).

Entrambe le “sezioni” (“puleggia motrice” e “puleggia folle”) sono realizzate in carpenteria metallica saldata costituita da una lamiera in acciaio sagomata spessa 25mm alla quale sono saldati profilati commerciali 140 x 15 come contorno e fazzoletti di rinforzo triangolari dallo spessore di 15mm.

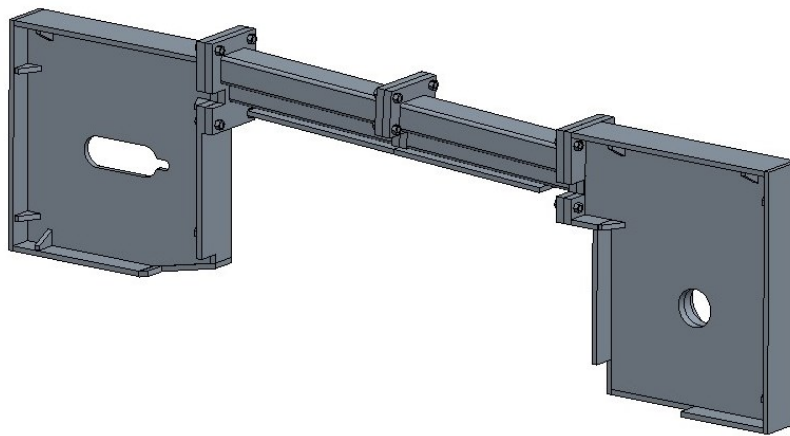


Figura 4.2.9.5: Testa di taglio "Acciaio 4".

Nella parte posteriore della “sezione puleggia motrice” sono saldate due corone circolari che andranno successivamente fresate per consentire il calettamento di tutto il gruppo motore, riduttore, alberi e cuscinetti fino ad arrivare alla puleggia motrice. Inoltre, vi è saldato un profilato rettangolare pieno da 120 x 40mm nel quale sono saldate a loro volta delle piastre da 120x25mm; quest’ultime saranno lavorate per ricavare le sedi di alloggiamento dei pattini.

Nel proseguire della trattazione la suddetta testa di taglio sarà rinominata “Acciaio 4”.

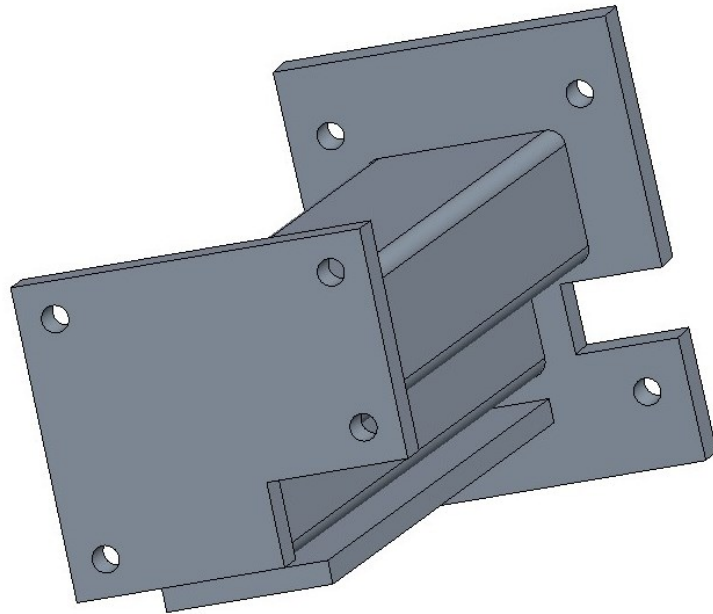


Figura 4.2.9.6: Dettaglio della trave centrale.

Le due parti della trave centrale (“lato motore” e “lato folle”) sono costituite da due tubi rettangolari (Figura 4.2.9.6) posti uno sopra l’altro e saldati: superiormente abbiamo un tubo 120x80mm mentre nella parte inferiore troviamo un tubo 80x60mm [3]. Sotto ai due tubolari e per la maggior parte della lunghezza della trave è saldato un profilato pieno 100x16mm che andrà lavorato e forato per poter assemblare le guide dove scorreranno i pattini dei braccetti guidalama.

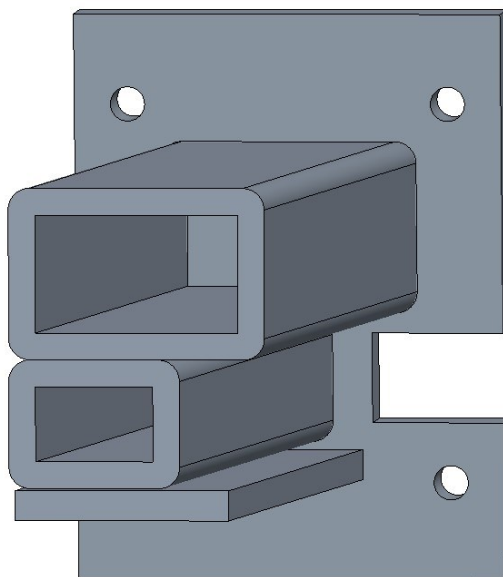


Figura 4.2.9.7: Sezione della trave centrale.

Anche per questa testa di taglio sono state eseguite le opportune verifiche della capacità di taglio sia su profilati rettangolari (Figure 4.2.9.8a e 4.2.9.8b) e sia su profilati a sezione circolare.

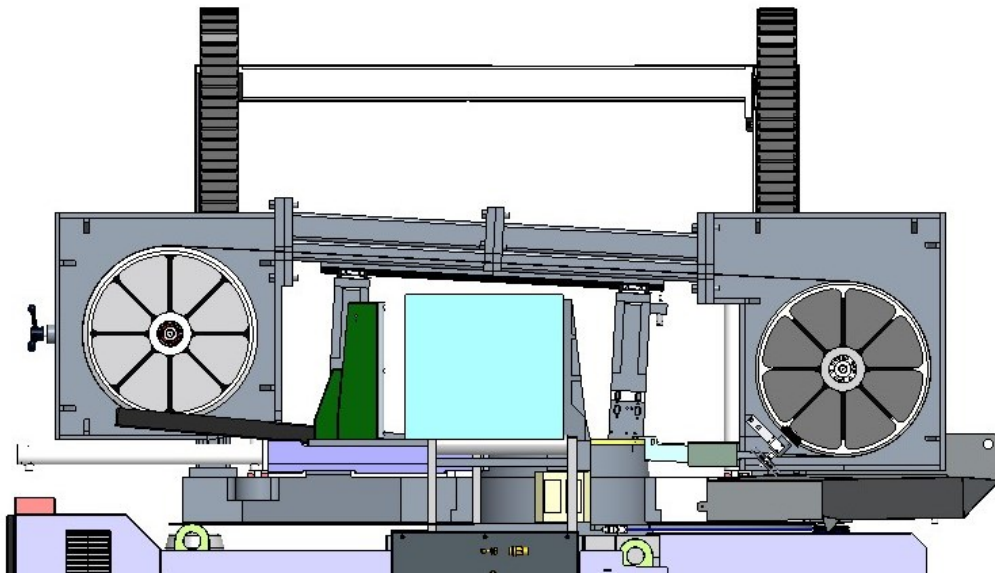


Figura 4.2.9.8a: Verifica della capacità di taglio su sezioni quadrate.

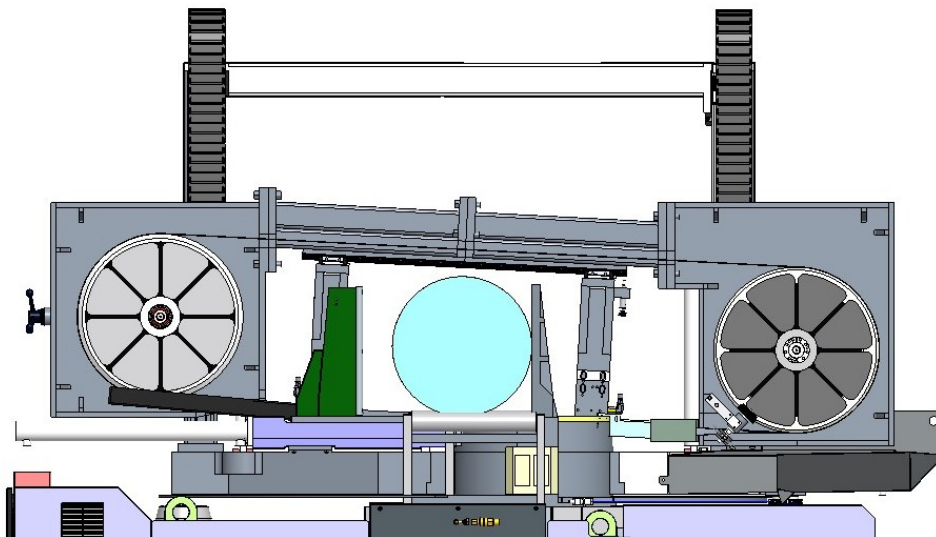


Figura 4.2.9.8b: Verifica della capacità di taglio su sezioni tonde.

Come ultimo controllo, si è verificato che la lama in Figura 4.2.9.9 (in questa immagine in giallo) non vada ad interferire con il piano di taglio.

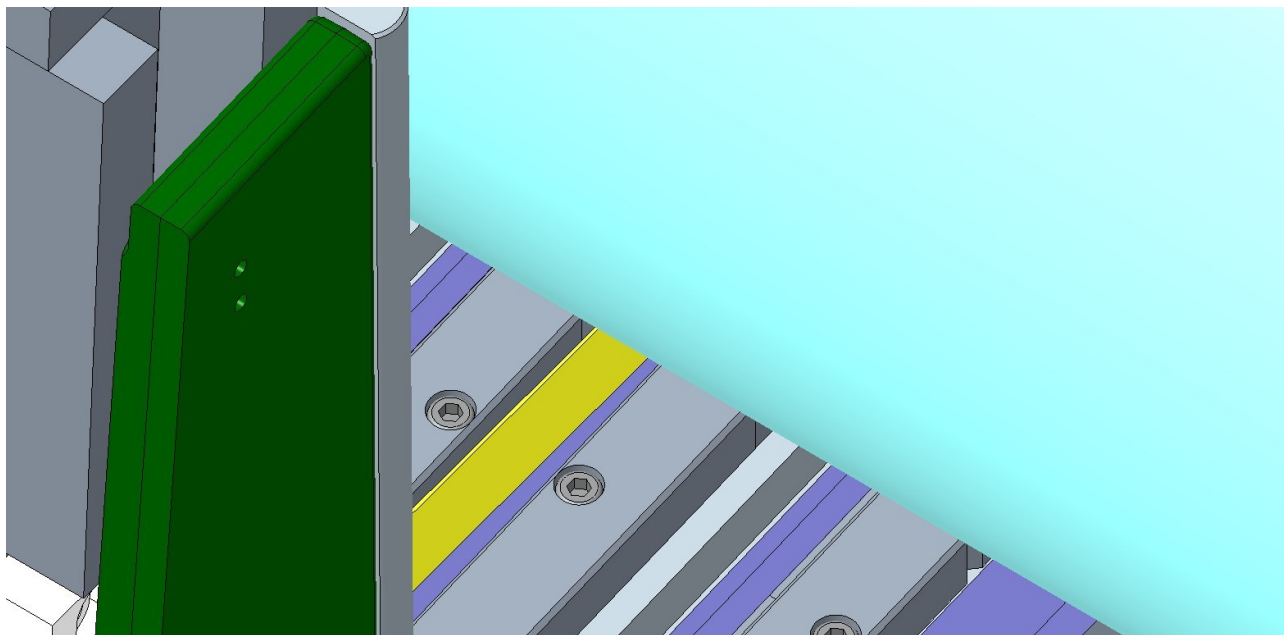


Figura 4.2.9.9: Verifica della interferenza del nastro con il piano di taglio.

## 5 - DEFINIZIONE PROVE E CARICHI AGENTI

### 5.1 PREPARAZIONE DEL MODELLO CAD

La testa di taglio in ghisa e le diverse soluzioni proposte per la testa di taglio in acciaio necessitano di una comparazione delle prestazioni meccaniche. Al fine di poterle determinare, si è deciso di ricorrere a simulazioni agli elementi finiti eseguite tramite il software Ansys Workbench. Le proprietà meccaniche saranno determinate sia a macchina spenta che a macchina funzionante; quindi, sarà necessario eseguire sia prove statiche che dinamiche.

Ancor prima di definire i carichi, è necessario preparare il modello CAD per le simulazioni FEM e per questa operazione è presente all'interno di Ansys il modulo Spaceclaim. Le teste di taglio sono state semplificate eliminando (Figura 5.1.1):

- Il nastro;
- I braccetti guidalama e tutta la loro componentistica accessori (placchette, pattini, guide);
- I pattini che collegano la testa di taglio al resto della macchina;
- Le pulegge;
- Il motoriduttore;
- Alberi e cuscinetti sia nella sezione "motrice" che in quella "folle".

Di conseguenza, il modello analizzato comprende la sezione "puleggia folle" comprensiva di tendilama e lardoni, la sezione "puleggia motrice" e le due parti costituenti la trave centrale.

Successivamente, sempre operando con Spaceclaim si è provveduto alla rimozione dei raccordi ed alla rilevazione ed eliminazione di eventuali interferenze del modello CAD e a disegnare le "impronte" dei pattini nei tasselli presenti nelle parti posteriori della "sezione puleggia motrice" e della "sezione puleggia folle".

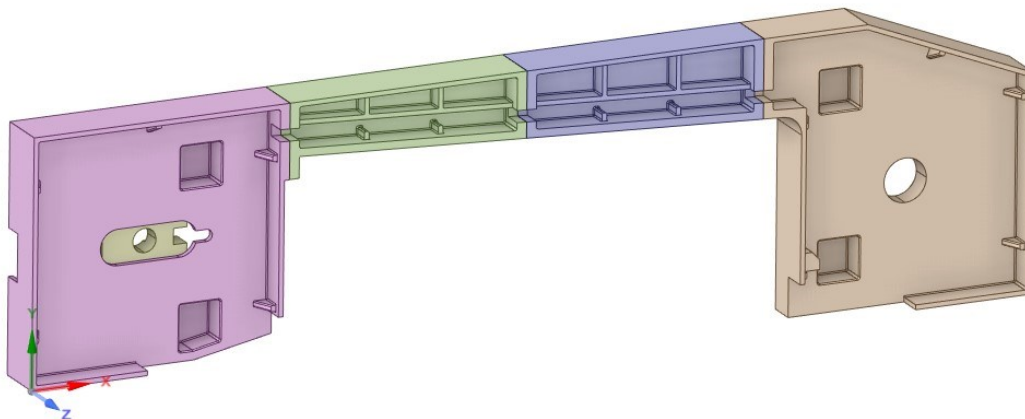


Figura 5.1.1: Modello CAD della testa di taglio semplificato per le analisi FEM.



## 5.2 PROVA STATICA: DEFINIZIONE CARICHI AGENTI E VINCOLI

Ancor prima di definire i carichi, sul modulo "Static Structural" presente in Ansys Workbench si assegnano i materiali a seconda della tipologia di testa di taglio analizzata e si modellano i contatti fra le varie parti. In questa trattazione sono stati utilizzati contatti di tipo "frictional" per le superfici a contatto nelle giunzioni bullonate (sia tra i vari corpi che tra i corpi e le superfici delle viti e dei bulloni), mentre per le giunzioni saldate e nella simulazione delle filettature sono stati impiegati contatti di tipo "bonded".

Facendo un breve accenno alla mesh, è stata eseguita una mesh mista sulle teste di taglio, alcune sono state meshate con tetraedri mentre altre con mesh miste composte da tetraedri e cubi (Figure 5.1.2a, b, c, d).

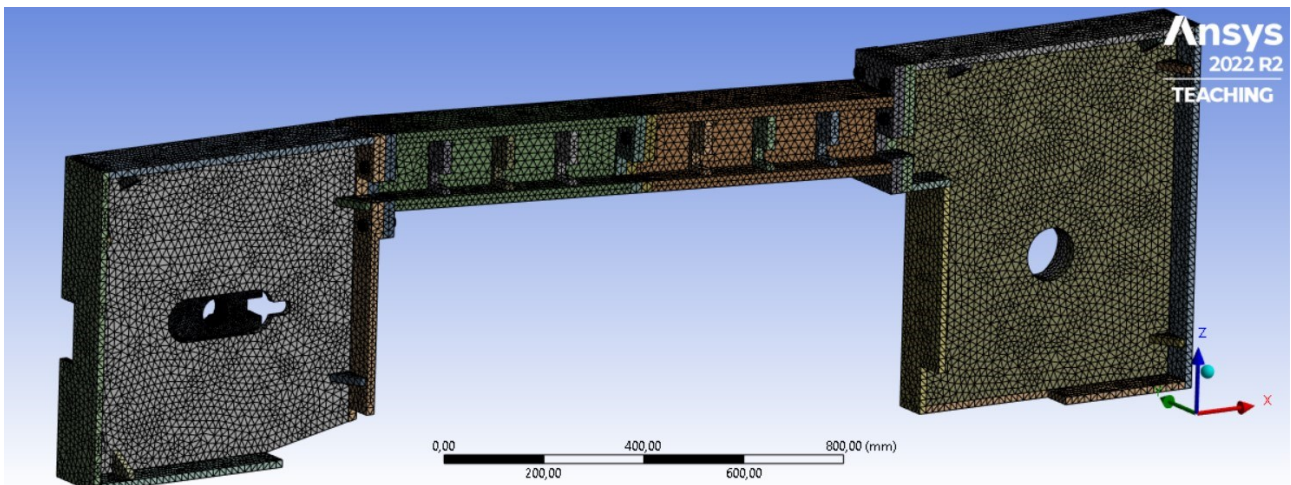


Figura 5.2.1a: Mesh della testa di taglio "Acciaio 1".

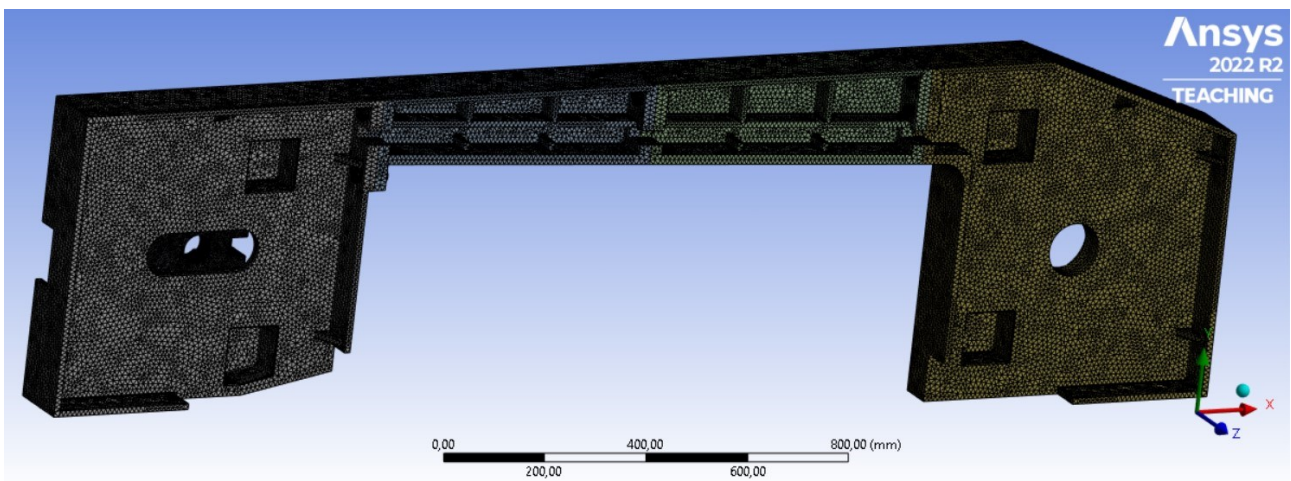


Figura 5.2.1b: Mesh della testa di taglio in ghisa.

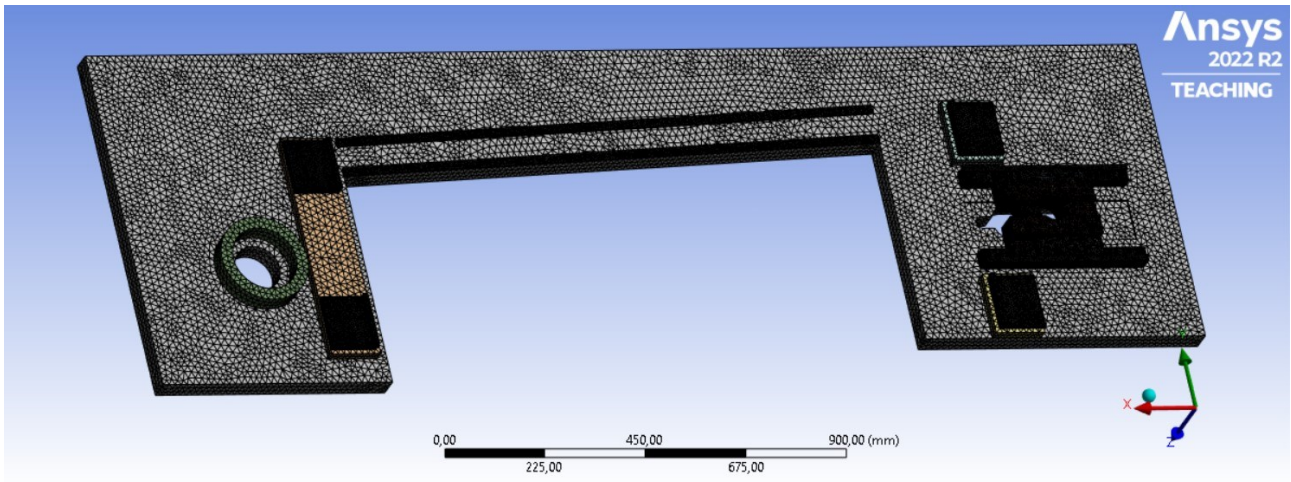


Figura 5.2.1c: Mesh della testa di taglio "Acciaio monoblocco".

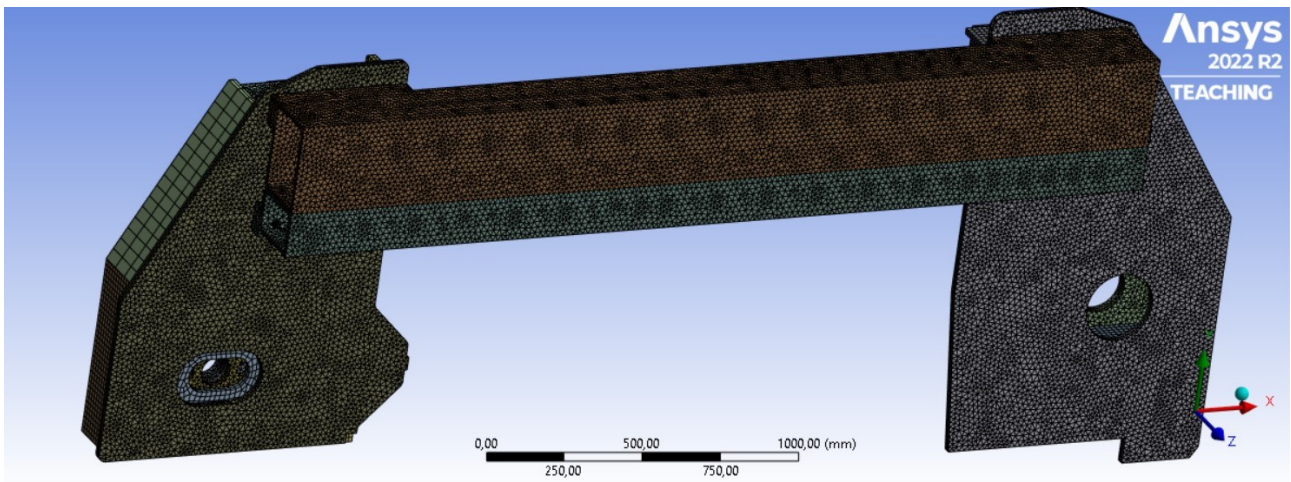


Figura 5.2.1d: Mesh della testa di taglio "Acciaio 3".

Come già anticipato, la prova statica si riferisce alla situazione della macchina spenta: la testa di taglio risulta quindi sottoposta alla sua forza peso e al tensionamento del nastro di 30000 N applicato negli alloggiamenti dell'albero motore e dell'albero folle (Figura 5). Sulla struttura agisce inoltre il pretensionamento fornito dal serraggio delle viti, di 40000N.

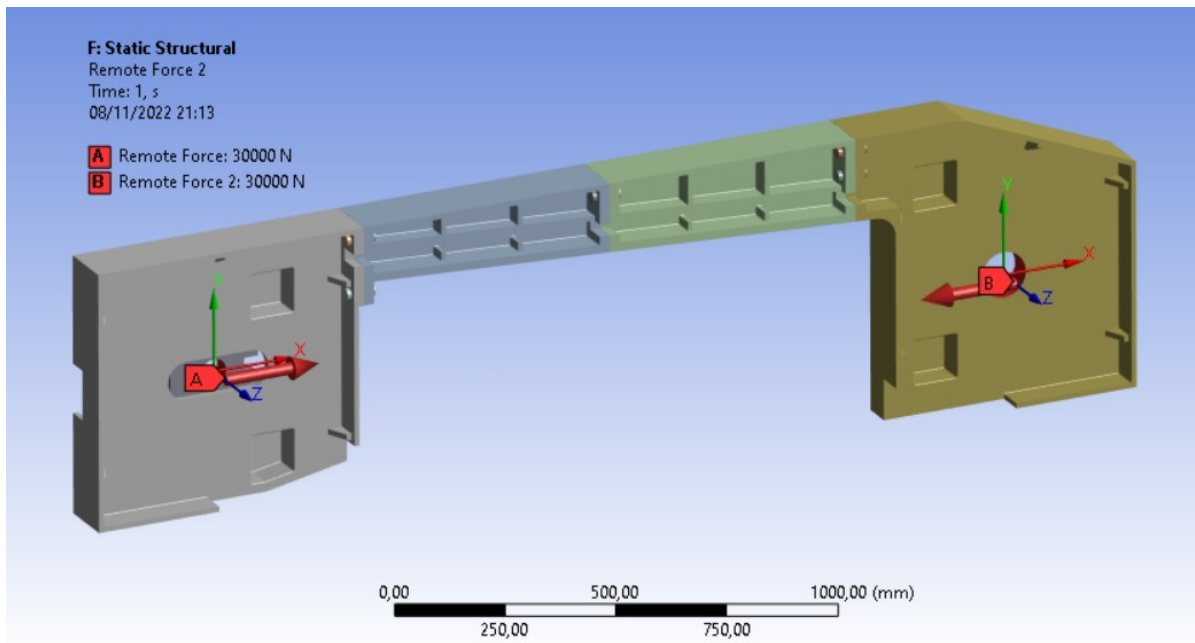


Figura 5.2.2: Carichi agenti dovuti al tensionamento del nastro.

Nelle Figura 5.2.3 possiamo vedere illustrati tutti i carichi agenti.

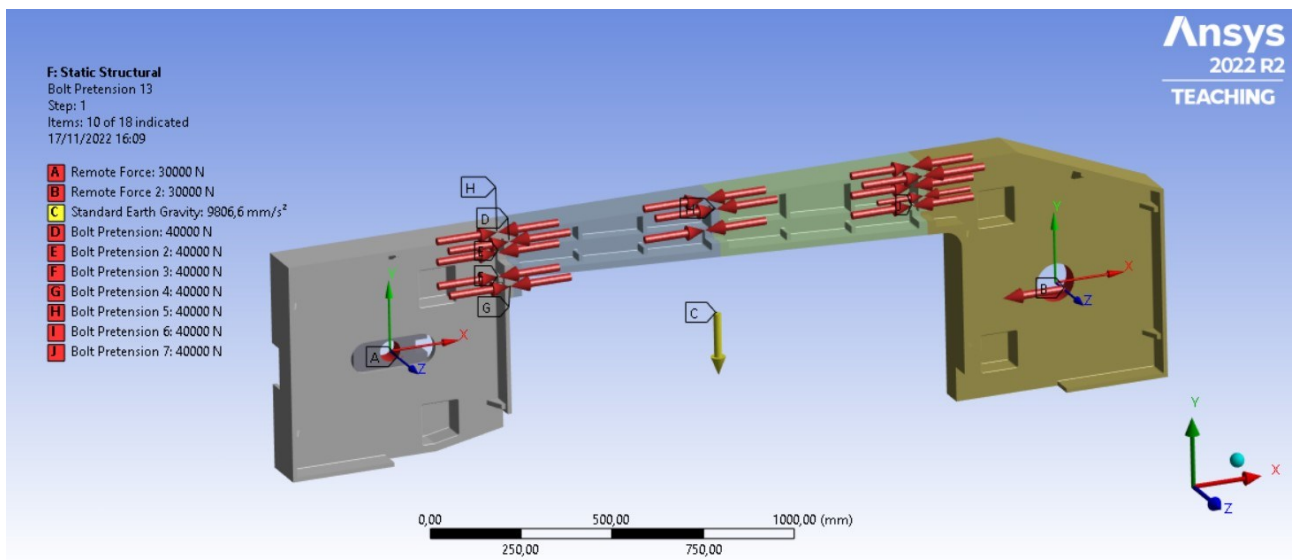


Figura 5.2.3: Riepilogo dei carichi agenti.



Per quanto riguarda i vincoli, sono stati apposti dei "fixed support" sulle tre impronte delle guide presenti in ognuno dei quattro tasselli (Figure 5.2.4a e 5.2.4b).

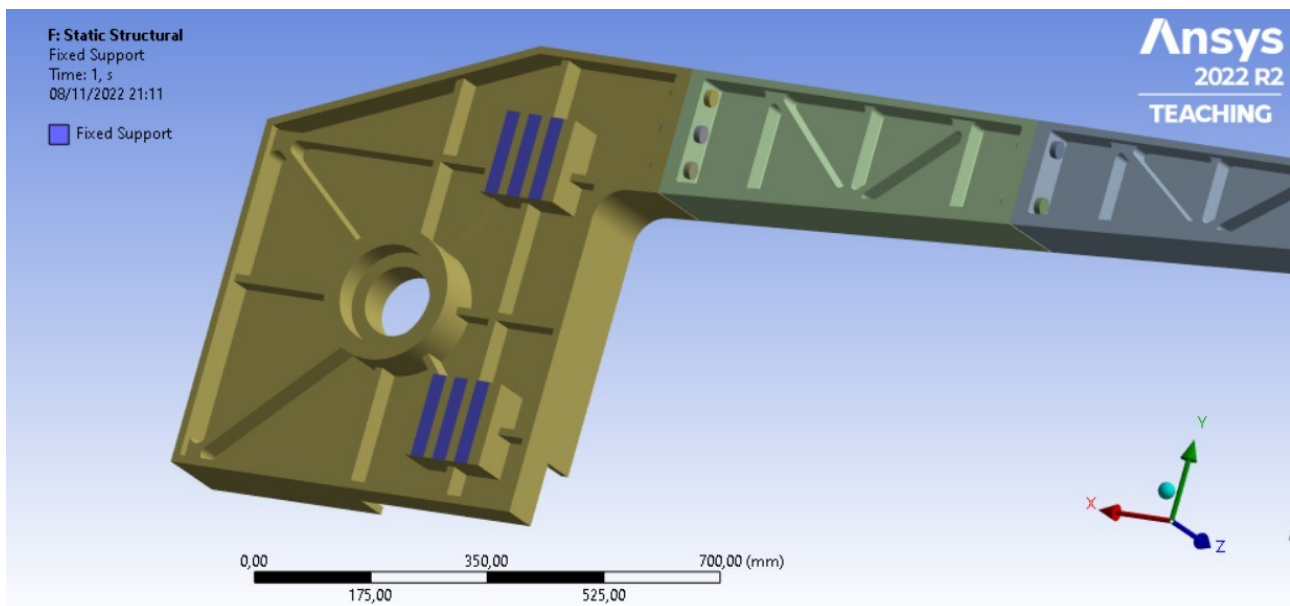


Figura 5.2.4a: Vincoli "fixed support" sulla parte posteriore della sezione puleggia motrice.

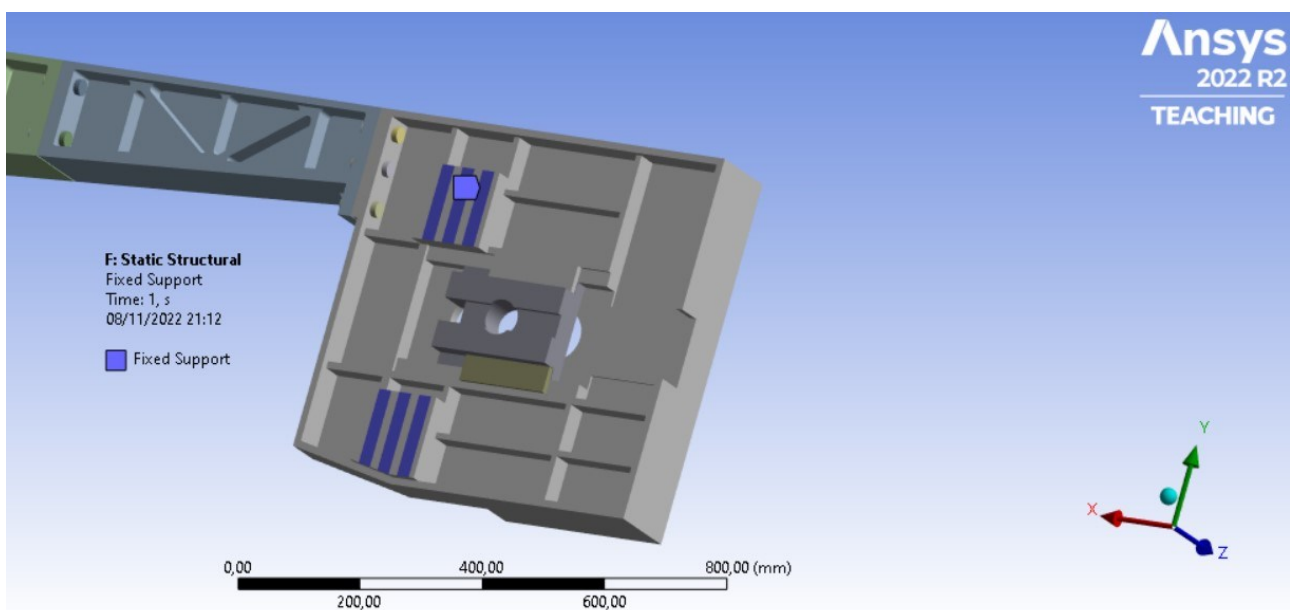


Figura 5.2.4b: Vincoli "fixed support" sulla parte posteriore della sezione puleggia folle.

### 5.3 PROVA DINAMICA: DEFINIZIONE DEL WORKFLOW

La prova dinamica è necessaria al fine di determinare il comportamento della testa di taglio quando la macchina andrà effettivamente a tagliare il materiale. In questa fase entrano in gioco forze variabili nel tempo dovute all'impatto fra i denti del nastro ed il materiale da tagliare, le quali inevitabilmente causeranno vibrazioni nella struttura. Da queste considerazioni deriva la necessità di eseguire un'analisi modale accoppiata ad un'analisi transiente. L'analisi modale sarà accoppiata ad un'analisi statica comprensiva delle sole forze di pretensionamento in modo da avvicinare il quanto più possibile il modello alla realtà. In Figura 5.3.1 è possibile vedere il workflow adottato in Ansys Workbench.

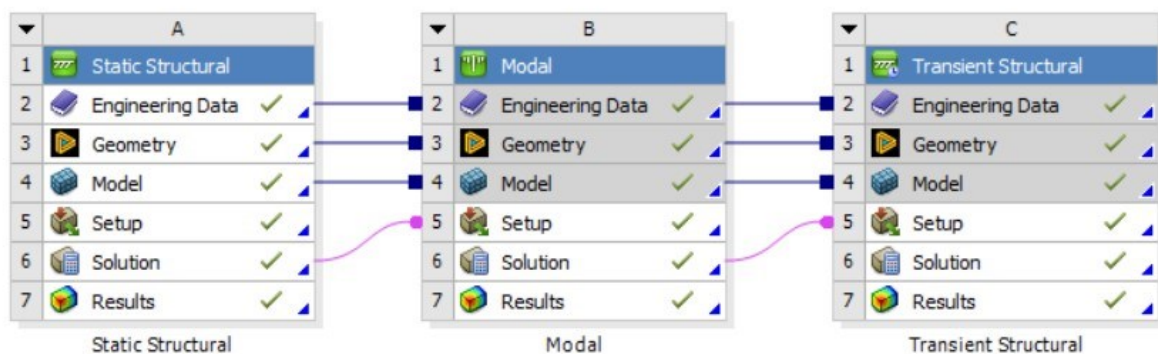


Figura 5.3.1: Sequenza delle analisi svolte su Ansys Workbench.

### 5.4 CENNI SULLA TEORIA DI TAGLIO DELLE SEGATRICI A NASTRO

A differenza delle lavorazioni di fresatura, foratura e brocciatura, le quali insieme al taglio di sega costituiscono la maggior parte delle lavorazioni meccaniche dove ci sono più denti in contatto durante la lavorazione, per la modellizzazione della forza scambiata fra i denti del nastro e il profilato in lavorazione si hanno in letteratura poche informazioni.

Mentre per la fresatura i primi risultati si attestano nel 1930, con il modello di Pijspanen, per il taglio solo nel 1970 fu studiato da Sarwar e Thompson il processo di taglio con il seghetto [4]. Essi svilupparono un modello di forza di taglio basato sullo spessore medio del truciolo in deformato e sulla costante di taglio e analizzarono anche l'azione di taglio utilizzando utensili smussati [4].

Ahmad [5] studiò gli effetti dei parametri di lavorazione per un gruppo di denti sulla costante definita da Sarwar e Thompson.

Milberg e Rehbein studiarono lo stesso un altro modello per descrivere le forze in gioco durante il taglio con segatrice a nastro e descrissero il processo come una funzione quadrata con una serie di Fourier; tuttavia, lo studio non includeva eventuali parametri di taglio [6].

I primi studi sulle vibrazioni del nastro furono condotti da Tönshoff e Westphal [8] e Ellis e Mote iniziarono studi sulle vibrazioni sui dischi delle seghe.

Ulsoy [7] studiò le vibrazioni di una lama per segatrice a nastro e concluse che le vibrazioni diminuivano incrementando il pretensionamento della lama e minimizzando la distanza tra le ganasce di guida [4].

C. Andersson, M.T. Andersson e Stahl [4] presentarono un modello valido in generale per il taglio pluri – tagliente e basato sulle forze di taglio su dente singolo. Il modello considera le variazioni delle singole forze di taglio dovute a errori nella posizione del tagliente, dinamica dell’utensile e usura del tagliente e le forze di taglio dipendono dalla sezione indeformata del truciolo e dalla resistenza al taglio del materiale in lavorazione.

Il modello sopra citato ha un approccio di modellazione analiticamente molto spinto e sarebbe in grado di fornire un risultato accurato, ma richiede la conoscenza di una serie di parametri, ad esempio l’angolo di taglio, lo sforzo dinamico, del friction angle, i quali sono parametri non facili da determinare in pratica [11]. Il modello meccanico per determinare le forze di taglio in gioco nel taglio con segatrici a nastro usato in questa trattazione [8] è stato sviluppato introducendo il modello di Martellotti [9,10] che utilizza lo spessore istantaneo del truciolo indeformato e la pressione di taglio specifica. A tal fine, la pressione di taglio specifica è stata ottenuta da un taglio a dente singolo, analogo al fly-cutting nella fresatura. È possibile eseguire il taglio a dente singolo usando un pezzo in lavorazione avente lo spessore più piccolo dell’intervallo tra due denti adiacenti del nastro []. Come già detto in precedenza, la forma di un nastro è descritta in termini di forma del dente, set e TPI. Le forme del dente possono essere standard, skip o hook. La forma standard è capace di fornire tagli accurati con una finitura liscia [11] ed è stata utilizzata nel modello citato []. I set possono essere “raker”, “straight” e “wave” [11]. Per TPI si intende, come già scritto in precedenza, il numero di denti per pollice.

In Figura 5.4.1 vediamo riproposta la geometria di un nastro:

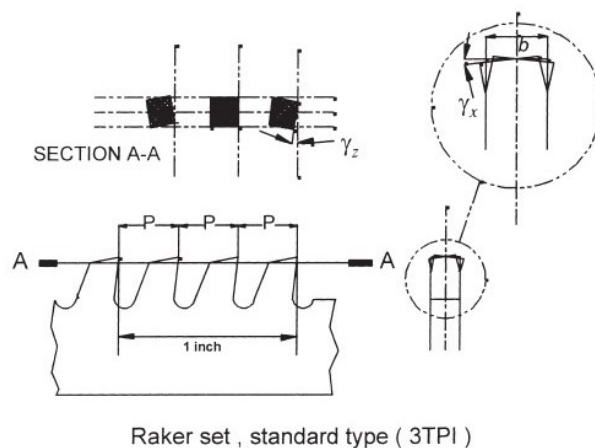


Figura 5.4.1: Geometria di un nastro [11].

Nel taglio con segatrice a nastro, l’avanzamento per dente è uguale alla profondità del taglio per ogni dente, poiché sono misurati nella stessa direzione [11]. Questo dipende sia dalla velocità di avanzamento che dalla velocità di taglio e può essere determinato con la (1):

$$(1) t_i = \frac{p \cdot f}{v}$$

Dove  $t_i$  è la profondità del taglio,  $p$  è la distanza tra due denti successivi [mm],  $f$  è la velocità di avanzamento [mm/min] e  $v$  è la velocità di taglio [m/s].

Come possiamo vedere in figura, il nastro è inclinato di un angolo "a" per un taglio più efficiente. Tuttavia, l'angolo è veramente piccolo e quindi l'attuale profondità di taglio "d" è approssimabile a "t<sub>i</sub>" [11]. Pertanto, l'area del truciolo indeformata "A" come mostrata in figura (la seconda) è dato dall'equazione (2):

$$(2) A = b \cdot t_i$$

Dove  $b$  è la larghezza del nastro.

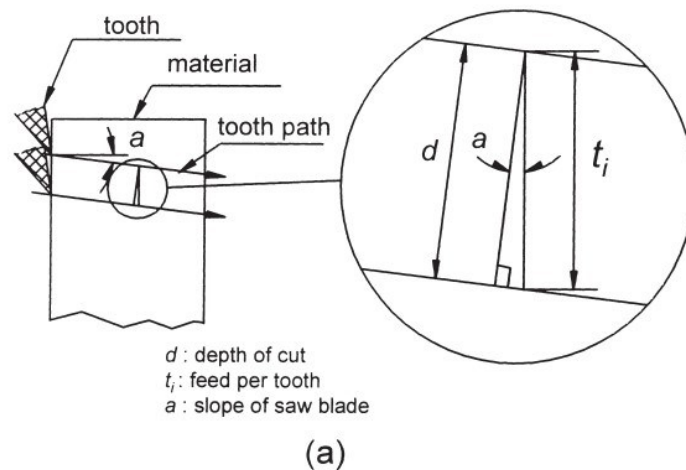


Figura 5.4.2a: Meccanismo di taglio di una sega a nastro [11].

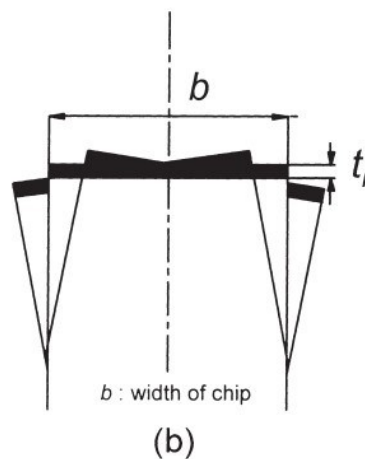


Figura 5.4.2b: Area di taglio reale di un dente [11].

Nel modello impiegato in questo lavoro viene fissato un sistema di riferimento con l'origine al centro della fine del tagliente, l'asse X lungo la direzione di taglio, l'asse Z perpendicolare alla superficie lavorata e diretto verso il basso mentre la direzione Y è determinata con la regola della mano destra (Figura 5.4.3):

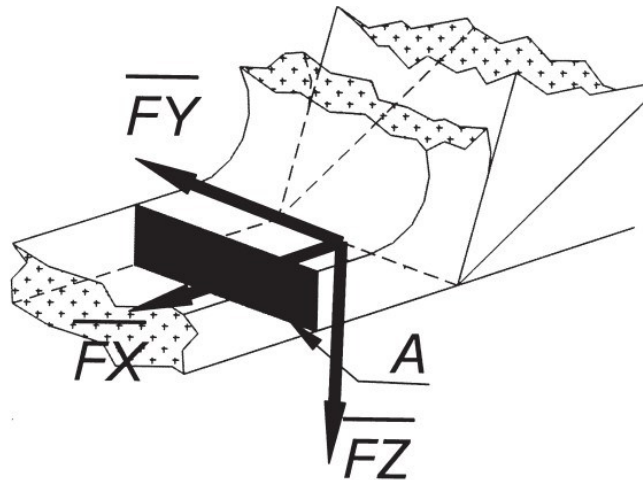


Figura 5.4.3: Forze di taglio [11].

Martellotti in [9,10] afferma che la forza  $F_x$  agente sulla sezione del truciolo lungo la direzione di taglio è data dal prodotto fra l'area della sezione del truciolo indeformata e la pressione di taglio specifica per dente ( $K_s$ ).

I coefficienti specifici di taglio nelle direzioni Y e Z ( $K_y$  e  $K_z$ ), sono ottenuti dividendo rispettivamente le forze di taglio nelle direzioni Y e Z ( $F_y$  e  $F_z$ ) per la forza  $F_x$  [11].

Quindi la pressione di taglio specifica e i coefficienti di taglio specifici sono ricavabili secondo le (3-5):

$$(3) \quad k_s = \frac{\overline{F_x}}{A}$$

$$(4) \quad k_y = \frac{\overline{F_y}}{\overline{F_x}}$$

$$(5) \quad k_z = \frac{\overline{F_z}}{\overline{F_x}}$$

Dove  $F_x$ ,  $F_y$  e  $F_z$  sono le principali forze di taglio per dente rispettivamente delle direzioni X, Y e Z.

In generale [11] per modellare una specifica pressione di taglio si ricorre alla (6):

$$(6) \quad k_s = \alpha \cdot A^\beta$$

La (6) è una relazione tra la pressione di taglio specifica e l'area del truciolo indeformata, da questa equazione riusciamo a fittare il modello [11].



La Figura 5.4.4 mostra un grafico di questo valore con la (7):

$$(7) k_s = 1427.6 \cdot A^{-0.295}$$

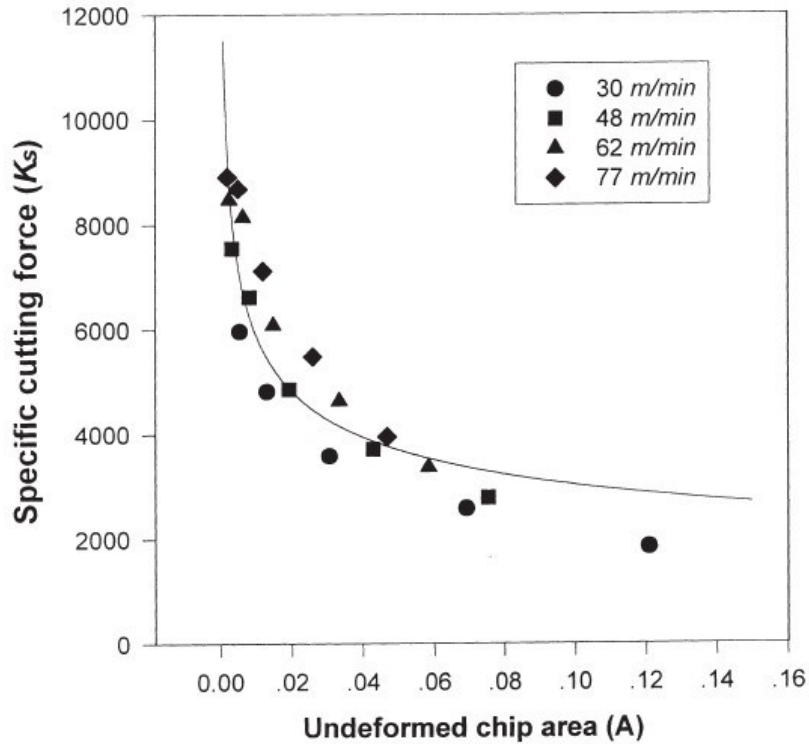


Figura5.4.4: Grafico della pressione specifica di taglio in funzione della sezione indeformata del truciolo [11].

Gli altri coefficienti di taglio specifici sono calcolati usando le equazioni (8-9).

Dalla [11] emerge come:

$$(8) F_z \cong 0.5 \cdot F_x$$

$$(9) F_y \cong 0$$

Dalla [11] è stato ricavato anche l'andamento delle forze di taglio, che risulta essere di tipo trapezoidale: nella Figura 5.4.5 vediamo una simulazione svolta nella [11] per specifici valori di velocità di taglio e velocità di avanzamento.

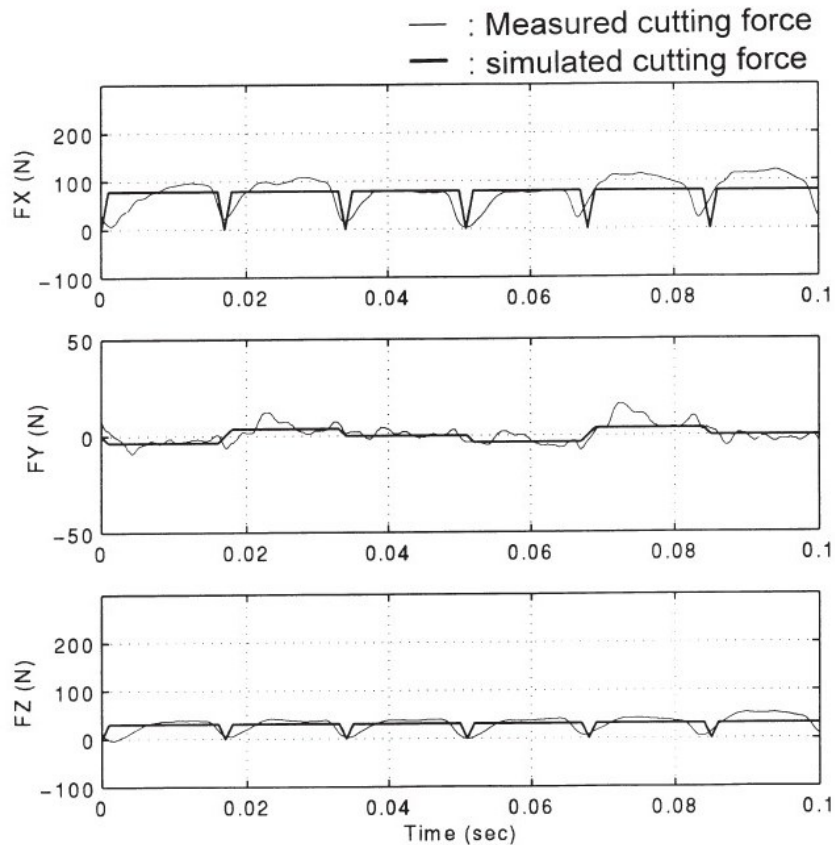


Figura 5.4.6: Andamento reale e teorico delle forze di taglio.

