

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria ...

Relazione per la prova finale
«Prove di trazione su provini in lega di alluminio 6XXX, per applicazioni di stampaggio a caldo e tiepido»

Tutor universitario: Prof. Enrico Simonetto

Laureando: *Filippo Marin*

Padova, 14/07/2023

Questo progetto è stato realizzato in collaborazione con l'azienda Constellium SE, specializzata nella progettazione e nella produzione di prodotti in lega di alluminio destinate ad una vasta gamma di applicazioni. In particolare, in campo automotive.



Contenuti:

- Obiettivo;
- Materiale di riferimento;
- Apparato sperimentale;
- Cicli termici;
- Lista delle prove eseguite;
- Sistema ARAMIS;
- Risultati delle prove;
- Conclusioni.

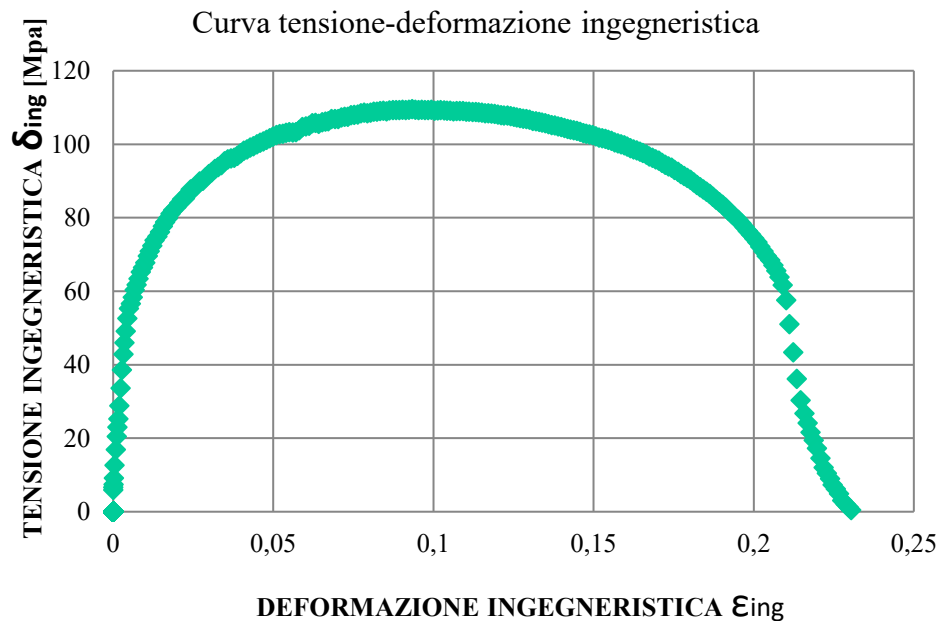
L'**obbiettivo** è quello di svolgere dei test per valutare le proprietà meccaniche di una lamiera in lega di alluminio 6xxx destinata alla produzione di scocche automotive. Per questo si vuole determinare le curve tensione-deformazione reali.

La **modalità della prova** riguarda lo svolgimento di prove di trazione a caldo su provini in lega di alluminio 6XXX. Successivamente i risultati ottenuti verranno elaborati tramite fogli di calcolo, per ottenere dalle curve di tensione-deformazione ingegneristiche quelle reali.

