

**Università Politecnica delle Marche**



**Facoltà di Ingegneria**

**Corso Di Laurea in Ingegneria Meccanica**

**Realizzazione di prove sperimentali a fatica su  
elastomeri compositi secondo norma ASTM D4882**

**Conducting Experimental Fatigue Testing on Composite  
Elastomers in Accordance with ASTM D4882**

**Relatore**

Prof. Marco Sasso

**Studente**

Gabriele Simonetti

**Correlatore**

Prof. Gianluca Chiappini

**A.A. 2023/24**

*“A Nimue, per sempre”*

# Indice

<b>Indice</b>	<b>iii</b>
<b>Lista delle Figure</b> .....	<b>i</b>
<b>Lista delle Tabelle</b> .....	<b>i</b>
<b>Lista dei Grafici</b> .....	<b>i</b>
<b>Introduzione</b> .....	<b>1</b>
Argomento della Tesi.....	1
Scopo della Tesi.....	1
Struttura della Tesi.....	2
<b>Capitolo 1 Stato dell'arte</b> .....	<b>3</b>
1.1 Elastomeri Compositi: Proprietà e applicazioni .....	3
1.1.1 Proprietà degli Elastomeri Compositi .....	3
1.1.2 Tipi Comuni di Elastomeri .....	3
1.1.3 Composizione, Struttura e Processi di produzione .....	4
1.1.4 Applicazioni degli Elastomeri.....	4
1.2 Prove a fatica: Definizione e importanza .....	5
1.2.1 Fatica e Rottura fatica .....	5
1.2.2 Classificazione dei diversi tipi di fatica .....	6
1.2.3 Parametri caratteristici dei cicli di fatica .....	6
1.2.4 Prove a Fatica.....	8
1.2.5 Importanza delle Prove a Fatica.....	9
1.3 Normativa ASTM D4882: Requisiti e applicabilità .....	10
1.3.1 Normativa ASTM D4882 .....	10
1.3.2 Requisiti .....	10
1.3.3 Applicabilità.....	10
1.3.4 Benefici della Normativa ASTM D4882 .....	11
1.4 Macchine idrauliche per prove a fatica .....	13
1.4.1 Caratteristiche macchine idrauliche per Prove a Fatica .....	13
1.4.2 Applicazioni delle Macchine Idrauliche per Prove a Fatica .....	14
1.4.3 Tipologie di macchine idrauliche per prove a fatica.....	14
1.4.4 Vantaggi delle Macchine Idrauliche per Prove a Fatica .....	16

1.5	Materiali interni Ferrari: Specifiche e descrizione .....	17
1.5.1	Dettagli e Personalizzazione .....	18
<b>Capitolo 2 Metodologia.....</b>		<b>19</b>
2.1	Realizzazione grafica CAD dei pezzi meccanici .....	19
2.1.1	Specifiche del Disegno CAD per Pezzi Meccanici.....	19
2.1.2	Norme e Standard .....	19
2.1.3	Realizzazione Grafica di Pezzi Meccanici.....	21
2.1.4	Creazione degli afferraggi.....	23
2.2	Materiale utilizzato per le prove .....	30
2.3	Macchinari utilizzati .....	32
2.3.1	Macchine idrauliche a fatica Rockwell.....	32
2.3.2	Macchine idrauliche a trazione Rockwell.....	34
2.4	Realizzazione Provini .....	35
2.4.1	Tipologie di provini .....	36
2.4.2	Preparazione dei Provini .....	36
2.4.3	Norme e Standard .....	36
2.4.4	Esecuzione delle Prove .....	37
2.4.5	Analisi dei Risultati .....	37
2.4.6	Fustelle di taglio.....	37
2.4.7	Ottenimento provini per la gomma siliconica.....	40
2.5	Realizzazione delle prove .....	41
<b>Capitolo 3 Risultati .....</b>		<b>44</b>
3.1	Presentazione dei dati sperimentali.....	44
3.2	Analisi dei risultati.....	45
3.2.1	Analisi della prova di resistenza a fatica .....	45
3.2.2	Analisi della prova di resistenza a trazione.....	53
3.3	Discussione sui risultati .....	59
3.3.1	Risultati prove a fatica .....	59
3.3.2	Risultati prove di trazione.....	60
<b>Capitolo 4 Conclusioni .....</b>		<b>62</b>
	Bibliografia .....	65
	Ringraziamenti.....	66

# Lista delle Figure

Figura 1.1.1 – Elastomeri di vario genere.....	5
Figura 1.2.1 – Curva deformazione-tempo (curva $\sigma$ -t).....	7
Figura 1.2.2 – Curva di Wohler (curva s-n).....	8
Figura 1.2.3 – Macchinari per Prove a Fatica .....	9
Figura 1.4.1 – Macchina Prova Trazione .....	14
Figura 1.4.2 – Macchina Prova a fatica torsionale.....	15
Figura 1.5.1 – Esempio di interni Ferrari .....	17
Figura 2.1.1 – Layout di Solid Edge per la modellazione di pezzi 3D.....	21
Figura 2.1.2 – Layout di Solid Edge per i piani di lavoro e di disegno .....	22
Figura 2.1.3 – Esempio di tavola grafica su Solid Edge.....	23
Figura 2.1.4 – Schizzo degli afferraggi.....	25
Figura 2.1.5 – Disegno 3D aggancio filettato I vista .....	25
Figura 2.1.6 – Disegno 3D aggancio filettato II vista .....	26
Figura 2.1.7 – Disegno 3D Vite aggancio superiore .....	26
Figura 2.1.8 – Disegno 3D Perno aggancio inferiore .....	27
Figura 2.1.9 – Disegno 3D Afferraggio vuoto .....	27
Figura 2.1.10 – Disegno 3D Assieme di afferraggio e aggancio .....	28
Figura 2.1.11 – Disegno 3D Finale afferraggi .....	28
Figura 2.1.12 – Draft quote grafiche dell’assieme .....	29
Figura 2.1.13 – Draft quote grafiche afferraggio del provino .....	29
Figura 2.2.1 – Esempio di rivestimenti interni Ferrari .....	30
Figura 2.2.2 – Afferraggi dei provini .....	30
Figura 2.3.1 – Macchinario prova a fatica .....	32
Figura 2.3.2 – Macchinario prova di trazione .....	34
Figura 2.4.1 – Fustella di taglio utilizzata.....	38
Figura 2.4.2 – Tipi di Fustelle di taglio .....	40
Figura 2.4.3 – Rotolo gomma siliconica .....	40
Figura 2.4.4 – Provini ottenuti .....	41
Figura 2.5.1 – Prova a fatica e di trazione .....	41
Figura 2.5.2 – Computer di analisi dati.....	42

Figura 2.5.3 – Videocamera cattura immagini .....	42
Figura 2.5.4 – Layout MATLAB .....	43
Figura 2.5.5 – Layout MATLAB estensometro .....	43
Figura 2.5.6 – Layout MATLAB deformazioni .....	43
Figura 3.2.1 – Afferraggi in disuso e I provino .....	45
Figura 3.2.2 – Provino fessurato (T).....	47
Figura 3.2.3 – Provino integro (L) .....	48
Figura 3.2.4 – Provino fessurato (T) .....	49
Figura 3.2.5 – Provino n.1 (T).....	53
Figura 4.4.1 – Ferrari F40.....	64

## Lista delle Tabelle

Tabella 3.1.1 – Tabella dei provini per la prova a fatica.....	44
Tabella 3.1.2 – Tabella dei provini per la prova di trazione.....	45

## Lista dei Grafici

Grafico 3.2.1 – Provino n.1 (0°gradi).....	46
Grafico 3.2.2 – Provino n.2 (90° gradi).....	47
Grafico 3.2.3 – Provino n.3 (0°gradi).....	48
Grafico 3.2.4 – Curve ( $\epsilon$ -N) provino n.3.....	49
Grafico 3.2.5 – Frame video inizio I e II cricca.....	50
Grafico 3.2.6 – Frame video aumento cricche.....	50
Grafico 3.2.7 – Frame video cricche finali e passanti.....	50
Grafico 3.2.8 – Provino n.5 (90°gradi).....	51
Grafico 3.2.9 – Curve ( $\epsilon$ -N) provino n.5.....	51
Grafico 3.2.10 – Curve (F-N) inizio prova a fatica.....	52
Grafico 3.2.11 – Curve (F-N) fine prova a fatica.....	52

Grafico 3.2.12 – Frame video deformazioni provino.....	53
Grafico 3.2.13 – Curva ( $\sigma$ -t) provino n.1 (T).....	54
Grafico 3.2.14 – Curva ( $\epsilon$ -t) provino n.1 (T).....	54
Grafico 3.2.15 – Curva di trazione ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) provino n.1 (T).....	55
Grafico 3.2.16 – Curva (mm-mm) di variazione dei marker.....	55
Grafico 3.2.17 – Curva (mm-mm) di variazione della lunghezza del provino.....	56
Grafico 3.2.18 – Curva ( $\sigma$ -t) provino n.2 (L).....	56
Grafico 3.2.19 – Curva ( $\epsilon$ -t) provino n.2 (L).....	57
Grafico 3.2.20 – Curva di trazione ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) provino n.2 (L).....	57
Grafico 3.2.21 – Curva ( $\sigma$ -t) provino n.3 (Q).....	58
Grafico 3.2.22 – Curva ( $\epsilon$ -t) provino n.3 (Q).....	58
Grafico 3.2.23 – Curva di trazione ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) provino n.3 (Q).....	59
Grafico 3.3.1 – Curva di analisi del Modulo di Young.....	61

# **Introduzione**

## **Argomento della Tesi**

Gli elastomeri sono materiali polimerici caratterizzati da elevata elasticità e resistenza alla deformazione. Negli ultimi decenni questi materiali hanno giocato un ruolo cruciale in una vasta gamma di applicazioni industriali, dalla produzione di pneumatici, all'isolamento delle vibrazioni nelle strutture. Tuttavia, nonostante la loro onnipresenza, la necessità di valutare la durata a fatica di questi materiali rimane una sfida significativa. La valutazione precisa della resistenza a fatica degli elastomeri è fondamentale per garantire la sicurezza e l'affidabilità dei prodotti in cui sono impiegati.

Nel contesto di questa sfida questa tesi si propone di investigare le prove sperimentali a fatica su elastomeri, seguendo scrupolosamente le specifiche della norma ASTM D4882. Attraverso questa ricerca si potrà fornire una base solida per la valutazione della resistenza a fatica degli elastomeri e contribuire ad una maggiore comprensione dei comportamenti dei materiali elastomerici sottoposti a sollecitazioni cicliche.

## **Scopo della Tesi**

L'obiettivo principale è realizzare prove sperimentali a fatica su elastomeri utilizzando una macchina idraulica conforme alla norma ASTM D4882.

Lo studio mira nello specifico a:

- Utilizzare una macchina idraulica esistente per eseguire prove di fatica secondo i requisiti della norma;
- Valutare il comportamento a fatica dei provini ricavati;
- Confrontare i risultati ottenuti con quelli presenti in letteratura.

## **Struttura della Tesi**

Questa tesi è organizzata in quattro capitoli principali. Il primo capitolo fornisce una revisione della letteratura esistente sugli elastomeri, le prove a fatica, la normativa ASTM D4882 e il disegno CAD. Il secondo descrive la metodologia applicata per l'utilizzo della macchina idraulica e per la realizzazione delle prove sperimentali. Il terzo presenta i risultati ottenuti e la loro analisi, mentre il quarto ed ultimo capitolo offre una sintesi delle conclusioni, le implicazioni pratiche dello studio e suggerimenti per future ricerche.

# Capitolo 1 Stato dell'arte

## 1.1 Elastomeri Compositi: Proprietà e applicazioni

Gli elastomeri compositi sono materiali avanzati costituiti da una *matrice elastomerica*, generalmente una gomma naturale o sintetica, rinforzata con particelle o fibre di materiali diversi per migliorare le loro proprietà meccaniche e fisiche. Questi compositi combinano la flessibilità e l'elasticità degli elastomeri con la resistenza e la rigidità dei materiali di rinforzo, offrendo prestazioni superiori rispetto agli elastomeri tradizionali.

### 1.1.1 Proprietà degli Elastomeri Compositi

Elasticità: Gli elastomeri possono allungarsi fino a diverse volte la loro lunghezza originale e tornare alla forma iniziale quando rilasciati.

Resistenza alla Deformazione Permanente: Dopo essere stati deformati, gli elastomeri ritornano alla loro forma originale, mostrando una bassa tendenza alla deformazione permanente.

Durezza: La durezza degli elastomeri può variare da morbida a semi-rigida, a seconda della composizione chimica e delle condizioni di vulcanizzazione.

Resistenza agli Agenti Chimici: Molti elastomeri offrono una buona resistenza a oli, solventi, e varie sostanze chimiche.

Resilienza: Gli elastomeri sono altamente resilienti, cioè, possono assorbire e rilasciare energia rapidamente.

Isolamento Termico ed Elettrico: La maggior parte degli elastomeri possiede proprietà isolanti sia termiche che elettriche.

Resistenza alle Intemperie: Alcuni elastomeri, come il silicone, resistono bene agli effetti dei raggi UV, dell'ozono e alle condizioni atmosferiche estreme.

### 1.1.2 Tipi Comuni di Elastomeri

Gomma Naturale (NR): Conosciuta per la sua eccellente elasticità e resistenza all'abrasione, viene utilizzata in pneumatici, guarnizioni e cinghie.

Poliuretano (PU): Offre un'elevata resistenza all'usura e alla trazione, utilizzato in ruote, rivestimenti e sigillanti.

Silicone (Si): Resistente a temperature estreme e agli agenti atmosferici, utilizzato in sigillanti, guarnizioni e dispositivi medici.

Nitrile (NBR): Resistente agli oli e ai carburanti, comunemente impiegato in guarnizioni e tubi per carburanti.

EPDM (Etilene Propilene Diene Monomero): Ottima resistenza agli agenti atmosferici e al calore, utilizzato in guarnizioni, tubi e rivestimenti per cavi elettrici.

### 1.1.3 **Composizione, Struttura e Processi di produzione**

La matrice elastomerica è la componente continua del composito e determina le proprietà elastiche del materiale. Gli elastomeri comuni includono gomma naturale, gomma siliconica, nitrile e poliuretano. I rinforzi possono essere sotto forma di particelle (ad esempio, nero di carbonio, silice), fibre corte (ad esempio, fibre di vetro, fibre aramidiche) o fibre continue (ad esempio, fibre di carbonio) e aumentano la resistenza meccanica e la rigidità del composito. Possono essere inclusi degli additivi per migliorare ulteriormente le proprietà del composito, come stabilizzanti UV, antiossidanti, plastificanti e agenti di accoppiamento. Per la produzione degli elastomeri compositi, la matrice elastomerica e i materiali di rinforzo vengono miscelati per ottenere una distribuzione omogenea dei rinforzi nella matrice. La miscela viene quindi formata in forme desiderate attraverso processi come lo stampaggio a compressione, lo stampaggio a iniezione o l'estrusione. Nel caso della gomma naturale e di alcuni elastomeri sintetici, il composito viene vulcanizzato, un processo che migliora le proprietà meccaniche e chimiche attraverso la formazione di legami incrociati nella matrice.

### 1.1.4 **Applicazioni degli Elastomeri**

Industria Automobilistica: Gli elastomeri sono utilizzati in pneumatici, guarnizioni, tubi flessibili e cuscinetti antivibrazione.

Edilizia: Utilizzati in sigillanti, guarnizioni per finestre e porte e per le membrane impermeabilizzanti.

Medicina: Elastomeri come il silicone sono utilizzati per protesi, cateteri e dispositivi medici vari.

Elektronika: Utilizzati come isolanti elettrici, rivestimenti per cavi e componenti di connessione.

Industria Alimentare: Materiali come il silicone sono usati per guarnizioni e tubi che devono essere sicuri per il contatto con gli alimenti.

Sport e Tempo Libero: Utilizzati in attrezzature sportive, calzature e articoli ricreativi come palloni e tappeti elastici.

Gli elastomeri sono materiali estremamente versatili grazie alle loro proprietà uniche di elasticità e resistenza. La loro capacità di ritornare alla forma originale dopo una significativa deformazione li rende ideali per una vasta gamma di applicazioni in numerosi settori industriali. In particolare, gli elastomeri compositi rappresentano una classe di materiali versatili e ad alte prestazioni, ampiamente utilizzati in applicazioni che richiedono una combinazione di flessibilità, resistenza e durabilità. Con l'evoluzione della scienza dei materiali, si stanno sviluppando nuovi elastomeri con proprietà ancora più avanzate, aprendo la strada a ulteriori innovazioni.



Figura 1.1.1 – Elastomeri di vario genere

## 1.2 Prove a fatica: Definizione e importanza

### 1.2.1 Fatica e Rottura fatica

Con il termine *fatica* si indica un meccanismo di rottura progressivo e localizzato che interessa i materiali sollecitati da carichi variabili nel tempo in maniera regolare e casuale.

Il meccanismo di rottura a fatica è progressivo, in quanto la rottura non è il risultato dell'applicazione di un singolo carico, ma il risultato di un processo di accumulo del danno ed è localizzato in quanto è determinato da fenomeni di danneggiamento e accumulo di deformazioni permanenti.

Condizione necessaria affinché si inneschi una rottura a fatica è che il materiale sia sottoposto a carichi variabili nel tempo per un numero di cicli significativamente rilevante. La rottura avviene spesso in maniera quasi improvvisa con carichi che sono normalmente ben tollerati dal materiale e si manifesta solitamente a livelli di carico di gran lunga inferiori rispetto alla tensione di snervamento (Tensione di pericolo in condizioni statiche); si avrà un aumento del fenomeno della fatica in presenza di intagli e disuniformità geometriche e del materiale[2].

### 1.2.2 Classificazione dei diversi tipi di fatica

La fatica assume un carattere diverso a seconda del numero di cicli che determina la rottura e il corrispondente livello di sollecitazioni applicato, si avrà infatti[2]:

-Fatica Oligociclica (LCF): ha come parametro caratteristico la deformazione  $\varepsilon = \varepsilon(t)$ , con un numero di cicli compreso tra 1 e  $10^3$  e un comportamento elasto-plastico del materiale;

-Fatica ad alto numero di cicli (HCF): ha come parametro caratteristico la tensione  $\sigma = \sigma(t)$ , con un numero di cicli compreso tra  $10^3$  e  $10^5$  con un comportamento elastico del materiale;

-Fatica ai gigacicli (VHCF) fino ai  $10^{10}$  cicli.

### 1.2.3 Parametri caratteristici dei cicli di fatica

Come parametri caratteristici dei cicli a fatica si ha la deformazione media, pari alla metà della somma tra la deformazione minima e quella massima, la deformazione ammissibile, pari alla metà della differenza tra la deformazione massima e quella minima e il rapporto di sollecitazione, dato dal rapporto tra la deformazione minima e quella massima.

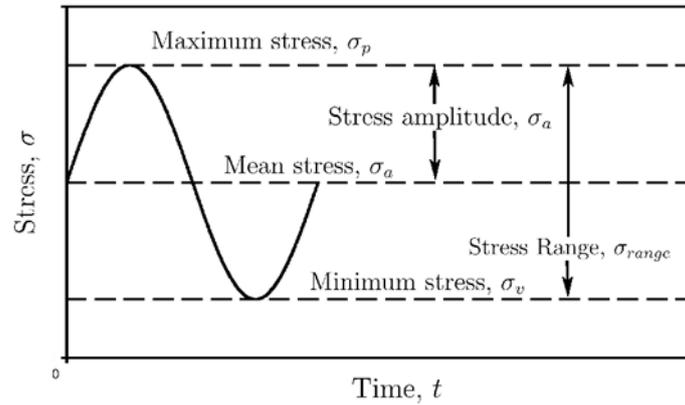


Figura 1.2.1 – Curva deformazione-tempo (curva  $\sigma$ - $t$ )

-  $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$  è la deformazione media;

-  $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$  è la deformazione ammissibile;

-  $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$  è il rapporto di sollecitazione.

Si parlerà di trazione prevalente se il rapporto di sollecitazione è compreso tra 0 ed 1 oppure tra -1 e 0, e di compressione prevalente se quest'ultimo è compreso tra infinito negativo ( $-\infty$ ) e -1 oppure tra 1 e infinito positivo ( $+\infty$ ). Il parametro serve anche a distinguere tra carico oscillante (o simmetrico) in cui R sarà pari a -1, con la deformazione media che sarà nulla e carico pulsante in cui R sarà pari a 0, con la deformazione minima nulla.

I risultati sperimentali ottenuti da prove a fatica sono generalmente riassunti riportando su un grafico l'ampiezza di carico applicata  $\sigma_a$  e il numero di cicli a rottura N; tale curva viene chiamata Curva di Wohler oppure semplicemente curva S-N.

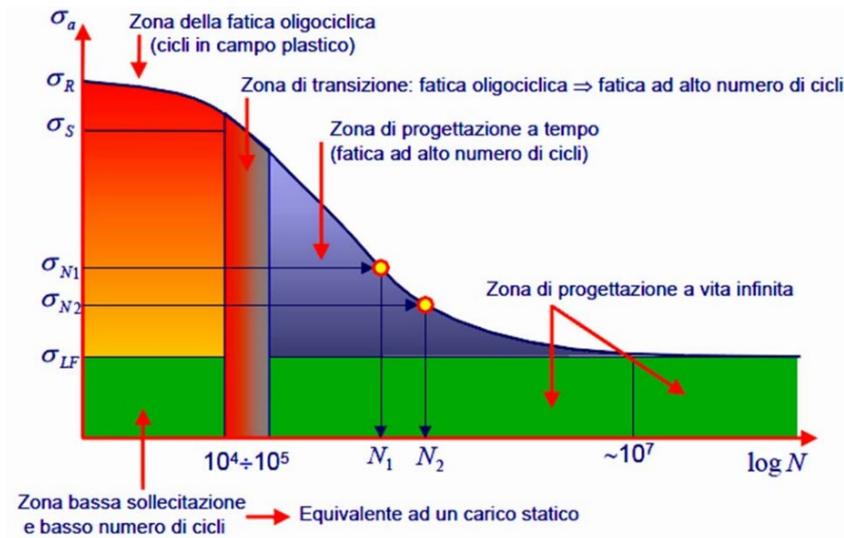


Figura 1.2.2 – Curva di Wohler (curva s-n)

## 1.2.4 Prove a Fatica

Le prove a fatica sono un insieme di test utilizzati per determinare la resistenza di un materiale a danni accumulati sotto l'azione di carichi ciclici. Questi test sono fondamentali per valutare la durabilità e la sicurezza dei materiali e dei componenti in molte applicazioni ingegneristiche.

Le prove a fatica simulano le condizioni operative che un materiale o un componente subisce durante il suo ciclo di vita, applicando carichi variabili che possono essere di trazione, compressione o flessione. L'obiettivo è identificare il comportamento del materiale sotto cicli ripetuti di stress e determinare il numero di cicli che il materiale può sopportare prima di manifestare cricche o fratture.

Per quanto riguarda la procedura delle prove a fatica si effettua in ordine:

Preparazione del Campione: Il campione del materiale da testare viene preparato secondo specifiche geometrie e dimensioni standard.

Impostazione dei Parametri di Test: Vengono definiti i parametri del test, come il livello di stress applicato, la frequenza dei cicli e il tipo di carico (tensile, compressivo o flessionale).