## 5.5 PROVA DINAMICA: DEFINIZIONE CARICHI AGENTI E VINCOLI

Per l'esecuzione della prova dinamica il modello rimane identico a quello impiegato per la prova statica. Si procede dapprima con un'analisi modale svolta con il modulo "Modal" presente su Ansys Workbench e poi con un'analisi transiente. L'analisi modale è una speciale tipologia di analisi dinamica che va ad esplorare il comportamento delle vibrazioni libere, e le caratteristiche più importanti delle vibrazioni libere sono le frequenze naturali alle quali corrispondono specifici modi di vibrare [12]. Le frequenze naturali ricavate saranno di fondamentale importanza per andare a provare il comportamento della testa di taglio quando è sottoposta a carichi con frequenze prossime a quelle naturali della stessa. Essendo un'analisi lineare, sono presenti solo contatti di tipo lineare quali "bonded" e "no separation" [12].

I vincoli impiegati per svolgere le analisi dinamiche della testa di taglio differiscono rispetto a quelli dell'analisi statica in quanto in queste analisi è preferibile avere una struttura isostatica per riuscire

ad individuare anche le sue frequenze naturali più basse. In Figura 5.5.1 possiamo vedere i vincoli di tipo “displacement” assegnati nei punti centrali delle impronte dei pattini sui tasselli presenti nella parte posteriore della testa di taglio.

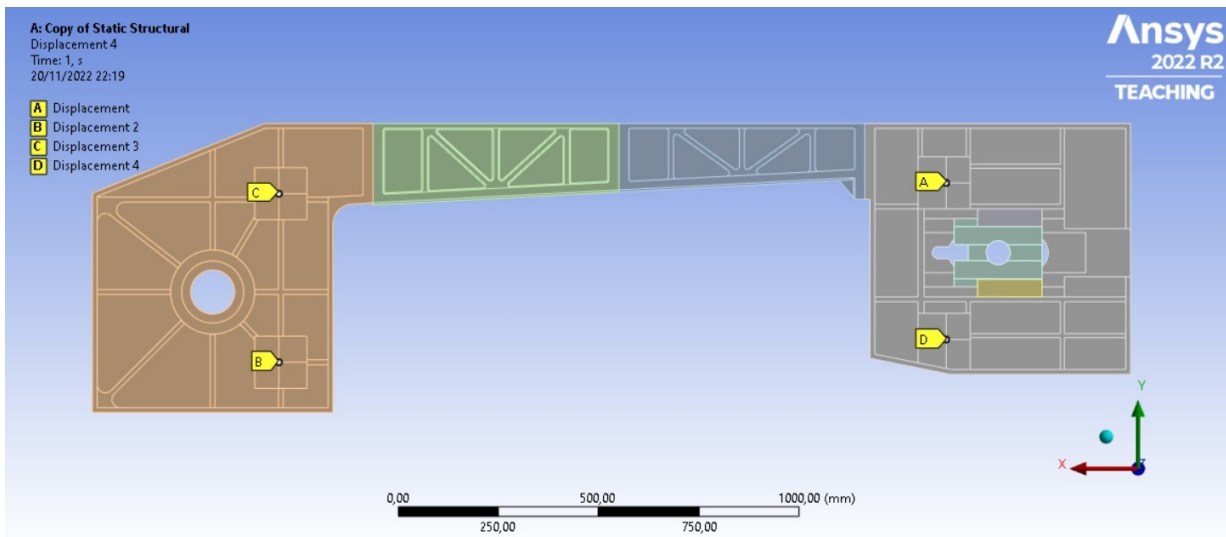


Figura 5.5.1: Vincoli della testa di taglio per le analisi dinamiche.

Il punto A della Figura 5.5.1 è stato vincolato ad avere uno spostamento pari a 0 nelle direzioni X e Z, mentre i punti B e D sono stati vincolati in direzione Y, il punto D è stato vincolato ulteriormente lungo Y ed il punto C lungo X.

Per quello che riguarda le forze di taglio, considerando la Figura 5.5.2 si ha che le pulegge ruotando in senso antiorario fanno muovere il nastro e quindi i suoi denti da sinistra verso destra e quindi per il principio di azione e reazione le forze di taglio che si scaricano sugli alloggiamenti degli alberi delle suddette avranno il verso come in Figura 5.5.2.

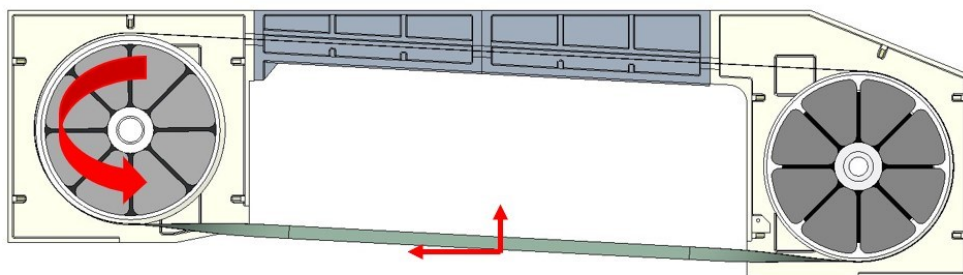


Figura 5.5.2: Verso di rotazione delle pulegge e forze di reazione del taglio.

In Figura 5.5.3 possiamo vedere gli sforzi di taglio sul modello FEM applicati sugli alloggiamenti degli alberi tramite il comando “remote force”.

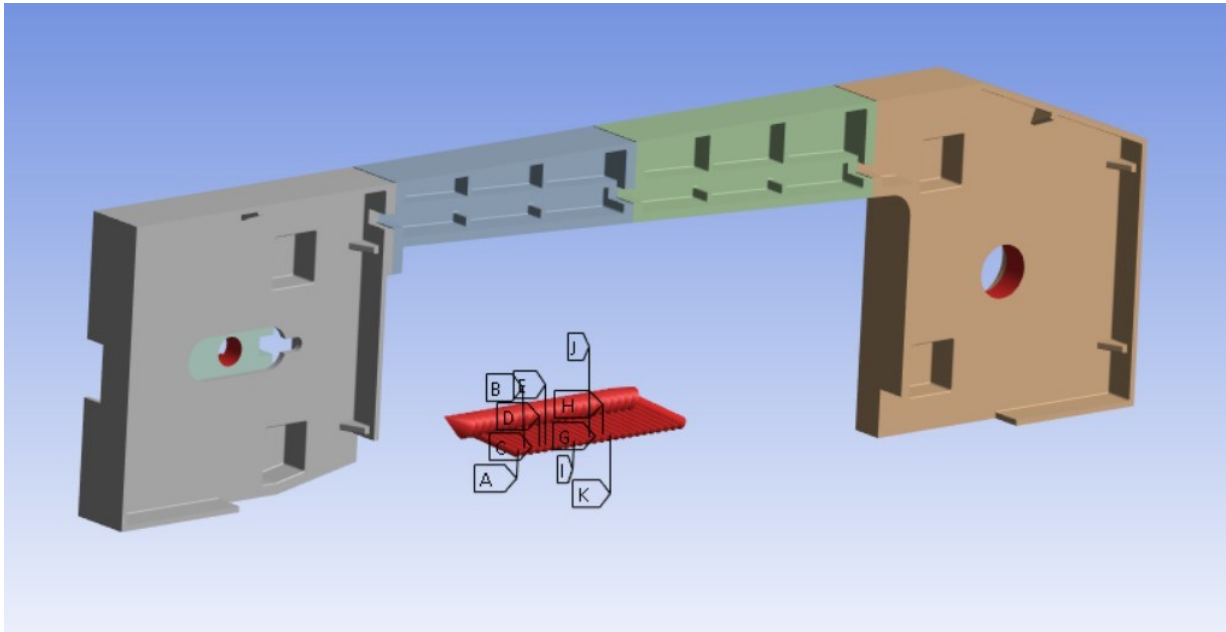


Figura 5.5.3: Forze di taglio implementate sul modello FEM.

Il modello delle forze di taglio introdotto nel Capitolo 5.4 è stato implementato in un foglio di calcolo, che riceve in input i seguenti dati:

- Passo del nastro  $P$  [TPI]
- Velocità avanzamento  $V_a$  [mm/min]
- Velocità di taglio  $V_t$  [m/min]
- Larghezza del dente  $b$  [mm]
- Distanza lineare asse folle – ganascia fissa della morsa  $P_f$  [mm]
- Larghezza pezzo [mm]
- Pressione di taglio specifica  $K_s$  [N/mm<sup>2</sup>]

E restituisce in output:

- Le componenti della forza di taglio
- Frequenza e periodo delle forze
- La quantità di forze e la loro coordinata spaziale lungo il nastro

Il set di parametri impiegato per le analisi dinamiche è stato determinato in modo tale che riuscisse a sollecitare il sistema con delle forze aventi una frequenza di un valore prossimo alle frequenze proprie delle teste di taglio ottenute dalle analisi modali.

### 5.5.1 SCENARIO DI TAGLIO 1

Il primo scenario analizzato riguarda il taglio di una sezione piena di 16MnCr5 avente una lunghezza di 250 mm in direzione orizzontale.

Da [2] si ricava che il nastro consigliato per questo tipo di applicazione è da 2 TPI ed i parametri di taglio consigliati sono  $V_t = 65$  m/min e  $V_a = 36$  mm/min.

In Tabella 5.5.1.1 sono riassunti gli input:

Tabella 5.5.1.1: Input del foglio di calcolo.

DATI IN INGRESSO		
Passo nastro	P	2 TPI
Velocità avanzamento	V <sub>a</sub>	36 mm/min
Velocità di taglio	V <sub>t</sub>	65 m/min
Larghezza dente	b	1,3 mm
D asse folle-ganascia fissa	Pf	1144 mm
Larghezza pezzo	L	250 mm

Di seguito nelle Tabelle 5.5.1.2 e 5.5.1.3 sono riportati i risultati restituiti dal foglio di calcolo:

Tabella 5.5.1.2: Output del foglio di calcolo per il primo scenario di taglio.

CALCOLO FORZE DI TAGLIO [inserire K <sub>s</sub> manualmente]			
Velocità di taglio	V <sub>t</sub>	65000	mm/min
Passo nastro	p	12,7	mm
Profondità del taglio	t <sub>i</sub>	0,007034	mm
Undeformed chip area	A	0,009144	mm <sup>2</sup>
Press. taglio specifica	K <sub>s</sub>	7125	N/mm <sup>2</sup> [dal grafico]
	F <sub>x</sub>	65,15	N
	F <sub>z</sub>	32,57	N

È bene precisare che i vettori delle forze della tabella 5.5.1.2 fanno riferimento al sistema di riferimento della Figura 5.4.3.

Tabella 5.5.1.3: Output del foglio di calcolo per il primo scenario di taglio.

CALCOLO FREQUENZA			
Velocità di taglio	V <sub>t</sub>	1083,333	mm/s
Frequenza	f	85,30184	Hz
Periodo	T	0,011	s

Come ultimo risultato in uscita, in Tabella 5.5.1.4 si riportano la quantità e le coordinate spaziali delle forze disposte lungo il nastro, dove si è assunta la approssimazione che l'inclinazione del nastro sia nulla.

**Tabella 5.5.1.4:** Coordinate delle forze lungo la lunghezza del nastro per il primo scenario di taglio.

<b>CALCOLO COORDINATE</b>	
Pi	894 mm
P1	906,7 mm
P2	919,4 mm
P3	932,1 mm
P4	944,8 mm
P5	957,5 mm
P6	970,2 mm
P7	982,9 mm
P8	995,6 mm
P9	1008,3 mm
P10	1021 mm
P11	1033,7 mm
P12	1046,4 mm
P13	1059,1 mm
P14	1071,8 mm
P15	1084,5 mm
P16	1097,2 mm
P17	1109,9 mm
P18	1122,6 mm
P19	1135,3 mm
P20	1148 mm

Da questi risultati in uscita si ha la completa definizione dei dati da inserire per la configurazione dell'analisi transiente sul modulo "Transient Structural" di Ansys Workbench.

Passando alla configurazione dei parametri per l'analisi transiente, bisogna definire i seguenti parametri:

- Il numero di step pari a 1;
- Il "time step" pari a  $1E-4$  [s], il quale determinerà il numero di substep;
- Lo "step end time" pari a tre volte il periodo ottenuto in precedenza, quindi 0.0336 [s];
- Il Damping Ratio, rappresentante lo smorzamento, pari all'2% per strutture in ghisa e 1% per strutture in acciaio.

Nelle Figure 5.5.1.1 e 5.5.1.2 sono illustrati il diagramma delle forze di taglio applicate e la "tabular data" che riassume il diagramma, i cui valori fanno riferimento al sistema di riferimento del modello FEM.

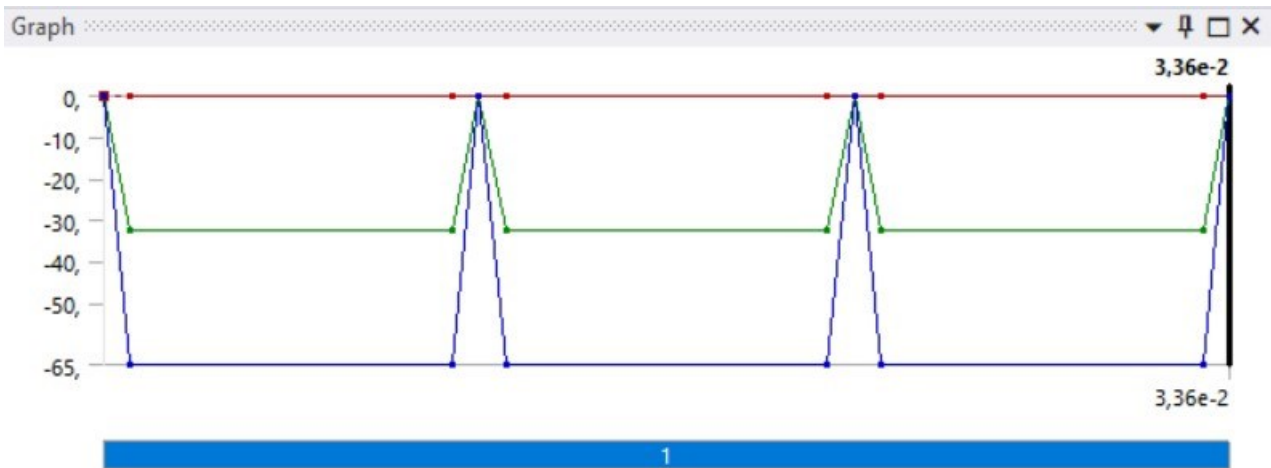


Figura 5.5.1.1: Ciclo di carico del primo scenario di taglio.

Tabular Data					
	Steps	Time [s]	<input checked="" type="checkbox"/> X [N]	<input checked="" type="checkbox"/> Y [N]	<input checked="" type="checkbox"/> Z [N]
1	1	0,	= 0,	0,	0,
2	1	8,e-004	0,	-32,5	-65,
3	1	1,04e-002	0,	-32,5	-65,
4	1	1,12e-002	0,	0,	0,
5	1	1,2e-002	0,	-32,5	-65,
6	1	2,16e-002	0,	-32,5	-65,
7	1	2,24e-002	0,	0,	0,
8	1	2,32e-002	0,	-32,5	-65,
9	1	3,28e-002	0,	-32,5	-65,
10	1	3,36e-002	0,	0,	0,
*					

Figura 5.5.1.2: Valori del ciclo di carico per il primo scenario di taglio.

## 5.5.2 SCENARIO DI TAGLIO 2

Il secondo scenario analizzato riguarda il taglio di una sezione piena di X210Cr12 avente una lunghezza di 120mm in direzione orizzontale.

Da [2] si ricava che il nastro consigliato per questo tipo di applicazione è da 3 TPI ed i parametri di taglio consigliati sono  $V_t = 33$  m/min e  $V_a = 14$  mm/min.

In Tabella 5.5.2.1 sono riassunti gli input per il foglio di calcolo:

**Tabella 5.5.2.1:** Input del foglio di calcolo per il secondo scenario di taglio.

DATI IN INGRESSO		
Passo nastro	P	3 TPI
Velocità avanzamento	$V_a$	14 mm/min
Velocità di taglio	$V_t$	33 m/min
Larghezza dente	b	1,3 mm
D asse folle-ganascia fissa	Pf	1144 mm
Larghezza pezzo	L	120 mm

Di seguito nelle Tabella 5.5.2.2 sono riportati i risultati restituiti dal foglio di calcolo:

**Tabella 5.5.2.2:** Output del foglio di calcolo per il secondo scenario di taglio.

CALCOLO FORZE DI TAGLIO [inserire Ks manualmente]			
Velocità di taglio	$V_t$	33000 mm/min	
Passo nastro	p	8,46 mm	
Profondità del taglio	$t_i$	0,003592 mm	
Undeformed chip area	A	0,004669 mm <sup>2</sup>	
Press. taglio specifica	$K_s$	7500 N/mm <sup>2</sup>	[dal grafico]
	$F_x$	35 N	
	$F_z$	17,5 N	

È bene precisare che i vettori delle forze della Tabella 5.5.2.3 fanno riferimento al sistema di riferimento della Figura 5.4.3.

**Tabella 5.5.2.3:** Output del foglio di calcolo per il secondo scenario di taglio.

CALCOLO FREQUENZA		
Velocità di taglio	$V_t$	550 mm/s
Frequenza	f	64,96 Hz
Periodo	T	0,0154 s



Come ultimo risultato in uscita, in Tabella 5.5.2.4 si riportano la quantità e le coordinate spaziali delle forze disposte lungo il nastro, dove si è assunta la approssimazione che l'inclinazione del nastro sia nulla.

**Tabella 5.5.2.4:** Coordinate delle forze lungo la lunghezza del nastro per il secondo scenario di taglio.

<b>CALCOLO COORDINATE</b>		
Pi	1024	mm
P1	1032,467	mm
P2	1040,933	mm
P3	1049,4	mm
P4	1057,867	mm
P5	1066,333	mm
P6	1074,8	mm
P7	1083,267	mm
P8	1091,733	mm
P9	1100,2	mm
P10	1108,667	mm
P11	1117,133	mm
P12	1125,6	mm
P13	1134,067	mm
P14	1142,533	mm
P15	1151	mm

Da questi risultati in uscita si ha la completa definizione dei dati da inserire per la configurazione dell'analisi transiente sul modulo "Transient Structural" di Ansys Workbench.

Passando alla configurazione dei parametri per l'analisi transiente, bisogna definire i seguenti parametri:

- Il numero di step pari a 1;
- Il "time step" pari a  $2E-4$  [s], il quale determinerà il numero di substep;
- Lo "step end time" pari a tre volte il periodo ottenuto in precedenza, quindi  $0,0462$  [s];
- Il Damping Ratio, rappresentante lo smorzamento, pari all'2% per strutture in ghisa e 1% per strutture in acciaio.

Nelle Figure 5.5.1.3 e 5.5.1.4 sono illustrati il diagramma delle forze di taglio applicate e la "tabular data" che riassume il diagramma, i cui valori fanno riferimento al sistema di riferimento presente nel modello FEM.

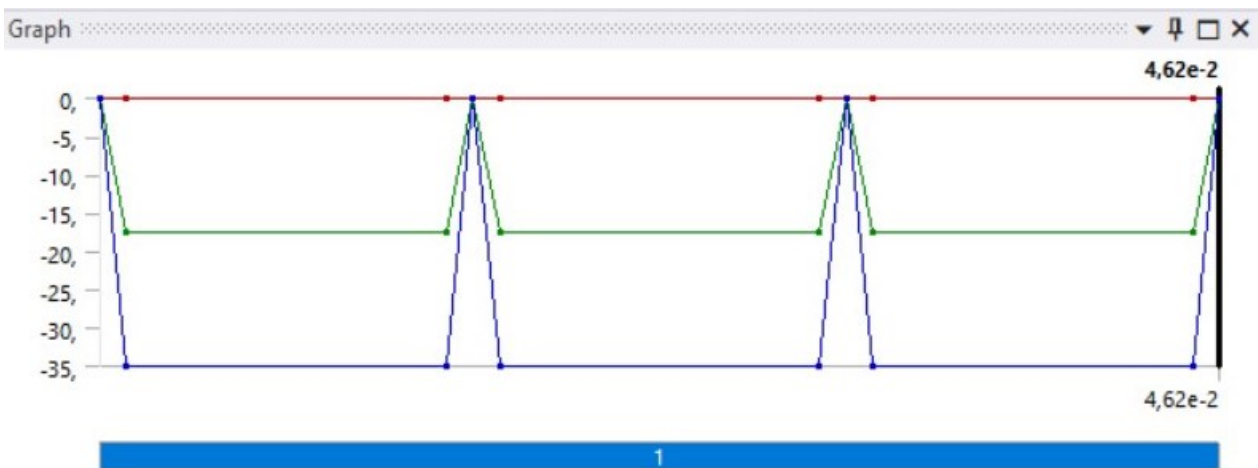


Figura 5.5.1.3: Ciclo di carico dello scenario 2.

Tabular Data					
	Steps	Time [s]	X [N]	Y [N]	Z [N]
1	1	0,	0,	0,	0,
2	1	1,1e-003	0,	-17,5	-35,
3	1	1,43e-002	0,	-17,5	-35,
4	1	1,54e-002	0,	0,	0,
5	1	1,65e-002	0,	-17,5	-35,
6	1	2,97e-002	0,	-17,5	-35,
7	1	3,08e-002	0,	0,	0,
8	1	3,19e-002	0,	-17,5	-35,
9	1	4,51e-002	0,	-17,5	-35,
10	1	4,62e-002	0,	0,	0,
*					

Figura 5.5.1.4: Valori del ciclo di carico dello scenario 2.

### 5.5.3 SCENARIO DI TAGLIO 3

L'ultimo scenario di taglio sarà impiegato per confrontare l'unica soluzione in acciaio scelta con la testa di taglio in ghisa e si riferisce al taglio di un C35 avente lunghezza in direzione orizzontale di 430mm. In Tabella 5.5.3.1 si riportano input e nelle Tabelle 5.5.3.1, 5.5.3.2, 5.5.3.3 E 5.5.3.4 i corrispettivi output.

Tabella 5.5.3.1: Input del foglio di calcolo per il terzo scenario di taglio.

DATI IN INGRESSO			
Passo lama	P	1,4	TPI
Velocità avanzamento	$V_a$	18	mm/min
Velocità di taglio	$V_t$	30	m/min
Larghezza dente	b	1,3	mm
d asse folle-ganascia fissa	Pf	1144	mm
Larghezza pezzo	L	430	mm

**Tabella 5.5.3.2:** Output del foglio di calcolo per il terzo scenario di taglio.

<b>CALCOLO FORZE [inserire Ks manualmente]</b>			
Velocità di taglio	$V_t$	30000	mm/min
Passo lama	$p$	18,14286	mm
Profondità del taglio	$t_i$	0,010886	mm
Undeformed chip area	$A$	0,014151	mm <sup>2</sup>
Press. taglio specifica	$K_s$	4900	N/mm <sup>2</sup> [dal grafico]
	$F_x$	69,34	N
	$F_z$	34,67	N

**Tabella 5.5.3.3:** Output del foglio di calcolo per il terzo scenario di taglio.

<b>CALCOLO FREQUENZA</b>		
Velocità di taglio	$V_t$	500 mm/s
Frequenza	$f$	27,55 Hz
Periodo	$T$	0,0363 s

**Tabella 5.5.3.4:** Coordinate delle forze lungo la lunghezza del nastro per il secondo scenario di taglio.

<b>CALCOLO COORDINATE</b>	
Pi	714 mm
P1	732,1429 mm
P2	750,2857 mm
P3	768,4286 mm
P4	786,5714 mm
P5	804,7143 mm
P6	822,8571 mm
P7	841 mm
P8	859,1429 mm
P9	877,2857 mm
P10	895,4286 mm
P11	913,5714 mm
P12	931,7143 mm
P13	949,8571 mm
P14	968 mm
P15	986,1429 mm
P16	1004,286 mm
P17	1022,429 mm
P18	1040,571 mm
P19	1058,714 mm
P20	1076,857 mm
P21	1095 mm
P22	1113,143 mm
P23	1131,286 mm

## 6 - RISULTATI

### 6.1 RISULTATI ANALISI STATICA

#### 6.1.1 GHISA

Nelle Figure 6.1.1.1 e 6.1.1.2 vengono mostrate la deformazione totale e la deformazione lungo l'asse Z (del sistema di riferimento presente sulla sezione "puleggia folle") della testa di taglio in ghisa. L'andamento delle tensioni è stato tralasciato in quanto i valori di tensione non raggiungono valori elevati.

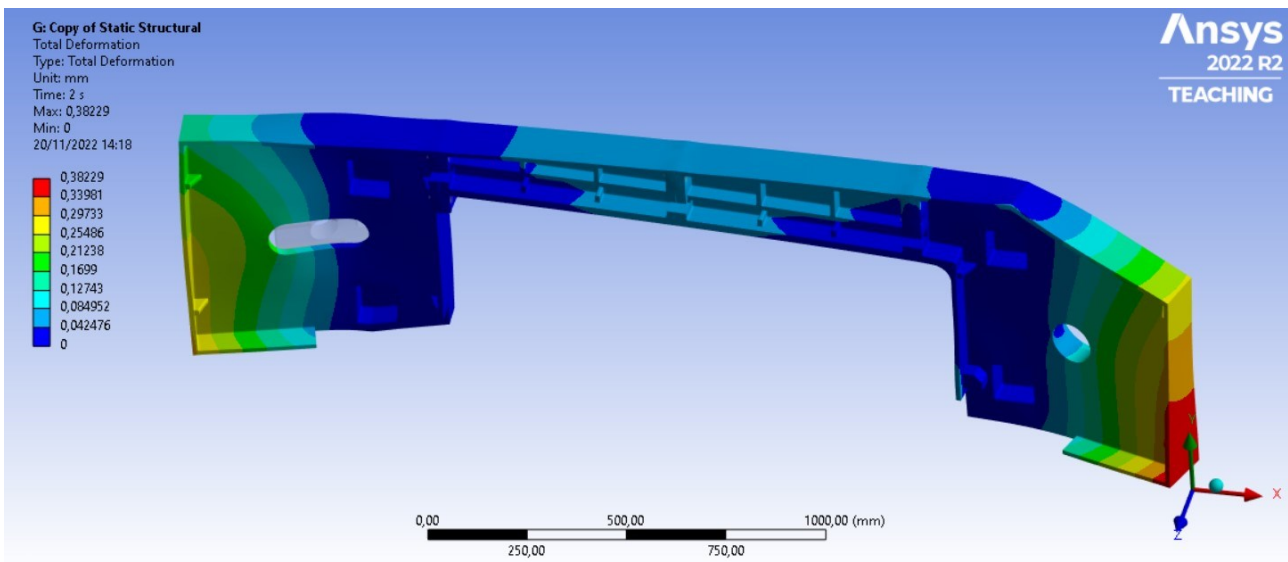


Figura 6.1.1.1: Deformazione totale della testa di taglio in ghisa.

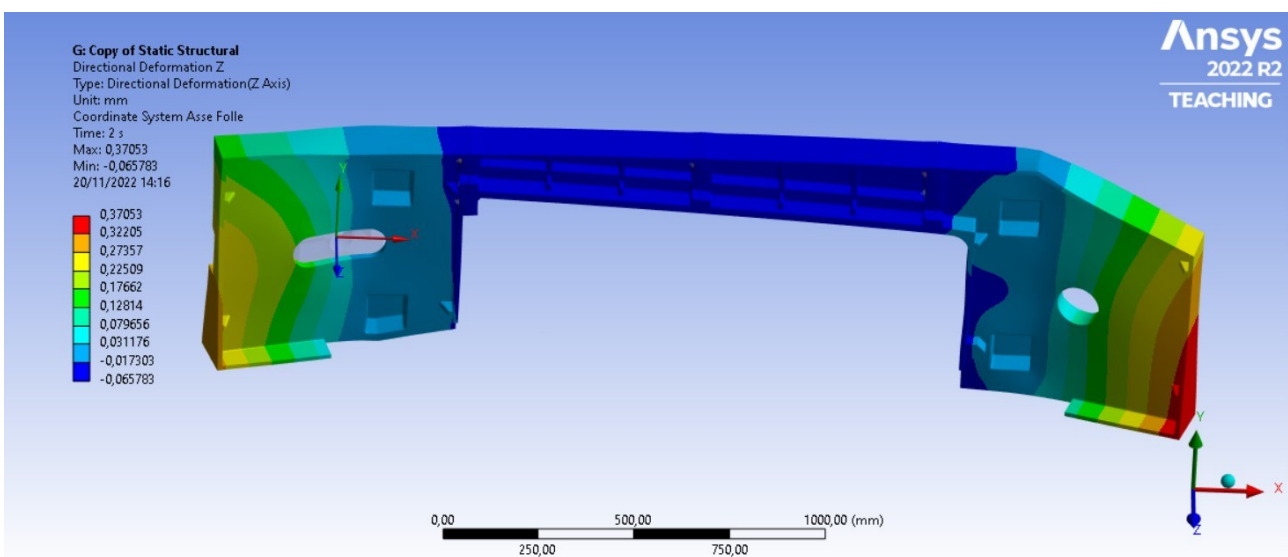


Figura 6.1.1.2: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio in ghisa.

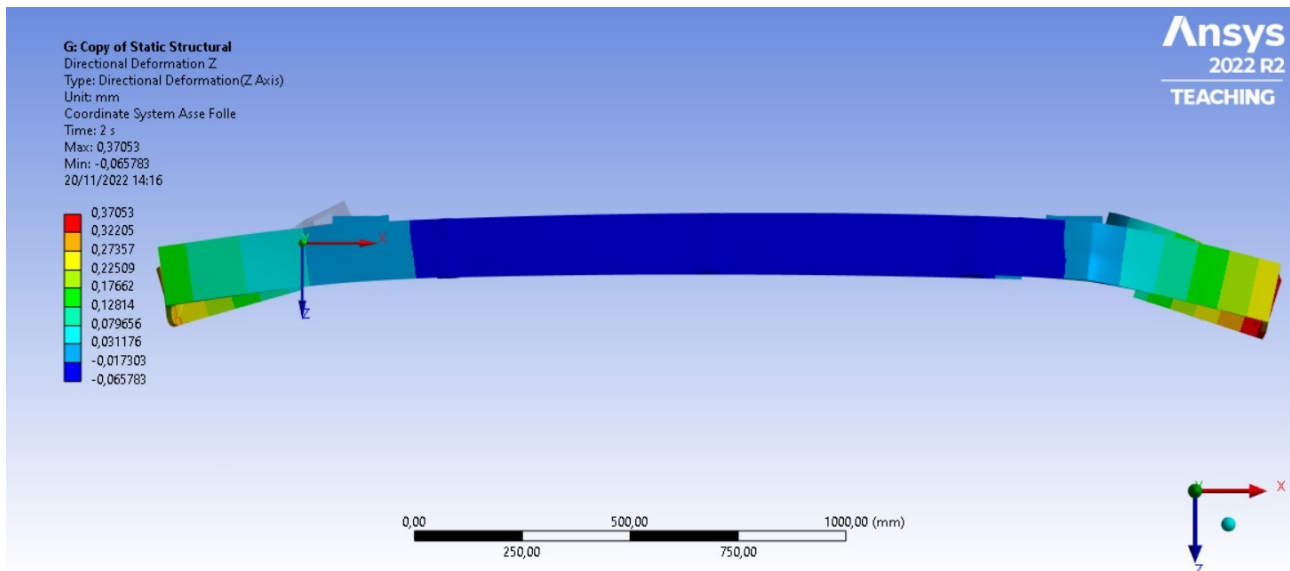


Figura 6.1.1.3: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio in ghisa (vista dall'alto).

Osservando le Figure 6.1.1.1, 6.1.1.2 e 6.1.1.3 possiamo vedere che la massima deformazione lungo la direzione Z è situata nell'estremità destra inferiore della "sezione puleggia motrice", ovvero in una zona dove non sono presenti organi meccanici e quindi la precisione della segatrice non è influenzata. La parte centrale della testa di taglio (composta dalle due travi) rimane piuttosto indeformata, e questo è un aspetto positivo in quanto nella parte inferiore di essa sono presenti le guide che sono accoppiate coi pattini che permettono il movimento dei braccetti guidalama: una deformazione quasi nulla assicura quindi uno scorrimento agevole dei braccetti lungo la trave ma soprattutto una estrema precisione nella guida del nastro e tutto questo va a ridurre le operazioni di registrazione del nastro (per garantire la sua perpendicolarità rispetto al piano di taglio) durante la messa in opera della segatrice.

Osservando invece la Figura 6.1.1.4 vediamo che anche la parte posteriore della segatrice, in corrispondenza degli assi di rotazione delle pulegge è interessata da deformazioni nell'ordine del centesimo di millimetro che si compensano facilmente con i giochi degli organi meccanici.

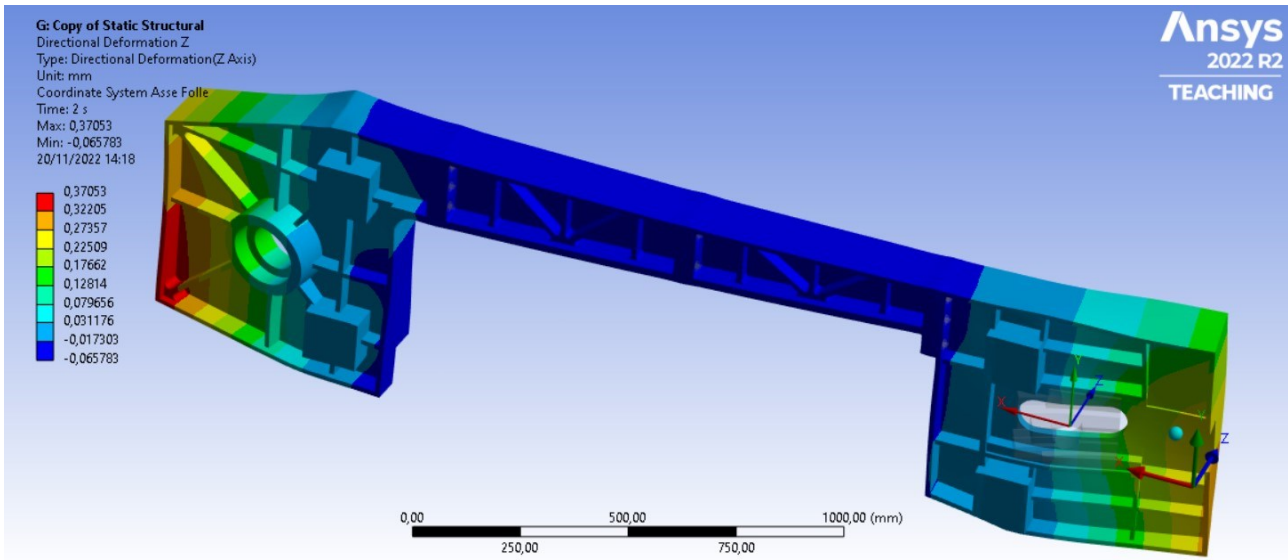


Figura 6.1.1.3: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio in ghisa (vista posteriore).

## 6.1.2 ACCIAIO 1

Nelle Figure 6.1.2.1, 6.1.2.2 e 6.1.2.3 vengono mostrate la deformazione totale e la deformazione lungo l'asse Z (del sistema di riferimento presente sulla sezione "puleggia folle") della testa prima di taglio in acciaio. Anche in questo caso l'andamento delle tensioni è stato tralasciato in quanto i valori di tensione non raggiungono valori elevati.

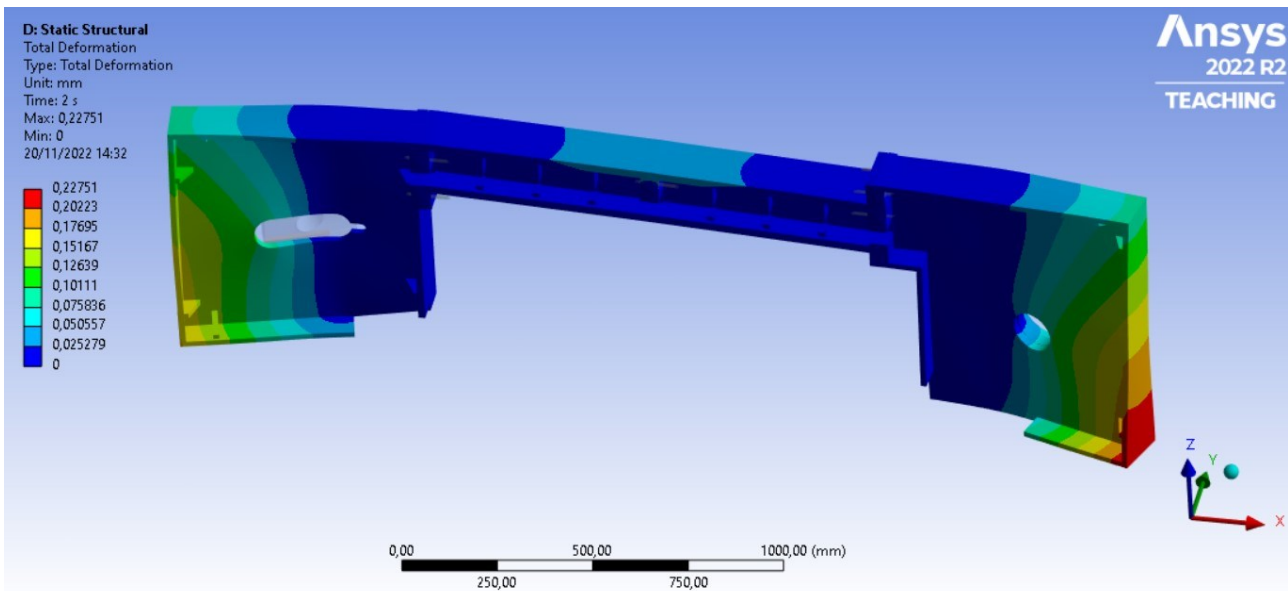


Figura 6.1.2.1: Deformazione totale della testa di taglio Acciaio 1.



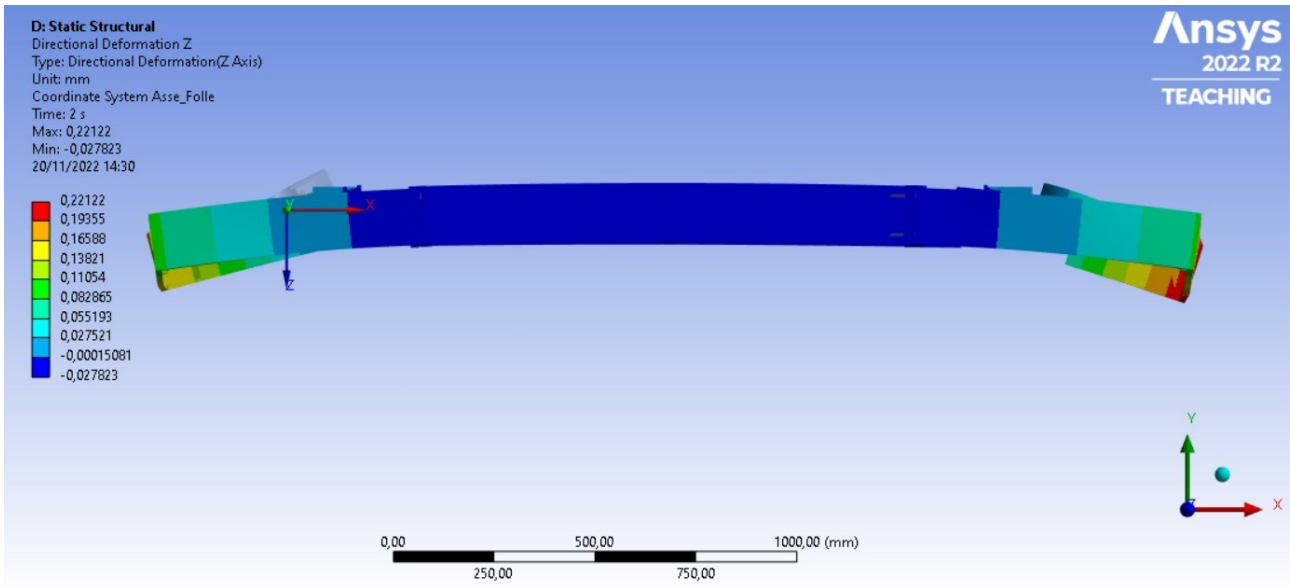


Figura 6.1.2.2: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Acciaio 1 (vista dall'alto).

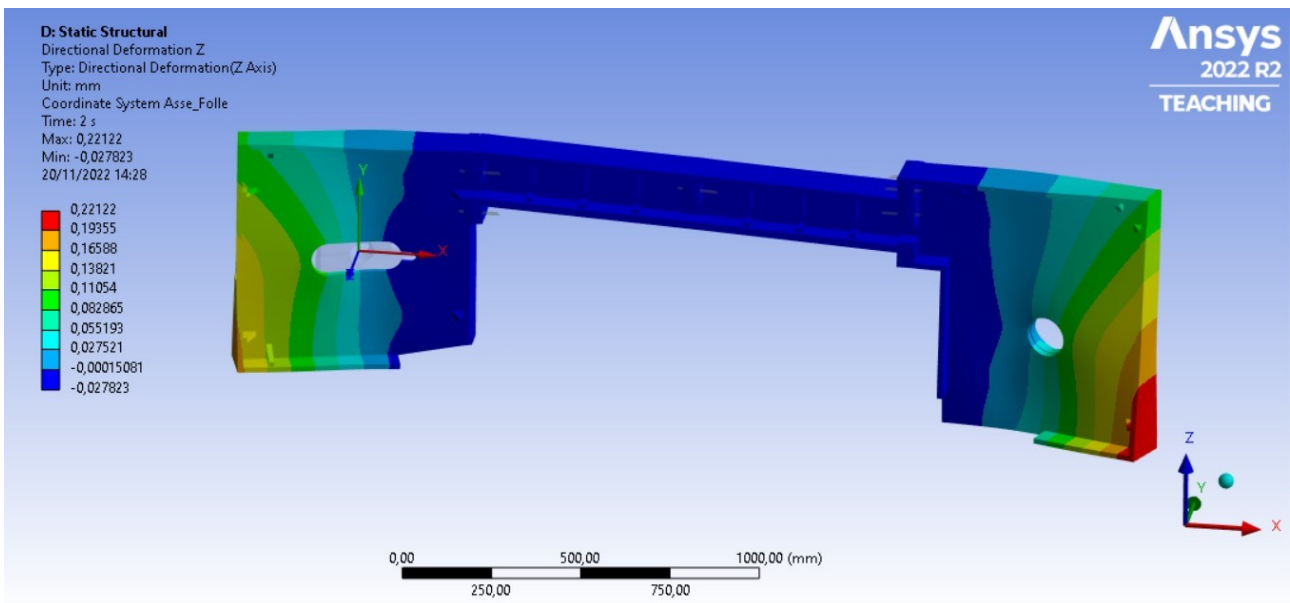


Figura 6.1.2.3: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Acciaio 1.

Osservando le Figura 6.1.2.3 vediamo come in direzione Z la deformazione massima è collocata nella parte in basso a destra della “sezione puleggia motrice” ed ha un valore di 0.22 mm. Tale valore non desta preoccupazioni anche perché come già scritto in questa zona della testa di taglio non sono presenti organi meccanici. Sempre guardando le Figura 6.1.2.3 possiamo notare come la zona centrale della testa di taglio rimanga indeformata, sia lungo la direzione Z e sia anche a livello di deformazione totale, stessa cosa per le zone dove andranno calettati gli organi di trasmissione.

Osservando la parte posteriore della testa di taglio in Figura 6.1.2.4 possiamo vedere come le sedi dove andranno calettati gli organi di trasmissione non siano interessati da valori di spostamento elevati.

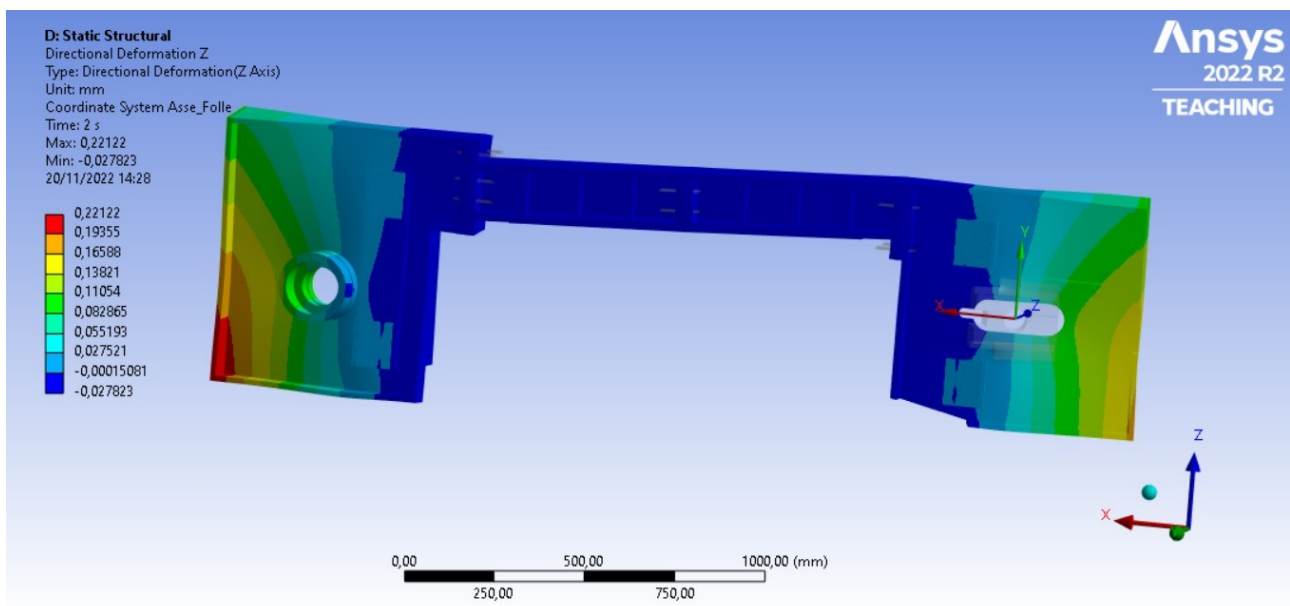


Figura 6.1.2.4: Deformazione lungo l’asse Z della testa di taglio Acciaio 1 (vista posteriore).

### 6.1.3 ACCIAIO MONOBLOCCO

Nelle immagini di seguito (Figure 6.1.3.1, 6.1.3.2 e 6.1.3.2) vengono mostrate la deformazione totale e la deformazione lungo l'asse Z (del sistema di riferimento presente sulla sezione "puleggia folle") della seconda testa di taglio in acciaio. Anche in questo caso l'andamento delle tensioni è stato tralasciato in quanto i valori di tensione non raggiungono valori elevati.

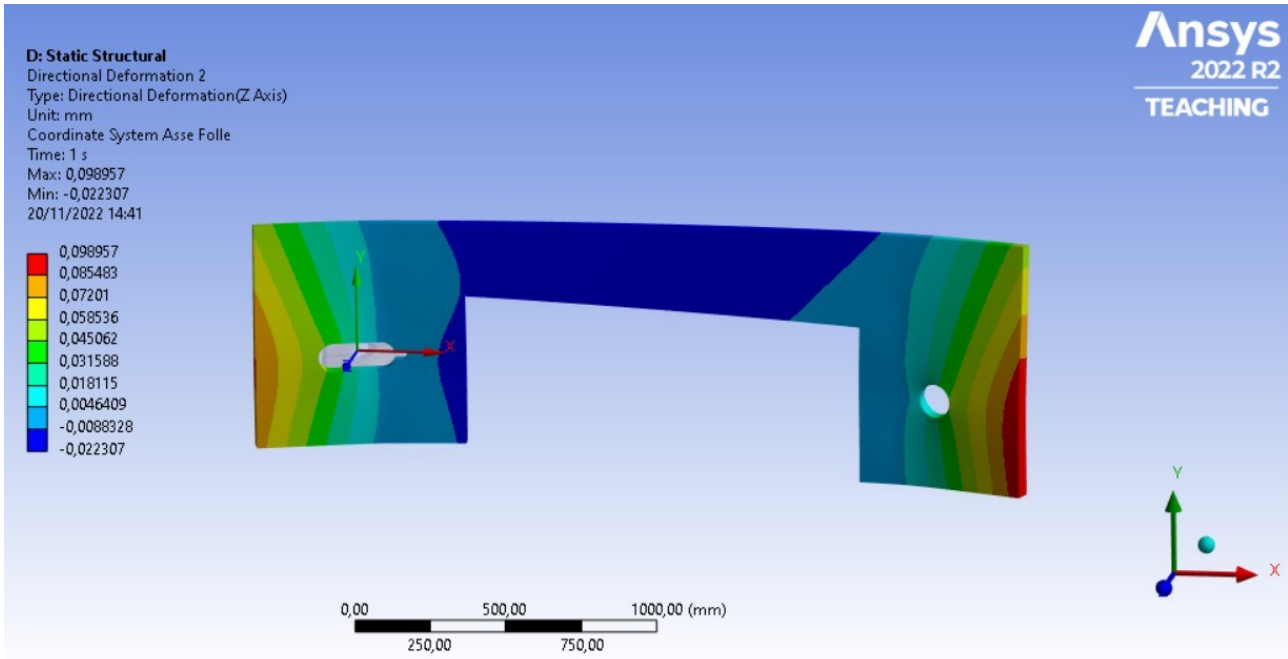


Figura 6.1.3.1: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio monoblocco.