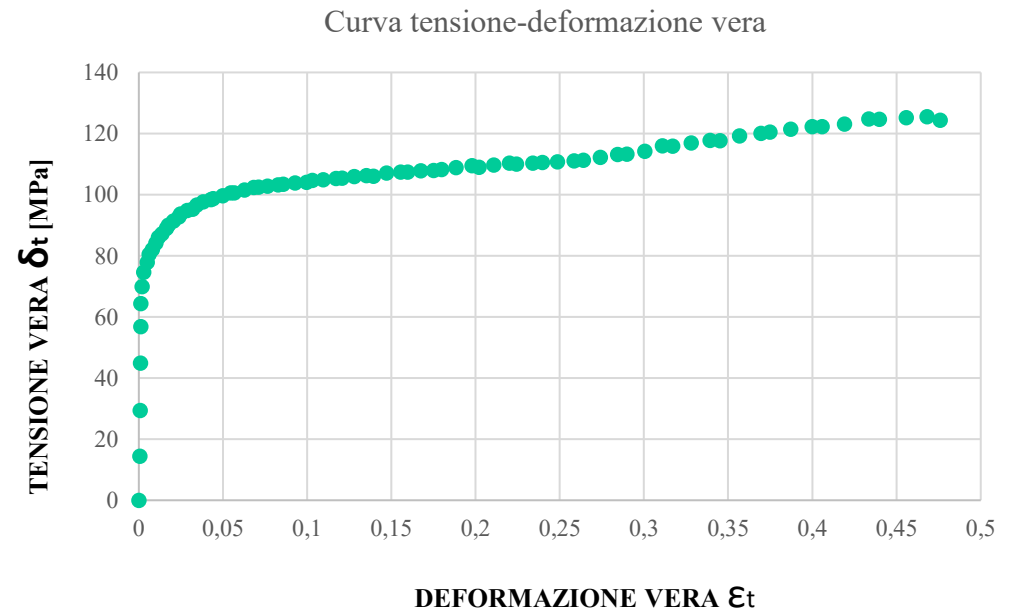


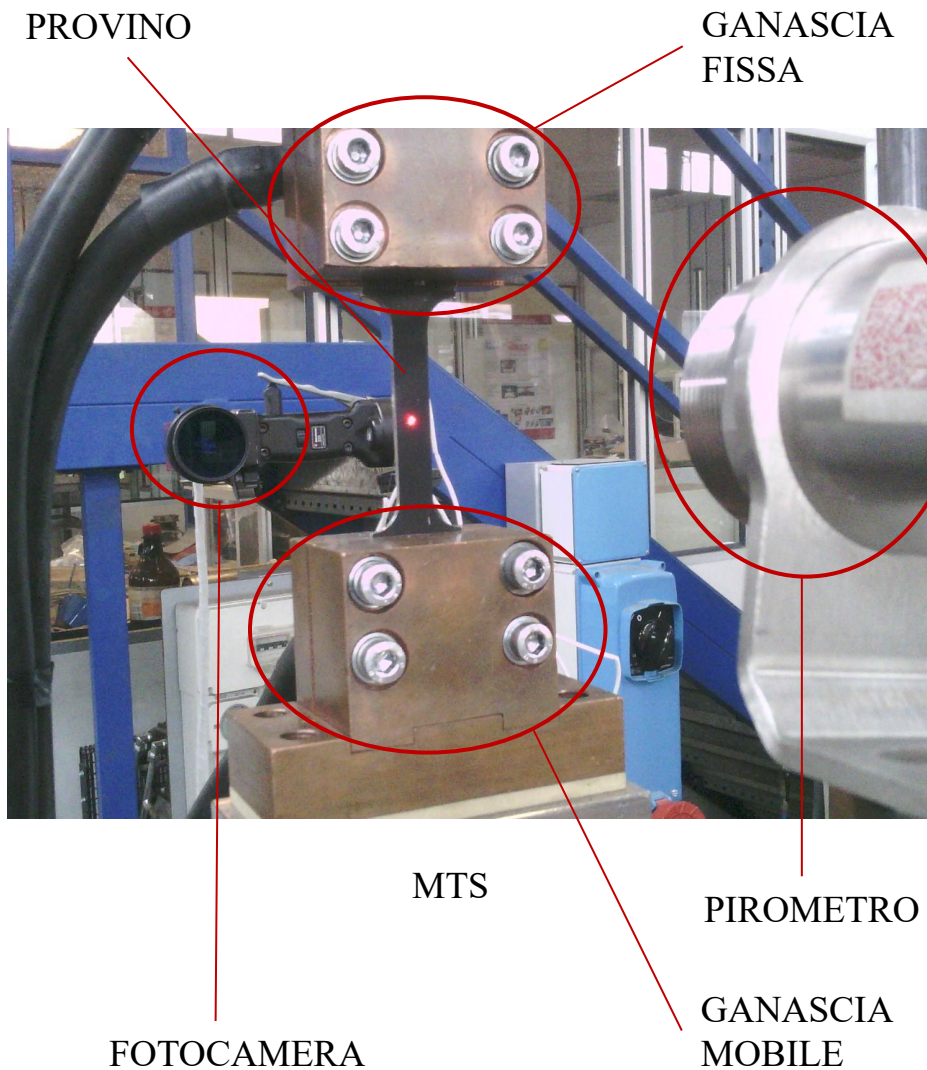
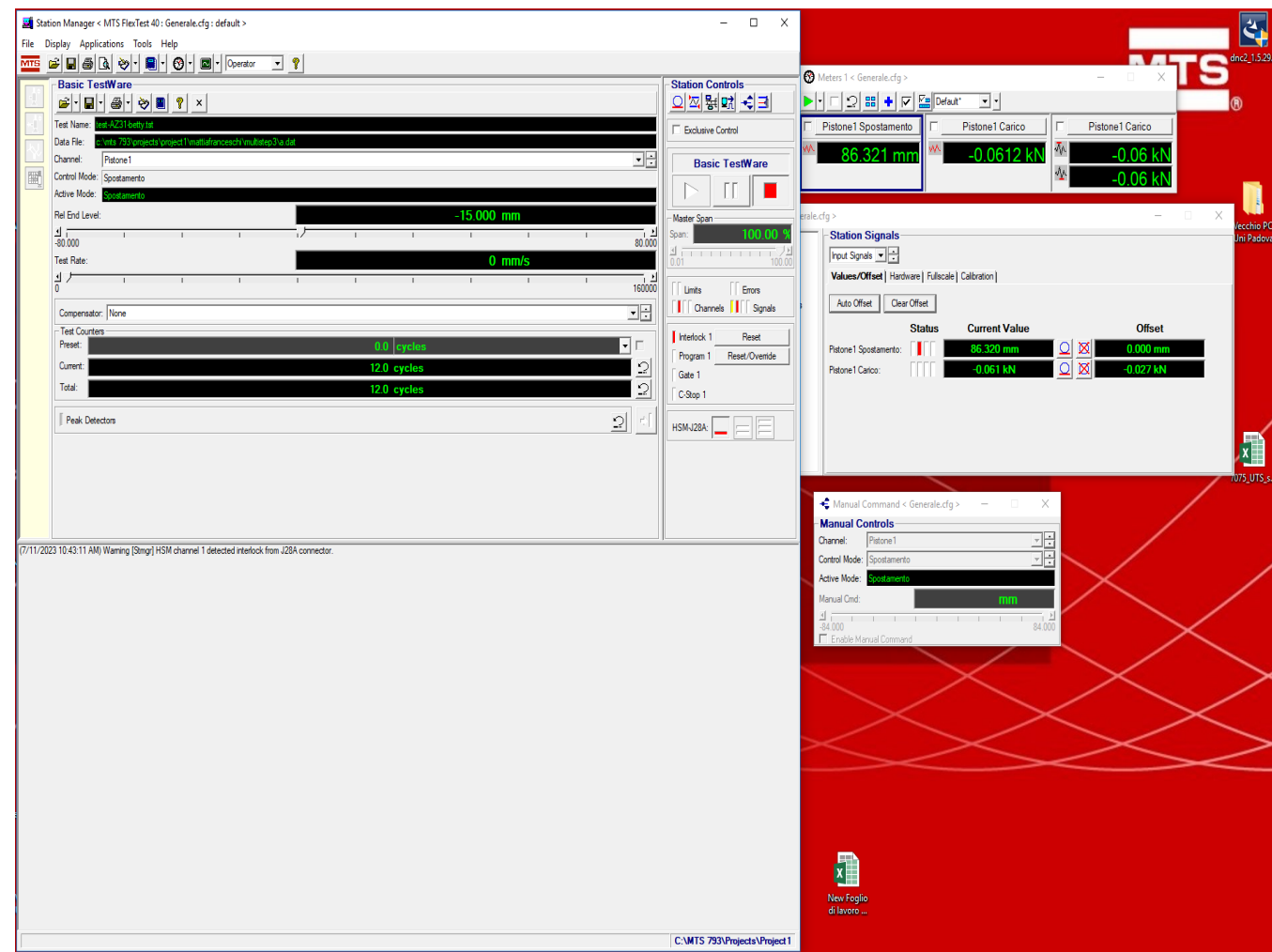
Esempio di provino utilizzato nelle prove

www.dii.unipd.it



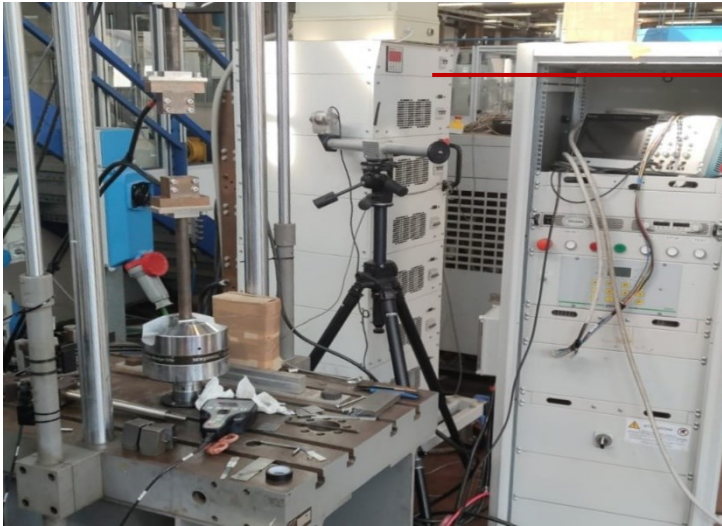
Esempio delle curve ottenute per la prova T 300°c a velocità di deformazione 0,1 s⁻¹



