



Politecnico di Torino

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA E AEROSPAZIALE - DIMEAS
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

**Progettazione e realizzazione di un sistema per il piantaggio
e il fissaggio per deformazione plastica di componenti
automotive**

Design and realization of a tool for press fitting and joining by plastic deformation of automotive
components

Candidato
Dario De Renzio
Matricola 238457

Relatori
Maffiodo Daniela
Sesana Raffaella
Tutor aziendale
Castro Damiano

Alla mia famiglia

Indice

Introduzione	xi
1 Presse e operazioni di fissaggio a freddo	1
1.1 Introduzione al montaggio con interferenza	1
1.2 Piantaggio e parametri di processo	2
1.3 Il piantaggio in Dayco	5
1.4 Giunzioni per deformazione plastica	7
1.5 Rivettatura autoperforante e graffatura meccanica	8
1.6 Giunzione per deformazione plastica in Dayco	10
1.6.1 Test di validazione di componenti piantati e cianfrinati	12
1.7 Generalità sulle presse	13
1.7.1 Presse meccaniche	14
1.7.2 Pressa idraulica	17
1.7.3 Caratteristiche delle servo-presse e confronto con presse meccaniche e idrauliche	19
1.7.4 Strutture di servo presse industriali	22
1.8 Presse utilizzate nel reparto prototipi Dayco	23
1.8.1 Pressa idraulica LM.T	24
1.8.2 Pressa elettrica LM.T	28
2 Introduzione all'attrezzatura	30
2.1 Principio di funzionamento	31
2.2 Ideazione design	32
2.3 Componenti dell'attrezzatura	36
2.4 Fasi del ciclo di lavoro	40
2.5 Fluido idraulico	44
2.5.1 Generalità sui fluidi idraulici	44
2.5.2 Principali caratteristiche	44
2.5.3 Fluido di polidimetilsilossano	46
2.6 Modello numerico	48
2.6.1 Geometria del modello	48

2.6.2	Definizione delle proprietà dei materiali	49
2.6.3	Generazione della mesh	51
2.6.4	Vincoli e spostamenti	53
2.6.5	Risultati	55
3	Dimensionamento e realizzazione	58
3.1	Prove preliminari	58
3.2	Determinazione del carico di piantaggio e correlazione con l'interferenza . .	60
3.3	Valutazione del carico di giunzione a freddo	68
3.4	Valutazione dei limiti di profondità di giunzione a freddo a 20000 N	75
3.5	Dimensionamento aree pistoni	81
4	Test sperimentali	83
4.1	Piantaggio e giunzione a freddo	83
4.2	Controllo del processo	96
5	Conclusioni e sviluppi futuri	97
	Appendice A	99
	Appendice B	104

Elenco delle figure

1.1	Stress radiale e tangenziale nel calettamento mozzo albero	3
1.2	Interferenza nel calettamento forzato	4
1.3	Componenti in 3D prima e dopo l'assemblaggio	5
1.4	Schema delle forze e delle reazioni vincolari durante l'operazione di piantaggio	5
1.5	Banco di lavoro aziendale per il piantaggio	6
1.6	Fissaggio di lamine tramite rivettatura. (a) Inizio, (b) guida attraverso il foglio superiore, (c) formazione del blocco [2]	9
1.7	Fissaggio di lamine tramite graffatura. (a-b) Inizio, (c) compressione, (c) formazione dell'incastro [2]	9
1.8	Schema forze nell'operazione di giunzione a freddo	10
1.9	Attrezzatura per la realizzazione della giunzione a freddo	11
1.10	Particolare del risultato dell'operazione di giunzione a freddo	11
1.11	Particolare di perno e alloggiamento cianfrinato	12
1.12	(a): Prova di spiantaggio (b): Prova di torsione	12
1.13	Struttura pressa meccanica [3]	14
1.14	Esempio di:a) pressa a struttura chiusa; b) pressa a struttura aperta [4] . .	15
1.15	Principali tipi di meccanismi di pressa meccanica: a)biella-manovella; b) eccentrico; c) a vite; d) articolazione con giunti a cerniera [3]	16
1.16	Schema e principio di funzionamento della pressa idraulica [7]	17
1.17	Principali componenti di un sistema idraulico	18
1.18	Schema costruttivo di una pressa meccanica e servopressa [3]	20
1.19	Esempio di finestre di controllo su servopressa	21
1.20	Schema di comando della servo pressa Muratec [3]	22
1.21	Schema di servo pressa ad azionamento diretto AIDA [3]	23
1.22	Pressa idraulica per piantaggio	25
1.23	Particolare pressa idraulica: centralina	26
1.24	Particolare pressa idraulica: gruppo valvole, regolatori di pressione e gruppo refrigeratore	26
1.25	Pressa elettrica LM.T da 10 Ton	28
2.1	Schema principio di funzionamento	31

2.2	Attrezzatura per il doppio piantaggio	32
2.3	Design con sistema divisorio a membrana	33
2.4	Vista in sezione del design definitivo dell'attrezzatura e particolare sul bloccaggio del pin	35
2.5	Vista esplosa dell'attrezzatura	36
2.6	Carcassa esterna	37
2.7	Pistone di giunzione a freddo	37
2.8	Pistone di piantaggio	38
2.9	Blocco porta pin	38
2.10	Pin di giunzione a freddo e inserimento nei relativi alloggiamenti	39
2.11	Blocco di centraggio e piantaggio	39
2.12	Vista schematica dell'attrezzatura: a)posizionamento 1; b)posizionamento 2	40
2.13	Fase 1: inizio piantaggio	41
2.14	Fase 2: a) Arresto del blocco di giunzione a freddo; b) Completamento piantaggio	42
2.15	Fase 3: giunzione a freddo	43
2.16	Confronto curve viscosità al variare della temperatura	46
2.17	Specifiche tecniche fluido silicico PSF-2.5mil cSt	47
2.18	Geometria completa	49
2.19	Geometria semplificata analizzata	49
2.20	legge elasto-plastica bilineare per un acciaio FC-0208	50
2.21	Vista del modello con la mesh utilizzata	52
2.22	Particolare della mesh a maglia regolare	53
2.23	Applicazione dello spostamento sul punzone	54
2.24	Applicazione dell'incastro alla base della puleggia	54
2.25	Spostamento lungo l'asse X	55
2.26	Particolare spostamento lungo l'asse X	55
2.27	Deformazione lungo asse X in funzione del tempo	56
2.28	Forza lungo asse X	56
2.29	Andamento della forza in funzione del tempo	57
3.1	Suddivisione iniziale aree pistoni	59
3.2	Grafico carico-corsa su test di piantaggio cianfrinatura	59
3.3	a) Cuscinetto a sfera TM175; b) Puleggia TL1067	61
3.4	a) Micrometro per esterni; b) micrometro per interni	62
3.14	Prova di piantaggio 10	63
3.5	Prova di piantaggio 1	64
3.6	Prova di piantaggio 2	64
3.7	Prova di piantaggio 3	64

3.8	Prova di piantaggio 4	65
3.9	Prova di piantaggio 5	65
3.10	Prova di piantaggio 6	65
3.11	Prova di piantaggio 7	66
3.12	Prova di piantaggio 8	66
3.13	Prova di piantaggio 9	66
3.15	Carichi di piantaggio in funzione dell'interferenza e curva di interpolazione	68
3.16	Carico totale=16000N; pezzo 1	69
3.17	Carico totale=16000N; pezzo 2	70
3.18	Carico totale=16000N; pezzo 3	70
3.19	Carico totale=18000N; pezzo 1	71
3.20	Carico totale=18000N; pezzo 2	71
3.21	Carico totale=18000N; pezzo 3	72
3.22	Grafico di comparazione prove giunzione a freddo a 18000 N	72
3.23	Carico totale=20000N; pezzo 1	73
3.24	Carico totale=20000N; pezzo 2	73
3.25	Carico totale=20000N; pezzo 3	74
3.26	Grafico di comparazione grafici giunzione a freddo a 20000 N	74
3.27	Schema test di spiantaggio	76
3.28	Forza di spiantaggio, pezzo n.1	77
3.29	Forza di spiantaggio, pezzo n.4	77
3.30	Forza di spiantaggio, pezzo n.8	78
3.31	Forza di spiantaggio, pezzo n.12	78
3.32	Confronto tra particolari dei grafici di spiantaggio	79
3.33	Carichi medi di spiantaggio in funzione della profondità di giunzione a freddo	80
3.34	(a): Rappresentazione di R_d e R_p ; (b): Ripartizione percentuale delle aree	82
4.1	Banco di prova per il test di piantaggio e giunzione a freddo	85
4.2	Test piantaggio e giunzione a freddo 1	86
4.3	Test piantaggio e giunzione a freddo 1 con scomposizione del carico	86
4.4	Test piantaggio e giunzione a freddo 2	87
4.5	Test piantaggio e giunzione a freddo 3	87
4.6	Test piantaggio e giunzione a freddo 4	88
4.7	Test piantaggio e giunzione a freddo 5	88
4.8	Punti di misurazione della profondità di giunzione a freddo	90
4.9	Micrometro millesimale utilizzato per le misurazioni	90
4.10	Distribuzione normale dei valori	93
4.11	Test piantaggio e giunzione a freddo 1, scomposizione in fasi	94
4.12	Test attrezzatura: fase 1 di piantaggio	94

4.13	Test attrezzatura: fase 2 di conclusione piantaggio	95
4.14	Test attrezzatura: fase 3 di giunzione a freddo	95
4.15	Finestre di controllo su grafico forza vs. spostamento	96
1	Carcassa esterna	99
2	Pistone di piantaggio	100
3	Pistone di deformazione plastica	101
4	Blocco porta punzoni	102
5	Punzone	102
6	Blocco di centraggio	103
7	Carico totale=24000N; pezzo 1	104
8	Carico totale=24000N; pezzo 2	104
9	Carico totale=24000N; pezzo 3	105

Elenco delle tabelle

1.1	Vantaggi e svantaggi delle giunzioni per deformazione plastica	8
2.1	Parametri materiale X205Cr12 KU	49
2.2	Parametri materiale FC-0208	51
3.1	Valori nominali di ϕ_1, ϕ_2, d_1	60
3.2	Dimensioni effettive dei componenti e interferenza presente in ogni pezzo .	62
3.3	Carichi piantaggio e interferenze	67
3.4	Parametri prove di giunzione a freddo	68
3.5	Misure profondità di giunzione a freddo al variare del carico	75
3.6	Profondità di giunzione a freddo	75
3.7	Carichi di spiantaggio	79
3.8	Raggi e aree dei pistoni di piantaggio e giunzione a freddo	82
4.1	Misure diametri cuscinetti e pulegge $\phi_2 \phi_1$	84
4.2	Misure profondità di deformazione plastica su prova finale	92
4.3	Valor medio, varianza e coefficiente di varianza	92

Introduzione

Il presente lavoro di tesi è stato svolto presso il centro di ricerca e sviluppo Dayco Europe s.r.l. Dayco è un leader globale nella ricerca, progettazione, produzione e distribuzione di prodotti per motori essenziali, sistemi di azionamento e servizi per automobili, camion, edilizia, agricoltura e industria.

Le attività di ricerca e studio del progetto di tesi sono state svolte nel settore dei prototipi. Tale reparto si occupa di "product innovation" che mira all'introduzione di beni o servizi, nuovi o con miglioramenti in specifiche tecniche, componenti o materiali e "process innovation" che propone di introdurre modifiche in tecniche, software e attrezzature in modo da ridurre i tempi e costi della produzione.

A tal proposito il lavoro di tesi riguarda lo studio di un'attrezzatura per servo pressa che permette di snellire il ciclo produttivo aziendale tramite l'accorpamento di due operazioni distinte. Queste consistono nel piantaggio, ossia il calettamento forzato di due cuscinetti in una puleggia e nella successiva giunzione a freddo dei componenti, per deformazione plastica. Il processo, effettuato al momento in due fasi distinte e con due attrezzature e macchinari differenti, può essere ridotto, tramite lo strumento progettato, ad un'unica fase di lavoro. Si traggono quindi benefici in termini di tempi di produzione, manutenzione dei macchinari e efficienza dell'intero reparto.

L'obiettivo è quello di incrementare la flessibilità delle macchine, fare in modo che esse possano compiere diverse operazioni richieste da un processo lavorativo in modo simultaneo, sfruttando al meglio le risorse aziendali.

Inizialmente è presentata una panoramica sulle operazioni svolte. Si è presentato il calettamento forzato e i suoi principali parametri, si sono forniti esempi di giunzioni a freddo per deformazione plastica come graffatura o rivettatura autoperforante e infine si sono descritte le lavorazioni svolte in ambito aziendale. Sono poi state presentate le tipologie di macchinari utilizzati per effettuare tali operazioni, ossia presse meccaniche, idrauliche e servo presse. Si è effettuato un confronto tra le tre tipologie mettendo in evidenza le complicità di quelle idrauliche e l'efficienza delle ultime. Nel capitolo successivo è presentata l'attrezzatura, si parte dalla descrizione del principio di funzionamento, se ne descrive la geometria con i suoi componenti e il fluido di lavoro utilizzato. È utilizzato inoltre un software ad elementi finiti in cui è stato simulato in modo semplificato il processo di giunzione a freddo per valutare carichi e deformazioni. Si passa quindi al

dimensionamento dei componenti fondamentali. Si sono effettuati diversi studi: si è correlato il carico di piantaggio all' interferenza dei componenti e si è trovata poi la relazione tra il carico e la profondità di deformazione plastica. A seguito di quanto riscontrato, concorde con l'analisi FEM, si è potuto effettuare un preciso dimensionamento in modo che le due operazioni non si sovrappongano durante il processo finale. Sono quindi stati svolti test sullo strumento realizzato per valutarne il funzionamento e successivamente la sua ripetibilità.

Capitolo 1

Presse e operazioni di fissaggio a freddo

1.1 Introduzione al montaggio con interferenza

Nell'industria automobilistica, l'aumento della complessità del prodotto ha portato allo sviluppo di nuovi processi di giunzione per parti meccaniche. Esempi tipici sono la saldatura, l'incollaggio adesivo e il fissaggio meccanico utilizzati per unire i componenti in un assieme di prodotto. L'accoppiamento per interferenza fa parte di un gruppo più ampio di processi di giunzione meccanica, alcuni dei quali sono rivetti autoperforanti, fermi meccanici, giunti a perno e connessioni filettate. Nei giunti con interferenza, la differenza di geometria di due parti combacianti porta alla pressione di contatto all'interfaccia. Questa pressione di contatto tiene insieme le due parti attraverso l'attrito, creando un giunto meccanico. La forza di questo giunto dipende principalmente dal coefficiente di attrito, dalla pressione di interferenza e dall'area di contatto.

Negli ultimi anni sono stati condotti diversi studi e indagini di tipo sperimentali, analitici e numerici.

Le tecniche sperimentali si sono concentrate sulla determinazione della pressione di contatto e del coefficiente di attrito. Per stimare la pressione di contatto nei giunti ad interferenza, sia Croccolo et al. (2011) e Kim e Lee (2006) hanno misurato la deformazione circonferenziale sulla boccia applicando un estensimetro al diametro esterno della boccia, che ha quindi consentito loro di stimare la pressione di contatto attraverso equazioni analitiche. Lewis (2005) ha utilizzato misurazioni ad ultrasuoni per valutare la pressione di contatto e ha mostrato che esiste una regione centrale di pressione uniforme con una pressione più alta ai bordi e che l'entità della pressione uniforme è in accordo con l'analisi di Lamé. Le tecniche analitiche utilizzate per progettare le interferenze sono basate sulle equazioni stabilite da Lamé, che si basano su un'analisi di sollecitazione bidimensionale nell'intervallo elastico. Tuttavia, la soluzione di Lamé è limitata dalle sue ipotesi sempli-

ficative.

Sono stati utilizzati modelli analitici per studiare la pressione di contatto e la distribuzione delle tensioni, l'effetto della rugosità superficiale e dei cicli termici. Yang et al. (2001) sottolineano l'importanza della rugosità della superficie in accoppiamento con interferenza e dimostrano sperimentalmente che il carico di estrazione varia fino al 300% per valori di Ra di 0,24-6,82 μm . Zhang et al. (2000) hanno analizzato un accoppiamento ad interferenza di una corona dentata e un albero a gradini utilizzando sia metodi numerici che analitici e concludono che le equazioni di Lamè sottovalutano la pressione di contatto fino al 78%.

Sono stati usati metodi numerici per predire la qualità degli accoppiamenti forzati, per progettare il processo di piantaggio e per esaminare il comportamento del giunto in servizio. Zhang et al. hanno studiato la distribuzione delle tensioni all'interfaccia di un cuscinetto a sfere, in particolare sui bordi, con il metodo degli elementi finiti. Hanno stabilito un criterio di resistenza basato su due fattori di sicurezza λ_s (fattore di sicurezza per garantire la resistenza dei componenti) e λ_p (fattore di sicurezza per garantire l'assenza di slittamento sulle superfici di accoppiamento). Alcuni studi recenti mostrano come con modelli ad alta risoluzione si possano comprendere meglio gli accoppiamenti per interferenza.[1]

1.2 Piantaggio e parametri di processo

Il calettamento forzato (o piantaggio) è definito un collegamento fisso, irreversibile. Questo tipo di montaggio si basa sulla deformazione plastica delle superfici che entrano in contatto. Tali superfici sono nella maggior parte dei casi cilindriche o a volte leggermente coniche. Il calettamento forzato non richiede l'uso di chiavette o linguette che ridurrebbero la resistenza del giunto. Questo permette anche di ridurre le dimensioni di tale giunto.

Per ottenere un giunto forzato è necessario che il diametro di montaggio del componente interno sia maggiore di quello dell'alloggiamento. Questa differenza di diametri è detta interferenza e comporta la deformazione plastica che causa stress nei componenti. Tale stress può essere considerato piano, viene quindi trascurato lo stress in direzione assiale. Si hanno sollecitazioni in direzione tangenziale σ_t o radiale σ_r (fig. 1.1).

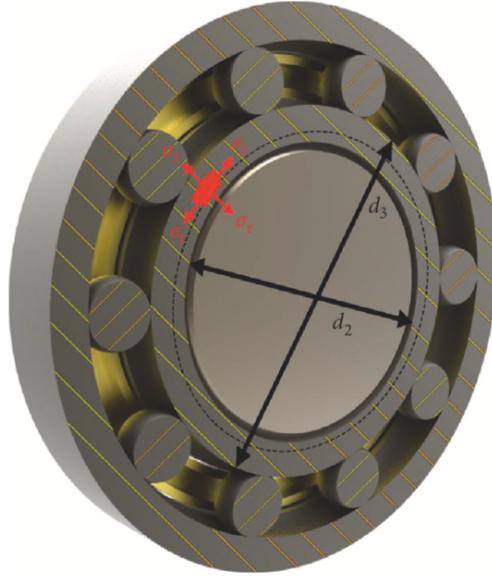


Figura 1.1: Stress radiale e tangenziale nel calettamento mozzo albero

Lo stress tangenziale e radiale, così come la pressione possono essere calcolati analiticamente in base alla teoria dei cilindri a pareti spesse in pressione.

$$\sigma_{t,r}(r) = A \pm \frac{B}{r^2}, \quad (1.1)$$

Dove A e B sono le costanti di integrazione determinate dalle condizioni al contorno e r è il raggio.

La pressione di contatto p_2 , considerando un accoppiamento albero (I) - mozzo (II) (fig.1.2) è data da:

$$p_2(r) = \frac{i \cdot E}{2r_2} \frac{(r_3^2 - r_2^2)}{2r_3^2}, \quad (1.2)$$

Dove i è l'interferenza, E è il modulo di Young, r_2 è il raggio dell'albero I , r_3 è il diametro esterno del mozzo II (figg.1.2). L'interferenza i è data dalla differenza tra il diametro esterno dell'albero e il diametro interno del mozzo. Dopo il montaggio, il raggio iniziale esterno dell'albero r_2^I si riduce di Δr_2^I mentre il raggio interno del mozzo r_2^{II} aumenta di Δr_2^{II} .

$$|\Delta r_2^I| + \Delta r_2^{II} = \frac{\delta}{2}. \quad (1.3)$$

Lo spostamento radiale dell'albero Δr_2^I dovuto alla compressione è:

$$\Delta r_2^I = \frac{p_2 r_2}{E} (1 - \mu), \quad (1.4)$$

dove μ è il coefficiente di Poisson.

Lo spostamento radiale del mozzo Δr_2^{II} dovuto alla trazione sarà:

$$\Delta r_2^I = \frac{p_2 r_2}{E} \left(\frac{r_2^2 + r_3^2}{r_3^2 + r_2^2} + \mu \right). \quad (1.5)$$

La capacità di carico tra i due elementi calettati tramite forzamento dipenderà soprattutto dalla misura dell'interferenza, e questa è determinata da:

- lo spessore delle pareti del componente esterno;
- il tipo di materiale di entrambi i componenti;
- la temperatura di montaggio e operativa;
- la deformazione indotta dal piantaggio;
- la lunghezza del giunto;
- la rugosità delle superfici a contatto.

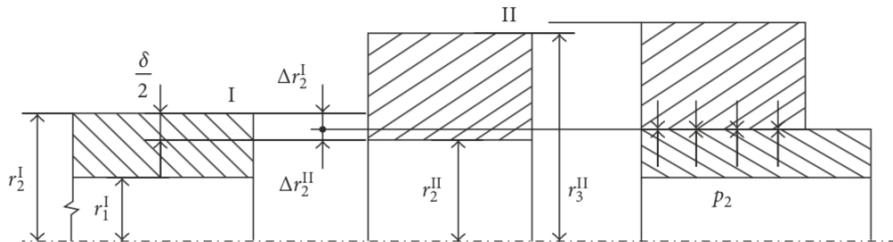


Figura 1.2: Interferenza nel calettamento forzato

1.3 Il piantaggio in Dayco

In ambito aziendale, il piantaggio viene eseguito tramite servopressa elettrica o oleodinamica. Nel caso trattato, i componenti da fissare sono due cuscinetti e una puleggia.

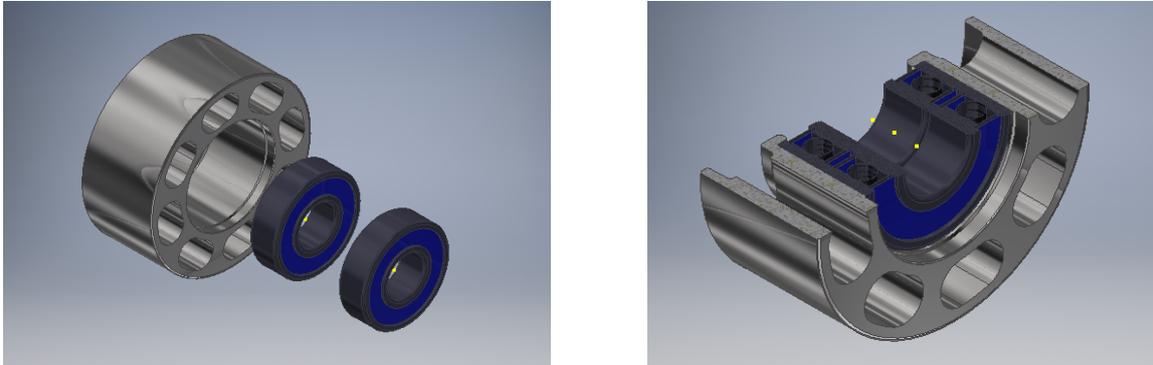


Figura 1.3: Componenti in 3D prima e dopo l'assemblaggio

In fig.1.4 è illustrato in modo schematico il sistema per il piantaggio dei componenti.

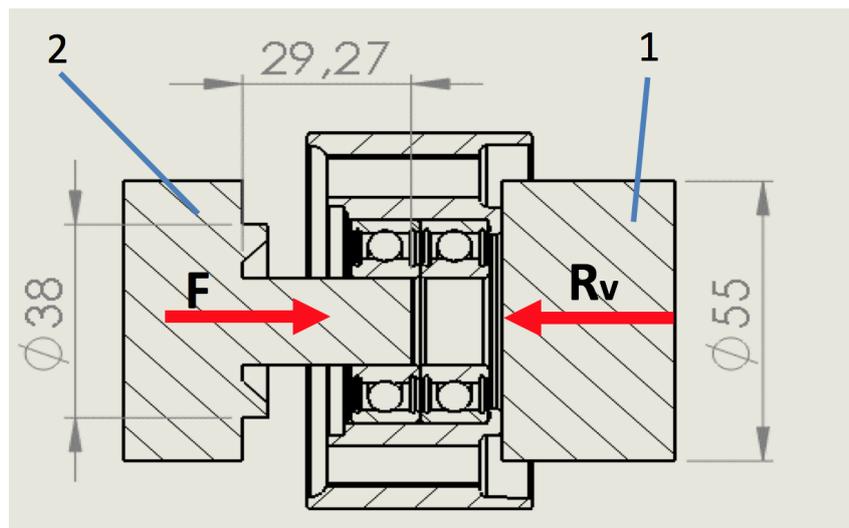


Figura 1.4: Schema delle forze e delle reazioni vincolari durante l'operazione di piantaggio

Il componente 2 rappresenta il punzone della pressa, da cui proviene la forza (F) di piantaggio che viene scaricata sulla ralla interna dei cuscinetti. La parte cilindrica centrale che si posiziona all'interno dei cuscinetti serve per il centraggio dei due. Sul componente 1 agiscono le reazioni vincolari R_v necessarie per l'inserimento forzato dei due cuscinetti. Nella figura 1.5 è raffigurato il piano di lavoro, in cui si nota il punzone (1) che andrà ad imprimere la forza sui cuscinetti (3). In questo caso come sistema di centraggio è stato utilizzato un cilindro cavo (5) realizzato su misura, che abbraccia i due cuscinetti e che permette il piantaggio simultaneo dei due. Nella parte inferiore troviamo la puleggia (4) e il basamento(2) su cui si hanno le reazioni vincolari.

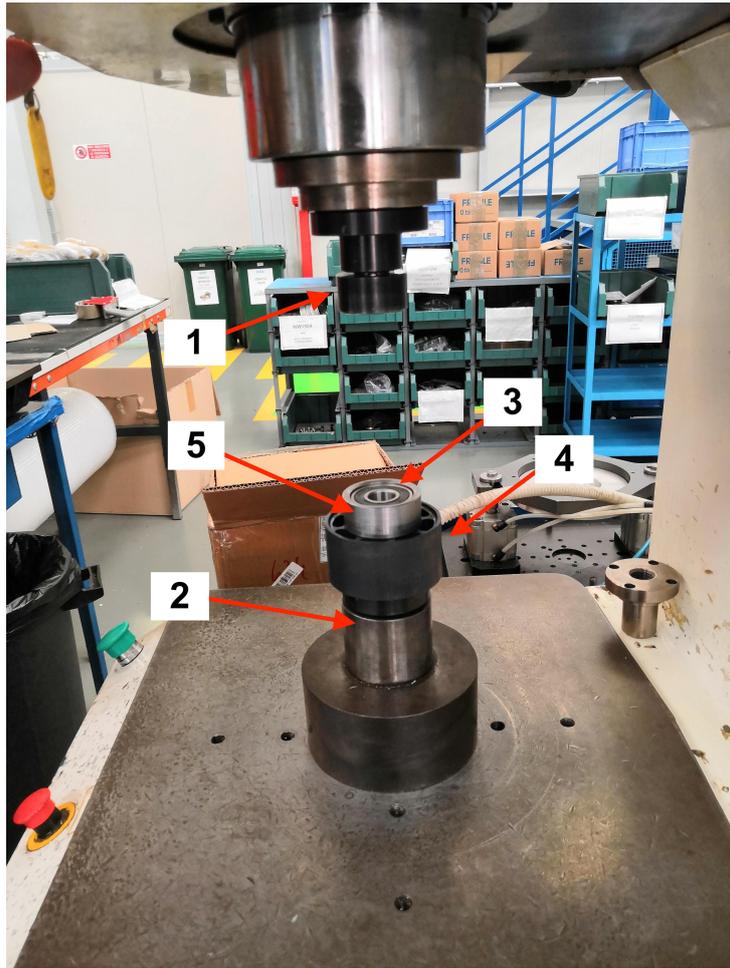


Figura 1.5: Banco di lavoro aziendale per il piantaggio

1.4 Giunzioni per deformazione plastica

Veicoli come aerei e automobili comprendono un gran numero di parti meccaniche prodotte da una varietà di processi produttivi. Le automobili sono generalmente composte da 10.000-30.000 parti e il numero di parti di un aereo è calcolato in milioni. Una tendenza nella produzione di tali prodotti è che sia il numero di parti che la loro complessità sono in aumento.

Saldatura, incollaggio e fissaggio meccanico vengono generalmente utilizzati per unire i componenti durante l'assemblaggio del prodotto. Nella saldatura per fusione, i pezzi vengono uniti mediante l'applicazione di una fonte di calore esterna che fonde il materiale attorno all'interfaccia. Sebbene l'uso della saldatura sia diffuso, le alte temperature richieste possono ridurre la qualità, l'accuratezza e l'affidabilità delle parti unite. La forza dei giunti incollati e fissati meccanicamente è quasi sempre inferiore a quella ottenuta con la saldatura. I requisiti commerciali per prestazioni più elevate, maggiore produttività e costi inferiori nelle operazioni di giunzione stanno diventando sempre più impegnativi. Inoltre, è sempre più richiesta una forte unione di materiali dissimili. Ad esempio, i fogli di acciaio ad alta resistenza e di alluminio devono essere uniti in alcuni modelli di auto attuali, per consentire la riduzione del peso. È quindi necessario identificare nuovi metodi di adesione per nuove applicazioni e materiali. La deformazione plastica nella produzione viene generalmente utilizzata nei processi di formatura per modellare le parti meccaniche e controllarne le proprietà. Tuttavia, la deformazione plastica può anche essere utilizzata per unire parti di sufficiente duttilità senza l'apporto di calore esterno. I processi di unione per deformazione plastica sono convenientemente suddivisi in due categorie, di cui si riportano alcuni esempi[2]:

1. Giunzioni metallurgiche:
 - saldatura a freddo mediante estrusione, laminazione, forgiatura, etc;
 - saldatura per attrito;
 - saldatura a resistenza.

2. Giunzioni meccaniche:
 - rivettatura;
 - clinciatura;
 - chiusure per aggraffatura o orlatura.

Nelle giunzioni metallurgiche come la saldatura a freddo o per attrito le due superfici risultano unite grazie all'elevata pressione all'interfaccia.

Nelle giunzioni meccaniche per deformazione plastica, sono sfruttati la pressione interfacciale e incastri senza effetti termici. Un esempio del primo tipo si verifica quando un tubo interno inserito in un anello esterno viene espanso plasticamente dalla pressione interna, quindi la pressione rimane all'interfaccia dopo lo scarico e i pezzi vengono uniti

meccanicamente. Un esempio del secondo tipo si verifica quando i pezzi sono incastrati meccanicamente per deformazione plastica.

Nei processi di giunzione meccanica, la deformazione plastica viene controllata al fine di generare una corretta pressione e un corretto incastro. Questo tipo di giunto è spesso usato in processi automatizzati per migliorare la produttività e ridurre i costi. In tabella 1.1 troviamo i vantaggi e gli svantaggi delle giunzioni per deformazione plastica rispetto alla saldatura.

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> ·Ampio range di materiali ·Ridotte distorsioni e stress di trazione residui ·Elevata sicurezza di processo e semplicità di controllo ·Sicurezza ambientale 	<ul style="list-style-type: none"> ·Irregolarità geometriche nel giunto ·Correzioni e riparazioni difficili ·Mancanza di standardizzazione e metodi di calcolo

Tabella 1.1: Vantaggi e svantaggi delle giunzioni per deformazione plastica

1.5 Rivettatura autoperforante e graffatura meccanica

Di seguito troviamo dei processi per la realizzazione di giunzioni per deformazione plastica utili per la comprensione delle operazioni eseguite in ambito aziendale.

La rivettatura autoperforante e la graffatura meccanica sono operazioni molto diffuse in aziende automobilistiche per il fissaggio di lamiere ad alta resistenza in alluminio e acciaio. Questi due materiali si fondono a temperature diverse per cui la saldatura per punti a resistenza non può essere utilizzata. In questi processi i fogli sono fissati meccanicamente mediante deformazione plastica controllata. Poiché i processi funzionano a temperatura ambiente, le diverse temperature di fusione non creano difficoltà.

Nella rivettatura autoperforante un rivetto tubolare viene spinto da un punzone attraverso le lamiere da accoppiare contro uno stampo che lo fa espandere nella lamiera inferiore generalmente senza che essa sia perforata (fig.1.6). Le condizioni necessarie per ottenere una rivettatura ottimale sono:

- Guida del rivetto dal foglio superiore a quello inferiore;
- svasatura del rivetto nel foglio inferiore - il rivetto deve avere la resistenza sufficiente alla penetrazione, ma anche la duttilità per la deformazione;
- evitare la frattura del foglio inferiore che potrebbe portare alla corrosione.

Nel primo brevetto, archiviato da Fuhrmeister [73], il rivetto attraversava completamente la lamiera sottostante. Tuttavia tale processo è largamente diffuso nella pratica giornaliera, sviluppata da Henrob Ltd.[96], in cui la lamiera inferiore non è completamente

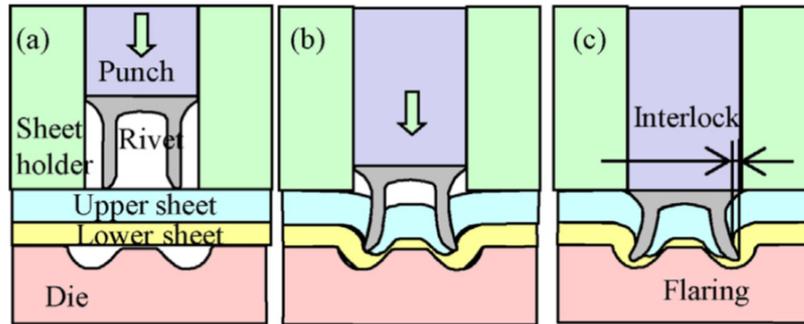


Figura 1.6: Fissaggio di lamine tramite rivettatura. (a) Inizio, (b) guida attraverso il foglio superiore, (c) formazione del blocco [2]

penetrata.

La graffatura meccanica avviene in modo simile, ma senza rivetti: il punzone deforma le lamine in uno stampo progettato affinché sia permesso il bloccaggio delle stesse nel “bottono” che si genera. Sono preferibili ai rivetti autoperforanti nel fissaggio di pannelli, in cui la giunzione mediante rivetti produrrebbe delle fessure in cui l’umidità potrebbe innescare la corrosione interstiziale.

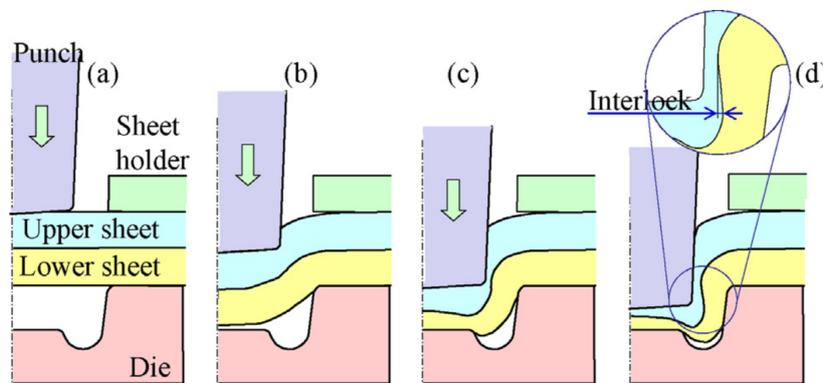


Figura 1.7: Fissaggio di lamine tramite graffatura. (a-b) Inizio, (c) compressione, (d) formazione dell’incastro [2]

La forza della giunzione è influenzata dal grado di incastro e dallo spessore della lamiera superiore nel collo.

1.6 Giunzione per deformazione plastica in Dayco

In ambito aziendale è frequente la creazione di un giunto a freddo per incrementare il fissaggio tra i componenti come perni (pivot) o come nel caso in questione pulegge che costituiscono l'alloggiamento per i cuscinetti.