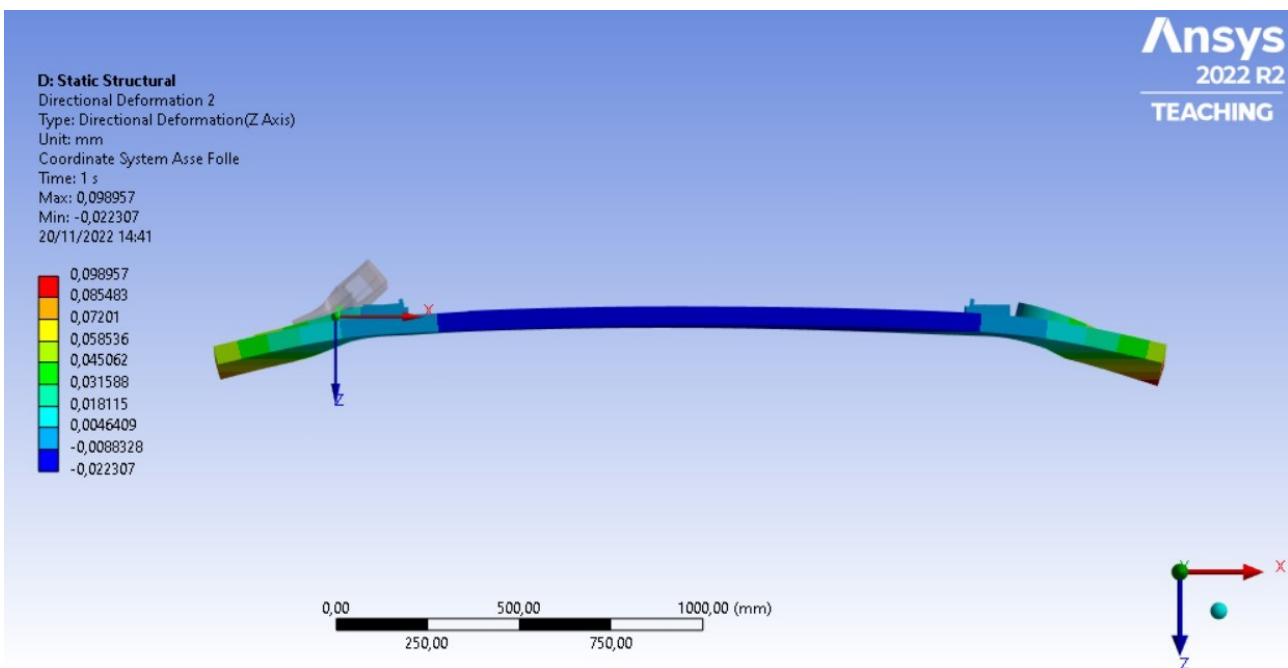


Figura 6.1.3.2: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio monoblocco (vista dall'alto).

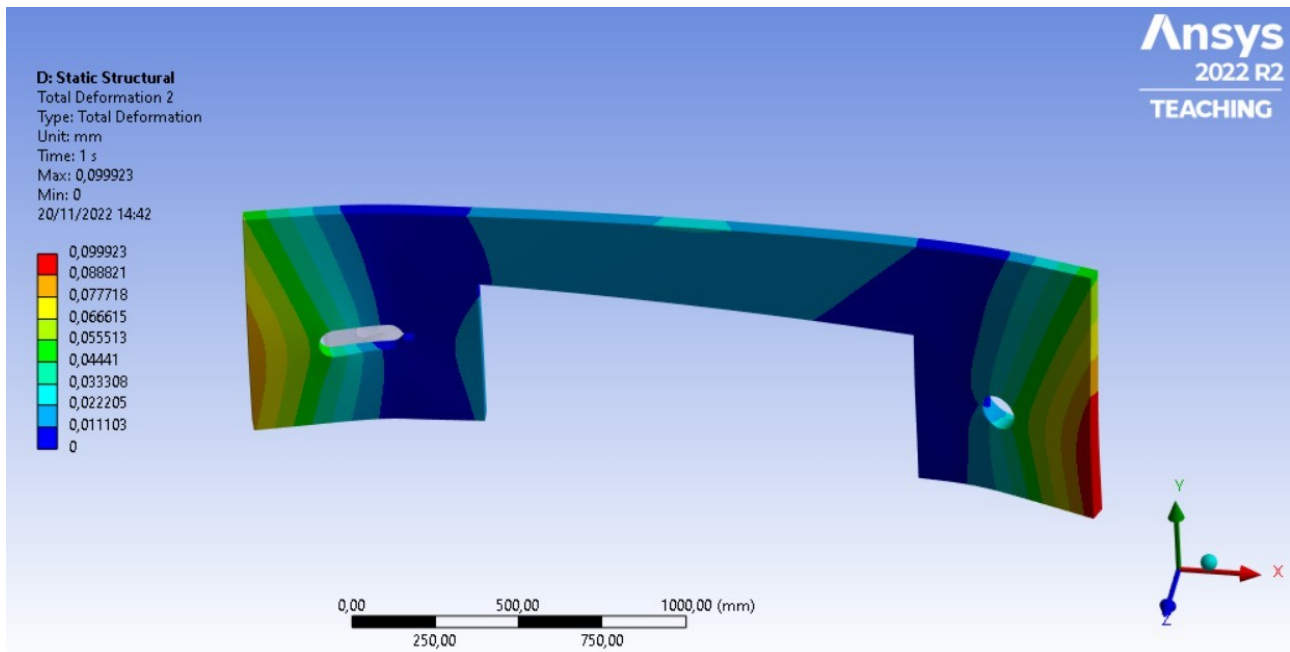


Figura 6.1.3.3: Deformazione totale della testa di taglio monoblocco.

Osservando le Figure 6.1.3.1 e 6.1.3.2 vediamo come anche in questo caso il massimo valore di deformazione lungo l'asse Z sia localizzato nella parte inferiore destra della "sezione puleggia motrice" (anche se in questo caso si sta parlando della soluzione "monoblocco"), mentre le altre zone hanno una deformazione sempre lungo Z che non supera gli 0.06 mm e quindi almeno dal punto di vista statico non pregiudicano il funzionamento del macchinario.

### 6.1.4 ACCIAIO 3

Nelle immagini di seguito (Figure 6.1.4.1, 6.1.4.2 e 6.1.4.3) vengono mostrate la deformazione totale e la deformazione lungo l'asse Z (del sistema di riferimento presente sulla sezione "puleggia folle") della terza testa di taglio in acciaio. Anche in questo caso l'andamento delle tensioni è stato tralasciato in quanto i valori di tensione non raggiungono valori elevati.

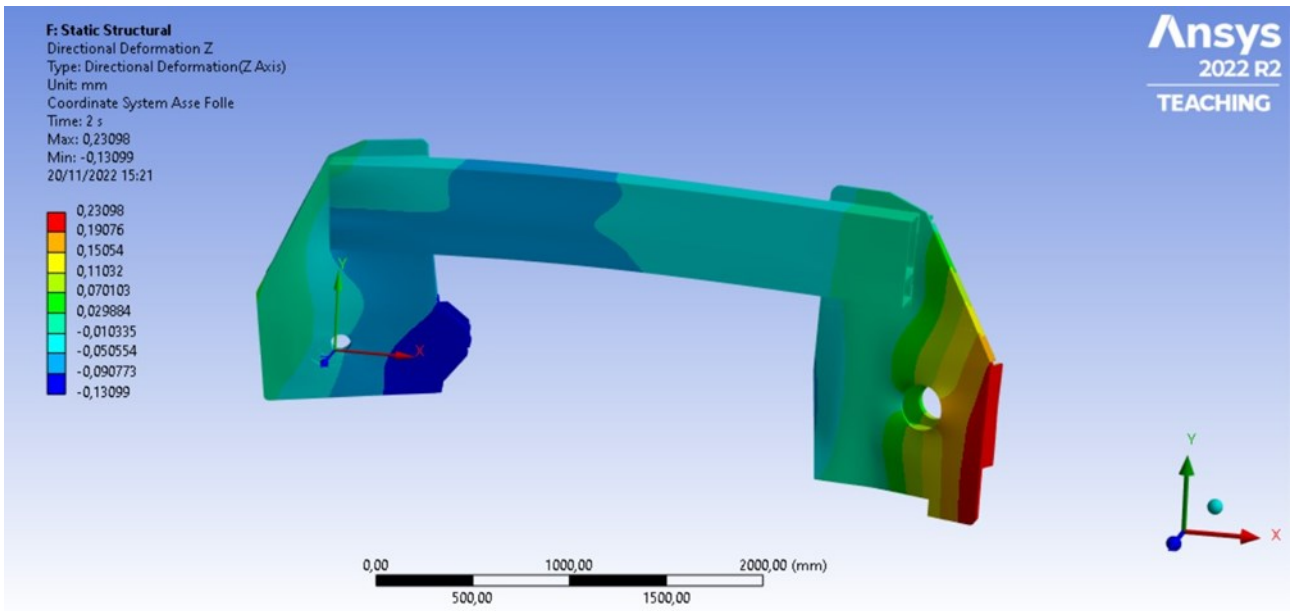


Figura 6.1.4.1: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Acciaio 3.

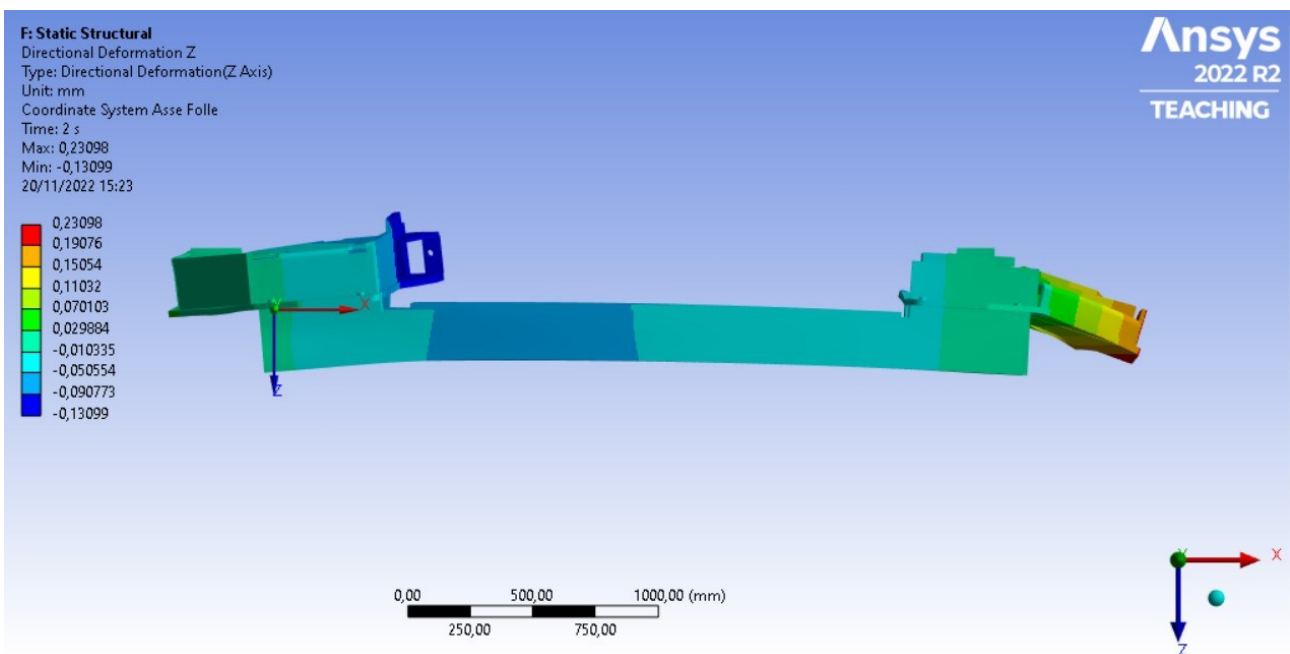


Figura 6.1.4.2: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Acciaio 3.

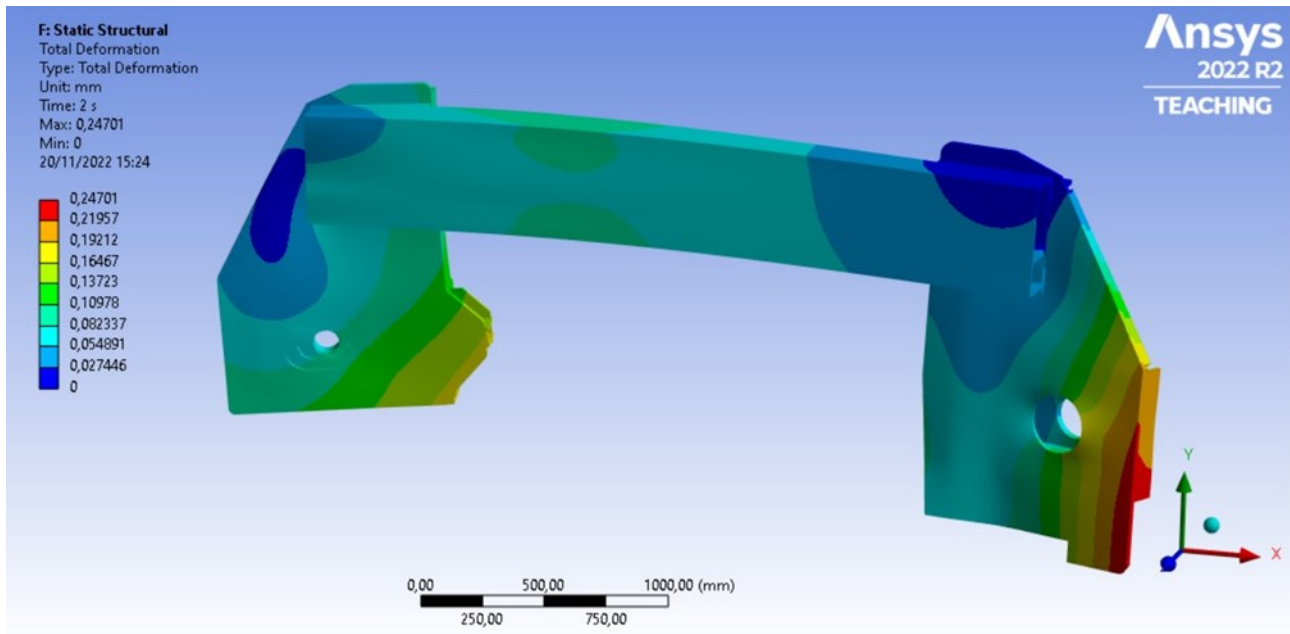


Figura 6.1.4.3: Deformazione totale della testa di taglio Acciaio 3.

Anche in questo caso la massima deformazione lungo Z (Figure 6.1.4.1 e 6.1.4.2) è localizzata nella parte bassa destra della “sezione puleggia motrice”. In questa testa di taglio la trave centrale è interessata da una deformazione lungo Z maggiore rispetto alle soluzioni precedenti. Nelle figure si può notare come la parte destra della “sezione puleggia folle” sia interessata da una deformazione lungo Z negativa mentre la parte destra della “sezione puleggia motrice” da una deformazione positiva.

Osservando nella Figura 6.1.4.4, vediamo la deformazione totale della parte posteriore della testa di taglio, si può tutto sommato affermare che abbia valori accettabili.

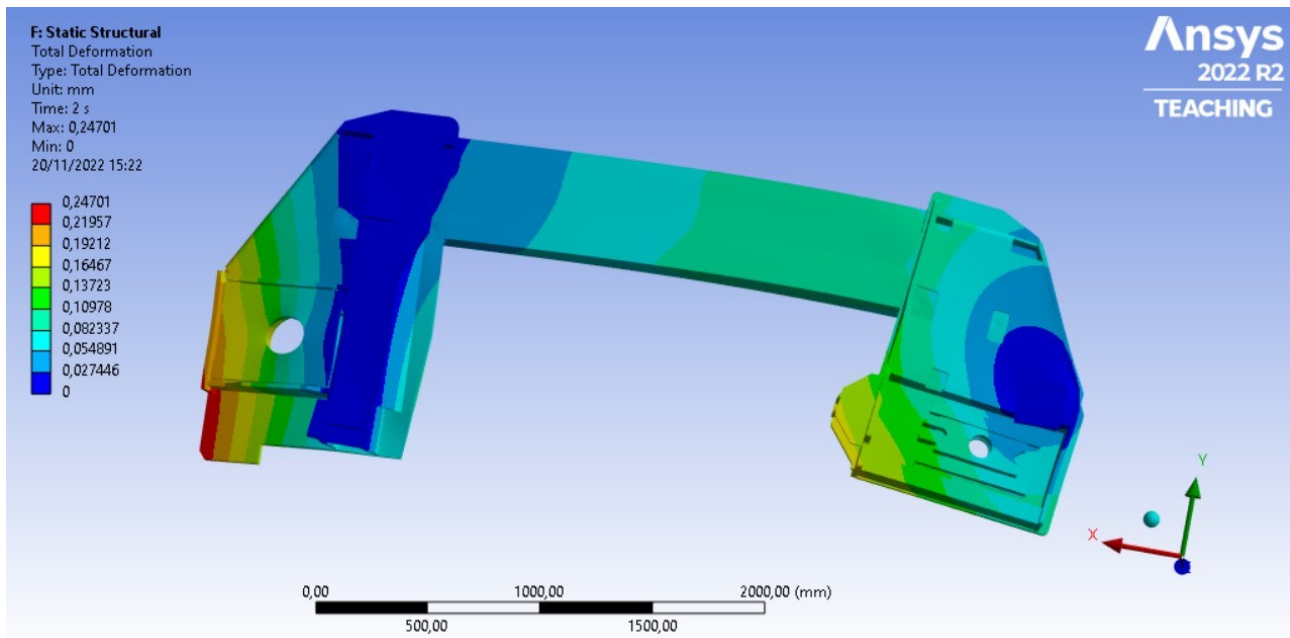


Figura 6.1.4.4: Deformazione totale della testa di taglio Acciaio 3 (vista posteriore).

## 6.1.5 ACCIAIO 4

Nelle immagini di seguito (Figure 6.1.5.1, 6.1.5.2 e 6.1.5.3) vengono mostrate la deformazione totale e la deformazione lungo l'asse Z (del sistema di riferimento presente sulla sezione "puleggia folle") della quarta testa di taglio in acciaio. Anche in questo caso l'andamento delle tensioni è stato tralasciato in quanto i valori di tensione non raggiungono valori elevati.

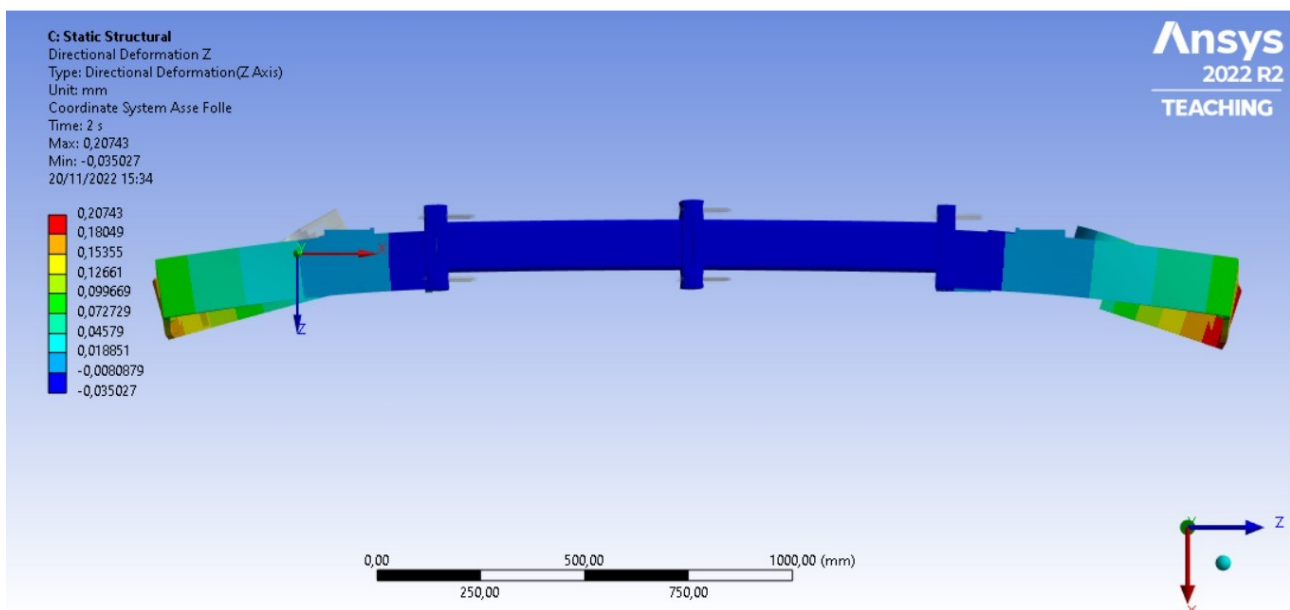


Figura 6.1.5.1: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Acciaio 4 (vista dall'alto).



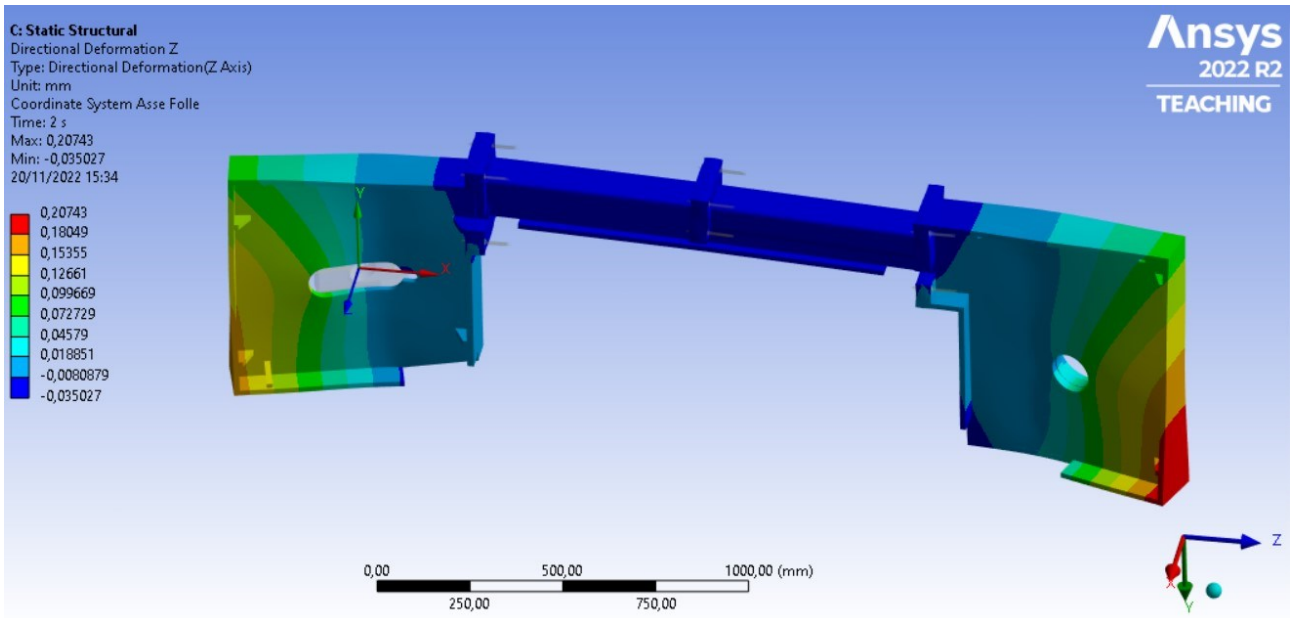


Figura 6.1.5.2: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Acciaio 4.

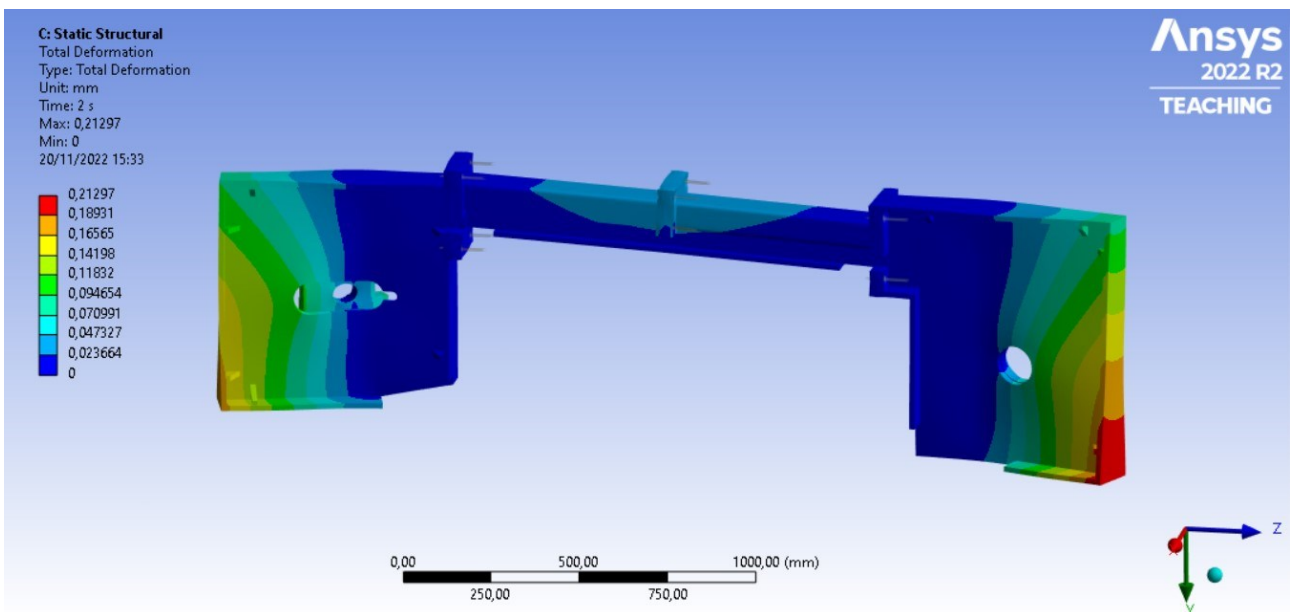


Figura 6.1.5.3: Deformazione totale della testa di taglio Acciaio 4.

Anche in questa ultima testa di taglio analizzata vediamo come la deformazione lungo Z sia localizzata nella stessa zona delle altre teste di taglio, e anche in corrispondenza delle sedi dove andranno calettati gli organi di trasmissione i valori si mantengono accettabili.

Facendo un'ulteriore verifica, in Figura 6.1.5.4 vediamo il retro della testa di taglio che risulta avere valori di deformazione più che accettabili.



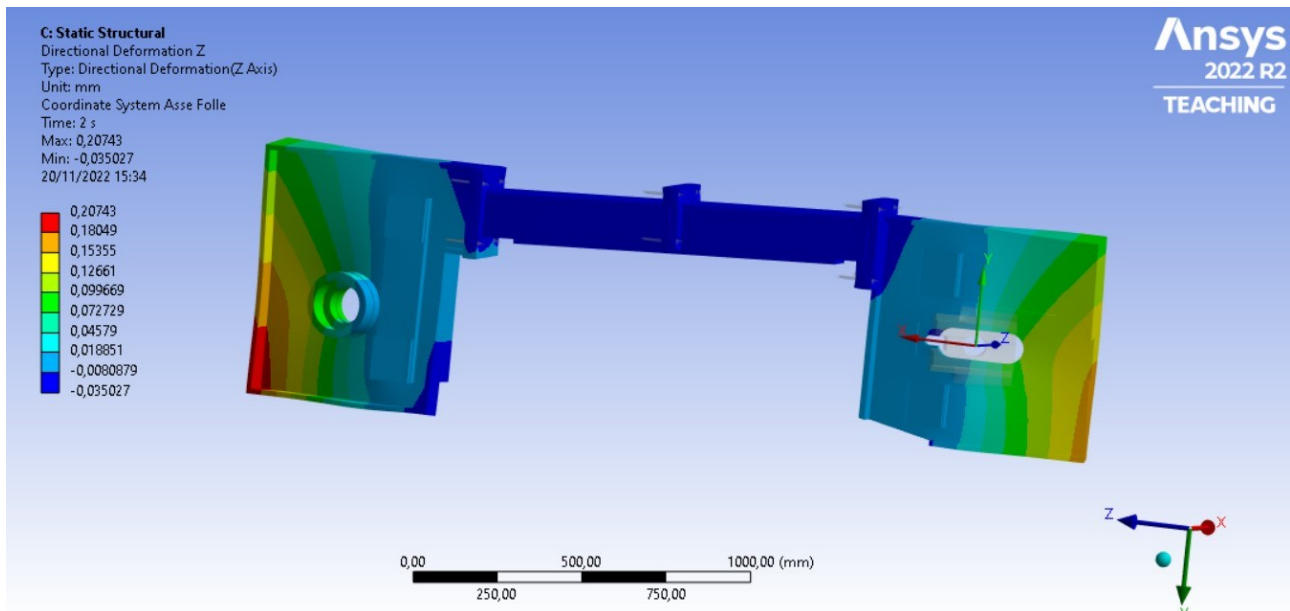


Figura 6.1.5.4: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Acciaio 4.

## 6.2 RISULTATI ANALISI MODALE

In questo capitolo si andranno ad esporre i risultati delle analisi modali effettuate su tutte e quattro le teste di taglio.

### 6.2.1 GHISA

In Tabella 6.2.1.1 sono riassunti i modi di vibrare della testa di taglio in ghisa e le corrispondenti frequenze naturali  $\omega_n$ :

Tabella 6.2.1.4: Modi di vibrare della testa di taglio in ghisa.

Modo	$\omega_n$ [Hz]
1	53,59
2	57,15
3	79,57
4	91,92
5	118,11
6	157,94

In Figura 6.2.1.1 si può vedere come il primo modo vada ad interessare maggiormente l'oscillazione della parte in basso a destra della "sezione puleggia motrice".

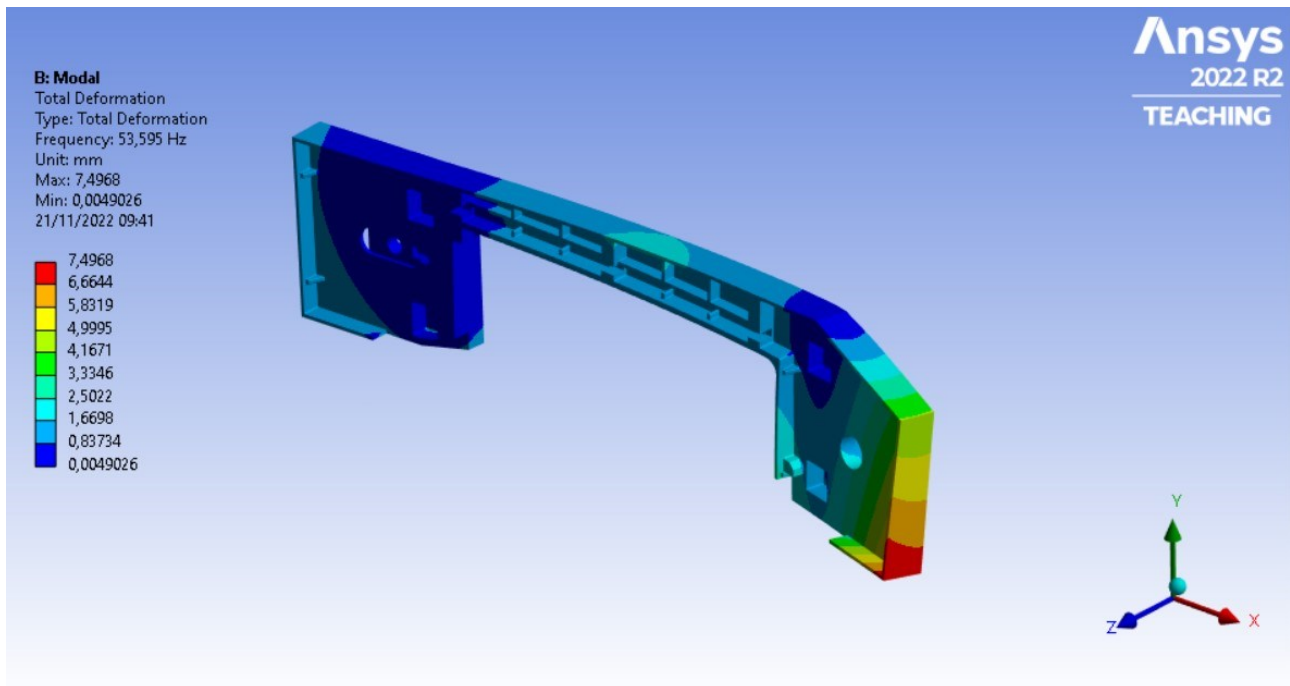


Figura 6.2.1.1: Primo modo di vibrare della testa di taglio in ghisa.

In Figura 6.2.1.2 si può invece osservare come nel secondo modo la parte più interessata dall'oscillazione sia quella opposta al primo modo, ovvero l'estremità in basso a sinistra della "sezione puleggia folle" con un maggiore interessamento della trave.

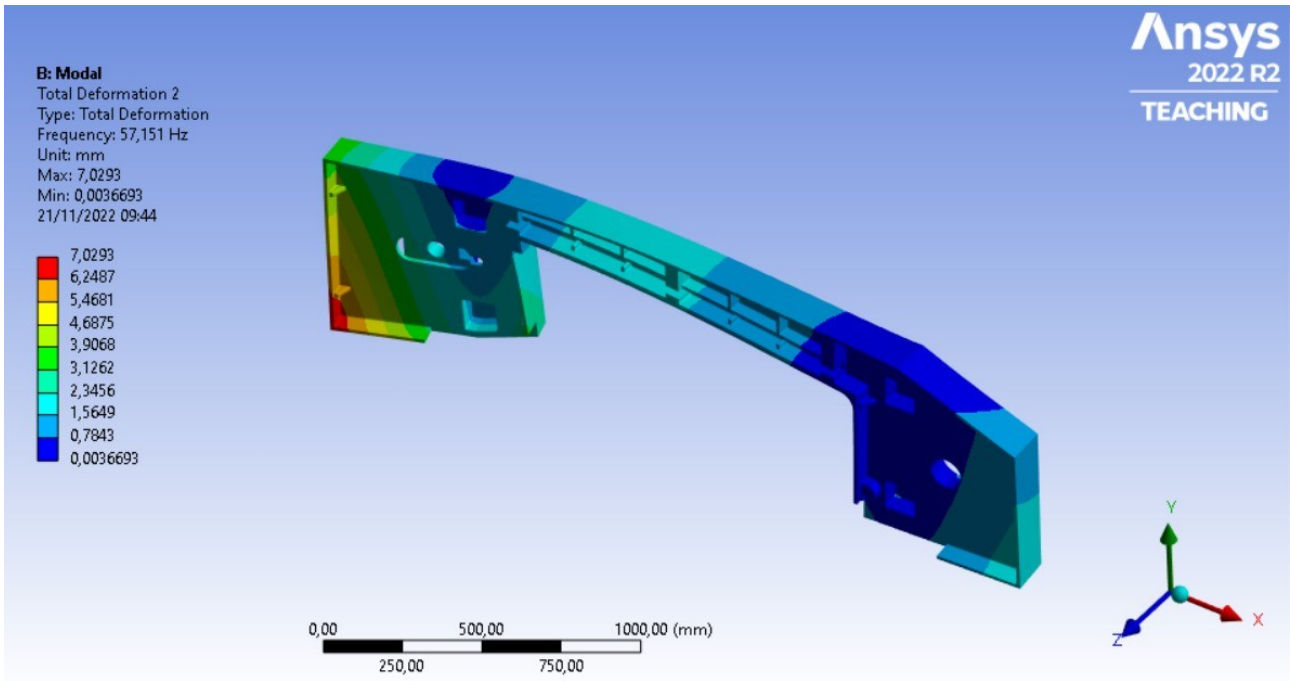


Figura 6.2.1.2: Secondo modo di vibrare della testa di taglio in ghisa.

Nella Figura 6.2.1.3 vediamo invece come il terzo modo di vibrare interessi entrambe le parti citate nei primi due modi.

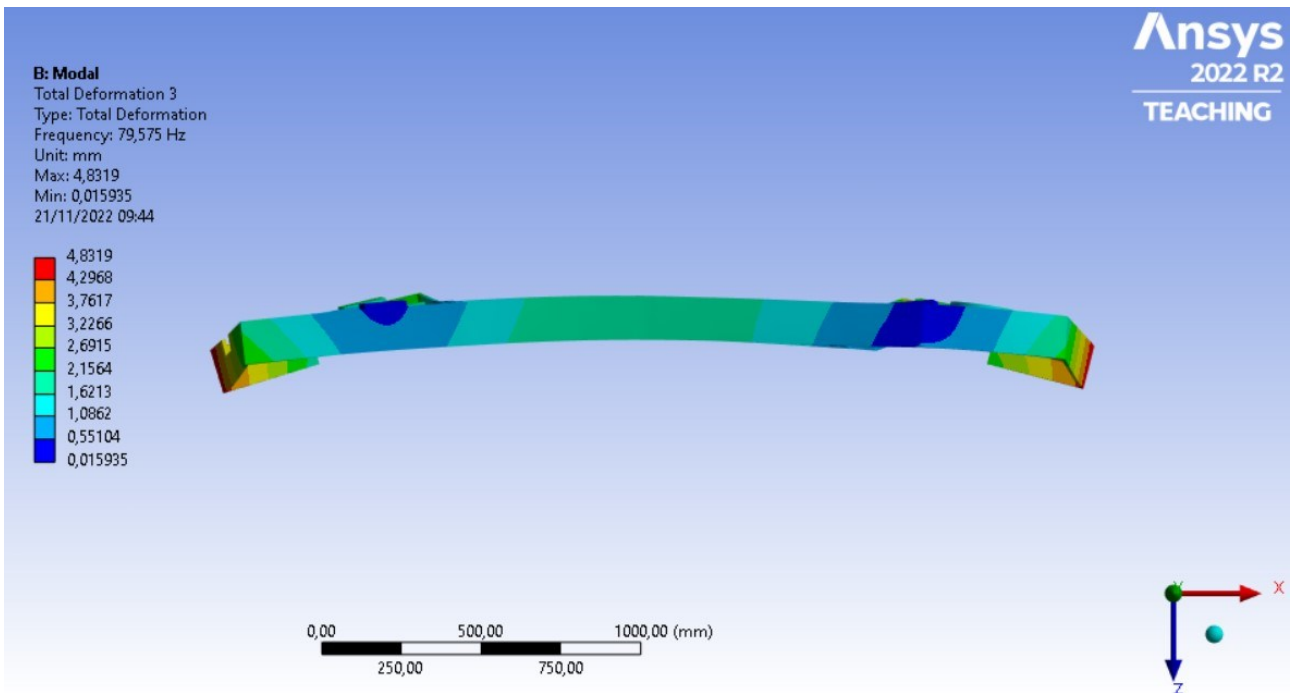


Figura 6.2.1.3: Terzo modo di vibrare della testa di taglio in ghisa.

Nel quarto modo in Figura 6.2.1.4 invece sono le due parti della trave centrale ad essere sottoposte ad un movimento simile ad una flessione con una lieve torsione.

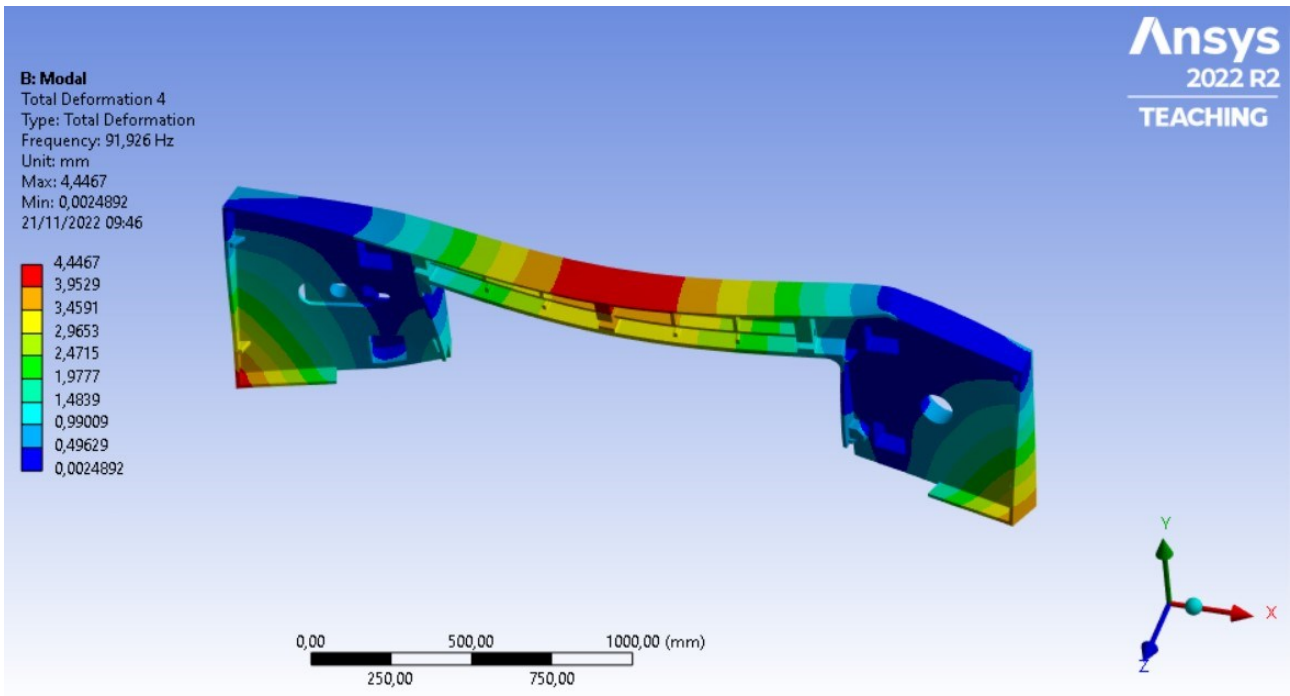


Figura 6.2.1.4: Quarto modo di vibrare della testa di taglio in ghisa.

Il quinto modo invece porta l'estremità della "sezione puleggia folle" ad un avanzamento verso Z positivo mentre l'estremità della "sezione puleggia motrice" avanza verso Z negativo Figura 6.2.1.5.

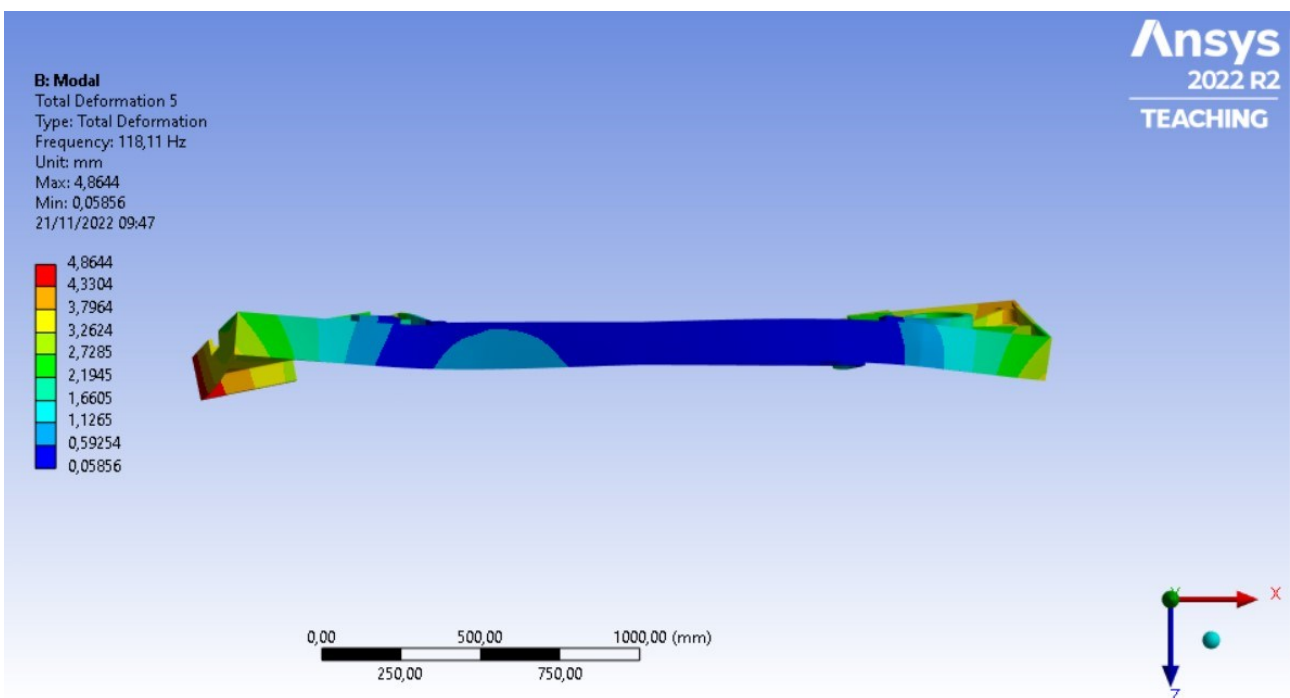


Figura 6.2.1.5: Quinto modo di vibrare della testa di taglio in ghisa.

Il sesto modo muove le estremità delle due "sezioni" in versi opposti rispetto al quinto modo in maniera più accentuata Figura 6.2.1.6.

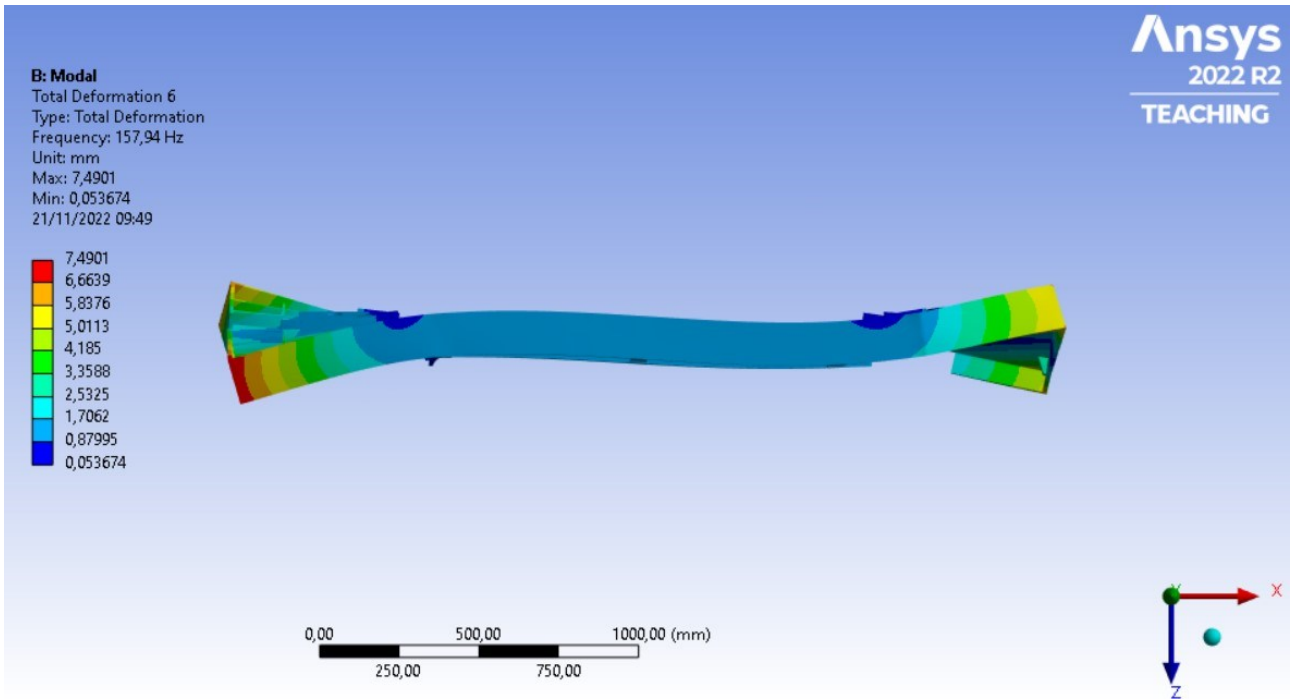


Figura 6.2.1.6: Sesto modo di vibrare della testa di taglio in ghisa.

## 6.2.2 ACCIAIO 1

In Tabella 6.2.2.1 sono riassunti i modi di vibrare della prima testa di taglio in acciaio e le corrispondenti frequenze naturali  $\omega_n$ :

Tabella 6.2.2.1: Modi di vibrare per la testa di taglio Acciaio 1.

Modo	$\omega_n$ [Hz]
1	66,71
2	72,72
3	92,04
4	124,02
5	145,25
6	172,11

In Figura 6.2.2.1 possiamo vedere come il primo modo di vibrare interessa l'estremità in basso a destra della "sezione puleggia motrice" facendola muovere verso Y positivo.

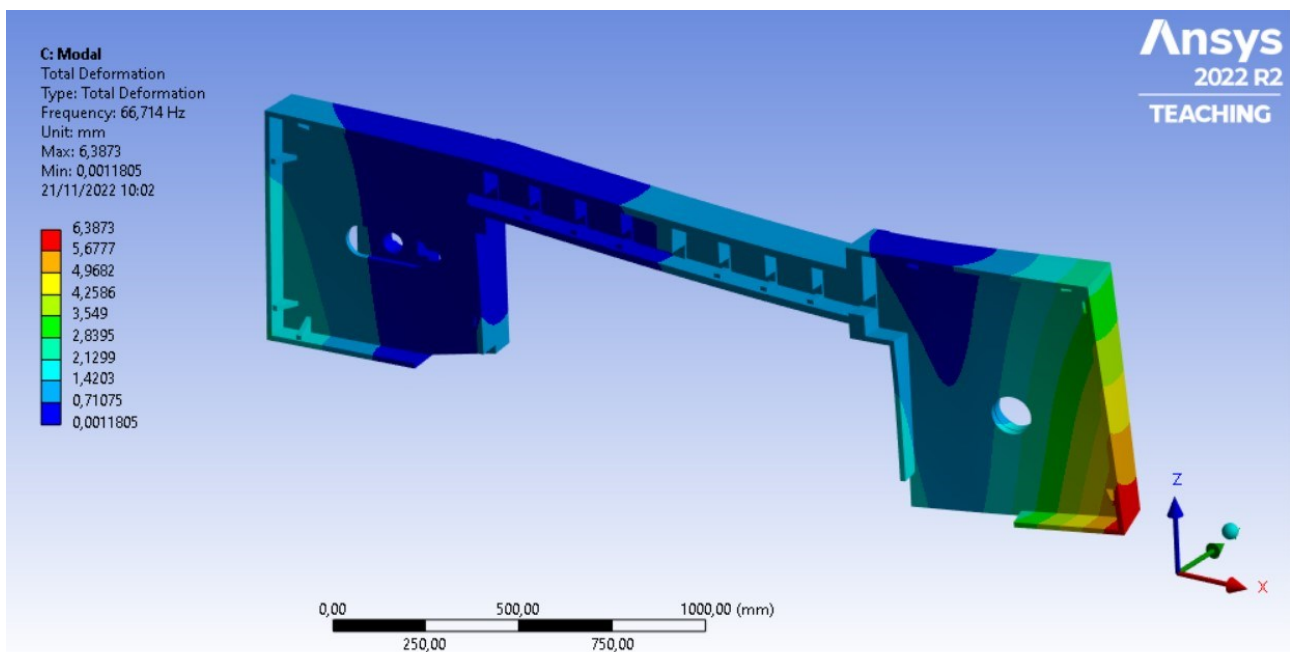


Figura 6.2.2.1: Primo modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 1.