Values/Offset	Hardware	Fullscale	Calibration
Pistone1 Spostamento	86.320 mm	0.000 mm	0.000 mm
Pistone1 Carico	-0.061 kN	0.027 kN	0.027 kN

STATION MANAGER MTS



GENERATORE
DI CORRENTE



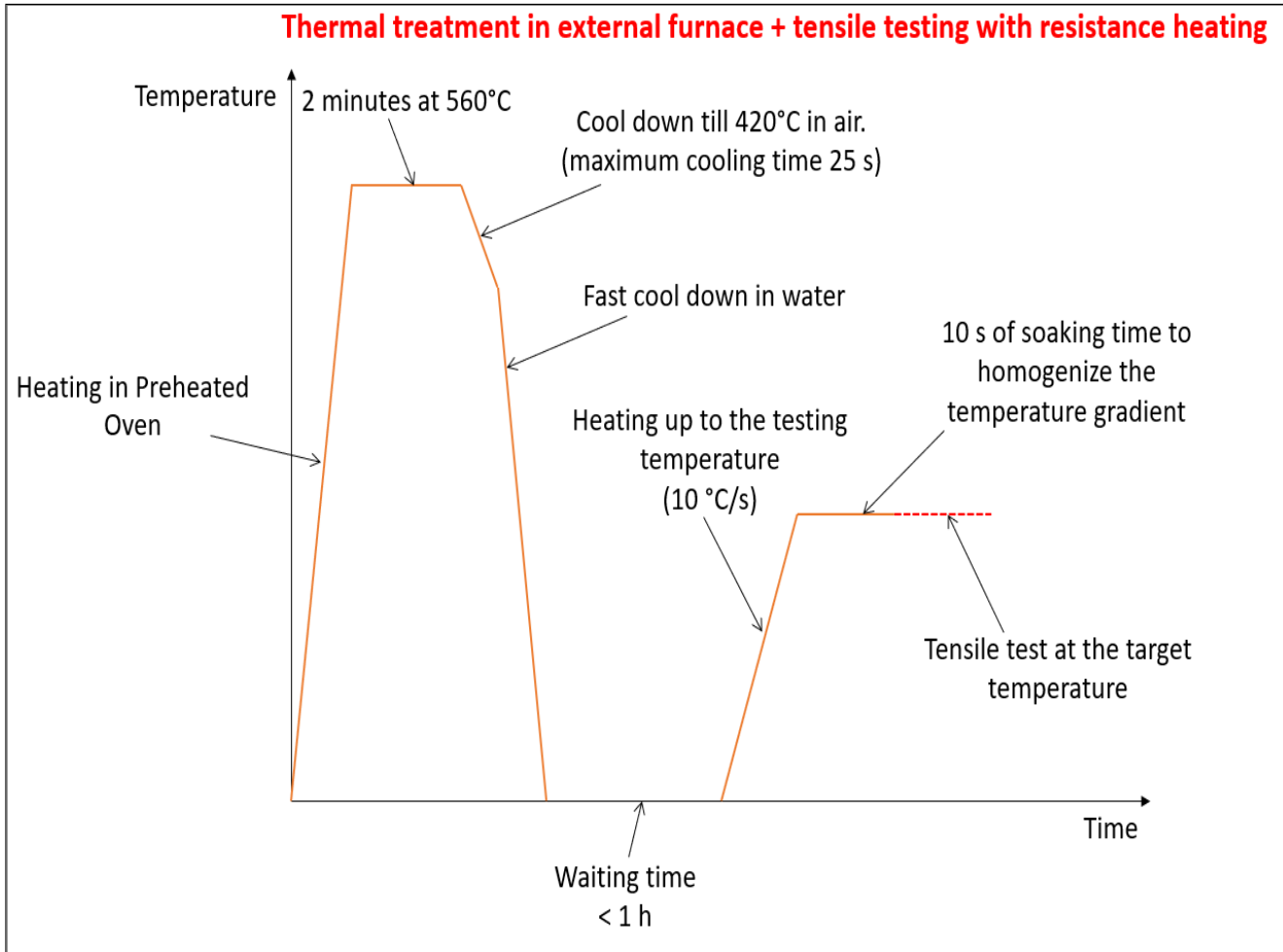
Provino per prova di trazione



Provino post prova di trazione



FORNACE
UTILIZZATA PER
IL TRATTAMENTO
TERMICO DEI
PROVINI



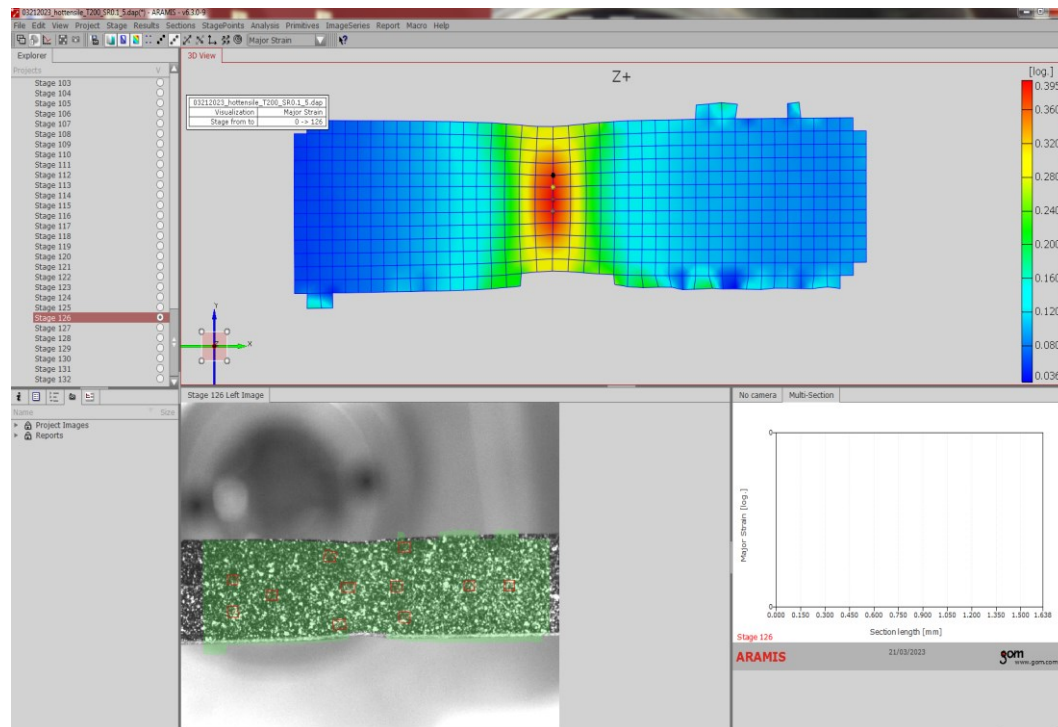
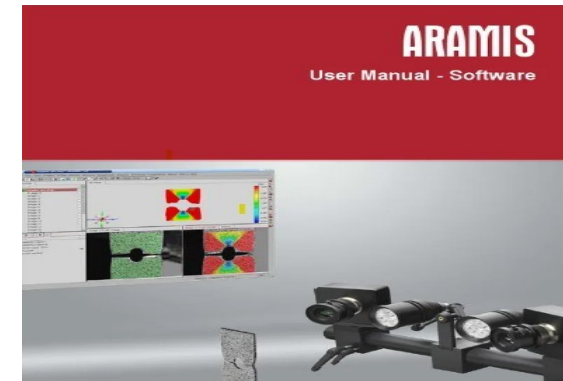
Solubilization thermal cycle	
time	temperature
0	0
120	560
240	560
450	cool down in max 25 s
Water cooling	
Thermal cycle 200°C	
time	temperature
0	0
20	200
30	200
200	200
Thermal cycle 300°C	
time	temperature
0	0
30	300
40	300
200	300
Thermal cycle 350°C	
time	temperature
0	0
35	350
45	350
200	350
Thermal cycle 400°C	
time	temperature
0	0
40	400
50	400
200	400

A	B	C	D	E	F	
Number	Rep	Temperatura [C]	Heated lenght	Speed [mm/s]	30	Thermoamera check
			Strain rate [s-1]			Forming time