Il processo avviene tramite un punzone che deforma plasticamente il componente interno (o l'alloggiamento esterno) in modo da creare uno spessore aggiuntivo di materiale incrudito che ancora i pezzi tra loro (fig. 1.10 (a)).

Troviamo di seguito una schematizzazione che rappresenta i principali componenti presenti nella lavorazione. L'utensile (componente 2) connesso alla pressa è dotato di 4 pin posti a 90° tra loro in modo da deformare la superficie della puleggia su 4 punti (1.12, figura in basso). I due cuscinetti piantati nella puleggia si trovano su un basamento (1) su cui agiscono le reazioni vincolari. L'operazione può anche essere eseguita anche inversamente come si nota in figura 1.9 con l'utensile (1) posto sul basamento (2) su cui agiscono le reazioni vincolari e la puleggia centrata sui 4 pin che viene a contatto con la pressa.

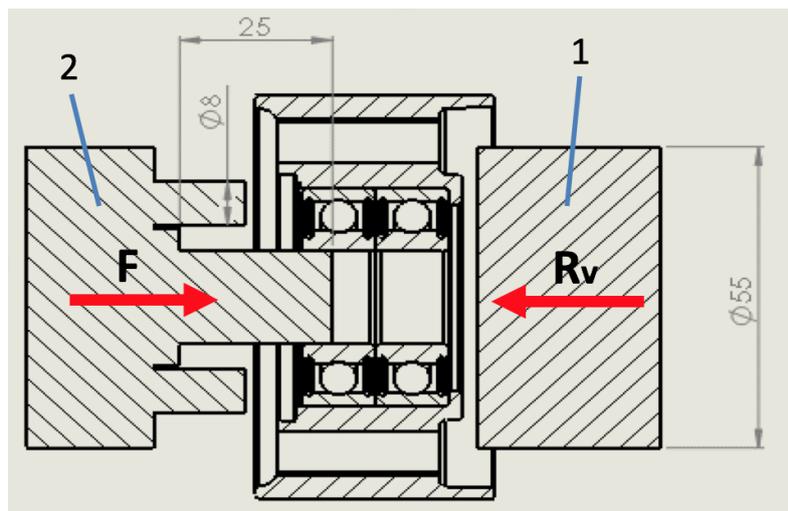


Figura 1.8: Schema forze nell'operazione di giunzione a freddo

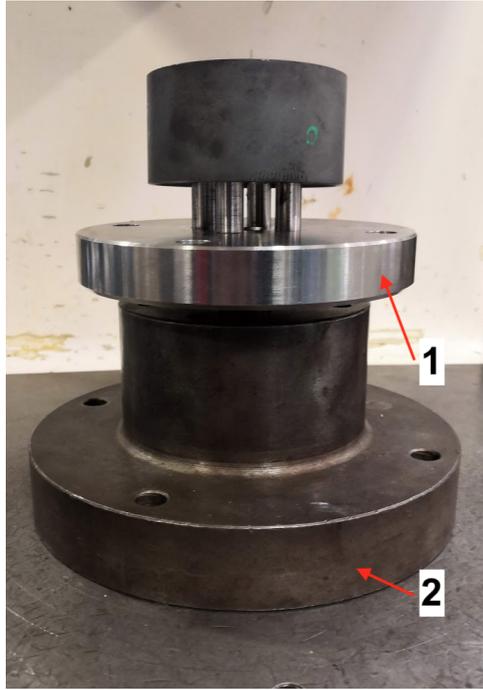


Figura 1.9: Attrezzatura per la realizzazione della giunzione a freddo

In figura (fig. 1.10) si nota il risultato dell'operazione, in cui la penetrazione dei pin ha deformato plasticamente la superficie, creando un ingombro e quindi un' interferenza maggiore tra le superfici. In figura 1.11 è rappresentato un particolare di perno fissato nell'alloggiamento. A sinistra si nota una giunzione incorretta a causa di un carico inappropriato, a destra una corretta esecuzione.



Figura 1.10: Particolare del risultato dell'operazione di giunzione a freddo

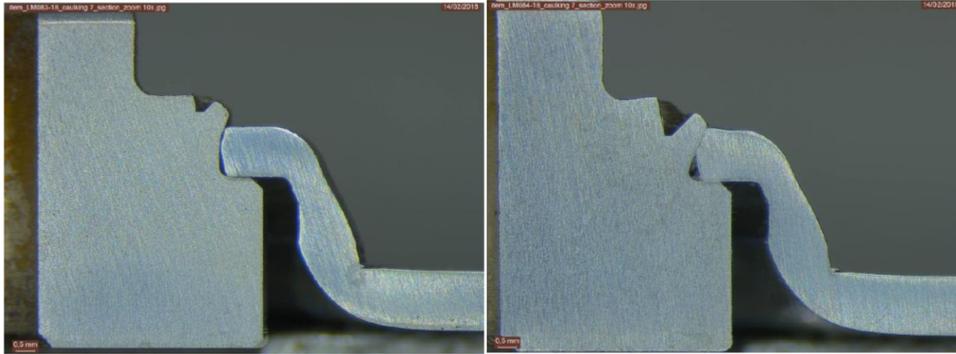


Figura 1.11: Particolare di perno e alloggiamento cianfrinato

Le condizioni per la corretta esecuzione dell'operazione sono:

- creazione del bloccaggio controllando la deformazione plastica della puleggia;
- evitare la frattura del materiale lavorato.

I vantaggi di questo tipo di operazione sono:

- breve tempo di esecuzione del processo;
- lunga durata del componente assemblato;
- semplicità dell'operazione

1.6.1 Test di validazione di componenti piantati e cianfrinati

I componenti fissati per piantaggio e giunzione a freddo sono sottoposti a due possibili test che ne garantiscono il corretto funzionamento. Questi sono:

- "Push-off test", ossia prove di spiantaggio per carichi assiali;
- "Torque-out test", ossia test con carichi torsionali.

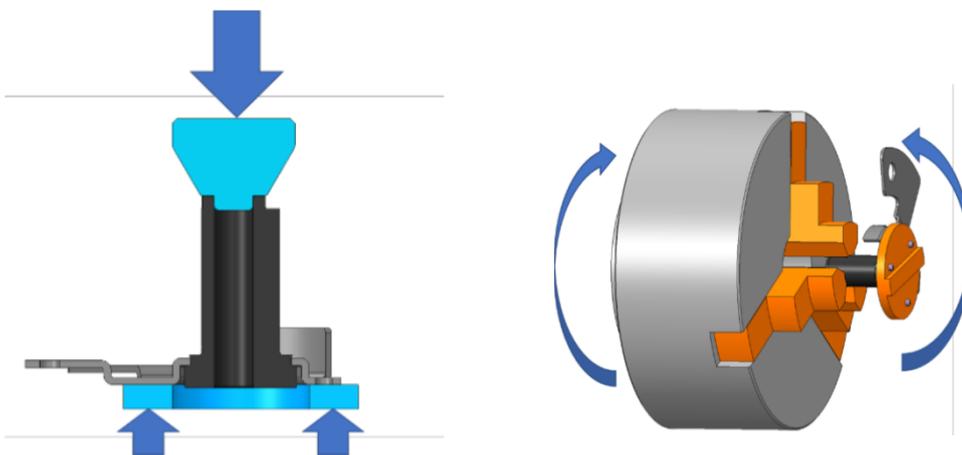


Figura 1.12: (a): Prova di spiantaggio (b): Prova di torsione

Il primo è effettuato con una servo pressa, controllando carico e spostamento; il secondo tramite un torsionometro monitorando la coppia e lo spostamento angolare. I due processi sono costituiti da due fasi principali:

- Applicazione di un carico massimo L_t (o coppia massima C_t) e valutazione dello spostamento relativo tra i componenti;
- Applicazione di uno spostamento e valutazione del carico o coppia massima a cui resiste il giunto.

Gli step da seguire sono i seguenti:

1. Scelta del componente più critico da testare (ad esempio con condizioni di accoppiamento di minimo materiale);
2. misura delle posizioni iniziali dei componenti;
3. applicazione del carico target (L_t o C_t , in base alle specifiche tecniche) con una velocità di 1 mm/s o 1 grado/s ;
4. misura dello spostamento relativo (S_r) (o rotazione relativa R_r) tra i componenti e confronto con i dati grafici. La prova è superata se questi soddisfano la condizione: **$S_r < 0.1\text{ mm}$ $R_r < 0.5^\circ$** ;
5. applicazione allo stesso componente, di uno spostamento (o rotazione) relativo tra i componenti di una quantità significativa alla geometria del pezzo alla velocità di 1 mm/s e valutazione del carico o coppia massimi: L_{max} , C_{max} .

1.7 Generalità sulle presse

Per poter svolgere le operazioni descritte nei paragrafi precedenti, occorrono forze di pressione notevoli, che solo le presse possono fornire. Nel corso degli anni lo studio ingegneristico si è adoperato per trovare mezzi sempre più efficienti e convenienti per spingere, ruotare, pressare e controllare i carichi. Le presse sono ampiamente utilizzate per raggiungere questo obiettivo. Queste, come definito da Lange (1975), sono macchine utensili che esercitano pressione. Possono essere classificate in due categorie principali: presse idrauliche che operano sui principi della pressione idrostatica e presse meccaniche che utilizzano il collegamento cinematico di elementi per trasmettere energia.[5] A queste due categorie, occorre aggiungere la categoria delle servo-presse sempre più presenti nelle industrie moderne.

1.7.1 Presse meccaniche

La pressa meccanica è caratterizzata dal fatto che il movimento della slitta è ottenuto mediante meccanismi (biella-manovella, eccentrico, a vite e articolazione con giunti a cerniera) posti in rotazione da un motore elettrico, sfruttando l'energia di un volano.

I principali componenti di una pressa meccanica sono: il motore elettrico (motor), il volano (flywheel), frizione (clutch) e freno (brake), pignone (pinzino gear), ruota principale (main gear), albero a gomiti (crankshaft) e slitta (slider).

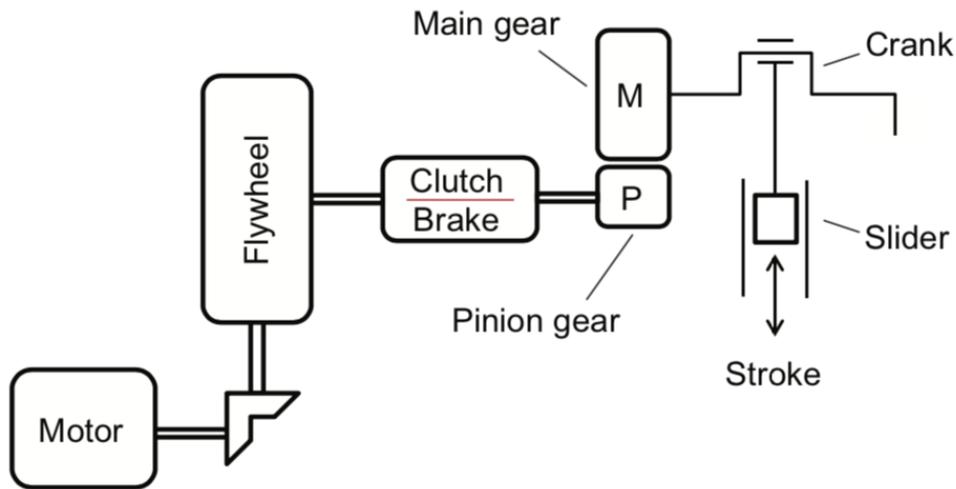


Figura 1.13: Struttura pressa meccanica [3]

Queste presse offrono la massima capacità di carico solo ad una certa distanza dal P.M.I. (punto morto inferiore). Purtroppo, a causa della trasmissione meccanica, la potenza non può essere elevatissima ma ciò non impedisce il loro largo utilizzo per le grandi produzioni. Le presse meccaniche, come anche gran parte di quelle idrauliche, rientrano in due grandi tipologie:

- struttura aperta;
- struttura chiusa.

I sistemi di trasmissione, le frizioni, i freni, i sistemi di contrappeso, le caratteristiche elettriche, idrauliche e pneumatiche sono simili per le due categorie di strutture. Il tipo e le dimensioni della macchina selezionata sono principalmente determinate dal lavoro da svolgere.

La caratteristica principale delle macchine a struttura chiusa (1.14,a) è l'apertura a forma di C. Per questo motivo, vengono anche chiamate presse a C. Questa gola permette l'accesso alla matrice da tre lati. Ciò permette di:

- eseguire operazioni di pressatura sugli angoli e sui lati di grandi fogli di materiale;

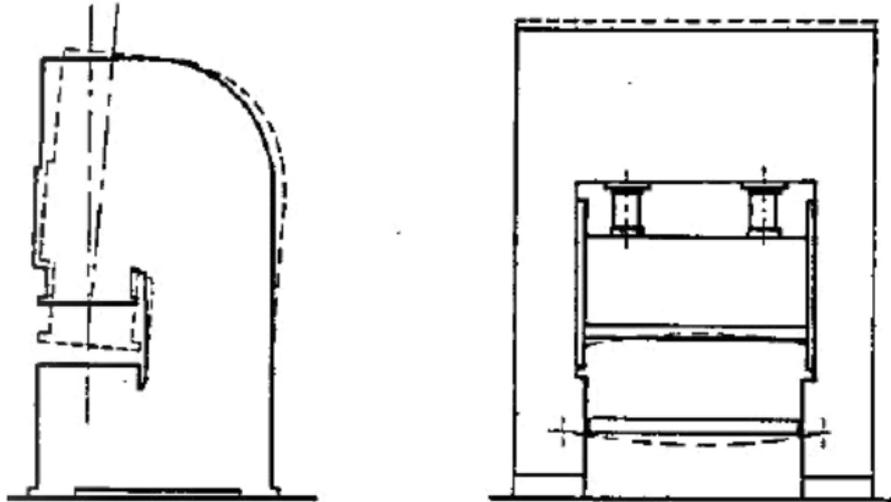


Figura 1.14: Esempio di: a) pressa a struttura chiusa; b) pressa a struttura aperta [4]

- scaricare facilmente di pezzi finiti e scarti;
- sostituzione rapida degli utensili;

Lo svantaggio principale delle presse di questo tipo è che vi è un disallineamento angolare inevitabile che si verifica sotto carico. Limitare la quantità di disallineamento angolare richiede una costruzione molto robusta, che si aggiunge al peso e al costo della macchina.

Le presse a struttura aperta sono costituite da due montanti posti ai lati della macchina. Questi insieme al basamento inferiore e alla corona superiore formano uno stabile alloggiamento per l'albero motore, la slitta e gli altri componenti meccanici della macchina. L'assenza della deflessione angolare sotto carico è una delle ragioni per scegliere una pressa a montante (struttura aperta) piuttosto che a struttura chiusa.

Tipologie di meccanismi

Si è precedentemente affermato che tali presse utilizzano per il movimento della slitta sistemi di trasmissione meccanica. Fondamentalmente si hanno il tipo a vite, a eccentrico, a biella manovella e ad articolazione.

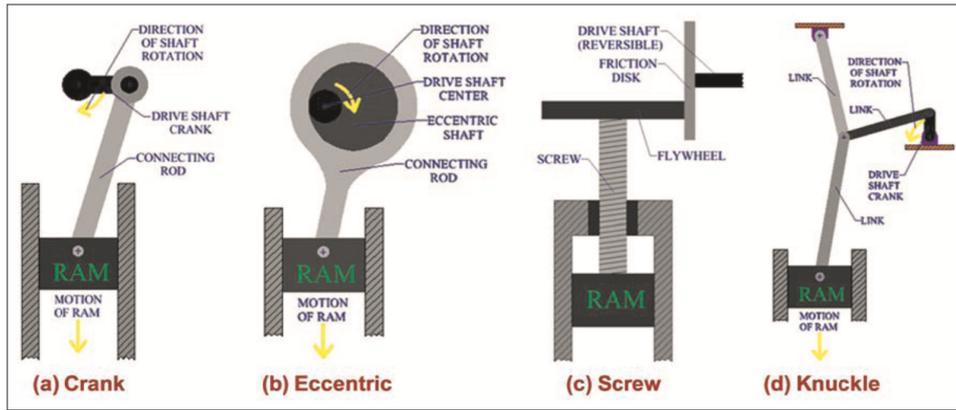


Figura 1.15: Principali tipi di meccanismi di pressa meccanica: a) biella-manovella; b) eccentrico; c) a vite; d) articolazione con giunti a cerniera [3]

Le presse a manovella ed eccentriche fig. 1.15 a, con l'uso di un collegamento a manovella, albero a gomiti (eccentrico) o ingranaggio eccentrico, sono i tipi di presse più comunemente utilizzati a causa dei vantaggi di semplicità, alta produzione e precisione. La pressa a manovella consente di percorrere distanze relativamente lunghe. Il meccanismo di manovella può essere utilizzato come azionamento diretto o azionamento indiretto. I servomotori a bassa velocità e coppia più elevata forniscono trasmissione diretta senza cinghia, leverismi o azionamenti a vite a ricircolo di sfere. Le presse a manovella servono per estrusione, imbutitura, piegatura, sgrossatura, tranciatura e coniatura.

Le tipologie con meccanismo a snodo e articolazione fig. 1.15 d, sono simili alle presse a manovella in cui la forza della manovella viene trasferita al cursore aggiungendo un giunto a snodo nel meccanismo a manovella. Vengono utilizzati per operazioni che richiedono forze elevate e corse brevi, come la coniatura.

La pressa a vite 1.15 c, utilizza l'energia di rotazione del motore. Un disco di frizione viene utilizzato per trasmettere il moto alla vite che spinge la slitta. Le presse a vite sono relativamente lente e richiedono un contatto più lungo con il lavoro e producono una forza costante nel caso di corsa lunga. I servomotori possono essere montati su presse a vite e fornire un utile controllo della corsa. Le presse a ricircolo di sfere sono più costose.

Questi tipi di meccanismi trovano impiego anche nelle servopresse.

1.7.2 Pressa idraulica

Nelle presse idrauliche la generazione, trasmissione e amplificazione della forza è effettuata da un fluido in pressione. Il sistema fluido esibisce le caratteristiche di un solido e costituisce un mezzo rigido di trasmissione e amplificazione di potenza. In una semplice applicazione, un pistone più piccolo trasferisce fluido ad alta pressione a un cilindro avente un'area di pistone più grande, amplificando così la forza. C'è una facile trasmissibilità di una grande quantità di energia con un'amplificazione della forza. La figura ?? mostra un diagramma semplificato e il principio di funzionamento.

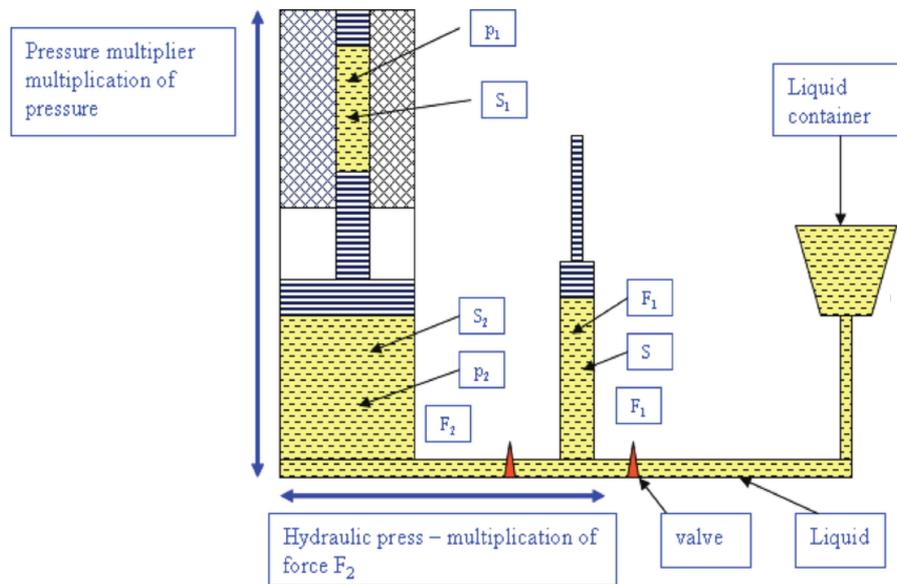


Figura 1.16: Schema e principio di funzionamento della pressa idraulica [7]

Una tipica pressa idraulica è costituita da una pompa che fornisce la forza motrice al fluido che è il mezzo di trasmissione della potenza attraverso tubi e connettori idraulici, da dispositivi di controllo e dal motore idraulico che converte l'energia idraulica in lavoro utile.[5] Il funzionamento di un sistema idraulico comprende la conversione, la trasmissione e il controllo di energia. L'energia meccanica viene trasformata in energia idraulica, quindi l'energia idraulica viene riconvertita in energia meccanica. Questa conversione di energia è fatta da componenti idraulici. In figura 1.17 troviamo i principali componenti di un sistema idraulico a sinistra e la loro schematizzazione a destra.[6]

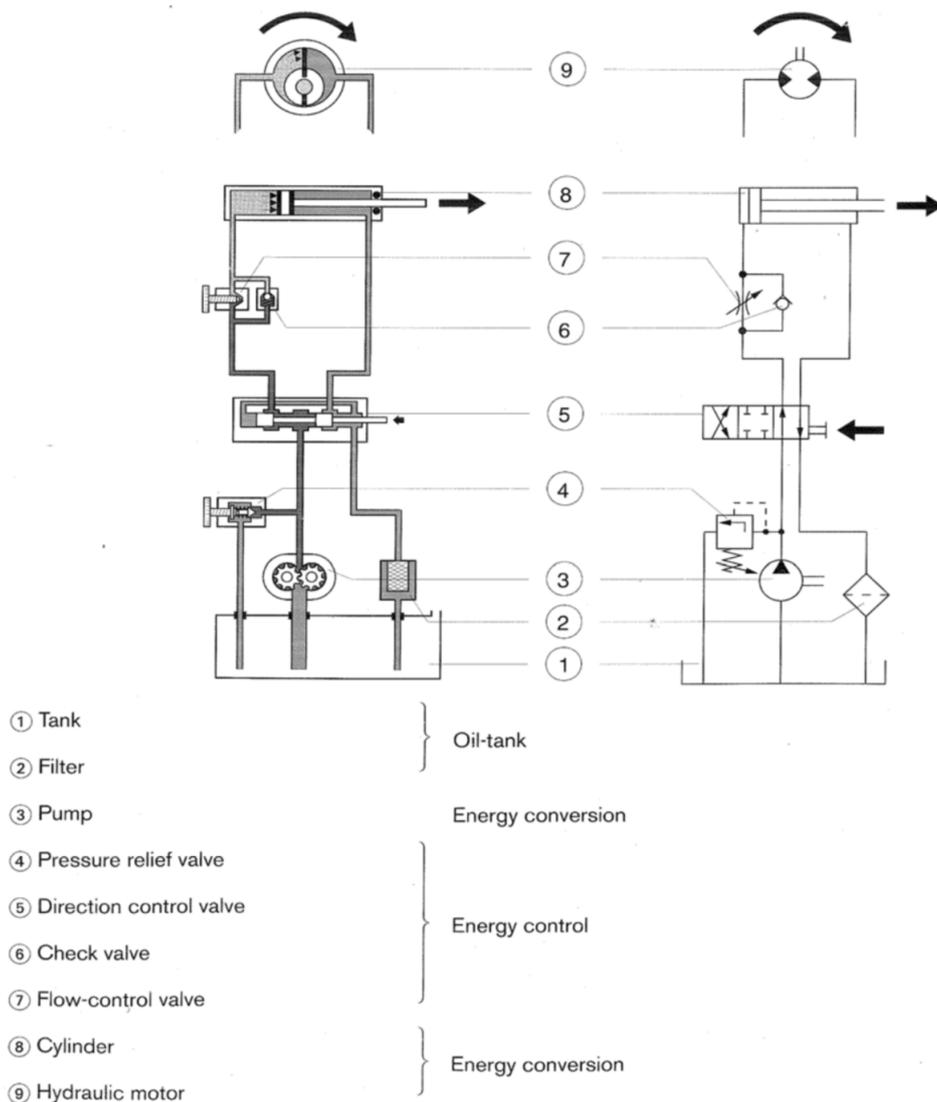


Figura 1.17: Principali componenti di un sistema idraulico

1.7.3 Caratteristiche delle servo-presse e confronto con presse meccaniche e idrauliche

In alternativa alle presse convenzionali (meccaniche) e idrauliche, le servo-presse sono sempre più utilizzate nelle industrie manifatturiere. Dal punto di vista tecnologico, le servo presse offrono diversi vantaggi.

Le presse idrauliche hanno una corsa controllata in modo che possano sviluppare il pieno carico a qualsiasi velocità e in qualsiasi punto della corsa. Inoltre, la slitta può invertire il moto o soffermarsi in ogni punto della corsa. Nonostante non sia controllabile e funzioni con dati di movimento costanti, la velocità di processo nelle presse meccaniche convenzionali è più veloce di quella nelle presse idrauliche.

In generale, le presse meccaniche mostrano un consumo energetico inferiore rispetto alle presse idrauliche. Le servo presse incorporano le migliori caratteristiche delle presse idrauliche (ossia flessibilità e pieno carico in qualsiasi momento) e le presse meccaniche convenzionali (ossia precisione e affidabilità). Inoltre, hanno caratteristiche strutturali più semplici e forniscono un ambiente di lavoro silenzioso. I loro tassi di produzione sono più alti rispetto alle presse meccaniche idrauliche e convenzionali [25,26]. In una servo pressa, l'energia viene consumata solo quando la pressa è in movimento. Questo è un vantaggio rispetto a una pressa convenzionale in cui, anche quando non è in funzione, l'energia viene utilizzata per la rotazione del volano.

Il motore nelle presse meccaniche convenzionali viene montato sul pignone tramite volano, frizione e freno, come illustrato nella Figura 1.21. Nelle servo presse, il motore può essere montato direttamente sul pignone in quanto i servomotori sono controllabili, fornendo qualsiasi coppia in qualsiasi momento.

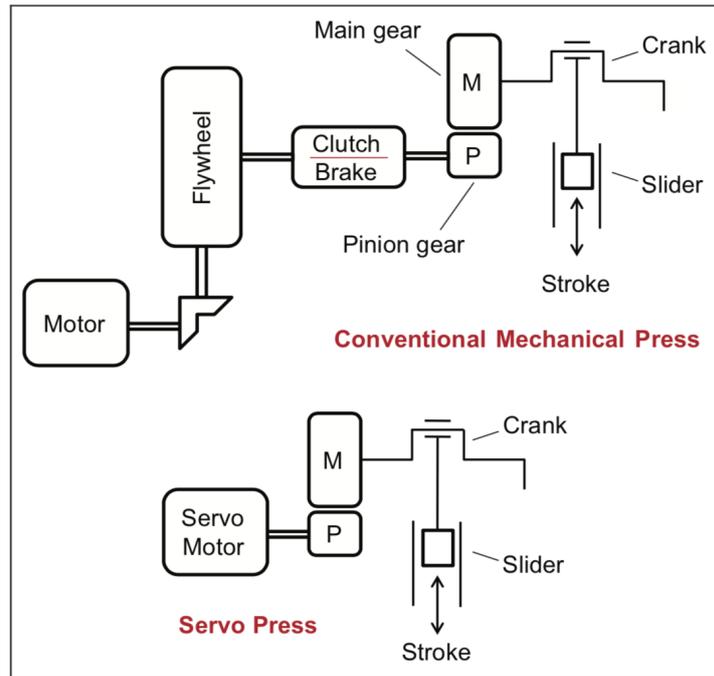


Figura 1.18: Schema costruttivo di una pressa meccanica e servopressa [3]

Le capacità dei meccanismi esistenti nelle presse meccaniche convenzionali (a vite, biella-manovella e articolazione con giunti a cerniera) sono intensificate nelle servo presse.[3]

Le servopresse sono dotate di un' unità di controllo logico opportunamente programmata che gestisce il ciclo di lavoro della pressa, modulando la velocità di discesa dello stelo di pressatura ed analizzando durante le fasi di lavoro i valori misurati dai trasduttori, encoder e sensore forza. I valori dello spostamento e della forza vengono utilizzati dal software installato nel controllo logico per generare un modello matematico (forza VS posizione) che viene generato in ogni ciclo di lavoro. Ogni modello matematico generato dal sistema viene comparato con un modello campione memorizzato nel software o monitorato da finestre di controllo. Il modello matematico campione corrisponde ai valori assunti nel processare un prodotto qualitativamente perfetto. Se i valori del modello matematico memorizzato corrispondono con quelli rilevati ogni ciclo significa che il prodotto processato è stato eseguito con gli stessi parametri qualitativi. Questo sistema, comunemente chiamato Statistical process control (SPC), permette di verificare gli standard qualitativi durante il ciclo produttivo in tempo reale e di individuare le difettosità immediatamente.

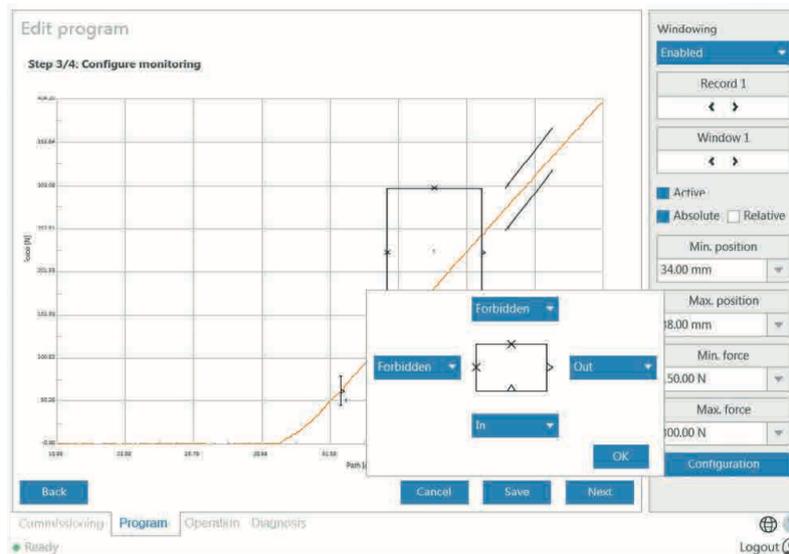


Figura 1.19: Esempio di finestre di controllo su servopressa

I vantaggi operativi in termini di tempi di lavoro e qualità di funzionamento sono:

- Il carico d'impatto è ridotto controllando la velocità di contatto;
- Il rumore viene ridotto mediante lubrificazione idonea, impatto minimo e arresto del movimento della slitta;
- La precisione del prodotto può essere migliorata stabilendo le caratteristiche di movimento ottimali e il controllo del movimento della slitta;
- L'area operativa (cioè il volume strutturale) di una pressa servo è più piccola di altri tipi di pressa;
- Per particolari linee di prodotto possono essere operare in modo sincronizzato.

I vantaggi finanziari nell'uso delle servopresse sono di grande importanza:

- La durata dell'utensile è estesa grazie alla lubrificazione adeguata e alle condizioni minime di impatto;
- Gli scarti sono ridotti man mano che viene migliorata la precisione del prodotto;
- Maggiore produttività e minimo tempo di lavoro. Ciclo di funzionamento più breve possibile aumentando la velocità di ritorno e sincronizzando la linea del prodotto;
- Il consumo di energia può essere controllato e ridotto quando il motore viene arrestato con il controllo del movimento della slitta (start-stop).

1.7.4 Strutture di servo presse industriali

Sono di seguito presentati degli esempi tipici servo presse sviluppati dai principali produttori: Muratec ha sviluppato una pressa a vite a ricircolo di sfere (serie BB), come mostrato nella Figura 23, per offrire alta velocità, alta produttività e alta capacità. Questa è costruita sulla base di una pressa a vite convenzionale ed è costituita principalmente da un servo motore AC (AC servo motor), riduttore (reduction gears), puleggia e vite a ricircolo di sfere (ball screw). Il movimento rotatorio viene trasmesso dalla puleggia destra a sinistra attraverso una cinghia sincrona (timing belt).

Raggiunge una velocità di 100 mm/s e ha un'elevata accuratezza grazie al sistema della vite a ricircolo di sfere e del servo motore AC.

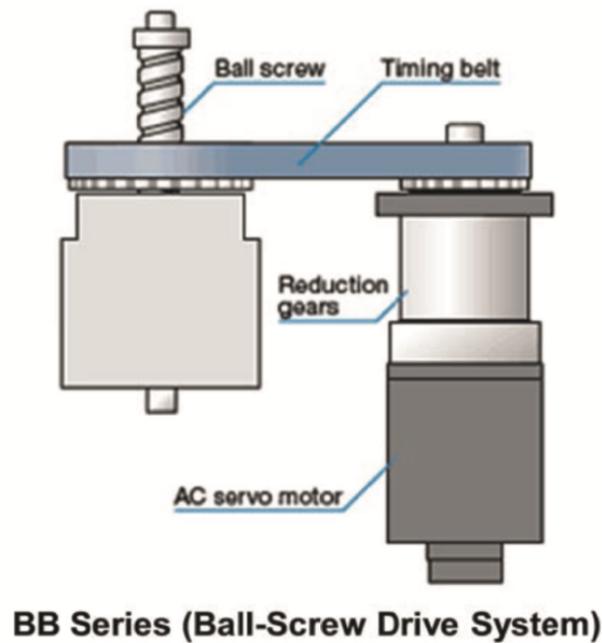


Figura 1.20: Schema di comando della servo pressa Muratec [3]

AIDA50 ha prodotto servo presse fino a 300 tonnellate per unità per cui il consumo di energia è paragonabile alle convenzionali presse meccaniche. Le caratteristiche della tecnologia ServoPro di AIDA (Figura 15) sono l'alta velocità e bassa coppia.

La pressa adotta un sistema di trasmissione diretta senza frizione, volano e cinghie. L'energia non è correlata alla velocità nelle presse meccaniche quindi si ha elevato consumo di energia anche a velocità molto basse. Quando il servo motore in ServoPro è inattivo, l'energia viene immagazzinata in grandi condensatori in modo che possano fornire supporto energetico quando il motore è in attività. La massima capacità (23.000 kN) è alimentata da quattro servomotori. Per una pressa su larga scala, sono collegati più motori all'albero motore. Quando la coppia dei motori viene trasmessa tramite ingranaggi, la perdita di energia aumenta.

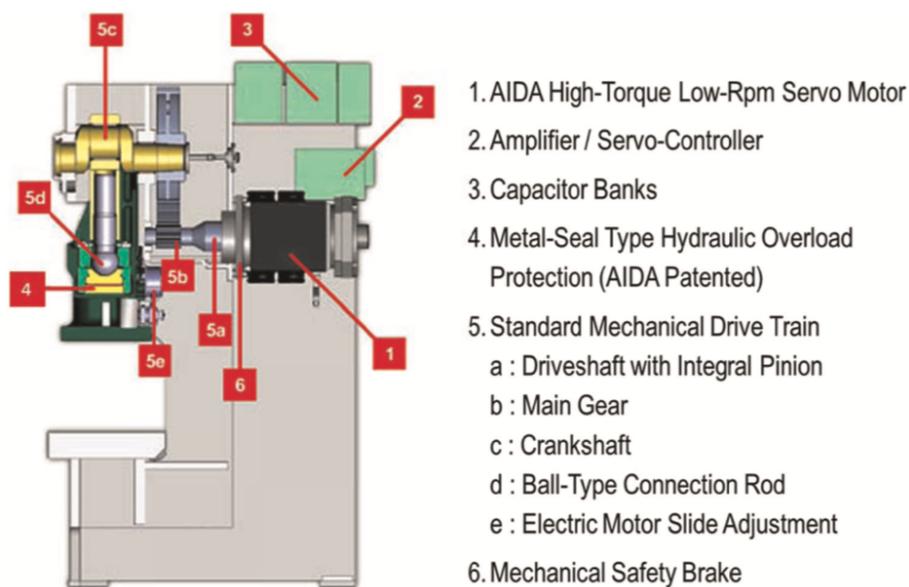


Figura 1.21: Schema di servo pressa ad azionamento diretto AIDA [3]

1.8 Presse utilizzate nel reparto prototipi Dayco

In ambito aziendale, nel reparto dei prototipi, la maggior parte delle operazioni sono svolte tramite le presse manuali, servo elettriche e oleodinamiche. Escludendo le prime, di raro utilizzo, ci si sofferma sulle ultime due tipologie.