Nel secondo modo invece è l'estremità della "sezione puleggia folle" che si muove verso Y positivo  
Figura 6.2.2.2.

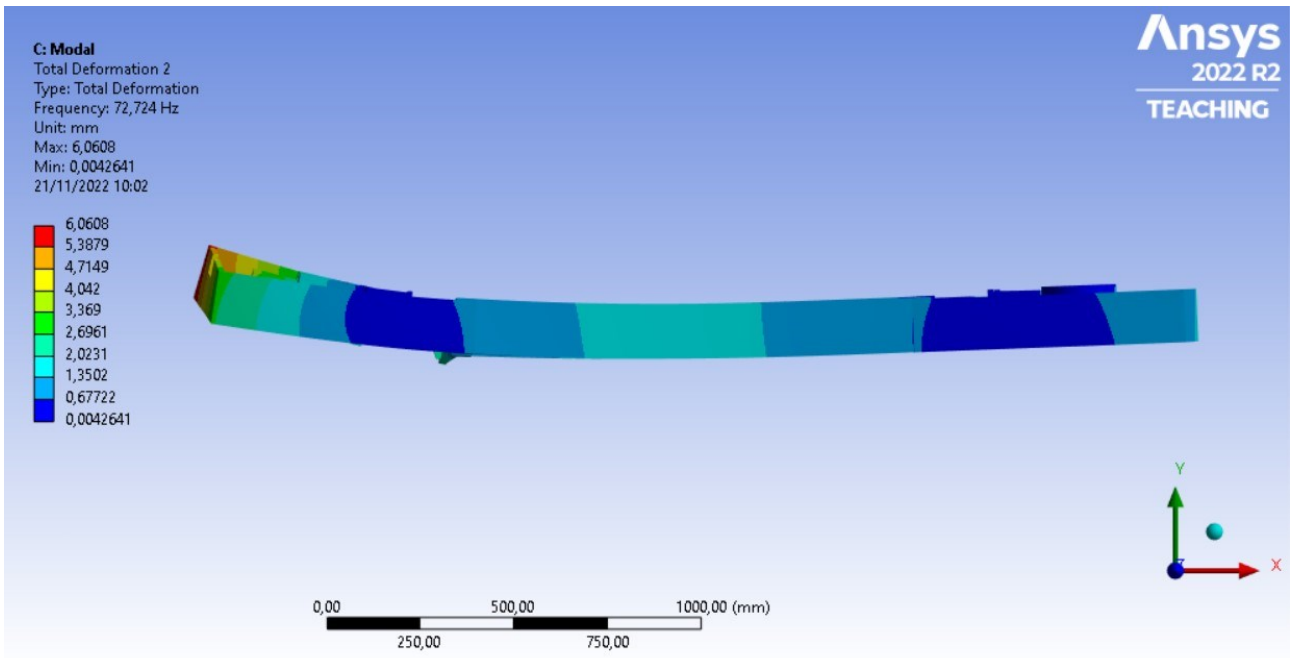


Figura 6.2.2.2: Secondo modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 1.

Il terzo modo invece fa muovere entrambe le estremità della "sezione puleggia folle" e della "sezione puleggia motrice" verso Y positivo e porta la trave ad una flessione verso l'alto Figure 6.2.2.3 e 6.2.2.4.

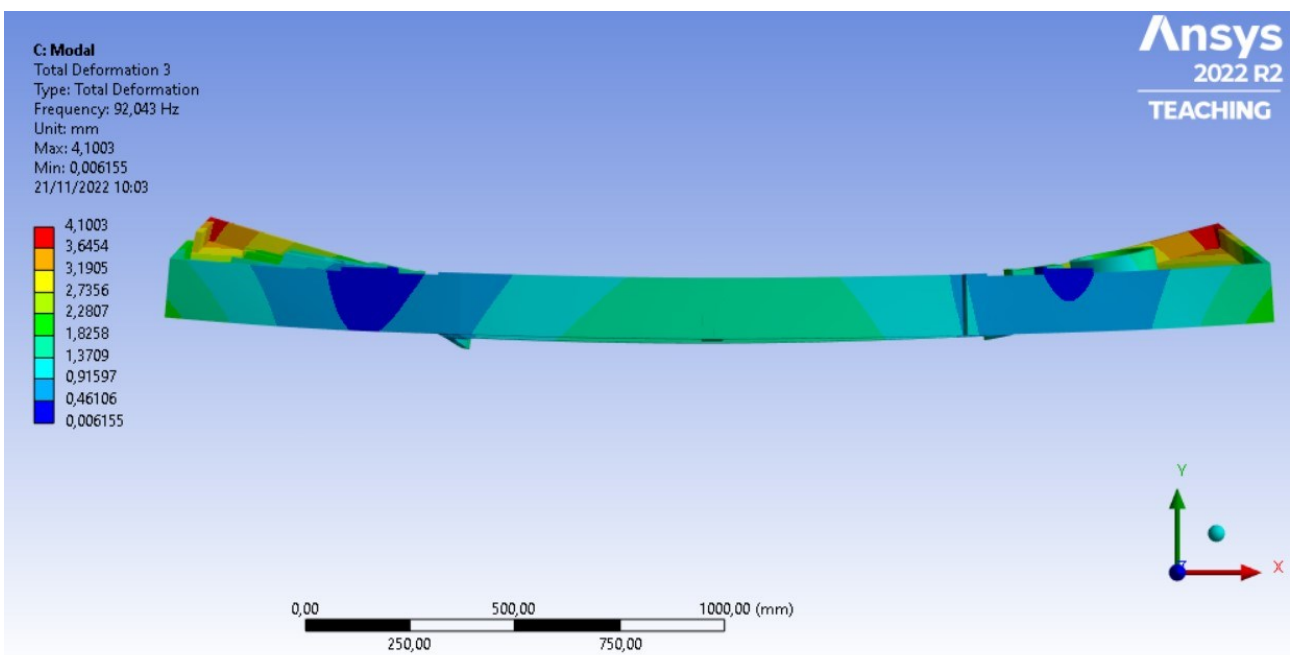


Figura 6.2.2.3: Terzo modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 1.

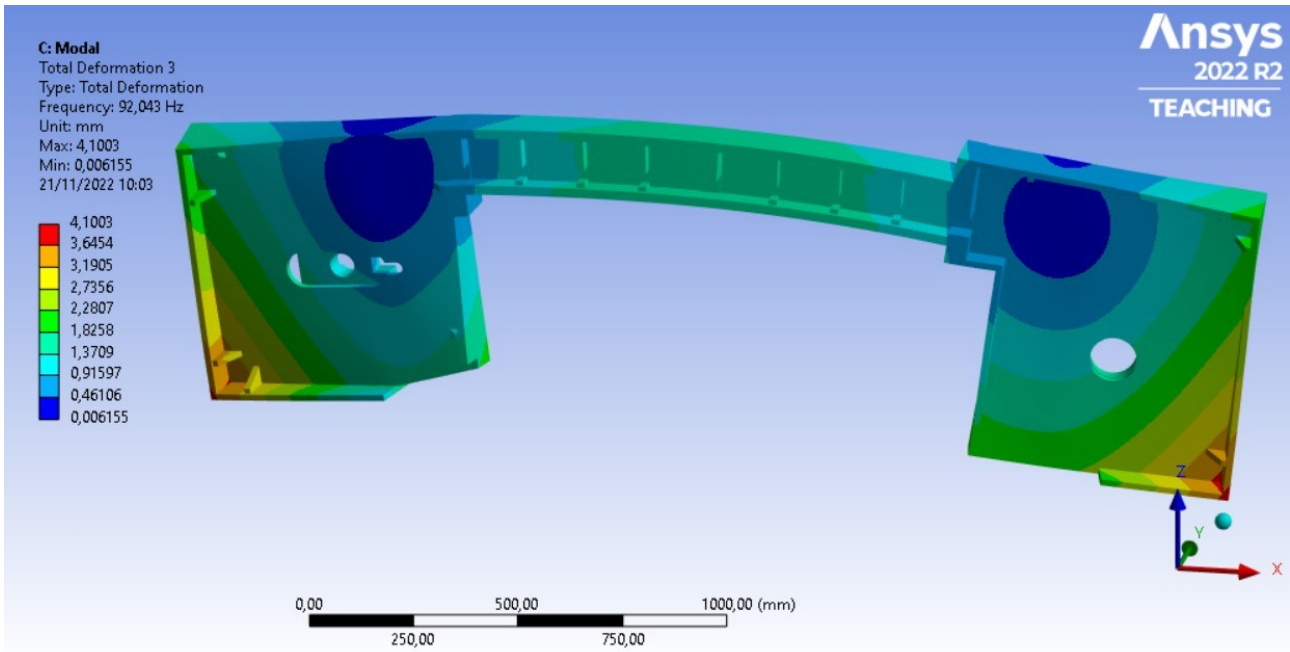


Figura 6.2.2.4: Terzo modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 1.

La flessione verso l'alto della trave centrale è ancora più accentuata nel quarto modo Figura 6.2.2.5, oltre che ad uno spostamento delle estremità delle "sezione puleggia folle" e "sezione puleggia motrice".

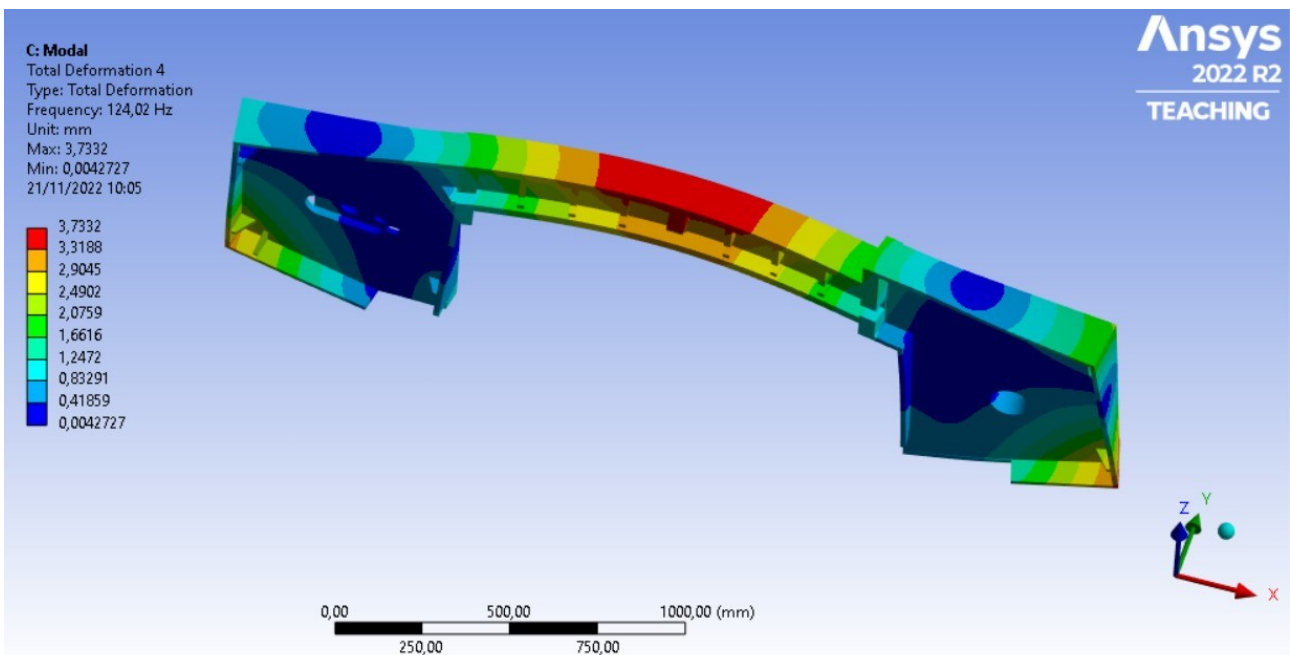


Figura 6.2.2.5: Quarto modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 1.



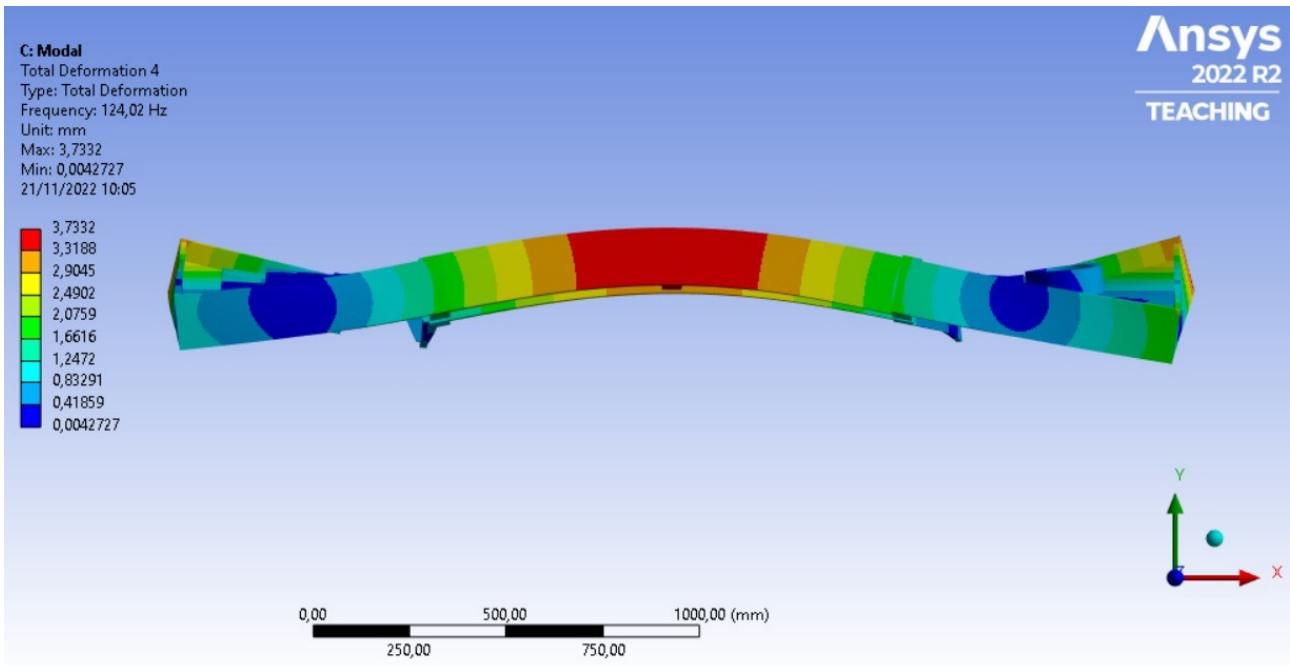


Figura 6.2.2.6: Quarto modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 1 (visto dall'alto).

Infine, nelle ultime due Figure (6.2.2.7 e 6.2.2.8) possiamo vedere il quinto e il sesto modo.

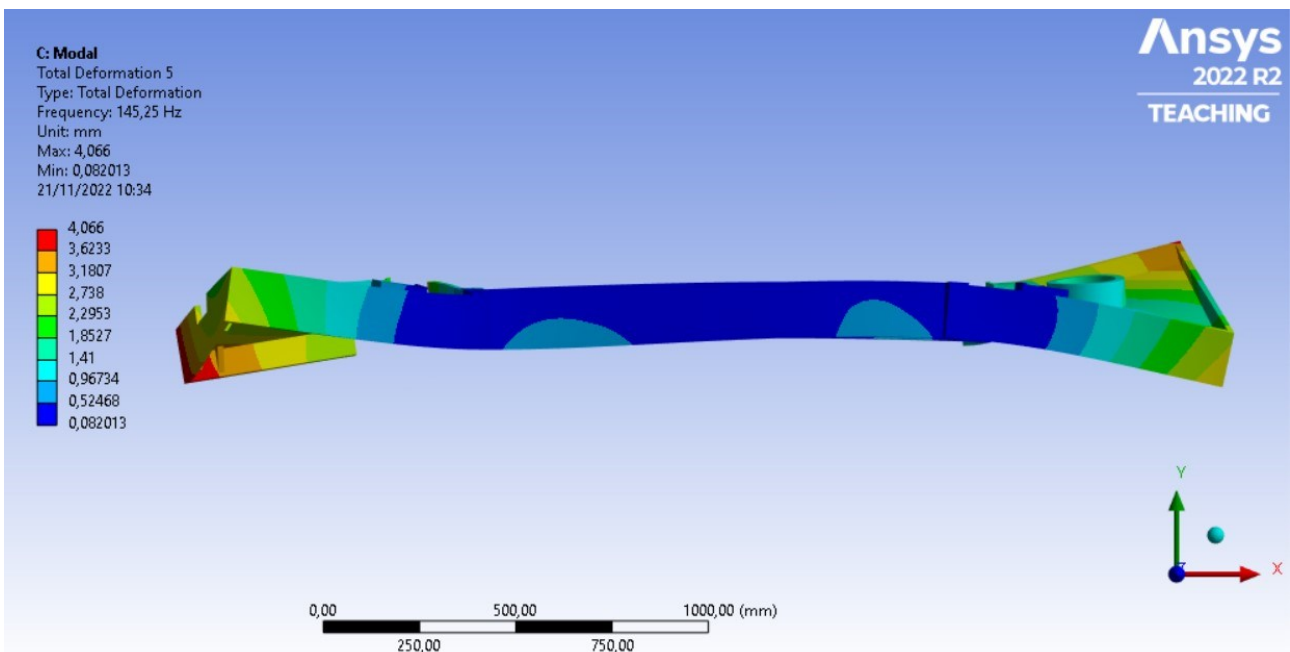


Figura 6.2.2.7: Quinto modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 1 (visto dall'alto).

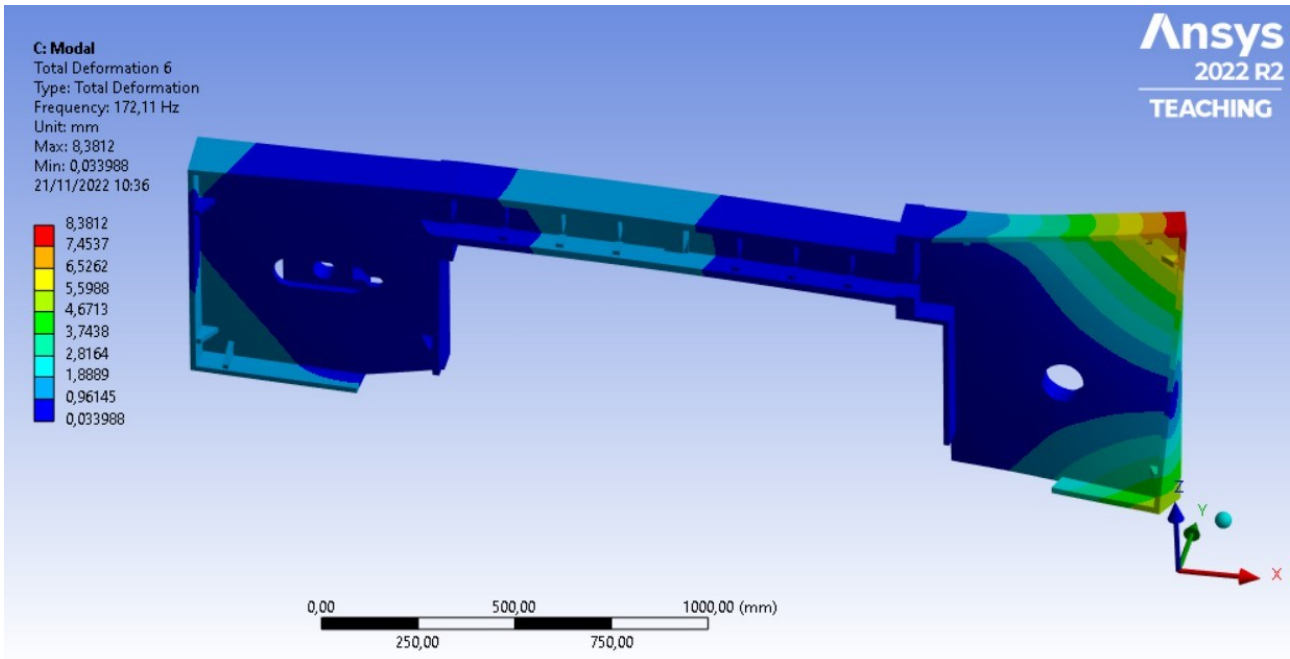


Figura 6.2.2.7: Sesto modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 1.

## 6.2.3 ACCIAIO MONOBLOCCO

In Tabella 6.2.3.1 sono riassunti i modi di vibrare della seconda testa di taglio in acciaio e le corrispondenti frequenze naturali  $\omega_n$ :

Tabella 6.2.3.1: Modi di vibrare della testa di taglio Acciaio monoblocco.

Modo	$\omega_n$ [Hz]
1	46,46
2	63,35
3	111,83
4	130,25
5	156,51
6	181,58

Nella Figura 6.2.3.1 possiamo vedere come il primo modo riguarda lo spostamento della estremità in basso a destra della “sezione puleggia motrice”.

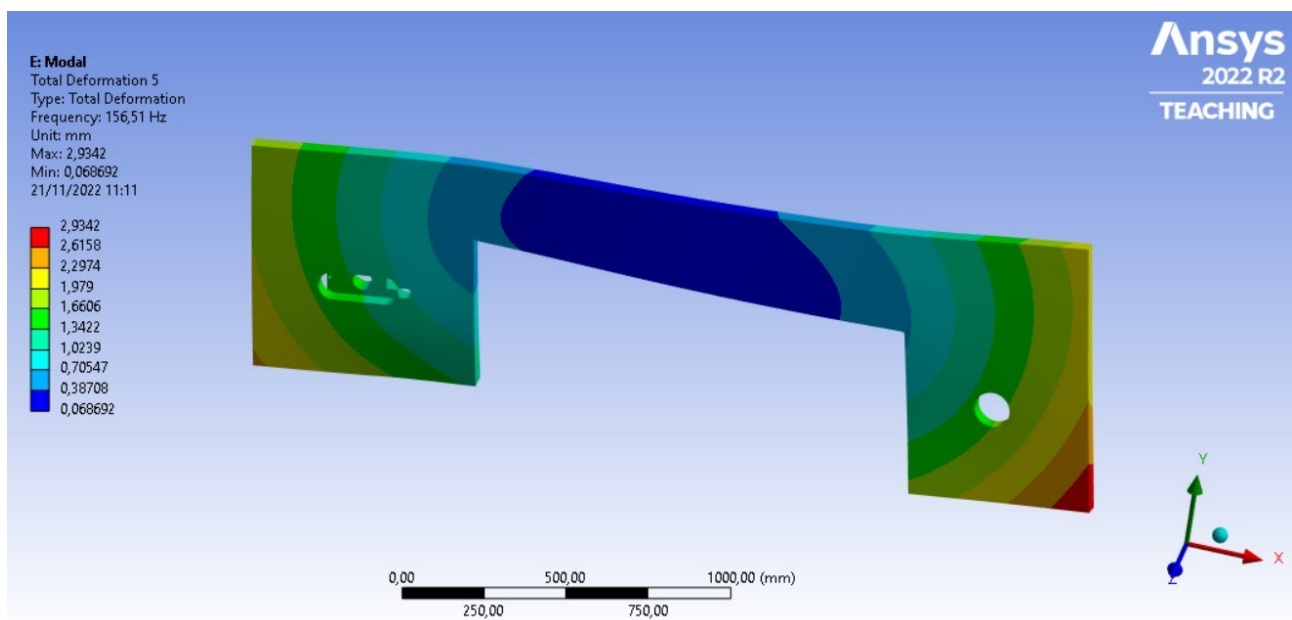


Figura 6.2.3.1: Primo modo di vibrare della testa di taglio Monoblocco.

Mentre in Figura 6.2.3.2 è possibile vedere come il secondo modo riguarda la flessione della parte centrale della testa di taglio.

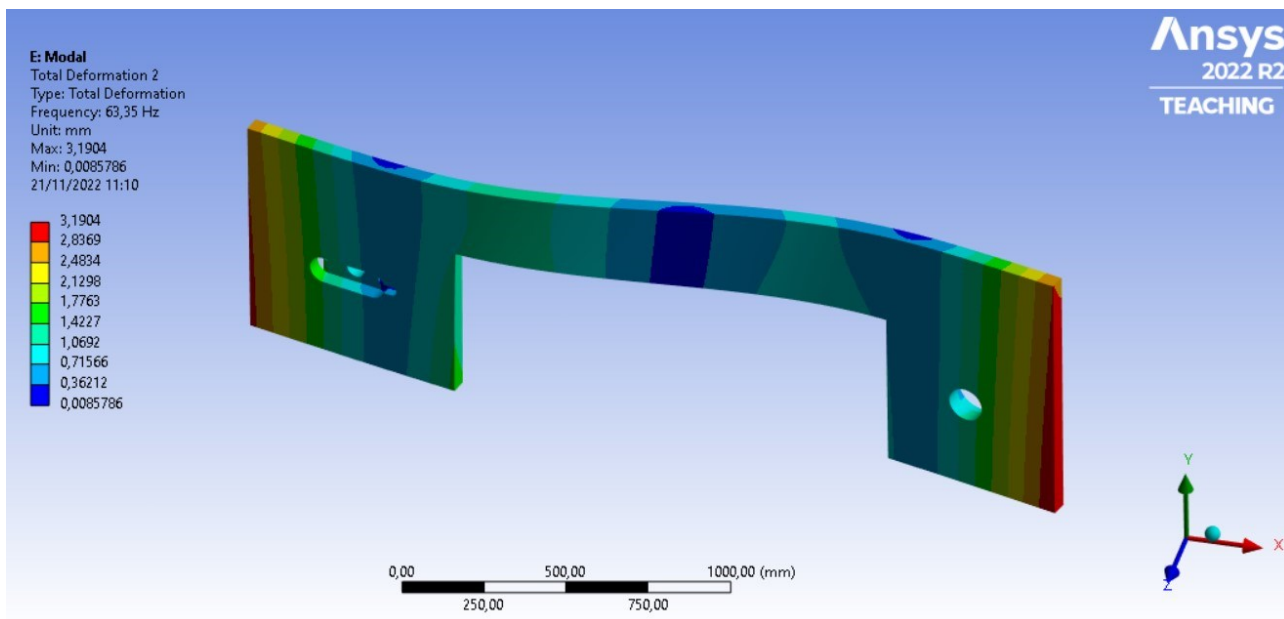


Figura 6.2.3.2: Secondo modo di vibrare della testa di taglio Monoblocco.

Anche il terzo modo in Figura 6.2.3.3 riguarda la flessione della parte centrale della struttura.

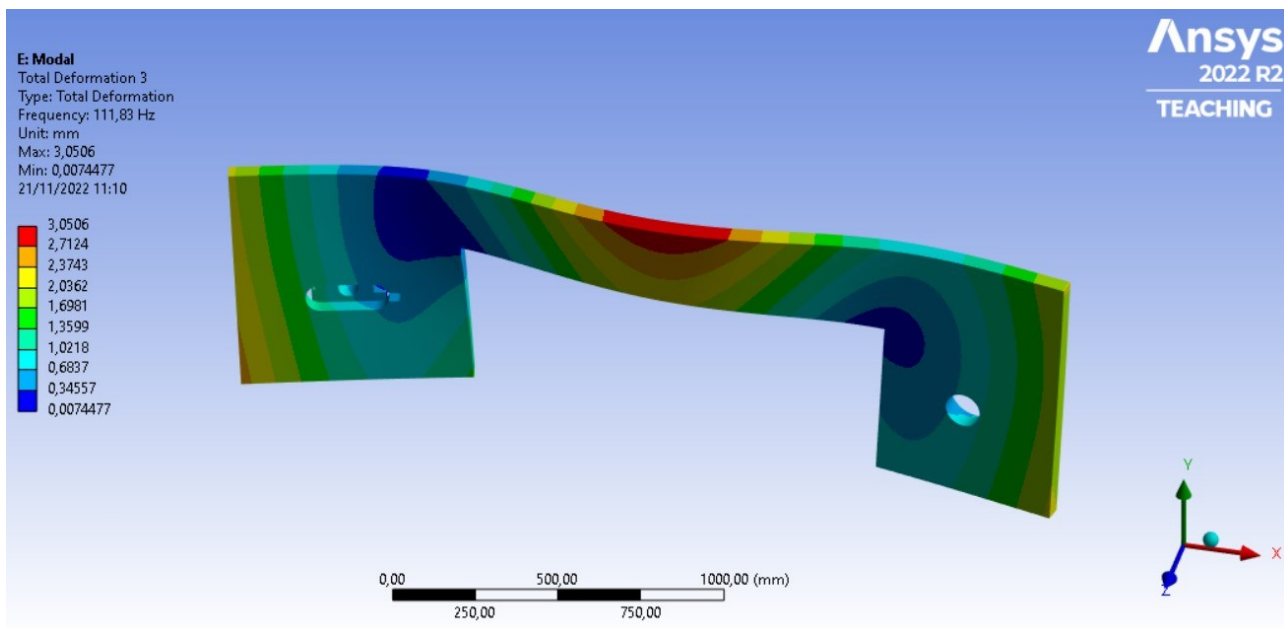


Figura 6.2.3.3: Terzo modo di vibrare della testa di taglio Monoblocco.

Nel quarto modo Figura 6.2.3.4 le sezioni della testa di taglio (“puleggia folle” e “puleggia motrice”) sembrano subire una rotazione attorno all’asse Z.

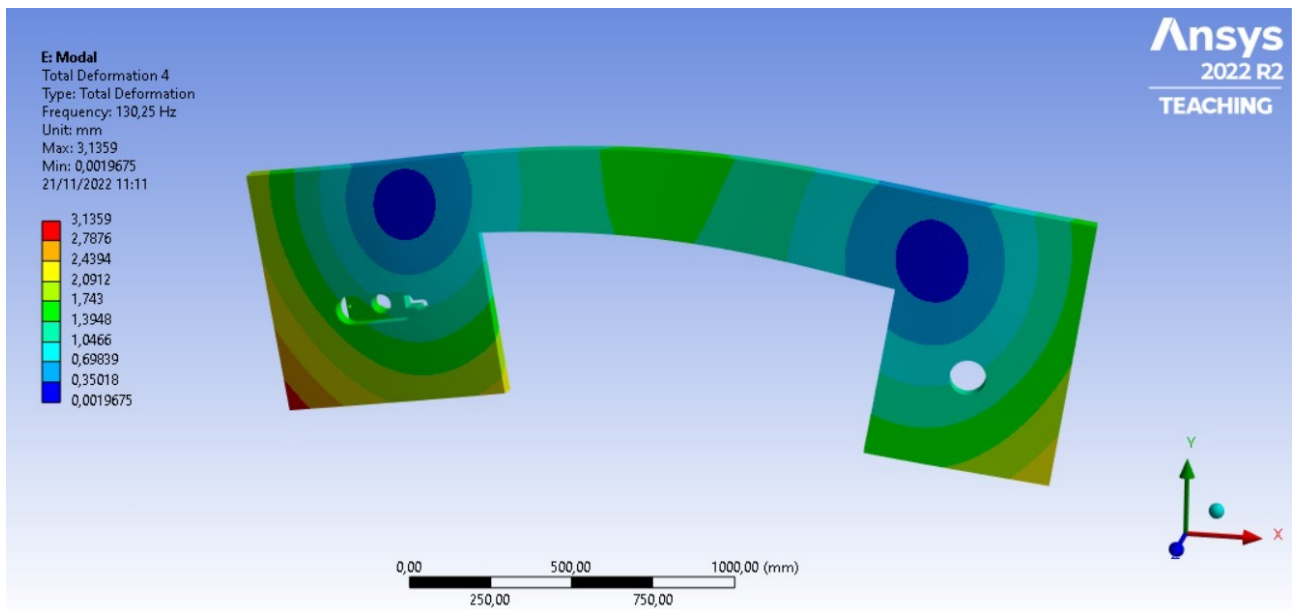


Figura 6.2.3.4: Quarto modo di vibrare della testa di taglio Monoblocco.

Nel quinto modo in Figura 6.2.3.5 invece ritorna lo spostamento della estremità in basso a destra della testa di taglio.

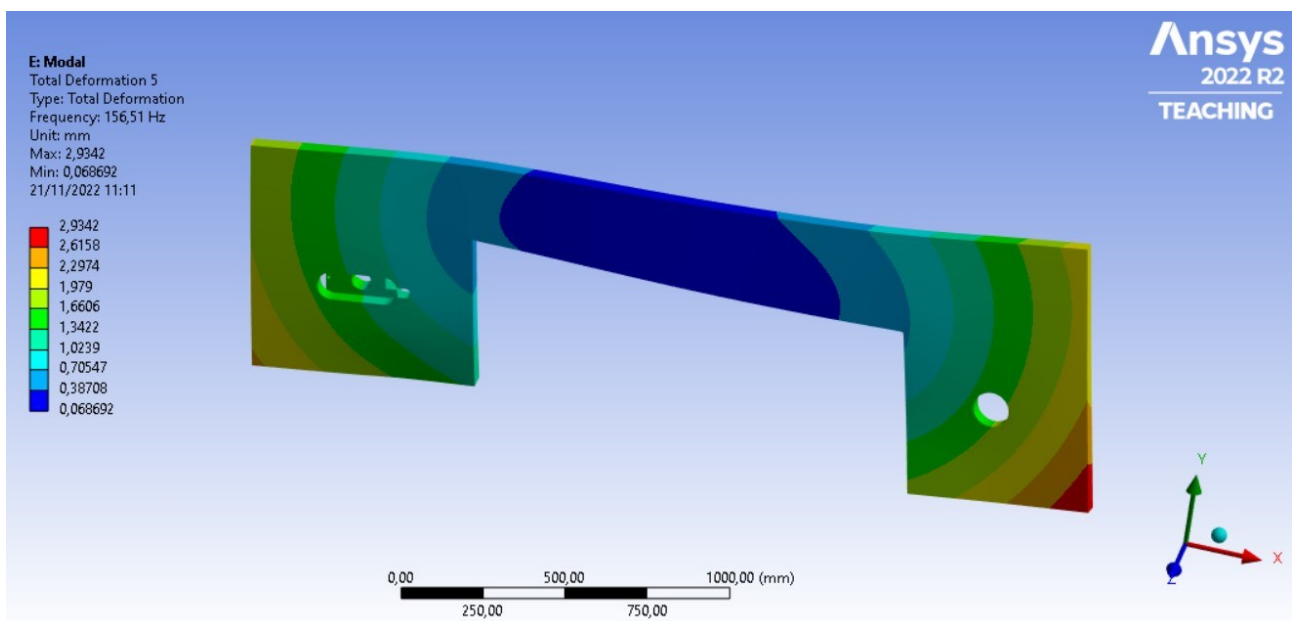


Figura 6.2.3.5: Quinto modo di vibrare della testa di taglio Monoblocco.

Nel sesto modo in Figura 6.2.3.6, al contrario del quinto, è la parte superiore dell'estremità destra della testa di taglio ad oscillare.

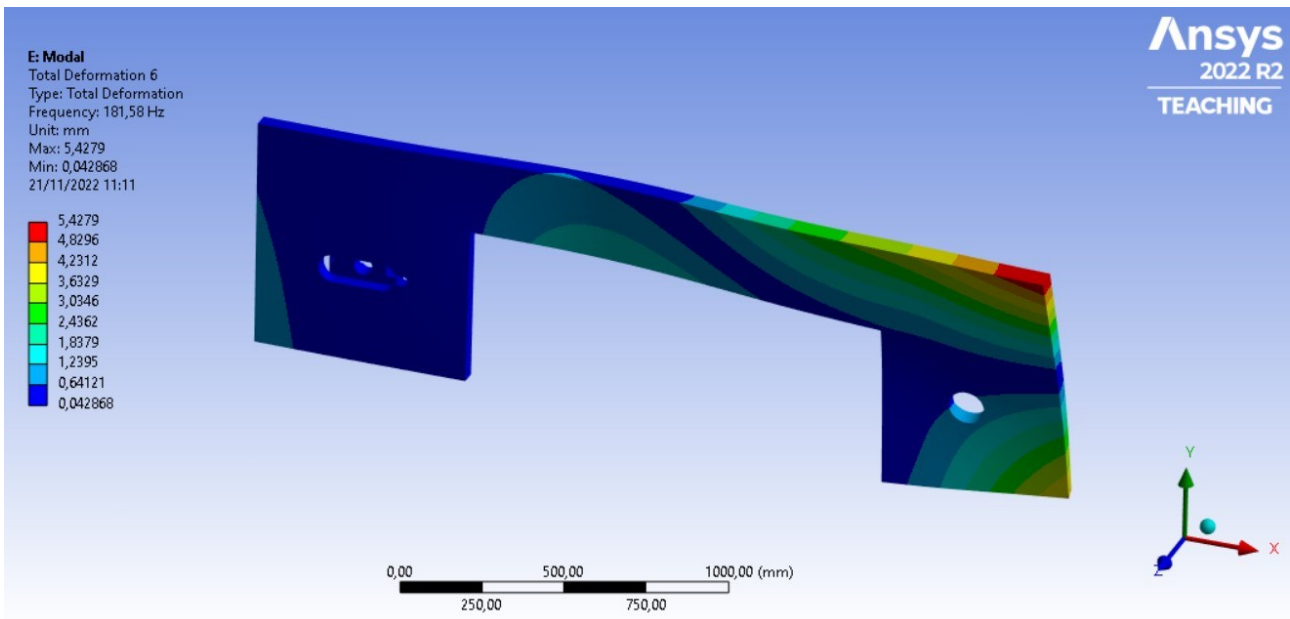


Figura 6.2.3.6: Sesto modo di vibrare della testa di taglio Monoblocco.

## 6.2.4 ACCIAIO 3

In Tabella 6.2.4.1 sono riassunti i modi di vibrare della terza testa di taglio in acciaio e le corrispondenti frequenze naturali  $\omega_n$ :

Tabella 6.2.4.1: Modi di vibrare della testa di taglio Acciaio 3.

Modo	$\omega_n$ [Hz]
1	28,40
2	66,21
3	72,76
4	88,20
5	109,31
6	128,09

Nel primo modo in Figura 6.2.4.1 vediamo come la parte interessata sia la parte superiore della “sezione puleggia folle”.

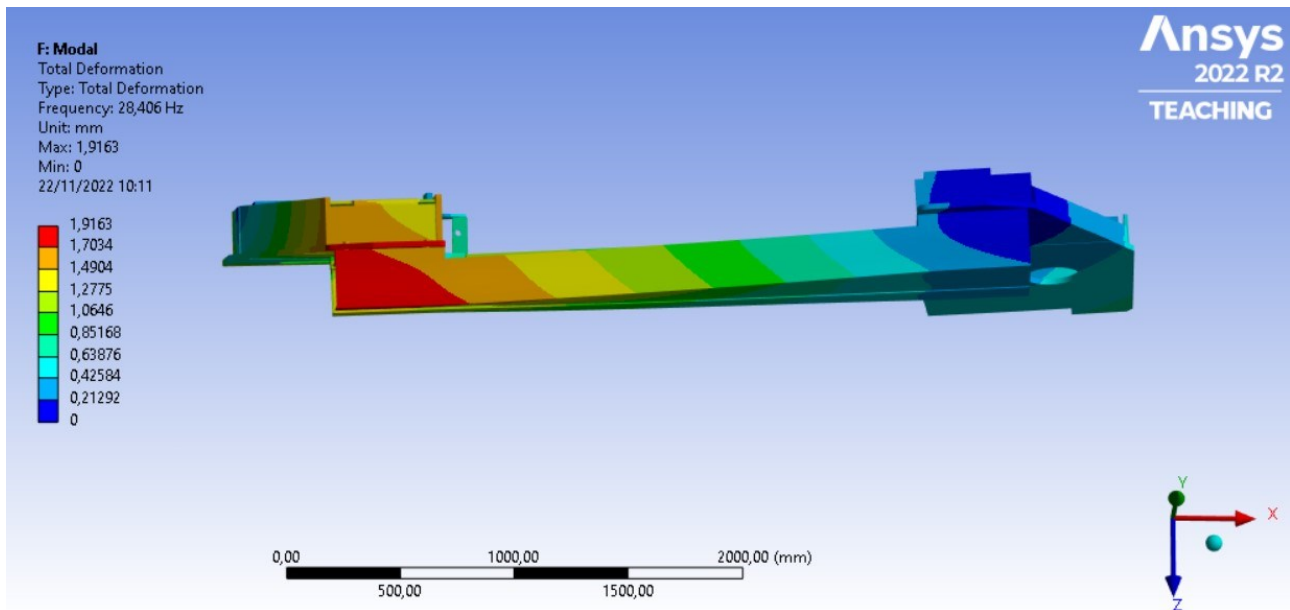


Figura 6.2.4.1: Primo modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 3.

Nel secondo modo vediamo come sia coinvolto nell’oscillazione la parte inferiore della “sezione puleggia motrice” Figura 6.2.4.2.

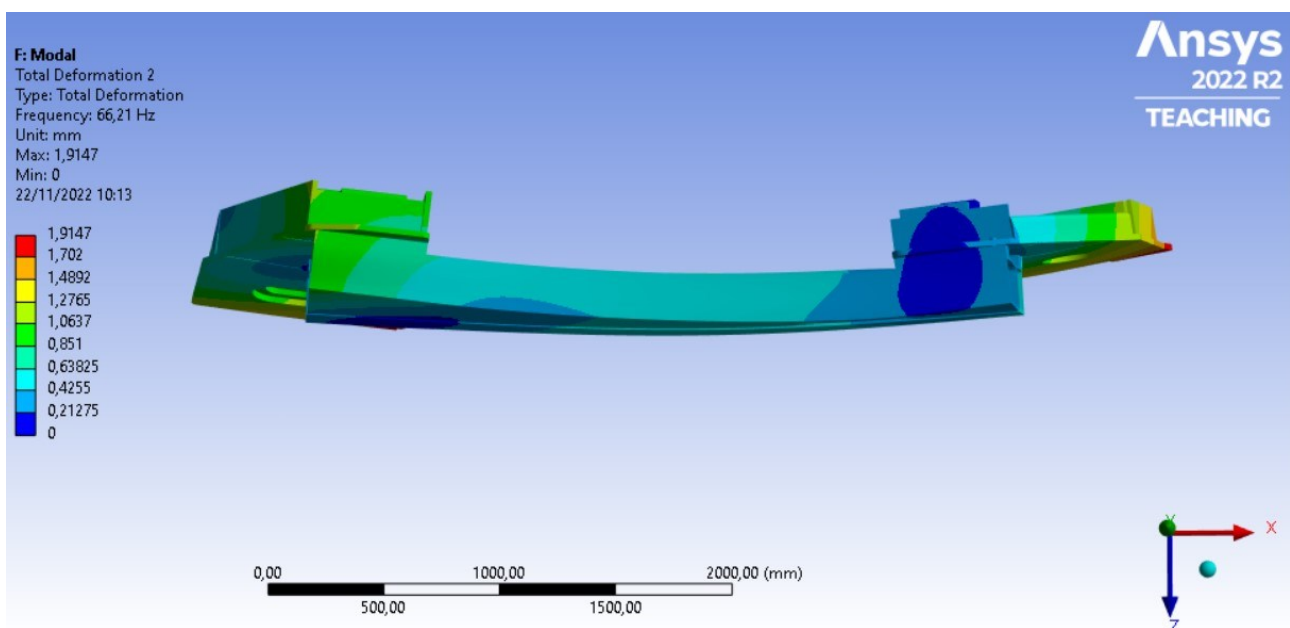


Figura 6.2.4.2: Secondo modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 3.

Il terzo modo invece coinvolge la parte sinistra della “sezione puleggia folle” e la parte sinistra della trave centrale Figura 6.2.4.3.

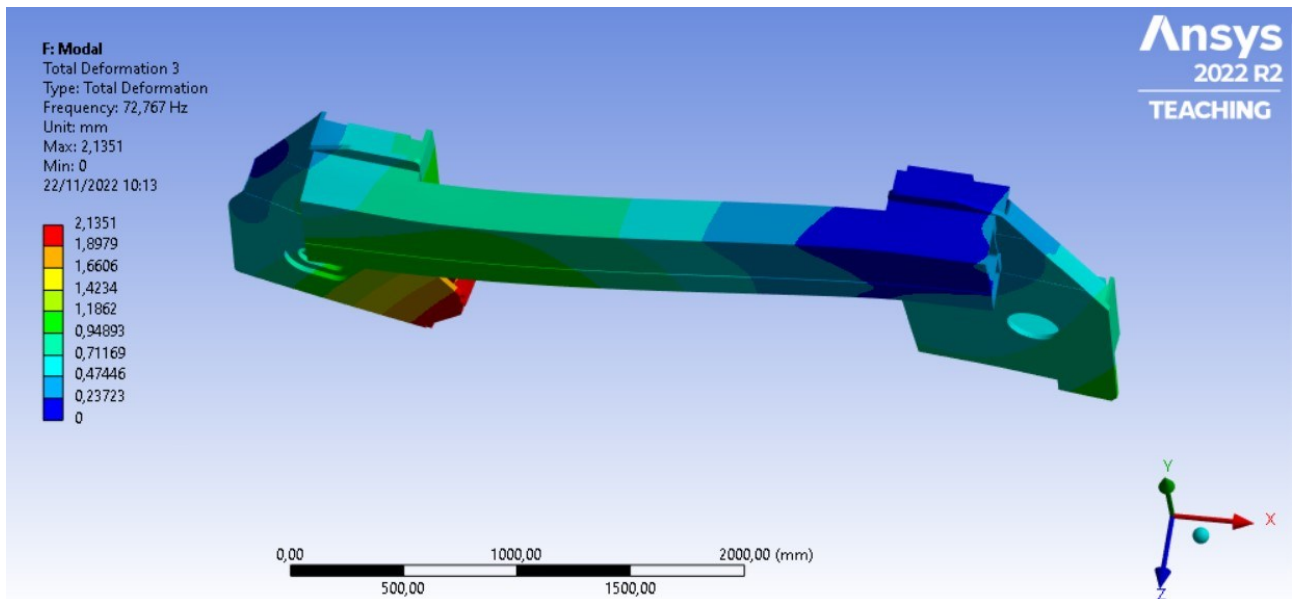


Figura 6.2.4.3: Terzo modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 3.

Nel quarto modo invece ad essere coinvolta nell’oscillazione è la parte destra della trave centrale e la parte inferiore destra della “sezione puleggia motrice” (Figura 6.2.4.4).

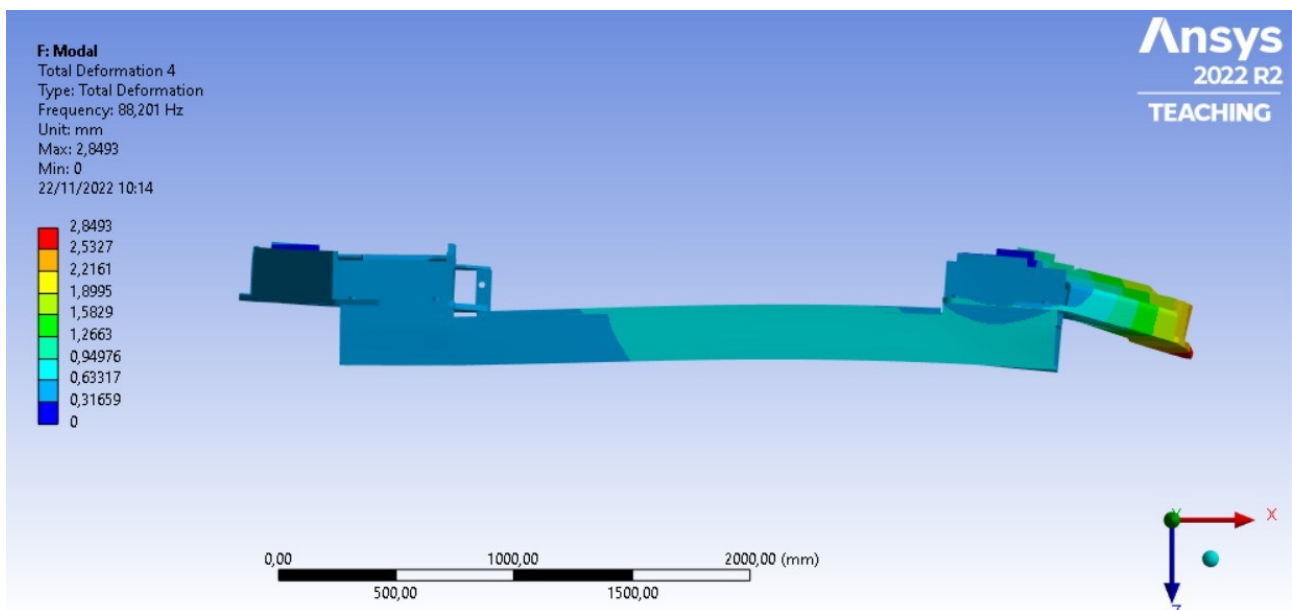


Figura 6.2.4.4: Quarto modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 3.



Nel quinto modo si deforma un po' tutta la testa di taglio, con deformazioni maggiori nella zona della "sezione puleggia folle" (Figura 6.2.4.5).