1	1	200	1	30	30	1
2	2	200	1	30	30	1
3	3	200	1	30	30	1
4	1	200	0,1	3	3	10
5	2	200	0,1	3	3	10
6	3	200	0,1	3	3	10
7	1	200	0,01	0,3	0,3	100
8	2	200	0,01	0,3	0,3	100
9	3	200	0,01	0,3	0,3	100
10	1	300	1	30	30	1
11	2	300	1	30	30	1
12	3	300	1	30	30	1
13	1	300	0,1	3	3	10
14	2	300	0,1	3	3	10
15	3	300	0,1	3	3	10
16	1	300	0,01	0,3	0,3	100
17	2	300	0,01	0,3	0,3	100
18	3	300	0,01	0,3	0,3	100
19	1	350	1	30	30	1
20	2	350	1	30	30	1
21	3	350	1	30	30	1
22	1	350	0,1	3	3	10
23	2	350	0,1	3	3	10
24	3	350	0,1	3	3	10
25	1	350	0,01	0,3	0,3	100
26	2	350	0,01	0,3	0,3	100
27	3	350	0,01	0,3	0,3	100
28	1	400	1	30	30	1
29	2	400	1	30	30	1
30	3	400	1	30	30	1
31	1	400	0,1	3	3	10
32	2	400	0,1	3	3	10
33	3	400	0,1	3	3	10
34	1	400	0,01	0,3	0,3	100
35	2	400	0,01	0,3	0,3	100
36	3	400	0,01	0,3	0,3	100

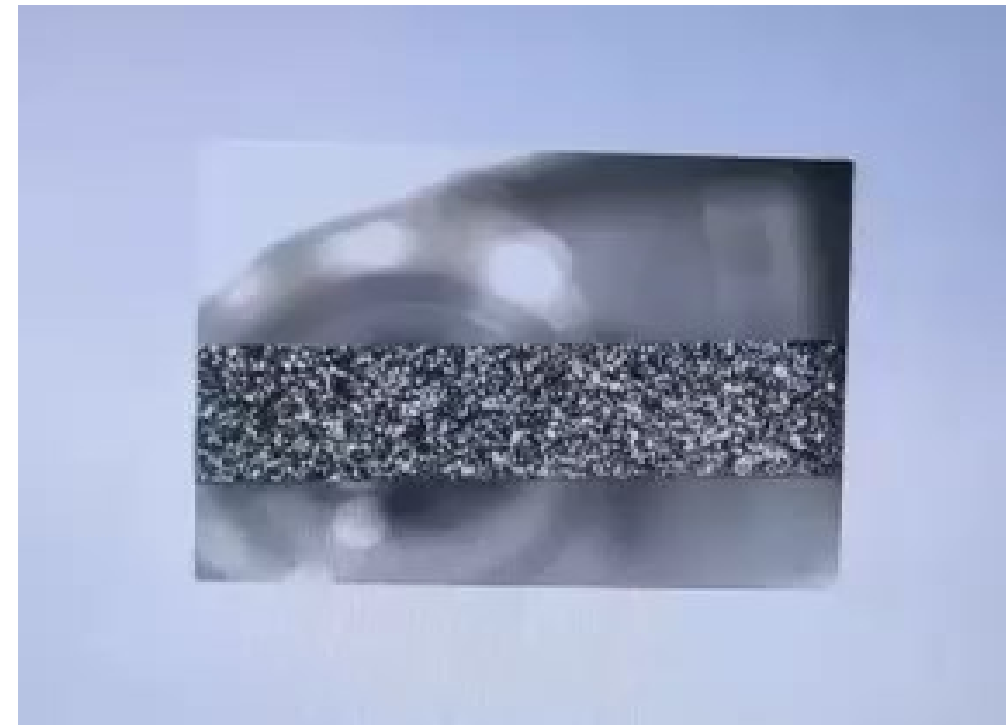
Lista delle prove svolte

Il software ARAMIS v6.3 è il programma che è stato utilizzato per analizzare la deformazione del provino.