Applicazione del Carico Ciclico: Il campione viene sottoposto a carichi ciclici utilizzando una macchina di prova a fatica. Il carico può essere costante o variabile, e la macchina registra il numero di cicli fino al cedimento del campione.

Monitoraggio e Registrazione: Durante il test, si monitorano le deformazioni e i segni di inizio di cricche. I dati raccolti includono il numero di cicli fino alla frattura e le caratteristiche delle cricche formatesi.

Analisi dei Dati: I dati ottenuti vengono analizzati per determinare la resistenza a fatica del materiale, spesso rappresentata in curve S-N (Stress-Number of cycles), che correlano lo stress applicato con il numero di cicli fino al cedimento.

## 1.2.5 Importanza delle Prove a Fatica

Sicurezza: Molte strutture e componenti, come ponti, aeroplani, veicoli e impianti industriali, devono resistere a carichi ciclici nel tempo. Le prove a fatica garantiscono che questi componenti siano sicuri durante il loro utilizzo.

Affidabilità: Determinare la vita a fatica di un materiale aiuta a prevedere quando e come si verificheranno i guasti, migliorando l'affidabilità dei prodotti e riducendo il rischio di guasti imprevisti.

Progettazione: I risultati delle prove a fatica sono essenziali per i progettisti e gli ingegneri. Conoscere il comportamento a fatica dei materiali permette di progettare componenti che soddisfino i requisiti di durabilità e prestazioni.

Normative e Standard: Molte industrie devono conformarsi a standard rigorosi che includono specifiche di resistenza a fatica. Le prove a fatica sono essenziali per garantire la conformità a queste normative.

Riduzione dei Costi: Identificare potenziali problemi di fatica durante la fase di progettazione o produzione può prevenire costosi guasti sul campo, riducendo i costi di manutenzione e riparazione.

Innovazione dei Materiali: Le prove a fatica aiutano a sviluppare nuovi materiali con migliori proprietà di resistenza ciclica, favorendo l'innovazione e l'evoluzione tecnologica.



Figura 1.2.3 – Macchinari per Prove a Fatica

## 1.3 Normativa ASTM D4882: Requisiti e applicabilità

### 1.3.1 Normativa ASTM D4882

La normativa ASTM D4882, intitolata "Standard Test Method for General Criteria for the Testing and Evaluation of Spindle-Stop Type Metal Cutting Machine Tools", stabilisce i criteri generali per il collaudo e la valutazione delle macchine utensili per il taglio dei metalli di tipo spindle-stop. Questa normativa è stata sviluppata dall'American Society for Testing and Materials (ASTM), un'organizzazione internazionale che sviluppa e pubblica norme tecniche per una vasta gamma di materiali, prodotti, sistemi e servizi.

### 1.3.2 Requisiti

La normativa ASTM D4882 stabilisce una serie di requisiti per garantire che le macchine utensili soddisfino determinati standard di qualità e prestazioni.

I principali requisiti possono includere:

Precisione e Ripetibilità: La normativa stabilisce i criteri per la precisione dimensionale e la ripetibilità delle operazioni di taglio delle macchine utensili.

Rigidità e Stabilità: Specifica i requisiti per la rigidità strutturale e la stabilità della macchina, assicurando che non vi siano vibrazioni eccessive durante il funzionamento.

Velocità e Potenza: Definisce i parametri per la velocità di rotazione del mandrino e la potenza necessaria per eseguire operazioni di taglio efficienti e sicure.

Sistema di Controllo: Include requisiti per i sistemi di controllo elettronico e meccanico della macchina, garantendo la precisione delle impostazioni e dei comandi.

Sicurezza: La normativa prevede misure di sicurezza specifiche per proteggere gli operatori e prevenire incidenti durante l'uso della macchina.

### 1.3.3 Applicabilità

La normativa ASTM D4882 è applicabile a diverse categorie di macchine utensili per il taglio dei metalli di tipo spindle-stop, come torni, fresatrici e altri dispositivi simili.

L'applicabilità della normativa può variare in base ai seguenti fattori:

Tipo di Macchina Utensile: La norma è specificamente progettata per macchine utensili di tipo spindle-stop, ma i principi generali possono essere applicati ad altre macchine utensili con configurazioni simili.

Industrie: Le linee guida della normativa sono rilevanti per varie industrie manifatturiere, tra cui l'automotive, l'aerospaziale, la produzione di macchinari e altre industrie che utilizzano macchine per il taglio dei metalli.

Progettazione e Sviluppo: I produttori di macchine utensili possono utilizzare questa normativa come riferimento per progettare, sviluppare e testare nuove macchine utensili, assicurando che soddisfino gli standard di qualità e prestazioni stabiliti.

Manutenzione e Ispezione: La normativa può essere utilizzata anche come base per la manutenzione e l'ispezione periodica delle macchine utensili, garantendo che rimangano conformi agli standard durante il loro ciclo di vita operativo.

### 1.3.4 Benefici della Normativa ASTM D4882

#### ***-Uniformità e Consistenza***

Standardizzazione: La normativa fornisce criteri standardizzati per il collaudo e la valutazione delle macchine utensili, garantendo che le macchine prodotte da diversi produttori rispettino gli stessi standard di qualità e prestazioni.

Ripetibilità: Assicura che le operazioni di taglio siano ripetibili con precisione, riducendo le variazioni nei risultati di produzione.

#### ***-Qualità e Affidabilità***

Miglioramento della Qualità: L'adozione di standard rigorosi aiuta a migliorare la qualità complessiva delle macchine utensili, riducendo i difetti e aumentando la durata operativa delle macchine.

Affidabilità Operativa: Le macchine testate secondo questa norma tendono a essere più affidabili, con meno guasti e tempi di inattività ridotti, migliorando l'efficienza produttiva.

#### ***-Sicurezza***

Sicurezza dell'Operatore: La normativa include criteri di sicurezza che proteggono gli operatori durante l'uso delle macchine utensili, riducendo il rischio di incidenti sul lavoro.

Conformità alle Norme di Sicurezza: Aiuta le aziende a conformarsi alle normative di sicurezza locali e internazionali, riducendo il rischio di sanzioni e problemi legali.

### ***-Prestazioni Migliorate***

Precisione e Accuratezza: Le specifiche della normativa contribuiscono a migliorare la precisione e l'accuratezza delle operazioni di taglio, essenziali per la produzione di componenti di alta qualità.

Ottimizzazione dei Processi: Le linee guida della normativa permettono di ottimizzare i processi di produzione, riducendo gli sprechi e aumentando la produttività.

### ***-Competitività del Mercato***

Vantaggio Competitivo: Le aziende che adottano la normativa ASTM D4882 possono pubblicizzare il rispetto di standard elevati, ottenendo un vantaggio competitivo sul mercato.

Certificazione e Fiducia del Cliente: La conformità a una norma riconosciuta come l'ASTM D4882 può aumentare la fiducia dei clienti e dei partner commerciali, facilitando la penetrazione nei mercati internazionali.

### ***-Facilità di Manutenzione e Ispezione***

Manutenzione Predittiva: La normativa fornisce indicazioni che possono essere utilizzate per sviluppare programmi di manutenzione predittiva, riducendo i tempi di inattività imprevisti.

Ispezioni Regolari: Facilita le ispezioni regolari delle macchine utensili, assicurando che rimangano conformi agli standard di prestazione e sicurezza.

### ***-Sostenibilità***

Riduzione degli Sprechi: L'adozione di macchine utensili che rispettano la normativa può contribuire a ridurre gli sprechi di materiale, migliorando l'efficienza dei processi produttivi.

Efficienza Energetica: Macchine utensili più precise e affidabili possono essere ottimizzate per un uso più efficiente dell'energia, contribuendo a pratiche di produzione più sostenibili.

In sintesi, la normativa ASTM D4882 offre una serie di benefici significativi che vanno dalla standardizzazione e miglioramento della qualità, alla sicurezza e affidabilità operativa, fino alla competitività del mercato e alla sostenibilità. L'adozione di questa normativa può portare a miglioramenti tangibili nelle operazioni di produzione e nei risultati aziendali; inoltre, la normativa ASTM D4882 fornisce una guida completa per garantire che le macchine utensili per il taglio dei metalli di tipo spindle-stop siano sicure, affidabili e performanti, coprendo una vasta gamma di requisiti tecnici e applicabilità in diverse industrie.

## **1.4 Macchine idrauliche per prove a fatica**

Le macchine idrauliche per le prove a fatica sono strumenti fondamentali utilizzati per valutare la resistenza dei materiali e dei componenti sottoposti a sollecitazioni cicliche. Queste macchine sono progettate per applicare carichi ripetuti e variabili su un provino per determinare la sua durata sotto condizioni di fatica.

### **1.4.1 Caratteristiche macchine idrauliche per Prove a Fatica**

#### **Sistema di Carico Idraulico**

Le macchine utilizzano un sistema idraulico per applicare carichi con precisione, controllando la forza con grande accuratezza; avranno quindi un valore di forza ben controllato e possono quindi generare cicli di carico ad alta frequenza, permettendo di simulare condizioni di servizio realistiche per i materiali in prova.

#### **Controllo del Carico e della Deformazione**

Le macchine possono essere programmate per applicare carichi di ampiezza costante o variabile, secondo le specifiche della prova, avendo così pieno controllo del carico, inoltre, alcuni modelli avanzati possono anche controllare la deformazione, permettendo prove a fatica controllate dalla deformazione (strain-controlled).

#### **Struttura Robusta**

Sono costruite con materiali robusti e resistenti per garantire la durata e la stabilità durante le prove ed hanno una precisione meccanica elevata per assicurare che i carichi applicati siano uniformi e ripetibili.

#### **Strumentazione e Sensori**

Utilizzano sensori di forza ad alta precisione per monitorare il carico applicato e possono anche essere dotate di estensimetri per misurare la deformazione del provino in tempo reale. Spesso sono anche automatizzate, ovvero presentano software di controllo, anche molto avanzati, che automatizzano le procedure di prova, raccolgono dati e generano report dettagliati. Il software permette l'analisi in tempo reale dei dati raccolti, facilitando l'identificazione dei punti di cedimento e la creazione di curve S-N (stress-numero di cicli).

## 1.4.2 Applicazioni delle Macchine Idrauliche per Prove a Fatica

Le macchine idrauliche possono essere applicate in diversi tipi di industrie per diversi tipi di richieste da dover soddisfare.

Sono presenti ad esempio all'interno delle industrie aerospaziali, utilizzate per effettuare test di componenti critici come ali, fusoliere e parti del motore per garantire la sicurezza e l'affidabilità in condizioni operative estreme, anche all'interno delle industrie automobilistiche, per la valutazione della durata di parti automobilistiche come sospensioni, telai e componenti del motore, ma anche in ingegneria civile, per effettuare prove su materiali da costruzione come acciaio e cemento armato per garantire la resistenza strutturale. In industria energetica, per test di componenti di turbine eoliche e altre attrezzature energetiche per assicurare la resistenza a lungo termine alle sollecitazioni cicliche.

## 1.4.3 Tipologie di macchine idrauliche per prove a fatica

Esistono diverse tipologie di macchine idrauliche, ciascuna progettata per specifiche applicazioni e tipi di prove:

1. **Macchine per Prove di Trazione/Compressione a Fatica**: Queste macchine sono progettate per applicare cicli di trazione e compressione su un provino, valutando la resistenza del materiale sotto carichi alternati. Vengono usate per test di componenti metallici, plastici e compositi per valutare la resistenza a fatica in condizioni di trazione e compressione.

Hanno un sistema idraulico per applicare forze cicliche, sensori di carico ad alta precisione ed estensimetri per monitorare la deformazione.

2. **Macchine per Prove di Fatica Rotante**: Queste macchine applicano un carico ciclico rotante su un provino, simulando le condizioni di stress ciclico tipiche delle parti rotanti. Sono utilizzate per testare alberi di trasmissione, turbine, alberi motore e hanno un sistema per applicare carichi rotanti con monitoraggio continuo della deformazione e delle fratture.



Figura 1.4.1 – Macchina Prova Trazione

3. **Macchine per Prove di Fatica Torsionale:** Progettate per applicare cicli di carico torsionale, queste macchine valutano la resistenza del materiale a sollecitazioni di torsione ciclica, servono ad analizzare alberi di trasmissione, giunti, elementi strutturali e hanno sistemi idraulici per applicare coppie cicliche, sensori di torsione e software di controllo per programmare i cicli di carico.

4. **Macchine per Prove di Fatica Assiale:** Queste macchine applicano carichi assiali ciclici, sia in trazione che in compressione, lungo l'asse del provino e si utilizzano per effettuare prove su componenti strutturali, bulloni e giunti saldati. Hanno un sistema idraulico per applicare carichi assiali, controllo della deformazione e monitoraggio delle fratture.



Figura 1.4.2 – Macchina Prova a fatica torsionale

5. **Macchine per Prove di Fatica a Controllo di Deformazione:** Queste macchine controllano e applicano cicli di carico basati sulla deformazione imposta, piuttosto che sulla forza applicata. Testano materiali che mostrano un comportamento significativo di deformazione ciclica, come i metalli a bassa resistenza. Sono dotate di sensori di deformazione ad alta precisione e sistemi di controllo avanzati per applicare cicli di carico in base alla deformazione.

6. **Macchine per Prove di Fatica a Frequenza Elevata:** Queste macchine sono progettate per applicare cicli di carico ad alta frequenza, permettendo di eseguire prove di fatica accelerata. Effettuano test rapidi su componenti che devono resistere a milioni di cicli di carico, come molle e componenti ad alta ciclicità. Hanno sistemi idraulici ad alta velocità, capaci di applicare migliaia di cicli al secondo, e monitoraggio avanzato per la rilevazione delle fratture.

7. **Macchine per Prove di Fatica a Corrosione:** Queste macchine combinano prove di fatica con un ambiente corrosivo per valutare la resistenza dei materiali in condizioni di servizio realistiche. Hanno lo scopo di testare componenti utilizzati in ambienti marini, chimici o corrosivi e sono dotate di celle di prova che simulano ambienti corrosivi, sistemi idraulici per applicare carichi ciclici e monitoraggio della corrosione e della fatica.

8. **Macchine per Prove di Fatica Termica**: Progettate per applicare cicli di carico in combinazione con variazioni di temperatura, queste macchine testano la resistenza dei materiali in condizioni termiche variabili. Testano componenti aerospaziali, parti del motore, materiali esposti a variazioni termiche cicliche; presentano camere termiche, sistemi di riscaldamento/raffreddamento e un controllo preciso dei cicli di carico e temperatura.

#### 1.4.4 **Vantaggi delle Macchine Idrauliche per Prove a Fatica**

##### ***Alta Precisione e Controllo***

Accuratezza dei Carichi: Offrono un controllo preciso dei carichi applicati, essenziale per ottenere risultati di prova affidabili e ripetibili.

Monitoraggio in Tempo Reale: Permettono il monitoraggio continuo delle condizioni del provino durante la prova, facilitando l'identificazione dei cedimenti.

##### ***Versatilità***

Ampia Gamma di Prove: Possono essere utilizzate per una vasta gamma di prove, da quelle a bassa frequenza e alto carico, a quelle ad alta frequenza e basso carico.

Diversi Materiali e Componenti: Adatte per testare diversi materiali (metalli, polimeri, compositi) e componenti di varie dimensioni e forme.

##### ***Affidabilità e Durata***

Costruzione Solida: Progettate per durare nel tempo e resistere a condizioni operative intense, garantendo affidabilità a lungo termine.

Le macchine idrauliche per prove a fatica sono generalmente costose, richiedendo un investimento significativo iniziale; inoltre necessitano di manutenzione regolare per garantire la precisione e l'affidabilità nel tempo.

Sono spesso ingombranti e richiedono spazio adeguato all'installazione e l'operazione e richiedono spesso operatori con competenze tecniche specifiche per impostare e gestire le prove correttamente. Sono strumenti cruciali per valutare la resistenza dei materiali e dei componenti sottoposti a sollecitazioni cicliche. Offrono precisione, controllo e affidabilità, rendendole indispensabili in molteplici settori industriali.

## 1.5 Materiali interni Ferrari: Specifiche e descrizione

I materiali utilizzati negli interni delle Ferrari sono scelti con estrema cura e attenzione per garantire il massimo livello di lusso, comfort e prestazioni.

Ecco una panoramica delle specifiche e delle descrizioni dei principali materiali impiegati:



Figura 1.5.1 – Esempio di interni Ferrari

### **Pelle**

**Descrizione:** La pelle è uno dei materiali più comuni negli interni delle Ferrari, utilizzata per rivestire sedili, pannelli delle portiere, cruscotti e volanti.

**Specifiche:** Viene selezionata pelle di alta qualità, spesso proveniente da fornitori italiani di eccellenza. È trattata per resistere all'usura, ai raggi UV e mantenere un aspetto lussuoso nel tempo.

**Varianti:** Può essere disponibile in diverse finiture come pelle naturale, pelle traforata e pelle Alcantara per una sensazione più sportiva e leggera.

### **Alcantara**

**Descrizione:** L'Alcantara è un materiale sintetico che offre una combinazione di lusso e funzionalità, spesso utilizzato nelle auto sportive.

**Specifiche:** È un materiale resistente, leggero e traspirante. Viene utilizzato per rivestire sedili, cieli, e dettagli interni. È particolarmente apprezzato per la sua presa e resistenza allo scivolamento, ideale per una guida sportiva.

**Varianti:** Disponibile in vari colori e texture, spesso in combinazione con pelle per un look bicolore.

### **Fibra di Carbonio**

**Descrizione:** La fibra di carbonio è ampiamente utilizzata per i componenti interni delle Ferrari per il suo rapporto resistenza/peso eccezionale.

**Specifiche:** Utilizzata per dettagli come console centrali, pannelli delle portiere e inserti nel cruscotto. Conferisce un aspetto moderno e tecnologico all'abitacolo.

Varianti: Può essere finita in lucido o opaco e in alcuni casi può essere personalizzata con colori specifici.

### **Legno**

Descrizione: Il legno è meno comune nelle Ferrari rispetto ad altri materiali, ma può essere utilizzato per dettagli particolari nei modelli GT più lussuosi.

Specifiche: Viene utilizzato legno di alta qualità, spesso con finiture laccate o opache. Offre un tocco di calore e tradizione all'interno.

Varianti: Diversi tipi di legno possono essere scelti, come il legno di noce, il legno di quercia o essenze esotiche.

### **Metalli**

Descrizione: Metalli come l'alluminio e l'acciaio inossidabile sono utilizzati per dettagli interni come maniglie, pedali e altri comandi.

Specifiche: Questi materiali sono scelti per la loro durata ed estetica. Spesso sono lavorati con precisione per aggiungere un tocco di eleganza e sportività.

Varianti: Finiture spazzolate, lucidate o anodizzate in vari colori.

### **Microfibra e Tessuti Tecnici**

Descrizione: Utilizzati per creare un ambiente più sportivo e tecnico, questi materiali offrono una buona combinazione di comfort e funzionalità.

Specifiche: Sono scelti per la loro resistenza all'usura e per le loro proprietà antiscivolo. Spesso utilizzati in combinazione con pelle o Alcantara.

Varianti: Disponibili in diversi colori e texture, personalizzabili a seconda delle esigenze del cliente.

## **1.5.1 Dettagli e Personalizzazione**

Ferrari S.p.A offre un'ampia gamma di opzioni di personalizzazione per gli interni, permettendo ai clienti di scegliere materiali, colori e finiture secondo i loro gusti personali. Si possono, infatti, personalizzare cuciture, bordi, e dettagli come stemmi e loghi.

La personalizzazione può estendersi a quasi ogni aspetto dell'abitacolo, rendendo ogni Ferrari unica.

Questi materiali e le relative specifiche mostrano l'attenzione di Ferrari per ogni dettaglio, assicurando che gli interni non siano solo belli da vedere, ma anche funzionali e duraturi.

# Capitolo 2 Metodologia

## 2.1 Realizzazione grafica CAD dei pezzi meccanici

Il Disegno CAD (Computer-Aided Design) è una tecnologia che consente la creazione, modifica, analisi e ottimizzazione di un progetto tramite un computer. È ampiamente utilizzato in vari settori, tra cui ingegneria, architettura e design industriale, per la rappresentazione precisa di oggetti fisici.

### 2.1.1 Specifiche del Disegno CAD per Pezzi Meccanici

I disegni CAD utilizzano unità di misura standardizzate (millimetri, pollici, ecc.) per garantire precisione ed attraverso le tolleranze definiscono la variazione accettabile nelle dimensioni dei pezzi meccanici, cruciali per assicurare che i pezzi funzionino correttamente insieme.

Vengono spesso inserite le informazioni sui materiali utilizzati, come acciaio, alluminio, plastica, ecc., con le loro proprietà meccaniche (resistenza, durezza, elasticità) e attraverso le quote si rappresentano (soprattutto in scala) le dimensioni dettagliate di ogni parte del pezzo, inclusi lunghezza, larghezza, altezza, diametri, raggi, angoli e altre misure geometriche. Utilizzando proiezioni ortogonali si possono realizzare disegni specifici attraverso diverse tipologie di vista: vista in pianta, vista laterale e vista frontale per rappresentare il pezzo da diverse angolazioni oltre che a sezioni trasversali del pezzo per mostrare l'interno e dettagli specifici ingranditi di parti complesse.

Si possono inserire anche annotazioni che forniscono informazioni aggiuntive su lavorazioni, trattamenti superficiali, assemblaggi, utilizzando simboli per tolleranze geometriche, rugosità superficiale, filettature e saldature.

### 2.1.2 Norme e Standard

Le norme e gli standard del disegno CAD sono fondamentali per garantire l'uniformità, la chiarezza e la precisione nella comunicazione tecnica tra ingegneri, progettisti e produttori. Ecco alcune delle principali norme e standard internazionali utilizzati nel disegno CAD:

### **ISO (International Organization for Standardization)**

ISO 128 - General Principles of Presentation: Stabilisce le linee guida generali per la presentazione dei disegni tecnici, inclusi layout, linee, lettere e simboli.

ISO 129 - Dimensioning and Tolerancing: Specifica le regole per l'indicazione delle dimensioni e delle tolleranze nei disegni tecnici.

ISO 5455 - Scales: Definisce le scale standard da utilizzare nei disegni tecnici.

ISO 5457 - Drawing Sheet Layout and Folded Forms: Regola il layout dei fogli da disegno e le modalità di piegatura.

ISO 1101 - Geometrical Product Specifications (GPS) - Geometrical Tolerancing: Fornisce le specifiche per le tolleranze geometriche, inclusi forma, orientamento, posizione e battuta.

ISO 1302 - Indication of Surface Texture in Technical Product Documentation: Definisce i simboli e le modalità per indicare la rugosità superficiale nei disegni tecnici.

ISO 16792 - Technical Product Documentation (TPD) - Digital Product Definition Data Practices: Stabilisce le pratiche per la definizione digitale dei prodotti, compresi i modelli CAD.

### **ASME (American Society of Mechanical Engineers)**

ASME Y14.5 - Dimensioning and Tolerancing: Normativa americana per la dimensionatura e tolleranza dei disegni tecnici, simile alla ISO 129 e ISO 1101.

ASME Y14.1 - Decimal Inch Drawing Sheet Size and Format: Specifica le dimensioni e il formato dei fogli da disegno in pollici decimali.

ASME Y14.41 - Digital Product Definition Data Practices: Regola le pratiche per la definizione digitale dei prodotti, parallelamente alla ISO 16792.