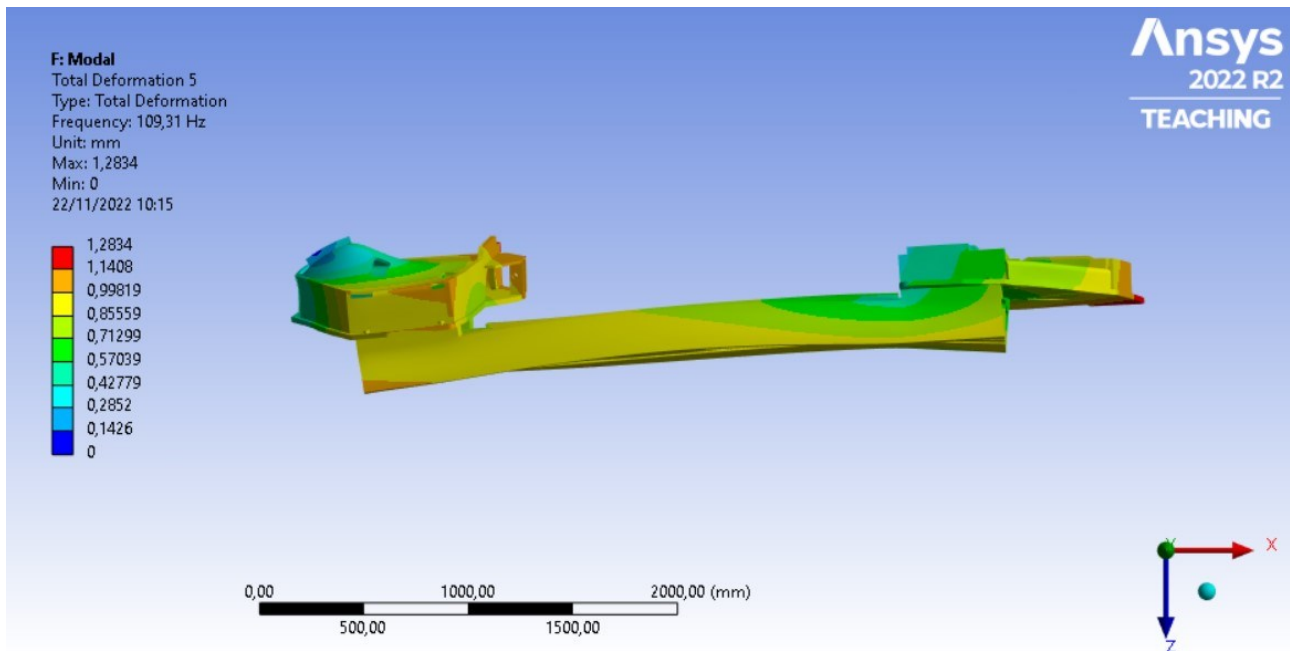


Figura 6.2.4.5: Quinto modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 3.

La situazione opposta al quarto modo si verifica nel sesto modo (Figura 6.2.4.6).

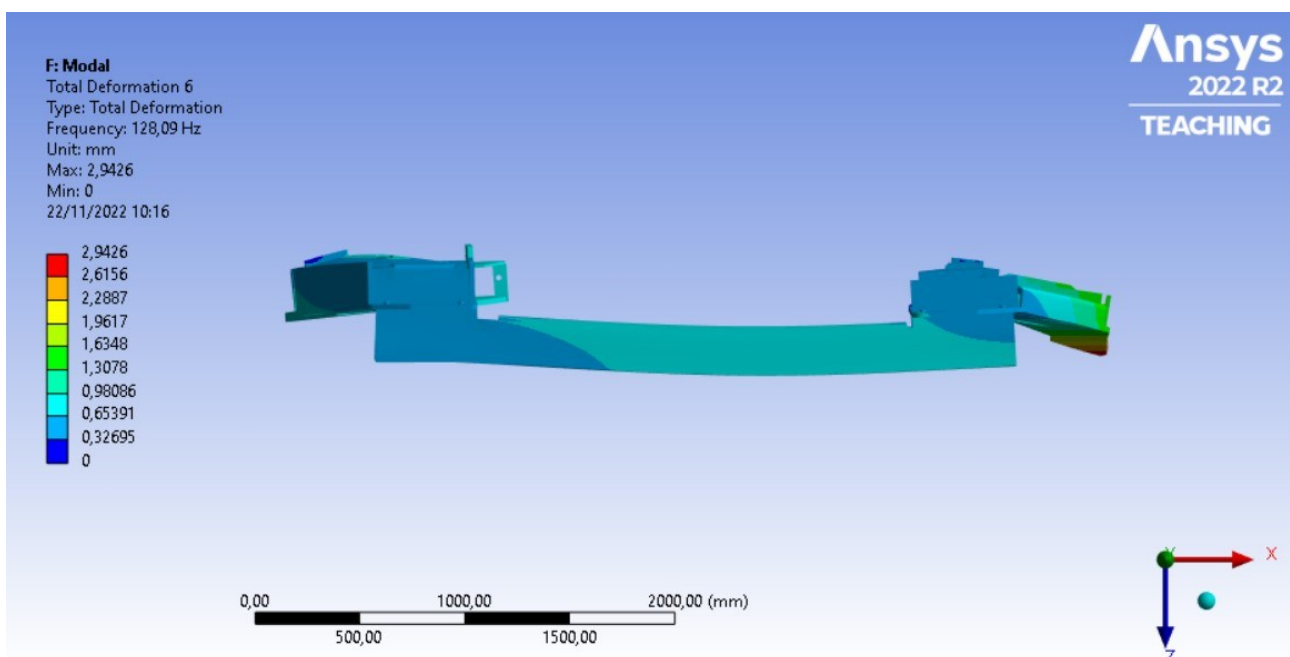


Figura 6.2.4.6: Sesto modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 3.

## 6.2.5 ACCIAIO 4

In Tabella 6.2.5.1 sono riassunti i modi di vibrare della quarta testa di taglio in acciaio e le corrispondenti frequenze naturali  $\omega_n$ :

Tabella 6.2.5.1: Modi di vibrare della testa di taglio Acciaio 4.

Modo	$\omega_n$ [Hz]
1	53,90
2	69
3	82
4	118
5	126
6	169

Il primo modo è la flessione generale di tutta la testa di taglio Figura 6.2.5.1.

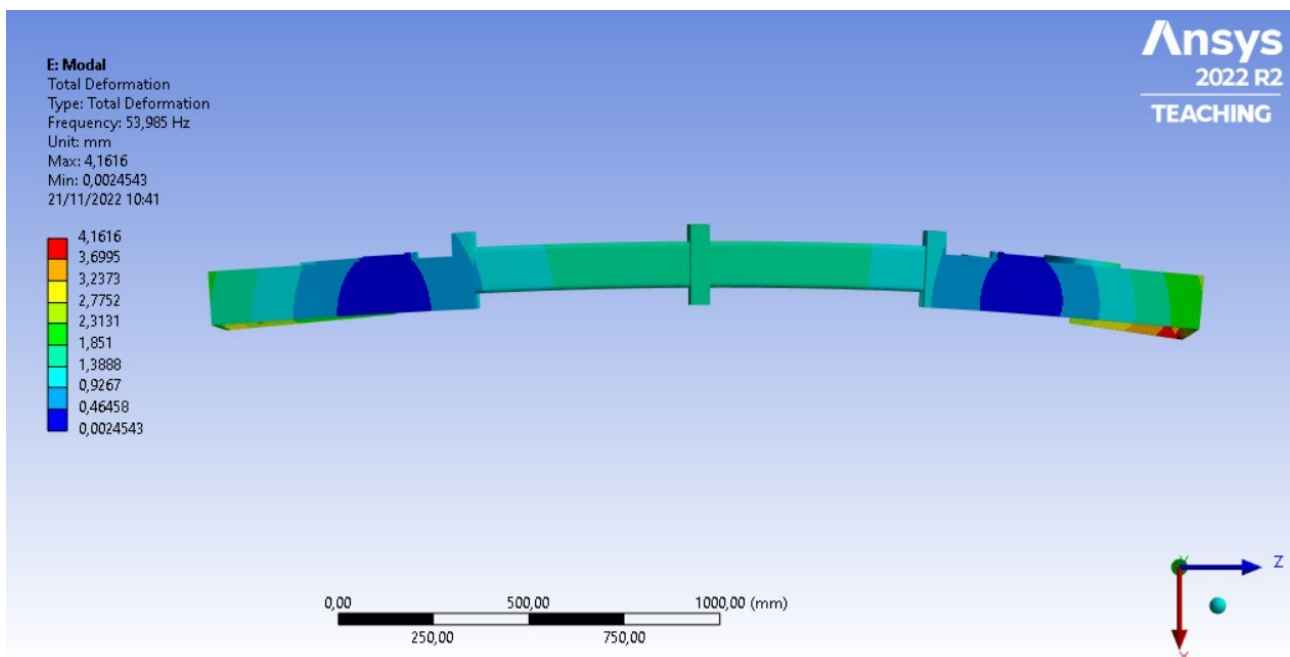


Figura 6.2.5.1: Primo modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 4.

Nel secondo modo la testa di taglio vista dall'alto assume una forma simile ad una sinusoide schiacciata (Figura 6.2.5.2).

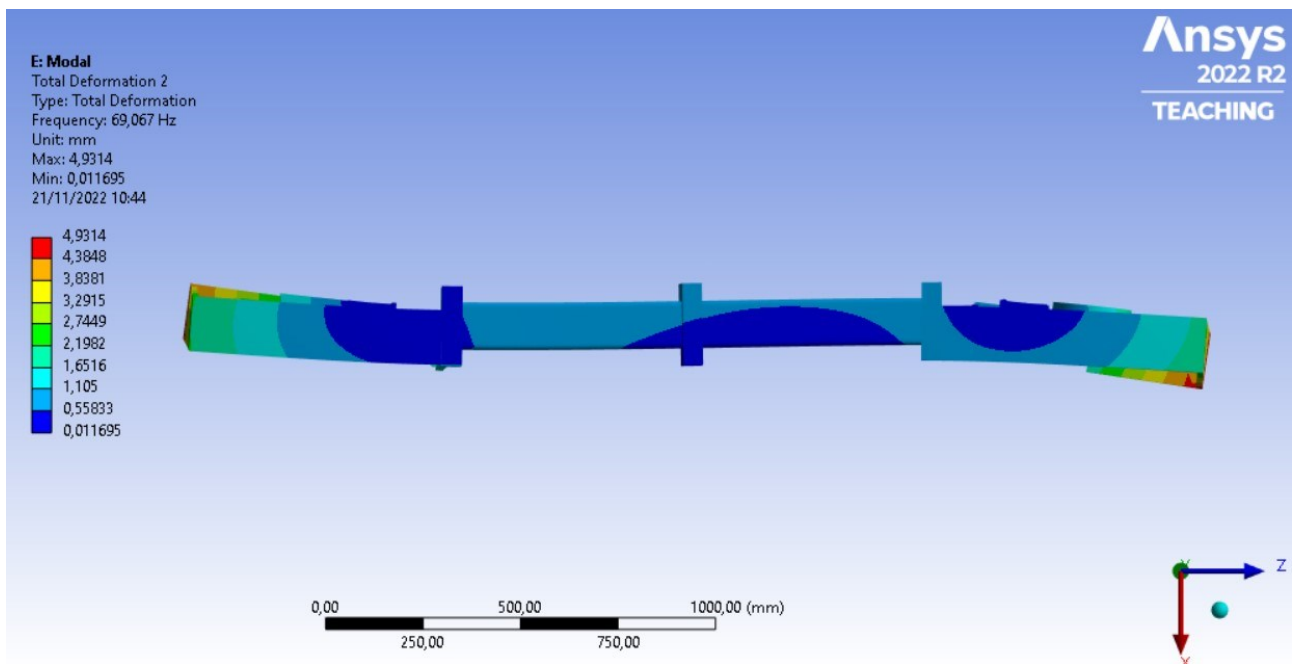


Figura 6.2.5.2: Secondo modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 4.

Anche il terzo modo tutto sommato visto dall'alto è una flessione generale di tutta la testa di taglio (Figura 6.2.5.3).

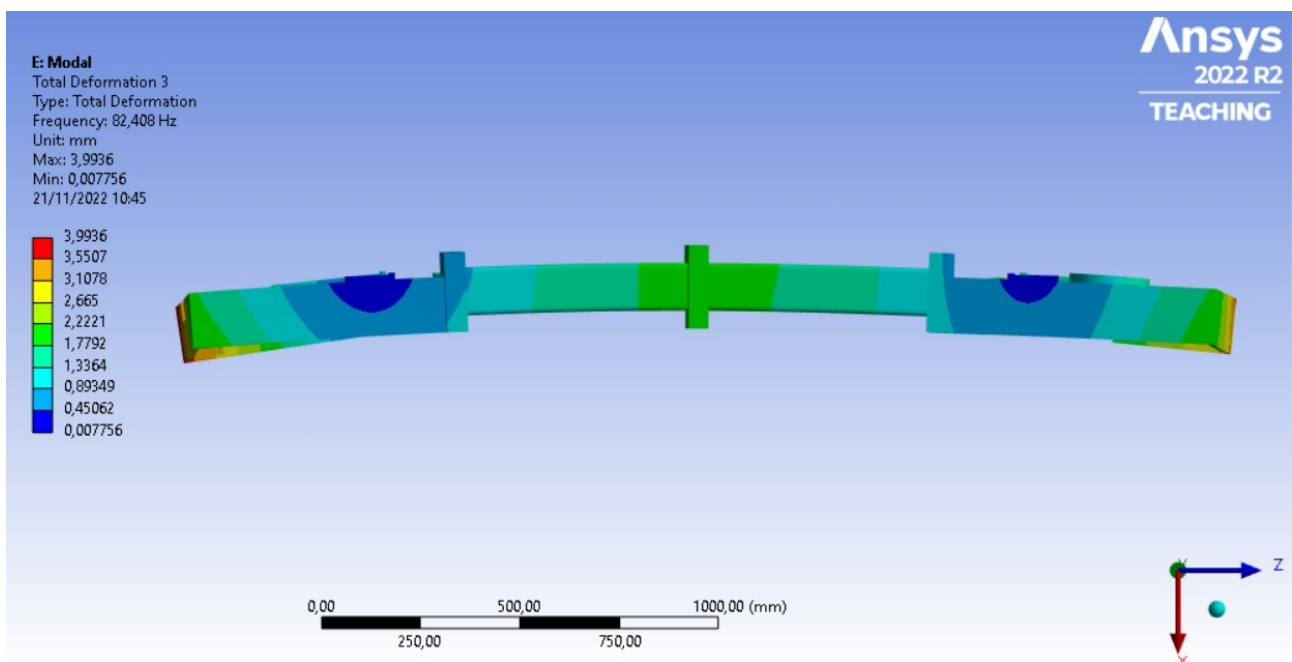


Figura 6.2.5.3: Terzo modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 4 (vista dall'alto).

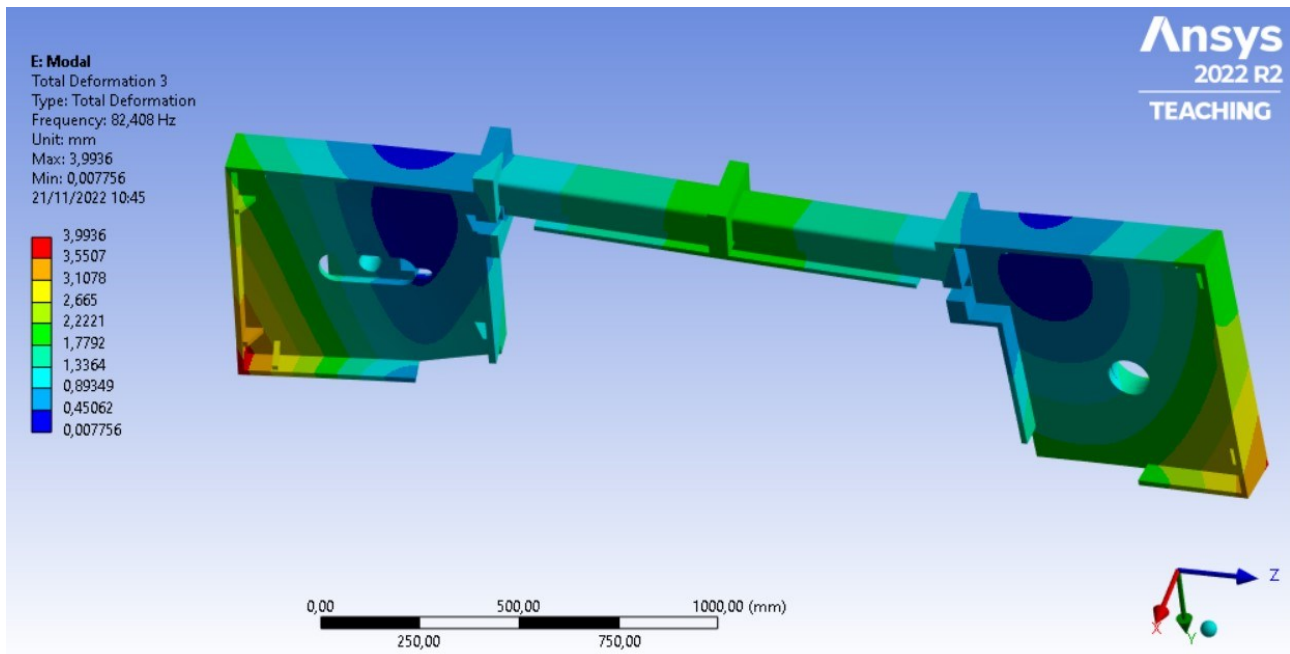


Figura 6.2.5.4: Terzo modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 4.

Il quarto modo invece evidenzia una lieve flessione della trave centrale e una flessione all'estremità della "sezione puleggia folle" e della "sezione puleggia motrice" Figura (6.2.5.5).

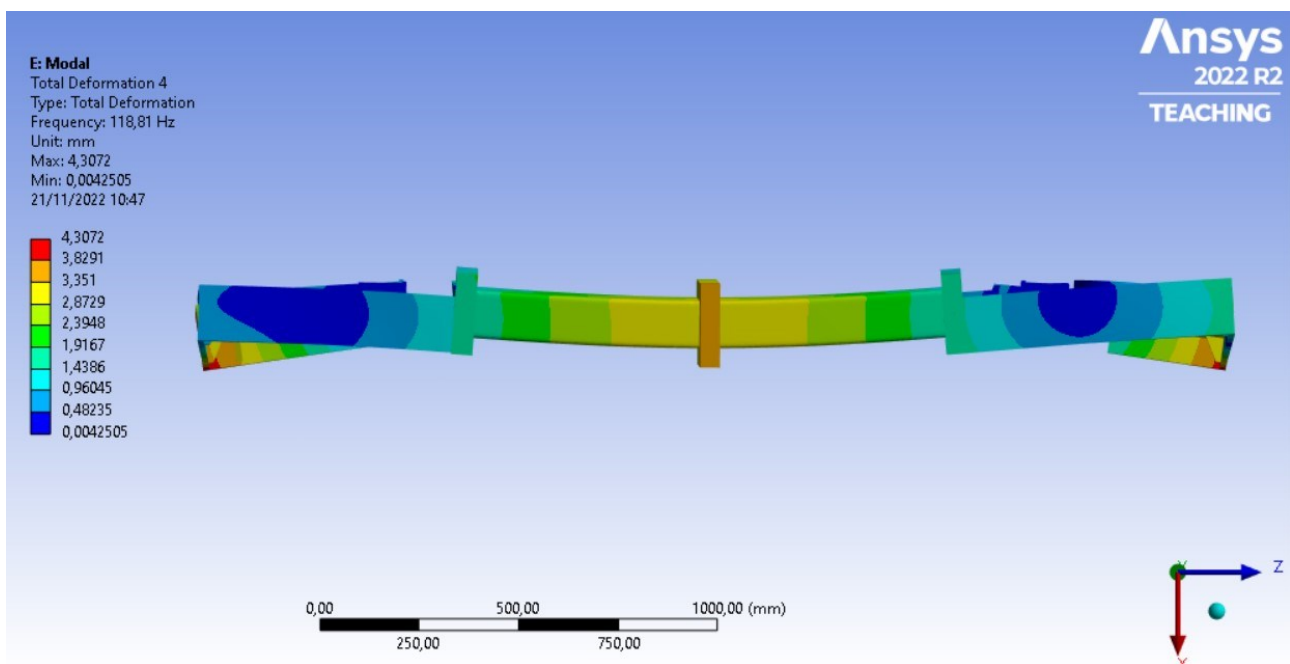


Figura 6.2.5.5: Quarto modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 4.

Il quinto modo interessa perlopiù la parte sinistra della testa di taglio Figura 6.2.5.6 mentre il sesto modo influenza maggiormente l'estremità in alto a destra della "sezione puleggia motore".

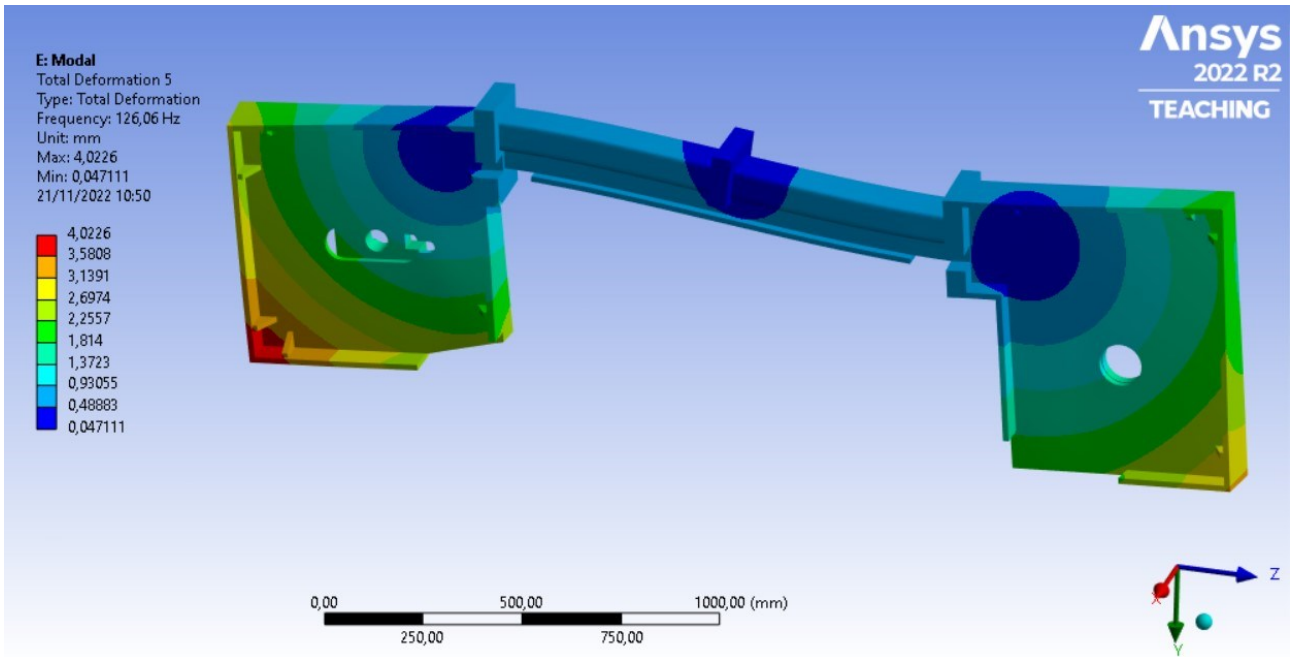


Figura 6.2.5.6: Quinto modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 4.

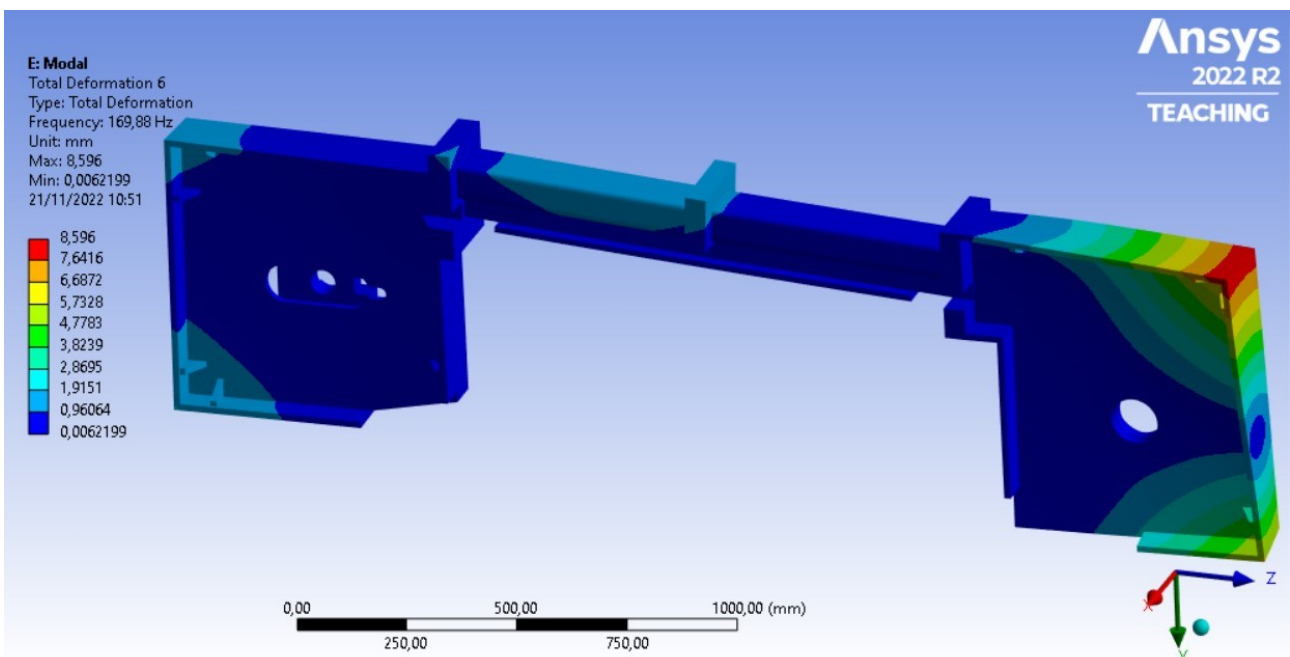


Figura 6.2.5.7: Sesto modo di vibrare della testa di taglio Acciaio 4.

## 6.3 RISULTATI ANALISI TRANSIENTE

Nei successivi sotto capitoli si andranno ad esplicitare i risultati delle analisi transienti svolte su tutte le teste di taglio ad eccezione della testa di taglio “acciaio 3” in quanto il primo modo presenta un valore di  $\omega_n$  troppo basso.

Per ogni testa di taglio sono riportati i risultati della deformazione totale e della deformazione in direzione Z. Per unificare la trattazione della deformazione in direzione Z, è stato “istituito” un sistema di riferimento unico mostrato in Figura 6.3.1 per tutte le teste di taglio situato sulla slitta tendilama con l’asse Z coincidente con l’asse di rotazione della puleggia folle.

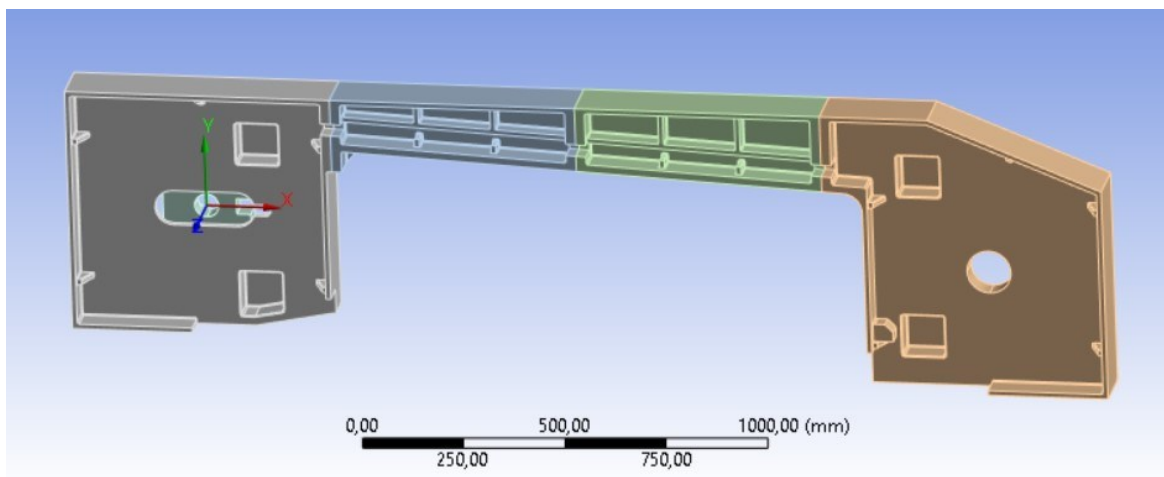


Figura 6.3.1: Modello geometrico per l'analisi transiente.

La scelta di trattare unicamente la deformazione in direzione Z è dovuta al fatto che la precisione del taglio è influenzata notevolmente dalla stabilità in questa direzione: spostamenti eccessivi lungo questa direzione comporterebbero eccessivi spostamenti del nastro e dei suoi organi di guida (si pensi ad esempio ai braccetti guidalama posti sotto la trave centrale) andando ad inficiare la precisione e la qualità del taglio.

Per l'analisi dei risultati si procede esportando da Ansys Workbench i risultati delle deformazioni ottenuti dalle analisi transienti su un foglio di calcolo, mostrato in Tabella 6.3.1.

Tabella 6.3.1: Risultati delle deformazioni in direzione Z in output dall'analisi transiente.

Substep	Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]	Average [mm]
1	3,00E-04	-1,99E-05	2,94E-05	-1,08E-07
2	6,00E-04	-1,19E-04	1,75E-04	-6,69E-07
3	9,00E-04	-3,69E-04	5,42E-04	-2,20E-06
4	1,20E-03	-8,14E-04	1,19E-03	-5,24E-06
5	1,50E-03	-1,47E-03	2,13E-03	-1,04E-05
6	1,80E-03	-2,32E-03	3,34E-03	-1,82E-05
7	2,10E-03	-3,37E-03	4,80E-03	-2,96E-05
8	2,40E-03	-4,61E-03	6,50E-03	-4,52E-05
9	2,70E-03	-6,02E-03	8,38E-03	-6,59E-05
-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----
109	3,27E-02	-2,52E-02	1,74E-02	-6,12E-04
110	3,30E-02	-2,44E-02	1,55E-02	-5,83E-04
111	3,33E-02	-2,33E-02	1,38E-02	-5,41E-04
112	3,36E-02	-2,17E-02	1,23E-02	-4,86E-04

Sempre sfruttando il foglio di calcolo, per ogni struttura si è risaliti al "substep" in cui il valore della deformazione raggiunge il valore massimo: con questo input si ritorna poi nella visualizzazione dei risultati in Ansys Workbench e si ottiene l'immagine della testa di taglio deformata quando la deformazione è massima. In caso di deformazione in direzione Z si è cercato il valore massimo del valore assoluto delle colonne "Minimum" e "Maximum": questo perché i segni sono dipendenti dal sistema di riferimento sopracitato ed inoltre per l'applicazione è utile vedere la deformata massima della struttura.

### 6.3.1 GHISA

Di seguito si riportano i valori di massima deformazione totale e di deformazione massima lungo Z per il primo scenario di taglio:

- Massima deformazione totale:  $6,92E-02$  mm;
- Massima deformazione direzione Z:  $6,29E-02$  mm.

Nelle Figura 6.3.1.1 possiamo vedere che il massimo valore di deformazione lungo Z è collocato nella parte in basso a destra della “sezione puleggia motrice”, come già detto in precedenza è in una zona dove non sono presenti organi di trasmissione.

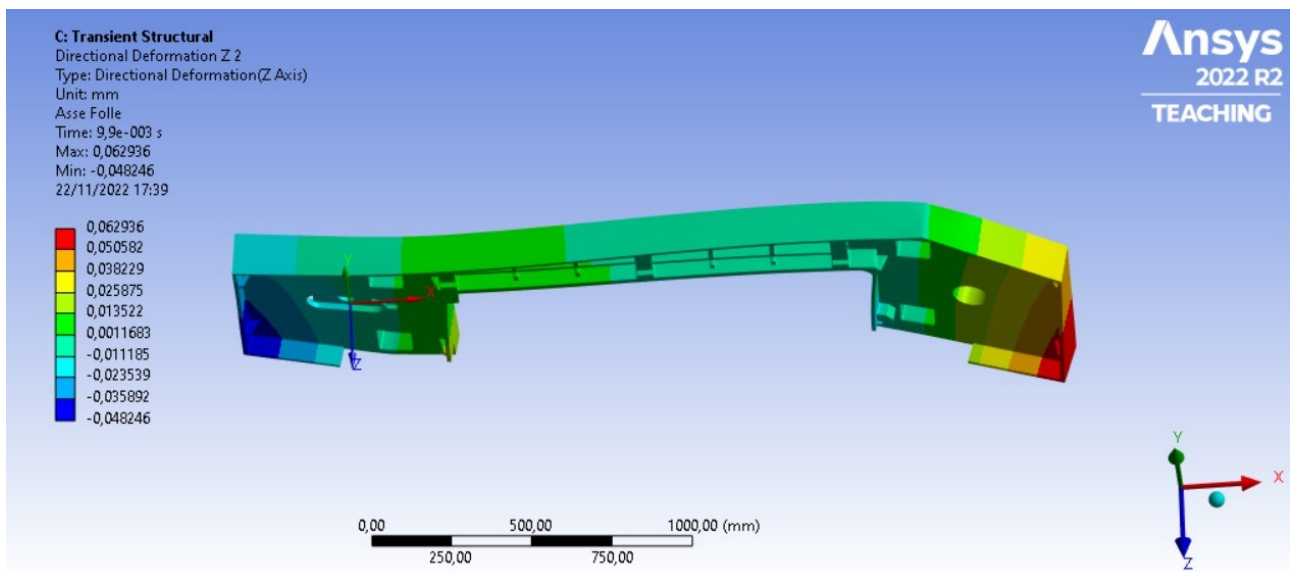


Figura 6.3.1.1: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio in ghisa per il primo scenario di taglio.

Osservando la parte posteriore della testa di taglio in Figura 6.3.1.1 vediamo come a ridosso dell'asse folle e dell'asse motore la deformazione sia intorno a  $0,002$  mm, valore accettabile per un macchinario industriale. Si può osservare come anche la trave centrale rimanga piuttosto rettilinea.



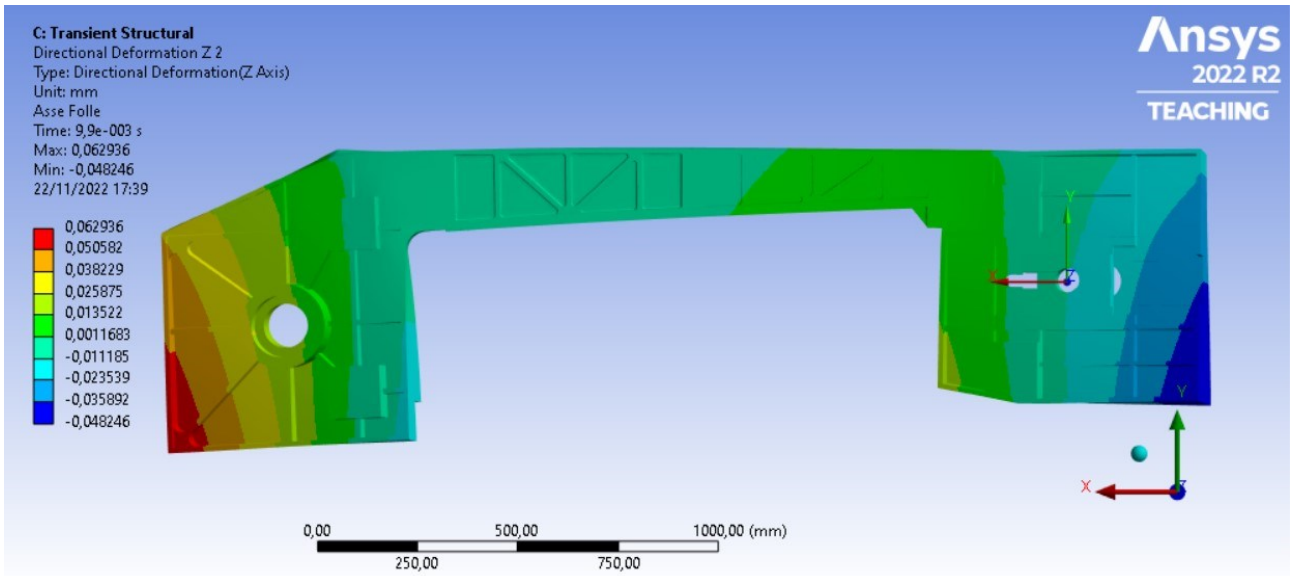


Figura 6.3.1.2: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio in ghisa per il primo scenario di taglio (vista posteriore).

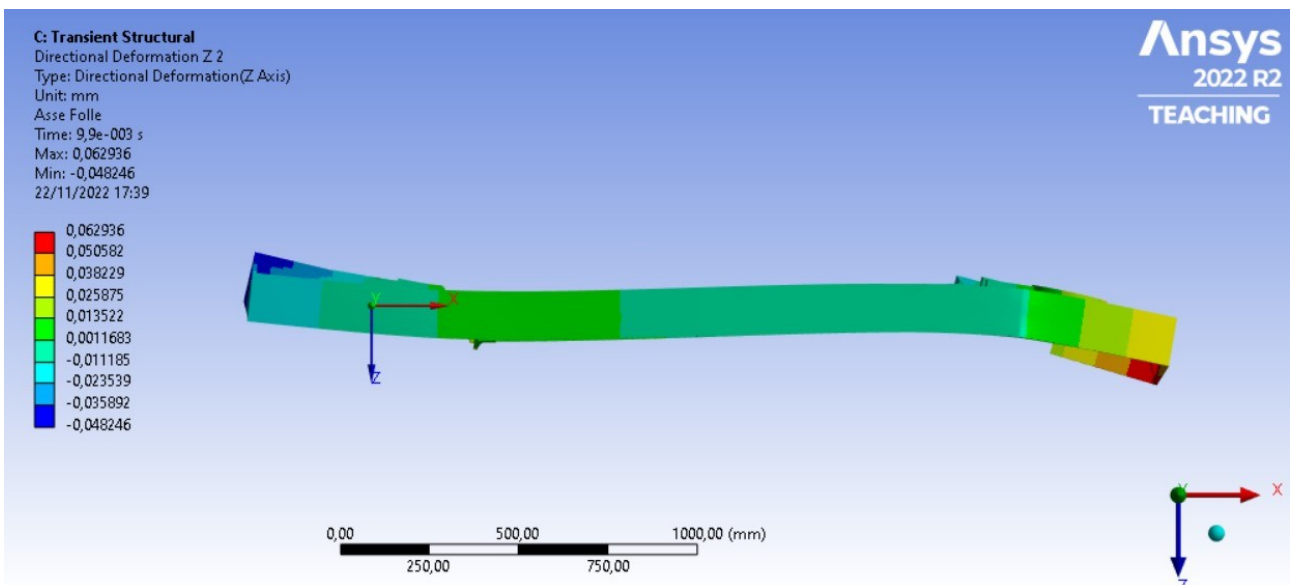


Figura 6.3.1.3: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio in ghisa per il primo scenario di taglio (vista dall'alto).

Nelle Figure 6.3.1.4a e 6.3.1.4b, possiamo vedere che anche la deformazione totale di tutta la testa di taglio, rispetto alle deformazioni lungo Z non ci sono situazioni con deformazioni gravose.

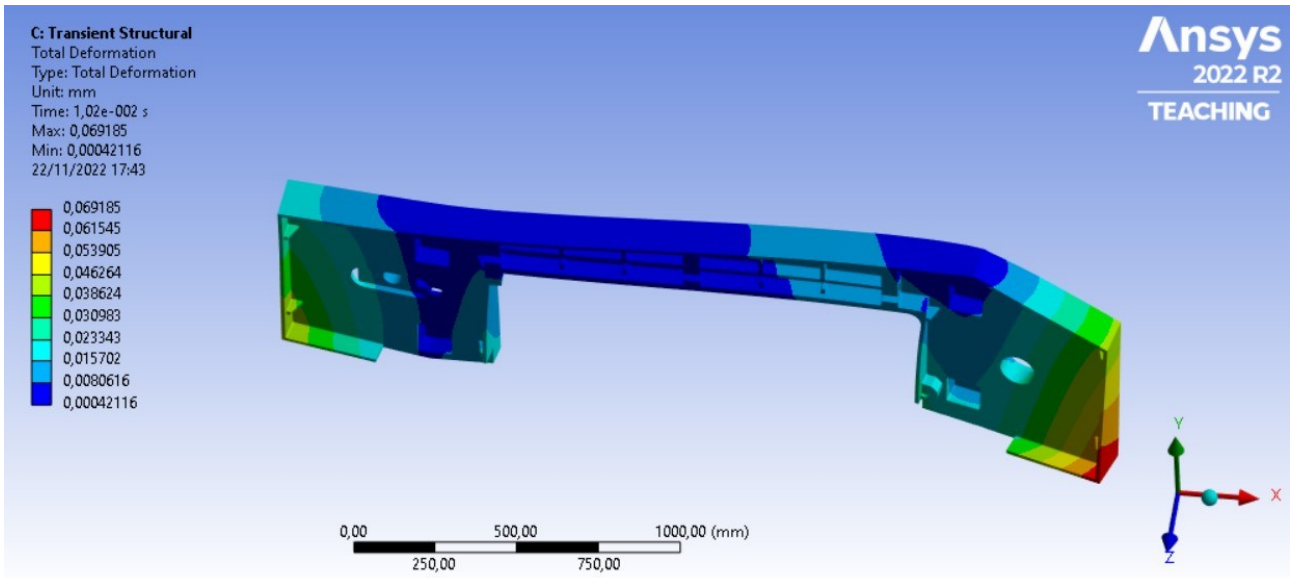


Figura 6.3.1.4a: Deformazione totale della testa di taglio in ghisa per il primo scenario di taglio.

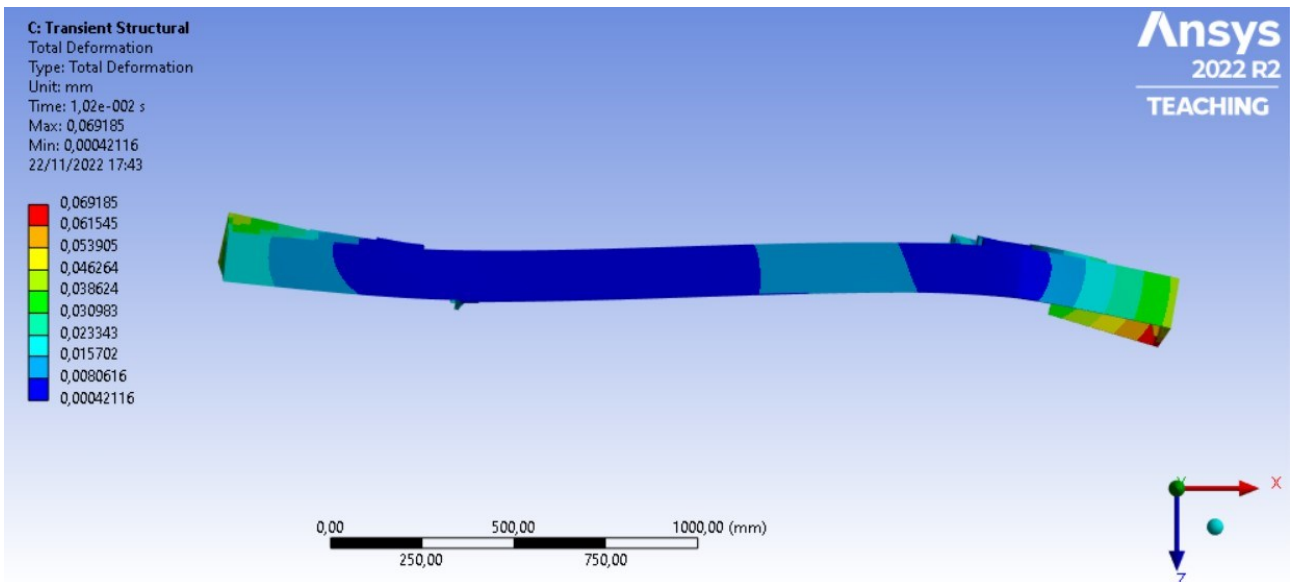


Figura 6.3.1.4b: Deformazione totale della testa di taglio in ghisa per il primo scenario di taglio.

Passando al secondo scenario di taglio, si riportano i valori di massima deformazione totale e di deformazione massima lungo Z:

- Massima deformazione totale:  $3,12E-02$ mm;
- Massima deformazione direzione Z:  $2,62E-02$ mm.

In questo scenario la massima deformazione lungo Z Figura 6.3.1.5 è sempre localizzata nella parte in basso a destra della “sezione puleggia motrice”, in questa situazione con segno opposto e valgono le stesse considerazioni fatte sopra.

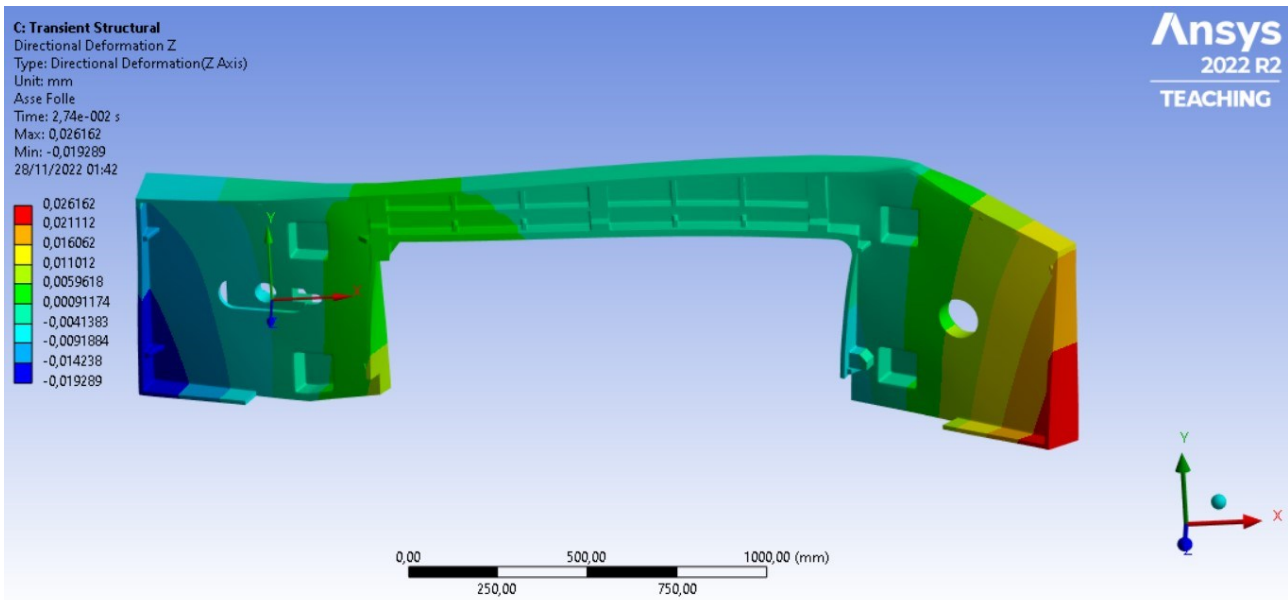


Figura 6.3.1.5: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio in ghisa per il secondo scenario di taglio.

Osservando la parte posteriore della struttura vediamo che gli alloggiamenti degli organi di trasmissione non subiscono deformazioni significative (Figura 6.3.1.6).

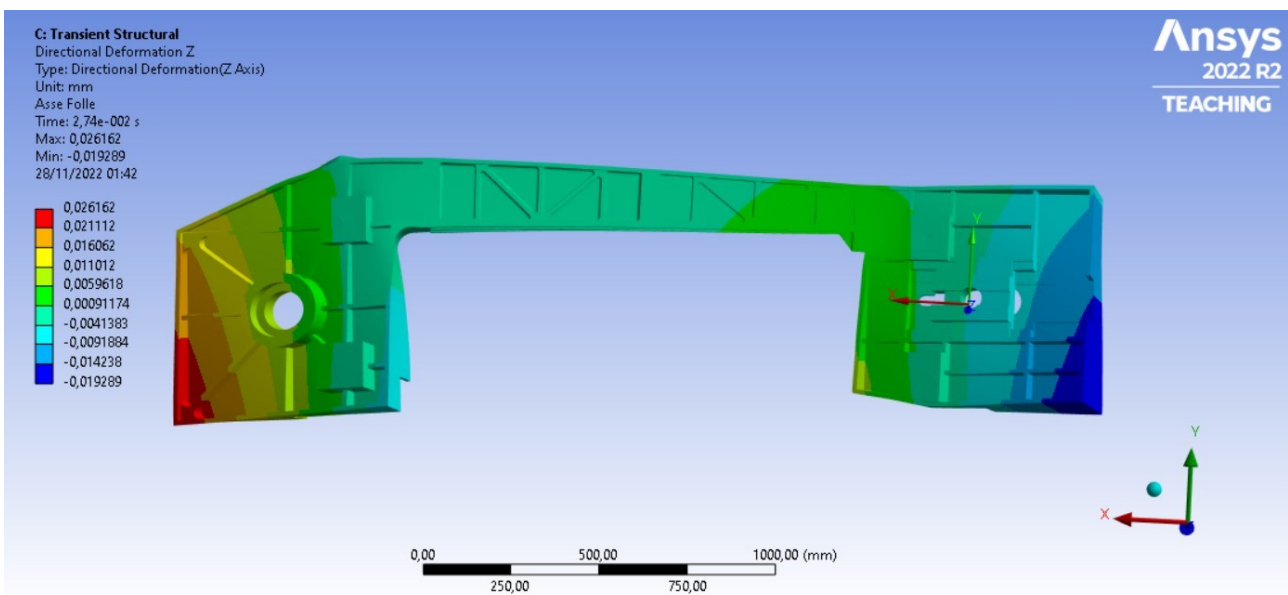


Figura 6.3.1.6: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio in ghisa per il secondo scenario di taglio.

In Figura 6.3.1.7 vediamo come la deformazione totale rimane tutto sommato entro valori accettabili.