La deformazione viene calcolata analizzando i diversi frames catturati dalla fotocamera che monitora il provino durante la prova di trazione. I dati ottenuti vengono calcolati dal sistema aramis e riportati in scala logaritmica.



Analisi della deformazione tramite software ARAMIS



Esempio prova di trazione a T 200°C e velocità di deformazione pari 0,1 s⁻¹

Per ricavare le curve tensione-deformazione ingegneristiche e vere si è utilizzato un foglio di calcolo Excel, sulla base dei dati forniti dall'MTS e dal software ARAMIS.

MTS DATA			
		Frequenza	256
		Max forza[N]	3249,2878
Data Acquisition		UTS [Mpa]	90,25799444
Stroke mm	Froce N	Time s	Real Force N
0	0	0	0
0	199,28634	0,014648438	199,28634
0,0013352	203,45215	0,10058594	203,45215
0,0012856	207,3943	0,10449219	207,3943
0,0014897	215,70086	0,10839844	215,70086
0,0035992	226,2447	0,11230469	226,2447
0,0034714	239,34519	0,11621094	239,34519
0,0032034	256,77362	0,12011719	256,77362
0,0065241	279,94132	0,12402344	279,94132
0,0081406	303,23511	0,12792969	303,23511
0,008071	317,8229	0,13183594	317,8229
0,0103016	329,42846	0,13574219	329,42846
0,0116454	342,8537	0,13964844	342,8537
0,0130978	368,17202	0,14355469	368,17202
0,0138979	383,33774	0,14746094	383,33774
0,0151825	395,34265	0,15136719	395,34265
0,0161896	411,97893	0,15527344	411,97893
0,0177393	429,28886	0,15917969	429,28886
0,0202084	445,70643	0,16308594	445,70643
0,0208912	463,69955	0,16699219	463,69955
0,0215016	485,99321	0,17089844	485,99321
0,0228148	508,37964	0,17480469	508,37964
0,0245648	524,62471	0,17871094	524,62471
0,0259276	535,98338	0,18261719	535,98338
0,0271712	544,54708	0,18652344	544,54708
0,0275069	551,49853	0,19042969	551,49853
0,0287638	562,76196	0,19433594	562,76196
0,0287705	568,11047	0,19824219	568,11047
0,0289212	574,47964	0,20214844	574,47964