### **DIN (Deutsches Institut für Normung)**

DIN 406 - Technical Drawings - Dimensioning: Norme tedesche per la dimensionatura nei disegni tecnici.

DIN 6784 - Technical Drawings - Types of Drawings and Designations: Classificazione e designazione dei vari tipi di disegni tecnici.

### **JIS (Japanese Industrial Standards)**

JIS Z 8301 - Technical Drawings - General Principles: Principi generali per la redazione dei disegni tecnici secondo gli standard giapponesi.

Vi sono elementi comuni degli standard come i tipi di linee (continue, tratteggiate, etc.) e il loro utilizzo specifico nei disegni tecnici, le regole per l'inserimento delle quote, compresa la posizione, il tipo di carattere e il formato, i metodi di rappresentazione ortogonale e isometrica per visualizzare le parti da diverse angolazioni e le indicazioni su come specificare tolleranze dimensionali e geometriche per garantire la funzionalità e l'intercambiabilità dei pezzi; inoltre anche l'utilizzo di simboli standard per indicare rugosità, trattamenti termici, saldature e altre caratteristiche specifiche e le dimensioni standard dei fogli da disegno (A0, A1, A2, A3, A4, ecc.) e il loro layout.

### **Importanza degli Standard**

L'adozione di standard e norme nei disegni CAD assicura che i progetti siano comprensibili e utilizzabili a livello globale, riducendo errori, ambiguità e migliorando l'efficienza nel processo di progettazione e produzione. La conformità a questi standard facilita la collaborazione tra gruppi di diverse nazioni e garantisce che i prodotti finiti rispettino le specifiche progettuali.

## **2.1.3 Realizzazione Grafica di Pezzi Meccanici**

La creazione del modello 3D avviene attraverso il disegno bidimensionale di base che definisce la forma iniziale del pezzo (Sketching) e con l'utilizzo di operazioni come estrusione, rivoluzione, sweep per creare forme tridimensionali dal disegno bidimensionale (Feature-Based Modeling).

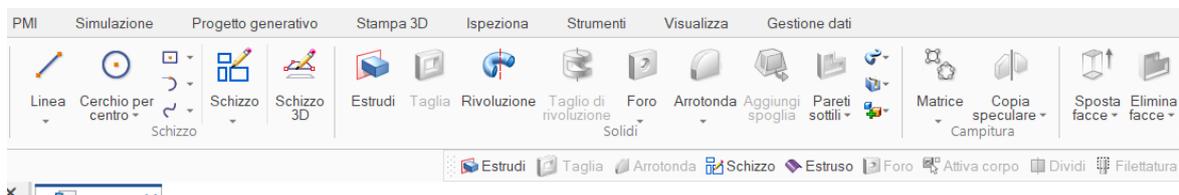


Figura 2.1.1 – Layout di Solid Edge per la modellazione di pezzi 3D

Successivamente l'assemblaggio avviene tramite la modellazione separata di ogni pezzo del meccanismo in studio e successivamente assemblato nel software CAD apposito di assieme. Si ha poi successivamente l'applicazione di vincoli quali allineamento, coincidenza e concentricità, per definire le relazioni spaziali tra i vari componenti.

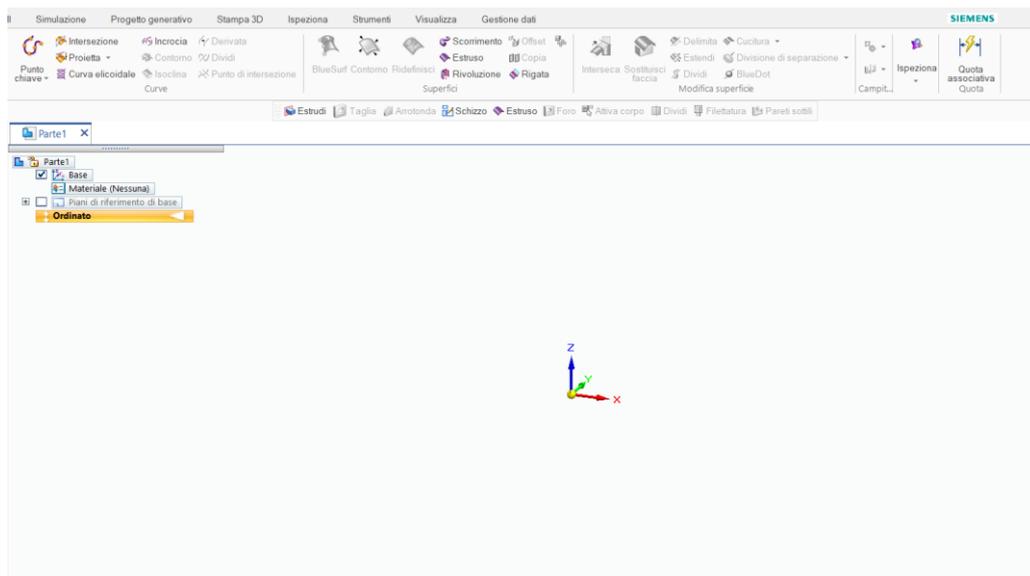


Figura 2.1.2 – Layout di Solid Edge per i piani di lavoro e di disegno

Successivamente si passa all'analisi FEM, ovvero la simulazione delle sollecitazioni meccaniche sui pezzi per valutare la resistenza strutturale e poi effettuando una Motion Simulation, ovvero un'analisi del movimento dei componenti per verificare l'assemblaggio e il funzionamento. Infine, si effettua il rendering fotorealistico e la sua visualizzazione, creando immagini realistiche del pezzo per visualizzarlo in un contesto reale ed effettuando l'animazione del funzionamento del pezzo o del meccanismo per dimostrare il movimento e l'interazione tra componenti. Per quanto invece concerne la documentazione tecnica si passa alla realizzazione di tavole tecniche, creando disegni bidimensionali derivati dal modello 3D, con tutte le quote e annotazioni necessarie per la produzione, realizzando poi un elenco di tutti i componenti del pezzo o dell'assemblaggio, inclusi i materiali e le quantità (Distinte Base (BOM)).



### Progettazione CAD

Utilizzando software di progettazione assistita da computer (CAD), si crea il modello 3D dell'afferraggio.

In questa fase, è importante considerare:

Geometria: Ottimizzare la forma per distribuire uniformemente le tensioni e ridurre lo stress.

Ergonomia: Garantire che l'afferraggio sia facile da usare e manovrare.

### Simulazione e Analisi

Prima di procedere alla realizzazione fisica, è utile eseguire simulazioni per prevedere il comportamento dell'afferraggio sotto carico.

Software di analisi agli elementi finiti (FEA) possono essere utilizzati per:

Valutare le sollecitazioni: Identificare eventuali punti deboli nella struttura.

Ottimizzare il design: Migliorare il progetto per aumentare la resistenza e ridurre il peso.

### Prototipazione

La manifattura additiva, come la stampa 3D, viene spesso utilizzata per creare prototipi degli afferraggi.

Questo permette di:

Testare il design: Verificare l'adattamento e la funzionalità prima della produzione finale.

Effettuare modifiche: Apportare miglioramenti al design basati sui test pratici.

### Produzione

Una volta che il prototipo è stato validato, si procede con la produzione finale.

Questa può essere realizzata utilizzando diverse tecniche:

Stampa 3D in metallo: Per afferraggi che richiedono alta resistenza.

Lavorazione CNC: Per ottenere precisione e finiture di alta qualità.

### Assemblaggio e Test

Gli afferraggi vengono assemblati e installati sulla macchina di prove a trazione.

È essenziale eseguire test approfonditi per assicurarsi che:

Funzionino correttamente: Durante le prove reali.

Siano sicuri: Non causino danni ai campioni o alla macchina stessa.

Innanzitutto, si sono prese le misure relative alla dimensione e alle specifiche degli afferraggi e degli agganci degli stessi già presenti presso i laboratori.

Si è dapprima fatto uno schizzo grafico con misure dettagliate con successive tavole per le misure in scala dei pezzi meccanici da realizzare.

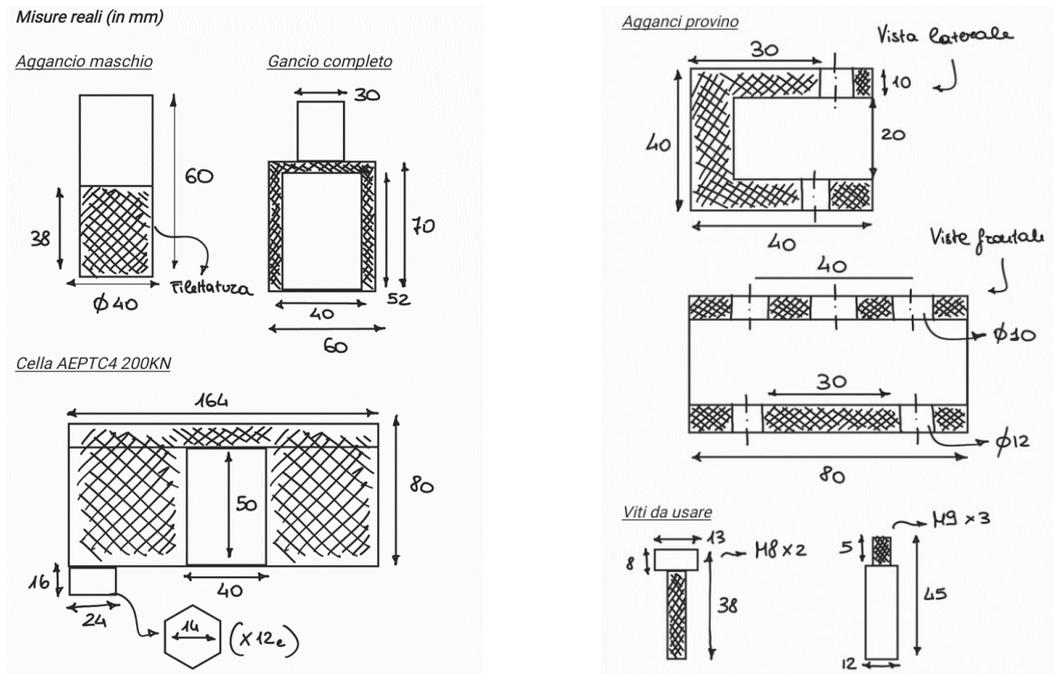


Figura 2.1.4 – Schizzo degli afferraggi

Successivamente, riportando le misure in scala, si sono creati i rispettivi pezzi 3D su Solid Edge (Fig. 2.1.5, 2.1.6, 2.1.7, 2.1.8, 2.1.9), con le rispettive tavole grafiche.

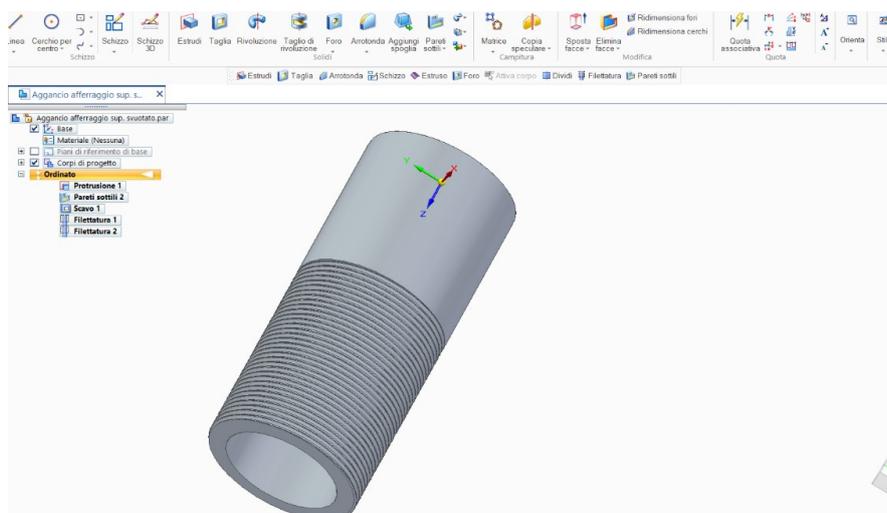


Figura 2.1.5 – Disegno 3D aggancio filettato I vista

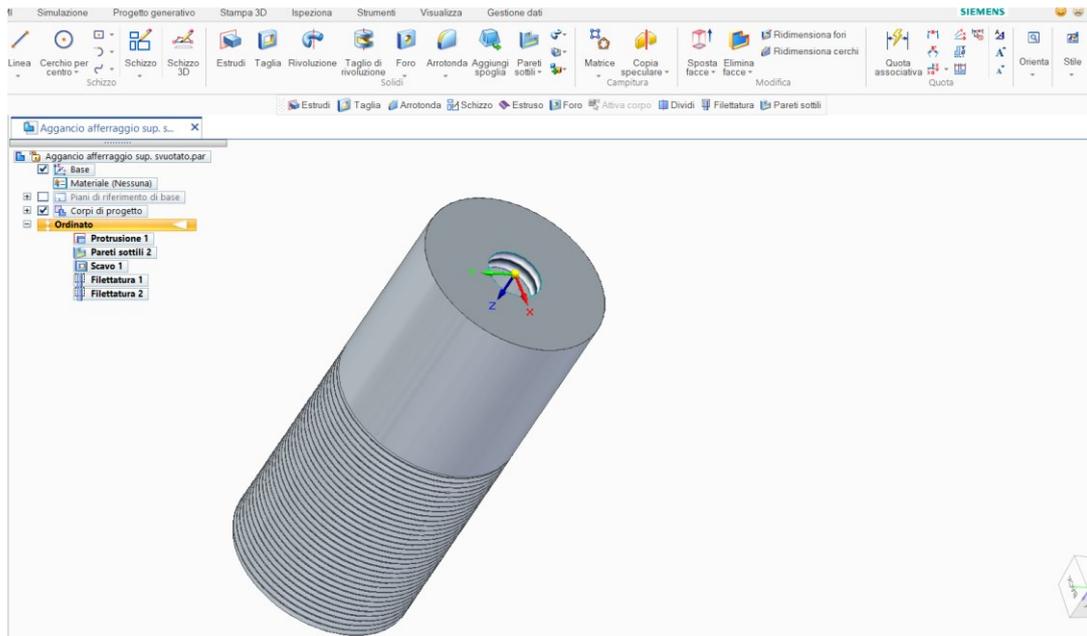


Figura 2.1.6 – Disegno 3D aggancio filettato II vista

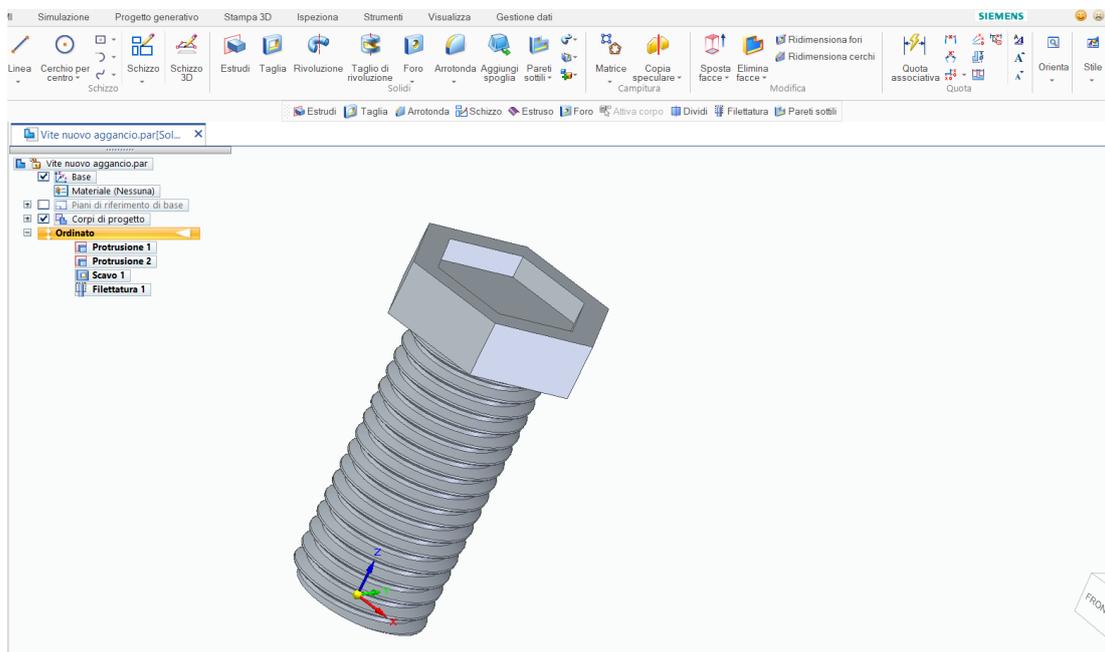


Figura 2.1.7 – Disegno 3D Vite aggancio superiore

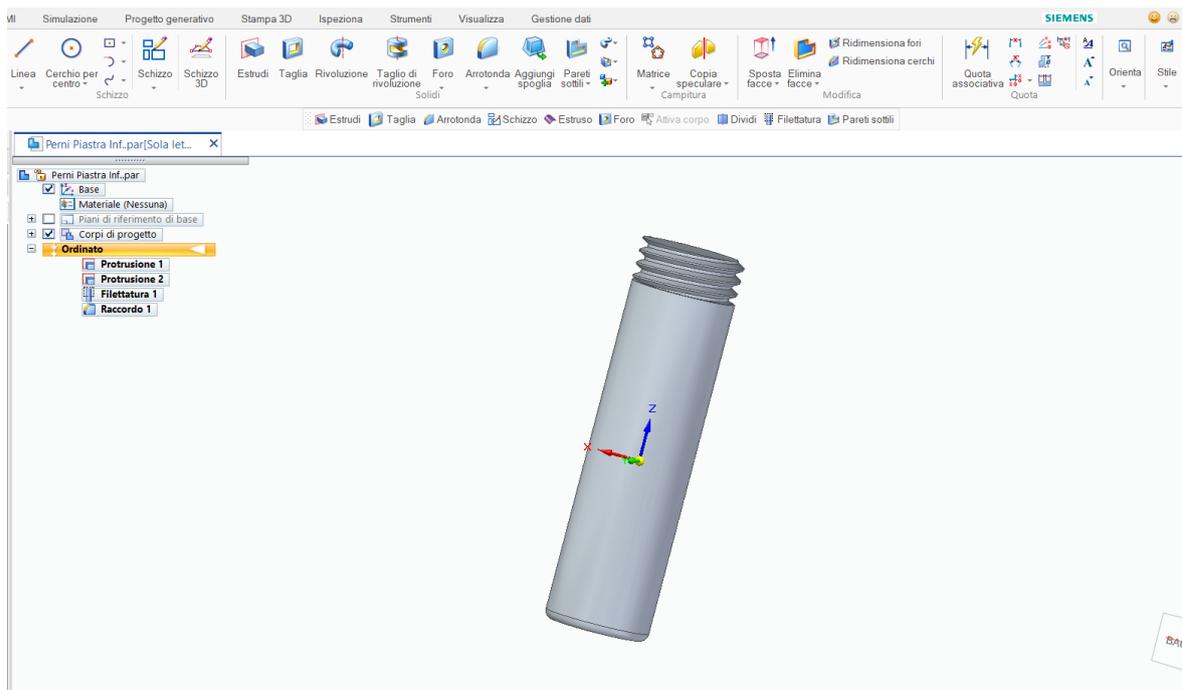


Figura 2.1.8 – Disegno 3D Perno aggancio inferiore

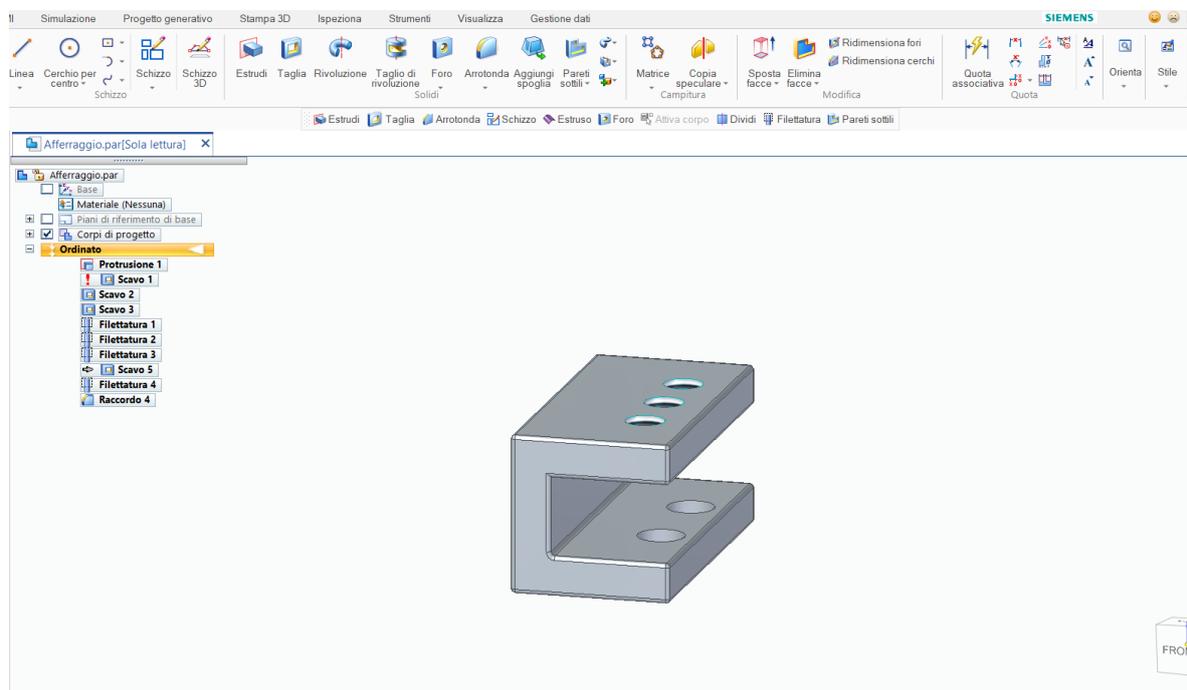


Figura 2.1.9 – Disegno 3D Afferraggio vuoto

Dopo aver creato ogni pezzo meccanico 3D, è stato utilizzato il file *assieme CAD* per realizzare gli assiemi unendo i singoli pezzi e poi realizzando una tavola grafica finale con il file *tavola grafica CAD* (Fig. 2.1.10, 2.1.11, 2.1.12, 2.1.13).