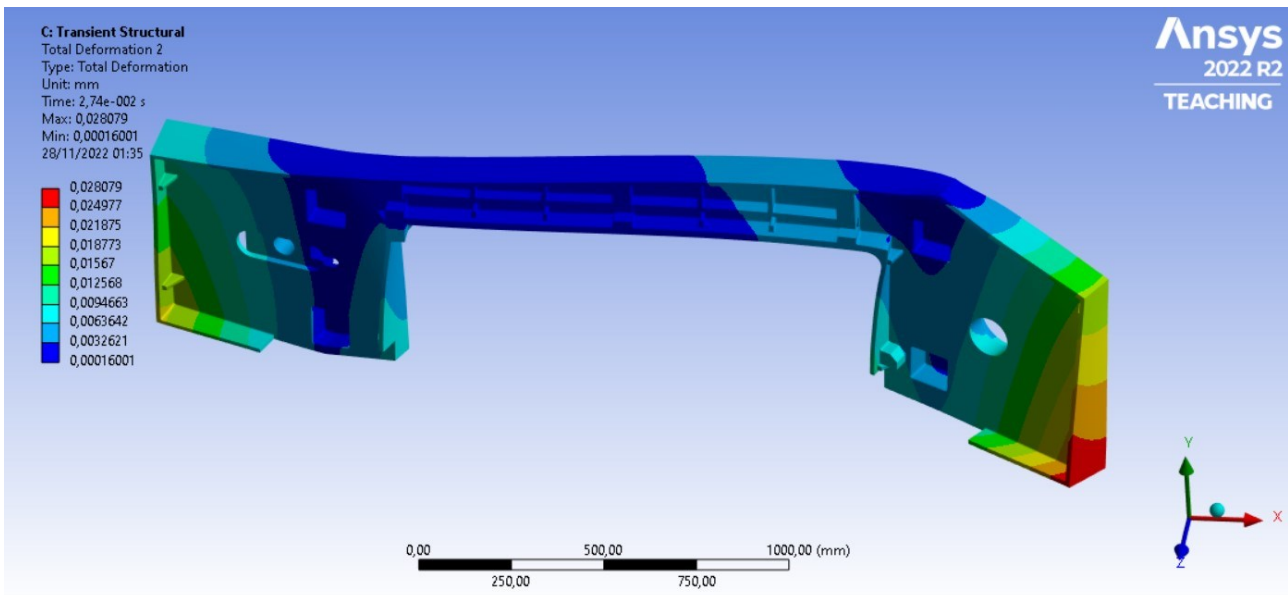


Figura 6.3.1.7: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio in ghisa per il secondo scenario di taglio.

## 6.3.2 ACCIAIO 1

Di seguito si riportano i valori di massima deformazione totale e di deformazione massima lungo Z per il primo scenario di taglio:

- Massima deformazione totale:  $4,79E-02$  mm;
- Massima deformazione direzione Z:  $-1,33E-02$  mm.

Nelle Figura 6.3.2 possiamo vedere che il massimo valore di deformazione lungo Z (in valore assoluto) sia localizzato nella parte in basso a sinistra della “sezione puleggia folle”. La trave centrale rimane piuttosto indeformata.

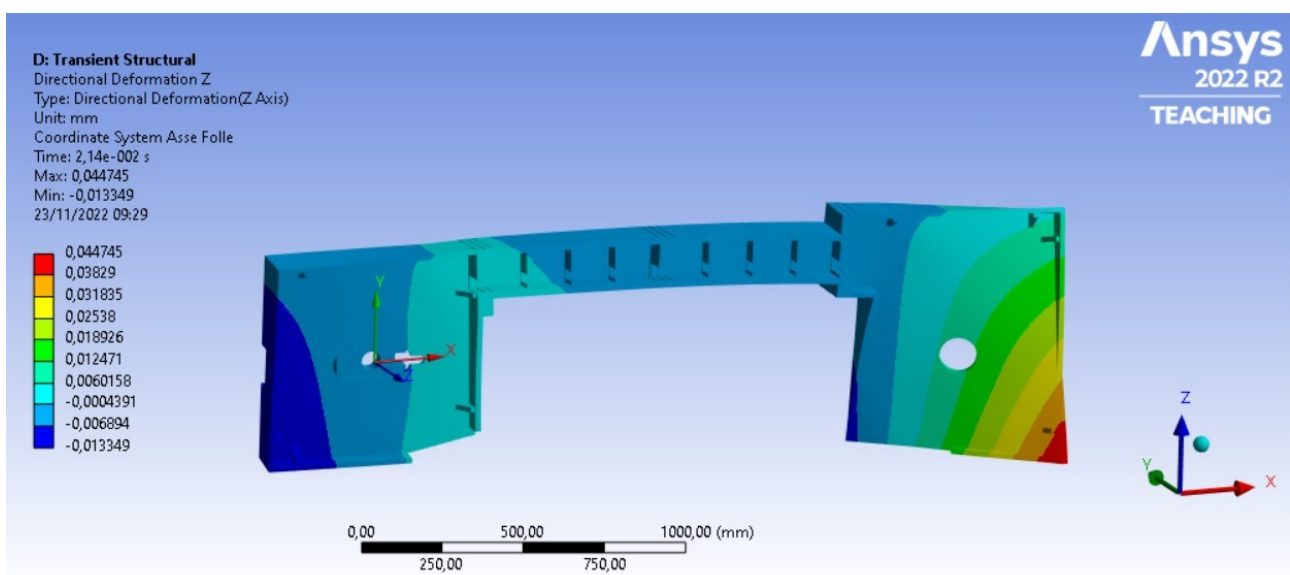


Figura 6.3.2.1: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Acciaio 1 per il primo scenario di taglio.

Osservando la parte posteriore della struttura si può affermare che anche in questa soluzione costruttiva gli alloggiamenti degli organi di trasmissione non subiscono particolari deformazioni dovute alle forze di taglio scambiate fra i denti del nastro e il materiale.

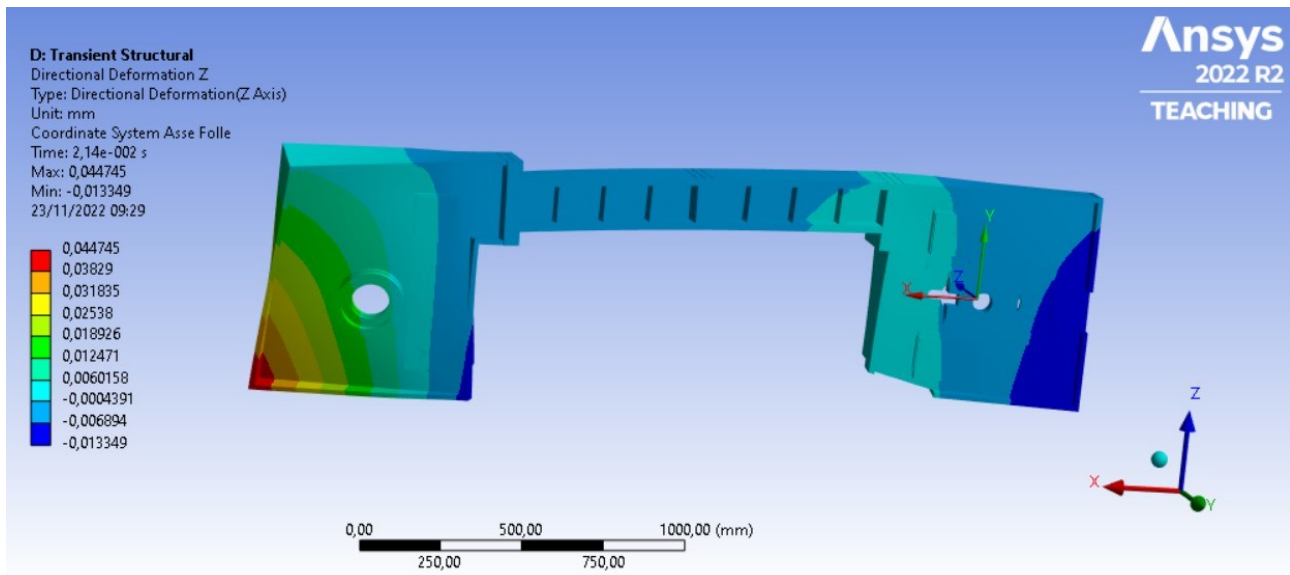


Figura 6.3.2.2: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Acciaio 1 per il primo scenario di taglio.

In Figura 6.3.2.3 è mostrata la deformazione totale.

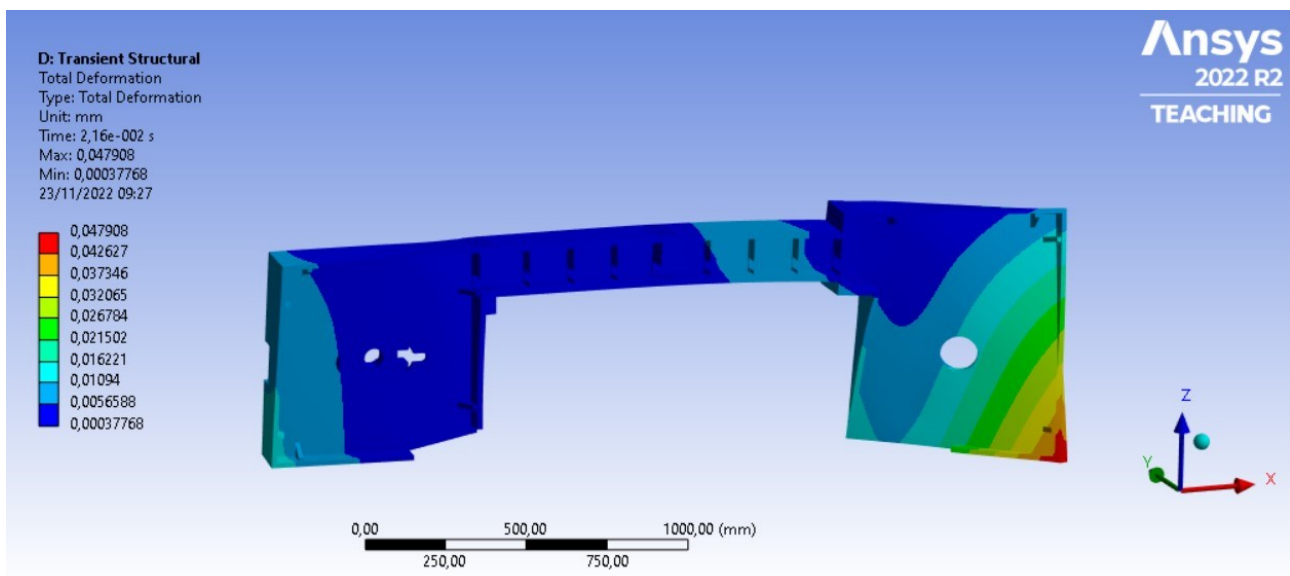


Figura 6.3.2.3: Deformazione totale della testa di taglio Acciaio 1 per il primo scenario di taglio.

Passando al secondo scenario di taglio, vediamo in Figura 6.3.2.4 che la massima deformazione in direzione Z è localizzata nella stessa zona del primo scenario:

- Massima deformazione totale: 1,67E-02 mm;
- Massima deformazione direzione Z: -1,36E-02 mm.

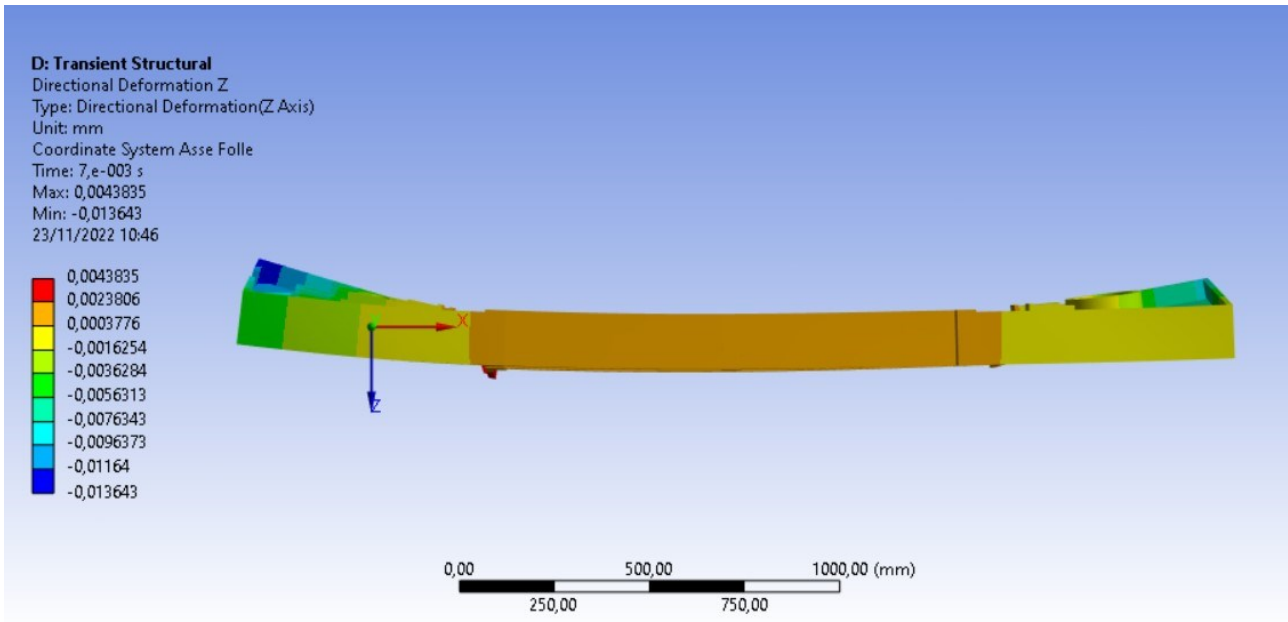


Figura 6.3.2.4: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Acciaio 1 per il secondo scenario di taglio.

Mentre in Figura 6.3.2.5 vediamo la deformazione totale.

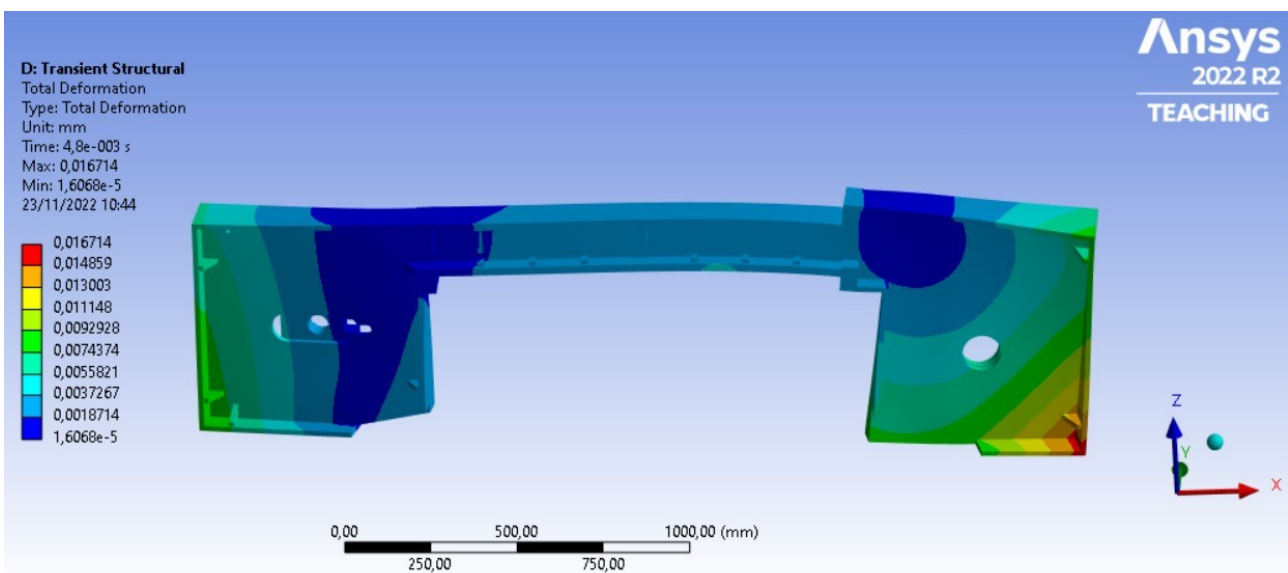


Figura 6.3.2.5: Deformazione totale della testa di taglio Acciaio 1 per il secondo scenario di taglio.



### 6.3.3 ACCIAIO MONOBLOCCO

Come per le teste di taglio precedenti, si riportano i valori di massima deformazione totale e di deformazione massima lungo Z per il primo scenario di taglio:

- Massima deformazione totale: 2,84E-02 mm;
- Massima deformazione direzione Z: 2,69E-02 mm.

In Figura 6.3.3.1 possiamo vedere la deformazione lungo la direzione Z della testa di taglio monoblocco: anche in questo caso il valore massimo è localizzato nella parte inferiore destra.

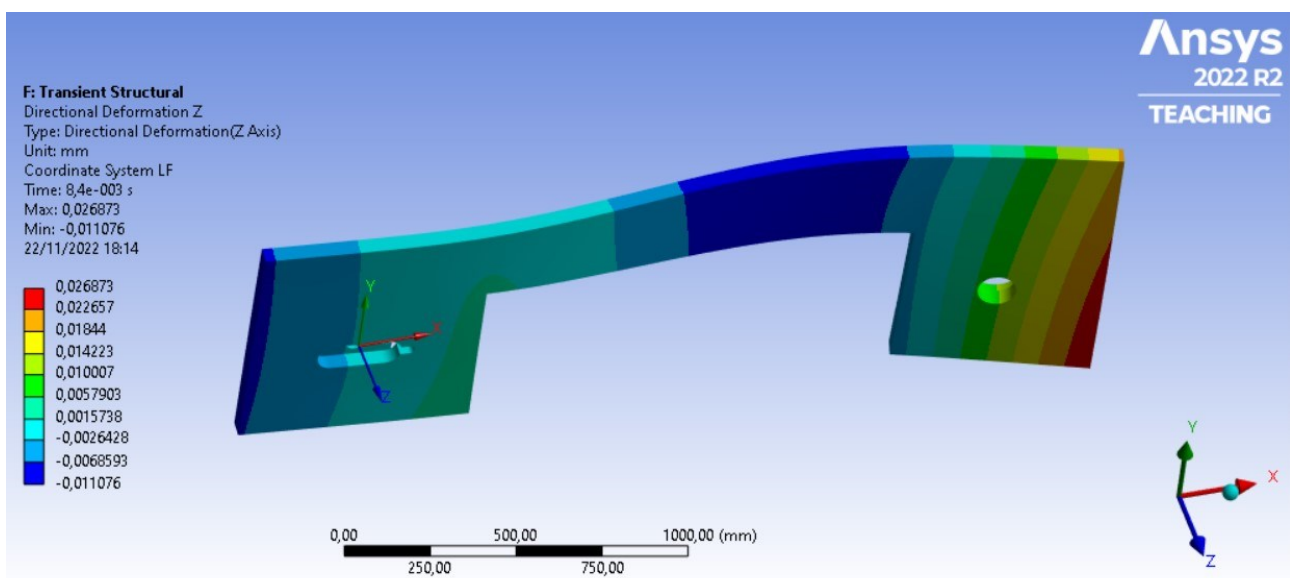


Figura 6.3.3.1: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Monoblocco per il primo scenario di taglio.

Osservando in Figura 6.3.3.2 la parte posteriore della parte centrale testa di taglio (dove in questo caso saranno alloggiati le guide dei pattini dei braccetti guidalama) possiamo vedere come la struttura risponda positivamente alle sollecitazioni.



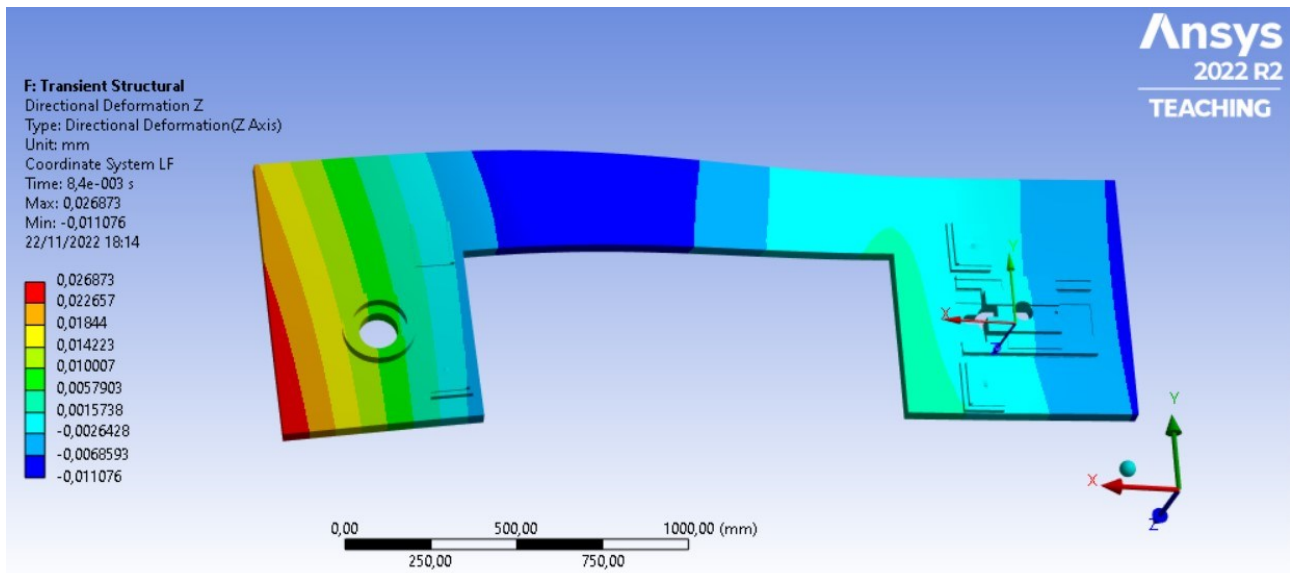


Figura 6.3.3.2: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Monoblocco per il primo scenario di taglio (vista posteriore).

Infine, in Figura 6.3.3.3 vediamo la deformazione totale.

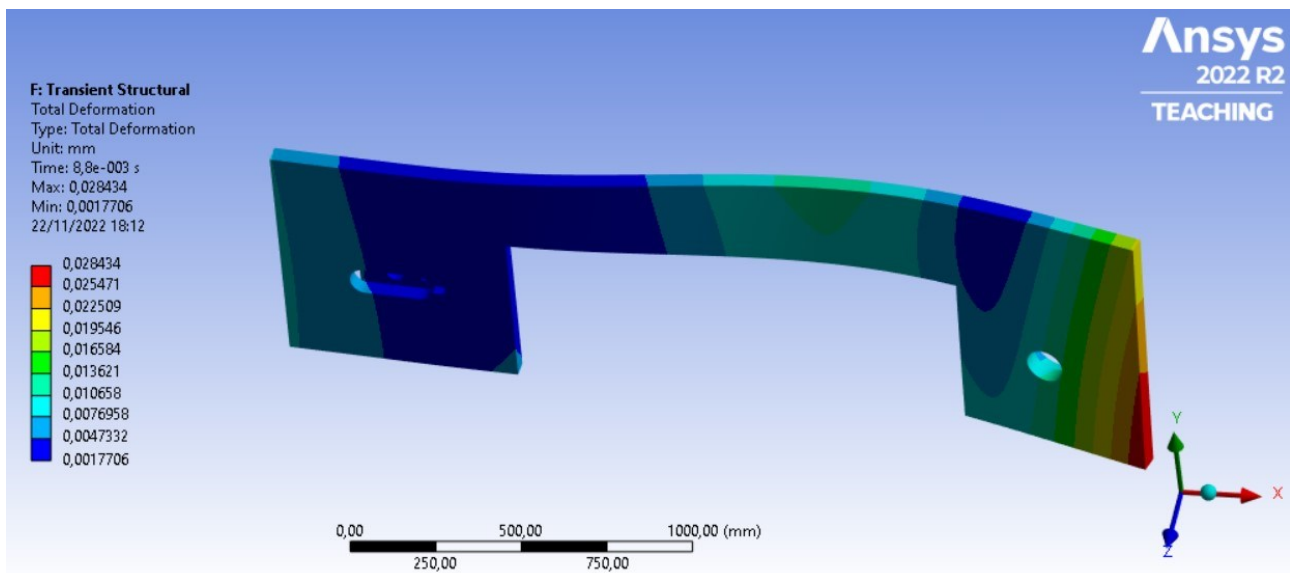


Figura 6.3.3.3: Deformazione totale della testa di taglio Monoblocco per il primo scenario di taglio.

Per il secondo scenario di taglio, si hanno i seguenti valori:

- Massima deformazione totale: 1,08E-02 mm;
- Massima deformazione direzione Z: 1,03E-02 mm.

Vediamo come anche in questo scenario la localizzazione della massima deformazione in direzione Z è identica al caso precedente Figura 6.3.3.4, mentre in Figura 6.3.3.5 vediamo la deformazione totale.

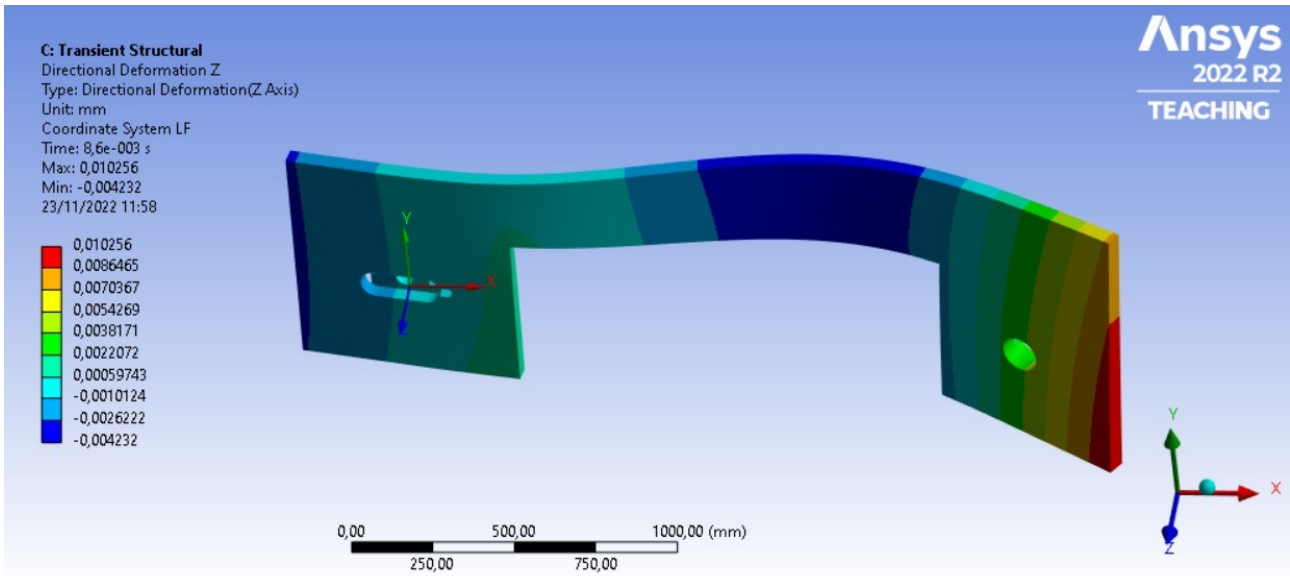


Figura 6.3.3.4: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Monoblocco per il secondo scenario di taglio.

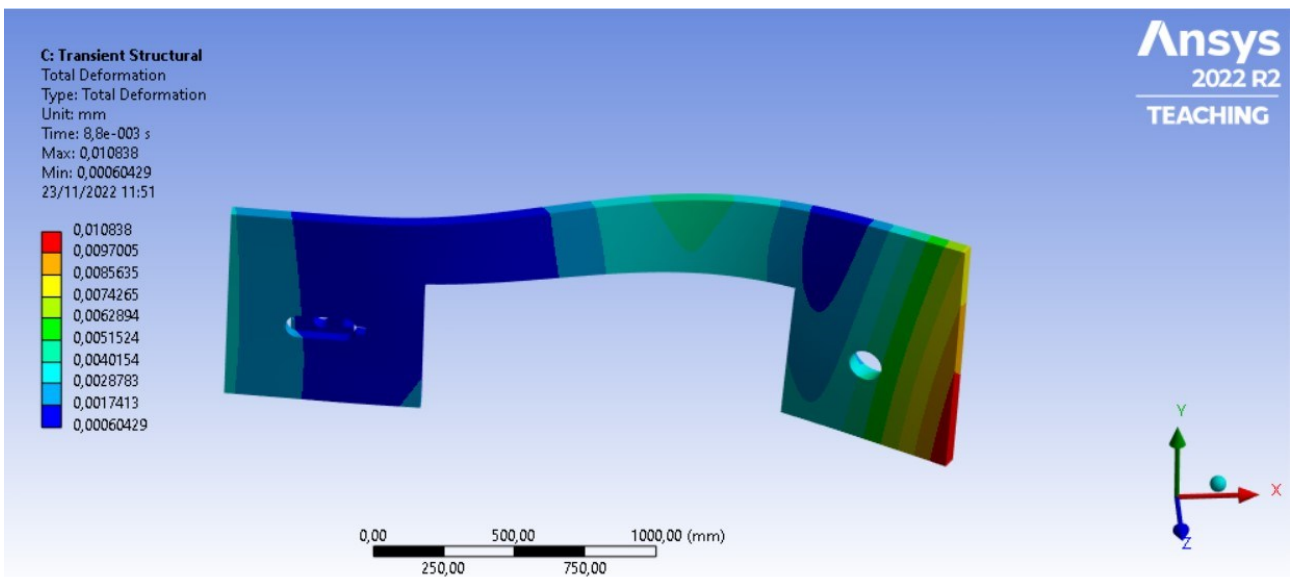


Figura 6.3.3.5: Deformazione totale della testa di taglio Monoblocco per il secondo scenario di taglio.

### 6.3.4 ACCIAIO 4

Analizzando la testa di taglio, si hanno i seguenti valori di massima deformazione totale e di deformazione massima lungo Z:

- Massima deformazione totale:  $4,80E-02$  mm;
- Massima deformazione direzione Z:  $-1,44E-02$  mm.

Anche in questo caso il massimo della deformazione lungo Z sia localizzato nella parte inferiore destra della “sezione puleggia motrice” Figura 6.3.4.1. Facendo considerazioni sulla trave centrale vediamo come essa non è soggetta a spostamenti eccessivi.

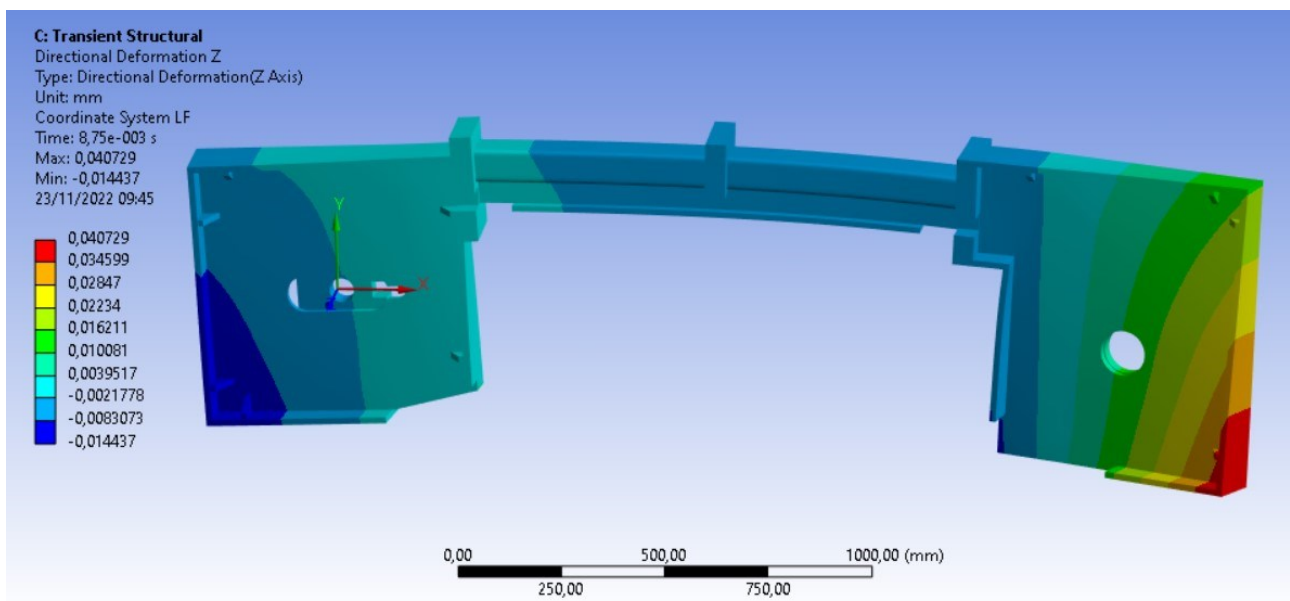


Figura 6.3.4.1: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Acciaio 4 per il primo scenario di taglio.

In Figura 6.3.4.2 possiamo vedere la deformazione totale.

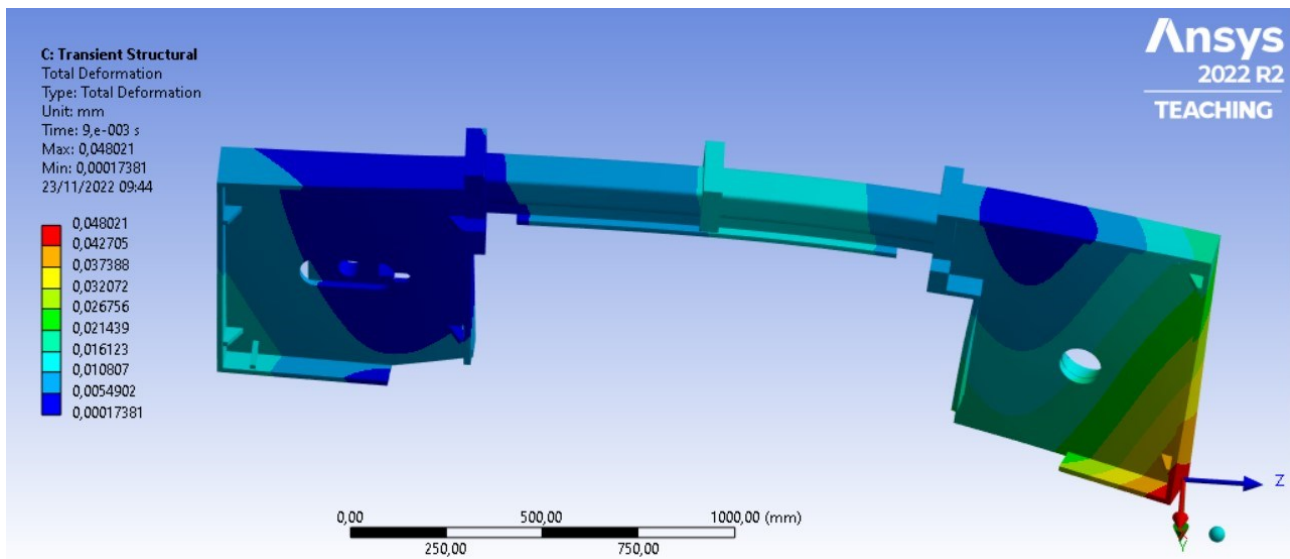


Figura 6.3.4.2: Deformazione totale della testa di taglio Acciaio 4 per il primo scenario di taglio.

Per il secondo scenario di taglio, si hanno i seguenti valori:

- Massima deformazione totale: 1,83E-02 mm (Figura 6.3.4.3);
- Massima deformazione direzione Z: 1,55E-02 mm (Figura 6.3.4.4).

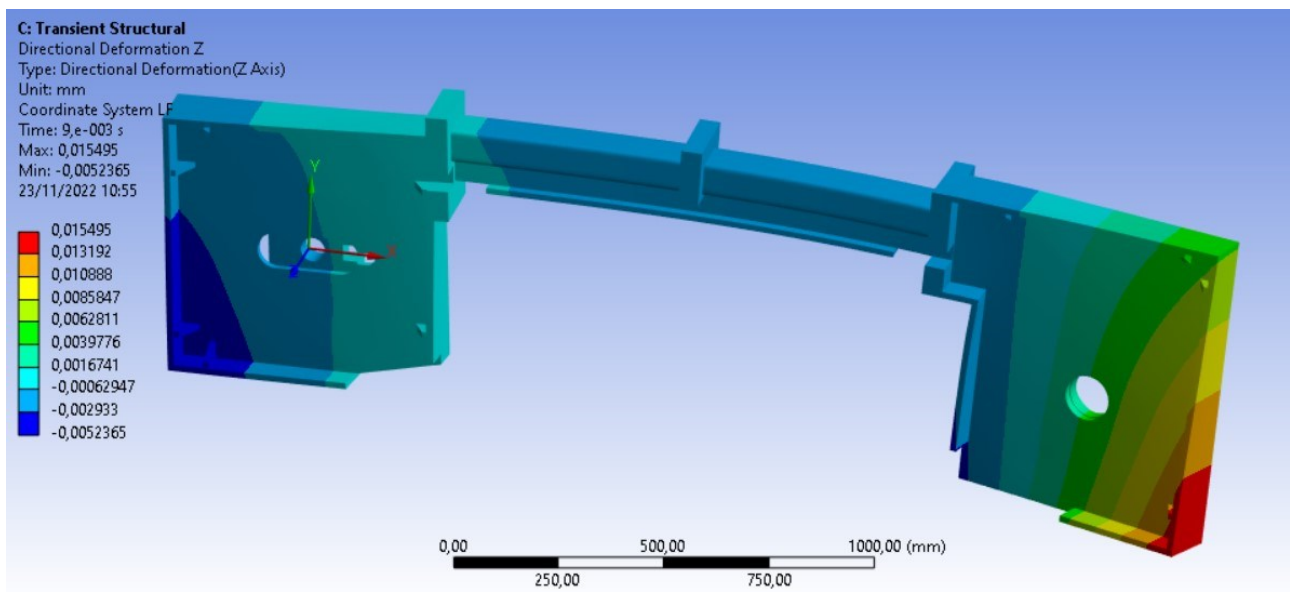


Figura 6.3.4.3: Deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio Acciaio 4 per il secondo scenario di taglio.

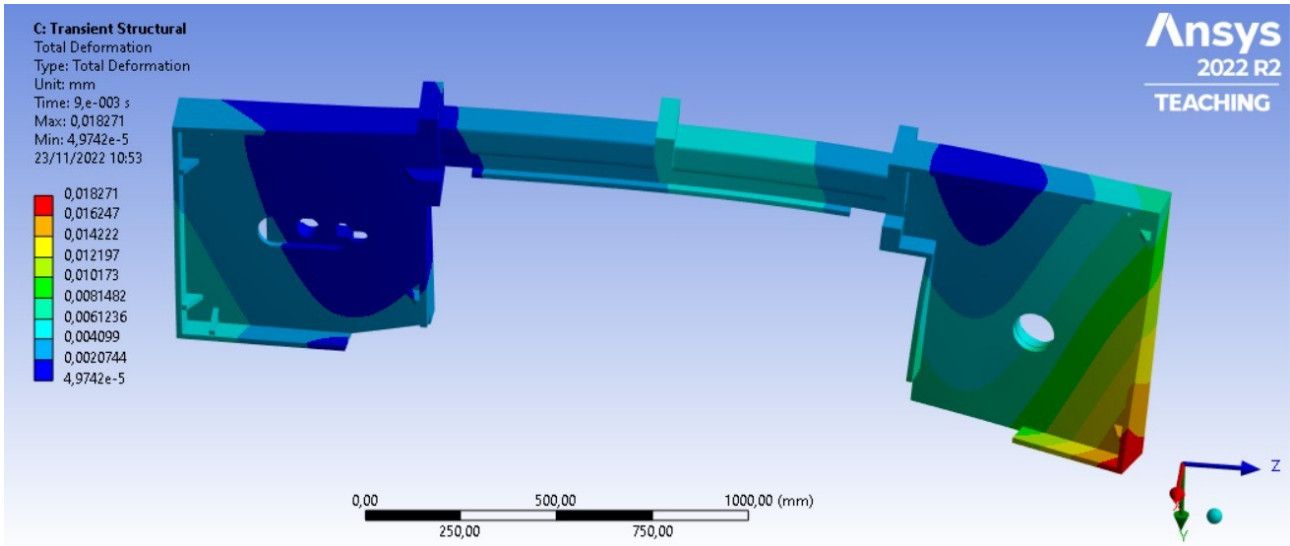


Figura 6.3.4.4: Deformazione totale della testa di taglio Acciaio 4 per il secondo scenario di taglio.

## **7 - PROCESSI PRODUTTIVI E COSTIFICAZIONI**

### **7.1 TESTA DI TAGLIO IN GHISA**

#### **7.1.1 CENNI SUI PROCESSI DI FONDERIA**

I processi di fonderia dei metalli fin dall'antichità sono stati impiegati dall'uomo per ottenere manufatti di uso quotidiano (utensili, posate) o di interesse artistico: le prime applicazioni risalgono addirittura al 4000 a.C. Essi si basano essenzialmente sul riscaldamento del metallo fino a portarlo allo stato liquido e sul suo successivo versamento in cavità. Il metallo, solidificando assume la geometria della cavità della forma entro cui è stato colato dando luogo a prodotti che, a meno di lavorazioni secondarie o di aumento di precisione e qualità superficiale, hanno la geometria di utilizzo (getti) [12] e che possono avere un range di massa che spazia da pochi grammi a diverse tonnellate.

Nomenclature alternative per i processi di fonderia, sono "tecniche di fusione" o "processi fusori" con i quali si includono, oltre al passaggio dei metalli dalla fase solida a quella liquida, anche tutti gli altri processi di produzione svolti per creare le forme cave necessarie, fondere i materiali metallici, trattare il fuso ed effettuare tutte le altre operazioni che portano alla realizzazione del prodotto [12].

La fonderia, ancora oggi, è una tecnologia in gran parte basata sull'esperienza [12]: infatti, le informazioni tramandate ed acquisite nel tempo sono ancora ampiamente utilizzate nella pratica fusoria, sebbene nel tempo sia stato sviluppato uno studio sistematico dei numerosi fattori che influenzano i vari processi. Tutto questo ha consentito di risolvere numerosi problemi che ponevano limitazioni al ricorso alle tecniche fusorie, in particolare si cita l'uniformità delle caratteristiche nei getti.

Nel settore industriale la fonderia trova ampia applicazione nella produzione di semilavorati. Attualmente la fonderia permette di realizzare oggetti "near to net shape", ovvero oggetti con forme circa uguali a quelle di utilizzo senza l'ausilio di ulteriori lavorazioni. Si può quindi affermare che le tecniche di fusione sono da preferire agli altri processi produttivi in caso di forme complesse comprensive di cavità interne; quindi, quando il semilavorato non risulta producibile con altri processi oppure quando porta a condizioni economiche favorevoli. Il processo comporta da parte sua una serie di limitazioni quali le proprietà meccaniche dei prodotti che risultano caratterizzati da minore duttilità, minore tenacità e da un maggiore grado di porosità se comparati a prodotti ottenuti con lavorazioni per deformazione plastica o per asportazione di truciolo.

Le forme contenenti le cavità entro le quali viene versato il metallo fuso giocano un ruolo di fondamentale importanza per la buona riuscita del processo: necessitano quindi di un'accurata progettazione e realizzazione, in particolare devono essere sovradimensionate per considerare le contrazioni volumetriche che il materiale subisce durante il raffreddamento in fase solida. Le forme possono essere aperte o chiuse; quest'ultime sono le più impiegate e sono dotate al loro interno di canali attraverso cui passa il metallo fuso. Un'ulteriore classificazione delle forme è fatta in base alla

possibilità di riutilizzo: esistono infatti forme transitorie dove la forma viene distrutta per estrarre il getto dopo la solidificazione e forme permanenti ed i materiali impiegati per realizzarle possono essere terre di fonderia, metalli, materiali ceramici e gessi. A titolo esemplificativo, in Figura 7.1.1.1 è mostrata la sezione di una forma chiusa in terra: essa è costituita da due staffe, che non sono altro che contenitori senza fondo e senza coperchio aventi la funzione di contenere la terra compattata. La cavità all'interno della forma viene ottenuta partendo da un modello, a sua volta realizzato in legno, plastica o metallo [12]. Il posizionamento relativo delle due staffe è assicurato da spine e boccole, la staffa inferiore è detta staffa base mentre quella superiore è detta staffa coperchio.

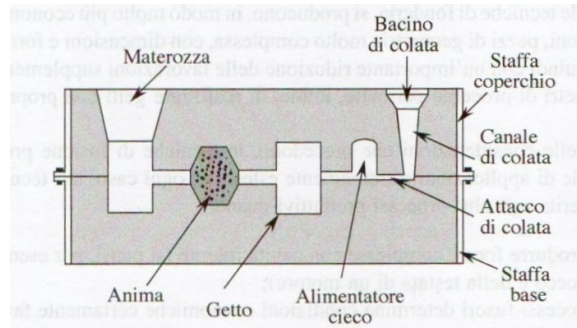


Figura 7.1.1.1: Forme chiuse [12].

Se il getto deve a sua volta contenere delle cavità si ricorre all'impiego di anime, realizzate compattando terra refrattaria nelle casse d'anima, le portate d'anima sono gli incavi ricavati nella forma che sorreggono le anime. Il fuso raggiunge le cavità attraverso una serie di canalizzazioni costituito da un bacino di colata, un canale di colata verticale e un canale di adduzione orizzontale, che ha la funzione di smorzare la dinamicità della fase liquida alla base del canale di colata e di portarla all'interno della cavità che definisce la geometria del getto [12]. Le forme permanenti, o conchiglie, sono invece riutilizzate per un numero elevato di getti e vengono realizzate mediante lavorazioni alle macchine utensili. I materiali con cui vengono realizzate sono materiali metallici, talvolta in ceramici refrattari, che sono capaci di resistere alle elevate temperature del metallo fuso che viene colato nelle loro cavità. Ulteriori classificazioni dei processi di fonderia sono effettuate in base:

al materiale delle forme (fonderia in terra o conchiglia)

al tipo di modello che può essere permanente (se in metallo o legno) oppure a perdere (in cera o polistirolo)

alla possibilità di eseguire la colata sotto pressione

#### CICLO DI LAVORAZIONE DEI GETTI

In generale, è composto dalle fasi seguenti [12]:

- allestimento del modello in legno o lega leggera, sulla base del progetto;
- la preparazione della forma, costipando la terra sul modello e realizzando l'impronta, in negativo, della forma del pezzo che sarà prodotto;
- la fusione del metallo e il suo versamento nella forma;
- l'estrazione del getto dalla forma dopo la solidificazione (distaffatura);
- la finitura del getto.

A seconda della tipologia del processo, alcune fasi riportate in precedenza non si eseguono.

Il successo del processo dipende anche dalla colabilità del materiale, che è l'attitudine di un materiale ad essere colato in forme senza originare difetti nel getto: essa è influenzata dalle proprietà fisiche e tecnologiche del materiale e dai parametri di processo [12].

#### REALIZZAZIONE DELLE FORME

La realizzazione dell'impronta in negativo del getto, oltre alle impronte dei getti nelle forme, dovrà prevedere anche la presenza di canali di colata e materozze che permettono di evitare difetti nel prodotto.

Nella formatura in terra, vengono impiegate le terre di fonderia (sabbie di vario tipo con opportuni leganti) e la cavità si ottiene a partire dal modello, il quale è una riproduzione fedele del getto. La forma deve possedere una certa porosità per garantire la fuoriuscita dei gas che si sviluppano quando il metallo fuso viene a contatto con la forma. Un metodo alternativo per garantire la fuoriuscita dei gas è predisporre delle canalizzazioni di sfogo, dette tirate d'aria. Oltre alla permeabilità, il materiale della forma deve essere cedevole sotto l'azione del ritiro, infine deve essere refrattario per resistere alle alte temperature e sgretolabile per estrarre e pulire il getto agevolmente. Un altro aspetto di fondamentale importanza per l'estrazione del modello è prevedere la presenza di un piano di separazione che divide la forma in due parti.

#### MODELLI

I modelli risultano di dimensioni maggiorate rispetto al getto che poi andrà realizzato in quanto bisogna considerare il ritiro ed è alquanto complicato ottenere tolleranze strette poiché la contrazione delle diverse zone del getto non sono uniformi. Questo inconveniente non rappresenta un problema per getti di piccole dimensioni mentre al contrario per getti di grandi dimensioni è necessario determinare sperimentalmente i valori di ritiro per definire le quote da assegnare al modello [12] e i sovrametalli da asportare successivamente alle macchine utensili. Poiché i modelli permanenti vanno riutilizzati, essi sono costruiti in legno o, per una maggiore durata e stabilità dimensionale, in materiali metallici o plastiche resistenti [12].

In tabella sono riassunte le caratteristiche più importanti dei materiali per i modelli [12]:

Tabella 7.1.1.1: Caratteristiche dei materiali per modelli [12].

	Lavorabilità	Resistenza meccanica	Resistenza (in acqua) a:				
			Usura	Corrosione	Rigonfiamento	Peso	Riparabilità
<b>Legno</b>	E	A	S	E	S	E	E
<b>Alluminio</b>	B	B	B	E	E	B	S
<b>Acciai</b>	A	E	E	S	E	S	B
<b>Ghise</b>	B	B	E	S	E	S	B
<b>Plastiche</b>	B	B	A	E	E	B	A

LEGENDA: E= eccellente, B= buono, A= accettabile, S = scarso.



Solitamente per facilitarne l'estrazione il modello è composto di più parti collegate con spine e boccole; il fatto di essere composto di più parti facilita anche la realizzazione dei canali di colata, di alimentazione e delle materozze tramite modelli aggiuntivi. Un altro accorgimento per facilitare l'estrazione del modello è prevedere per le pareti del modello perpendicolari al piano di separazione opportuni angoli di sformo, che generalmente sono pari all'1% o maggiori.

Qualora la produttività sia elevata si fa ricorso alla formatura meccanica dove viene impiegata la placca-modello.

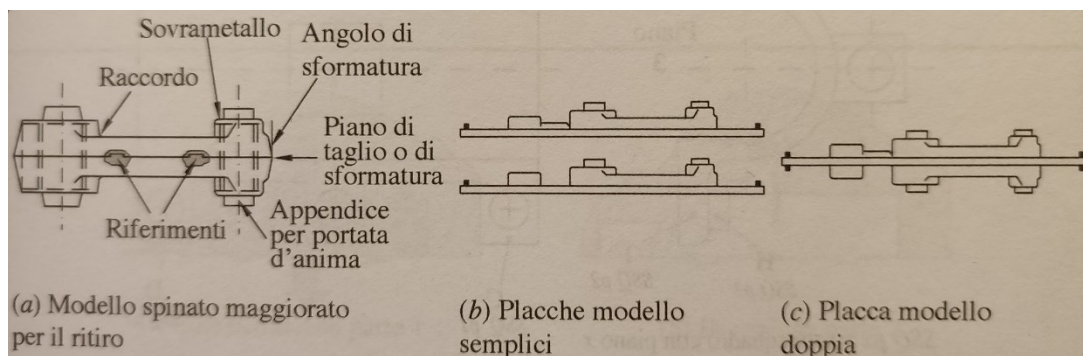


Figura 7.1.1.2: Varie tipologie di modelli per fonderia [12].