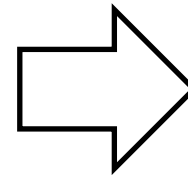
Dati forniti dall'MTS

ARAMIS DATA																			
PUNTO1					PUNTO2					PUNTO3					PUNTO4				
Numero_fot	Deformazione	Deformazioni	Riduzione_s	R	Numero_fot	Deformazione	Deformazioni	Riduzione_s	R	Numero_fot	Deformazione	Deformazioni	Riduzione_s	R	Numero_fot	Deformazione	Deformazioni	Riduzione_s	R
0	0	0	0	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!
1	-0,000721	-0,001153	-0,001874	0,6153	1	-0,000892	-0,001323	-0,002215	0,5972912	1	0,000565	-0,000712	-0,000147	4,8435374	1	0,001198	-0,001345	-0,000147	9,1496599
2	-0,000579	-0,001168	-0,001746	0,669	2	0,001266	-0,001511	-0,000245	6,1673469	2	0,001522	-0,001462	0,00006	24,366667	2	0,001662	-0,000727	0,000935	0,7775401
3	0,001075	-0,001531	-0,000456	3,3575	3	0,002435	-0,002256	0,000179	12,603352	3	0,000646	-0,00124	-0,000594	2,0875421	3	0,001094	-0,00224	-0,001146	1,9546248
4	0,000787	-0,001688	-0,000901	1,8735	4	0,003575	-0,002261	0,001314	17,207002	4	0,003594	-0,000395	0,003198	0,1235147	4	0,002995	-0,002244	0,000751	2,988016
5	0,003555	-0,002795	0,000759	3,6825	5	0,006605	-0,003242	0,003362	0,964307	5	0,003349	-0,003027	0,000322	9,4006211	5	0,003841	-0,002725	0,001117	2,4395703
6	0,006415	-0,00345	0,002966	1,1632	6	0,007701	-0,003917	0,003784	1,035148	6	0,006619	-0,003176	0,003013	1,0540989	6	0,005749	-0,003453	0,002296	1,5039199
7	0,008967	-0,004314	0,004653	0,9271	7	0,010183	-0,005321	0,004862	1,0944056	7	0,007968	-0,004631	0,003338	1,3873577	7	0,008255	-0,004338	0,003917	1,1074802
8	0,010852	-0,005723	0,005129	1,1158	8	0,01372	-0,007166	0,006554	1,0933781	8	0,011148	-0,006077	0,005071	1,198383	8	0,011651	-0,005274	0,006378	0,826905
9	0,011929	-0,006775	0,005154	1,3145	9	0,014685	-0,007232	0,007453	0,9703475	9	0,011541	-0,007041	0,0045	1,5646667	9	0,011697	-0,005625	0,006071	0,926536
10	0,014949	-0,006723	0,008225	0,8174	10	0,017341	-0,008574	0,008767	0,9779856	10	0,015625	-0,006264	0,009361	0,6691593	10	0,015202	-0,007522	0,007681	0,9792996
11	0,017251	-0,008317	0,008934	0,9309	11	0,020689	-0,009188	0,011501	0,7988871	11	0,017756	-0,00763	0,010127	0,7534314	11	0,017654	-0,008058	0,009596	0,8397249
12	0,020813	-0,009117	0,011696	0,7795	12	0,024834	-0,010463	0,014371	0,7280635	12	0,021014	-0,008639	0,012375	0,698101	12	0,02	-0,009858	0,010141	0,9720935
13	0,023523	-0,011242	0,012282	0,9153	13	0,027445	-0,012566	0,014879	0,844546	13	0,024631	-0,010692	0,013939	0,7670565	13	0,025016	-0,010946	0,01407	0,7779673
14	0,028242	-0,012843	0,015399	0,834	14	0,032544	-0,013602	0,018941	0,7181247	14	0,028191	-0,012767	0,015423	0,8277897	14	0,02796	-0,012914	0,015046	0,8583012
15	0,032957	-0,014922	0,018035	0,8274	15	0,036762	-0,015633	0,021129	0,7398836	15	0,032516	-0,012666	0,01985	0,6380856	15	0,031619	-0,015208	0,01641	0,926752
16	0,03649	-0,016986	0,019504	0,8709	16	0,039919	-0,018138	0,021781	0,8327441	16	0,037113	-0,015546	0,021566	0,7208569	16	0,036918	-0,015719	0,021199	0,7414972
17	0,039784	-0,017209	0,022574	0,7623	17	0,043768	-0,01959	0,024178	0,8102407	17	0,041313	-0,017021	0,024292	0,7006834	17	0,040704	-0,01724	0,023464	0,7347426
18	0,044436	-0,019678	0,024758	0,7948	18	0,047283	-0,021478	0,025805	0,8323193	18	0,043781	-0,017853	0,025928	0,6885606	18	0,043398	-0,02021	0,023188	0,8715715
19	0,046876	-0,020499	0,026377	0,7772	19	0,050121	-0,022132	0,027989	0,7907392	19	0,04713	-0,019569	0,027561	0,710025	19	0,045145	-0,020001	0,025143	0,7954898
20	0,050344	-0,022632	0,027713	0,8167	20	0,052104	-0,024102	0,028002	0,8607242	20	0,049313	-0,021128	0,028185	0,7496186	20	0,04925	-0,022346	0,026904	0,8305828
21	0,053085	-0,022899	0,030185	0,7586	21	0,056551	-0,025525	0,031026	0,8226971	21	0,053792	-0,022472	0,03132	0,7174968	21	0,052353	-0,023413	0,028941	0,8089907
22	0,057306	-0,024341	0,032965	0,7384	22	0,059947	-0,025552	0,034395	0,7428987	22	0,05694	-0,024446	0,032494	0,7523235	22	0,055798	-0,024318	0,03148	0,7724905
23	0,060502	-0,026259	0,034242	0,7669	23	0,064154	-0,027947	0,036207	0,7718673	23	0,06096	-0,027047	0,033912	0,7975643	23	0,059338	-0,025031	0,034308	0,7295966
24	0,064444	-0,027805	0,036639	0,7589	24	0,068458	-0,029516	0,038942	0,7579477	24	0,065185	-0,028421	0,036764	0,773066	24	0,063154	-0,026769	0,036385	0,7357153
25	0,069555	-0,02915	0,040405	0,7214	25	0,07379	-0,030588	0,043202	0,7080228	25	0,069733	-0,029342	0,04039	0,7264669	25	0,067698	-0,028979	0,038719	0,7484439
26	0,074848	-0,032097	0,042751	0,7508	26	0,079676	-0,032706	0,04697	0,6963168	26	0,073627	-0,031614	0,042012	0,7524993	26	0,072743	-0,029867	0,042876	0,6965902
27	0,080734	-0,033741	0,046993	0,718	27	0,085084	-0,03565	0,049434	0,7211636	27	0,079449	-0,033567	0,045883	0,7315781	27	0,076839	-0,03239	0,04445	0,7286839
28	0,085286	-0,036215	0,049071	0,738	28	0,090557	-0,038081	0,052476	0,7256841	28	0,084784	-0,035277	0,049507	0,7125659	28	0,08237	-0,034595	0,047775	0,7241235
29	0,092473	-0,038404	0,054069	0,7103	29	0,097483	-0,040489	0,056994	0,7104081	29	0,091612	-0,037526	0,054086	0,693821	29	0,088908	-0,037539	0,05137	0,7307573
30	0,099091	-0,041013	0,058078	0,7062	30	0,104279	-0,043662	0,060617	0,720293	30	0,09745	-0,04009	0,057359	0,6989313	30	0,093233	-0,038719	0,054514	0,7102579
31	0,104921	-0,04282	0,0621	0,6895	31	0,109669	-0,045453	0,064217	0,7078032	31	0,103902	-0,041361	0,062541	0,6613422	31	0,100677	-0,042712	0,057965	0,7368584
32	0,111022	-0,04596	0,065062	0,7064	32	0,114691	-0,04739	0,067301	0,70415	32	0,109597	-0,044749	0,064847	0,6900705	32	0,104778	-0,043275	0,061503	0,7036242
33	0,117257	-0,04749	0,069766	0,6807	33	0,120664	-0,050483	0,070181	0,7193257	33	0,11524	-0,045015	0,070225	0,641011	33	0,110812	-0,046857	0,063955	0,7326558
34	0,121982	-0,049568	0,072414	0,6845	34	0,12776	-0,05232	0,07544	0,6935313	34	0,12046	-0,047337	0,073123	0,6473613	34	0,115765	-0,047742	0,068024	0,7018405
35	0,129154	-0,05328	0,075874	0,7022	35	0,137108	-0,054322	0,077786	0,6983516	35	0,127681	-0,049196	0,078485	0,6268204	35	0,122687	-0,051392	0,071295	0,720836

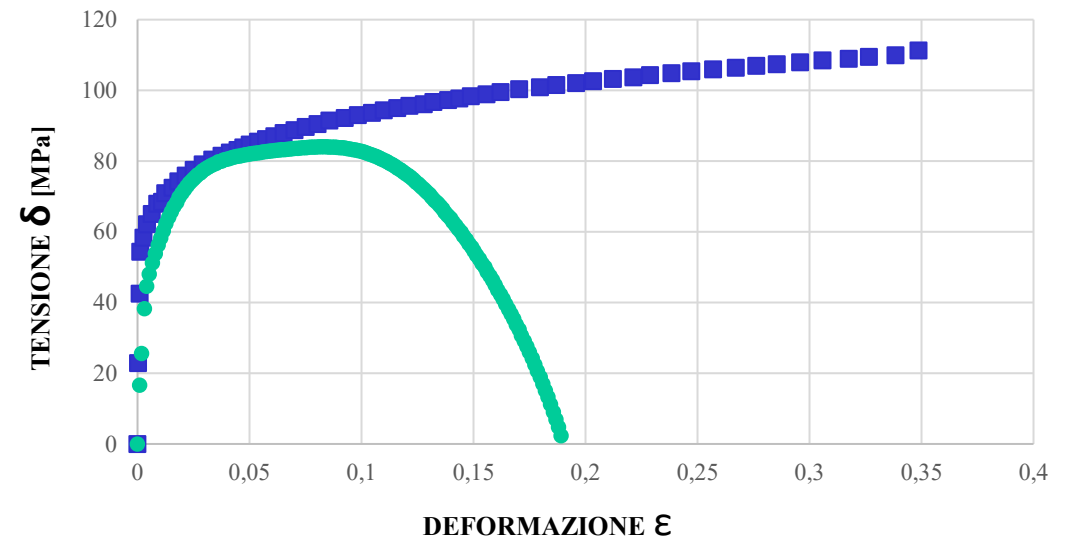
Dati forniti dal software Aramis, in particolare si ha deformazione x, deformazione y e la riduzione di spessore