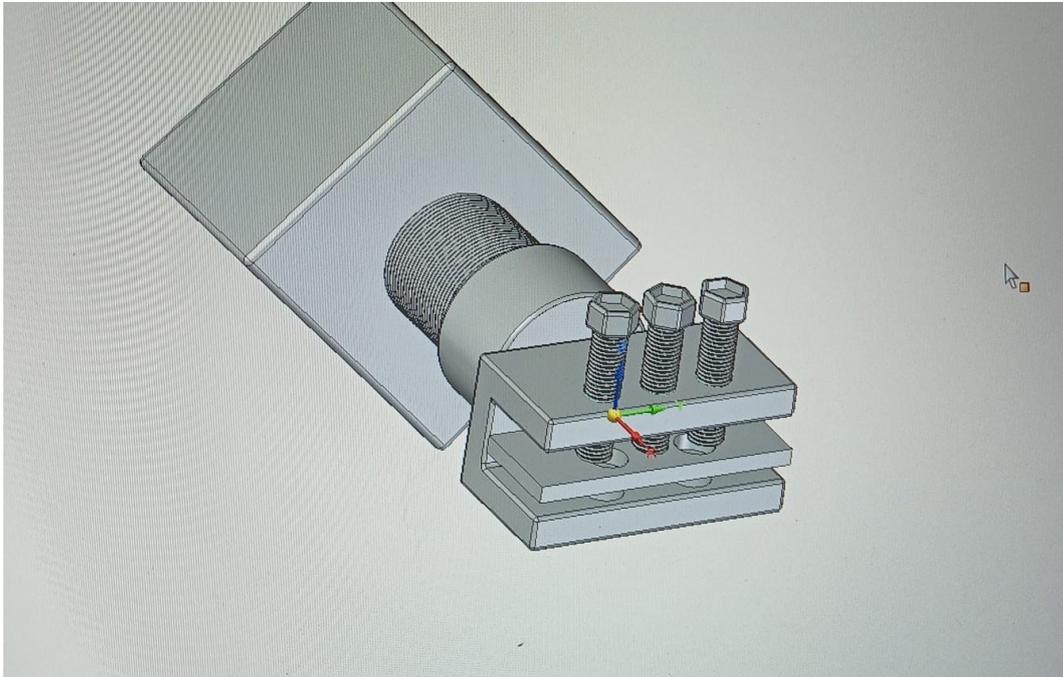


Figura 2.1.10 – Disegno 3D Assieme di afferraggio e aggancio

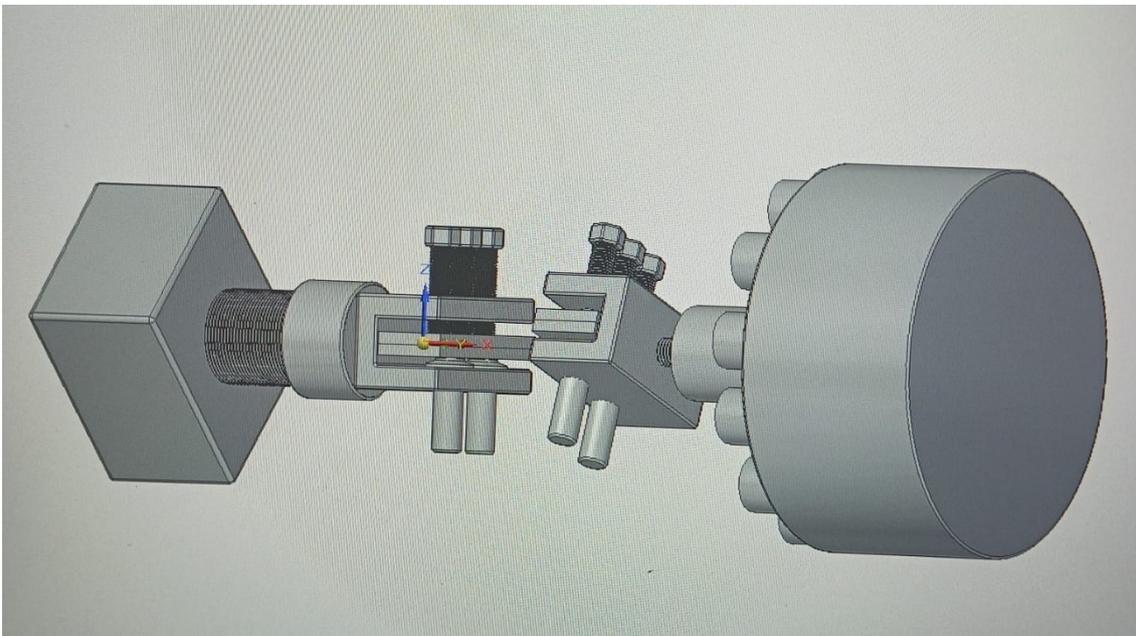


Figura 2.1.11 – Disegno 3D Finale afferraggi





Figura 2.1.14 – Afferraggi dei provini

## 2.2 Materiale utilizzato per le prove

La gomma siliconica utilizzata per le prove, negli interni Ferrari, è un materiale di alta qualità scelto per le sue eccellenti proprietà meccaniche e chimiche.



Figura 2.2.1 – Esempio di rivestimenti interni Ferrari

Vediamo alcune delle caratteristiche principali che rendono questo materiale adatto per l'uso in auto di lusso come le Ferrari:

### **Proprietà della gomma siliconica**

**Resistenza al calore:** La gomma siliconica può resistere a temperature estreme, sia alte che basse, senza perdere le sue proprietà. Questo è particolarmente importante in un'auto sportiva ad alte prestazioni come la Ferrari, dove i componenti interni possono essere esposti a condizioni di calore intenso.

**Durabilità:** Questo materiale è molto resistente all'usura e all'invecchiamento, il che significa che manterrà il suo aspetto e le sue funzionalità per un lungo periodo, anche con un uso intensivo.

**Flessibilità:** Anche a basse temperature, la gomma siliconica rimane flessibile, il che è importante per i componenti che devono mantenere una certa elasticità per funzionare correttamente.

**Resistenza agli agenti chimici:** La gomma siliconica non viene facilmente danneggiata da oli, solventi, o altri prodotti chimici che possono essere presenti in un ambiente automobilistico.

**Proprietà ignifughe:** Questo materiale può essere trattato per essere ignifugo, aumentando la sicurezza degli interni del veicolo.

### **Applicazioni negli interni delle Ferrari**

**Guarnizioni:** Le guarnizioni in gomma siliconica sono utilizzate per sigillare parti mobili come porte e finestrini, garantendo un isolamento acustico e termico eccellente.

**Rivestimenti:** Alcune parti degli interni possono essere rivestite con gomma siliconica per migliorare il tatto e l'estetica, oltre a proteggere le superfici sottostanti.

**Componenti elettrici:** La gomma siliconica è spesso utilizzata per isolare e proteggere componenti elettrici, grazie alla sua resistenza al calore e alle proprietà isolanti.

### **Vantaggi per il conducente e i passeggeri**

**Comfort:** La gomma siliconica contribuisce a ridurre le vibrazioni e il rumore, migliorando il comfort di marcia.

**Sicurezza:** La resistenza al calore e le proprietà ignifughe aumentano la sicurezza complessiva dell'auto.

**Estetica:** Il materiale può essere lavorato in diverse finiture e colori, contribuendo all'estetica lussuosa e personalizzata degli interni Ferrari.

In sintesi, la gomma siliconica è un materiale di scelta per gli interni delle Ferrari grazie alle sue proprietà avanzate che contribuiscono alla durabilità, al comfort, alla sicurezza e all'estetica del veicolo.

## 2.3 Macchinari utilizzati

### 2.3.1 Macchine idrauliche a fatica Rockwell

Le macchine a fatica Rockwell sono strumenti utilizzati per eseguire prove di fatica sui materiali. La fatica è un fenomeno che comporta il progressivo e cumulativo danneggiamento di un materiale sotto l'azione di carichi ciclici o variabili, che possono portare alla rottura dopo un certo numero di cicli, anche se il carico massimo è inferiore al limite di resistenza statica del materiale.

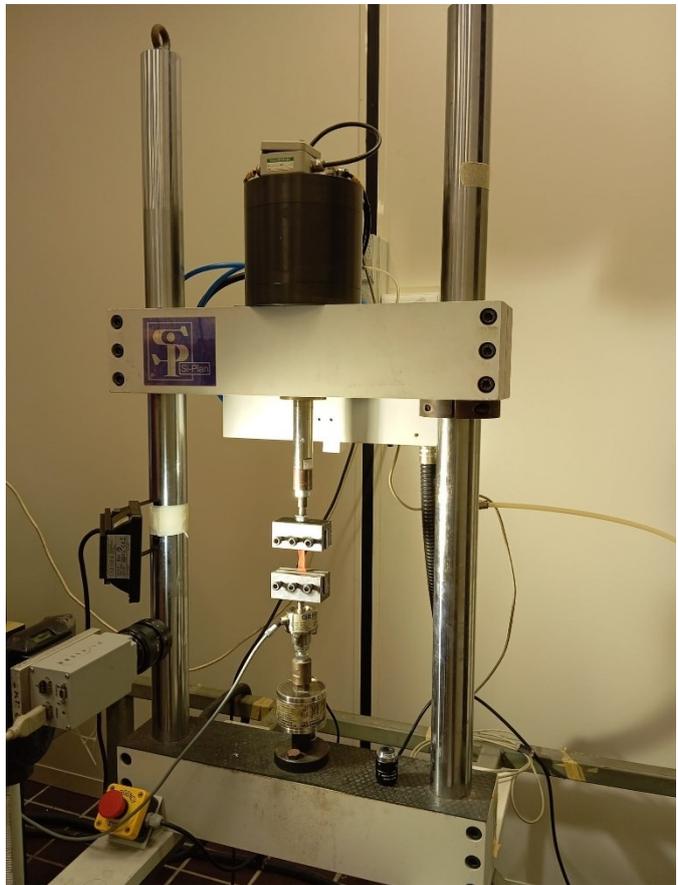


Figura 2.3.1 – Macchinario prova a fatica

#### **Caratteristiche delle macchine a fatica Rockwell**

Le macchine a fatica Rockwell sono note per la loro affidabilità e precisione nel misurare la resistenza dei materiali a carichi ripetuti. Esse sono progettate per garantire risultati ripetibili e accurati, inoltre queste macchine sono in grado di testare una vasta gamma di materiali, inclusi metalli, polimeri e compositi.

Possono eseguire diversi tipi di prove di fatica, come ad esempio:

**-Prove di flessione**

**-Prove di torsione**

**-Prove di trazione-compressione**

Le macchine a fatica Rockwell possono operare su un ampio intervallo di carico, permettendo di simulare condizioni di servizio molto diverse e severe e molte di queste sono dotate di sistemi di controllo automatizzati, che consentono di programmare cicli di carico complessi e monitorare continuamente i dati durante l'esecuzione delle prove. Questo aumenta l'efficienza e riduce la possibilità di errore umano. Sono spesso integrate con software avanzati per il monitoraggio e l'analisi dei dati. Questi software possono registrare dettagliatamente i risultati dei test, facilitando l'interpretazione e l'archiviazione dei dati.

### **Applicazioni**

Le prove di fatica sono cruciali in numerosi settori industriali, per garantire che le componenti strutturali degli aeromobili resistano a carichi ciclici durante il volo, per verificare la durabilità dei componenti sotto le sollecitazioni ripetitive che si verificano durante la guida, per valutare la resistenza delle strutture sotto carichi dinamici, come il traffico e le vibrazioni, per testare la durata dei componenti delle turbine eoliche e delle centrali elettriche.

### **Processo di Prova**

Il campione del materiale viene preparato secondo specifiche norme standard (ad esempio ASTM o ISO), viene montato sulla macchina a fatica, e i parametri di prova vengono impostati nel software di controllo, la macchina applica i carichi ciclici al campione secondo il programma impostato. Durante la prova, vengono monitorati parametri come la deformazione, la tensione e il numero di cicli fino alla rottura. Dopo la prova, i dati raccolti vengono analizzati per determinare la resistenza del materiale alla fatica, identificare eventuali punti deboli e prevedere la vita utile del componente.

### 2.3.2 Macchine idrauliche a trazione Rockwell

La macchina idraulica a trazione della Rockwell è uno strumento avanzato utilizzato per eseguire prove meccaniche sui materiali, in particolare test di trazione e fatica. Queste macchine sono progettate per applicare carichi di trazione su un campione di materiale per valutare la sua resistenza, duttilità, e altri parametri meccanici critici.

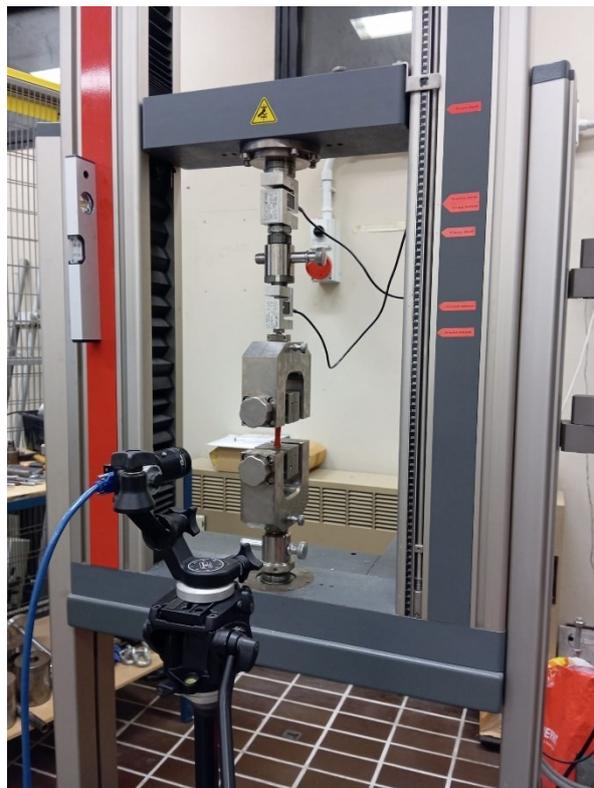


Figura 2.3.2 – Macchinario prova di trazione

#### **Caratteristiche della Macchina Idraulica a Trazione Rockwell**

Sono dotate di un sistema Idraulico che fornisce una forza di trazione potente e precisa, essenziale per eseguire prove accurate su materiali ad alta resistenza. Le valvole idrauliche ad alta precisione permettono un controllo fine del carico applicato, garantendo risultati di prova coerenti.

La macchina è costruita con materiali robusti per resistere ai carichi elevati e prolungati tipici delle prove di trazione e fatica e la struttura è progettata per minimizzare le vibrazioni e i movimenti indesiderati, migliorando l'accuratezza delle misurazioni.

Dotata di celle di carico ad alta precisione per misurare con esattezza la forza applicata al campione, utilizza estensimetri o altri dispositivi per misurare la deformazione del campione durante la prova.

Hanno un software integrato che permette di programmare e automatizzare le sequenze di prova, riducendo l'intervento manuale, raccogliere dati in tempo reale durante le prove,

facilitando l'analisi dettagliata dei risultati e generare report dettagliati che includono curve di carico-deformazione, limiti di snervamento, resistenza a trazione e altri parametri chiave. È adatta ad una varietà di test, inclusi quelli su metalli, polimeri, compositi e altri materiali; inoltre può essere equipaggiata con una gamma di accessori per adattarsi a diverse forme e dimensioni di campioni.

### **Applicazioni delle Macchine Idrauliche a Trazione Rockwell**

Viene utilizzata nei laboratori di ricerca per sviluppare e testare nuovi materiali con migliori proprietà meccaniche; aiuta nella progettazione di componenti che devono resistere a carichi elevati e condizioni di fatica.

### **Vantaggi delle macchine Rockwell**

Offrono misurazioni precise e ripetibili dei carichi e delle deformazioni applicate, essenziali per valutare la resistenza a fatica dei materiali, permettono di testare una vasta gamma di materiali e componenti, dalle piccole parti automobilistiche ai grandi componenti strutturali e possono simulare condizioni di servizio realistiche, comprese sollecitazioni cicliche, ambienti corrosivi e variazioni termiche, migliorando la validità dei risultati delle prove. Sono dotate di software avanzati per automatizzare le prove, raccogliere dati in tempo reale e generare report dettagliati, facilitando l'analisi dei risultati.

Le macchine idrauliche della Rockwell rappresentano strumenti di alta precisione e affidabilità per eseguire prove meccaniche sui materiali. Grazie alla loro versatilità, robustezza e capacità di automazione, sono essenziali per molteplici applicazioni industriali, dalla ricerca e sviluppo alla produzione di componenti critici. Investire in queste macchine permette di migliorare significativamente la qualità dei test e la sicurezza dei prodotti finali.

## **2.4 Realizzazione Provini**

I provini per prove a fatica sono campioni di materiale appositamente preparati per essere sottoposti a test di fatica, che simulano le condizioni di carico ciclico che il materiale potrebbe incontrare in servizio. Questi test sono fondamentali per comprendere come un materiale si comporta sotto carichi ripetuti e per determinare la sua durata utile.

### 2.4.1 Tipologie di provini

**Provini a trazione-compressione:** Utilizzati per testare la resistenza del materiale a carichi assiali ciclici, solitamente hanno una sezione rettangolare o circolare con lunghezza totale di circa 100-150 mm e diametro o larghezza della sezione ridotta di circa 6-10 mm.

**Provini a flessione:** Utilizzati per testare la resistenza del materiale a carichi di flessione ciclici. Hanno spesso una forma rettangolare allungata con lunghezza di circa 100 mm e sezione trasversale di 10x10 mm.

**Provini a torsione:** Utilizzati per testare la resistenza del materiale a carichi di torsione ciclici, con forma cilindrica e lunghezza di circa 100-150 mm e diametro di circa 10 mm.

### 2.4.2 Preparazione dei Provini

Il materiale del provino deve essere rappresentativo del componente finale e i provini vengono tagliati e lavorati per ottenere le dimensioni e le forme specificate. È essenziale che la lavorazione non introduca difetti o stress residui significativi.

La superficie dei provini deve essere liscia e priva di imperfezioni poiché eventuali difetti superficiali possono influenzare negativamente i risultati delle prove di fatica. I provini possono essere marcati con identificatori univoci per tracciare il campione durante il test.

### 2.4.3 Norme e Standard

Le prove a fatica e i provini devono rispettare norme standardizzate per garantire risultati coerenti e comparabili. Alcune delle norme più comuni includono:

ASTM E466: Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials[3].

ISO 1099: Metallic materials — Fatigue testing — Axial force-controlled method.

## 2.4.4 Esecuzione delle Prove

Il provino viene montato nella macchina di prova, assicurandosi che sia ben allineato per evitare carichi eccentrici, viene poi applicato un carico ciclico secondo il programma di prova, che può variare in ampiezza e frequenza.

Durante la prova vengono monitorati parametri come il numero di cicli, la deformazione e la tensione applicata. La prova continua fino alla rottura del provino o fino a un numero predeterminato di cicli.

## 2.4.5 Analisi dei Risultati

I risultati delle prove a fatica vengono analizzati per determinare:

Limite di fatica: Il carico massimo che il materiale può sopportare per un numero infinito di cicli senza rompersi.

Curva S-N: Una rappresentazione grafica del numero di cicli fino alla rottura (N) in funzione della tensione applicata (S).

Modelli di frattura: L'analisi delle superfici fratturate può rivelare informazioni sui meccanismi di cedimento del materiale.

I provini per prove a fatica sono fondamentali per valutare la resistenza e la durabilità dei materiali sotto carichi ciclici. La preparazione accurata dei provini e l'esecuzione precisa delle prove sono essenziali per ottenere dati affidabili, che possono essere utilizzati per migliorare la progettazione e la sicurezza dei componenti in vari settori industriali.

## 2.4.6 Fustelle di taglio

Le fustelle di taglio sono strumenti utilizzati per tagliare materiali come carta, cartone, tessuto, pelle, gomma e plastica in forme specifiche e precise. Questi strumenti sono fondamentali in diversi settori industriali, inclusi l'industria della stampa, il packaging, la moda e la produzione di calzature.



Figura 2.4.1 – Fustella di taglio utilizzata

### **Caratteristiche delle Fustelle di Taglio**

Generalmente realizzate in acciaio temperato per garantire durata e precisione nel taglio, possono avere bordi rivestiti per migliorare la resistenza all'usura.

Si possono avere:

- fustelle piane, utilizzate principalmente per materiali piatti come carta e cartone. Sono montate su una base piana e utilizzano una pressa per applicare la forza di taglio;
- fustelle rotative, utilizzate per applicazioni ad alta velocità, come nel settore del packaging. Sono montate su cilindri rotanti e tagliano il materiale in continuo mentre passa attraverso la macchina;
- fustelle a lamina, specifiche per il taglio di materiali sottili come lamine di metallo o fogli di plastica;
- fustelle di precisione, utilizzate in applicazioni dove è richiesta una tolleranza molto bassa, come nella produzione di componenti elettronici o medici.

### **Componenti Principali**

Lama di Taglio: Parte della fustella che effettua il taglio, affilata e resistente all'usura.

Base di Supporto: Base rigida su cui è montata la lama, spesso realizzata in legno o metallo.

Supporti di Guida: Guidano il materiale nella posizione corretta durante il processo di taglio.

### **Processo di Utilizzo delle Fustelle di Taglio**

Progettazione: La forma e le dimensioni del taglio desiderato vengono progettate utilizzando software CAD (Computer-Aided Design).

Produzione della Fustella: La lama di taglio viene sagomata secondo il design specificato e montata sulla base di supporto.

Posizionamento del Materiale: Il materiale da tagliare viene posizionato sulla macchina fustellatrice.

Applicazione del Taglio: La fustella viene premuta contro il materiale, applicando una forza sufficiente per effettuare il taglio preciso della forma desiderata.

Rimozione del Prodotto: Il prodotto tagliato viene rimosso e può essere ulteriormente lavorato o assemblato secondo le necessità.

### **Manutenzione delle Fustelle**

Affilatura: Le lame di taglio devono essere affilate regolarmente per mantenere la precisione del taglio.

Pulizia: Rimuovere regolarmente residui di materiale dalla fustella per evitare ostruzioni e garantire un taglio pulito.

Ispezione: Controllare periodicamente le fustelle per individuare eventuali danni o segni di usura che potrebbero compromettere la qualità del taglio.

Le fustelle di taglio sono strumenti indispensabili in molte industrie per la produzione di componenti precisi e di alta qualità. La loro versatilità e precisione rende possibile la creazione di una vasta gamma di prodotti, dalla carta e cartone ai materiali più resistenti come la pelle e la plastica. Con una manutenzione adeguata, le fustelle di taglio possono offrire prestazioni affidabili e durature, contribuendo significativamente all'efficienza dei processi produttivi.



Figura 2.4.2 – Tipi di Fustelle di taglio

#### 2.4.7 Ottenimento provini per la gomma siliconica

Per ricavare i provini della gomma siliconica degli interni Ferrari si è prima diviso l'intero rotolo di materiale in lunghe strisce, larghe all'incirca come la fustella di taglio utilizzata, poi si sono ricavati i singoli provini in direzione longitudinale ( $90^\circ$ gradi) e trasversale ( $0^\circ$ gradi), per la prova di resistenza a fatica, ed è stato aggiunto il taglio in direzione obliqua ( $45^\circ$ gradi) per la prova di resistenza a trazione, utilizzando una fustella di taglio catalogata e una adeguata pressione sulla stessa dopo averla posta sulla superficie della gomma siliconica.



Figura 2.4.3 – Rotolo gomma siliconica



Figura 2.4.4 – Provini ottenuti

## 2.5 Realizzazione delle prove

Una volta ricavati i provini si è provveduto ad inserirli negli appositi afferraggi, procedendo poi al collegamento degli stessi alle celle di carico per la misura della forza da dover applicare sia in termini di fatica che successivamente di trazione.

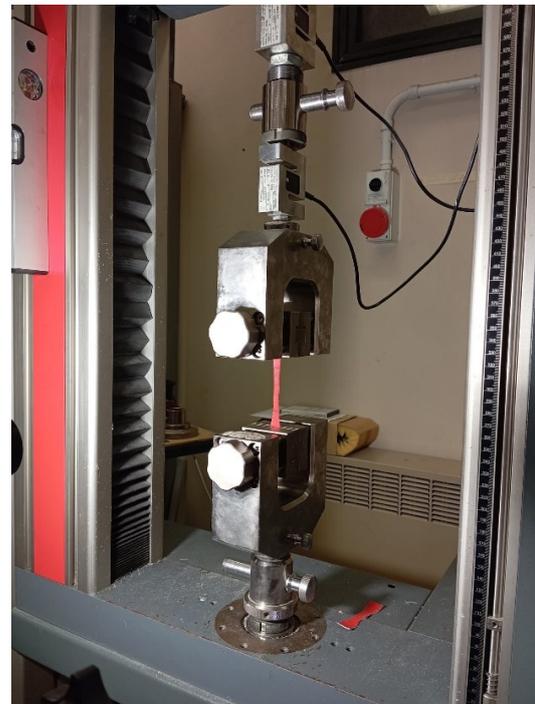
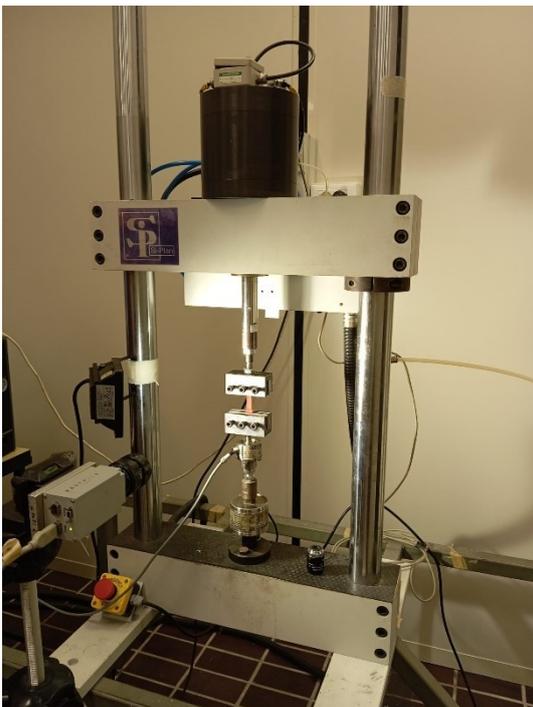


Figura 2.5.1 – Prova a fatica e di trazione

Successivamente si è collegato il macchinario ad un computer per l'analisi delle curve di forza e ad una videocamera per la cattura delle immagini durante tutto l'arco di durata della prova.

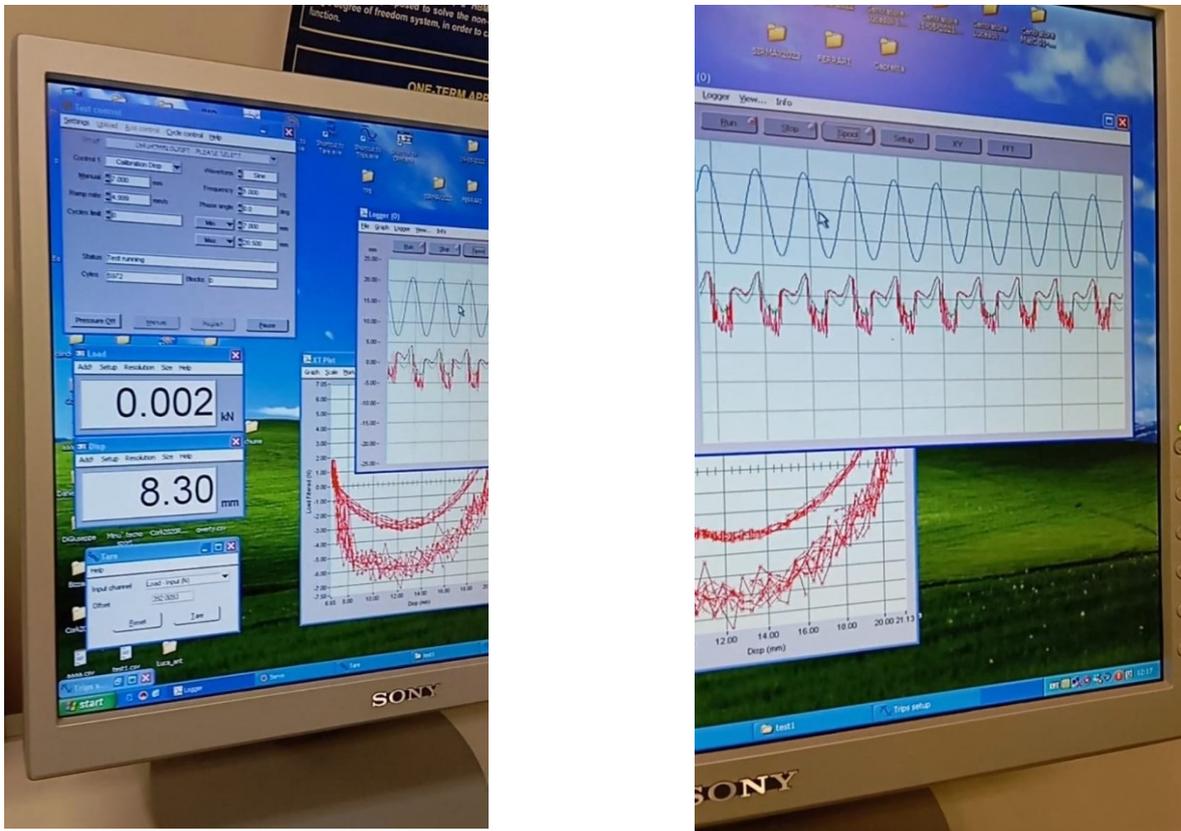


Figura 2.5.2 – Computer di analisi dati

Le prove di resistenza a fatica sono durate circa 3 giorni fino ad un massimo di 150.000 cicli, mentre quelle di trazione per un massimo circa di 6 minuti fino al raggiungimento del doppio della lunghezza del provino.

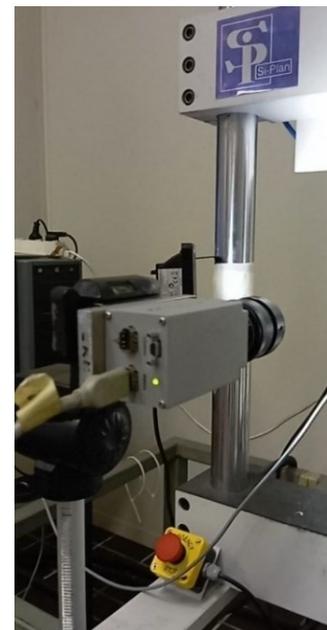


Figura 2.5.3 – Videocamera cattura immagini

Al termine delle prove di resistenza a fatica e di trazione si sono creati i file di testo e di programmazione e sono stati inseriti i valori e le immagini ottenute all'interno di MATLAB (applicazione per lo sviluppo di dati matematici e per la creazione di curve) e si sono creati i grafici relativi alle forze sviluppate e quelli relativi agli sforzi e alle deformazioni.

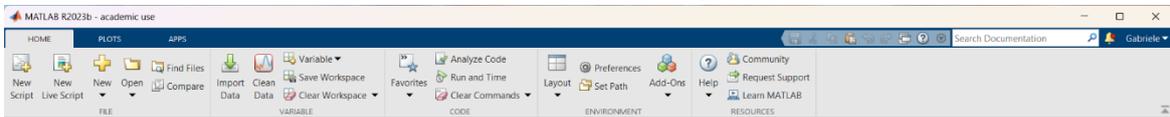


Figura 2.5.4 – Layout MATLAB

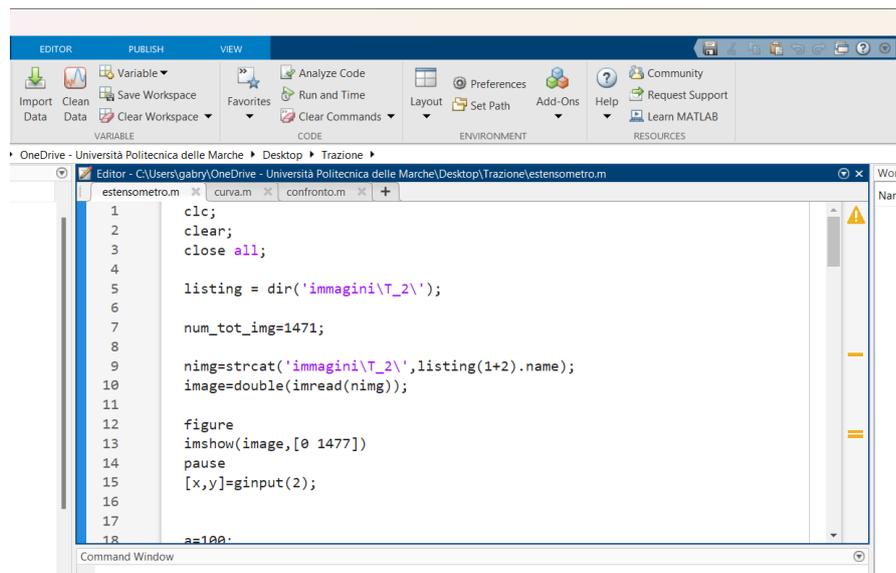


Figura 2.5.5 – Layout MATLAB estensometro

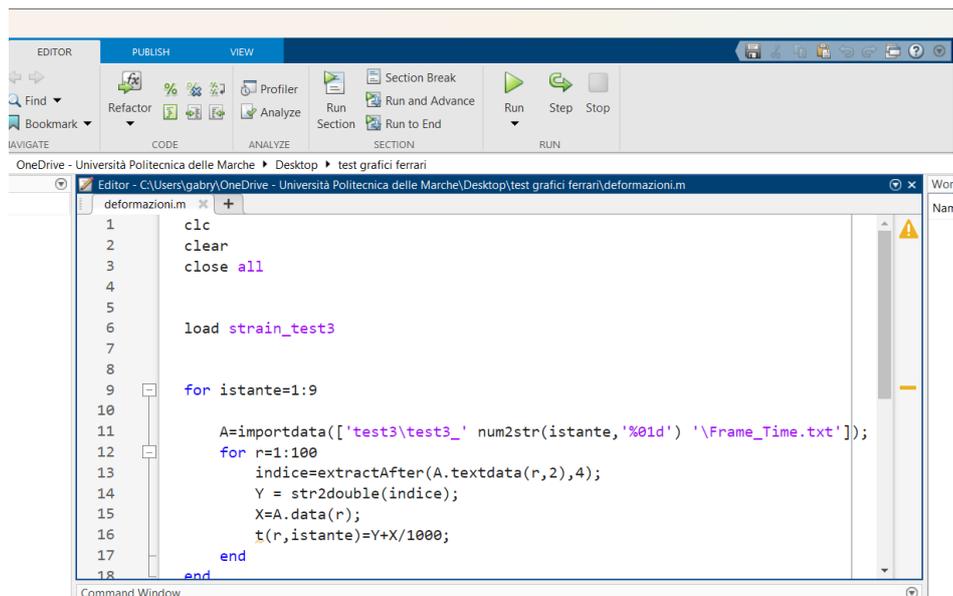


Figura 2.5.6 – Layout MATLAB deformazioni

## Capitolo 3 Risultati

### 3.1 Presentazione dei dati sperimentali

Successivamente, al termine delle prove, si sono trasferiti i dati caricati dal computer di analisi al computer di calcolo tramite l'applicazione MATLAB per la creazione dei grafici. Partendo dai dati matematici ottenuti, svolti i calcoli tramite le diverse configurazioni di testo programmato sull'applicazione (ad esempio quelli per estensometro e deformazioni), si sono realizzate curve e diagrammi relativi al comportamento del materiale e del provino in questione. Si sono effettuati test su circa una quindicina di provini, sia per le prove di resistenza a fatica, che per quelle di resistenza alla trazione, differenziando i risultati in base alla direzione di taglio da cui si era ottenuto un determinato provino sull'intero campione di materiale da dover analizzare.

Attraverso delle tabelle si sono inseriti i valori e i risultati di ogni singolo provino testato, prestando particolare attenzione ai provini che differivano maggiormente per risultati e proprietà.

N° di Test	Direzione di taglio	&min - &MAX	Frequenza	N° di Cicli	Risultato
1	0° (T)	4% - 40%	1Hz	167000	provino fessurato
2	90° (L)	4% - 40%	1Hz	160000	provino integro
3	0° (T)	5% - 50%	1Hz	67000	provino fessurato
4	0° (T)	5% - 25%	1Hz	150000	provino integro
5	90° (L)	5% - 25%	1Hz	150000	provino integro
6	90° (L)	5% - 25%	1Hz	150000	provino integro
7	0° (T)	5% - 25%	1Hz	150000	provino integro
8	0° (T)	5% - 25%	1Hz	150000	provino integro
9	90° (L)	5% - 25%	1Hz	150000	provino integro
10	0° (T)	5% - 25%	1Hz	150000	provino integro

Tabella 3.1.1 – Tabella dei provini per la prova a fatica

N° di Test	Direzione di Taglio	&MAX	Tempo prova
1	0°(T)	0% - 100%	Sei minuti
2	90°(L)	0% - 100%	Sei minuti
3	45°(Q)	0% - 100%	Sei minuti
4	90°(L)	0% - 100%	Sei minuti
5	0°(T)	0% - 100%	Sei minuti
6	45°(Q)	0% - 100%	Sei minuti

Tabella 3.1.2 – Tabella dei provini per la prova di trazione

## 3.2 Analisi dei risultati

### 3.2.1 Analisi della prova di resistenza a fatica

Si sono analizzati dieci provini, divisi in sei per la direzione trasversale (T) e quattro per la direzione longitudinale (L).

Il primo test in assoluto è stato effettuato su un provino in direzione longitudinale, utilizzando afferraggi usurati e valori sbagliati per la forza applicata dalla cella di carico, inserita nel computer di analisi, per effettuare una prova di calibrazione sia per l'inserimento che per la giusta disposizione del provino, sia per calcolare valori ottimali della forza da imprimere e del numero di cicli da effettuare, nonché trovare una giusta disposizione per la perfetta funzionalità della videocamera cattura deformazione.



Figura 3.2.1 – Afferraggi in disuso e I provino

I successivi test sono stati effettuati secondo valori normalizzati in merito alla forza da imprimere e al numero di cicli da effettuare, arrivando fino ad un massimo di forza pari ad 8 Newton ( $N = \frac{Kg*m}{s^2}$ ) e ad un massimo di numero di cicli pari circa a 150.000. Alcuni test sono stati interrotti causa blackout generale e per rottura improvvisa del provino con l'aumento eccessivo di deformazione applicata.

Si inseriscono di seguito i grafici più significativi.

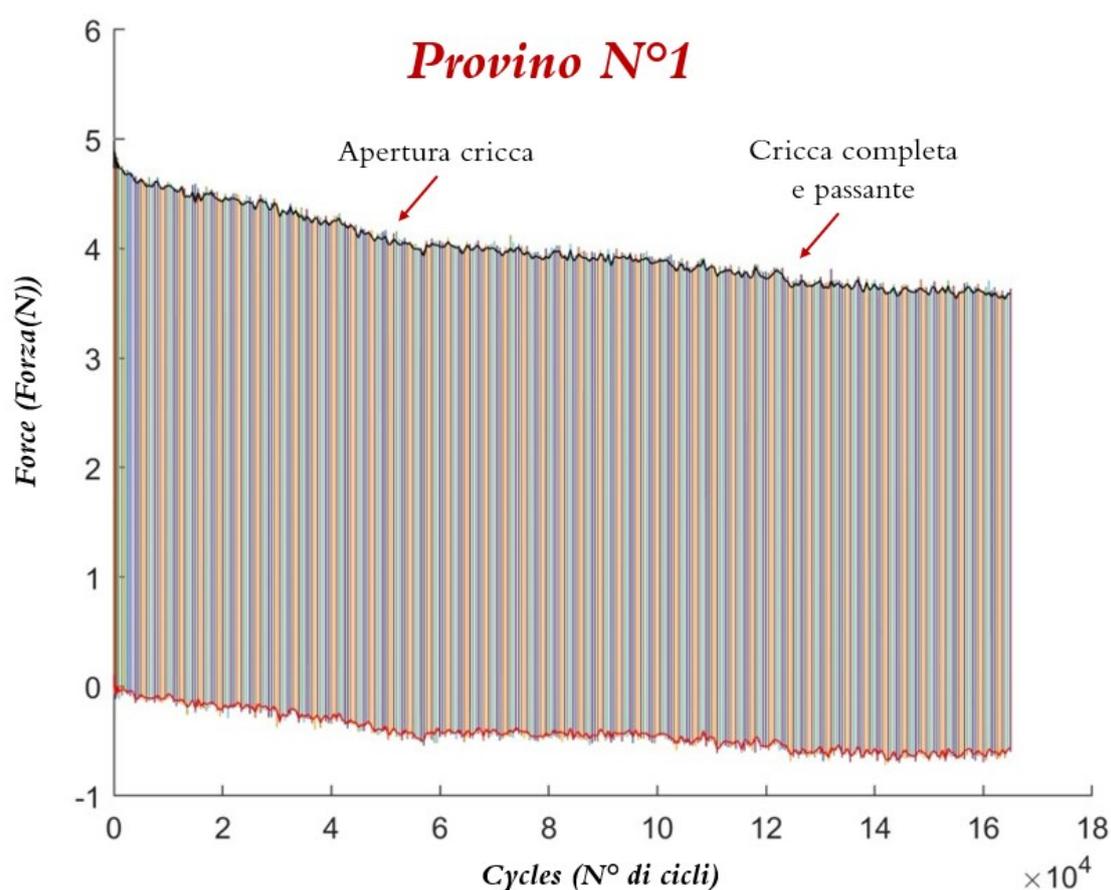


Grafico 3.2.1 – Provino n.1 (0°gradi)

Il **primo test** effettivo è stato svolto su un provino, tagliato in direzione trasversale (0°gradi), al quale è stata applicata una  $\epsilon_{min}$ (deformazione minima) pari al 4% ed una  $\epsilon_{max}$ (deformazione massima) pari al 40% della lunghezza del tratto utile del provino con una forza massima della cella di carico pari a circa 5N (Newton). La prova è durata per un numero di cicli pari a circa 167.000 con la cattura delle immagini fissata ad una frequenza di 1Hz (Hertz), ovvero la cattura di un frame video di durata pari ad un secondo.

Si è potuto osservare, tramite l'utilizzo della videocamera, di come si sia sviluppata sulla superficie del provino una cricca dopo poco più di 45.000 cicli circa, con la finale formazione di una cricca passante dopo circa 120.000 cicli ma senza la completa rottura del provino.



Figura 3.2.2 – Provino fessurato (T)

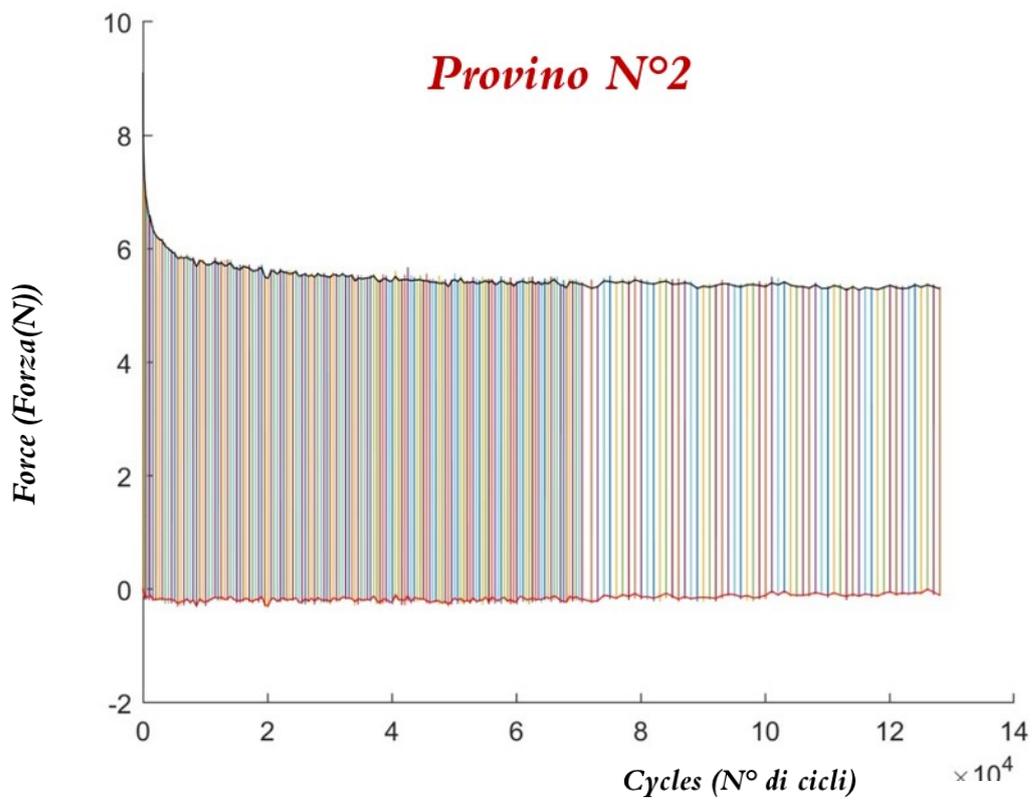


Grafico 3.2.2 – Provino n.2 (90° gradi)

Il *secondo test* è stato svolto su un provino, tagliato in direzione longitudinale (90°gradi), al quale è stata applicata una  $\varepsilon_{min}$  pari al 4% ed una  $\varepsilon_{max}$  pari al 40% della lunghezza del tratto utile del provino con una forza massima della cella di carico pari a circa 8N. La prova è durata per un numero di cicli pari a circa 160.000 con la cattura delle immagini fissata ad una frequenza di 1Hz.

Si è potuto osservare, tramite l'utilizzo della videocamera, di come il provino sia rimasto integro durante tutta la prova presentando l'assenza totale di deformazioni e rotture finali.

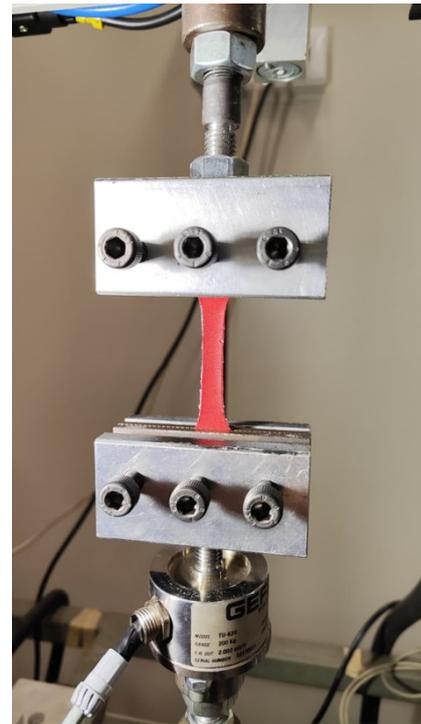


Figura 3.2.3 – Provino integro (L)

### *Provino N°3*

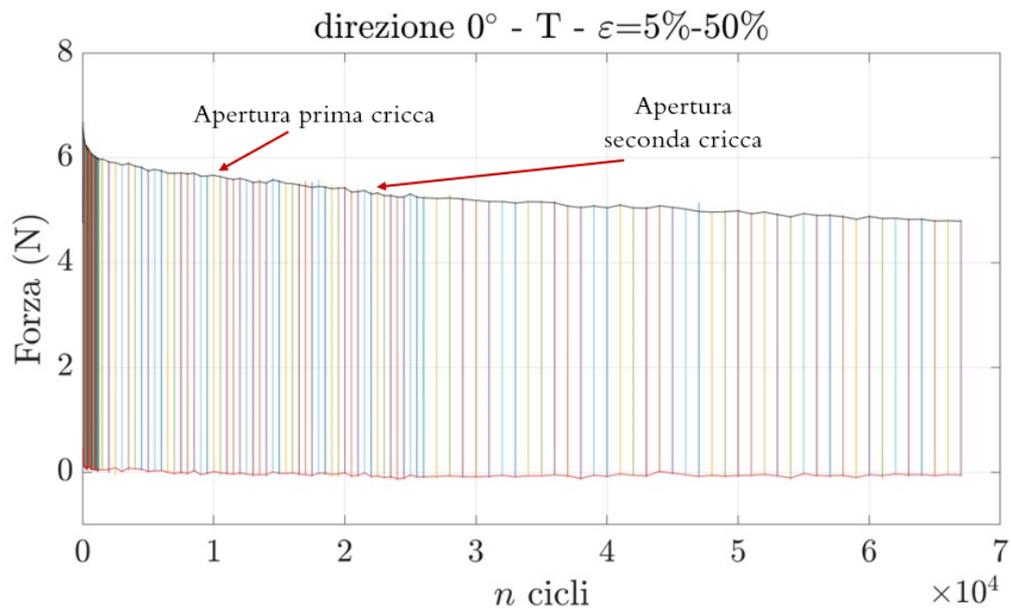


Grafico 3.2.3 – Provino n.3 (0°gradi)

Il *terzo test* è stato svolto su un provino, tagliato in direzione trasversale (0°gradi), al quale è stato applicato un aumento della  $\varepsilon_{min}$  pari al 5% ed una  $\varepsilon_{max}$  pari al 50% della lunghezza del tratto utile del provino con una forza massima della cella di carico pari a circa 7N. La prova è durata per un numero di cicli pari a circa 67.000, causa blackout totale degli impianti, con la cattura delle immagini fissata ad una frequenza di 1Hz, ma col salvataggio delle stesse ad una distanza di circa 1000 cicli.

Si è potuto osservare, tramite l'utilizzo della videocamera, di come sia apparsa una prima cricca molto presto, a circa 11.000 cicli, con l'apertura di una seconda cricca a circa 22.000 cicli. Il provino, raggiunti meno di 70.000 cicli, presentava delle cricche passanti con presenza quindi di rottura parziale del materiale superiore.



Figura 3.2.4 – Provino fessurato (T)

Tramite l'utilizzo dei frame ottenuti attraverso le immagini registrate dalla videocamera, con l'inserimento delle stesse nel programma di calcolo MATLAB e con l'utilizzo del layout estensometro, si sono potuti ricavare i frame video di analisi delle deformazioni e i rispettivi grafici.

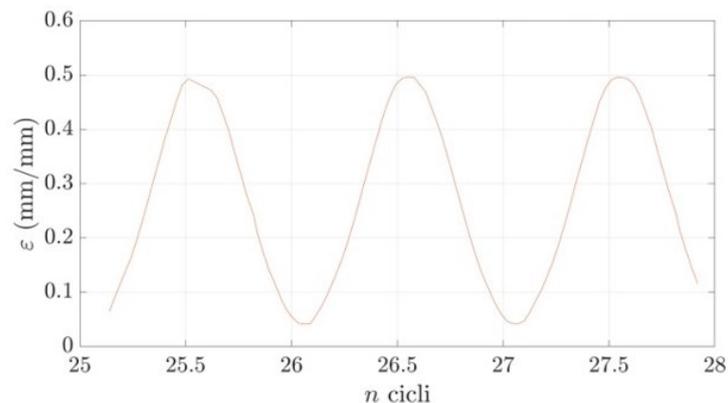


Grafico 3.2.4 – Curve (ε-N) provino n.3

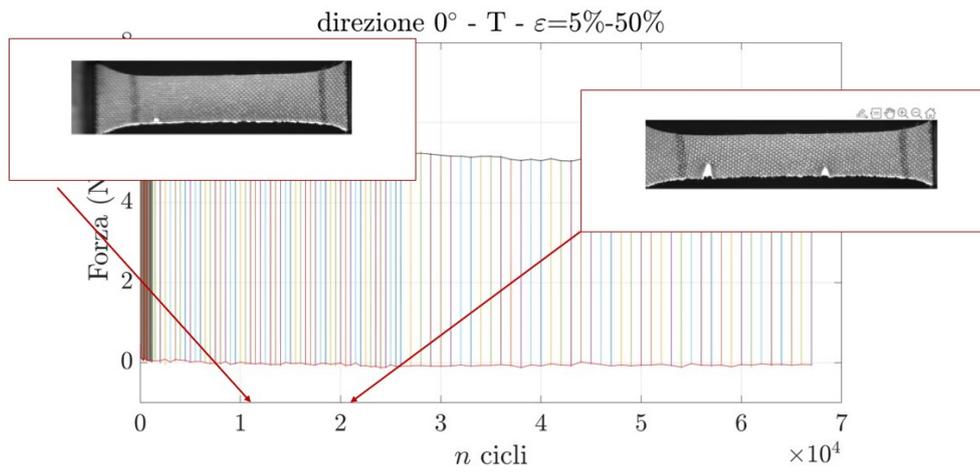


Grafico 3.2.5 – Frame video inizio I e II cricca

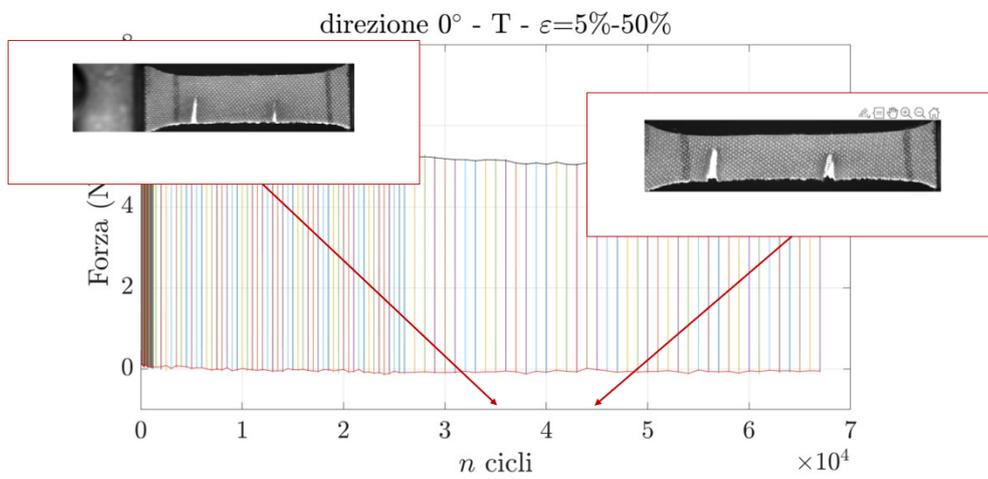


Grafico 3.2.6 – Frame video aumento cricche

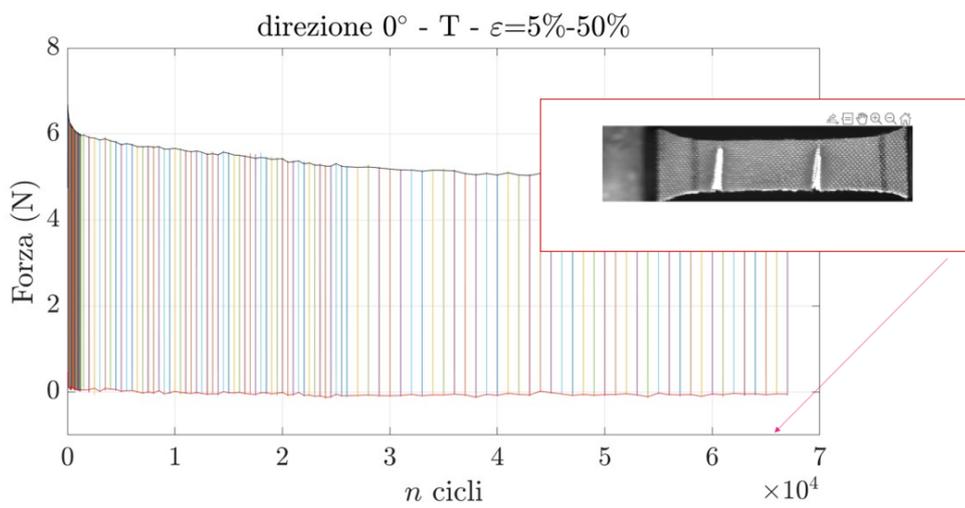


Grafico 3.2.7 – Frame video cricche finali e passanti

A partire dal provino n.4 fino ad arrivare al provino n.10 vi sarà un andamento pressoché lineare di ognuno di essi, dopo essere arrivati, infatti, all'utilizzo di forza e deformazioni normalizzate si ottengono grafici quasi identici e lineari, per questo si tratterà come ultimo per le prove di resistenza a fatica il provino n.5.

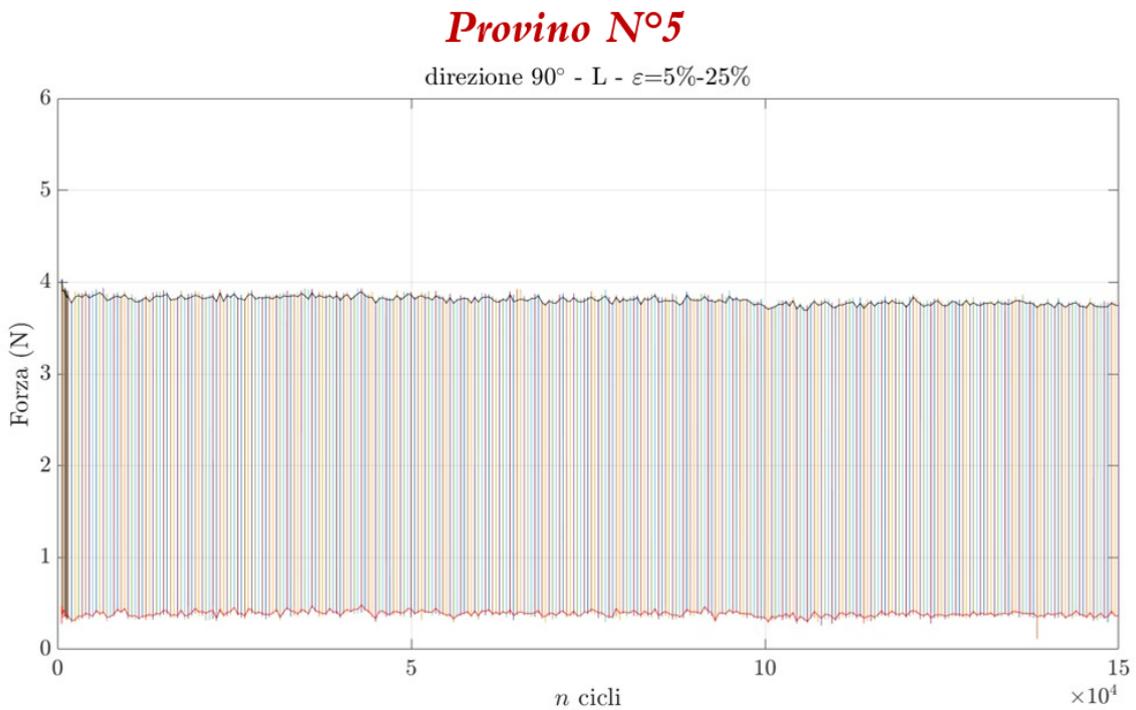


Grafico 3.2.8 – provino n.5 (90°gradi)

Il *quinto test* è stato svolto su un provino, tagliato in direzione longitudinale (90°gradi), al quale è stato applicato un aumento della  $\varepsilon_{min}$  pari al 5% ed una diminuzione della  $\varepsilon_{max}$  pari al 25% della lunghezza del tratto utile del provino con una forza massima della cella di carico pari a circa 4N. La prova è durata per un numero di cicli pari a 150.000, con la cattura delle immagini fissata ad una frequenza di 1Hz.

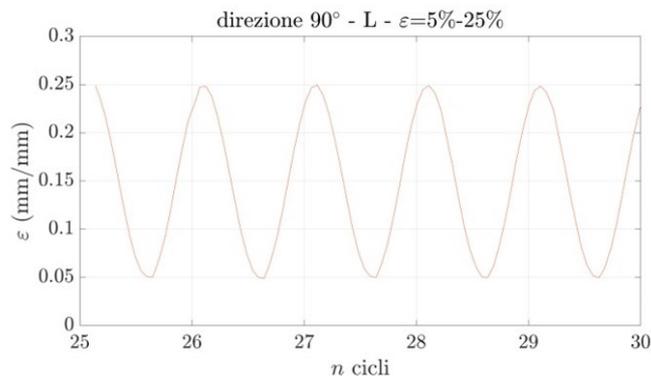


Grafico 3.2.9 – Curve ( $\varepsilon$ -N) provino n.5

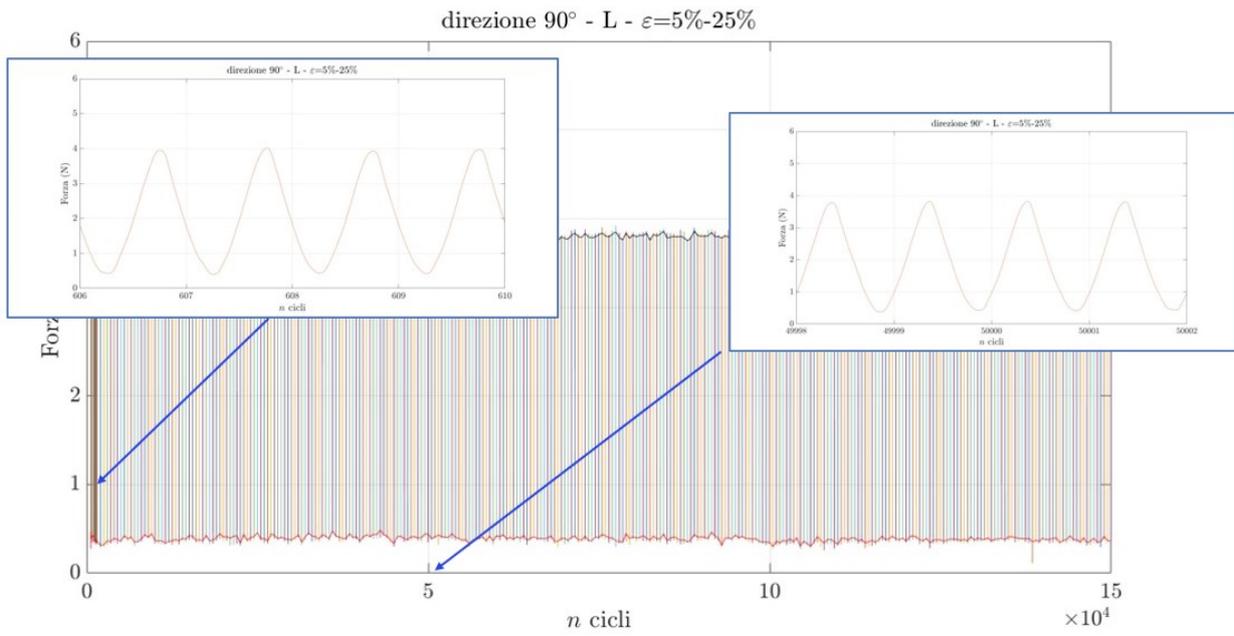


Grafico 3.2.10 – Curve (F-N) inizio prova a fatica

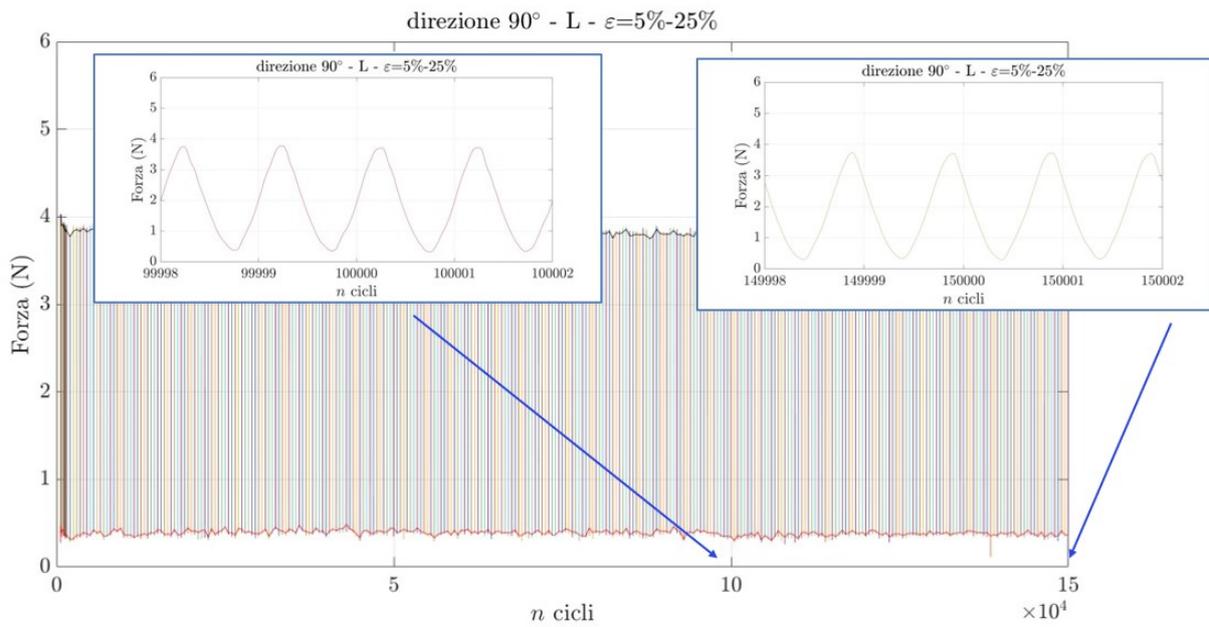


Grafico 3.2.11 – Curve (F-N) fine prova a fatica

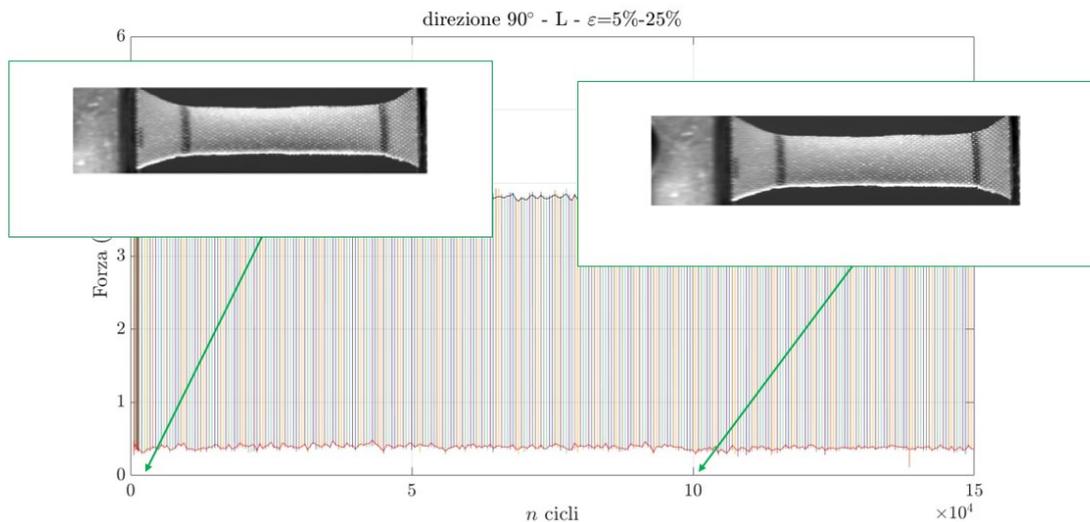


Grafico 3.2.12 – Frame video deformazioni provino

Si può notare come per i provini successivi al n.3, alla fine della prova il provino risulti perfetto e indeformato.

### 3.2.2 Analisi della prova di resistenza a trazione

Si sono analizzati sei provini, divisi in due per la direzione trasversale (T), due per la direzione longitudinale (L) e due per la direzione obliqua (Q). Per tutti i test è stata effettuata una  $\varepsilon_{max}$  pari al 100% del tratto utile, raddoppiandolo, con una durata della prova pari a circa sei minuti ed una frequenza di campionamento pari circa a 2Hz.

Si inseriranno di seguito i risultati e le analisi delle prove più rilevanti e con una riuscita maggiore legata alla creazione delle curve di trazione.

Il *primo test* è stato effettuato su un provino realizzato in direzione trasversale(0°gradi), portato al doppio della lunghezza del suo tratto utile ( $\varepsilon_{max} = 100\%$ ) per un tempo di prova fino a circa 6 minuti.

#### **Provino N°1**

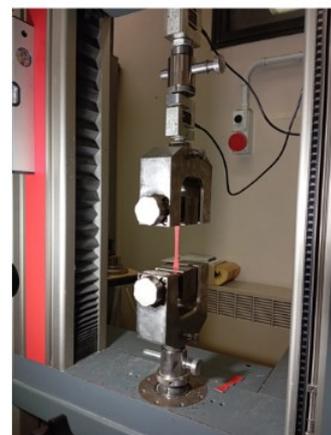


Figura 3.2.5 – Provino n.1 (T)

Sono poi stati inseriti all'interno del programma MATLAB, tramite il layout curve, i valori ottenuti dal computer di calcolo, attraverso i quali si sono potute creare le curve relative alla  $\sigma$  (tensione di snervamento) nel tempo, quelle relative alla  $\varepsilon$  (deformazione) nel tempo e alla curva di trazione ( $\sigma$ - $\varepsilon$ ).

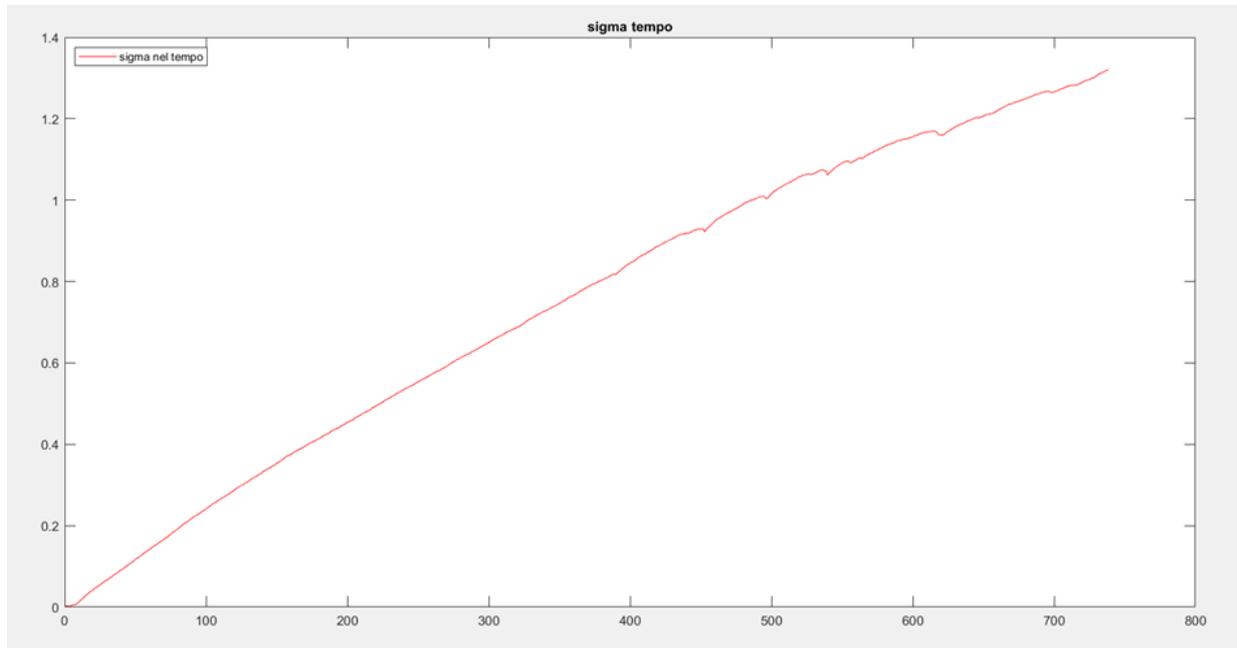


Grafico 3.2.13 – Curva ( $\sigma$ -t) provino n.1 (T)

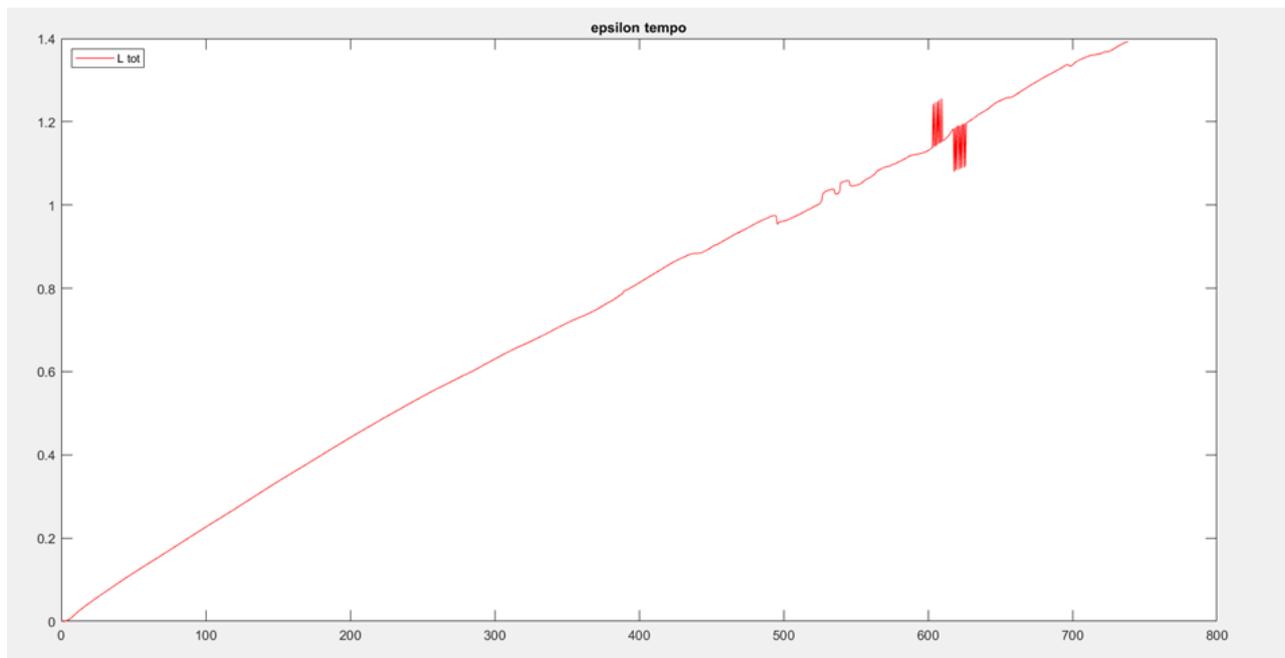


Grafico 3.2.14 – Curva ( $\varepsilon$ -t) provino n.1 (T)

## Provino N°1

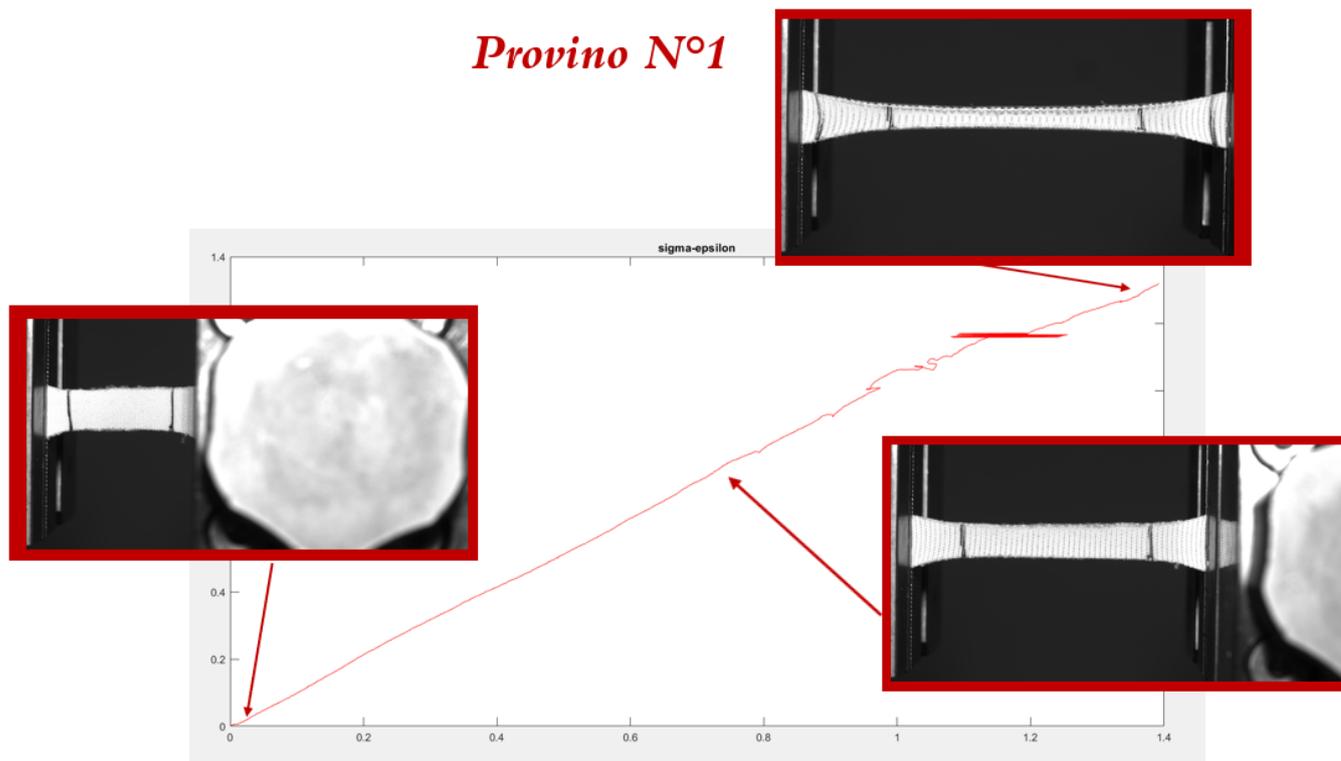


Grafico 3.2.15 – Curva di trazione ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) provino n.1 (T)

Con l'utilizzo della videocamera sono stati catturati i frame video relativi all'allungamento percentuale (L%) del provino dall'inizio fino alla fine della prova di trazione. Vengono presi in analisi i restanti provini, esclusivamente in direzione longitudinale (L) e obliqua (Q). Su MATLAB, sono state analizzate anche le curve di variazione dei pixel dei marker e le curve di variazione della lunghezza del provino.

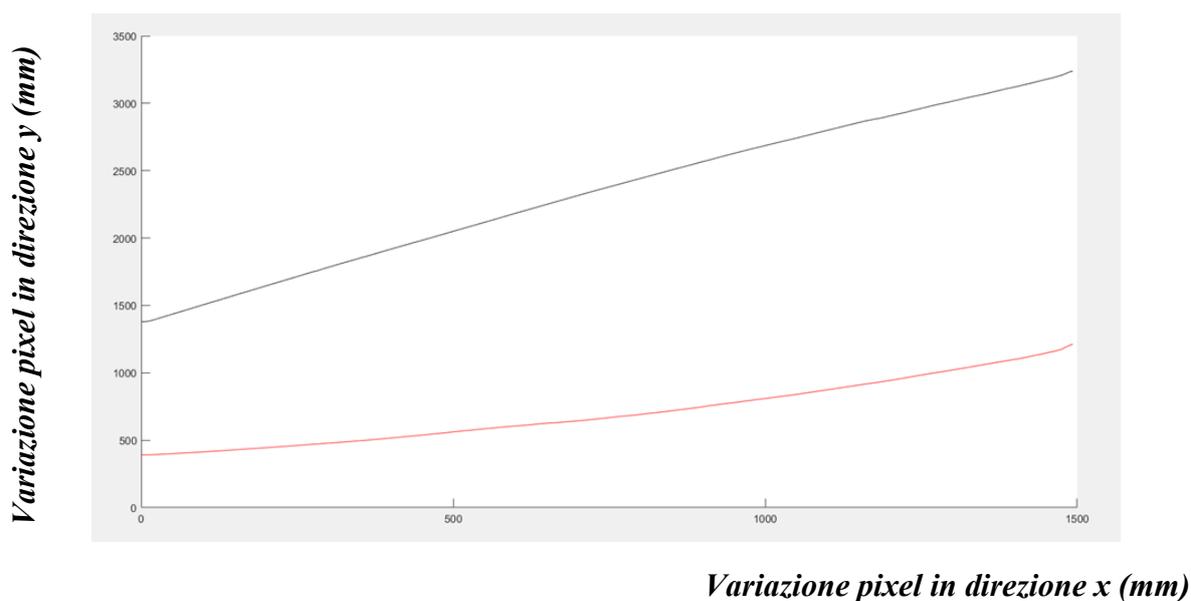
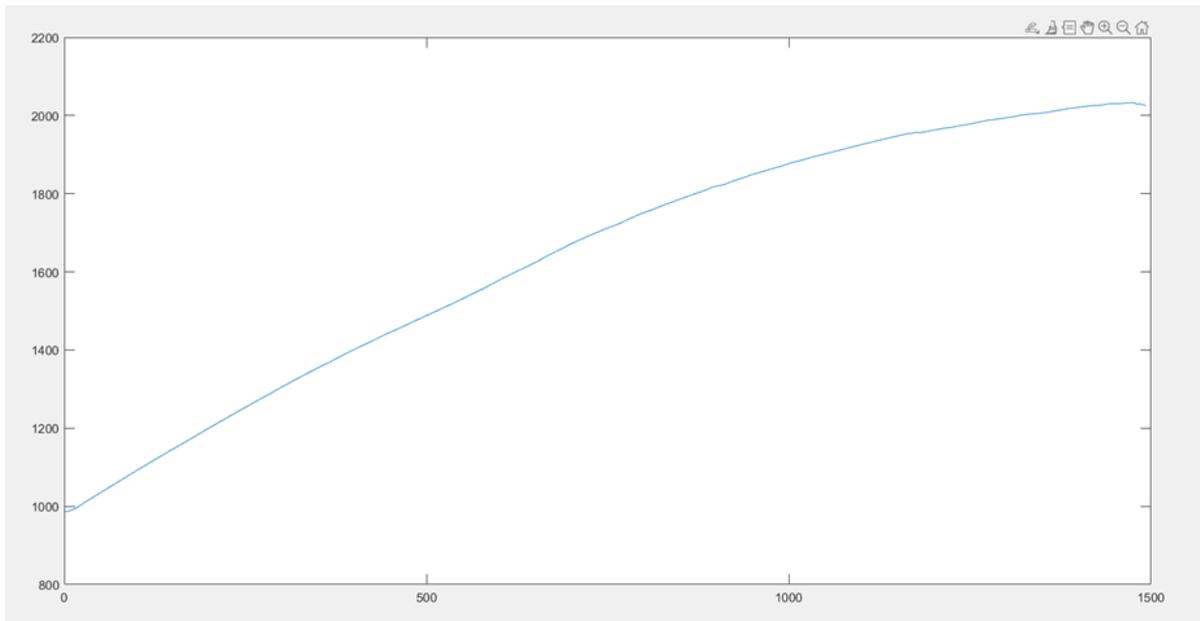


Grafico 3.2.16 – Curva (mm-mm) di variazione dei marker

*Variatione lunghezza provino ( $\Delta L$ ) lungo y*



*Variatione lunghezza provino ( $\Delta L$ ) lungo x*

Grafico 3.2.17 – Curva (mm-mm) di variazione della lunghezza del provino

Per il *secondo test* si utilizza un provino tagliato in direzione longitudinale (90°gradi) e anche in questo caso si analizzano i risultati e si creano curve di tensione nel tempo, deformazione nel tempo e di trazione.

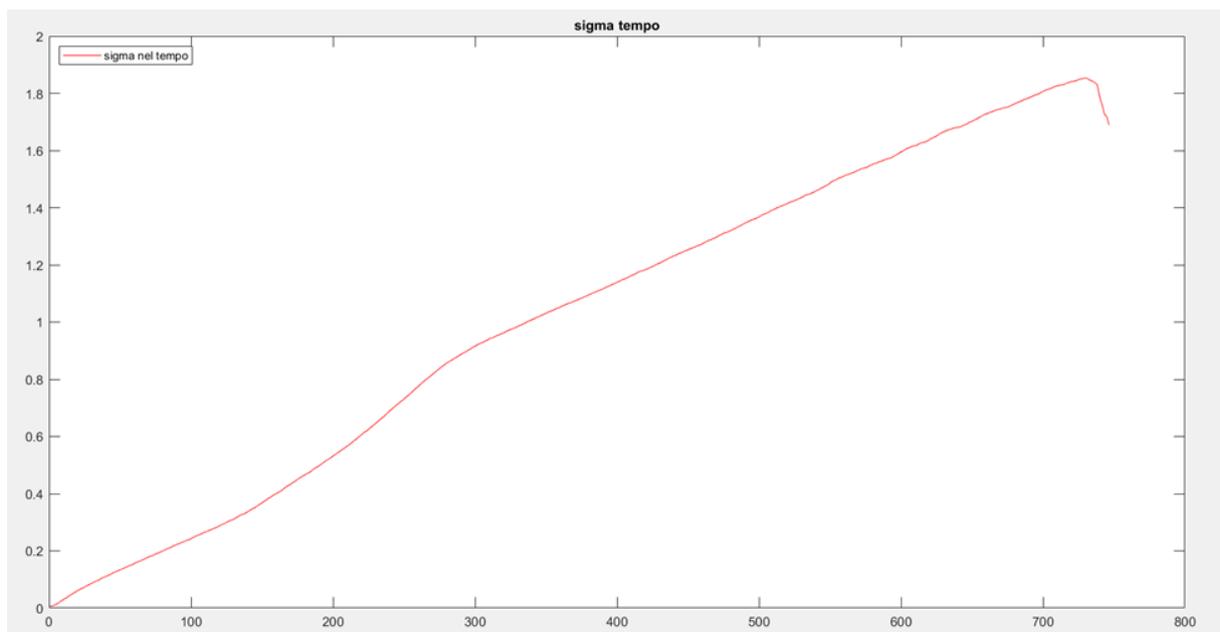


Grafico 3.2.18 – Curva ( $\sigma$ -t) provino n.2 (L)

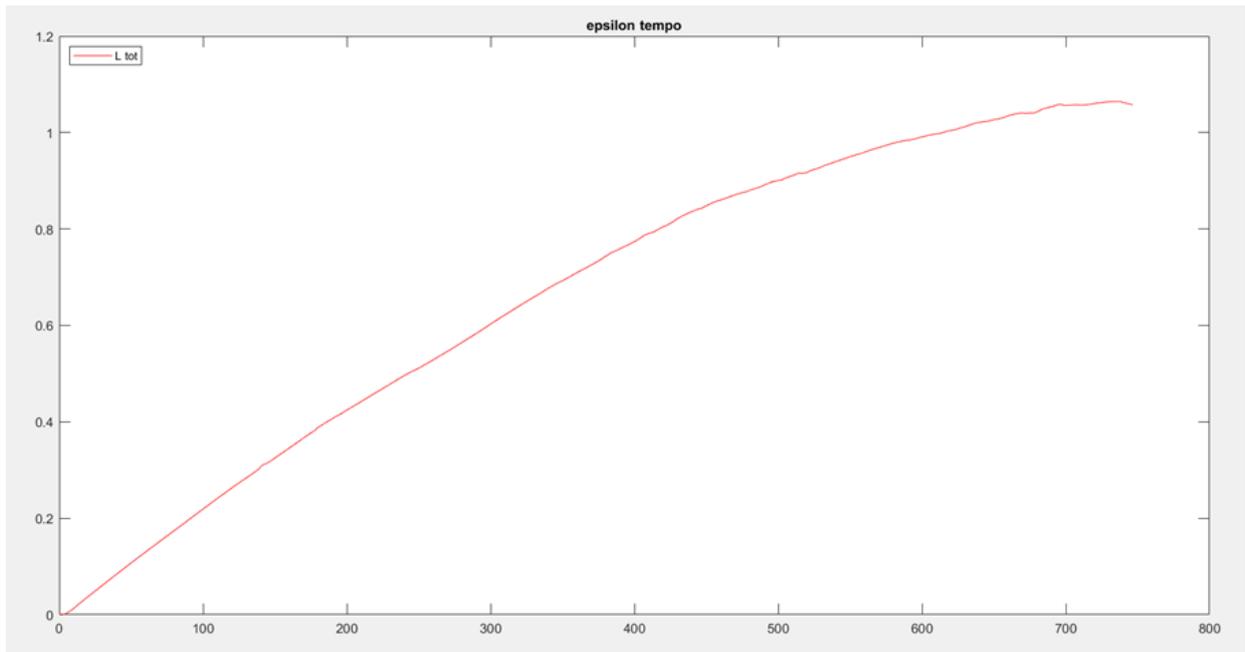


Grafico 3.2.19 – Curva ( $\epsilon$ -t) provino n.2 (L)

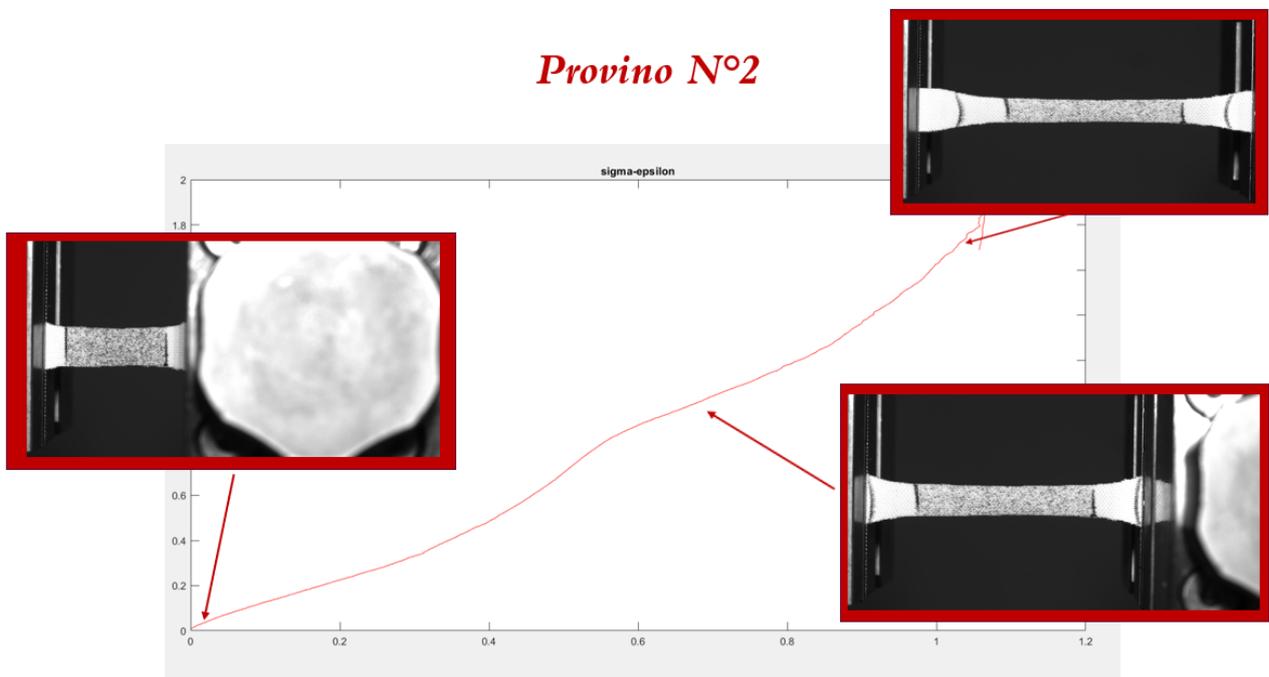


Grafico 3.2.20 – Curva di trazione ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) provino n.2 (L)

Per il *terzo test* è stato utilizzato un provino tagliato in direzione obliqua (45°gradi), creando anche in questo caso tutte le curve relative ai cambiamenti durante la prova della tensione  $\sigma$  e della deformazione  $\epsilon$ .

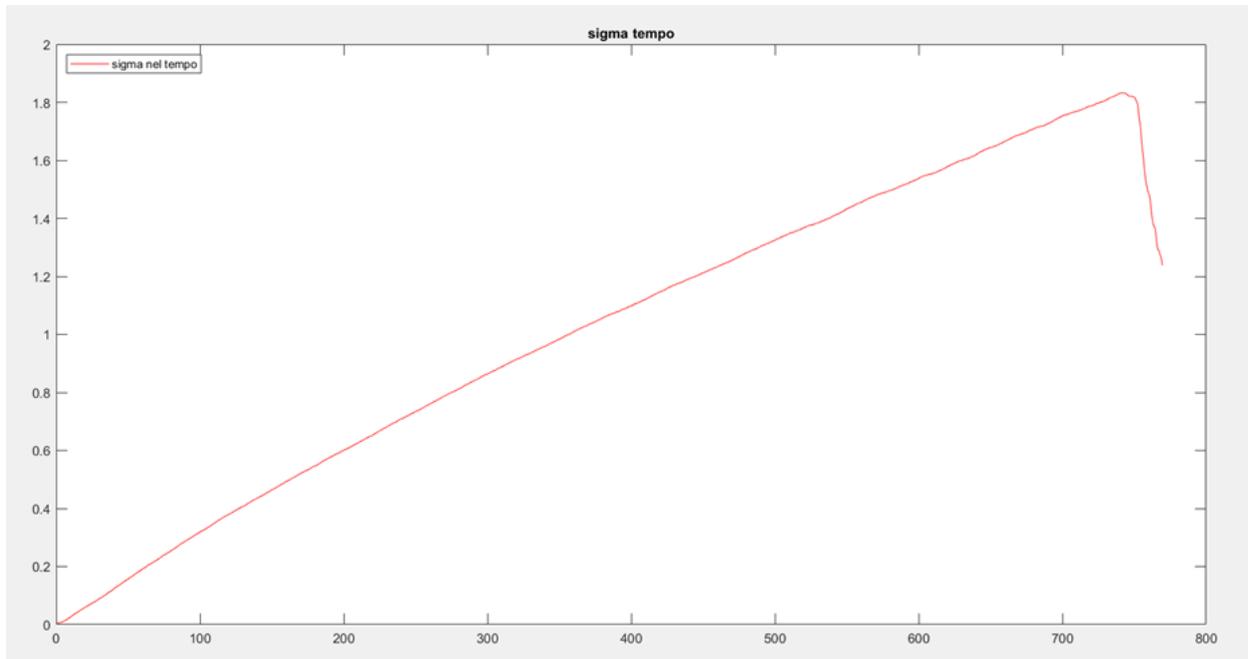


Grafico 3.2.21 – Curva ( $\sigma$ -t) provino n.3 (Q)

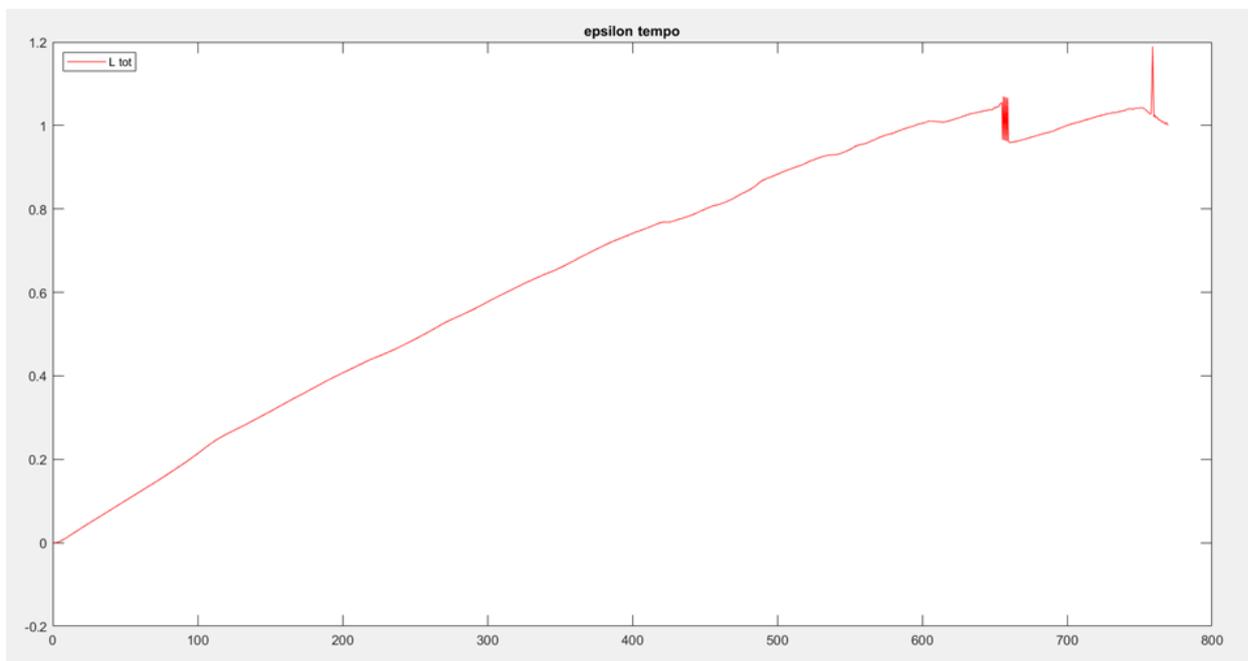


Grafico 3.2.22 – Curva ( $\epsilon$ -t) provino n.3 (Q)

## *Provino N°3*

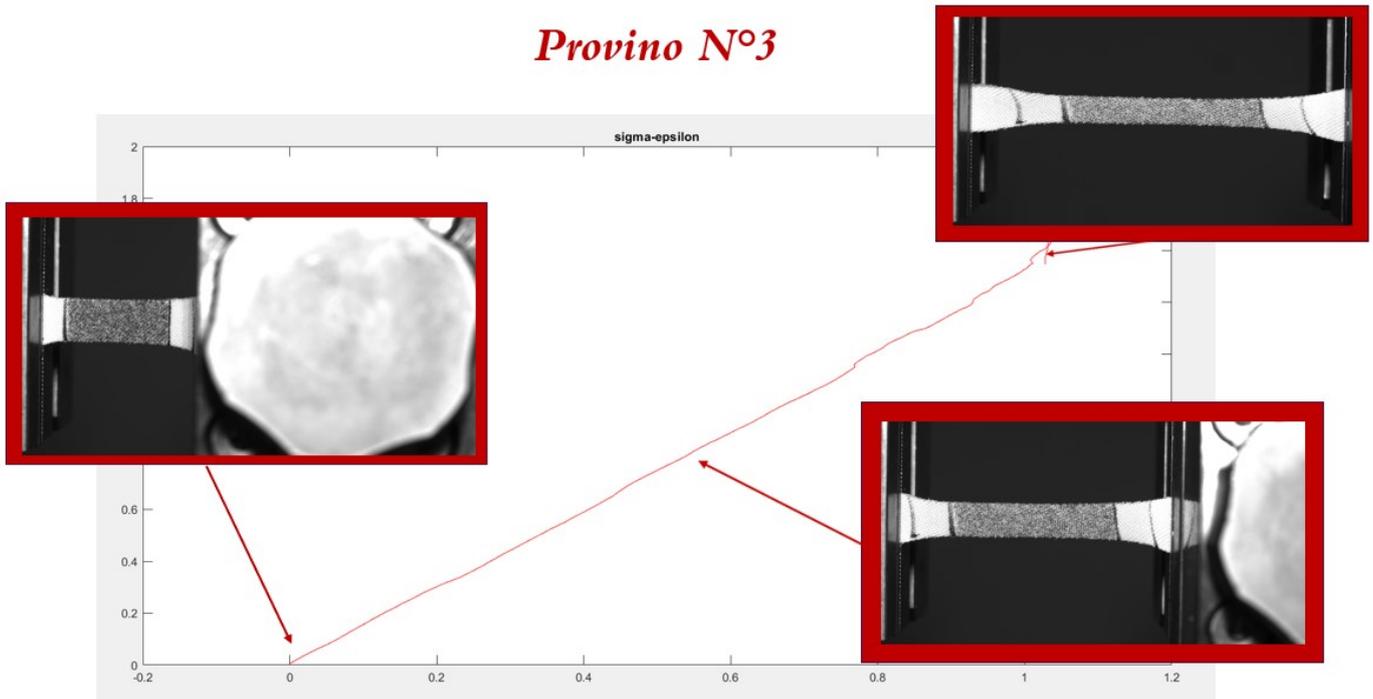


Grafico 3.2.23 – Curva di trazione ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) provino n.3 (Q)

### **3.3 Discussione sui risultati**

#### **3.3.1 Risultati prove a fatica**

Dopo la realizzazione dei grafici della prova di resistenza a fatica si è potuto notare che, utilizzando valori normalizzati in termini di carico (forza) applicato e di deformazione minima e massima applicabile, i provini, in qualunque direzione di taglio siano stati ricavati, hanno il medesimo comportamento elastico.

Il materiale, infatti, ad un massimo di forza applicata pari a circa 5N (Newton) e ad una deformazione ( $\epsilon$ ) del provino compresa tra il 5% e il 25% della lunghezza del tratto utile, non presenta alterazioni significative ed osservabili visivamente, né presenta lesioni interne ed esterne e risulta praticamente indeformato. Si potrà parlare quindi di materiale con vita infinita per le specifiche normalizzate di forza e deformazione, questo perché si possono raggiungere i 150.000 cicli di lavoro con la completa assenza di deformazioni e rotture.

Per i provini testati invece, a forze applicate maggiori e ad un massimo di deformazione maggiore, non si potrà parlare di materiale a vita infinita, infatti, sul materiale vi è la presenza di una o più cricche passanti a livello superficiale. Il primo provino, ricavato da un taglio in direzione trasversale (0° gradi), presenta infatti, dopo aver subito una deformazione massima del tratto utile di circa il 40%, la formazione di una cricca prima dei 50.000 cicli, con la stessa che diventa passante intorno ai 120.000 cicli.

Il terzo provino, ricavato anch'esso da un taglio in direzione trasversale, presenta, con l'aumento della deformazione massima fino al 50%, la formazione di due cricche passanti, con la formazione delle stesse già a circa 20.000 cicli.

### 3.3.2 Risultati prove di trazione

Per le prove di trazione si è potuto osservare come il materiale sia perfettamente elastico, anche in presenza di allungamenti fino al doppio del proprio tratto utile (100%) non si sono verificati rotture e il materiale, una volta rimossa la forza applicata e gli afferraggi è ritornato nel suo stato di quiete senza alcuna deformazione. I provini ricavati con taglio in direzione longitudinale, trasversale e obliqua, hanno comportamento simile durante la prova di trazione.

Dai grafici si è potuto calcolare il Modulo di Young (E), noto anche come modulo di elasticità longitudinale. È una proprietà meccanica dei materiali che misura la resistenza di un materiale alla deformazione elastica sotto carico applicato ed è una costante fondamentale nella teoria dell'elasticità. Descrive la relazione tra lo sforzo (la forza per unità di area) e la deformazione (il cambiamento relativo di lunghezza) in un materiale che si comporta in modo elastico. È definito come il rapporto tra lo sforzo longitudinale ( $\sigma$ ) e la deformazione longitudinale ( $\epsilon$ ):  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ . Lo sforzo è dato dal rapporto di forza e area ( $\frac{F}{A}$ ) e la deformazione è data dal rapporto della variazione di lunghezza sulla lunghezza ( $\frac{\Delta L}{L}$ ).

Il Modulo di Young è stato utilizzato per analizzare l'andamento delle curve di trazione, perché rappresenta il coefficiente angolare della retta del tratto elastico della prova.

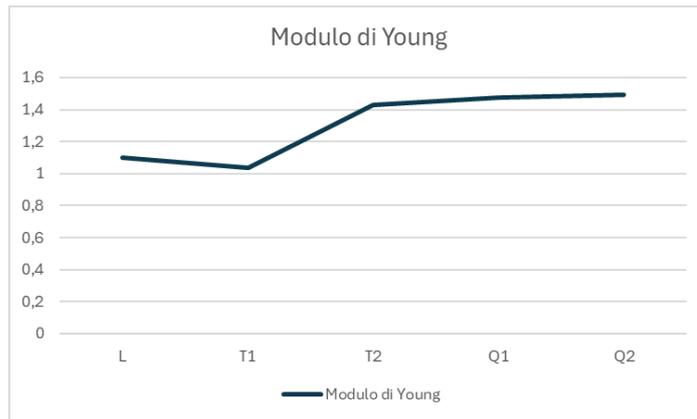


Grafico 3.3.1 – Curva di analisi del Modulo di Young

Si può vedere come, analizzando il provino L e i provini T1, T2, Q1, Q2, il modulo di elasticità (E) del materiale rimane pressoché il medesimo per ogni direzione di taglio analizzata dalle prove di trazione, attestandosi circa superiore ad 1,2-1,4 come rapporto tra lo sforzo  $\sigma$  e la deformazione  $\varepsilon$ .

## Capitolo 4 Conclusioni

La realizzazione delle prove sperimentali a fatica sugli elastomeri tramite l'utilizzo di una macchina idraulica alla norma ASTM D4882 ha portato a diversi risultati chiave.

L'utilizzo della macchina idraulica si è rivelato efficace per eseguire test a fatica sugli elastomeri secondo le specifiche della norma ASTM D4882, che ha permesso di ottenere dati affidabili e riproducibili. I test hanno evidenziato come gli elastomeri mostrino una significativa variazione nel comportamento a fatica e alla trazione in funzione della composizione, della direzione di taglio e delle condizioni di prova. È stata osservata una correlazione tra la direzione di taglio dei provini e la resistenza a fatica.

Inoltre, è stata stabilita una chiara relazione tra il numero di cicli di carico e la formazione superficiale di cricche e rotture sul materiale, contribuendo a definire i criteri di rottura per diverse applicazioni industriali.

Il materiale analizzato presenta, quindi, una notevole resistenza a fatica e alla trazione e risulta quasi perfettamente elastico. Tutti i singoli provini, tranne quelli usati per test con specifiche diverse da quelle normalizzate, dopo essere stati testati, sono tornati alla loro precedente condizione, presentando la medesima forma e dimensione inizialmente ottenuta.

I dati ottenuti possono essere utilizzati per migliorare la progettazione degli elastomeri, aumentando la loro durata operativa e affidabilità. Questo è particolarmente rilevante per guarnizioni, supporti antivibranti e altri componenti soggetti a carichi ciclici; si potranno ottenere, infatti, materiali elastici molto più resistenti e performanti, in grado di sopportare carichi ciclici di maggior forza nonché stress più elevati.

L'adozione della norma ASTM D4882 e l'utilizzo delle attrezzature esistenti promuovono, inoltre, la standardizzazione delle prove a fatica sugli elastomeri, rendendo i risultati comparabili e affidabili a livello industriale. L'adattamento di macchine idrauliche esistenti consente di ridurre i costi associati all'acquisto di nuove apparecchiature specializzate, permettendo un uso più efficiente delle risorse di laboratorio.

La naturale variabilità, intrinseca, degli elastomeri, dovuta alla loro composizione chimica e fisica e ai processi di fabbricazione, rappresenta un limite per l'universalità dei risultati.

Le condizioni di prova sono state standardizzate, ma, purtroppo non coprono l'intera gamma di condizioni operative possibili per gli elastomeri in applicazioni reali.

Lo studio è stato, infatti, condotto su un numero limitato di campioni, il che potrebbe non rappresentare appieno la variabilità statistica dei comportamenti a fatica; ciò non toglie che il materiale analizzato risulti comunque molto performante sia per il luogo nel quale verrà applicato e sia per il tempo di durata che dovrà sopportare.

Future ricerche dovrebbero includere una più ampia gamma di condizioni ambientali e operative per comprendere meglio il comportamento a fatica degli elastomeri in diverse situazioni, bisognerà, quindi, integrare le prove a fatica con analisi microstrutturali prima e dopo i test per identificare i meccanismi di degrado a livello microscopico.

Sarà necessario sviluppare, inoltre, metodi per eseguire test accelerati che possano predire la durata a lungo termine degli elastomeri in un tempo più breve ed espandere lo studio a una più vasta gamma di composizioni di elastomeri, inclusi quelli con additivi o trattamenti superficiali differenti.

In seguito, si potrà anche utilizzare modelli computazionali per simulare il comportamento a fatica degli elastomeri, validando i modelli con dati sperimentali per migliorare le previsioni di durata.

L'utilizzo di una macchina idraulica alla norma ASTM D4882 per la realizzazione di prove sperimentali a fatica sugli elastomeri si è dimostrato un approccio valido e vantaggioso, con importanti implicazioni pratiche per l'industria e la ricerca. Gli studi futuri potranno approfondire ulteriormente questi risultati, contribuendo a migliorare la durabilità e l'affidabilità dei materiali elastomerici in diverse applicazioni.

In conclusione, questa ricerca ha contribuito a gettare luce sulle prove sperimentali a fatica su elastomeri, seguendo rigorosamente le specifiche della norma ASTM D4882. Si è dimostrato come una corretta valutazione della resistenza a fatica di questi materiali sia essenziale per garantire la sicurezza e l'affidabilità di numerose applicazioni industriali. I risultati di questa tesi offrono un punto di partenza solido per ulteriori ricerche nel campo degli elastomeri e delle prove di fatica. Le implicazioni dei risultati si estendono alla progettazione di prodotti più sicuri e durevoli, e al miglioramento della comprensione dei materiali elastomerici.

Nonostante le sfide incontrate nel corso di questa ricerca, l'esperienza è stata formativa e ha rafforzato la mia passione per l'ingegneria dei materiali. Spero, inoltre, che questa tesi possa ispirare ulteriori studi in questo settore, portando a progressi significativi nella scienza dei materiali e nella tecnologia industriale.

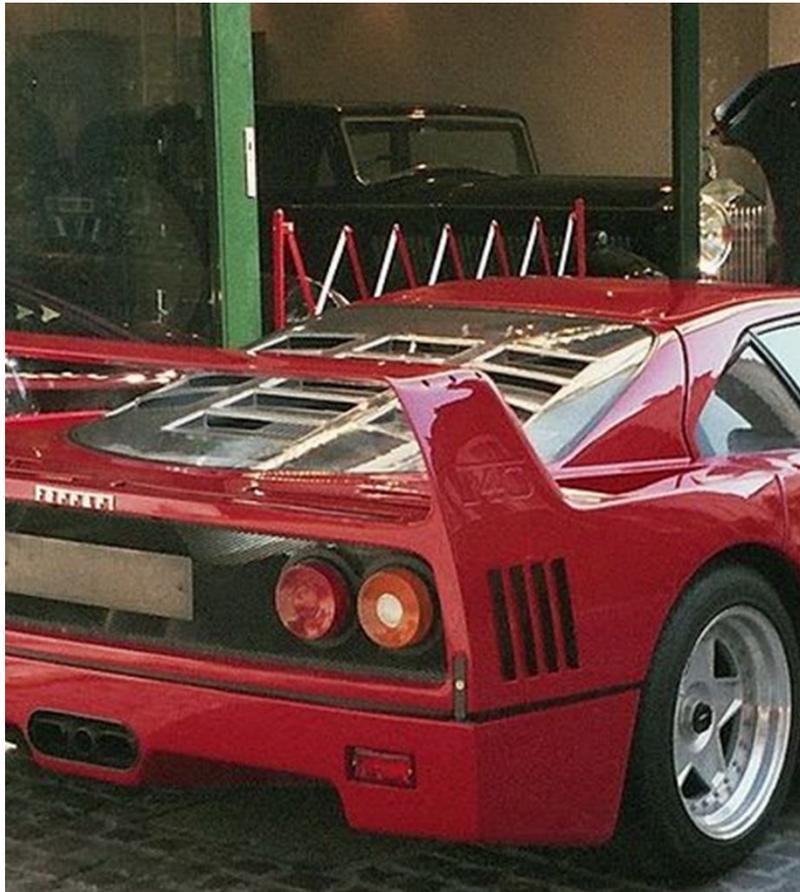


Figura 4.4.1 – Ferrari F40

## **Bibliografia**

- [1] A Complete Overview of elastomers (Global O-Ring and Seal, 2024)
- [2] Calcolo e progetto di macchine - Unisalento.it (Prof. Ing. Riccardo Nobile, 2020)
- [3] Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials (ASTM E466-21 – Techstreet Compass, 2021)

## Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia più sincera gratitudine a tutti coloro che hanno contribuito alla realizzazione di questa tesi e che mi hanno supportato durante il mio percorso universitario.

Innanzitutto, un ringraziamento speciale va al mio relatore, il Prof. Marco Sasso, per la sua guida esperta, i preziosi consigli e l'incoraggiamento costante. La sua disponibilità e il suo supporto hanno reso possibile il completamento di questo lavoro.

Ringrazio anche il mio co-relatore, il Prof. Gianluca Chiappini, per i suggerimenti tecnici e la supervisione attenta che hanno migliorato significativamente la qualità della mia ricerca. Un sentito grazie a tutti i professori del Dipartimento di Ingegneria dell'Università Politecnica delle Marche, per aver condiviso con me il loro vasto sapere e per avermi fornito gli strumenti necessari per crescere sia professionalmente che personalmente.

Vorrei inoltre esprimere la mia gratitudine a tutti i membri del laboratorio di ingegneria e al capo reparto tecnico Lorenzo d'Amico, per il suo aiuto pratico e per aver reso l'ambiente di lavoro collaborativo e stimolante. La loro collaborazione e i loro suggerimenti sono stati fondamentali per il progresso della mia ricerca.

Vorrei ringraziare poi la mia famiglia, i miei genitori Sabrina e Nicola, mio fratello Yaroslav, mia zia Annalisa, i miei cugini, i miei zii e nonni tutti, per il loro supporto costante, per non avermi mai fatto mancare niente e per avermi sempre dato la possibilità di studiare e di realizzare i miei sogni sin da bambino.

Un ringraziamento speciale a Giulia, entrata a far parte della mia vita in un momento davvero complicato e per essere col tempo diventata parte totale delle mie giornate e della mia vita universitaria e non, per avermi supportato e per aver creduto in me da sempre, per esser stata sempre al mio fianco nei momenti peggiori ma anche in quelli più belli. Ti ringrazio per amarmi incondizionatamente e per apprezzare ogni parte di me, sia bella o brutta, e per farmi essere me stesso in ogni singolo momento.

Non posso non ringraziare te, Federico, l'amico di tutta una vita, per aver sempre creduto in me e per esserci sempre stato, in ogni momento, ogni secondo della mia vita. Non sarei arrivato fin qui senza di te, senza il tuo supporto e senza la tua amicizia. Sei stato una spalla su cui piangere, ridere, scherzare e tutto quello che di più bello si può desiderare da un amico, saremo sempre uniti e come dici tu, un giorno sulla spiaggia, diremo di avercela fatta.

Grazie a Kevin e David, i gemelli più belli del mondo, per esserci trovati inaspettatamente e per avermi aiutato in uno dei momenti peggiori della mia vita, per essere rimasti al mio fianco e per volermi bene così come sono. Vi ringrazio per la presenza costante nella mia vita e per esserci sempre, anche a distanza.

Un grazie ai miei compagni di avventure universitarie in questi difficili ma anche bellissimi 4 anni di triennale, ringrazio Pietro, mio compaesano, per esserci stato e non avermi fatto sentire solo nei primi mesi di università, ringrazio poi Elisa, Alessandro, Marco, Leonardo, Arianna, Mattia R., Gaetano, Mattia P. e Teodor per avermi aiutato costantemente in questi anni e per avermi voluto bene sin da subito e perché probabilmente senza di voi non sarei qui adesso a realizzare uno dei miei sogni.

Ringrazio poi Antonio, Giorgio ed Erika, conosciuti per caso, che mi hanno aiutato e voluto bene in tutti questi mesi finali di università.

Un ringraziamento particolare va anche ai miei amici storici di Campobasso Samuele, Andrea, Leonardo, Giuseppe e Christian, amici da tutta una vita, che mi hanno sempre voluto bene e che nonostante qualche periodo di distacco mi sono sempre stati vicini e spero continuino ad esserci per poter aggiungere altre storie belle e divertenti alla mia vita.

Grazie anche ad Ale, Giusi, Serena, Claudio, Checco e Francesca F. per avermi accolto e fatto sentire parte del loro gruppo, in qualunque situazione.

Vorrei ringraziare anche chi non fa più parte della mia vita o che ha scelto di andarsene, è anche grazie a voi che sono diventato quello che sono adesso, riuscendo a superare sfide e momenti bui senza l'aiuto di nessuno e solo con le mie forze.

A tutti voi, il mio più sentito grazie.

E siamo qui, alla fine anche di questa splendida esperienza. Vorrei fare il ringraziamento più grande a me stesso, per non aver mai mollato, anche nei momenti in cui tutto sembrava andare a rotoli, per averci sempre creduto, nonostante mille difficoltà e anche contro chi al tempo affermava che non sarei stato in grado di ottenere tutto questo.

Questa è la mia vittoria, la prima di molte altre.

“Non permettere mai a nessuno di dirti che non sai fare qualcosa. Se hai un sogno, devi proteggerlo; quando le persone non sanno fare qualcosa, lo dicono a te che non la sai fare. Se vuoi qualcosa, vai e inseguila.” Will Smith, “Alla ricerca della felicità”.



*A me...*