In particolare si cerca di evidenziare come per determinati processi, non sempre è necessario ricorrere alle presse idrauliche, bensì sarebbe efficiente sfruttare la versatilità di quelle elettriche.

Di seguito è stata eseguita una breve panoramica sui due tipi di pressa presenti in azienda, nel reparto prototipi:

- Pressa idraulica LM.T

- Pressa elettrica LM.T

1.8.1 Pressa idraulica LM.T

La pressa idraulica utilizzata è un tipo di pressa con funzionamento semi automatico con operatore addetto al carico/scarico ed automatico su linee. Questa è in grado di eseguire il piantaggio di uno o più elementi con controllo forza/spostamento e segnalare esito positivo o negativo dell'operazione in automatico. Le operazioni di posizionamento pezzo, avvio ciclo e prelievo pezzo vengono fatti in manuale.

La pressa è costituita principalmente da:

- *Centralina oleoidraulica* collegata, tramite i tubi rivestiti, in tutte le zone ad azionamento meccanico della pressa. È costituita da una pompa immersa, azionata da un motore asincrono trifase, che manda in pressione l'olio, un manometro per il controllo della pressione, un ulteriore motore asincrono trifase che aziona l'impianto di refrigerazione ed uno scambiatore di calore;
- *serbatoio*: recipiente di capacità adeguata che serve a dissipare il calore generato durante il funzionamento del macchinario. All'interno del serbatoio è posizionato un sensore per il controllo di pressione e della temperatura dell'olio;
- *cilindri idraulici*: trasformano l'energia prodotta dalla pompa in energia meccanica;
- *valvole idrauliche e regolatori di pressione* per il controllo della pressione del fluido motore (pressione massima, perdite di pressione) e valvole per il controllo della portata (di non ritorno, di regolazione e di distribuzione). Grazie all'utilizzo dei regolatori si riesce a dare una logica di funzionamento all'impianto idraulico, garantendone la sicurezza;
- *fluido motore* ha la funzione di trasportare l'energia dal generatore all'utilizzatore (in questo caso il pistone); inoltre l'olio motore ha la funzione di lubrificare le giunzioni degli elementi meccanici e asportare calore.

Di seguito sono riportate delle foto della suddetta pressa e dei suoi componenti.

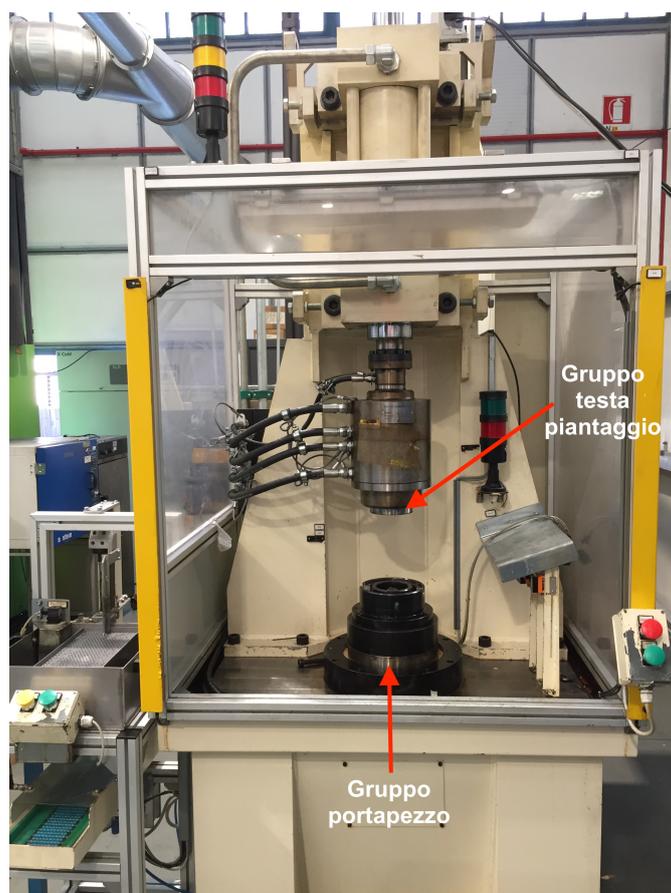


Figura 1.22: Pressa idraulica per piantaggio

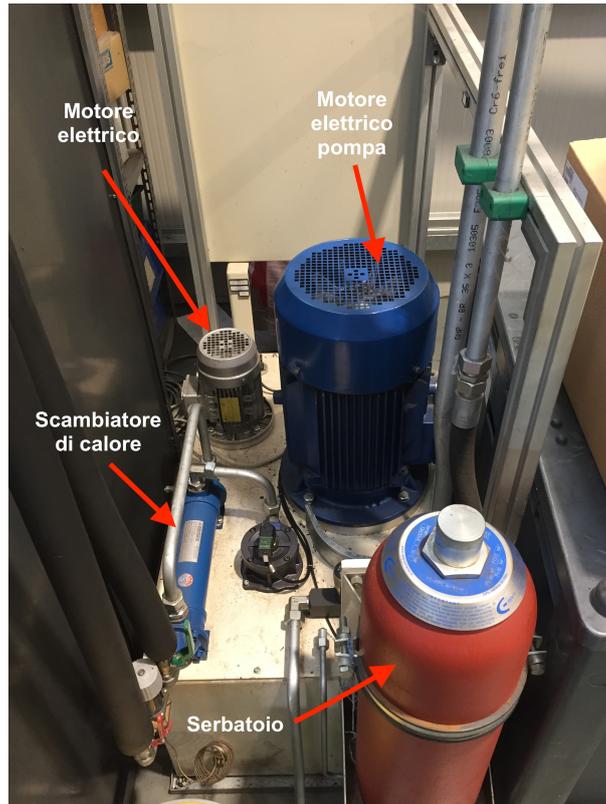


Figura 1.23: Particolare pressa idraulica: centralina



Figura 1.24: Particolare pressa idraulica: gruppo valvole, regolatori di pressione e gruppo refrigeratore

La macchina, per il suo funzionamento, necessita di allacciamento alla rete elettrica e pneumatica, dalle seguenti caratteristiche:

- Tensione alimentazione 400 V_{ac} ;
- frequenza 50 Hz;
- Alimentazione pneumatica : 6 bar.

Vantaggi e svantaggi La pressa idraulica generalmente non raggiunge le velocità di ciclo di una pressa elettrica tuttavia rappresenta la scelta migliore quando si producono pezzi di forme complesse e che necessitano pressioni elevate. Sono molto diffuse poiché la tecnologia è consolidata e il costo iniziale è contenuto. Di contro uno dei principali svantaggi è rappresentato dai costi di manutenzione: l'olio motore perde la sua viscosità dopo 8000-9000 ore di lavoro e occorre sostituirlo. Questo oltre ad aumentare i costi di manutenzione ha un impatto ambientale negativo causato dallo smaltimento di tale fluido. In aggiunta anche gli attuatori e i componenti della centralina necessitano una continua manutenzione per evitare fenomeni di trafilamento e malfunzionamento. È indispensabile la manutenzione preventiva perché se si verificano perdite d'olio non visibili ad occhio nudo, oltre a perdere efficienza nella produzione, si può anche venire meno alla sicurezza degli operatori.

Altri aspetti negativi riguardano l'inquinamento acustico che produce la macchina, gli ingombri e la minore precisione e ripetibilità rispetto ad una pressa elettrica.

1.8.2 Pressa elettrica LM.T

La pressa elettrica viene utilizzata per eseguire il piantaggio e la giunzione a freddo con controllo forza/spostamento.

Il sistema è principalmente costituito da un motore Brushless AC che aziona la vite di precisione a ricircolo di sfere. La madrevite che esegue il movimento verticale è la base del punzone al quale viene attaccato l'utensile. La cella di carico incorporata misura in tempo reale la forza e un encoder magnetico monitora la corsa.

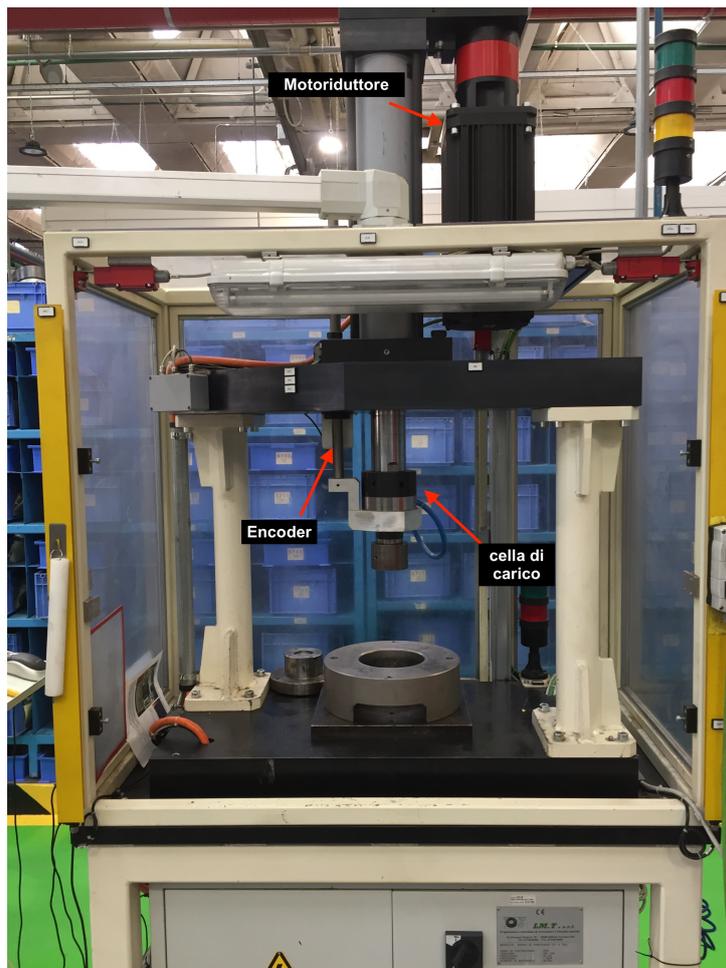


Figura 1.25: Pressa elettrica LM.T da 10 Ton

Vantaggi e svantaggi Gli svantaggi prima descritti per una pressa idraulica sono i punti di forza di una pressa elettrica:

- riduzione dei costi di produzione: utilizzo di circa il 75% in meno di energia;
- aumento dell'efficienza produttiva;
- maggior ripetibilità, precisione;
- minori rumorosità e ingombri.

Gli svantaggi che possono incidere sulla scelta di un materiale elettrico sono i costi di investimento più elevati rispetto ad una pressa idraulica che genera la stessa potenza e la manutenzione straordinaria, più costosa rispetto alla pressa idraulica ma meno frequente.

Capitolo 2

Introduzione all'attrezzatura

L'idea del prototipo nasce a seguito di indagini sul rendimento delle macchine e su tempi di processo e su come impiegare al meglio le risorse aziendali cercando di incrementare la flessibilità delle macchine. Questa, insieme ai costi e alla qualità del prodotto sta diventando uno dei principali aspetti nelle strategie delle industrie manifatturiere. I cicli produttivi stanno diventando sempre più compressi e si cerca di sfruttare al meglio le risorse presenti in azienda.

Si è considerato che per svolgere semplici operazioni quali il piantaggio e la giunzione a freddo, fosse opportuno accorpare in un'unica fase due operazioni svolte da due macchine distinte. Attualmente il processo consiste in due step: con una prima corsa della macchina viene eseguito il piantaggio e dopo la sostituzione dell'utensile, viene eseguita la giunzione a freddo. D'altro canto, accorpare i due processi utilizzando un'unica pressa idraulica che esegua entrambe le operazioni in un tempo minore non risulta una soluzione ottimale poiché se da un lato i tempi di processo si riducono, dall'altro si presentano gli aspetti negativi descritti nel capitolo precedente inerenti ai costi (energetici e di manutenzione), rumorosità, precisione e ripetibilità.

La necessità è quella dell'accorpamento dei processi in un'unica corsa della servo pressa, evitando di modificare la postazione di lavoro durante l'operazione. Per eseguire le diverse operazioni con un solo strumento è stata progettata, realizzata e testata un'attrezzatura ad hoc che sia in grado di suddividere il carico proveniente dalla pressa e di scaricarlo sui diversi componenti adibiti al piantaggio e alla giunzione a freddo. Risulta facile eseguire questa scomposizione, sfruttando il principio di Pascal.

2.1 Principio di funzionamento

Per eseguire il piantaggio e la giunzione a freddo sono richieste forze differenti. Occorre quindi ripartire il carico rilasciato dalla pressa in modo da ottenere le forze desiderate. Si sfrutta quindi il principio di Pascal il quale stabilisce che la pressione esercitata su un fluido incomprimibile viene trasmessa inalterata in ogni suo punto e sulla camera in cui è contenuto.

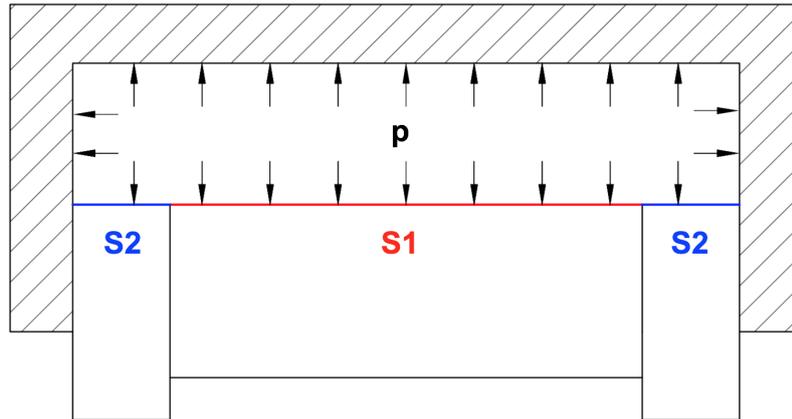


Figura 2.1: Schema principio di funzionamento

La camera dell'attrezzatura contiene del fluido ad altissima viscosità, trattabile come incomprimibile. Questo è da tre lati contenuto nella carcassa esterna, mentre sul quarto è a contatto con due superfici: S_1 , una regione circolare; S_2 , una corona circolare. La legge di Pascal garantisce che sulle superfici S_1 e S_2 si ha la stessa pressione:

$$p_1 = p_2 = p.$$

Grazie alla definizione di pressione come rapporto tra forza e superficie, su S_1 e S_2 si avrà:

$$F_1 = p \cdot S_1,$$

$$F_2 = p \cdot S_2.$$

Ad una superficie maggiore corrisponderà una forza maggiore.

2.2 Ideazione design

L'idea di partenza si basa su un'attrezzatura già utilizzata in ambito aziendale per effettuare il doppio piantaggio, rappresentata in figura 2.2.

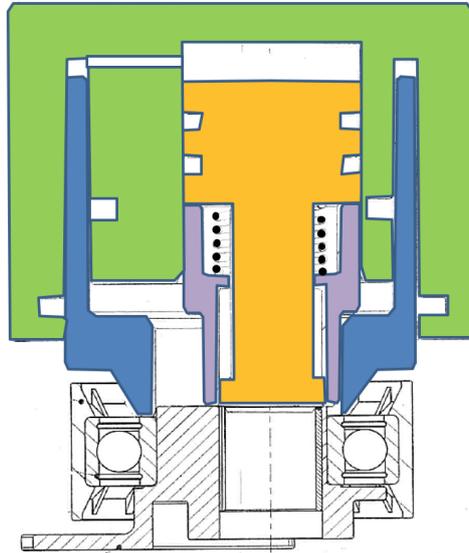


Figura 2.2: Attrezzatura per il doppio piantaggio

Questa è costituita da una carcassa esterna, in verde, che racchiude diversi componenti:

- un pistone esterno, in blu, per il piantaggio del cuscinetto;
- un pistone interno in giallo, per il calettamento forzato di altri componenti all'interno del foro passante;
- un supporto in viola per la molla, utile per riportare il pistone interno alla posizione di partenza.

Entrambi i pistoncini sono a contatto con del fluido contenuto in due camere sovrastanti e in comunicazione tra loro. L'attrezzo sfrutta il principio di Pascal, infatti le aree dei pistoncini a contatto con il fluido sono di dimensioni diverse proprio per ottenere una diversa distribuzione dei carichi. Lo strumento ha una sua eccentricità poiché è adattato al pezzo da lavorare.

In questa attrezzatura si sono riscontrati grossi problemi di perdite di fluido di lavoro e difficoltà nel montaggio. Si è notato infatti che una volta riempite le camere di olio siliconico ad alta viscosità ($\mu = 60000 \text{ mm}^2/\text{s}$), questo iniziava a trafilare dopo pochi cicli di lavoro, sporcando sia lo strumento che i pezzi finiti.

Si cerca dunque un'attrezzatura con un funzionamento simile, ma che sia più semplice dal punto di vista costruttivo, che non comporti trafile e che abbia una struttura assialsimmetrica.

Si è quindi riadattata la geometria in relazione alle operazioni da eseguire e ai componenti da lavorare. Il design del modello di partenza dello strumento è costituito da 5 parti fondamentali: una carcassa esterna (1), un blocco di giunzione a freddo (2) nella cui

parte inferiore si avvitano i 4 pin (3), un pistone centrale di piantaggio (4) connesso sulla parte inferiore ad un blocco di centraggio (5). Inoltre una membrana (7) separa la camera (6) contenente il fluido di lavoro dalle superfici dei pistoni. La camera in cui è presente il fluido idraulico è unica a differenza dello strumento per il doppio piantaggio. Si è inoltre interposta una membrana allo scopo di prevenire totalmente i trafiletti. Sebbene con

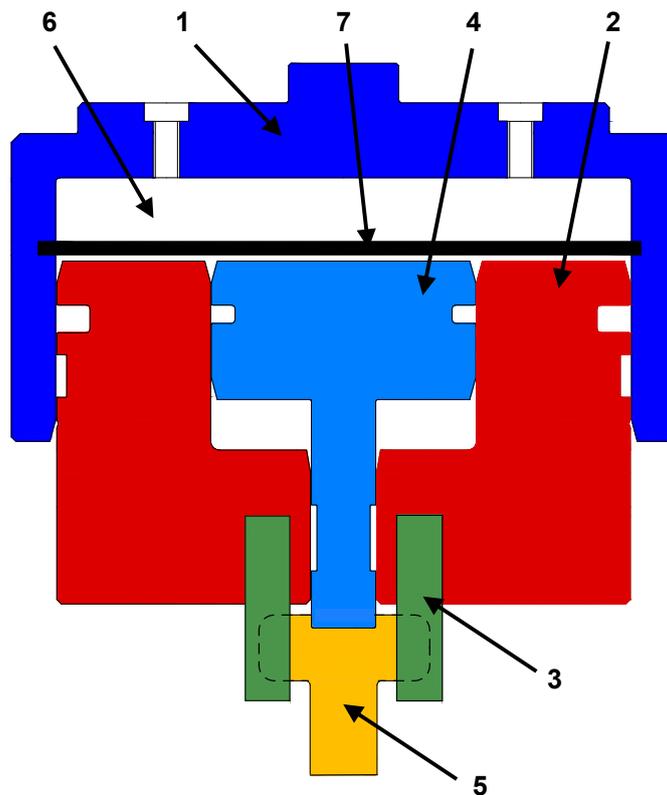


Figura 2.3: Design con sistema divisorio a membrana

questa configurazione si elimini ogni trafiletto, i punti deboli sarebbero i seguenti:

- Difficile inserimento e sostituzione del fluido idraulico. Essendo la membrana ancorata nella gola ricavata nella carcassa, il riempimento della camera avverrebbe attraverso i due fori filettati presenti nella parte superiore della copertura esterna;
- isteresi della membrana in gomma ridurrebbe la precisione dello strumento;
- difficile fissaggio e rimozione della membrana;
- difficoltà nella realizzazione della gola nella carcassa e nel bloccaggio della membrana;

- i filetti dei pin sarebbero soggetti ad elevati stress.

A fronte delle considerazioni effettuate, si è stabilito di mantenere la stessa struttura, effettuando le seguenti modifiche:

- rimozione della membrana;
- eliminazione dei pin filettati;
- inserimento di un fluido a viscosità maggiore.

In questo modo si sono eliminati i problemi legati alla membrana, e si è scelto un fluido idraulico a viscosità maggiore (fluido di polidimetilsilossano, $\mu = 2500000 \text{ mm}^2/s$) in modo da rendere minimi i trafiletti. Si è inoltre scomposto il blocco di giunzione a freddo in due componenti: pistone di giunzione a freddo e blocco porta pin. In questo modo i 4 pin sono bloccati inferiormente nella sede ricavata nel componente 4 e superiormente sono a contatto con il pistone 3(2.4, particolare A). Si evitano così di ricavare filetti nella struttura, semplificandola e rendendola più efficiente. Inoltre nella parte superiore della carcassa esterna è stato progettato un sistema costituito da una gola ricavata nel materiale per poter fissare lo strumento alla pressa. La geometria ottimale è dunque costituita da:

1. Carcassa esterna;
2. pistone di piantaggio;
3. cilindro di giunzione a freddo;
4. blocco porta pin (con 4' si indicano i pin) ;
5. blocco di centraggio e piantaggio.

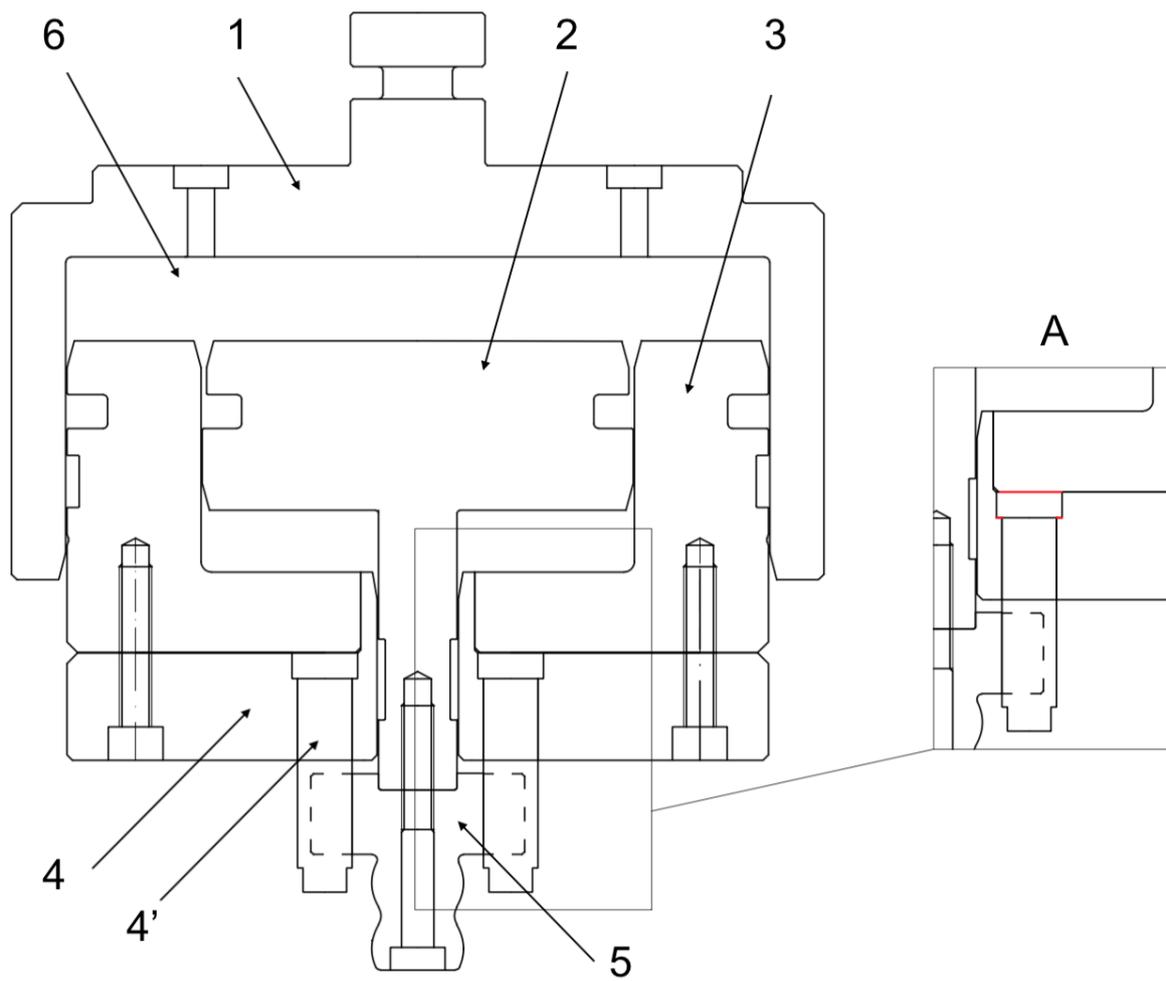


Figura 2.4: Vista in sezione del design definitivo dell'attrezzatura e particolare sul bloccaggio del pin

2.3 Componenti dell'attrezzatura

Di seguito sono descritte le caratteristiche costruttive dei componenti dell'attrezzatura. Di Un esploso della struttura mostra i diversi componenti. Le tavole in 2D con quote e tolleranze si trovano in appendice A.

Tutti i componenti sono stati realizzati in C45, lavorati da macchine a controllo numerico.

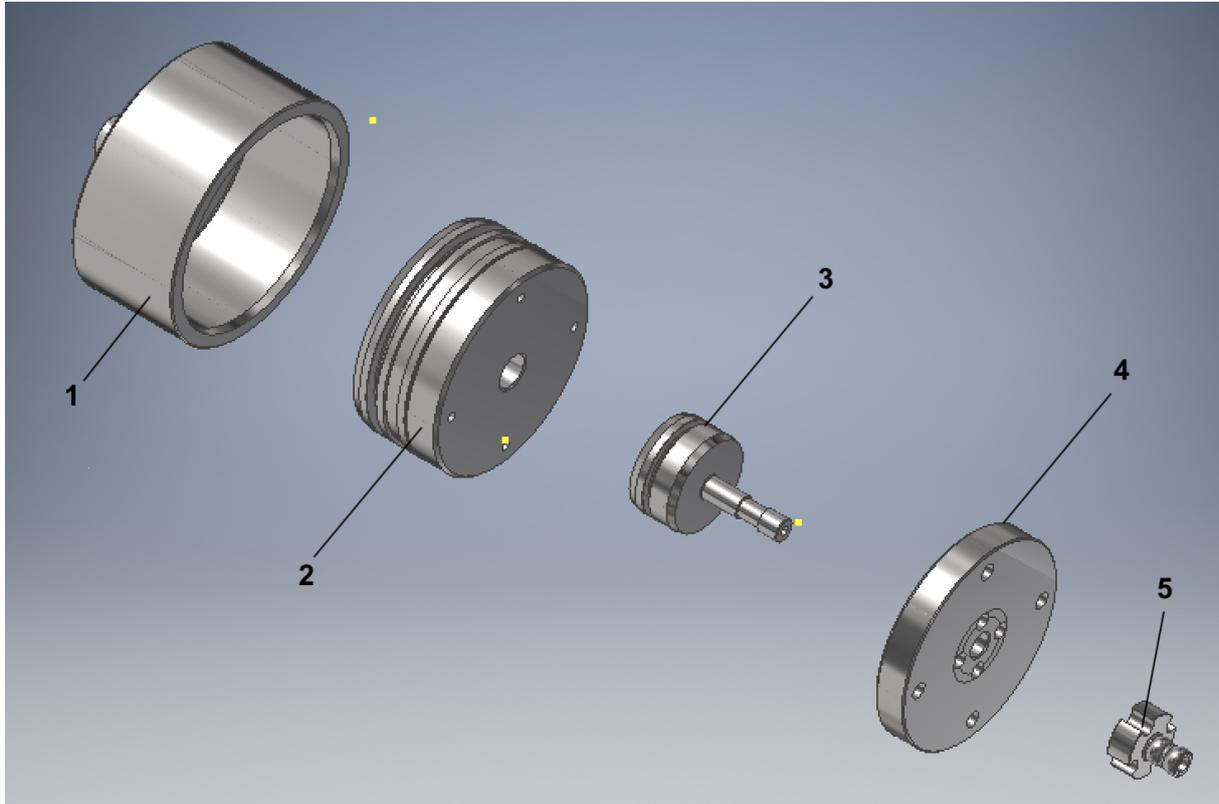


Figura 2.5: Vista esplosa dell'attrezzatura

1-Carcassa esterna

La carcassa esterna è a contatto con il fluido idraulico e lo contiene. Nella parte superiore la gola ricavata nel materiale permette l'aggancio con la pressa tramite un apposito sistema di fissaggio. I due fori filettati sono fondamentali durante la fase di montaggio. Una volta inserito il fluido idraulico e i pistoni interni, i due fori fungono da valvole e permettono all'aria di fuoriuscire dalla camera, permettendo il corretto ingresso dei pistoni. Dopodiché sono chiusi da viti per evitare la fuoriuscita del fluido durante la sua compressione.

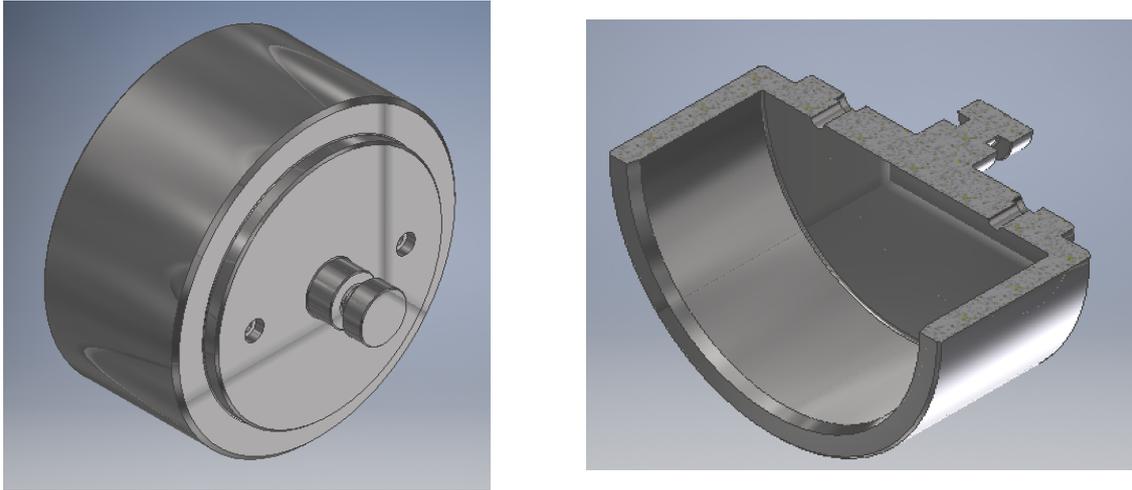


Figura 2.6: Carcassa esterna

2-Pistone giunzione a freddo

Il pistone di giunzione a freddo è a contatto con la carcassa esterna lateralmente e ospita al suo interno il cilindro di piantaggio. In fig. 2.9,b si nota un foro centrale in cui alloggia lo stelo di quest'ultimo e 3 dei 4 fori filettati che permettono il fissaggio con il blocco porta pin. Le gole ricavate sulla superficie esterna sono le sedi della guarnizione di tenuta e della guida.

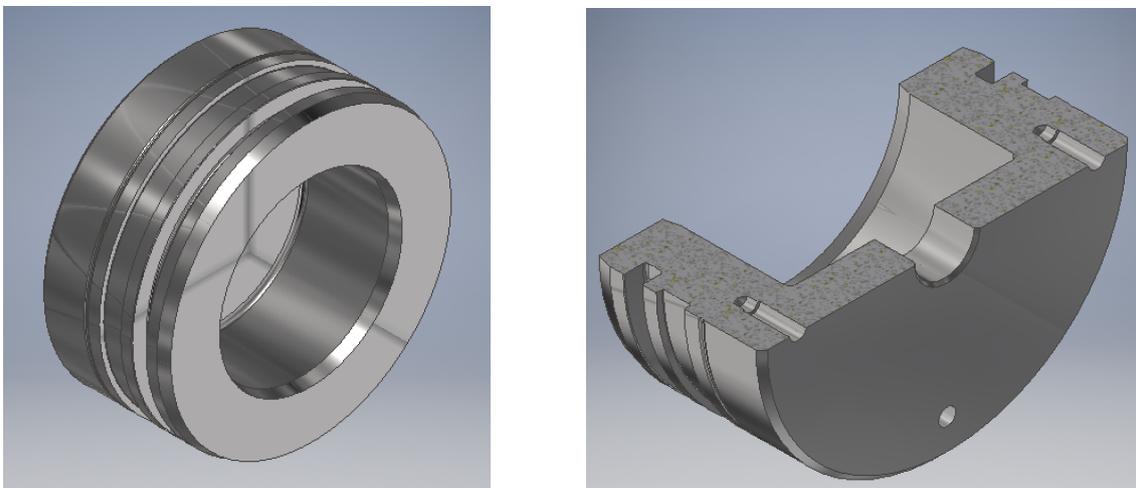


Figura 2.7: Pistone di giunzione a freddo

3-Pistone di piantaggio

Il pistone di piantaggio è montato all'interno del cilindro di giunzione a freddo e si muove relativamente ad esso a seconda della pressione impressa dal fluido di lavoro. La gola presente sul cilindro è la sede della guarnizione, mentre si è scelto di inserire la guida sullo stelo piuttosto che sul cilindro poiché potesse supportare meglio la corsa del componente.

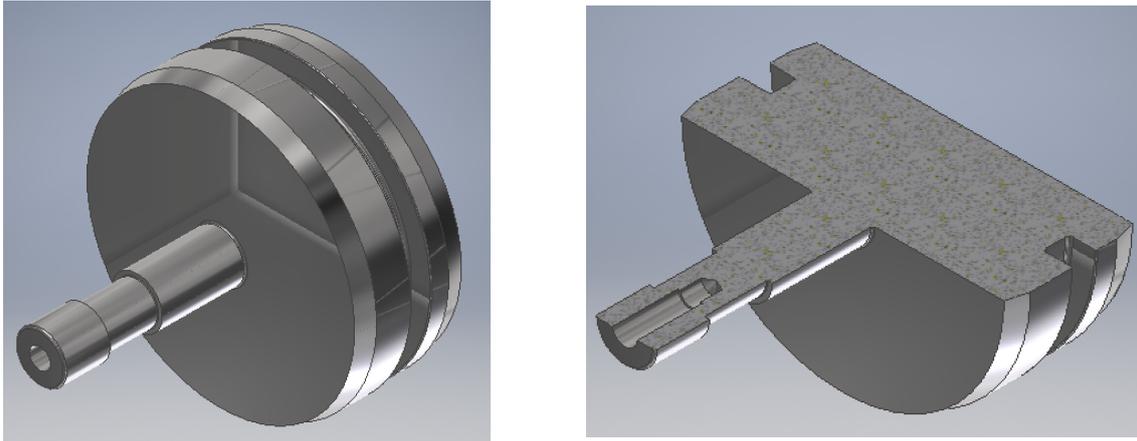


Figura 2.8: Pistone di piantaggio

4-Blocco porta pin

Partendo dall'esterno, i 4 fori servono per fissare il blocco al cilindro di giunzione a freddo tramite viti. All'interno del foro centrale invece scorre l'asta del pistone di piantaggio. I 4 fori di diametro maggiore rappresentano le sedi dei 4 pin che eseguono la giunzione a freddo della puleggia. Questi sono costituiti da un testa a diametro maggiore che si appoggia sulla lamatura dell'alloggiamento e una parte terminale a diametro minore per garantire maggiore precisione.

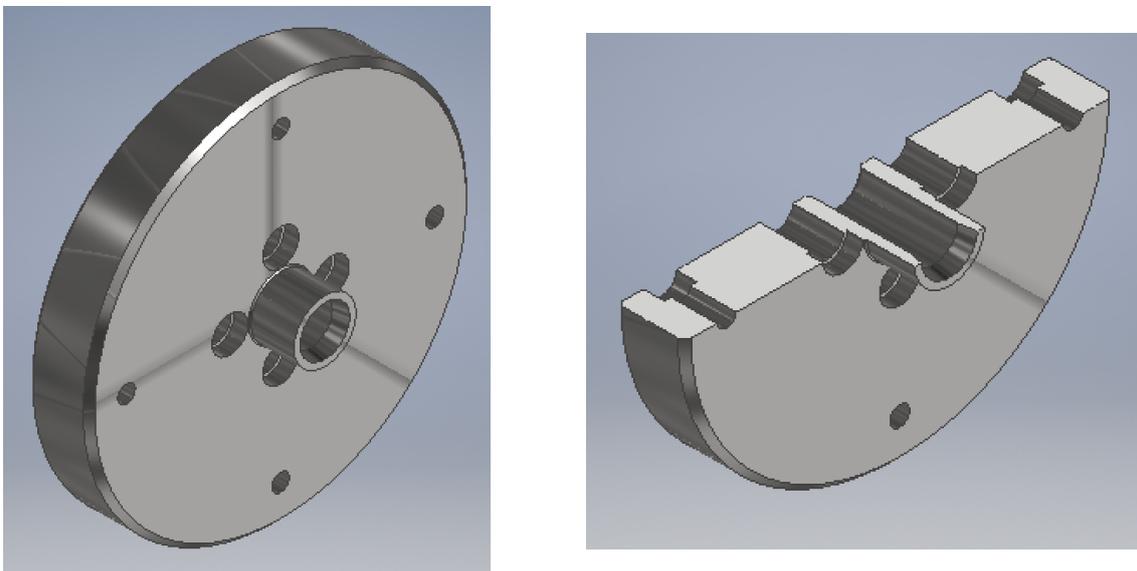


Figura 2.9: Blocco porta pin

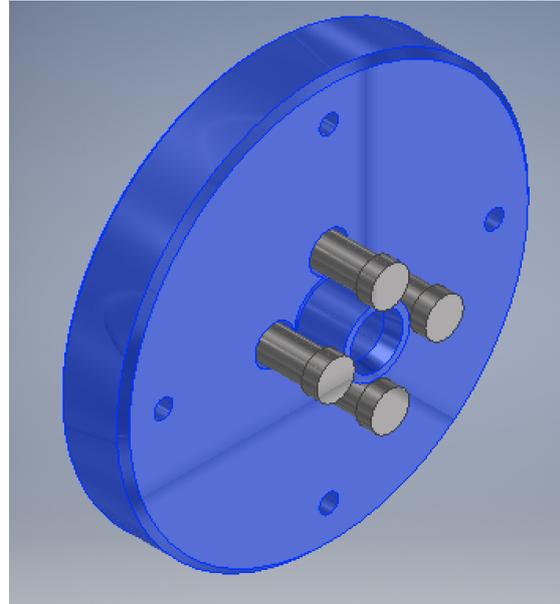


Figura 2.10: Pin di giunzione a freddo e inserimento nei relativi alloggiamenti

5-Blocco di centraggio e piantaggio

Il blocco di centraggio è ancorato al pistone di piantaggio. La lamatura presente sulla faccia superiore rappresenta l'alloggiamento della parte terminale dello stelo del pistone. La giunzione avviene tramite un collegamento filettato. La testa del componente, a diametro maggiore, è costituita da 4 fori, in cui scorrono i pin. La parte inferiore costituita da due porzioni di sfere è stata realizzata per ridurre gli impuntamenti durante il centraggio dei due cuscinetti.

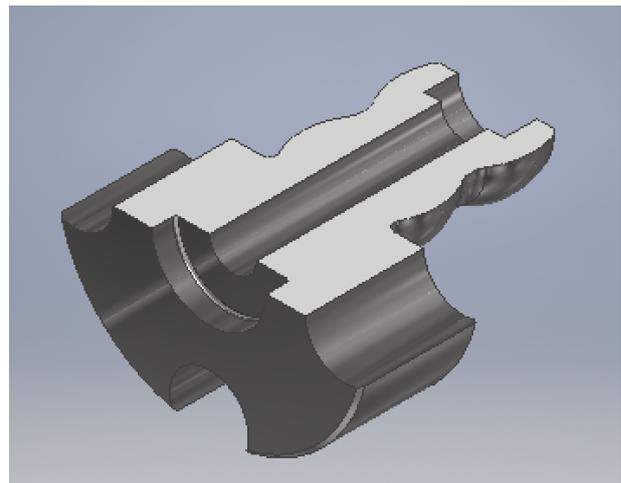
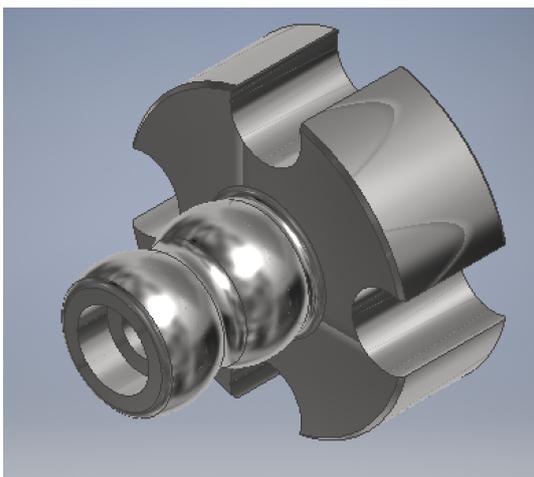


Figura 2.11: Blocco di centraggio e piantaggio

2.4 Fasi del ciclo di lavoro

L'attrezzatura sotto la forza della pressa dovrà compiere le operazioni di piantaggio e giunzione a freddo. Nella figura 2.12 sono schematizzati i componenti dell'attrezzatura in modo da semplificare e rendere più chiara la descrizione dei movimenti eseguiti dalle singole parti:

1. carcassa esterna;
2. camera contenente il fluido di lavoro;
3. blocco relativo alla giunzione a freddo, che comprende pistone di giunzione a freddo, blocco porta pin e i 4 pin;
4. pistone dedicato al piantaggio;
5. blocco di centraggio;
6. 2 cuscinetti a sfere da piantare (rappresentati come un unico componente);
7. puleggia;
8. punzone della pressa.

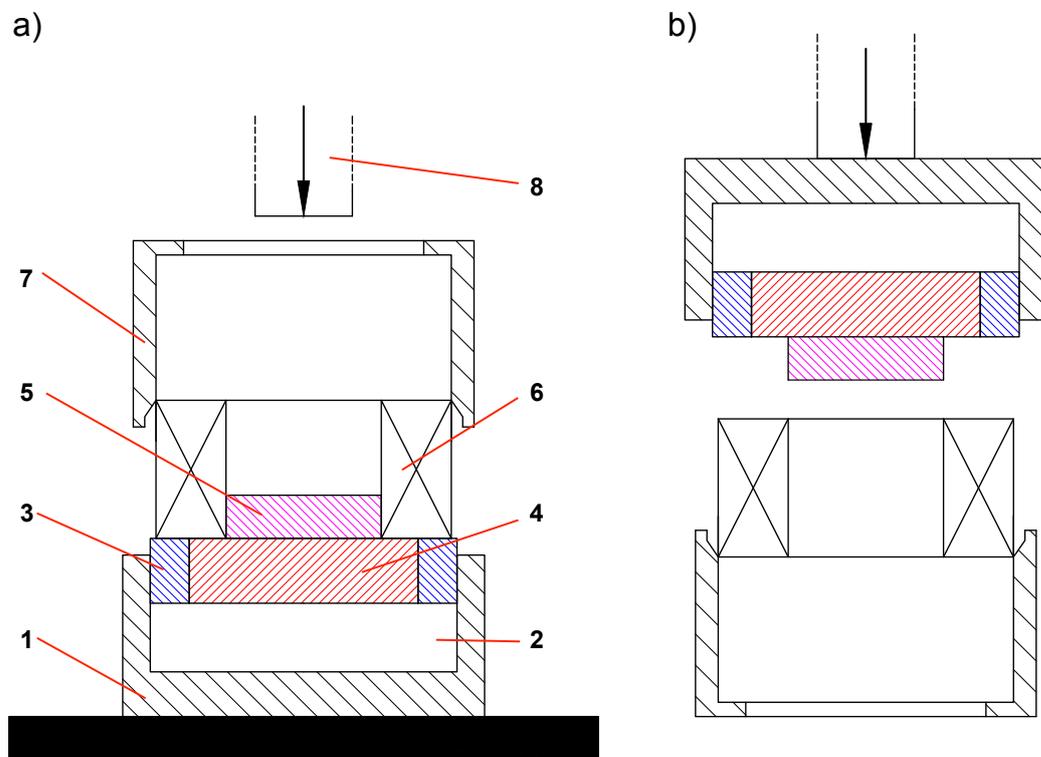


Figura 2.12: Vista schematica dell'attrezzatura: a)posizionamento 1; b)posizionamento 2

É possibile utilizzare l'attrezzo in due differenti posizionamenti: Il primo (2.4-a) consiste nel posizionare la carcassa esterna sul piano d'appoggio della pressa, con i cuscinetti inseriti nel blocco di centraggio e la puleggia appoggiata su di essi. Il punzone della pressa entrerà in contatto con la parte superiore della puleggia. Nel secondo caso (fig. 2.4-b) la carcassa è ancorata al braccio della pressa e lo strumento scende insieme a esso. Di seguito sono illustrate le fasi del processo e sono descritti i movimenti relativi tra i componenti dell'attrezzo durante le due operazioni. Il processo è descritto ipotizzando di utilizzare lo strumento in posizione 2. (Il funzionamento non cambia se posto in posizione 1).

Fase 1 Azionata la pressa, l'attrezzo scende, avvicinandosi ai componenti da assemblare.

Il blocco di centraggio entra nel diametro interno dei cuscinetti, mentre il blocco di piantaggio e quello di giunzione a freddo entrano entrambi a contatto con il cuscinetto fig.2.13. Il piantaggio inizia, ma viene portato a termine nella fase successiva.

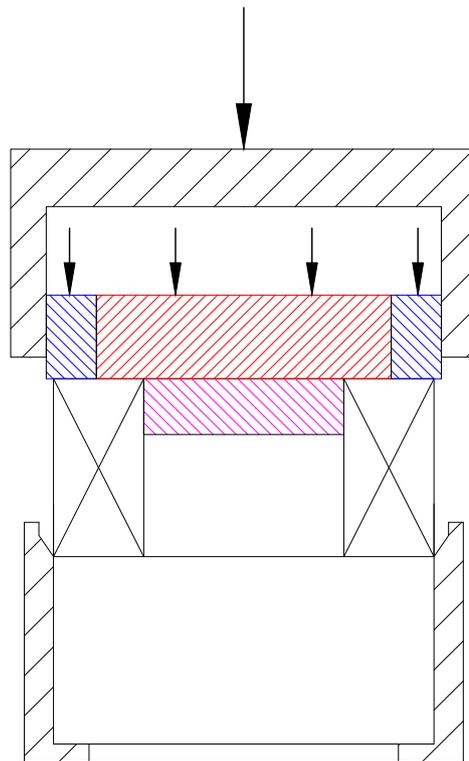


Figura 2.13: Fase 1: inizio piantaggio

Fase 2 La corsa dei componenti 3 e 4 continua di pari passo fin quando il blocco di giunzione a freddo non entra in contatto con la superficie della puleggia fig.2.14, a. Il pistone di giunzione a freddo arresta la sua corsa a causa della resistenza opposta

dal materiale mentre il pistone 4 avanza concludendo il forzamento dei cuscinetti, fig.2.14, b. L'avanzamento è dovuto alle forze di pressione esercitate dal fluido sulle aree di dimensione differente che permettono la suddivisione del carico e quindi la discesa del pistone di piantaggio.

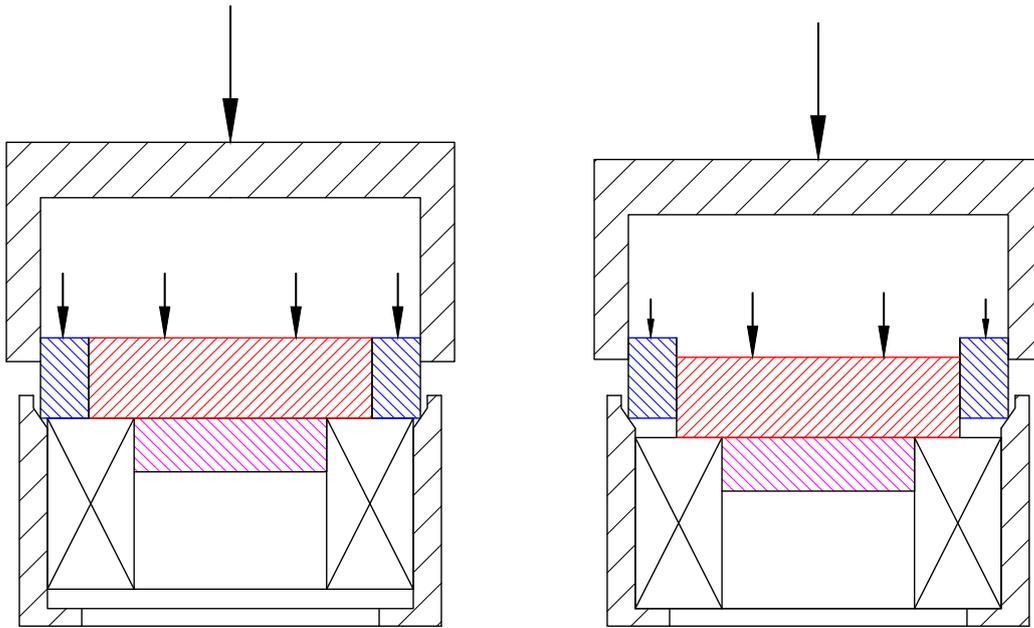


Figura 2.14: Fase 2: a) Arresto del blocco di giunzione a freddo; b) Completamento piantaggio

Fase 3 I cuscinetti sono stati piantati e il pistone 4 ha concluso la sua corsa. La pressa invece continua la sua discesa permettendo l'avanzamento del pistone 3 e quindi la deformazione plastica della puleggia.

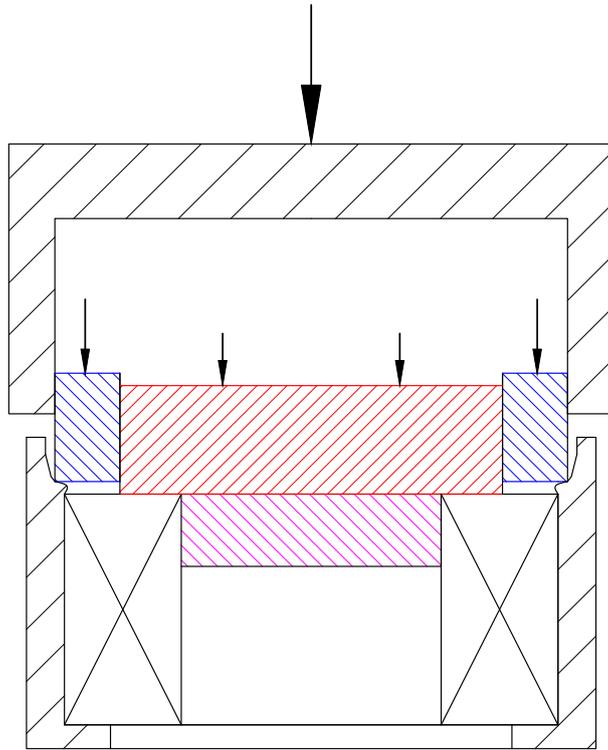


Figura 2.15: Fase 3: giunzione a freddo

2.5 Fluido idraulico

2.5.1 Generalità sui fluidi idraulici

Le caratteristiche del fluido hanno effetti rilevanti sul funzionamento e sulla manutenzione degli impianti idraulici; è quindi molto importante che la sua scelta sia accurata.

Sebbene i fluidi quali acqua, oli solubili, oli di origine animale o vegetale (miscela di olio di ricino e alcool), siano in grado di trasmettere l'energia idraulica, essi non possiedono tutte le proprietà richieste ad un fluido idraulico; sono, infatti, relativamente incompressibili, non lubrificano sufficientemente e non oppongono resistenza contro la formazione della ruggine, la corrosione, l'ebollizione, l'ossidazione ecc.

Durante il normale funzionamento dell'impianto, il fluido idraulico deve conservare la sua efficienza in modo da mantenere la sua consistenza in un ampio intervallo di temperatura, deve trasmettere energia con basse perdite, lubrificare le parti in movimento, proteggere gli organi dalla corrosione, non essere pericoloso per gli operatori e per gli impianti, possedere elevata stabilità chimica.

In linea generale i fluidi idraulici si possono suddividere in tre categorie:

- oli vegetali: sono composti da una miscela di olio di ricino e alcool, colorata, a scopo di identificazione, in blu. La loro normale utilizzazione è praticamente impossibile in un impianto idraulico moderno a causa delle alte caratteristiche richieste attualmente ai fluidi idraulici.;
- oli minerali: sono oli ricavati per distillazione del petrolio, di colore rosso. Sono considerati infiammabili e hanno la tendenza a diluirsi quando la temperatura aumenta e di condensarsi quando la temperatura diminuisce.;
- oli sintetici: sono a base estero fosfato e si differenziano dagli oli vegetali e minerali per le loro superiori caratteristiche.

2.5.2 Principali caratteristiche

Viscosità La viscosità dinamica esprime l'attrito interno di un fluido; dipende dalla tendenza degli strati adiacenti di un liquido (o di un gas) in movimento a opporsi allo scorrimento relativo. Newton la definì come il rapporto tra lo sforzo tangenziale τ ed il gradiente di velocità dV/dy secondo la seguente relazione:

$$\mu = \frac{F}{S} = \frac{\tau}{\frac{dV}{dy}} \quad (2.1)$$

Nel sistema C.G.S. risulta espressa in Poise = $[\frac{dine \cdot s}{cm^2}]$. Essendo tuttavia un'unità molto grande, in genere si usa il centpoise = 1/100 di Poise. Nel sistema SI viene

espressa in $[Pa/m^2]$. In pratica però, si preferisce fare riferimento alla cinematica assoluta, di più facile determinazione, definita come il rapporto tra la viscosità dinamica e la densità del fluido:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2)$$

Nel sistema C.G.S. viene espressa in Stokes ($=cm^2/s$) ma nella pratica viene utilizzato il centistokes. Nel SI si esprime in m^2/s .

Indice di viscosità L'indice di viscosità (VI) è una caratteristica, espressa secondo una scala convenzionale, adottata nell'industria petrolifera per la variazione della viscosità degli oli lubrificanti con la temperatura.

In altri termini l'indice di viscosità misura la variazione della viscosità con la temperatura; più elevato è il valore dell'indice di viscosità minore è la variazione della viscosità con la temperatura.

L'indice di viscosità di una miscela di due oli non corrisponde alla media pesata dei VI dei due componenti, ma è inferiore. Il VI può essere aumentato mediante l'impiego di particolari additivi.

Considerando due lubrificanti a parità di viscosità a $40^\circ C$, quello con indice di viscosità più alto rispetto all'altro garantisce:

- un più agevole avviamento a bassa temperatura (minor attrito interno)
- un grado di separazione delle superfici (uno spessore di film lubrificante) maggiore a temperature elevate.

Stabilità delle caratteristiche chimico-fisiche La resistenza contro l'ossidazione è la proprietà più importante ai fini del tempo di utilizzo del fluido. I tre fattori che determinano l'ossidazione sono l'aria, il calore e le impurità. Come risultato si ha la formazione di una moltitudine di composti che alterano in generale il funzionamento dell'impianto e aumentano l'usura dei componenti.

Punto di scorrimento (Pour point) Il punto di scorrimento è la temperatura minima alla quale un lubrificante continua a fluire quando viene raffreddato. Al di sotto del Pour Point l'olio tende ad "ispessire" e non scorre più liberamente.

Punto di infiammabilità Il punto di infiammabilità è la temperatura minima alla quale i vapori del lubrificante mescolati con l'aria e riscaldati progressivamente in un recipiente standard di laboratorio, si infiammano all'avvicinarsi di una fiamma.

2.5.3 Fluido di polidimetilsilossano

Il fluido di lavoro scelto è un olio silconico ad altissima viscosità, al 100% lineare, di 2500000 Cts a $25^{\circ}C$ (pari a $2500000mm^2/s$). Si è scelto questo tipo di fluido poiché presenta le seguenti caratteristiche:

- Elevato coefficiente di viscosità. Un grasso lubrificante indipendentemente dalla formulazione è formato da un olio base, un addensante o datore di consistenza e additivi. L'olio base di un grasso silconico è un olio al silicone. Si nota come i siliconi mettono in evidenza la loro stabilità e supremazia rispetto agli altri oli sintetici, mostrando minime variazioni di viscosità al variare della temperatura. Il grafico mostra le curve di viscosità a confronto con altri oli sintetici. La scala della viscosità è indicativa, poiché con l'aggiunta di additivi si può rendere più viscoso il fluido.

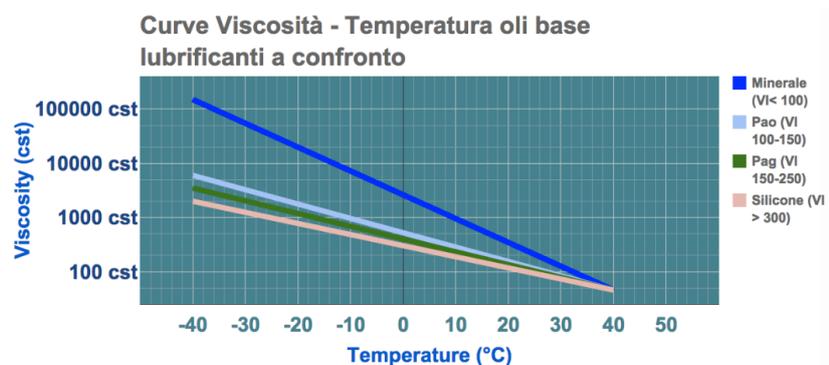


Figura 2.16: Confronto curve viscosità al variare della temperatura

- Alta stabilità termo-ossidativa: il più importante primato di un grasso al silicone è la sua capacità di ritardare i fenomeni di ossidazione primaria e secondaria, che rappresentano fasi cruciali nel processo distruttivo del film lubrificante. Fluidi silconici in regime di funzionalità continua, possono garantire un esercizio regolare con presenza di film idrodinamico sulle superfici in attrito fino a temperature di $180 - 200^{\circ}C$.
- Basso coefficiente d'attrito. I siliconi sono "scivolanti" per natura, e questo dipende dalla particolare struttura del polimero silossanico, caratterizzato da ampi angoli di legame tra silicio e ossigeno che determinano una delle principali proprietà anche del grasso lubrificante che lo contiene: coefficiente d'attrito statico e dinamico contenuti.
- Compatibile con plastiche ed elastomeri. Un grasso silconico è tendenzialmente inerte nei confronti di materie plastiche ed elastomeri, non produce cioè sostanziali variazioni strutturali: volume, peso resistenza a trazione e durezza.

- Buon effetto smorzante la rumorosità. Il "rumore" che si genera durante il funzionamento di un cinematismo può avere cause differenti e livelli di accettazione che dipendono da parametri soggettivi. E' provato sperimentalmente che maggiore è lo spessore del film lubrificante e più efficace è la barriera che si interpone tra le parti in attrito potenzialmente generatrici di rumore.
- La comprimibilità del materiale permette un miglior controllo sulla retroazione delle servopresse. Queste infatti durante il processo monitorano il carico in funzione della corsa per cui un materiale eccessivamente rigido aumenterebbe l'incremento della forza rispetto alla corsa riducendo il controllo sul processo. Inoltre questo fattore non influenza la precisione dell'operazione poiché questa è svolta a velocità molto basse (1 mm/s).

In figura 2.17 viene riportata la tabella con le specifiche tecniche del fluido.

Typical Product Data

Viscosity	Specific Gravity	Refractive Index	Pour Point	V.T.C.	Flash Point	Surface Tension	Thermal Expansion cc/cc °C	Thermal conductivity g/cal/cm/sec °C	Molecular weight
300,000cSt	0.977	1.4035	-41°C	0.61	321°C	21.5	0.00092	0.00038	204,000
500,000cSt	0.977	1.4035	-41°C	0.61	321°C	21.5	0.00092	0.00038	
600,000cSt	0.978	1.4035	-41°C	0.61	321°C	21.6	0.00092	0.00038	260,000
1,000,000cSt	0.978	1.4035	-39°C	0.62	321°C	21.6	0.00092	0.00038	308,000
2,500,000cSt	0.978	1.4035	-38°C	0.62	321°C	21.6	0.00092	0.00038	423,000
20,000,000cSt	0.979	1.4035	-35°C	0.62	321°C	21.6	0.00092	0.00038	>500,000

Figura 2.17: Specifiche tecniche fluido silicico PSF-2.5mil cSt

Nella scelta del fluido, si è dato particolare peso alla viscosità, poiché si vogliono ridurre il più possibile i trafileamenti. Di contro questo presenta una scarsa maneggevolezza e un effetto smorzante. Quest'ultimo tuttavia non risulta rilevante poiché le velocità dei corpi in moto sono basse (1 mm/s).

2.6 Modello numerico

Nel seguente paragrafo viene trattato il modello numerico creato per avere un'idea sui carichi e le profondità di deformazione plastica. Il metodo degli elementi finiti FEM (Finite Element Method) consente di determinare la soluzione numerica approssimata di un sistema di equazioni differenziali mediante risoluzione di un sistema di equazioni algebriche equivalenti. Le equazioni da risolvere sono solitamente lineari, mentre in questo si vanno ad utilizzare equazioni non lineari poiché ci si trova nel caso di interferenza tra superfici appartenenti a geometrie diverse: a differenza delle precedenti equazioni, queste hanno un elevato peso computazionale che dilata, in modo anche considerevole, i tempi di calcolo e di risoluzione del problema.

Il software utilizzato la simulazione è ANSYS v.19.1 workbench. Lo scopo del lavoro svolto con Ansys è quello di determinare il carico di giunzione a freddo per ottenere una deformazione plastica controllata.

Gli step seguiti nell'analisi sono i seguenti:

1. Definizione della geometria del modello;
2. Definizione delle proprietà dei materiali;
3. Definizione della mesh;
4. Assegnazione dei carichi e dei vincoli;
5. Soluzione e visualizzazione dei risultati.

2.6.1 Geometria del modello

Per effettuare l'analisi della deformazione plastica realizzata dai 4 pin sulla puleggia, non è necessario modellare l'intera struttura grazie alla struttura assialsimetrica degli oggetti da modellare: per moderare il peso computazionale si studia il comportamento di una parte, che comprende un pin e la relativa parte di puleggia. In figura 2.18 è rappresentata la geometria completa degli elementi mentre in fig. 2.19 il modello a geometria semplificata.

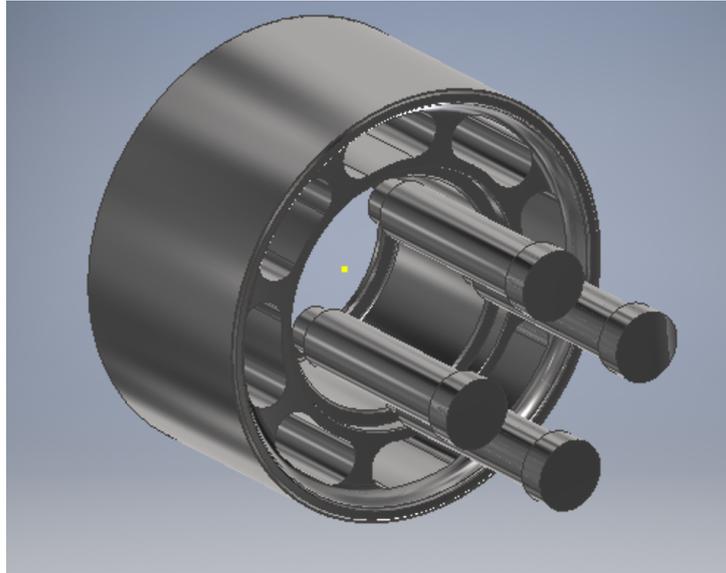


Figura 2.18: Geometria completa

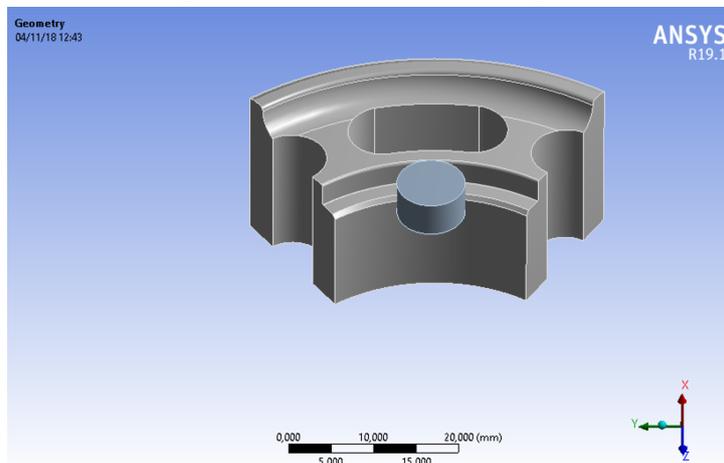


Figura 2.19: Geometria semplificata analizzata

2.6.2 Definizione delle proprietà dei materiali

Si definiscono i due materiali utilizzati per i punzoni e per la puleggia:

- Punzoni: acciaio da utensili X205Cr12 KU, di cui si conoscono le seguenti proprietà

Densità [kg/m^3]	7700
Modulo di Young [Mpa]	210000
Coefficiente di Poisson	0,3

Tabella 2.1: Parametri materiale X205Cr12 KU

- Puleggia: Acciaio sinterizzato FC-0208 -95HT.

La definizione delle proprietà del secondo materiale risulta più laboriosa. Poiché

l'analisi riguarda una deformazione esalto-plastica, viene inserito un modello di materiale non lineare. Viene utilizzata la relazione elasto-plastica bilineare ("Bilinear Isotropic Hardening") che approssima la legge costitutiva del materiale con due segmenti. La prima spezzata definita nel tratto a pendenza maggiore, rappresenta il

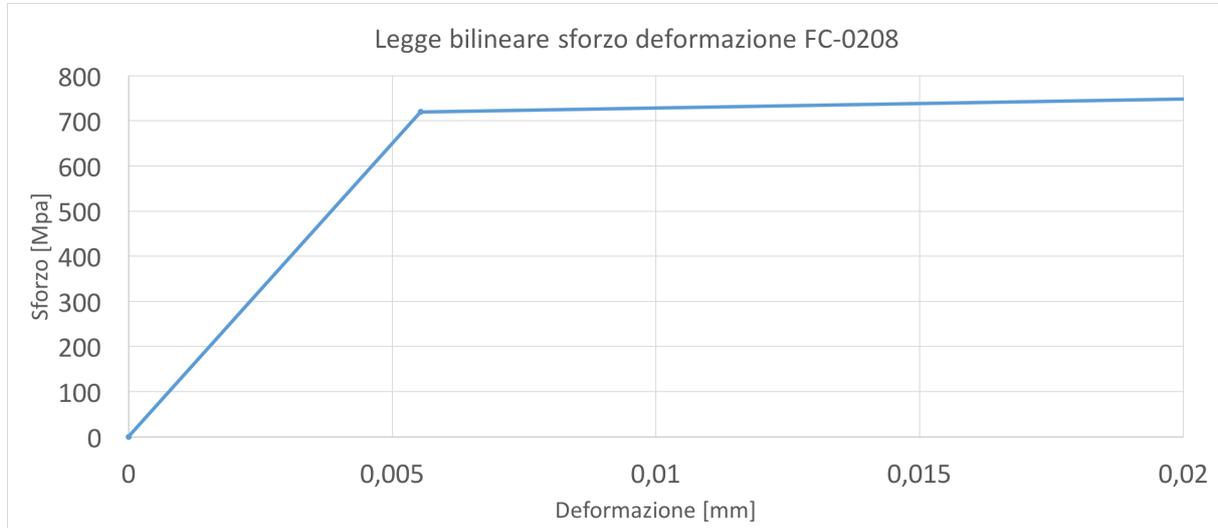


Figura 2.20: legge elasto-plastica bilineare per un acciaio FC-0208

comportamento elastico del materiale ed è costituita dalla retta di equazione:

$$\sigma = E \cdot \epsilon;$$

dove E è il modulo di Young e rappresenta il coefficiente angolare della retta. La seconda spezzata, definita nel tratto a pendenza minore, rappresenta il tratto in cui il materiale, superato lo snervamento, entra in campo plastico. L'equazione che descrive questa seconda retta è:

$$\sigma = H \cdot \epsilon;$$

dove H rappresenta il coefficiente angolare del tratto plastico (tangent modulus):

$$H = \frac{\sigma_r - \sigma_s}{\epsilon_r - \frac{\sigma_r}{E}}$$

Dove: σ_r e σ_s sono la tensione a rottura e di snervamento; ϵ_r è la deformazione a snervamento. I valori inseriti nel software sono riportati in tabella.

Densità [kg/m^3]	7100
Modulo di Young [Mpa]	150000
Coefficiente di Poisson	0,27
H[MPa]	2200
σ_s [MPa]	720

Tabella 2.2: Parametri materiale FC-0208

2.6.3 Generazione della mesh

Una volta importata la geometria del provino all'interno del modello e definiti i materiali, si genera la mesh con la quale discretizzare il provino. Per generare una buona mesh si sono presi in considerazione i seguenti fattori:

- dimensione del modello;
- presenza di spigoli netti o raccordi;
- zone critiche e di particolare interesse.

Quanto appena riportato, sono solo alcune delle considerazioni sulle quali è necessario interrogarsi prima di procedere nella generazione della mesh. Si tenga conto che in generale la soluzione che si ottiene è tanto più precisa quanto più è discretizzato il dominio, però più aumenta il numero di elementi che compone la mesh, maggiori saranno gli oneri di calcolo per giungere alla soluzione. Quindi si tratta di trovare il giusto compromesso, per avere una soluzione soddisfacente in un tempo accettabile.

La massima dimensione imposta alla mesh è di 2,5 mm, mentre nei punti in cui avviene il contatto, e quindi il punzone e parte della puleggia si è infittita la mesh portando la dimensione degli elementi a 0,5 mm. Gli elementi utilizzati sono di tipo lineare. Si sono ottenuti 6256 nodi e 16711 elementi.

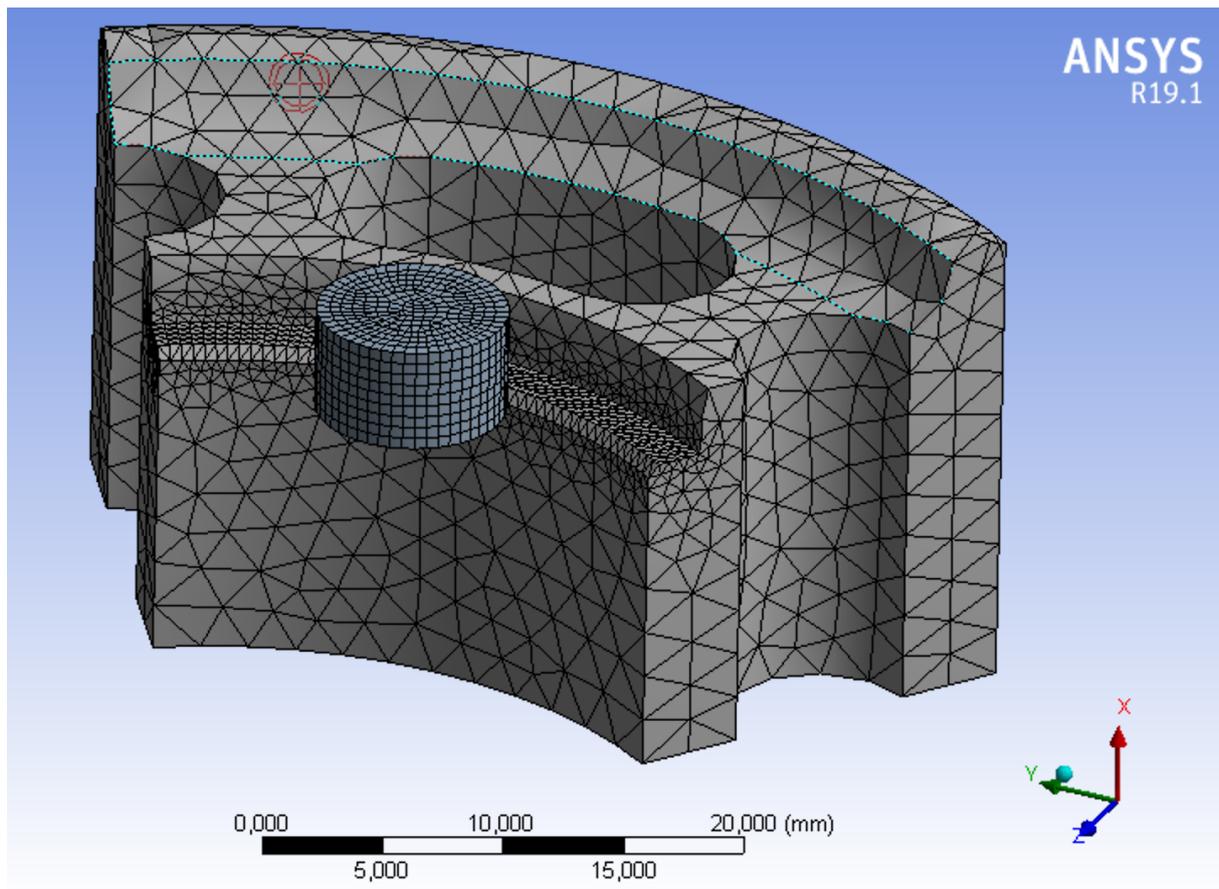


Figura 2.21: Vista del modello con la mesh utilizzata

Inoltre nel tratto di raccordo e la superficie di contatto della puleggia si è creata una maglia regolare ad elementi triangolari, impostando nel menù di generazione della mesh l'opzione di mappatura delle superfici, che permette di realizzare un reticolo regolare sulle facce selezionate.

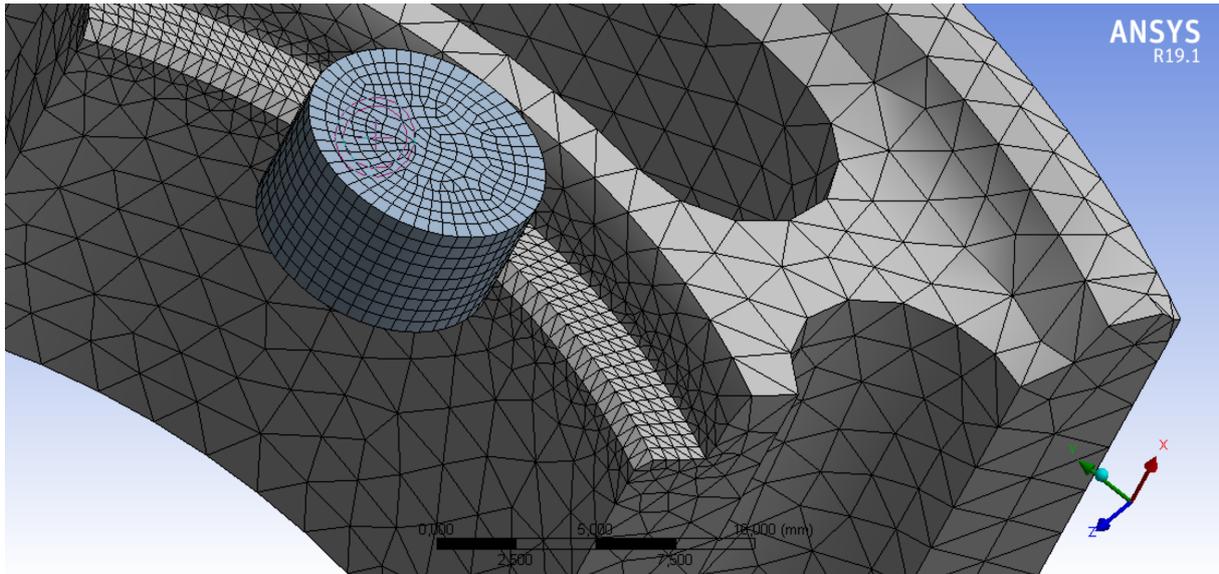


Figura 2.22: Particolare della mesh a maglia regolare

2.6.4 Vincoli e spostamenti

L'ultimo passaggio necessario prima di lanciare la soluzione è quello di definire le condizioni al contorno. Si inseriscono i vincoli e le sollecitazioni rispetto le quali si intende analizzare il comportamento dei componenti. In questa simulazione si imposta lo spostamento del punzone, che deforma plasticamente la puleggia. Si è quindi imposto un incastro ("fixed support") sulla base della puleggia, e uno spostamento ("remote displacement") pari a $x = 0,6 \text{ mm}$ sulla superficie superiore del punzone.

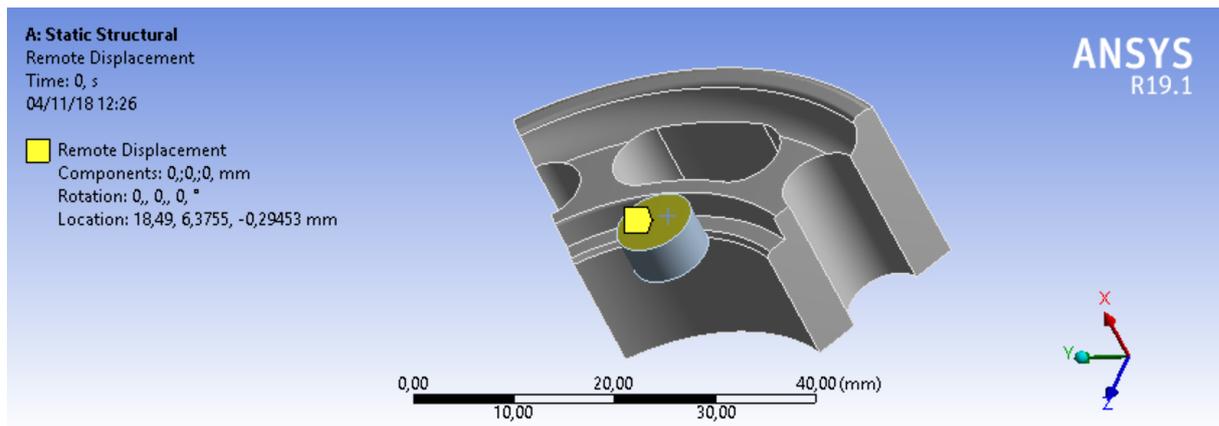


Figura 2.23: Applicazione dello spostamento sul punzone

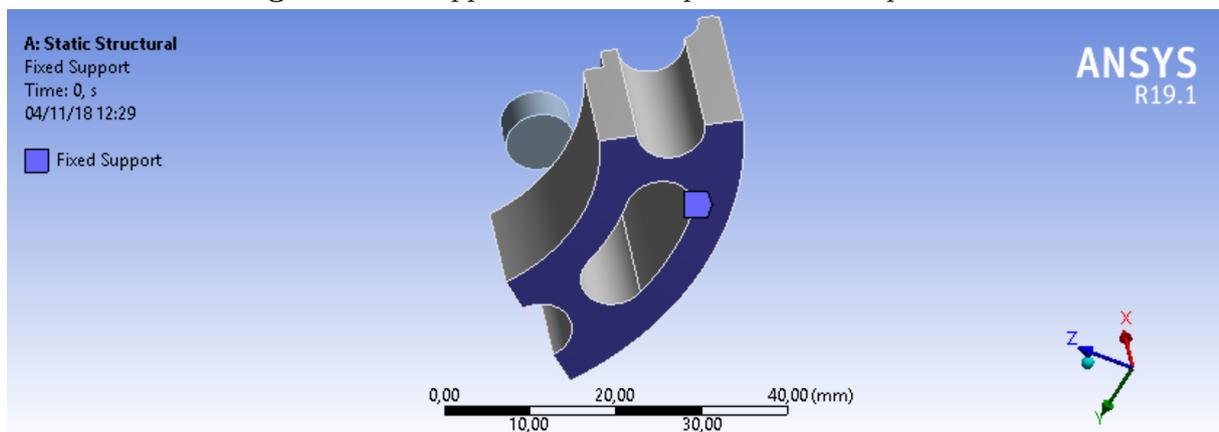


Figura 2.24: Applicazione dell'incastro alla base della puleggia

2.6.5 Risultati

Una volta giunti alla soluzione, il programma ci fornisce i valori di tutte le grandezze notevoli. In particolare, per il problema in questione, ci servirà conoscere:

- la deformazione, valutata lungo la direzione X , della sezione interessata dal ‘remote displacement’;

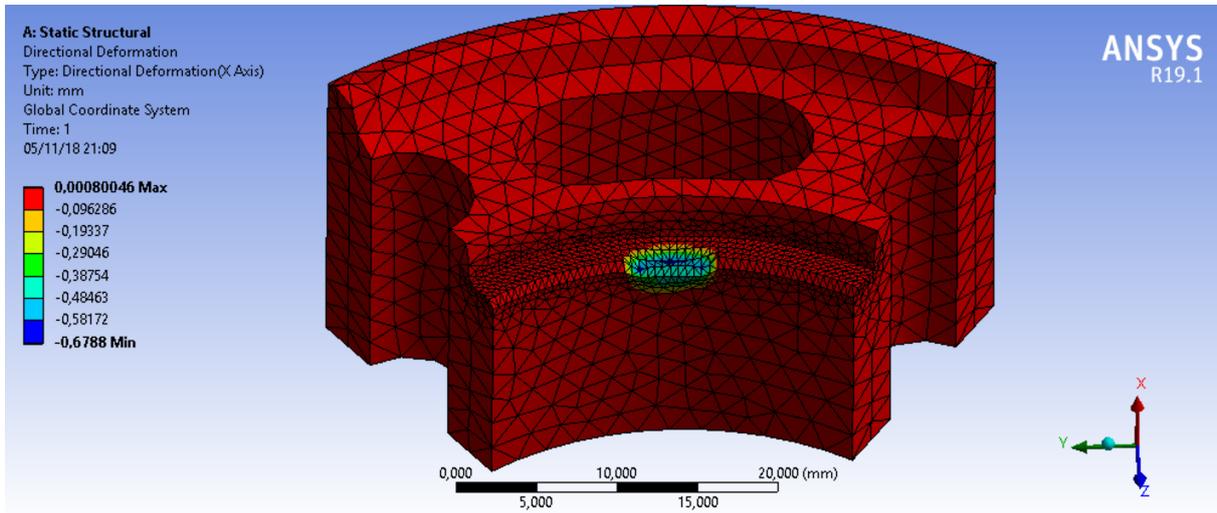


Figura 2.25: Spostamento lungo l'asse X

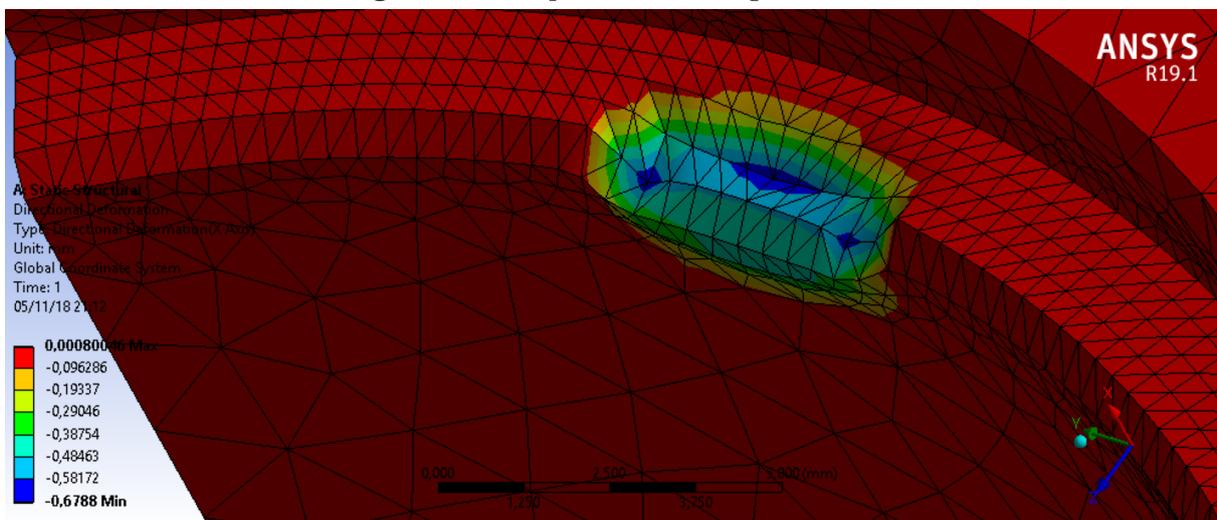


Figura 2.26: Particolare spostamento lungo l'asse X

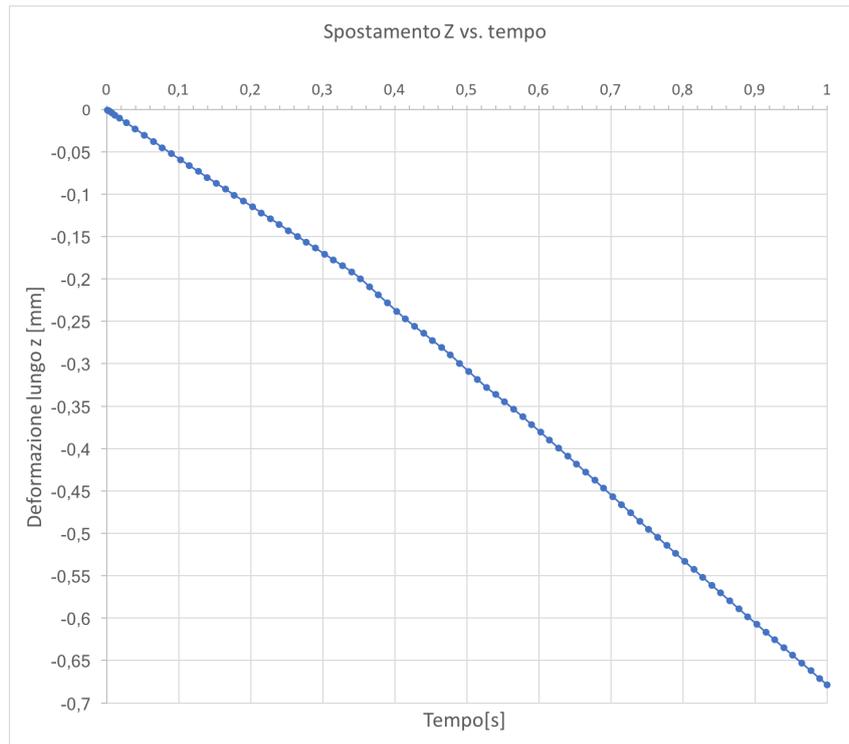


Figura 2.27: Deformazione lungo asse X in funzione del tempo

Si osserva una profondità massima di **0,6788 mm** indicata dalle zone di colore blu.

- la forza in direzione X , valutata nella sezione coinvolta dal 'remote displacement'. La forza è negativa poiché l'asse X è in verso positivo orientato verso l'alto. Raggiunge il valore massimo in modulo di $F = 18441 \text{ N}$.

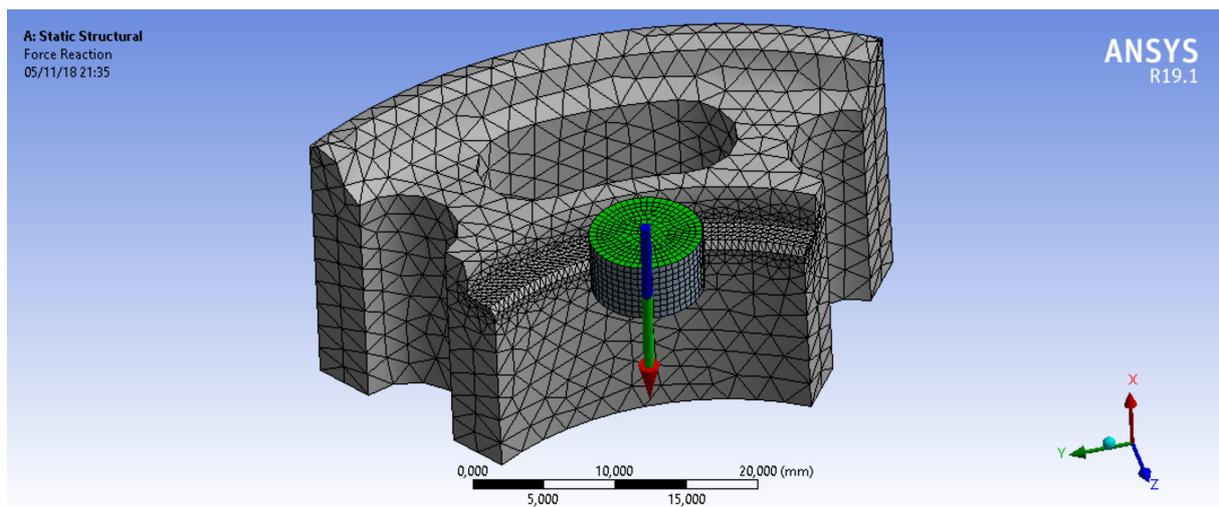


Figura 2.28: Forza lungo asse X

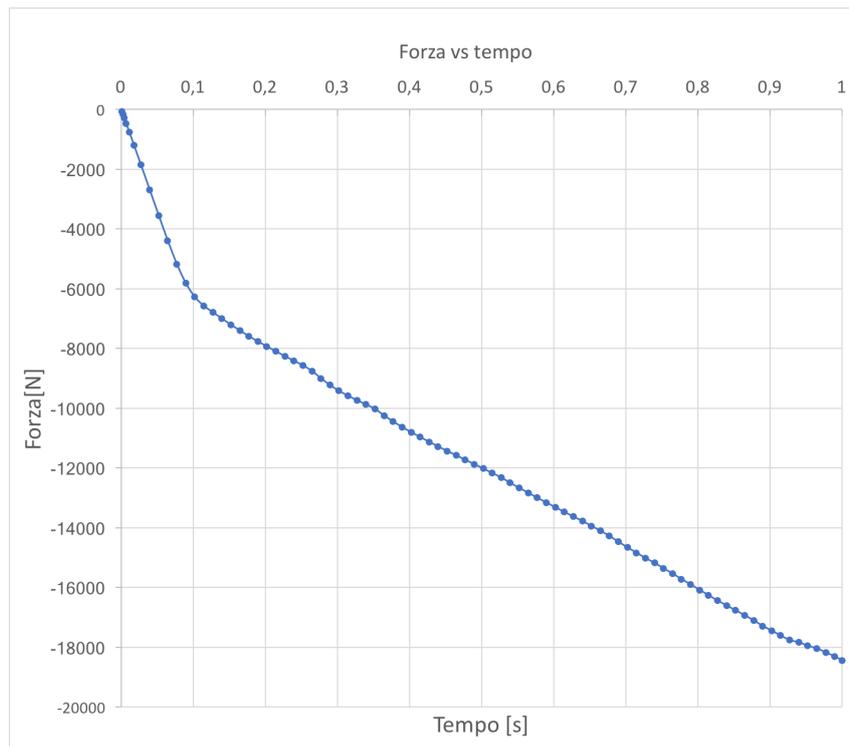


Figura 2.29: Andamento della forza in funzione del tempo

Capitolo 3

Dimensionamento e realizzazione

Nel paragrafo precedente si è descritta l'attrezzatura, i suoi componenti e il principio di funzionamento. Quest'ultimo infatti implica un accurato dimensionamento delle aree dei pistoni a contatto con il fluido poiché esse definiscono le forze esercitate durante le operazioni. Poiché il diametro interno della carcassa, è fissato da limiti di ingombro, rimane da definire il rapporto ottimale tra le due superfici in modo da avere una corretta divisione dei carichi. In questo capitolo è inizialmente trattato un dimensionamento preliminare a cui segue un'attenta valutazione dei carichi di lavoro per arrivare alla realizzazione dell'attrezzatura. Si eseguono più prove per valutare i carichi di piantaggio in relazione all'interferenza presente nei componenti e in seguito si valuta il carico di giunzione a freddo e la profondità di deformazione plastica.

3.1 Prove preliminari

È stato effettuato un dimensionamento di primo tentativo in modo da poter testare il funzionamento dei componenti come guarnizioni e guide, valutare eventuali trafile e avere un'attrezzatura di partenza, quasi definitiva, da poter perfezionare.

I carichi presi dallo storico aziendale sono riferiti alle due operazioni che coinvolgono due cuscinetti a sfere e una puleggia realizzata a CNC in C45 (il materiale definitivo sarà acciaio sinterizzato). I carichi di piantaggio e di inizio deformazione plastica sono: $C_P = 6000N$; $C_D = 24000N$. Le aree dei pistoni sono state progettate in modo che la ripartizione del carico fosse dell'80% sul carico di deformazione plastica e il restante 20% sul piantaggio.

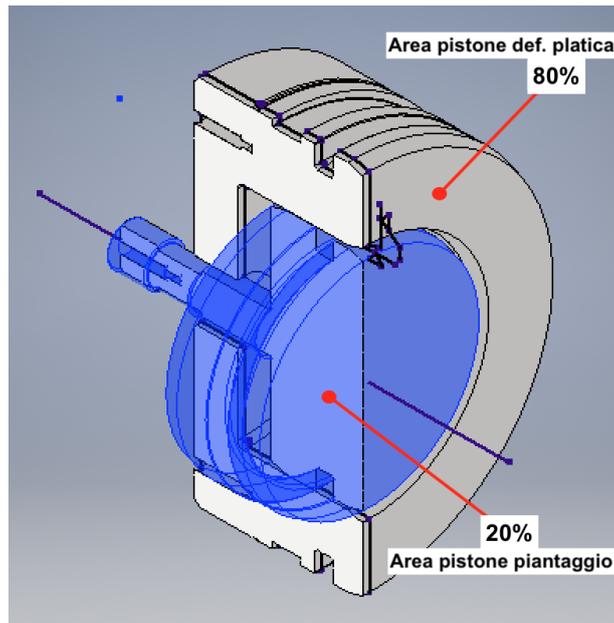


Figura 3.1: Suddivisione iniziale aree pistoni

Dopo alcuni test effettuati con l'attrezzatura, si è notato che il piantaggio non viene portato a termine e che la creazione del giunto per deformazione plastica inizia prima che la prima operazione venga ultimata. Il grafico 3.2 mostra il carico della pressa in N in funzione della corsa in mm. Si nota che nel tratto a pendenza più bassa (1) lo strumento esegue il piantaggio (incompleto). A seguire, a pendenza maggiore (2), inizia la fase di deformazione plastica.

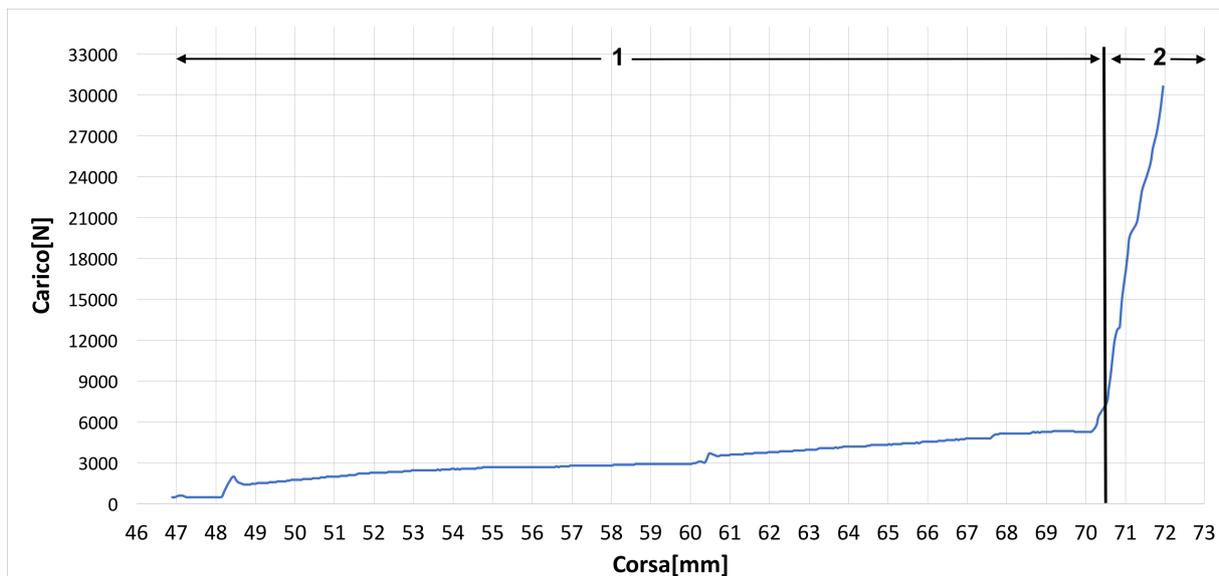


Figura 3.2: Grafico carico-corsa su test di piantaggio cianfrinatura

Il fallimento del test è causato da un'inadeguata suddivisione dei carichi da parte dell'attrezzatura (eccessivo carico sulla deformazione plastica e insufficiente sul piantaggio).

Per poter eseguire un dimensionamento accurato, si sono quindi svolti test mirati all'individuazione dei carichi.

3.2 Determinazione del carico di piantaggio e correlazione con l'interferenza

Con i seguenti test di piantaggio si vuole determinare il carico di piantaggio in funzione dell'interferenza, in modo da poter prevedere il carico massimo necessario in caso di massimo materiale (corrispondente all'interferenza massima, $i_{min} = 0,05$).

Il test è stato effettuato piantando 20 cuscinetti a sfera in 10 pulegge (2 cuscinetti in ogni puleggia). Le misure nominali di interesse, riportate in tabella 3.1 sono: il diametro esterno del cuscinetto ϕ_2 , il diametro interno della puleggia ϕ_1 e la lunghezza della superficie di accoppiamento tra i componenti, d_1 .

Puleggia - TL1067		Cuscinetto - TM175
ϕ_1 [mm]	d_1 [mm]	ϕ_2 [mm]
39,950/39,975	$25 \pm 0,1$	40/39,989

Tabella 3.1: Valori nominali di ϕ_1 , ϕ_2 , d_1

Si deducono quindi le interferenze massime e minime esistenti nell'accoppiamento:

$$i_{MAX} = \phi_{1,MIN} - \phi_{2,MAX} = 39,950 - 40 = 0,05 \text{ mm};$$

$$i_{MIN} = \phi_{1,MAX} - \phi_{2,MIN} = 39,975 - 39,989 = 0,014 \text{ mm}.$$

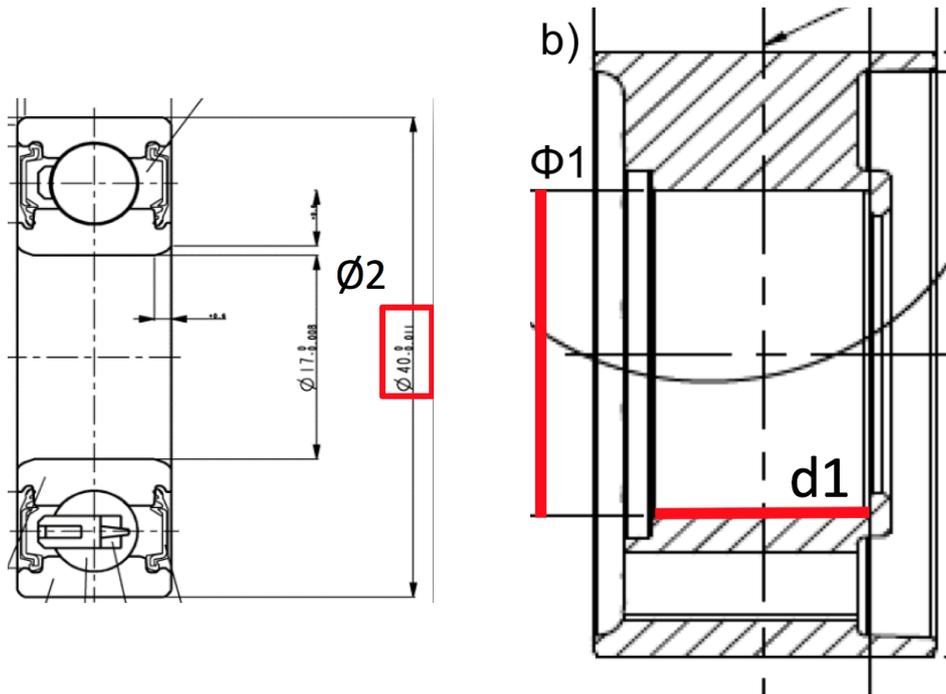


Figura 3.3: a) Cuscinetto a sfera TM175; b) Puleggia TL1067

Si sono quindi seguiti i seguenti step:

1. Si sono misurati i componenti, e calcolata l'interferenza relativa ad ogni pezzo;
2. si sono effettuate 10 operazioni di piantaggio e si sono acquisiti i carichi;
3. si è trovata la correlazione tra il carico e l'interferenza.

Per ogni componente da assemblare sono stati misurati i diametri esterni effettivi dei 2 cuscinetti $\phi_{2,A}$, $\phi_{2,B}$, il diametro interno della puleggia relativa ϕ_1 e si è trovato il valore dell'interferenza massima. I dati sono mostrati in tabella 3.2.

Per le misurazioni sono stati utilizzati un micrometro per esterni visibile in fig.3.4,a e uno per interni fig.3.4,b.

N.pezzo	ϕ_1 [mm]	$\phi_{2,A/B}$ [mm]	i [mm]
1	39,961	39,998 39,998	0,037
2	39,962	39,998 39,997	0,036
3	39,964	39,998 39,997	0,034
4	39,968	39,998 39,997	0,030
5	39,953	39,997 39,997	0,044
6	39,973	39,998 39,997	0,025
7	39,963	39,998 39,997	0,035
8	39,974	39,997 39,997	0,023
9	39,955	39,998 39,997	0,043
10	39,969	39,998 39,997	0,029

Tabella 3.2: Dimensioni effettive dei componenti e interferenza presente in ogni pezzo



Figura 3.4: a) Micrometro per esterni; b) micrometro per interni

Il banco prova è quello descritto nel capitolo 1, paragrafo 1.3 mentre i parametri di processo utilizzati sono i seguenti:

- velocità di avanzamento: $V_a = 1 \text{ mm/s}$;
- carico massimo di piantaggio : $C_{MAX} = 12000 \text{ N}$;

Si riportano di seguito i grafici delle 10 prove effettuate. Essi riportano la forza rilasciata dalla pressa in N in funzione della corsa della pressa, in mm . Si è evidenziato mediante un cerchio rosso il punto in cui viene raggiunto il valore di carico di piantaggio massimo C_{max} .



Figura 3.14: Prova di piantaggio 10

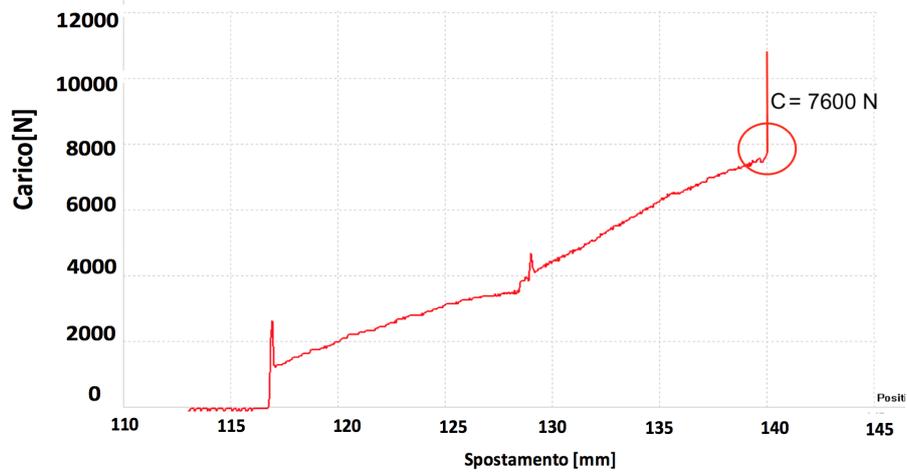


Figura 3.5: Prova di piantaggio 1



Figura 3.6: Prova di piantaggio 2

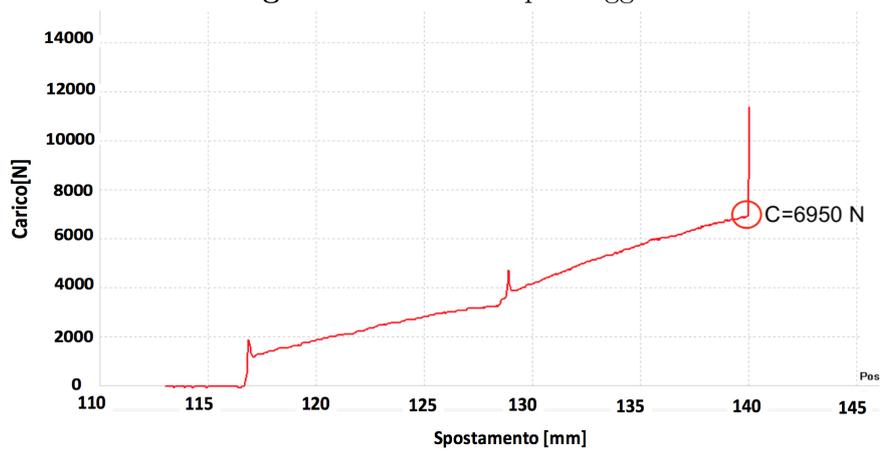


Figura 3.7: Prova di piantaggio 3

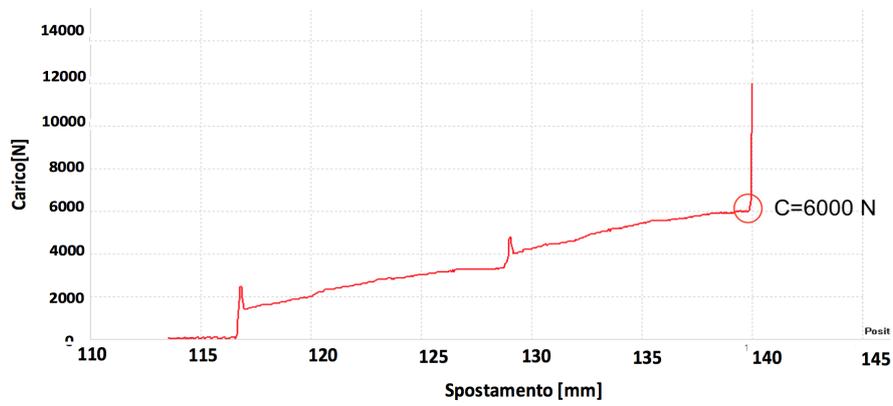


Figura 3.8: Prova di piantaggio 4



Figura 3.9: Prova di piantaggio 5

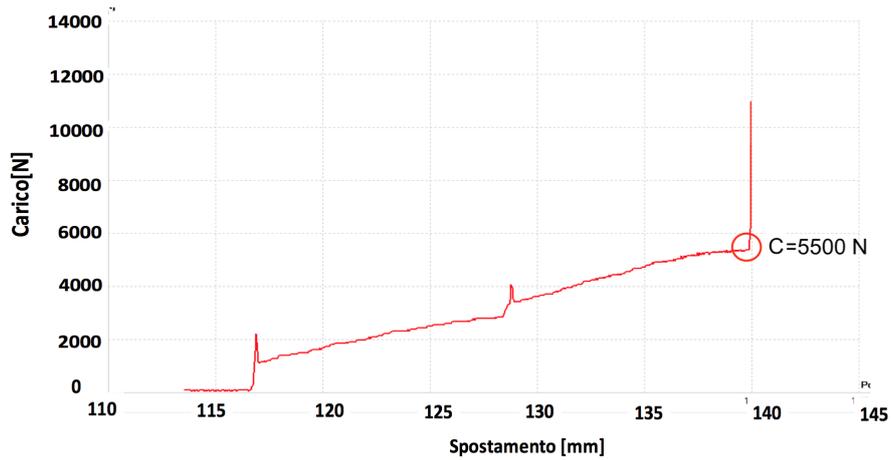


Figura 3.10: Prova di piantaggio 6

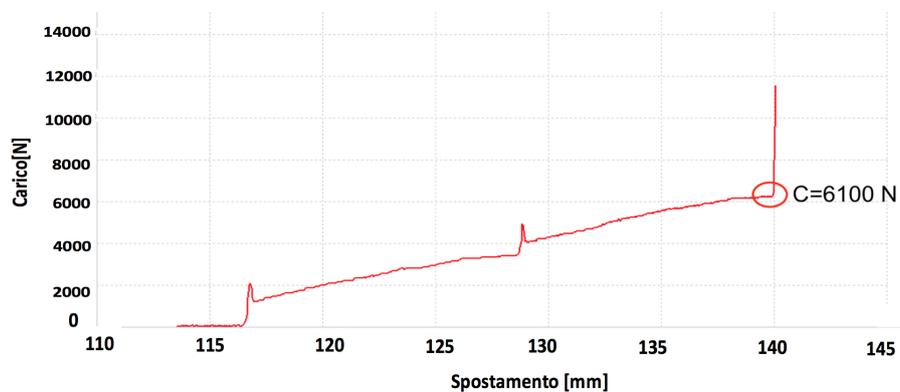


Figura 3.11: Prova di piantaggio 7

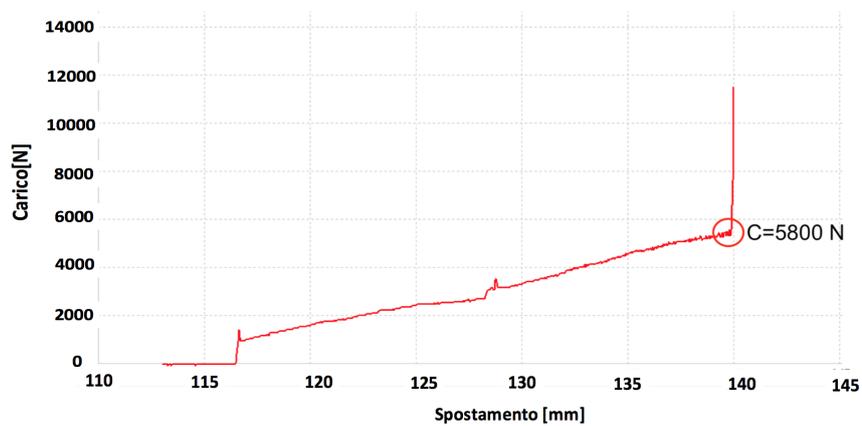


Figura 3.12: Prova di piantaggio 8



Figura 3.13: Prova di piantaggio 9

Si riportano in tabella 3.3 i carichi di piantaggio per ogni pezzo e la relativa interferenza.

N.pezzo	i [mm]	Carico[N]
1	0,037	7600
2	0,036	7450
3	0,034	6950
4	0,030	6000
5	0,044	8600
6	0,025	5500
7	0,035	6100
8	0,023	5800
9	0,043	6600
10	0,029	6700

Tabella 3.3: Carichi piantaggio e interferenze

Successivamente si è creato un grafico a dispersione ed è stata trovata la curva interpolante che esprimesse al meglio l'andamento del carico in funzione dell'interferenza ($R^2 = 0,675$, valore più vicino all'unità rispetto alle altre curve interpolanti). In tal modo è possibile prevedere il carico in condizioni di minimo e massimo materiale.

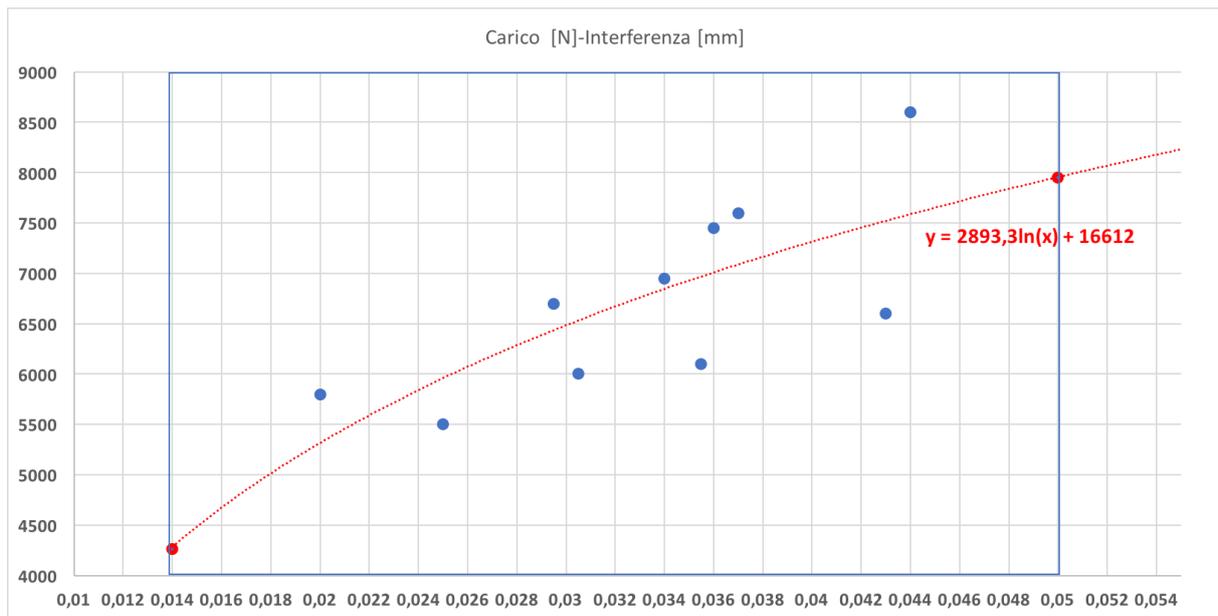


Figura 3.15: Carichi di piantaggio in funzione dell'interferenza e curva di interpolazione

Sfruttando l'equazione della curva $y = 2893,3\ln(x) + 16612$, si trova il carico critico in condizioni di massimo materiale. Imponendo:

$$x = 0,05 \text{ mm} \rightarrow y = C = 7944 \text{ N}$$

3.3 Valutazione del carico di giunzione a freddo

Una volta valutato il carico di piantaggio, si procede alla valutazione del carico di giunzione a freddo. In particolare si cerca di stimare il carico in cui la deformazione plastica del materiale inizia ad essere rilevante.

Il banco di lavoro è quello descritto nel paragrafo 1, in cui viene utilizzato l'utensile dotato di 4 pin, appoggiato su un basamento.

Sono state seguite le seguenti fasi:

- Esecuzione delle prove riportate in tabella 3.4;
- Misura della profondità di deformazione plastica;
- Valutazione del carico di inizio di deformazione plastica.

N.Prova	Carico [N]	N.pezzi	V_a [mm/s]	t_c [s]
1	16000	3	1	0
2	18000	10		
3	20000	10		

Tabella 3.4: Parametri prove di giunzione a freddo

Con V_a si indica la velocità di avanzamento con cui viene eseguita l'operazione, mentre t_m è il tempo di mantenimento, ossia per quanto tempo viene mantenuto costante il carico massimo.

Grazie ai risultati ottenuti mediante l'analisi FEM è stato possibile restringere l'intervallo di valori di carico utilizzati nei test sperimentali. Tale intervallo risulta essere 16000-20000N.

Risultati ottenuti

Si riportano di seguito i grafici ricavati con un carico massimo di 16000 N. Si osserva come l'andamento risulta lineare, simbolo di una deformazione prevalentemente elastica. La deformazione è impercettibile, motivo per cui il numero di prove è limitato a 3.

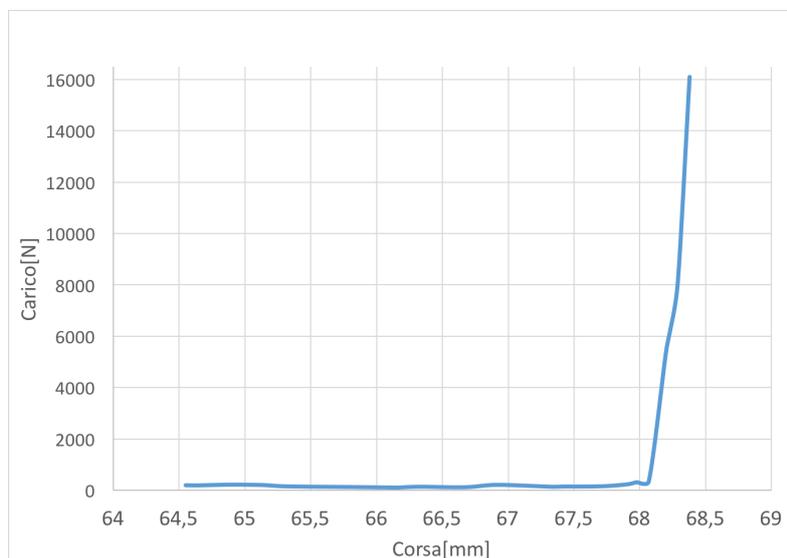


Figura 3.16: Carico totale=16000N; pezzo 1

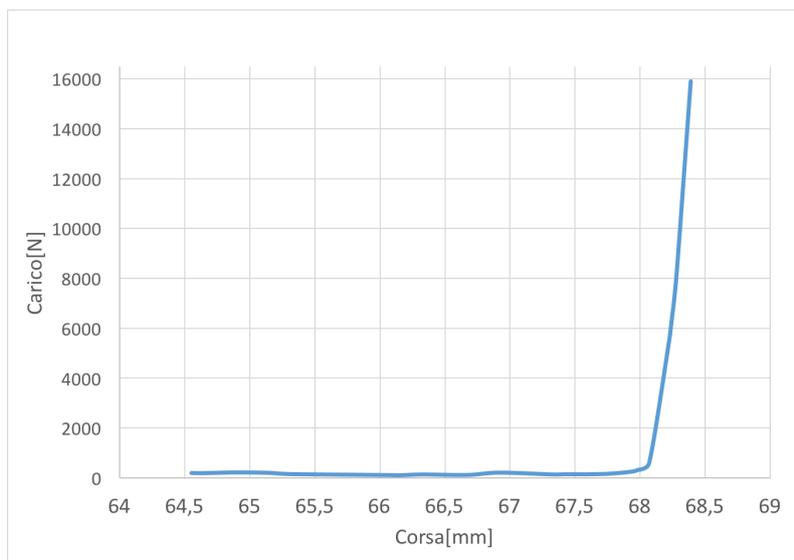


Figura 3.17: Carico totale=16000N; pezzo 2

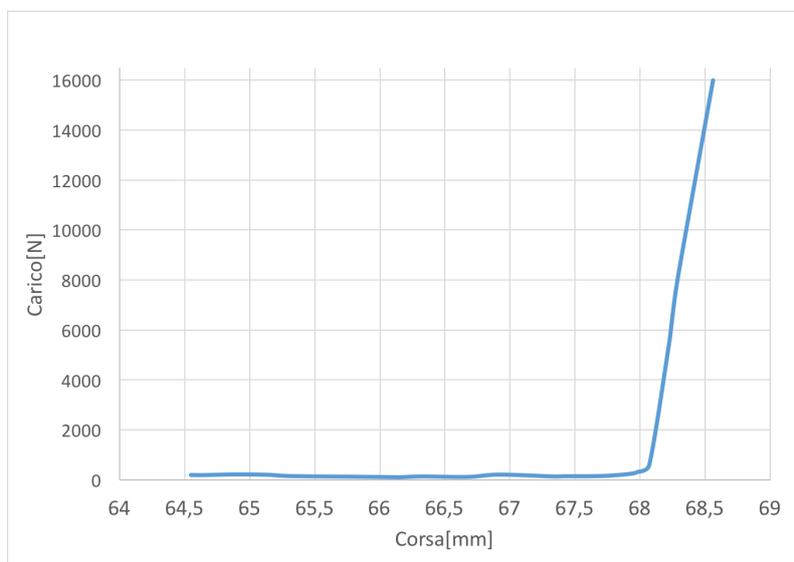


Figura 3.18: Carico totale=16000N; pezzo 3

A seguire si presentano 3 delle 10 prove effettuate a 18000 N, e un grafico di comparazione con i risultati di tutte le prove. Il numero di prove è risultato più consistente poiché con questo carico si individua l'inizio del tratto plastico .

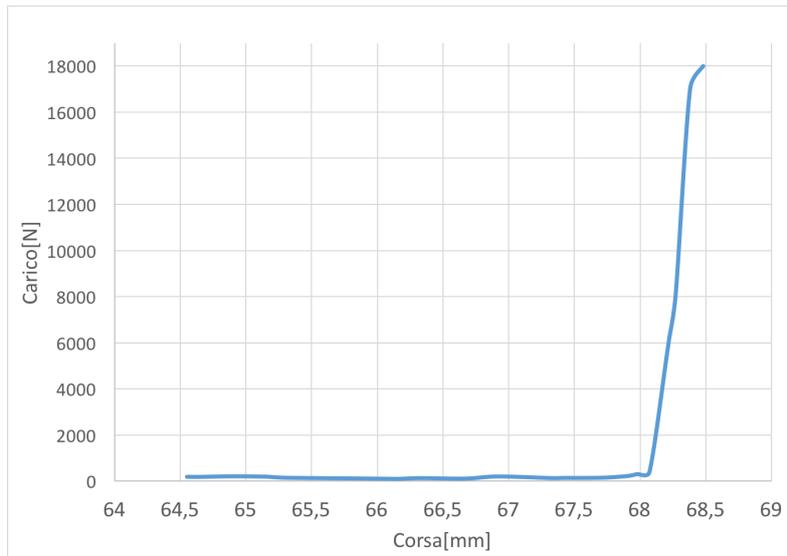


Figura 3.19: Carico totale=18000N; pezzo 1

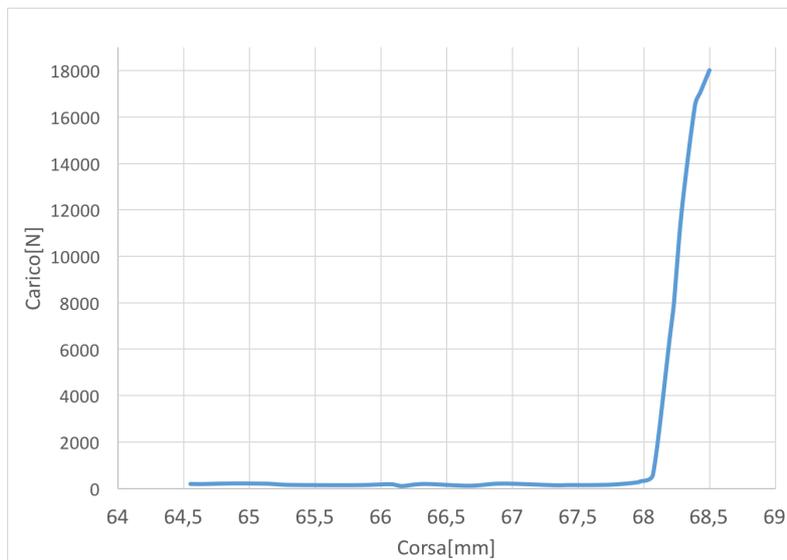


Figura 3.20: Carico totale=18000N; pezzo 2

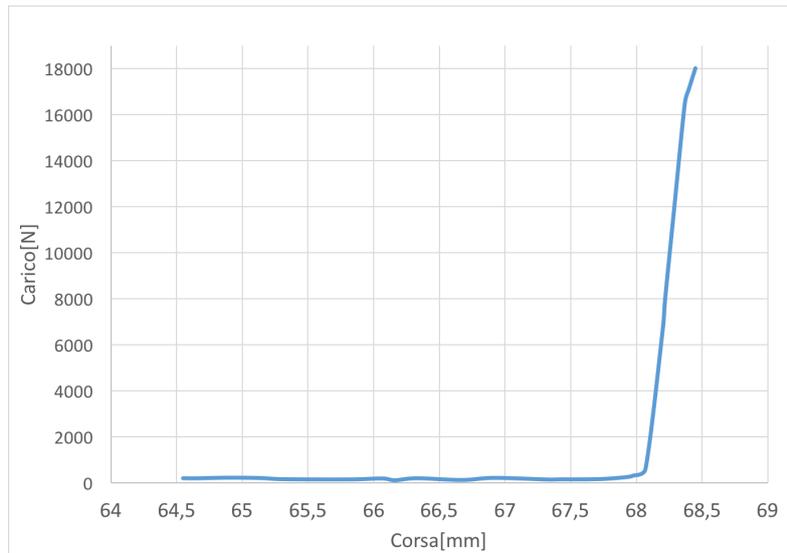


Figura 3.21: Carico totale=18000N; pezzo 3

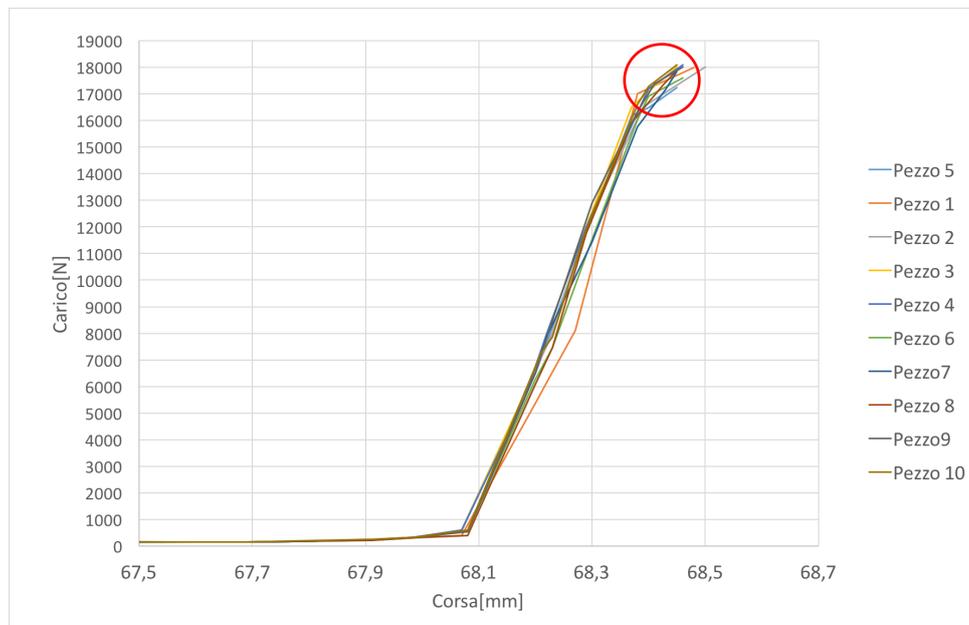


Figura 3.22: Grafico di comparazione prove giunzione a freddo a 18000 N

Infine si è aumentato ulteriormente il carico a 20000 N.

Si riportano di seguito 3 grafici più uno di comparazione tra tutte le prove.

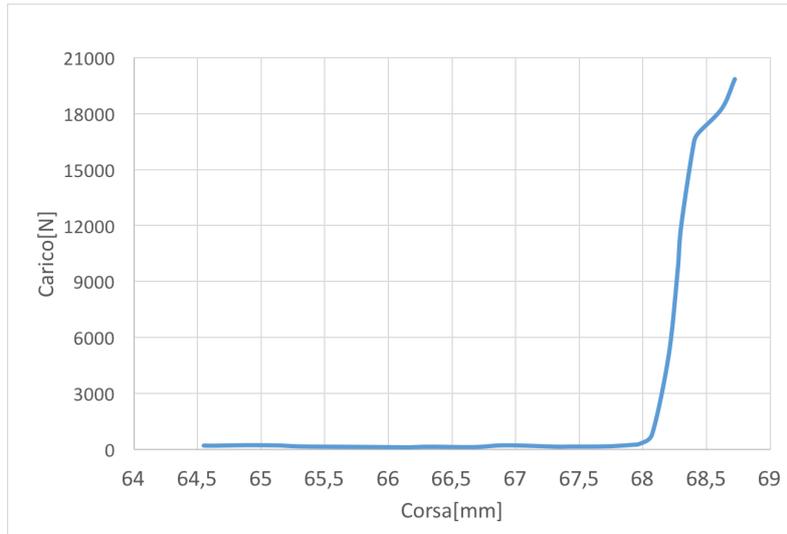


Figura 3.23: Carico totale=20000N; pezzo 1

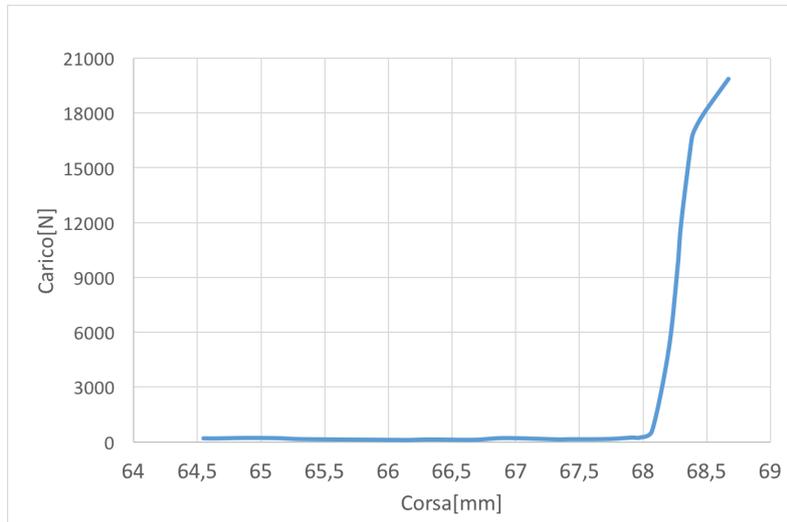


Figura 3.24: Carico totale=20000N; pezzo 2

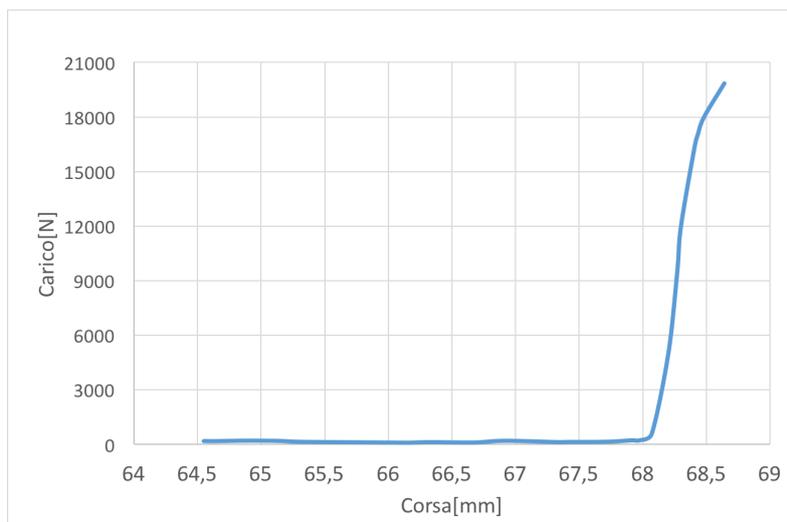


Figura 3.25: Carico totale=20000N; pezzo 3

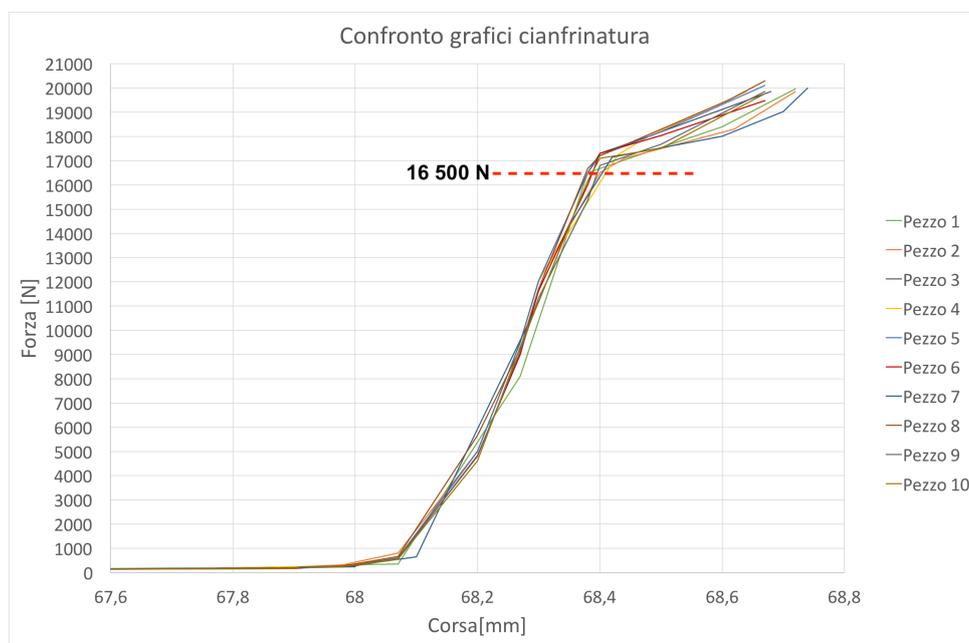


Figura 3.26: Grafico di comparazione grafici giunzione a freddo a 20000 N

Si osserva come il tratto plastico si evidenzia nell'intervallo tra 16500N e 17500N. Nella seguente tabella si riportano i valori delle profondità della cava ottenuta dalla deformazione misurati al variare del carico per i componenti trattati.

CT=16000 N		CT=18000 N		CT=20000 N	
N.pezzo	H _c [mm]	N.pezzo	H _c [mm]	N.pezzo	H _c [mm]
1	0,21	1	0,41	1	0,57
2	0,23	2	0,4	2	0,65
3	0,2	3	0,35	3	0,59
		4	0,42	4	0,61
		5	0,46	5	0,61
		6	0,41	6	0,58
		7	0,44	7	0,61
		8	0,39	8	0,7
		9	0,41	9	0,59
		10	0,44	10	0,7
MEDIA	0,21		0,39		0,60

Tabella 3.5: Misure profondità di giunzione a freddo al variare del carico

Dai valori misurati si osserva che applicando il carico di 16000 N si ha un'impercettibile deformazione del materiale, che tuttavia risulta insufficiente ai fini del fissaggio dei due componenti.

3.4 Valutazione dei limiti di profondità di giunzione a freddo a 20000 N

Dopo aver valutato il carico necessario alla giunzione a freddo, si vogliono valutare i limiti di profondità minima e massima per ritenere l'operazione accettabile. Si eseguono quindi test di "push off", ossia di spiantaggio per valutare la bontà del giunto al variare della profondità di giunzione a freddo. Si sono considerati 12 pezzi totali, di cui 3 lavorati a 16000 N, 3 a 18000 N, 3 a 20000 N e 3 a 24 000 N, con diverse profondità di deformazione (tabella 3.6). Le lavorazioni a 16000 N, 18000 N e 20000 N sono state trattate nel paragrafo precedente. Per esaminare un range più ampio di deformazioni si è realizzata una lavorazione a 24 000 N con cui si è ottenuta una profondità media di deformazione di 0,9 mm (grafici in appendice B).

Pezzo	H _c [mm]						
1	0,21	4	0,41	7	0,61	10	0,88
2	0,23	5	0,42	8	0,65	11	0,9
3	0,2	6	0,46	9	0,7	12	0,92
Hmedia	0,21	Hmedia	0,43	Hmedia	0,65	Hmedia	0,9

Tabella 3.6: Profondità di giunzione a freddo

Il processo consiste nell'applicazione di uno spostamento (S) imposto dalla pressa elettrica (1) ai soli cuscinetti (3) tenendo fissa la puleggia (3) su un piano d'appoggio forato (4). La lunghezza della superficie di accoppiamento (marcata in rosso), pari alla somma delle altezze dei cuscinetti, è pari a 24 mm. Con uno spostamento imposto di 26 mm, i cuscinetti sono estratti dall'alloggiamento. In figura è presente una schematizzazione banco di lavoro.

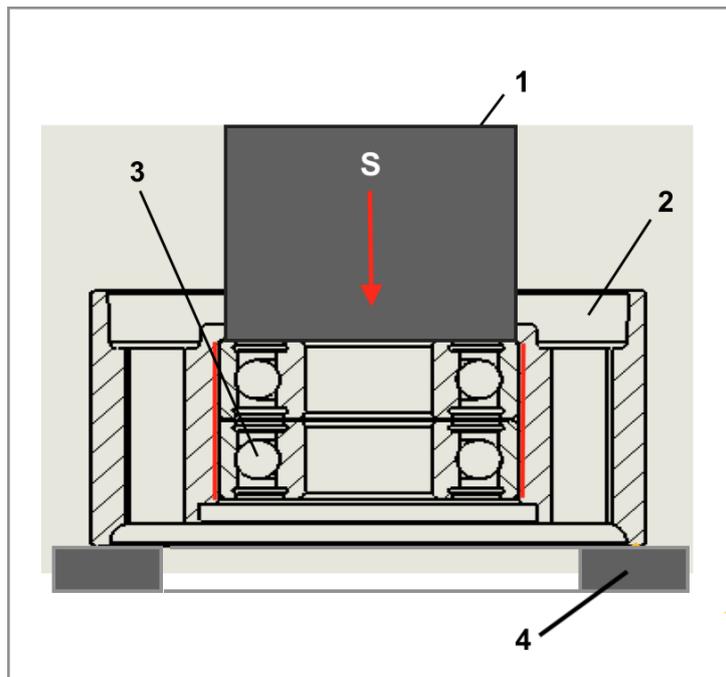


Figura 3.27: Schema test di spiantaggio

Il test è costituito dalle seguenti fasi:

- Esecuzione dello spiantaggio dei componenti riportati in tabella 3.6 e individuazione dei carichi di interesse;
- Correlazione tra carico di spiantaggio e profondità di deformazione plastica;
- Valutazione del range di profondità di deformazione ammissibile.

Di seguito si riportano 4 grafici inerenti ai pezzi 1,4,8,12 aventi differenti gradi di deformazione plastica. Si osserva un primo tratto a carico crescente che presenta una variazione di pendenza, evidenziato da un cerchio rosso. In questo punto viene localizzato il carico di spiantaggio, in cui i cuscinetti si muovono rispetto alla puleggia. I due picchi, rappresentano il passaggio dei due cuscinetti sulla parte di materiale deformata plasticamente:

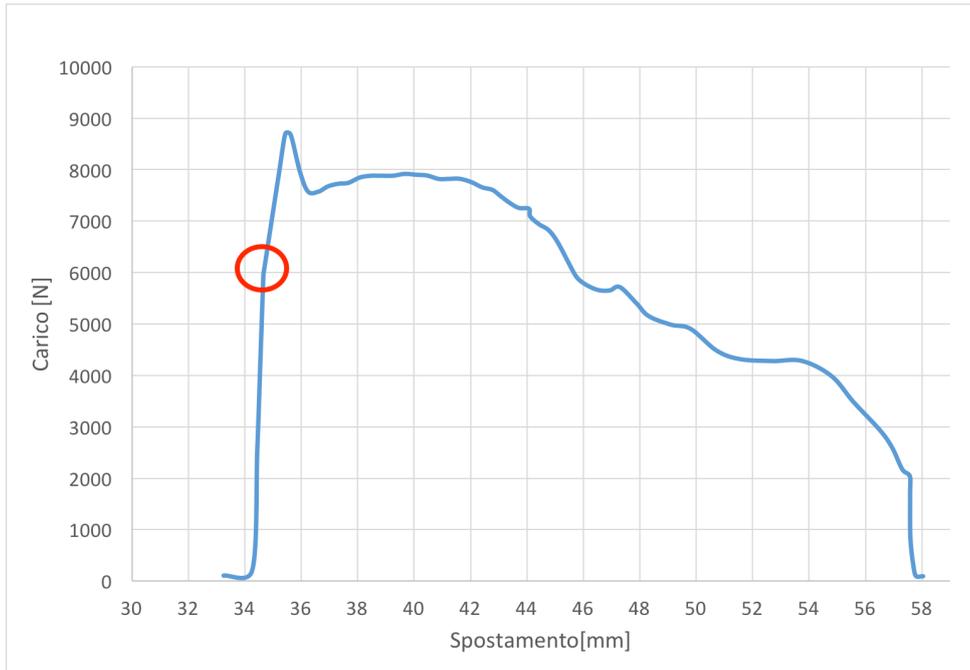


Figura 3.28: Forza di spiantaggio, pezzo n.1

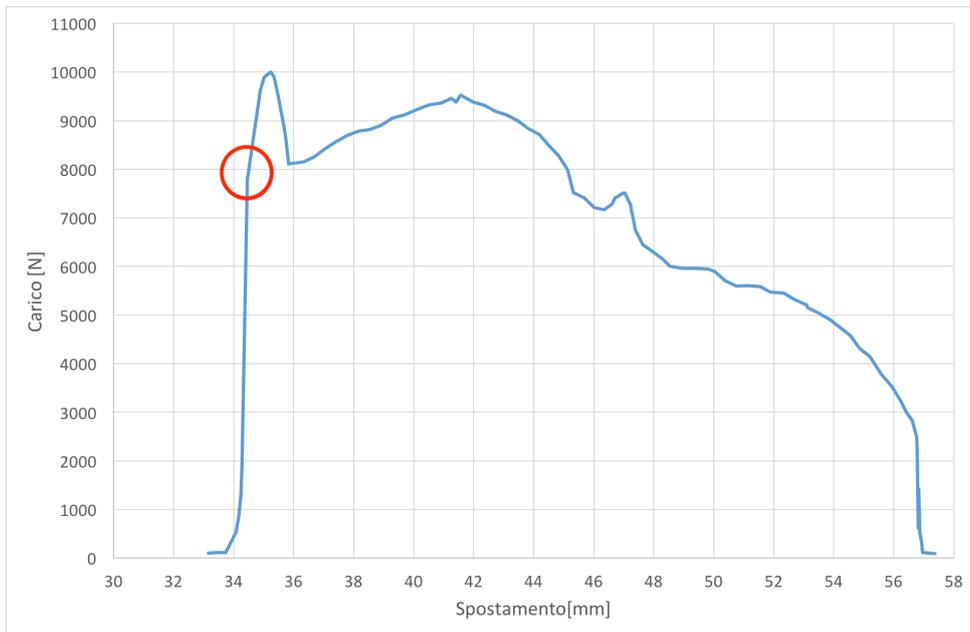


Figura 3.29: Forza di spiantaggio, pezzo n.4

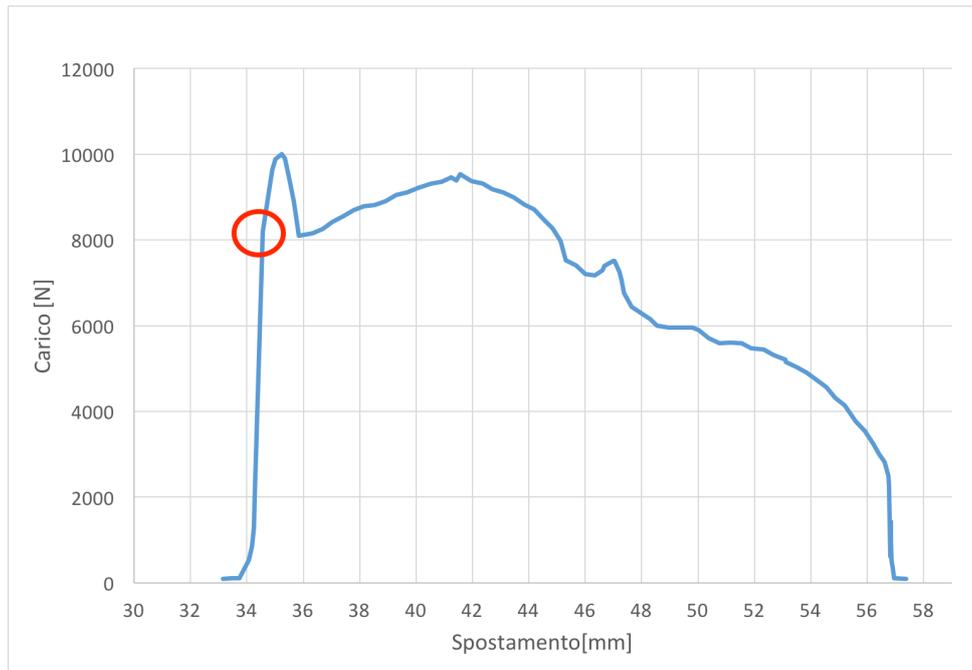


Figura 3.30: Forza di spiantaggio, pezzo n.8

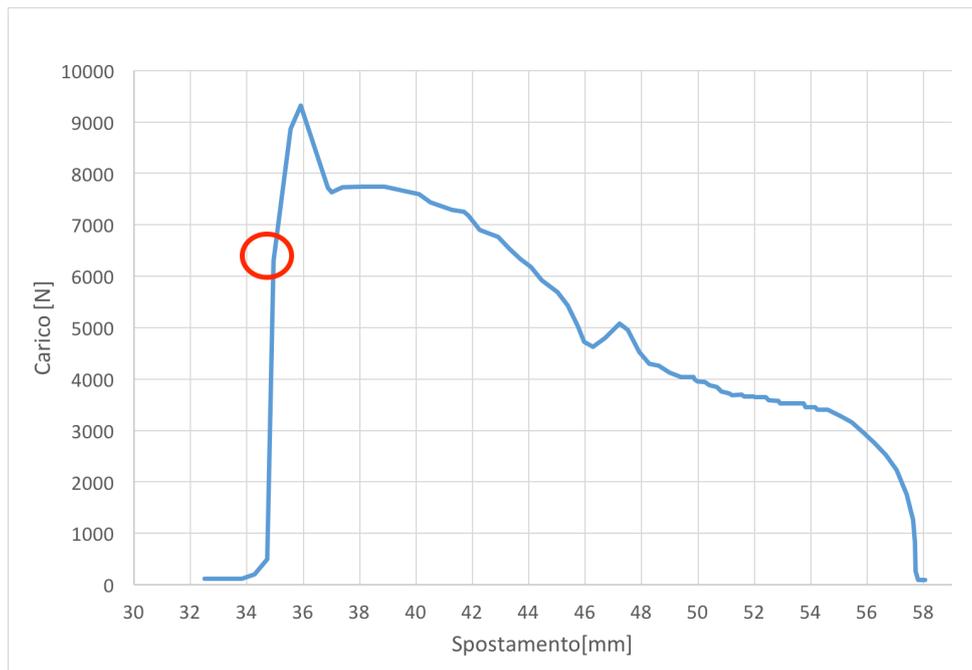


Figura 3.31: Forza di spiantaggio, pezzo n.12

Di seguito invece si riportano i particolari della zona di interesse dei grafici di spiantaggio, messi a confronto.

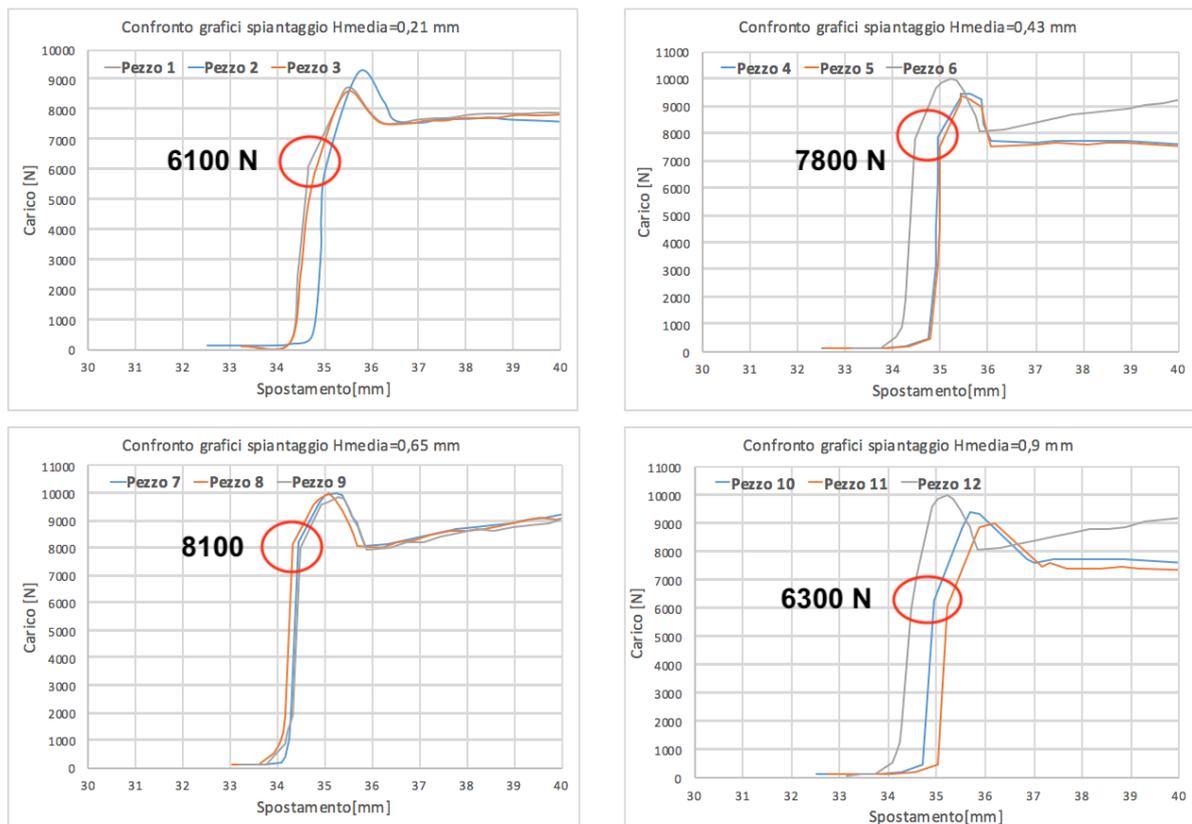


Figura 3.32: Confronto tra particolari dei grafici di spiantaggio

Nella tabella sottostante si riportano i valori dei carichi di spiantaggio e la media per ogni componente

N.Pezzo	Carico Spiantaggio[N]	Media[N]	Hmedia[mm]
1	6100	6100	0,21
2	6200		
3	6000		
4	8000	7800	0,43
5	7600		
6	7800		
7	8200	8150	0,65
8	8150		
9	8100		
10	6300	6320	0,9
11	6400		
12	6250		

Tabella 3.7: Carichi di spiantaggio

Si osserva come il carico di spiantaggio tende a crescere fino ad una profondità media di giunzione a freddo di 0,65 mm, per poi decrescere. Questo comportamento è dovuto al fatto che ad una bassa profondità di giunzione a freddo, si ha una deformazione plastica poco influente ai fini del fissaggio. Mentre una deformazione plastica di circa 0,9 mm provoca cricche nel materiale. Questa zona, durante lo spiantaggio oppone una resistenza limitata poiché tende a distaccarsi dal materiale.

Rappresentando in un diagramma a dispersione i valori medi del carico di spiantaggio in funzione della profondità media, è possibile ricavare tramite una linea di tendenza polinomiale, la curva che esprime la relazione tra carico e profondità di deformazione. La curva si è scelta polinomiale poiché segue in modo ottimale l'andamento dei dati sperimentali ($R^2 = 0,999$).

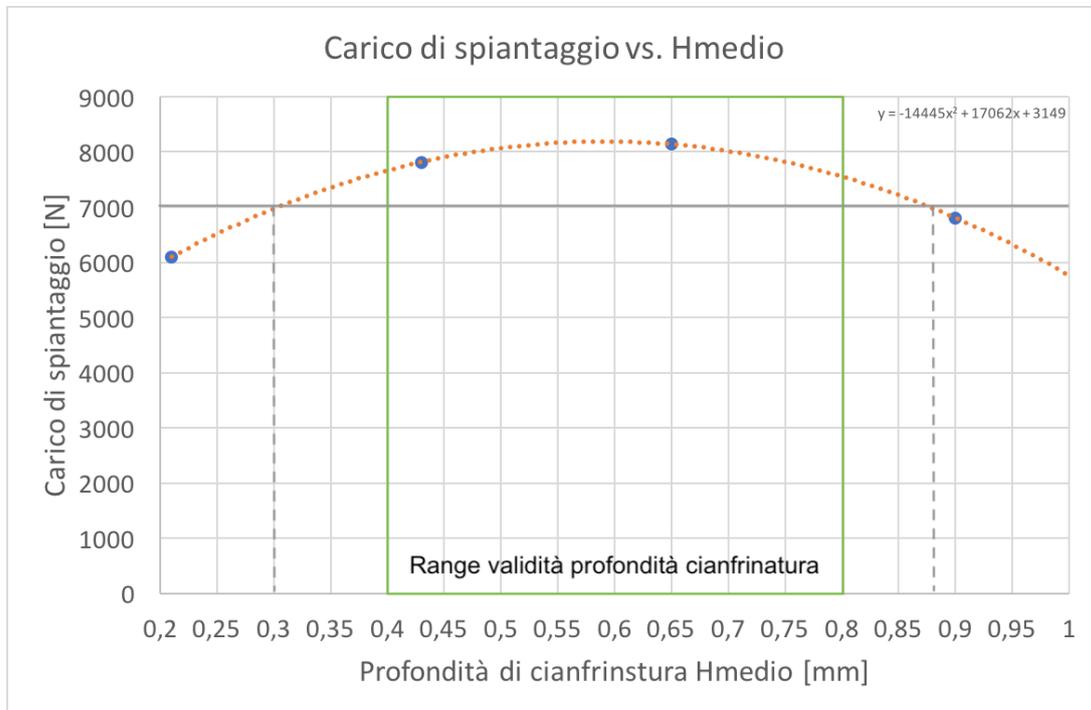


Figura 3.33: Carichi medi di spiantaggio in funzione della profondità di giunzione a freddo

Considerando che, con la creazione del giunto per deformazione plastica si vuole ottenere un carico di spiantaggio minimo di 7000 N, si trovano, dall'equazione della curva i due limiti di Hmedio pari a 0,3 mm e 0,89 mm. Considerando un fattore di sicurezza definito dalla pratica aziendale del 10%, si considera un carico di spiantaggio minimo di 7700 N. Si definiscono quindi, i limiti inferiore e superiore, della profondità di giunzione a freddo:

$$L_i = 0,4mm,$$

$$L_s = 0,8mm$$

3.5 Dimensionamento aree pistoni

Dalle prove effettuate si sono ricavati i carichi necessari per eseguire le due operazioni di assemblaggio e fissaggio a freddo. Sommando il carico massimo di piantaggio (F_p) pari a 8000 N e un carico cautelativo di giunzione a freddo(F_d) di 15500 N in cui non si ha deformazione plastica, si ha un carico totale(F_t) di 23 500 N.

Le aree dei pistoni sono suddivise nel seguente modo:

$$A_p(\%) = \frac{F_p}{F_T} \cdot 100 = 34\%,$$

$$A_d(\%) = \frac{F_d}{F_T} \cdot 100 = 66\%.$$

Con questa distribuzione delle superfici si raggiunge il carico di piantaggio prima che inizi la deformazione plastica del materiale.

Chiamiamo R_d e R_p i raggi dei pistoni relativi alle giunzione a freddo e al piantaggio, mostrati in fig. 3.15, F_d e F_p i carichi scaricati sulle relative superfici, F_t il carico totale e p la pressione all'interno della camera.

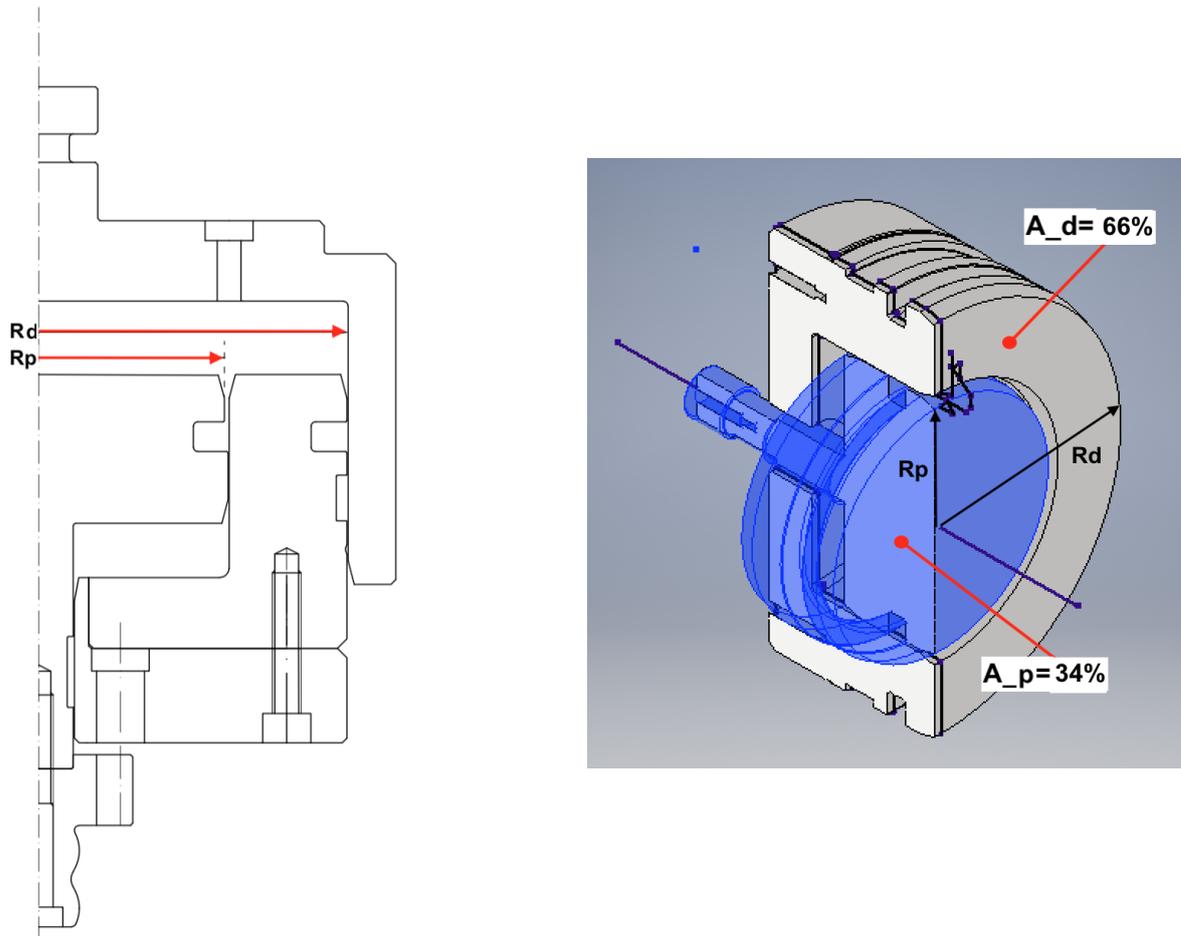


Figura 3.34: (a): Rappresentazione di R_d e R_p ; (b): Ripartizione percentuale delle aree

Per questioni di ingombri, si è fissato $r_d = 130 \text{ mm}$. Sapendo che:

- $F_d = 0,66 \cdot F$ e $F_p = 0,34 \cdot F$;

- $p = \frac{F_t}{\pi \cdot r_d^2}$.

Si trova: $r_p = \sqrt{\frac{F_p}{p \cdot \pi}} \rightarrow r_p = \sqrt{0,34 \cdot r_d^2} = 37,7 \text{ mm}$.

Il raggio del pistone di piantaggio viene quindi assunto pari a $r_p = 39 \text{ mm}$.

r_p [mm]	38	r_d [mm]	65
A_p [mm ²]	8736,8	A_d [mm ²]	4536,6

Tabella 3.8: Raggi e aree dei pistoni di piantaggio e giunzione a freddo

Capitolo 4

Test sperimentali

4.1 Piantaggio e giunzione a freddo

Si sono effettuati test di piantaggio e giunzione a freddo con l'attrezzatura progettata. Si sono effettuate 30 prove per verificare l'effettivo funzionamento dell'attrezzatura come l'assenza di trafiletti o il piantaggio incompleto. Si valuta in seguito la ripetibilità dello strumento.

Si sono misurati, i diametri esterni dei cuscinetti $\phi_{2,A/B}$ e quello interno delle pulegge ϕ_1 per assicurarsi che non ci siano componenti fuori tolleranza. Le misurazioni, effettuate con i micrometri per interni ed esterni sopraccitati nel paragrafo 3.1, sono riportate in tabella 4.1.

N.pezzo	ϕ_1 [mm]	$\phi_{2,A/B}$ [mm]	N.pezzo	ϕ_1 [mm]	$\phi_{2,A/B}$ [mm]
1	39,970	39,999 40	16	39,956	40 40
2	39,963	39,999 39,999	17	39,969	39,999 39,999
3	39,955	40 39,998	18	39,958	39,997 39,996
4	39,958	39,997 39,996	19	39,967	39,999 39,997
5	39,973	40 39,999	20	39,955	39,999 39,998
6	39,966	39,997 39,998	21	39,956	39,998 39,997
7	39,973	39,997 39,999	22	39,973	39,996 39,999
8	39,954	39,997 39,999	23	39,953	39,996 39,998
9	39,950	39,998 39,999	24	39,954	39,997 39,998
10	39,951	39,997 40	25	39,969	39,997 39,997
11	39,956	39,999 39,999	26	39,968	39,996 40
12	39,965	39,998 39,996	27	39,951	39,998 39,998
13	39,960	39,999 39,998	28	39,962	39,997 39,997
14	39,964	39,999 39,996	29	39,967	39,998 40
15	39,966	39,998 40	30	39,975	39,996 40

Tabella 4.1: Misure diametri cuscinetti e pulegge ϕ_2 ϕ_1

Il banco di prova è rappresentato in figura 4.1. La puleggia è posata sui cuscinetti, i quali sono stati inseriti sul blocco di centraggio/piantaggio. L'attrezzatura è posta quindi con i pin di giunzione a freddo rivolti verso l'alto e collocata su un basamento che garantisce stabilità durante il processo. La pressa quindi preme la puleggia contro l'attrezzatura, la quale, grazie alla giusta ripartizione dei carichi, garantisce il piantaggio

dei cuscinetti e la successiva giunzione a freddo.



Figura 4.1: Banco di prova per il test di piantaggio e giunzione a freddo

I parametri di processo imposti alla macchina sono i seguenti:

- Velocità di avanzamento: $V_a = 1 \text{ mm/s}$;
- Carico massimo: $F_t = 30000 \text{ N}$, di cui:
 - $F_{eff,d} = 0.66 \cdot F_t = 19800 \text{ N} \rightarrow \text{Carico def. a freddo}$
 - $F_{eff,p} = 0.34 \cdot F_t = 10200 \text{ N} \rightarrow \text{Carico piantaggio}$

Risultati

Di seguito si riportano 5 grafici della forza della pressa in N in funzione della corsa in mm in cui si nota la storia di carico dell'operazione più uno in cui si rappresenta il carico totale, e i due parziali in cui viene ripartito analiticamente (66% e 34%).

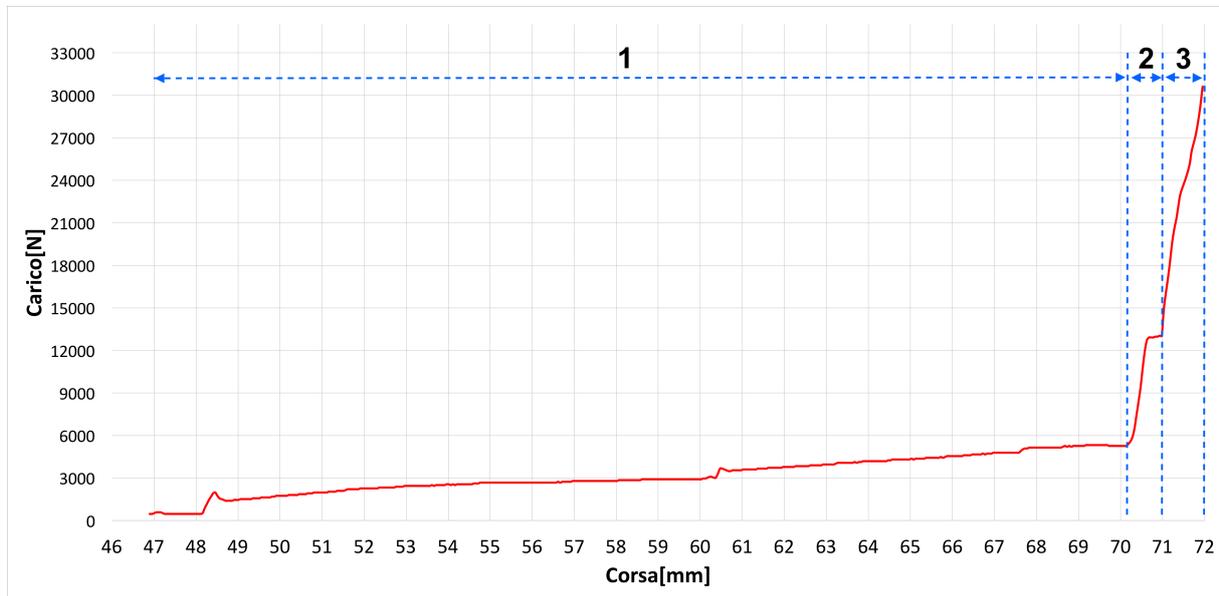


Figura 4.2: Test piantaggio e giunzione a freddo 1

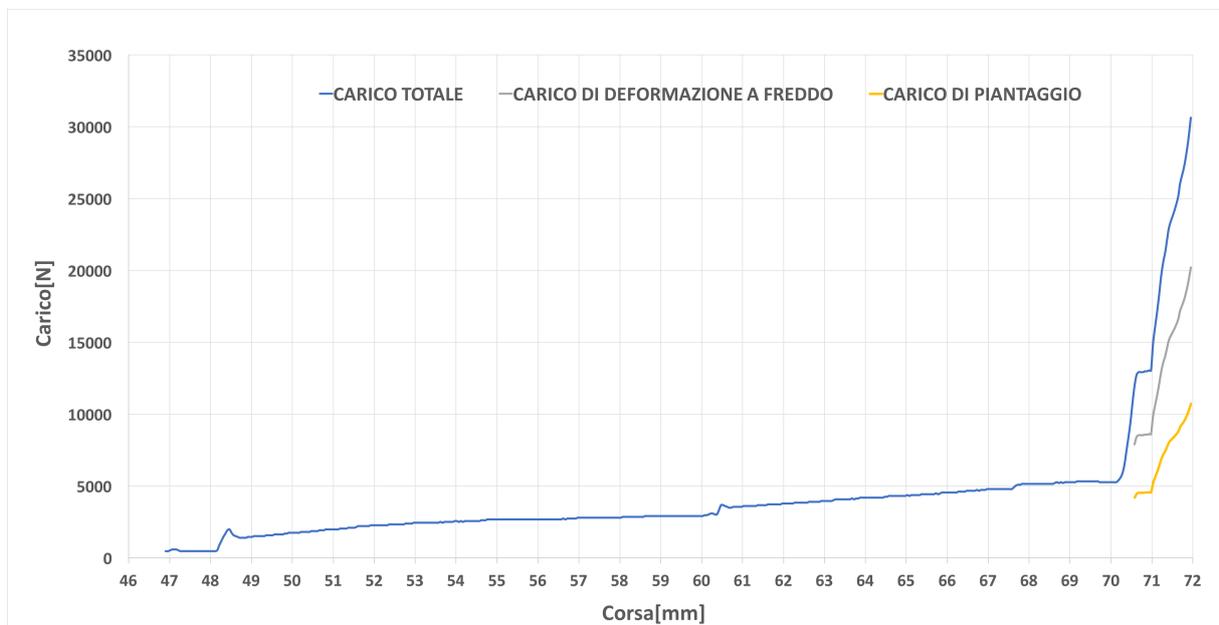


Figura 4.3: Test piantaggio e giunzione a freddo 1 con scomposizione del carico

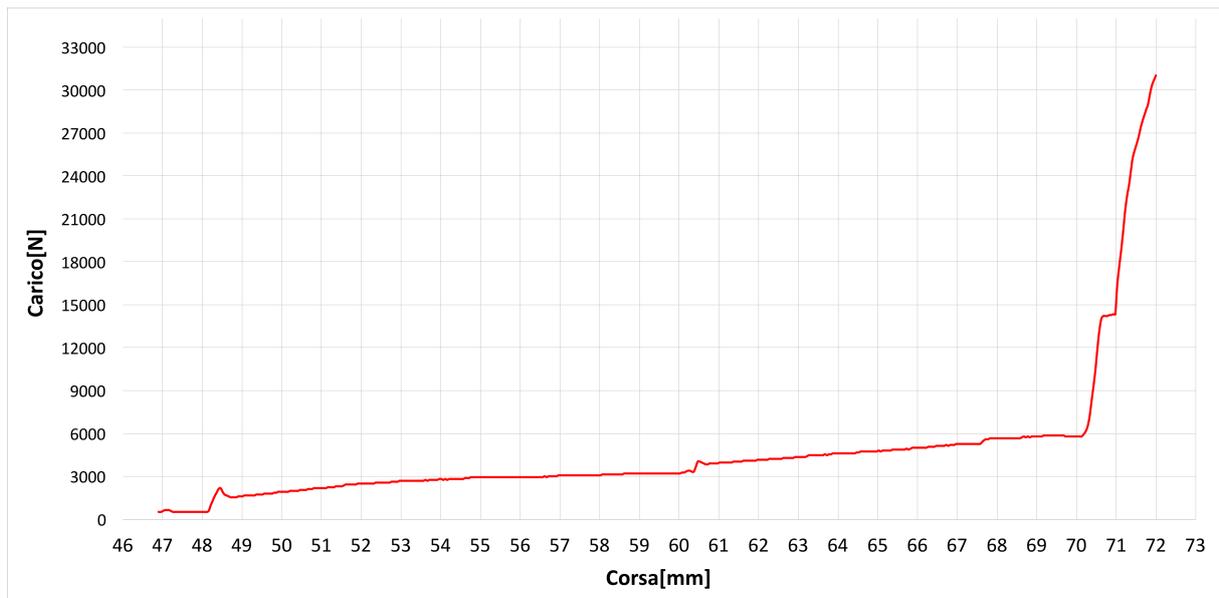


Figura 4.4: Test piantaggio e giunzione a freddo 2

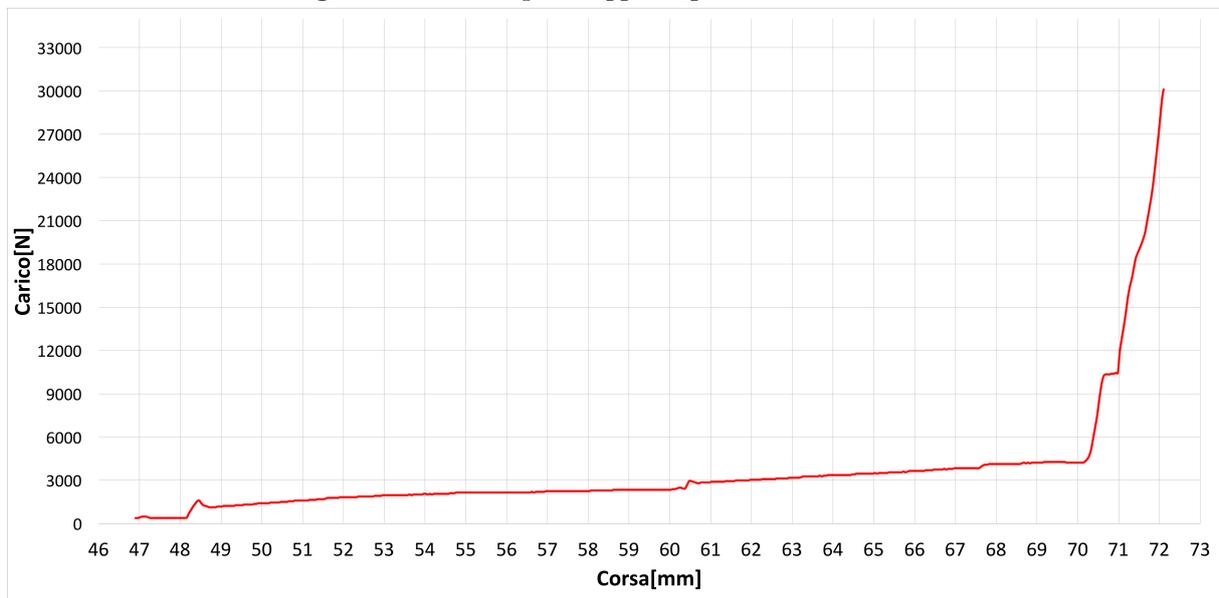


Figura 4.5: Test piantaggio e giunzione a freddo 3

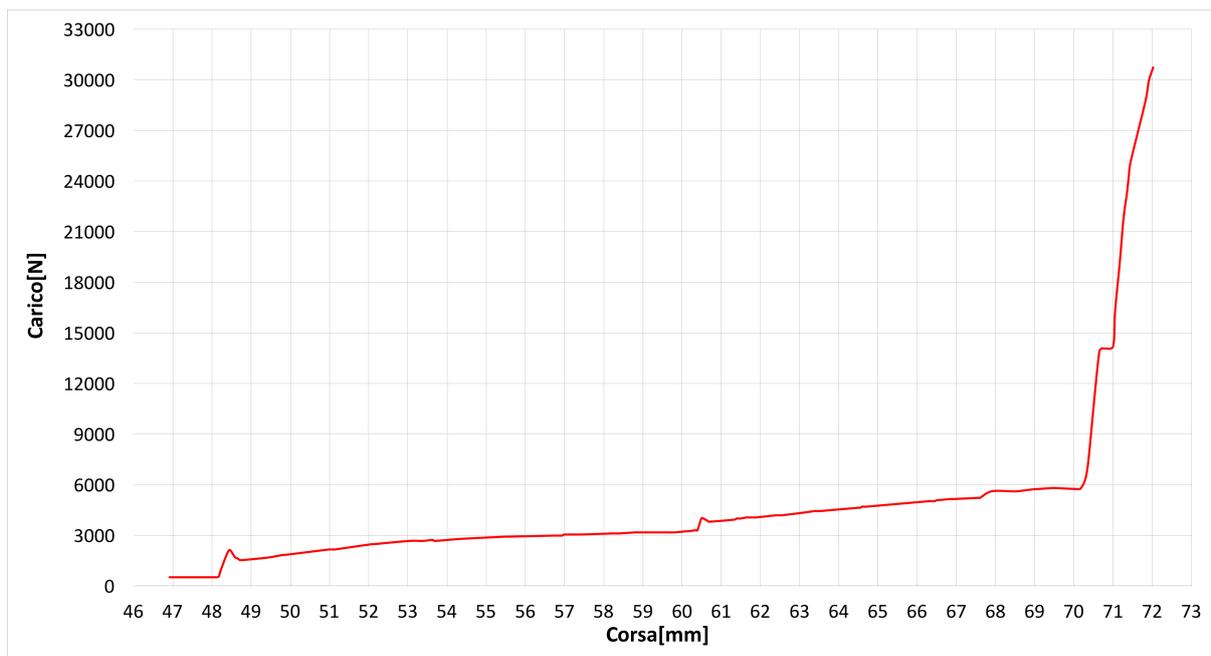


Figura 4.6: Test piantaggio e giunzione a freddo 4

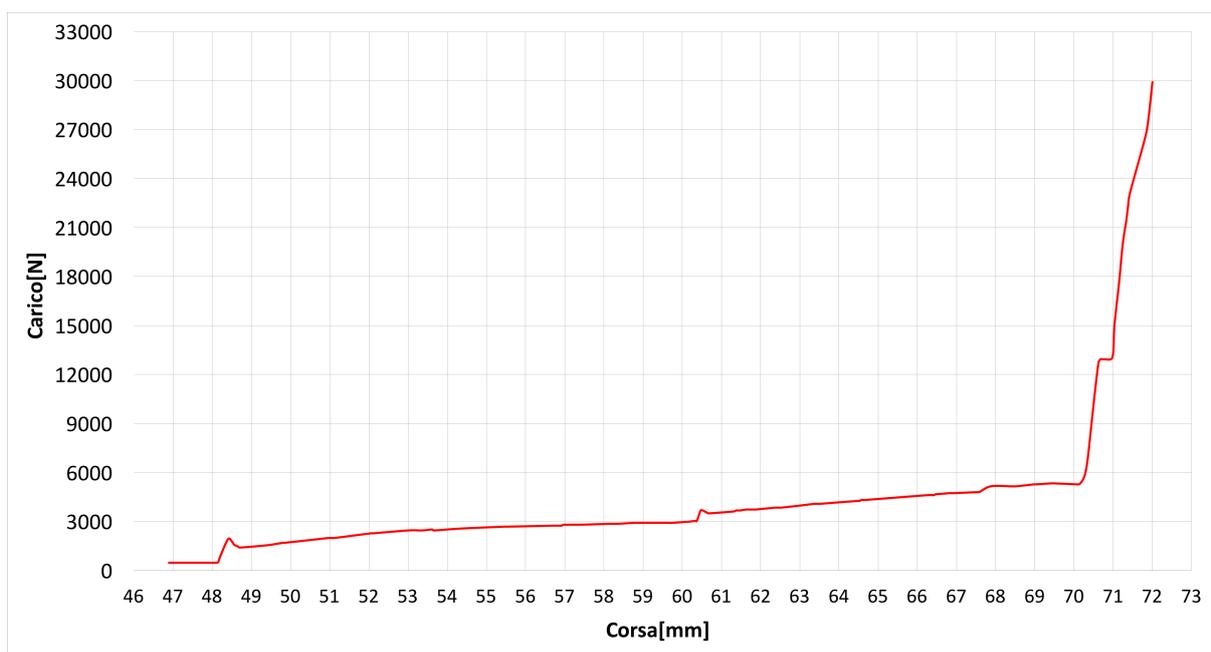


Figura 4.7: Test piantaggio e giunzione a freddo 5

Dai grafici si nota come le prove abbiano dato risultati assolutamente molto simili tra loro.

Facendo riferimento al grafico in figura 4.2 si nota che la curva di carico segue due pendenze ben distinte:

- il tratto a pendenza minore (tratto 1 e parte del 2), si osserva durante la fase di piantaggio poiché il materiale esercita minore resistenza all'avanzamento della corsa della pressa;
- il tratto a pendenza maggiore (tratto 3 e parte del 2), si osserva nel momento in cui i punzoni dell'attrezzatura incontrano il materiale da deformare. Durante questa operazione la pressa registra una repentina crescita della forza rispetto alla corsa.

Nel grafico 4.3 è rappresentato il carico totale, in blu, e i carichi di piantaggio (giallo) e di giunzione a freddo (grigio) in cui è suddiviso. Si osserva come il piantaggio sia effettuato per tutto il tratto a bassa pendenza fino a circa 6000 N, per poi concludersi intorno ai 13000N, nel tratto in cui la curva torna ad una bassa pendenza.

Inoltre poiché il piantaggio termina a 4500 N (che corrispondono ad un carico totale di 14 700 N) il carico di giunzione a freddo, a piantaggio ultimato, è pari a 9700 N, pochi per l'inizio della deformazione plastica, che inizierà ad essere evidente dopo i 17000 N. I due processi dunque non vengono sovrapposti.

Valutazione ripetibilità strumento

Per valutare la ripetibilità dello strumento si è misurata la profondità della cava generata dall'azione dei 4 punzoni(fig.4.8), con un micrometro millesimale (fig.4.9). Si riportano i dati nella tabella seguente.



Figura 4.8: Punti di misurazione della profondità di giunzione a freddo



Figura 4.9: Micrometro millesimale utilizzato per le misurazioni

Pezzo 1			Pezzo 2			Pezzo 3		
Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]
1.1	0,62	0,65	2.1	0,55	0,62	3.1	0,64	0,68
1.2	0,73		2.2	0,7		3.2	0,66	
1.3	0,58		2.3	0,65		3.3	0,69	
1.4	0,68		2.4	0,56		3.4	0,71	
Pezzo 4			Pezzo 5			Pezzo 6		
Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]
4.1	0,61	0,61	5.1	0,62	0,61	6.1	0,7	0,61
4.2	0,7		5.2	0,72		6.2	0,58	
4.3	0,57		5.3	0,55		6.3	0,54	
4.4	0,56		5.4	0,55		6.4	0,62	
Pezzo 7			Pezzo 8			Pezzo 9		
Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]
5.1	0,54	0,59	5.1	0,72	0,66	9.1	0,67	0,64
5.2	0,63		5.2	0,72		9.2	0,67	
5.3	0,63		5.3	0,56		9.3	0,55	
5.4	0,56		5.4	0,62		9.4	0,67	
Pezzo 10			Pezzo 11			Pezzo 12		
Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]
10.1	0,68	0,62	11.1	0,7	0,63	12.1	0,73	0,65
10.2	0,59		11.2	0,72		12.2	0,62	
10.3	0,56		11.3	0,54		12.3	0,54	
10.4	0,63		11.4	0,55		12.4	0,72	
Pezzo 13			Pezzo 14			Pezzo 15		
Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]
13.1	0,72	0,62	14.1	0,57	0,59	15.1	0,55	0,59
13.2	0,57		14.2	0,61		15.2	0,53	
13.3	0,52		14.3	0,59		15.3	0,65	
13.4	0,67		14.4	0,6		15.4	0,64	
Pezzo 16			Pezzo 17			Pezzo 18		
Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]
16.1	0,6	0,63	17.1	0,68	0,69	18.1	0,69	0,64
16.2	0,58		17.2	0,73		18.2	0,71	
16.3	0,68		17.3	0,68		18.3	0,53	
16.4	0,67		17.4	0,66		18.4	0,63	

Pezzo 19			Pezzo 20			Pezzo 21		
Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]
19.1	0,66	0,64	20.1	0,72	0,71	21.1	0,6	0,63
19.2	0,53		20.2	0,7		21.2	0,65	
19.3	0,65		20.3	0,7		21.3	0,73	
19.4	0,73		20.4	0,72		21.4	0,52	
Pezzo 22			Pezzo 23			Pezzo 24		
Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]
22.1	0,62	0,61	23.1	0,63	0,63	24.1	0,66	0,625
22.2	0,56		23.2	0,62		24.2	0,52	
22.3	0,64		23.3	0,66		24.3	0,72	
22.4	0,6		23.4	0,59		24.4	0,6	
Pezzo 25			Pezzo 26			Pezzo 27		
Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]
25.1	0,6	0,59	26.1	0,7	0,67	27.1	0,61	0,62
25.2	0,67		26.2	0,67		27.2	0,62	
25.3	0,53		26.3	0,58		27.3	0,6	
25.4	0,57		26.4	0,73		27.4	0,64	
Pezzo 28			Pezzo 29			Pezzo 30		
Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]	Pin N°	H_c [mm]	Media [mm]
28.1	0,7	0,64	29.1	0,53	0,58	30.1	0,71	0,65
28.2	0,71		29.2	0,65		30.2	0,63	
28.3	0,52		29.3	0,6		30.3	0,58	
28.4	0,62		29.4	0,53		30.4	0,66	

Tabella 4.2: Misure profondità di deformazione plastica su prova finale

Il valor medio dei valori medi, la deviazione standard σ e il coefficiente di varianza pari a sono riportati nella seguente tabella.

H_m [mm]	0,629
σ [mm]	0,029
CoV	0,047

Tabella 4.3: Valor medio, varianza e coefficiente di varianza

Si osserva come i valori medi seguano una distribuzione normale, avente al centro il valor medio. I valori limite di profondità di giunzione a freddo stimati in precedenza sono pari a: $L_i = 0,4 \text{ mm}$ e $L_s = 0,8 \text{ mm}$. Il primo corrisponde a un carico al quale non si garantisce una sufficiente deformazione plastica mentre il secondo risulta eccessivo e inizia la formazione della cricca.

Considerando un livello di confidenza al 99,7%, l'intervallo di confidenza sarà dato da:

$$H_m + 3\sigma = 0,72 \text{ mm},$$

$$H_m - 3\sigma = 0,54 \text{ mm}.$$

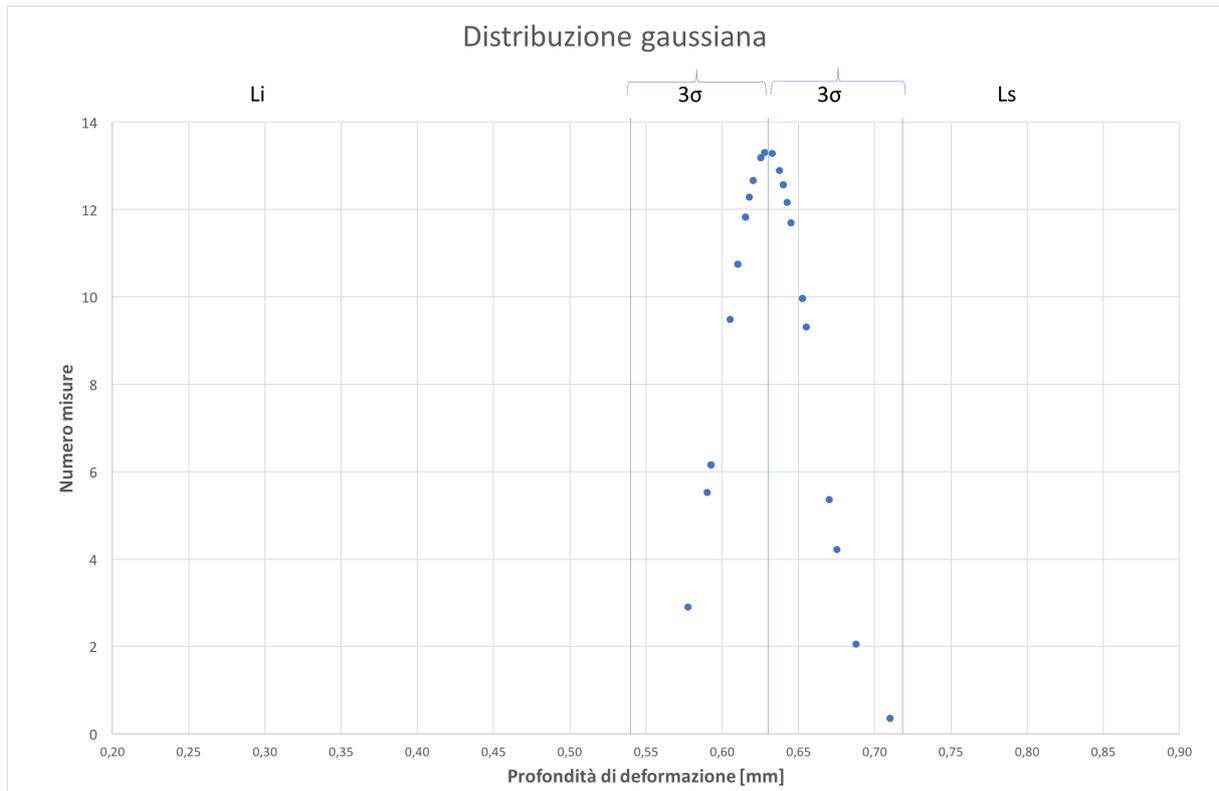


Figura 4.10: Distribuzione normale dei valori

Sono quindi calcolati i coefficienti C_p e C_{PK} . Il primo descrive la ripetibilità di una macchina o un processo relativo alla classe di tolleranza, senza considerare il suo centraggio rispetto al valore nominale, mentre il secondo indica il centraggio del processo attorno al valore nominale[8].

$$C_P = \frac{L_s - L_i}{6 \cdot \sigma} = 2,229 ,$$

$$C_{pk} = \text{Min}\left(\frac{L_s - H_m}{3 \cdot \sigma}; \frac{H_m - L_i}{3 \cdot \sigma}\right) = 1,957.$$

$C_P > 1$ indica che l'intervallo compreso tra i limiti di tolleranza è elevato rispetto alla dispersione del processo. Il C_{PK} tiene conto della variabilità del processo e anche della centratura. Essendo entrambi maggiori di 1, il processo è più che capace di produrre la quasi totalità delle lavorazioni entro le tolleranze.

Correlazione tra la storia di carico e i movimenti dell'attrezzatura

È possibile suddividere i grafici ottenuti in tre zone e correlare ciascuna di essa ai movimenti effettuati dallo strumento durante le operazioni, (fig.4.11).

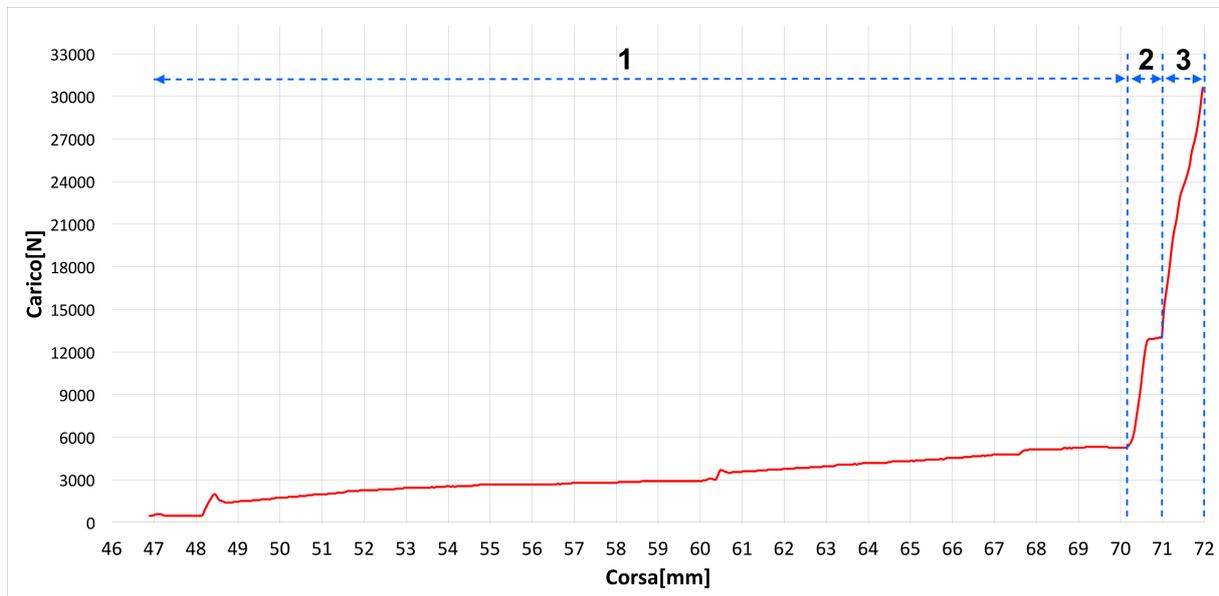


Figura 4.11: Test piantaggio e giunzione a freddo 1, scomposizione in fasi

Azionata la pressa elettrica, la puleggia è spinta contro i cuscinetti che a loro volta sono a contatto con i 4 pin e la base del blocco di piantaggio (fig.4.12). Tale fase raggiunge circa i 5000 N ad una corsa di 70,1 mm dell'utensile della pressa. Non si ha suddivisione del carico totale.



Figura 4.12: Test attrezzatura: fase 1 di piantaggio

Nella seconda fase si osserva un repentino cambio di pendenza poiché i pin creano un'iniziale deformazione elastica/plastica nella puleggia a cui segue un ritorno alla bassa

pendenza in cui viene completato il piantaggio. Questo comportamento è dato dall'elevata resistenza che il materiale esercita sui pin che arrestano la propria corsa e permettono al blocco di piantaggio di avanzare grazie alla pressione che il fluido esercita sul di esso. In questa fase si ha la scomposizione della carico totale nei due carichi parziali.

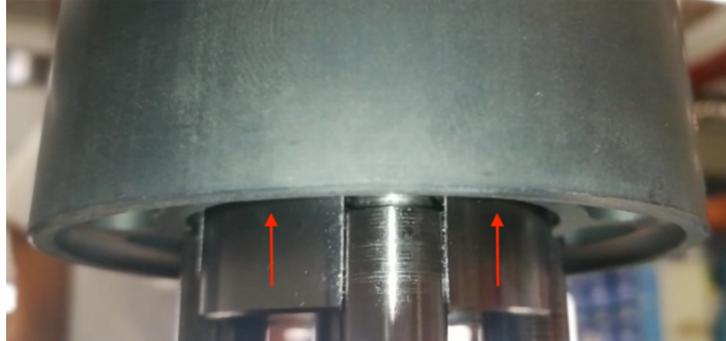


Figura 4.13: Test attrezzatura: fase 2 di conclusione piantaggio

Nell'ultima fase, a piantaggio avvenuto, il carico sale dai 13 000 N ai 30 000 N, in cui avviene la giunzione a freddo. In questo caso il blocco di piantaggio e i cuscinetti sono a fine corsa mentre i pin effettuano la deformazione.

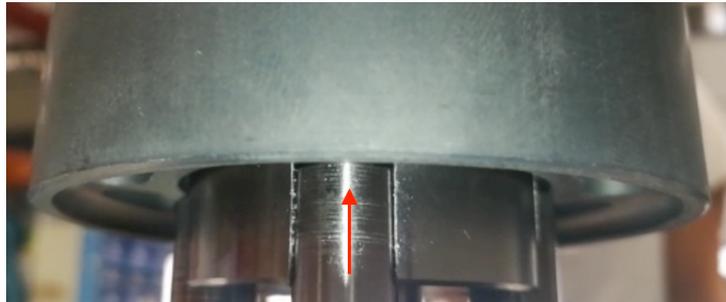


Figura 4.14: Test attrezzatura: fase 3 di giunzione a freddo

4.2 Controllo del processo

Le servo presse permettono di monitorare il processo tramite la retroazione di forza, posizione e velocità. Questo sistema permette di controllare al meglio l'esecuzione del processo lavorativo poiché ne monitora la corretta esecuzione e permette una più facile individuazione di errori in caso di fallimenti.

Il controllo è facilitato dall'interfaccia grafica delle macchine. Con riferimento alla figura 4.15, che presenta un esempio di il grafico forza/spostamento, è infatti possibile inserire 4 finestre di controllo che servono ad impostare limiti sulla forza o sullo spostamento che il processo deve rispettare per non produrre uno scarto. Prendendo in considerazione il grafico di piantaggio e giunzione a freddo si possono inserire le seguenti finestre di controllo:

1. L'altezza della prima finestra definisce il limite superiore e inferiore che il carico non può oltrepassare in fase di scorrimento (piantaggio); affinché non ci sia uno scarto, la curva deve attraversare la finestra intersecando i tratti verticali secondo il verso indicato;
2. La seconda finestra di controllo serve ad individuare la presenza del tratto che definisce il completamento del piantaggio;
3. L'ultima rappresenta il controllo sul carico fine giunzione a freddo.

Con questi accorgimenti ci si assicura che il piantaggio sia eseguito correttamente e che si raggiunga il corretto carico di giunzione a freddo.

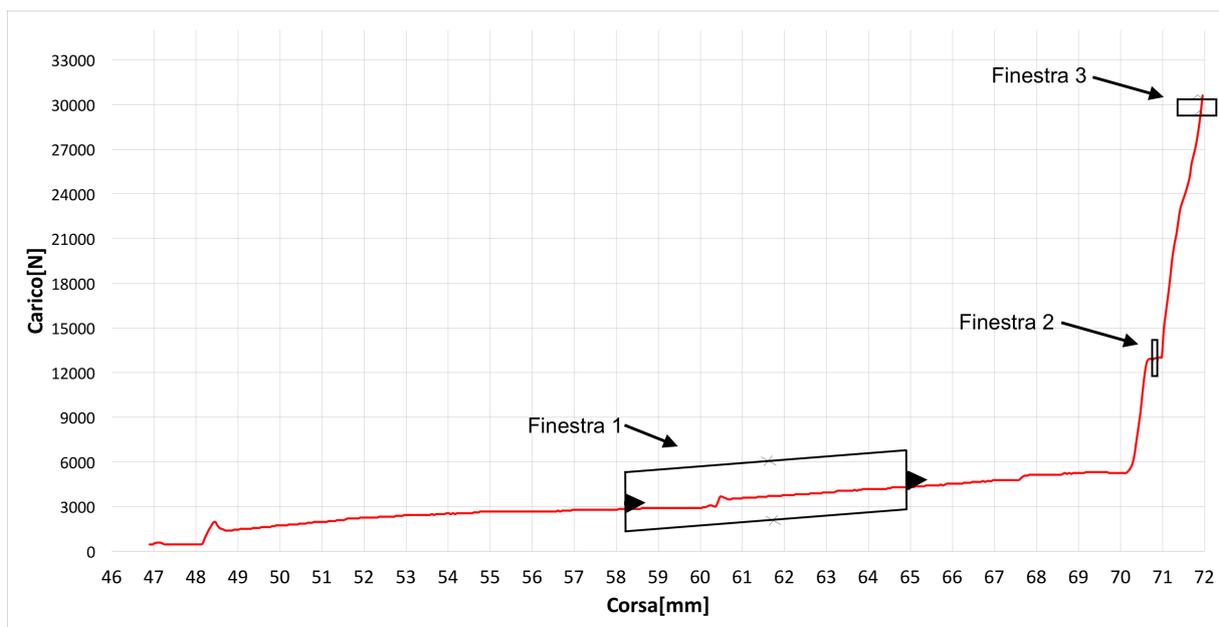


Figura 4.15: Finestre di controllo su grafico forza vs. spostamento

Capitolo 5

Conclusioni e sviluppi futuri

L'attrezzatura ideata e realizzata, per eseguire il piantaggio e il fissaggio per deformazione plastica, semplifica notevolmente il processo produttivo poiché riduce i tempi di processo, evita l'utilizzo di presse idrauliche e permette di utilizzare lo stesso banco di lavoro. Il suo funzionamento elementare tramite il principio di Pascal, ha richiesto un accurato dimensionamento delle superfici dei due pistoni, di piantaggio e giunzione a freddo. Si sono quindi eseguiti test di valutazione dei carichi di piantaggio prima e di giunzione a freddo poi. I primi sono stati correlati all'interferenza tra la puleggia e i cuscinetti e si è stimato il carico massimo in condizioni di massimo materiale; nel secondo caso si è valutato il carico in cui si inizia ad ottenere una deformazione consistente che la deformazione plastica ottimale. Inoltre per avere delle indicazioni sui carichi di partenza, è stata effettuata un'analisi FEM per valutare carico e profondità di deformazione. Definite le superfici dei pistoni, la geometria degli altri componenti e le guarnizioni da utilizzare, si è passati alla realizzazione di ogni componente, realizzato tramite CNC. A seguire si è considerato il tipo di fluido da utilizzare. Sono state vagliate diverse soluzioni tra cui l'utilizzo di un classico olio idraulico ad alta viscosità o l'utilizzo di un grasso silconico ad elevatissima viscosità. La scelta è ricaduta su quest'ultimo e si è rivelata ottimale poiché non ci sono stati trafileamenti e inoltre presenta una certa comprimibilità che permette un maggior controllo della forza da parte della macchina. Il punto più critico è tuttavia la pessima maneggevolezza a causa della sua viscosità. Infine si sono effettuati test sperimentali al fine di valutare il corretto funzionamento dello strumento e la sua ripetibilità ottenendo risultati positivi. Il carico totale impostato alla macchina è correttamente suddiviso dall'attrezzatura che crea una deformazione plastica controllata dopo aver piantato i cuscinetti.

Per successivi sviluppi, si potrebbero effettuare diversi studi:

- Variare la velocità di processo e valutare come varia la profondità di deformazione plastica al variare di questo parametro;
- Ricercare un fluido di lavoro più maneggevole;

- Realizzare l'attrezzatura in materiale diverso dal C45 in modo da rendere la struttura più leggera.

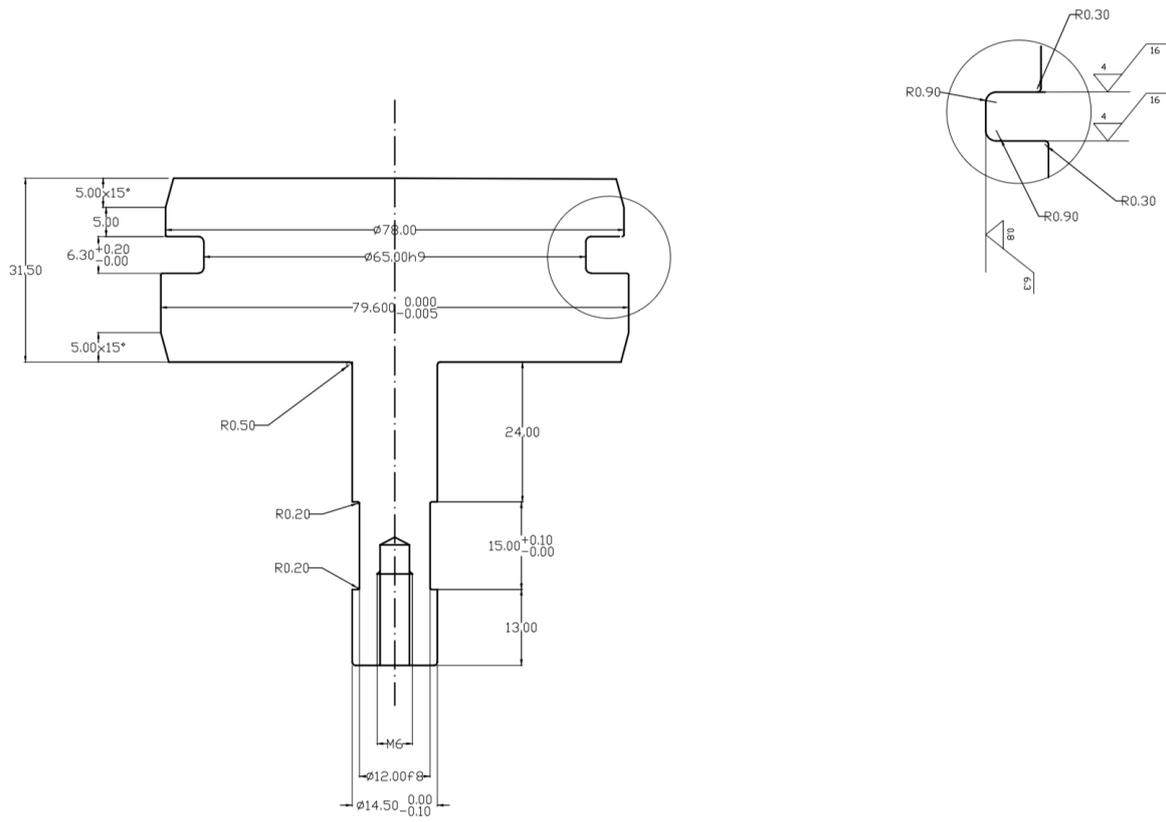


Figura 2: Pistone di piantaggio

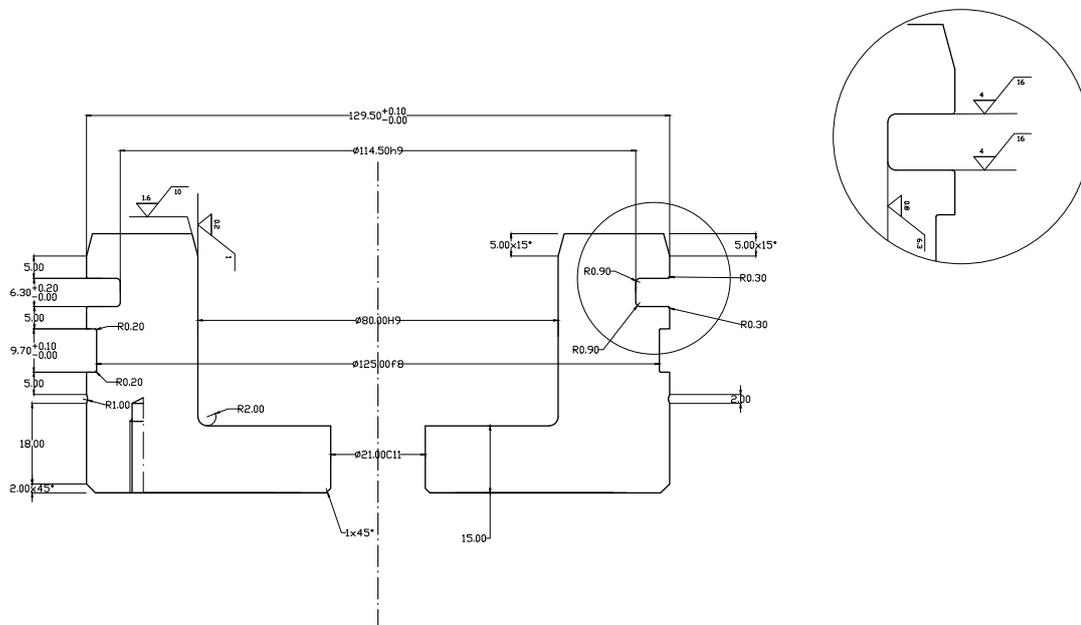


Figura 3: Pistone di deformazione plastica

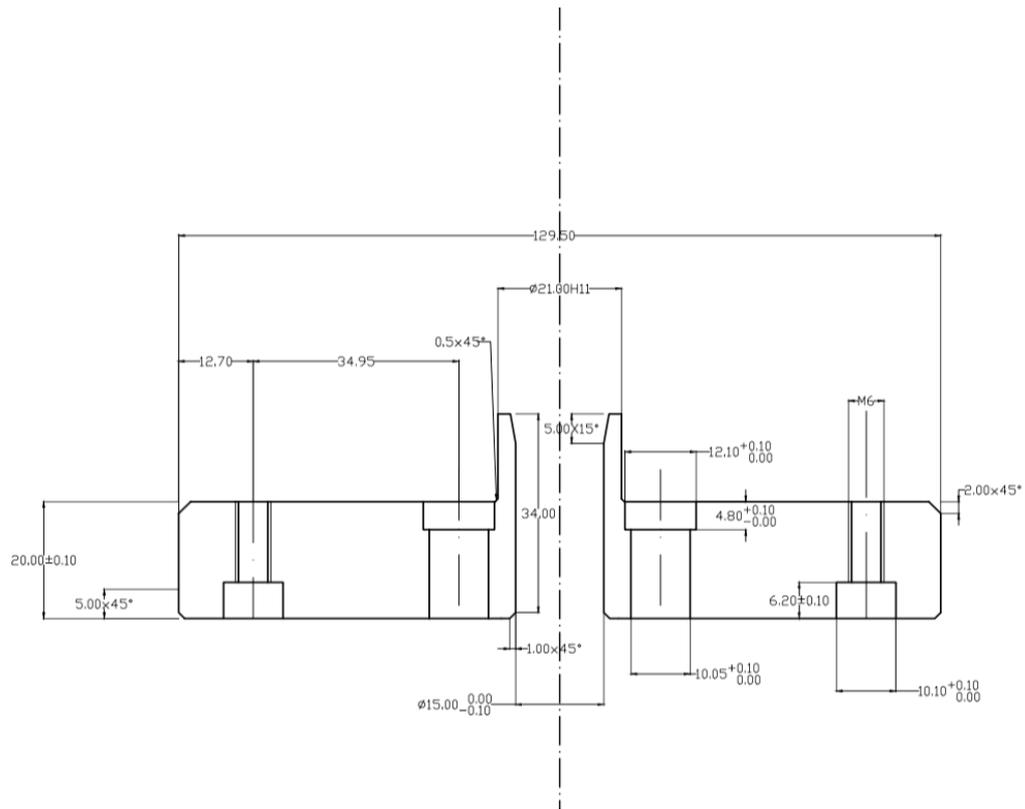


Figura 4: Blocco porta punzoni

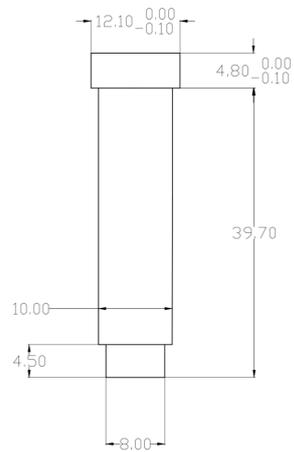


Figura 5: Punzone

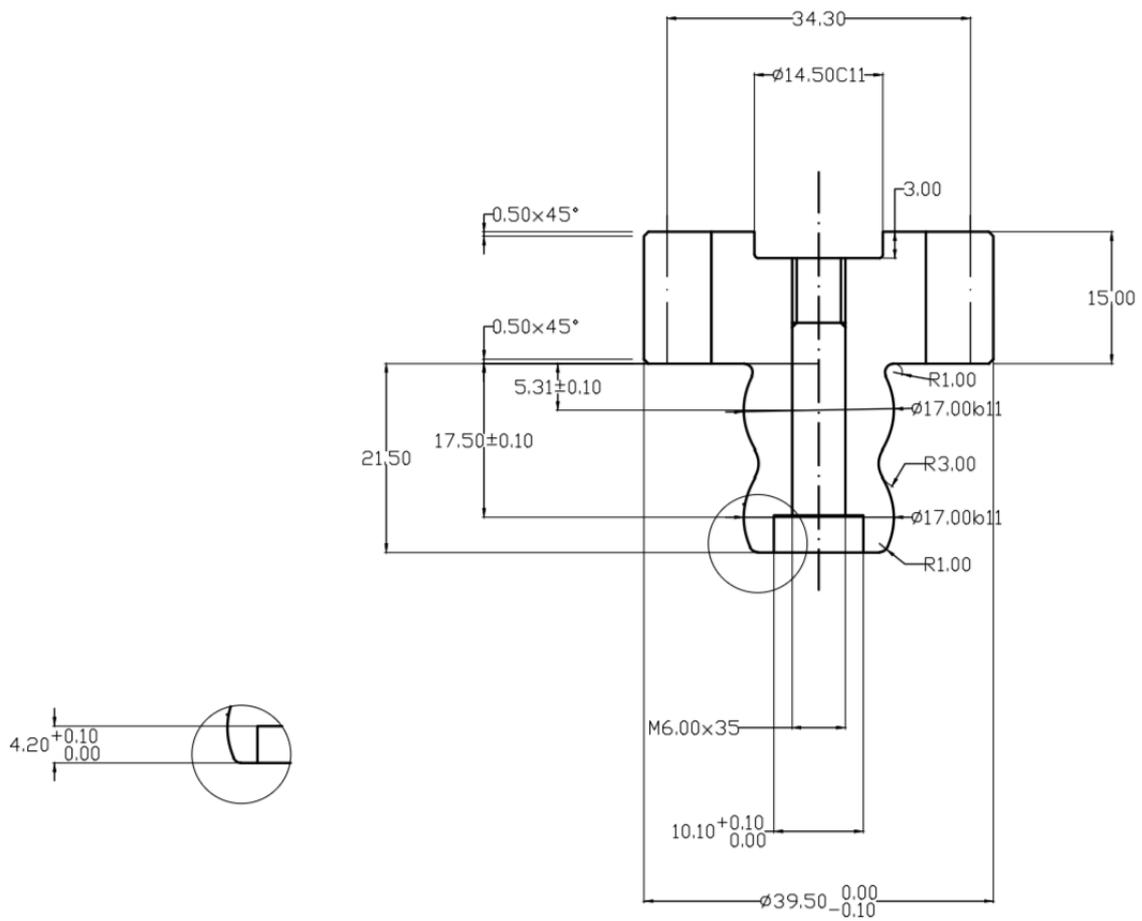


Figura 6: Blocco di centraggio

Appendice B

Grafici di deformazione plastica di 3 componenti, eseguiti a 24 000 N.

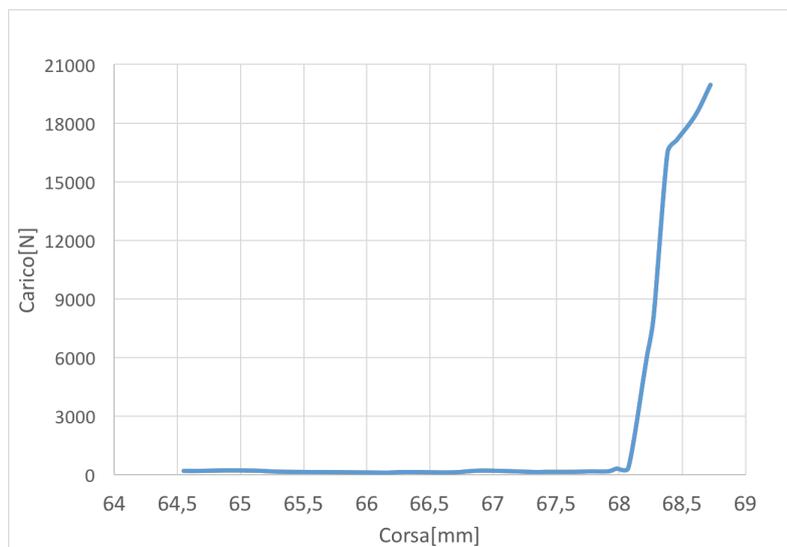


Figura 7: Carico totale=24000N; pezzo 1

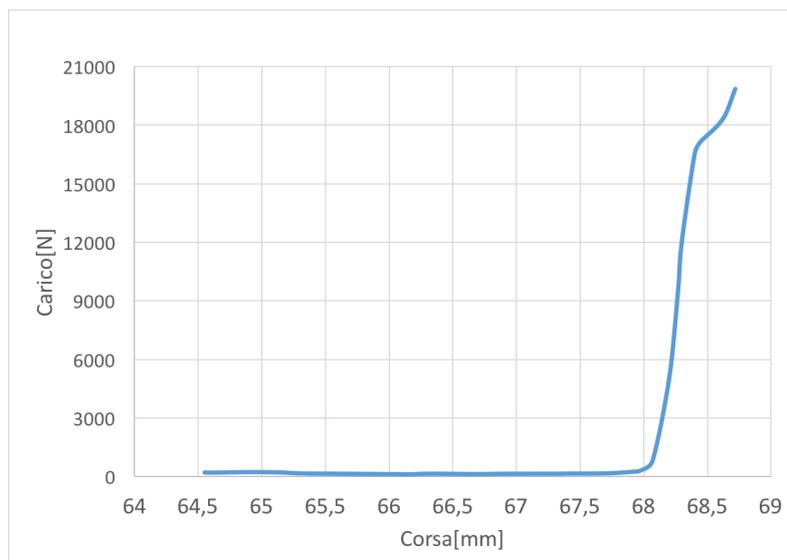


Figura 8: Carico totale=24000N; pezzo 2

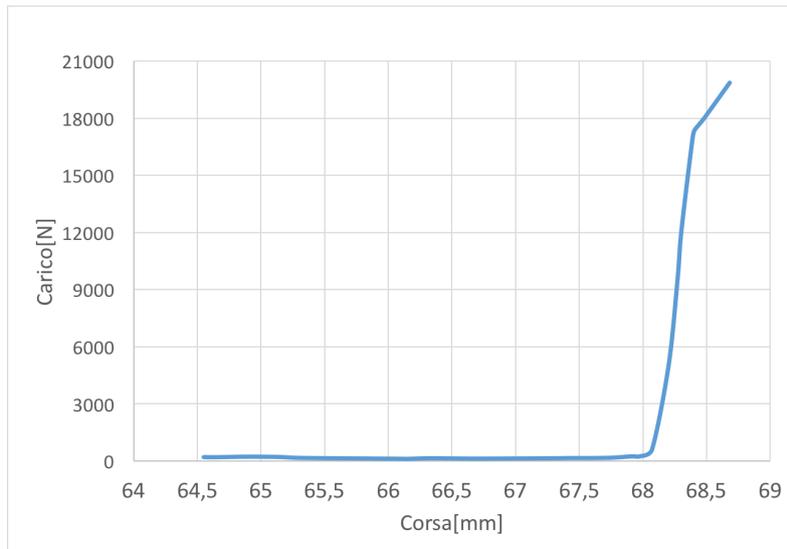


Figura 9: Carico totale=24000N; pezzo 3

Bibliografia

- [1] Zuzana Murcinkova, Petr Baron and Martin Pollak - *Study of the Press Fit Bearing-Shaft Joint Dimensional Parameters by Analytical and Numerical Approach*
- [2] Ken-ichiro Mori et al. - *Joining by plastic deformation*
- [3] Recep Halicioglu et al. - *Mechanisms, classifications, and applications of servo presses: A review with comparisons*
- [4] David Alkire Smith et al. - *Mechanical Press Types and Nomenclature, August 19, 2005*
- [5] Malachy Sumaila, A.O.Akii Ibadode et al. - *Design and Manufacture of a 30-ton Hydraulic Press, February 2011*
- [6] Izzettin Osman Eguz - *Hydraulic press construction for fitting the bearings to the housing, May 2008*
- [7] Aldona Krupska - Marcin Krupski *Review. High pressure techniques used in the paramagnetic resonances, May 2008*
- [8] <https://www.scsconcept.com/it/controllo-statistico-processo/>