Esempio dati relativo alla prova T 300 °C a velocità di deformazione 0,01 s⁻¹ :

Temperature	300					
Strain rate	0,01					
Rep.	2					
300 0,01 2						
Displacement mm	Force N	Eng. Strain	Eng. Stress Mpa	True Strain	True Stress Mpa	Transversal Strain
0	0	0	0	0	0	0
0,0306454	600,43	0,0010215	16,6786875	0,000375	22,85826161	-0,00113325
0,0578785	922,89	0,0019293	25,63587	0,00096775	42,49110087	-0,001217
0,0954104	1378,4	0,0031803	38,28898333	0,0013125	54,36115542	-0,00181675
0,126833	1606	0,0042278	44,6119768	0,00273775	58,37805688	-0,001647
0,1611681	1730	0,0053723	48,05562863	0,0043375	62,11337989	-0,00294725
0,2019263	1843,5	0,0067309	51,20965092	0,00651375	65,04223898	-0,003499
0,2424307	1938,6	0,008081	53,84889755	0,00884325	67,94033085	-0,004651
0,2791052	2025,2	0,0093035	56,25521807	0,01104275	68,45719507	-0,00606
0,3151646	2098,2	0,0105055	58,28197747	0,012463	70,88679679	-0,00666825
0,3478175	2170,1	0,0115939	60,28075374	0,01577925	72,46965206	-0,00727075
0,3824196	2245,2	0,0127473	62,36646522	0,0183375	74,2595429	-0,00829825
0,4215327	2307,9	0,0140511	64,10794779	0,02166525	75,89209463	-0,00951925
0,4569922	2364,4	0,0152331	65,67687239	0,02515375	77,56525253	-0,0113615
0,4915457	2416,9	0,0163849	67,13729989	0,02923425	79,09451579	-0,0130315
0,5263501	2459,5	0,017545	68,31863133	0,0334635	80,43642093	-0,01460725
0,5567036	2511,2	0,0185568	69,75478414	0,03761	81,55106385	-0,01659725
0,5967713	2552	0,0198924	70,88984613	0,04139225	82,46095807	-0,017765
0,631382	2589,3	0,0210461	71,92505338	0,0447245	83,12862351	-0,01980475
0,6656857	2624,7	0,0221895	72,90722263	0,047318	83,84626912	-0,02055025
0,7011319	2659	0,0233711	73,85983861	0,05025275	84,69843489	-0,022552
0,7387753	2688,2	0,0246258	74,67112275	0,05394525	85,47103473	-0,02357725
0,7739106	2713,1	0,025797	75,36475406	0,05749775	86,240323	-0,02466425
0,8066674	2740,1	0,0268889	76,11443386	0,0612385	87,0319168	-0,026571
0,8454915	2759,8	0,0281831	76,66008198	0,06531025	87,92585943	-0,02812775
0,8764458	2781,3	0,0292149	77,25936849	0,070194	88,79086183	-0,02951475
0,9136305	2800,4	0,0304544	77,78761943	0,0752235	89,64930249	-0,031571
0,9497605	2817,1	0,0316587	78,25299062	0,0805265	90,44731935	-0,033837
0,984768	2832,4	0,0328256	78,67707746	0,08574925	91,43409099	-0,036042



Curve tensione-deformazione ingegneristica e vera



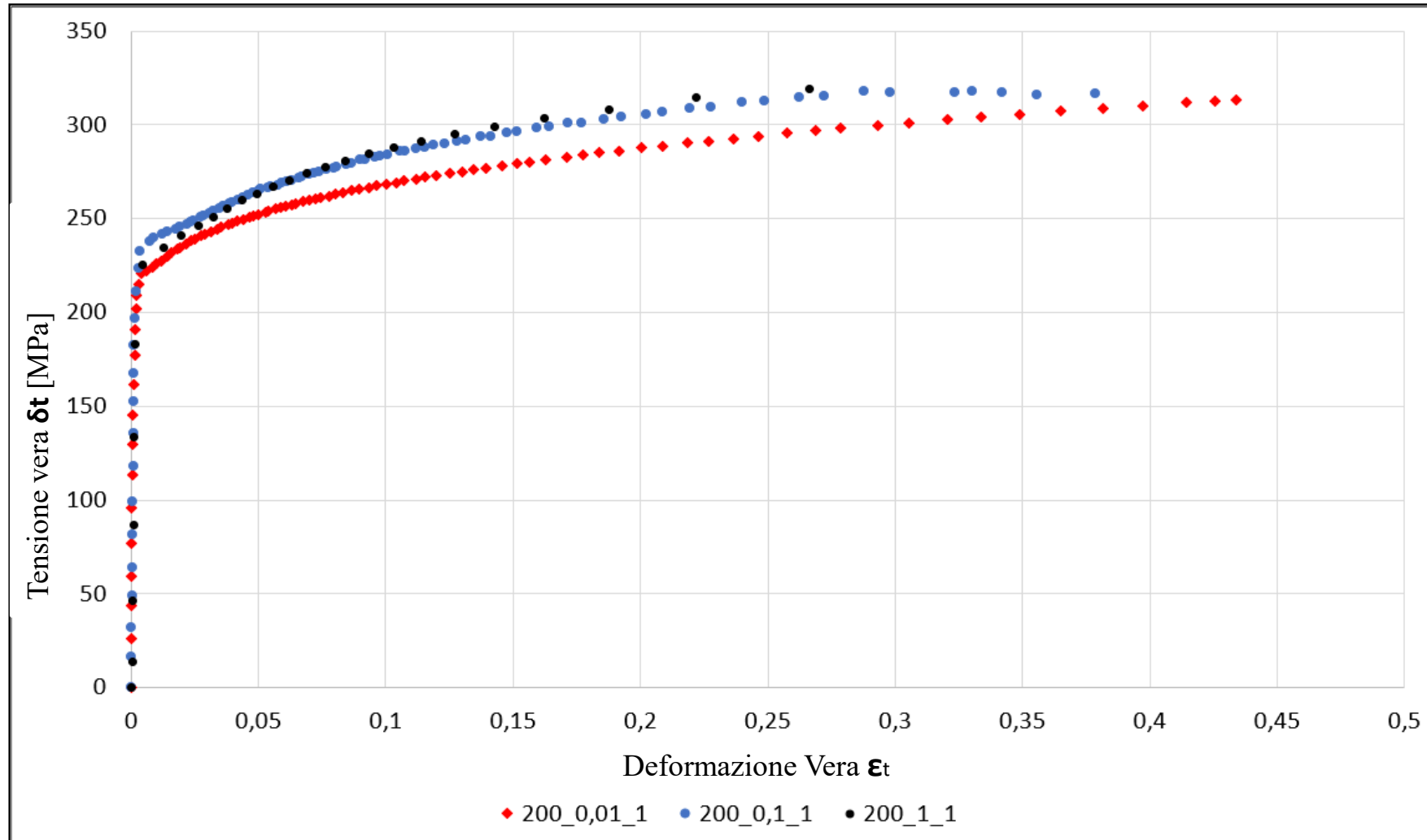
$$\text{TENSIONE INGEGNERISTICA: } \delta_{ing} = \frac{F}{A_0}$$

