

Corsi Pas

La prova di trazione

Metodi di studio e controllo dei materiali metallici



LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA

Metodi di studio e controllo dei materiali metallici

Corsi Pas

METODI DI INDAGINE DEI MATERIALI METALLICI

In molte applicazioni la scelta di un materiale è dettata dalla forma, dalle proprietà meccaniche, dalle proprietà fisiche e chimiche, da considerazioni di lavorazione, dal richiamo di vendita, da costi e dalla disponibilità.

Il comportamento meccanico dei materiali rappresenta un fattore di scelta molto importante nelle applicazioni ingegneristiche che richiedono elevata resistenza meccanica e tenacità. Alta resistenza significa sezioni minori e, quindi, componenti più leggeri mentre alta tenacità significa minore probabilità di rotture rapide ed improvvise in servizio. Per molti materiali un aumento di resistenza significa una diminuzione di tenacità per cui bisogna trovare il compromesso ottimale.



LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA

Metodi di studio e controllo dei materiali metallici

Corsi Pas

METODI DI INDAGINE DEI MATERIALI METALLICI

Un argomento di grande importanza teorica e pratica che è opportuno esaminare è quello dei *principali metodi di indagine* con i quali possono essere studiate le proprietà dei metalli e delle loro leghe, sia da un punto di vista scientifico, che da quello dei controlli e collaudi necessari per le applicazioni tecniche.

Sono continui gli sforzi per cercare nuovi metodi o perfezionare quelli già noti, allo scopo di aumentare le conoscenze sui materiali metallici.



Corsi Pas

La prova di trazione

Aspetti generali sulla prova di trazione



LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 ASPETTI GENERALI SULLA PROVA DI TRAZIONE

Corsi Pas

LA PROVA DI TRAZIONE

La maggior parte delle informazioni necessarie per caratterizzare il comportamento dei materiali metallici in campo plastico sono ottenute facendo riferimento a prove unificate in condizioni di carico mono-assiale (*trazione* o *compressione*), in grado di destare nel provino uno stato di tensione mono-dimensionale.

In particolare, grazie alla relativa semplicità della sua esecuzione, la *prova di trazione* costituisce la tipologia di prova più diffusa, anche se permette di studiare il comportamento plastico del materiale solo per entità di deformazioni piuttosto contenute e, in ogni caso, significativamente inferiori a quelle normalmente applicate nei processi di formatura.



LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 ASPETTI GENERALI SULLA PROVA DI TRAZIONE

Corsi Pas

LA PROVA DI TRAZIONE

La prova di trazione è la più importante ed usata fra le *prove meccaniche* distruttive.

Fornisce, oltre alle proprietà meccaniche, una descrizione quantitativa del comportamento al flusso plastico.

L'informazione basilare ricavata è la forza per ottenere un determinato allungamento del provino.



In questo modo, è possibile effettuare una valutazione delle tensioni e delle deformazioni in quanto caratteristiche più generalizzabili.



LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA

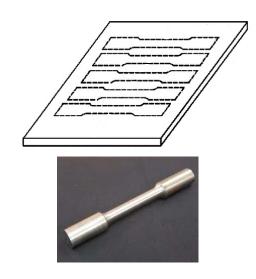
ASPETTI GENERALI SULLA PROVA DI TRAZIONE

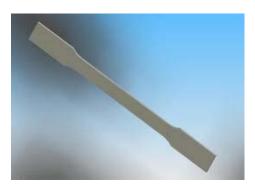
Corsi Pas

I PROVINI DI TRAZIONE

I provini per la prova di trazione sono di forma e dimensioni prestabilite, ricavati da saggi dei masselli, semilavorati, lamiere, ecc. da mettere in opera evitando operazioni che possono provocare nel materiale riscaldamenti o fenomeni di incrudimento.

I provini devono essere per quanto possibile lucidati e non presentare traccia di utensile.







LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 ASPETTI GENERALI SULLA PROVA DI TRAZIONE

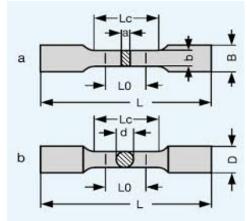
Corsi Pas

I PROVINI DI TRAZIONE

La lunghezza e la sezione delle provette sono stabilite in modo che fra di esse vi sia un determinato rapporto; ciò allo scopo di ottenere nelle prove risultati confrontabili fra loro.

Come si può osservare dalla figura, in ciascun provino si distinguono:le teste

- •i raccordi
- •il tratto a sezione costante L_c
- •il tratto utile di lunghezza iniziale L₀.





Corso di Laurea: Insegnamento: Lezione n°:

Titolo: Attività n°: LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA

5

ASPETTI GENERALI SULLA PROVA DI TRAZIONE

1

Corsi Pas

MACCHINA DI PROVA





LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 ASPETTI GENERALI SULLA PROVA DI TRAZIONE

Corsi Pas

PROVINO SOTTOPOSTO ALLA PROVA DI TRAZIONE





Corso di Laurea: Insegnamento: Lezione n°: Titolo:

Attività n°:

LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 ASPETTI GENERALI SULLA PROVA DI TRAZIONE

Corsi Pas

PROVINO SOTTOPOSTO ALLA PROVA DI TRAZIONE





Corsi Pas

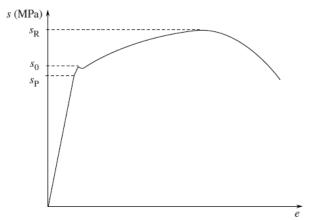
La prova di trazione

Curva dei valori nominali

Corsi Pas

LA CURVA DEI VALORI NOMINALI

Il risultato di una prova di trazione è normalmente rappresentato mediante un diagramma tensioni nominali (s) - deformazioni nominali (e).



Corsi Pas

TENSIONE NOMINALE E DEFOEMAZIONE NOMINALE

Tensione nominale

$$s = \frac{F}{A_0}$$

dove F è la forza applicata e A_0 l'area iniziale del provino

Deformazione nominale

$$e = \frac{1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{1}{l_0} - 1$$

dove I_0 è la lunghezza iniziale e / la lunghezza istantanea del provino

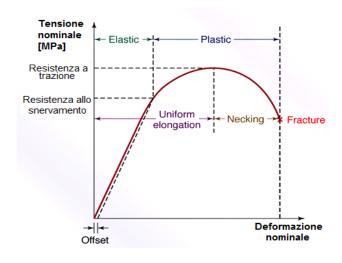
LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 CURVA DEI VALORI NOMINALI

Corsi Pas

LA CURVA DEI VALORI NOMINALI

La curva s-e è dipendente da:

- composizione chimica del materiale
- trattamento termico preliminare
- deformazione plastica precedente
- velocità di deformazione
- temperatura

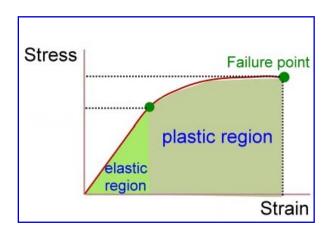


Corsi Pas

LA CURVA DEI VALORI NOMINALI

Si possono individuare due zone:

- <u>Regione elastica</u> ⇒ al di sotto della resistenza allo snervamento (andamento s-e lineare, in accordo con la legge di Hooke)
- <u>Regione plastica</u> ⇒ al di sopra della resistenza allo snervamento (andamento s-e non lineare)





LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 CURVA DEI VALORI NOMINALI

Corsi Pas

DEFORMAZIONE IN CAMPO PLASTICO

Al di sopra del carico di snervamento, il campione subisce grosse deformazioni plastiche permanenti. Nella zona plastica lo sforzo per continuare a deformare plasticamente il materiale aumenta in quanto il materiale *incrudisce*.

Durante la deformazione plastica, *il volume del provino rimane costante*, cioè si verifica che $A_0L_0=A\cdot L$ e quindi all'allungamento del materiale corrisponde una diminuzione dell'area della superficie trasversale del provino.

Tale diminuzione è inizialmente compensata dall'incrudimento, per cui il carico unitario continua a salire.



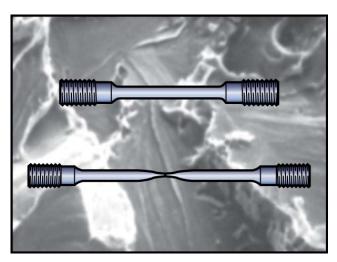
LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 CURVA DEI VALORI NOMINALI

Corsi Pas

LA STRIZIONE LOCALIZZATA

Ad un certo momento, però, l'incrudimento non è più compensativo per cui l'aumento dell'allungamento richiede un carico inferiore in quanto la sezione è diventata estremamente ridotta.

Tale riduzione di sezione si verifica nel punto più debole del provino ove si concentra tutta l'ulteriore deformazione plastica; in tale punto si verifica la "*strizione localizzata*". Da questo punto della curva il carico unitario continua a diminuire fino a rottura.

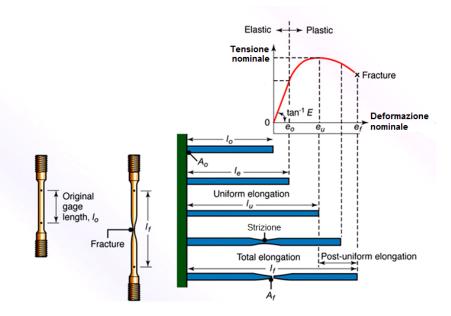




LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 CURVA DEI VALORI NOMINALI

Corsi Pas

STADI DI ALLUNGAMENTO DEL PROVINO DURANTE UNA PROVA DI TRAZIONE

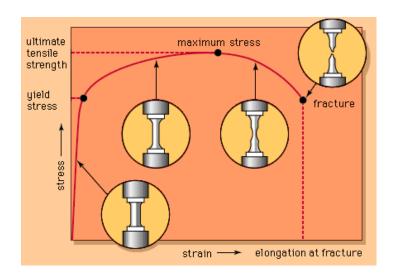




LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 CURVA DEI VALORI NOMINALI

Corsi Pas

DEFORMAZIONE DEL PROVINO DURANTE UNA PROVA DI TRAZIONE





Corsi Pas

La prova di trazione

Curva dei valori reali

LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 CURVA DEI VALORI REALI 1

Corsi Pas

LA CURVA DEI VALORI REALI

L'andamento delle tensioni nominali richiede alcune ulteriori considerazioni. Occorre innanzitutto far rilevare che il carico richiesto alla macchina di prova per imprimere la deformazione voluta sul provino dipende dalla resistenza offerta dal materiale e dalla sezione resistente del provino.

Mentre la resistenza del materiale cresce man mano che procede la deformazione a causa del fenomeno dell'incrudimento (giustificabile da un punto di vista microstrutturale, considerando l'aumento della densità delle dislocazioni e la loro interazione), la sezione resistente si va invece progressivamente riducendo man mano che il provino subisce l'allungamento, dal momento che non sussistono variazioni di volume in campo plastico.



LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 CURVA DEI VALORI REALI 1

Corsi Pas

LA CURVA DEI VALORI REALI

Ebbene, in una prima fase l'aumento della resistenza del materiale dovuto all'incrudimento prevale sulla riduzione della sezione resistente e quindi il carico complessivamente richiesto per applicare ulteriore deformazione cresce.

Nel momento in cui si verifica la strizione, l'effetto della riduzione della sezione resistente diventa prevalente e quindi si assiste complessivamente ad una riduzione del carico necessario.

Alla luce di queste considerazioni, appare opportuno riportare i risultati della prova di trazione su un diverso tipo di diagramma, in grado di rendere i risultati indipendenti dal fenomeno della strizione.



LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 CURVA DEI VALORI REALI 1

Corsi Pas

LA CURVA DEI VALORI REALI

Basterà, a questo scopo misurare le tensioni e le deformazioni in termini reali, rapportando cioè il carico alla sezione attuale del provino (calcolando la *tensione reale* σ) e utilizzando le *deformazioni reali* ε .

LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 CURVA DEI VALORI REALI 1

Corsi Pas

TENSIONE REALE E DEFORMAZIONE REALE

Tensione reale

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{A_0} \cdot \frac{A_0}{A}$$

dove Fè la forza applicata e A l'area istantanea del provino

Deformazione reale

$$\varepsilon = \int_{l_0}^{1} \frac{\mathrm{d}l}{1} = \ln \frac{1}{l_0}$$

dove I_0 è la lunghezza iniziale e / la lunghezza istantanea del provino

LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 CURVA DEI VALORI REALI 1

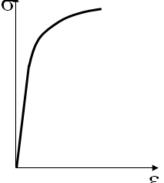
Corsi Pas

LA CURVA DEI VALORI REALI

L'impiego delle tensioni reali in luogo di quelle nominali permette di ottenere diagrammi caratterizzati da un andamento sempre crescente della curva, i quali tengono in conto esclusivamente del comportamento del materiale e in particolare del fenomeno dell'incrudimento. Tale curva permette una migliore descrizione dei dati sperimentali.

In particolare, si può notare che σ è sempre crescente con ϵ fino a rottura e che, indicando con σ_0 la tensione di snervamento:

- • σ < $\sigma_0 \Rightarrow$ zona elasticità
- $\bullet \sigma > \sigma_0 \Rightarrow$ zona di deformazione plastica



LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 CURVA DEI VALORI REALI 1

Corsi Pas

CORRELAZIONE TRA VALORI REALI E NOMINALI

Per determinare la correlazione tra valori reali e nominali, si deve imporre la condizione di invariabilità del volume del provino, valida in campo plastico, $Al = A_0l_0 = costante$; in questo modo, con semplici calcoli, si ha:

$$\sigma = s \cdot (1+e)$$
 $\varepsilon = \ln(1+e)$

La curva σ - ϵ si trova più in alto e a sinistra rispetto a quella s-e fino al raggiungimento del picco della curva nominale.





Corsi Pas

La prova di trazione

Proprietà meccaniche ottenute dalla prova di trazione

LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA

Proprieta' meccaniche ottenute dalla prova di trazione

Corsi Pas

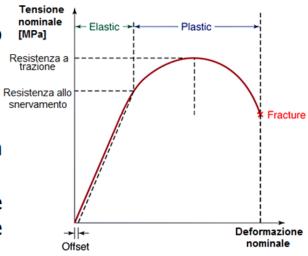
PROPRIETA' MECCANICHE

Modulo di elasticità (E):

• È la pendenza della curva nel tratto elastico

Resistenza allo snervamento (s₀):

- È la tensione alla quale inizia la deformazione plastica
- Viene calcolata come la tensione corrispondente a una deformazione prefissata dello 0.2% (offset)



Proprieta' meccaniche ottenute dalla prova di trazione

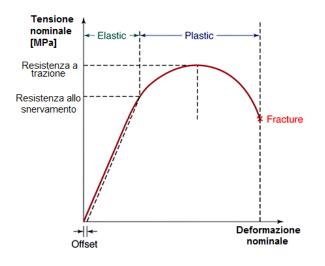
Corsi Pas

PROPRIETA' MECCANICHE

Resistenza a trazione (s_u):

• È la tensione al picco della curva, a cui ha inizio il fenomeno della strizione localizzata

$$s_{u} = \frac{P_{max}}{A_{0}}$$



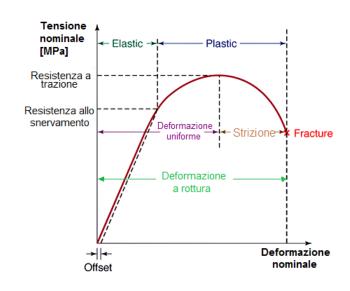
PROPRIETA' MECCANICHE

Duttilità:

- È l'allungamento a rottura (e_f)
- È anche valutata come riduzione di area a rottura (r_f)

$$e_{f} = \frac{l_{f} - l}{l_{0}}$$
 $r_{f} = \frac{A_{0} - A_{f}}{A_{0}}$

$$e_f = \frac{l_f}{l_0} - 1 = \frac{A_0}{A_f} - 1 = \frac{r_f}{1 - r_f}$$



Attività n°:

Accialo per molle (ad alto C)

. Acciaio strutturale

Deformazione nominale, e

Corsi Pas

PROPRIETA' MECCANICHE

Resilienza:

• È la capacità del materiale di assorbire energia in campo elastico e di restituirla allo scarico

 Viene valutata con il modulo di resilienza (come area sottesa alla tratto lineare della curva):

 $U_{R} = \frac{1}{2} s_{0} \cdot e_{0} = \frac{s_{0}^{2}}{E}$



• I materiali ad alta resilienza (ad es. acciai per molle) hanno E basso e s_0 elevato

Attività n°:

PROPRIETA' MECCANICHE

Tenacità:

- È la capacità del materiale di assorbire energia in campo plastico senza rotture
- È una proprietà che combina resistenza e duttilità
 - materiali duttili:

$$U_T = s_u \cdot e_f$$
 o $U_T = \frac{1}{2}(s_0 + s_u) \cdot e_f$

• materiali fragili:

$$U_{_{T}} = \frac{2}{3} s_{_{u}} \cdot e_{_{f}}$$
 Si assume che la curva s-e in campo plastico sia una parabola



Corsi Pas

La prova di trazione

Attività di laboratorio

LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5
Attivita' di laboratorio

Corsi Pas

ESERCIZI SULLA PROVA DI TRAZIONE

- In questa sessione di studio vengono proposti degli esercizi inerenti la prova di trazione, con le relative soluzioni.
- Ciascun esercizio sarà comunque ripreso e svolto in aula con il docente durante le ore in presenza.

LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO
DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA
5
Attivita' di laboratorio

Corsi Pas

ESERCIZIO 1

Le proprietà al flusso plastico di un acciaio al carbonio sono state valutate attraverso una prova di trazione su un provino cilindrico di diametro di 15 mm e lunghezza utile di 50 mm. Tali prove hanno fornito i seguenti risultati:

F [kN]	42.05	47.43	54.80	59.98	64.86	69.35	70.74	68.95	48.33
L [mm]	51.18	52.37	53.92	55.50	57.83	61.95	68.78	71.52	72.64

Si chiede di determinare graficamente la legge di incrudimento.

LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 Attivita' di laboratorio

Corsi Pas

ESERCIZIO 1

Soluzione:

Per determinare la legge di incrudimento, si calcolano i valori puntuali della tensione e della deformazione equivalente del materiale dai dati forniti dalla prova di trazione, come segue:

$$\begin{cases} \sigma = \frac{F}{A} = \frac{F \cdot L}{A_0 L_0} = \frac{F \cdot L}{A_0 L_0} = \frac{F \cdot L}{\pi \cdot \left(\frac{d_0}{2}\right)^2 \cdot L_0} = \frac{F \cdot L}{8831.25} \\ \epsilon = \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{L}{50} \end{cases}$$

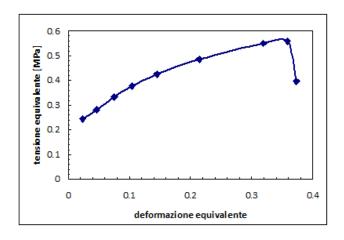
Corsi Pas

ESERCIZIO 1

Quindi, puntualmente si ottiene:

tens. equ. [MPa]		0.28	0.33	0.38	0.42	0.49	0.55	0.56	0.40
def. equ.	0.02	0.05	0.08	0.10	0.15	0.21	0.32	0.36	0.37

Riportando su un grafico le coppie di punti σ - ϵ , si ricava la legge di incrudimento.



LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 Attivita' di laboratorio

Corsi Pas

ESERCIZIO 2

- Le proprietà al flusso plastico di un dato materiale, avente coefficiente di resistenza pari a 1200 MPa, sono state valutate con una prova di trazione su un provino cilindrico (d₀=20 mm, l₀=100 mm), la cui lunghezza utile a strizione è risultata essere pari a 157 mm.
- Determinare la legge di incrudimento.

Attivita' di laboratorio

Corsi Pas

ESERCIZIO 2

Soluzione:

Nella prova di trazione, nel momento di innesco della strizione (coincidente con il carico massimo) si ha l'uguaglianza tra deformazione equivalente e coefficiente di incrudimento:

$$\varepsilon = n = \ln \frac{1}{l_0} = \ln \frac{157}{100} = 0.45$$

Quindi la legge di incrudimento può essere scritta come:

$$\sigma = 1200 \cdot \epsilon^{0.45}$$

LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO
DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA
5
Attivita' di laboratorio

Corsi Pas

ESERCIZIO 3

Una prova di trazione eseguita su una provetta cilindrica di diametro iniziale d_0 pari a 10 mm e lunghezza utile iniziale l_0 di 50 mm ha prodotto i seguenti risultattance i une prodotto i

>	egueriii risuita	LCARICO F	LUNGHEZZA UTILE	DIAMETRO	
		[kN]	[mm]	[mm]	
	snervamento (s)	31.5	50.10	9.99	
	carico massimo (m)	56.5	62.50	8.94	



LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO
DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA
5
Attivita' di laboratorio

Corsi Pas

ESERCIZIO 3

Si chiede di:

- 1. Calcolare i valori di tensione reale e deformazione reale del materiale in esame nei punti assegnati;
- 2. Calcolare negli stessi punti i valori di tensione e deformazione nominale.

LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 Attivita' di laboratorio

Corsi Pas

ESERCIZIO 3

Soluzione:

Poiché nella prova di trazione:

$$\begin{cases} \sigma = \frac{F}{A} & \text{dove} \quad A = \frac{A_0 I_0}{I} \\ \epsilon = \ln \frac{I}{I_0} \end{cases}$$
$$\begin{cases} s = \frac{F}{A_0} \\ e = \frac{I - I_0}{I_0} \end{cases}$$

LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 Attivita' di laboratorio

Corsi Pas

ESERCIZIO 3

ALLO SNERVAMENTO:

$$\begin{aligned} \text{REALE} & \begin{cases} \sigma_s = \frac{F_s}{A_s} = \frac{F_s \cdot I_s}{\pi \left(\frac{d_0}{2}\right)^2 \cdot I_0} = \frac{31500 \cdot 50.1}{\pi (5)^2 \cdot 50} = 402 \text{ N/mm}^2 \\ \epsilon_s = In \frac{I_s}{I_0} = In \frac{50.1}{50} = 0.002 \end{cases} \\ & \begin{cases} s_s = \frac{F_s}{A_0} = \frac{F_s}{\pi \left(\frac{d_0}{2}\right)^2} = \frac{31500}{\pi (5)^2} = 401 \text{ N/mm}^2 \\ e_s = \frac{I_s - I_0}{I_0} = \frac{50.1 - 50}{50} = 0.002 \end{cases} \end{aligned}$$

LABORATORIO MECCANICO TECNOLOGICO DIDATTICA MECCANICA E TECNOLOGIA 5 Attivita' di laboratorio

Corsi Pas

ESERCIZIO 3

AL CARICO MASSIMO:

$$\begin{aligned} \text{REALE} & \begin{cases} \sigma_m = \frac{F_m}{A_m} = \frac{F_m \cdot I_m}{\pi \left(\frac{d_0}{2}\right)^2 \cdot I_0} = \frac{56500 \cdot 62.5}{\pi (5)^2 \cdot 50} = 899 \text{ N/mm}^2 \\ \epsilon_m = In \frac{I_m}{I_0} = In \frac{62.5}{50} = 0.223 \end{cases} \\ & \begin{cases} s_m = \frac{F_m}{A_0} = \frac{F_m}{\pi \left(\frac{d_0}{2}\right)^2} = \frac{56500}{\pi (5)^2} = 719 \text{ N/mm}^2 \\ \epsilon_m = \frac{I_m - I_0}{I_0} = \frac{62.5 - 50}{50} = 0.25 \end{cases} \end{aligned}$$