L'estraibilità del modello è un ulteriore aspetto da approfondire per la fonderia in terra: durante l'estrazione il modello non deve trascinare la terra per non alterare la geometria della cavità e di conseguenza quella del pezzo finale, bisogna quindi evitare assolutamente la presenza di sottosquadri variando il progetto oppure impiegando delle anime esterne dette anche tasselli. Le anime servono anche ad ottenere tutte quelle cavità non ottenibili mediante risalti del modello e devono essere allo stesso tempo sia cedevoli che resistenti.

Ritornando sulle terre di fonderia impiegate per realizzare le forme, esse sono costituite da sabbie e leganti e giocano un ruolo fondamentale per evitare i difetti nei getti. La sabbia silicea, se possiede percentuali di contaminanti non elevate, rientra tra i materiali refrattari più economici, altrimenti si ricorre ad altri materiali come lo zircone ( $ZrSiO_4$ ), la cromite ( $FeCr_2O_4$ ) e l'olivina ( $(MgFe)_2SiO_4$ ) [12].

Parlando di materiali da fonderia, è doveroso citare il materiale del getto, che deve possedere la fluidità allo stato fuso, le caratteristiche di solidificazione e di alimentazione, il ritiro e il potere solvente nei confronti del gas. Queste proprietà possono essere variate attraverso la composizione. Generalmente, i getti ottenuti per fusione non sono sottoposti a sollecitazioni particolarmente elevate durante il loro esercizio: un esempio lampante è il basamento di una macchina utensile che, per motivi di rigidità, lavora a tensioni molto basse. In questo caso la ghisa grigia è ancora utilizzata anche perché oltre alle caratteristiche già citate gode anche di buona lavorabilità, alta capacità di smorzamento delle vibrazioni e buona resistenza agli sbalzi di temperatura.

Le variabilità delle proprietà meccaniche di alcune leghe da fonderia sono riportate in tabella [12]:

Tabella 7.1.1.5: Materiali frequentemente usati in fonderia.

	<b>Tensione di rottura [MPa]</b>	<b>Tensione di snervamento [MPa]</b>	<b>Allungamento %</b>
<b>Acciai</b>	420-2000	250-1800	5-40
<b>Ghise sferoidali</b>	350-1100	220-900	0-25
<b>Leghe di rame</b>	60-800	60-750	0-50
<b>Leghe di nichel</b>	400-1000	160-800	2.5-40
<b>Ghise malleabili</b>	280-800	170-700	3-25
<b>Ghise grigie</b>	150-550	100-550	0-4
<b>Leghe di zinco</b>	280-360	70-200	3-10
<b>Leghe di alluminio</b>	120-350	80-280	0-28
<b>Leghe di magnesio</b>	120-320	100-200	0-13

Durante le fasi produttive dei processi fusori possono verificarsi diversi tipi di difetti che risultano difficili da eliminare e la loro origine è sempre da ricercare nelle variazioni di volume e di dimensioni che accompagnano la solidificazione di un getto, nelle tensioni interne che in generale a esse conseguono, nello sviluppo di gas e nell'imperfetto riempimento delle forme all'atto della colata e questi difetti si possono classificare in difetti esterni e difetti interni.

Mentre i primi sono facilmente rilevabili, i secondi sono individuabili con tecniche non distruttive che, per il loro elevato tasso tecnologico porta ad un inevitabile aggravio dei costi e quindi queste rilevazioni vengono effettuate solo a pezzi che trovano applicazione in settori dove i difetti non sono ammessi. È bene sottolineare che i difetti comportano una perdita per ogni produzione industriale: è doveroso quindi studiare bene il processo di fonderia scrupolosamente e, dopo ogni colata, studiare le cause di eventuali difetti per evitarne in futuro.

I difetti esterni Figura 7.1.1.3 interessano forma e superficie del getto [12], quelli di forma sono le variazioni di dimensione causate da cedimenti o scostamenti della forma o dell'anima, ma anche svergolamenti e deformazioni dovute alle tensioni interne prodotte da raffreddamenti non uniformi o ritiri ostacolati che possono causare, a volte, anche la rottura del getto.

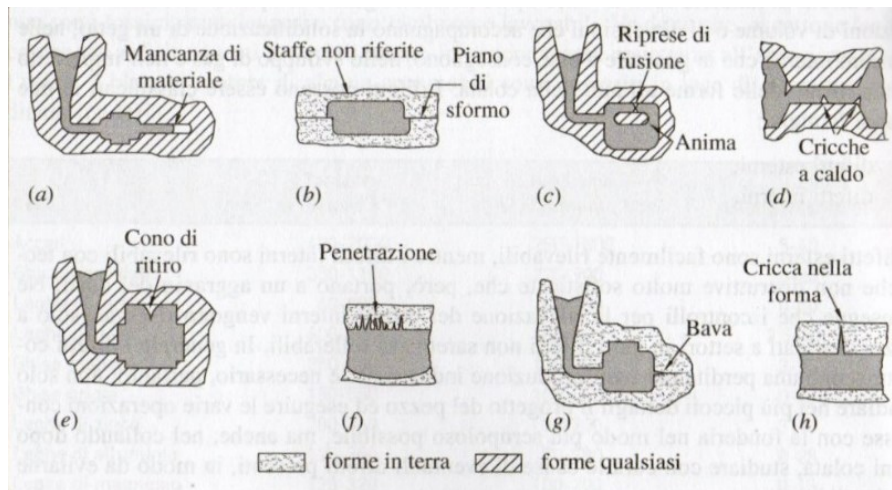


Figura 7.1.1.3: Difetti in getti ottenuti con forme in terra e forme qualsiasi [12].

Tra i difetti di superficie, possiamo elencare l'aspetto grossolano dovuto alle caratteristiche non adatte della sabbia nel caso di forme in terra, i tacconi che si formano quando, durante la colata, viene asportata terra dalla superficie interna della cavità e il fuso prende il suo posto, dando luogo, nel getto finale a protuberanze non desiderate che devono essere rimosse con successive lavorazioni. Altri difetti di superficie sono i mancati riempimenti e le incompletezze del getto e le incollature che si verificano quando il metallo viene colato in fasi successive e il fuso non si risalda al materiale già colato. Il mancato riempimento è un difetto che si riconosce subito in quanto il getto appare incompleto, carente di alcune parti, di solito di piccolo spessore e lontane dal sistema di colata; a questa tipologia di difetto si può rimediare aggiungendo altri canali, impiegando alimentatori più alti e aumentando il carico idrostatico nel metallo fuso [12]. Altri difetti possono essere imputati all'impilamento irregolare delle staffe che portano a getti in cui la parte contenuta in una staffa è spostata rispetto a quella contenuta nell'altra [12] e si rimedia con una revisione più frequente di spine e boccole. Qualora ci fossero delle sospensioni temporanee del riempimento della forma con il metallo fuso e la successiva ripresa, si potrebbero avere riprese di fusione dovute alla mancata fusione della crosta che non è capace di fondersi nuovamente. Se durante la solidificazione fossero presenti ostacoli al ritiro, potrebbero verificarsi zone nelle quali si sviluppano sollecitazioni di trazione che rimangono nel getto anche a temperatura ambiente e potrebbero innescare fratture nel getto. Questi ultimi sono difetti molto frequenti nei getti in acciaio per l'alta  $T_f$  e il forte ritiro [12]. Si possono avere anche avvallamenti e coni di ritiro che possono formarsi se la forma è stata alimentata insufficientemente, questi difetti sono facilmente rimediabili attraverso l'apposizione di materozze.

Passando ai difetti interni Figura 7.1.1.4, che per i motivi citati in precedenza sono i più pericolosi troviamo le cavità di ritiro, le porosità che a seconda della geometria possono essere bolle, soffiature o punte a spillo che si verificano quando del gas rimane intrappolato nel metallo fuso durante la colata o quando il gas viene sviluppato, all'atto della colata, dai materiali della forma e soffiato dentro la massa fusa.

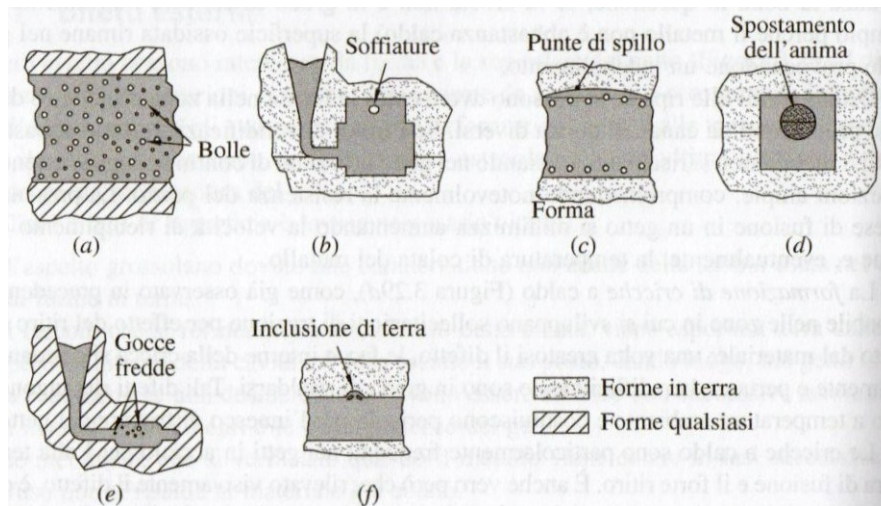


Figura 7.1.1.4: Difetti interni in getti ottenuti con forme in terra e forme qualsiasi [12].

Si può rimediare a questi difetti scegliendo scrupolosamente la granulometria delle sabbie e apponendo tirate e canali di sfiato. Si potrebbe verificare lo spostamento delle anime, il quale è rimediabile con il sostentamento delle anime con chiodi. Durante la colata, quando il fuso entra in contatto con la forma potrebbero esserci delle inclusioni di terra che si staccano dalla forma durante la colata e che, rimanendo intrappolate nella microstruttura vanno ad indebolire il getto. Le inclusioni non metalliche invece, derivano dal distacco di particelle del materiale della forma per la pressione dei gas che si sprigionano per l'azione erosiva del metallo fluente nei canali di solidificazione. Le inclusioni producono gli stessi effetti delle soffiature e delle cavità di ritiro in quanto riducono la sezione resistente e producono concentrazioni di tensione dovute all'effetto di intaglio. Un altro particolare che merita attenzione è la velocità di raffreddamento: essa, variando da zona a zona, potrebbe portare a variazioni microstrutturali. Portando come esempio la fabbricazione di getti in ghisa, una eccessiva velocità di asportazione di calore da parte della forma in corrispondenza di parti sottili o di spigoli può portare alla formazione di ghisa bianca in alcune zone della superficie nelle quali il carbonio non riesce a liberarsi sotto forma di grafite [12]. Questo causa disagi qualora i pezzi dovessero essere lavorati alle macchine utensili in quanto la ghisa bianca presenta una durezza elevata [12].

Per concludere, è bene parlare delle impurezze che si potrebbero avere nei getti. Queste impurezze sono dovute a elementi delle cariche metalliche introdotte nei dormi, che devono essere accuratamente controllate [12].

## 7.1.2 PROCESSO PRODUTTIVO E COSTIFICAZIONE GHISA

La testa di taglio in ghisa, che non è stata progettata in questa trattazione, viene progettata dall'ufficio tecnico e poi industrializzata per essere prodotta in fonderia. Esistono quindi due modelli CAD, uno per la parte grezza e uno per la parte lavorata per ognuna delle quattro parti della testa di taglio. I modelli CAD delle parti grezze sono quindi comprensivi degli accorgimenti già citati per andare a creare il modello, ovvero angoli di sformo, piano di divisione e angoli di sformo.

Nelle immagini seguenti vengono illustrati i modelli cad 3D dei grezzi di fusione:

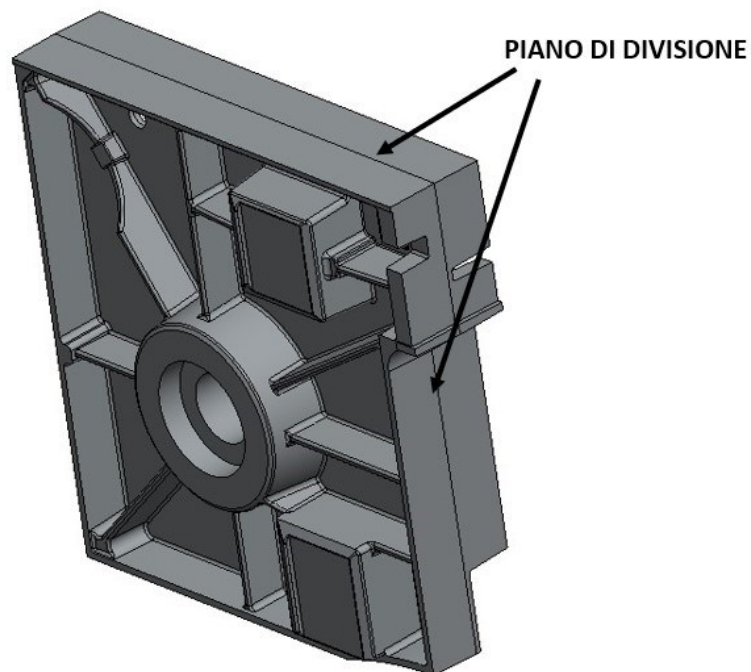


Figura 7.1.2.1: Grezzo di fusione della sezione puleggia motrice.

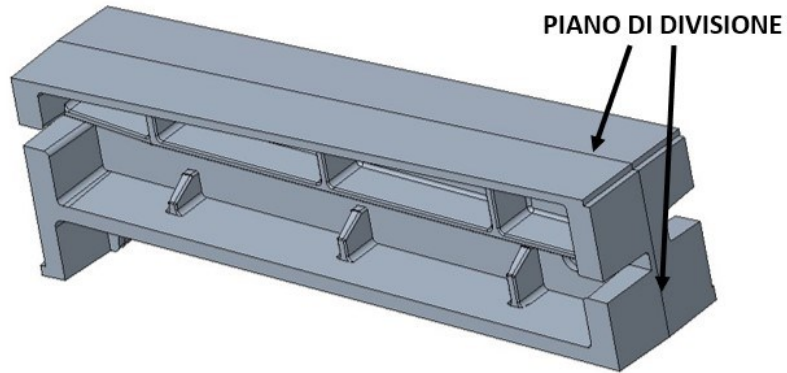


Figura 7.1.2.2: Grezzo di fusione della trave lato sezione puleggia folle.

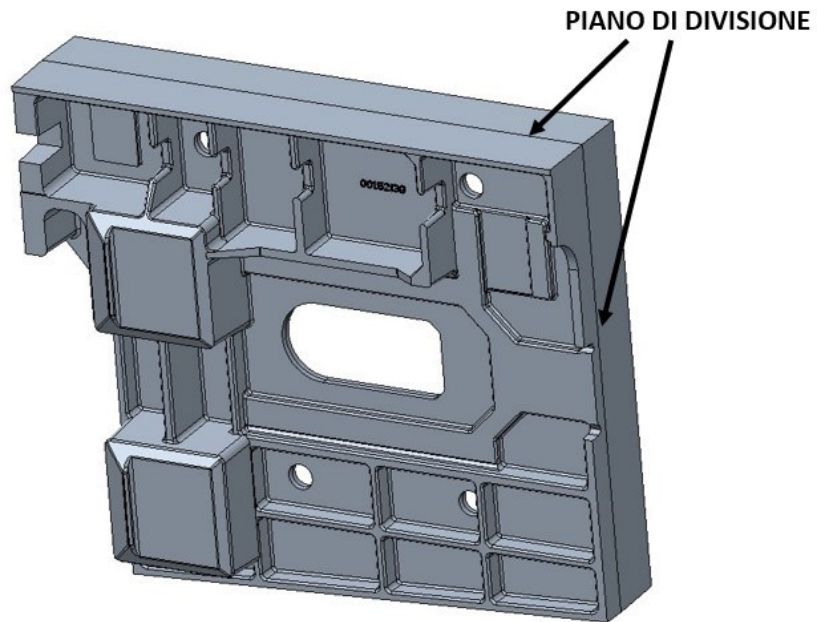


Figura 7.1.2.3: Grezzo di fusione della sezione puleggia folle.



Le quattro parti della testa di taglio sono fatte in ghisa grigia GJL 250 - 5.1301 - G25, in quanto essa è in grado di offrire un elevato smorzamento alle vibrazioni e non sono richieste proprietà quali resistenza agli urti e tenuta idraulica [13]. Altre caratteristiche di questa ghisa sono la buona resistenza all'usura, lo scarso ritiro durante la solidificazione e la discreta stabilità dimensionale [13]. Questa tipologia di ghisa gode di un'ottima lavorabilità alle macchine utensili grazie alla presenza nella matrice di particelle di grafite che consentono la rottura dei trucioli e contemporaneamente fungono da lubrificante [13].

Partendo dalla "sezione puleggia folle" dal 3D del CAD si risale alle informazioni preliminari per la progettazione del processo produttivo effettuata con l'ausilio del software LeanCost, inoltre per completare la costificazione della testa di taglio lavorata si hanno anche i 3D delle quattro parti della testa di taglio comprensive di lavorazioni meccaniche (ovvero con i sovrametalli asportati) Figure 7.1.2.4, 7.1.2.5 e 7.1.2.6.

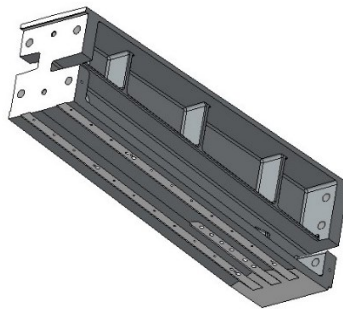


Figura 7.1.2.4: Trave lato sezione puleggia motrice lavorata.

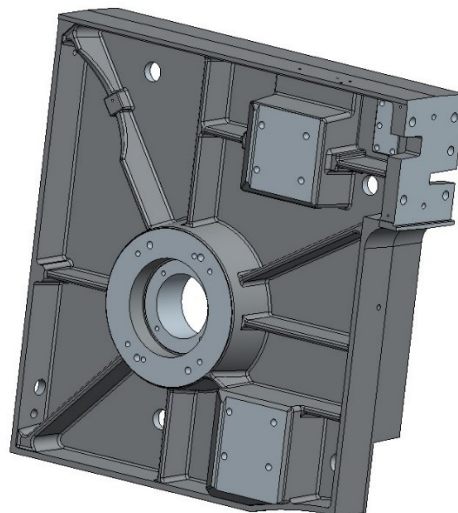


Figura 7.1.2.5: Sezione puleggia motrice lavorata.

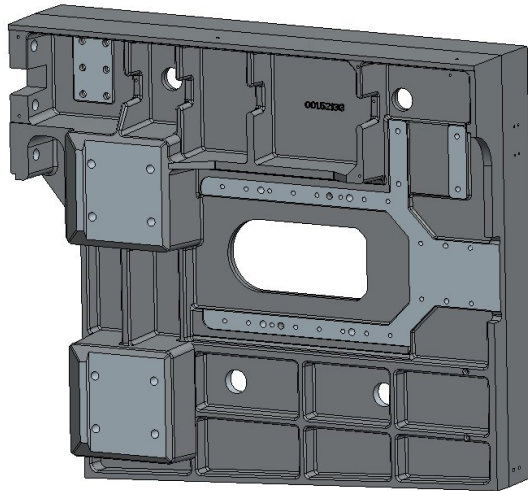


Figura 7.1.2.6: Sezione puleggia folle lavorata.

La scelta del materiale costituente i modelli è ricaduta sull'alluminio e non sul legno per la sua eccellente resistenza a usura, corrosione e rigonfiamento accompagnate da una buona riparabilità [12].

Su LeanCOST quindi, si procede dapprima alla costificazione del grezzo della ghisa per valutare anche l'entità del costo del modello, e poi in un nuovo file si procede con la costificazione del componente lavorato andando a caricare come "materia prima" il file della costificazione del grezzo.

Si procede caricando il file CAD in formato STEP nel programma LeanCOST e successivamente si danno i seguenti input:

- La strategia "Formatura: fusione in terra";
- Il materiale: ghisa grigia GJL 250 - 5.1301 - G25;
- La qualità del getto: "alta";
- Il tipo geometrico: "semilavorato";
- Il materiale del modello: alluminio;
- La direzione di colata: perpendicolare al piano di divisione (Figure 7.1.2.1-3)
- La spunta su "vero" quando viene richiesto se valutare l'investimento, ovvero il costo del modello.

Gli altri input inseriti sono mostrati nelle Figure 7.1.2.7 e 7.1.2.8 dove sono riportati tutti i parametri costruttivi del modello (Figura 7.1.2.7) e del processo di fonderia (Figure 7.1.2.8 a e 7.1.2.8 b) della "sezione puleggia folle". Per gli altri componenti i parametri rimangono identici a meno di masse e dimensioni.



Modello per fusione in terra (investimento)

Nome: Modello per fusione in terra (investimento)

Note:

Macchina: Lavorazione modello per fonderia in terra - 60,00 EUR/h (\*) Setup A

Quantità: 1

Fattore: 0 %

Verificare i limiti macchina

Sovrascrivere con valori

**Parametri geometrici**

Lunghezza del componente (su piano di separazione delle staffe)	793,037	mm
Lunghezza del componente (su piano di separazione delle staffe)	690,333	mm
Altezza del componente (rispetto a piano di separazione delle staffe)	199,470	mm
Numero di superfici che compongono il modello	404,000	
Numero di impronte dello stampo	1,000	
Area proiettata del componente sul piano di separazione delle staffe	468624,580	mm <sup>2</sup>

**Parametri tecnologici**

Tipologia di impianto	Manual	Manual	Scegli
Considerare il costo delle placche?		Yes	Scegli
Costo totale del modello		22037,160	EUR
- Costo di una coppia di placche	1.851,300	1851,300	EUR
- Costo del materiale per una placca	275,400	275,400	EUR
- Peso di una placca	550,800	550,800	kg
- Materiale della placca	Cast Iron	Cast Iron	Scegli
- Costo unitario della materia prima per la placca	0,500	0,500	EUR/kg
- Spessore delle placche	75,000	75,000	mm
- Tipologia di staffa	1200x850x	1200x850x300anc	Scegli
- Lunghezza della staffa custom	1.200,000	1200,000	mm
- Larghezza della staffa custom	850,000	850,000	mm
- Costo di lavorazione di una singola placca	650,250	650,250	EUR
- Tempo di lavorazione di una placca	10,838	10,838	ore
- Costo orario di per lavorazione placca		60,000	EUR/ora
- Costo di un set di modelli per fonderia in terra	21.303,449	21303,449	EUR
- Numero di impronte dello stampo		1,000	
- Costo di progettazione del modello	1.941,308	1941,308	EUR
- Tempo di progettazione del modello	24,266	24,266	ore
- Costo orario di progettazione	80,000	80,000	EUR/hour
- Costo della materia prima del modello	2.053,348	2053,348	EUR
- Materiale del modello		Aluminium	Scegli
- Peso della materia prima per il modello	342,225	342,225	kg
- Costo unitario della materia prima del modello	6,000	6,000	EUR/kg
- Costo di lavorazione del modello	17.308,793	17308,793	EUR
- Tempo di lavorazione del modello	288,480	288,480	ore
- Costo orario di lavorazione del modello		60,000	EUR/ora
- Fattore di correzione del costo per canali di colata	1,000	1,000	
- Numero di set di modelli richiesti per la produzione del lotto di investimento	1,000	1,000	
- Vita del modello per cavità		15000,000	pezzi

Tempo: 0,000 min    Tempo aggiornato

Costo: 22.037,160 EUR    Costo aggiornato:

- Larghezza della staffa custom

850,000	850,000	mm
650,250	650,250	EUR
10,838	10,838	ore
	60,000	EUR/ora
21.303,449	21303,449	EUR
	1,000	
1.941,308	1941,308	EUR
24,266	24,266	ore
80,000	80,000	EUR/hour
2.053,348	2053,348	EUR
	Aluminium	Scegli
342,225	342,225	kg
6,000	6,000	EUR/kg
17.308,793	17308,793	EUR
288,480	288,480	ore
	60,000	EUR/ora
1,000	1,000	
1,000	1,000	
	15000,000	pezzi

Tempo: 0,000 min    Tempo aggiornato

Costo: 22.037,160 EUR    Costo aggiornato:

OK    Annulla

Figura 7.1.2.7: Parametri costruttivi del modello.

**Fusione in terra** ✕

Nome: Fusione in terra

Note:

Macchina: Impianto di fusione in terra - Manuale - 10,00 EUR/h (\*)    Setup A i

Quantità: 1

Fattore: 0 %

Verificare i limiti macchina   
Sovrascrivi con valori

**Parametri geometrici**

Volume del componente fuso	17782.494	cm³
Lunghezza del componente	793.037	mm
Larghezza del componente	690.333	mm
Altezza del componente	199.470	mm
Volume totale delle anime	0.000	cm³
Numero di aree che necessitano anima	0.000	
Numero di punti di alimentazione	3.000	
Qualità del getto	High	Scegli

**Parametri tecnologici**

Componenti realizzati contemporaneamente	1,000	1,000	
Tipologia di impianto	Manual	Manual	Scegli
Percentuale di pezzi di scarto	7,500	7,500	%
COSTO MATERIA PRIMA (per componente)		185,387	EUR
Costo materia prima (per colata)		185,387	EUR
- Costo del fabbisogno di materia prima		177,348	EUR
- Fabbisogno di materia prima		183,401	kg
- Peso netto della materia prima richiesta		128,034	kg
- Peso netto del singolo componente	128,034	128,034	kg
- Peso di canali, materozze e altri elementi ausiliari	38,410	38,410	kg
- Peso di materia prima persa in fusione		4,161	kg
- Percentuale di materia prima persa in fusione	2,500	2,500	%
- Costo unitario della materia prima	0,967	0,967	EUR/kg
- Costo di fusione della materia prima		16,921	EUR
- Costo unitario di fusione della materia prima	0,092	0,092	EUR/kg
- Tipologia di fornace	InductionF	InductionFurnace	Scegli
- Valore di recupero dello scarto		8,882	EUR
- Peso della materia prima recuperabile	48,013	48,013	kg
- Valore unitario di recupero dello scarto	0,185	0,185	EUR

Figura 7.1.2.8 a: Parametri del processo di fonderia.

Parametri tecnologici			
COSTO DEL PROCESSO		51,623	EUR
Efficienza di impianto	1,000	1,000	
Numero di colate orarie effettive		1,189	1/ora
- Produttività richiesta		0,218	t/h
- Produttività massima della fornace		16,000	t/h
Tempo ciclo		3028,890	s
Numero totale degli operatori		12,000	
Costo unitario operatore	27,000	27,000	EUR/h
- Tempo di compattazione terra per le semistaffe	456,610	456,610	s
- Compattazione terra per le semistaffe: Tempo mascherato?	No	No	Scegli
- Compattazione terra per le semistaffe: Numero di operatori	2,000	2,000	
- Tempo di unione semistaffe	1.246,140	1246,140	s
- Unione semistaffe: Tempo mascherato?	No	No	Scegli
- Unione semistaffe: Numero di operatori	3,000	3,000	
- Tempo di versamento della lega fusa	51,846	51,846	s
- Versamento lega: Tempo mascherato?	No	No	Scegli
- Versamento lega: Numero di operatori	1,000	1,000	
- Tempo di rimozione terre dal getto	155,537	155,537	s
- Rimozione terre: Tempo mascherato?	No	No	Scegli
- Rimozione terre: Numero di operatori	3,000	3,000	
- Tempo di smaterozzatura del getto	591,203	591,203	s
- Smaterozzatura: Tempo mascherato?	No	No	Scegli
- Smaterozzatura: Numero di operatori	1,000	1,000	
- Tempo di pulizia e ispezione	527,555	527,555	s
- Pulizia e ispezione: Tempo mascherato?	No	No	Scegli
- Pulizia e ispezione: Numero di operatori	2,000	2,000	
COSTO DEI MANICOTTI	12,931	12,931	EUR
COSTO DELLA TERRA		2,844	EUR
Resa staffa (adimensionale)		1,000	
Resa staffa (peso) - valido solo per staffe non custom		0,000	kg
- Quantità di terra richiesta (peso)		278,839	kg
- Tipologia di staffe	Custom	Custom	Scegli
- Lunghezza staffe	893,037	893,037	mm
- Larghezza staffe	790,333	790,333	mm
- Altezza semistaffa superiore	149,735	149,735	mm
- Altezza semistaffa inferiore	149,735	149,735	mm
- Costo unitario della terra	0,085	0,085	EUR/kg
- Percentuale di sabbia rigenerata	88,000	88,000	%

Tempo: 50.482 min      Tempo aggiornato  
Costo: 67.399 EUR      Costo aggiornato:

Figura 7.1.2.8 b: Parametri del processo di fonderia.

Per la costificazione completa delle quattro parti della testa di taglio in ghisa comprensiva delle lavorazioni meccaniche per asportazione di truciolo, si assegnano i seguenti input:

- Rugosità (Figura 7.1.2.9 a);
- Filettature (Figura 7.1.2.9 b);
- Tolleranze (Figura 7.1.2.9 c);
- Costo orario e tipologia di macchinario (Figura 7.1.2.9 d).

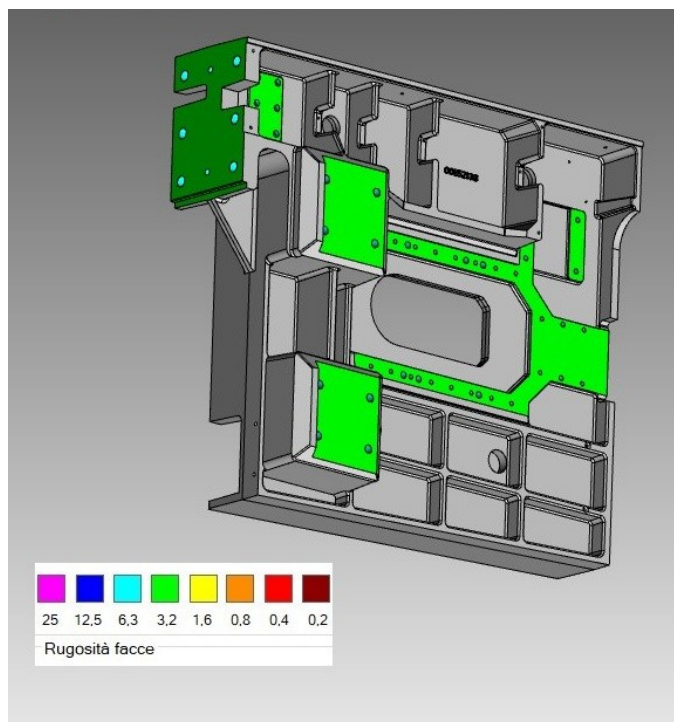


Figura 7.1.2.9 a: Valori di rugosità assegnati.

Filettature riconosciute 40

							Aggiungi	Riconosci	Elimina tutte
Tipo	Diámetro nominale [mm]	Filettatura	Passo [mm]	Diámetro [mm]	Lunghezza [mm]				
M	4	M4		0,7	3,5	9,9			
M	4	M4		0,7	3,5	16			
M	4	M4		0,7	3,5	16			
M	4	M4		0,7	3,5	9,6			
M	4	M4		0,7	3,5	9,6			
M	4	M4		0,7	3,5	9,9			
M	5	M5		0,8	4,2	12,6			
M	5	M5		0,8	4,25	12,8			
M	5	M5		0,8	4,25	12,8			
M	5	M5		0,8	4,25	13			
M	5	M5		0,8	4,2	12,6			

Figura 7.1.2.9 b: Filettature assegnate.

Tolleranza
87,000 [0,05; -0,05] = IT9
14,000 [0,05; 0] = IT9
14,000 [0,05; 0] = IT9
231,000 [0,1; 0] = IT9
87,000 [0,05; -0,05] = IT9
10,000 [0,05; 0] = IT10
10,000 [0,05; 0] = IT10
138,000 [0,1; -0,1] = IT10
138,000 [0,1; -0,1] = IT10
// 0.05
// 0.05
⊥ 0.05
⊥ 0.05
⊥ 0.05
▱ 0.05
▱ 0.05

Figura 7.1.2.9 c: Valori di tolleranze dimensionali e geometriche assegnati.

Svuotamento (Sgrossatura)
×

Nome: Svuotamento (Sgrossatura)

Note:

Macchina: Centro di lavoro 5 assi - grande - 5 pallet - 85,00 EUR/h Nuovo setup

Quantità: 2

Fattore: 10 %

Verificare i limiti macchina  
 Sovrascrivi con valori

Figura 7.1.2.9 d: Costo orario e tipologia di macchinario.

125



Di seguito in Tabella 7.1.2.1 si riportano i valori dei costi al variare delle quantità prodotte ottenuti per le quattro componenti della testa di taglio in ghisa, mentre in Figura 7.1.9 si ha l'andamento del costo totale di una testa di taglio in base alla quantità prodotta.

Tabella 7.1.2.1: Riepilogo dei costi delle varie componenti della testa di taglio in ghisa in base alle quantità.

	Numero di teste di taglio prodotte						
	1	5	10	15	20	25	30
<b>Sezione Puleggia Folle</b>	23670	5013	3250	2272	1789	1499	1306
<b>Sezione Puleggia Motrice</b>	26515	5688	3699	2609	2069	1745	1529
<b>Trave SPM</b>	12496	2697	1638	1059	855	732	651
<b>Trave SPF</b>	11544	2499	1473	1166	933	793	700
<b>Costo Tot. unitario [€]</b>	74225	15897	10060	7106	5646	4769	4186

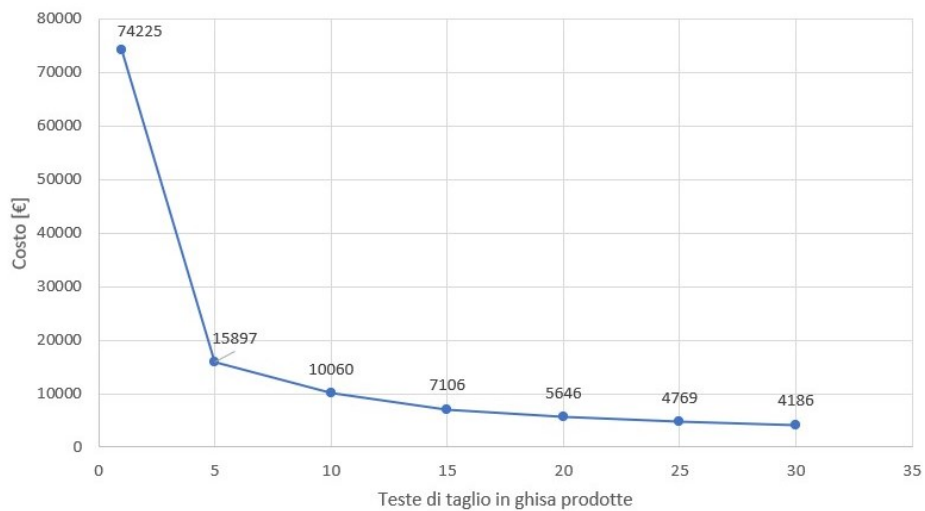


Figura 7.1.9: Andamento del costo totale di una testa di taglio in ghisa in base alla quantità prodotta.

## 7.2 TESTE DI TAGLIO IN ACCIAIO

### 7.2.1 PROCESSO PRODUTTIVO TESTE DI TAGLIO IN ACCIAIO

Le teste di taglio in acciaio presentate e analizzate nei capitoli precedenti sono realizzate in carpenteria metallica. Come già detto, la tipologia di acciaio impiegata è un S275JR. Il processo produttivo di una testa di taglio in acciaio è dato dalle seguenti operazioni:

- Taglio delle materie prime: in caso di profilati il taglio è eseguito tramite segatrici a nastro mentre nel caso di lamiere è eseguito tramite plasma o laser in base allo spessore;
- Saldatura: le saldature sono eseguite tramite tecnica MIG/MAG;
- Lavorazioni alle macchine utensili: eseguite tramite un centro di lavoro di fresatura a 4 o 5 assi.

In questo caso, c'è un unico file riferito al componente finito: non essendo un processo di fonderia, i sovrametalli sono dati dalle misure dei profilati impiegati che poi verranno "scavati" tramite fresatura. Quindi si procede caricando il file CAD in formato STEP nel programma LeanCOST e successivamente si danno i seguenti input:

- La strategia "Saldatura di tutto l'assieme + lavorazioni sul saldato";
- Il materiale: acciaio S275JR;
- Il tipo geometrico: "gruppo saldato";
- Rugosità (Figura 7.2.1.1 a);
- Filettature (Figura 7.2.1.1 b);
- Tecnica di saldatura: MIG/MAG;
- Percorso cordoni e tipologia (Figura 7.2.1.1 c - d);
- Tolleranze (Figura 7.2.1.1 e);
- Costo orario e tipologia di macchinario: centro di lavoro di fresatura a 5 assi;

Nelle Figure (7.2.1.1 a – e) è mostrato a titolo esemplificativo la configurazione della costificazione del processo produttivo della "sezione puleggia motrice" della testa di taglio "acciaio 1". Per le altre teste di taglio gli input rimangono identici a meno di masse e dimensioni.

I valori di input scelti da assegnare validi per tutte le teste di taglio sono:

- $Ra=6,3$  per i fori degli accoppiamenti bullonati;
- $Ra=3,2$  per le superfici di accoppiamento fra le quattro parti, nelle superfici dei tasselli dove andranno montati i pattini e nelle superfici di accoppiamento fra la "sezione puleggia folle" e la slitta tendilama, nella superficie di accoppiamento del motoriduttore;
- $Ra=1,6$  per i fori dei collegamenti spinati e nel diametro dove andrà calettato l'albero motore;
- Tolleranze di perpendicolarità, planarità e parallelismo del valore di 0.5 a seconda della superficie di accoppiamento;
- Tolleranza H7 per il diametro dove andrà calettata la trasmissione motrice;
- Tolleranze di classe IT10 negli interassi e nelle distanze fra i fori nei tasselli.

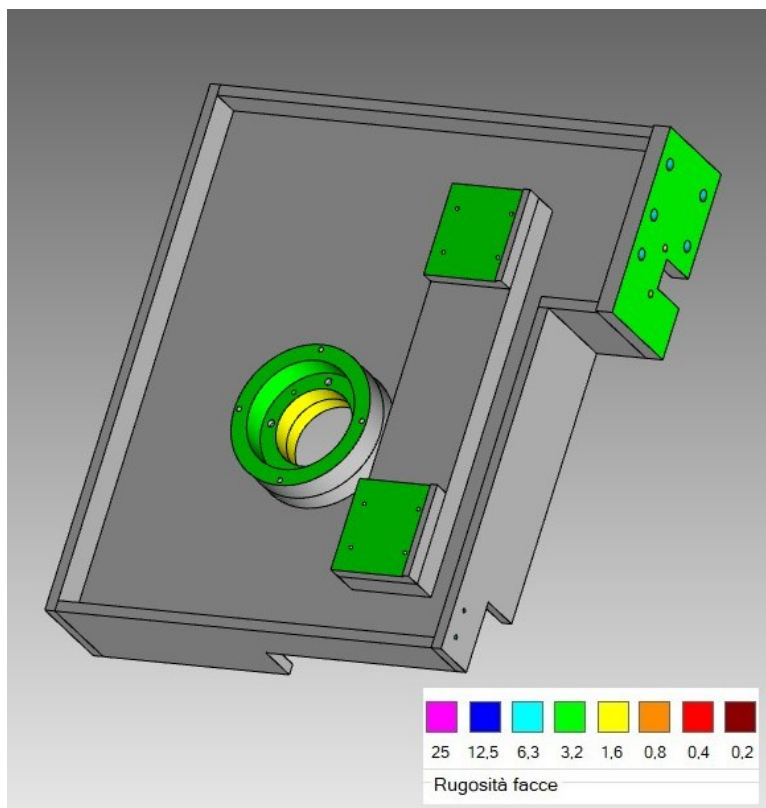


Figura 7.2.1.1 a: Valori di rugosità assegnati.

Filettature riconosciute 14

						Aggiungi	Riconosci	Elimina tutte
Tipo	Diametro nominale [mm]	Filettatura	Passo [mm]	Diametro [mm]	Lunghezza [mm]			
M	6	M6	1	6	15			
M	6	M6	1	6	15			
M	6	M6	1	5	21			
M	6	M6	1	5	21			
M	6	M6	1	5	21			
M	6	M6	1	5	21			
M	8	M8	1,25	7	9,7			
M	8	M8	1,25	7	9,7			
M	8	M8	1,25	7	9,7			
M	8	M8	1,25	7	9,7			
M	10	M10	1,5	10	7,9			
M	10	M10	1,5	10	7,9			
M	10	M10	1,5	10	7,9			
M	10	M10	1,5	10	7,9			

Figura 7.2.1.1 b: Filettature assegnate.



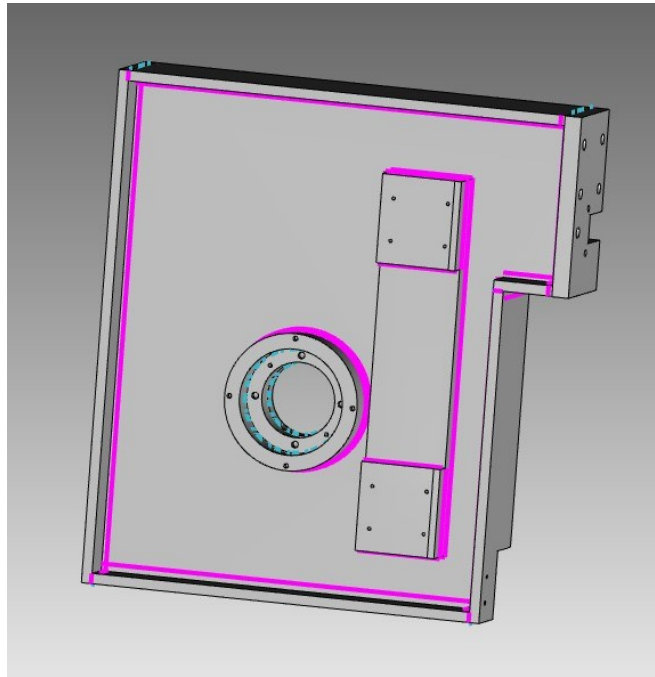


Figura 7.2.1.1 c: Percorso dei cordoni di saldatura.

1	2	3	4	X	Filtro	Escl udi	Abili ta	Tipo di cordone	Forma del cordone	Spesso re ...	Lunghezza (mm)	Operazioni
assieme_arch_lato_mot_asm											11332.2	
PIASTRA_SUPP_ARCH...						<input type="checkbox"/>						
LAM_SUP_SUPP_LM							<input checked="" type="checkbox"/>	Continuo	D'angolo (Fillet)	10,0	660,0	Saldatura ad arco + Levigatura cordone
LAM_SUP_SUPP_LM							<input checked="" type="checkbox"/>	Continuo	D'angolo (Fillet)	10,0	660,0	Saldatura ad arco + Levigatura cordone
LAM_SUP_SUPP_LM							<input checked="" type="checkbox"/>	Continuo	Piena/parziale ...	15,0	25,0	Cianfrinatura + Saldatura ad arco + L...
LAM_SUP_SUPP_LM							<input checked="" type="checkbox"/>	Continuo	Piena/parziale ...	15,0	25,0	Cianfrinatura + Saldatura ad arco + L...
LAM_LAT_SUPP_LM							<input checked="" type="checkbox"/>	Continuo	D'angolo (Fillet)	10,0	25,0	Saldatura ad arco + Levigatura cordone
LAM_LAT_SUPP_LM							<input checked="" type="checkbox"/>	Continuo	D'angolo (Fillet)	10,0	719,0	Saldatura ad arco + Levigatura cordone
LAM_LAT_SUPP_LM							<input checked="" type="checkbox"/>	Continuo	D'angolo (Fillet)	10,0	25,0	Saldatura ad arco + Levigatura cordone
LAM_LAT_SUPP_LM							<input checked="" type="checkbox"/>	Continuo	D'angolo (Fillet)	10,0	719,0	Saldatura ad arco + Levigatura cordone
PIASTRA_COLL_ARCH...							<input checked="" type="checkbox"/>	Continuo	D'angolo (Fillet)	18,0	25,0	Saldatura ad arco + Levigatura cordone

Figura 7.2.1.1 d: Tipologie di cordone di saldatura assegnate.

Tolleranza	Documento	Note
H7	Elemento singolo - PIASTRA_SUPP_ARCH_LATOMOT	
$\perp$ 0.05	Elemento singolo - PIASTRA_COLL_ARCHETTO_LM	
H7	Elemento singolo - BOCCOLA_ASSE_MOT_P1	
$\neq$ 0.05	Elemento singolo - BOCCOLA_ASSE_MOT_P1	
$\sphericalangle$ 0.05	Elemento singolo - BOCCOLA_ASSE_MOT_P2	
9,000 [0,05; 0] = IT10	Elemento singolo - PROVA_PIASTRA_APPOGGIO_GUIDE	
9,000 [0,05; 0] = IT10	Elemento singolo - PROVA_PIASTRA_APPOGGIO_GUIDE	
$\perp$ 0.05	Elemento singolo - PROVA_PIASTRA_APPOGGIO_GUIDE	
$\perp$ 0.05	Elemento singolo - PROVA_PIASTRA_APPOGGIO_GUIDE	

**Figura 7.2.1.1 e:** Valori di tolleranze geometriche e dimensionali assegnati.

Una doverosa precisazione va fatta per quanto riguarda la testa di taglio “monoblocco”: mentre per le altre due soluzioni in acciaio bisogna eseguire una costificazione per ogni parte, per questa particolare soluzione si esegue una sola costificazione, mantenendo però gli stessi valori di input che accomunano tutte le soluzioni.

## 7.2.2 COSTIFICAZIONE TESTE DI TAGLIO IN ACCIAIO

### ACCIAIO 1

Di seguito è riportata la costificazione delle quattro parti che compongono la testa di taglio “acciaio 1” ed il grafico riportante il costo totale unitario di una testa di taglio “acciaio 1” in funzione delle unità prodotte:

Tabella 7.2.2.1: Riepilogo dei costi delle varie componenti della testa di taglio Acciaio 1 in base alle quantità.

	Numero di teste di taglio prodotte						
	1	5	10	15	20	25	30
Sezione Puleggia Folle	1438	1117	1074	1048	1042	1039	1034
Sezione Puleggia Motrice	497	365	347	332	330	328	326
Trave SPM	497	365	347	332	330	328	326
Trave SPF	1398	1119	1082	1058	1053	1050	1045
<b>Costo Tot. unitario [€]</b>	<b>3830</b>	<b>2966</b>	<b>2850</b>	<b>2770</b>	<b>2755</b>	<b>2745</b>	<b>2731</b>

In Tabella 7.2.2.1 vediamo come il costo delle travi “SPM” e “SPF” sia identico in quanto le due parti differiscono lievemente solo nella piastra di collegamento con la rispettiva “sezione” per questo motivo si è optato per una costificazione unica.

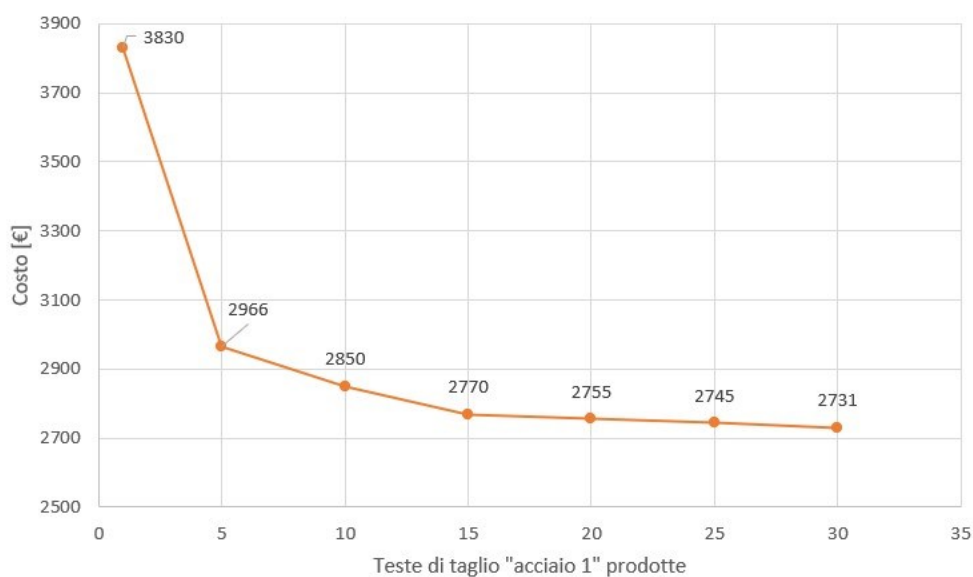


Figura 7.2.2.1: Andamento del costo totale di una testa di taglio Acciaio 1 in base alla quantità prodotta.

## ACCIAIO MONOBLOCCO

Si riportano come per la testa di taglio "acciaio 1" lo stesso grafico e tabella:

Tabella 7.2.2.2: Riepilogo dei costi della testa di taglio Acciaio Monoblocco in base alle quantità.

	Numero di teste di taglio prodotte						
	1	5	10	15	20	25	30
Costo Tot. unitario [€]	4053	3600	3553	3474	3468	3464	3455

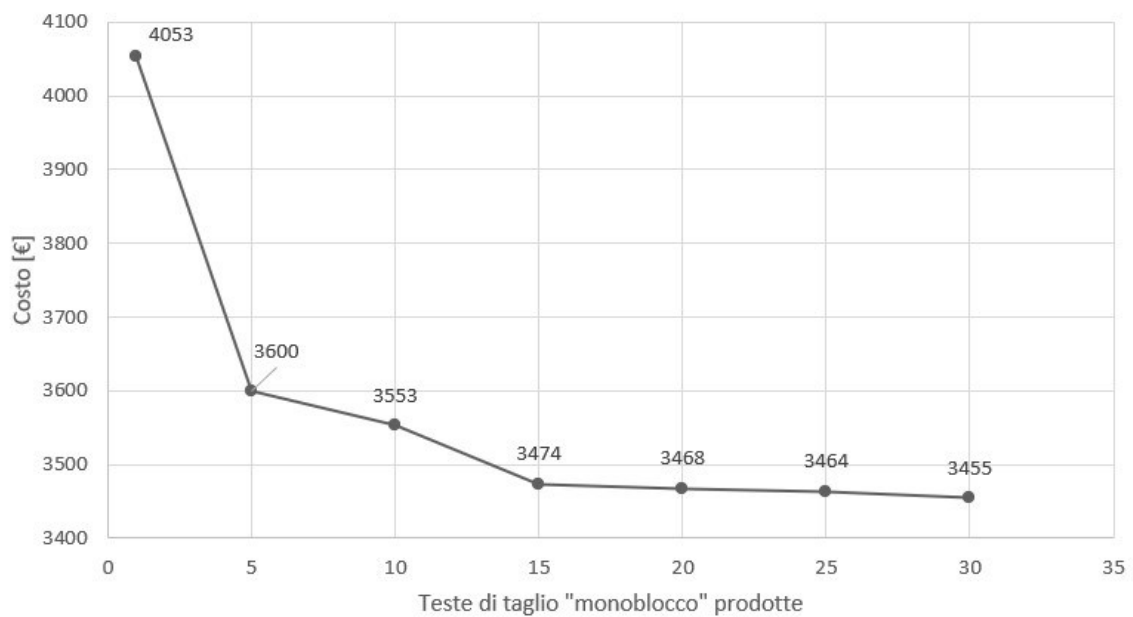


Figura 7.2.2.2: Andamento del costo totale di una testa di taglio Monoblocco in base alla quantità prodotta.

## ACCIAIO 4

Si riportano come per le altre teste di taglio lo stesso grafico e tabella:

Tabella 7.2.2.3: Riepilogo dei costi delle varie componenti della testa di taglio Acciaio 4 in base alle quantità.

	Numero di teste di taglio prodotte						
	1	5	10	15	20	25	30
Sezione Puleggia Folle	1438	1117	1074	1048	1042	1039	1034
Sezione Puleggia Motrice	632	519	505	500	498	497	496
Trave SPM	632	519	505	500	498	497	496
Trave SPF	1398	1119	1082	1058	1053	1050	1045
<b>Costo Tot. unitario [€]</b>	<b>4100</b>	<b>3274</b>	<b>3166</b>	<b>3106</b>	<b>3091</b>	<b>3083</b>	<b>3071</b>

In Tabella 7.2.2.3 vediamo come il costo delle travi “SPM” e “SPF” sia identico in quanto le due parti differiscono lievemente solo nella piastra di collegamento con la rispettiva “sezione” per questo motivo si è optato per una costificazione unica.

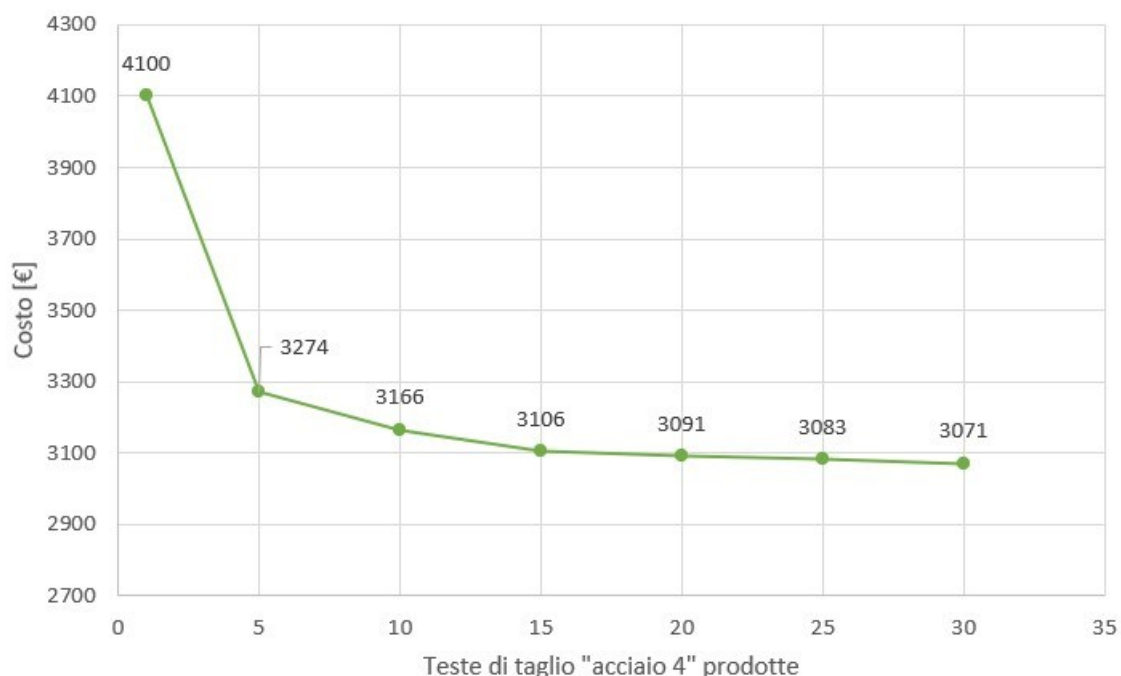


Figura 7.2.2.3: Andamento del costo totale di una testa di taglio Acciaio 4 in base alla quantità prodotta.

## 7.2.3 CONFRONTO FRA COSTI E PROCESSI PRODUTTIVI ACCIAIO

Facendo comparazioni fra i processi produttivi delle varie soluzioni in acciaio, emerge che:

- Le soluzioni “acciaio 1” e “acciaio 4” sono simili dal punto di vista del processo produttivo ed eccetto le due parti che compongono la trave centrale condividono la stessa “sezione puleggia motrice” e la stessa “sezione puleggia folle”;
- La soluzione acciaio monoblocco ha un processo produttivo diverso e richiede macchinari diversi rispetto alle due soluzioni sopracitate.

Per quanto accennato nel Cap. 4.1, la testa di taglio “monoblocco” non rispetterebbe i requisiti essendo composta di un’unica parte. I requisiti accennati in precedenza però, sono vincolanti qualora la testa di taglio fosse prototipata all’interno dell’azienda, in quanto il volume di lavoro del centro di lavoro di fresatura più grande presente in essa è 1030 x 800 x 1000 [mm].

Ne consegue che, perlomeno in fase di prototipazione rapida, la soluzione monoblocco è da accantonare e quindi anche nella comparazione dei costi non sarà considerata.

In Figura 7.2.3.1 possiamo vedere il confronto economico fra le soluzioni “acciaio 1” e “acciaio 4”:

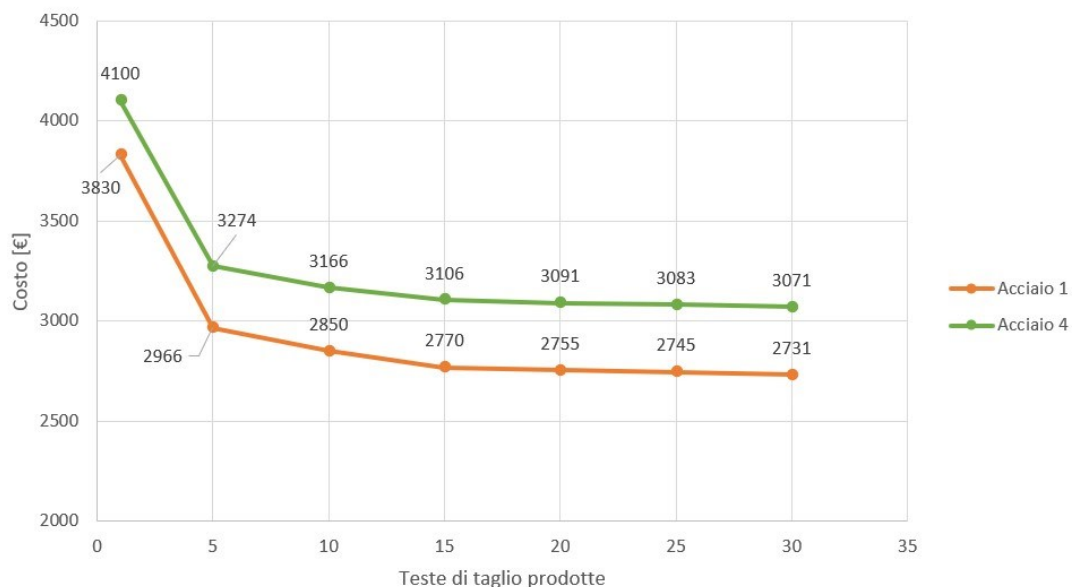


Figura 7.2.3.1: Confronto economico fra le soluzioni Acciaio 1 e Acciaio 4.

Dal grafico si evince che la soluzione “acciaio 1” risulta essere più conveniente sul piano economico rispetto alla soluzione “acciaio 4”, ma c’è un altro aspetto che merita una particolare attenzione: la soluzione “acciaio 4” è caratterizzata dall’impiego di tubi a sezione rettangolare nelle due parti costituenti la trave centrale; da una ricerca effettuata nei cataloghi di vari commercianti siderurgici, le due sezioni scelte non sempre risultano disponibili, e questo potrebbe andare ad impattare sulla supply chain e quindi sui tempi di realizzazione della segatrice, ricordando che la testa di taglio è l’organo principale. Di contro, sempre effettuando ricerche su cataloghi, il profilo HEM impiegato nella “soluzione 1” è risultato di facile reperibilità, ne consegue che la scelta di adottare la soluzione “acciaio 1” per realizzare la testa di taglio non sia solo dettata da scelte economiche.

## 8 - CONFRONTO PRESTAZIONALE, ECONOMICO E DI PROCESSO PRODUTTIVO

In questo capitolo si andranno a confrontare la testa di taglio “acciaio 1” con la testa di taglio in ghisa.

Iniziando dalle prestazioni a livello statico, vediamo che la massima deformazione in direzione Z è localizzata nell'estremità in basso a destra in entrambe le teste di taglio, in quella in ghisa risulta essere 0,37 mm Figura 8.1.1 mentre in quella in acciaio 0,22 mm Figura 8.1.2.

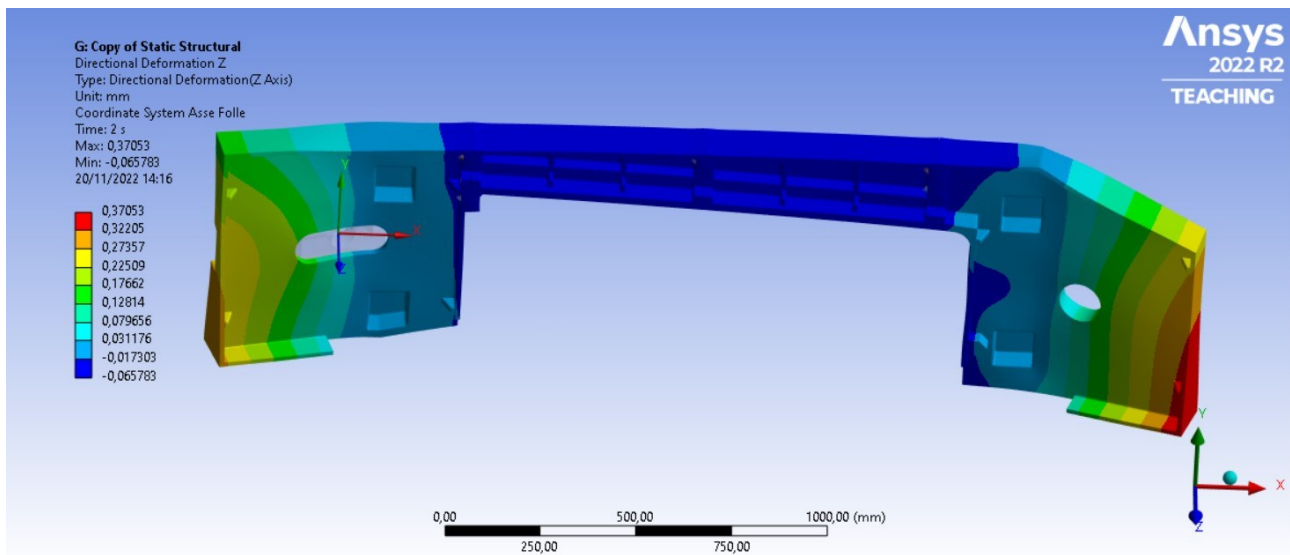


Figura 8.1.1: Deformazione lungo l'asse Z dovuta al pretensionamento nella testa di taglio in ghisa.

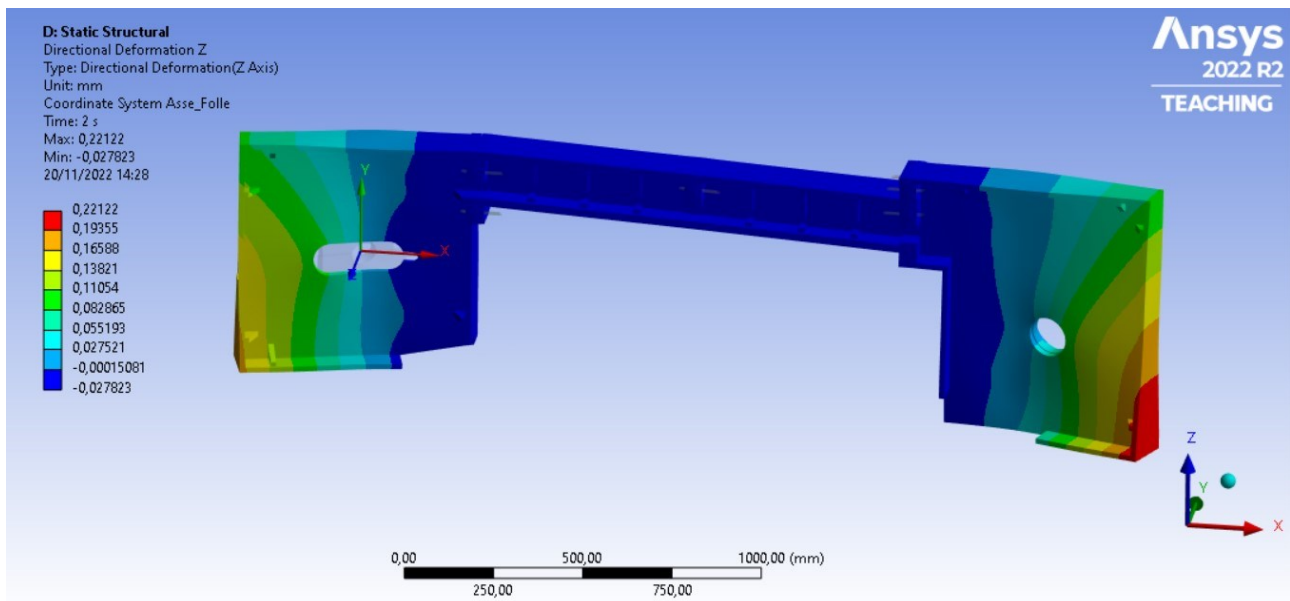


Figura 8.1.2: Deformazione lungo l'asse Z dovuta al pretensionamento nella testa di taglio acciaio 1.

Andando a comparare i comportamenti durante il taglio, andiamo a valutare il primo scenario di taglio di una sezione piena di 16MnCr5 avente una lunghezza di 250 mm in direzione orizzontale con un nastro da 2 TPI con  $V_t = 65$  m/min e  $V_a = 36$  mm/min.

Come già riportato nei Capitoli 6.3.1 e 6.3.2 si ripropongono i valori di massima deformazione totale e di massima deformazione in direzione Z.

Questi sono i valori ottenuti nella ghisa:

- Massima deformazione totale:  $6,92E-02$  mm;
- Massima deformazione direzione Z:  $6,29E-02$  mm (Figura 8.1.3).

Mentre per la soluzione acciaio 1:

- Massima deformazione totale:  $4,79E-02$  mm;
- Massima deformazione direzione Z (in valore assoluto):  $1,33E-02$  mm (Figura 8.1.4).



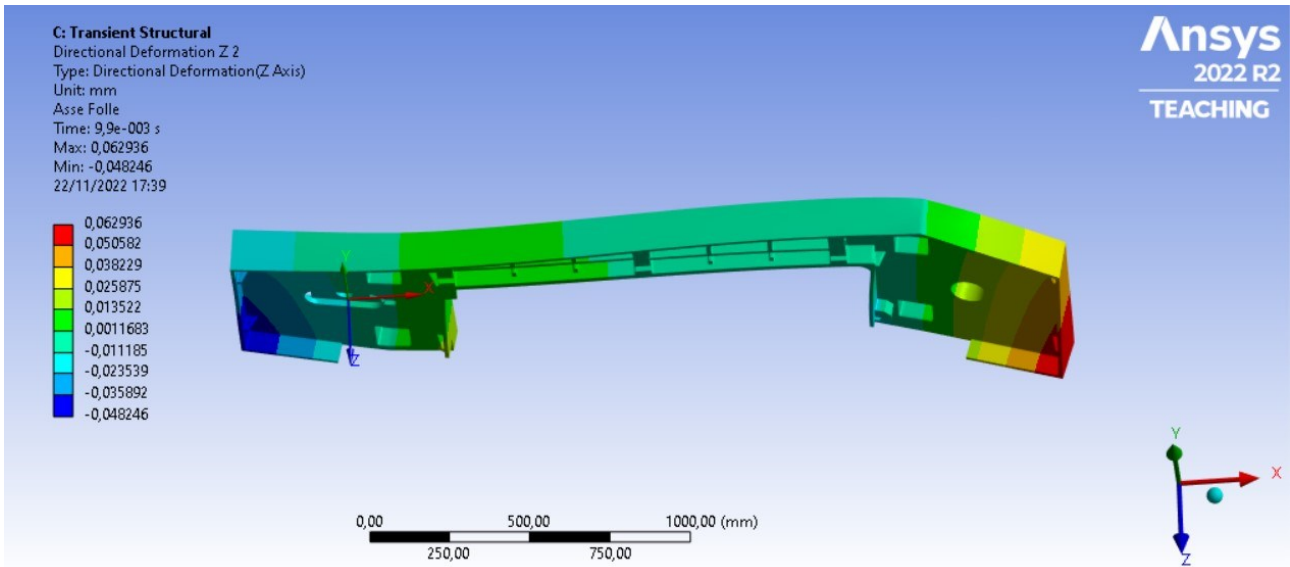


Figura 8.1.3: Massima deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio in ghisa dovuta al primo scenario di taglio.

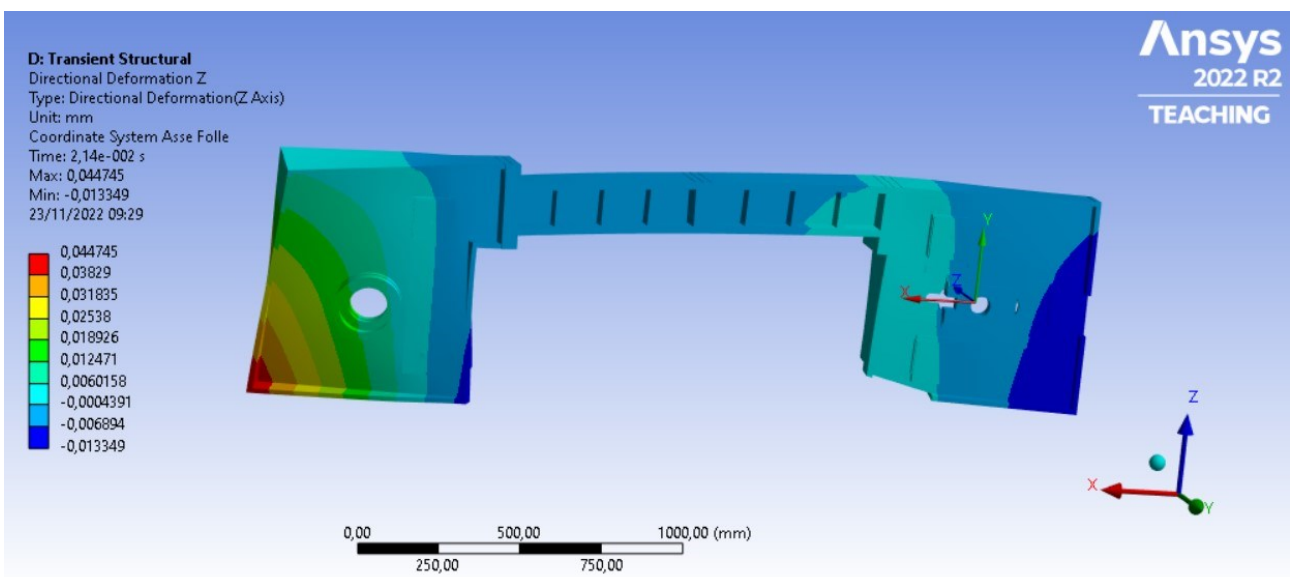


Figura 8.1.4: Massima deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio acciaio 1 dovuta al primo scenario di taglio.

Parlando delle deformazioni in direzione Z, vediamo che sono entrambe collocate nella stessa zona, con la deformazione subita dalla Z che risulta essere maggiore per la struttura in ghisa (anche se di poco).

Parlando delle deformazioni totali, andiamo a compararle confrontando le deformazioni totali delle due teste di taglio prendendo lo stesso tempo e riportandole in Tabella 8.1.1:

**Tabella 8.1.1:** Comparazione delle deformazioni totali per il primo scenario di taglio.

Substep	Deformazione Totale [mm]	
	Acciaio 1	Ghisa
1,20E-03	2,63E-03	3,64E-03
3,60E-03	2,24E-02	3,55E-02
1,40E-02	9,24E-03	3,53E-02
1,06E-02	2,85E-02	6,89E-02
1,52E-02	1,27E-02	2,35E-02
3,36E-02	2,65E-02	2,64E-02

Prendendo a campione alcuni tempi (substep) vediamo come le deformazioni totali dell'acciaio siano maggiori di quelle della ghisa.

Passando al secondo scenario, dove viene tagliata una sezione di X210Cr12 di 120 mm (in direzione orizzontale), con un nastro da 3 TPI con  $V_t = 33$  m/min e  $V_a = 14$  mm/min, si riportano i valori di massima deformazione totale e di deformazione massima lungo Z:

- Massima deformazione totale: 3,12E-02mm;
- Massima deformazione direzione Z: 2,62E-02mm (Figura 8.1.5);

mentre per la testa di taglio "acciaio 1":

- Massima deformazione totale: 1,67E-02 mm;
- Massima deformazione direzione Z (in valore assoluto): 1,36E-02 mm (Figura 8.1.6).

Anche in questo caso i valori di massima deformazione (sia totale che in direzione Z) sono maggiori per la testa di taglio in ghisa.

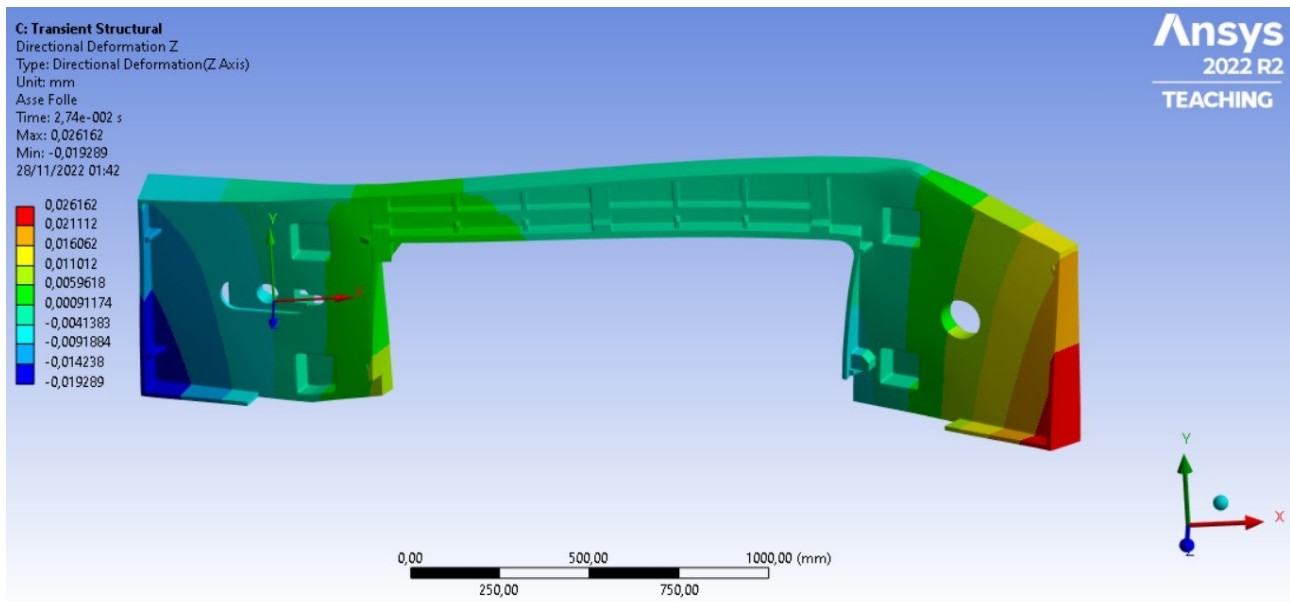


Figura 8.1.5: Massima deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio in ghisa dovuta al secondo scenario di taglio.

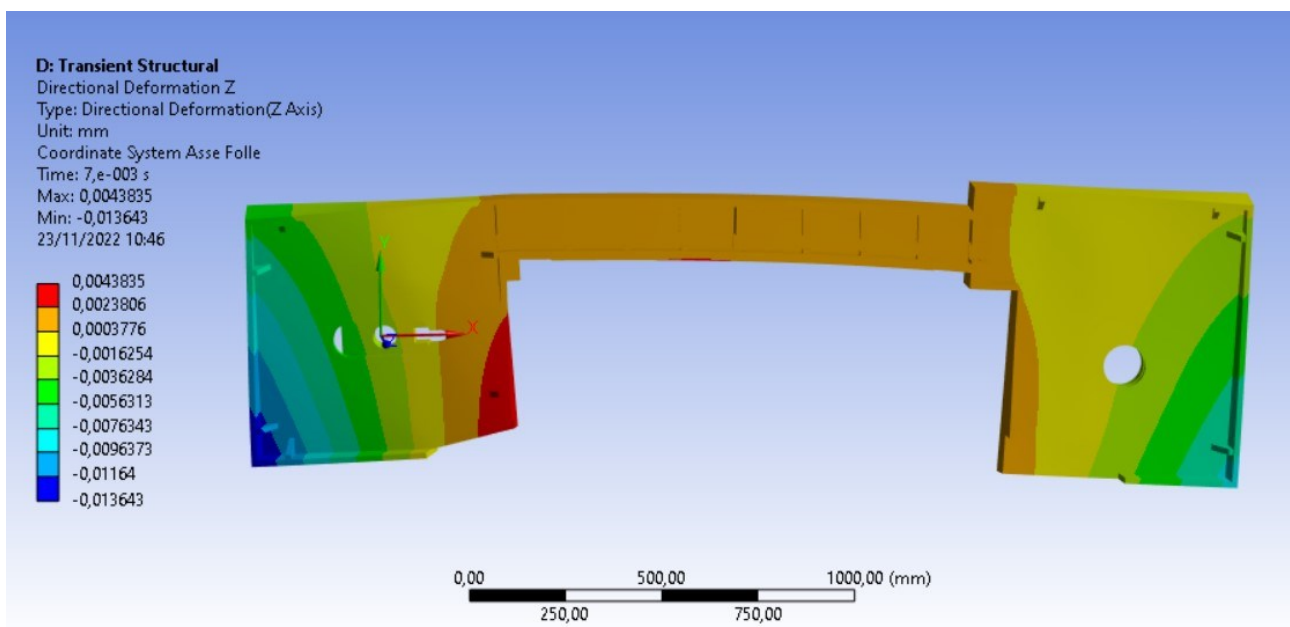


Figura 8.1.6: Massima deformazione lungo l'asse Z della testa di taglio acciaio 1 dovuta al secondo scenario di taglio.

Alla luce di questi risultati, bisogna considerare il fatto che i valori riportati sono i massimi di tutta la serie di dati, per questo nella Tabella 8.1.2 si riportano alcuni substep scelti arbitrariamente per comparare il valore di deformazione totale per le due strutture.

**Tabella 8.1.2:** Comparazione delle deformazioni totali per il secondo scenario di taglio.

Substep	Deformazione Totale [mm]	
	Acciaio 1	Ghisa
3,00E-03	1,11E-02	9,22E-03
4,60E-03	1,67E-02	1,42E-02
6,00E-03	1,42E-02	1,31E-02
8,00E-03	1,18E-02	1,05E-02
1,60E-02	1,07E-02	6,50E-03
1,92E-02	1,02E-02	8,59E-03
4,00E-02	1,09E-02	1,08E-02

E si nota che la testa di taglio “acciaio 1” ha deformazioni maggiori rispetto alla testa di taglio in ghisa.

Infine, per questo confronto è stata effettuata un’ulteriore analisi transiente simulando il terzo scenario (nastro da 1,4 TPI,  $V_a = 18$  mm/min,  $V_t = 30$  m/min, pezzo da 430 mm).

**Tabella 8.1.3:** Comparazione delle deformazioni totali per il terzo scenario di taglio.

Substep	Deformazione Totale [mm]	
	Acciaio 1	Ghisa
1,20E-03	1,73E-03	1,49E-03
2,40E-03	1,18E-02	1,05E-02
4,00E-03	3,61E-02	3,55E-02
1,64E-02	3,90E-02	3,49E-02
1,96E-02	3,86E-02	2,85E-02
3,60E-02	2,03E-02	1,84E-02
5,36E-02	5,60E-02	1,65E-02
8,92E-02	4,26E-02	4,19E-02
9,52E-02	4,64E-02	4,12E-02
0,1088	4,07E-02	4,03E-02

E possiamo notare in Tabella 8.1.3 come i valori di deformazione totale siano maggiori per la soluzione in acciaio rispetto alla ghisa.

Nelle Figure 8.1.7 e 8.1.8 sono illustrate le deformazioni totali delle due soluzioni al tempo  $1,96E-02$  s.

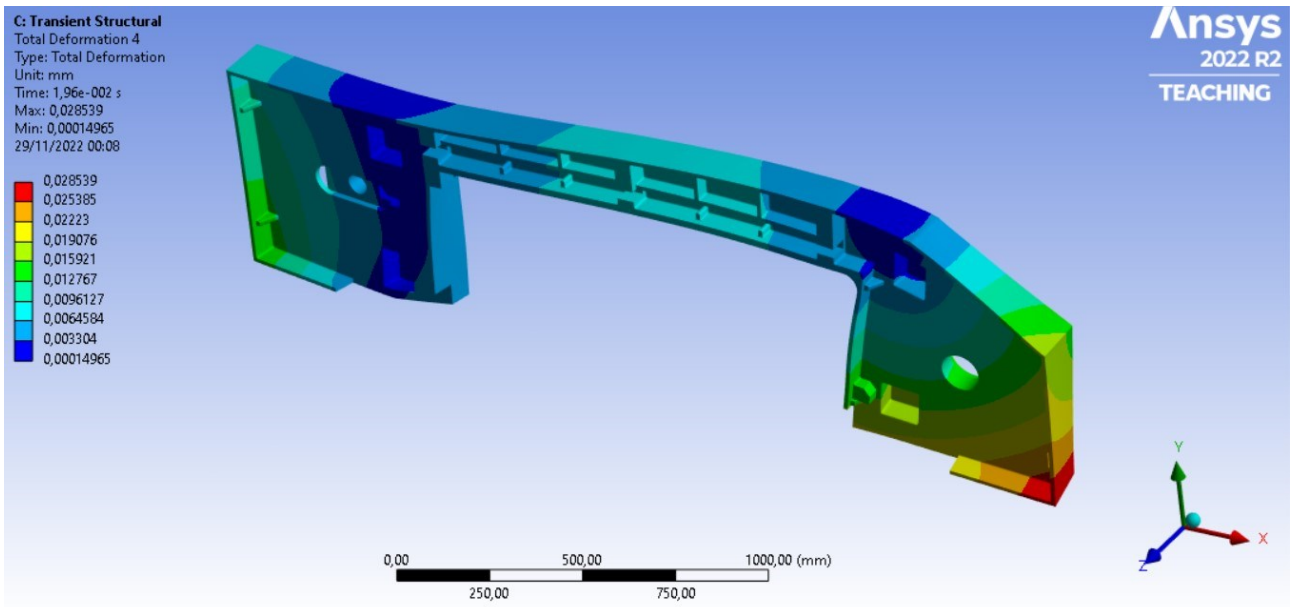


Figura 8.1.7: Deformazione totale della testa di taglio in ghisa al tempo  $1,96E-02$  s dovuta al terzo scenario di taglio.

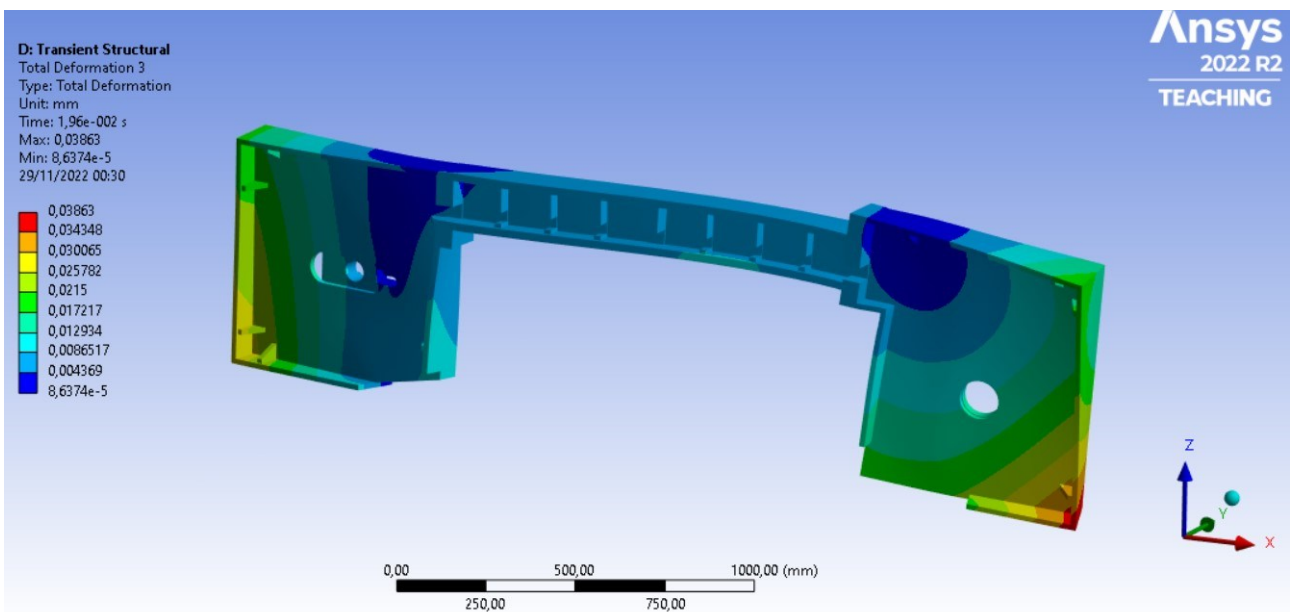


Figura 8.1.8: Deformazione totale della testa di taglio acciaio 1 al tempo  $1,96E-02$  s dovuta al terzo scenario di taglio.

Confrontando i processi produttivi, si riportano le fasi del processo produttivo di una testa di taglio in ghisa:

- Allestimento del modello in legno o lega leggera, sulla base del progetto;
- Preparazione della forma, costipando la terra sul modello e realizzando l'impronta, in negativo, della forma del pezzo che sarà prodotto;
- Fusione del metallo e il suo versamento nella forma;
- Estrazione del getto dalla forma dopo la solidificazione (distaffatura);
- Finitura del getto;
- Lavorazioni alle macchine utensili;
- Assemblaggio delle quattro parti;

mentre, le fasi per una testa di taglio in acciaio:

- Taglio delle materie prime e cianfrinatura: in caso di profilati il taglio è eseguito tramite segatrici a nastro mentre nel caso di lamiere è eseguito tramite plasma o laser in base allo spessore;
- Saldatura: le saldature sono eseguite tramite tecnica MIG/MAG;
- Lavorazioni alle macchine utensili;
- Assemblaggio delle quattro parti.

È evidente che una testa di taglio, almeno in fase di prototipazione e per numeri da produrre bassi è più snella e consente di arrivare al risultato finale più velocemente. Confrontando le due soluzioni sul piano economico, consideriamo il grafico in Figura 8.1.9:

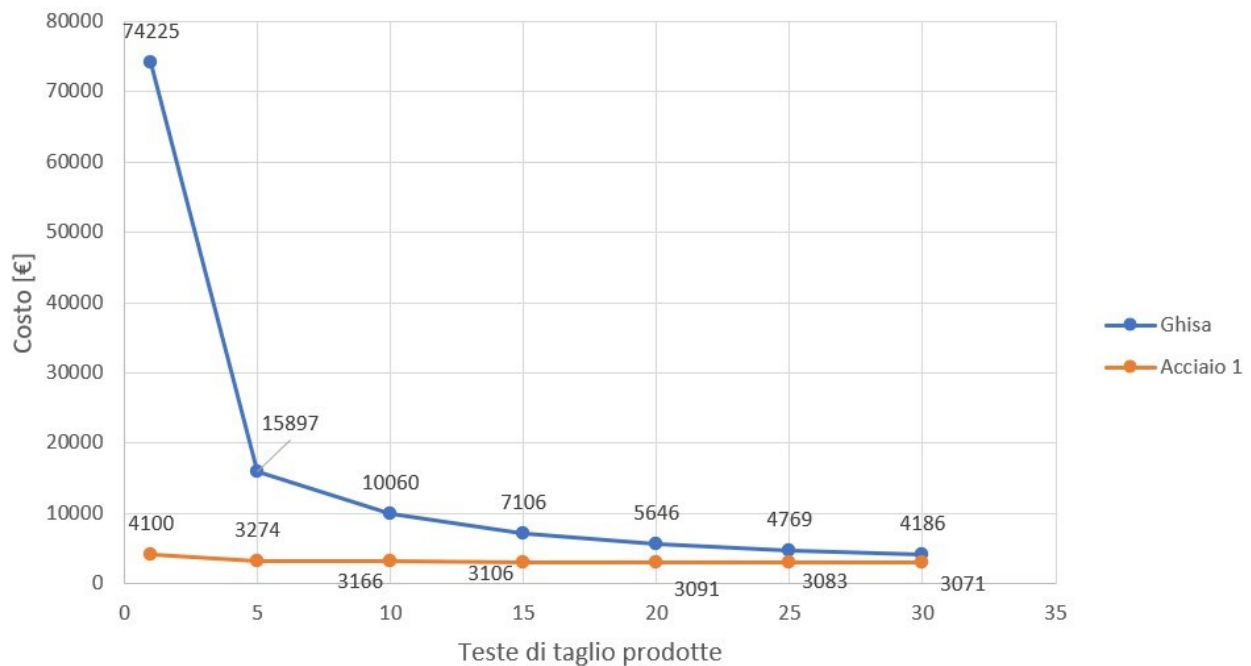


Figura 8.1.9: Confronto economico fra la testa di taglio acciaio 1 e la testa di taglio in ghisa in base alle unità prodotte.

Vediamo che per 10 teste di taglio prodotte il costo di una testa di taglio in ghisa è 10060 € mentre per una in acciaio è 3166 €.

## 9 - CONCLUSIONI

Confrontando sul piano prestazionale a livello statico, possiamo affermare che la testa di taglio in ghisa presenta una deformazione massima lungo Z di 0,37 mm mentre quella in acciaio è 0,22 mm: in entrambe le teste di taglio è localizzata nella parte in basso a destra della “sezione puleggia motrice”, zona che non pregiudica lo spostamento degli organi di trasmissione. La stessa situazione (deformazione con valori non massimi ma elevati rispetto al resto) si presenta nella zona in basso a sinistra della “sezione puleggia folle” di entrambe le teste di taglio, e valgono le considerazioni fatte in precedenza, ovvero che non viene pregiudicato alcun spostamento degli organi di trasmissione.

Sempre guardando le prestazioni a livello statico, nelle altre zone di entrambe le teste di taglio non si riscontrano valori di deformazioni (sia lungo Z che totali) eccessivi; in particolare, in entrambe le soluzioni le due parti che compongono la trave centrale subiscono spostamenti che al massimo assumono valori di qualche centesimo di millimetro, e le stesse considerazioni si possono fare per le zone dove andranno alloggiata la trasmissione “motrice” e la slitta tendilama (e quindi anche tutta la parte di trasmissione “folle”. Alla luce di questo, possiamo affermare che durante la messa in opera della segatrice, gli aggiustamenti da effettuare sul nastro tramite i suoi organi di registrazione saranno minimi, e che, le due teste di taglio si equivalgono dal punto di vista statico.

Passando alle prestazioni durante il taglio, vediamo che per alcuni casi le deformazioni della struttura in ghisa sono maggiori di quelle della struttura in acciaio, sebbene dalla teoria sono ben note le eccellenti capacità di smorzamento della ghisa, si possono fare le seguenti considerazioni:

- Le due teste di taglio hanno differenti frequenze proprie: andando ad analizzare la frequenza della forzante delle forze di taglio, è emerso che, per il primo scenario è più vicina ad una frequenza propria della testa di taglio in ghisa rispetto alla frequenza propria “più prossima” della testa di taglio in acciaio, questo giustificherebbe spostamenti maggiori per la testa di taglio in ghisa;
- Gli smorzamenti dei due materiali delle teste di taglio sono stati modellati con Damping Ratio rispettivamente del 2% per la ghisa e 1% per l'acciaio: cercando in letteratura, l'assegnazione del valore dello smorzamento è sempre una cosa incerta in quanto per lo stesso tipo di struttura sono disponibili più valori e per averne certezza della scelta bisognerebbe eseguire diverse prove;
- La testa di taglio in acciaio è stata progettata con dimensioni maggiorate;
- Le deformazioni massime trovate sono state individuate guardando tutto l'arco temporale dello sforzo di taglio (ovvero i tre trapezi dallo zero) e quindi si è fatta una comparazione sulle deformazioni massime e non sulle deformazioni sincronizzate sullo stesso tempo.

Alla luce di quest'ultima considerazione, si è provveduto ad effettuare un confronto di deformazioni “sincronizzando” il tempo, ovvero comparando il massimo valore della deformazione delle due strutture allo stesso substep: scegliendo valori di tempo arbitrari è emerso come la testa di taglio in acciaio subisca deformazioni totali leggermente maggiori rispetto alla testa di taglio in ghisa, comunque la differenza è di qualche centesimo di millimetro e quindi le strutture dal punto di vista del comportamento dinamico sono equivalenti.



Guardando le deformazioni in direzione Z della testa di taglio in acciaio vediamo come i valori siano di qualche centesimo, e questo è quello che si voleva ottenere in quanto in questa direzione si vuole mantenere il nastro il più “fermo” possibile, e quindi ad esempio spostamenti quasi nulli durante il taglio lungo la direzione Z della trave centrale avranno poche ripercussioni sui braccetti guidalama montati nella sua parte inferiore e quindi il nastro subirà poche ripercussioni e di conseguenza il taglio sarà preciso.

Dal confronto del processo produttivo, è ben chiaro che per basse quantità di macchinari da produrre l'adozione della soluzione in acciaio sia benefica in quanto:

- Si vanno ad abbattere tutti i tempi legati alla prototipazione del modello;
- È possibile eseguire modifiche anche tra una testa di taglio e una successiva, cosa che una volta fatto il modello per una testa di taglio in ghisa non sarebbe possibile;
- Il processo produttivo è più snello essendo composto da meno operazioni;
- A meno del taglio delle lamiere, il resto delle fasi delle lavorazioni possono essere eseguiti direttamente nel reparto prototipi dell'azienda;
- Dal punto di vista geografico sono presenti più carpenterie che fonderie e quindi la fornitura è sempre garantita.

Da tutte queste considerazioni emerge che quindi il ricorso ad una testa di taglio in acciaio va a ridurre sensibilmente il time to market del nuovo modello di segatrice, e quindi si evita anche la perdita di una fetta di mercato dovuta alla differenza di tempo impiegata per sviluppare il modello per il prototipo in ghisa e il tempo necessario a realizzare un prototipo in acciaio. Inoltre, dall'analisi economica emerge che, per i primi nove modelli di segatrici prodotte, una segatrice con testa di taglio in acciaio risulta costare circa 6900 € in meno rispetto ad una con la testa di taglio in ghisa. Infine, in Figura 9.1 si ha la testa di taglio in acciaio completa di tutti i componenti rimossi per l'analisi ed in Figura 9.2 la segatrice con la testa di taglio in acciaio provvista di carter protettivi.

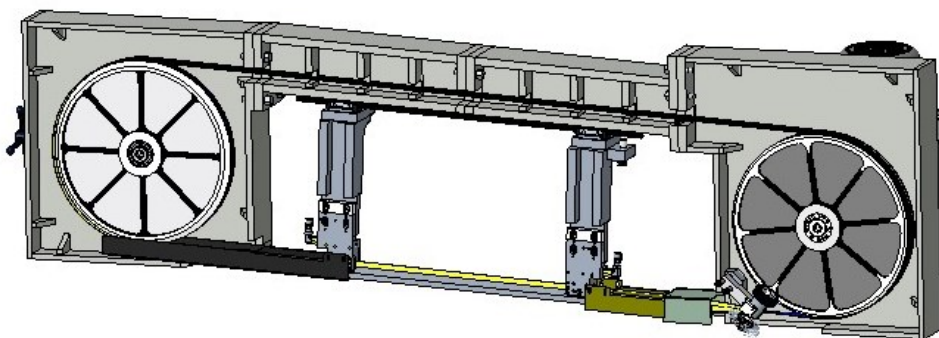


Figura 9.1: testa di taglio completa di tutta la componentistica.

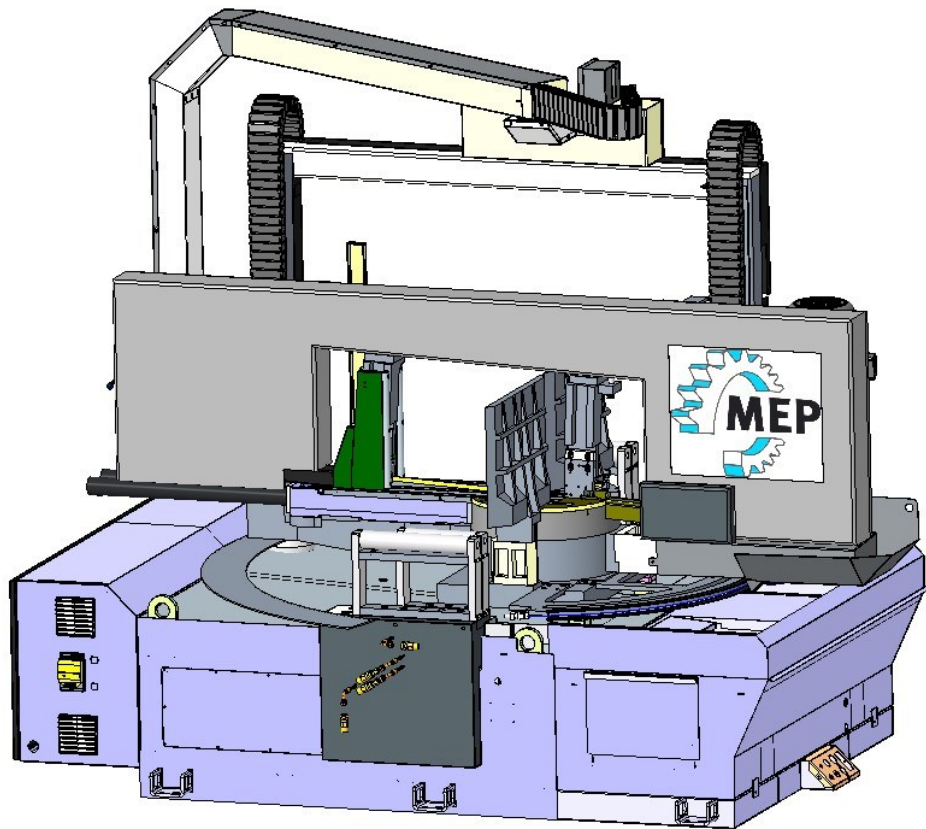


Figura 9.2: Segatrice con la testa di taglio in acciaio provvista del carter di copertura.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Grosso; “Corso di tecnologia meccanica 2”, Mondadori.
- [2] MEP SpA, “Manuale uso e manutenzione SHARK 652 SXI-H 5.0”.
- [3] Negri SpA – Siderurgica commerciale, “Catalogo tubi rettangolari”.
- [4] C. Andersson, M.T. Andersson, J.-E. Stahl “Bandsawing. Part I: cutting force model including effects of positional errors, tool dynamics and wear”.
- [5] M.M. Ahmad, B. Hogan, E. Goode, “Effect of machining parameters and workpiece shape on a bandsaw process” Int. J. Mach. Tools Manufact. 29 (1989) 173. [CrossRef]
- [6] M. Sarwar, P.J. Thompson, Simulation of the action of a single hacksaw blade tooth, The Production Engineer (1974) 195. [CrossRef]
- [7] A.G. Ulsoy, C.D. Mote, R. Szymani, Principal development in bandsaw vibration and stability research, Holz als Roh- und Werkstoff 36 (1978) 273. [CrossRef]
- [8] H.K. Tiinshoff, R. Westphal, Noise reduction in circular sawing of metals, Annals of the CIRP 27 (1978) 339. [CrossRef]
- [9] M.E. Martellotti, An analysis of the milling process, Transactions of ASME 63 (1941) 667.
- [10] M.E. Martellotti, An analysis of the milling process. Part II: Down milling, Transaction of ASME 67 (1945) 233
- [11] T. J. Ko, H. S. Kim; “Mechanistic cutting force model in band sawing”,
- [12] Huei-Huang Lee, “Finite element simulations with Ansys Workbench 2021”, SDC Publications
- [13] W. Nicodemi; “Acciai e leghe non ferrose”, Zanichelli.
- [14] MEP SpA. [www.mepsaws.it](http://www.mepsaws.it)
- [15] LENOX; catalogo cartaceo lame a nastro.
- [16] Catalogo cartaceo riduttori a vite.
- [17] Carpanelli SpA, “Catalogo online motori elettrici”.