$$\text{TENSIONE VERA: } \delta_t = \frac{F}{A}$$

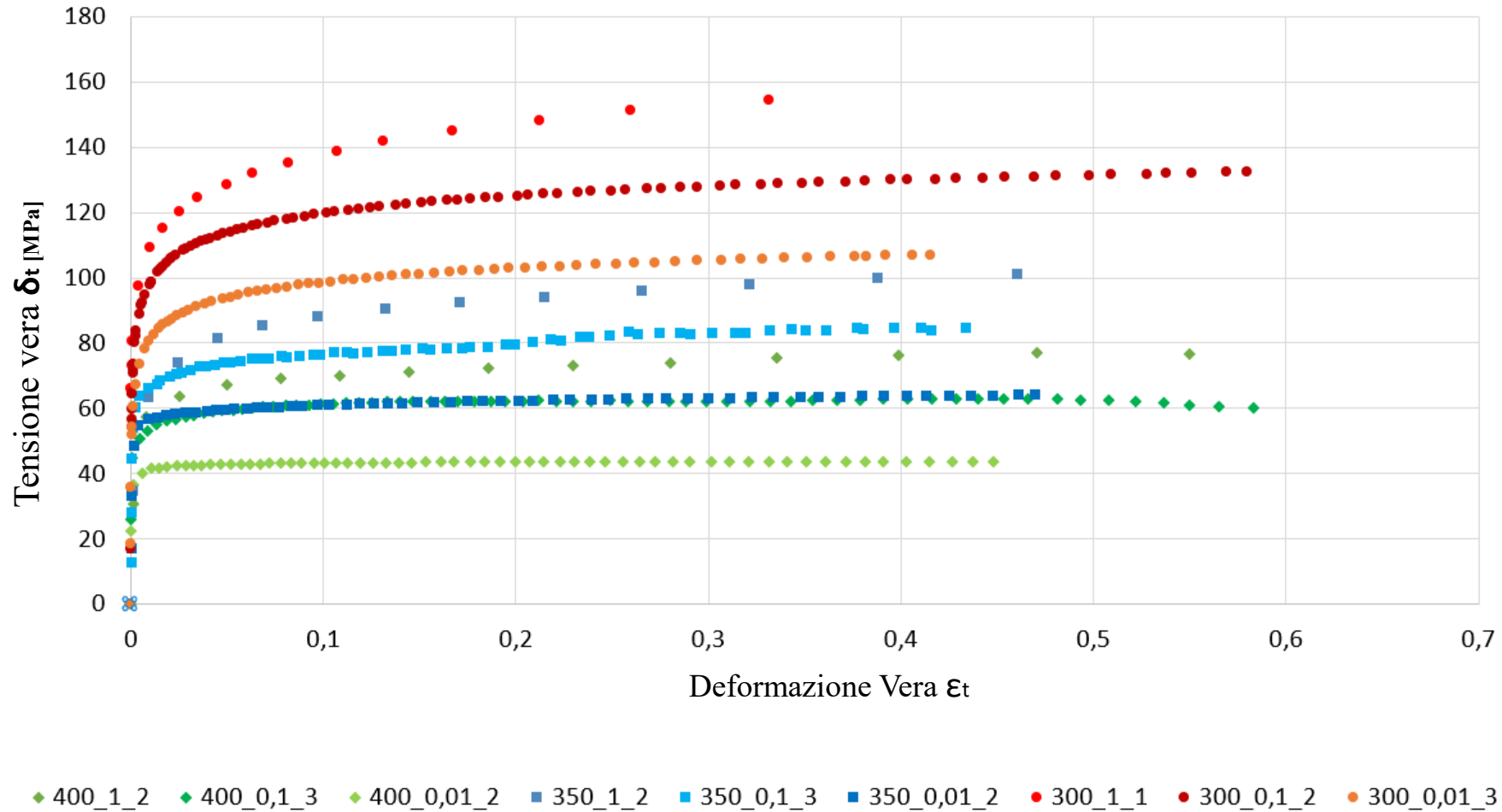
$$\text{DEFORMAZIONE INGEGNERISTICA: } \epsilon_{ing} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

$$\text{DEFORMAZIONE VERA: } \epsilon_t = \int_{L_f}^{L_0} \frac{dL}{L} = \ln \frac{L_0}{L_f} = \ln \left(\frac{L_0}{L_0 - \Delta L} \right)$$

CURVE TENSIONE-DEFORMAZIONE REALI



CURVE TENSIONE-DEFORMAZIONE REALI



Le prove di trazione sono state eseguite a caldo, o a tiepido, e di fatto si è ottenuto:

- Aumento di allungamento a rottura
- Aumento di duttilità del provino
- Aumento dell'influenza della velocità di deformazione
- Diminuzione della resistenza a trazione
- Diminuzione della tensione di snervamento e diminuzione del coefficiente di snervamento n
- Diminuzione del modulo elastico E (o modulo di Young)

Le curve tensione-deformazione reale ottenute hanno soddisfatto i seguenti punti:

- Curve più elevate, dimostrando un maggior incrudimento, in concordanza all'aumento di temperatura
- All'aumentare della velocità di deformazione aumenta la tensione di flusso, di fatto le curve si spostano verso l'alto
- All'aumentare della temperatura, a parità di velocità di deformazione, diminuisce il valore della tensione di flusso mentre aumentano tenacità e duttilità
- Velocità di deformazione e aumento di temperatura hanno effetto opposto sul comportamento del materiale

**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE**