



Caratteristiche e resistenza delle attrezzature speleo alpinistiche

Francesco Salvatori

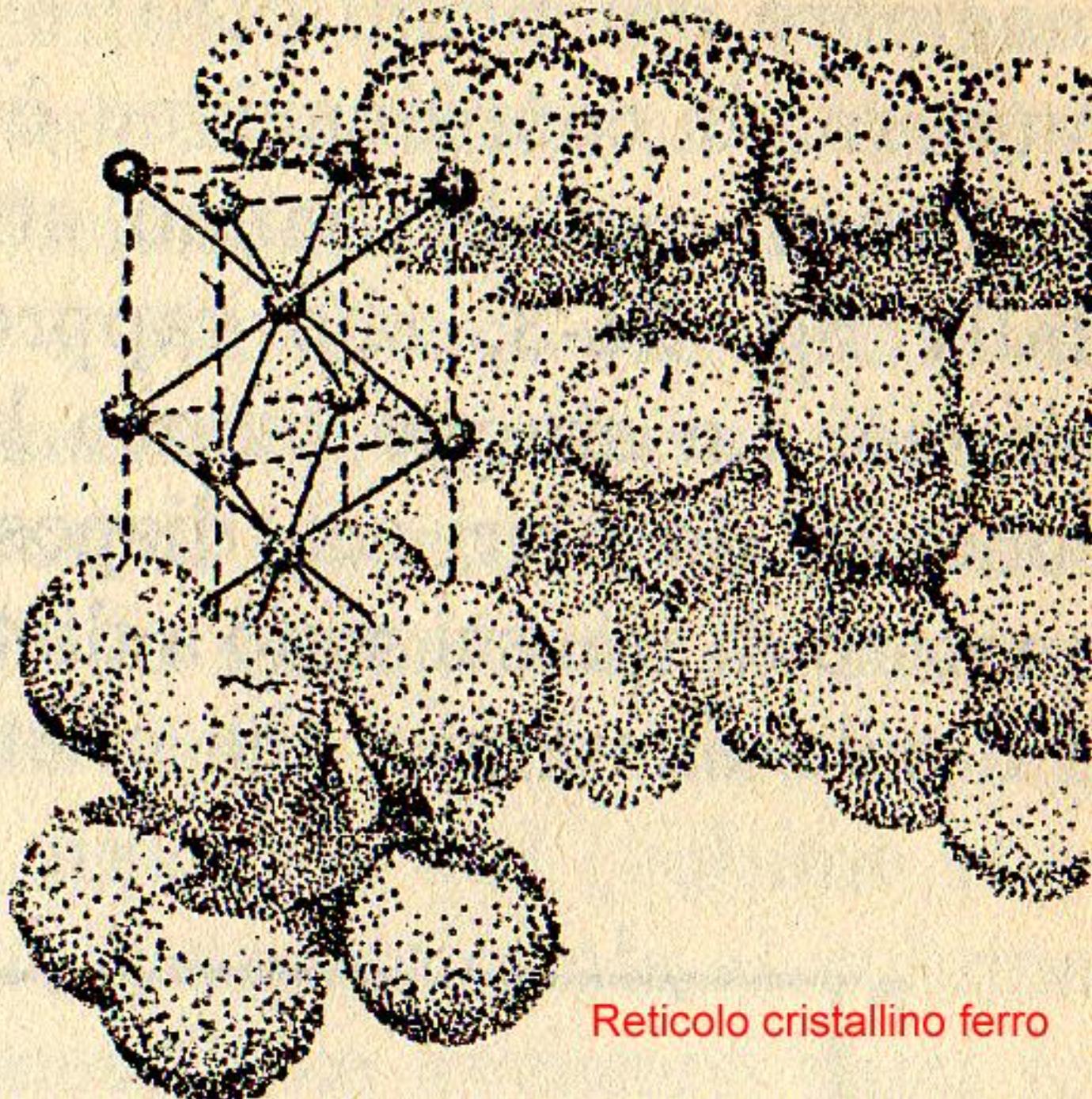
Marco Menichetti



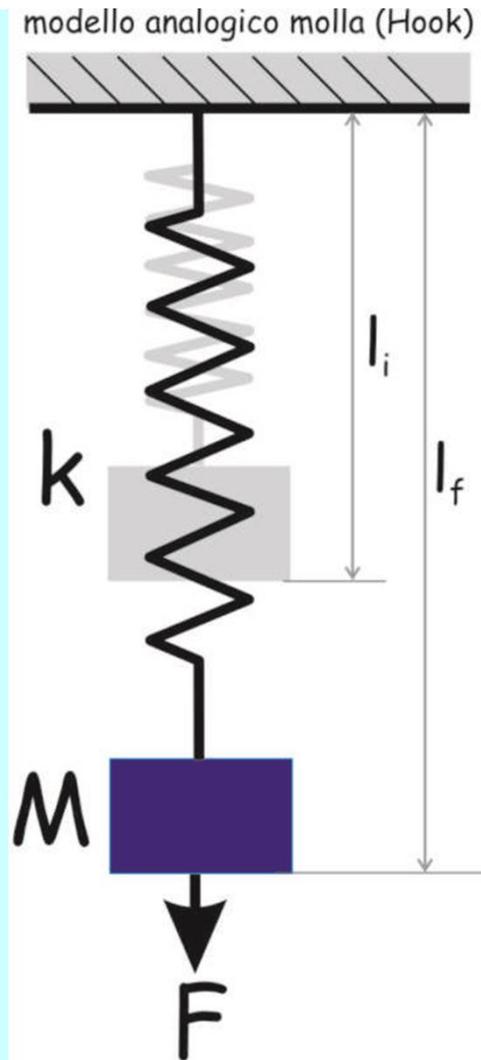
**Un corpo di 80
kg dopo un 1 m di
caduta genera
758 J di energia**

Deformazioni:

- elastiche**
- reversibili**
- lineari**



Reticolo cristallino ferro



Legge di Hooke $\sigma = E \varepsilon$

Legge di Hook (barre)

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

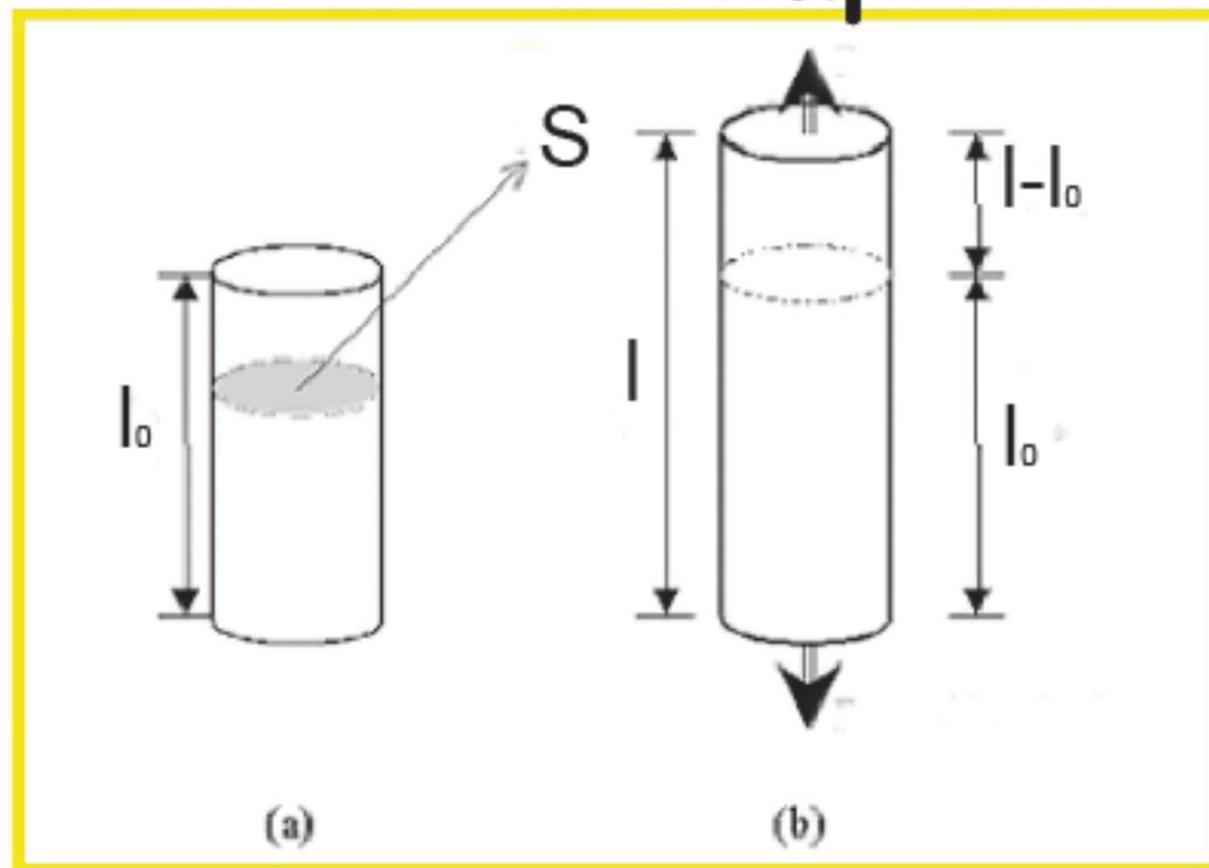
Sforzo (stress) $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Deformazione (strein) adimensionale

Materiali elastici e piccole deformazioni

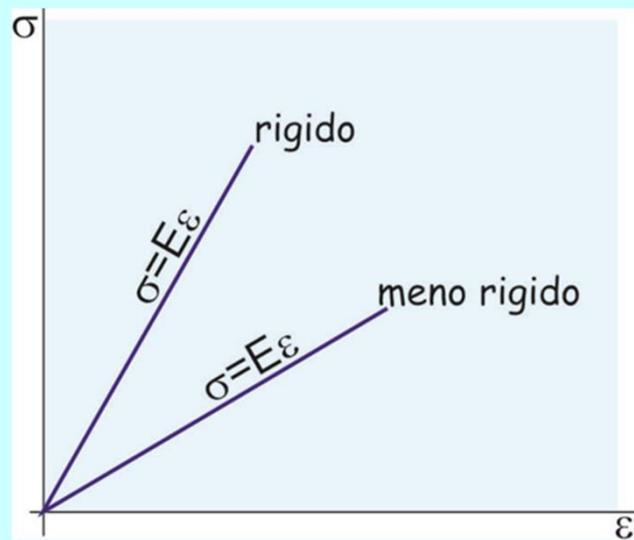
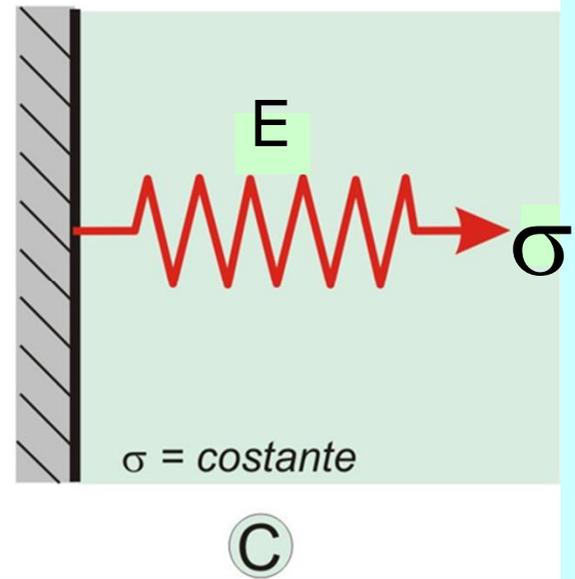
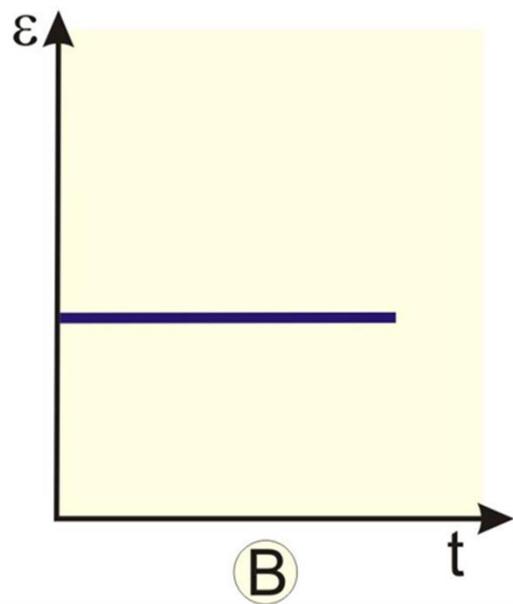
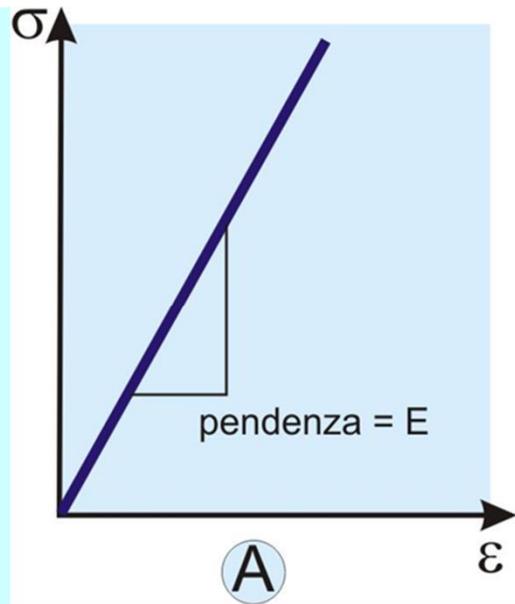
Trazione e compressione



$$\sigma = \frac{F}{S}$$

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

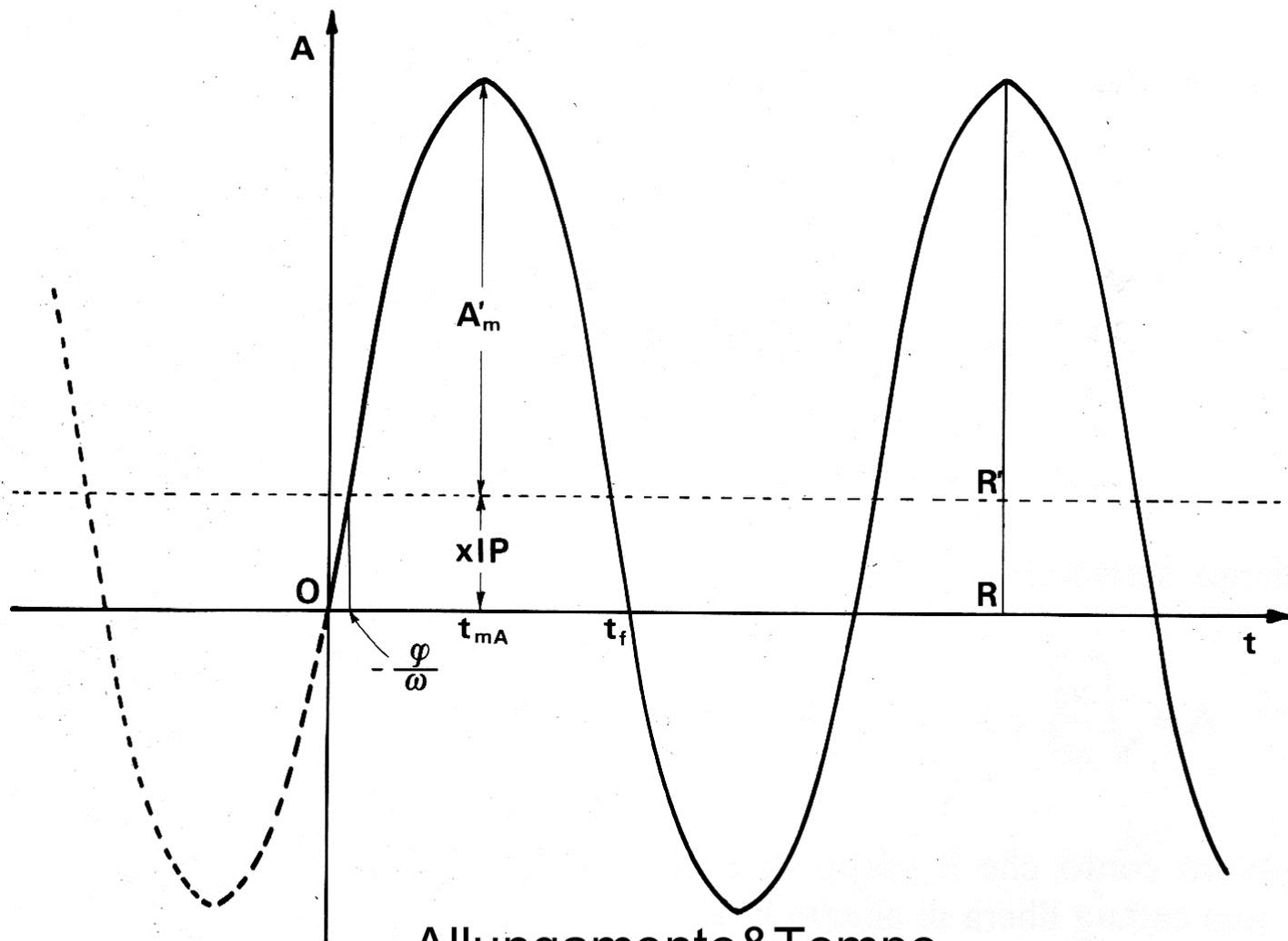
$$\varepsilon\% = \left(\frac{l - l_0}{l_0} \right) * 100$$



$$F = \sqrt{P^2 + \frac{2hP}{Xl}} \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi) + P$$

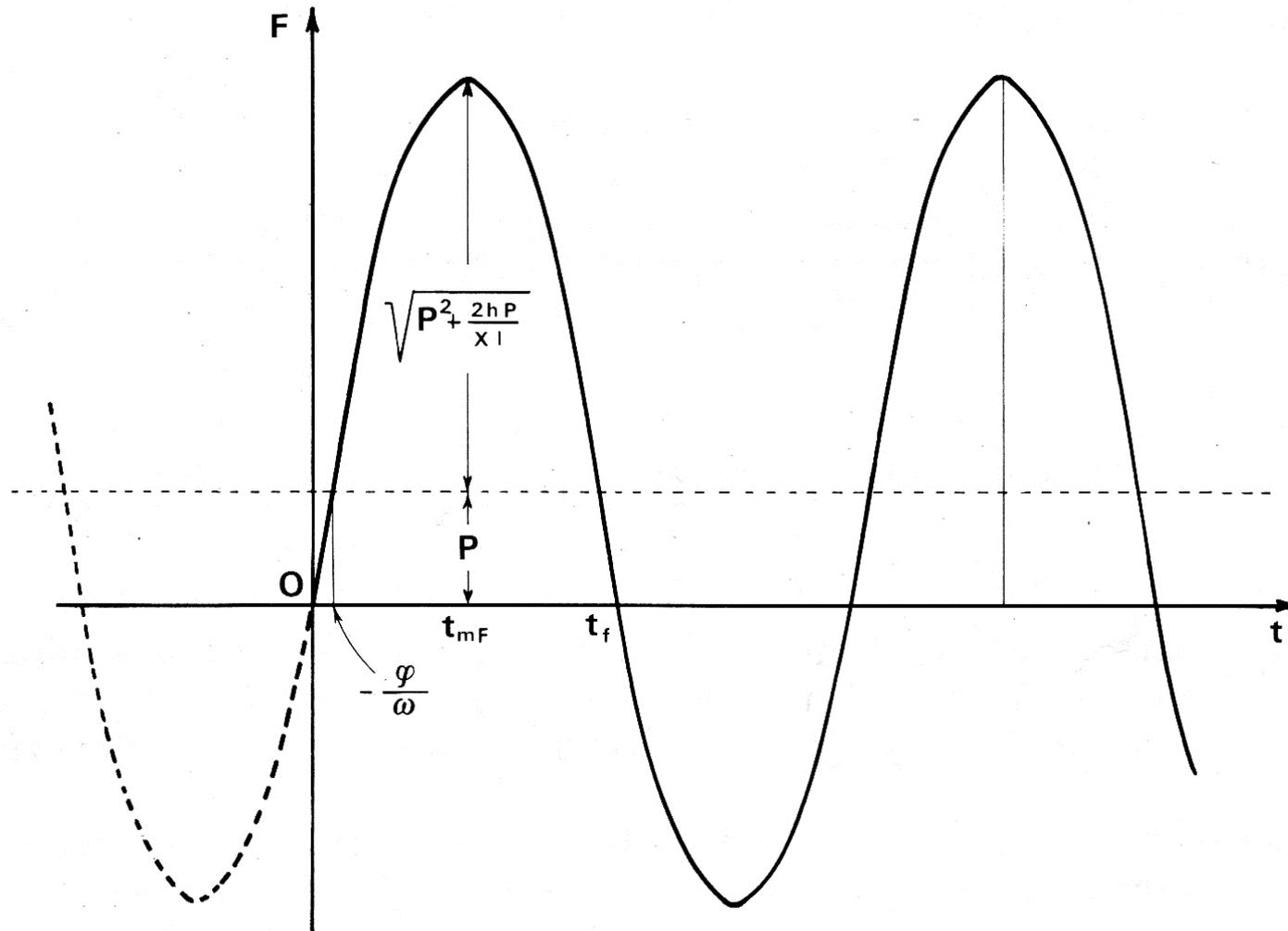
$$\text{sen}\omega = \frac{P}{\sqrt{P^2 + \frac{2hP}{Xl}}}$$

Fig. 2



Allungamento & Tempo

Fig. 5

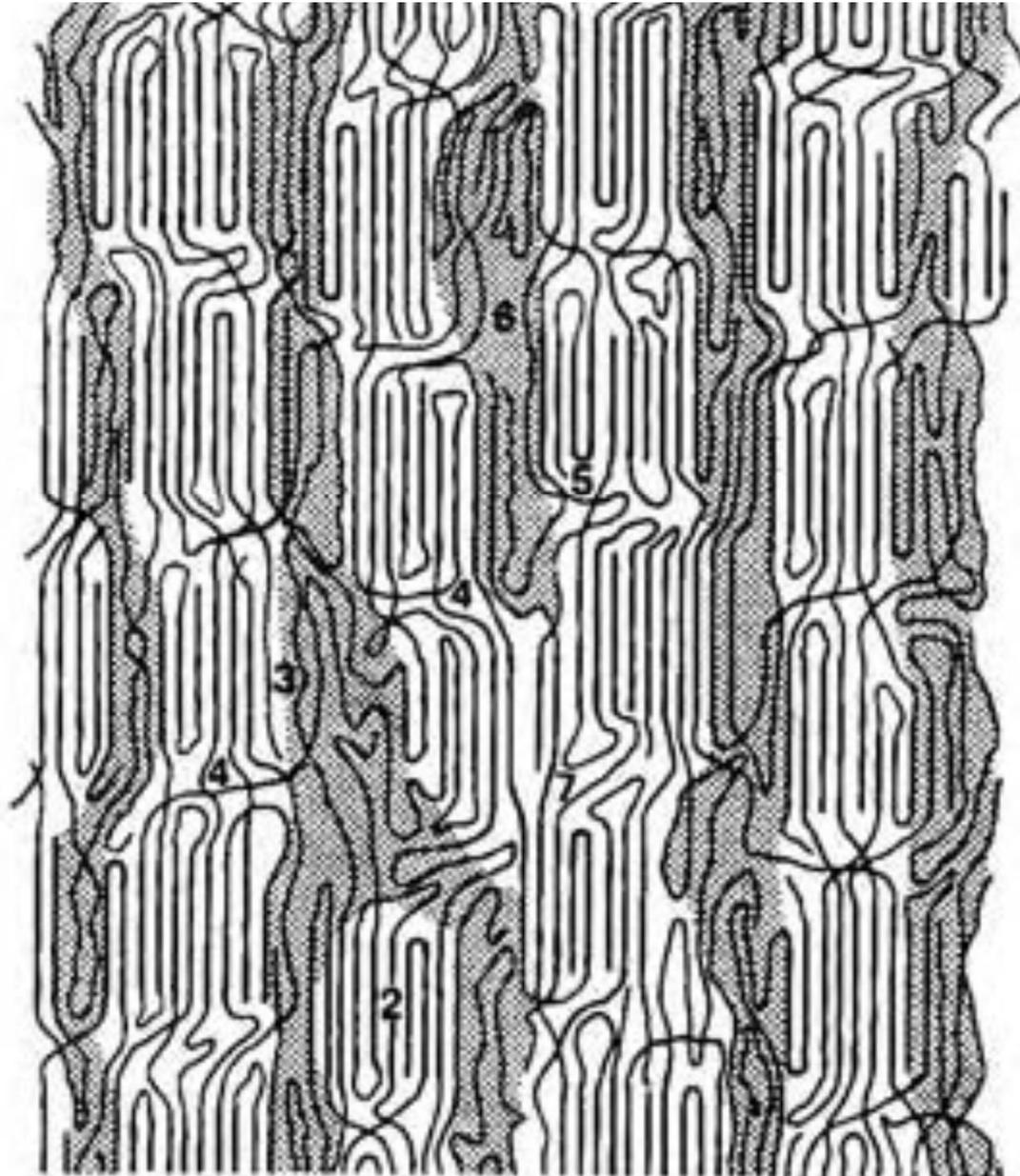


Forza/Tempo

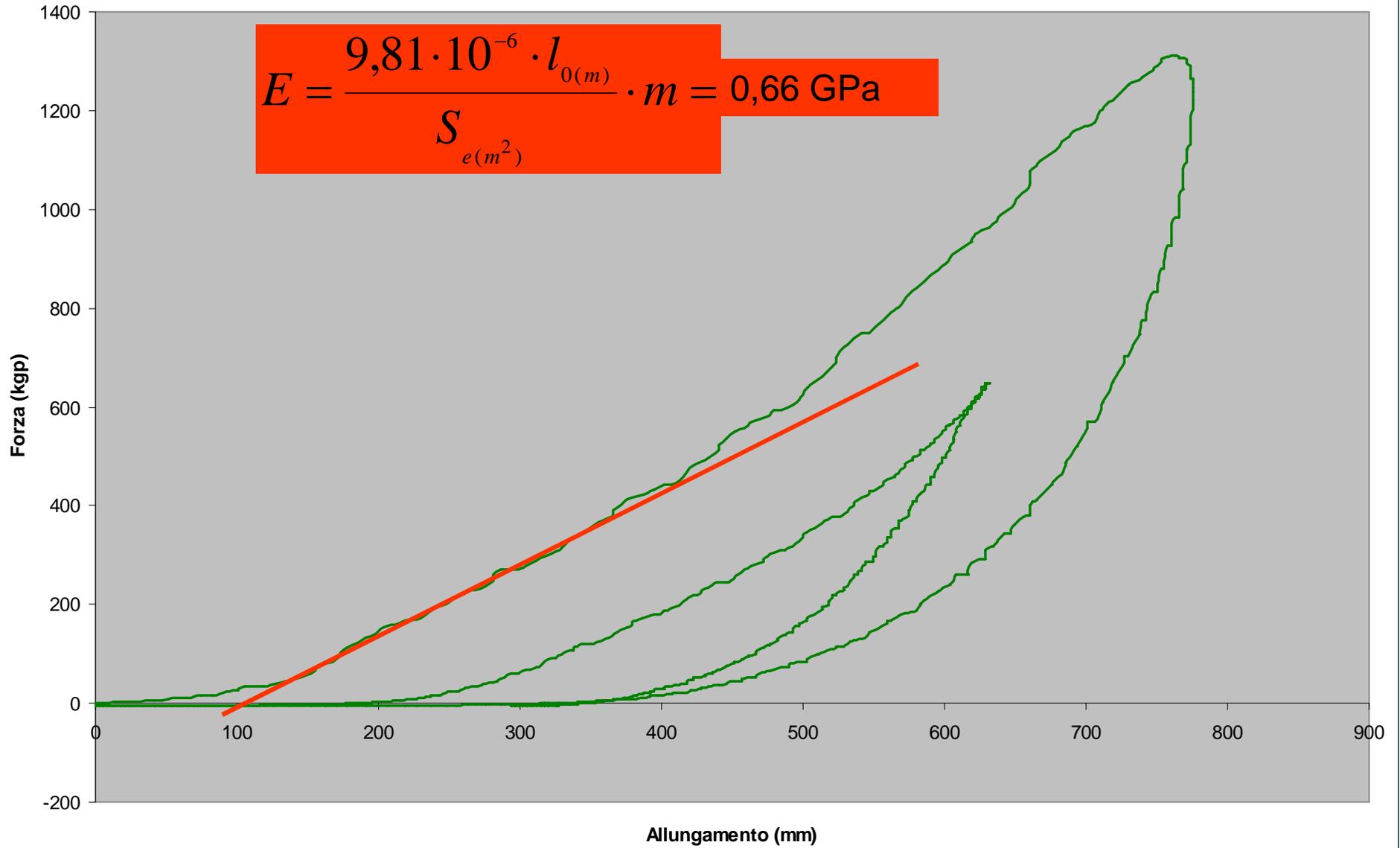
Deformazioni:

- viscoso**
- plastiche**
- irreversibili**
- non lineari**

Struttura semicristallina di un filo elementare di un polimero di corda

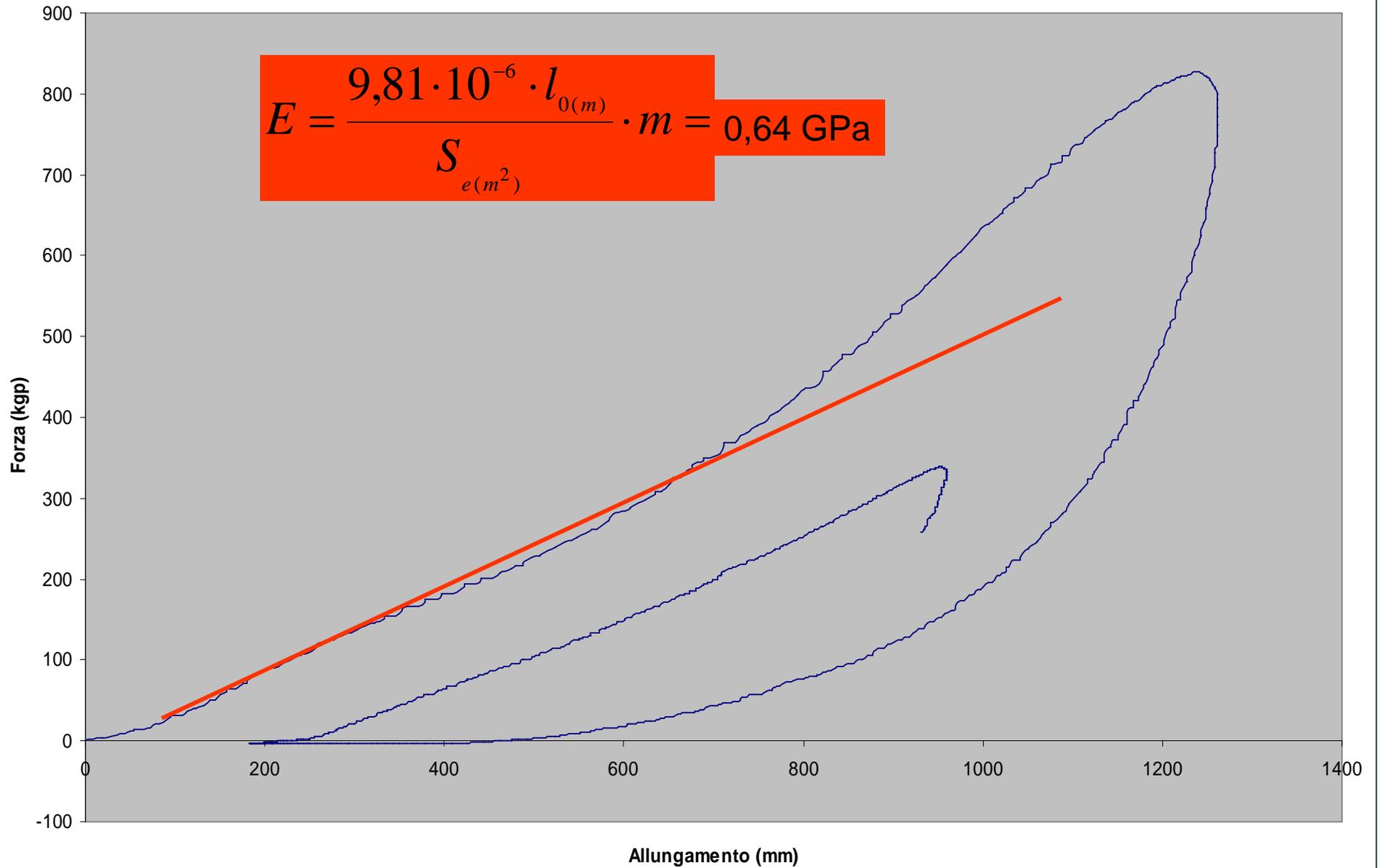


Modulo Ultima 11 mm Nuova H200 cm Choc 02



Modulo Booster 9,7 mm Nuova H200 cm Choc 02

$$E = \frac{9,81 \cdot 10^{-6} \cdot l_{0(m)}}{S_{e(m^2)}} \cdot m = 0,64 \text{ GPa}$$



Dati ricavabili dai test



**Come ricavare i dati utili
per conoscere il
comportamento dei
materiali?**

**Modelli teorici o test
sperimentali?**

Catena di sicurezza

***Longe 30-40 cm**
deformabile

Roccia

Non deformabile



Tassello

Rigido 1 cm



Bullone

Rigido 1 cm



Placca/anello

Rigido 5 cm



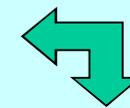
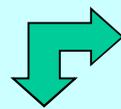
Moschettone

Rigido 10 cm



CORDA

Deformabile >> 1 m



Imbracco

Bloccante*

Discensore*



CORPO



Imbracco



Imbracco

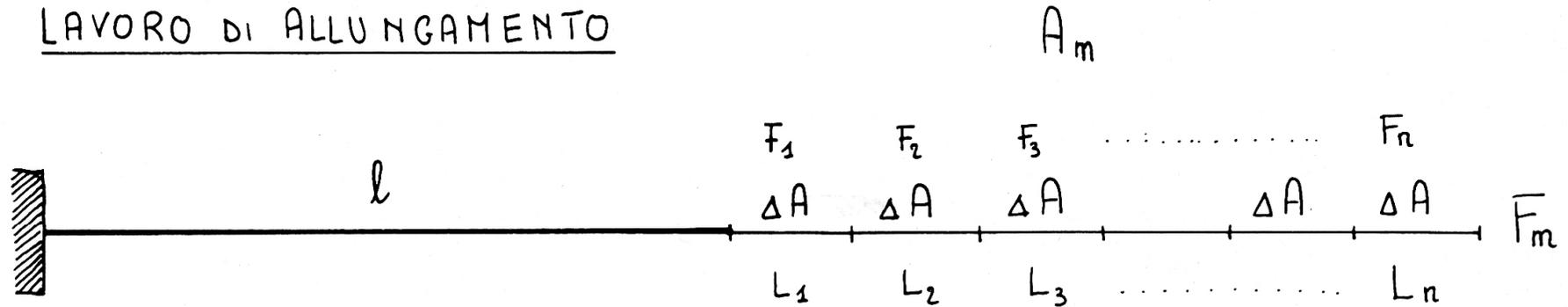


CORPO



CORPO

LAVORO DI ALLUNGAMENTO



$$L = \sum_n^1 \bar{F}_n \cdot \Delta A = F_1 \cdot \Delta A + F_2 \cdot \Delta A + \dots + F_n \cdot \Delta A$$

$$L = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_n^1 F_n \cdot \Delta A = \int_{F_m}^0 F \cdot dA$$

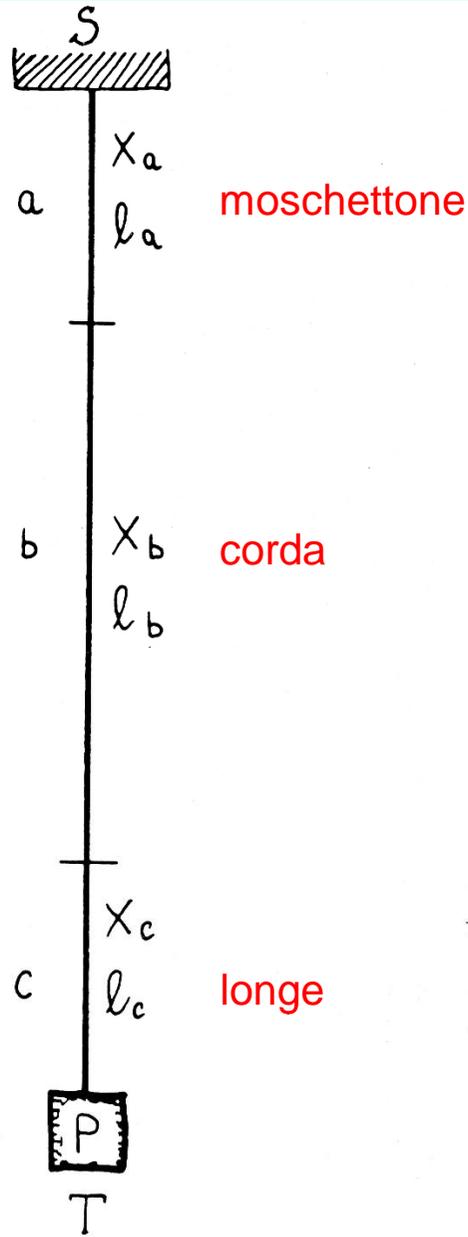
$$L = \frac{1}{2} \times l \times F_m^2$$

Lavoro Totale di Allungamento

X coefficiente di elasticita

l lunghezza campione a riposo

F_m^2 forza massima



$$L = \frac{1}{2} (X'_a + X'_b + X'_c) F_m^2$$

$$X'_s = X'_a + X'_b + X'_c$$

$$L = \frac{1}{2} X'_s F_m^2$$

$$X' = X \cdot l \quad \text{COEFFICIENTE EL. RELATIVO}$$

X coefficiente di elasticita

l lunghezza campione a riposo

Elementi elastici in serie

Fattori che influenzano le caratteristiche e il comportamento di qualsiasi materiale

**Struttura atomico-
molecolare**

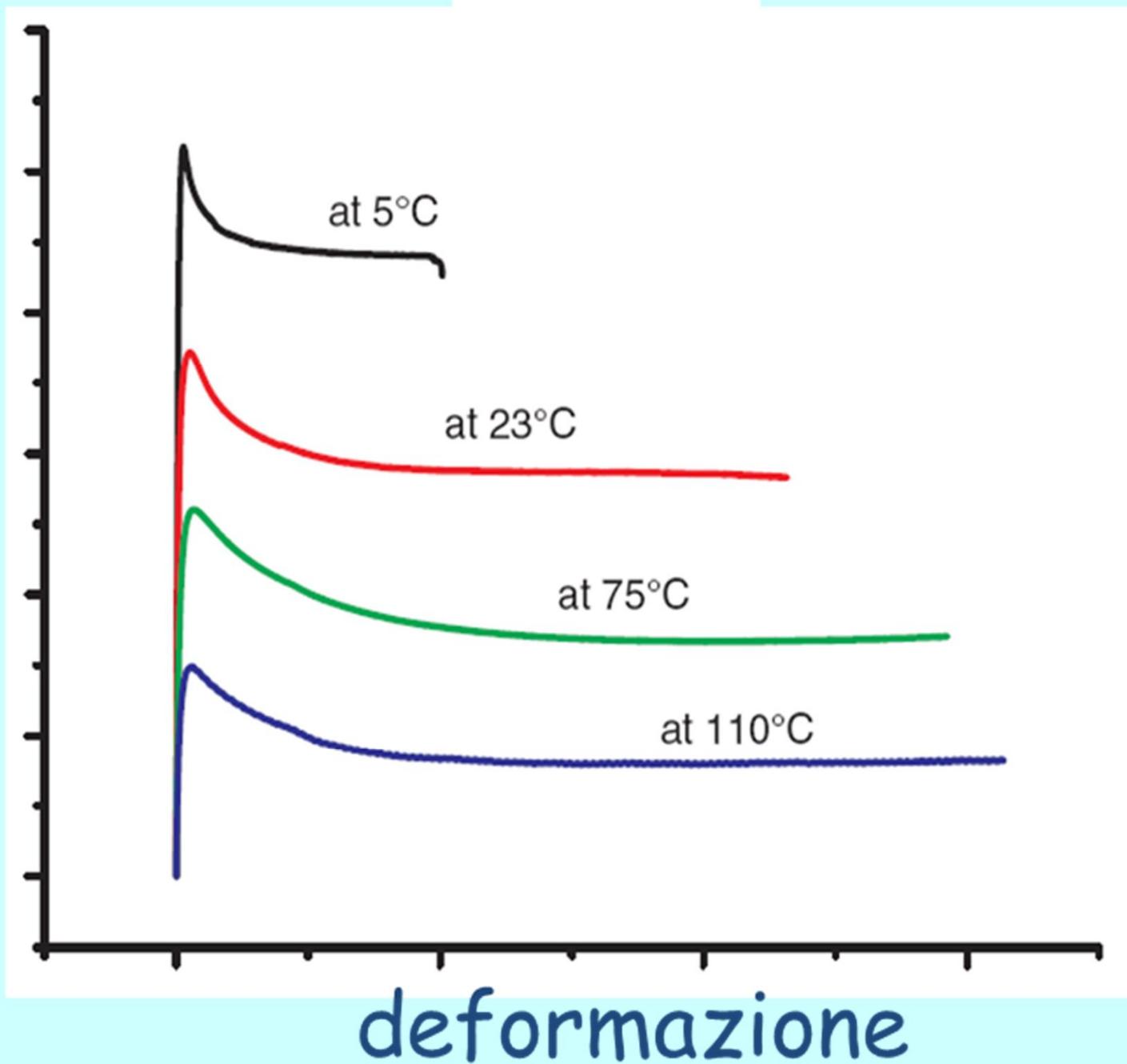
Temperatura

Velocità di deformazione

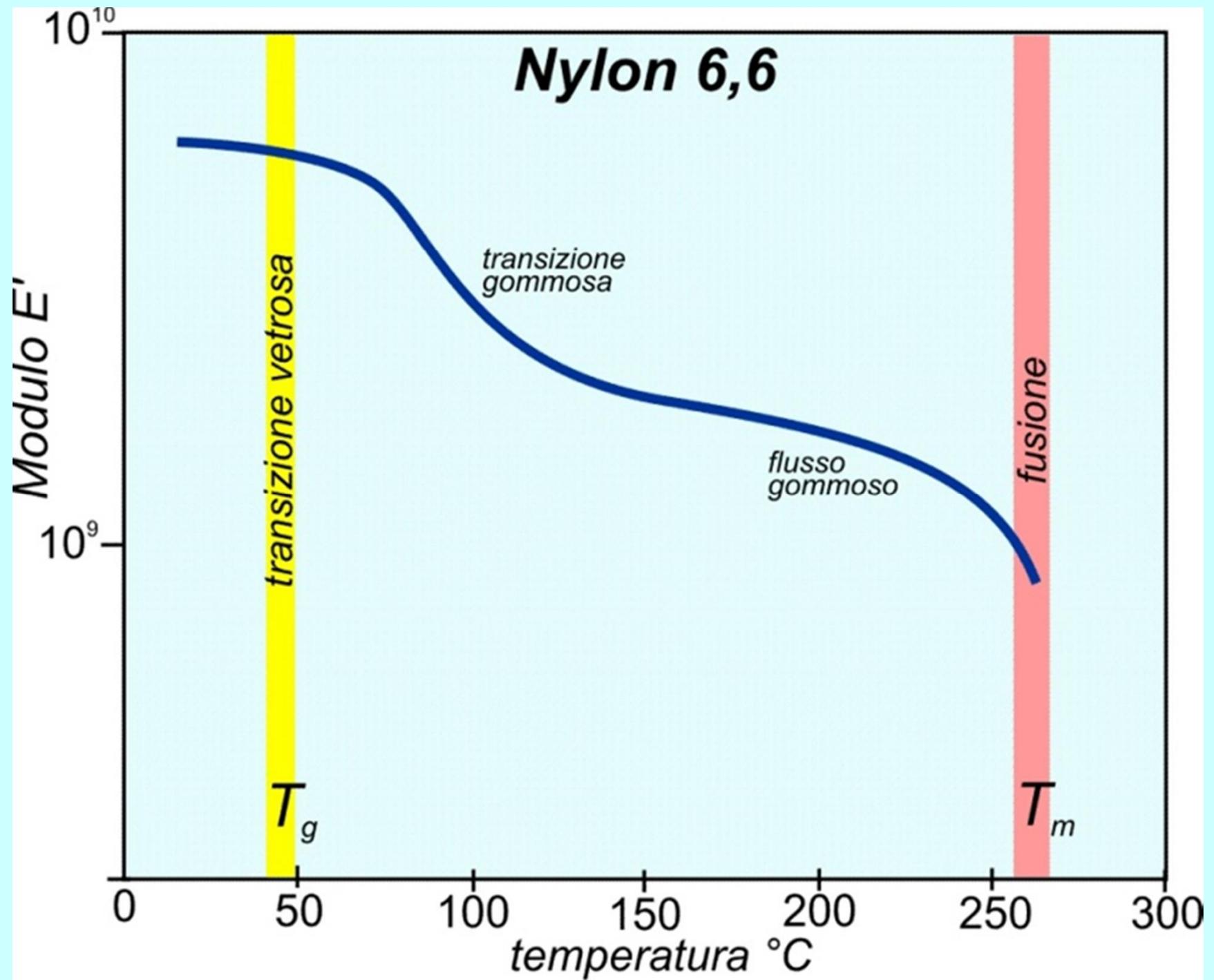
1

**Effetto
temperatura**

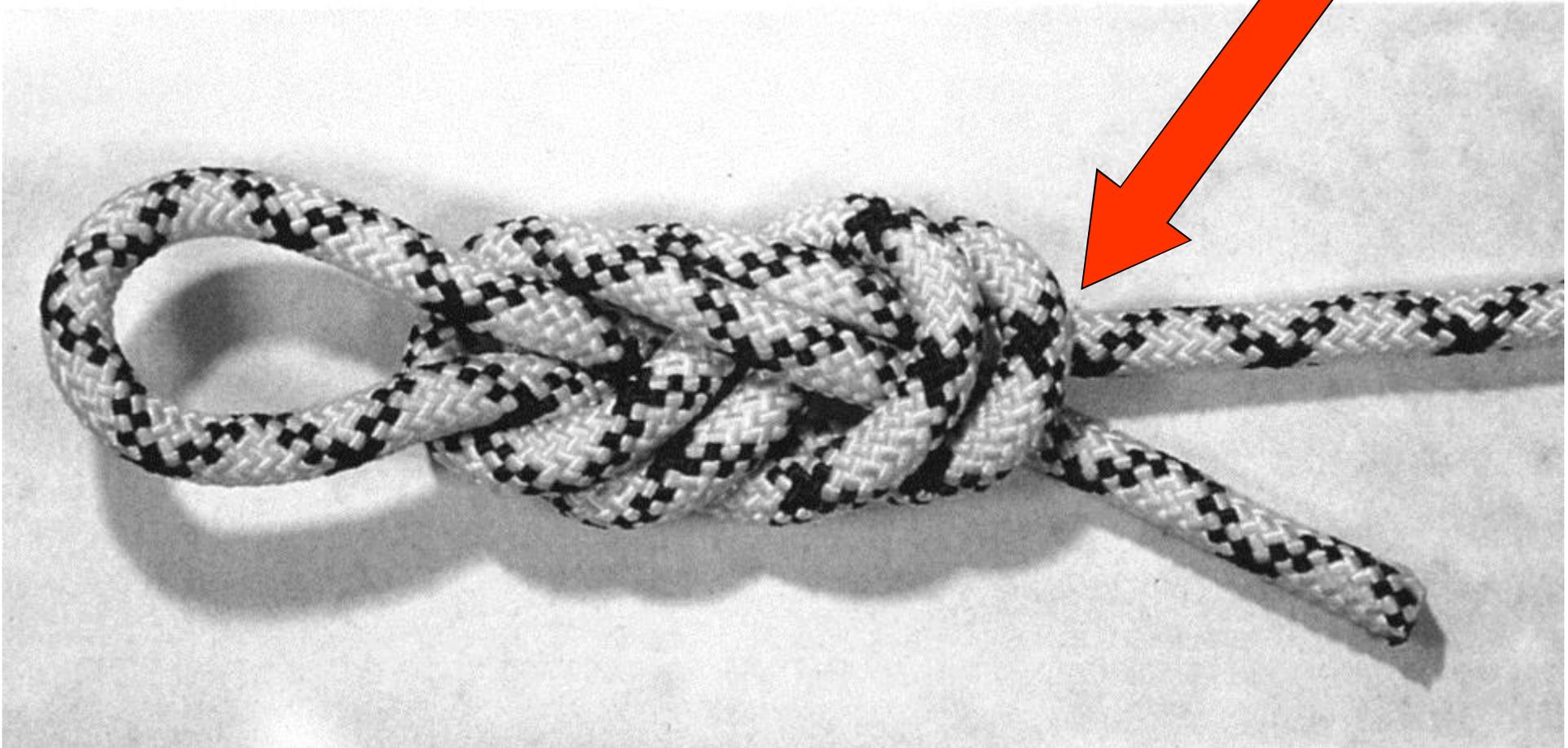
sforzo



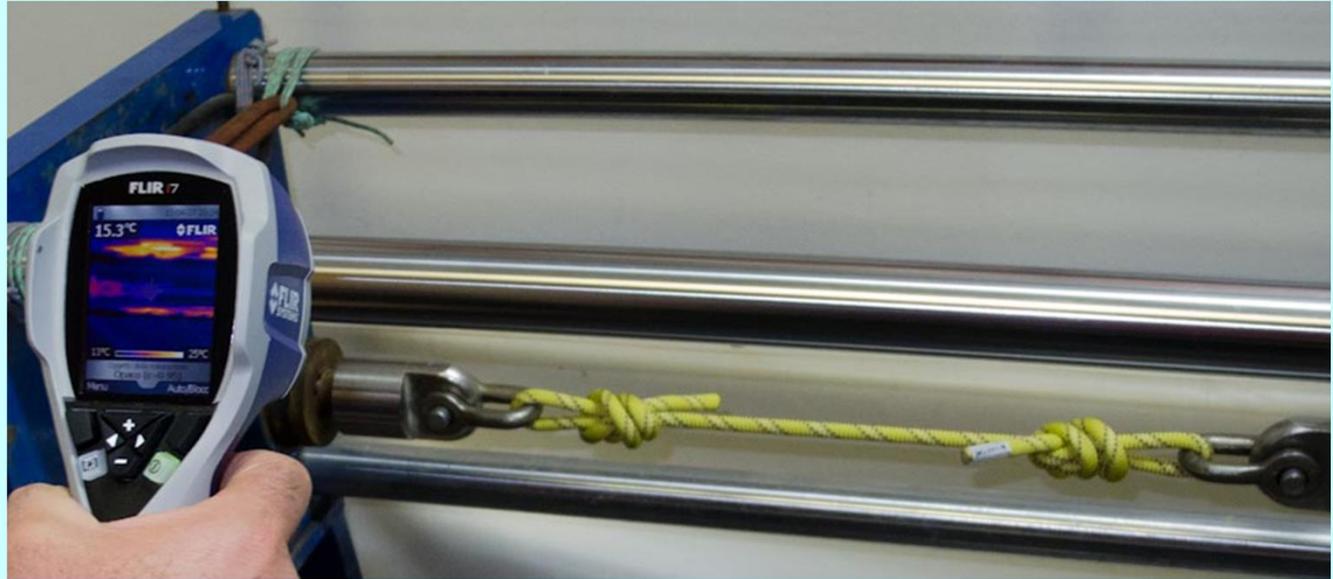
deformazione



Punto di rottura

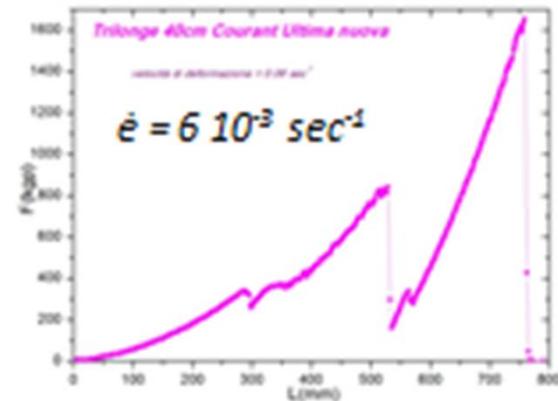
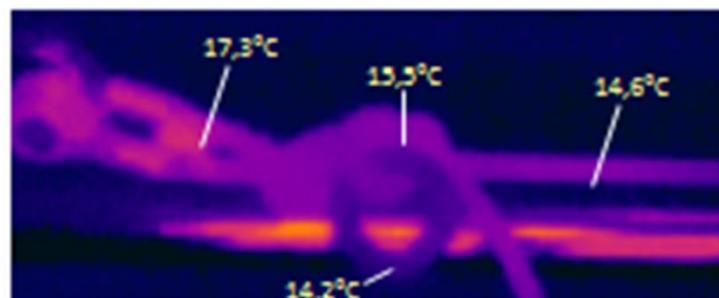


| TIPO DI NODO ancoraggio | E 10 | | E 9 | | E 8 | | B 10,2 | | B 9 | | MEDIA % |
|---|------|-----|------|-----|------|-----|--------|-----|------|-----|------------|
| | Frn | % | Frn | % | Frn | % | Frn | % | Frn | % | |
| Senza nodi | 2715 | 100 | 2400 | 100 | 1673 | 100 | 2655 | 100 | 1857 | 100 | 100 |
| Guida d. sot. | 1956 | 72 | 1502 | 63 | 1067 | 64 | 1461 | 55 | 1075 | 58 | 62 |
| Guida d. sop. | 2079 | 77 | 1498 | 62 | 1023 | 61 | 1355 | 51 | 990 | 53 | 61 |
| Guida con frizione d. sot. | 1986 | 73 | 1590 | 66 | 1094 | 65 | 1481 | 56 | 1103 | 59 | 64 |
| Guida con frizione d. sop. | 1913 | 70 | 1414 | 59 | 1156 | 69 | 1396 | 53 | 1062 | 57 | 62 |
| Guida con frizione cattiva esecuzione | 2023 | 74 | 1542 | 64 | 1164 | 70 | 1462 | 55 | 1069 | 58 | 64 |
| Nove d. sot. | 2239 | 82 | 1811 | 75 | 1196 | 71 | 1859 | 70 | 1232 | 66 | 73 |
| Nove di sop. | 2421 | 89 | 1648 | 69 | 1207 | 72 | 2025 | 76 | 1170 | 63 | 74 |
| Bolina capo interno | 1949 | 72 | 1643 | 68 | 1138 | 68 | 1711 | 64 | 1126 | 61 | 67 |
| Bolina capo esterno | 1913 | 70 | 1598 | 67 | 1145 | 68 | 1504 | 57 | 1118 | 60 | 64 |
| Inglese combaciante | 1900 | 70 | 1333 | 55 | 1027 | 61 | 1395 | 52 | 1105 | 59 | 59 |
| Inglese non combaciante | 1769 | 66 | 1440 | 60 | 940 | 56 | 1403 | 53 | 1044 | 56 | 58 |
| Cravatta d. sot. | 1923 | 71 | 1466 | 61 | 1048 | 62 | 1415 | 53 | 1075 | 58 | 61 |
| Cravatta d. sop. | 1923 | 71 | 1496 | 62 | 1196 | 71 | 1453 | 55 | 1148 | 62 | 64 |

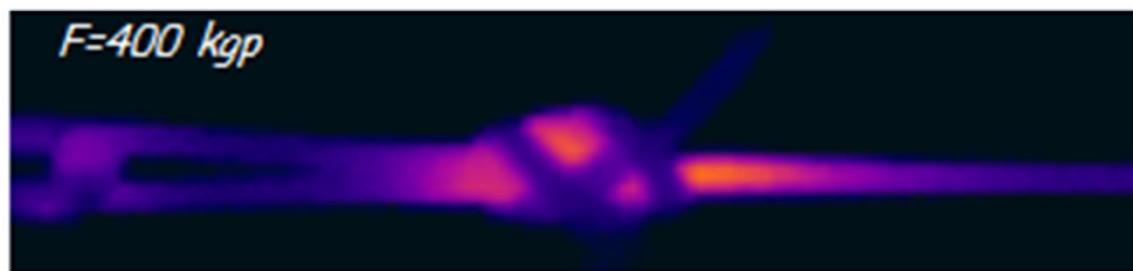


Trilonge Courant Ultima $\phi 10\text{mm}$

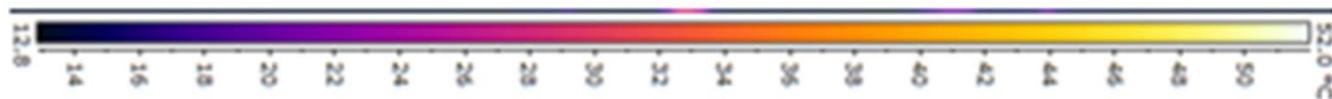
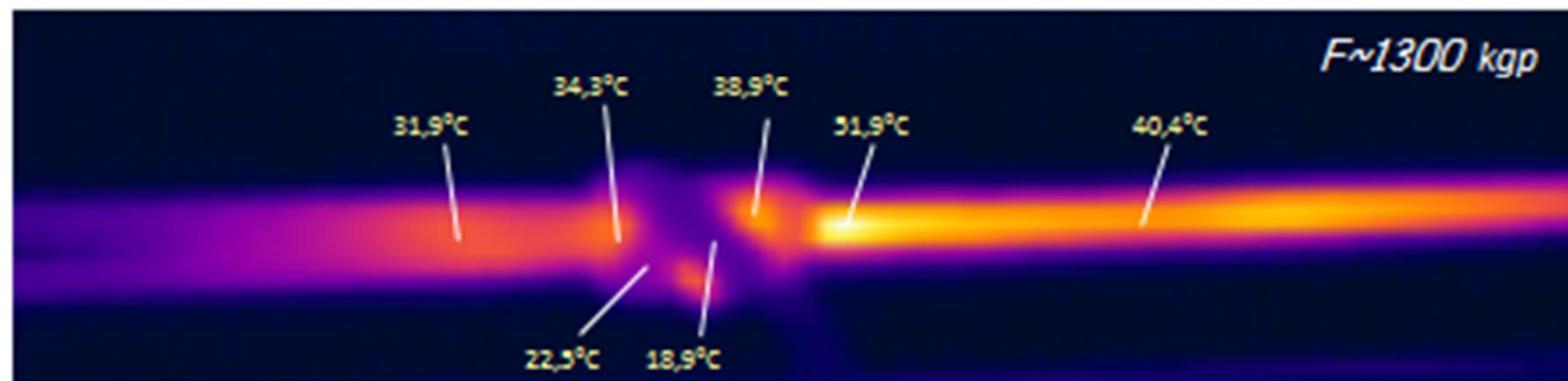
$F=0\text{ kgp}$



$F=400\text{ kgp}$

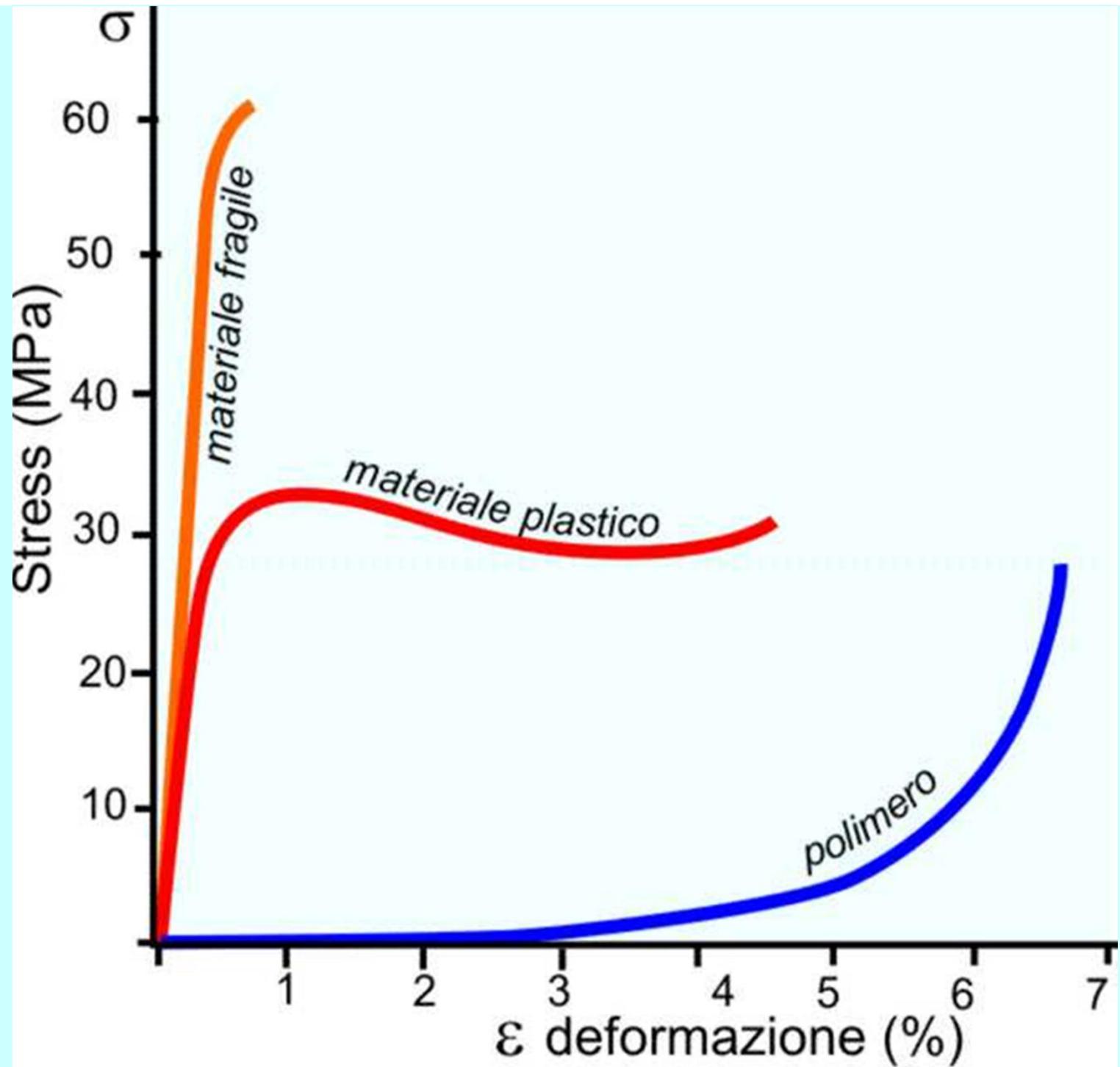


$F \sim 1300\text{ kgp}$



2

**Struttura
atomico-
molecolare**



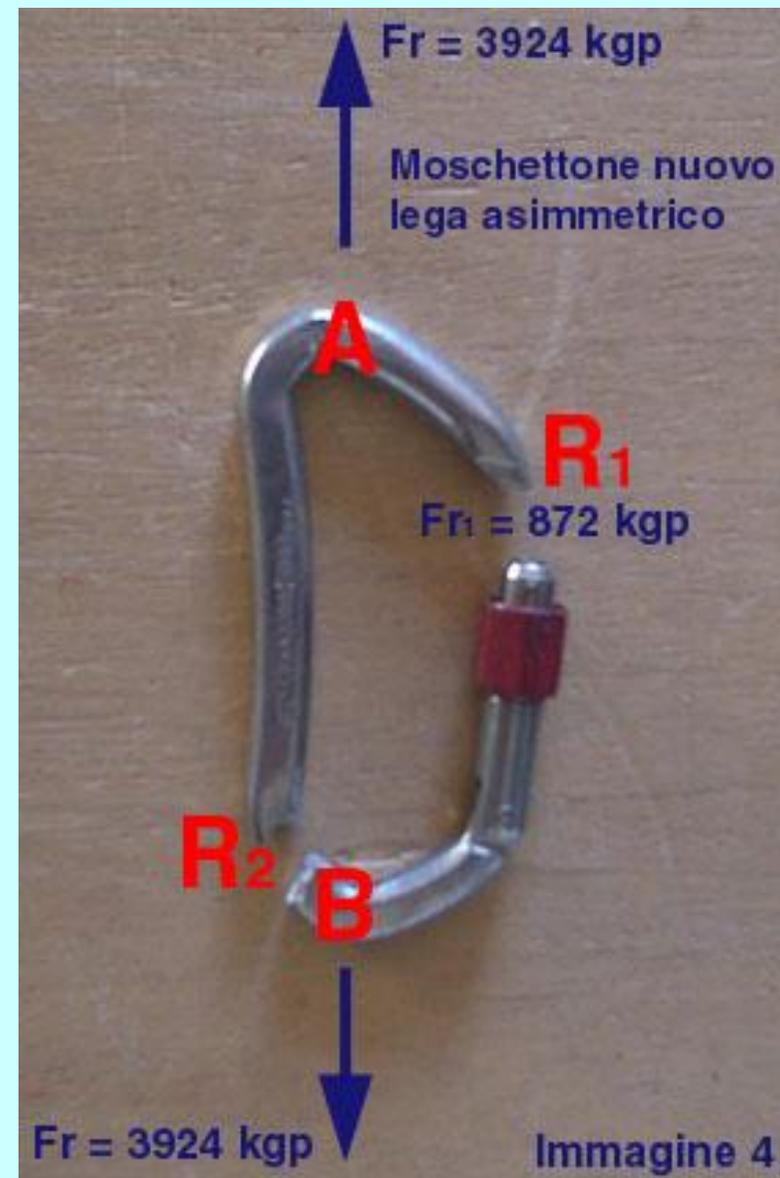
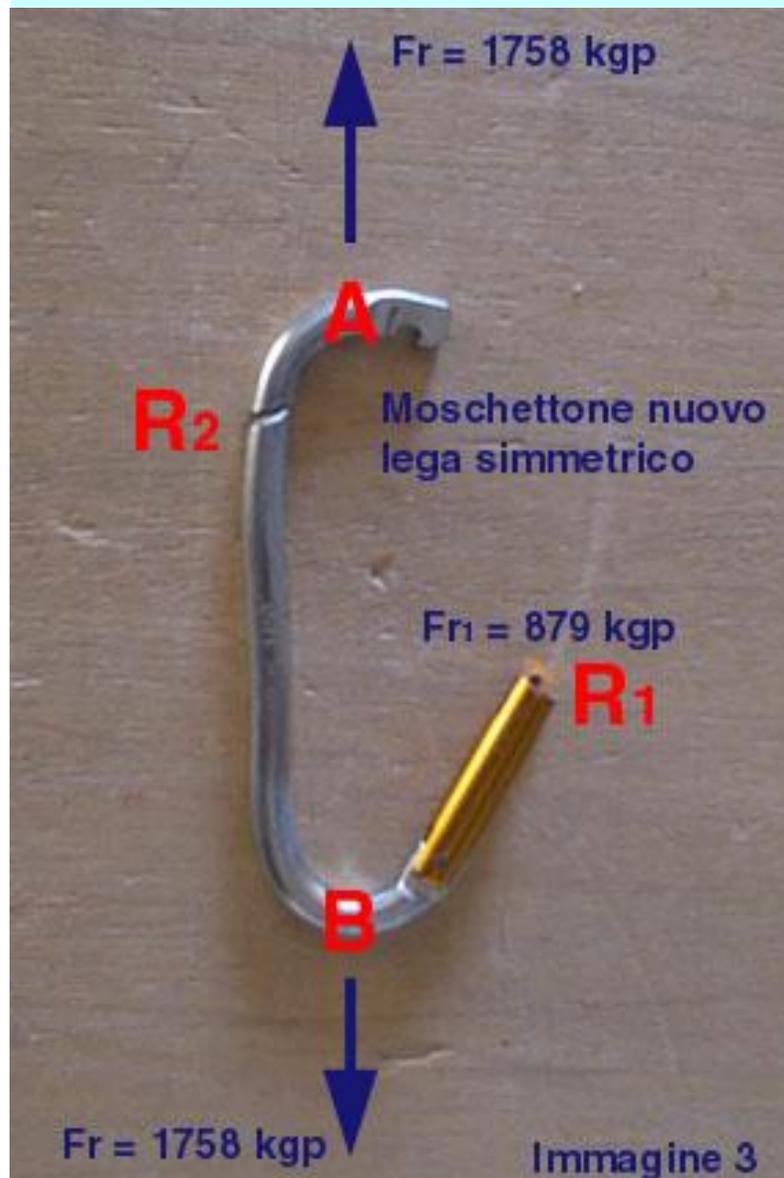
1

**Corrosione
moschettoni**

Rottura di un moschettone nuovo

Simmetrico

Asimmetrico



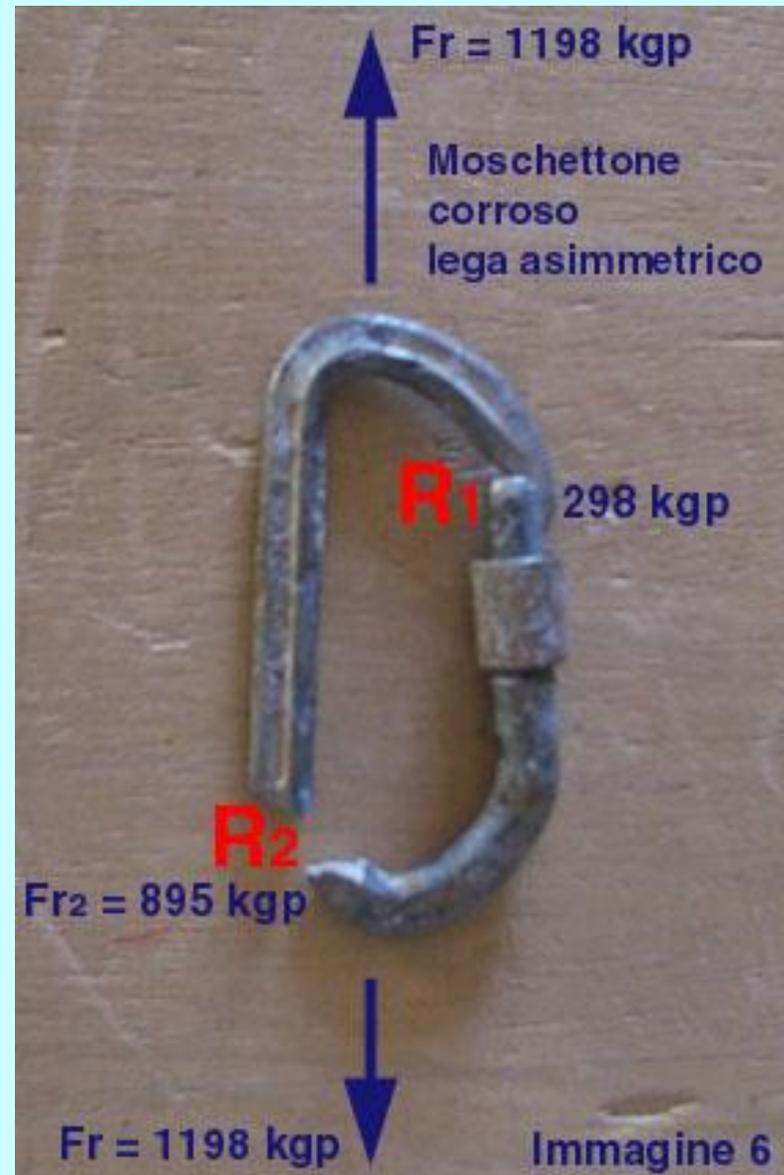
Rottura di moschettoni in lega usati e corrosi



Carico di rottura di un moschettone in lega **usato e corrosivo**

**Carico di rottura
da nuovo**

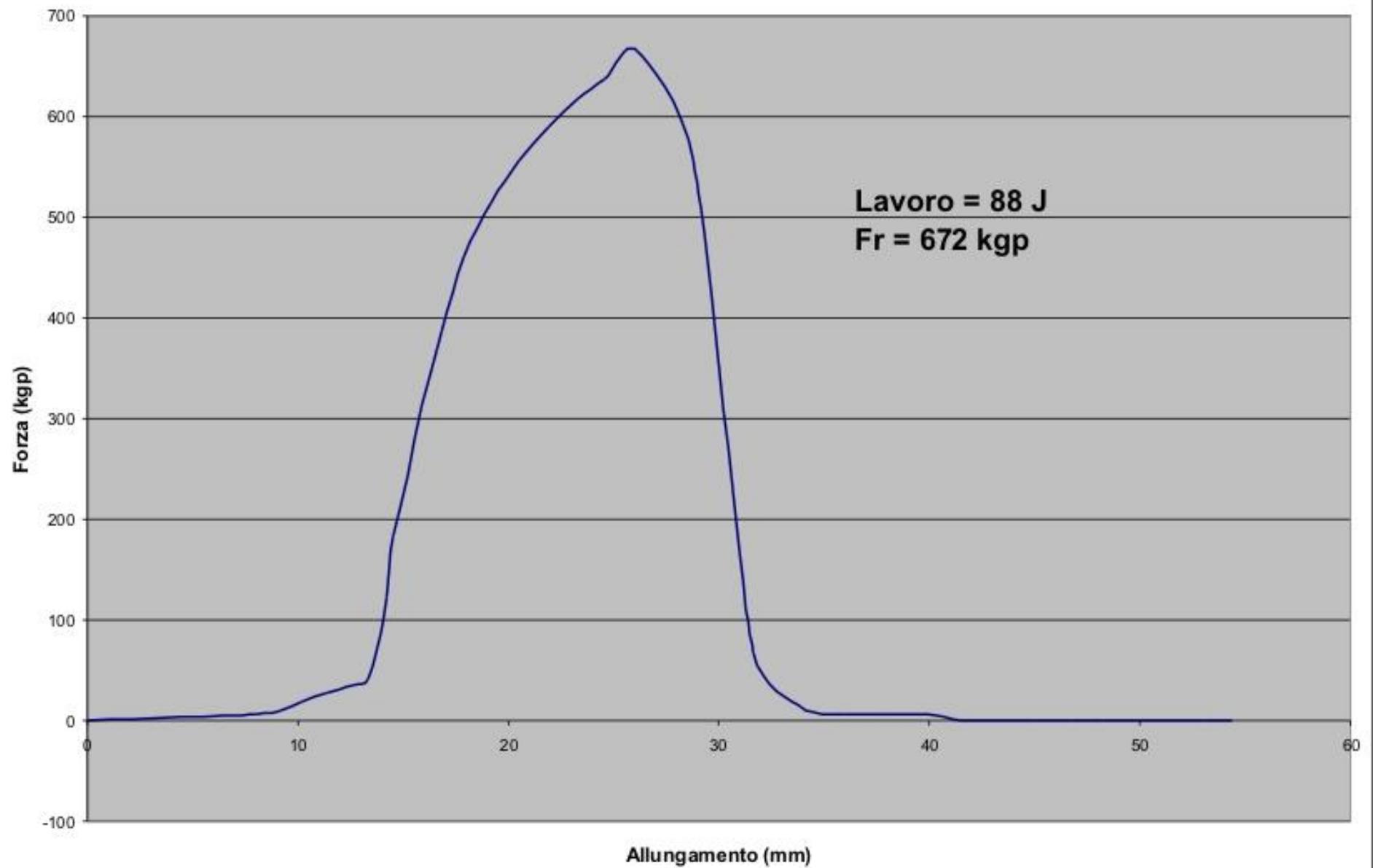
2500 kgp



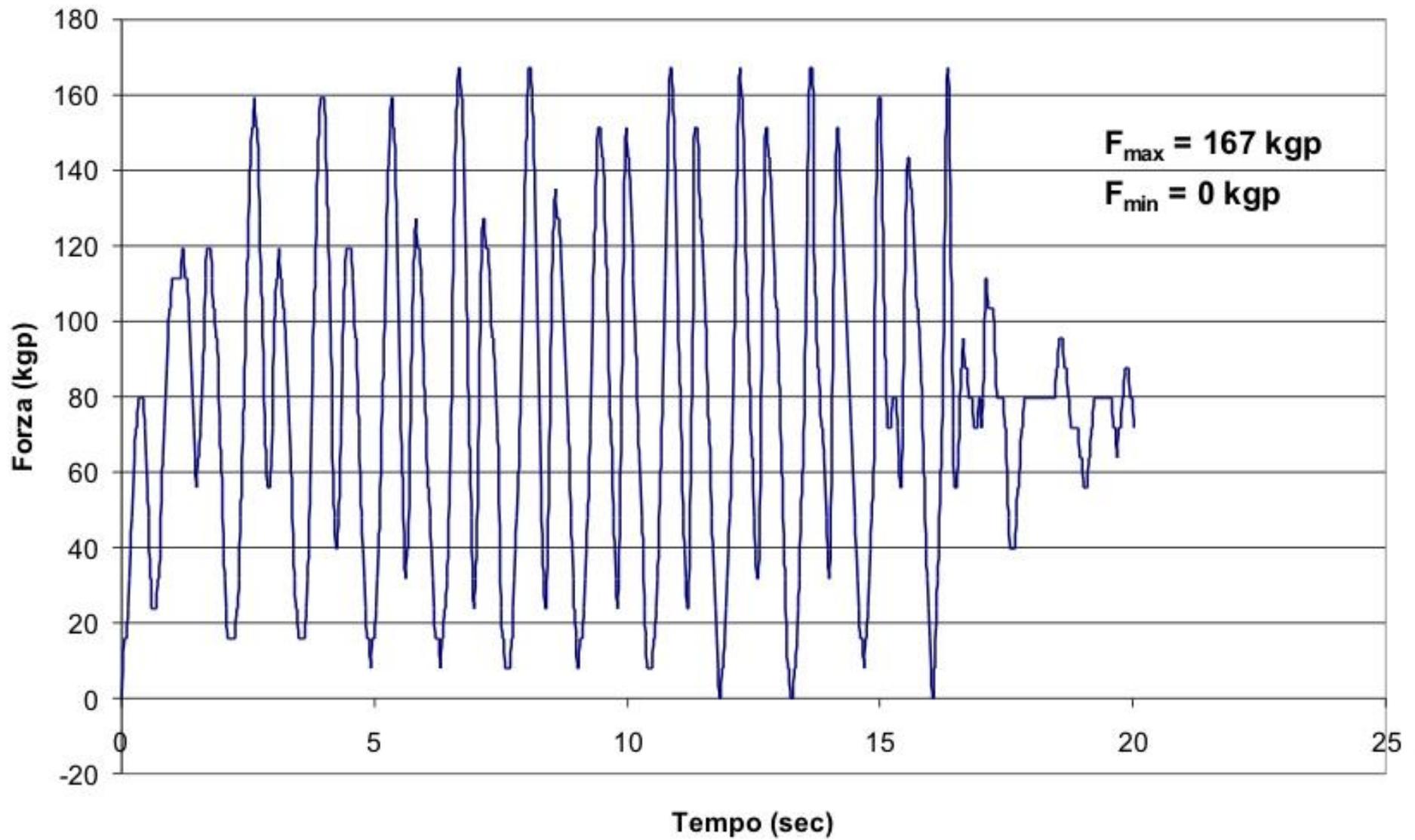




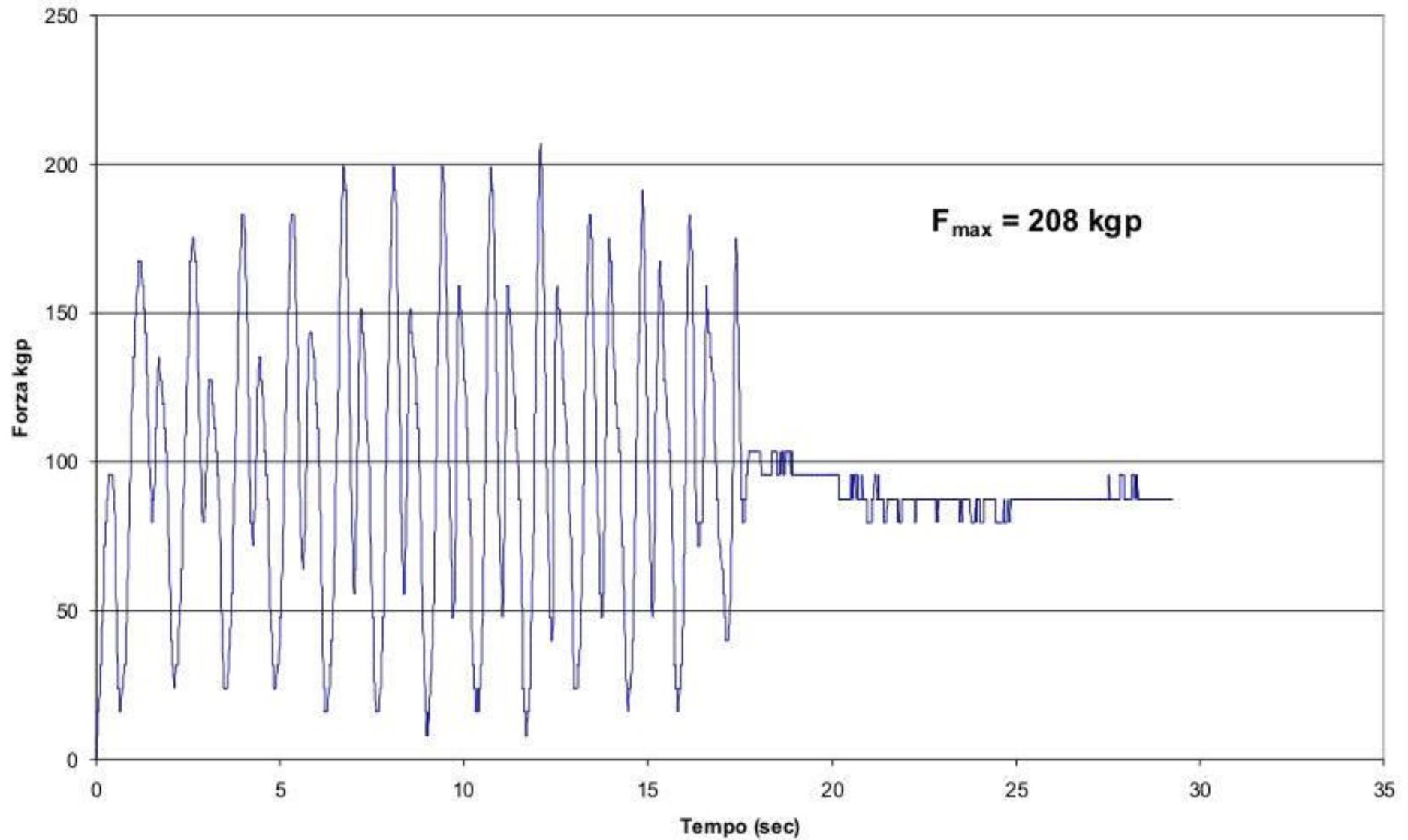
Moschettone n. 1 Usato Chiocchio 2250kqp



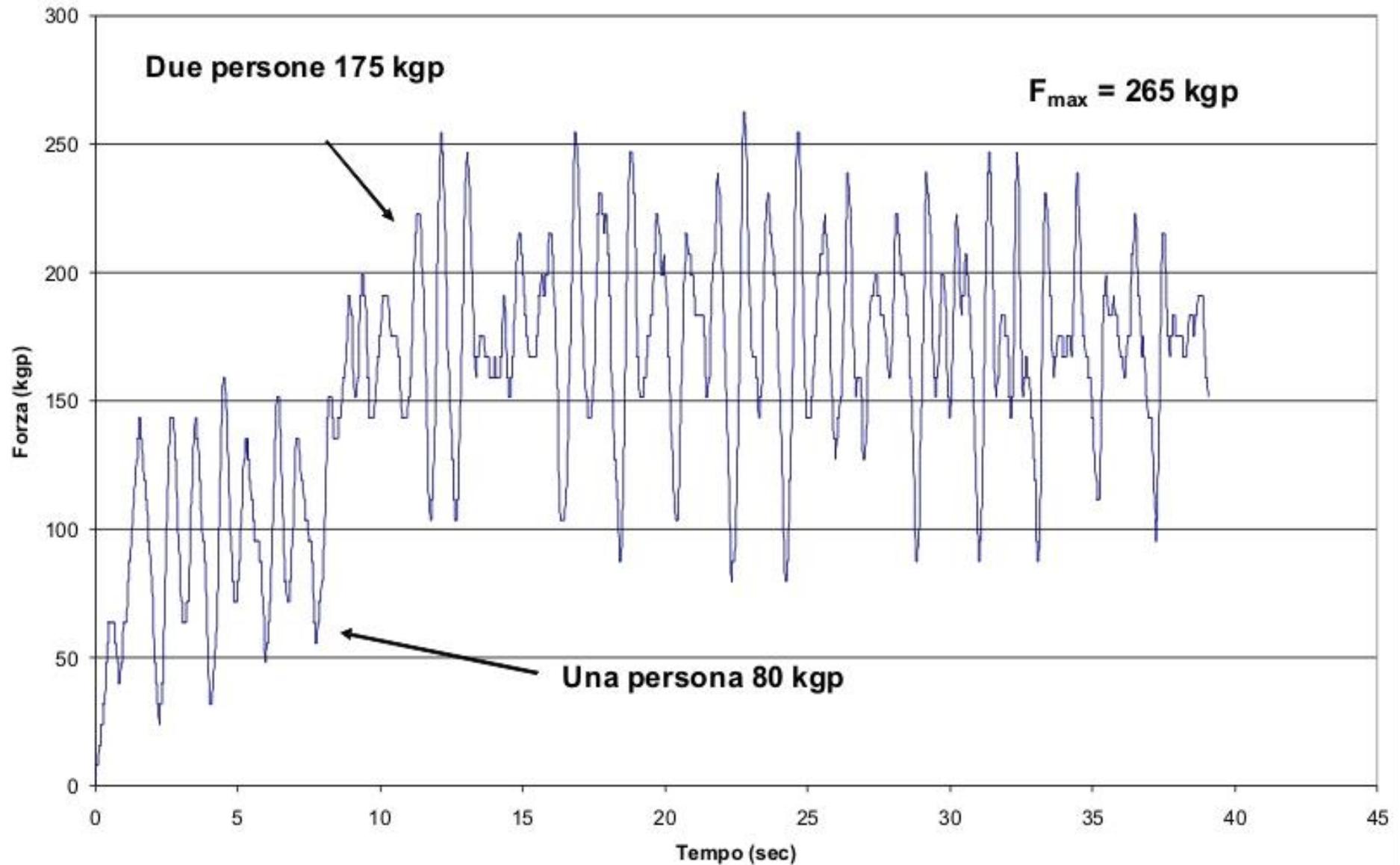
Salita una persona 80 kgp



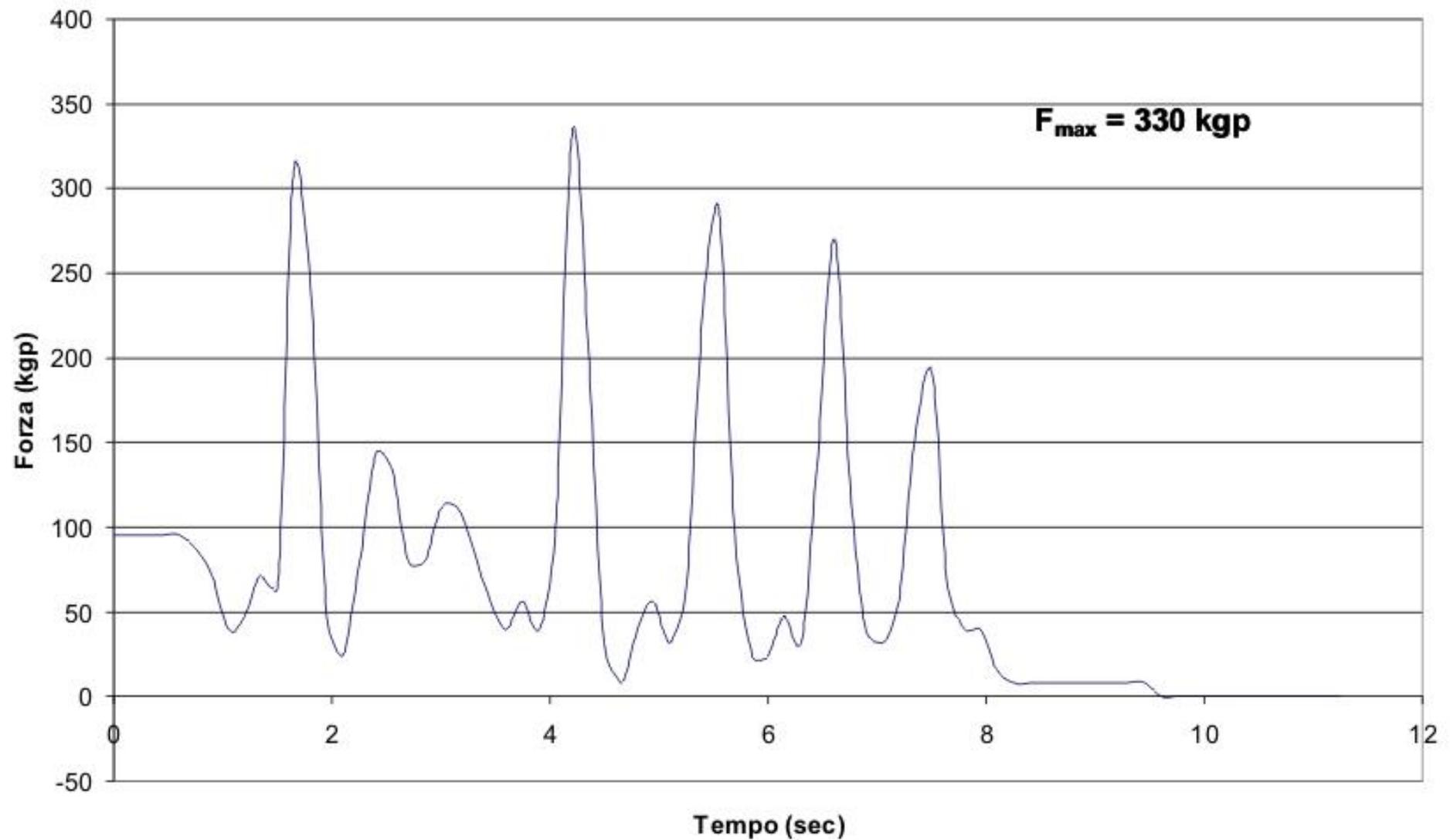
Salita una persona 95 kgp



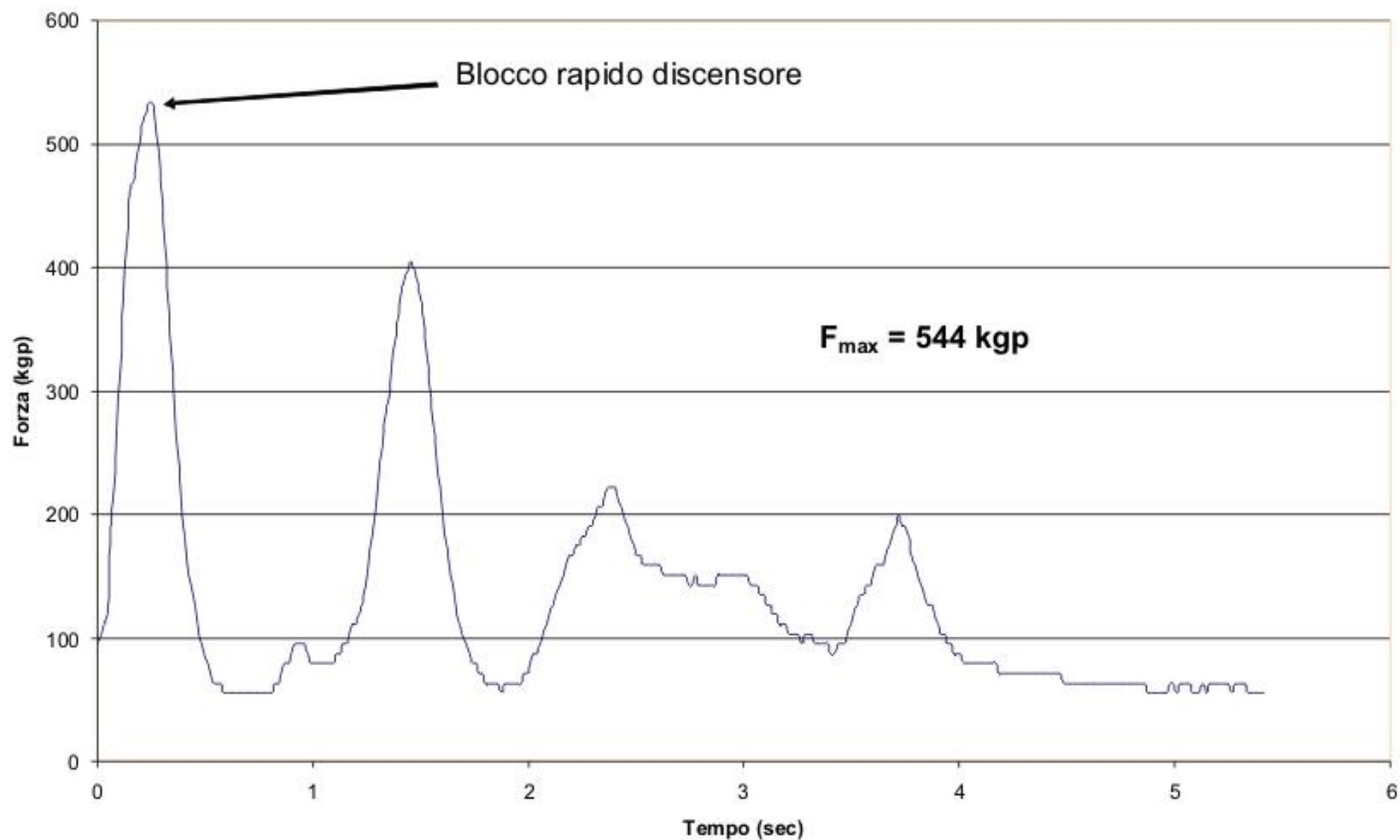
Salita due persone 175 kgp



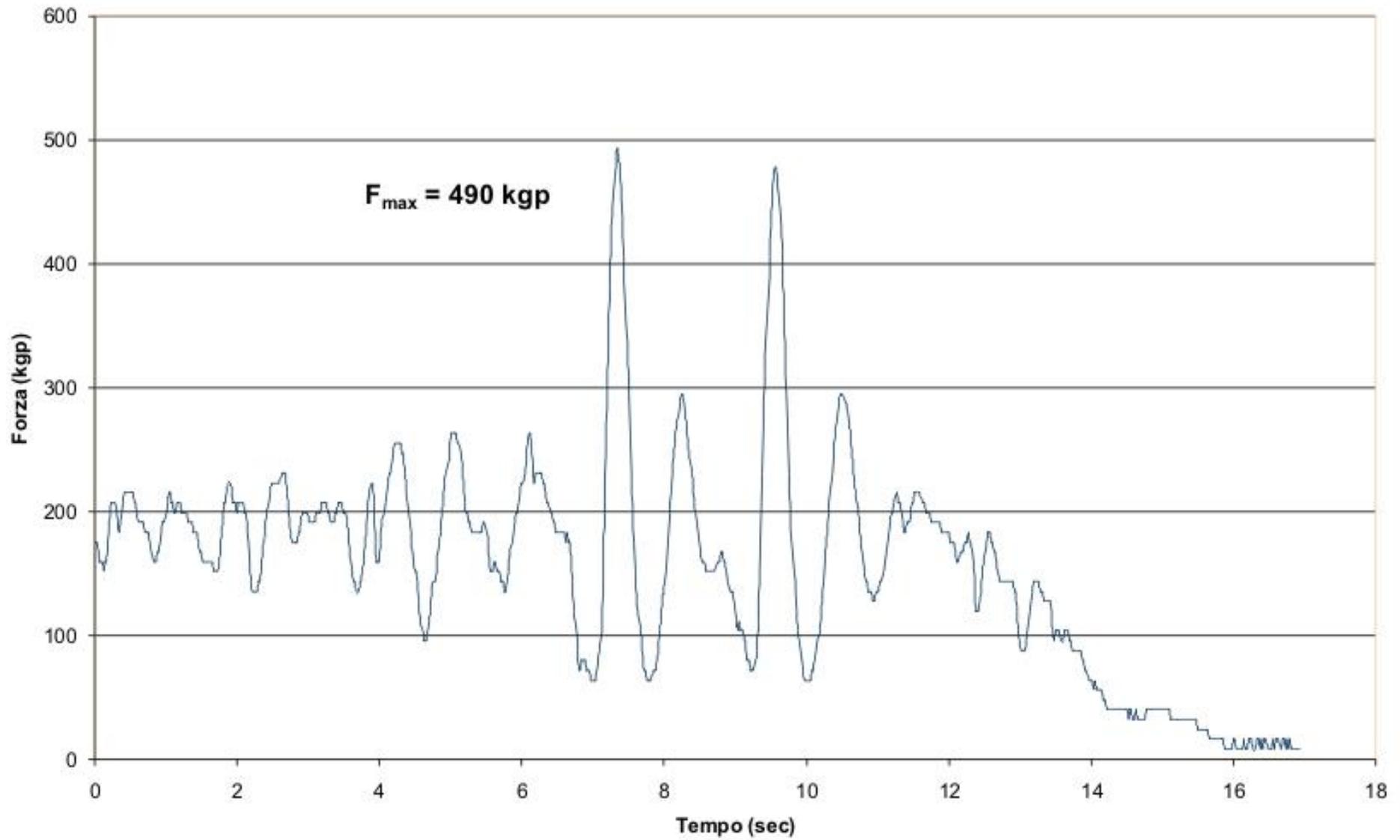
Discesa normale una persona 95 kgp



Discesa veloce una persona 95 kgp

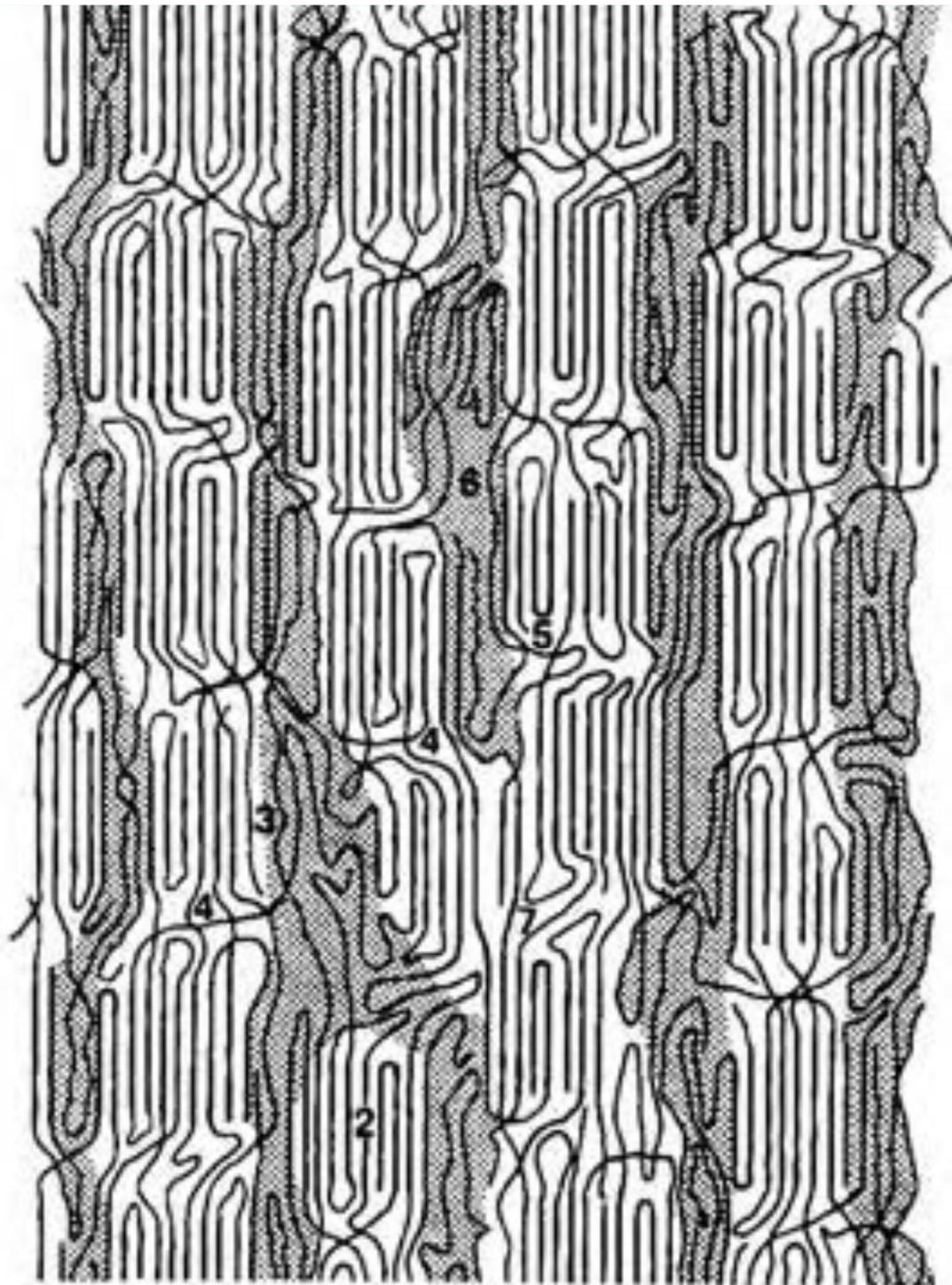


Discesa due Persone 175 kgp



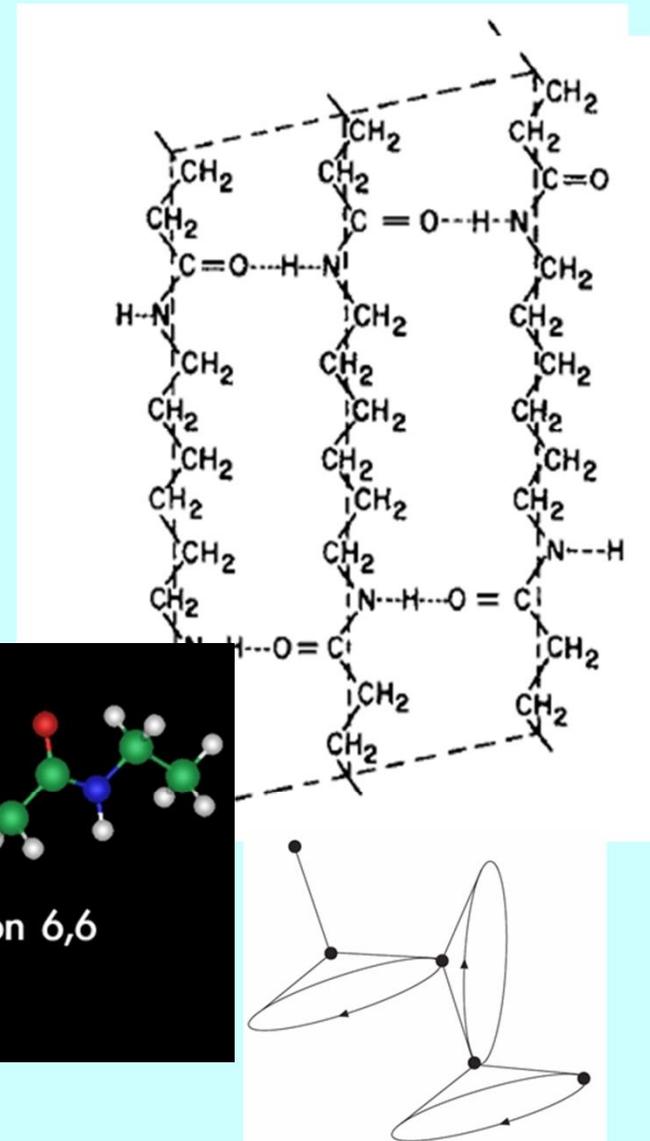
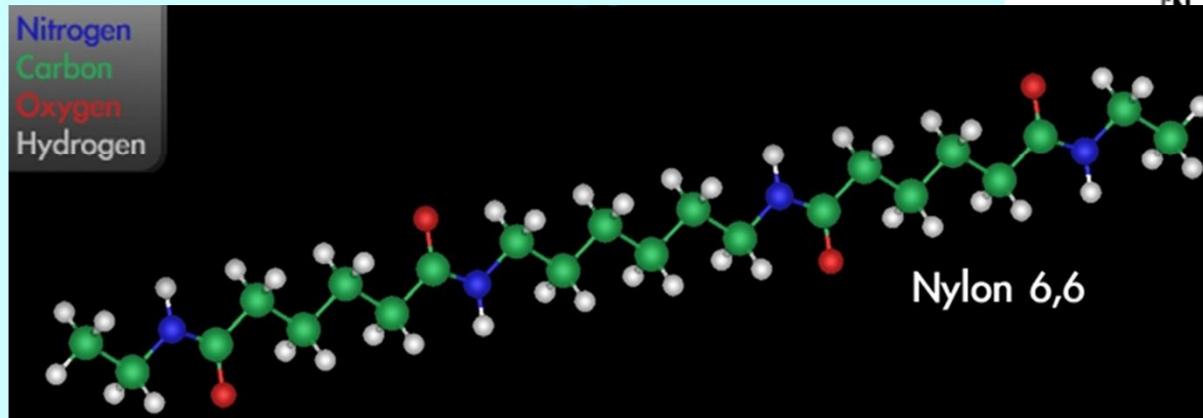
2

**Idrolisi
polimeri**



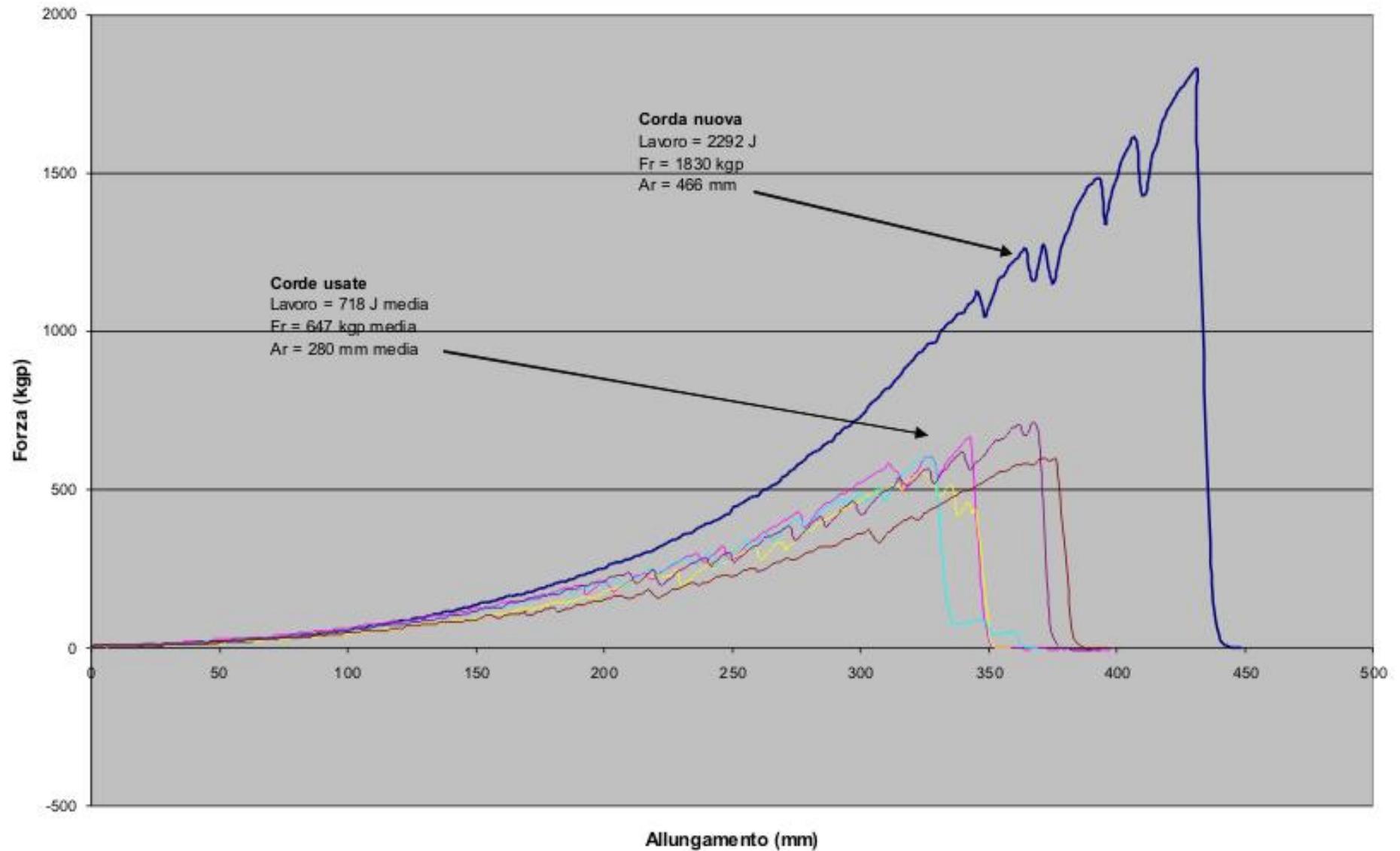
Nylon 6.6.

- punto di fusione 265°C
- transizione vetrosa a circa 45°C
- densità (cristallina a 25°C) $1,15\text{ g/cm}^3$
- cond. termica $0,25\text{ W/mK}$



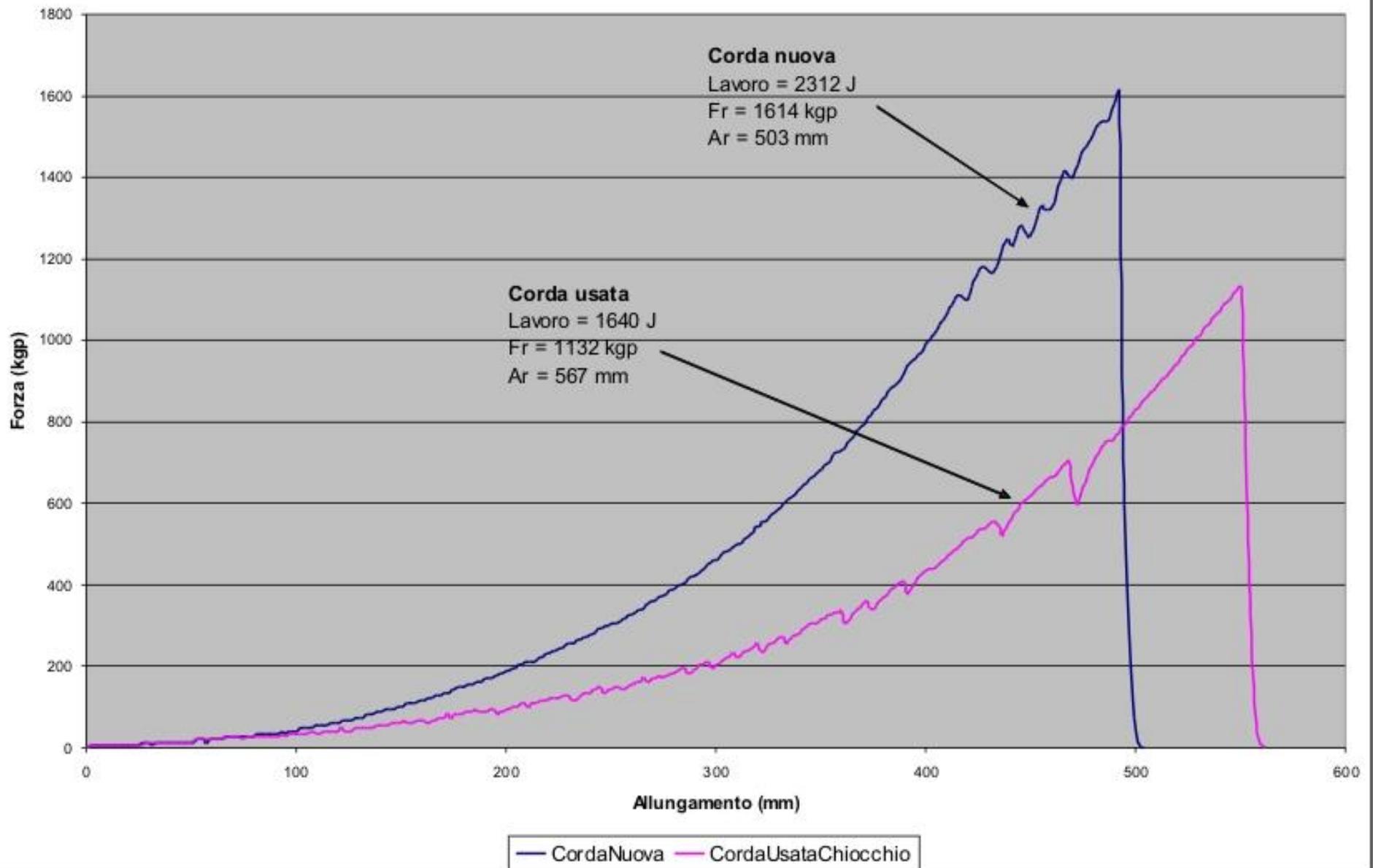


Confronto Corda Edelrid SS 10mm Nuova/Usata Chiocchio

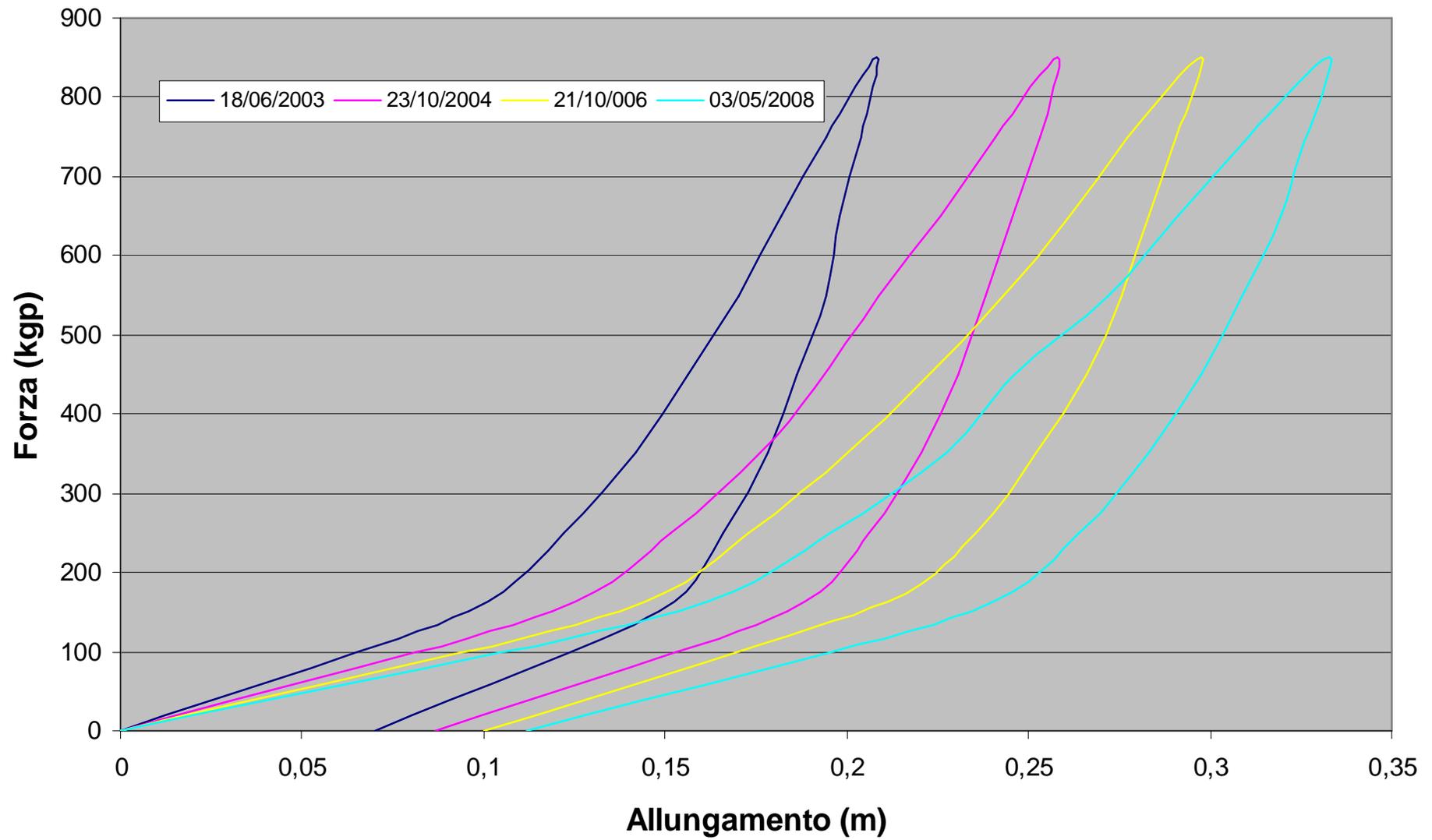


— Corda Nuova — Chiocchio01 — Chiocchio02 — Chiocchio03 — Chiocchio04 — Chiocchio05

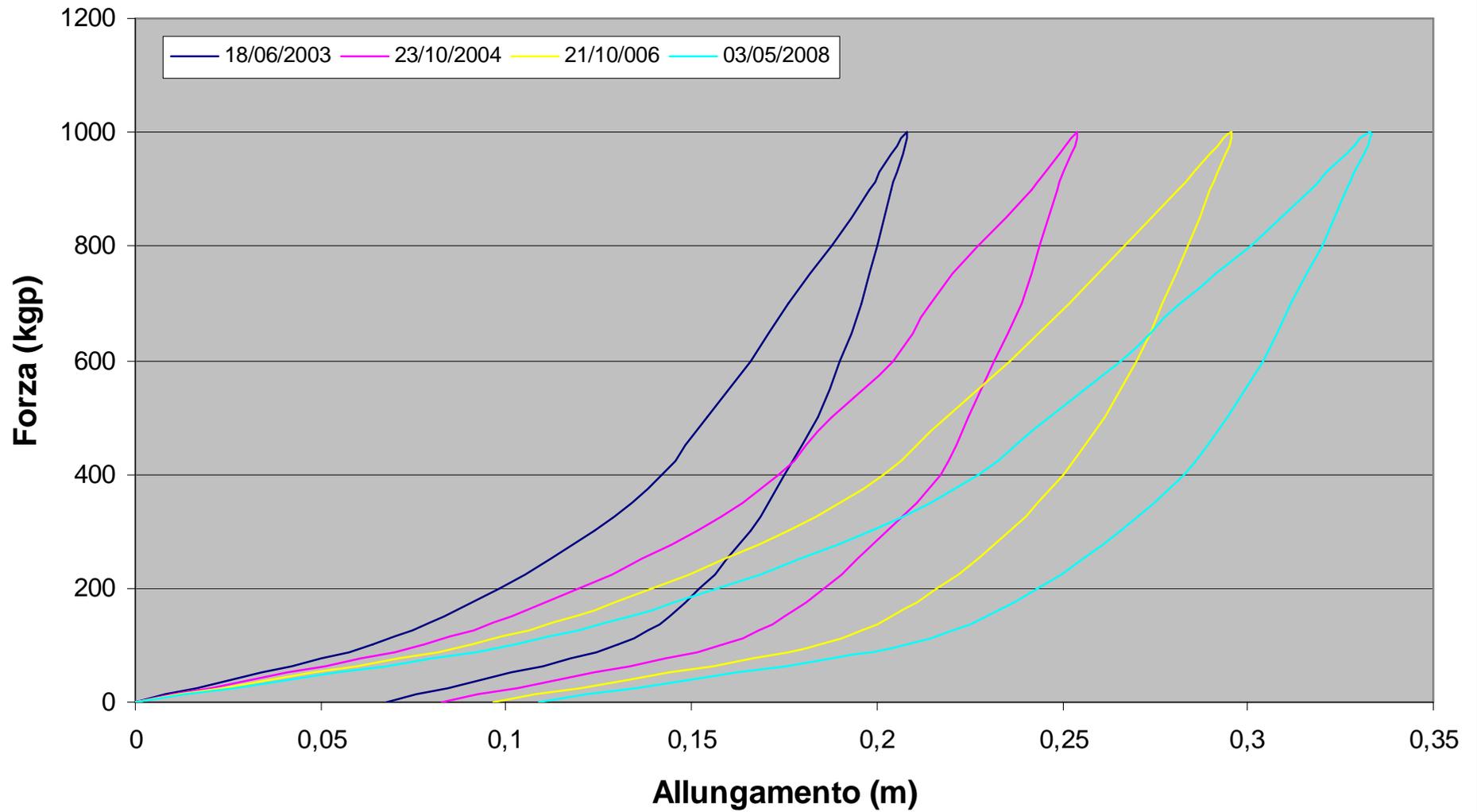
Confronto Corda Beal Antipodes 10,2 mm Nuova Usata Chiocchio



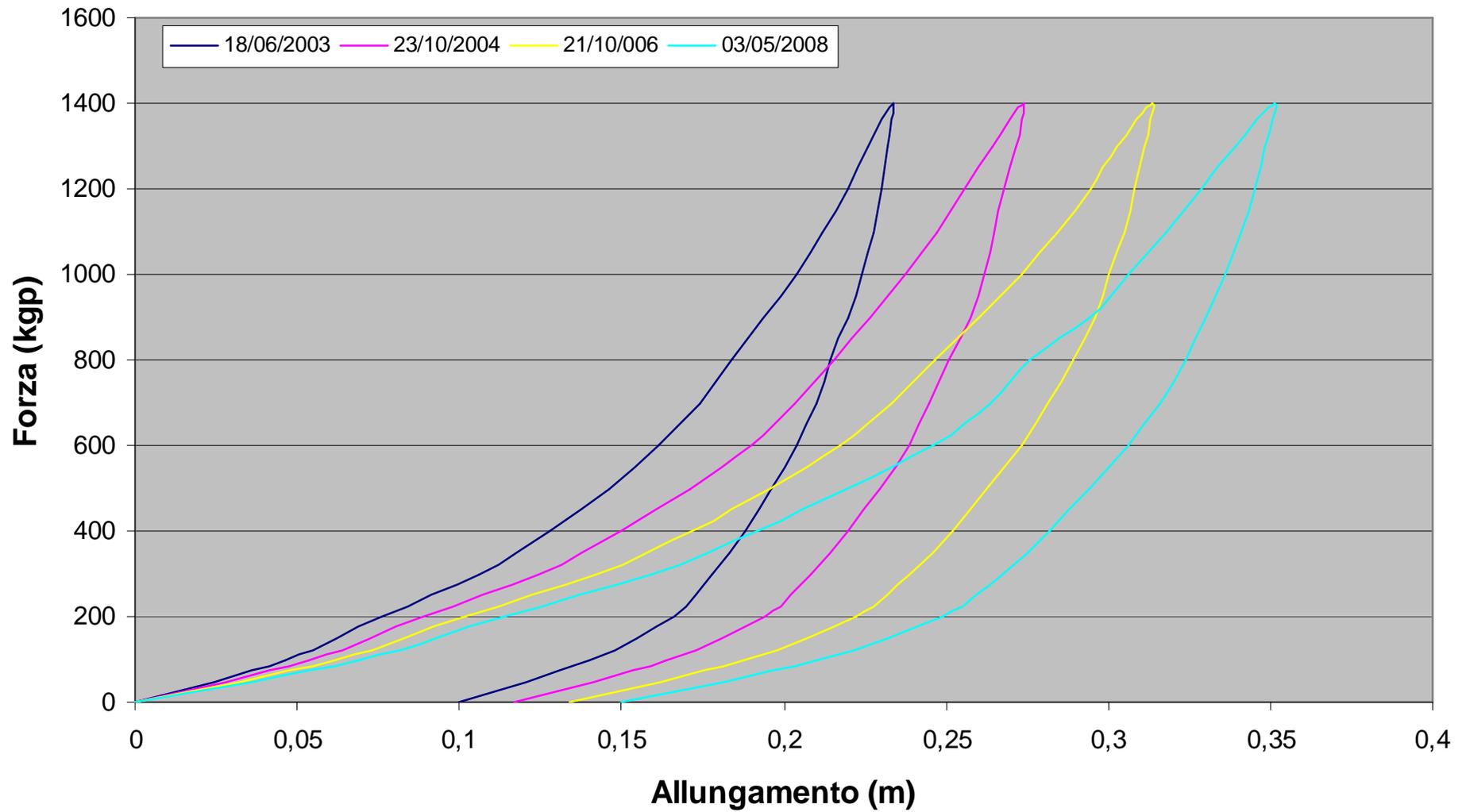
Effetto Idrolisi Corda Marbach Nuova 8mm



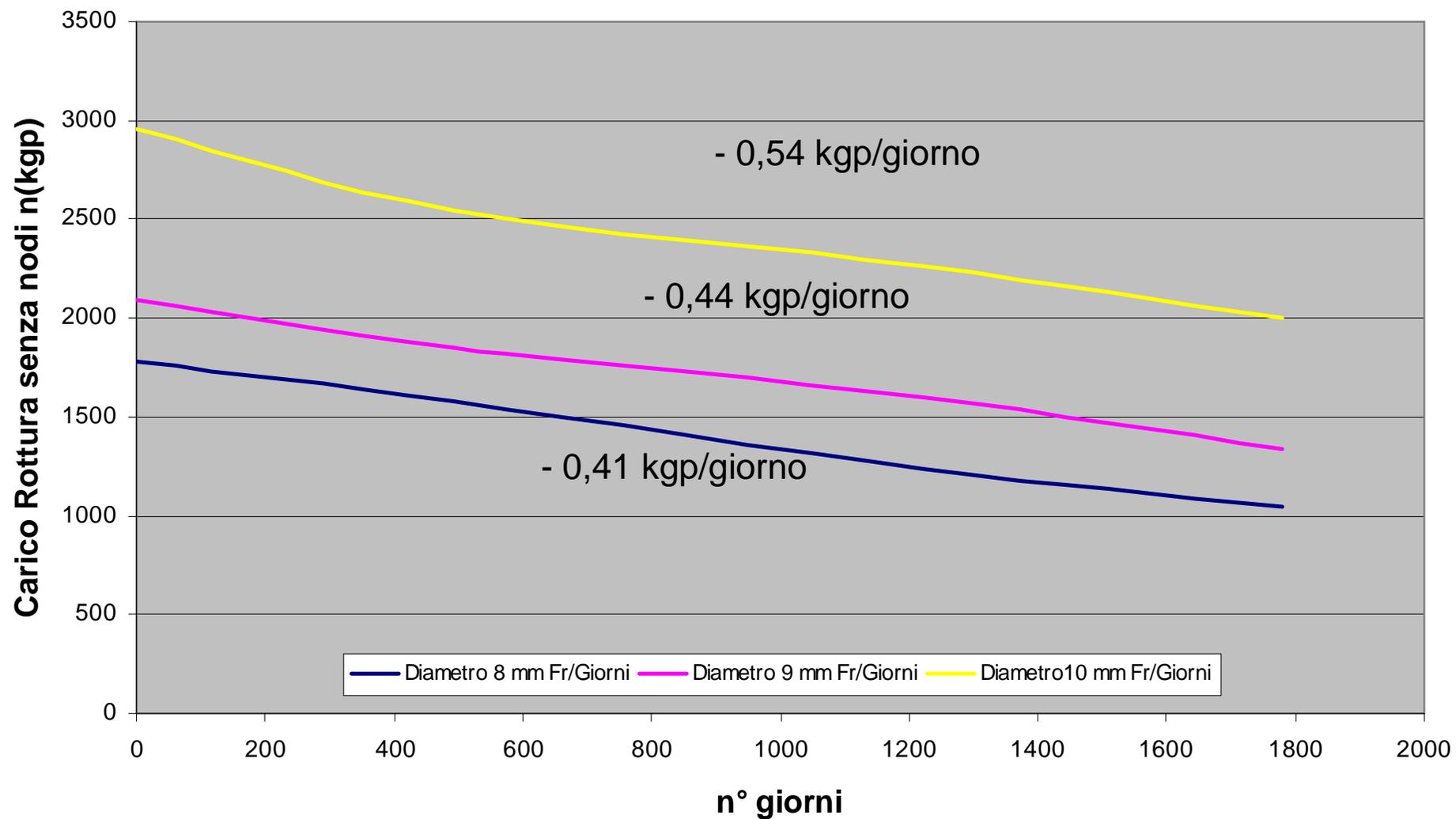
Effetto Idrolisi Corda Marbach Nuova 9 mm



Effetto Idrolisi Corda Marbach Nuova 10 mm



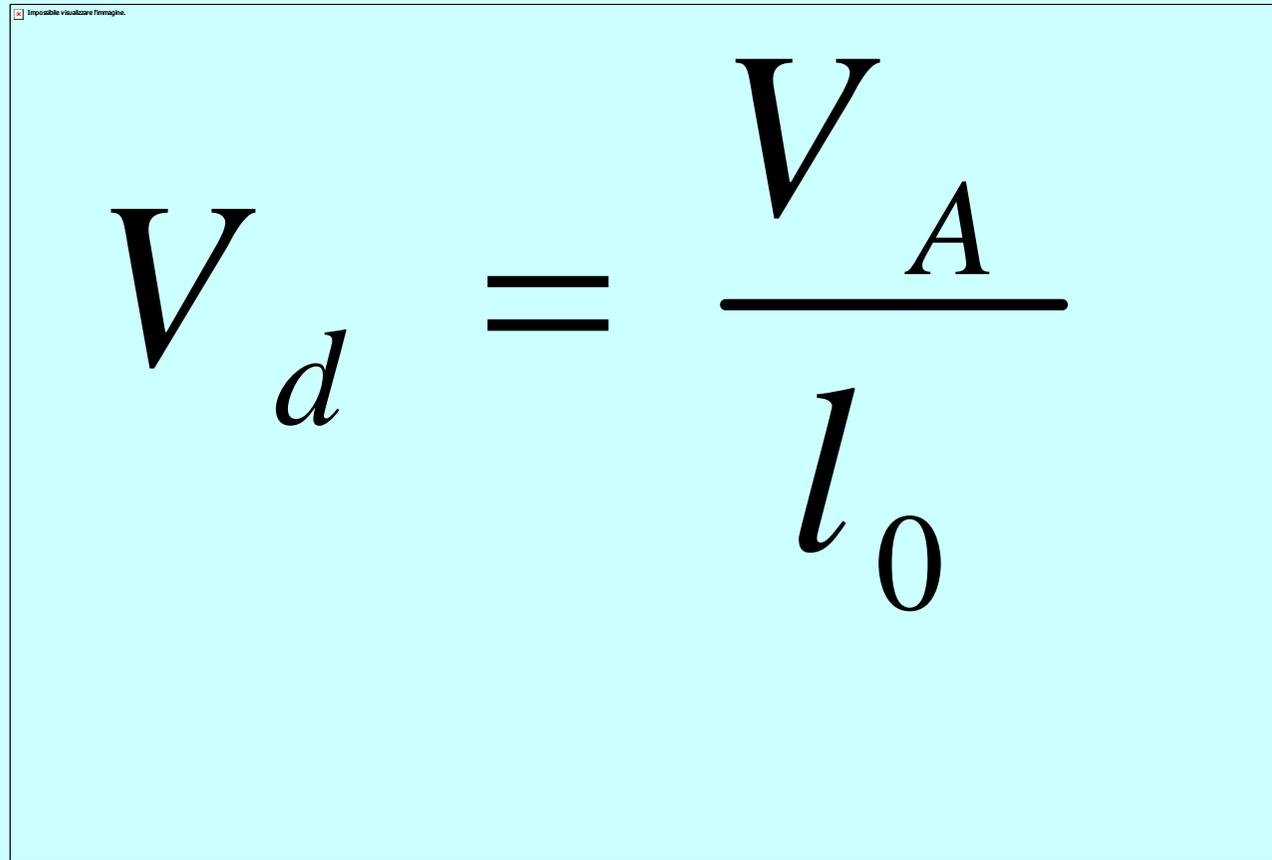
Effetto Idrolisi Corde Marbach Carico Rottura senza nodi/n° giorni



3

**Velocità di
deformazione**

Velocità di deformazione



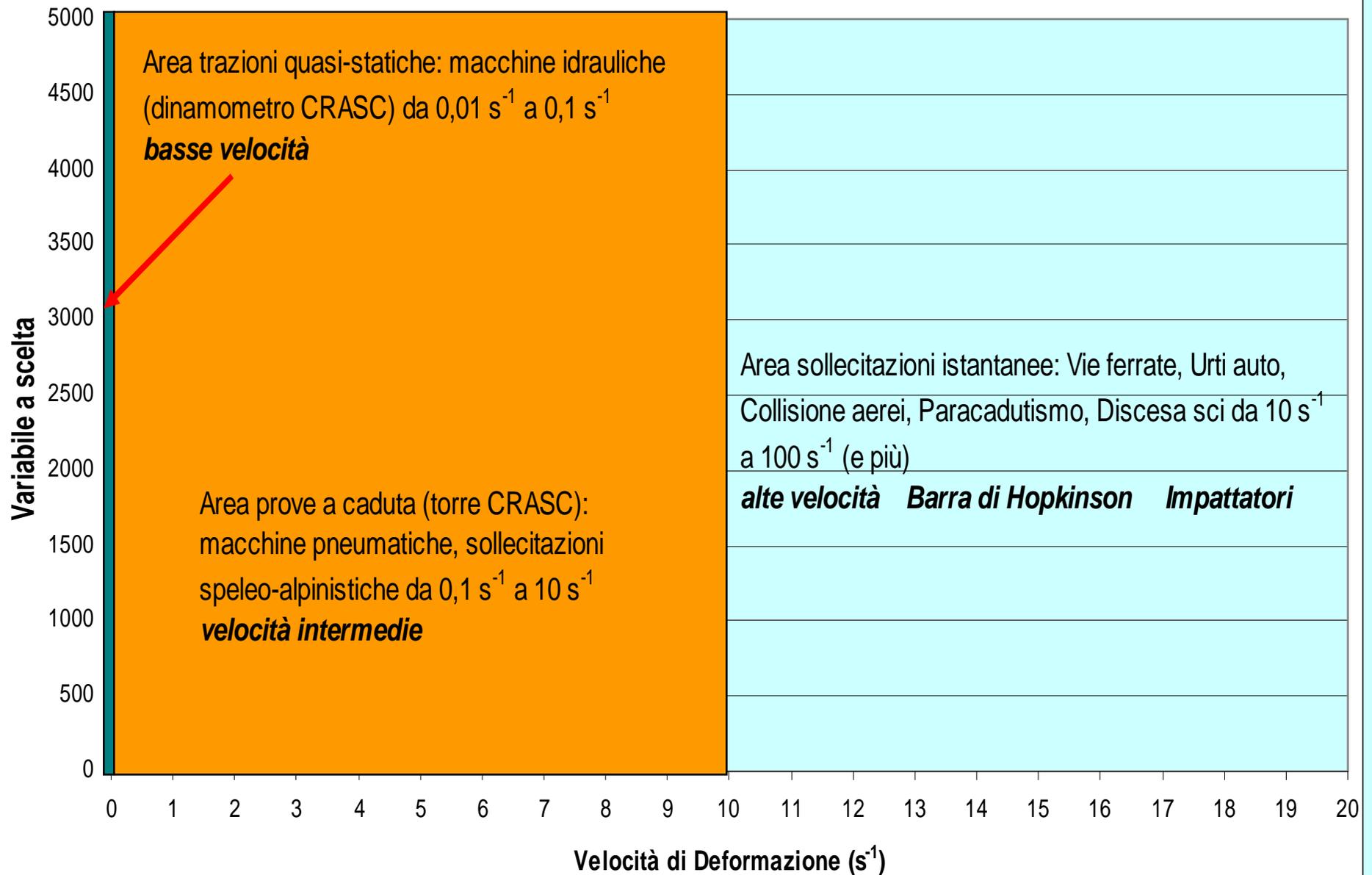
The image shows a mathematical equation for deformation velocity. The equation is $V_d = \frac{V_A}{l_0}$. The variables are: V_d (deformation velocity), V_A (velocity of elongation or impact), and l_0 (initial length of the specimen). The equation is displayed in a large, black, serif font within a white rectangular box. There is a small red error message in the top-left corner of the box that reads "Impossibile visualizzare l'immagine."

V_A = velocità di allungamento (o d'impatto)

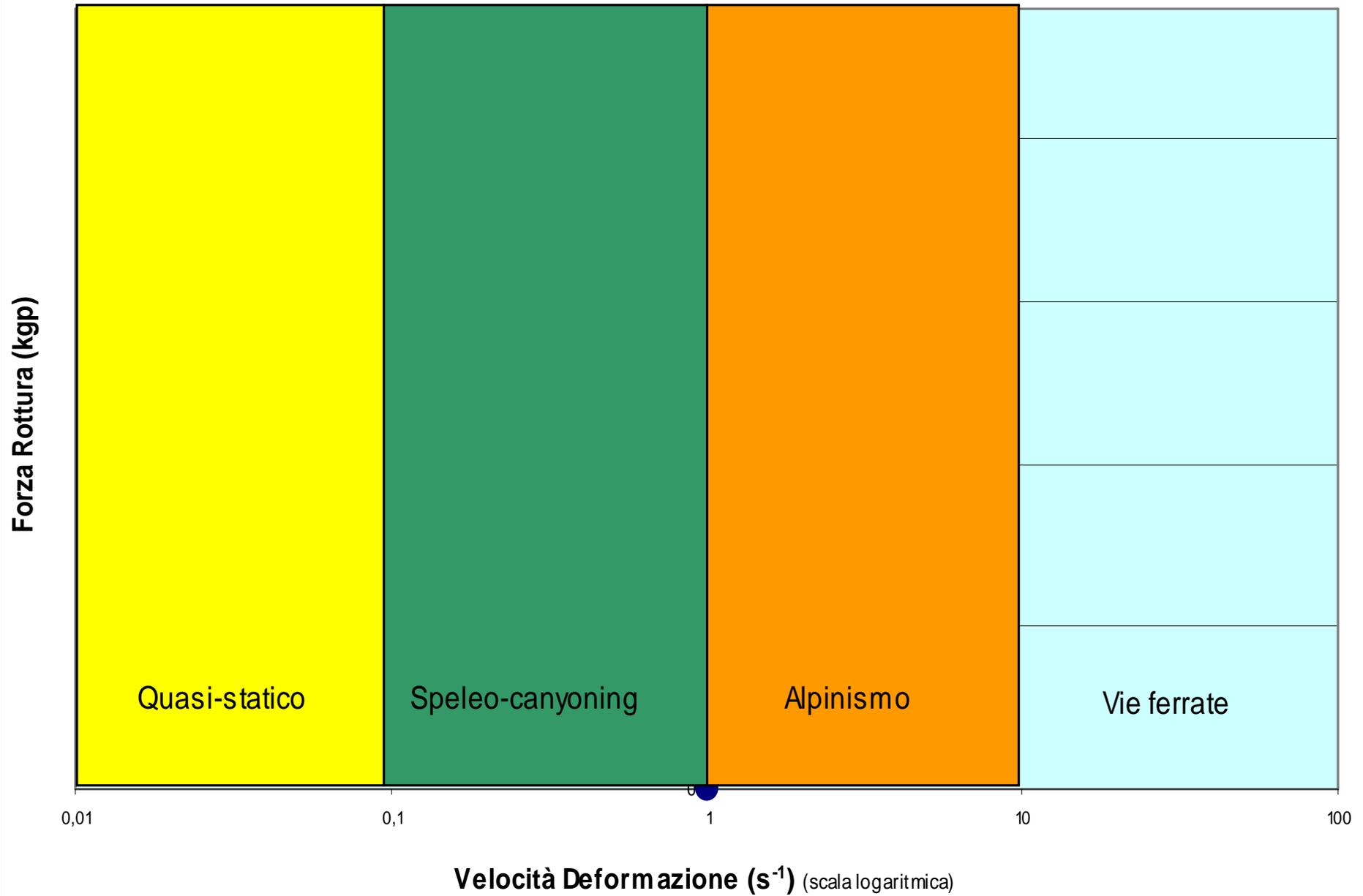
l_0 = lunghezza del campione a riposo

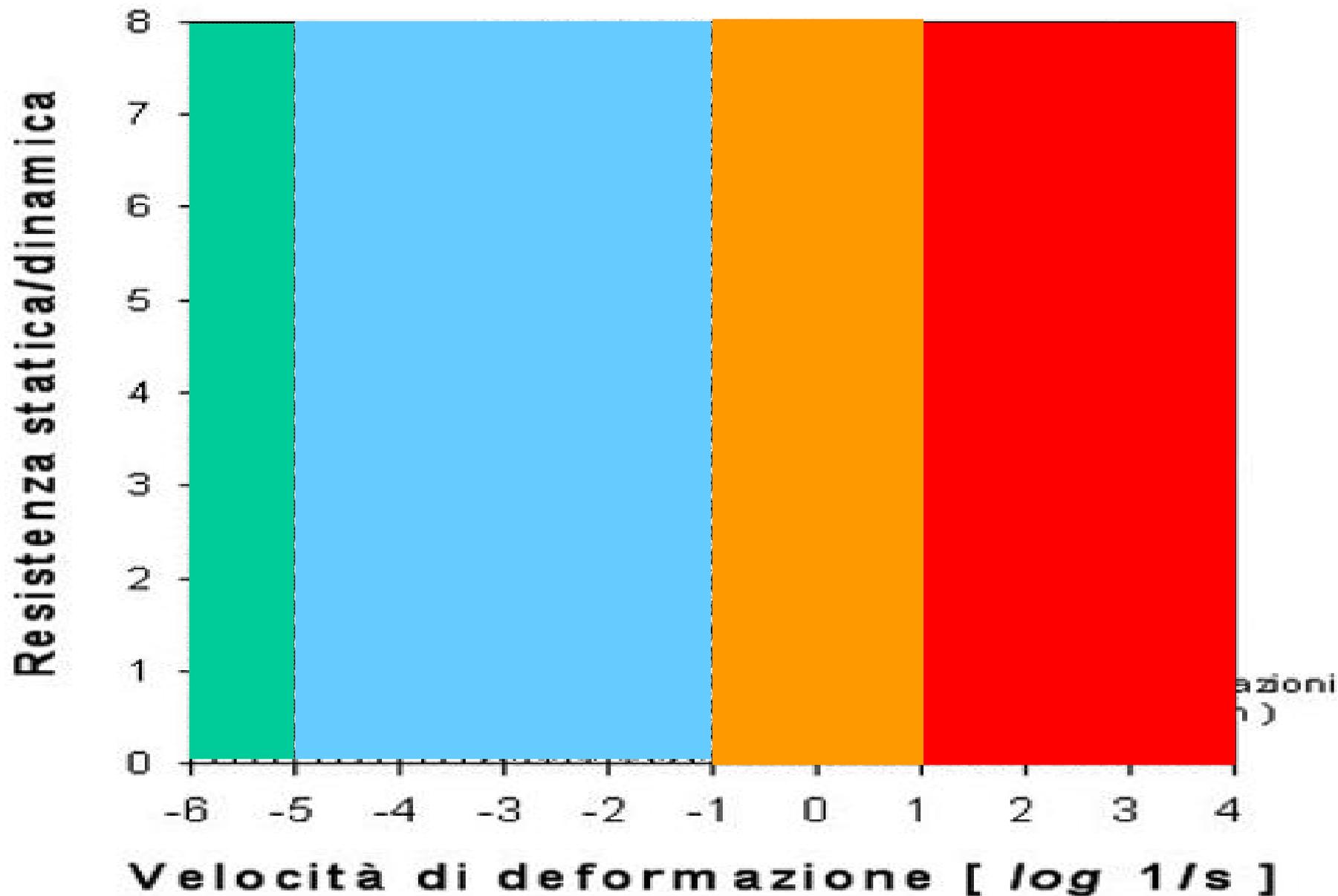
Velocità di Deformazione V_d (s^{-1}): aree di applicazione

Valori assoluti

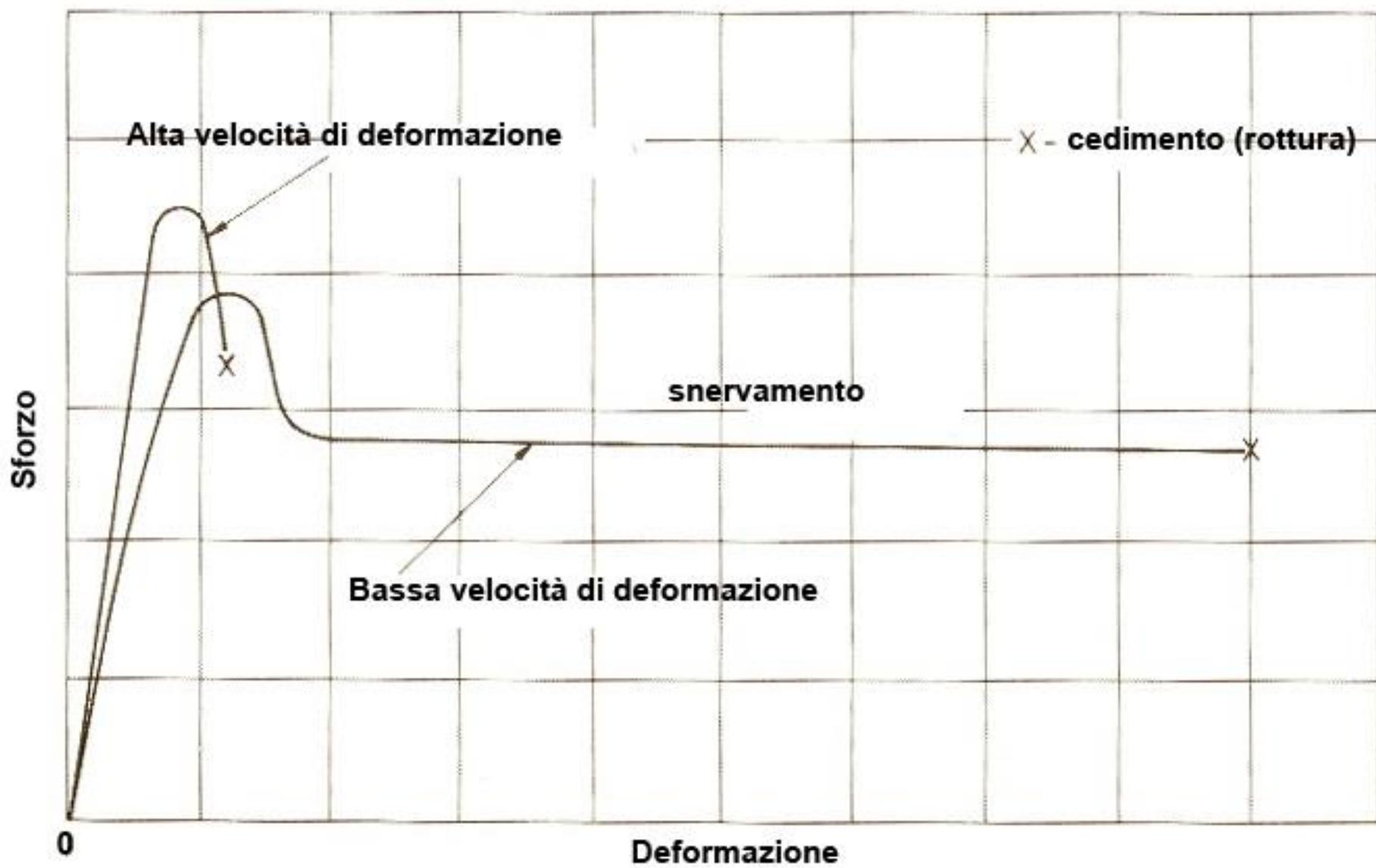


Tipo di progressione e intervalli della Velocità di deformazione





— Comportamento a trazione
— Comportamento a compressione



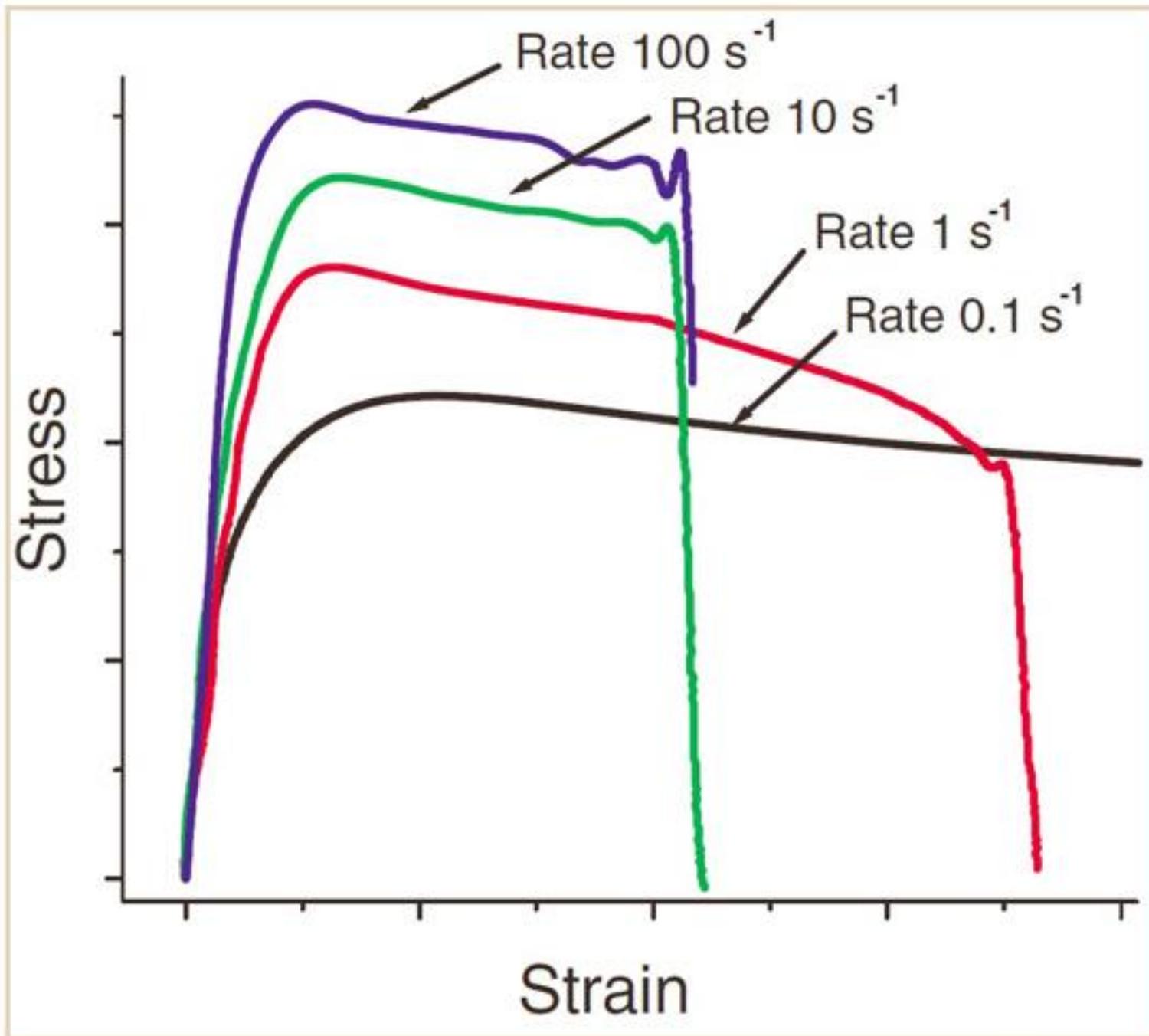
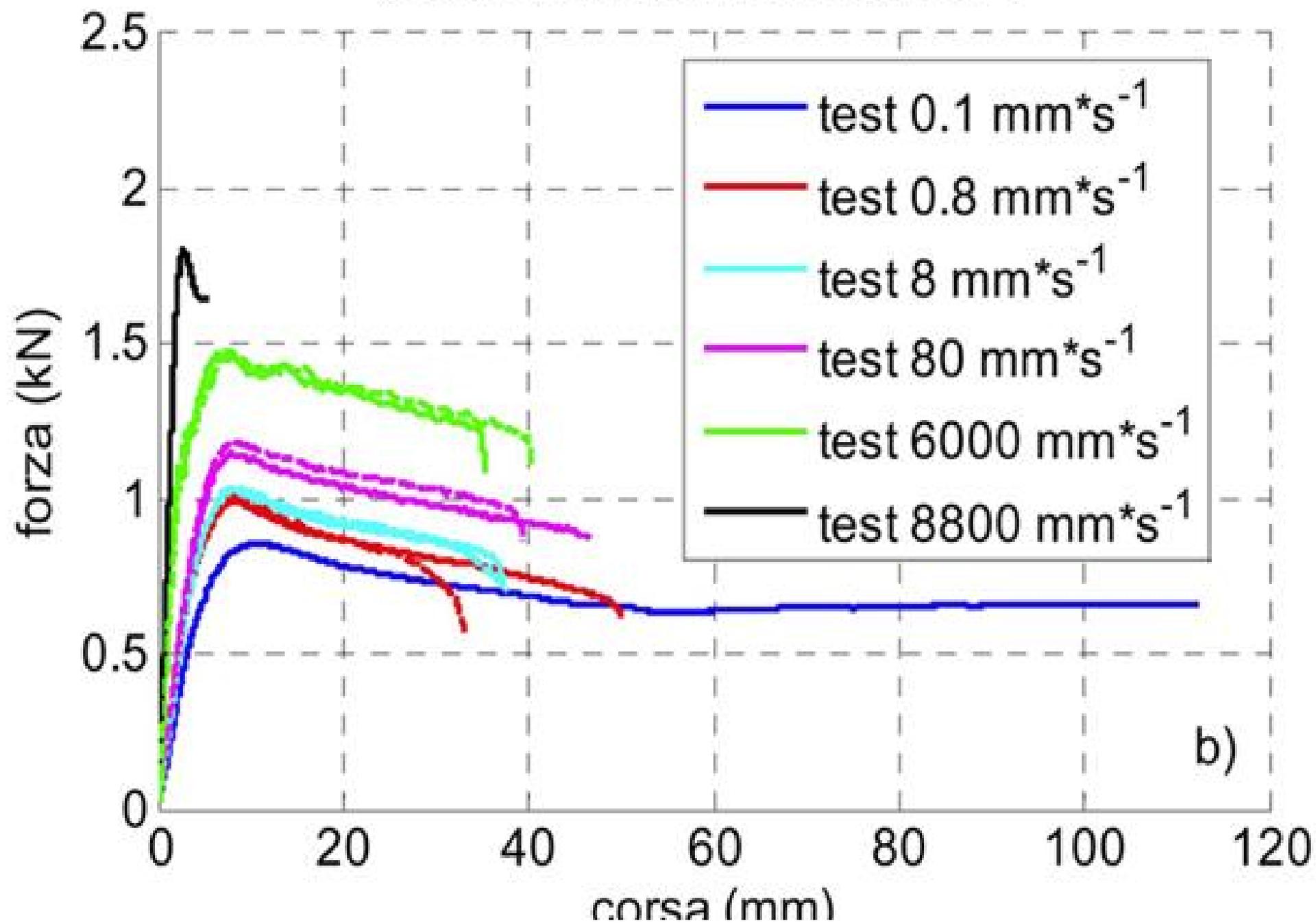


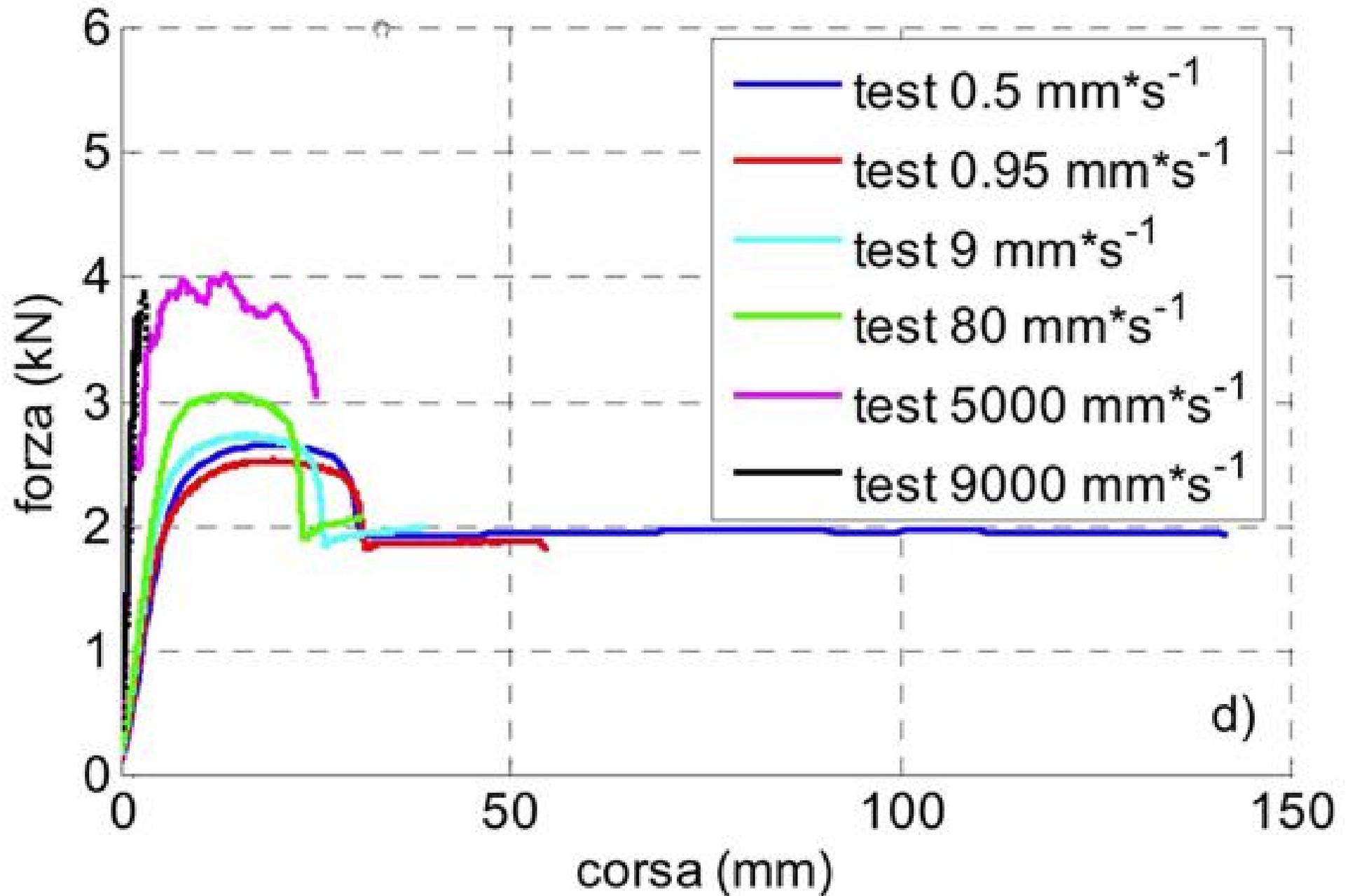
Figure 24, Plastic tensile stress strain data at decade increments of strain rate.

Caratteristiche meccaniche PP



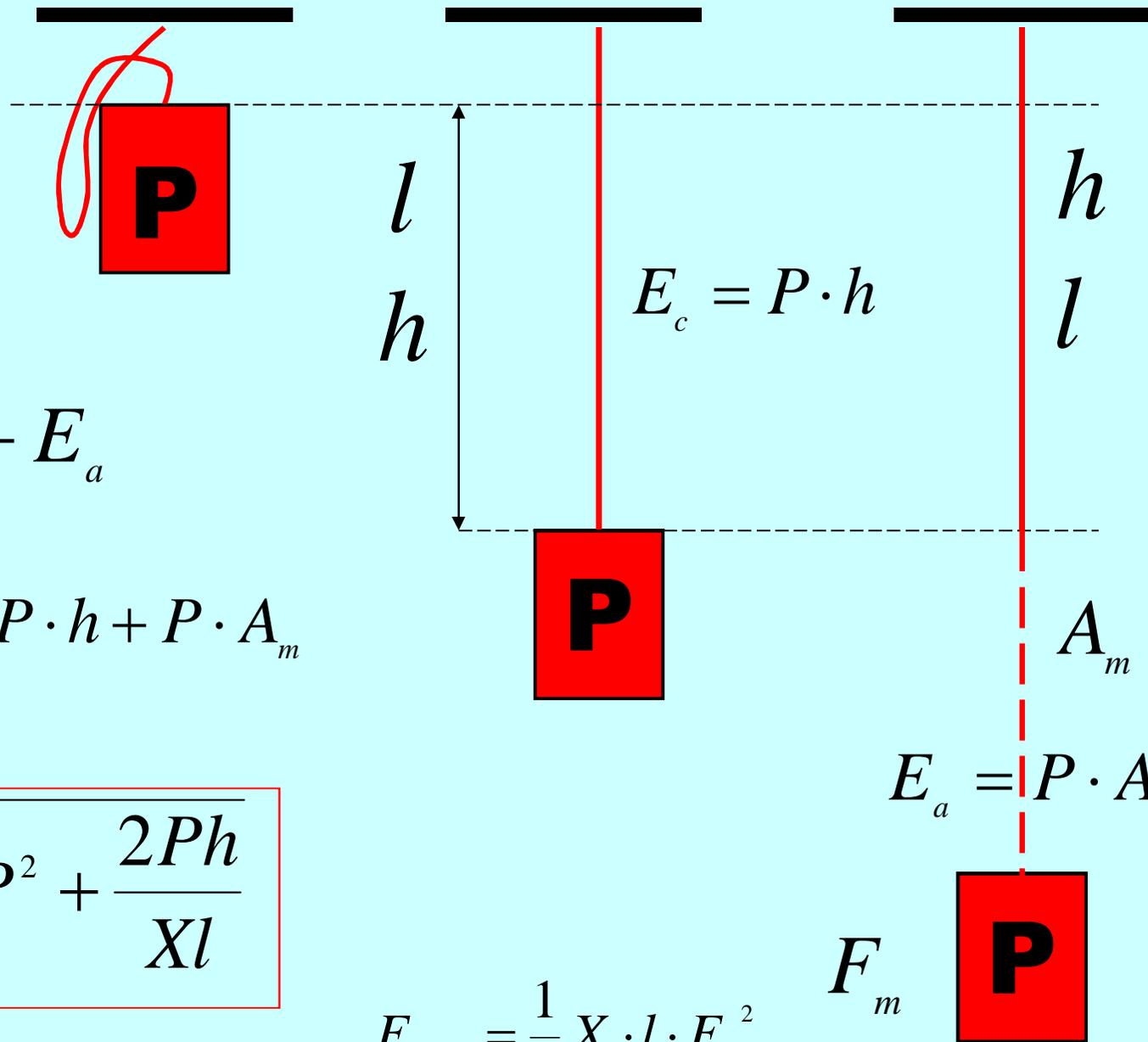
b)

Caratteristiche meccaniche PA66



Altezza Caduta/Velocità Impatto/Velocità Deformazione

| $V = (2hg)^{1/2}$ | | Moschettone 0,10 m | Longe 0,40 m | Corda 1,00 m | Corda 3,00 m | Corda 10,00m |
|-------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| h (m) | V_0 (m/s) | V_d (s ⁻¹) |
| 0,25 | 2,21 | 22,1 | 5,53 | 2,21 | 0,74 | <u>0,22</u> |
| 0,50 | 3,13 | 31,3 | 7,83 | 3,13 | 1,04 | 0,31 |
| 1,00 | 4,43 | 44,3 | 11,07 | 4,43 | 1,48 | 0,44 |
| 2,00 | 6,26 | 62,6 | 15,65 | 6,26 | 2,09 | 0,63 |
| 3,00 | 7,67 | 76,7 | 19,17 | 7,67 | 2,56 | 0,77 |
| 4,00 | 8,86 | 88,6 | 22,15 | 8,86 | 2,95 | 0,89 |
| 5,00 | 9,90 | <u>99,0</u> | 24,75 | 9,90 | 3,30 | 0,99 |



$$E_{totale} = E_c + E_a$$

$$\frac{1}{2} X \cdot l \cdot F_m^2 = P \cdot h + P \cdot A_m$$

$$F_m = P + \sqrt{P^2 + \frac{2Ph}{Xl}}$$

$$E_{totale} = \frac{1}{2} X \cdot l \cdot F_m^2$$

$$F_m = P + \sqrt{P^2 + \frac{2Ph}{Xl}}$$

$$\frac{1}{2} X \cdot l \cdot F_m^2 = P \cdot h + \boxed{P \cdot A_m}$$

$$\frac{1}{2} X \cdot l \cdot F_m^2 = P \cdot h$$

$$F_m = \sqrt{\frac{2Ph}{Xl}} = \sqrt{\frac{2P}{X} \cdot \frac{h}{l}} = \sqrt{\frac{2P}{X}} \cdot F_c$$

F_c = Fattore caduta

Rapporto fra Fattore di caduta e Velocità di deformazione

$$V_d = \frac{V_A}{l_0} = \frac{\sqrt{2gh}}{l_0} = \sqrt{\frac{2g}{l_0}} F_c \quad F_c = \frac{h}{l_0}$$

V_d = velocità di deformazione (s^{-1})

V_A = velocità di allungamento o d'impatto (m/s)

l_0 = lunghezza campione a riposo (m)

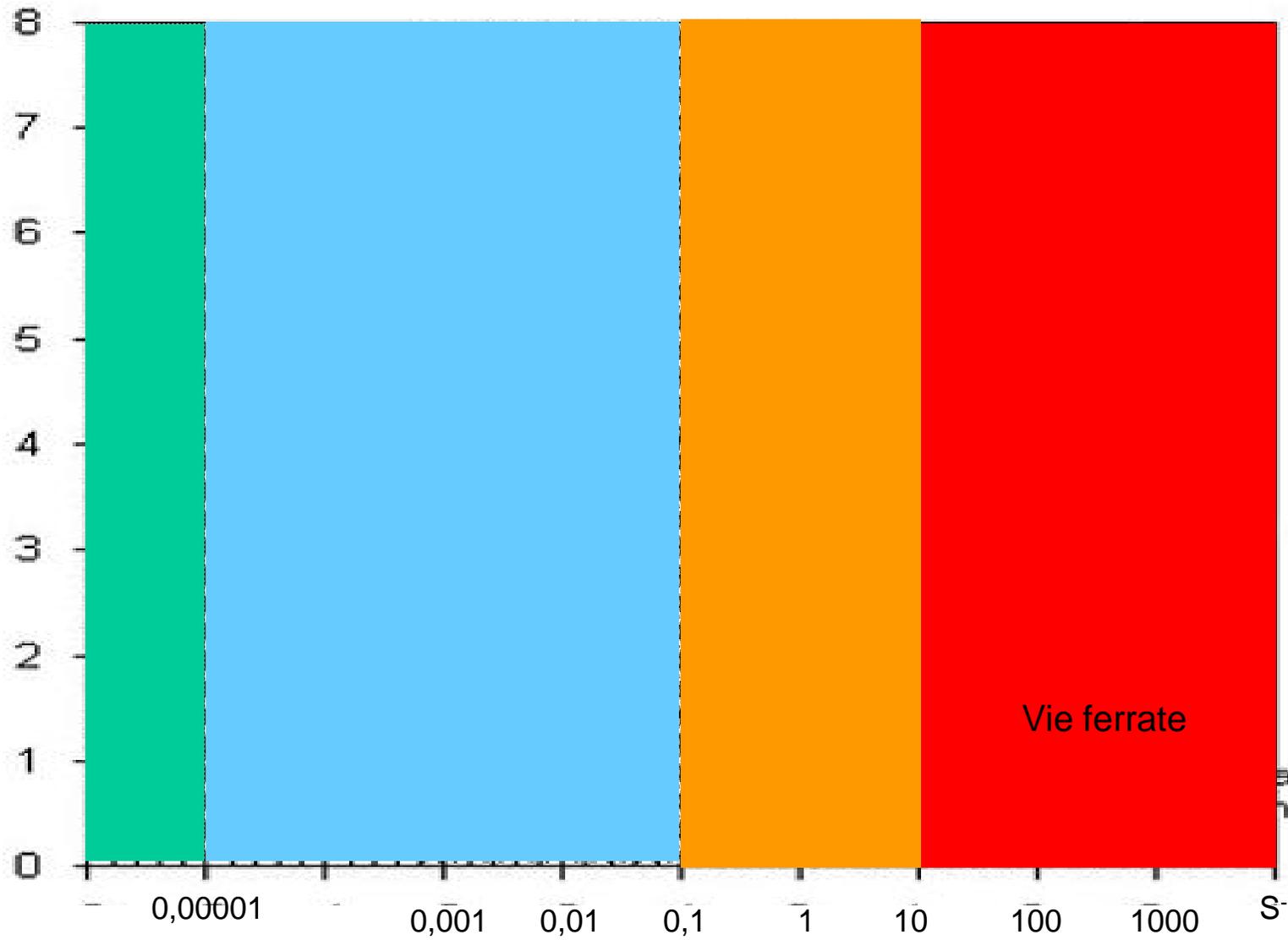
g = accelerazione di gravità (m/s^2)

h = altezza di caduta (m)

$F_c = h/l_0$ = fattore di caduta (adimensionale)

Tipi di progressione e Velocità di Deformazione

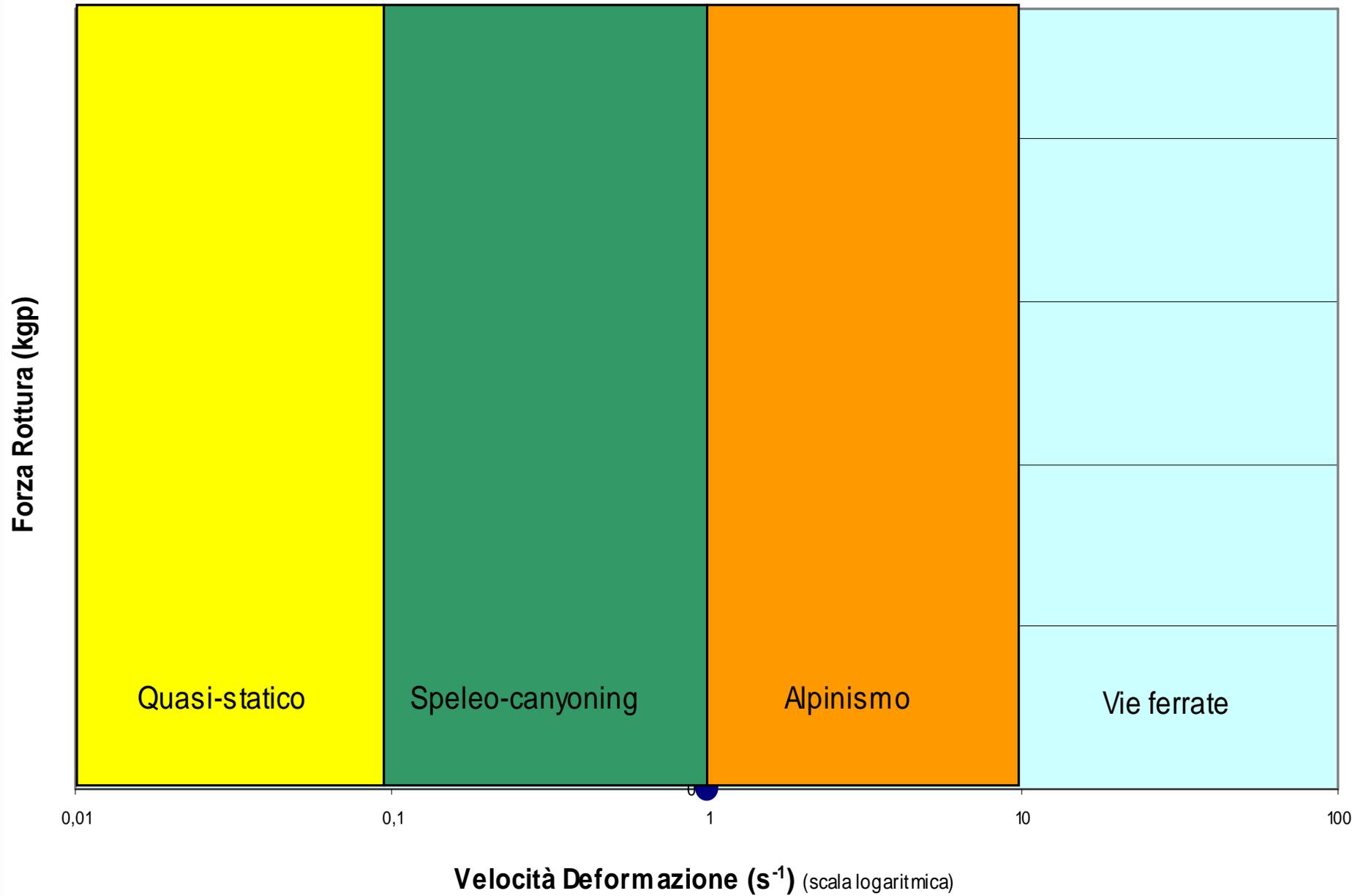
Resistenza statica/dinamica



- Comportamento a trazione
- Comportamento a compressione

azioni
)

Tipo di progressione e intervalli della Velocità di deformazione



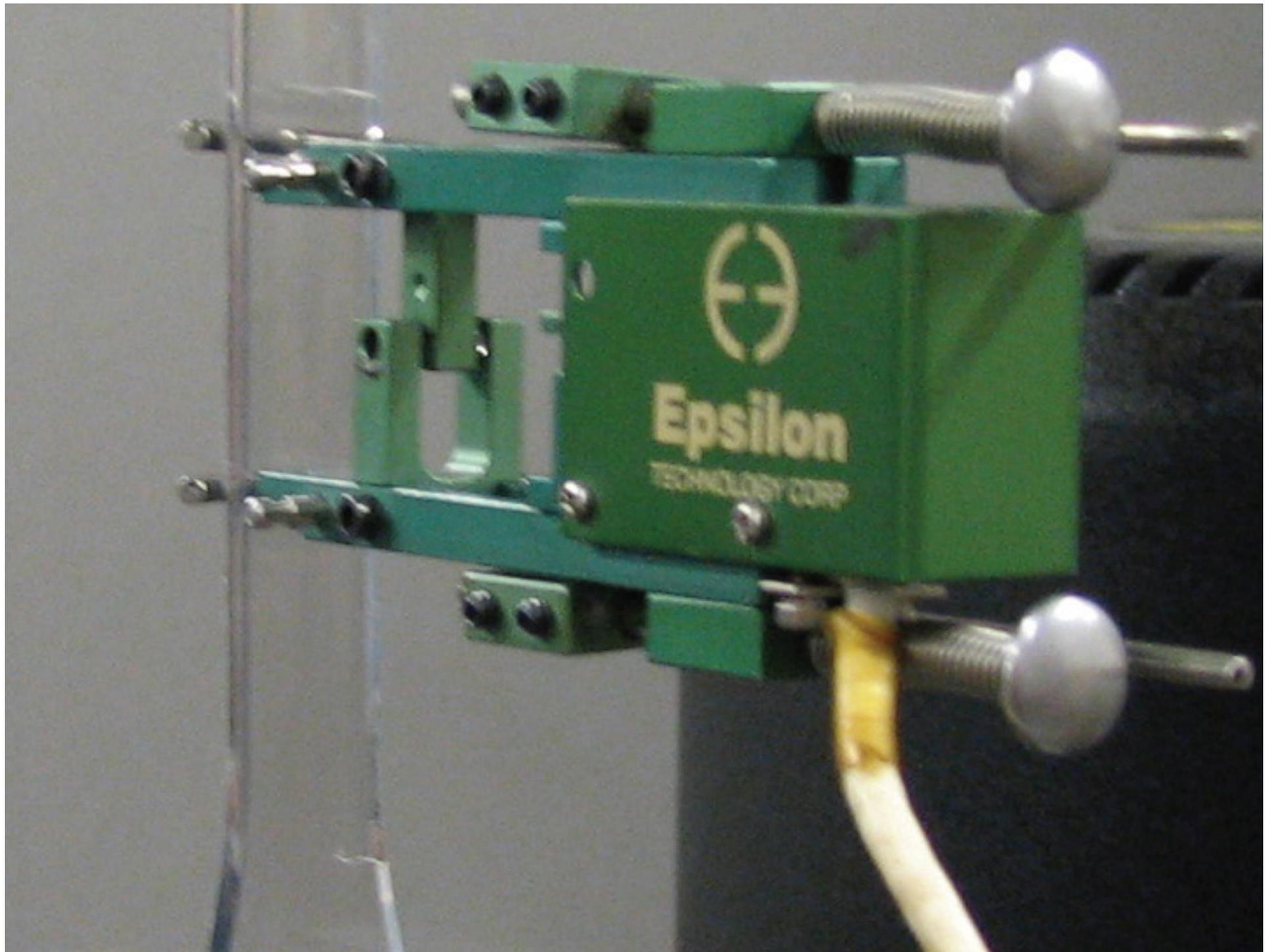
1

**Trazione
quasi-statica**

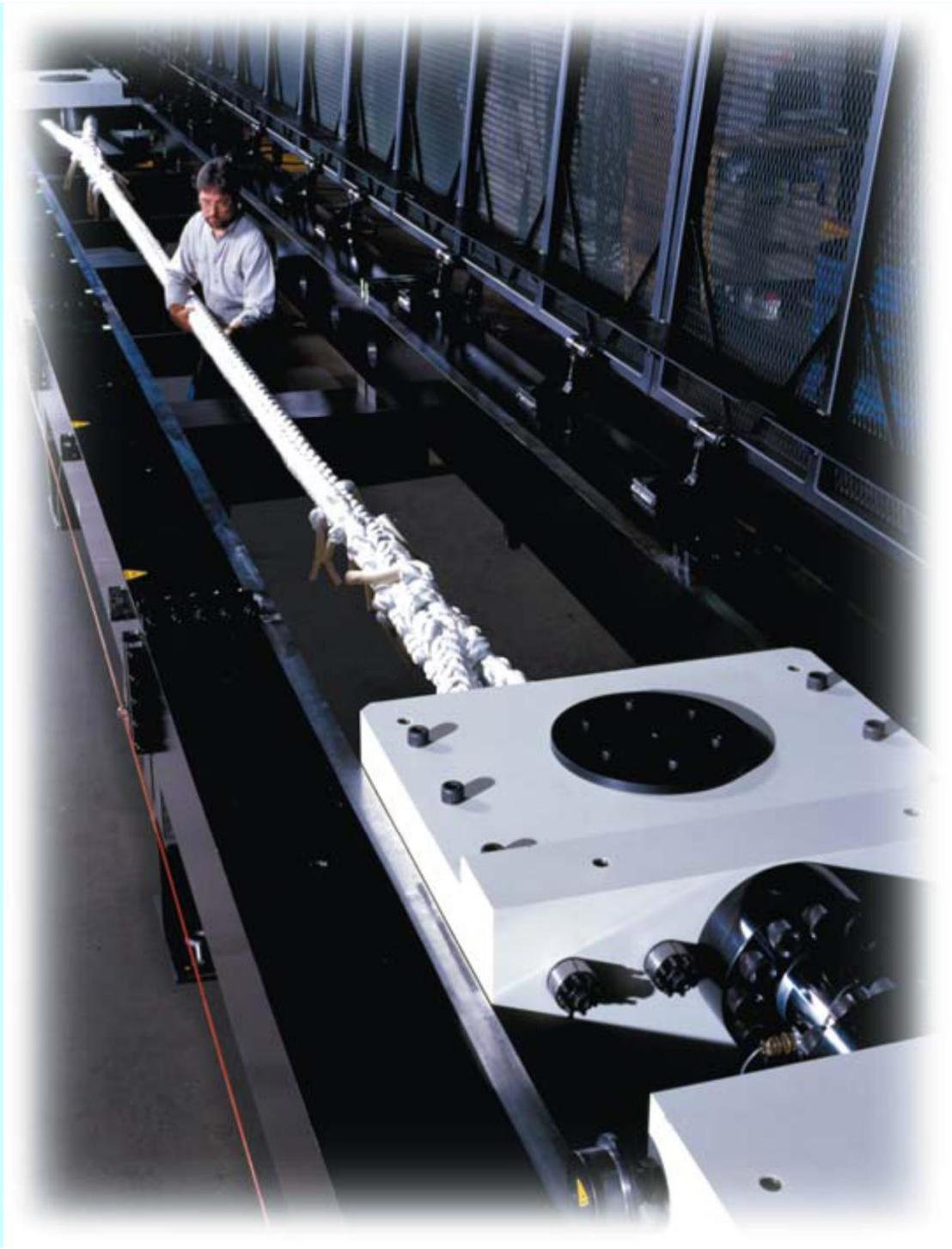




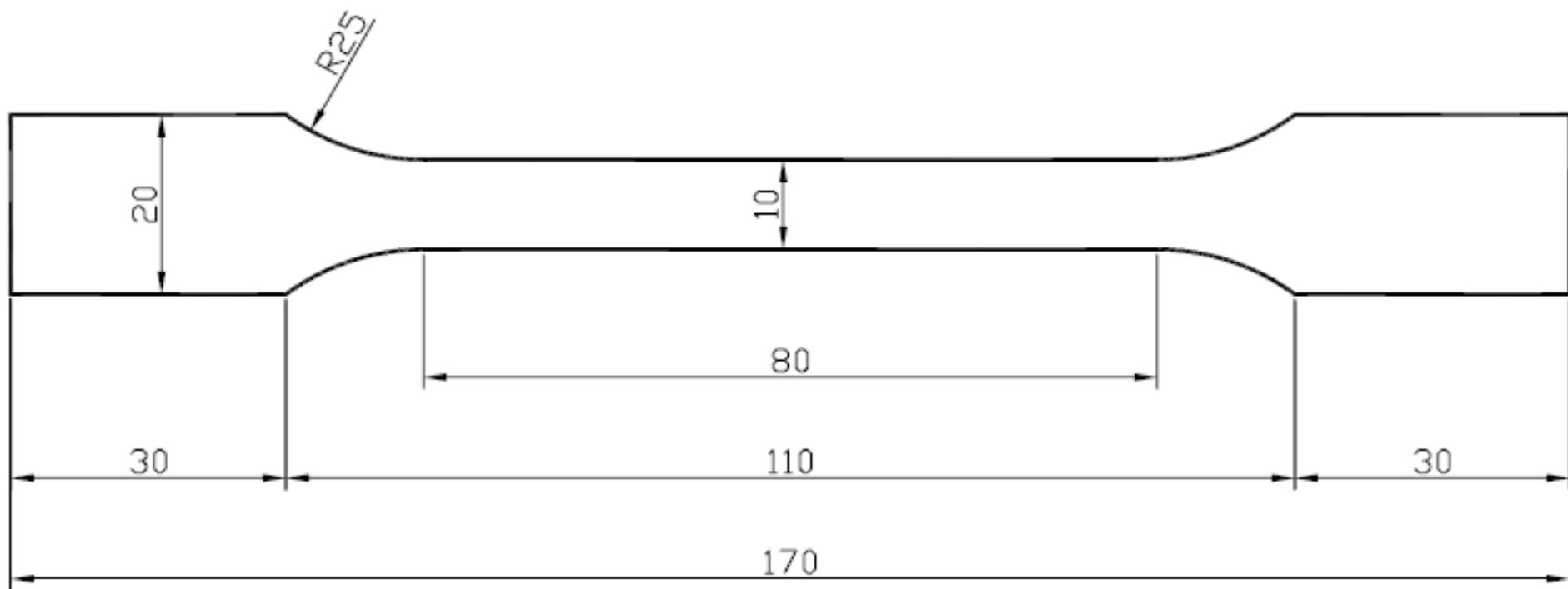


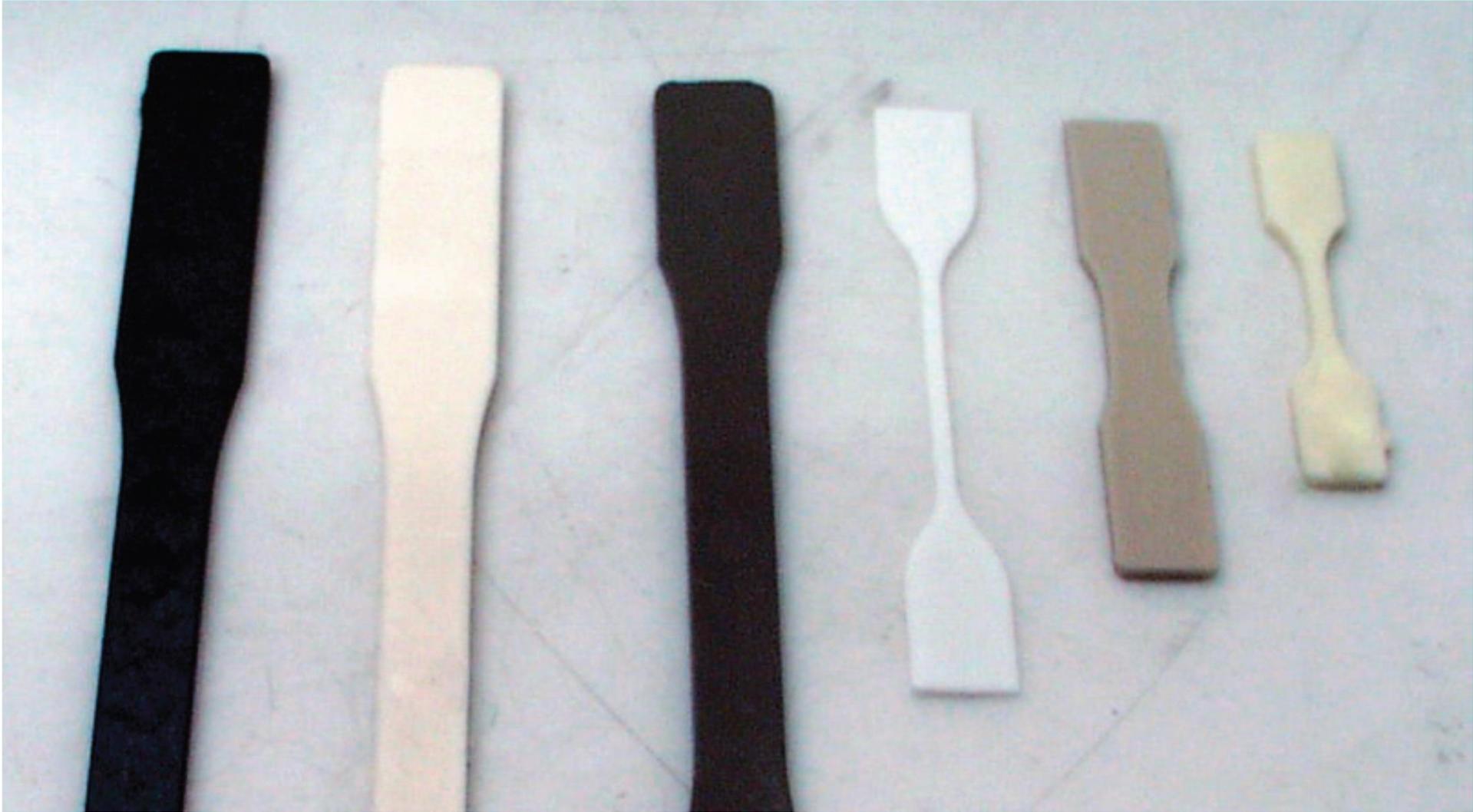






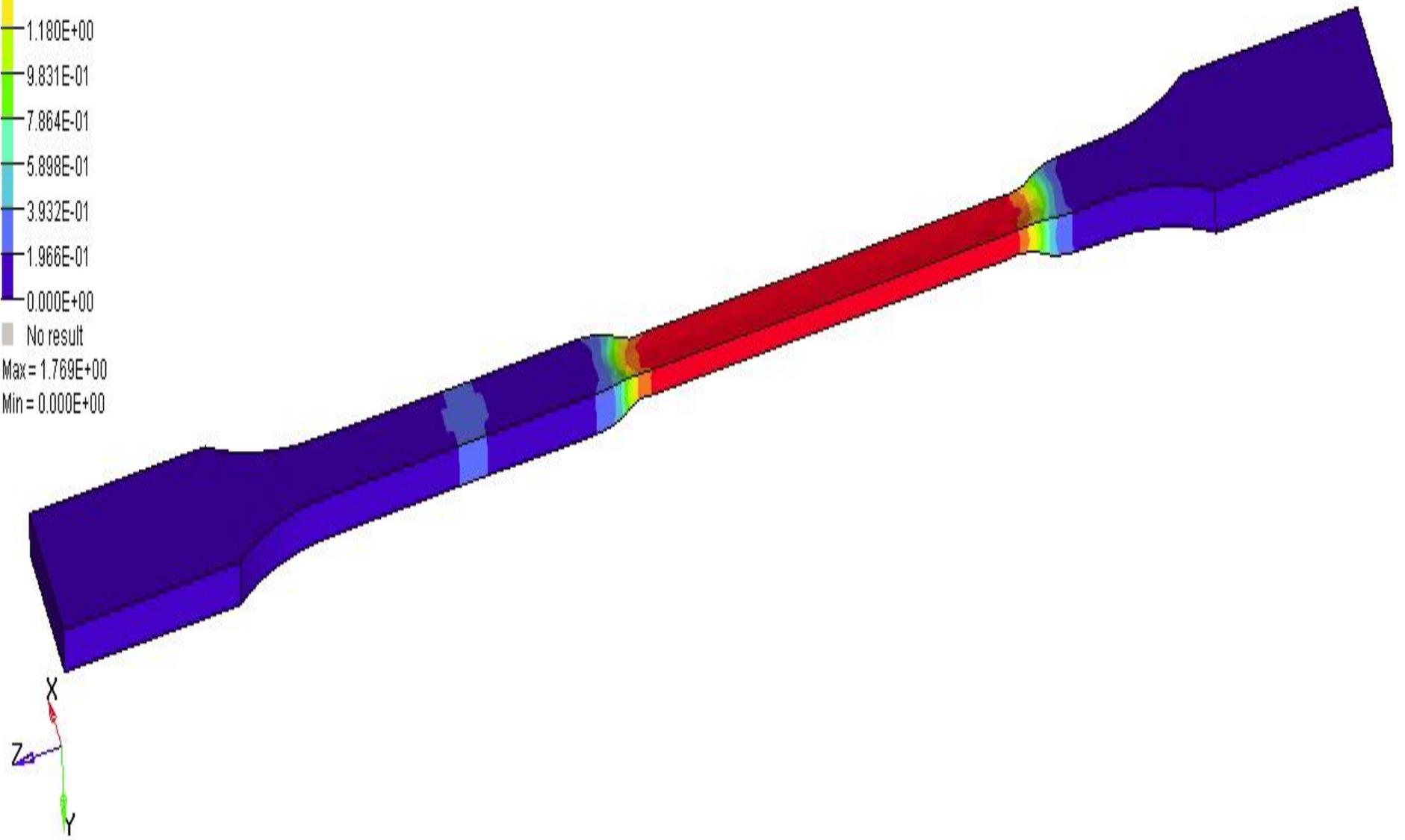
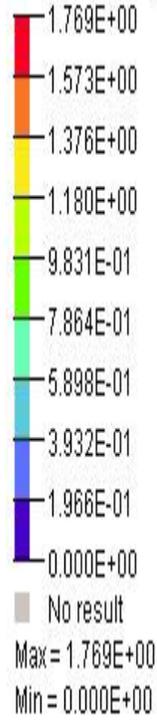


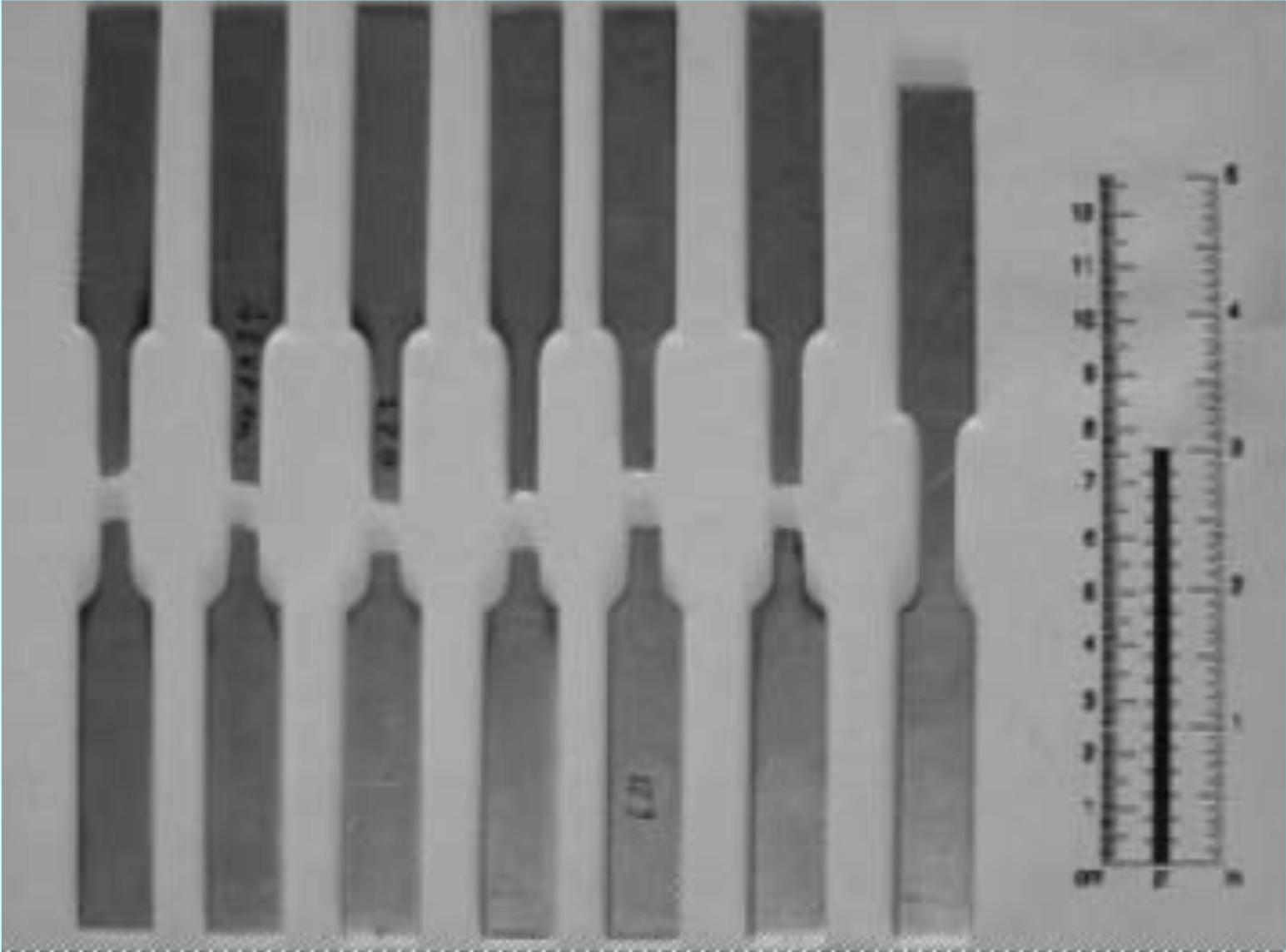


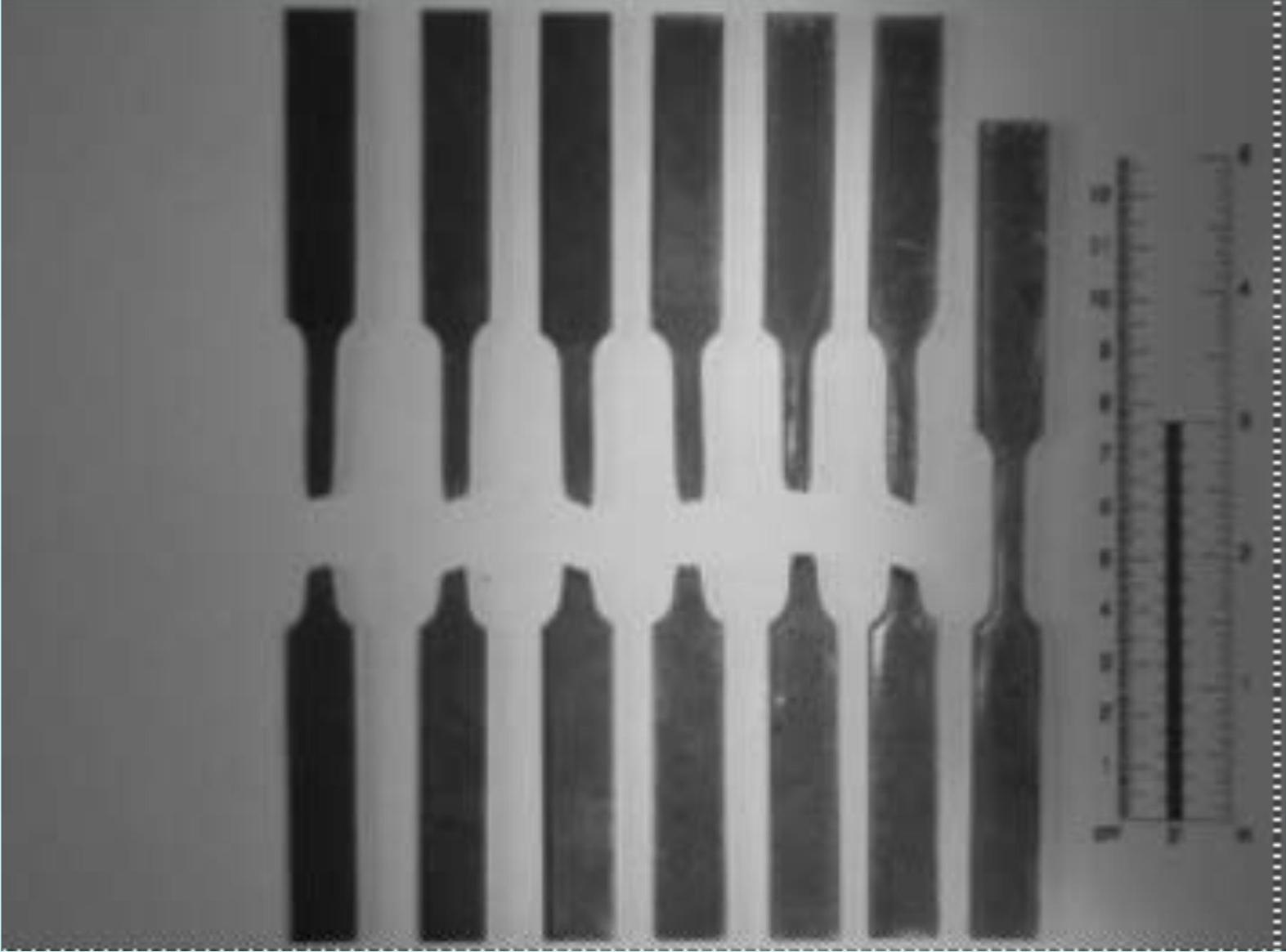


Contour (Analysis system)

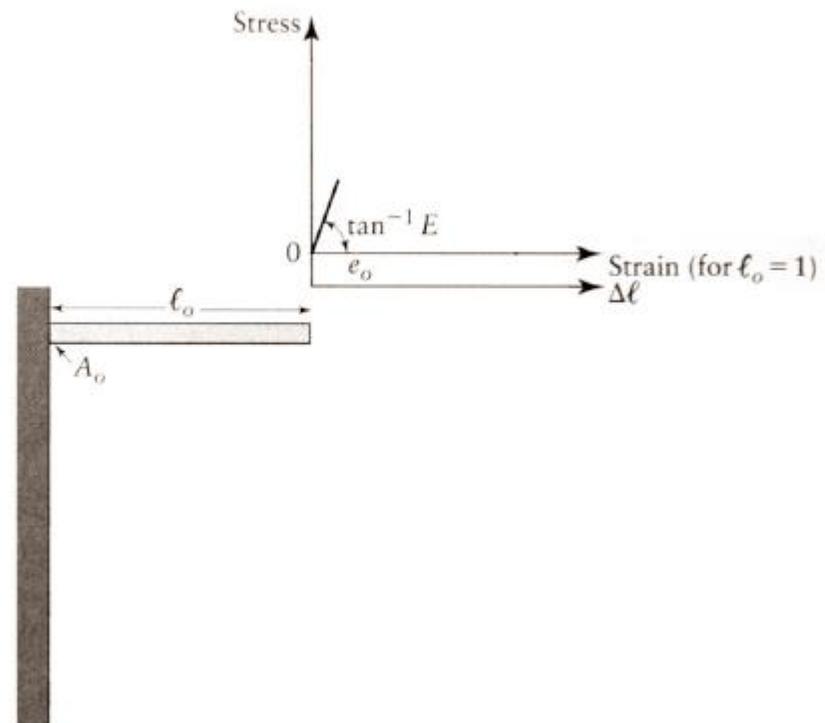
Strain (vonMises)



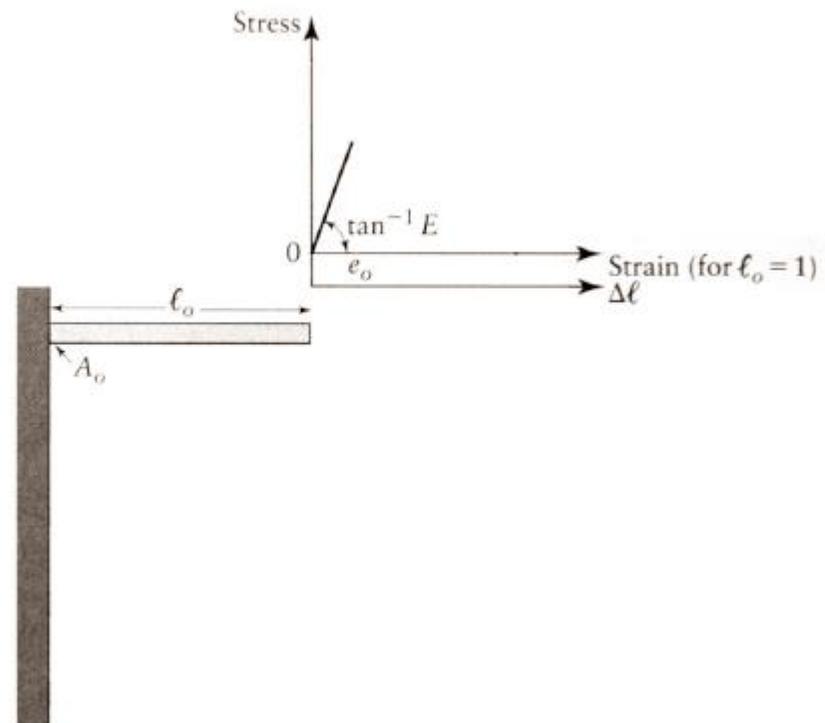




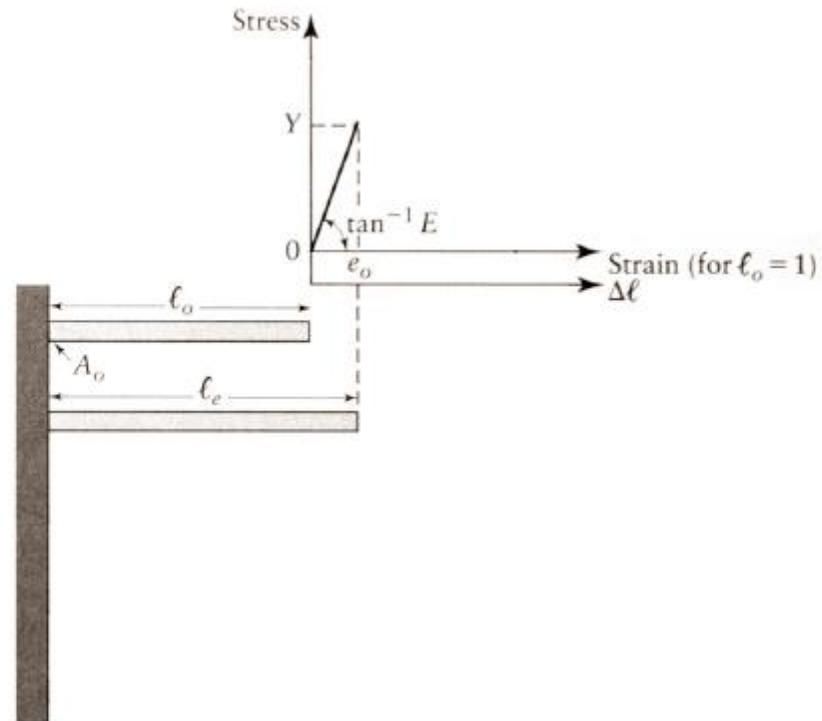
Tensione: tratto elastico lineare



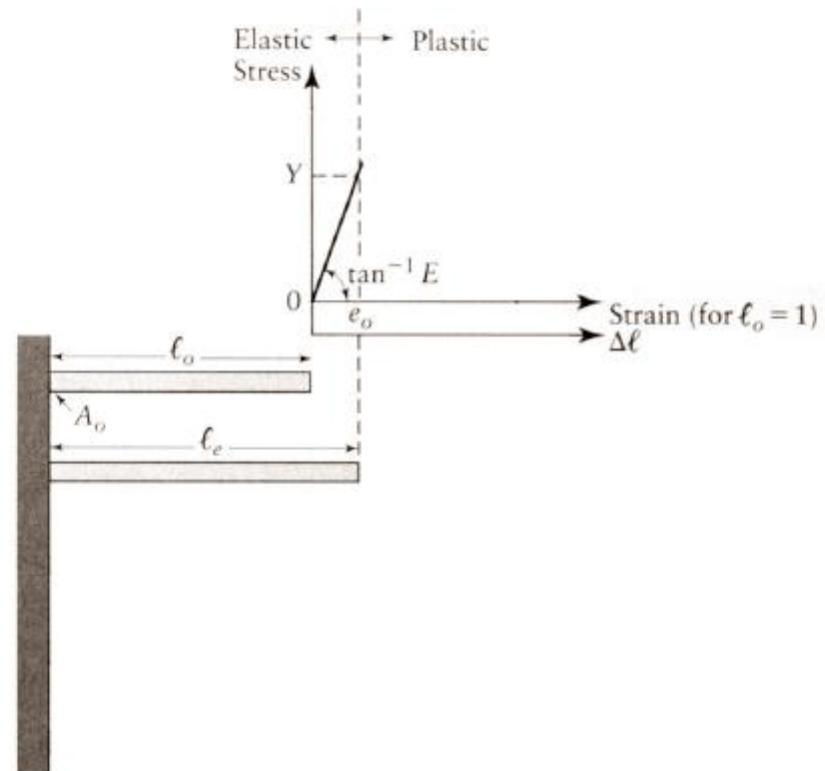
Tensione: tratto elastico lineare continua



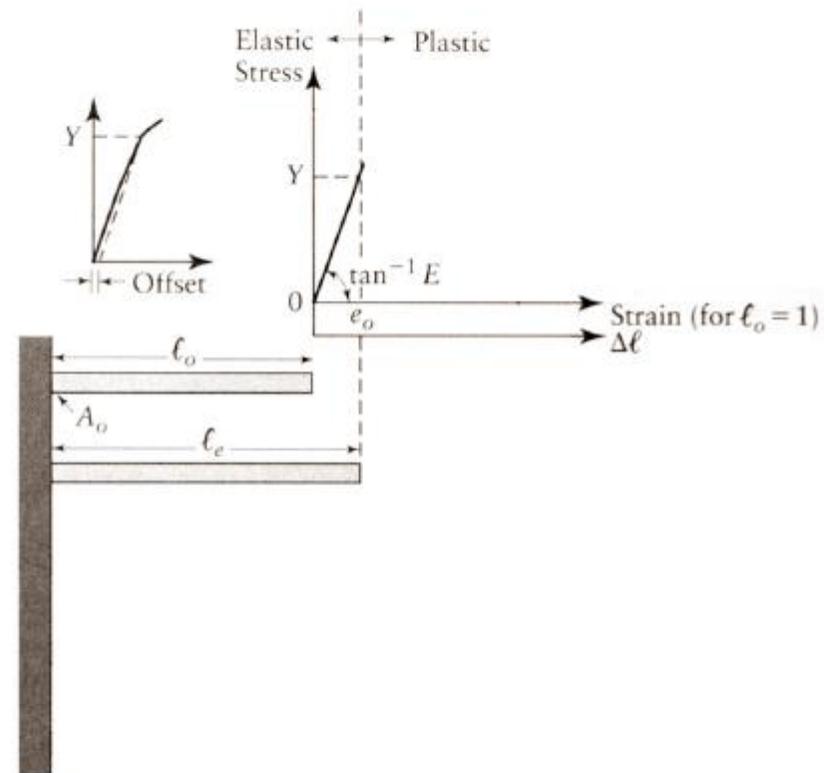
Tensione: limite elastico



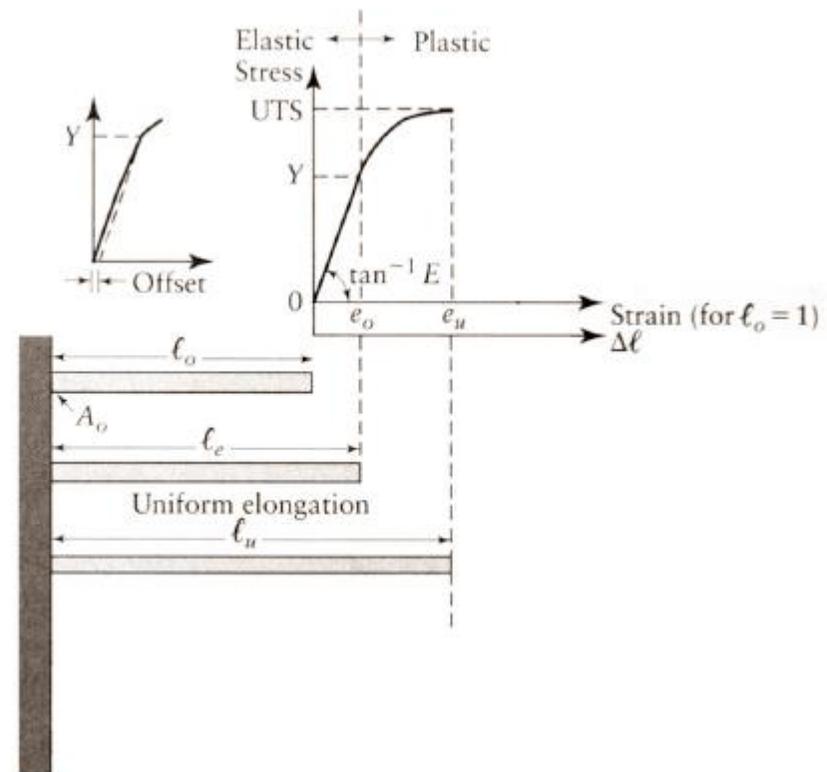
Tensione: deformazione plastica



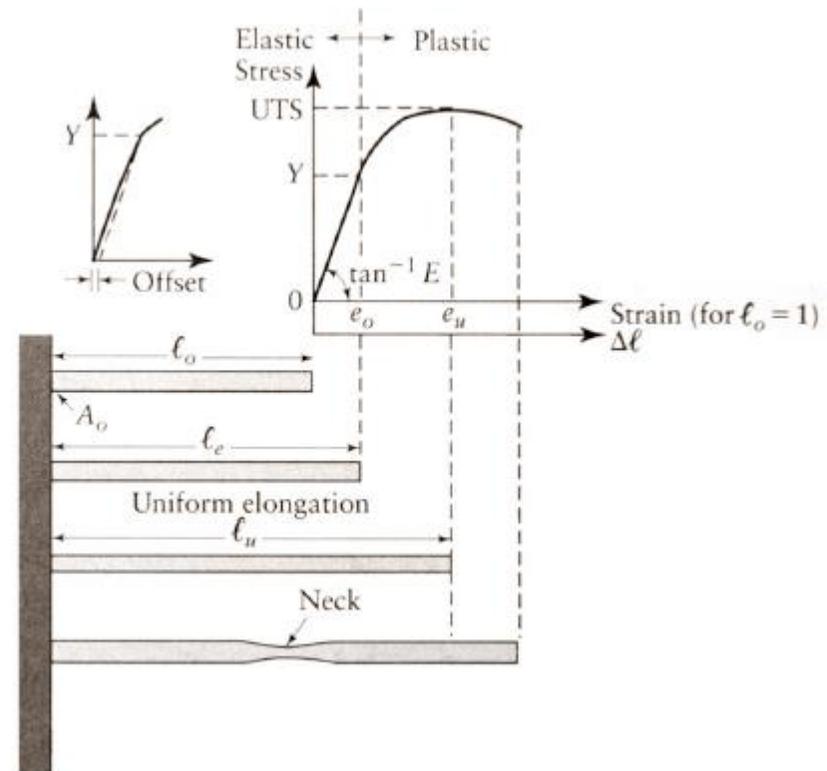
Tensione: limite di snervamento (def. 0.2%)



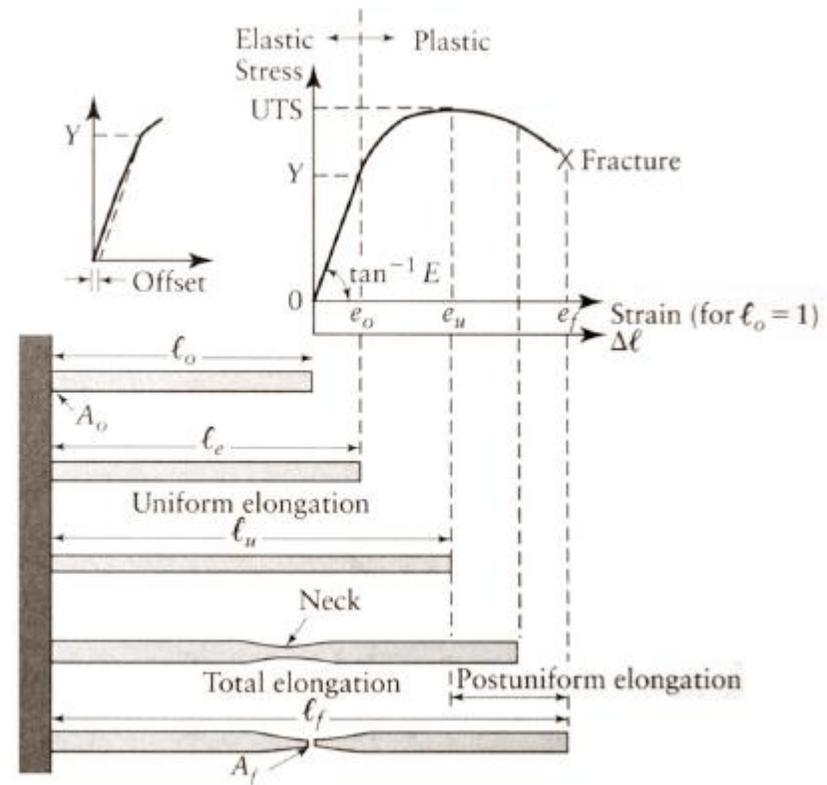
Tensione: limite ultimo

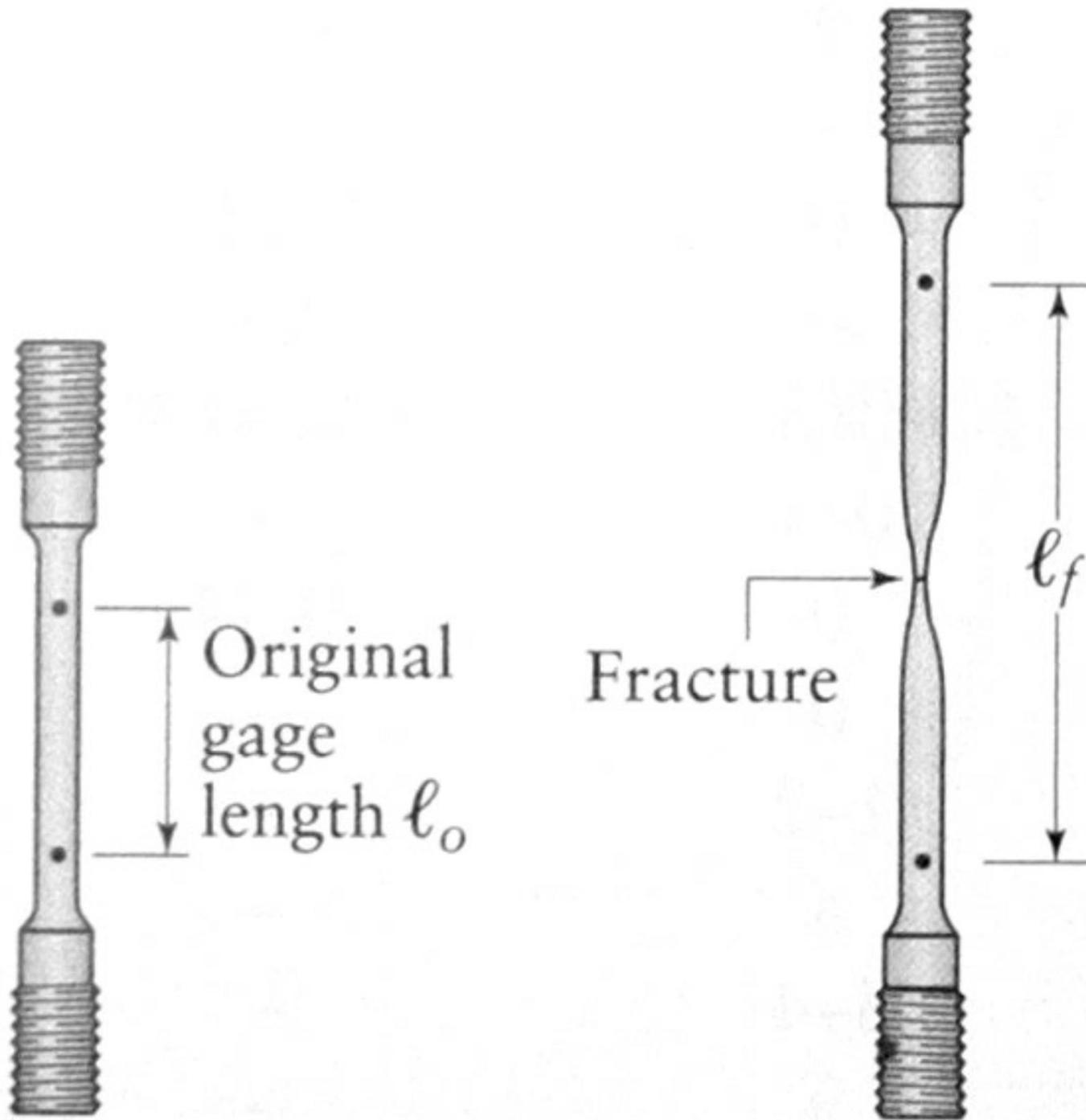


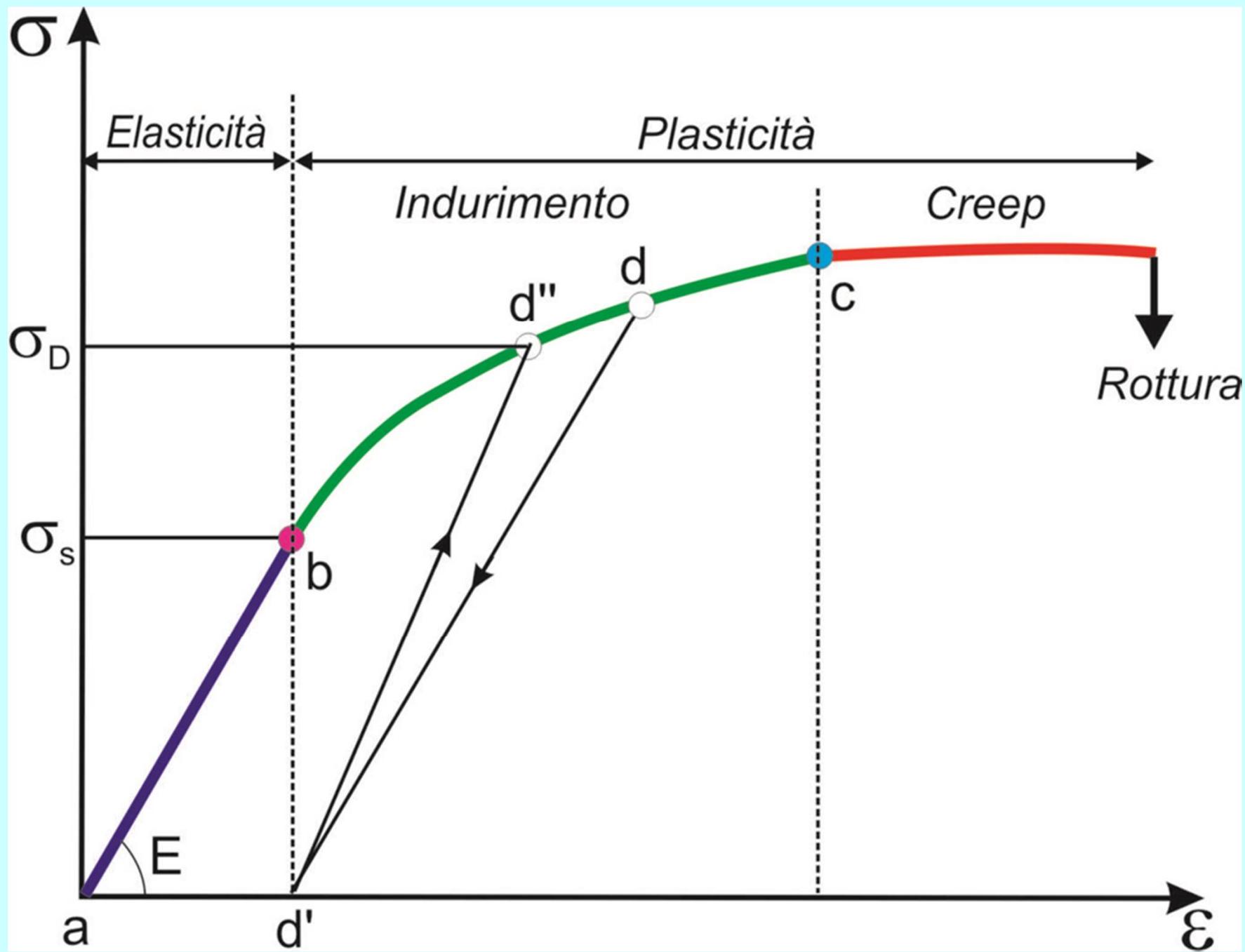
Tensione: strizione

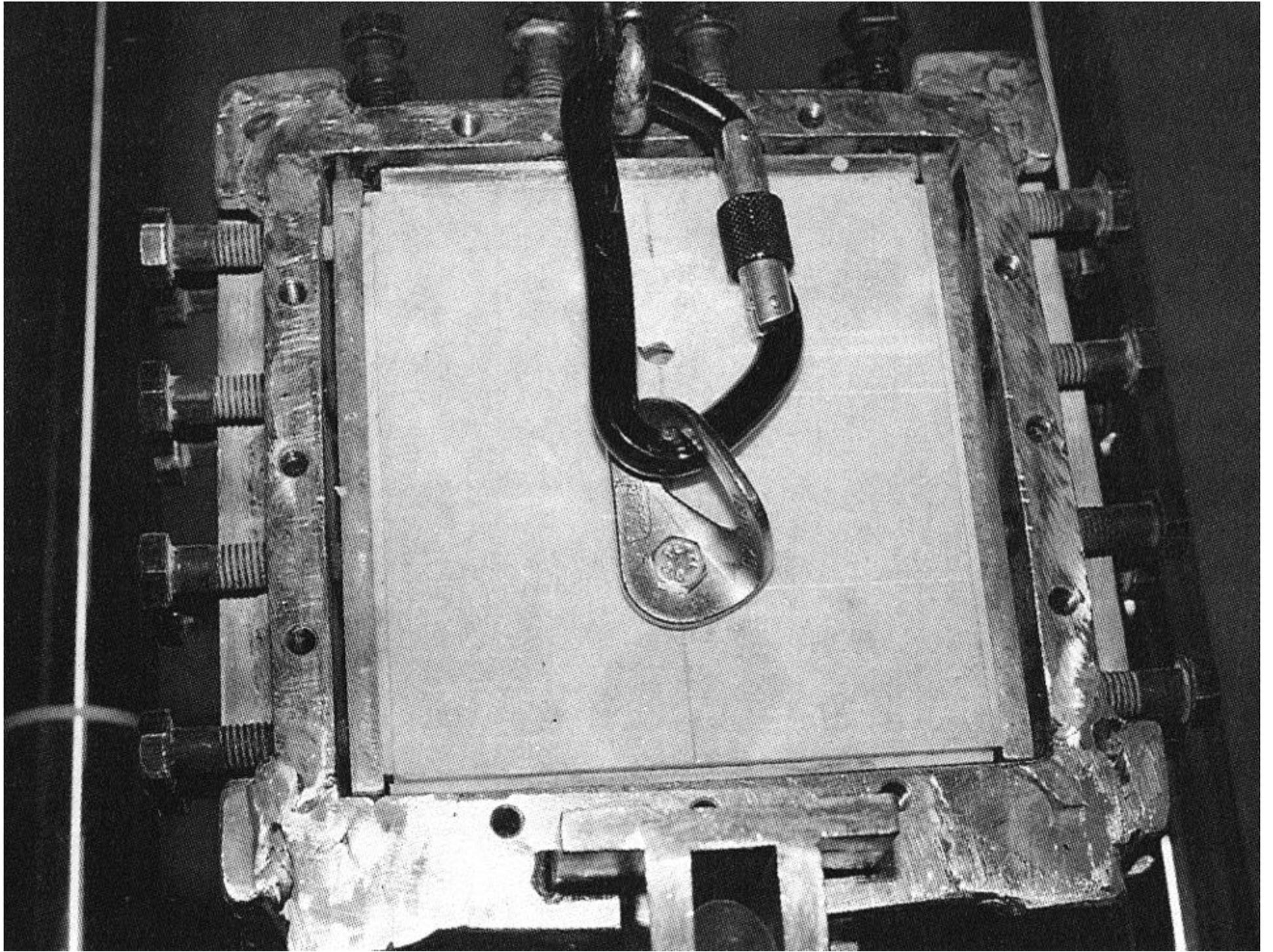


Tensione: frattura











| TIPO ROCCIA | F_r TAGLIO | F_r ESTRAZIONE |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|
| Marmo Bianco Carrara (MBC) | 2506 ¹ | 3101 ⁷ |
| Travertino (TR) | 2373 ¹ | 2088 ⁶ |
| Scaglia Rossa (SR) | 2630 ¹ | 1720 ⁶ |
| Scaglia Bianca (SB) | 2664 ¹ | 2240 ⁷ |
| Grigio Ammonitico (GA) | 2611 ¹ | 2746 ⁶ |
| Calcere Massiccio M. Cucco (CMC) | 1589 ² | 1600 ⁶ |
| Calcere Massiccio Rocchetta (CMR) | 2203 ² | 2380 ⁶ |
| Calcere Massiccio Puglia (CMP) | 2666 ¹ | 1642 ⁶ |
| Marmo Bianco Val Vemosta (MBV) | 2050 ² | 2320 ⁷ |
| Granito (GR) | 2664 ¹ | 2454 ⁶ |

**Ancoranti
autofilettanti**

Multi Monti

Ancorante Multi Monti autofilettante







| Modello | Marmo BC | | Marna Sentino | | Scaglia Rossa | | Travertino | | Granito | | Tufo Peperino | | Cemento | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|
| | Taglio | Estraz. | Taglio | Estraz. |
| 7,5 x 40 6 | 1536 ¹ | 2080 ² | 1512 ¹ | 2057 ² | 1541 ⁶ | 876 ² | 1092 ⁶ | 1513 ² | 1732 ¹ | 2322 ² | 1300 ⁶ | 1230 ² | 1893 ¹ | 1252 |
| 7,5 x 45 6 | 1413 ¹ | 2220 ¹ | 1342 ¹ | 2426 ¹ | 1611 ⁵ | 1063 ² | 1897 ¹ | 1163 ² | 1983 ¹ | 2464 ¹ | 1513 ⁶ | 1549 ² | 1893 ¹ | 1608 |
| 7,5 x 50 6 | 1440 ¹ | 2480 ¹ | 1583 ¹ | 2396 ¹ | 1863 ¹ | 1447 ² | 1237 ⁵ | 2598 ¹ | 2001 ¹ | 2516 ¹ | 1829 ⁵ | 1857 ⁴ | 1893 ¹ | 1608 |
| 7,5 x 60 6 | 1484 ¹ | 2565 ¹ | 1481 ¹ | 2683 ¹ | 1907 ¹ | 1899 ² | 1669 ⁵ | 2649 ¹ | 2030 ¹ | 2619 ² | 1824 ⁵ | 2050 ² | 1893 ¹ | 1608 |
| 7,5 x 80 6 | 1725 ¹ | 2587 ¹ | 1881 ¹ | 2580 ¹ | 1999 ¹ | 2770 ¹ | 2287 ⁵ | 2583 ¹ | 1931 ¹ | 2609 ¹ | 2420 ⁵ | 2403 ⁴ | 1893 ¹ | 1608 |
| 10 x 60 8 | 3255 ¹ | 4147 ² | 3272 ¹ | 3923 ² | 2727 ⁵ | 1971 ² | 3475 ¹ | 2944 ² | 3418 ¹ | 3427 ³ | 3246 ¹ | 1726 ² | 2718 ¹ | 2199 |
| 10 x 70 8 | 3131 ¹ | >5000 | 3408 ¹ | 4980 ² | 2660 ⁵ | 2858 ² | 3727 ¹ | 4441 ² | 3333 ¹ | 4873 ⁴ | 3692 ¹ | 3590 ⁴ | 2718 ¹ | 2586 |
| 10 x 80 8 | 3313 ¹ | >5000 | 3398 ¹ | >5000 | 3061 ¹ | 3763 ² | 3423 ¹ | 4403 ¹ | 3459 ¹ | >5000 | 3302 ¹ | 4274 ¹ | 2718 ¹ | 2586 |
| 10 x 100 8 | 3273 ¹ | >5000 | 3872 ¹ | >5000 | 3191 ¹ | 4369 ¹ | 3683 ¹ | >5000 | 3691 ¹ | >5000 | 3498 ¹ | 4383 ¹ | 2718 ¹ | 2586 |
| 12 x 60 10 | 4251 ¹ | 4292 ¹ | 4449 ¹ | 4573 ² | 3973 ¹ | 2725 ² | 4179 ¹ | 2723 ² | 4064 ¹ | 3846 ² | 3584 ¹ | 2241 ² | 3665 | 2260 |
| 12 x 80 10 | 3964 ¹ | >5000 | 4207 ¹ | >5000 | 4467 ¹ | 3459 ² | 4923 ¹ | >5000 | 4671 ¹ | >5000 | 4436 ¹ | 4326 ¹ | 3665 | 3085 |
| 12 x 90 10 | 4013 ¹ | >5000 | 3919 ¹ | 4999 ² | 3989 ¹ | 4671 ² | 3899 ¹ | >5000 | 4565 ¹ | >5000 | 4420 ¹ | 3619 ² | 3665 | 3085 |

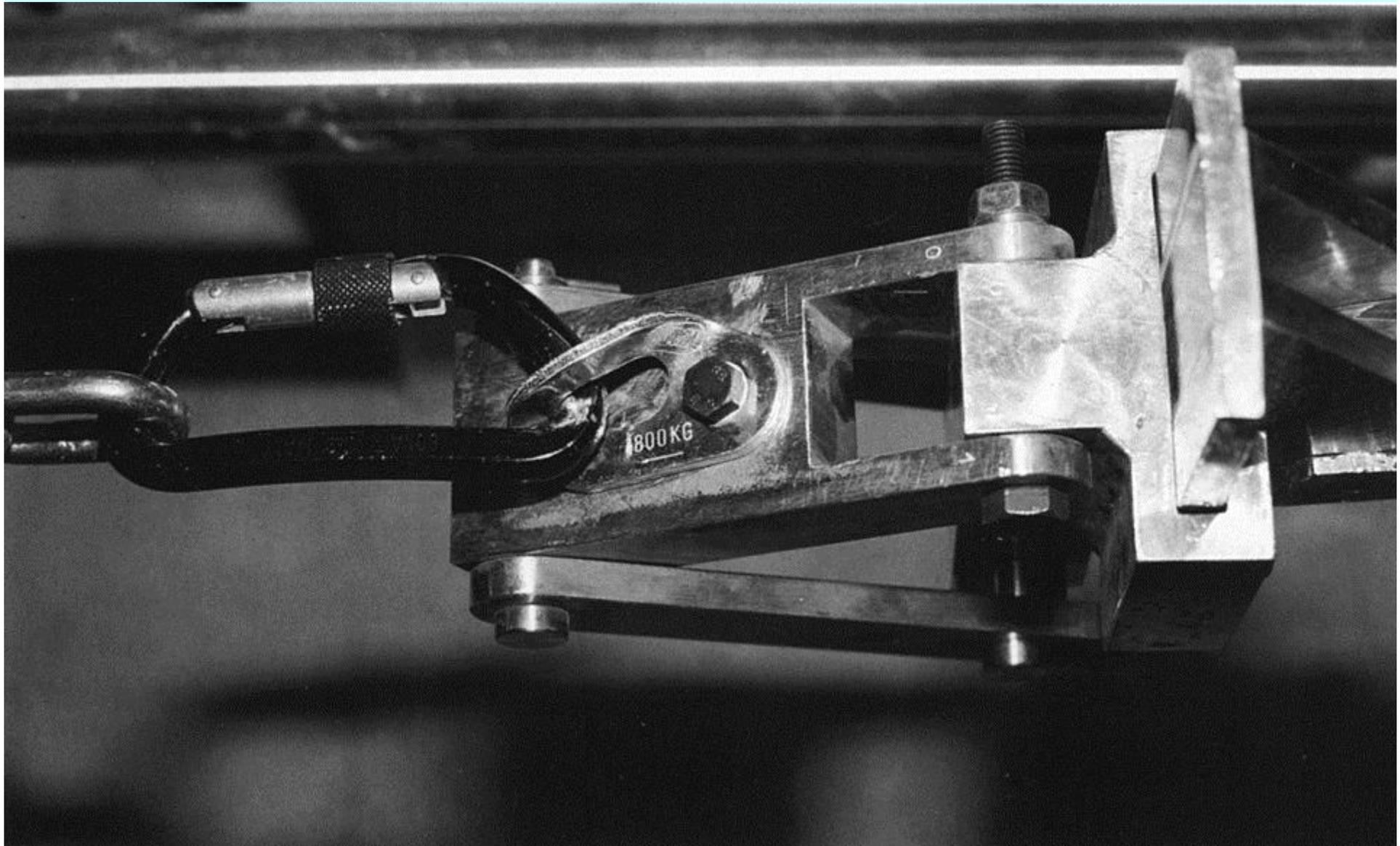
Confronto fra tasselli e Multi Monti di dimensioni simili

| Sollecitazione | MMS-S 10 x 80 Ø 8 mm L = 80 mm | Spit MF8 Bullone 8.8 | Fix acciaio normale Ø 8 mm L = 85 mm | Fix acciaio inox Ø 8 mm L = 85 mm | Chimico barra 8.8 Ø 8 mm L = 85 mm | MMS-S 7,5 x 50 Ø 6 mm L = 50 mm |
|----------------|-----------------------------------|-------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Taglio | 3313 | 2256 | 1584 | 2354 | 2256 | 1440 |
| Estrazione | > 5000 | 2530 | 2298 | 2434 | 3101 | 2480 |

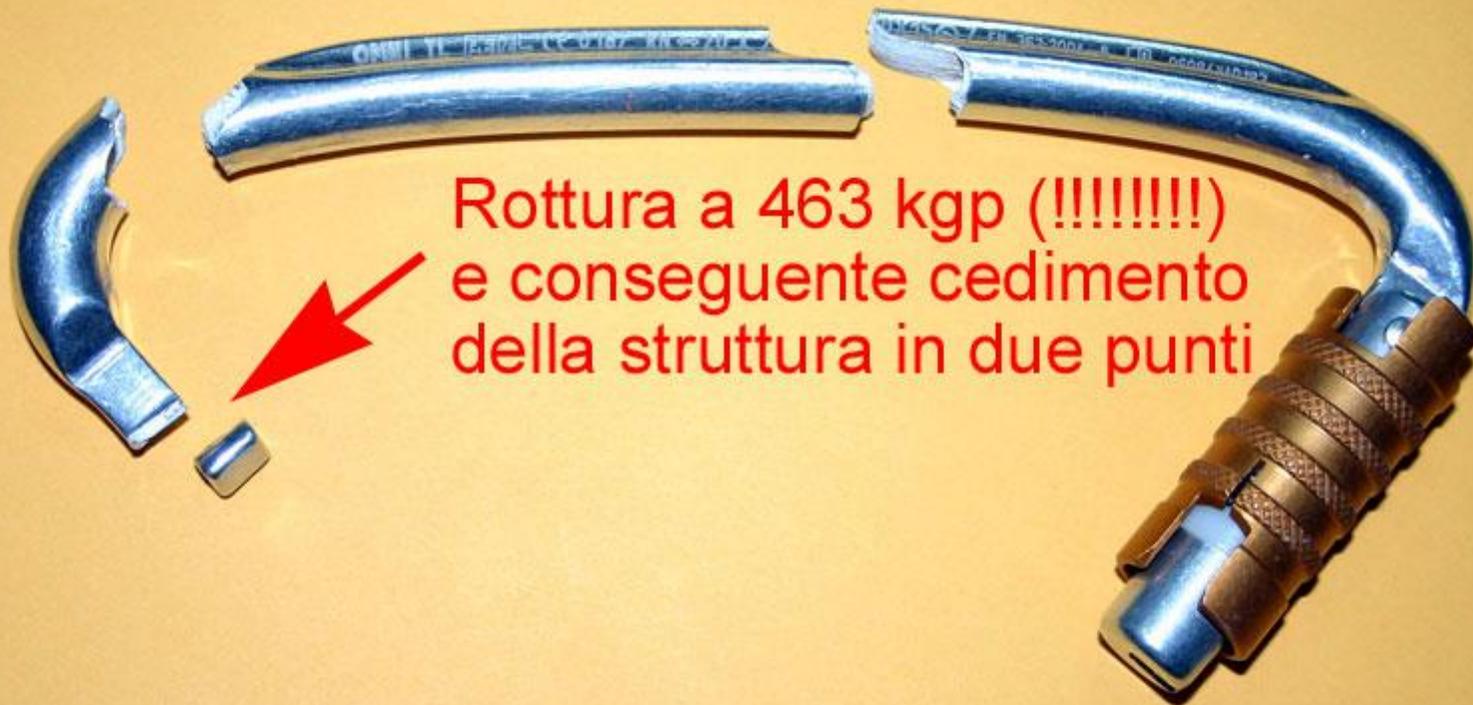
Multi Monti e Fix grande facilità e rapidità di messa in opera ma il primo ha una tenuta doppia del secondo

Multi Monti ha carichi di rottura di gran lunga superiori ai tasselli, anche chimici, ed è quasi sufficiente un MMS-S 7,5 x 50 (diametro 6 mm) per ottenere risultati accettabili

Test su piastra acciaio



OMNI LOCK PETZL



Rottura a 463 kgp (!!!!!!!)
e conseguente cedimento
della struttura in due punti

Con la trazione che ha prodotto questa rottura, il maillon semicircolare viene dato (testato individualmente) con carico di rottura di 20 kN (circa 2000 kgp)

Distribuzione delle sollecitazioni Simmetrico

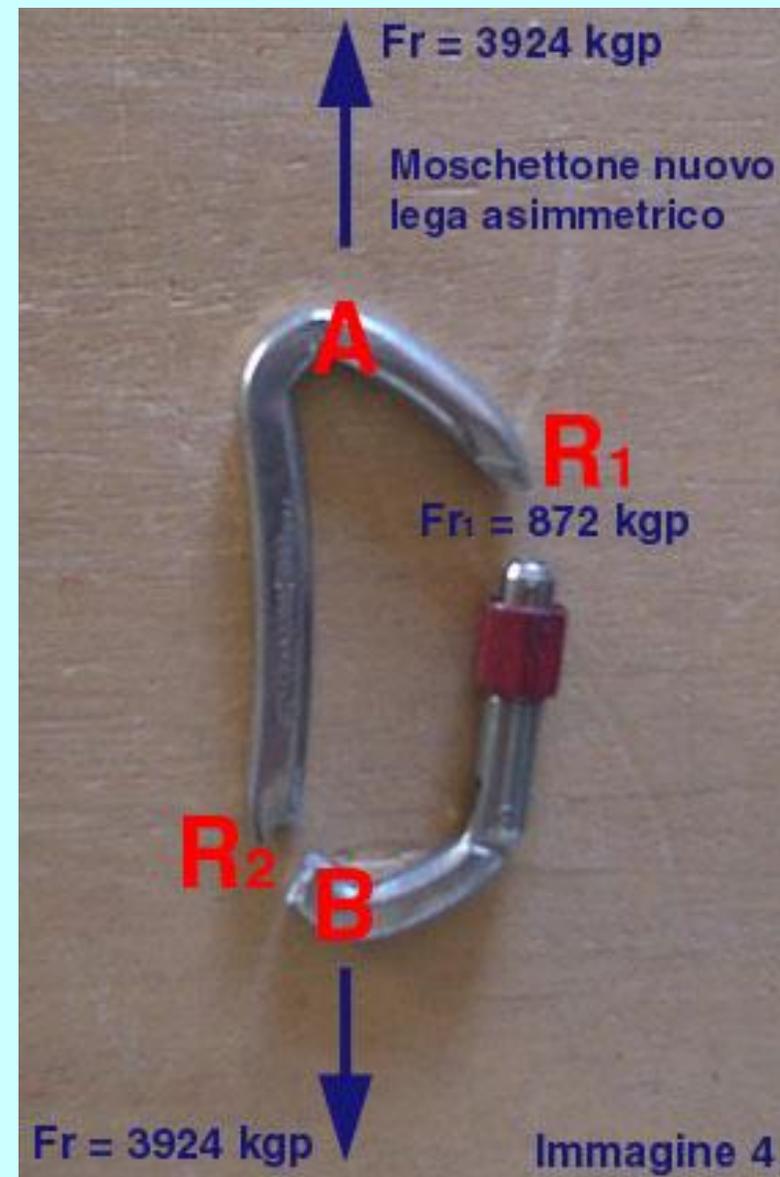
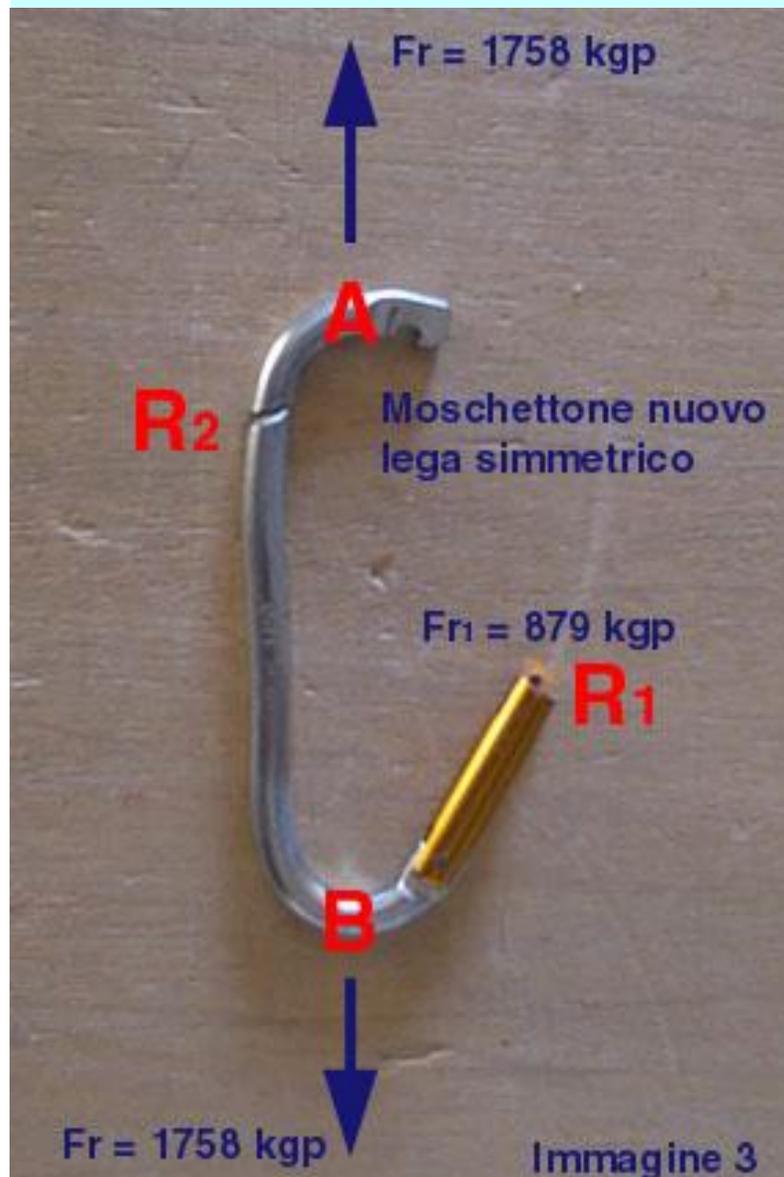
Asimmetrico



Rottura di un moschettone nuovo

Simmetrico

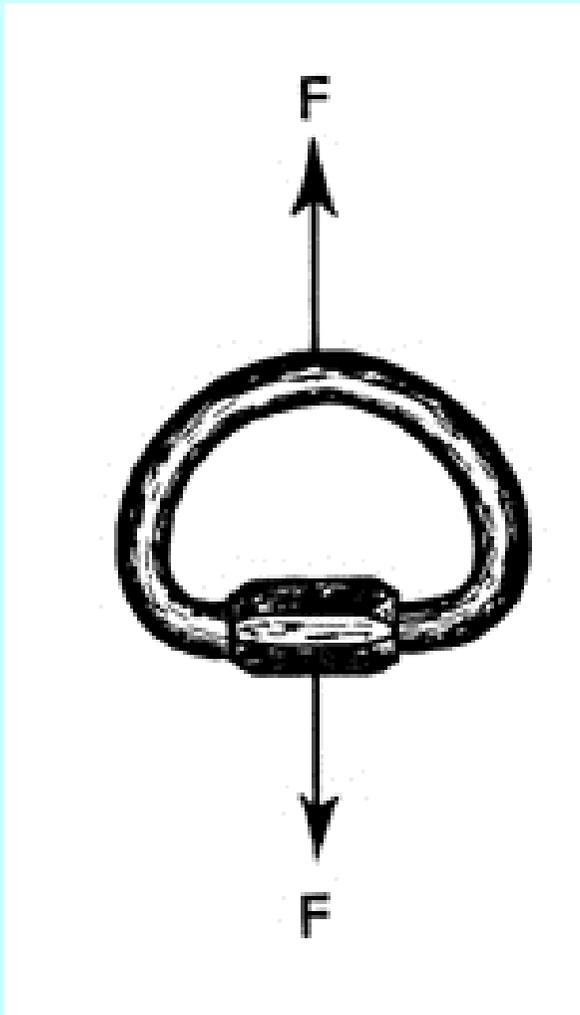
Asimmetrico



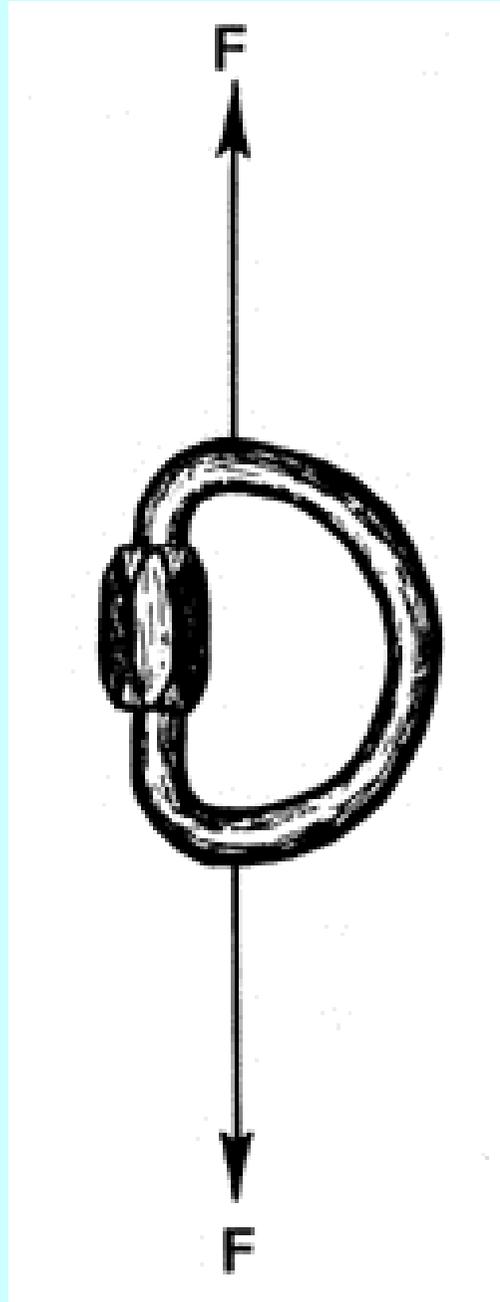
Maglie rapide

Maglie rapide

Trazione trasversale



Trazione longitudinale



a) *Semicircolare* \varnothing 10 mm acciaio

Trazione longitudinale

$F_r > 5000$ (3 prove)

Trazione trasversale

$F_r =$ 1138 1741 1505 1487
1070 1001 1390 1402
1213 1183

F_r media = 1314

b) *Semicircolari* \varnothing 10 mm lega leggera

Trazione longitudinale

$F_r =$ 2585 3810 2588 2541
2759 2282 2710 1856
2631 1999

F_r media = 2576

Trazione trasversale

$F_r =$ 1003 477 1435 1296
1327 1271 1051 383
1383 1388 1314 1496
415 1446 1350

F_r media = 1136

g) *Simmetriche acciaio (solo trazione longitudinale)*

\varnothing 10 mm F_r > 5000 (3 prove)

\varnothing 9 mm F_r > 5000 (3 prove)

\varnothing 8 mm F_r = 3961 4380 4125 4360
4023 3982 4301 4277
4017 4091

| |
|--------------------|
| F_r media = 4152 |
|--------------------|

\varnothing 7 mm F_r = 3709 2669 3543 3217
2503 2991 3722 3011
3127 3083

| |
|--------------------|
| F_r media = 3157 |
|--------------------|

$$\begin{array}{l} \varnothing \quad 6 \text{ mm} \quad F_r = \begin{array}{cccc} 2968 & 2281 & 2478 & 2491 \\ 2456 & 2376 & 2501 & 2732 \\ 1971 & 2821 & & \end{array} \end{array}$$

$$F_r \text{ media} = 2507$$

$$\begin{array}{l} \varnothing \quad 5 \text{ mm} \quad F_r = \begin{array}{cccc} 2159 & 1450 & 1270 & 2101 \\ 2117 & 485 & 671 & 1970 \\ 1018 & 1182 & & \end{array} \end{array}$$

$$F_r \text{ media} = 1442$$

$$\begin{array}{l} \varnothing \quad 4 \text{ mm} \quad F_r = \begin{array}{cccc} 1280 & 953 & 1333 & 1327 \\ 923 & 680 & 1368 & 487 \\ 1421 & 1308 & & \end{array} \end{array}$$

$$F_r \text{ media} = 1108$$

Sezione trasversale effettiva delle corde

Corde (tessitura complessa)

S (superficie trasversale apparente della corda) non corrisponde al vero valore dati gli spazi vuoti fra fili, trefoli e calza e quindi non può essere utilizzato per calcolare lo sforzo σ

S_e (superficie trasversale efficace della corda) che corrisponde al valore pari alla somma delle superfici trasversali di tutti i fili elementari della corde e quindi può essere utilizzato per calcolare lo sforzo σ della corda intesa come barra omogenea di sezione trasversale S_e

Sforzo specifico

$$\sigma_s = \frac{F}{\rho_l} \quad \frac{F \cdot m}{kg} = \frac{J}{kg}$$

ρ_l = densità lineare (tex = g/km)

Questo di fatto trasforma la corda a tessitura complessa
in una barra di sezione S_e

Alla rottura per trazione QS lo sforzo specifico diventa

$$\sigma_{sr} = \frac{F_r}{\rho_l} = \text{tenacità (N/tex)}$$

La tenacità è un valore proprio di ogni fibra e si trova in tabelle

Table 2.3 Properties of major rope fibres, based on Cordage Institute Charts, TTI and Noble Denton (1999), and Morton and Hearle (1993). Note that these are typical values, but the actual properties cover a range of values depending on the particular variant of each type of fibre

| | Cotton | Abaca | Sisal | Flax | Hemp | Jute | Nylon | PET | PE | PP | Aramid | TLCP | PBO | HMPE | Steel | | |
|------------------------------|---------------------------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|--------|------|------|-------|----------|-----|------|
| Density (g/cm ³) | 1.54 | 1.32 | 1.32 | 1.54 | 1.5 | 1.5 | 1.14 | 1.38 | 0.95 | 0.91 | 1.45 | 1.40 | 1.55 | 0.97 | 7.85 | | |
| Melting point (°C) | ----- char at ca150 ----- | | | | | | 258* | 258 | 140 | 165 | decom | 500 | 330 | decom | 650 | 150 | 1600 |
| Moisture (%) 65% rh, 20°C | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7 | 8 | 12 | 5 | <1 | 0 | 0 | 1 to 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Tenacity (mN/tex) | 300 | 530 | 440 | 540 | 470 | 310 | 840** | 820 | 530 | 620 | 2000 | 2200 | 3700 | 3500 | 330 | | |
| Strength (MPa) | 460 | 700 | 580 | 810 | 705 | 465 | 960 | 1130 | 500 | 560 | 2900 | 3100 | 5700 | 3400 | 2600 | | |
| Break extension (%) | 7 | 3 | 3 | 3 | 1.8 | 2.2 | 20 | 12 | 20 | 20 | 3.5 | 3.5 | 3 | 3.5 | yld at 2 | | |
| Modulus (N/tex) | 5 | 20 | 20 | 18 | 21.7 | 17.2 | 7** | 11 | 4 | 7 | 60 | 55 | 180 | 100 | 20 | | |
| Modulus (GPa) | 8 | 30 | 30 | 27 | 32.6 | 25.8 | 8** | 15 | 4 | 6 | 90 | 80 | 280 | 100 | 160 | | |
| Rupture work (mN/tex) | 5 | 5 | 5 | 8 | 5.3 | 2.7 | 80 | 50 | 50 | 60 | 35 | 40 | 55 | 60 | yld | | |

* Nylon 6.6–218°C for nylon 6.

** Less when wet.

Altra relazione importante

$$\sigma_s = \frac{\sigma}{\rho} \quad = \text{densità della fibra (g/cm}^3\text{)}$$

Alla rottura la relazione diventa

$$\sigma_{sr} = \frac{\sigma_r}{\rho} = \frac{F_r / S_e}{\rho}$$

infine

$$S_e = \frac{F_r}{\sigma_{sr} \cdot \rho}$$

dove tutti i componenti del 2° membro sono noti

$$S_e = \frac{9,81 \cdot F_{r(kgp)}}{10^9 \cdot \sigma_{sr(N/tex)} \cdot \rho_{(g/cm^3)}} (m^2)$$

$$d_e = 2 \sqrt{\frac{9,81 \cdot F_{r(kgp)}}{3,14 \cdot 10^3 \cdot \sigma_{sr(N/tex)} \cdot \rho_{(g/cm^3)}}} (m)$$

d_e = diametro efficace

$$\rho_l = \frac{9,81 \cdot 10^{-6} \cdot F_{r(kgp)}}{\sigma_{sr(N/tex)}} (N / tex)$$

ρ_l = densità lineare

Corda statica %Cavalieri+nuova **10,6 mm** nylon 6.6

$$d_e = 2 \sqrt{\frac{10^{-3} \cdot g \cdot Fr}{\pi \cdot T \cdot \rho}}$$

d_e = diametro efficace (mm) = **7,6 mm**

g = accelerazione di gravità (m/s²) = 9,81 m/s²

F_r = carico alla rottura senza nodi (kgp) = 3106 kgp

T = tenacità (N/tex) = 0,67 N/tex

= densità (g/cm³) = 1,14 g/cm³

Corda Courant Ultima nuova **11 mm** nylon 6

$$d_e = 2 \sqrt{\frac{10^{-3} \cdot g \cdot Fr}{\pi \cdot T \cdot \rho}}$$

d_e = diametro efficace (mm) = **9,0 mm**

g = accelerazione di gravità (m/s²) = 9,81 m/s²

F_r = carico alla rottura senza nodi (kgp) = 3465 kgp

T = tenacità (N/tex) = 0,47 N/tex

= densità (g/cm³) = 1,14 g/cm³

Corda Courant Ultima nuova **10,0 mm** nylon 6

$$d_e = 2 \sqrt{\frac{10^{-3} \cdot g \cdot Fr}{\pi \cdot T \cdot \rho}}$$

d_e = diametro efficace (mm) = **8,4 mm**

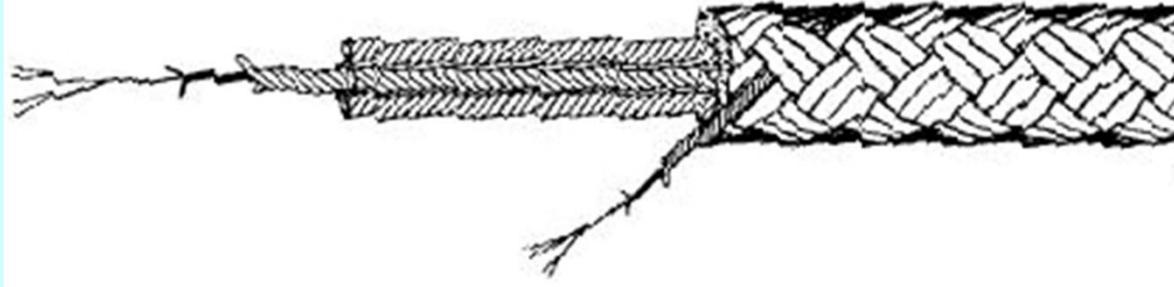
g = accelerazione di gravità (m/s²) = 9,81 m/s²

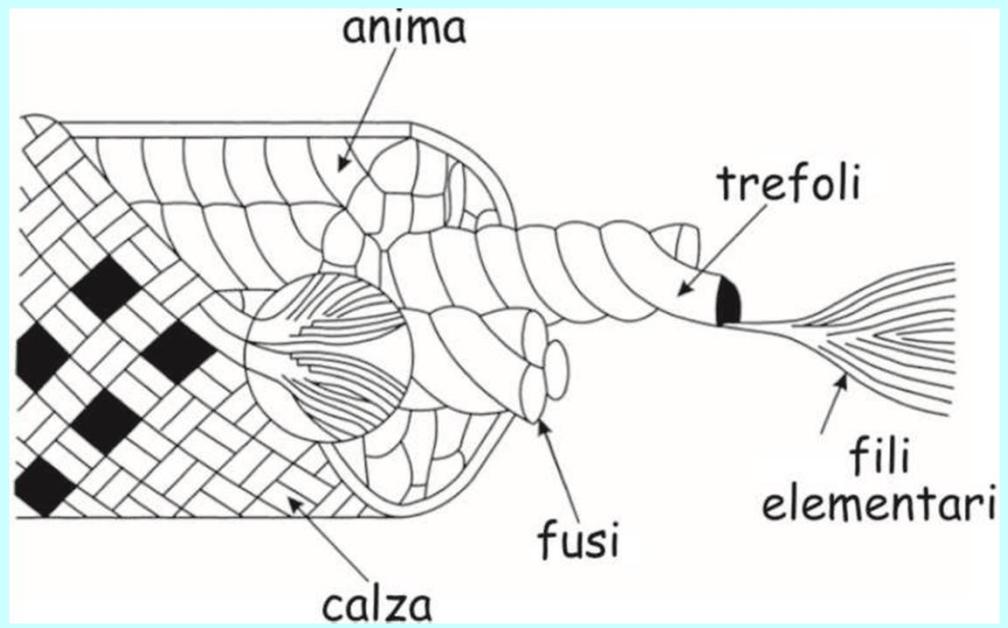
F_r = carico alla rottura senza nodi (kgp) = 3030 kgp

T = tenacità (N/tex) = 0,47 N/tex

= densità (g/cm³) = 1,14 g/cm³

Caratteristiche delle fibre di polimeri





Fibra Poliammide Nylon 6

| | | |
|---|------|----------|
| Densità ρ (g/cm ³) | 1,14 | |
| Punto di fusione (°C) | 218 | |
| Tenacità (N/tex) | 0,47 | |
| Sforzo alla rottura (N/mm ² = MPa) | 536 | Strength |
| Allungamento alla rottura (%) | 26 | |
| Modulo (GPa) | 2,6 | |
| Lavoro alla rottura (mN/tex) | 76 | |

Altre osservazioni e dati:

Note:

Fibra Poliammide Nylon 6.6

| | | |
|---|------|----------|
| Densità ρ (g/cm ³) | 1,14 | |
| Punto di fusione (°C) | 258 | |
| Tenacità (N/tex) | 0,64 | |
| Sforzo alla rottura (N/mm ² = MPa) | 900 | Strength |
| Allungamento alla rottura (%) | 16 | |
| Modulo (GPa) | 8 | |
| Lavoro alla rottura (mN/tex) | 80 | |

Altre osservazioni e dati:

Note:

Fibra Aramide Kevlar(48)

| | | |
|---|------|-----------|
| Densità ρ (g/cm ³) | 1,45 | |
| Punto di fusione (°C) | 500 | decompone |
| Tenacità (N/tex) | 2,03 | |
| Sforzo alla rottura (N/mm ² = MPa) | 2900 | strength |
| Allungamento alla rottura (%) | 3,6 | |
| Modulo (GPa) | 72 | |
| Lavoro alla rottura (mN/tex) | 35 | |

Altre osservazioni e dati:

Note:

Fibra HMPE Dyneema SK 60

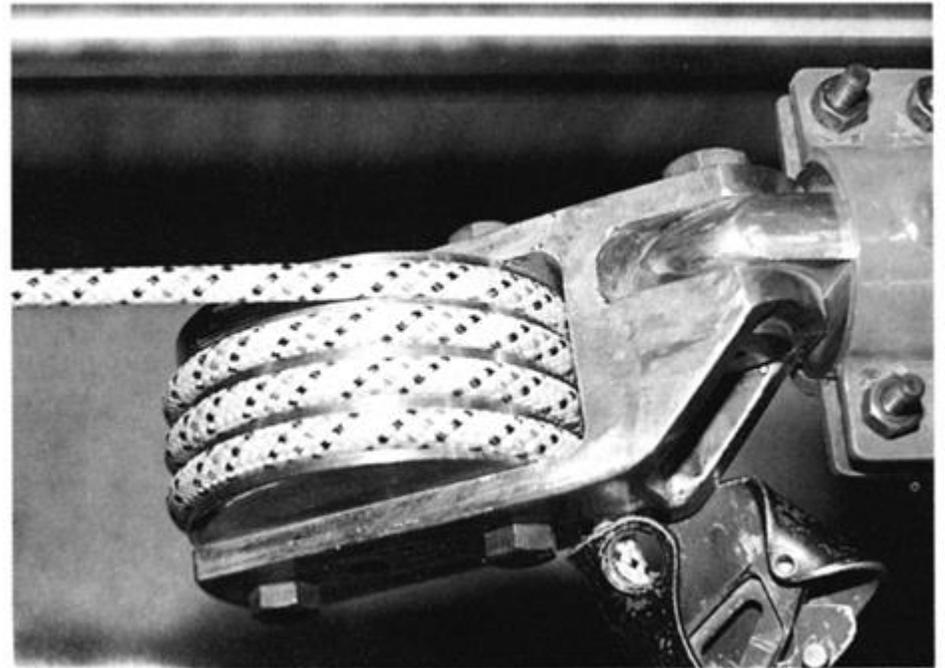
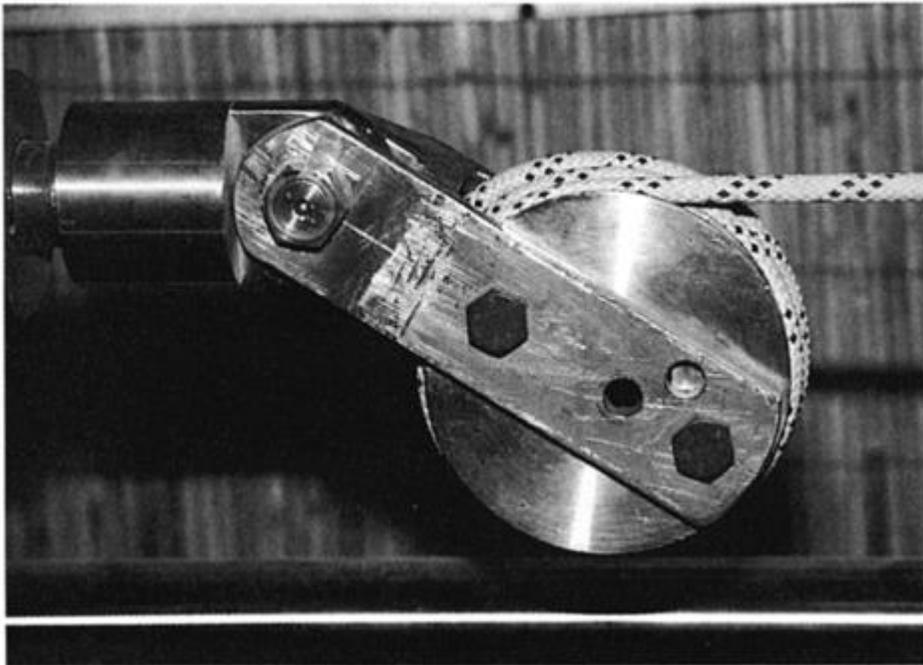
| | | |
|---|------|----------|
| Densità ρ (g/cm ³) | 0,97 | |
| Punto di fusione (°C) | 150 | |
| Tenacità (N/tex) | 2,8 | |
| Sforzo alla rottura (N/mm ² = MPa) | 3000 | Strength |
| Allungamento alla rottura (%) | 3,5 | |
| Modulo (GPa) | 142 | |
| Lavoro alla rottura (mN/tex) | 55 | |

Altre osservazioni e dati:

Note:

Test quasi- statici su corde varie

Trazione lenta senza nodi



Corda Beal Antipodes 10 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 10

asciutta bagnata numero trefoli 12

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|-----------------------------|
| carico rottura calza con bloccante (kqp) | 587 | <i>nessun trefolo rotto</i> |
| tipo bloccante | Croll Petzl | <i>Modello 2011</i> |
| carico rottura calza (kqp) | 1046 | <i>senza nodi</i> |
| carico rottura trefolo (kqp) | 141 | <i>senza nodi</i> |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kqp) | 1441 | <i>- 46 %</i> |
| carico rottura senza nodi (kqp) | 2666 | |
| punto fusione calza (°C) | 220 | <i>fibra nylon 6</i> |
| punto fusione anima (°C) | 220 | <i>fibra nylon 6</i> |
| diametro efficace (mm) | 7,9 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | <i>Termocamera</i> |
| peso (g/m) | 64 | |

Note:

Corda Beal Antipodes 10 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 10

asciutta bagnata numero trefoli 12

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|-------------------------|
| carico rottura calza con bloccante (kqp) | 607 | tutti trefoli rotti (*) |
| tipo bloccante | Croll Petzl | Modello 2011 |
| carico rottura calza (kqp) | 619 | - 41 % (**) |
| carico rottura trefolo (kqp) | 86 | - 39 % (**) |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kqp) | 1115 | - 23 % (**) |
| carico rottura senza nodi (kqp) | 1648 | - 32 % (**) |
| punto fusione calza (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| punto fusione anima (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| diámetro efficace (mm) | 6,2 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | Termocamera |
| peso (g/m) | 71 | |

Altre osservazioni e misure:

da notare che la perdita di tenuta del trefolo è maggiore di quella della calza, nonostante che i trefoli appaiono uguali a quelli della corda nuova (la temperatura incide più di altre forme di decadimento)

Note:

(*) la stessa corda usata ma bagnata ha visto la rottura di solo 4 trefoli

(**) rispetto corda nuova

Corda Beal Boost III 9,7 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 10,7

asciutta bagnata numero trefoli 9

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|-----------------|
| carico rottura calza con bloccante (kgp) | 542 | 2 trefoli rotti |
| tipo bloccante | Croll Petzl | Modello 2011 |
| carico rottura calza (kgp) | 764 | senza nodi |
| carico rottura trefolo (kgp) | 120 | senza nodi |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp) | 1257 | - 32 % (*) |
| carico rottura senza nodi (kgp) | 1862 | |
| punto fusione calza (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| punto fusione anima (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| diametro efficace (mm) | 6,6 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | Termocamera |
| peso (g/m) | 70 | |

Altre osservazioni e misure:

(*) rispetto stesso test senza nodi

Note:

Corda Beal Boost III 9,7 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 11,4
 asciutta bagnata numero trefoli 9

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|----------------------|
| carico rottura calza con bloccante (kgp) | 577 | nessun trefolo rotto |
| tipo bloccante | Croll Petzl | Modello 2011 |
| carico rottura calza (kgp) | 639 | - 16 % (*) |
| carico rottura trefolo (kgp) | 104 | - 13 % (*) |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp) | 911 | - 27 % (*) |
| carico rottura senza nodi (kgp) | 1524 | - 18 % (*) |
| punto fusione calza (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| punto fusione anima (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| diámetro efficace (mm) | 6,0 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | Termocamera |
| peso (g/m) | 69 | |

Altre osservazioni e misure:

si conferma che il decadimento dei trefoli è superiore a quello della calza, nonostante che questa subisce i contatti con gli elementi esterni (roccia, fango, bloccanti, discensore, ecc.) e che i trefoli della corda usata appaiano in buono stato, come nuovi

Note:

(*) rispetto corda nuova

Corda Beal Edlinger 10 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 11

asciutta bagnata numero trefoli 12

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|-----------------|
| carico rottura calza con bloccante (kgp) | 565 | 2 trefoli rotti |
| tipo bloccante | Croll Petzi | Modello 2011 |
| carico rottura calza (kgp) | 741 | senza nodi |
| carico rottura trefolo (kgp) | 134 | senza nodi |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp) | 1424 | - 40 % (*) |
| carico rottura senza nodi (kgp) | 2352 | |
| punto fusione calza (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| punto fusione anima (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| diametro efficace (mm) | 7,4 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | Termocamera |
| peso (g/m) | 65 | |

Altre osservazioni e misure:

(*) rispetto stesso test senza nodi

Note:

Corda Beal Edlinger 10 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 11

asciutta bagnata numero trefoli 12

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|----------------------|
| carico rottura calza con bloccante (kgp) | 426 | nessun trefolo rotto |
| tipo bloccante | Croll Petzl | Modello 2011 |
| carico rottura calza (kgp) | 548 | - 26 % (*) |
| carico rottura trefolo (kgp) | 86 | - 36 % (*) |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp) | 921 | - 35 % (*) |
| carico rottura senza nodi (kgp) | 1584 | - 33 % (*) |
| punto fusione calza (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| punto fusione anima (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| diametro efficace (mm) | 6,1 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | Termocamera |
| peso (g/m) | 71 | |

Altre osservazioni e misure:

si conferma che il decadimento dei trefoli è superiore a quello della calza, nonostante che questa subisce i contatti con gli elementi esterni (roccia, fango, bloccanti, discensore, ecc.) e che i trefoli della corda usata appaiano in buono stato, come nuovi

Note:

(*) rispetto corda nuova

Corda Cavalieri Cave Explorer 10,6 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 10,7

asciutta bagnata numero trefoli 16

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|-----------------------------|
| carico rottura calza con bloccante (kgp) | 589 | <i>nessun trefolo rotto</i> |
| tipo bloccante | Croll Petzi | <i>Modello 2011</i> |
| carico rottura calza (kgp) | 864 | |
| carico rottura trefolo (kgp) | 157 | |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp) | 1840 | <i>- 45% (*)</i> |
| carico rottura senza nodi (kgp) | 3344 | |
| punto fusione calza (°C) | 260 | <i>fibra nylon 6.6</i> |
| punto fusione anima (°C) | 260 | <i>fibra nylon 6.6</i> |
| diametro efficace (mm) | 7,6 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | <i>Termocamera</i> |
| peso (g/m) | 74 | |

Altre osservazioni e misure:

Note:

() rispetto corda senza nodi*

Corda Cavalieri Cave Explorer 10,6 mm

nuova usata (molto poco) diametro apparente (mm) 11,6

asciutta bagnata numero trefoli 16

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|----------------------|
| carico rottura calza con bloccante (kgp) | 627 | nessun trefolo rotto |
| tipo bloccante | Croll Petzl | Modello 2011 |
| carico rottura calza (kgp) | 673 | - 22 % (*) |
| carico rottura trefolo (kgp) | 143 | - 8 % (*) |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp) | 1580 | - 14 % (*) |
| carico rottura senza nodi (kgp) | 2890 | - 14 % (*) |
| punto fusione calza (°C) | 260 | fibra nylon 6,6 |
| punto fusione anima (°C) | 220 | fibra nylon 6,6 |
| diametro efficace (mm) | 7,0 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | Termocamera |
| peso (g/m) | 81 | |

Altre osservazioni e misure:

si conferma che il decadimento dei trefoli è superiore a quello della calza, nonostante che questa subisce i contatti con gli elementi esterni (roccia, fango, bloccanti, discensore, ecc.) e che i trefoli della corda usata appaiano in buono stato, come nuovi

Note:

(*) rispetto corda nuova

Corda Cavalieri Vecchio Modello 10,6 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 10,6

asciutta bagnata numero trefoli 16

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|-----------------------------|
| carico rottura calza con bloccante (kgp) | 486 | <i>nessun trefolo rotto</i> |
| tipo bloccante | Croll Petzi | <i>Modello 2011</i> |
| carico rottura calza (kgp) | 825 | |
| carico rottura trefolo (kgp) | 143 | |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp) | 1680 | <i>- 46% (*)</i> |
| carico rottura senza nodi (kgp) | 3106 | |
| punto fusione calza (°C) | 260 | <i>fibra nylon 6.6</i> |
| punto fusione anima (°C) | 260 | <i>fibra nylon 6.6</i> |
| diametro efficace (mm) | 7,3 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | <i>Termocamera</i> |
| peso (g/m) | 74 | |

Altre osservazioni e misure:

Note:

() rispetto corda senza nodi*

Corda Corda's Fina 8,5 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 9,0

asciutta bagnata numero trefoli 8

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|-----------------|
| carico rottura calza con bloccante (kqp) | 546 | 2 trefoli rotti |
| tipo bloccante | Croll Petzl | Modello 2011 |
| carico rottura calza (kqp) | 661 | |
| carico rottura trefolo (kqp) | 185 | |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kqp) | 1368 | - 36 % (*) |
| carico rottura senza nodi (kqp) | 2131 | |
| punto fusione calza (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| punto fusione anima (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| diametro efficace (mm) | 7,1 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | Termocamera |
| peso (g/m) | 49 | |

Altre osservazioni e misure:

Note:

(*) rispetto a corda senza nodi

Corda Courant Equirial 10,5 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 10,5

asciutta bagnata numero trefoli 11

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|-----------------------------|
| carico rottura calza con bloccante (kgp) | 640 | <i>nessun trefolo rotto</i> |
| tipo bloccante | Croll Petzl | <i>Modello 2011</i> |
| carico rottura calza (kgp) | 1293 | |
| carico rottura trefolo (kgp) | 144 | |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp) | 1893 | - 45 % (*) |
| carico rottura senza nodi (kgp) | 3443 | |
| punto fusione calza (°C) | 220 | <i>fibra nylon 6</i> |
| punto fusione anima (°C) | 220 | <i>fibra nylon 6</i> |
| diametro efficace (mm) | 9,0 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | <i>Termocamera</i> |
| peso (g/metro) | 72 | |

Altre osservazioni e misure:

Note:

(*) rispetto a corda senza nodi

Corda Courant Equirial 10,0 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 10,6

asciutta bagnata numero trefoli 11

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|-----------------------------|
| carico rottura calza con bloccante (kgp) | 714 | <i>nessun trefolo rotto</i> |
| tipo bloccante | Croll Petzl | <i>Modello 2011</i> |
| carico rottura calza (kgp) | 1169 | |
| carico rottura trefolo (kgp) | 213 | |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp) | 1897 | - 40 % (*) |
| carico rottura senza nodi (kgp) | 3190 | |
| punto fusione calza (°C) | 220 | <i>fibra nylon 6</i> |
| punto fusione anima (°C) | 220 | <i>fibra nylon 6</i> |
| diametro efficace (mm) | 8,6 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | <i>Termocamera</i> |
| peso (g/metro) | 71 | |

Altre osservazioni e misure:

Note:

(*) rispetto a corda senza nodi

Corda Courant Ultima 8,5 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 9,0

asciutta bagnata numero trefoli 8

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|-----------------------------|
| carico rottura calza con bloccante (kgp) | 602 | <i>nessun trefolo rotto</i> |
| tipo bloccante | Croll Petzl | <i>Modello 2011</i> |
| carico rottura calza (kgp) | 891 | |
| carico rottura trefolo (kgp) | 193 | |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp) | 1307 | - 46 % (*) |
| carico rottura senza nodi (kgp) | 2408 | |
| punto fusione calza (°C) | 220 | <i>fibra nylon 6</i> |
| punto fusione anima (°C) | 220 | <i>fibra nylon 6</i> |
| diametro efficace (mm) | 7,5 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | <i>Termocamera</i> |
| peso (g/m) | 52 | |

Altre osservazioni e misure:

Note:

(*) rispetto a corda senza nodo

Corda Courant Ultima 9,0 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 9,5

asciutta bagnata numero trefoli 8

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|-----------------------------|
| carico rottura calza con bloccante (kgp) | 605 | <i>nessun trefolo rotto</i> |
| tipo bloccante | Croll Petzl | <i>Modello 2011</i> |
| carico rottura calza (kgp) | 1058 | |
| carico rottura trefolo (kgp) | 189 | |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp) | 1312 | - 49 % (*) |
| carico rottura senza nodi (kgp) | 2580 | |
| punto fusione calza (°C) | 220 | <i>fibra nylon 6</i> |
| punto fusione anima (°C) | 220 | <i>fibra nylon 6</i> |
| diametro efficace (mm) | 7,8 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | circa 50 | <i>Termocamera</i> |
| peso (g/m) | 57 | |

Altre osservazioni e misure:

Note:

(*) rispetto corda senza nodi

Corda Courant Ultima 10,0 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 10,2

asciutta bagnata numero trefoli 10

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,005 m/s | |
|--|--------------------------------|-----------------------------|
| carico rottura calza con bloccante (kgp) | 640 | <i>nessun trefolo rotto</i> |
| tipo bloccante | Croll Petzl | <i>Modello 2011</i> |
| carico rottura calza (kgp) | 1123 | |
| carico rottura trefolo (kgp) | 190 | |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp) | 1510 | - 50% (*) |
| carico rottura senza nodi (kgp) | 3030 | |
| punto fusione calza (°C) | 220 | <i>fibra nylon 6</i> |
| punto fusione anima (°C) | 220 | <i>fibra nylon 6</i> |
| diametro efficace (mm) | 8,4 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | 50 circa | <i>Termocamera</i> |
| peso (g/m) | 63 | |

Altre osservazioni e misure:

Note:

(*) rispetto a corda senza nodi

Corda Courant Ultima 11 mm

nuova usata diametro apparente (mm) 11,3

asciutta bagnata numero trefoli 12

Descrizione aspetto esterno:

| Test "quasi-statici" | velocità di trazione 0,006 m/s | |
|--|--------------------------------|----------------------|
| carico rottura calza con bloccante (kgp) | 675 | nessun trefolo rotto |
| tipo bloccante | Croll Petzl | Modello 2011 |
| carico rottura calza (kgp) | 1230 | |
| carico rottura trefolo (kgp) | 189 | |
| carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp) | 1750 | - 49% (*) |
| carico rottura senza nodi (kgp) | 3468 | |
| punto fusione calza (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| punto fusione anima (°C) | 220 | fibra nylon 6 |
| diametro efficace (mm) | 9,0 | |
| temperatura nodi rottura corda (°C) | 50 circa | Termocamera |
| peso (g/m) | 75 | |

Altre osservazioni e misure:

Note:

(*) rispetto a corda senza nodi

Corde: confronto dati test CS

Beal Antipodes 10 mm

| | Nuova | Usata | Diminuzione % |
|--|--------------|--------------|----------------------|
| F_r corda (kgp) | 2666 | 1648 | 32 |
| F_r calza (kgp) | 1046 | 619 | 41 |
| F_r trefolo (kgp) | 141 | 86 | 32 |
| Punto fusione (°C) | 220 | 220 | |
| Diametro efficace (mm) | 7,9 | 6,2 | 22 |
| Superficie efficace (mm ²) | 48,81 | 30,17 | 38 |

Beal Boster III 9,7 mm

| | Nuova | Usata | Diminuzione % |
|--|--------------|--------------|----------------------|
| F_r corda (kgp) | 1862 | 1524 | 18 |
| F_r calza (kgp) | 764 | 639 | 16 |
| F_r trefolo (kgp) | 120 | 104 | 13 |
| Punto fusione (°C) | 220 | 220 | |
| Diametro efficace (mm) | 6,6 | 6,0 | 6 |
| Superficie efficace (mm ²) | 34,09 | 27,90 | 18 |

Beal Edlinger 9,8 mm

| | Nuova | Usata | Diminuzione % |
|--|--------------|--------------|----------------------|
| F_r corda (kgp) | 2352 | 1584 | 33 |
| F_r calza (kgp) | 741 | 548 | 26 |
| F_r trefolo (kgp) | 134 | 86 | 36 |
| Punto fusione (°C) | 220 | 220 | |
| Diametro efficace (mm) | 7,4 | 6,1 | 18 |
| Superficie efficace (mm ²) | 43,06 | 27,90 | 35 |

Beal Edlinger 9,8 mm

| | Nuova | Usata | Diminuzione % |
|--|--------------|--------------|----------------------|
| F_r corda (kgp) | 3344 | 2890 | 14 |
| F_r calza (kgp) | 864 | 673 | 22 |
| F_r trefolo (kgp) | 154 | 143 | 8 |
| Punto fusione (°C) | 260 | 260 | |
| Diametro efficace (mm) | 7,6 | 7,0 | 5 |
| Superficie efficace (mm ²) | 44,96 | 38,86 | 14 |

Corde: valutazioni su test quasi-statici

Nelle corde usate la calza esterna appare modificata nella durezza ed abrasa.

Per contro, anche nelle corde apparentemente più logore, i trefoli appaiono come nuovi, non modificati nel colore e nella consistenza, per niente abrasati.

Ma, rispetto a quelli delle corde nuove, i trefoli nelle usate:

- 1. hanno un carico di rottura inferiore,*
- 2. sono più deformabili.*

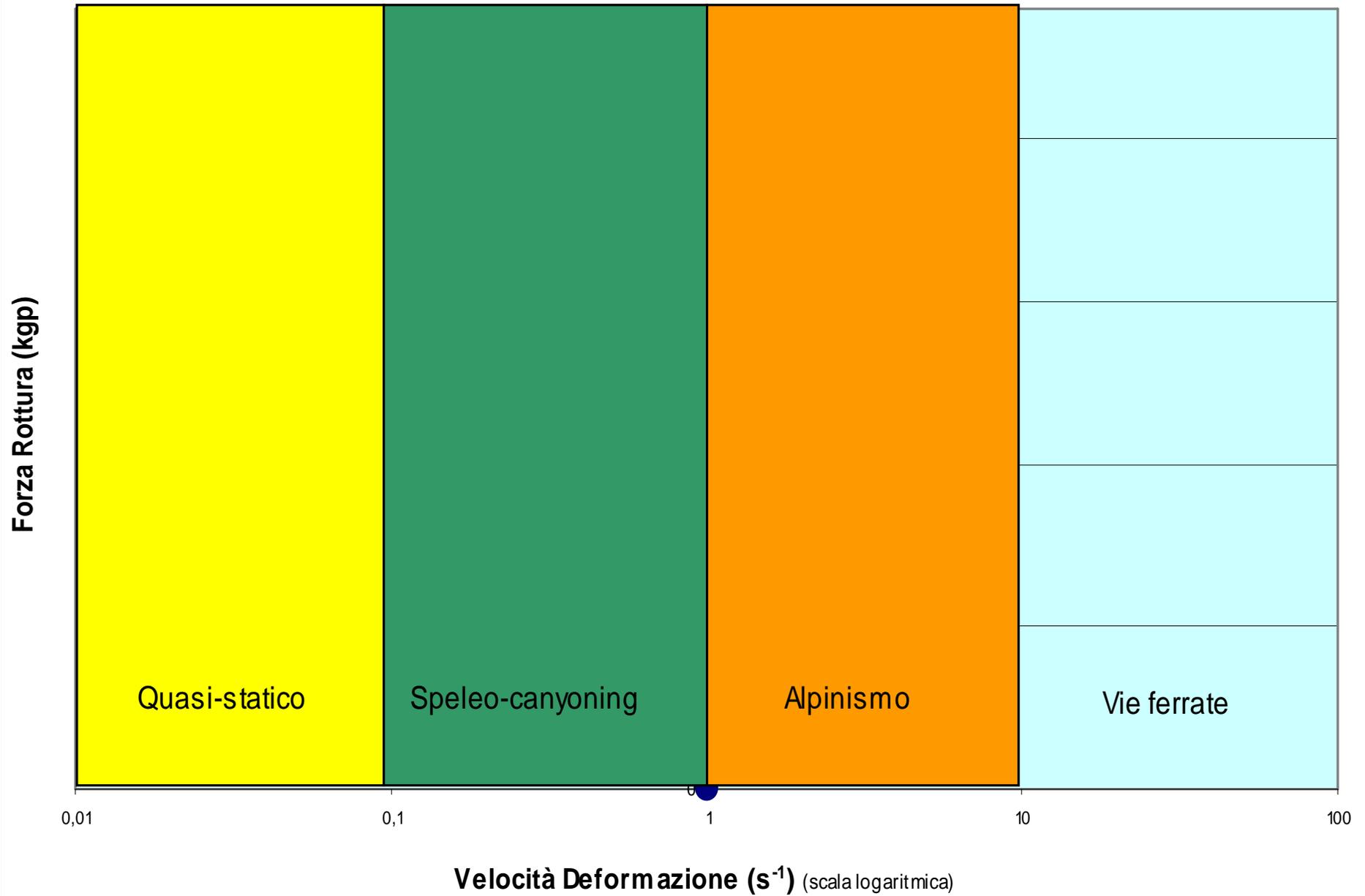
Questo può essere conseguenza solo di agenti che possono penetrare all'interno della corda senza operare alcun effetto meccanico:

- 1. il calore, che porta a passaggi di stato vetroso/viscoso,*
- 2. il raffreddamento che riconduce dallo stato viscoso a quello vetroso,*
- 3. un agente chimico liquido o gassoso che abbia la capacità di rompere i legami (droghe+e/o Van der Waals) che legano fra di loro le macromolecole.*

2

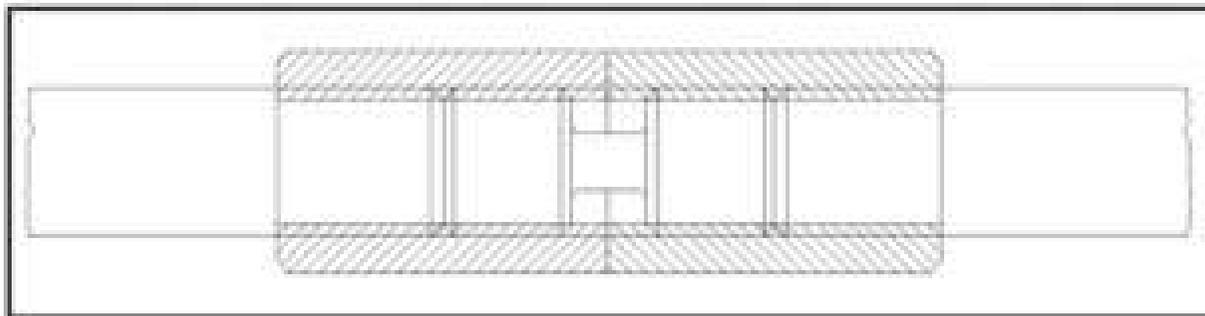
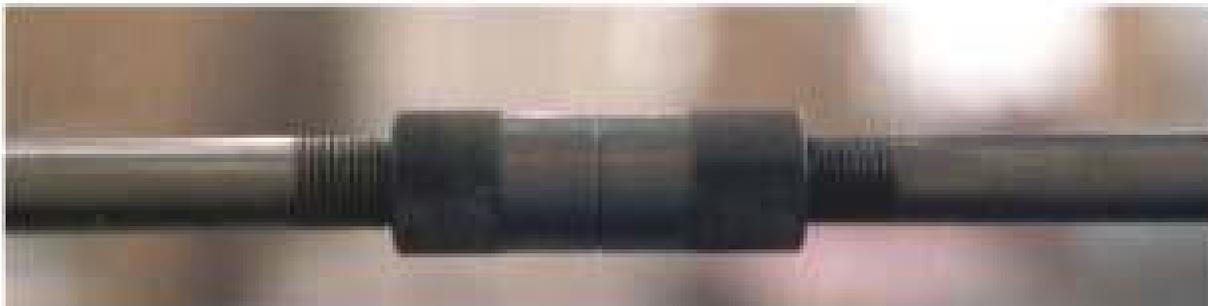
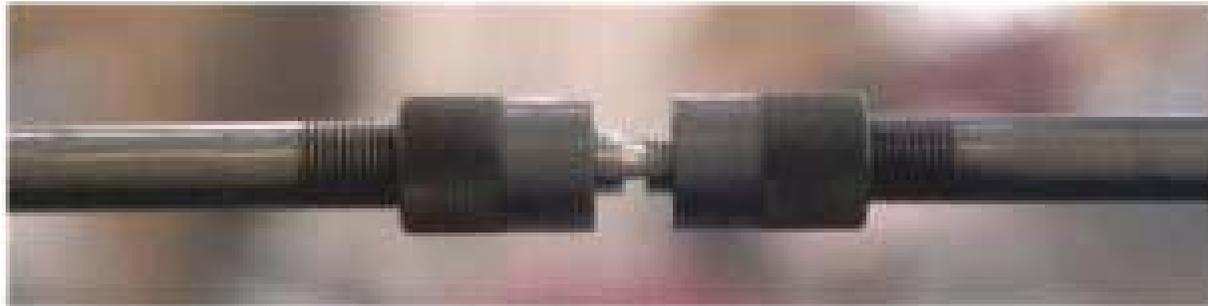
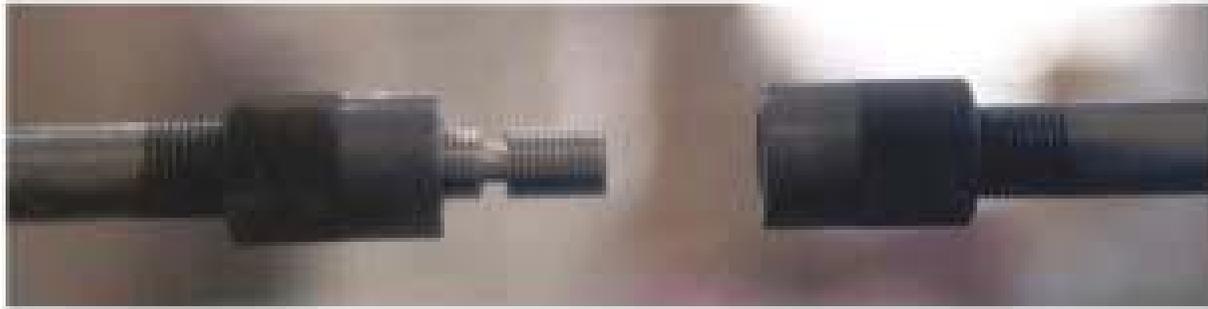
**Velocità
alte**

Tipo di progressione e intervalli della Velocità di deformazione







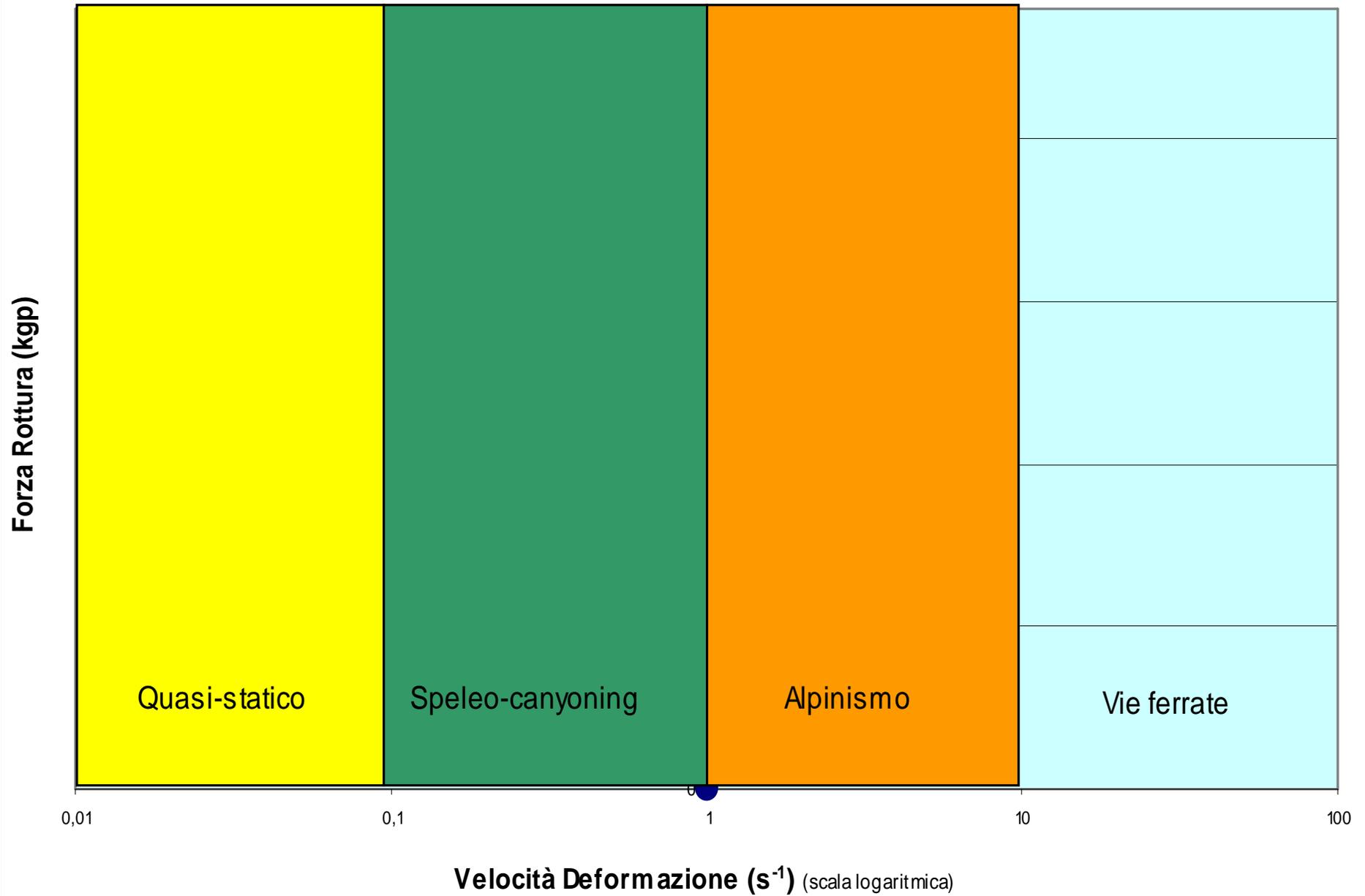


3

Velocità intermedia

Prove caduta – Macchine pneumatiche

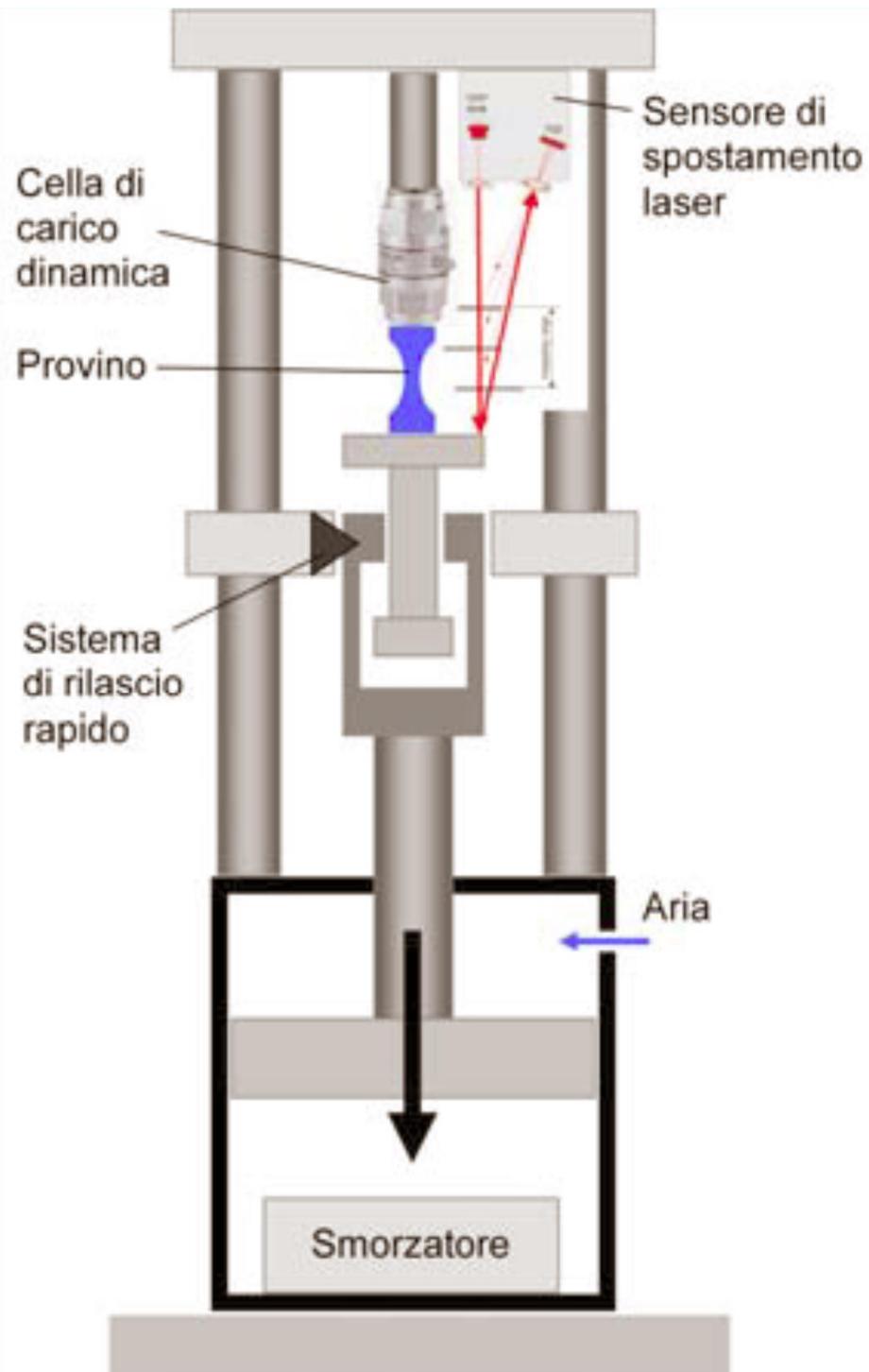
Tipo di progressione e intervalli della Velocità di deformazione

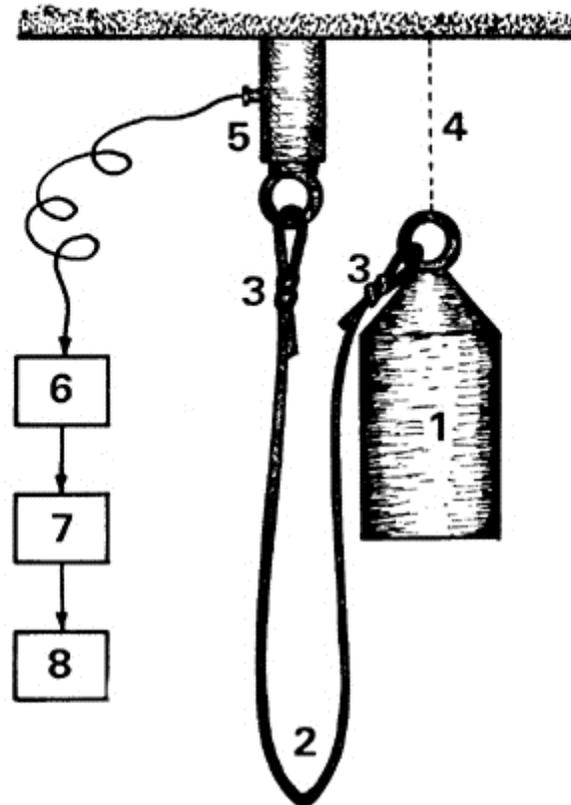








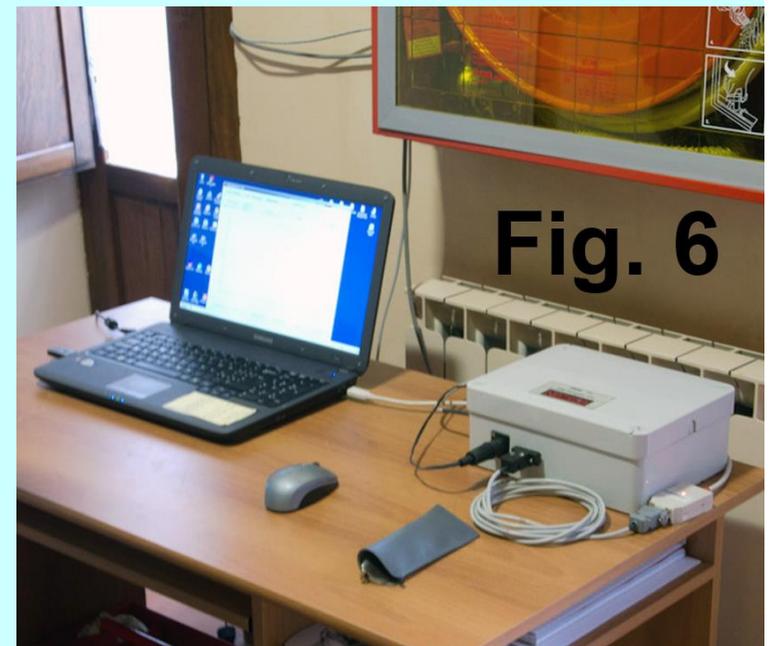
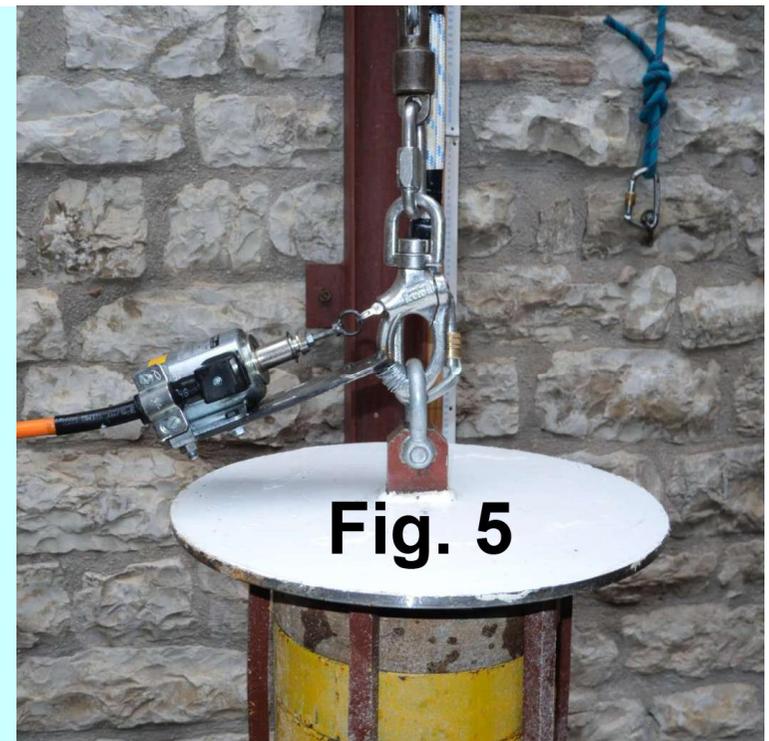




- 1 PESO
- 2 CAMPIONE DI CORDA
- 3 NODI
- 4 SGANCIAMENTO
- 5 CELLA DI CARICO
- 6 AMPLIFICATORE
- 7 MEMORIA
- 8 REGISTRATORE

Torre di Caduta

CRASC



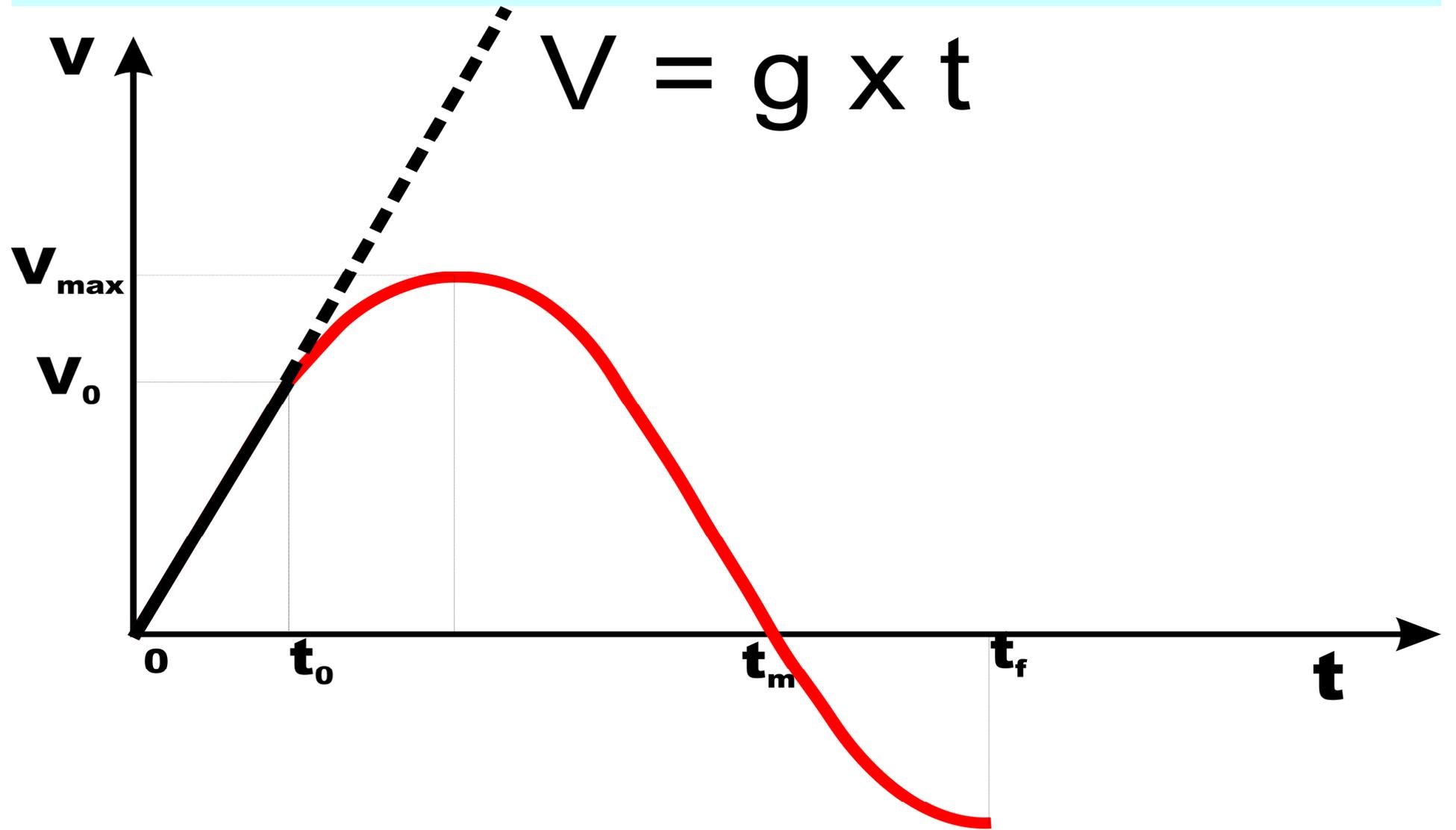
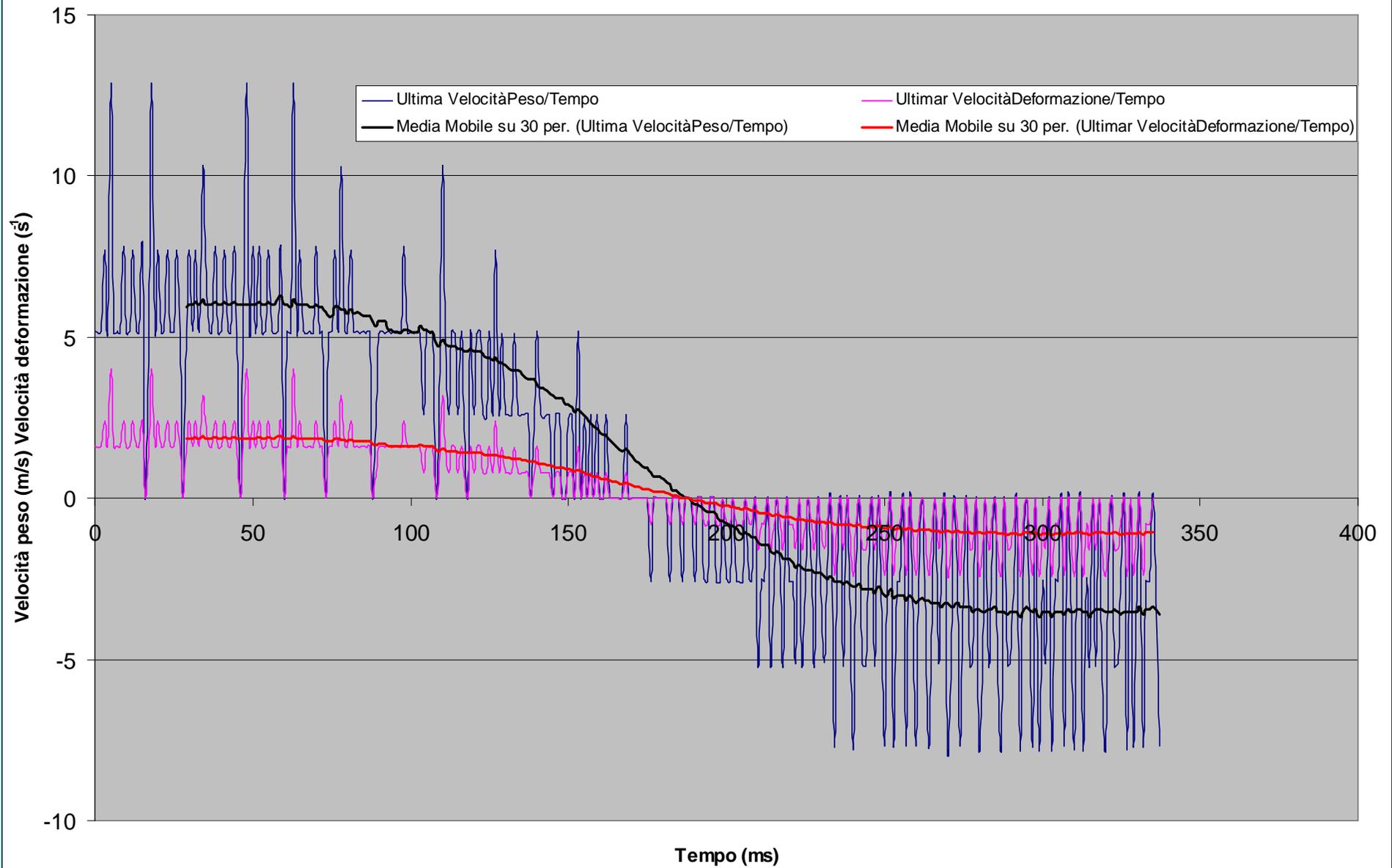


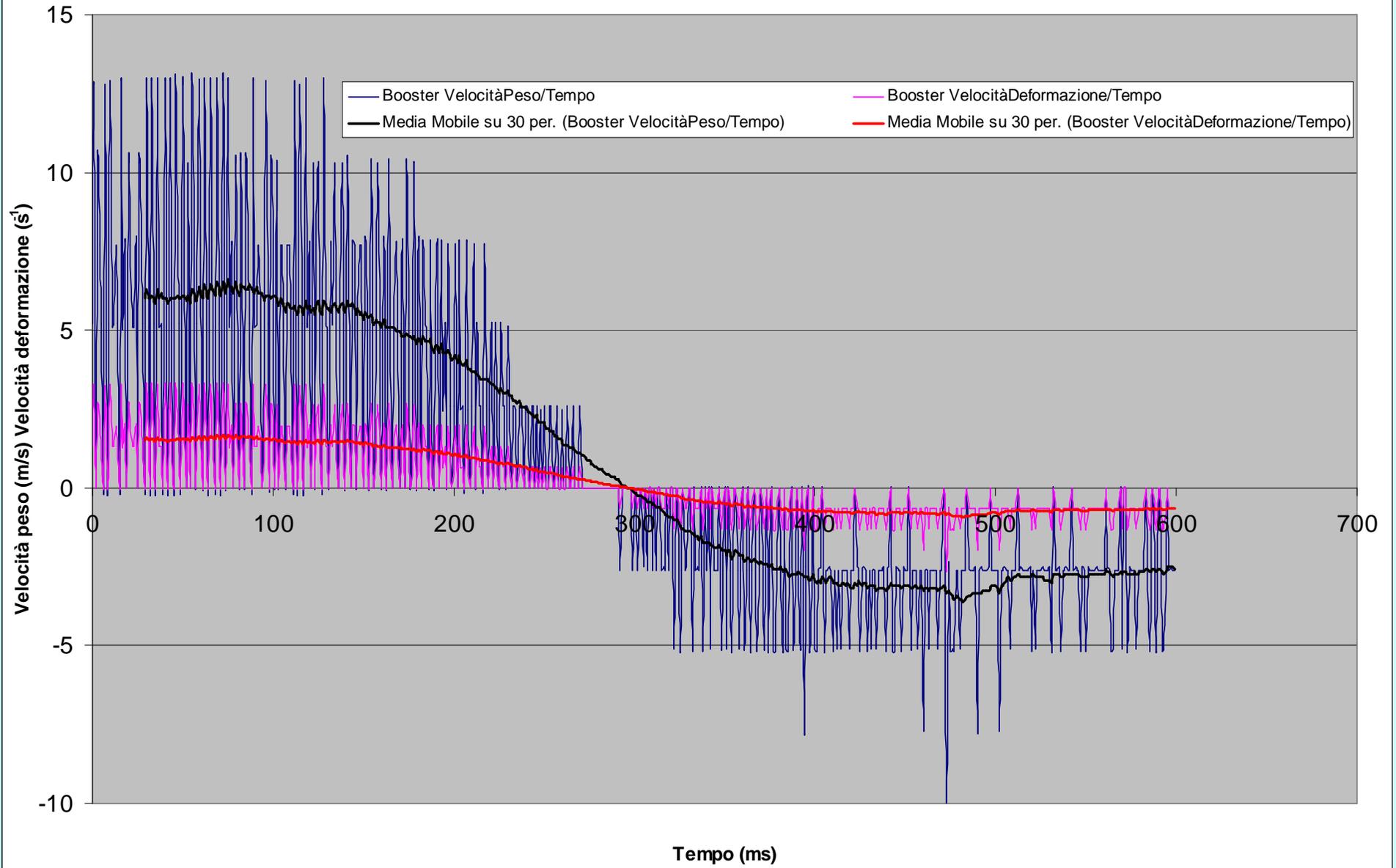
Fig. 3

$$V_d = \frac{V_0}{l_0}$$

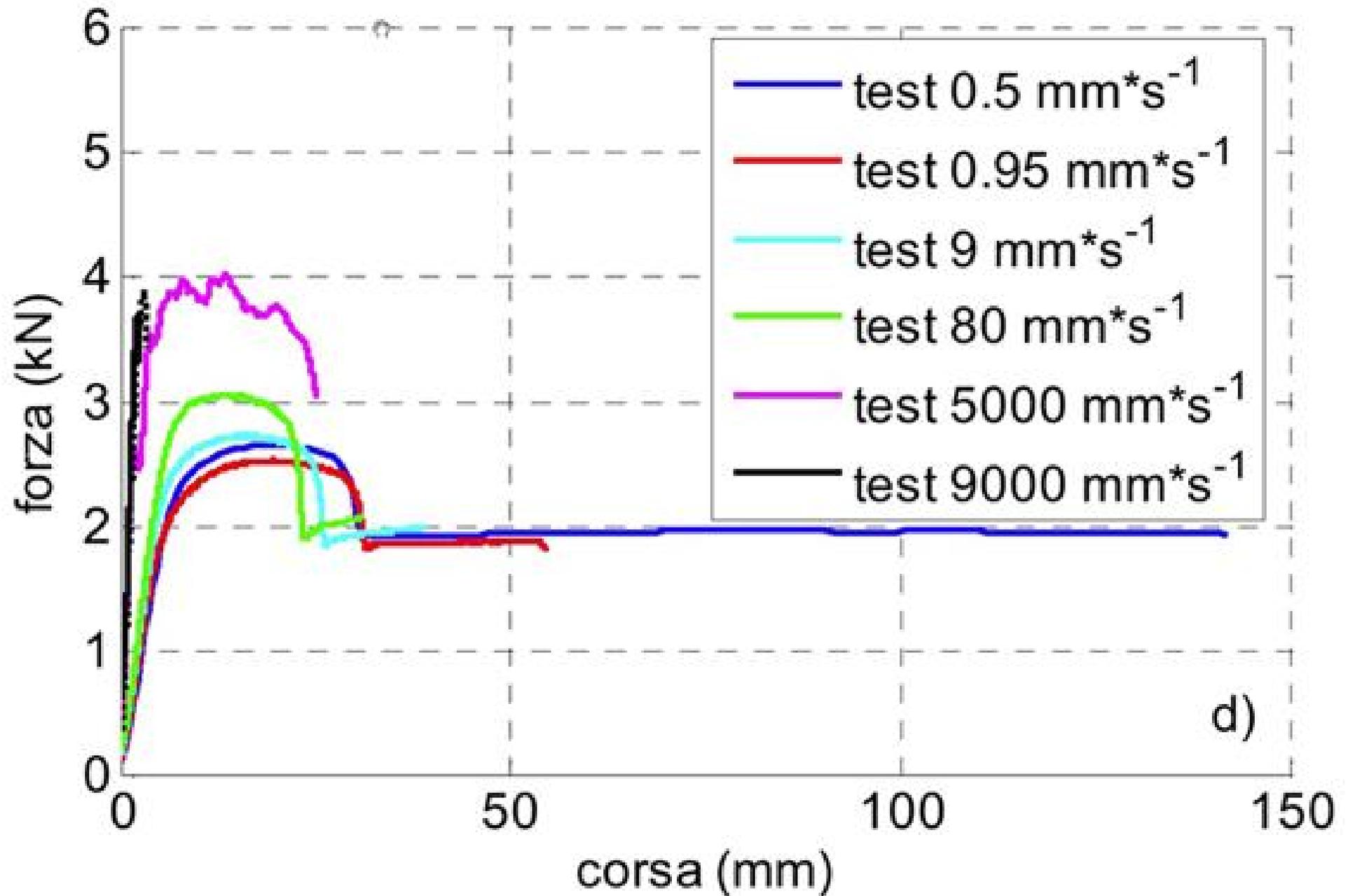
H200 cm Courant Ultima 11 mm Velocità Peso/Velocità Deformazione



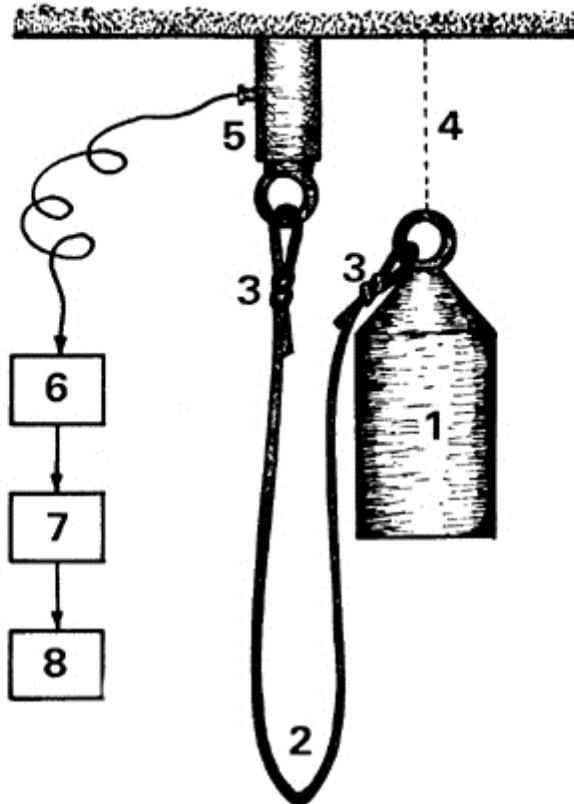
H200 cm Beal Booster 9,7 mm Velocità Peso/Velocità Deformazione



Caratteristiche meccaniche PA66



Effetto corpo umano

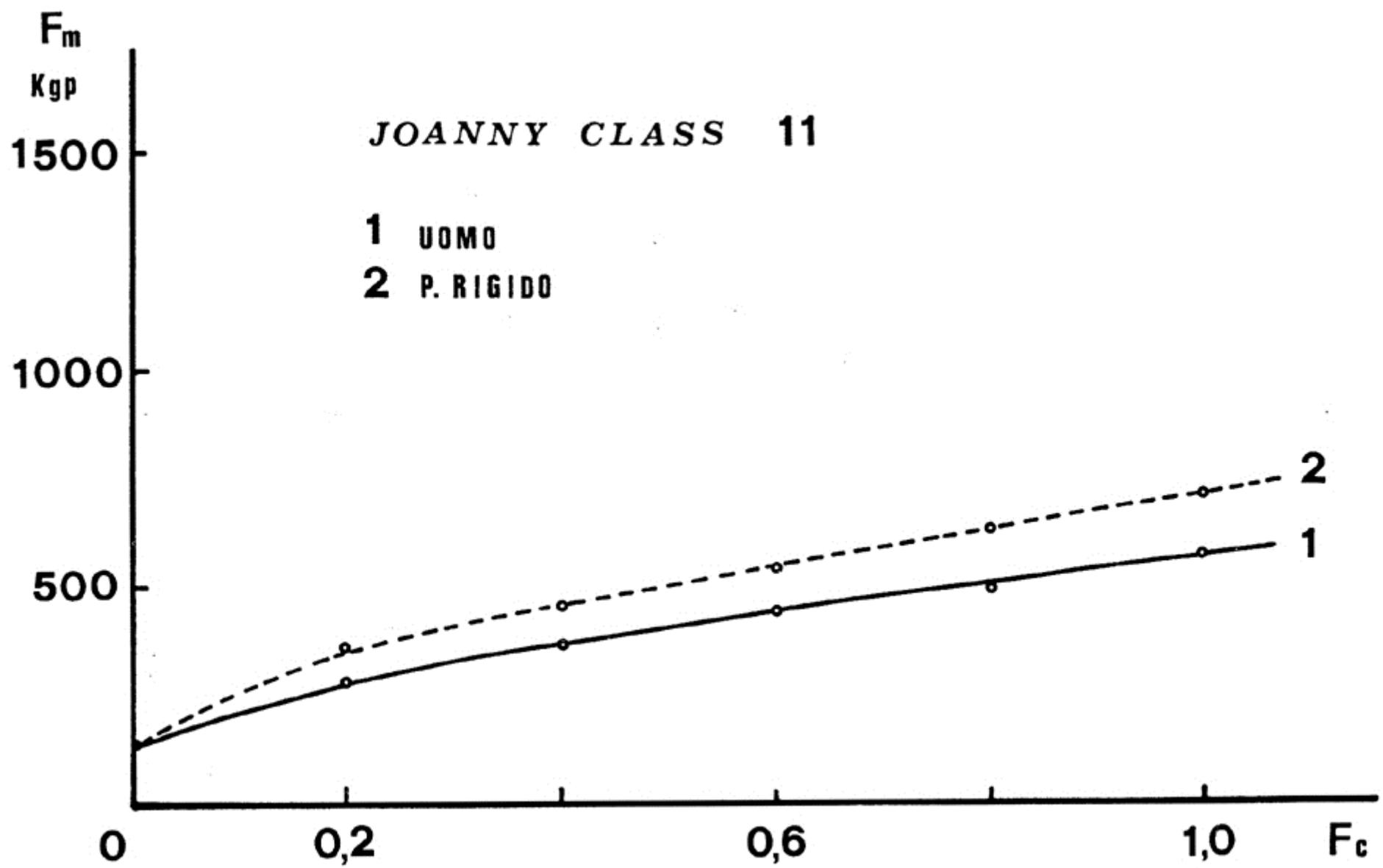


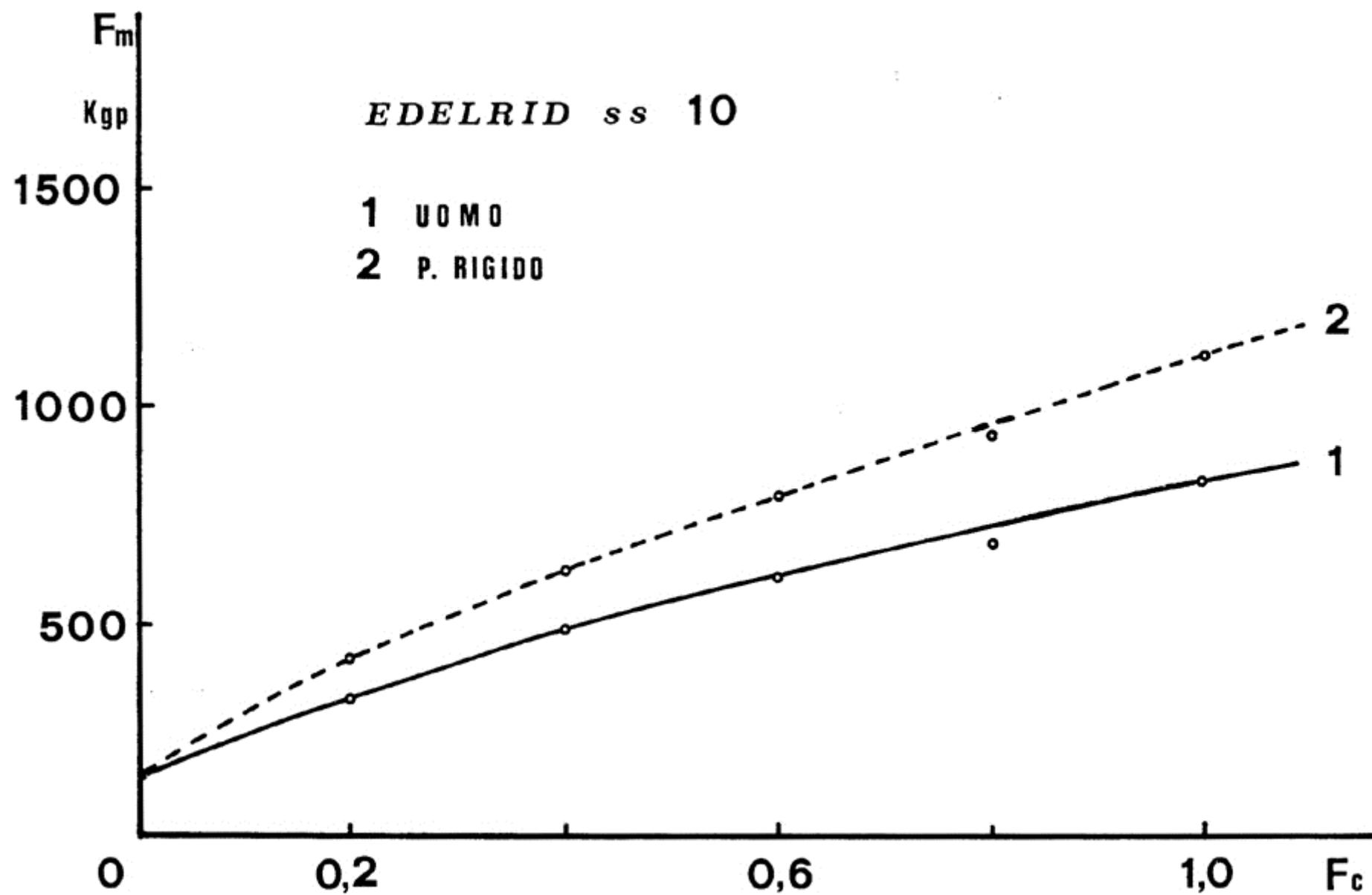
- 1 PESO
- 2 CAMPIONE DI CORDA
- 3 NODI
- 4 SGANCIAMENTO
- 5 CELLA DI CARICO
- 6 AMPLIFICATORE
- 7 MEMORIA
- 8 REGISTRATORE

Effetto corpo umano

Confronto fra cadute choc con peso rigido e corpo umano della stessa massa.

La Forza Massima, per effetto del corpo umano, diminuisce del 22%

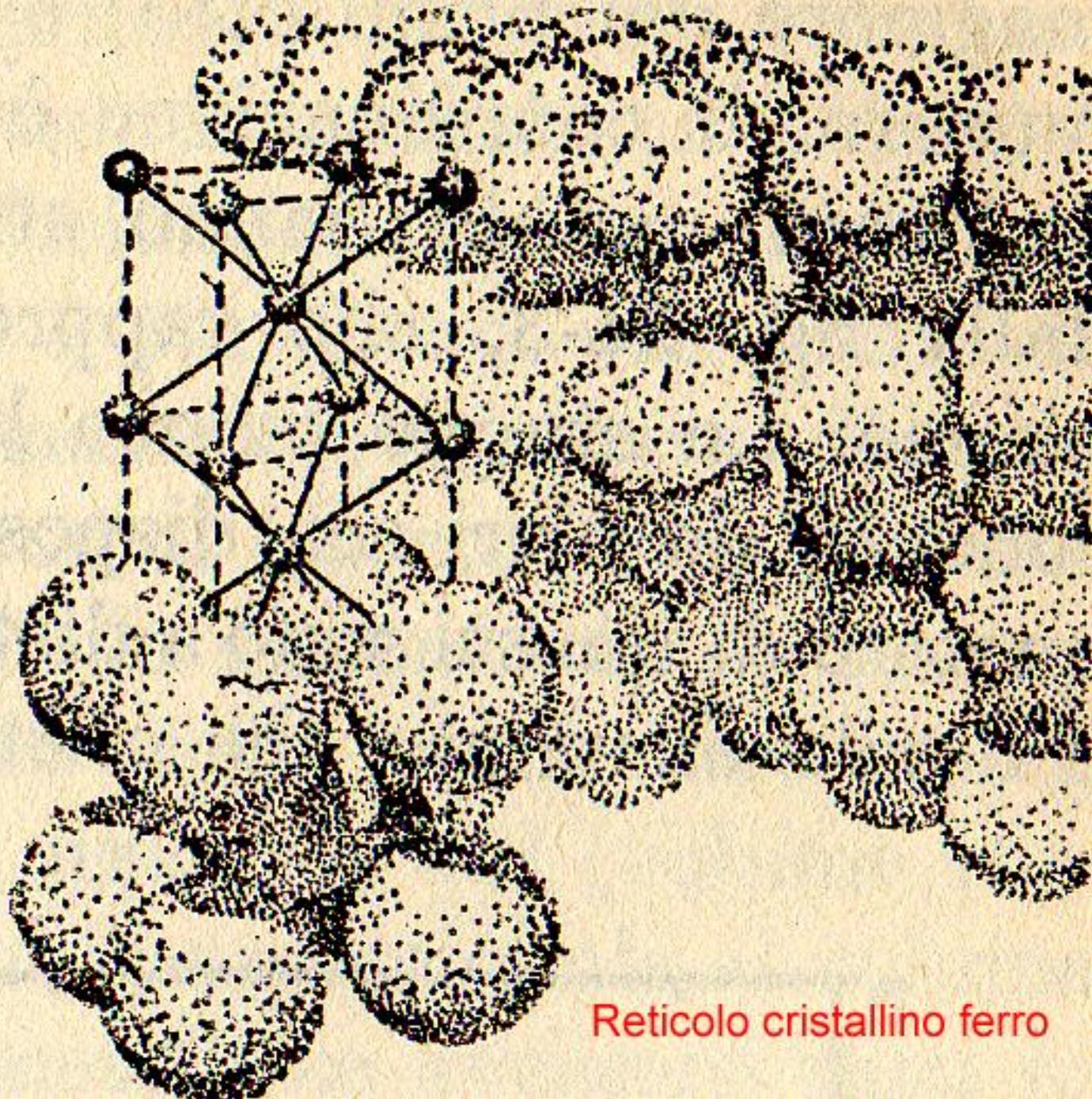




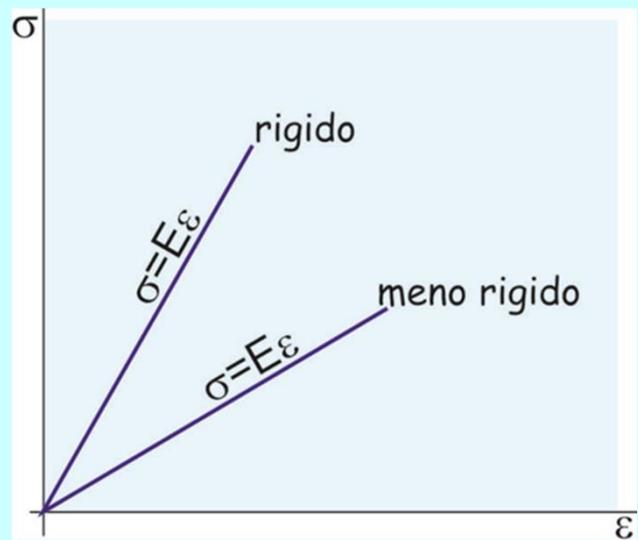
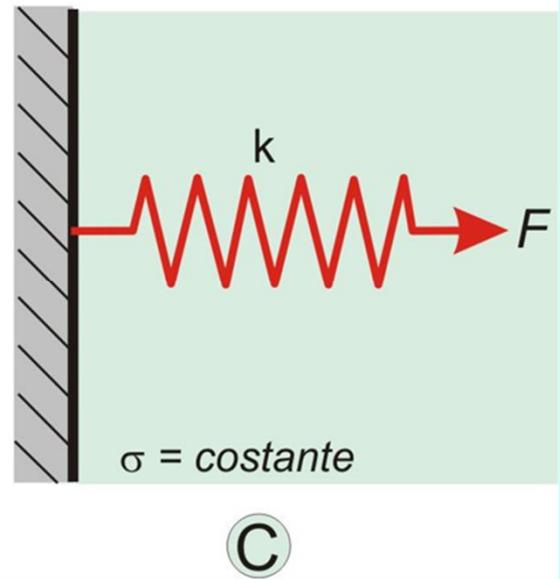
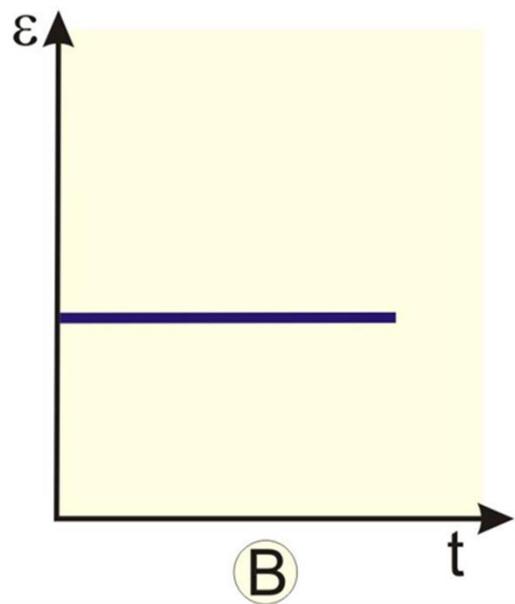
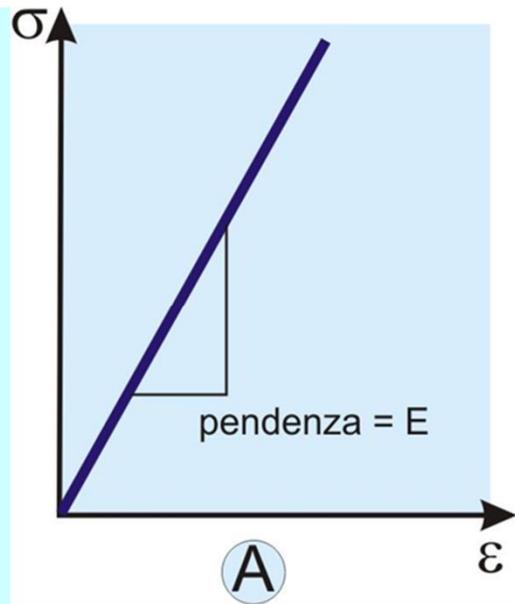
4

La visco- elasticità dei polimeri

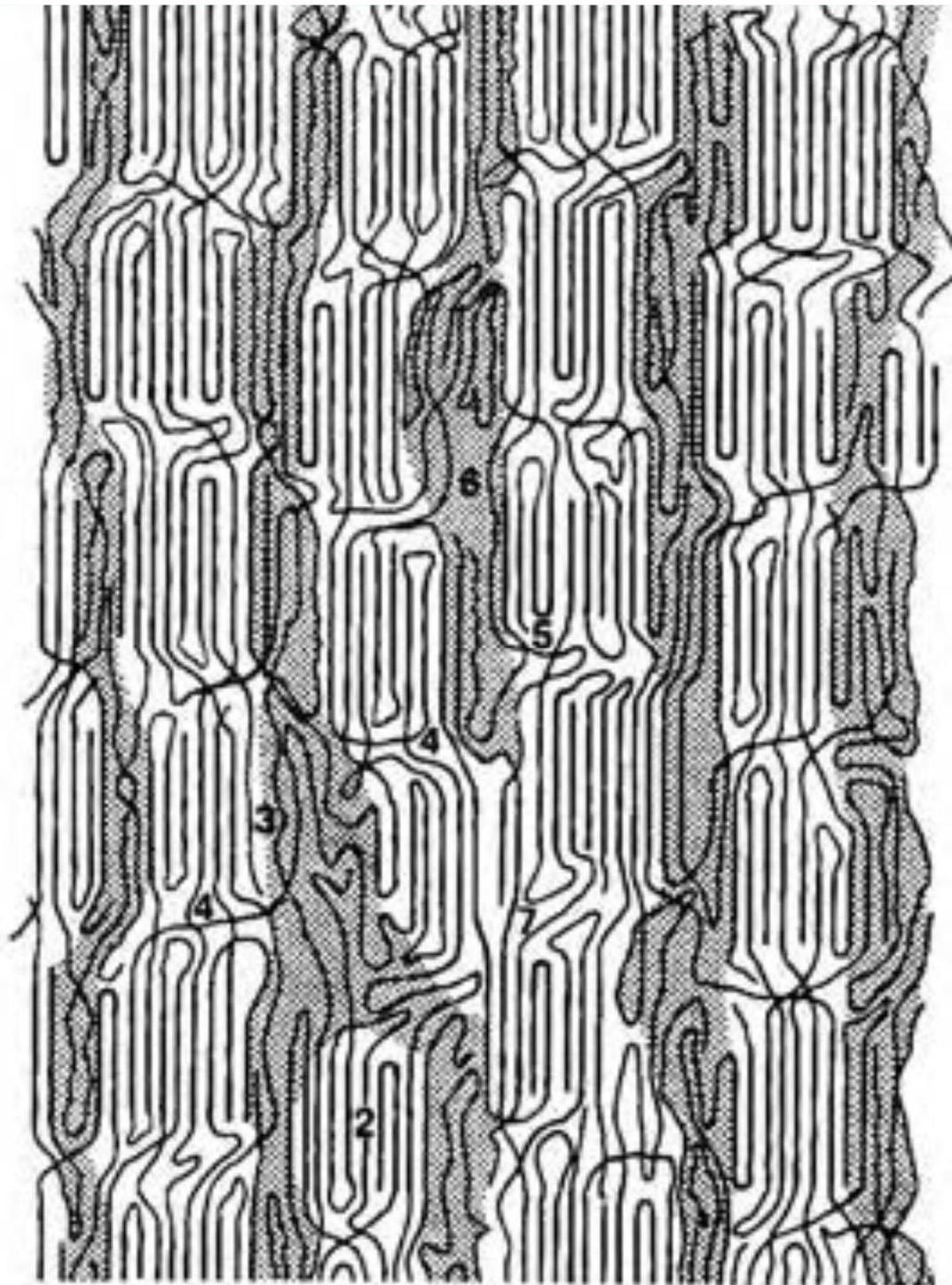
**Comportamento
elastico
reversibile:
acciaio**



Reticolo cristallino ferro



**Comportamento
visco-elastico:
*una parte di
energia viene
persa per
viscosità***

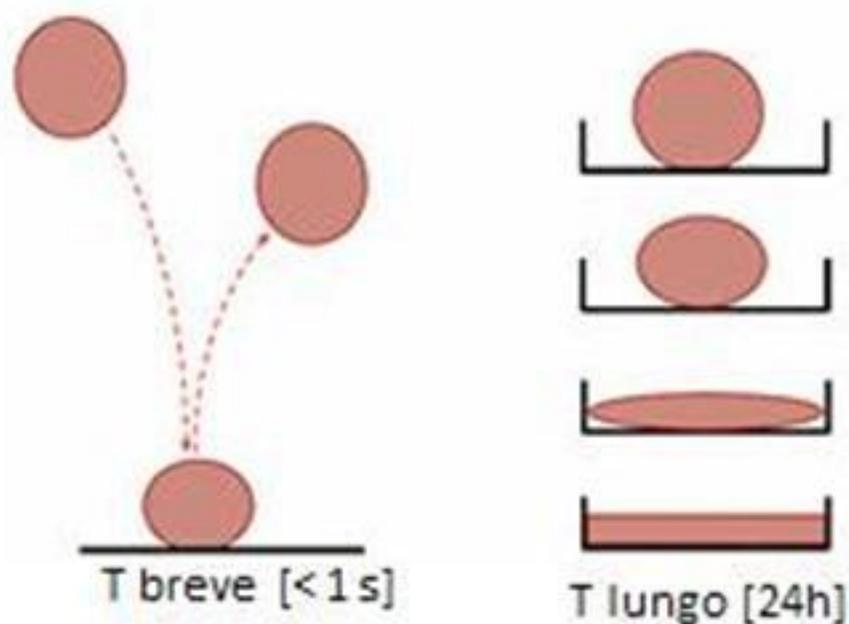


Comportamento viscoelastico

I materiali viscoelastici rispondono alle sollecitazioni in funzione della velocità con le quali vengono impresse:

- Input brevi (alte frequenze) la risposta è simile a quella di un solido
- Input lunghi (basse frequenze) rispondono come liquidi

È fondamentale quindi conoscere come viene applicato un carico
Il comportamento viscoelastico è DIPENDENTE DAL TEMPO



DEFORMAZIONE VISCOELASTICA

Un polimero amorfo si comporta come:

- Un vetro alle basse temperature
- Un solido gommoso alle medie temperature
- Un liquido viscoso alle alte temperature

Per deformazioni piccole a basse temperature il comportamento è elastico e segue la legge di Hooke

A temperature più alte prevale un comportamento viscoso simile a quello di un liquido

A temperature intermedie è un solido gommoso caratterizzato dalla condizione della di **VISCOELASTICITÀ**

Viscoelasticità

➤ **Viscoelastici** sono quei materiali che sotto l'azione di una forza mostrano un comportamento intermedio tra quello dei solidi elastici e quello dei fluidi; la loro risposta allo sforzo è in parte di tipo elastico ed in parte di tipo viscoso.

➤ La caratteristica che differenzia questi materiali dagli altri è che, mentre nel caso dei solidi elastici e dei fluidi viscosi la risposta ad uno sforzo o ad una deformazione istantanea è anch'essa istantanea ed indipendente dal tempo, nel caso dei materiali viscoelastici è una funzione del tempo.



Comportamento meccanico
tempo-dipendente



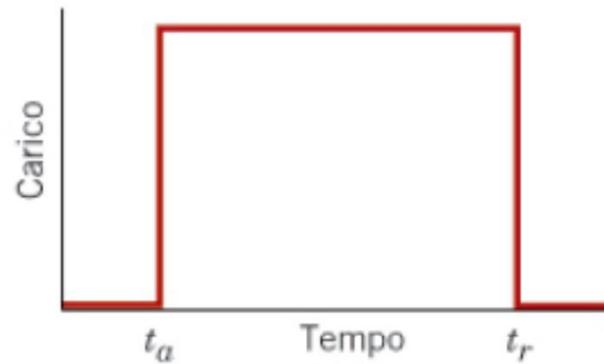
➤ Curve sforzo-deformazione
dipendenti dalla velocità di
deformazione

➤ Creep

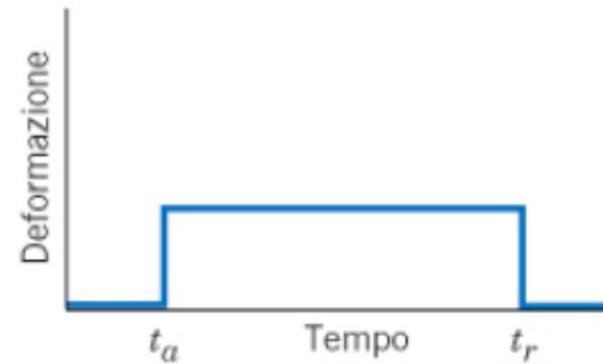
➤ Stress - relaxation

Viscoelasticità

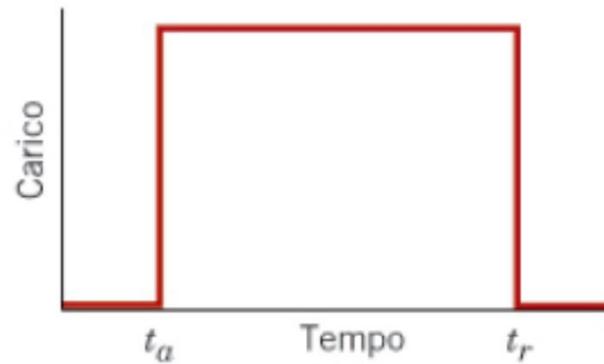
- Il creep (*scorrimento*) rappresenta l'aumento della deformazione nel tempo, generato dall'applicazione istantanea di uno sforzo costante.
- Lo stress-relaxation rappresenta la progressiva diminuzione nel tempo dello sforzo indotto inizialmente nel materiale da una deformazione istantanea di determinato valore.
- Test di creep: consiste nell'applicare istantaneamente un carico al provino, mantenerlo costante e monitorare la deformazione nel tempo.
- Test di stress-relaxation: consiste nell'imporre istantaneamente una deformazione al campione e misurare il carico necessario per mantenere la deformazione costante nel tempo.



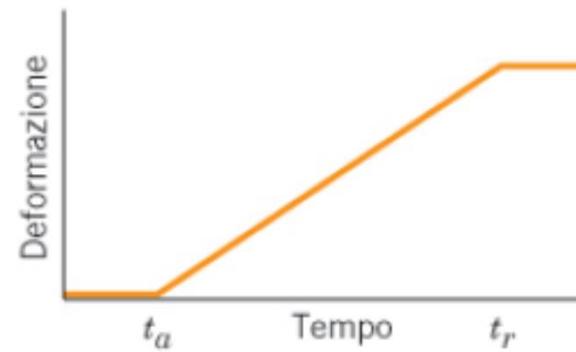
Curva del carico in funzione di t
(il carico è applicato in modo
istantaneo in t_a e rimosso in t_r)



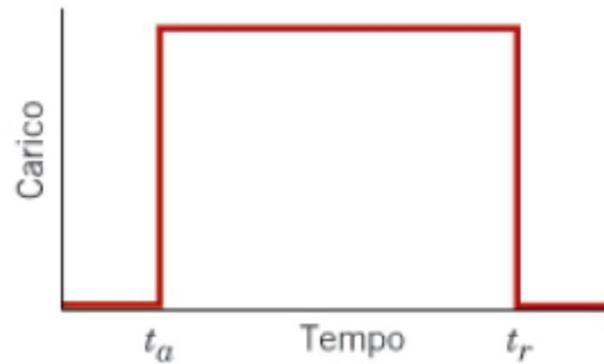
Curva sforzo-deformazione
per comportamento elastico



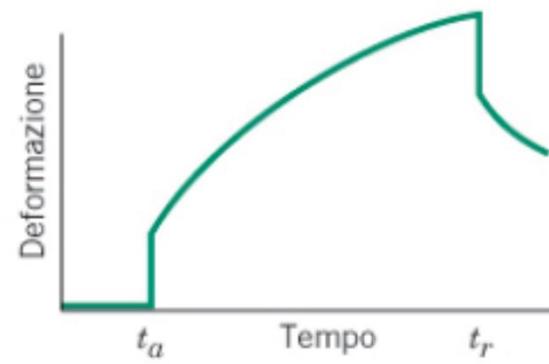
Curva del carico in funzione di t
(il carico è applicato in modo
istantaneo in t_a e rimosso in t_r .)



Curva sforzo-deformazione
per comportamento viscoso



Curva del carico in funzione di t
(il carico è applicato in modo
istantaneo in t_a e rimosso in t_r)



Curva sforzo-deformazione
per comportamento
viscoelastico

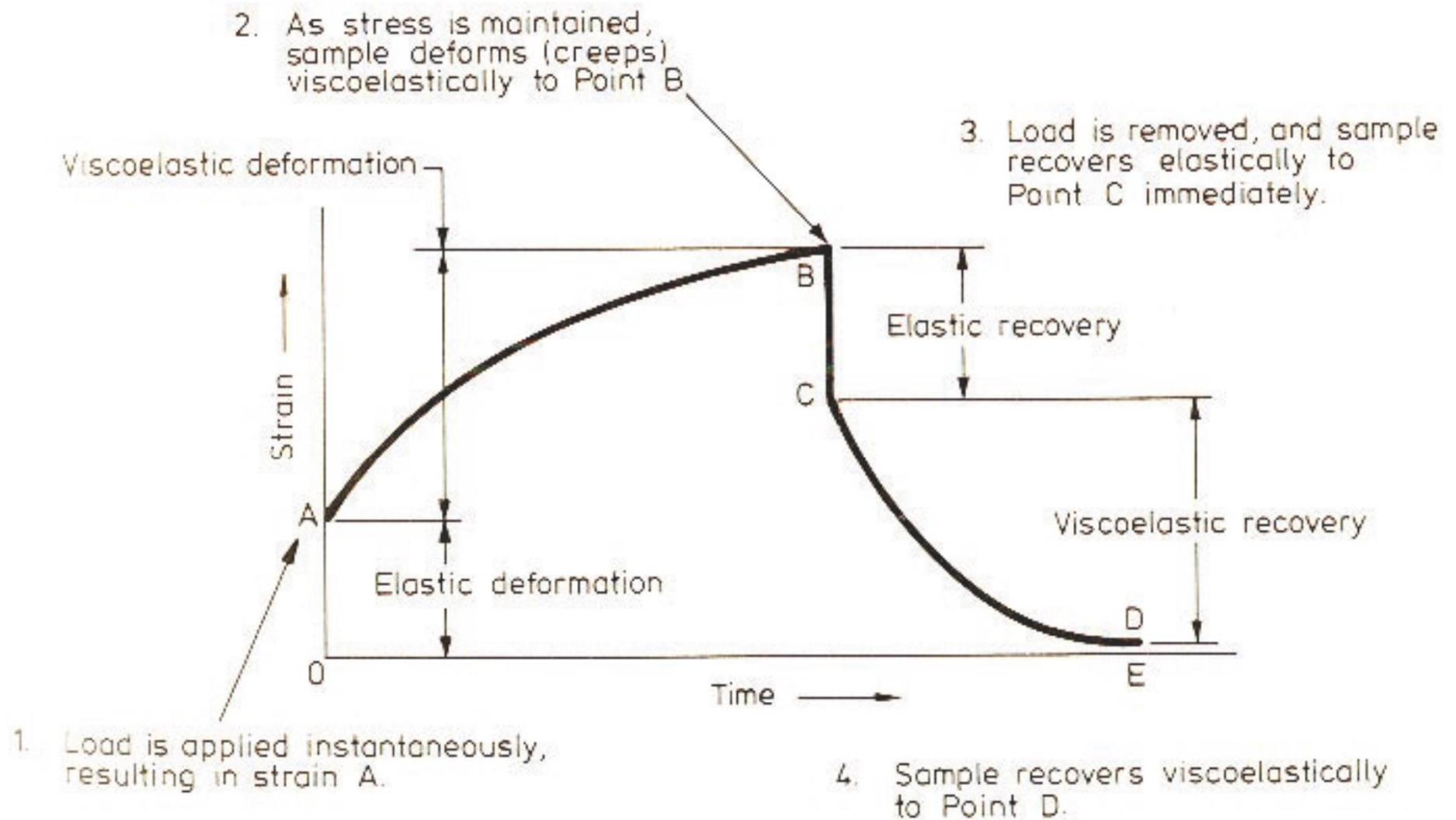


Fig 1.9 Typical Creep and recovery behaviour of a plastic

TASSONOMIA DEI POLIMERI

| | |
|-------------------------------|---|
| Termoplastici | Polietilene (PE) Polipropilene (PP) Polibutilene (PB) Poliolefine Polivinilcloruro (PVC) PET Acetato di cellulosa Poliammidi (nylon) e poli-immidi (BMI) Polistirene |
| Termoplastici biodegradabili | Acido polilattico (PLA) Policaprolattone (PCL) Polibutilsuccinato (PBS) Amido di mais (Mater-Bi) o di patata (Solanyl) |
| Termoindurenti | Policarbonato (PC) Poliestere Epossidiche Polifenoli Teflon (PTFE) Poliuretani Resine ureiche e melamminiche ABS (acrilonitrile-butadiene-stirene) Gomme naturali (poliisoprene 1,4 cis) e sintetiche |
| Termoindurenti biodegradabili | Resine oleose (olio di soia, olio di ricino) |

Deformazione dei polimeri cristallini →

fattori che influenzano le proprietà meccaniche

Temperatura (l'aumento porta ad una diminuzione del modulo e della resistenza a trazione e ad un aumento della duttilità')

Velocità di deformazione (la diminuzione porta ad una diminuzione del modulo e della resistenza a trazione e ad un aumento della duttilità')

Struttura (il modulo cresce quando aumentano le forze intermolecolari ed il grado di allineamento delle catene)

Peso molecolare (l'aumento porta ad un aumento della resistenza a trazione, mentre il modulo non sembra dipendere dal peso molecolare)

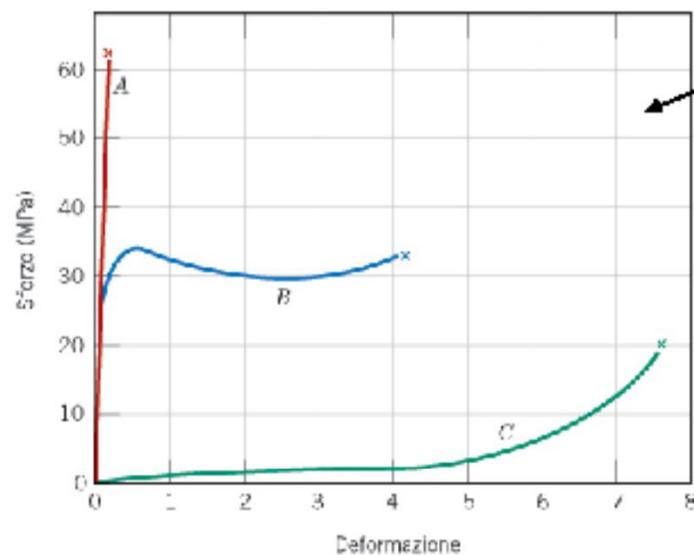
Grado di cristallinità (l'aumento porta ad un aumento del modulo di trazione, della resistenza, ma anche della fragilità')

PROPRIETÀ MECCANICHE DEI POLIMERI

COMPORAMENTO SFORZO-DEFORMAZIONE

Le proprietà meccaniche dei polimeri sono valutate mediante il modulo di elasticità, il carico di rottura e di snervamento, determinati dalla curva sforzo-deformazione.

Nella maggior parte dei casi sono fortemente influenzate dalla velocità di deformazione, dalla temperatura e dalla natura chimica dell'ambiente circostante.



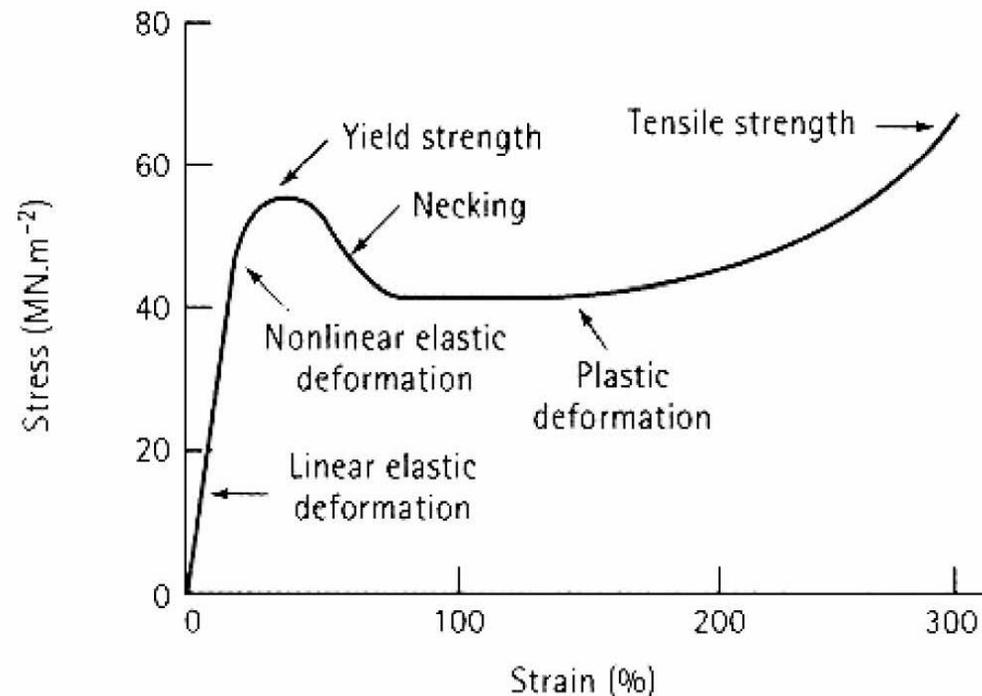
Tre tipici comportamenti di polimeri

(A) polimero fragile – si rompe pur essendo ancora in campo elastico

(B) polimero plastico – inizialmente si ha deformazione elastica, seguita da snervamento e da una regione a comportamento plastico

(C) polimero elastico – si ha deformazione completamente elastica di tipo gommoso (elastomeri)

Deformazione dei Termoplastici



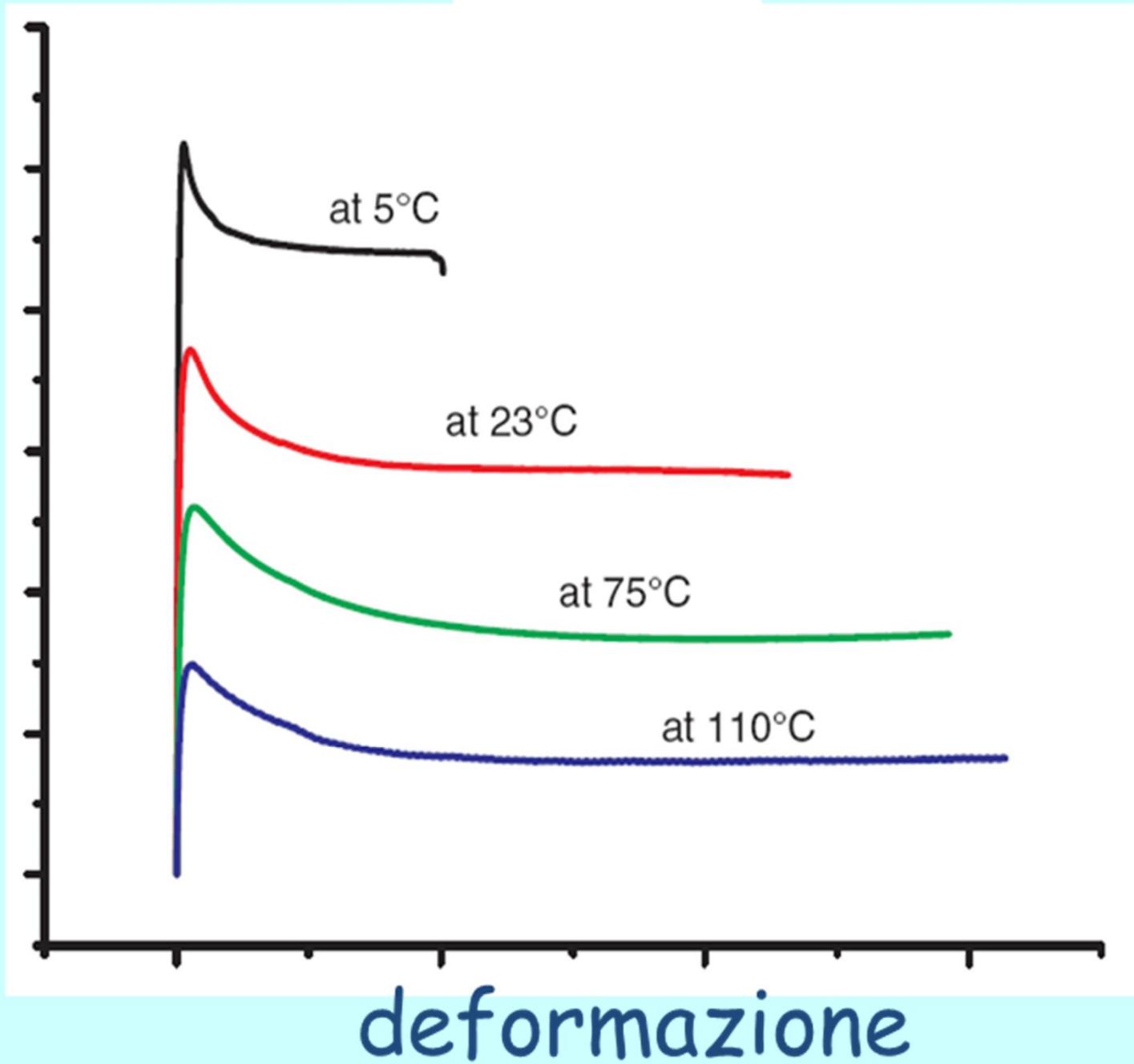
Deformazione elastica:

- Stretching dei legami intramolecolari
- Rotazione dei legami

Deformazione plastica:

- Scorrimento intermolecolare

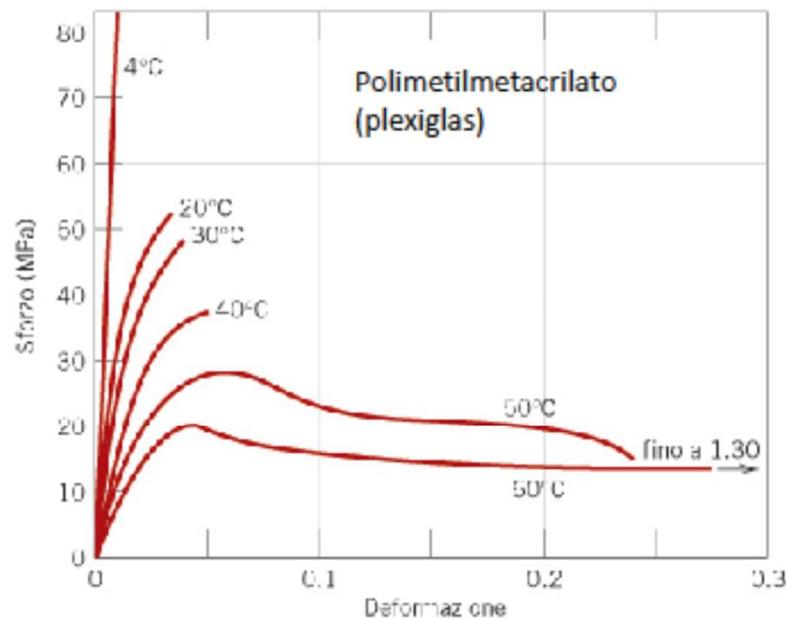
sforzo



deformazione

Le proprietà meccaniche dei polimeri sono molto sensibili alle variazioni di temperatura, in particolare nelle vicinanze della temperatura ambiente.

Esempio:



L'aumento della temperatura determina una diminuzione del modulo elastico, una riduzione del carico di rottura ed un aumento di duttilità (a 4°C il materiale è completamente fragile, mentre da 50°C presenta una considerevole deformazione plastica).

Inoltre la diminuzione della velocità di deformazione ha lo stesso effetto sulla curva dell'aumento di temperatura: il materiale diventa più morbido e duttile.

FENOMENI DI CRISTALLIZZAZIONE, FUSIONE E TRANSIZIONE VETROSA NEI POLIMERI

Cristallizzazione → processo per il quale, mediante raffreddamento, partendo da un fuso a struttura molecolare altamente disordinata, si perviene ad una fase solida ordinata – cristallina

Fusione → processo inverso della cristallizzazione che si verifica per effetto del riscaldamento del polimero.

Transizione vetrosa → si manifesta nei polimeri amorfi che, raffreddati dal fuso, danno luogo a solidi rigidi che mantengono la struttura molecolare disordinata dello stato liquido.

Nei materiali semicristallini le zone non cristalline subiscono il processo della transizione vetrosa, mentre le regioni cristalline solo il processo di cristallizzazione.

TRANSIZIONE VETROSA

Si presenta nei polimeri amorfi (vetrosi) e semicristallini ed è dovuto alla diminuzione della mobilità delle catene molecolari al diminuire della temperatura.

Per raffreddamento, un polimero fuso si trasforma gradualmente da **liquido** → **gommoso** → **solido rigido**.

La temperatura a cui avviene il passaggio da stato **gommoso** → **solido rigido** è chiamata **temperatura di transizione vetrosa** (T_g).

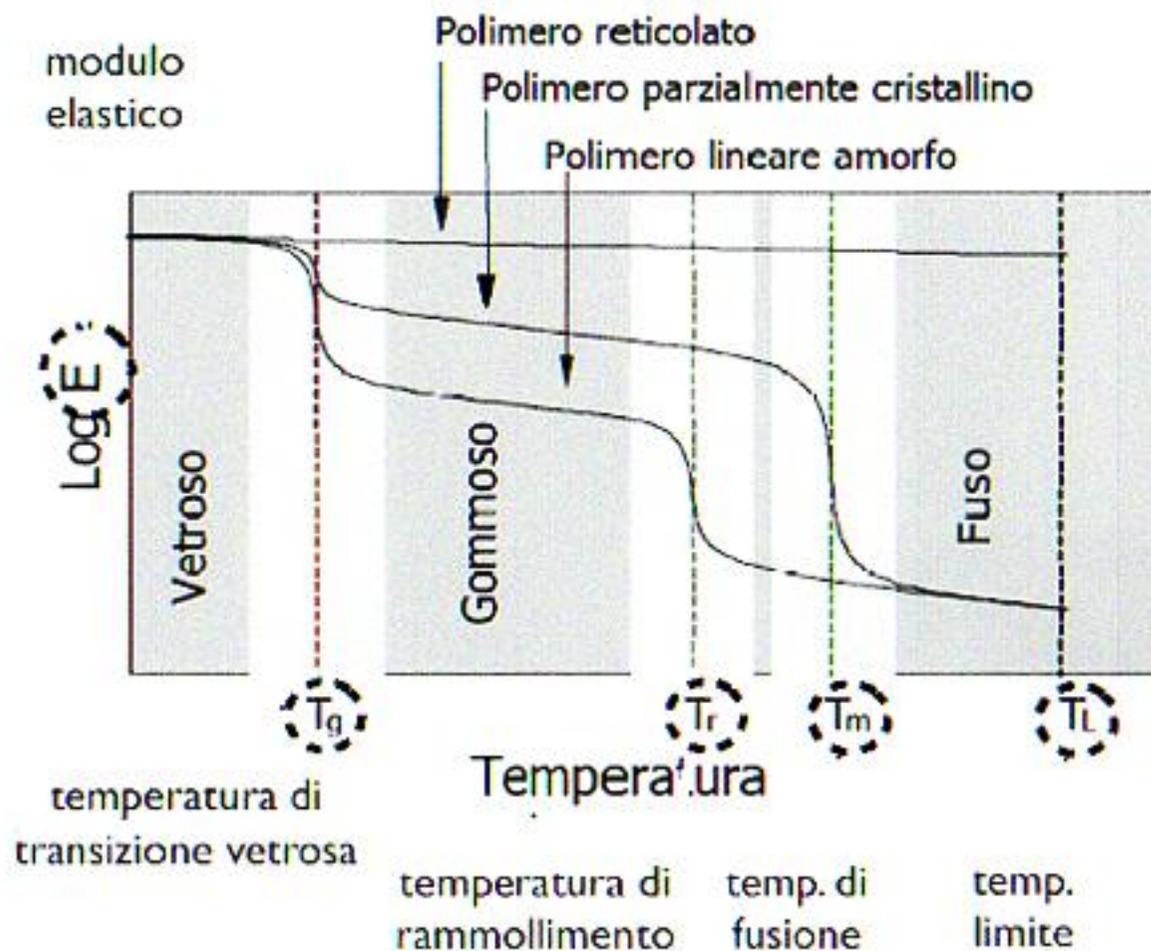
Il passaggio attraverso la transizione vetrosa è accompagnato da bruschi cambiamenti di alcune proprietà fisiche:

- ❖ rigidezza
- ❖ capacità termica
- ❖ coefficiente di dilatazione termica

PROPRIETA' DEI POLIMERI



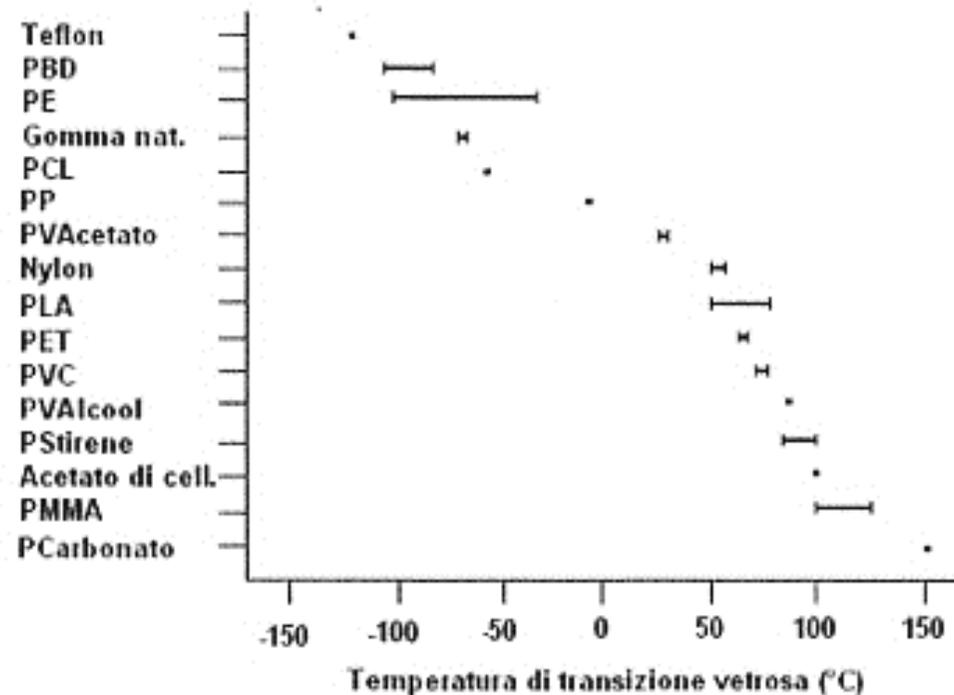
PROPRIETA' MECCANICHE IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA



TEMPERATURA DI TRANSIZIONE VETROSA (T_g)

TEMPERATURA DI ESERCIZIO (T_e):

- *Per $T_e < T_g$: comportamento vetroso*
- *Per $T_e > T_g$: comportamento gommoso*



della T_g . Per un polimero semicristallino (curva B) il comportamento risulta intermedio tra questi estremi, in quanto per esso si possono osservare i fenomeni relativi sia alla fusione che alla transizione vetrosa, e le due temperature T_m e T_g sono caratteristiche, rispettivamente, della parte cristallina e di quella amorfa contenute all'interno del materiale semicristallino.

In tabella sono riportate le temperature tipiche di fusione e transizione vetrosa di alcuni tra i polimeri più diffusi.

| <i>Materiali</i> | <i>Temperatura di transizione vetrosa (°C)</i> | <i>Temperatura di fusione (°C)</i> |
|-----------------------------|--|------------------------------------|
| Polietilene (bassa densità) | -110 | 115 |
| Politetrafluoroetilene | -97 | 327 |
| Polietilene (alta densità) | -90 | 137 |
| Polipropilene | -18 | 175 |
| Nylon 6,6 | 57 | 265 |
| Poliestere (PET) | 69 | 265 |
| Cloruro di polivinile | 87 | 212 |
| Polistirene | 100 | 240 |
| Policarbonato | 150 | 265 |

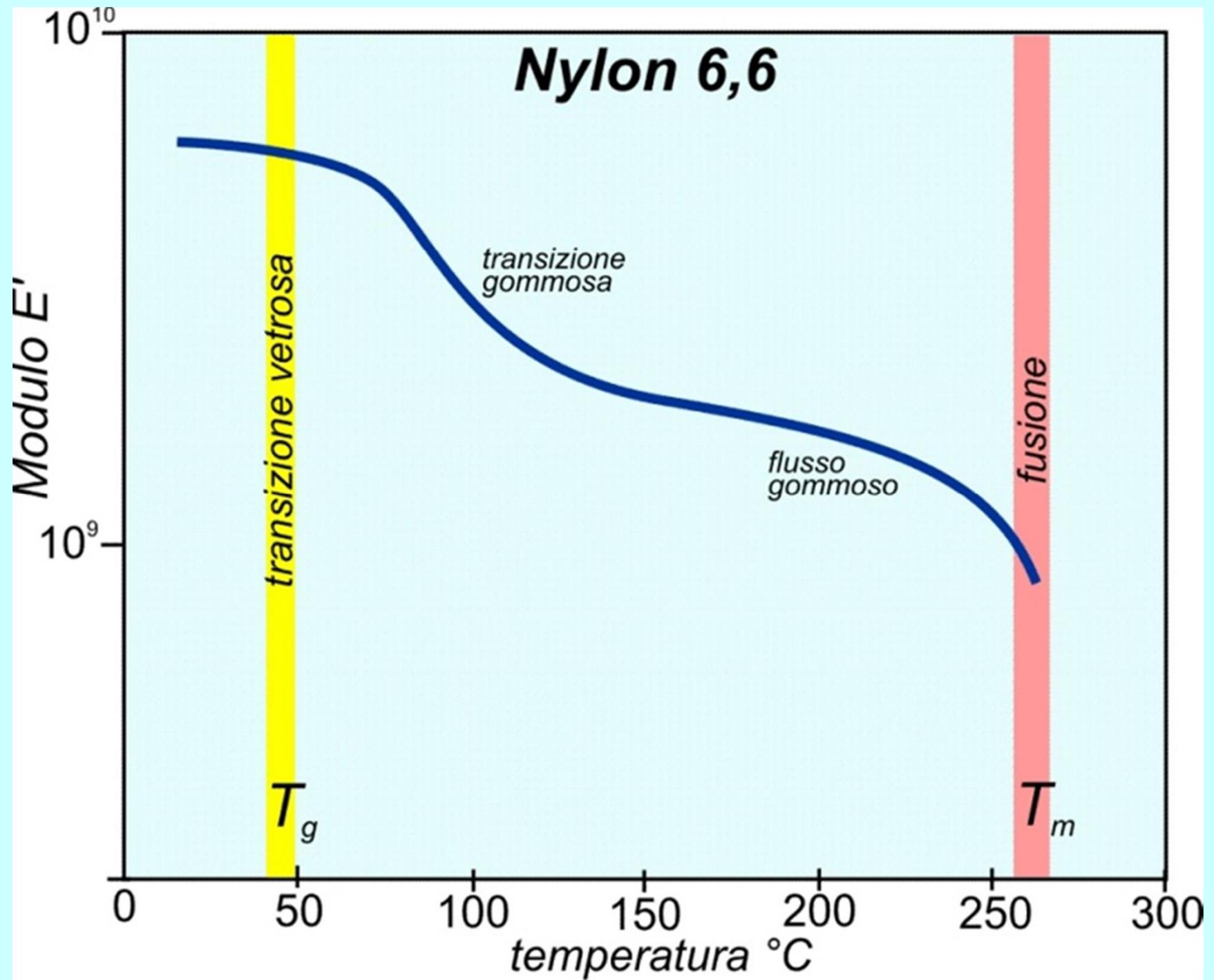
Figura 29 – Valori termici caratteristici di alcuni polimeri

Fattori che influenzano le temperature di fusione e transizione vetrosa

Temperatura di fusione

Durante la fusione di un polimero, nella trasformazione da stati molecolari ordinati a disordinati, si determina necessariamente un riassetto delle molecole. La chimica e la struttura molecolare influenzano la capacità delle molecole delle catene polimeriche a realizzare questo riassetto, ed influiscono sulla temperatura stessa di fusione.

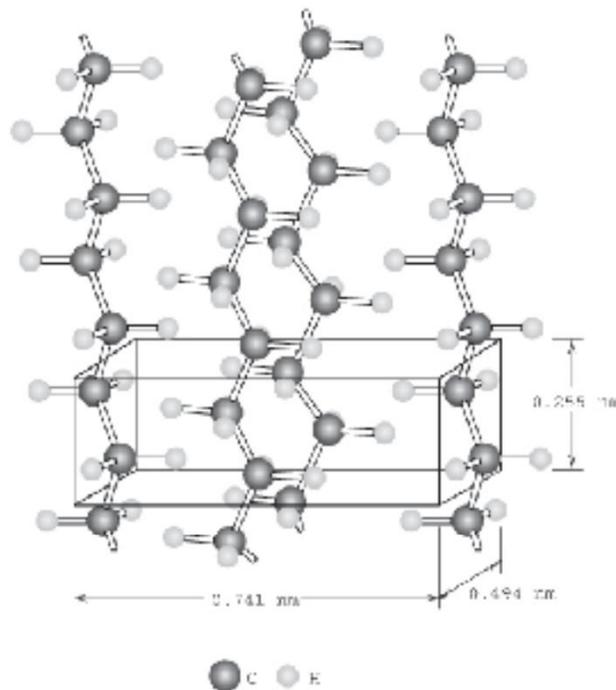
La rigidità della catena, che è determinata dalla facilità di rotazione intorno ai legami chimici lungo la catena stessa, è un altro fattore che ha forte influenza a riguardo. La presenza di doppi legami e di gruppi aromatici all'interno della catena diminuisce la flessibilità della catena medesima provocando, nel contempo, un aumento della temperatura di fusione. Ancora, le dimensioni ed il tipo dei gruppi laterali influenzano a loro volta la libertà di rotazione della catena e la sua flessibilità, generando, nel caso di gruppi laterali massicci o di grandi dimensioni, un aumento della temperatura di fusione. Ad esempio il polipropilene ha una temperatura di fusione più alta del polietilene. Infatti, il gruppo metile laterale CH_3 del polipropilene ha dimensioni maggiori dell'atomo H che si trova al suo posto nel polietilene. La presenza di gruppi laterali polari (come Cl , OH , CN), anche se non eccessivamente elevata, porta l'instaurarsi di forze di legame



CRISTALLINITÀ DEI POLIMERI

È una compattazione delle catene con una distribuzione atomica ordinata.

Le strutture cristalline sono descritte in termini di celle unitarie, spesso molto complesse.



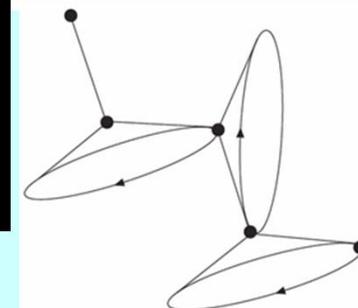
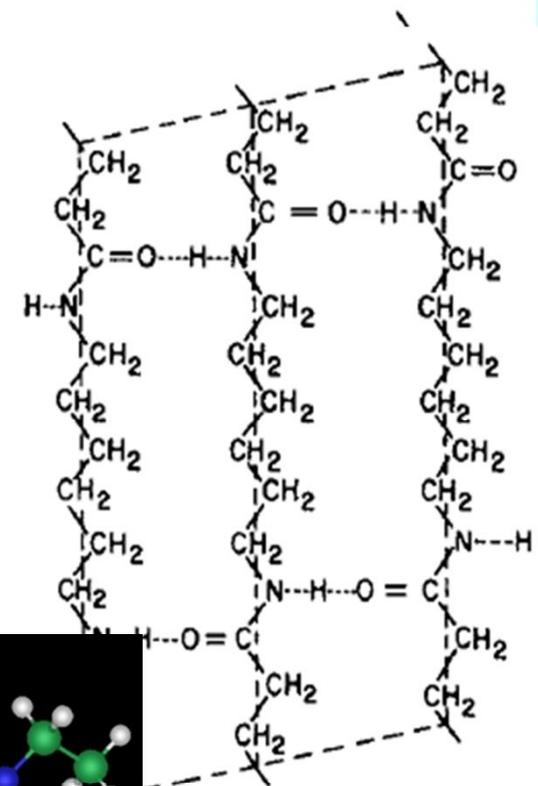
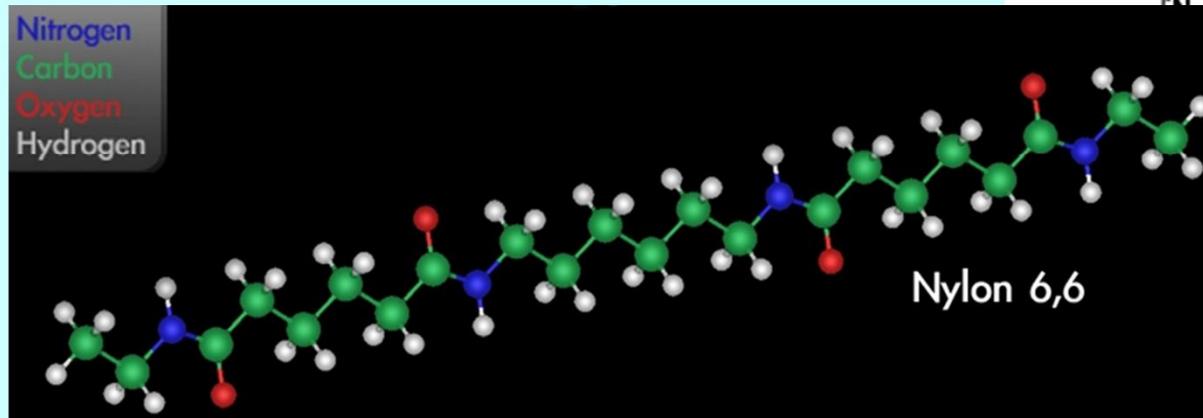
Disposizione delle catene molecolari di polietilene in una cella unitaria

A differenza delle sostanze con molecole piccole (acqua, metano,...) che di norma sono o cristalline o completamente amorfe, i polimeri, per le loro dimensioni e complessità, sono parzialmente cristalline (semicristalline, con regioni cristalline disperse in una massa amorfa).

Il grado di cristallinità varia da zero (amorfo) a circa 95% (quasi completamente cristallino).

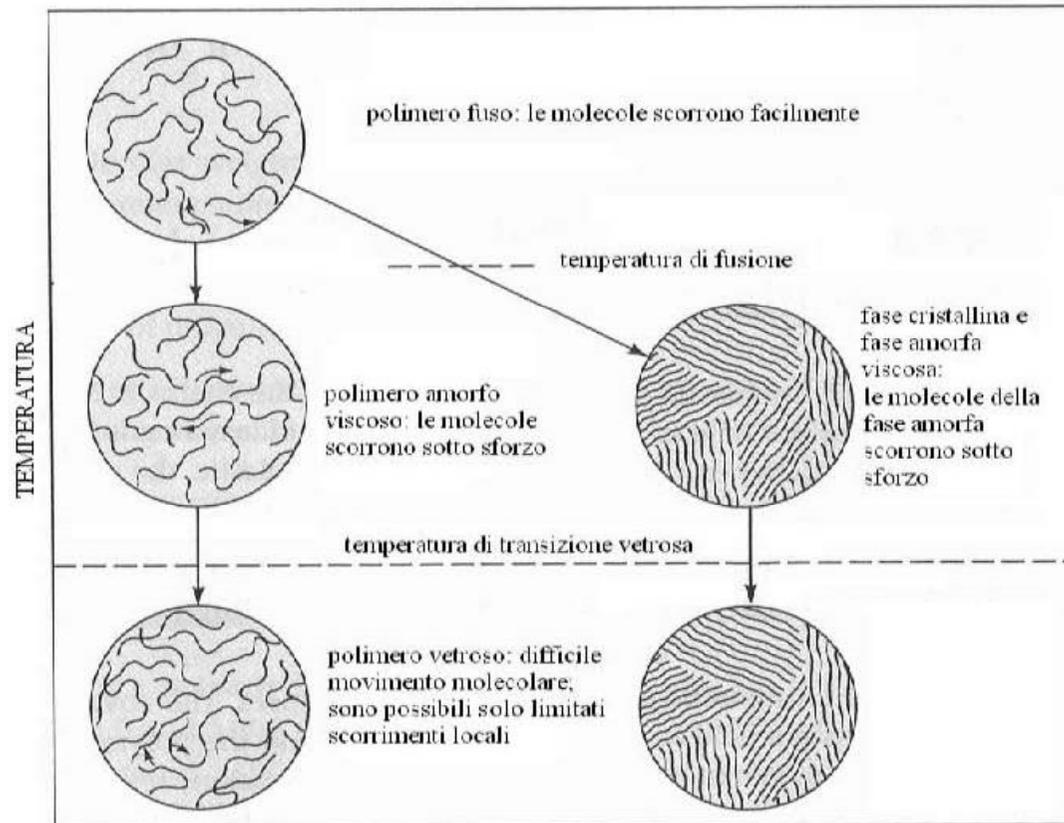
Nylon 6.6.

- punto di fusione 265°C
- transizione vetrosa a circa 45°C
- densità (cristallina a 25°C) $1,15\text{ g/cm}^3$
- cond. termica $0,25\text{ W/mK}$

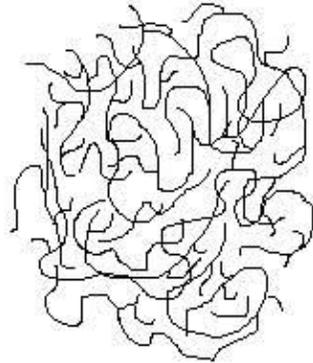


Termoplastici

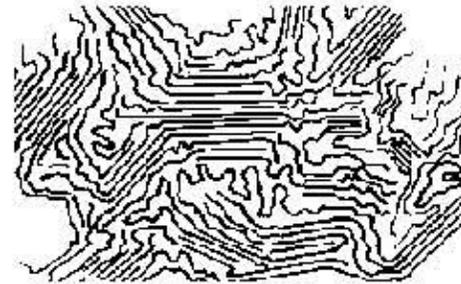
La temperatura di transizione vetrosa e cristallinità



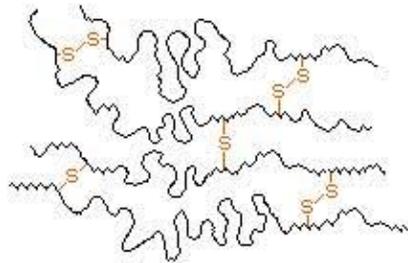
TERMOPLASTICO E TERMOINDURENTE



Struttura amorfa (random)



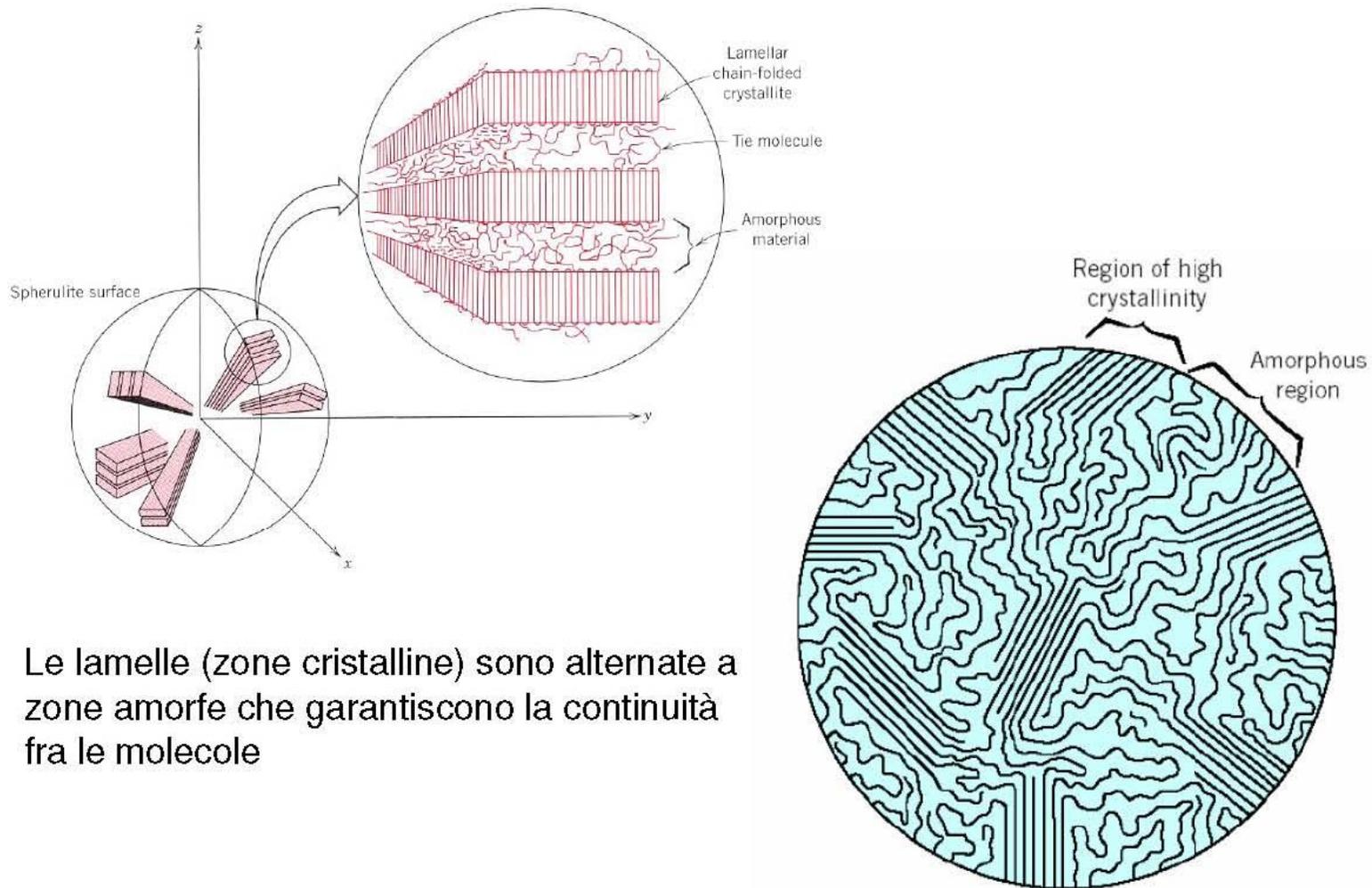
Struttura semi-cristallina



**Struttura con legami incrociati -
termoindurente
(es. gomma vulcanizzata)**

La formazione di legami incrociati (o di reticolazione) si può ottenere grazie alla luce, al calore od all'aggiunta di altri composti chimici: è un processo irreversibile

Modelli morfologici Termoplastici Semicristallini

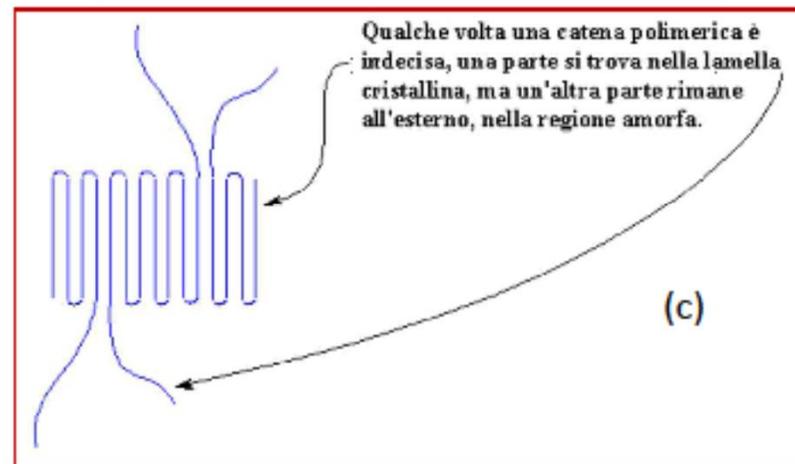
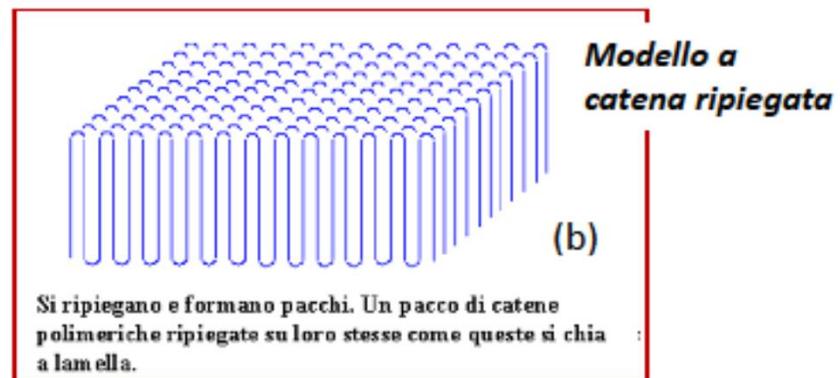
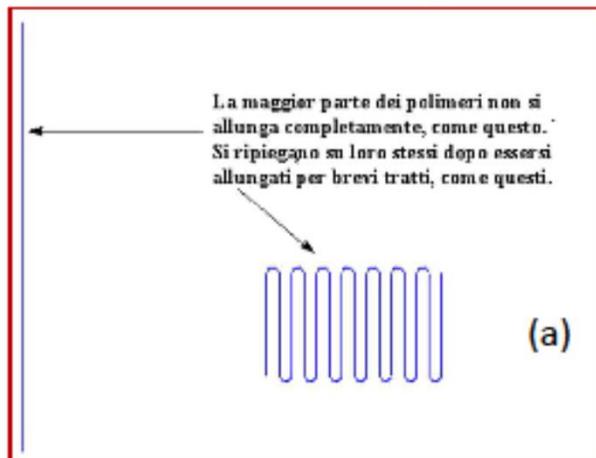


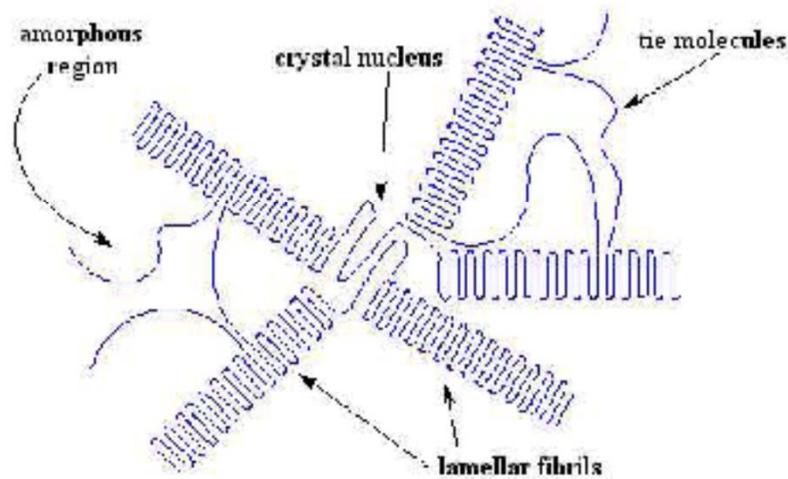
Le lamelle (zone cristalline) sono alternate a zone amorphe che garantiscono la continuità fra le molecole

CRISTALLI POLIMERICI

Un polimero semicristallino è formato da piccole regioni cristalline (**cristalliti**), con un preciso allineamento disperse in una matrice amorfa.

I cristalli presentano forma regolare (sottili placchette dette **lamelle**) di spessore di circa 10 – 20 nm e lunghe circa 10 μm .





Una sferulite di polimero cristallino e le sue parti

Le lamelle crescono come i raggi di una ruota di bicicletta partendo da un nucleo centrale. Si espandono effettivamente in tre direzioni, assomigliando ad una sfera che viene chiamata **sferulite**.

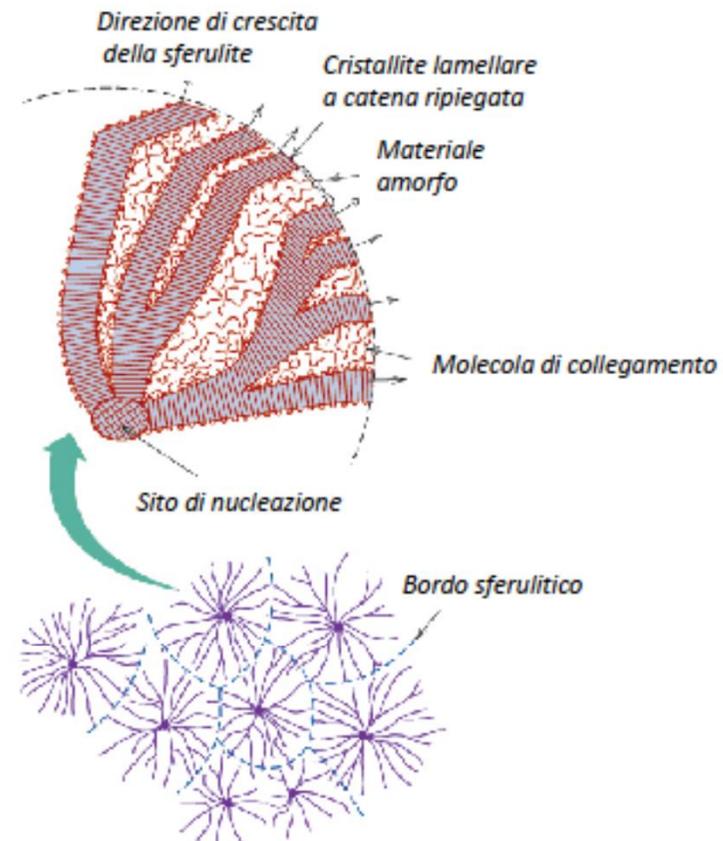
In un campione di cristallo ci sono miliardi di sferuliti.

La cristallinità rende il materiale resistente, ma anche fragile.

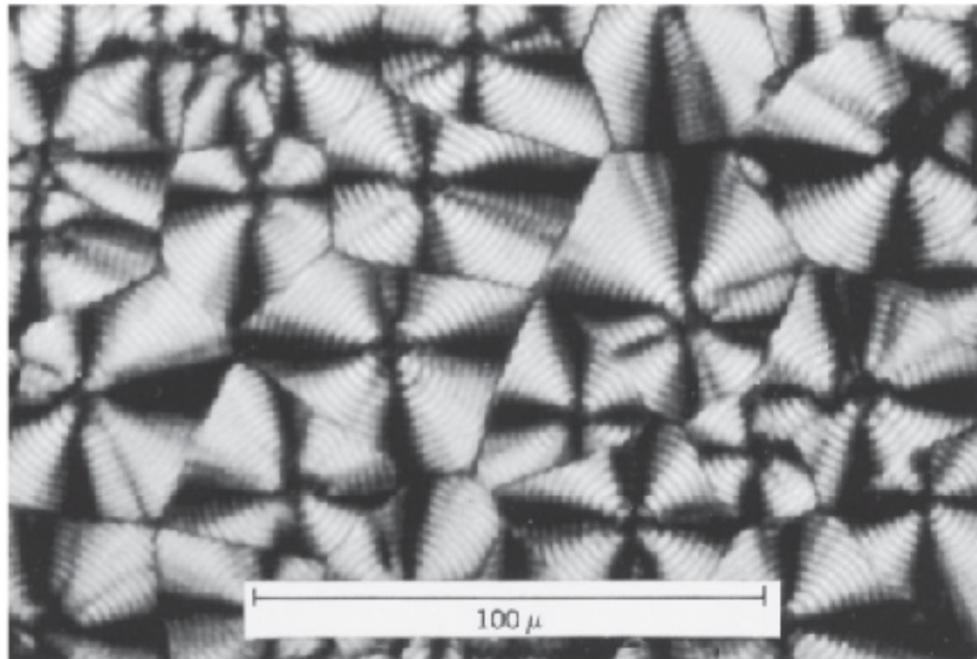
Un polimero completamente cristallino sarebbe troppo fragile per essere utilizzato come materia plastica. Le regioni amorse danno al polimero tenacità ossia la capacità di piegarsi senza rompersi.

La struttura in dettaglio di una sferulite è riportata in figura:

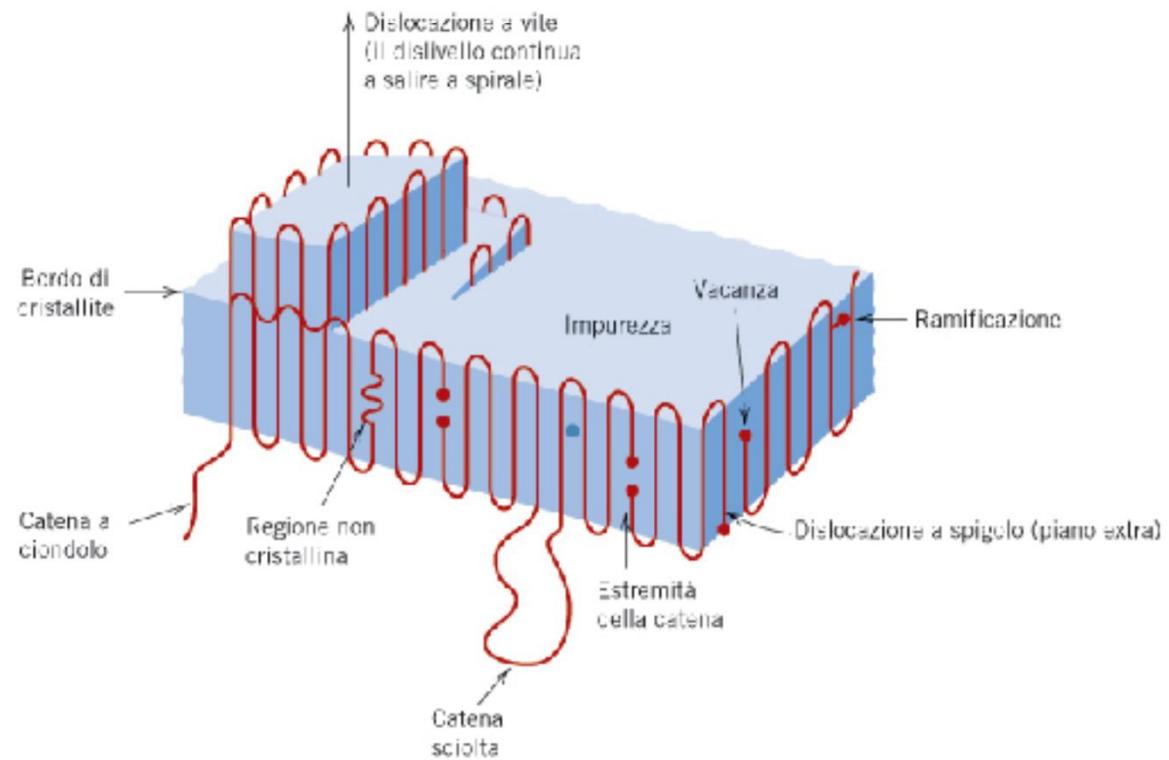
I cristalli lamellari a singola catena ripiegata sono separati da materiale amorfo e le singole lamelle sono tenute insieme da molecole di collegamento.



Quando il processo di cristallizzazione di una struttura sferulitica è completo, le sferuliti adiacenti sono a contatto e formano bordi di confine più o meno piani. Prima del contatto le sferuliti mantengono una forma sferica.

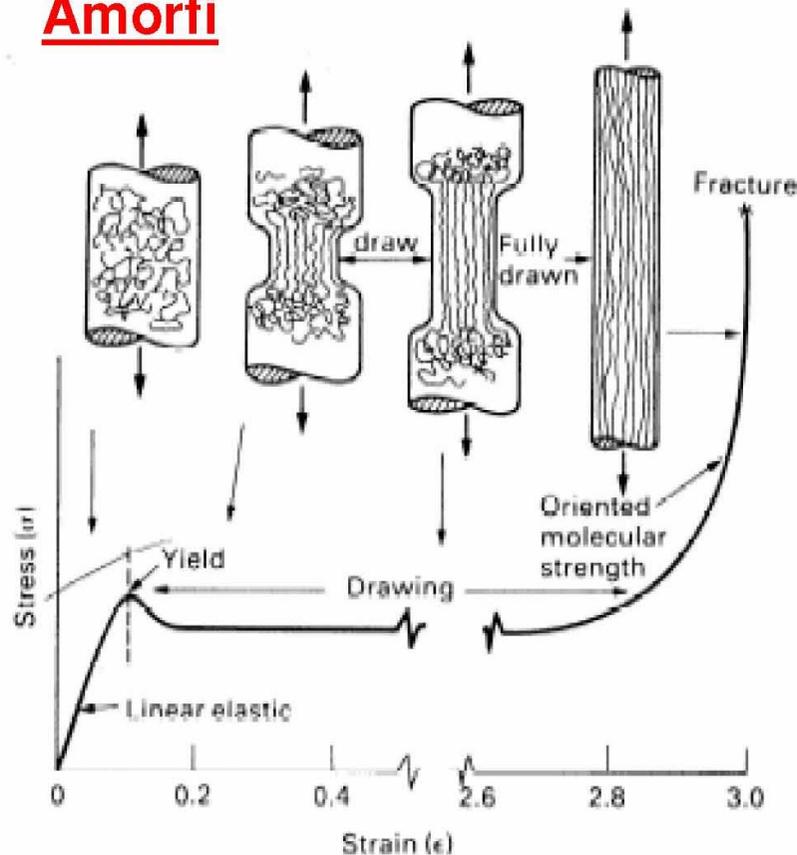


DIFETTI NEI POLIMERI



Deformazione dei Termoplastici

Amorfi



Strizione:

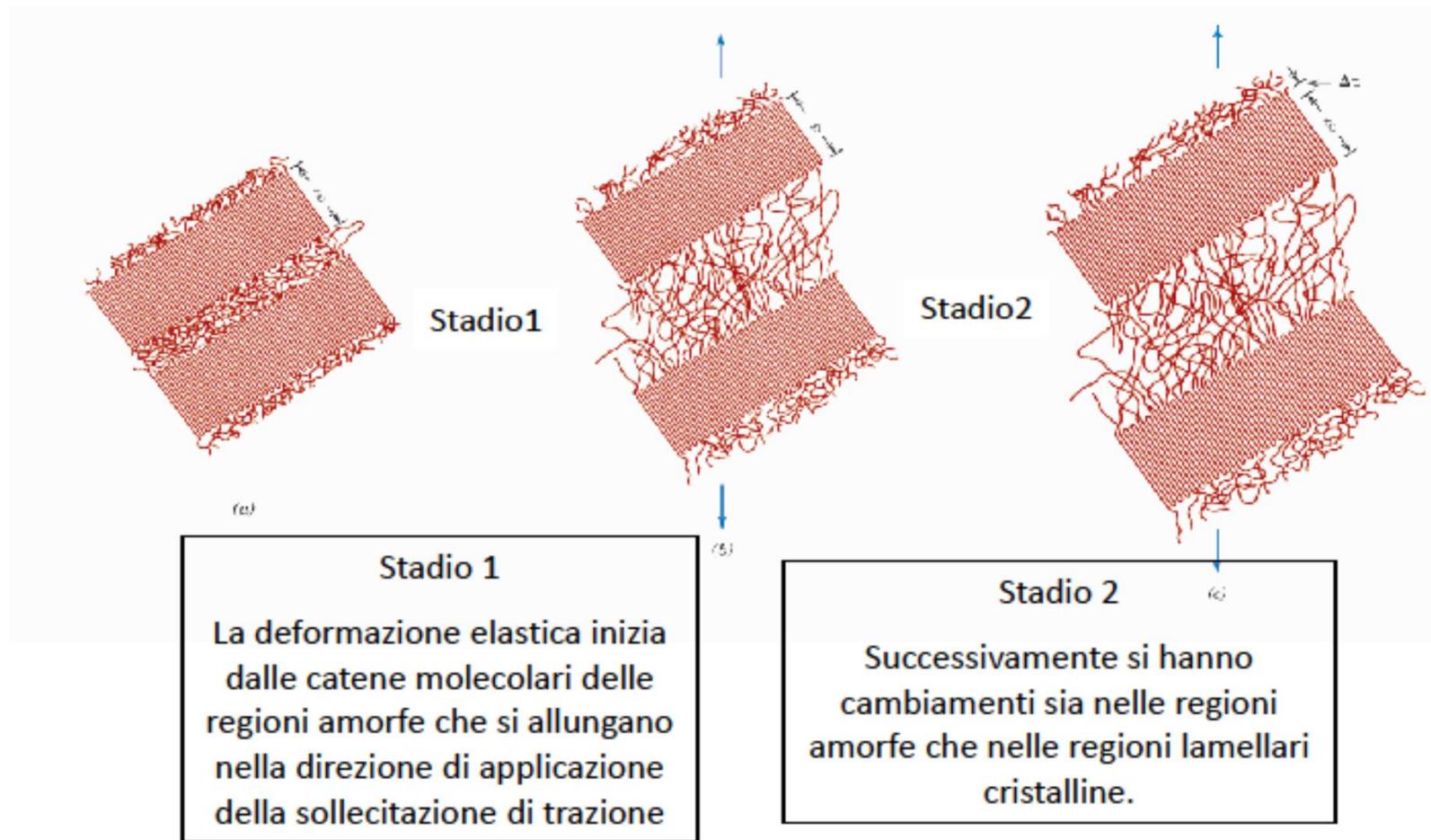
-La strizione si manifesta con l'allineamento delle catene nella direzione dello sforzo;

- data la maggiore vicinanza fra le molecole e quindi legami di Van der Waals più forti tale regione è la più resistente del polimero

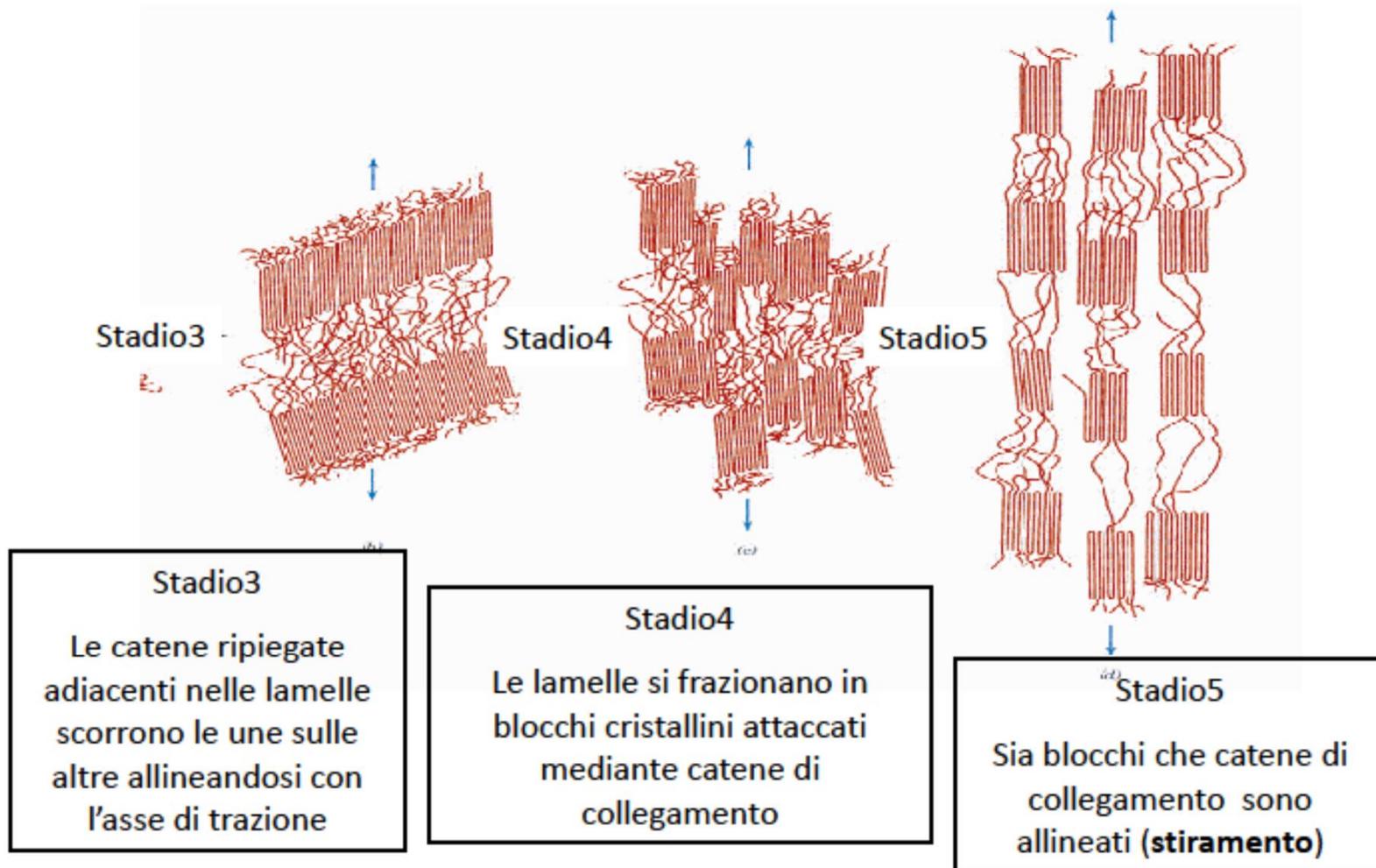
- la strizione non si concentra ma si estende a tutto il materiale

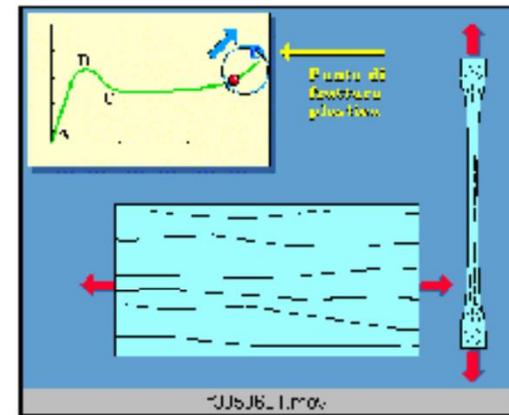
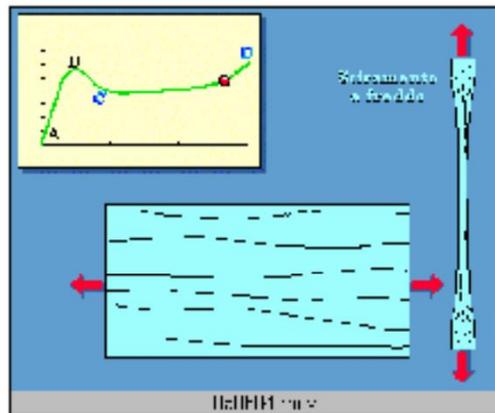
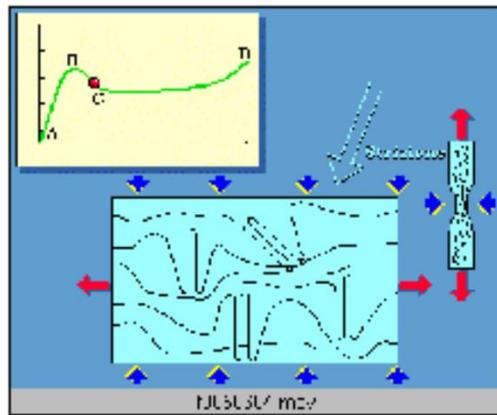
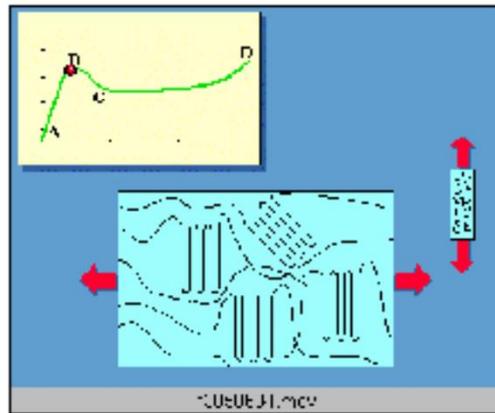
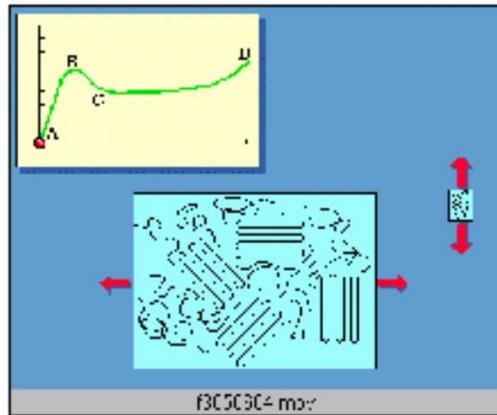
Tale meccanismo è sfruttato nella produzione di fibre in polimeri (stiro a freddo):
Le fibre presenteranno resistenza maggiore del materiale originario

Deformazione dei polimeri cristallini → meccanismo di deformazione elastica



Deformazione dei polimeri cristallini → meccanismo di deformazione plastica





seguito delle operazioni di curing sono definitivi. I termoindurenti trovano applicazioni in sistemi particolari come gli isolanti degli aerei o le vernici delle autovetture.

La forma delle molecole

Le molecole di una catena polimerica non sono rigorosamente lineari, ovvero bisogna tenere conto della conformazione a zig-zag degli atomi della struttura di base. I legami di una singola catena, infatti, sono in grado di ruotare e flettersi nello spazio. Come visibile dalla fig. 16, gli atomi di carbonio possono collocarsi in ciascun punto di un cono di rivoluzione che mantenga costante l'angolo di apertura, dando così origine a conformazioni lineari (in un caso), o a catene inclinate e ritorte (nell'altro caso).

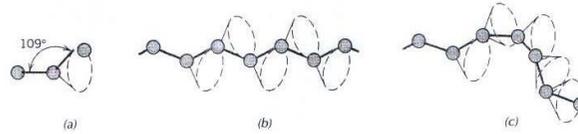


Figura 16 – *Differenti possibilità di orientamento della catena molecolare*

Pertanto una singola molecola della catena, composta da molti atomi, potrebbe assumere tutta una serie di piegamenti, contorcimenti e cappi. In tal caso si osserva come la distanza inizio-fine della catena sia molto minore della lunghezza totale della catena.

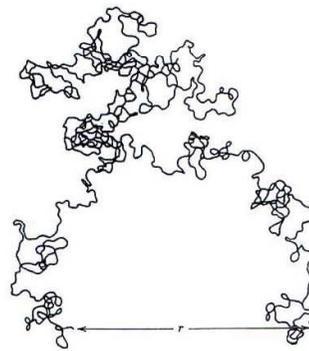


Figura 17 – *Rappresentazione della struttura a gomito di una macromolecola*

Perché i polimeri sono viscoelastici

punto di vista microscopico

macromolecole legate a formare un reticolo tridimensionale

legami non permanenti
(*entanglement*)



LEGAME TOPOLOGICO



reticolo tipo elastomeri

MODELLO RETICOLARE

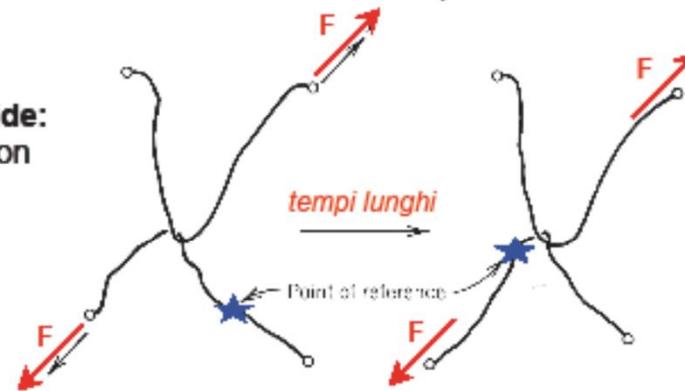
macromolecole mutuamente concatenate



effetti cooperativi
(le molecole si influenzano l'una l'altra)

deformazioni rapide:
gli *entanglement* non si dipanano

risposta elastica



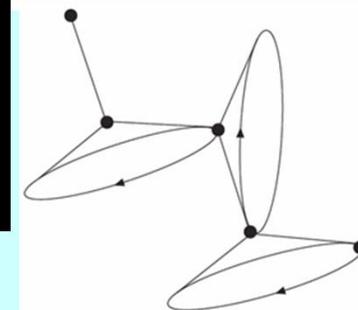
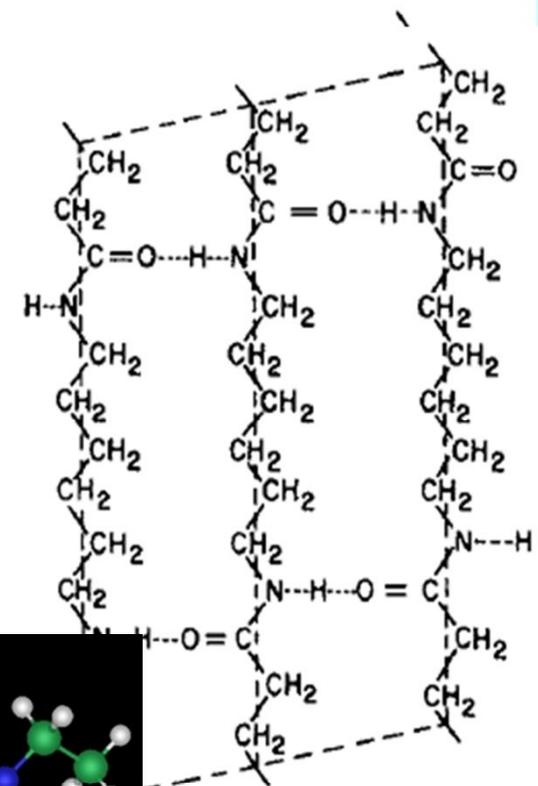
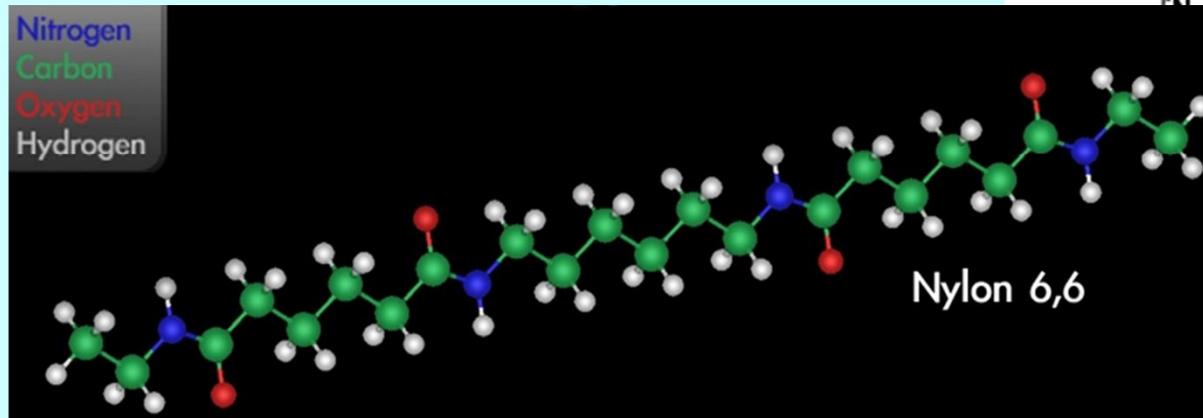
deformazioni lente:
le catene scorrono,
gli *entanglement* si dipanano

risposta viscosa

Figure 10.1 An illustration of reversible motion in a trapped entanglement under stress. The marked point of reference moves with time. When the stress is released, entropic forces return the chains to near their original positions.

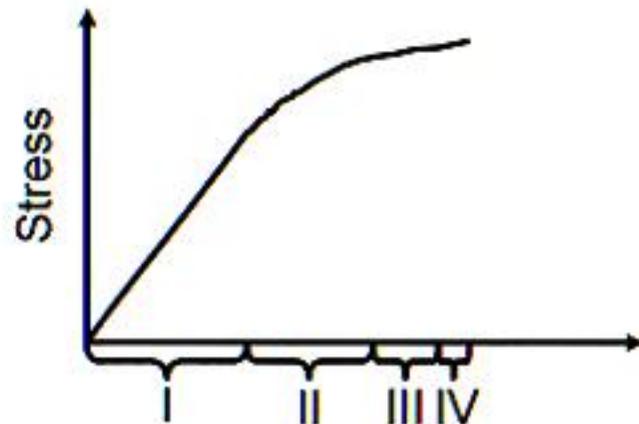
Nylon 6.6.

- punto di fusione 265°C
- transizione vetrosa a circa 45°C
- densità (cristallina a 25°C) $1,15\text{ g/cm}^3$
- cond. termica $0,25\text{ W/mK}$





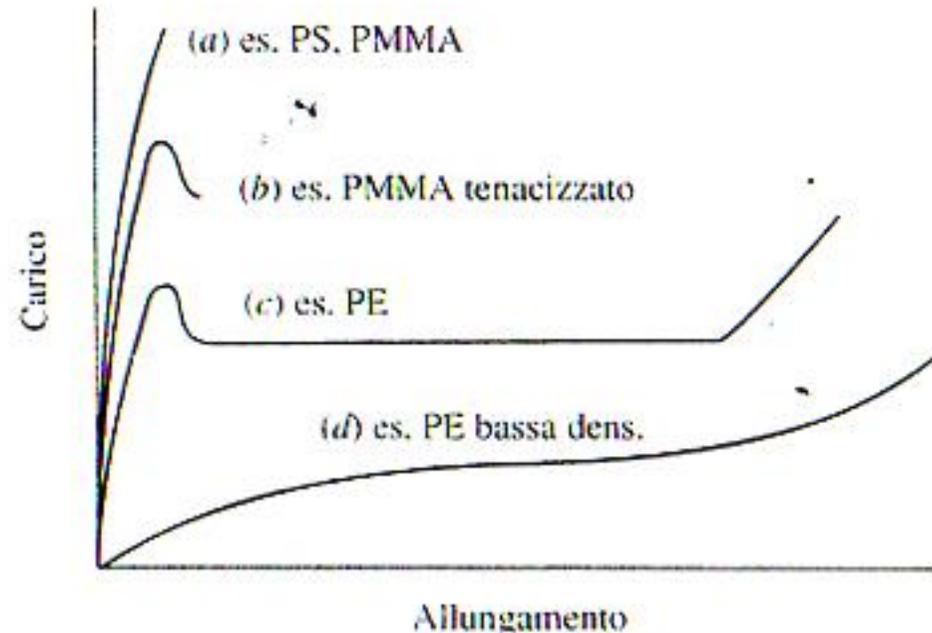
COMPORTAMENTO MECCANICO DEI POLIMERI



- I. Svolgimento delle catene (bassa energia)
- II. Scorrimento delle catene (bassa energia)
- III. Stiro dei legami, allineamento dei gruppi molecolari (elevata energia)
- IV. Rottura dei legami (elevata energia)

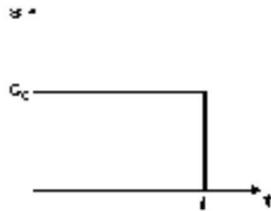
TIPOLOGIE DI COMPORTAMENTO

- a) Fragile
- b) Duttile
- c) Duttile con incrudimento a freddo
- d) Gommoso



Risposta ad un test di stress - relaxation

INPUT



OUTPUT

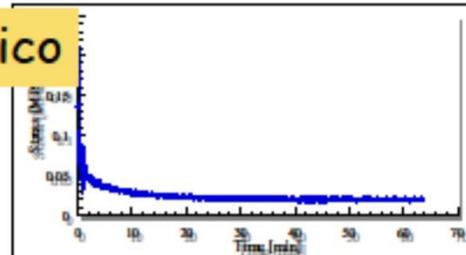
Solido elastico lineare



Fluido newtoniano

$$\sigma(t) = \eta \cdot \varepsilon_0 \cdot \delta(t) \text{ con: } \left\{ \begin{array}{l} \delta(t) = \infty \text{ per } t = 0 \\ \delta(t) = 0 \text{ per } t \neq 0 \end{array} \right.$$

Materiale viscoelastico



Creep e Stress relaxation

| | Input | Output | Funzione risposta |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| CREEP test | $\sigma_0 = \text{cost}$ | $\varepsilon = \varepsilon(t)$ | $J = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0}$ |
| STRESS - RELAXATION test | $\varepsilon_0 = \text{cost}$ | $\sigma = \sigma(t)$ | $E = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0}$ |

J: compliance

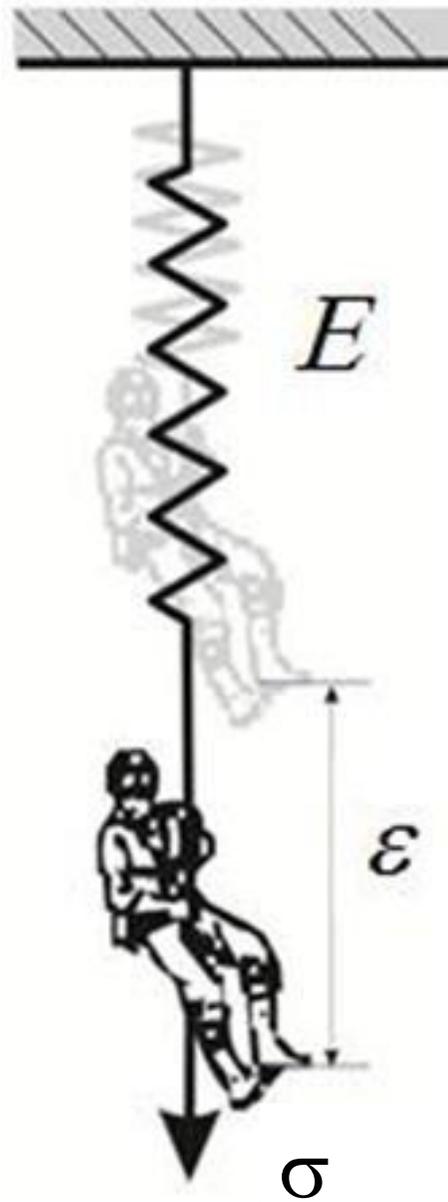
E: relaxation modulus

Nel caso in cui la funzione risposta dipenda solo dal tempo [$J=J(t)$ e $E=E(t)$] si parla di *viscoelasticità lineare*; se, invece, oltre alla dipendenza dal tempo vi è anche quella relativa all'ampiezza dello sforzo o della deformazione imposta istantaneamente, si parla di *viscoelasticità non lineare*.

5

**Test a caduta
su corde**

comportamento elastico di una corda speleo



Legge di Hook (barre)

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

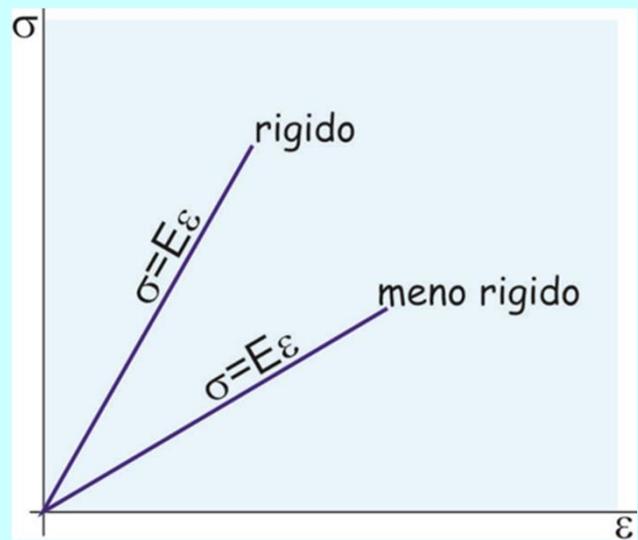
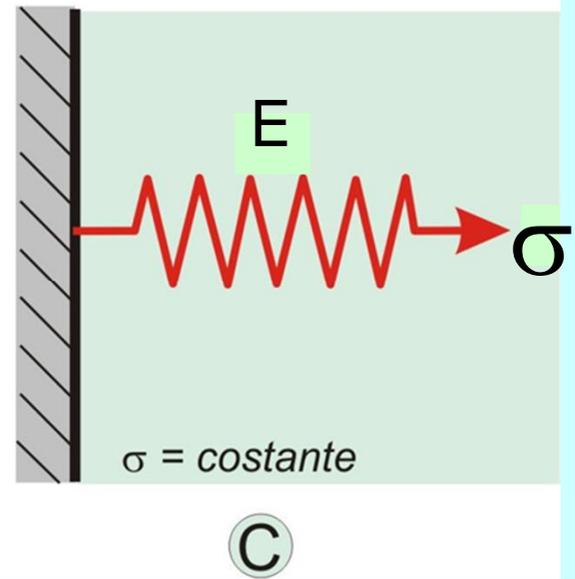
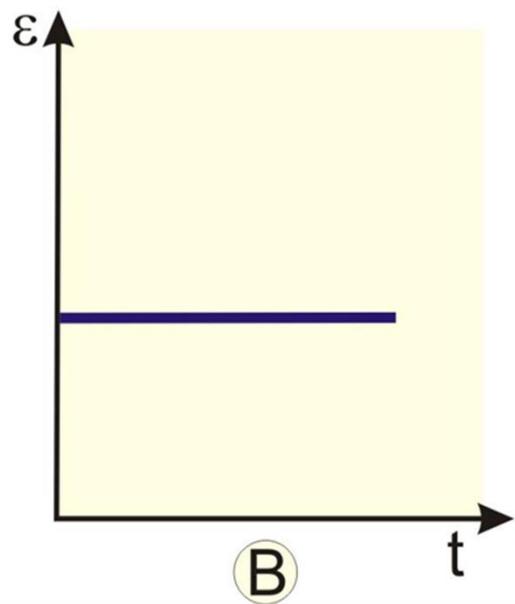
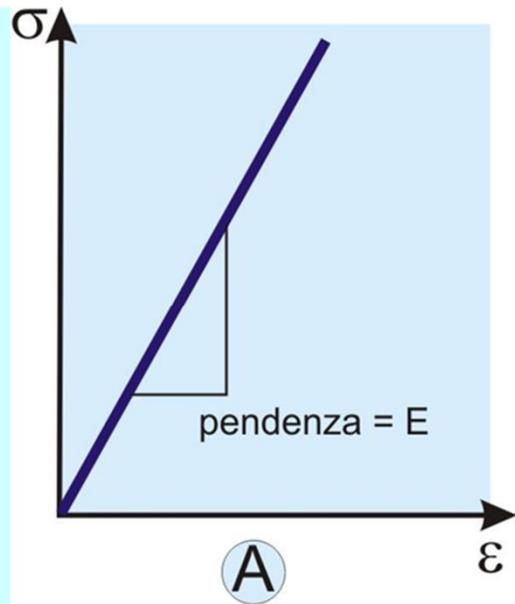
$$\sigma = \frac{F}{S}$$

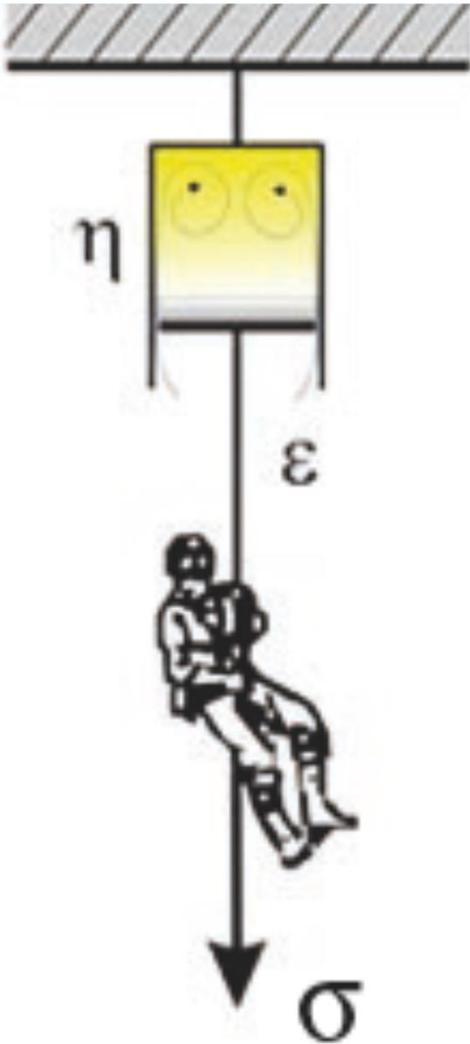
Sforzo (stress) $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Deformazione (strein) adimensionale

Materiali elastici e piccole deformazioni





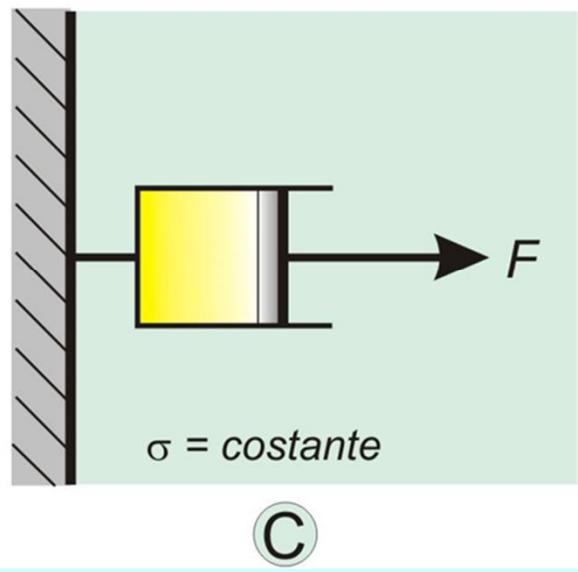
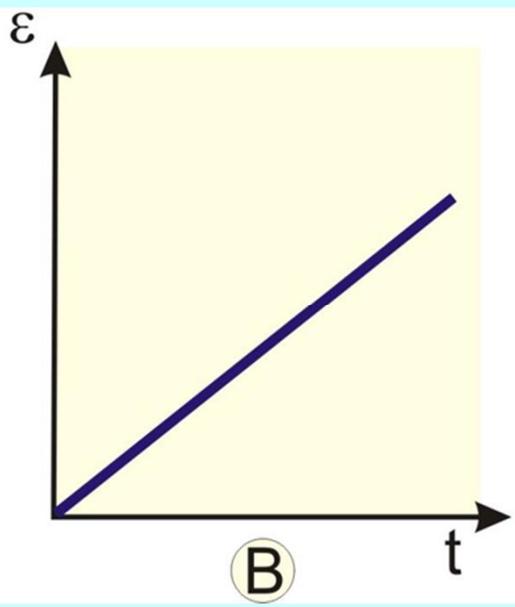
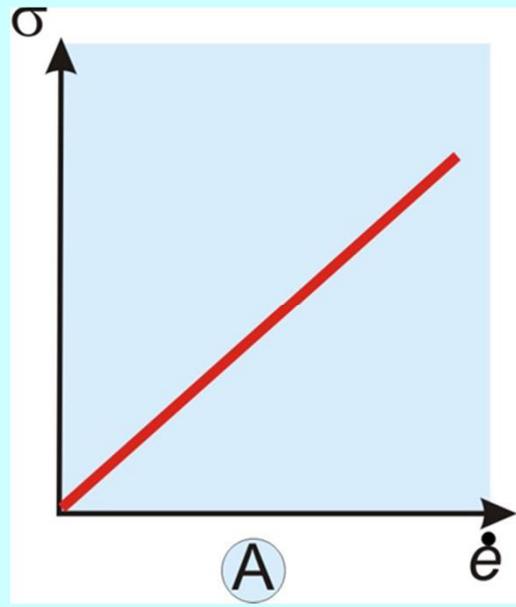
$$\sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \text{sforzo}$$

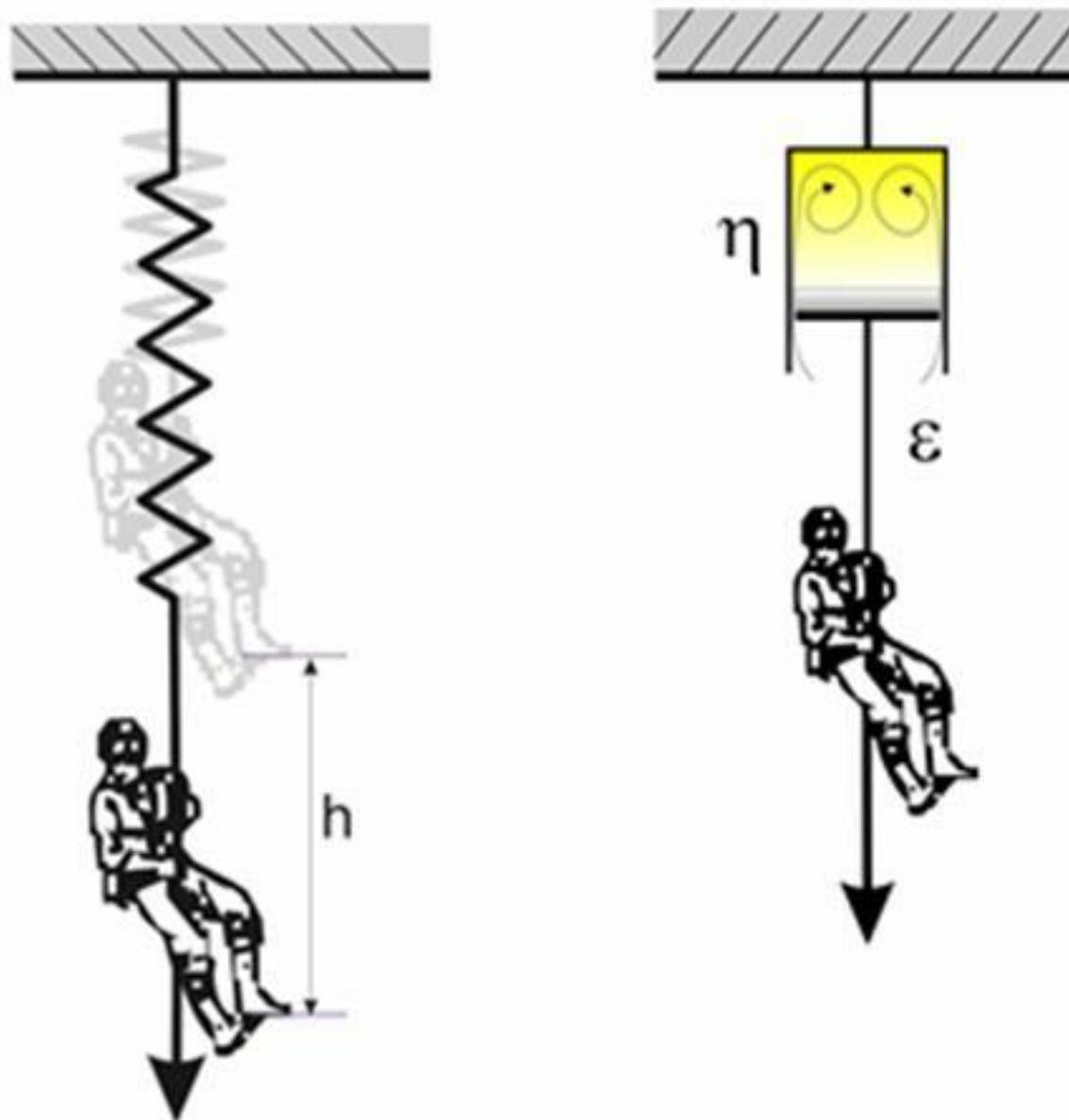
= coefficiente di viscosità

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \text{velocità di deformazione}$$

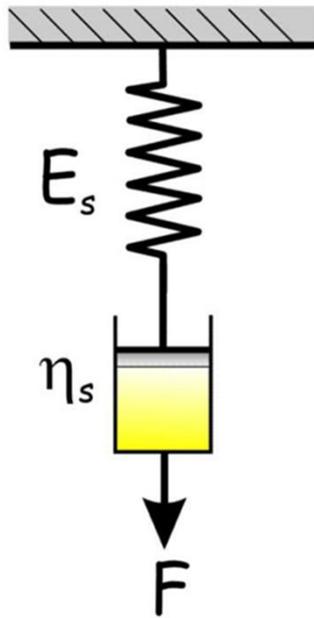
Legge di Newton



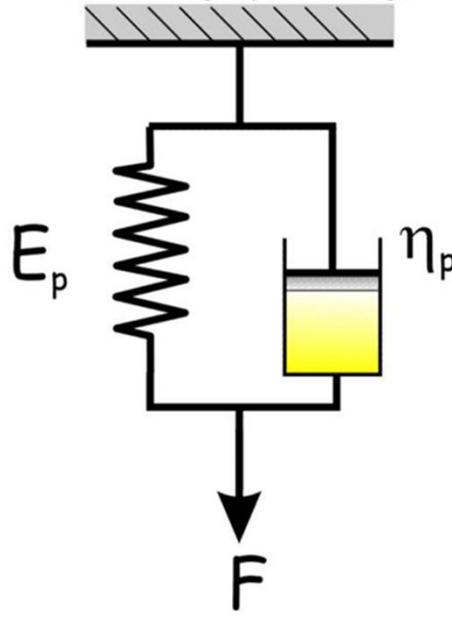
Quale è il modello migliore che simula il comportamento di una corda speleo?



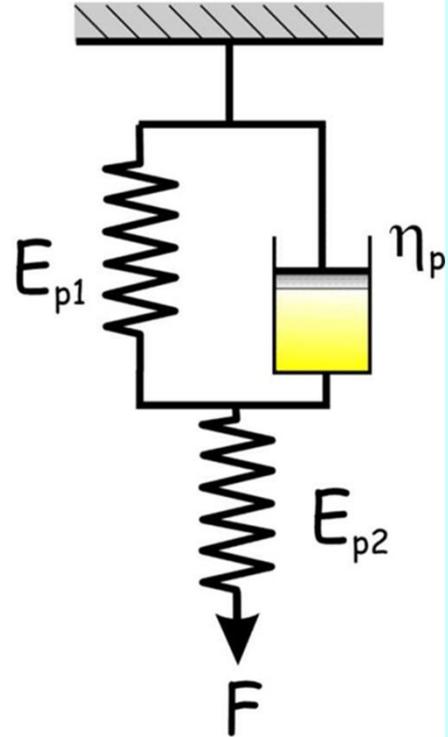
modello analogico serie (Maxwell)



modello analogico parallelo (Voigt)

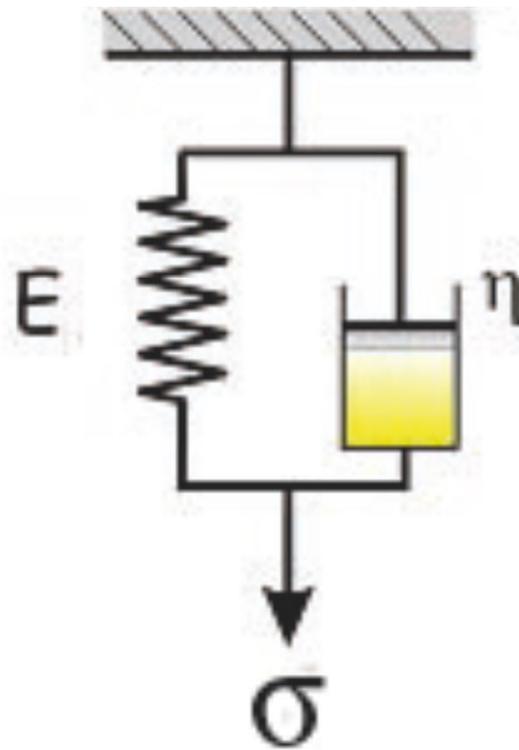


modello solido lineare (SSL)



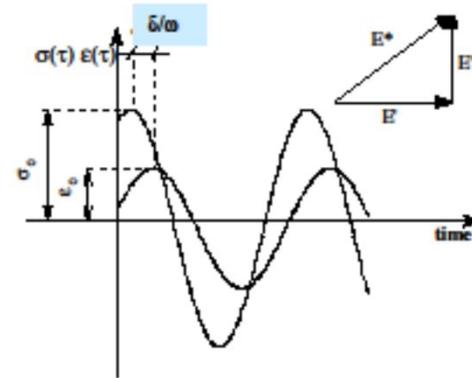
Modello viscoelastico di Voigt

Il più adatto ad interpretare il comportamento di una corda



Test dinamico-meccanico (Risposta in frequenza)

- Segnale di ingresso: onda sinusoidale
- Frequenza
- Ampiezza dinamica
- Livello medio



INPUT

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \sin \omega t$$

OUTPUT

Solido elastico lineare

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot \sin \omega t$$

Fluido newtoniano

$$\sigma(t) = \eta \omega \varepsilon_0 \cdot \cos \omega t$$

Materiale viscoelastico

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot \sin(\omega t + \delta)$$

$$0 < \delta < \frac{\pi}{2}$$

Test dinamico-meccanico (Analisi della risposta)

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot \sin(\omega t + \delta)$$

$$\frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \cdot \sin(\omega t + \delta)$$

$$\frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} = E' \cdot \sin \omega t + E'' \cos \omega t$$

Complex modulus

$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}$$

Storage modulus

$$E' = |E^*| \cos \delta$$

Loss modulus

$$E'' = |E^*| \sin \delta$$

La risposta è costituita da una parte in fase con il segnale sinusoidale imposto ed una sfasata; il modulo elastico E' rappresenta l'energia immagazzinata nel materiale, mentre E'' rappresenta l'energia dissipata.

Video

test caduta

Un test che misura la viscosità di una corda mostra numericamente la sua predisposizione a dissipare energia in modo irreversibile e quindi a perdere capacità di assorbire energia

Il primo choc di un test a caduta dà questa misura

Una successione di choc identici sullo stesso campione di corda dà una misura di quanto sia veloce la perdita di capacità di assorbire energia

Una successione di 10 choc in un test a caduta dà questa misura

Variando l'altezza di caduta del peso si effettuano test con velocità di deformazioni crescenti

In tal modo i dati così acquisiti possono essere incrociati con quelli ottenuti con i test a choc successivi

La misura della viscosità si ottiene con un test a caduta misurando i parametri ricavati con il primo ciclo di oscillazioni:

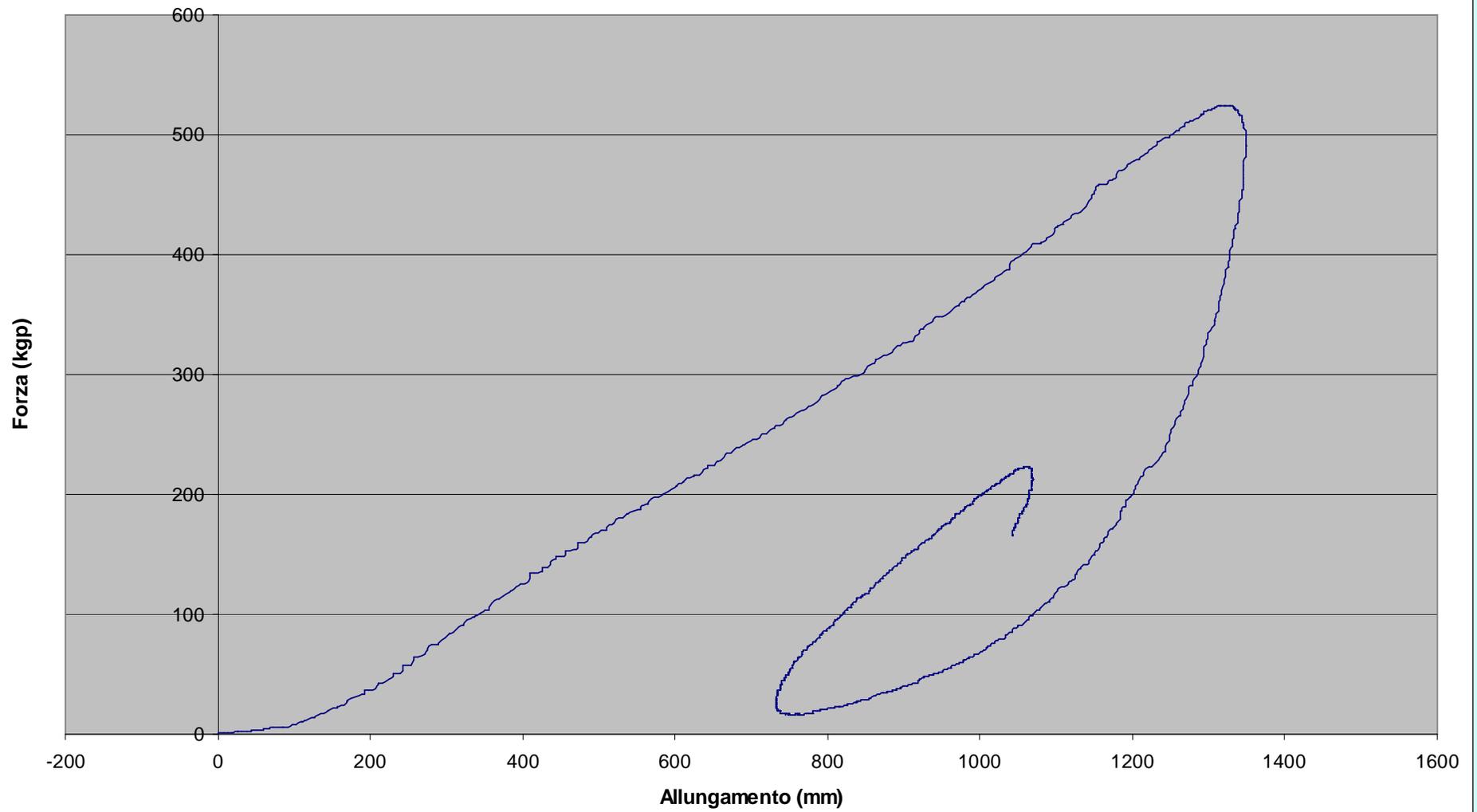
F_0 = Forza massima

A_0 = Allungamento massimo

δ = sfasamento fra F_0 e A_0

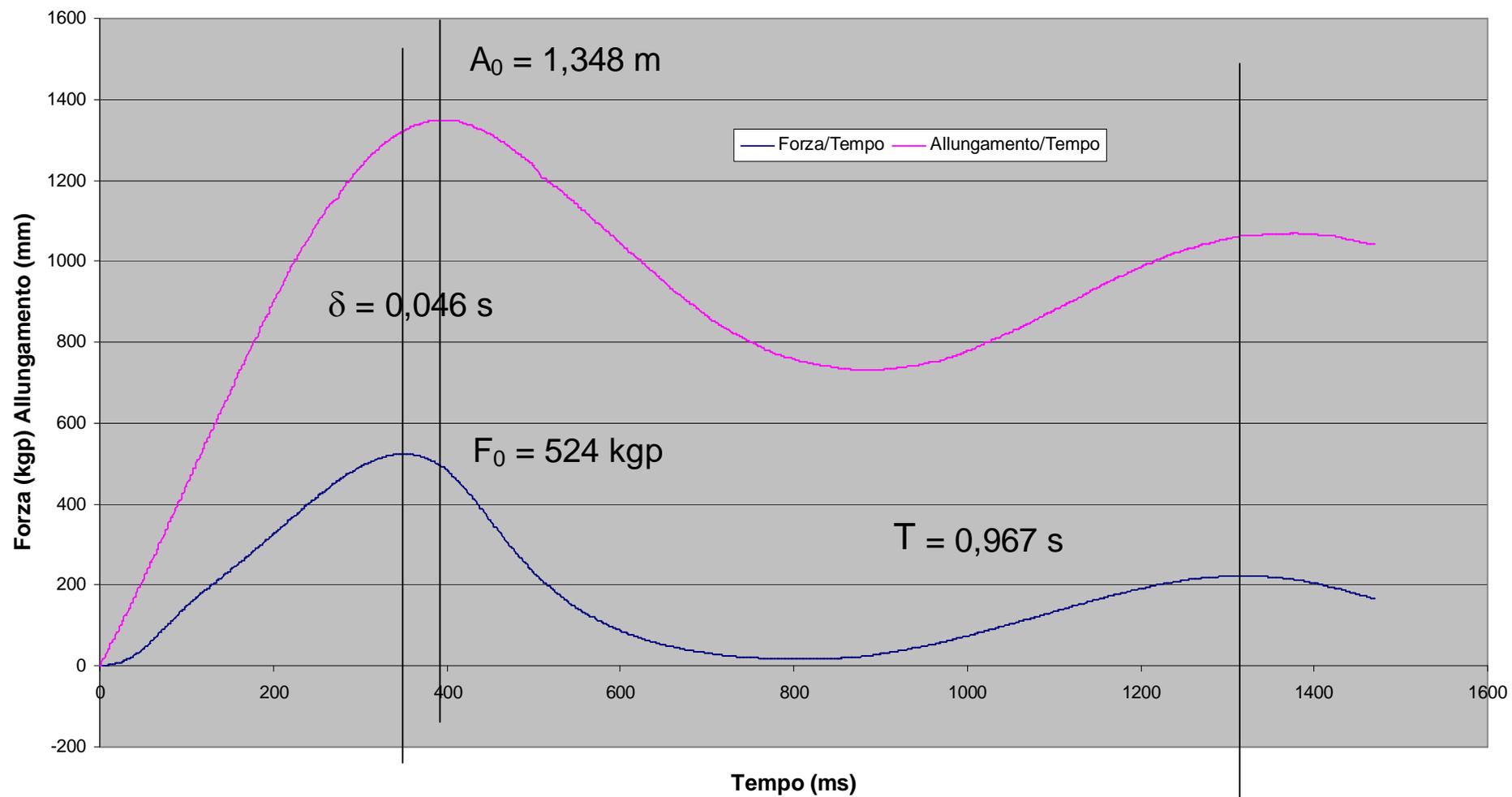
T = periodo dell'oscillazione

Beal Booster III 9,7 mm H100 cm L3370 mm Choc 01
Forza/Allungamento



Beal Booster III 9,7 mm H100 cm L3370 mm Choc 01

Forza-Allungamento/tempo

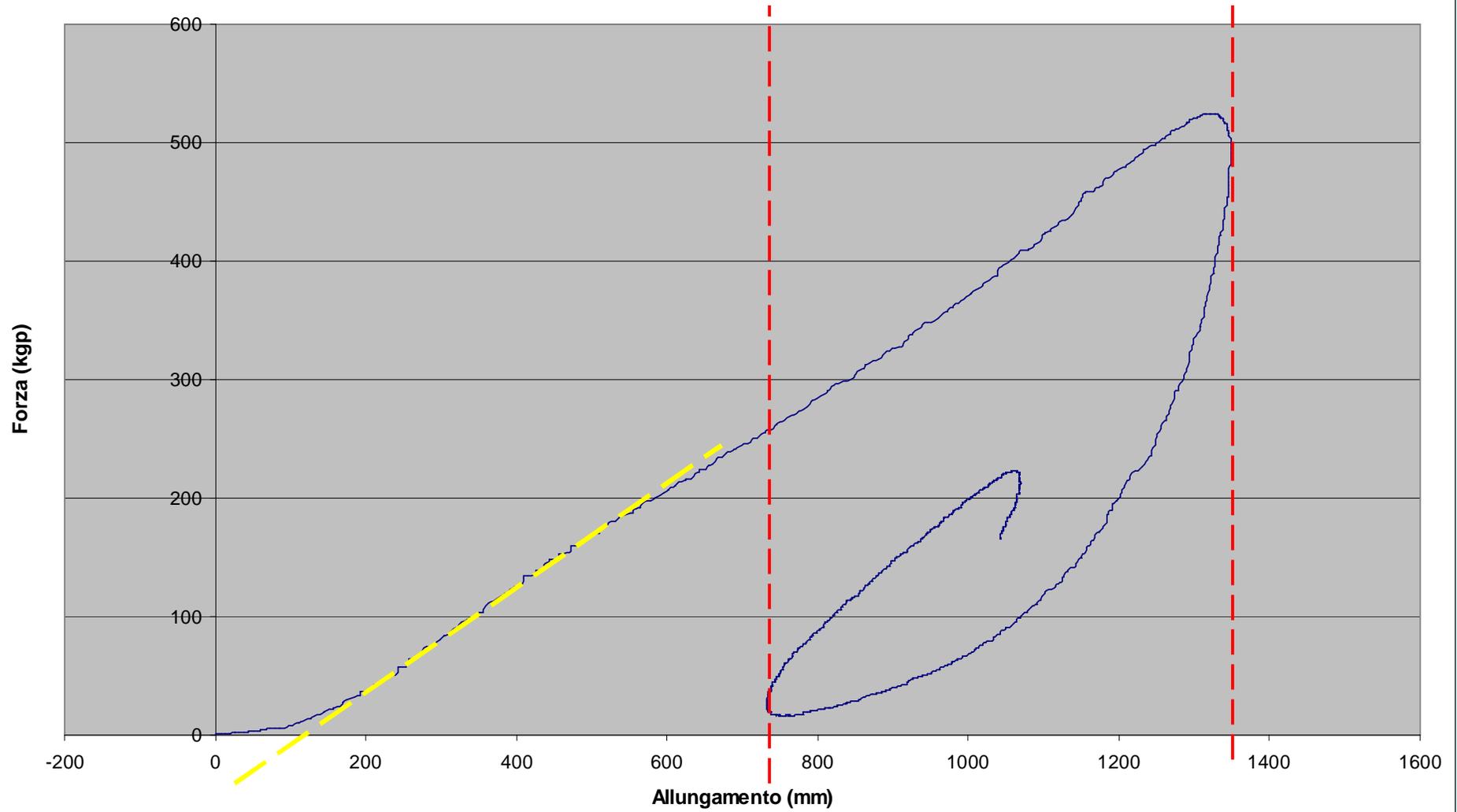


Dal grafico forza/allungamento vengono rilevati altri dati sulla:

1. percentuale di energia dissipata per viscosità rispetto a quella ricevuta dal peso che cade;
2. coefficiente di elasticità.

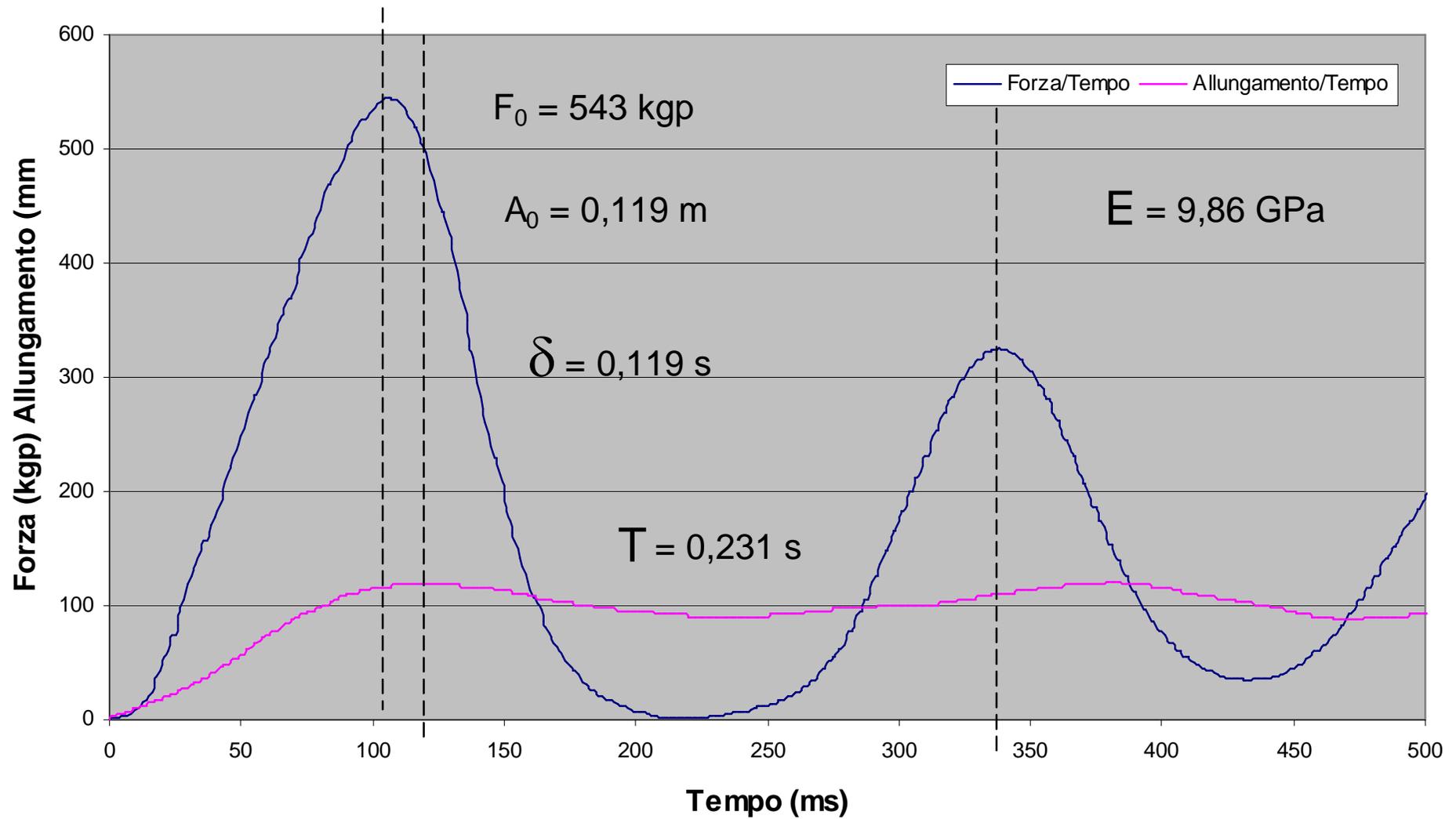
Beal Booster III 9,7 mm H100 cm L3370 mm Choc 01

Forza/Allungamento

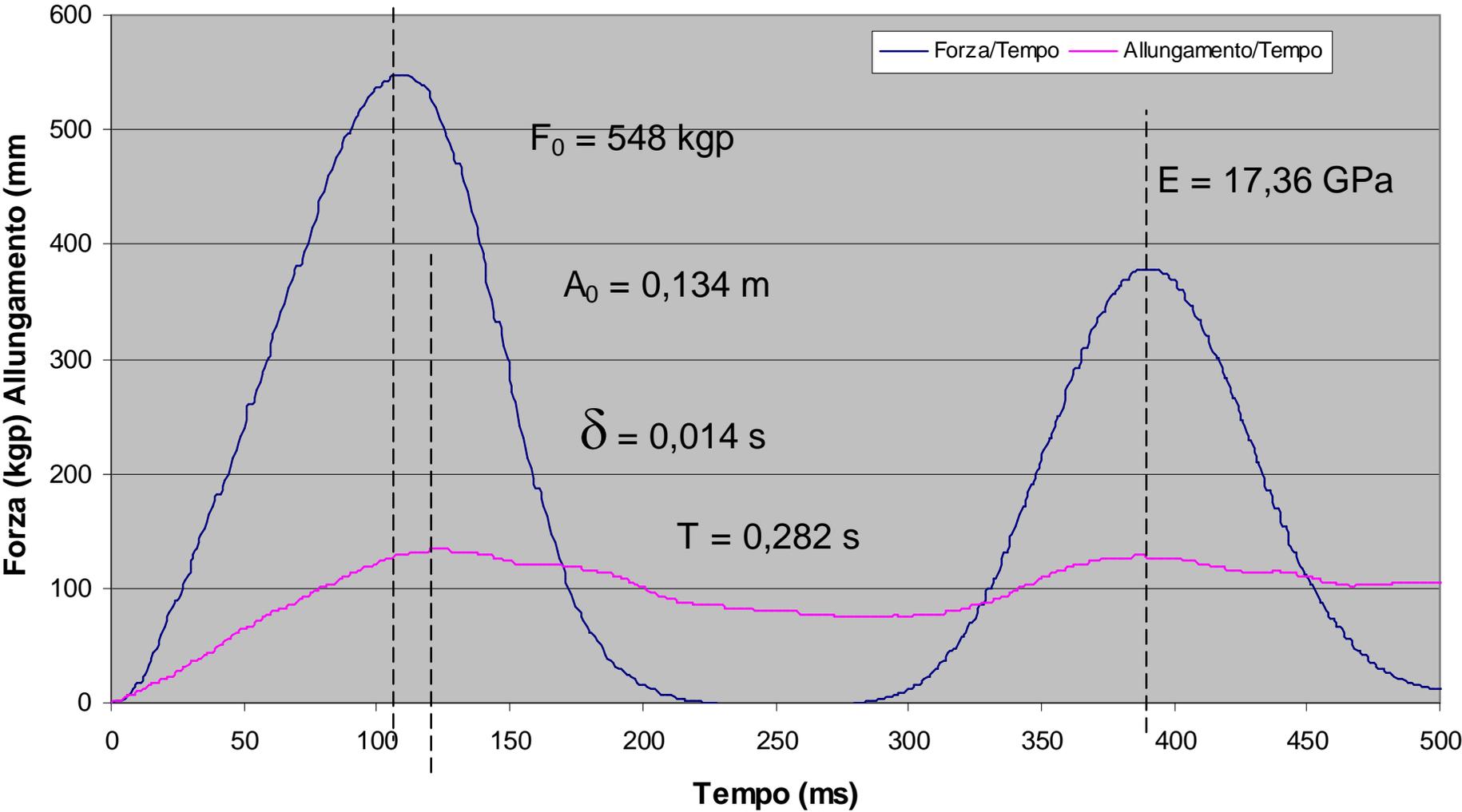


Esempio
elaborazione
dati test a
caduta

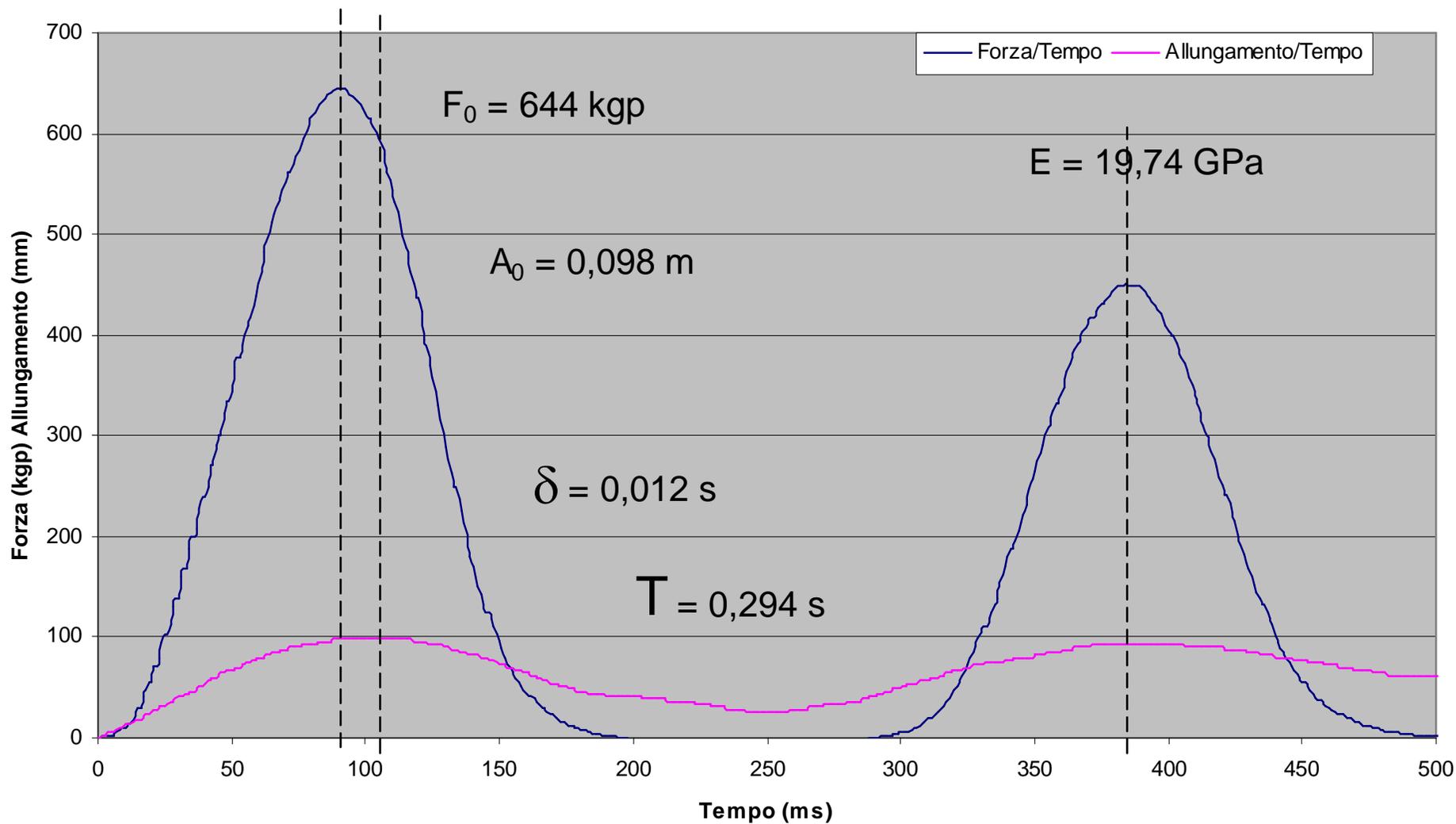
Dyneema 8 mm Forza-Allungamento/Tempo H100 cm Choc01



Dyneema 5,5 mm Forza-Allungamento/Tempo H10 cm Choc01



Kevlar 5,5 mm Forza-Allungamento/Tempo H1o cm Choc 01



Perché
campioni di
corda lunghi
3 m

Beal Antipodes 10 mm Nuova

Corda statica speleo

Corda: Beal Antipodes 10 mm Nuova

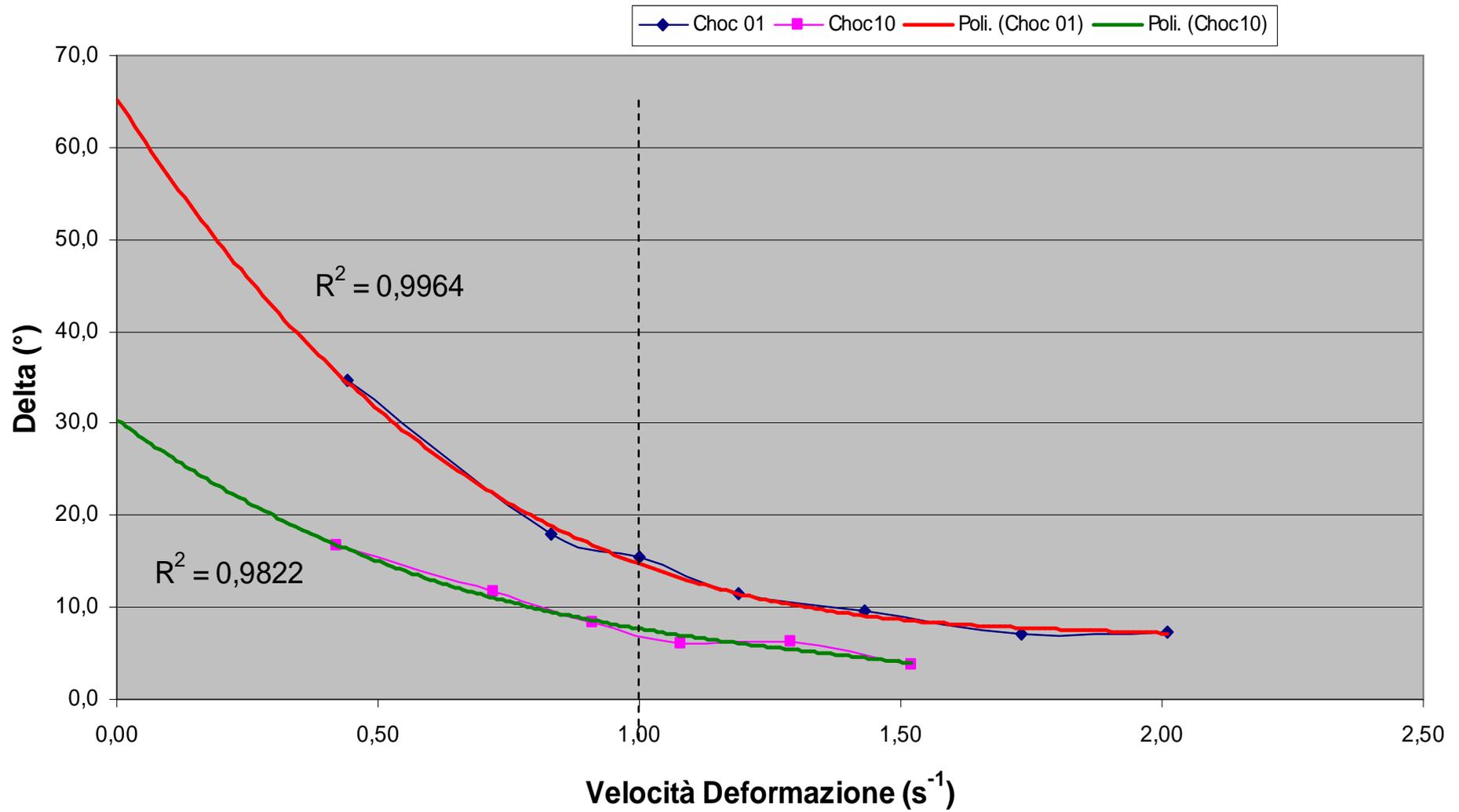
QS

Rottura

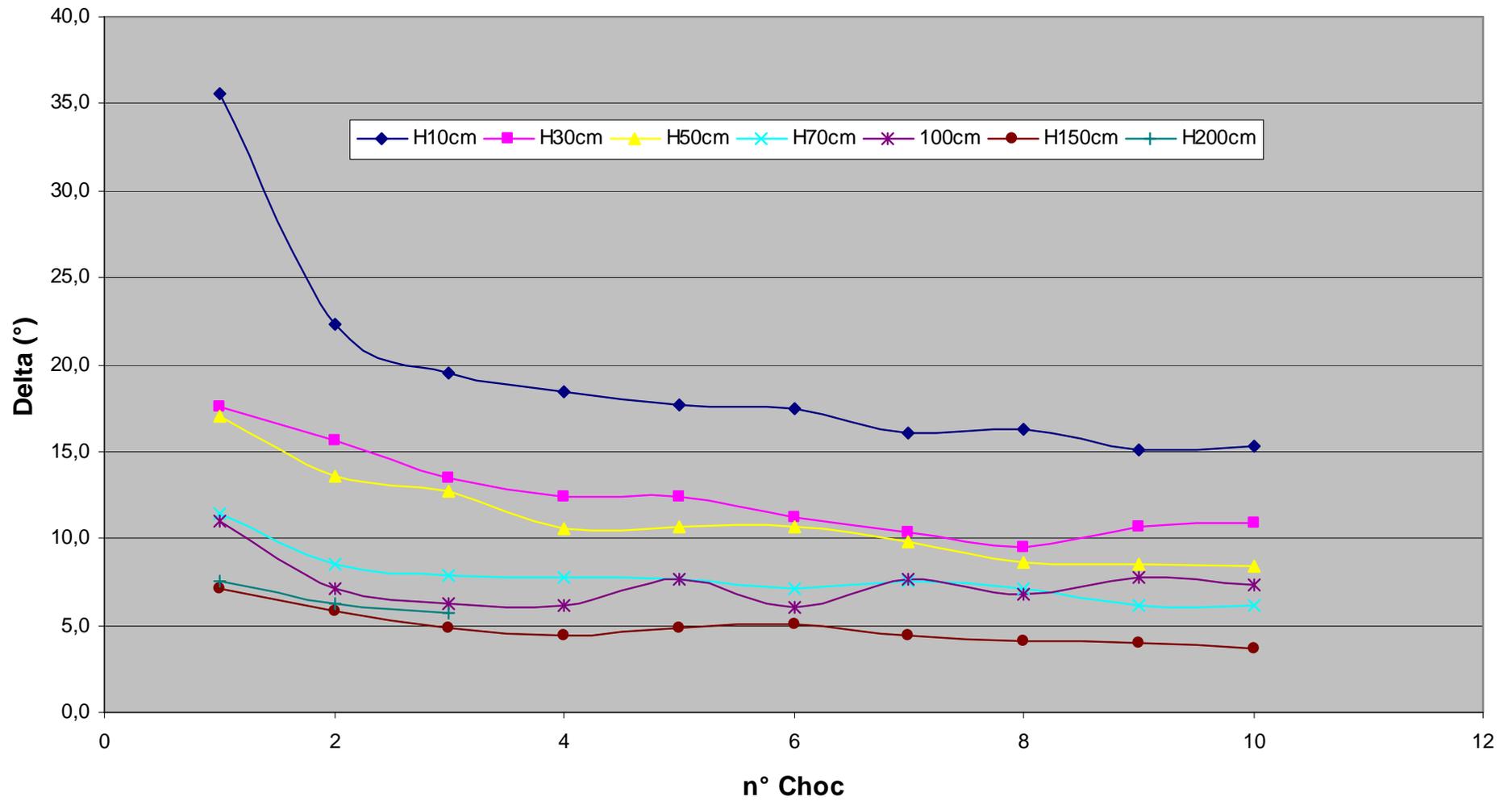
Acquisire

| H _(m) | n° Choc | δ_{gradi} | % _{diss} | E _{GPa} | V _d (s ⁻¹) |
|------------------|---------|-------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|
| 0,00 | 1 | | 62 | 0,45 | 0,00 |
| 0,00 | 2 | | 55 | 0,69 | 0,00 |
| 0,00 | 3 | | 51 | 0,83 | 0,00 |
| 0,00 | 4 | | 48 | 0,85 | 0,00 |
| 0,00 | 5 | | 47 | 0,82 | 0,00 |
| 0,00 | 6 | | 48 | 0,79 | 0,00 |
| 0,00 | 7 | | 47 | 0,77 | 0,00 |
| 0,00 | 8 | | 48 | 0,79 | 0,00 |
| 0,00 | 9 | | 48 | 0,80 | 0,00 |
| 0,00 | 10 | | 45 | 0,81 | 0,00 |
| | | | | | |
| 0,10 | 1 | 35,6 | 75 | 0,60 | 0,44 |
| 0,10 | 2 | 22,3 | 65 | 0,90 | 0,43 |
| 0,10 | 3 | 19,5 | 62 | 0,94 | 0,43 |
| 0,10 | 4 | 18,5 | 63 | 0,93 | 0,43 |
| 0,10 | 5 | 17,7 | 62 | 0,88 | 0,43 |
| 0,10 | 6 | 17,5 | 66 | 0,93 | 0,42 |
| 0,10 | 7 | 16,1 | 61 | 0,85 | 0,42 |
| 0,10 | 8 | 16,3 | 61 | 0,89 | 0,42 |
| 0,10 | 9 | 15,1 | 59 | 0,96 | 0,42 |
| 0,10 | 10 | 15,4 | 60 | 0,95 | 0,42 |

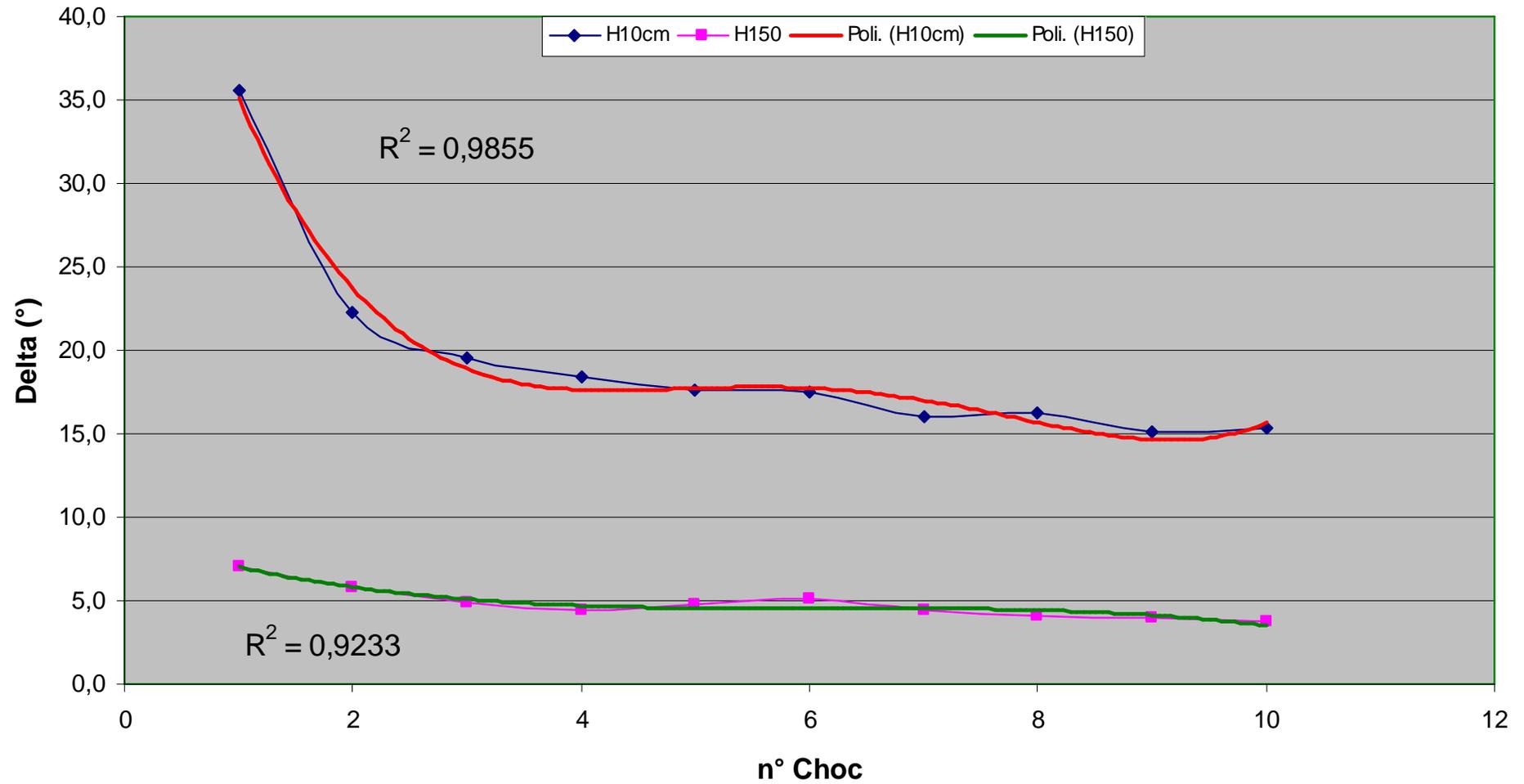
Beal Antipodes 10 mm Nuova δ/V_d



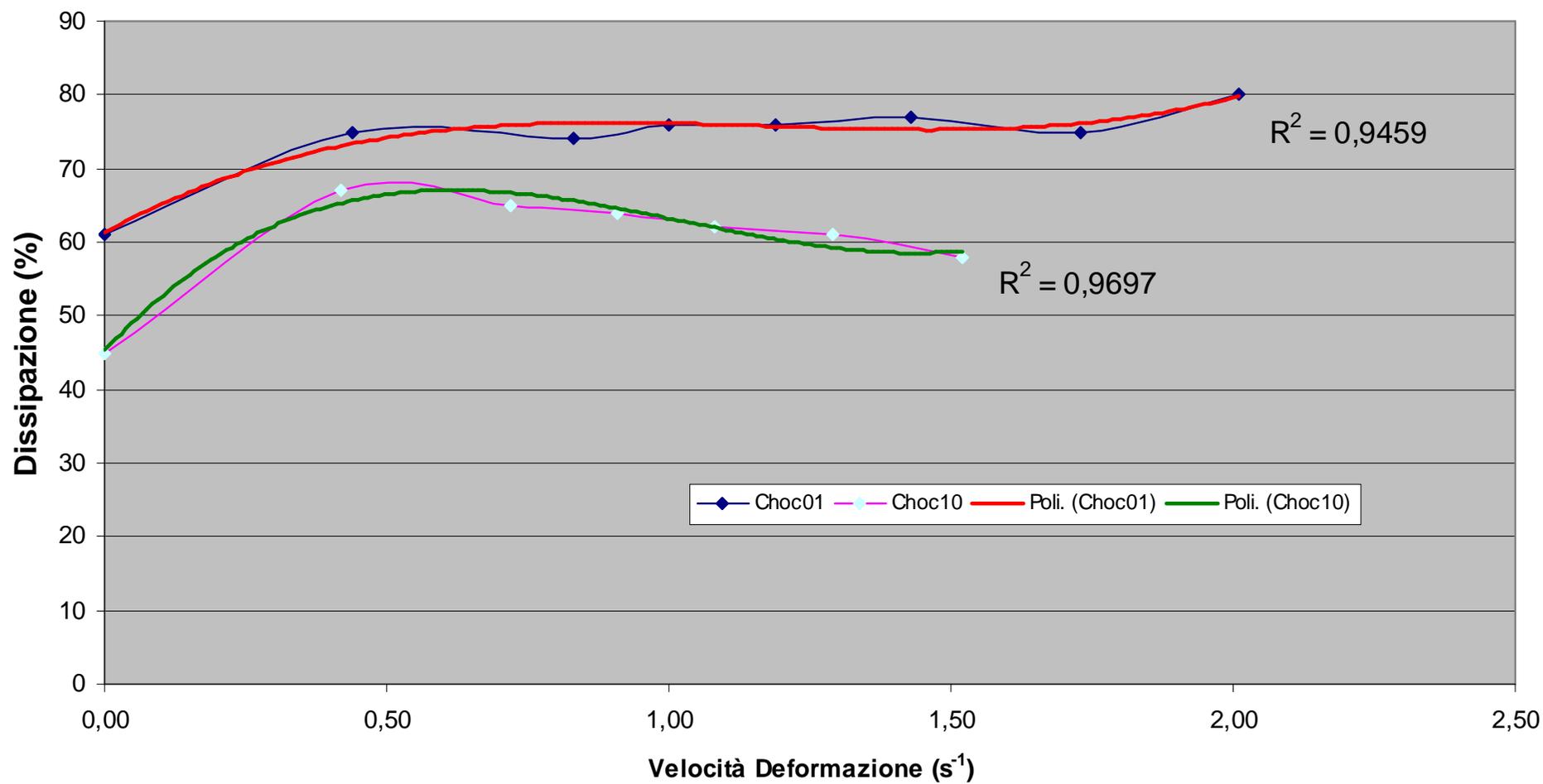
Beal Antipodes 10 mm Nuova δ/n° choc



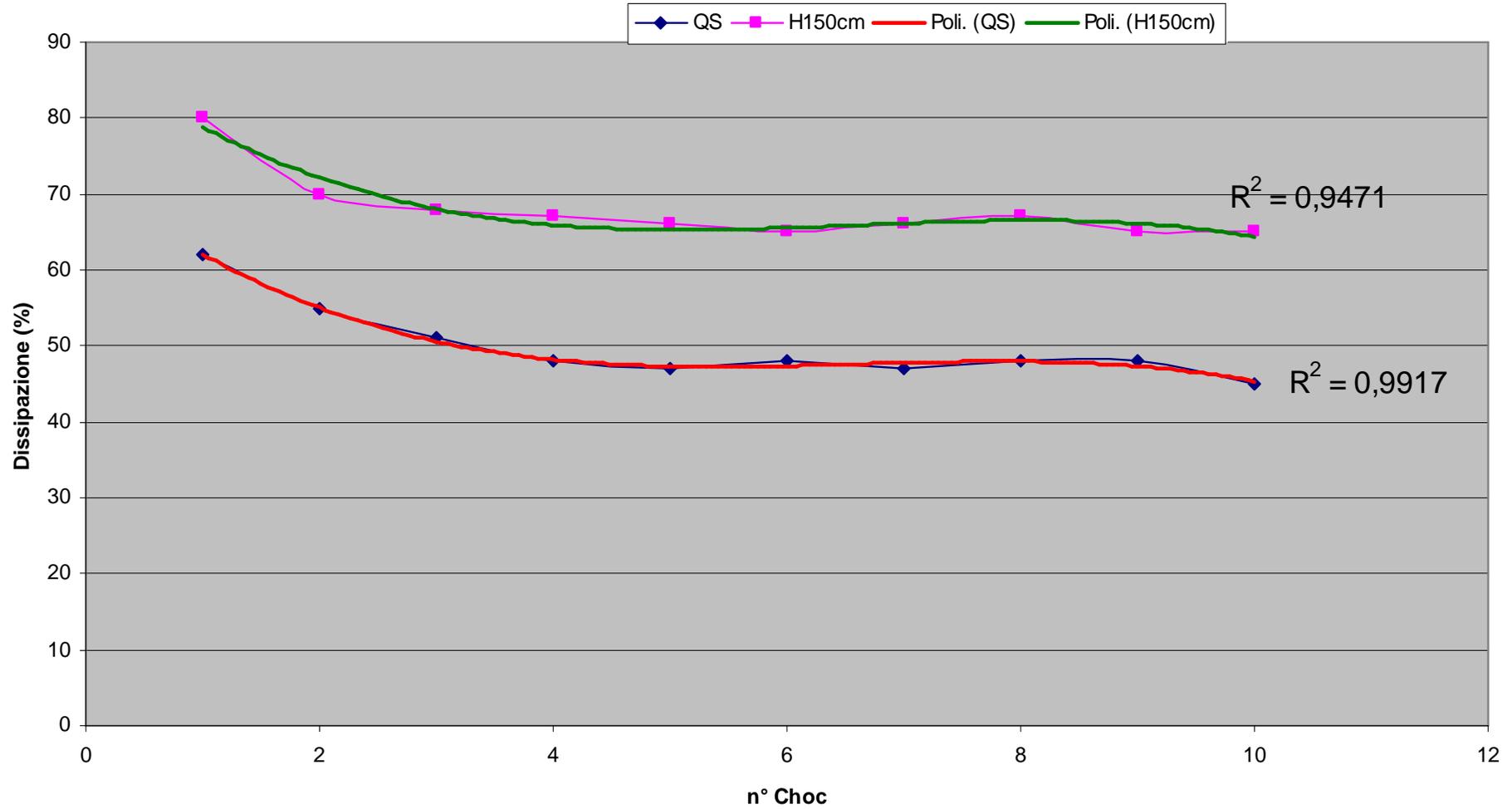
Beal Antipodes 10 mm Nuova δ/n° choc



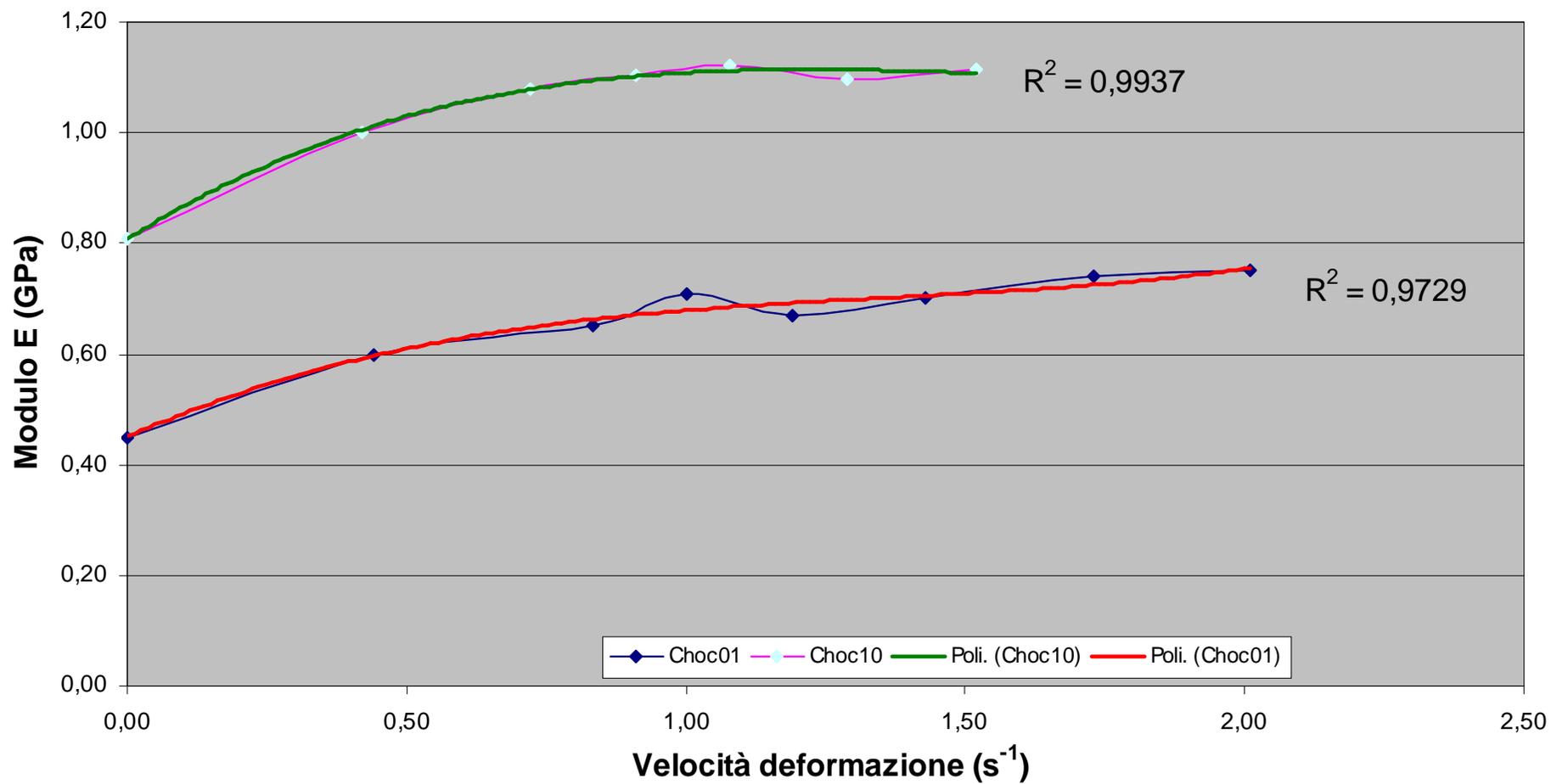
Beal Antipodes 10 mm Nuova Dissipazione/Vd/



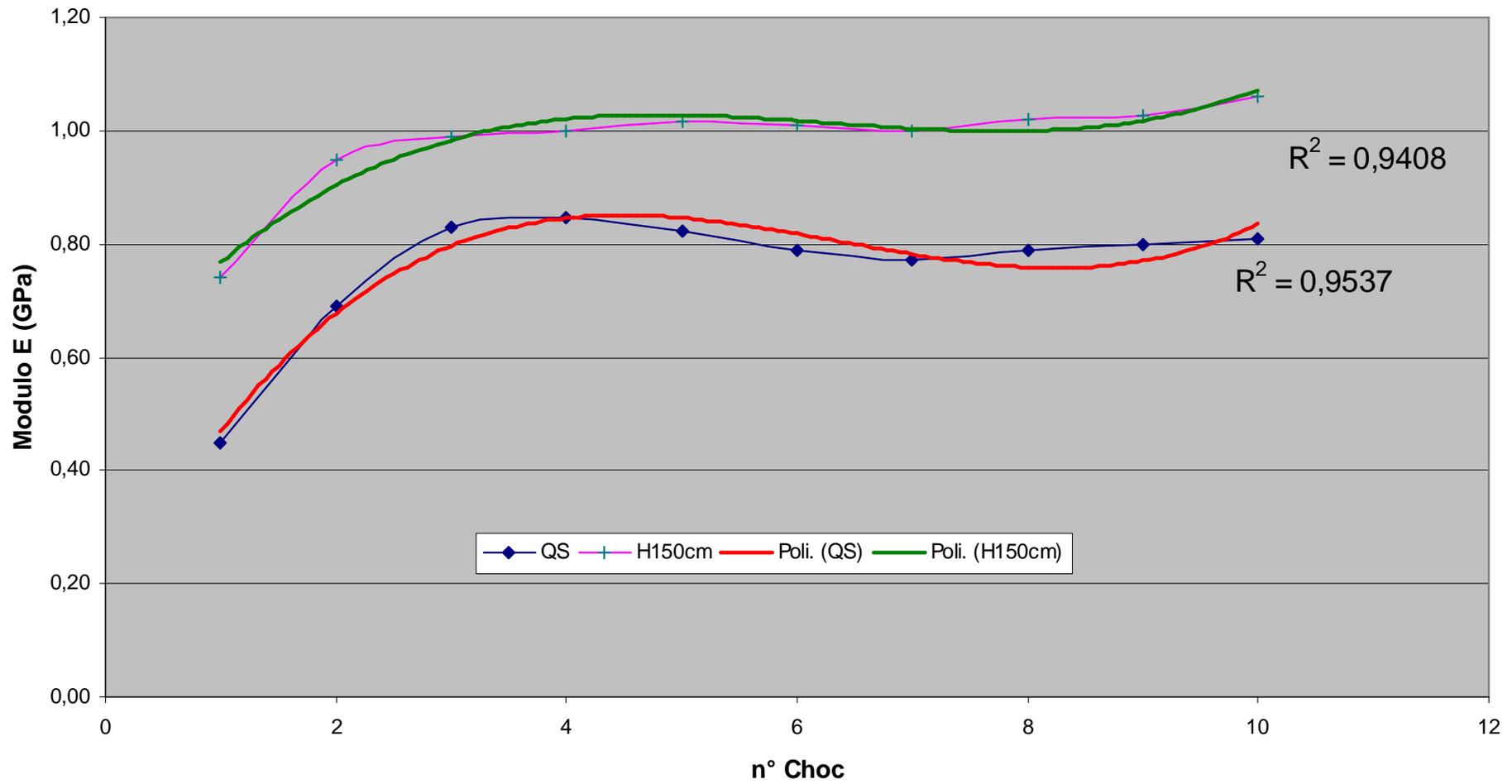
Beal Antipodes 10 mm Nuova Dissipazione/n° Choc



Beal Antipodes 10 mm Nuova E/V_d



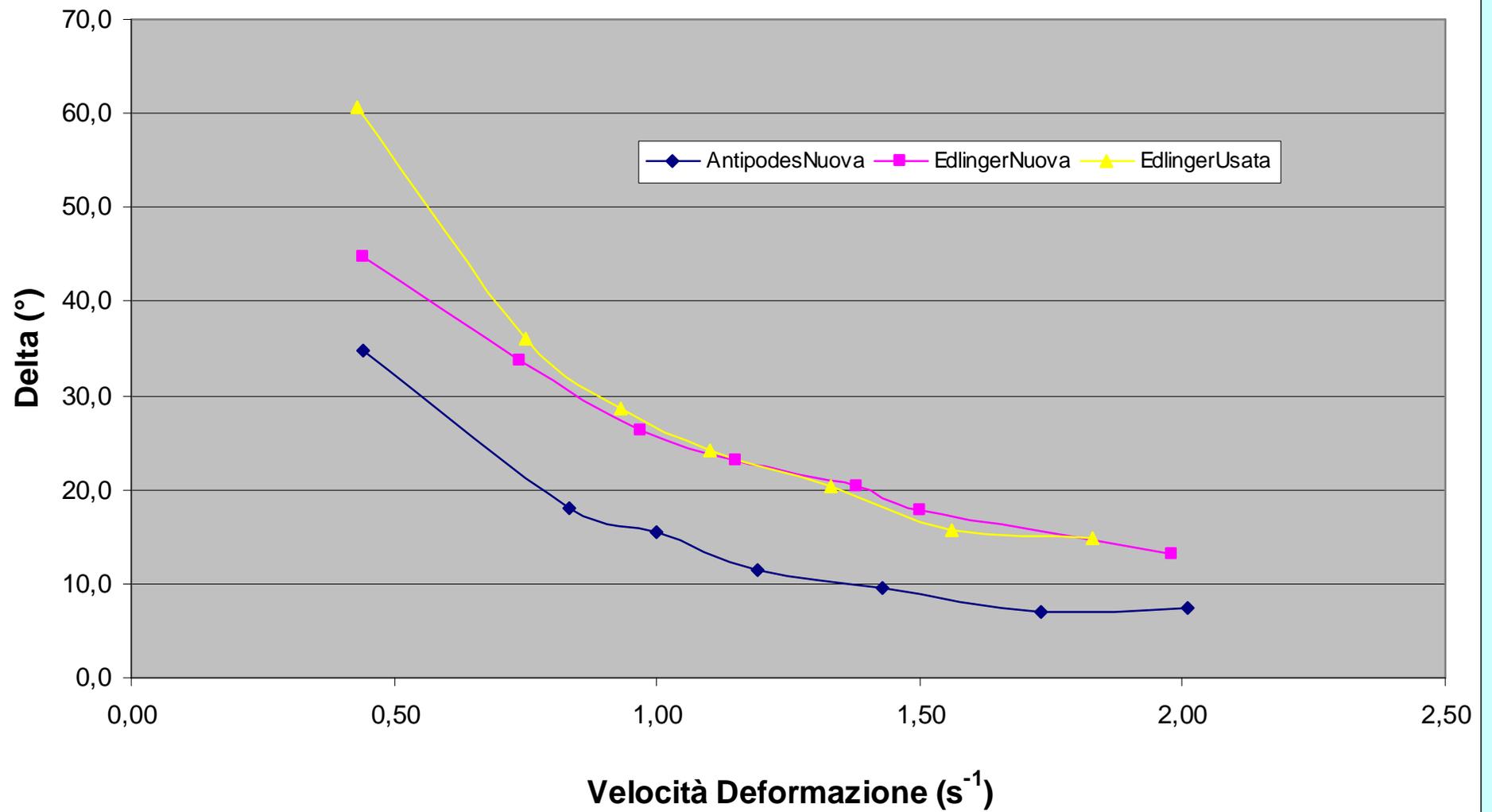
Beal Antipodes 10 mm Nuova E/n° Choc



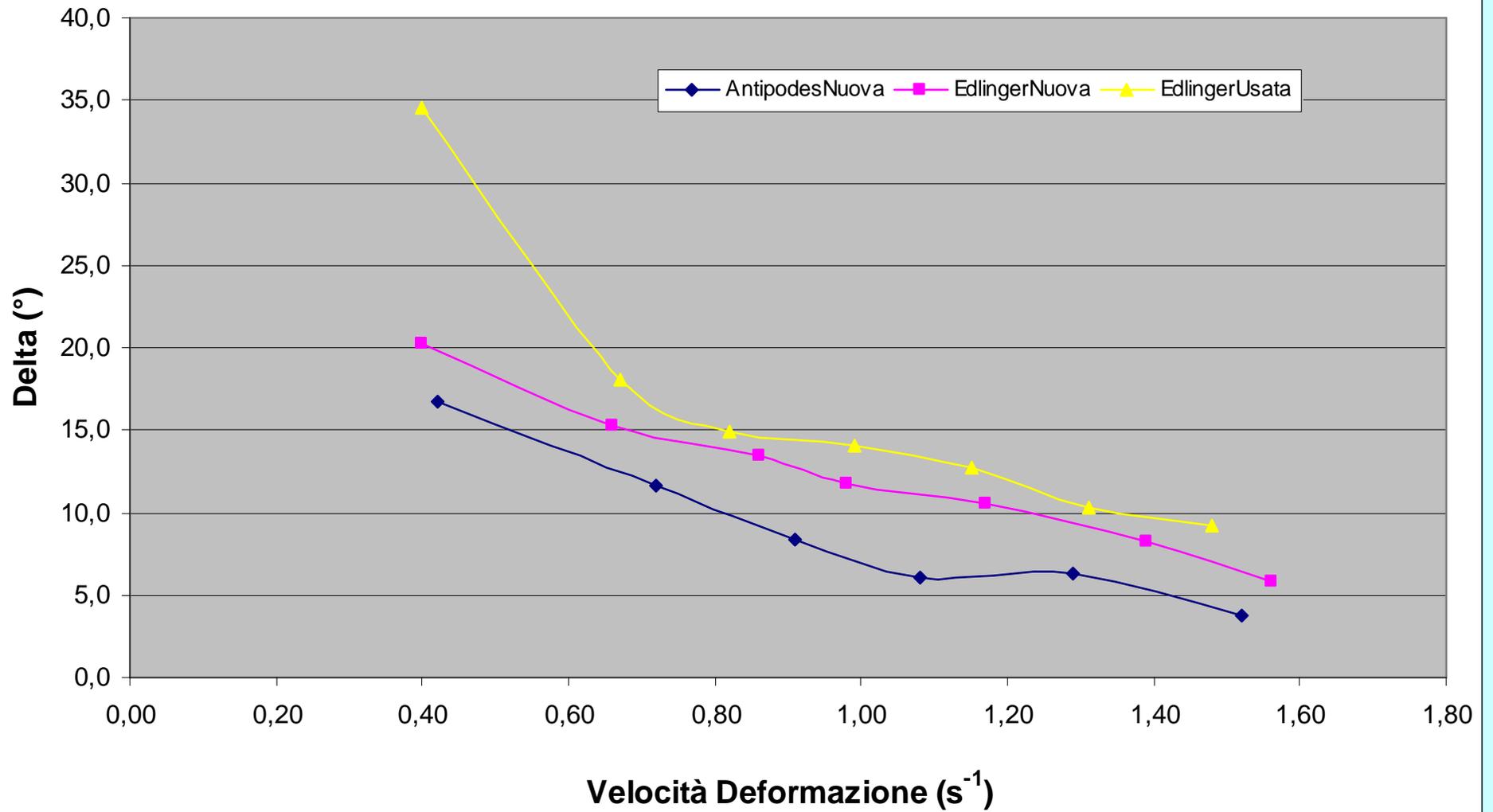
Confronto fra corde:

1. Beal Antipodes 10 mm
2. Beal Edlinger Nuova (dinamica)
3. Beal Edlinger Usata (dinamica)

Choc 01 Confronto Delta°/Vd

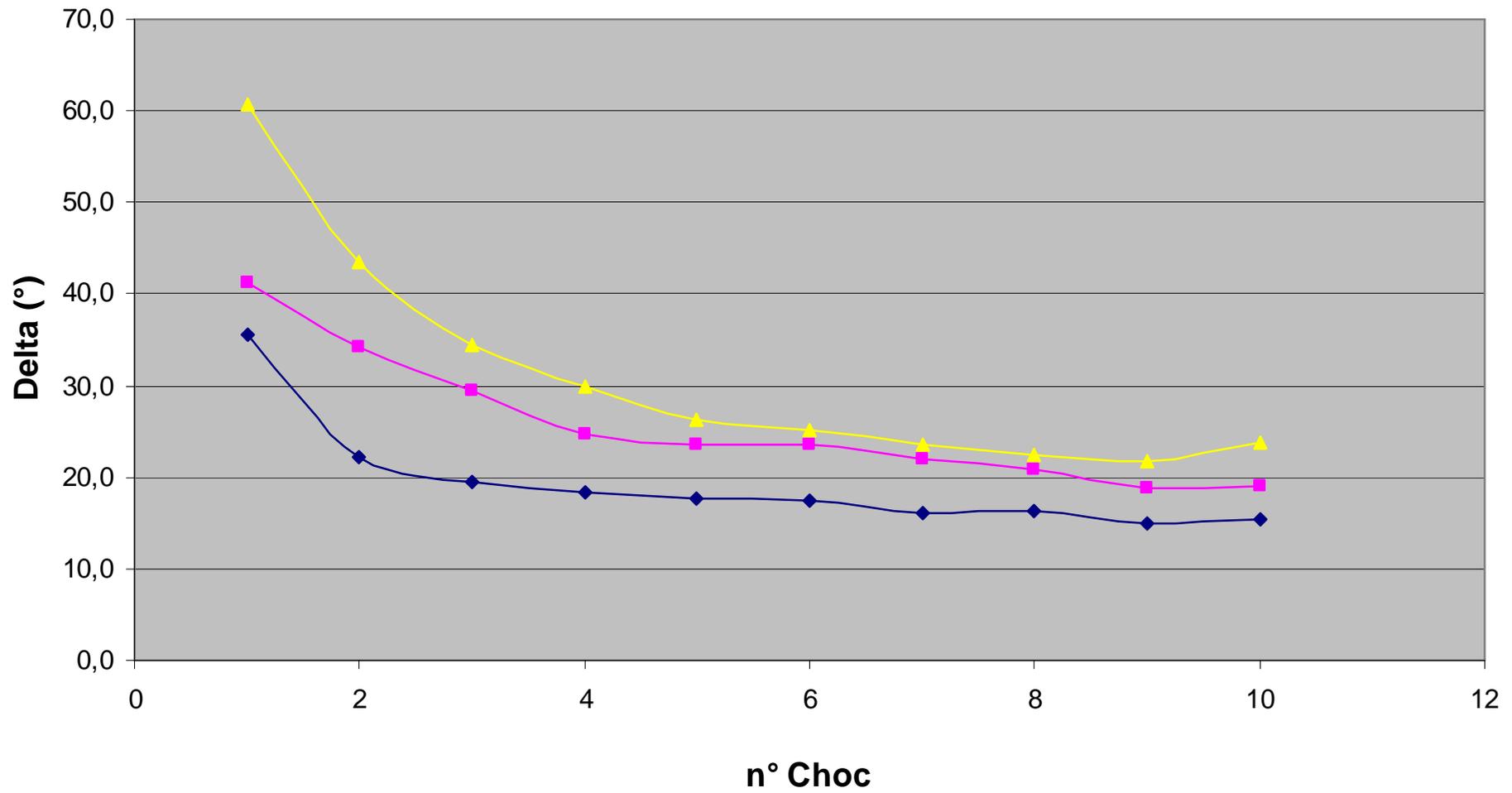


Choa 10 Confronto Delta°/Vd

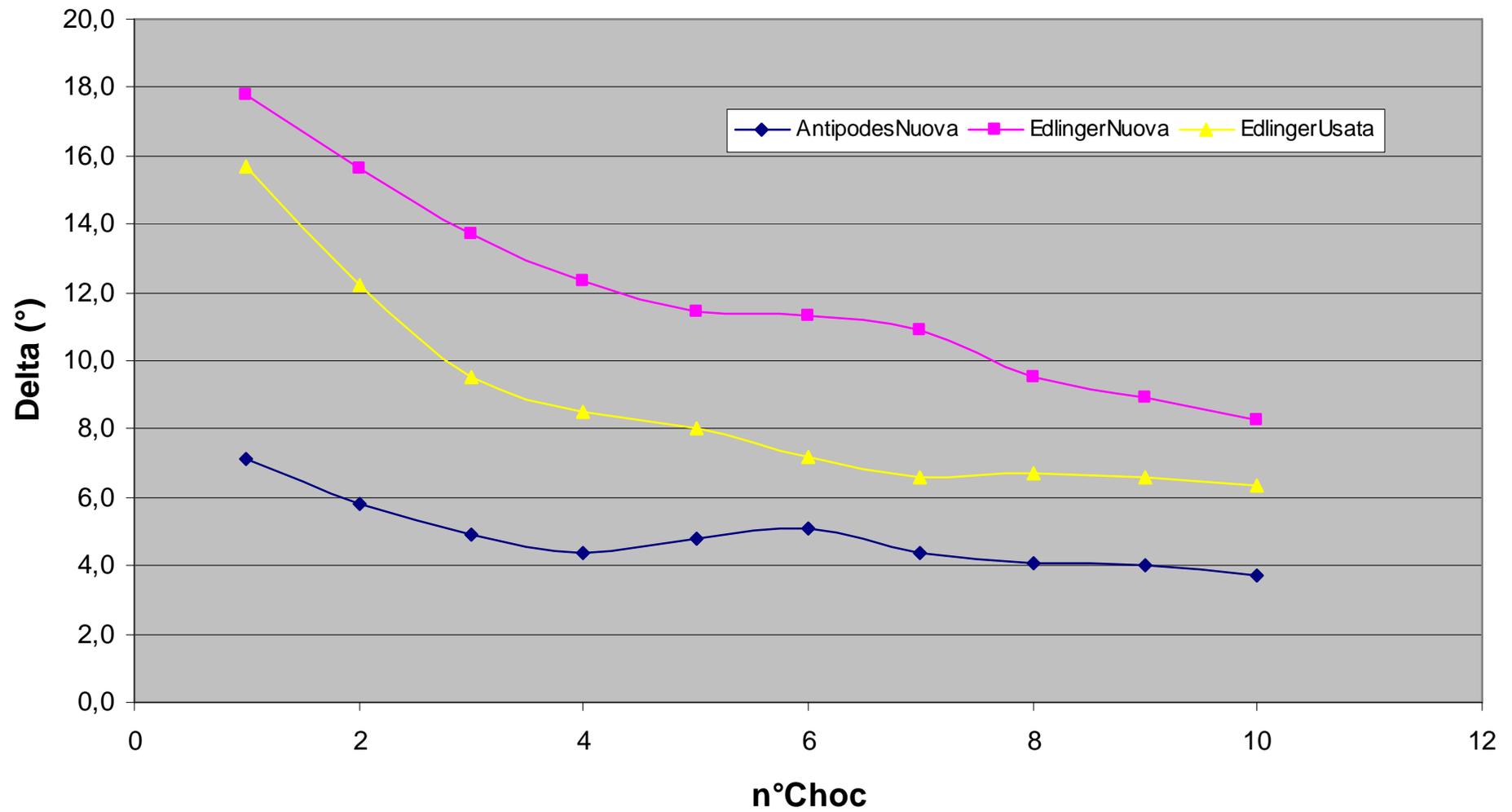


H10cm Confronto Delta/n°Choc

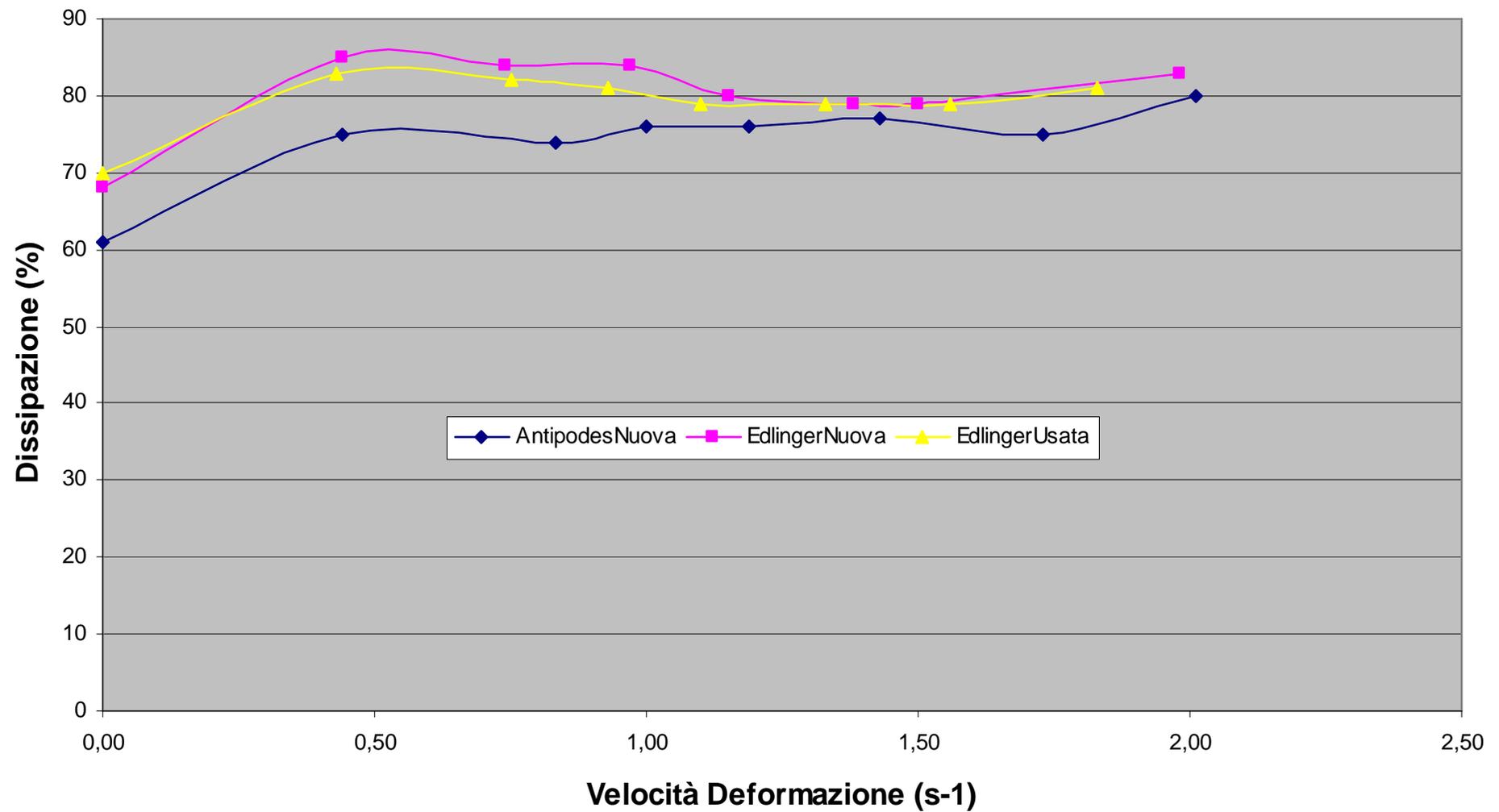
AntipodesNuova EdlingerNuova EdlingerUsata



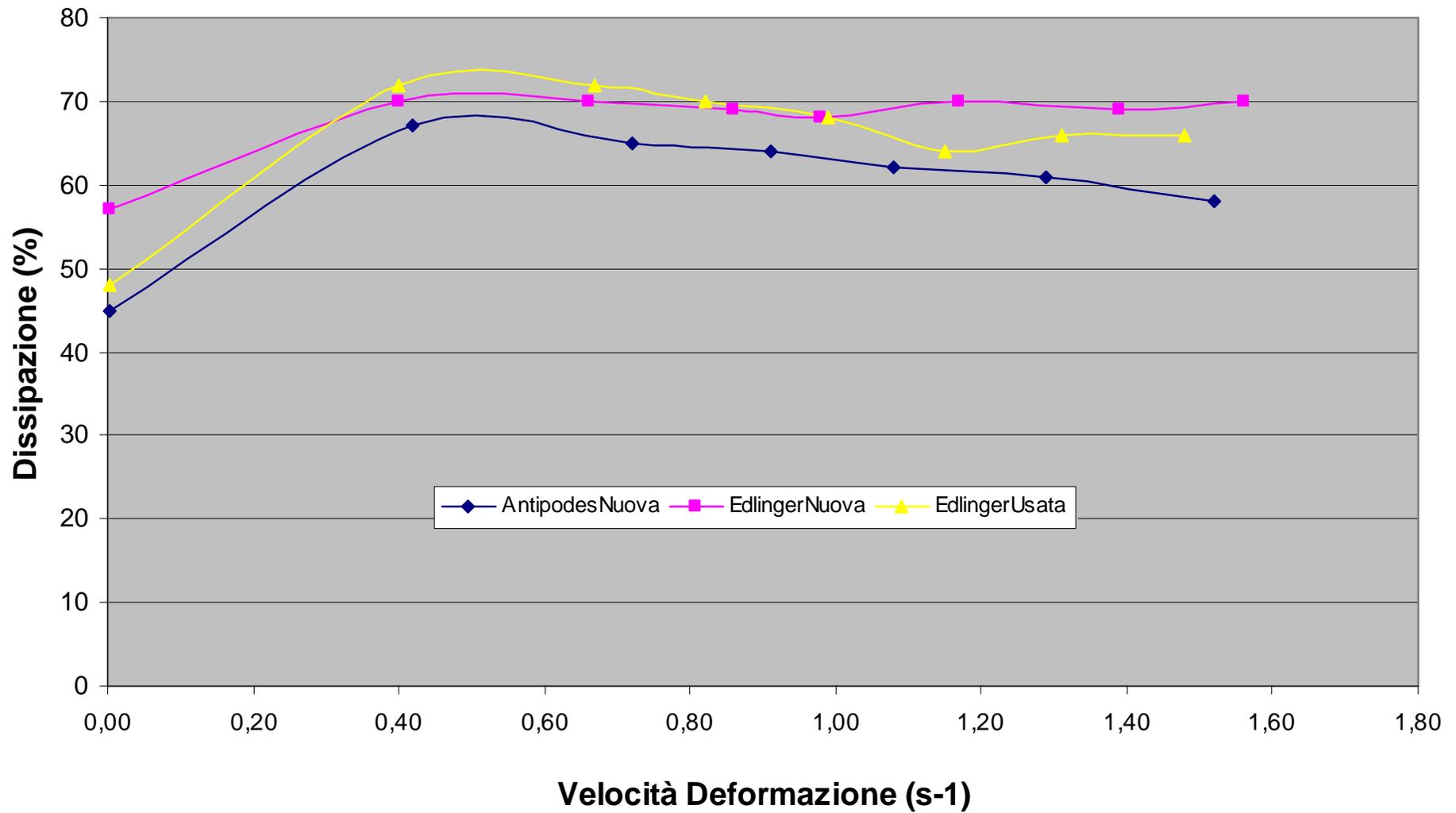
H150cm Confronto Delta(°)/n°Choc



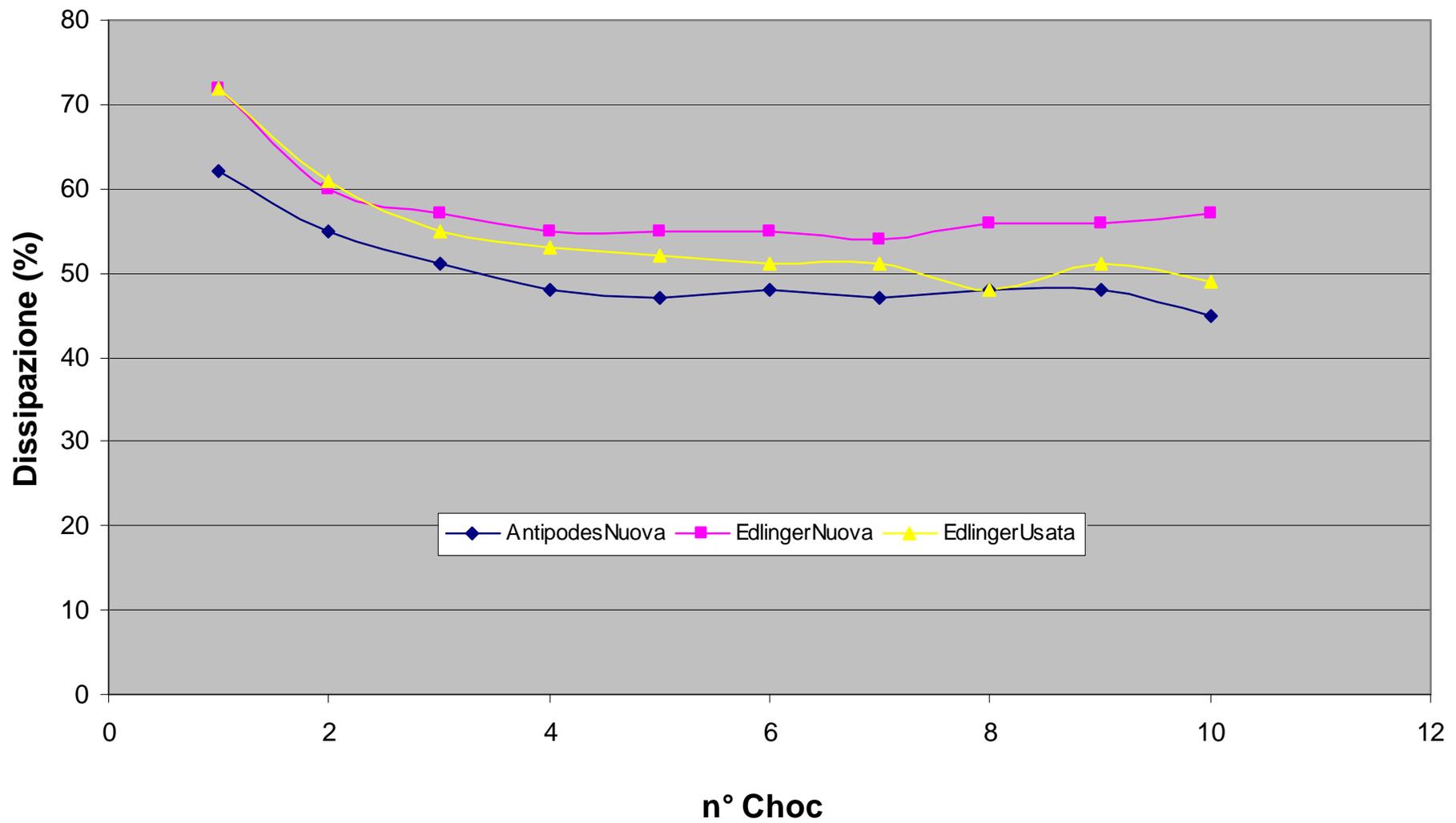
Choc01 Confronto Dissipazione/Vd



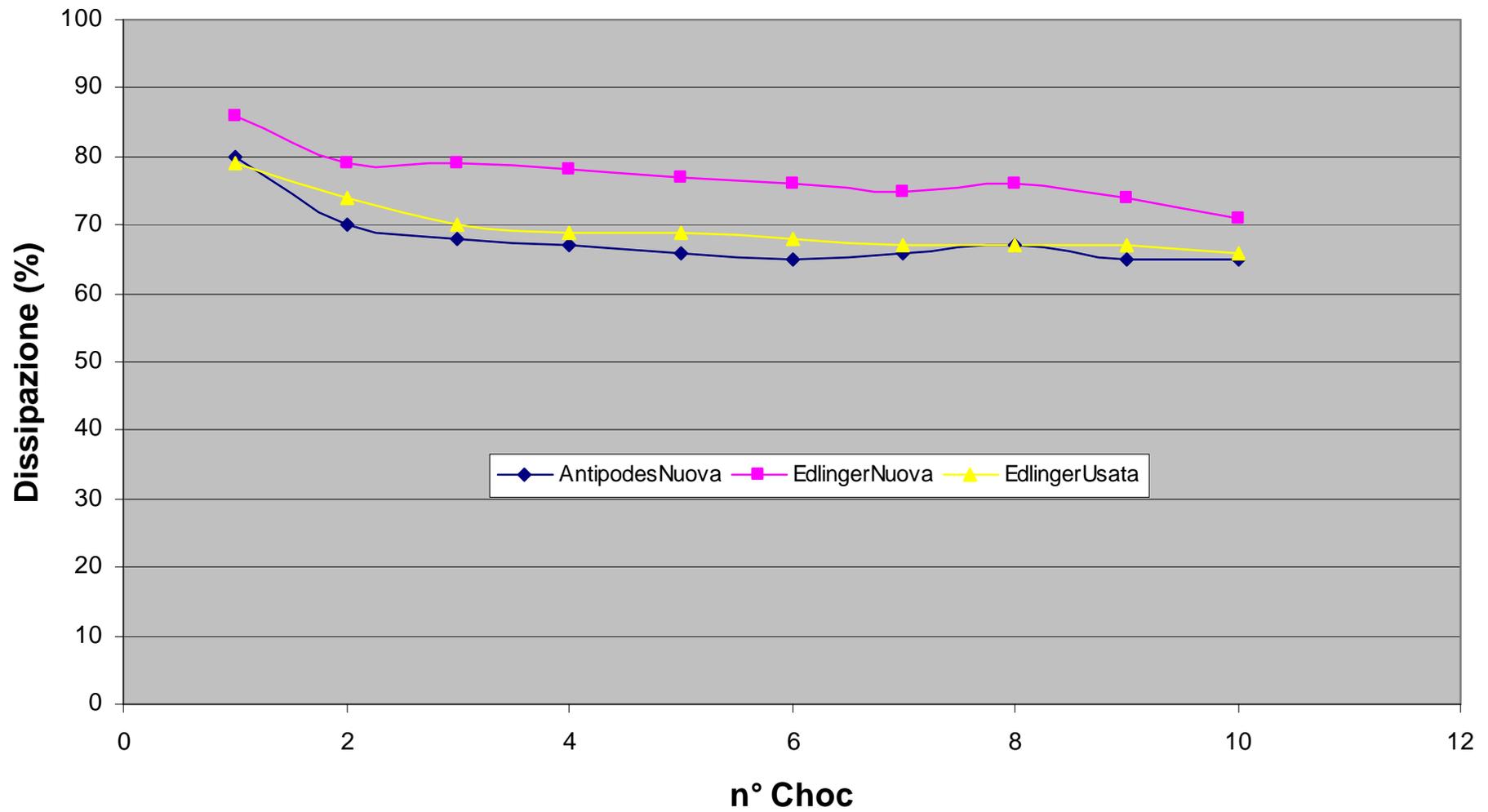
Choc10 Confronto Dissipazione/Vd



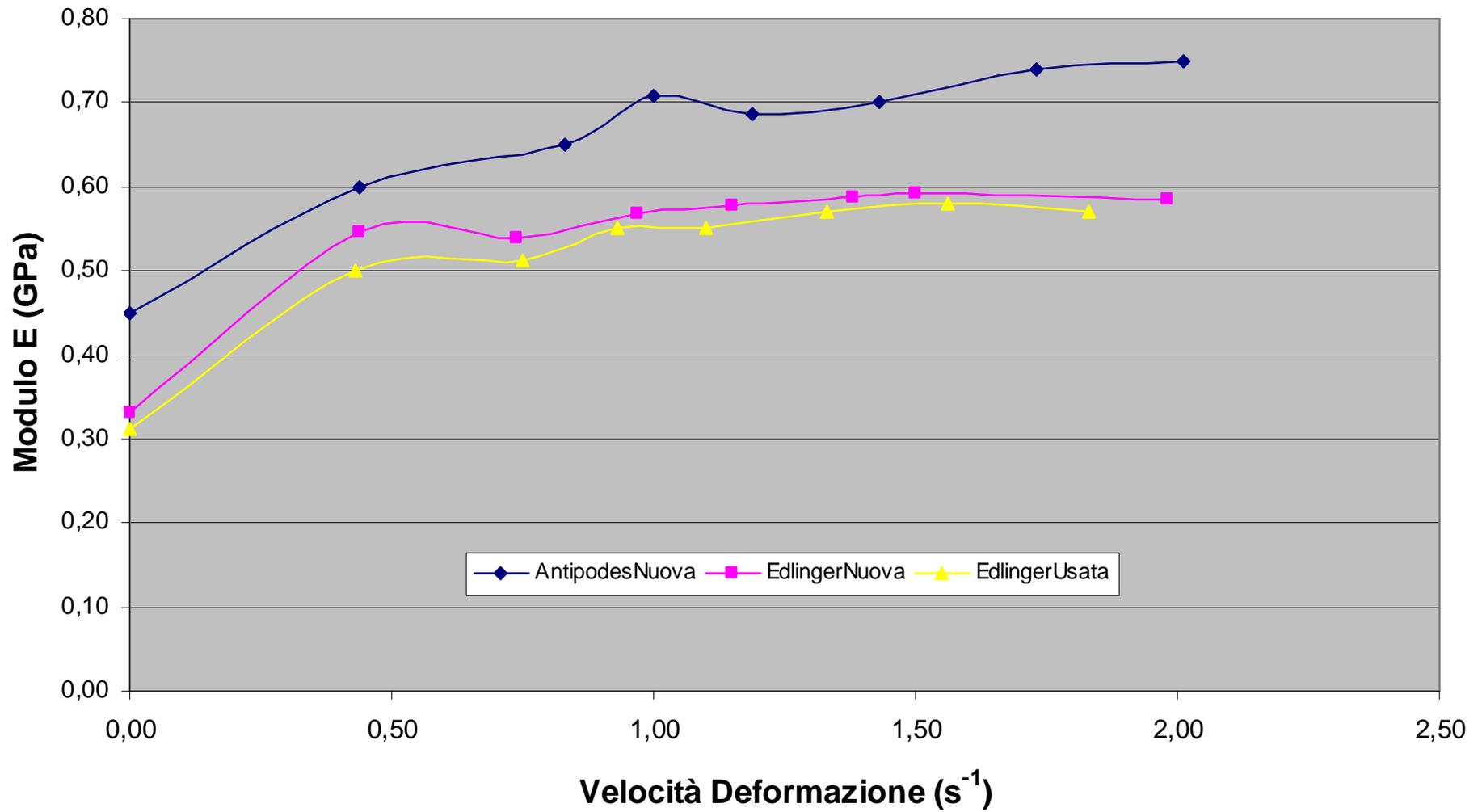
Quasi statico Confronto Dissipazione/n°Choc



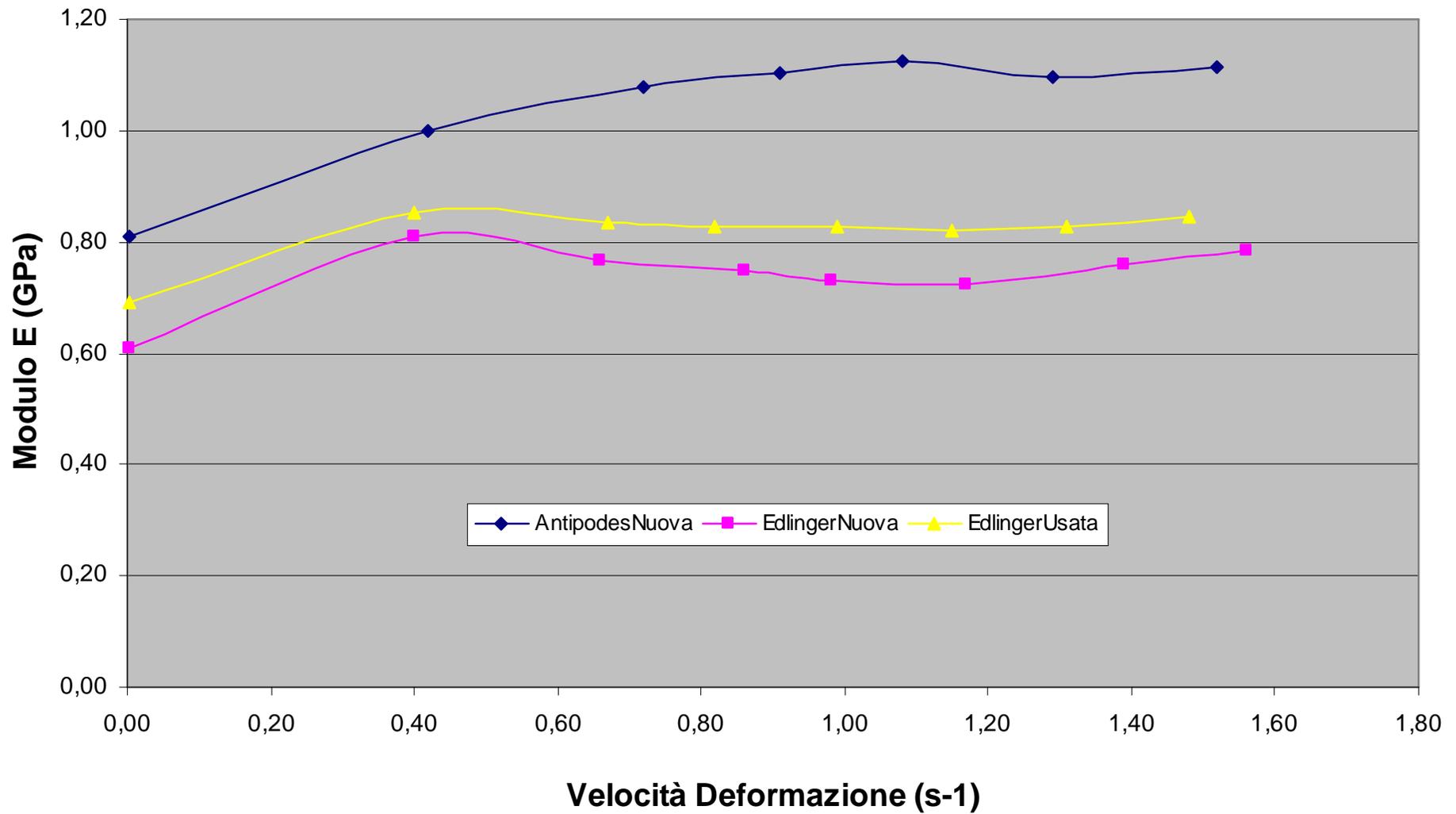
H150 cm Confronto Dissipazione/n°Choc



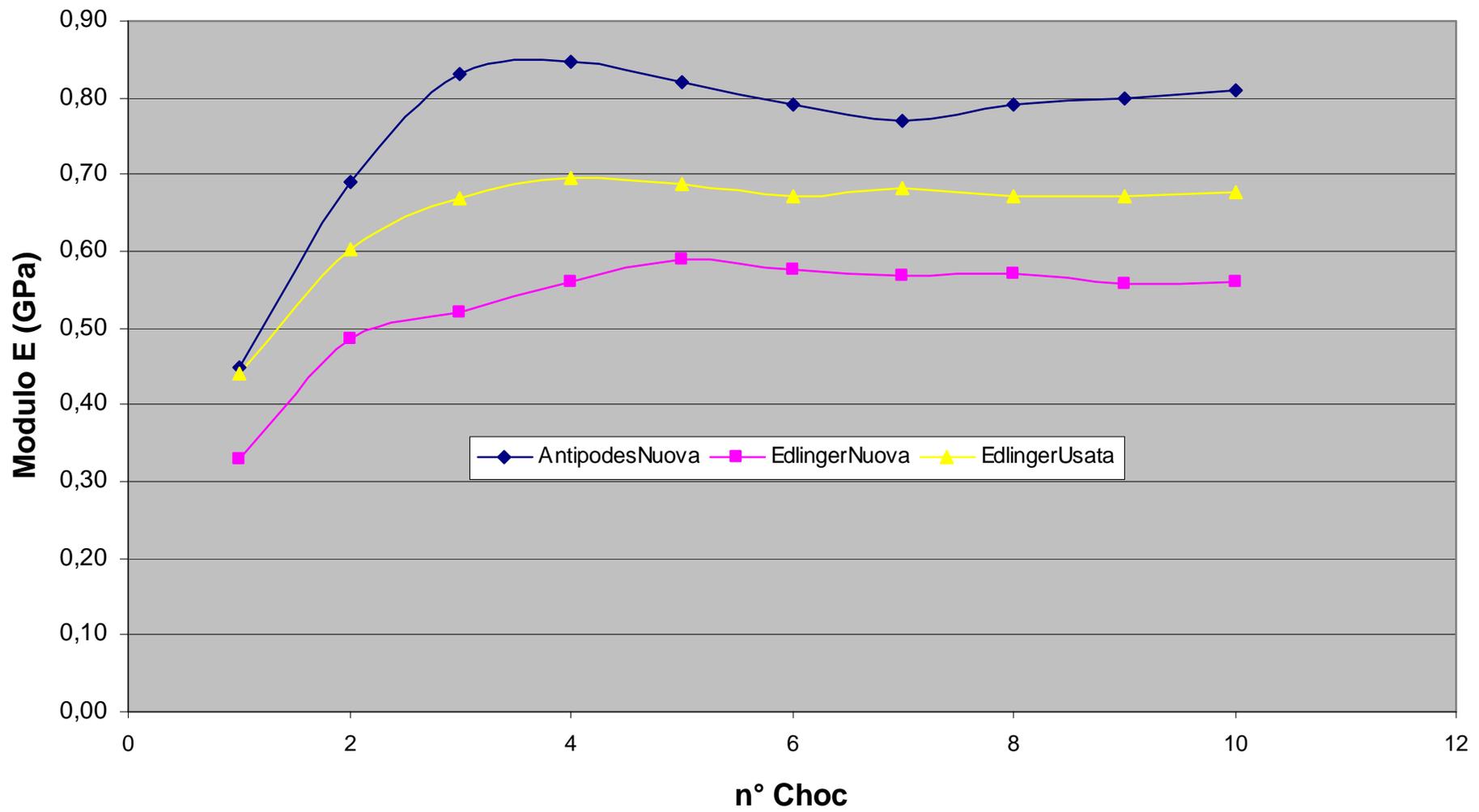
Choc 01 Confronto Modulo E/Vd



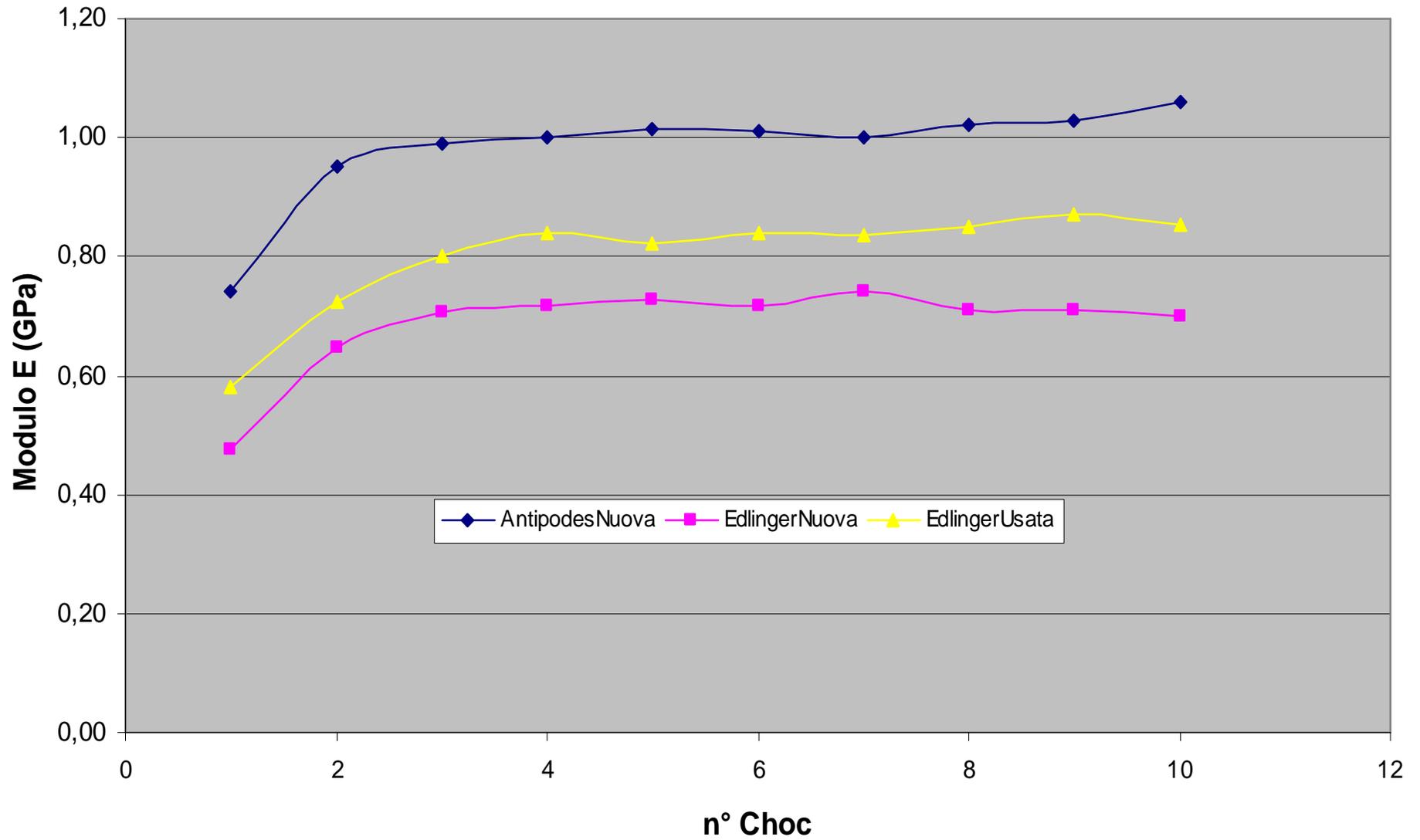
Choc 10 Confronto Modulo E/Vd



Quasi static Confronto Modulo E/n°Choc



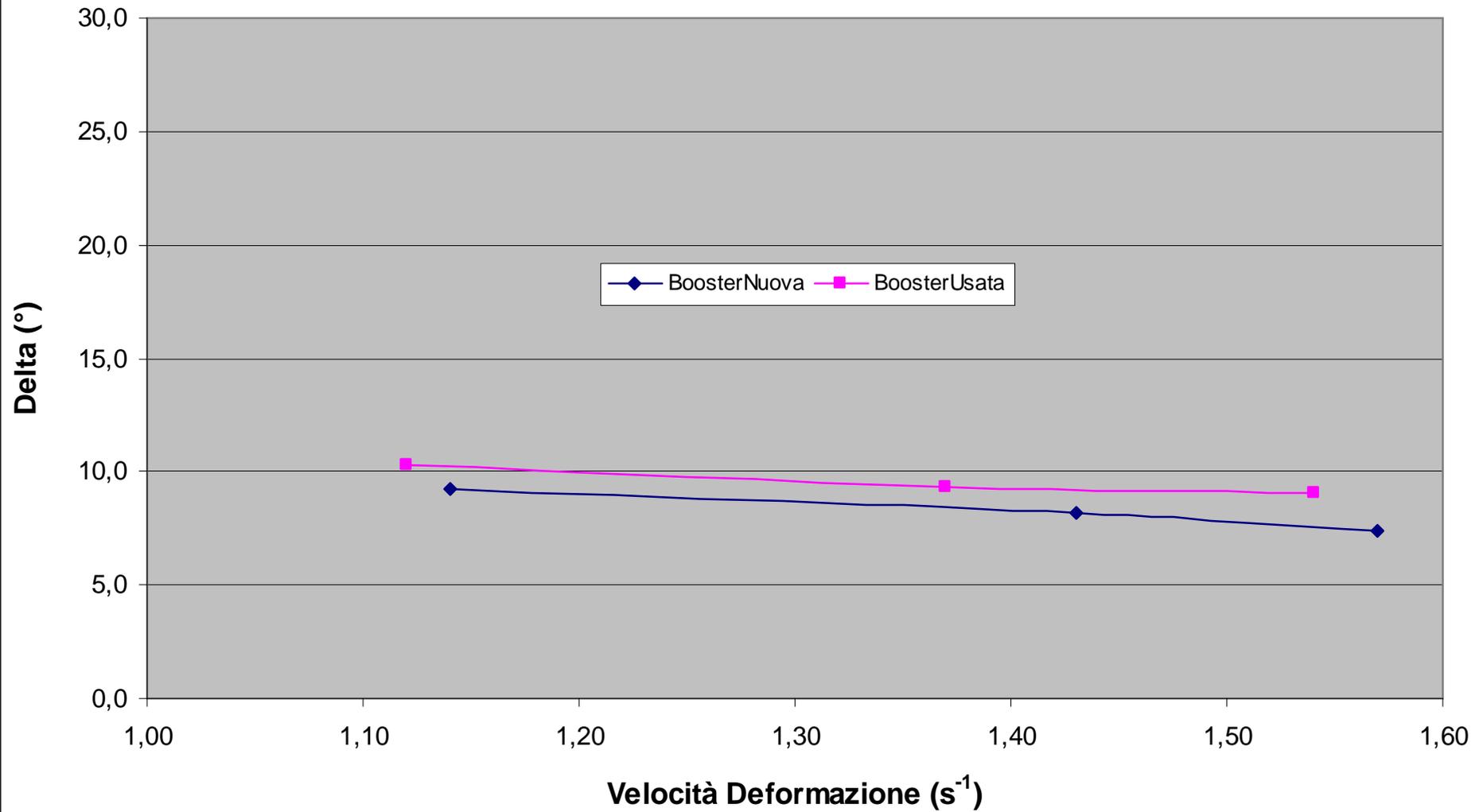
H150 cm Confronto Modulo E/n° Choc



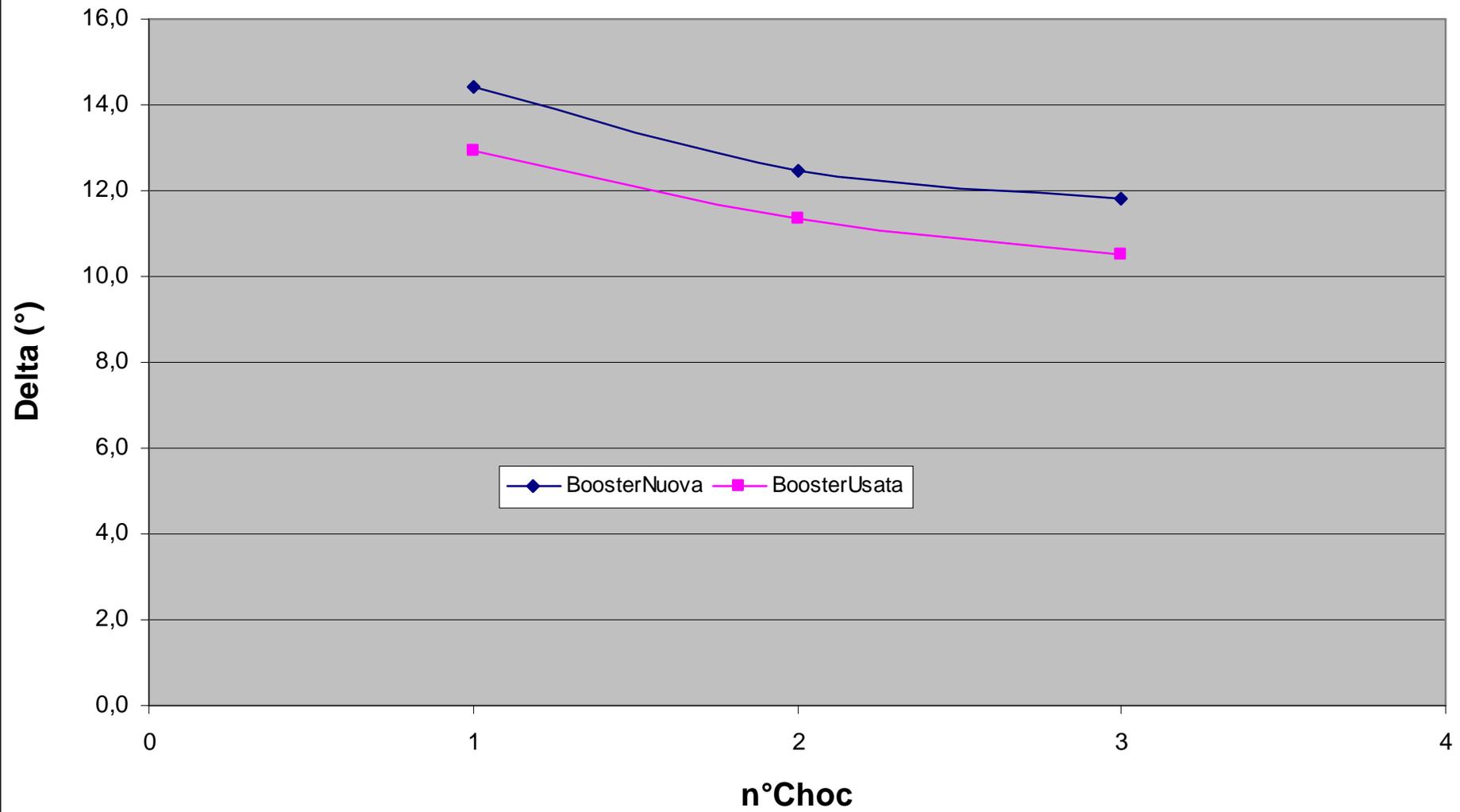
Confronto fra corde:

1. Beal Booster III 9,7 mm Nuova
2. Beal Booster III 9,7 mm Usata

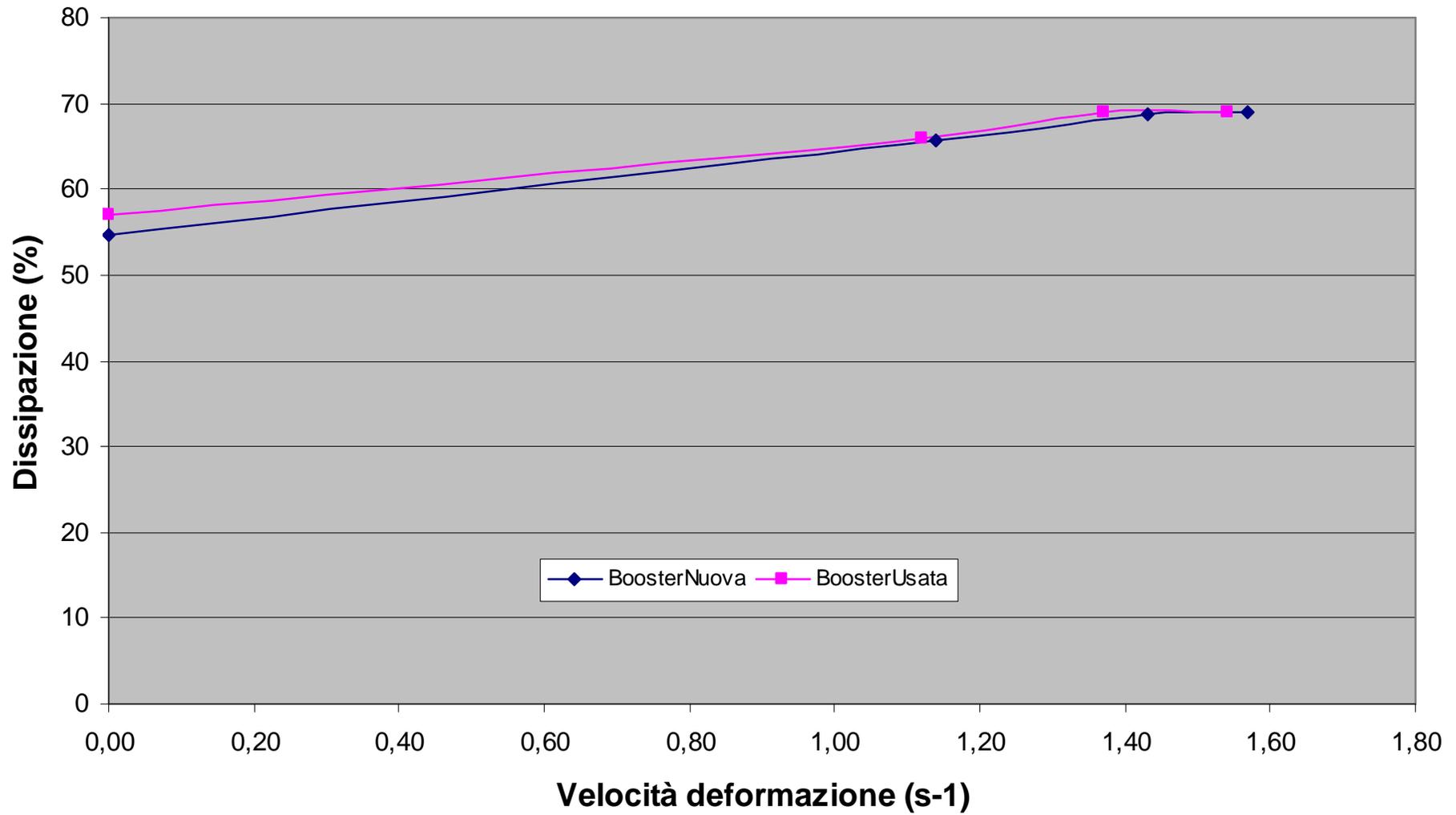
Choc 03 Beal Booster III 9,7 mm Confronto Delta (°)/Vd



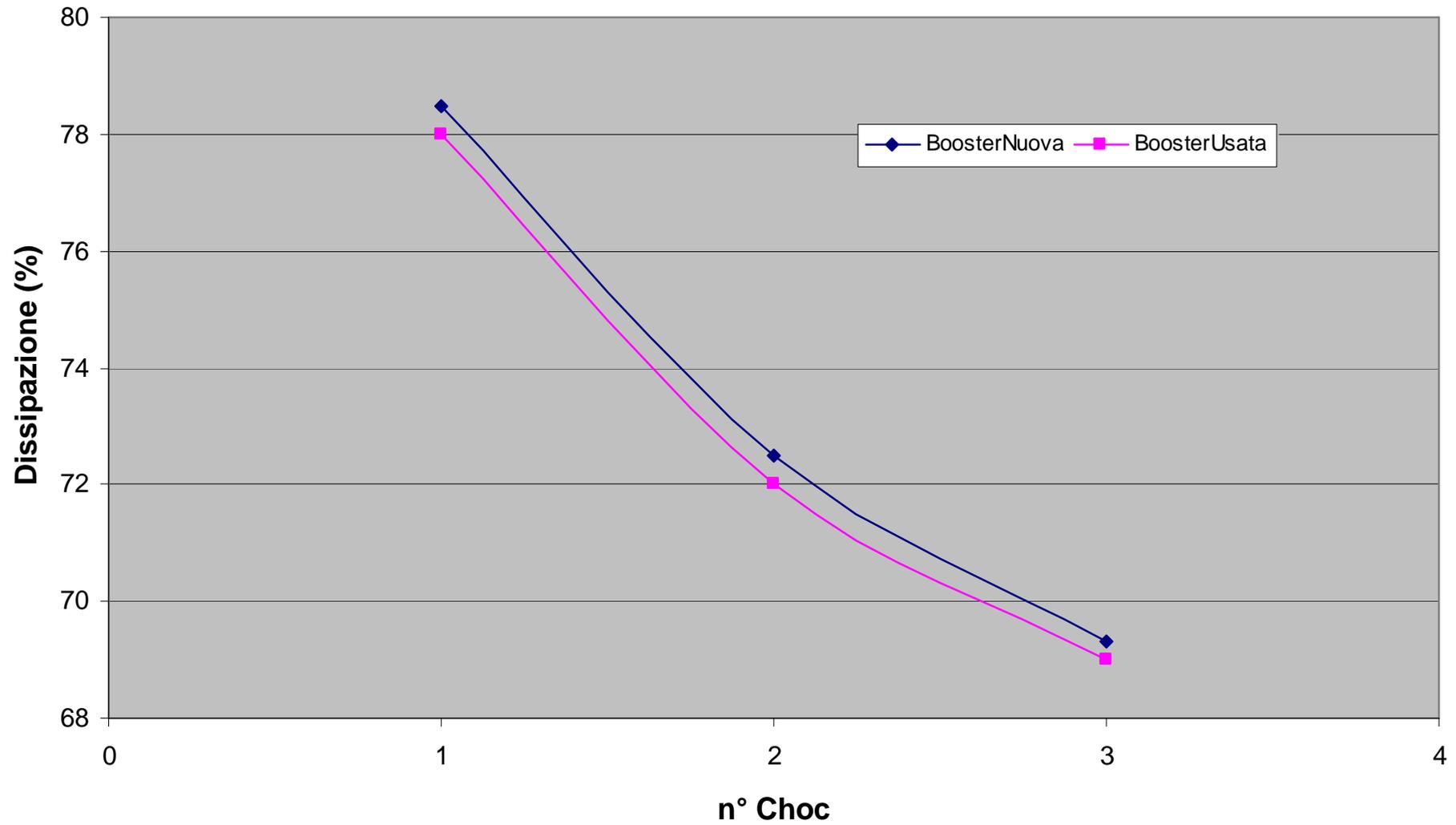
H200 cm Beal Booster III 9,7 mm Cofronto Delta°/n°Choc



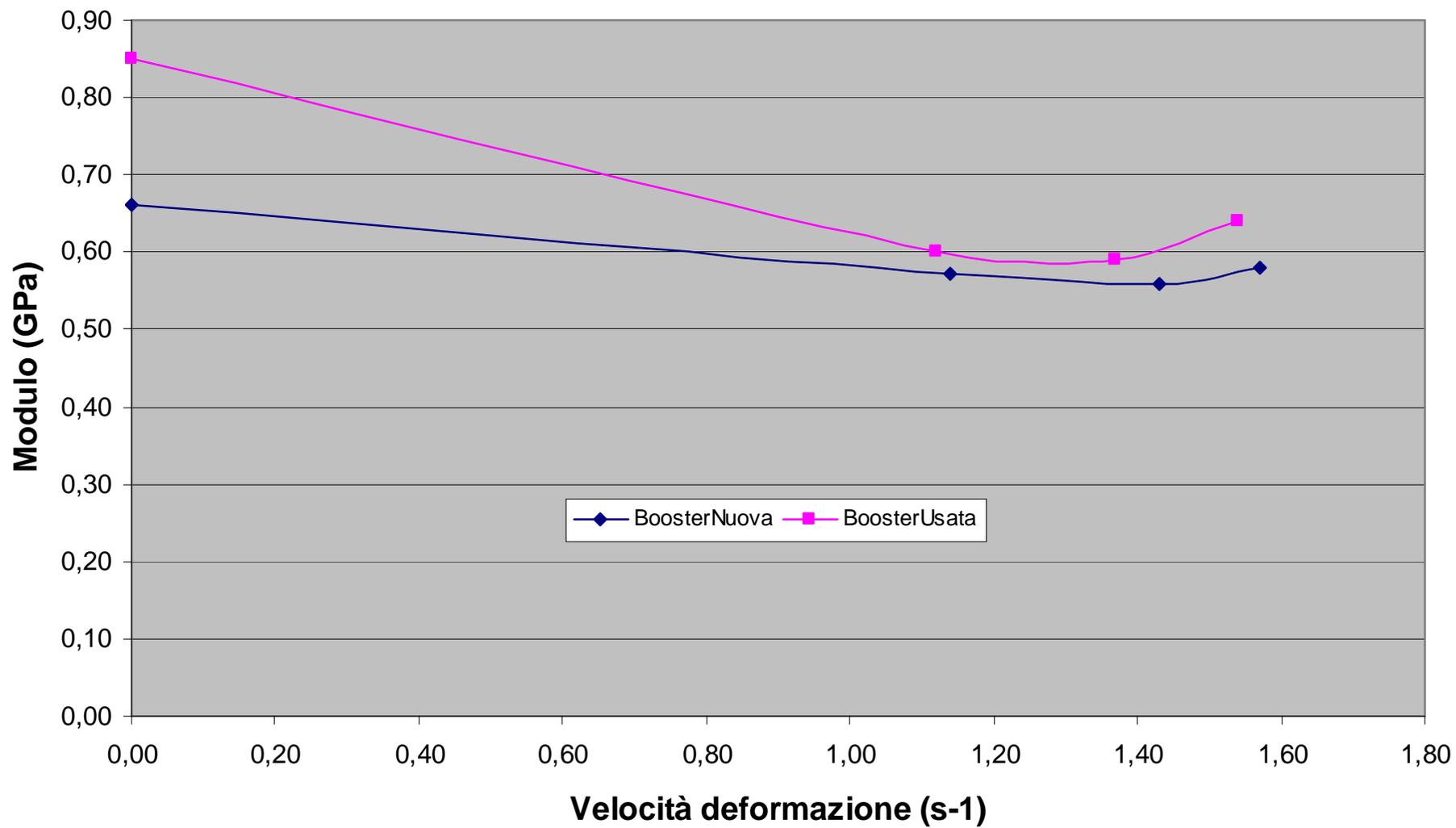
Choc 03 Beal Booster III 9,7 mm Confronto % Dissipazione/Vd



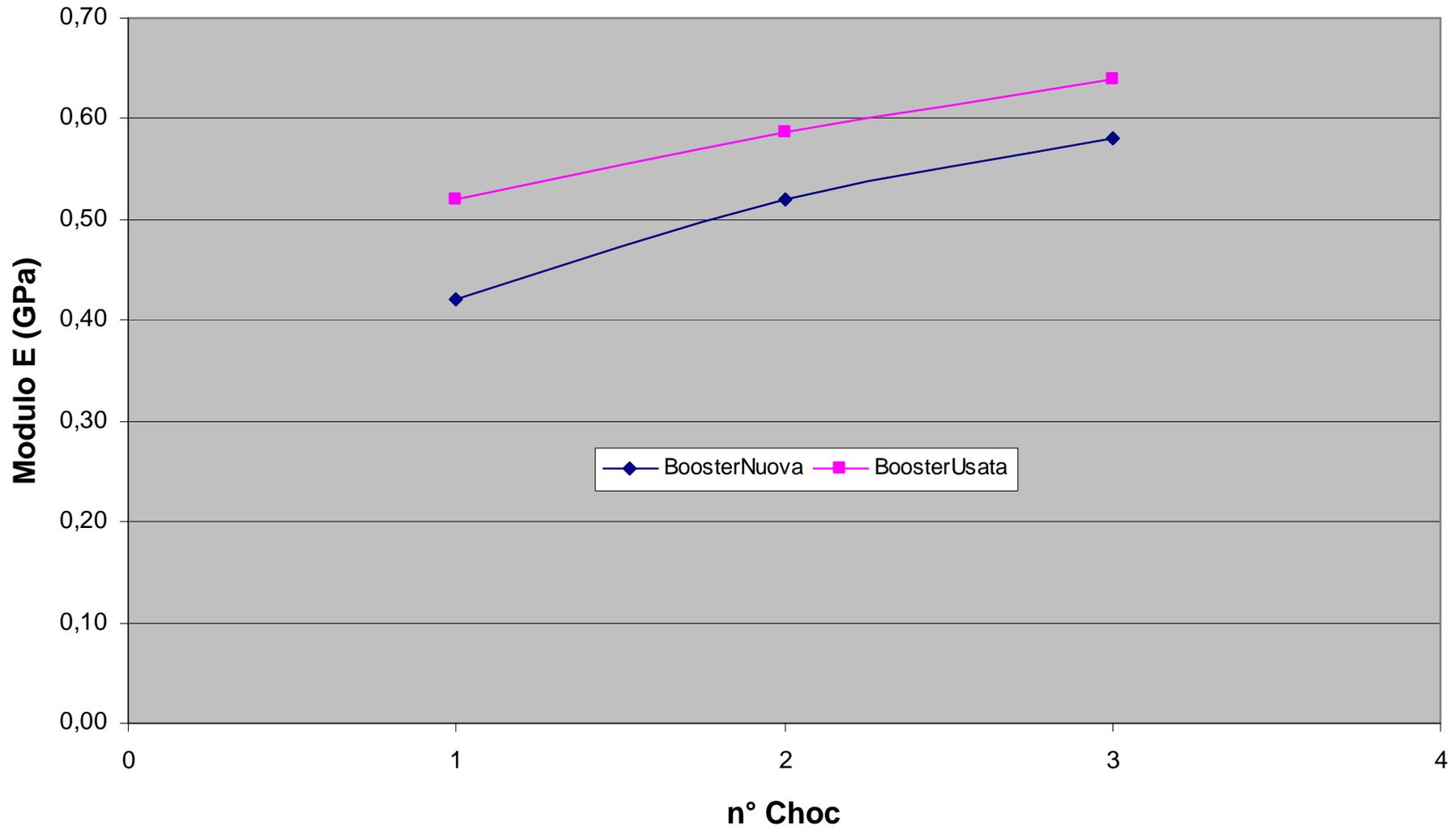
H200 cm Beal Booster III 9,7 mm Confronto % Dissipazione/n° Choc



Choc 03 Beal Booster III 9,7 mm Confronto Modulo E/Vd



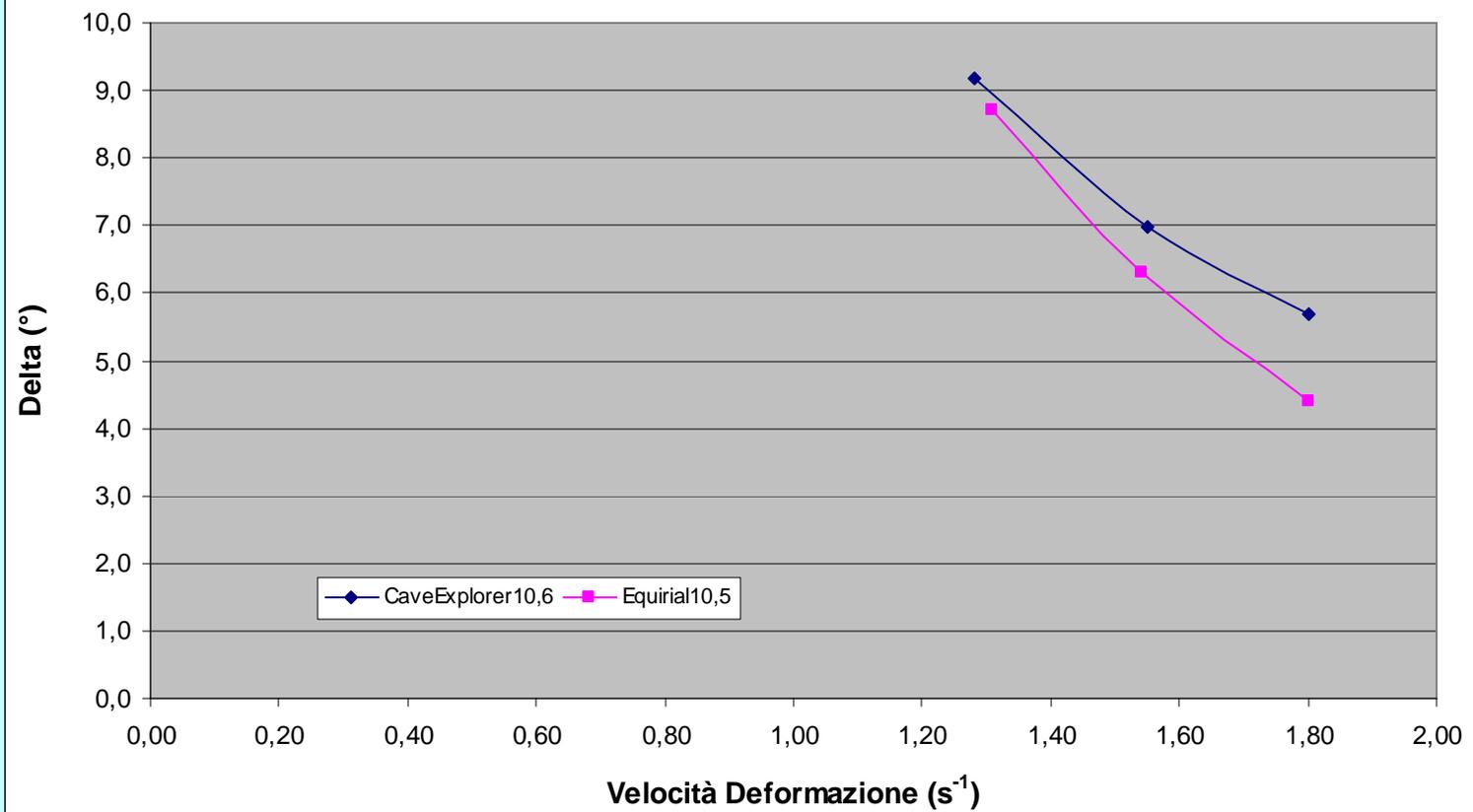
H200 Beal Booster III 9,7 mm Confronto Modulo E/n° Choc



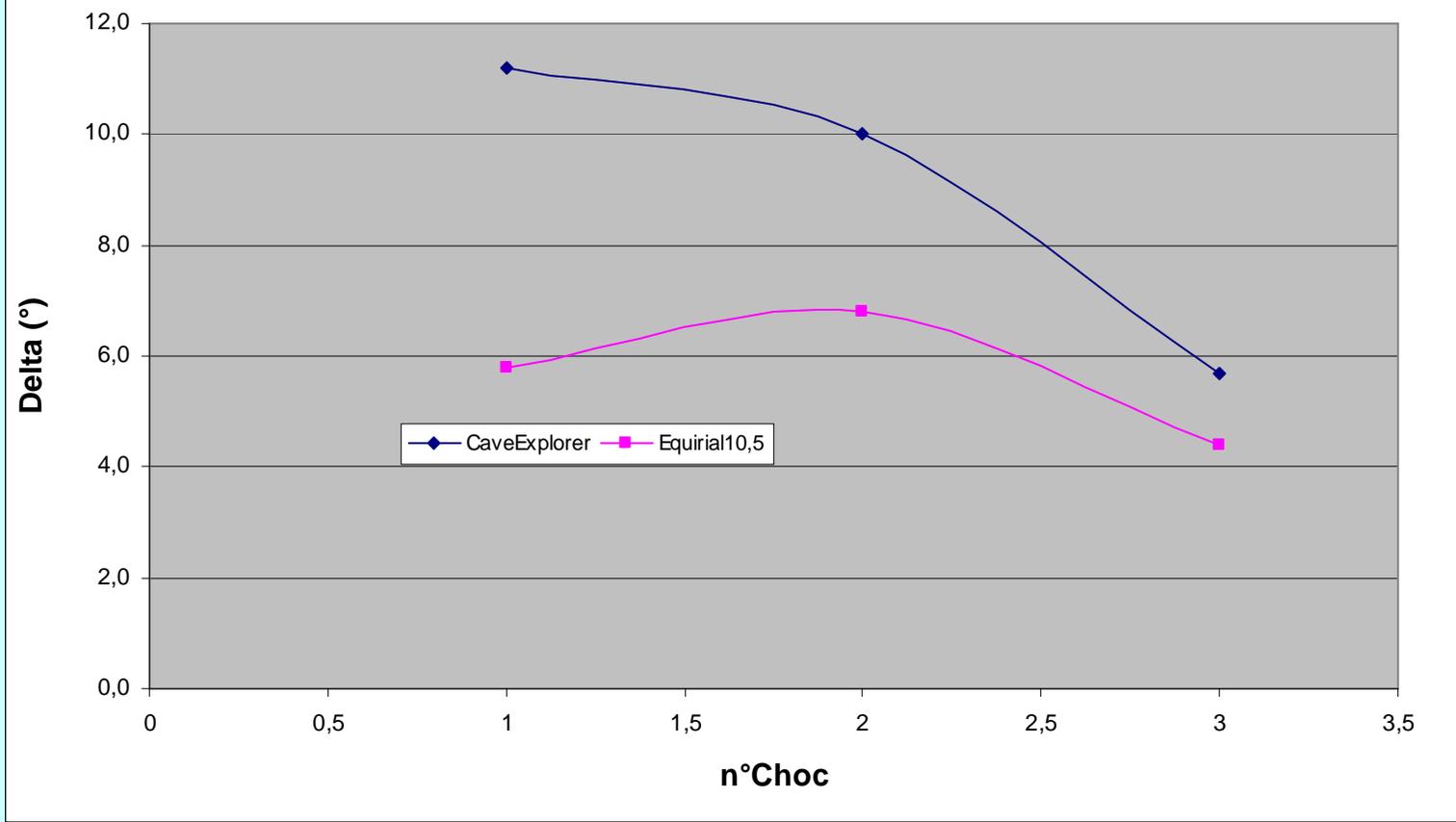
Confronto fra corde nuove:

1. **Nylon 6,6** Cavalieri Cave Explorer 10,6 mm
2. **Nylon 6** Courant Equirial 10,5 mm

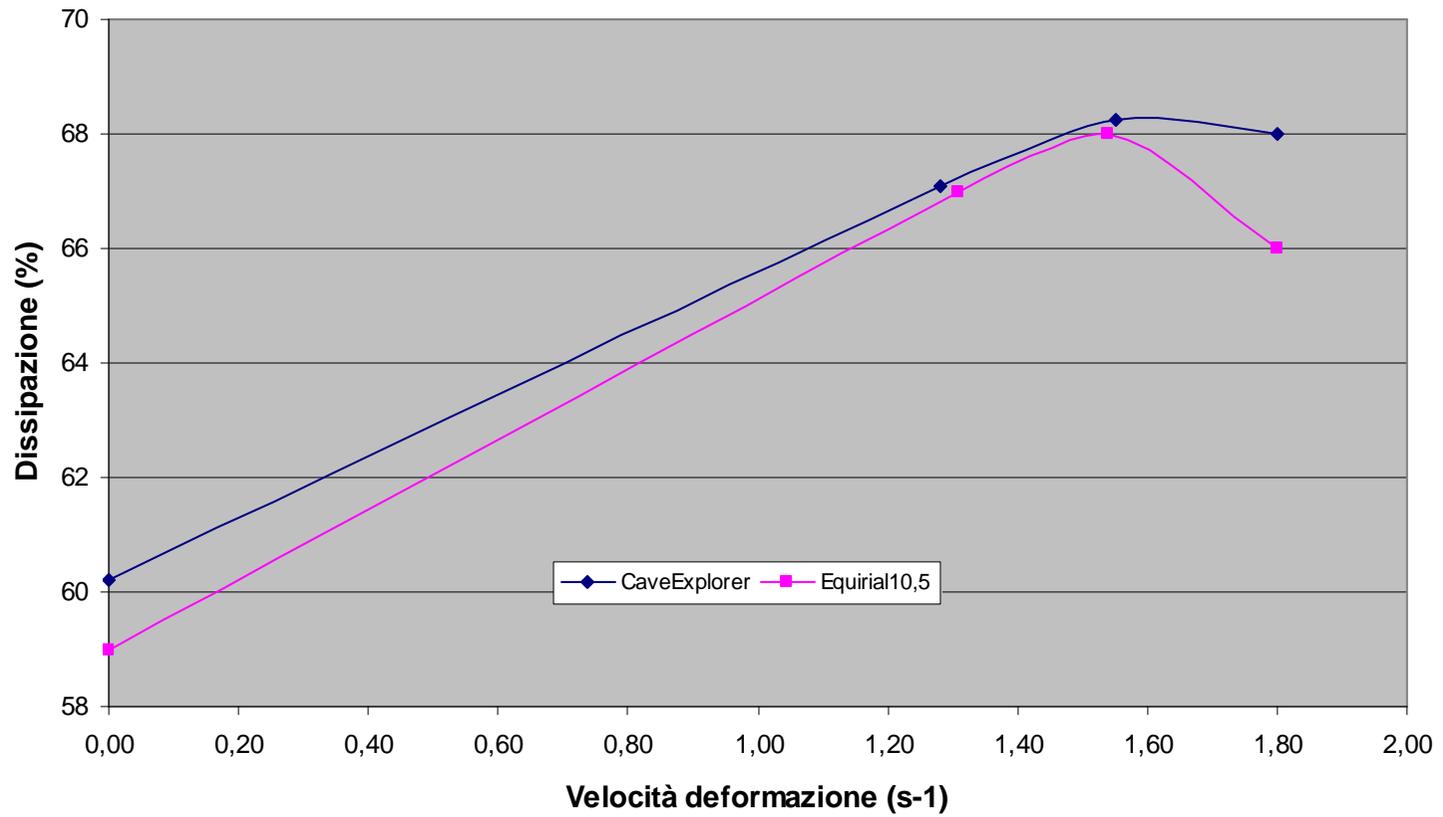
Choc 03 Confronto Delta (°)/Vd



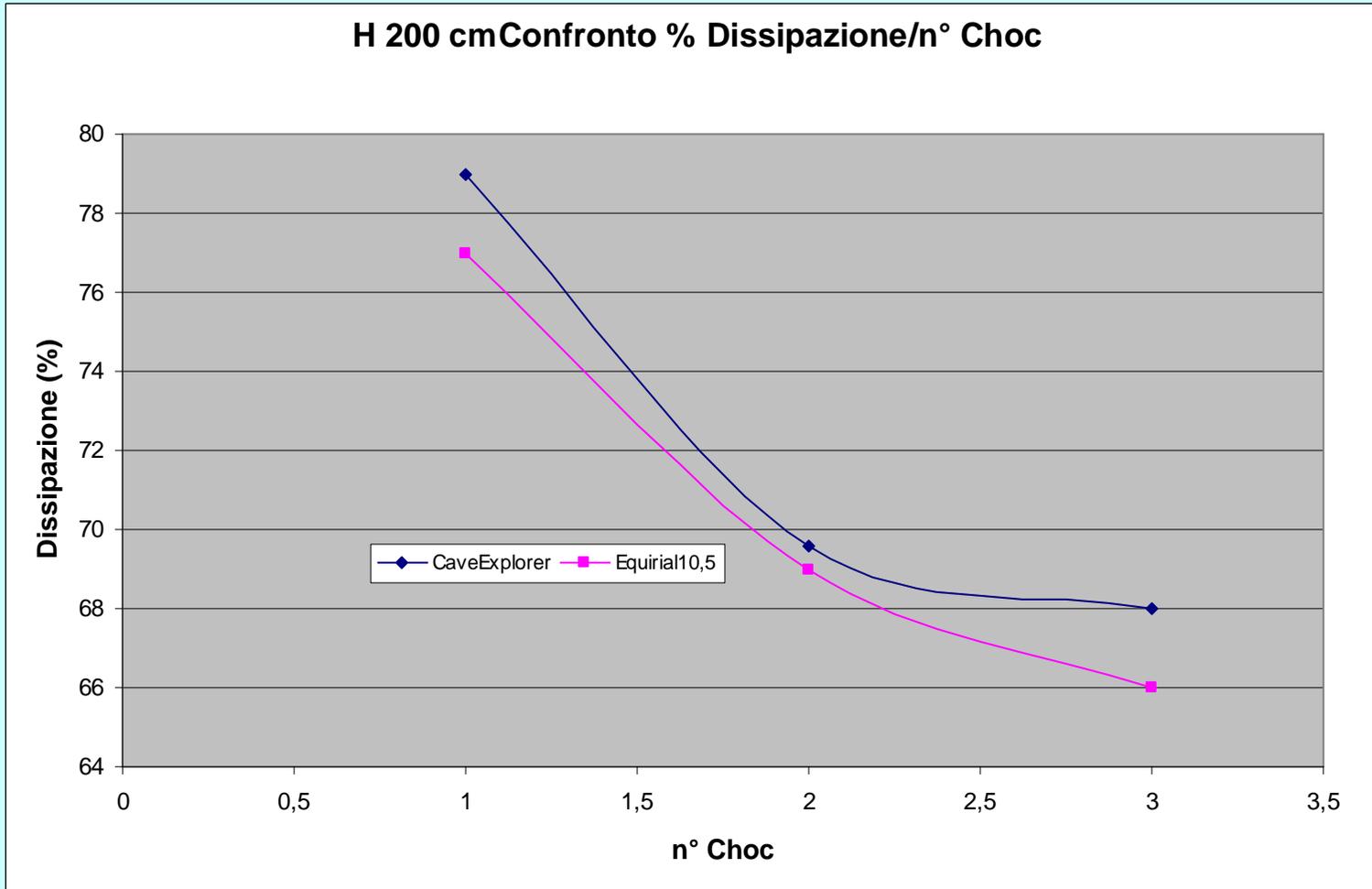
H200 cm Cofronto Delta°/n°Choc



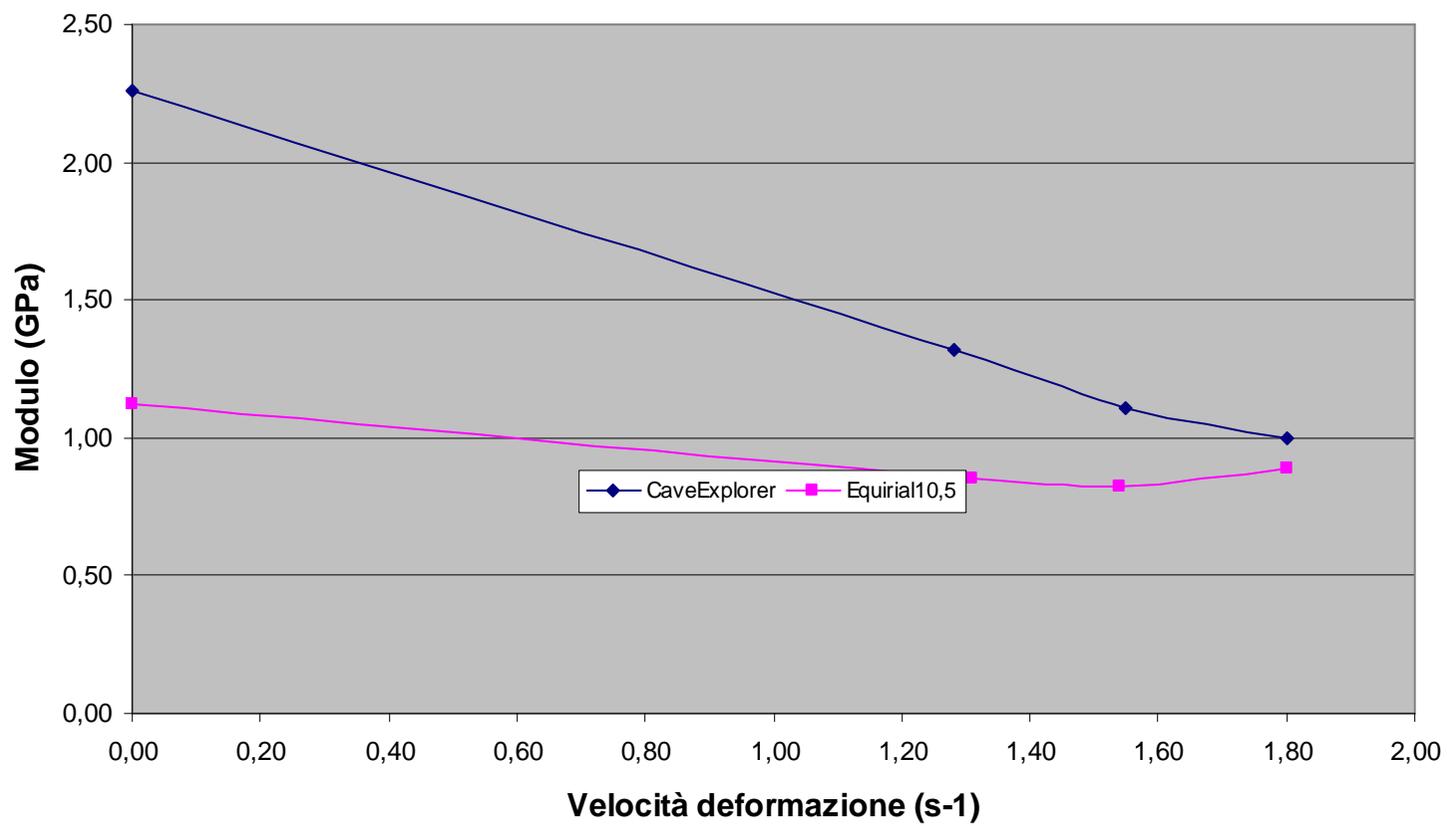
Choc 03 Confronto % Dissipazione/Vd



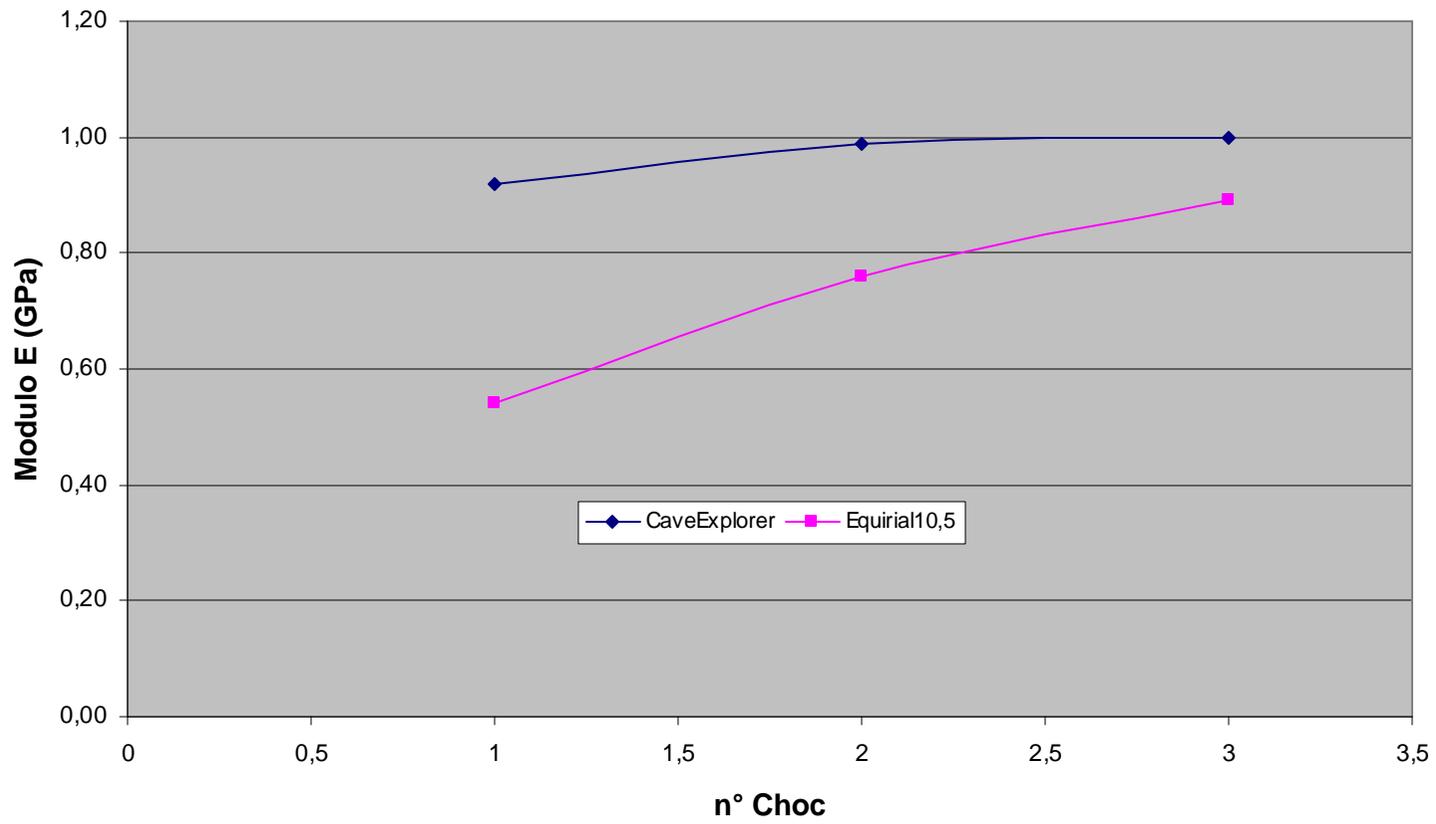
H 200 cm Confronto % Dissipazione/n° Choc



Choc 03 Confronto Modulo E/Vd



H 200 cm Confronto Modulo E/n° Choc



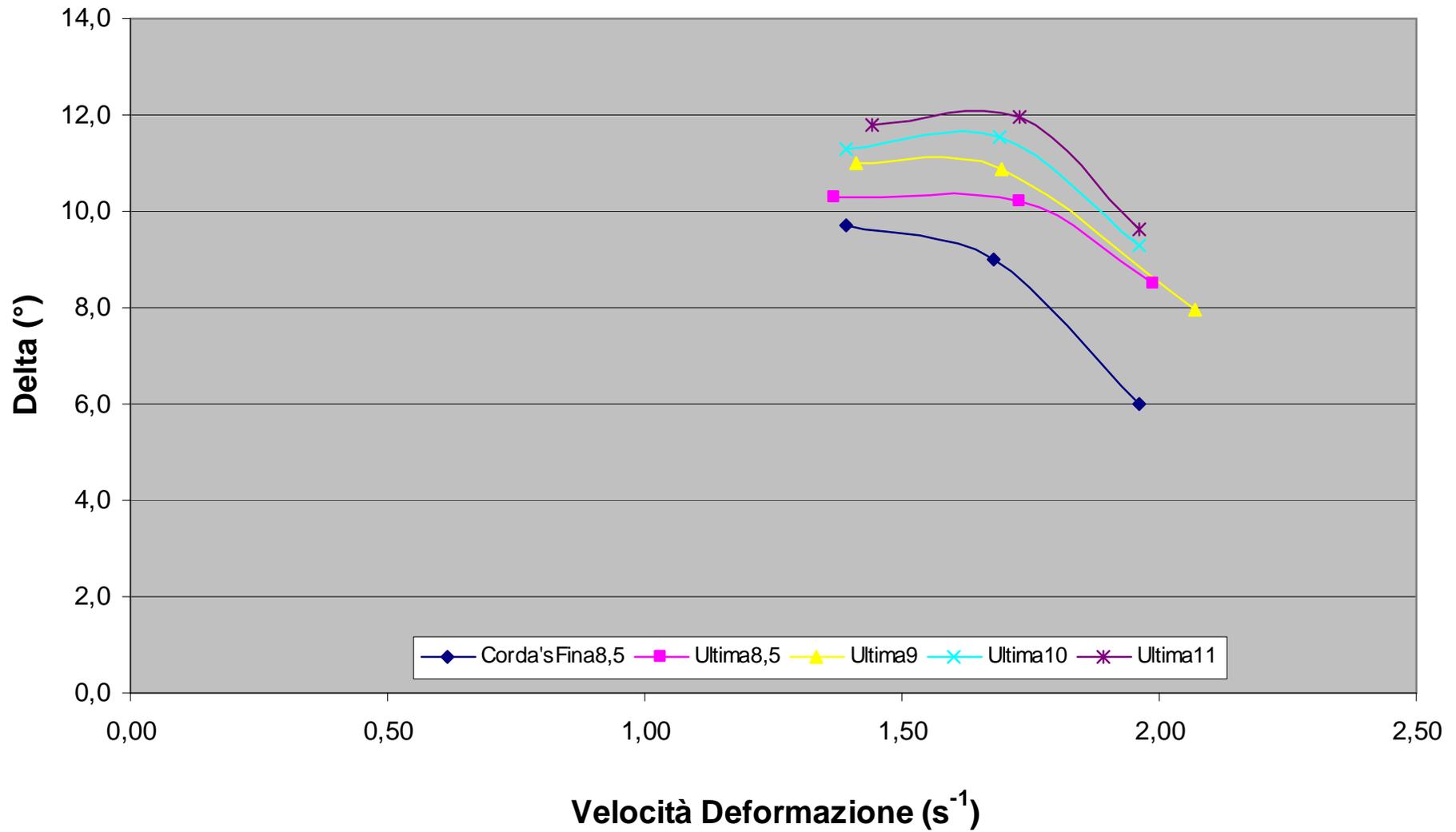
Confronto corde nuove diametro crescente

1. Corda,s Fina 8,5 mm
2. Courant Ultima 8,5 mm
3. Courant Ultima 9,0 mm
4. Courante Ultima 10,0 mm
5. Courant Ultima 11,0 mm

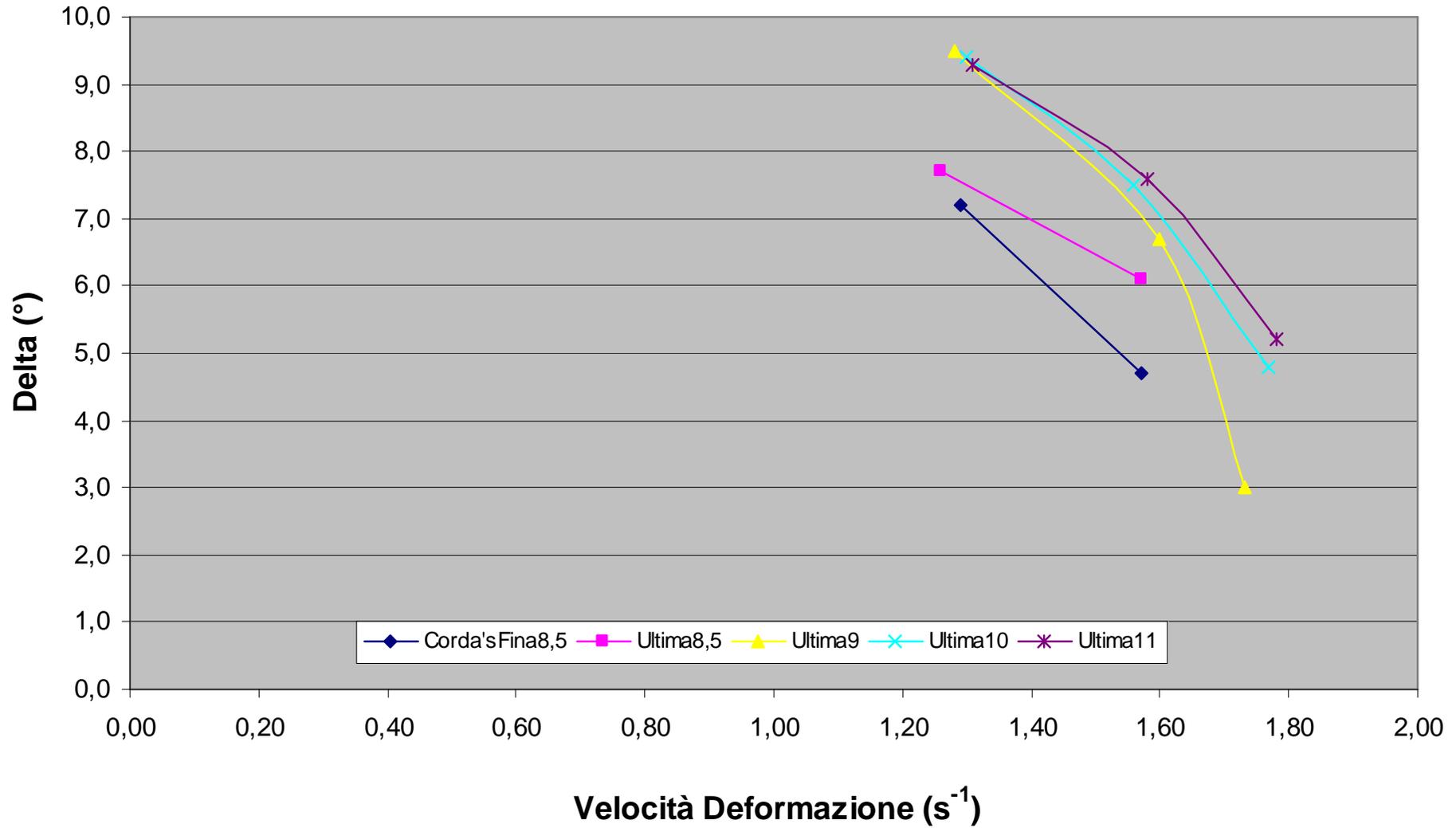
Courant Ultima calza e trefoli incollati

Choc 01

Confronto Delta°/Vd

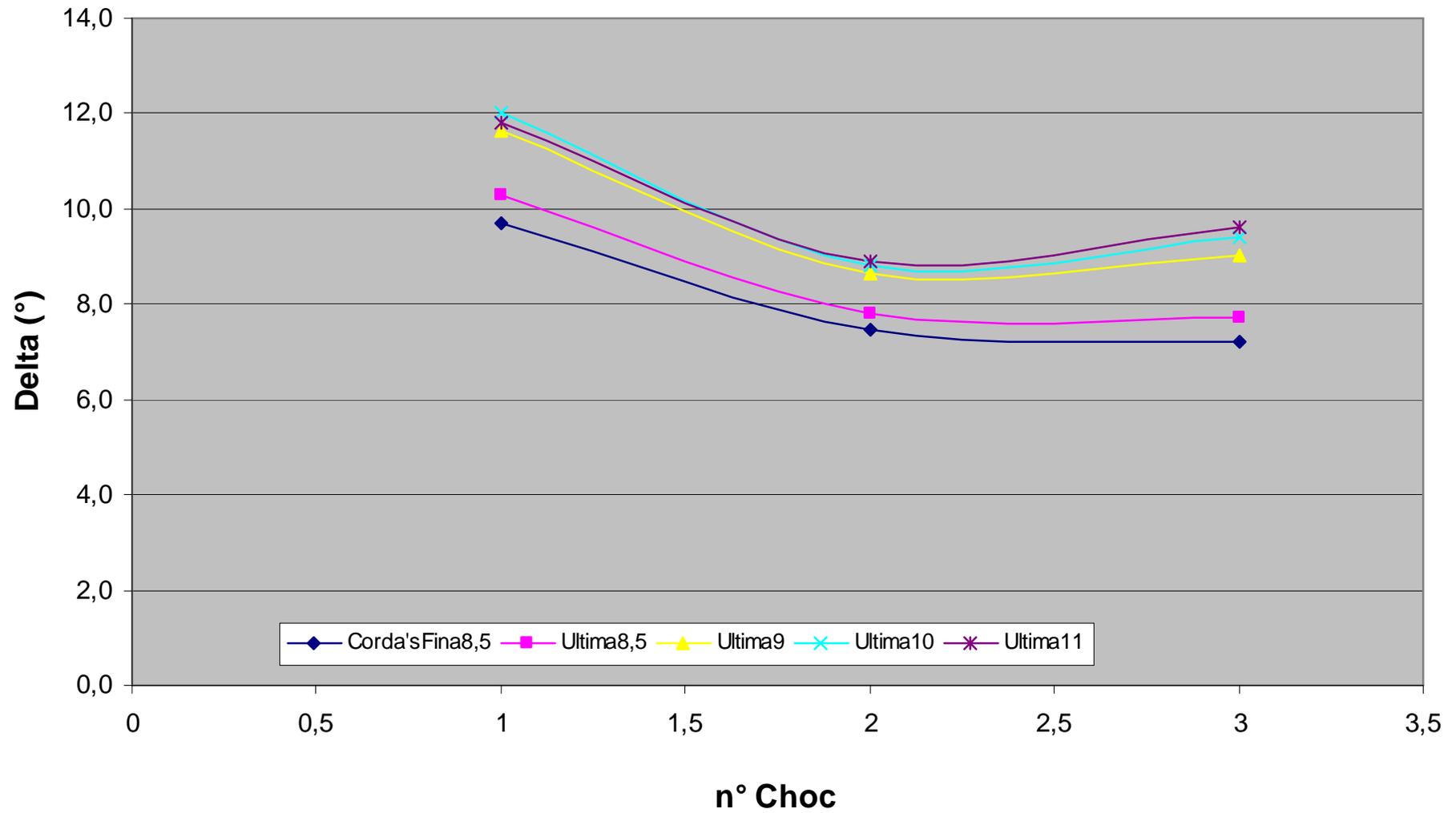


Choc 03 Confronto Delta°/Vd

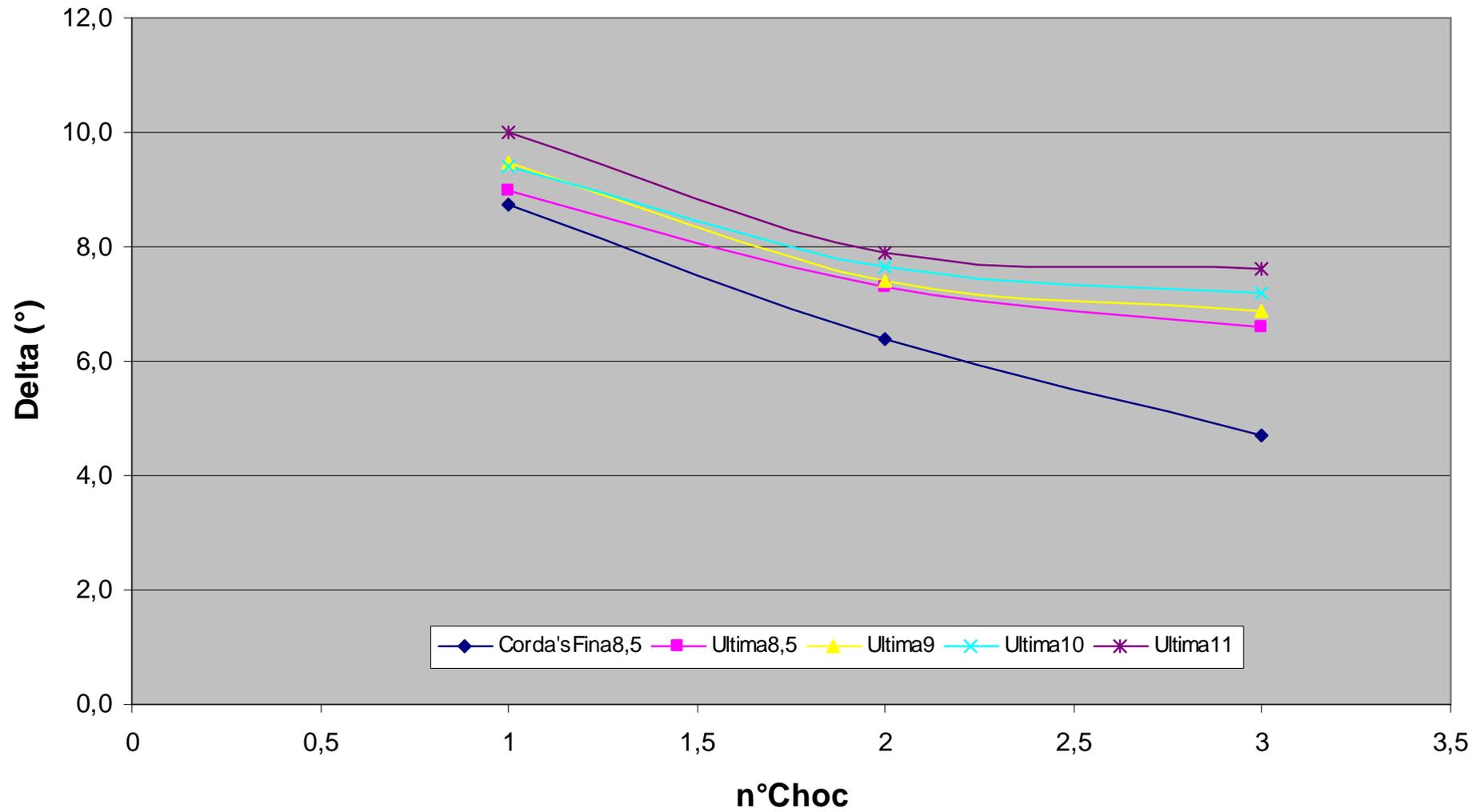


H100 cm

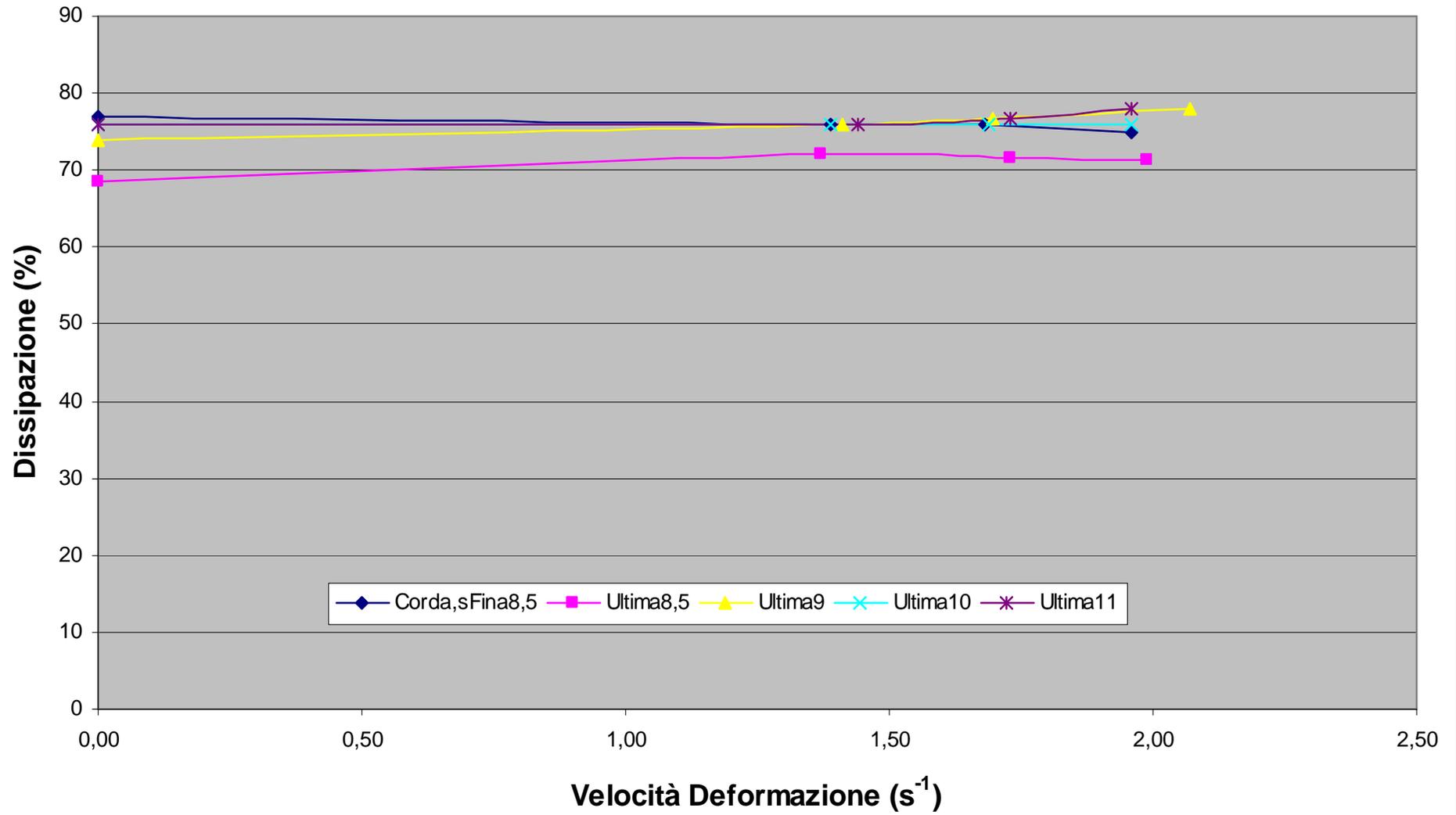
Confronto Delta(°)/n°Choc



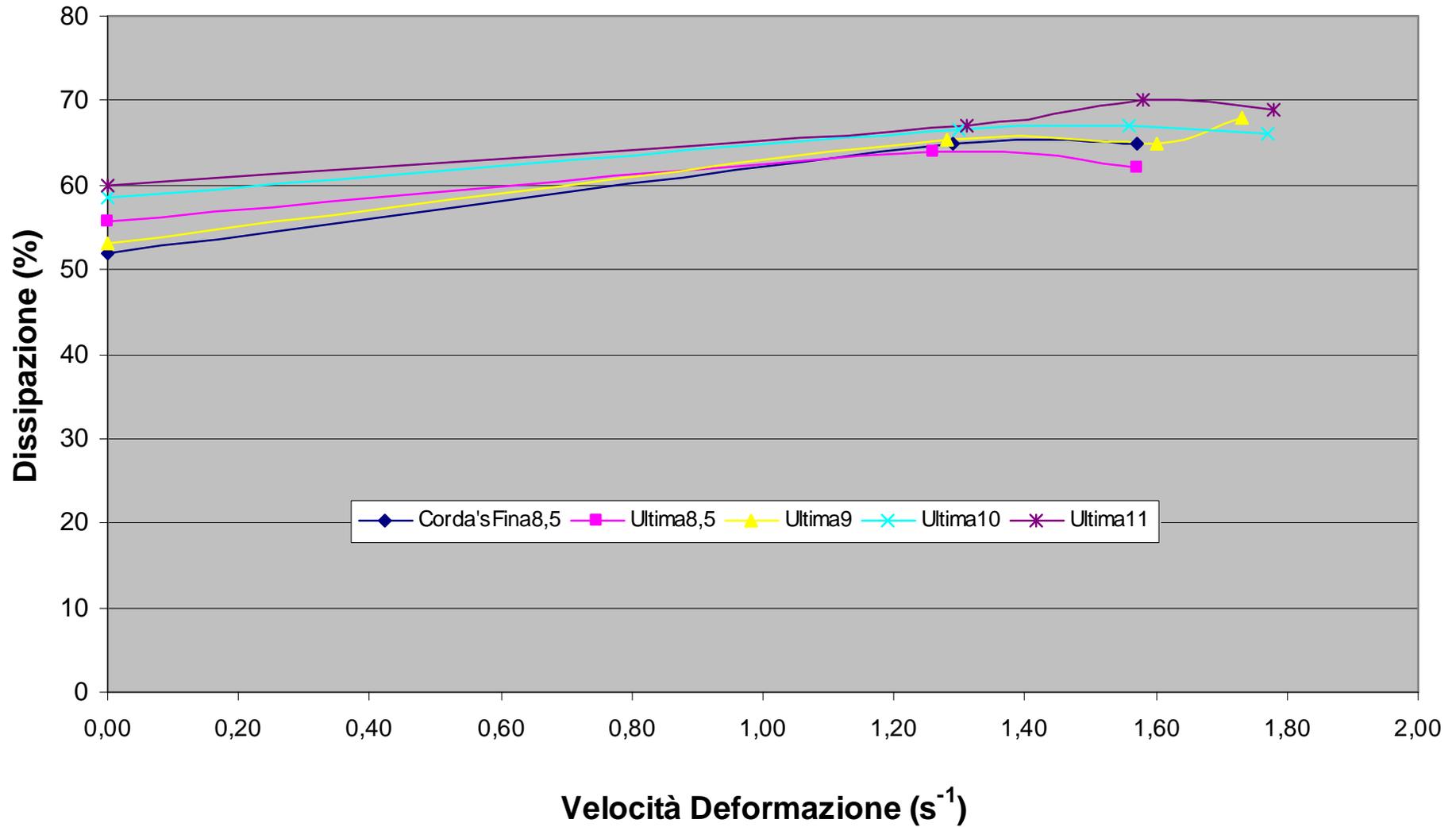
H 150 cm Confronto Delta(°)/n°Choc



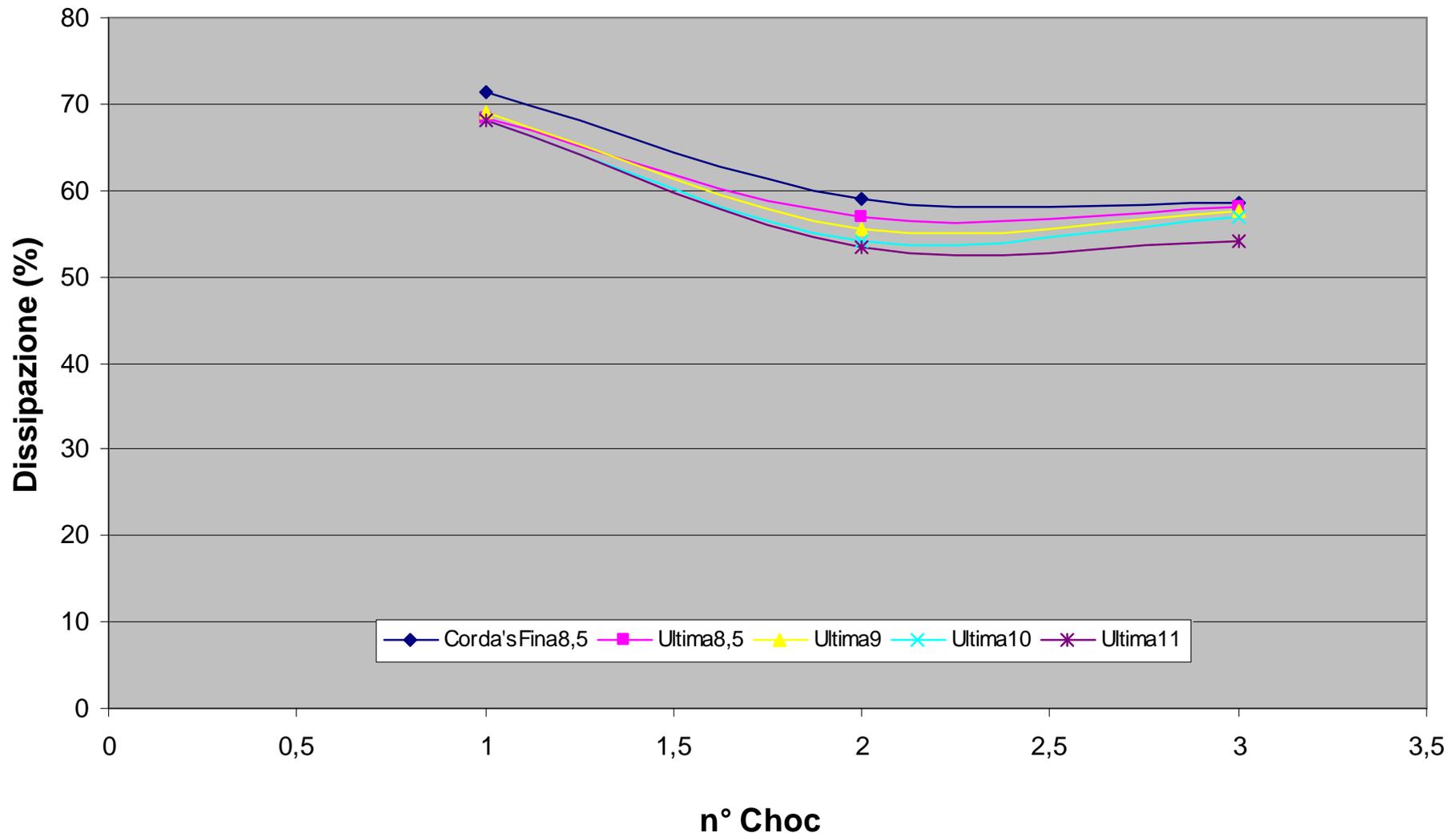
Choc 01 Confronto % Dissipazione/Vd



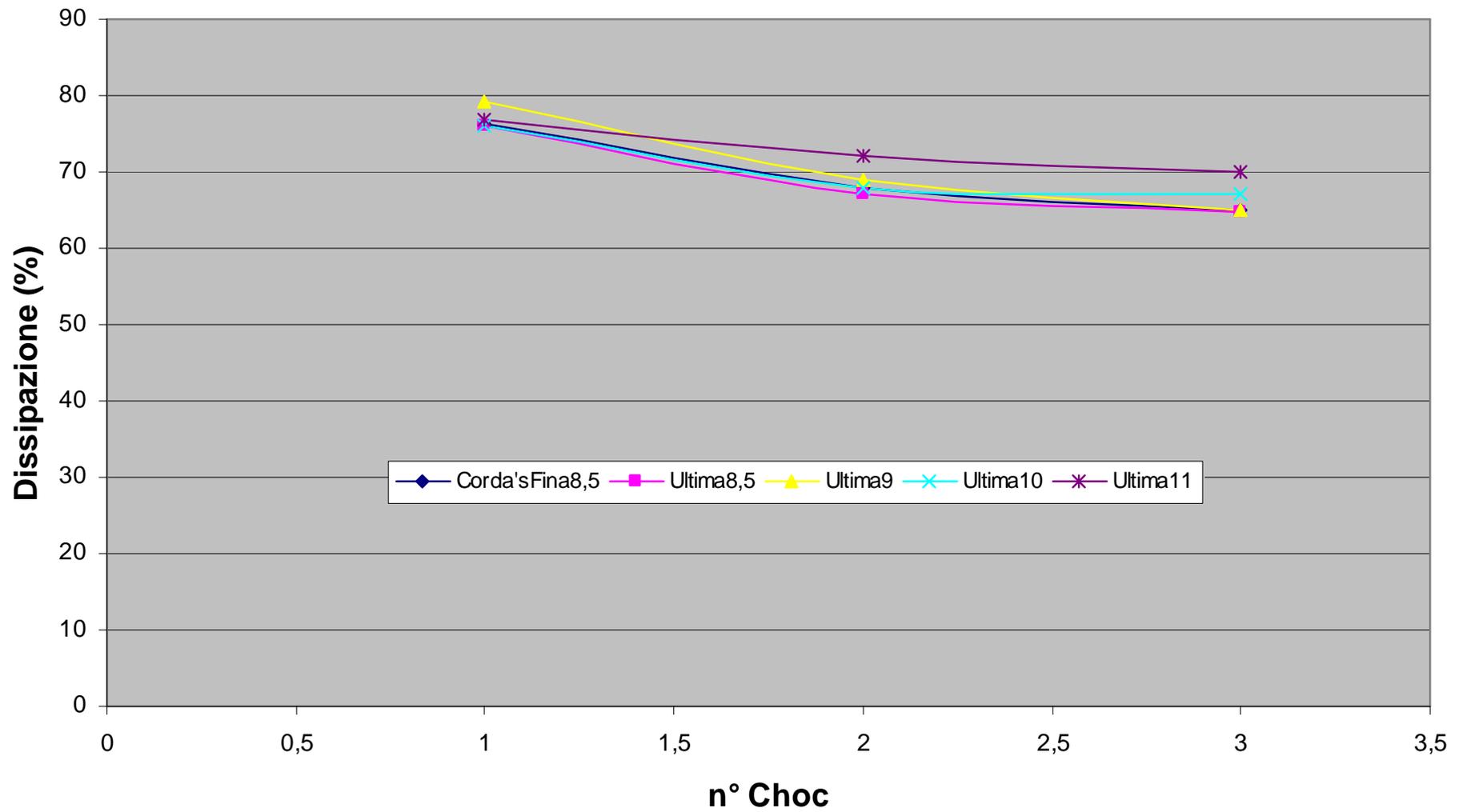
Choc 03 Confronto % Dissipazione/Vd



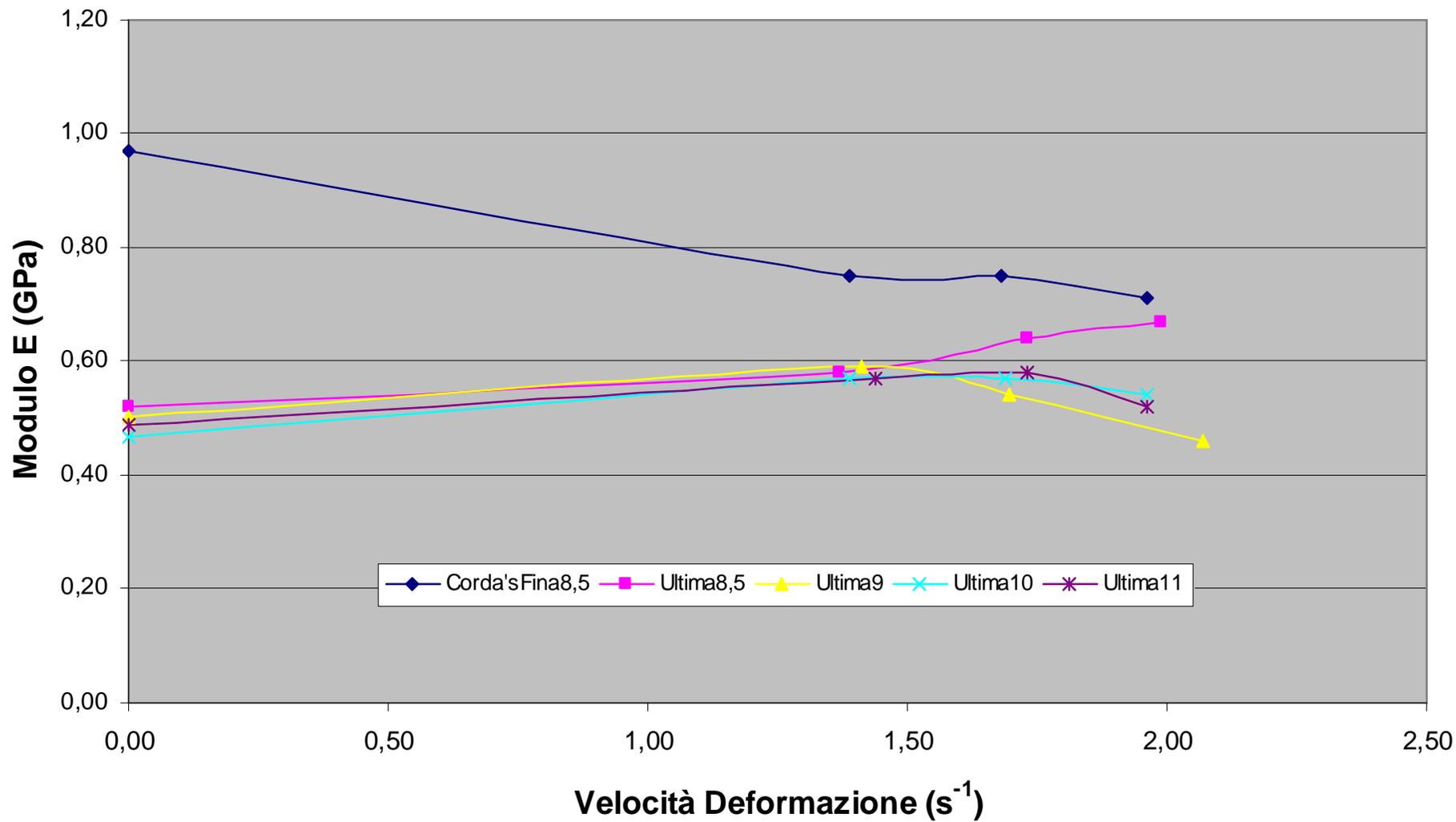
QS Confronto % Dissipazione/n°Choc



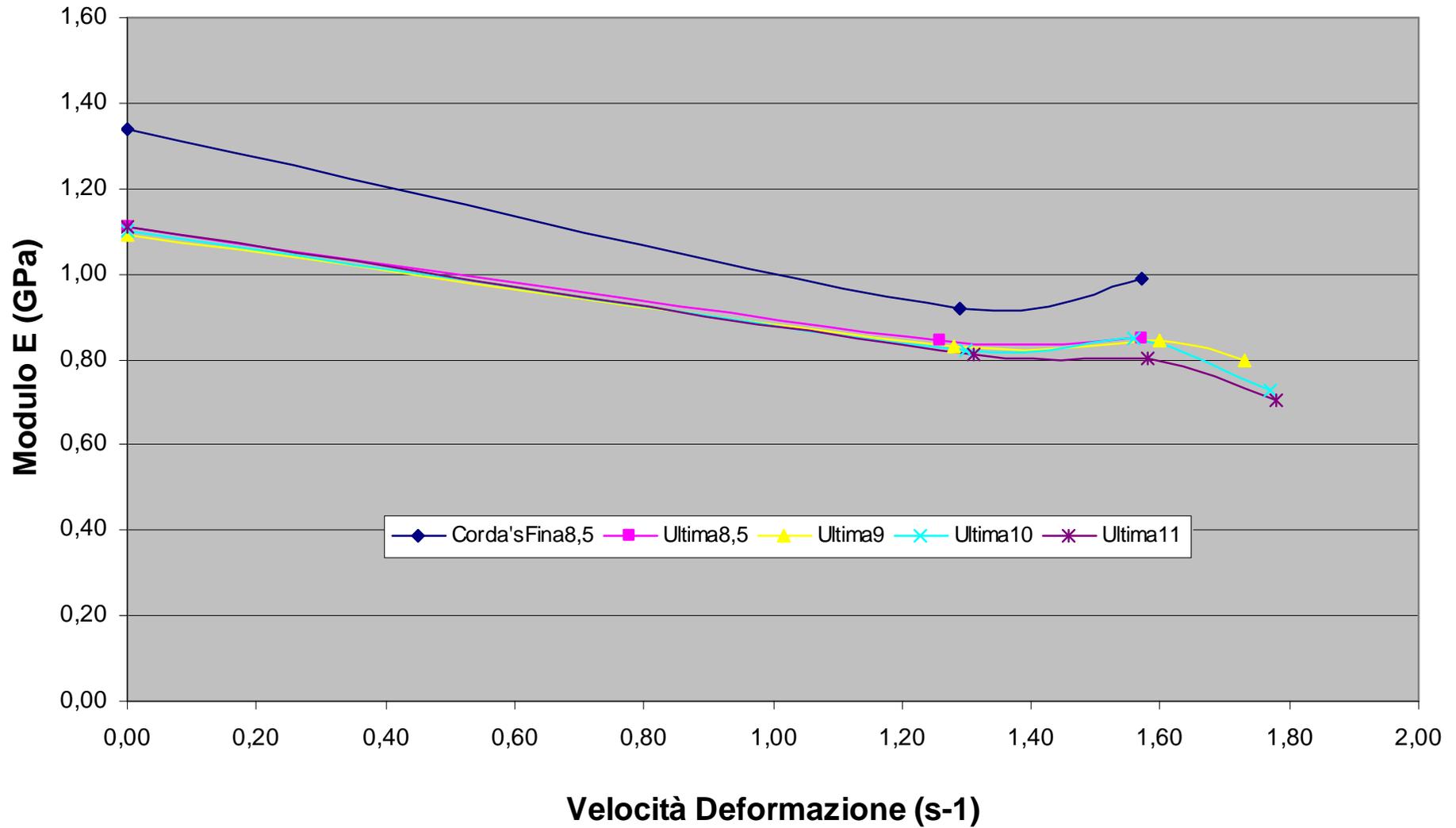
H200 cm Confronto % Dissipazione/n°Choc



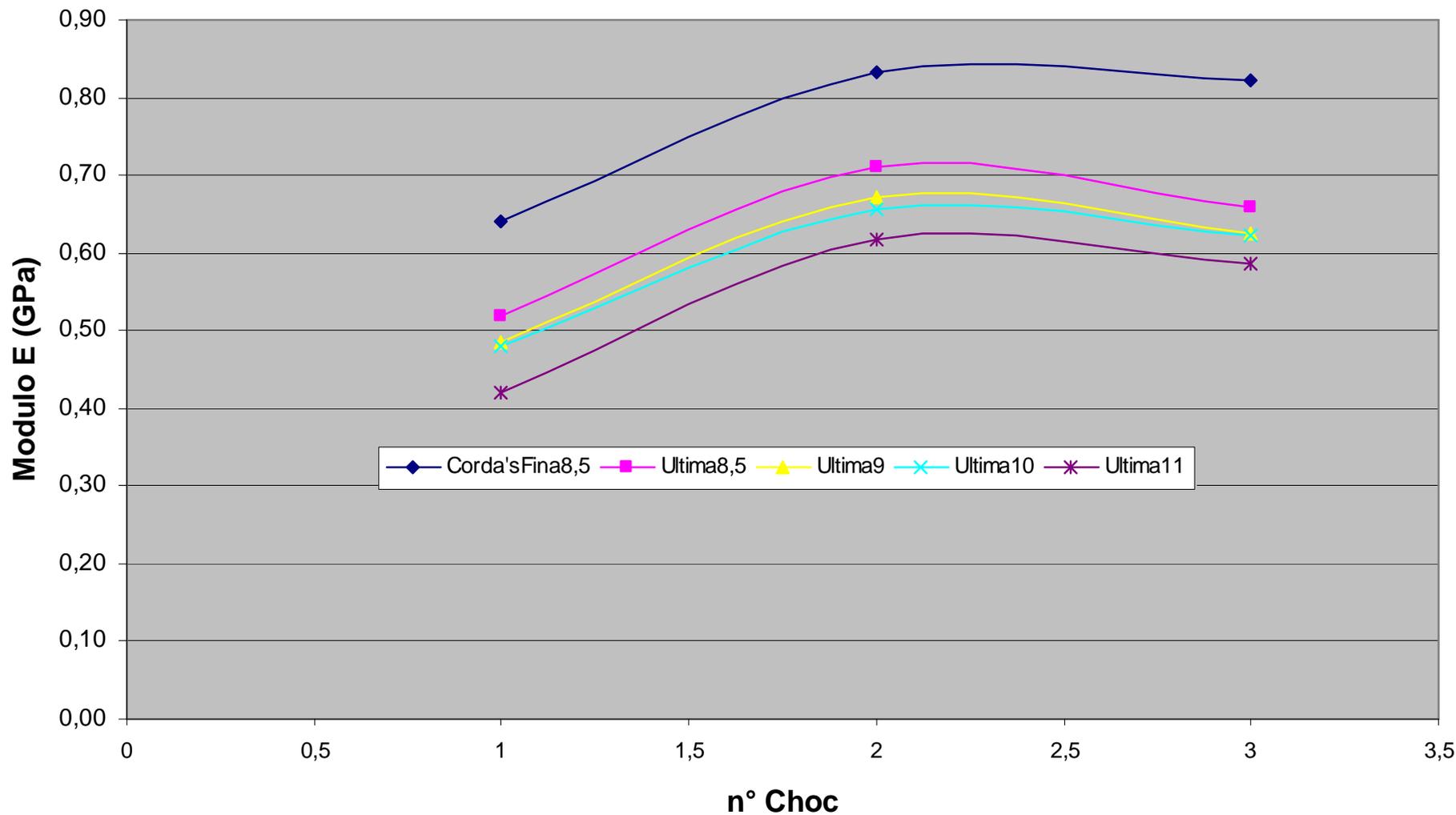
Choc 01 Confronto Modulo E/Vd



Choc 03 Confronto Modulo E/Vd

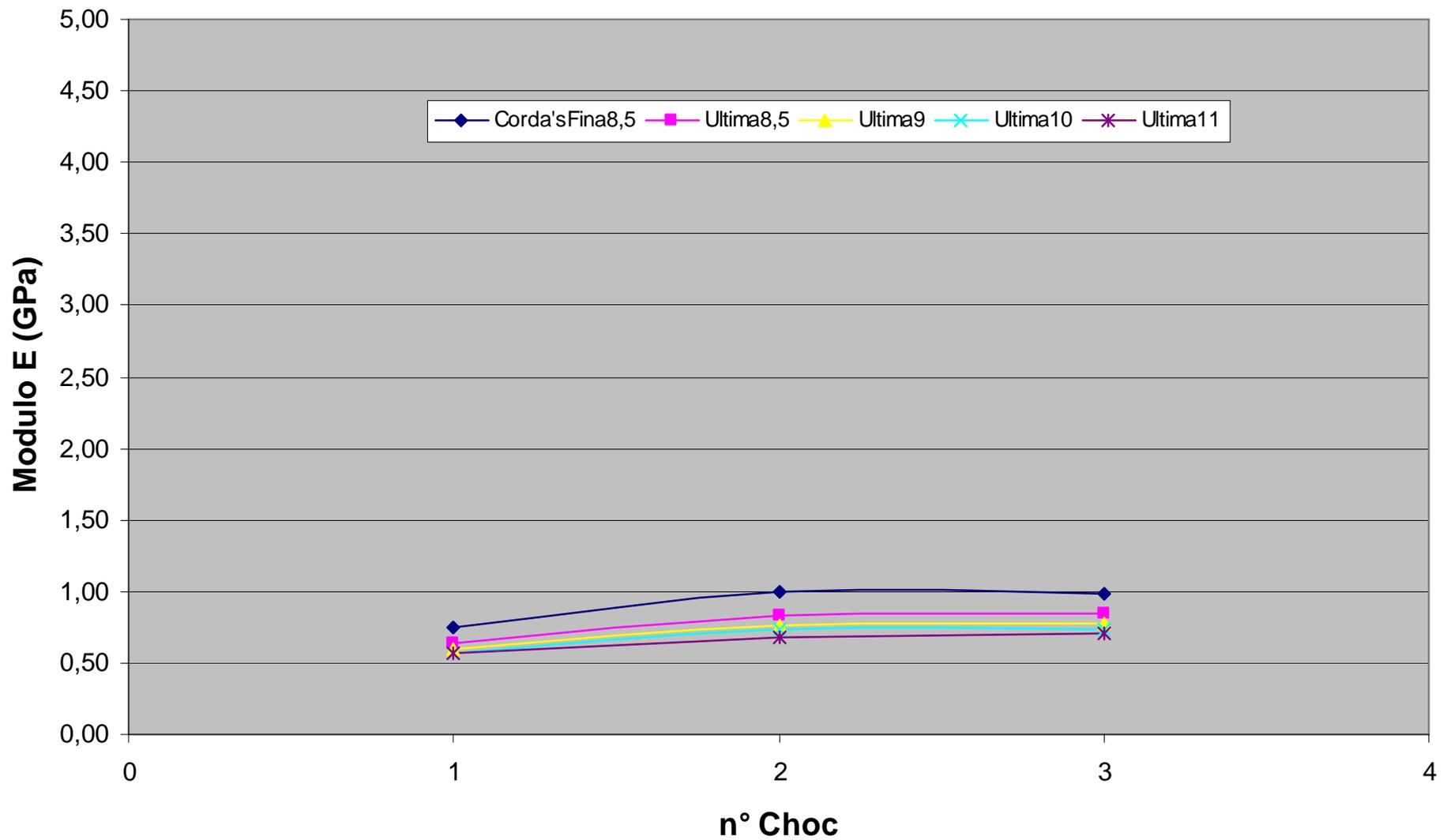


QS Confronto Modulo E/n°Choc



H 150 cm

Confronto Modulo E/n° Choc



Cordini nuovi nodi guida:

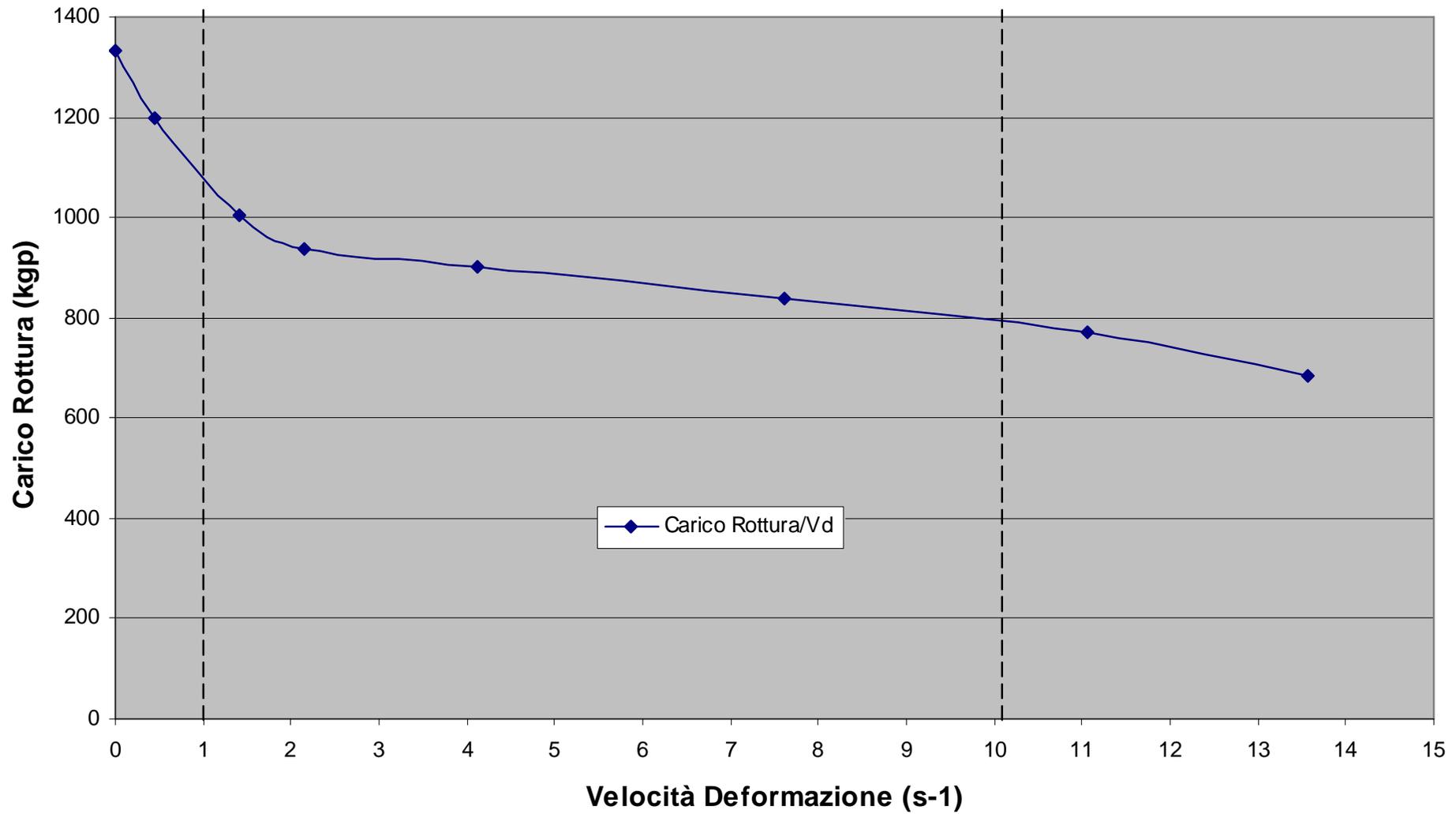
1. Dyneema 8,0 mm

2. Dyneema 5,5 mm

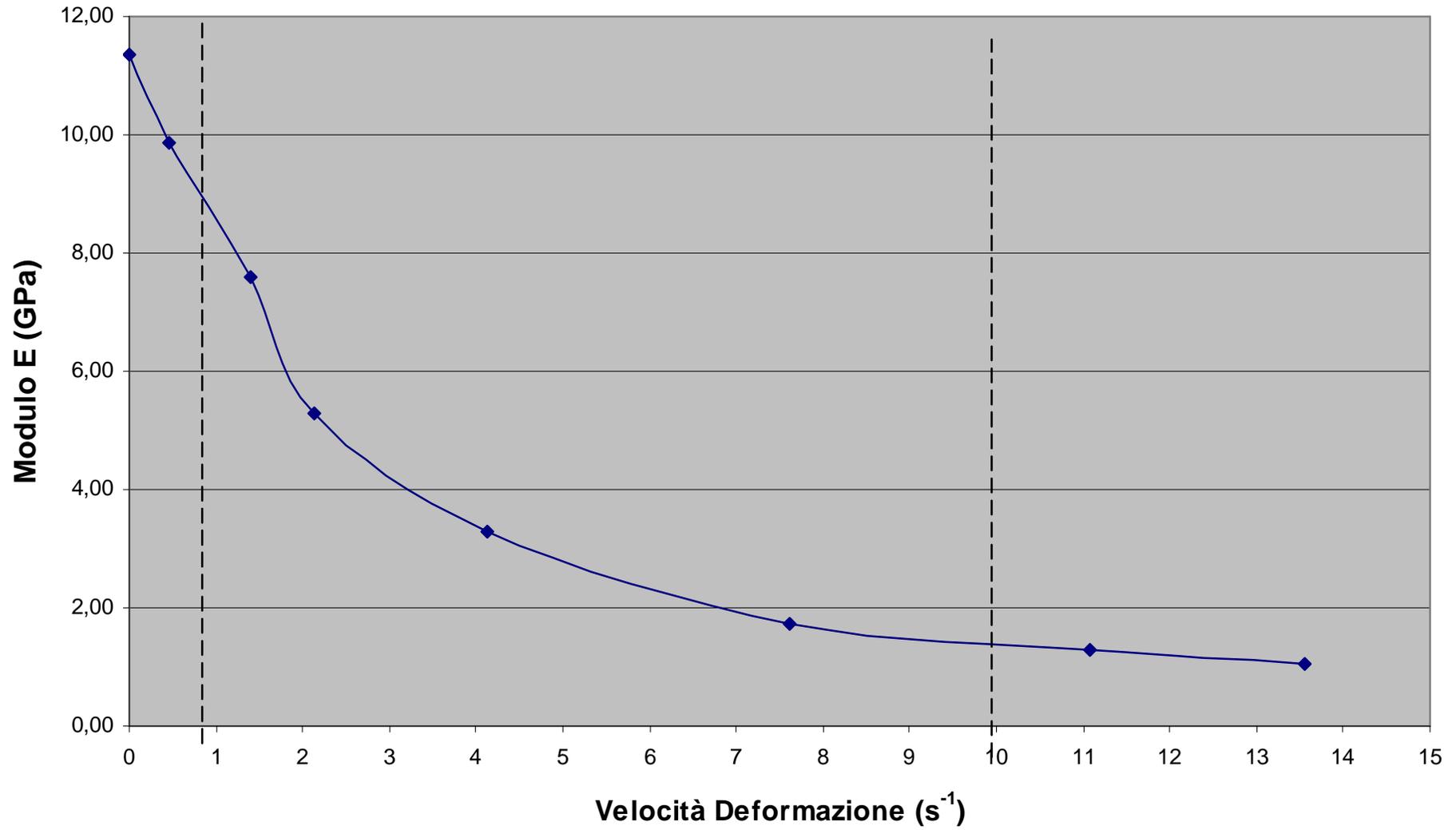
3. Kevlar 5,5 mm

4. Nylon 5,5 mm

Dyneema 8 mm Nuovo Carico Rottura/Vd

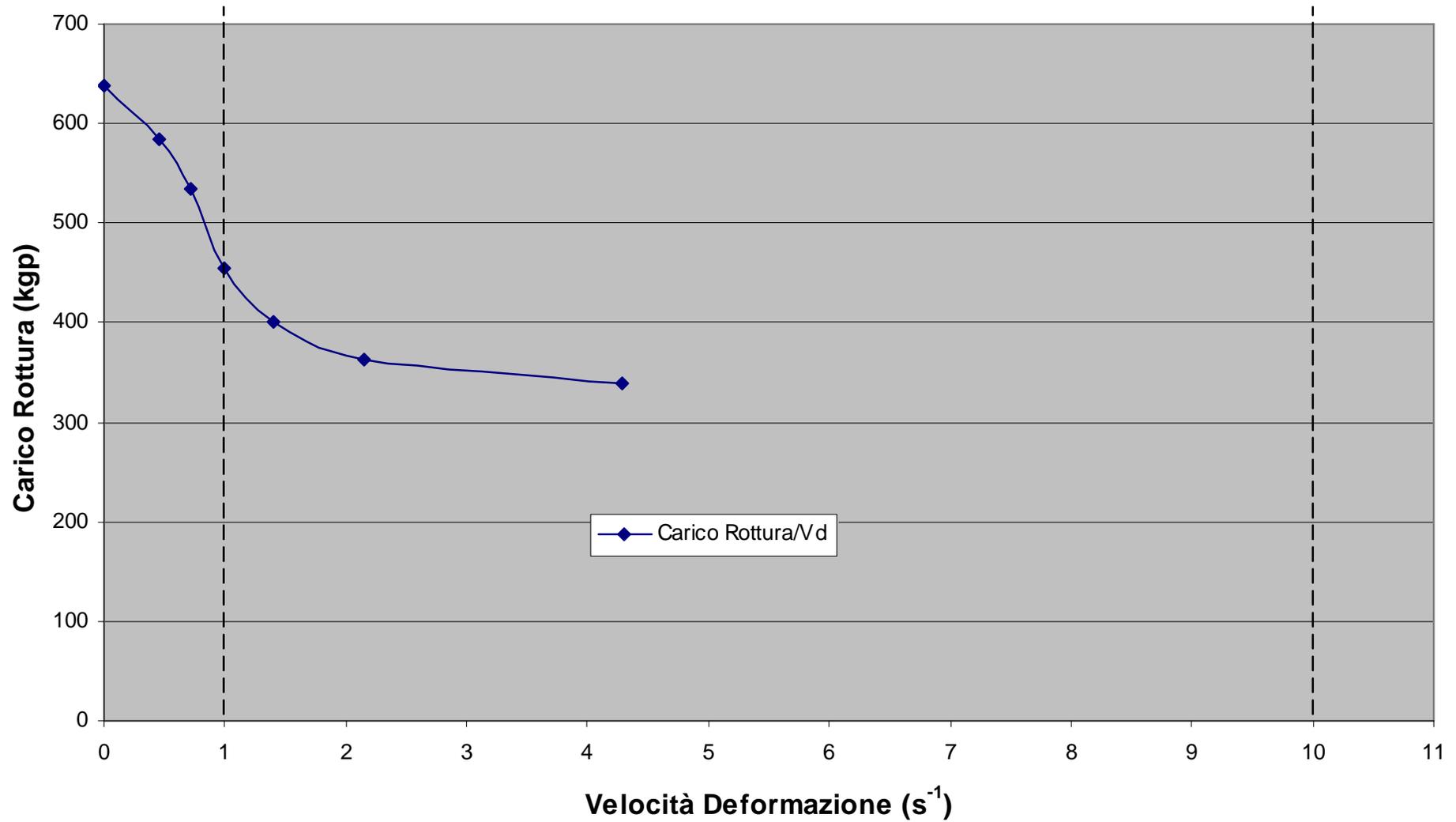


Dyneema 8 mm Nuovo Modulo E/Vd

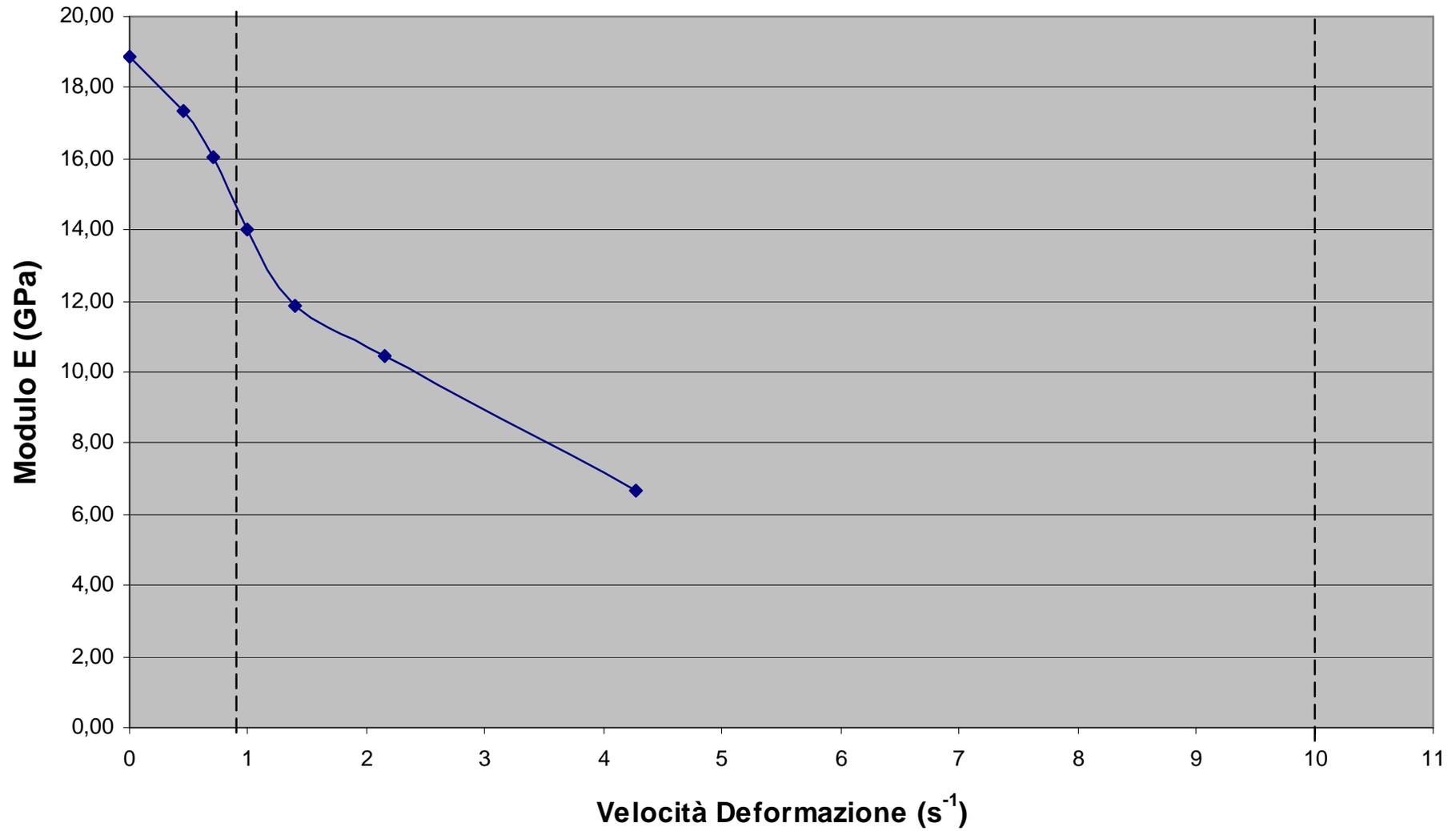


Dyneema 5,5 mm Nuovo

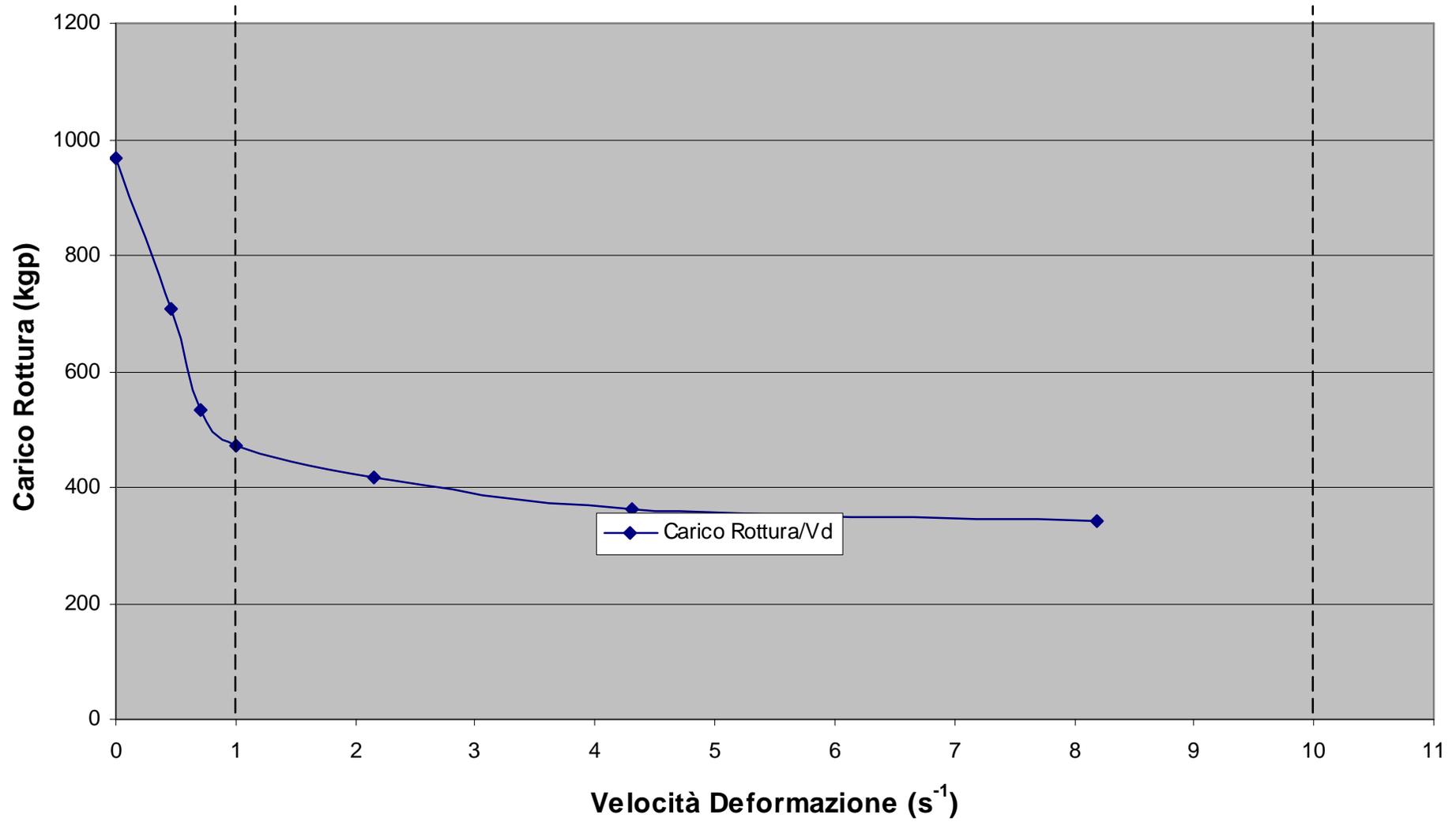
Carico Rottura/Vd



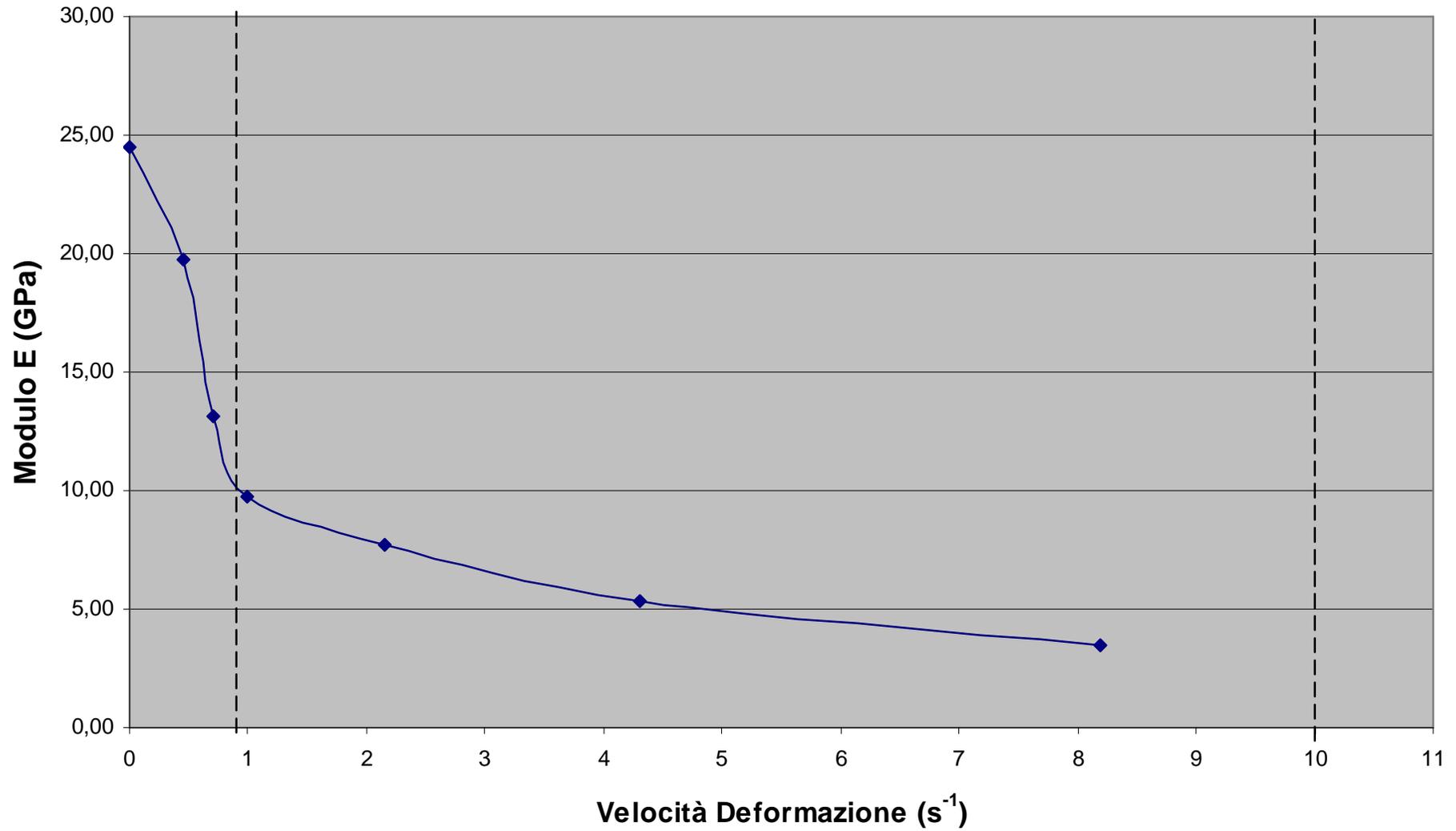
Dyneema 5,5 mm Nuovo Modulo E/Vd



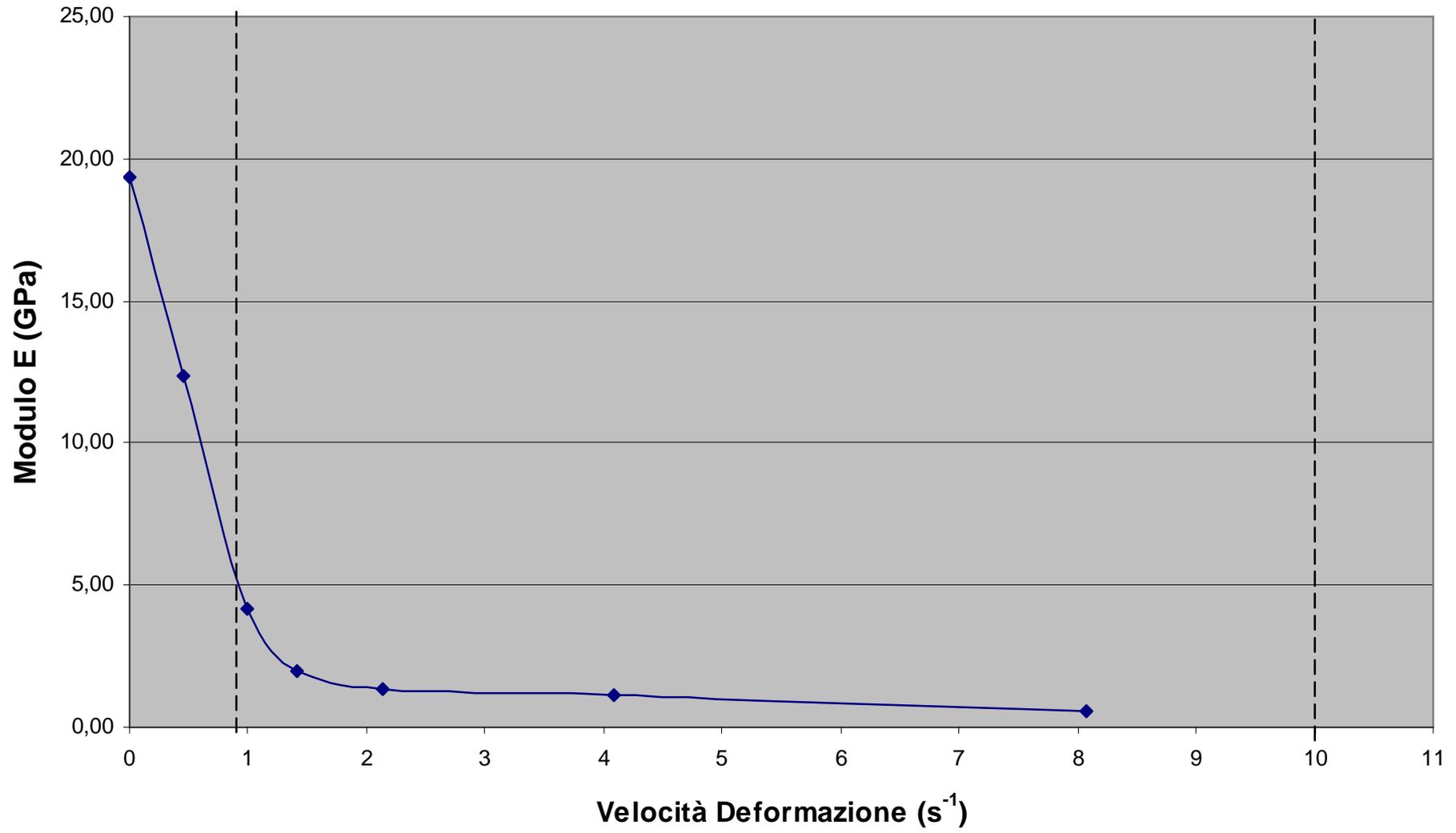
Kevlar 5,5 mm Carico Rottura/Vd



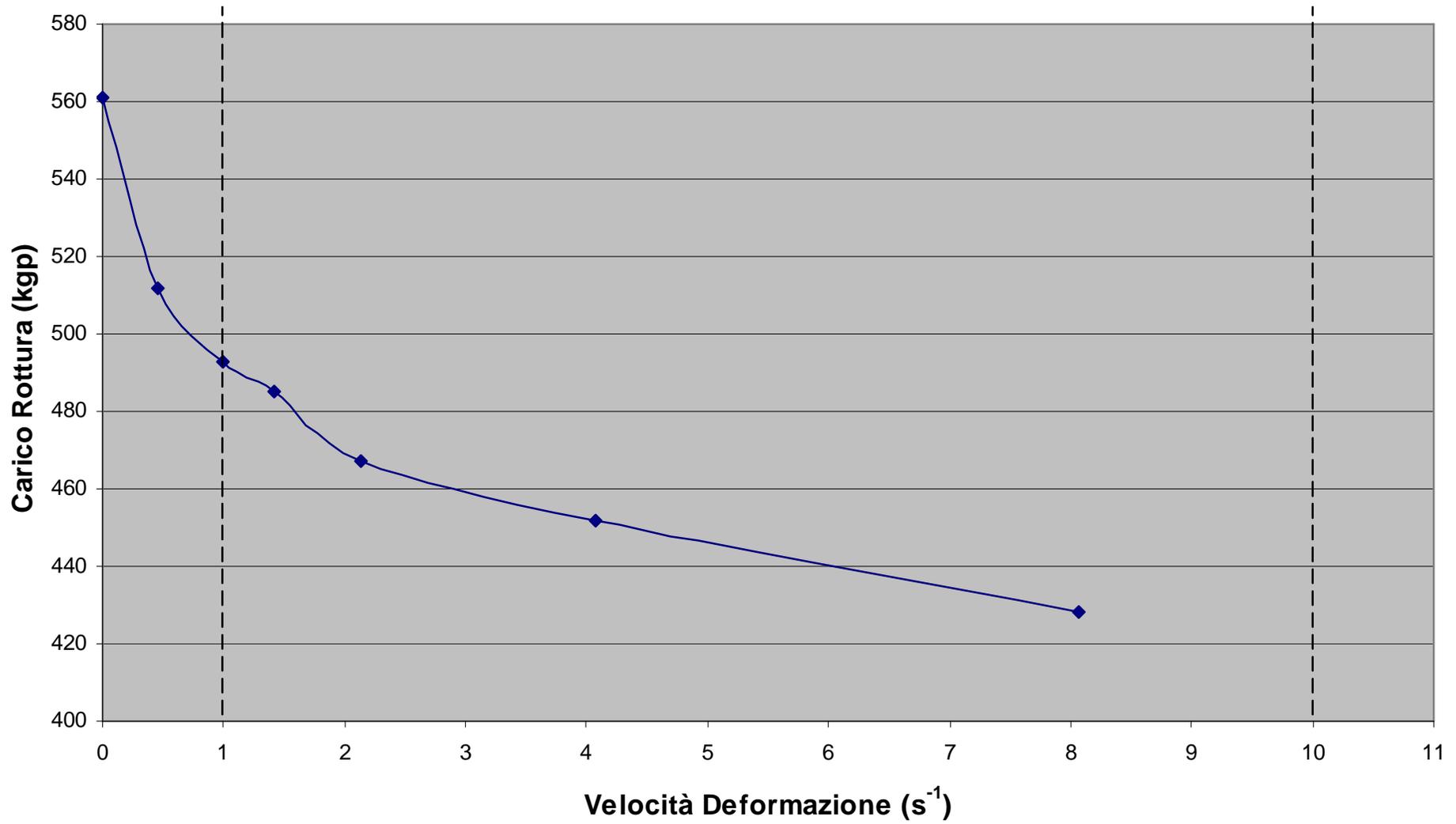
Dyneema 5,5 mm Nuovo Modulo E/Vd



Nylon 5,5 mm Nuovo Modulo E/Vd

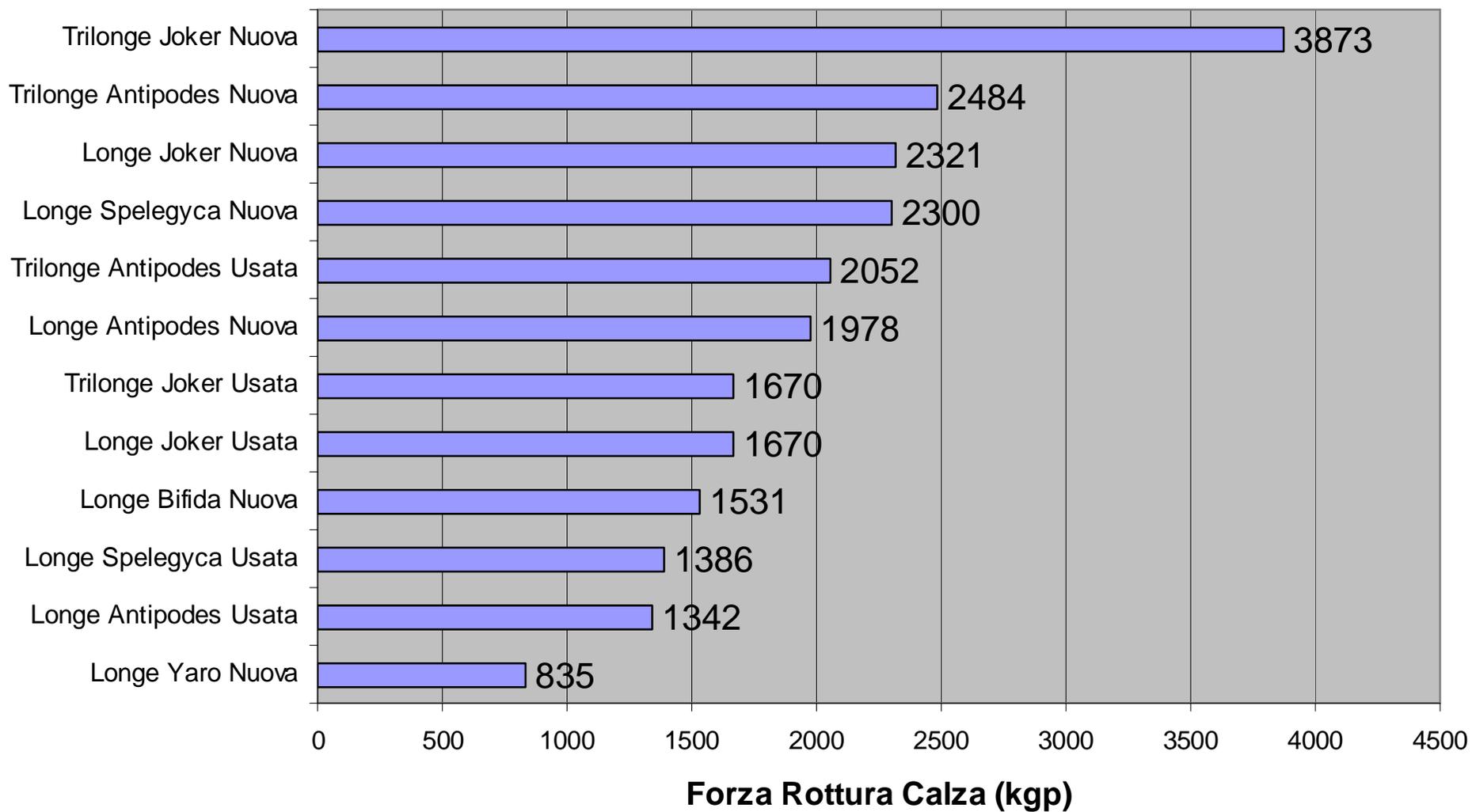


Nylon 5,5 mm Carico Rottura/Vd

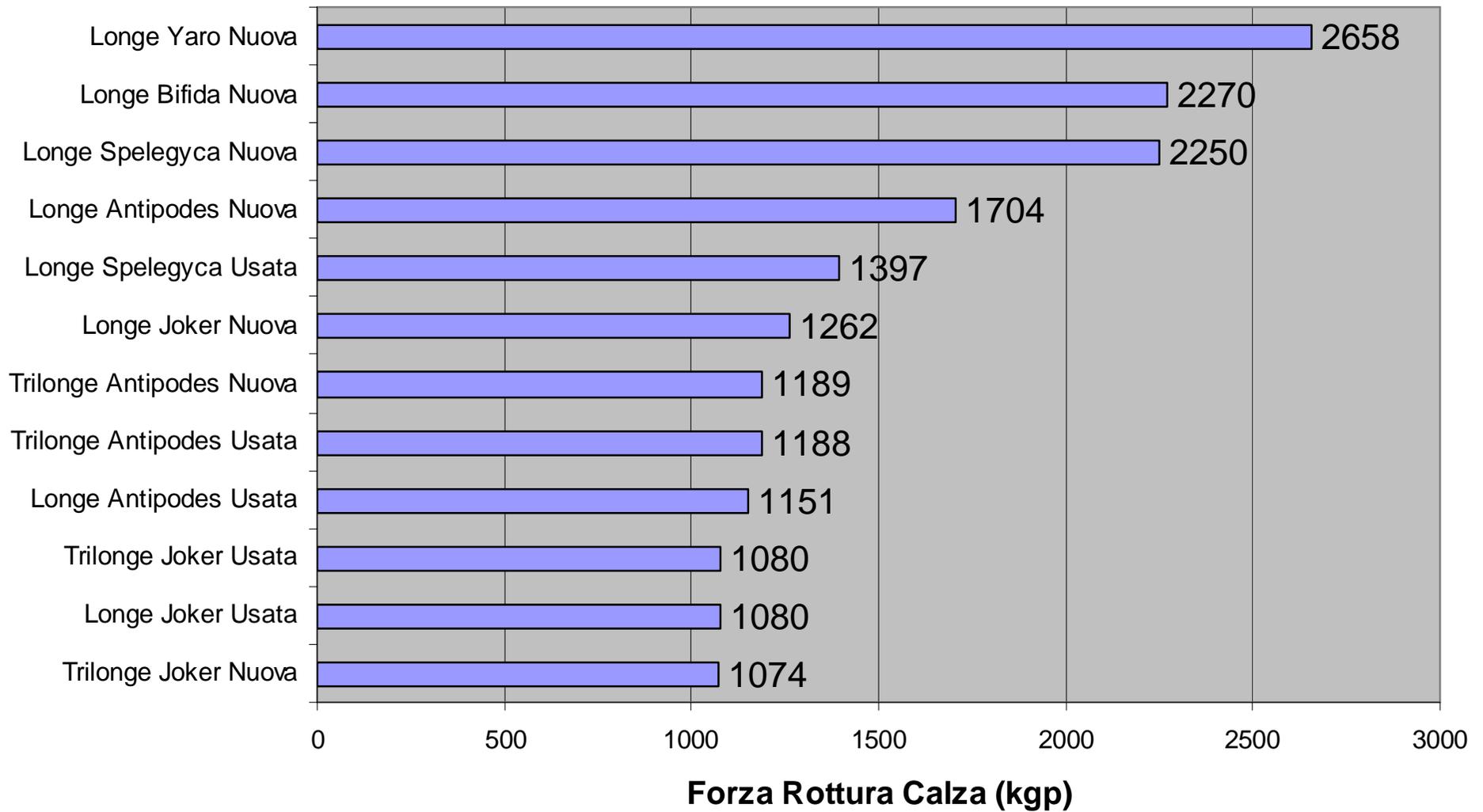


Longe Trilonge
Confezionate

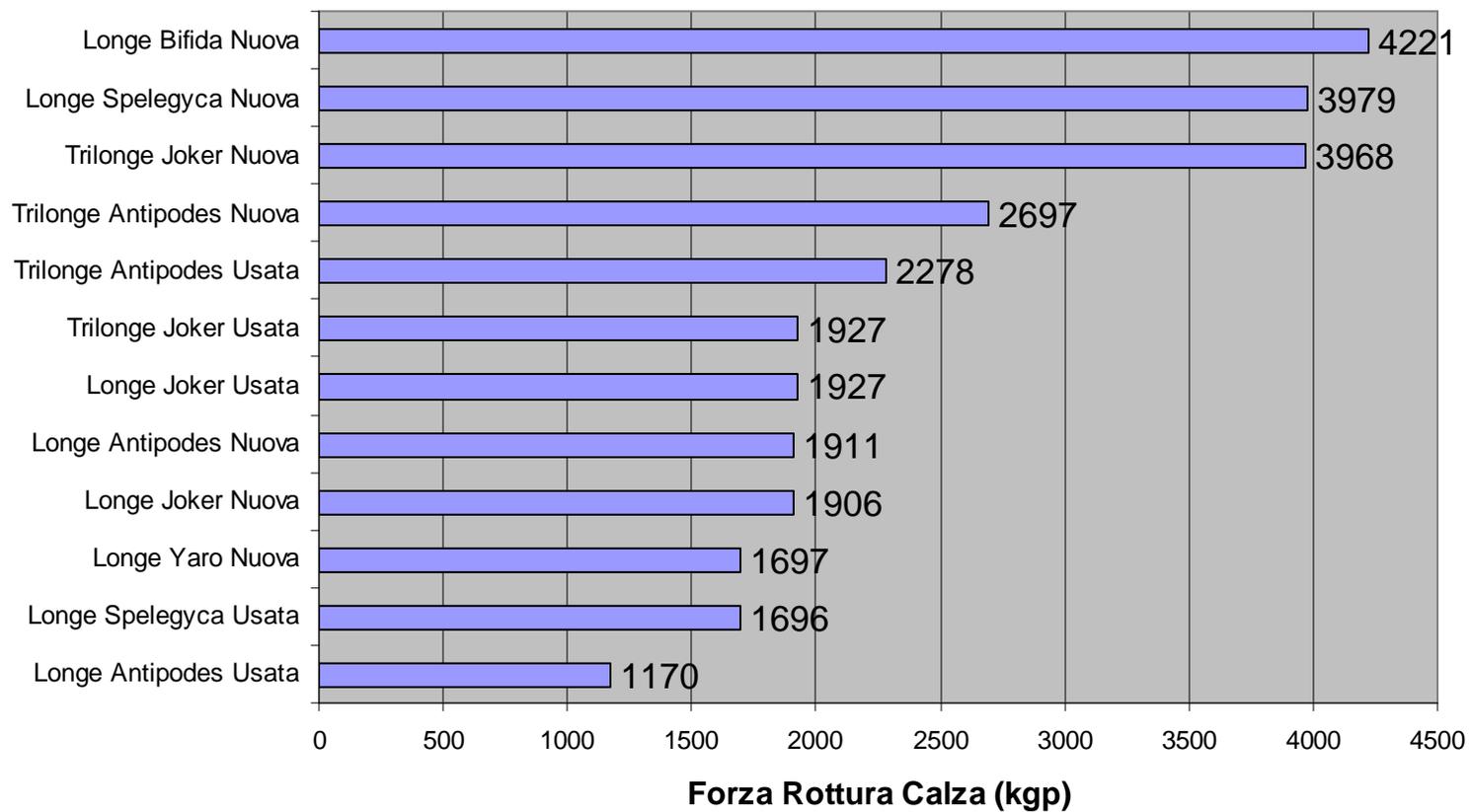
QS Longe-Trilonge-Confezionate/L_{carico}



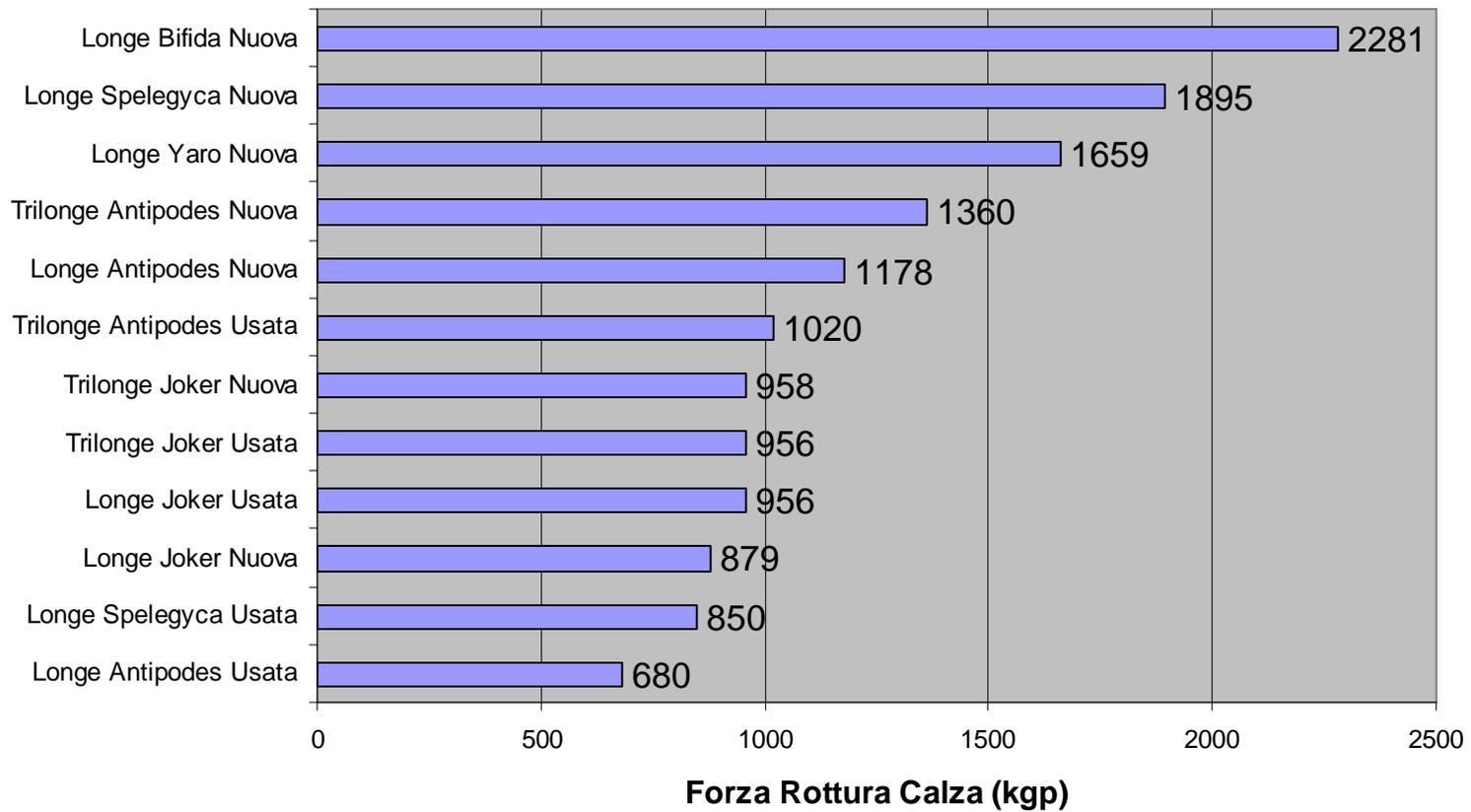
QS Longe-Trilonge-Confezionate/ F_r longe



H200 Longe-Trilonge-Confezionate/ L_{carico}



H200 Longe-Trilonge-Confezionate/ $F_{r\ longe}$

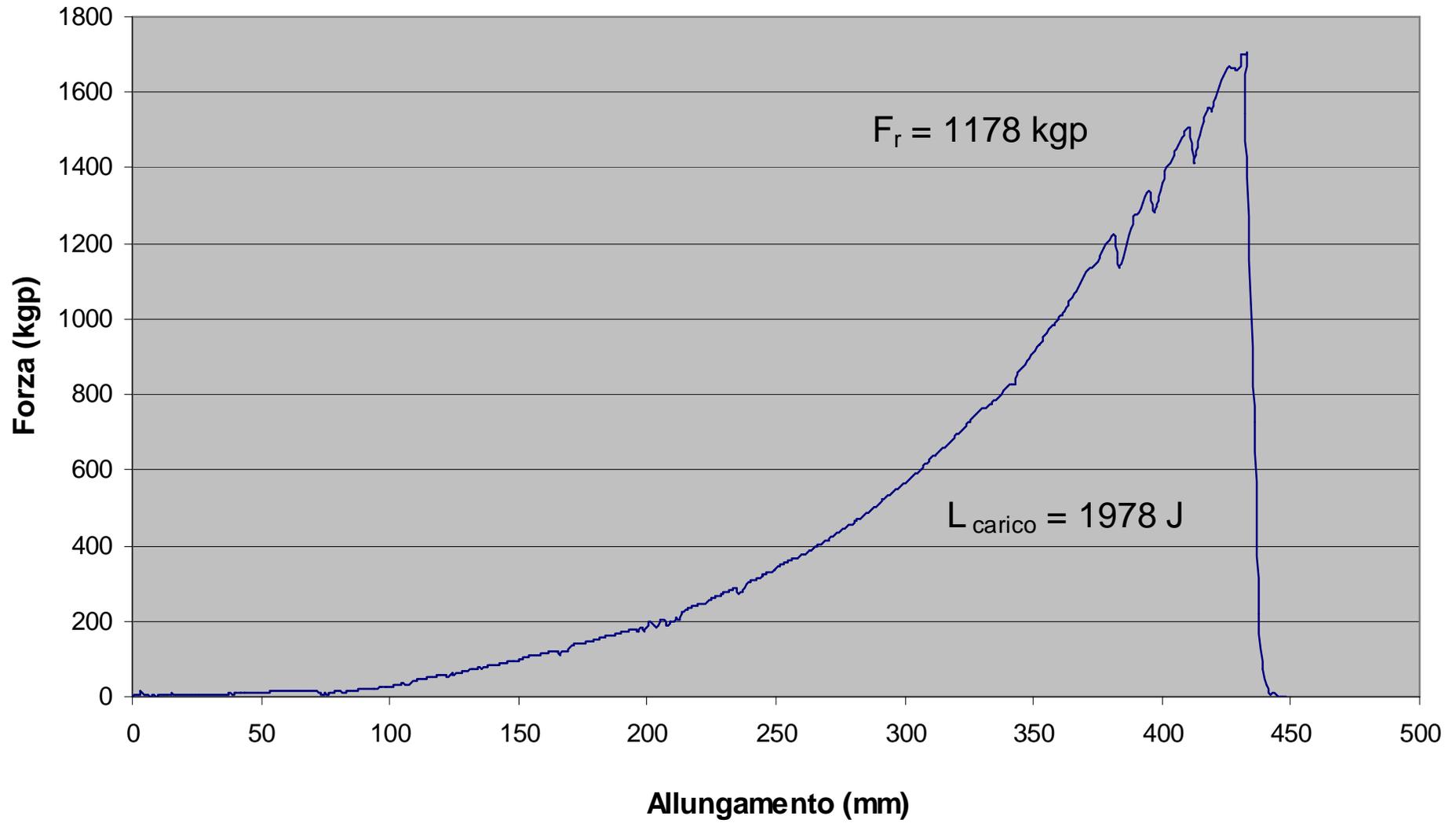


Confronto

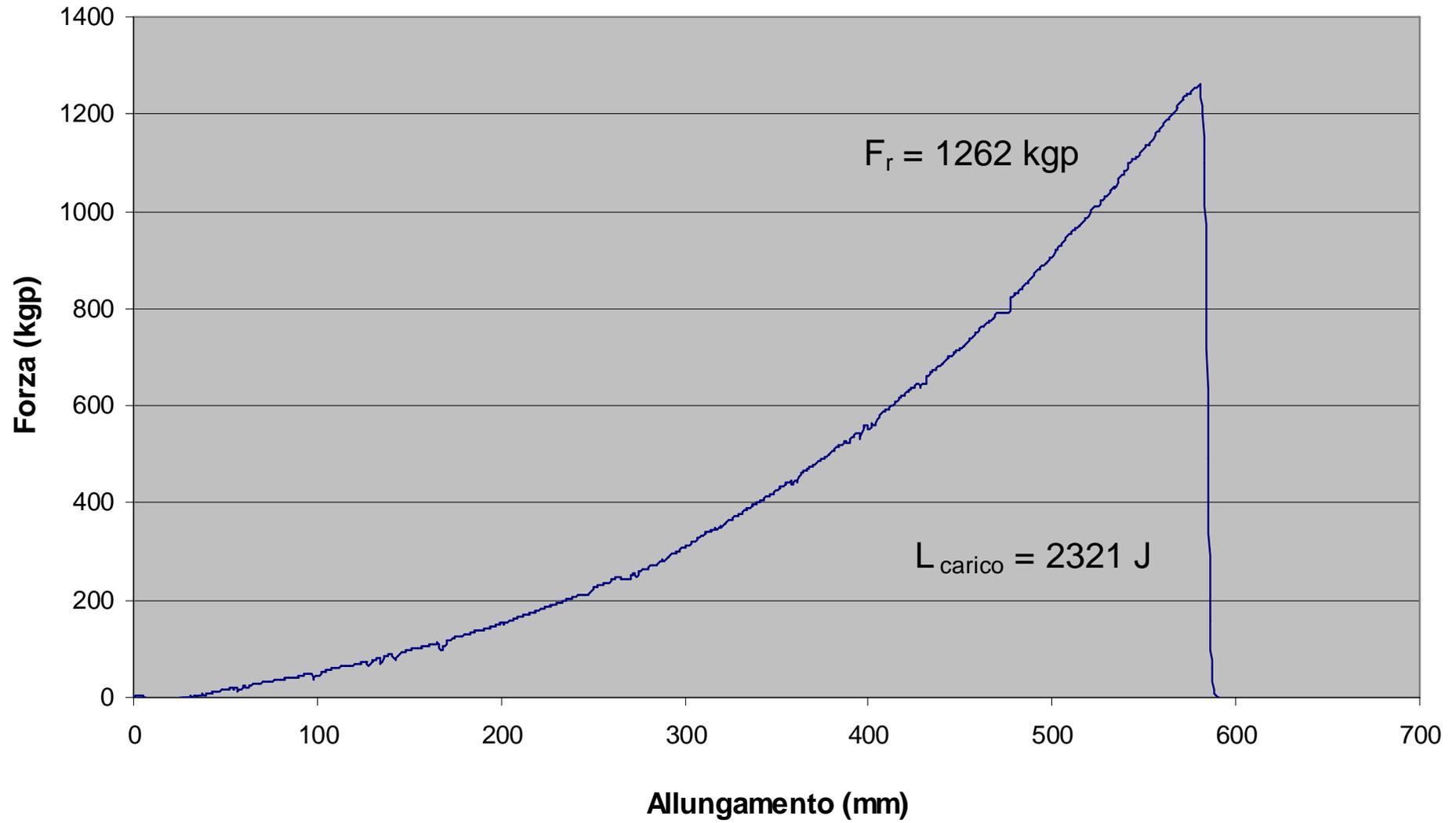
longe

varie

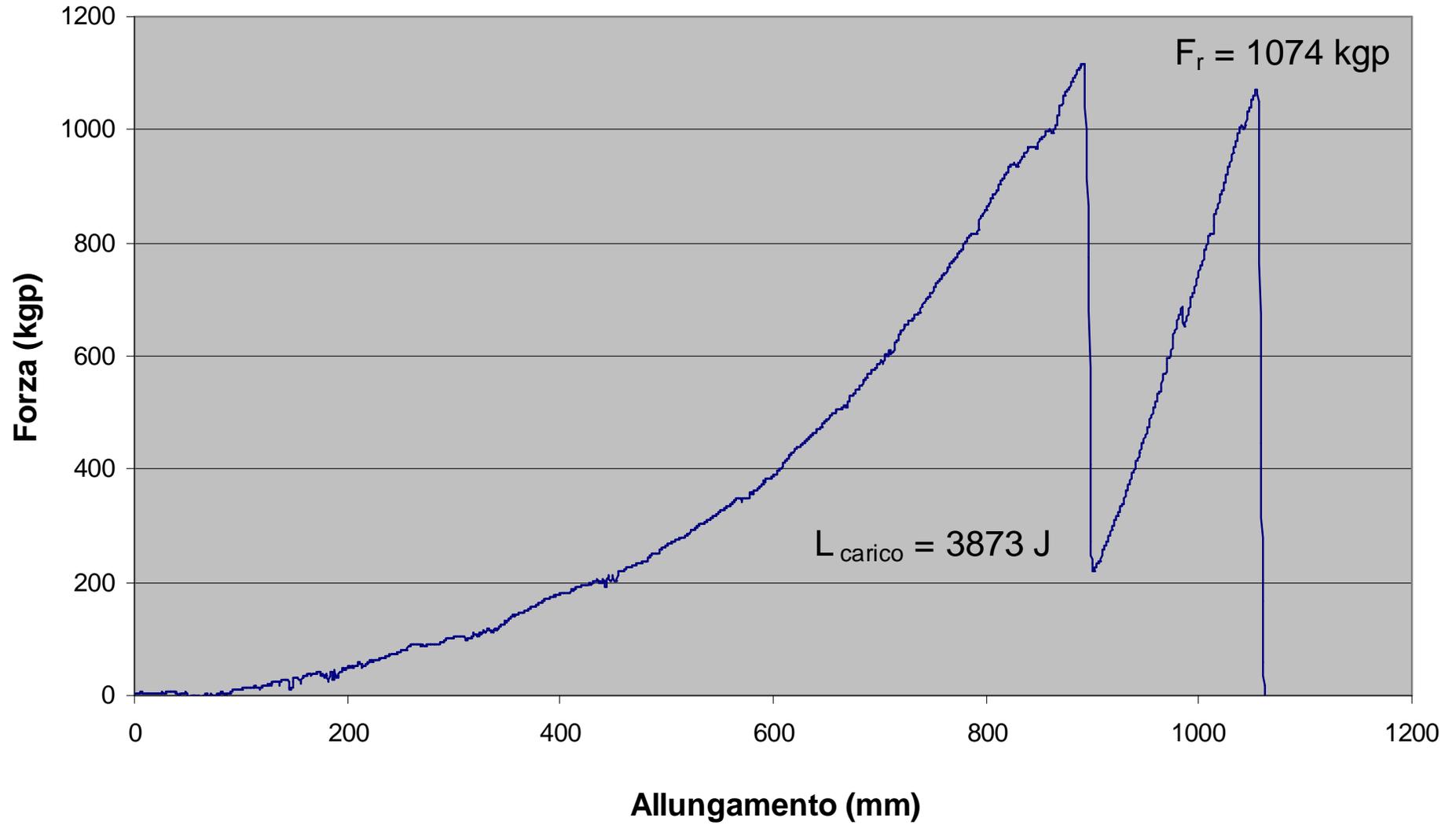
QS Longe Antipodes 10 mm Nuova



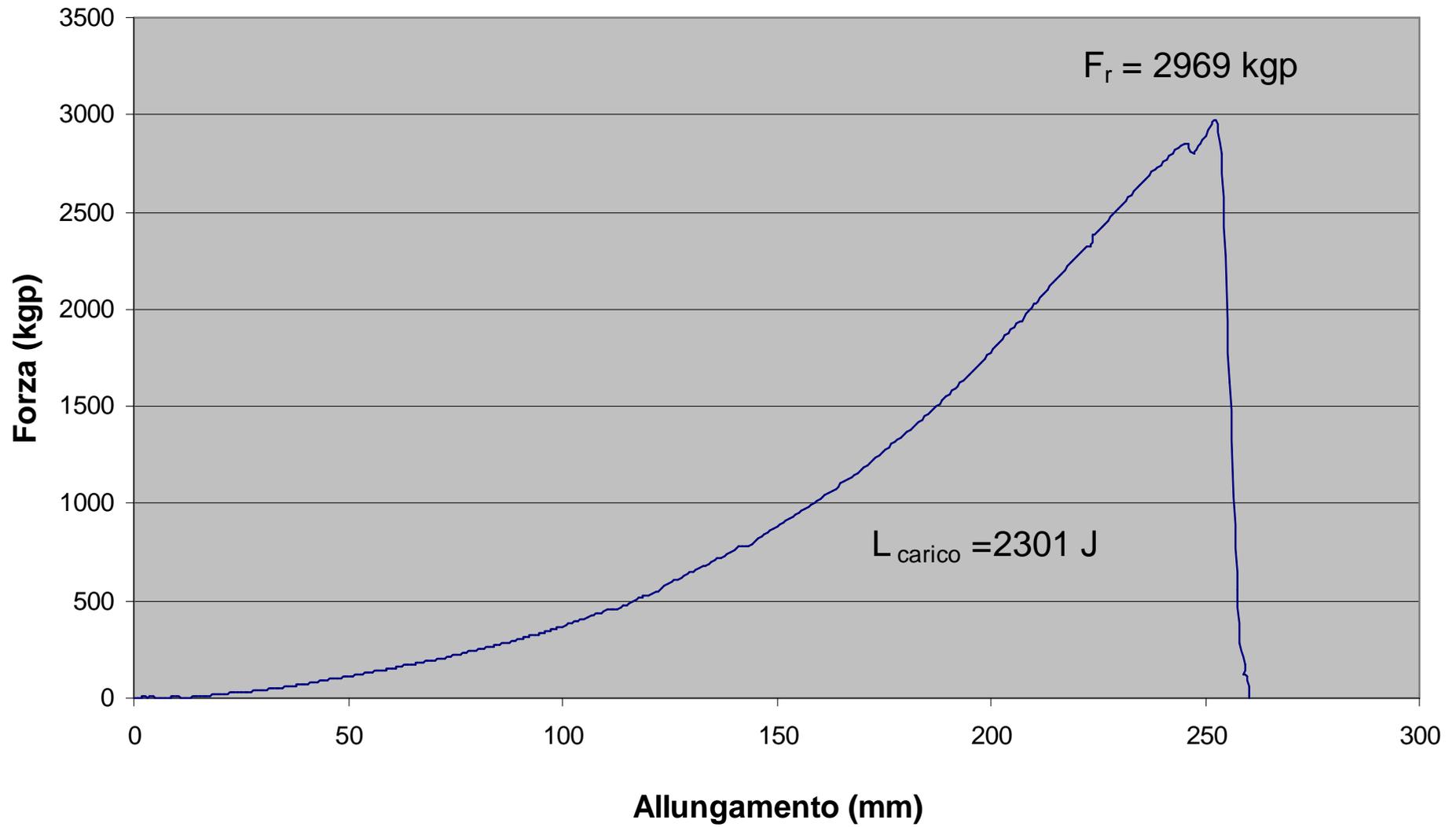
QS Longe Joker 9,1 mm Nuova



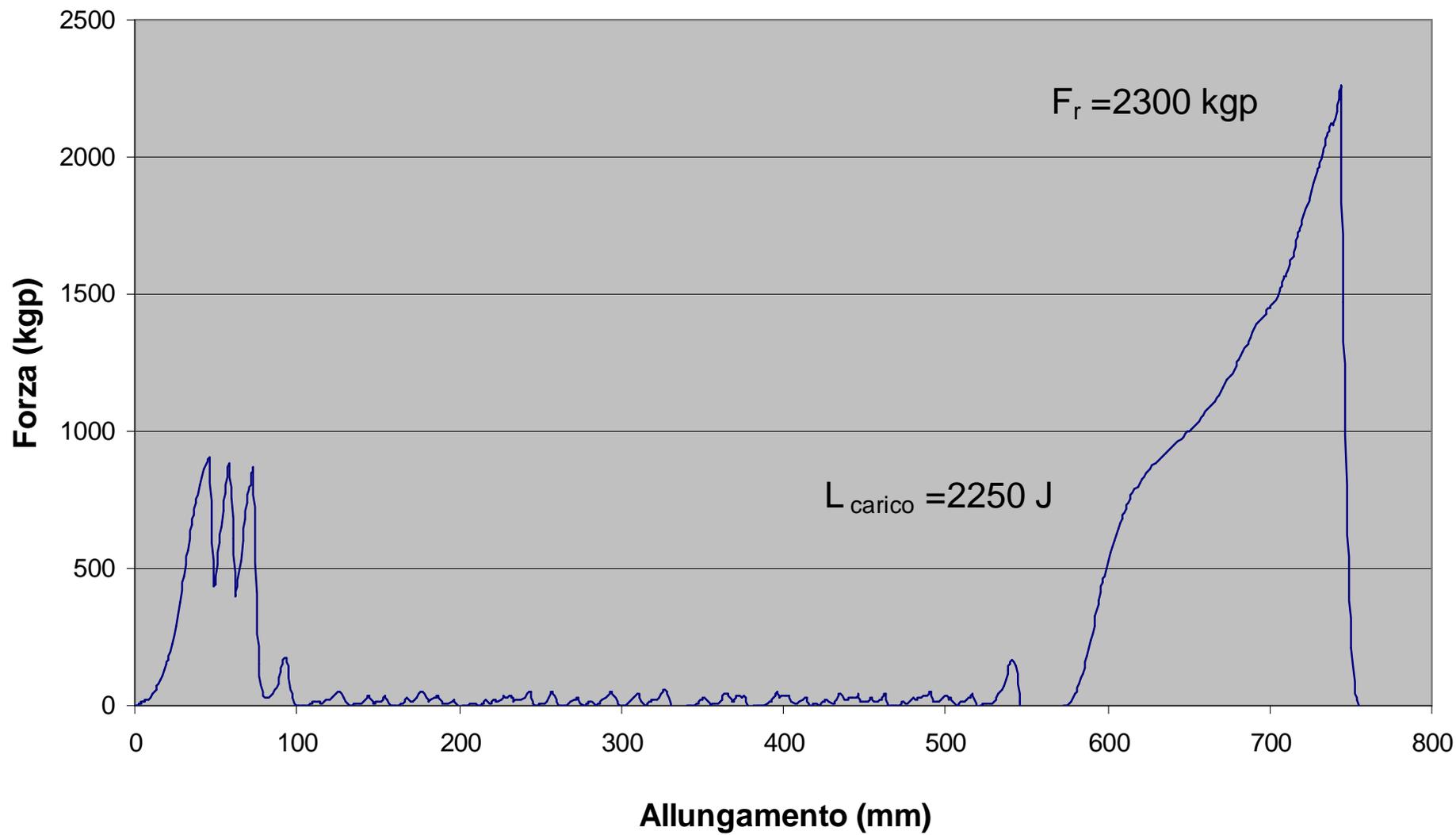
QS TriLonge Joker 9,1 mm Nuova



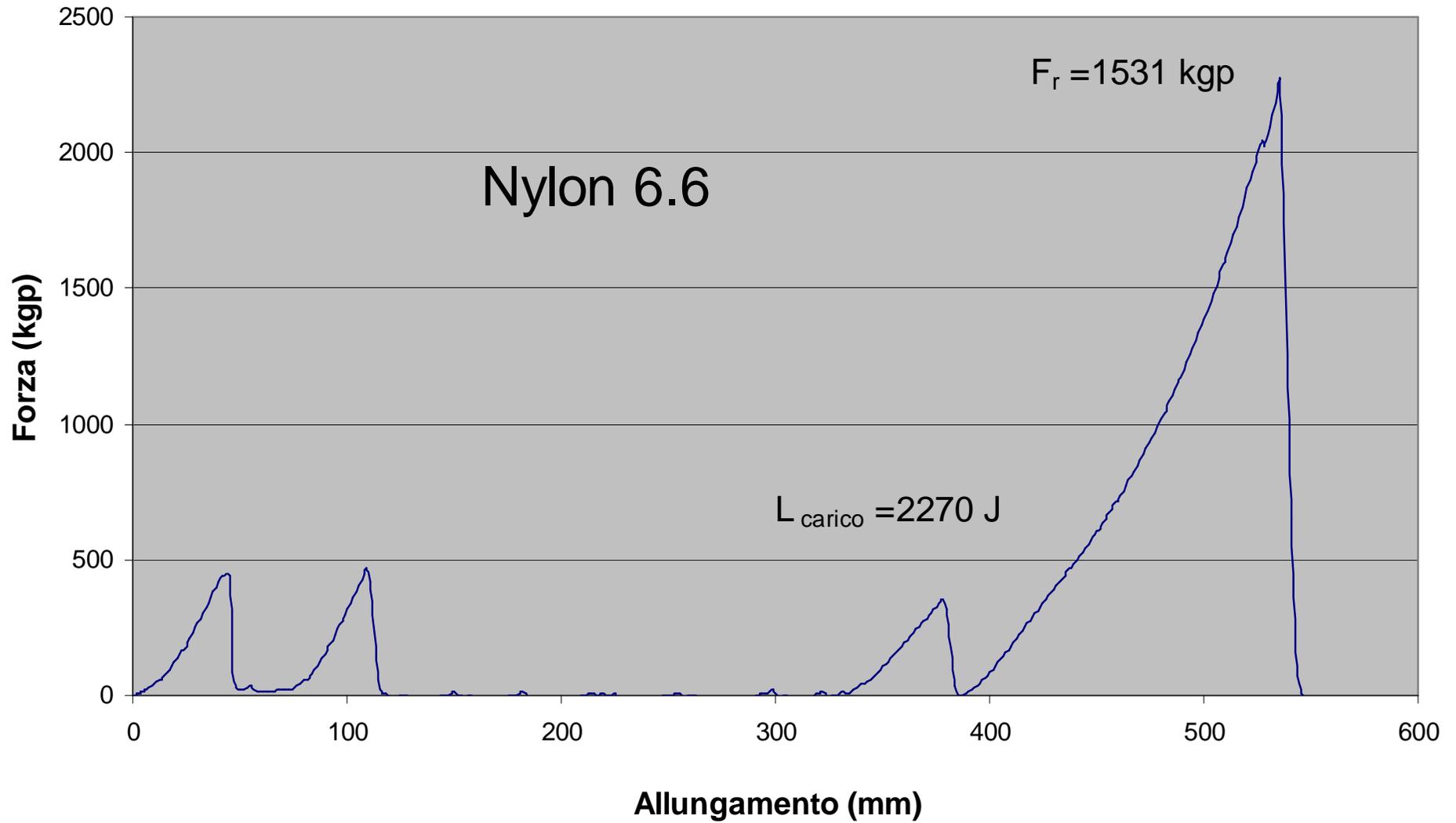
QS Longe Progress Nuova



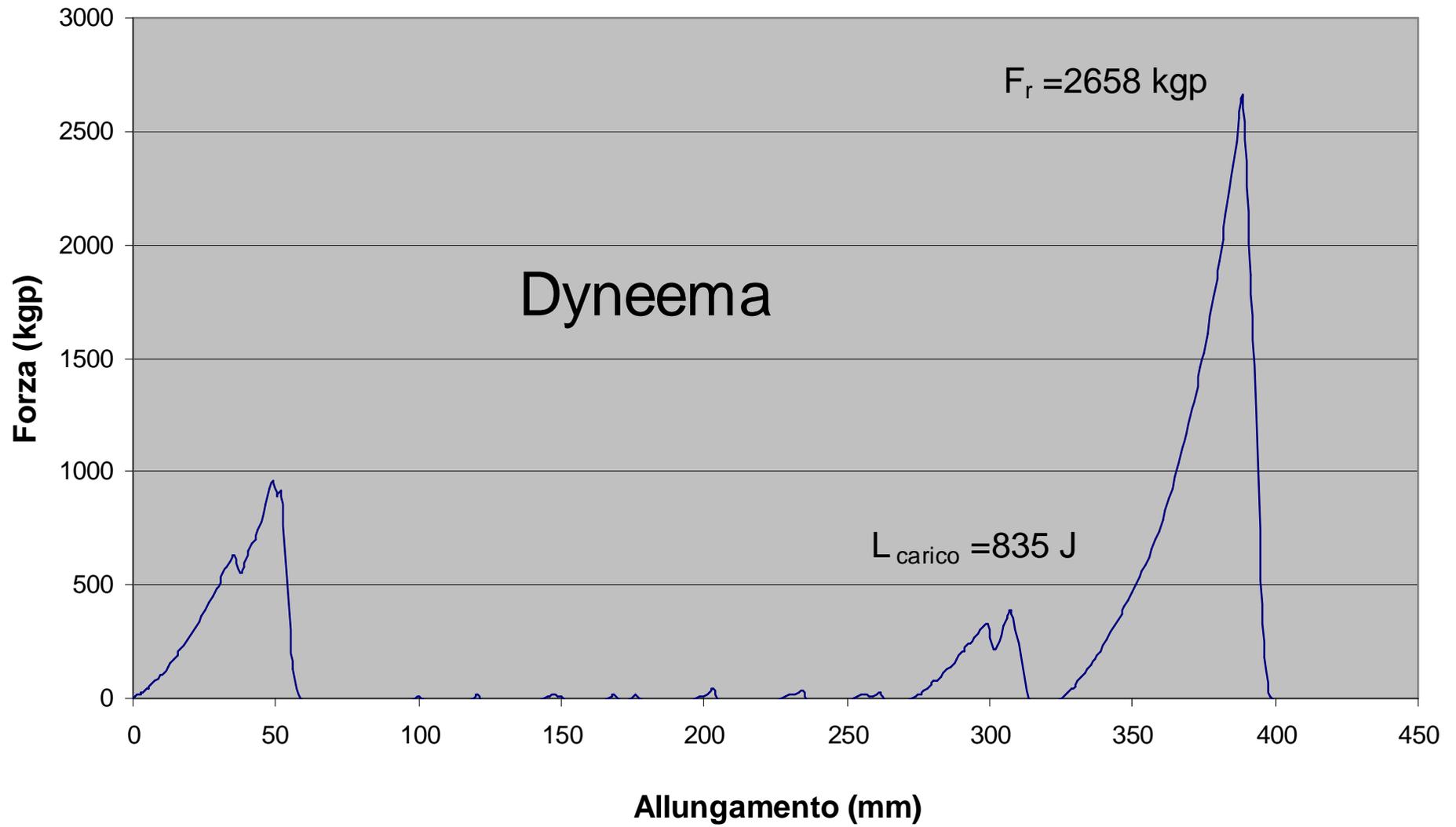
QS Longe Spelegyca Nuova



QS Longe Bifida Nuova

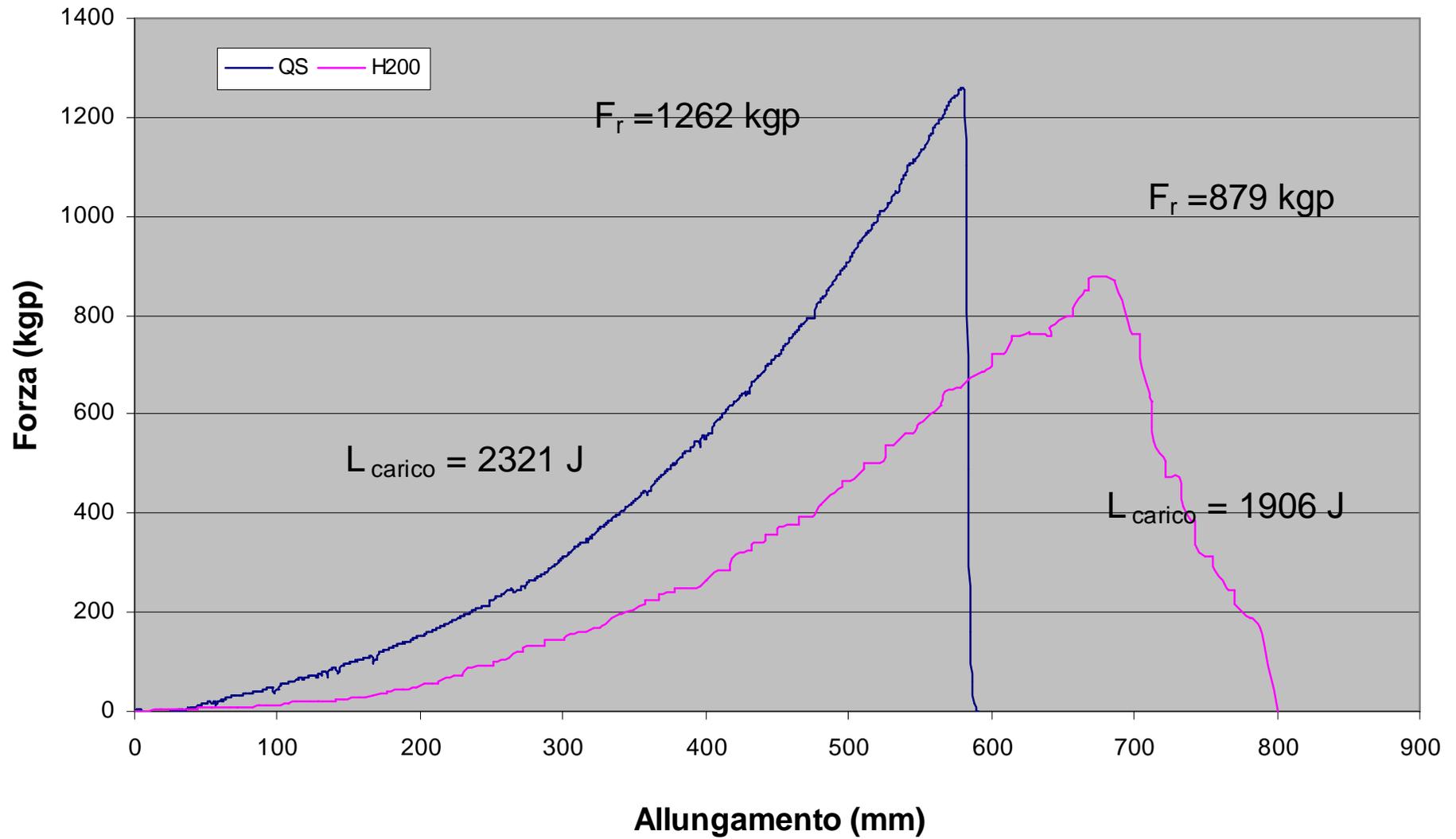


QS Longe Y ARO Nuova



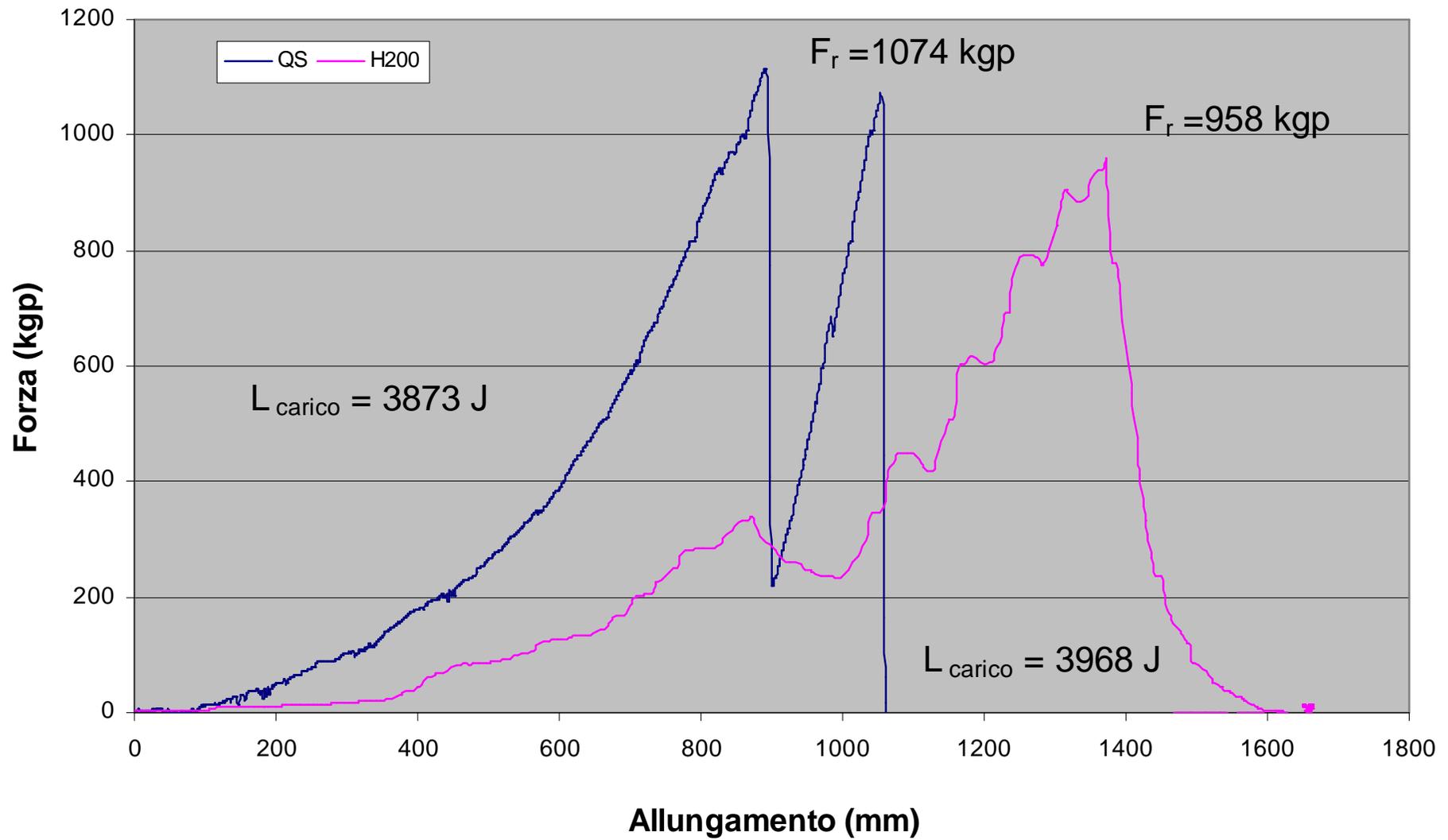
QS/H200cm

Longe Joker 9,1 mm Nuova

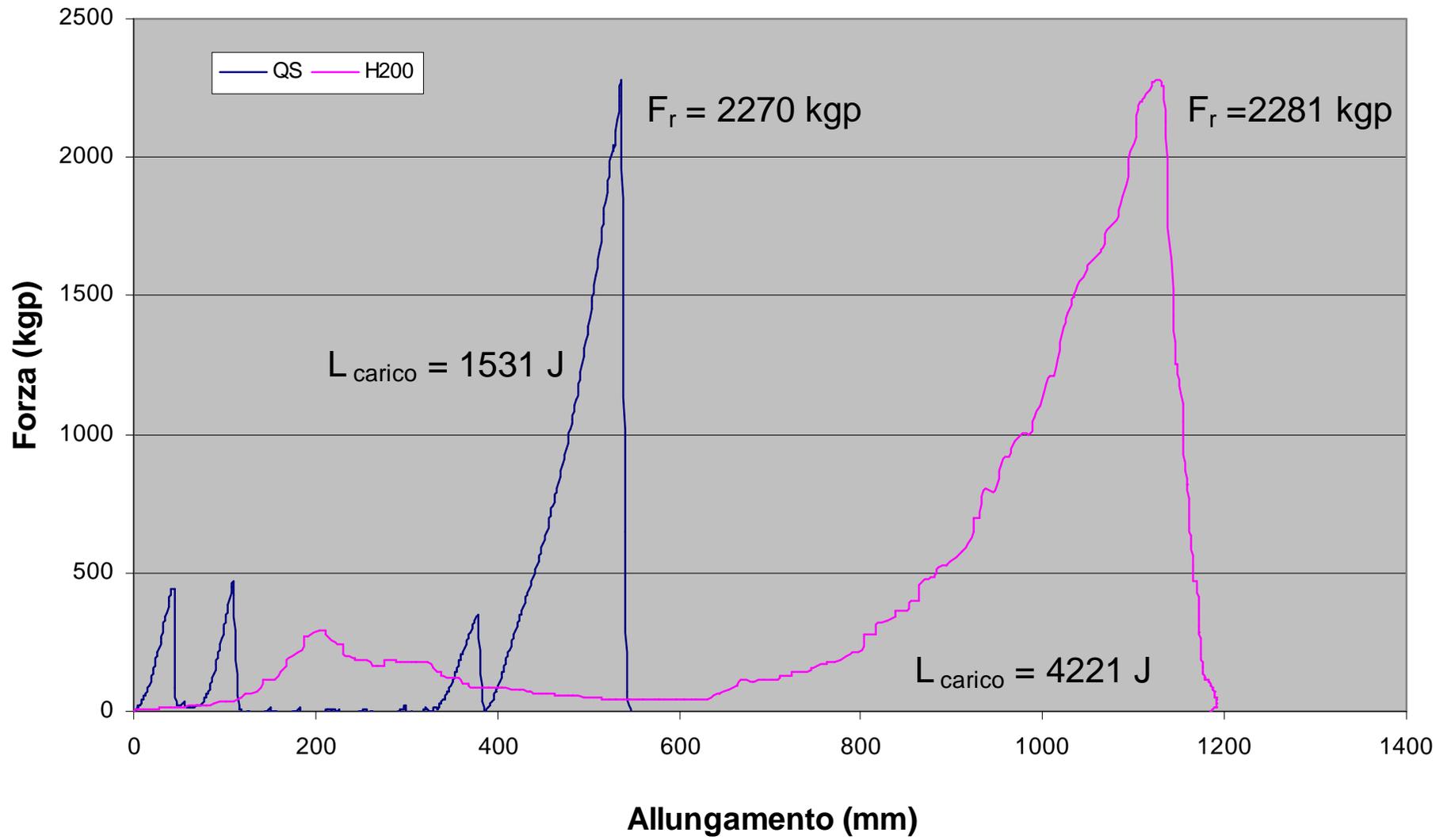


QS/H200cm

TriLonge Joker 9,1 mm Nuova

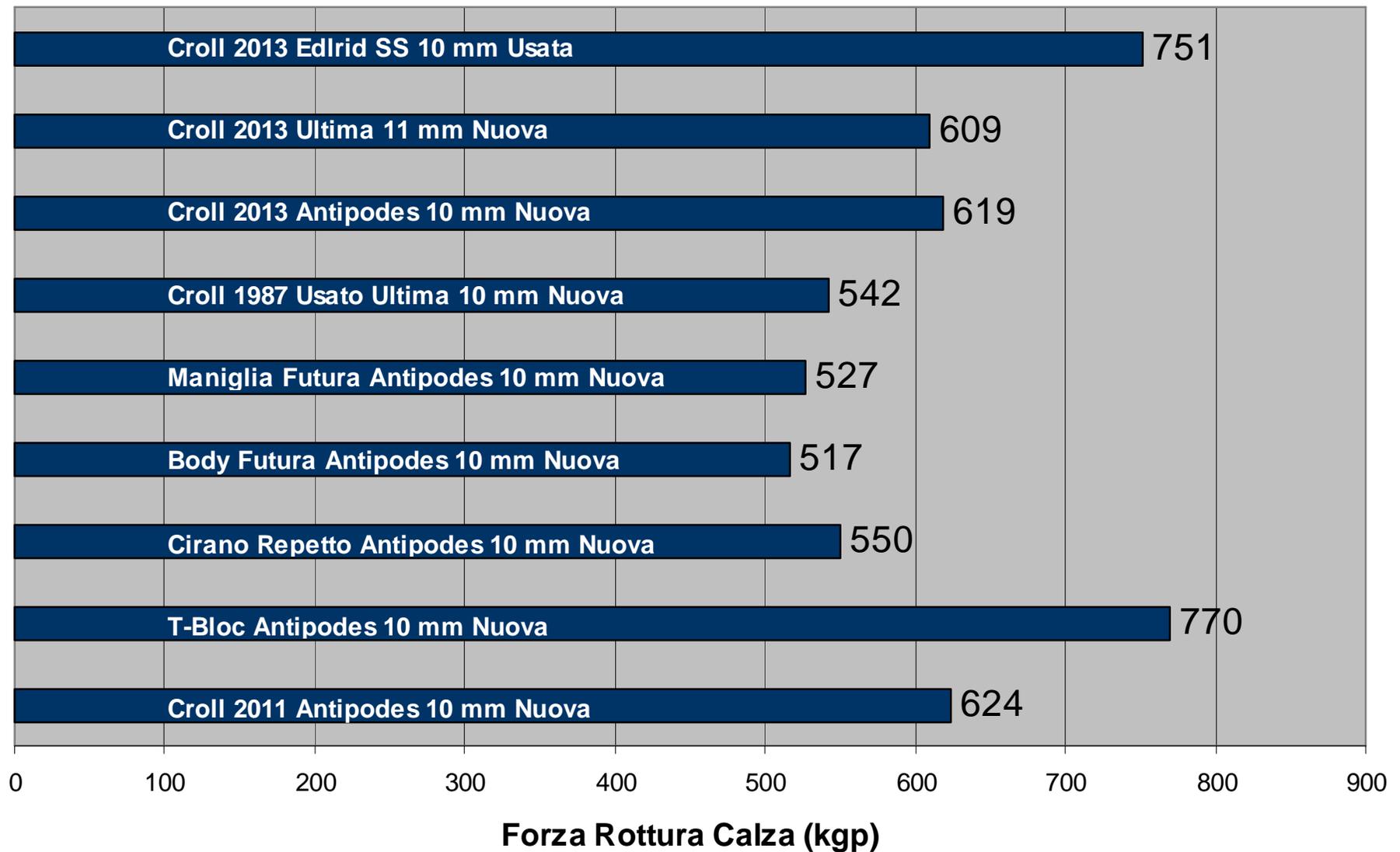


QS/H200cm Bifida Nuova

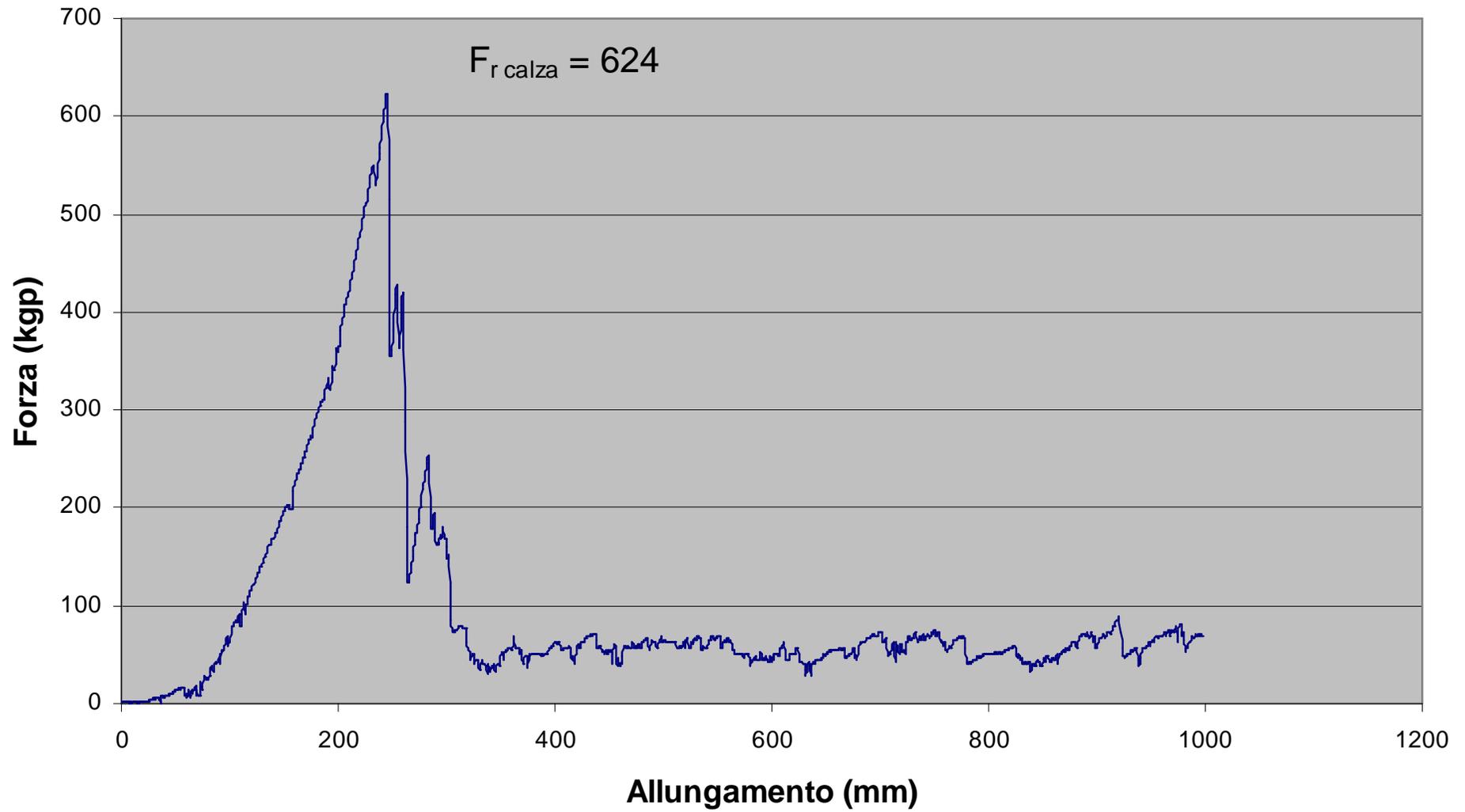


Corde e
bloccanti

QS Bloccante-Corda/Carico Rottura Calza

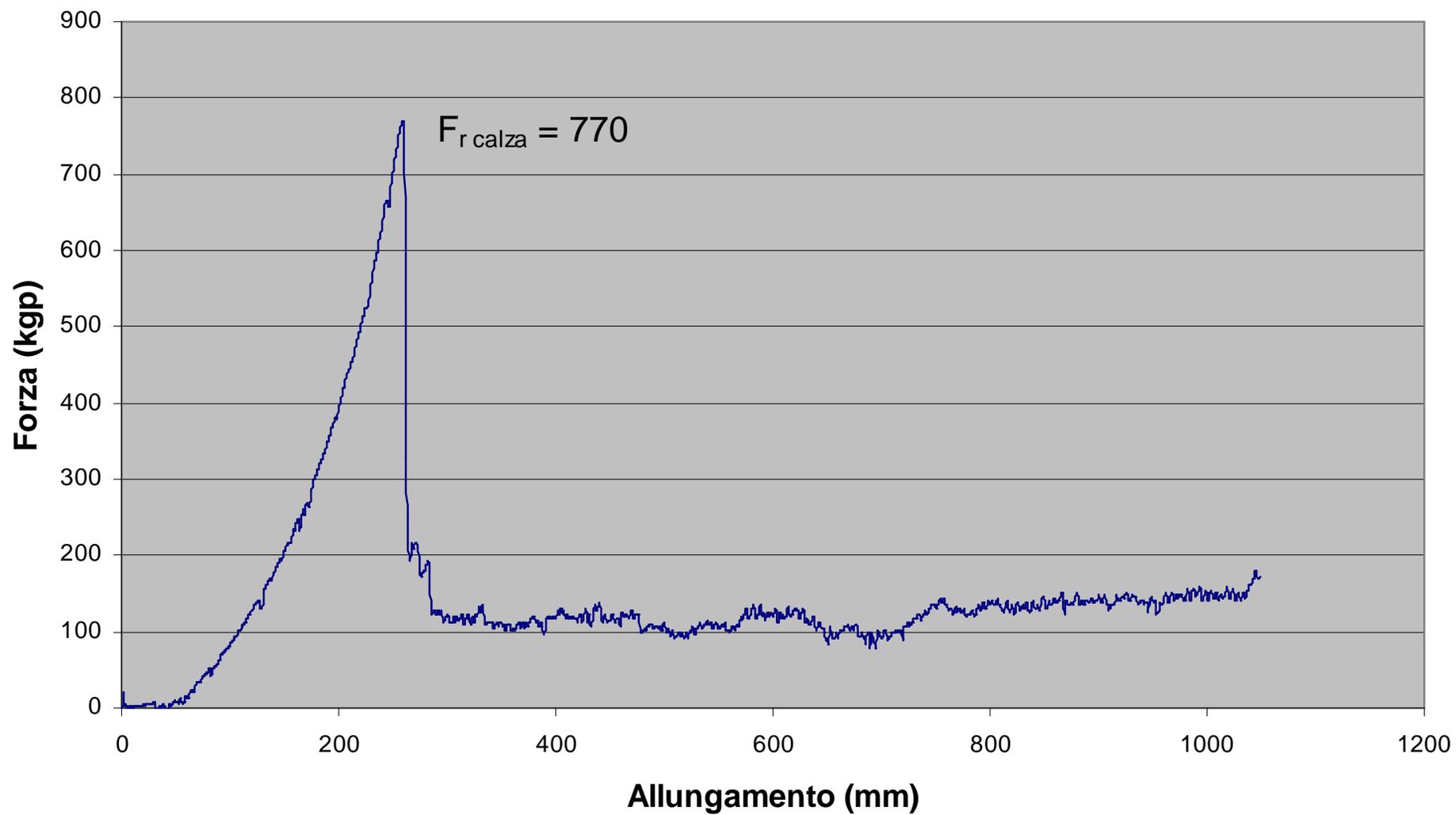


QS Croll 2011/AntipodesNuova



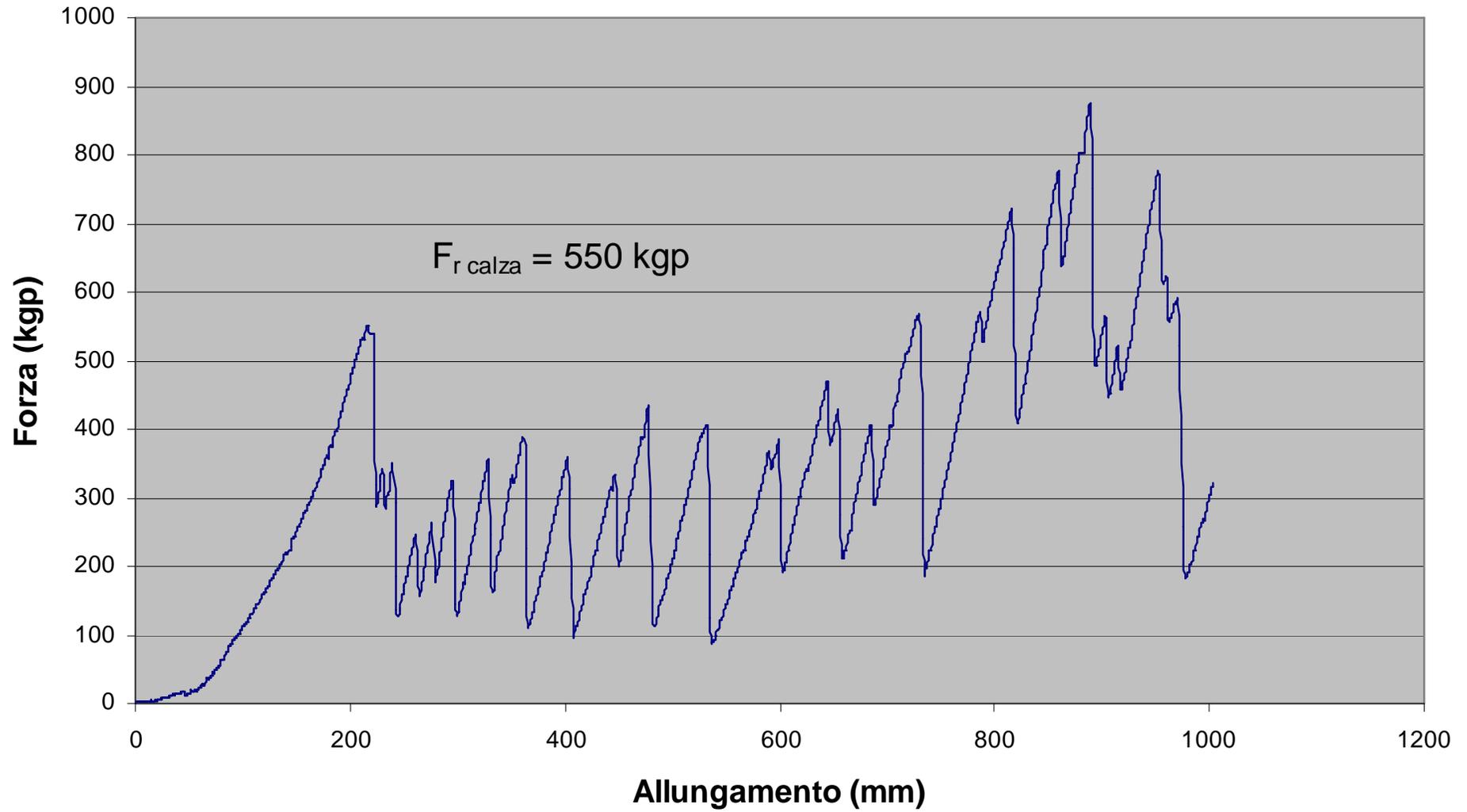
QS

T-Bloc/AntipodesNuova



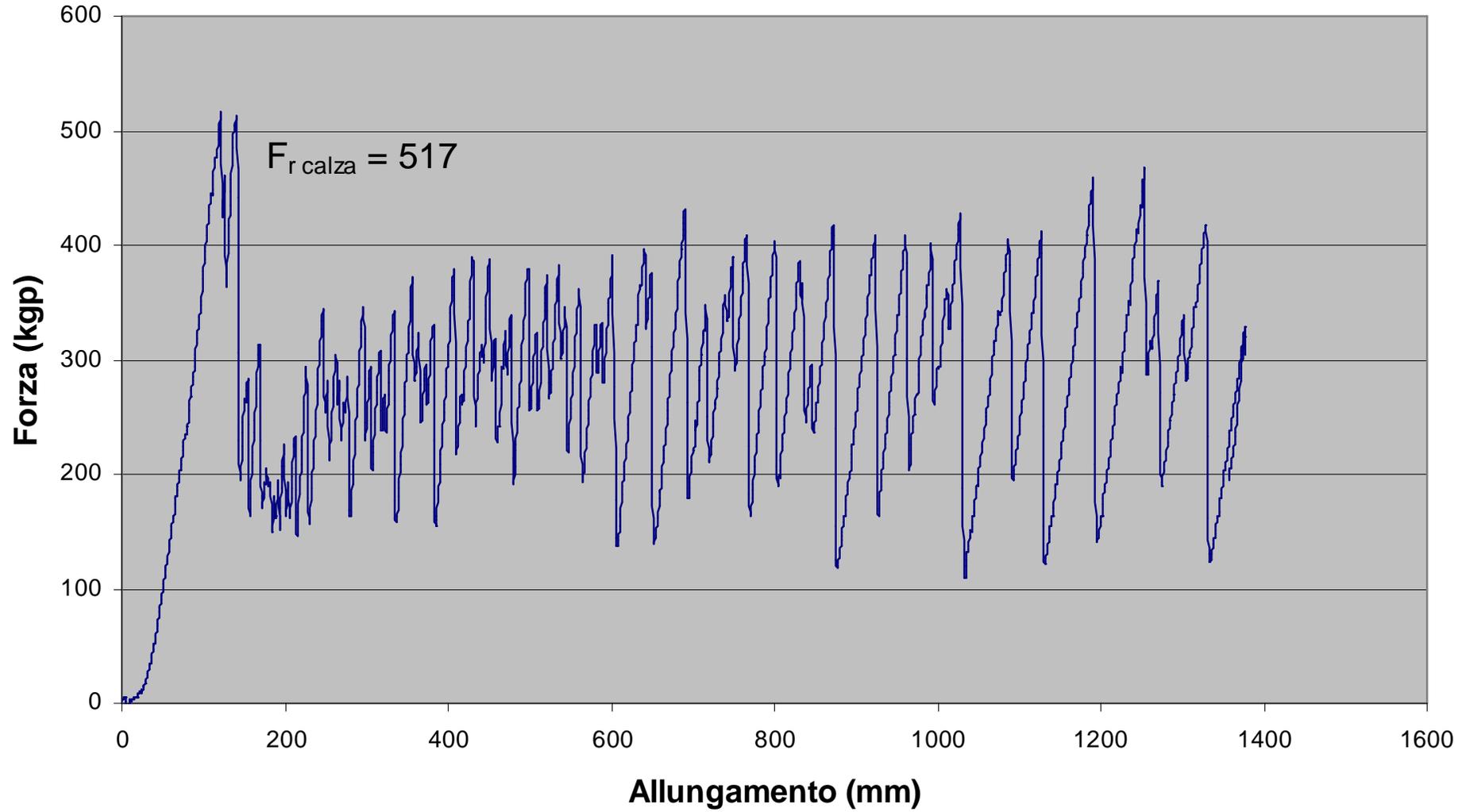
QS

CiranoRepetto/AntipodesNuova

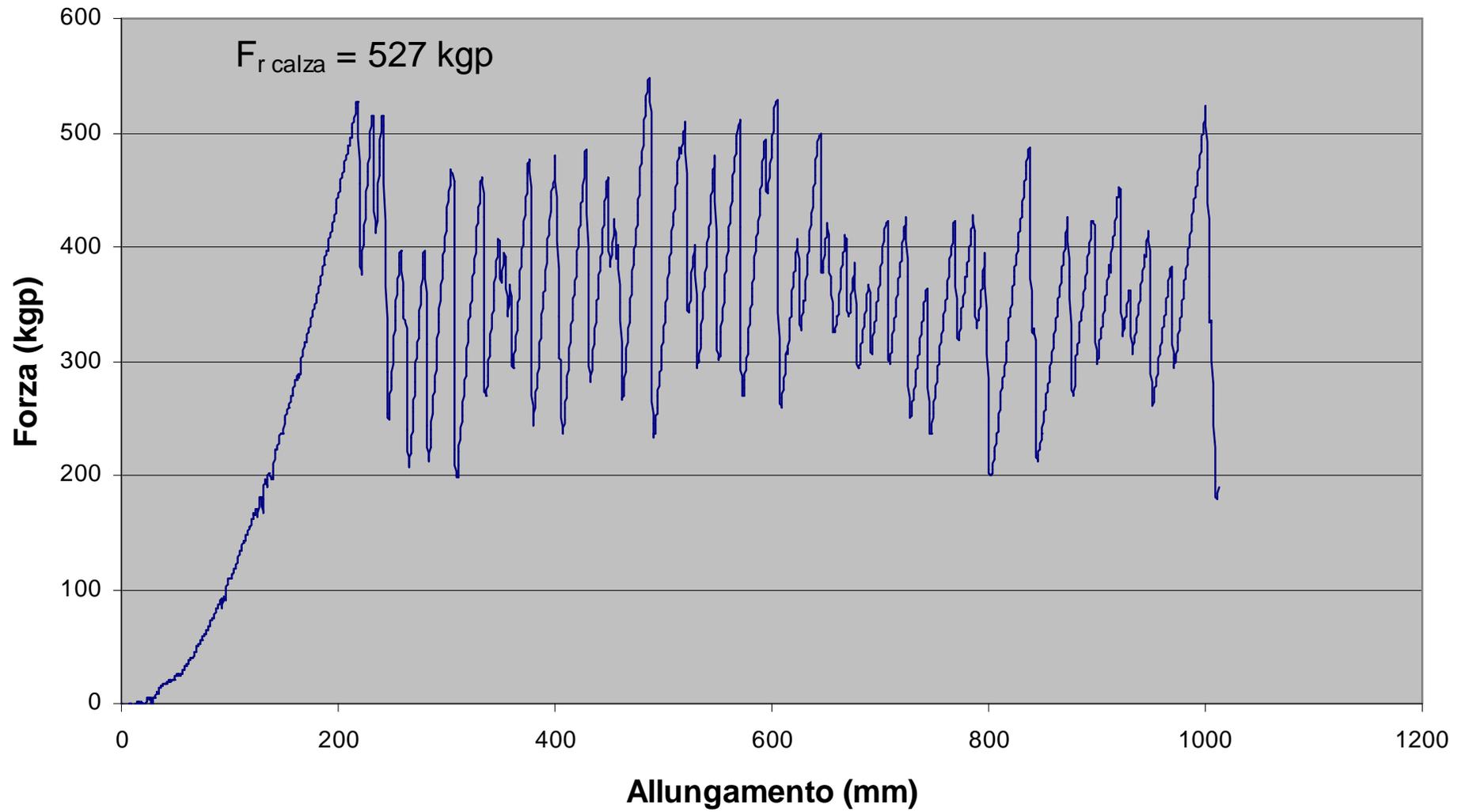


QS

BodyFutura/AntipodesNuova

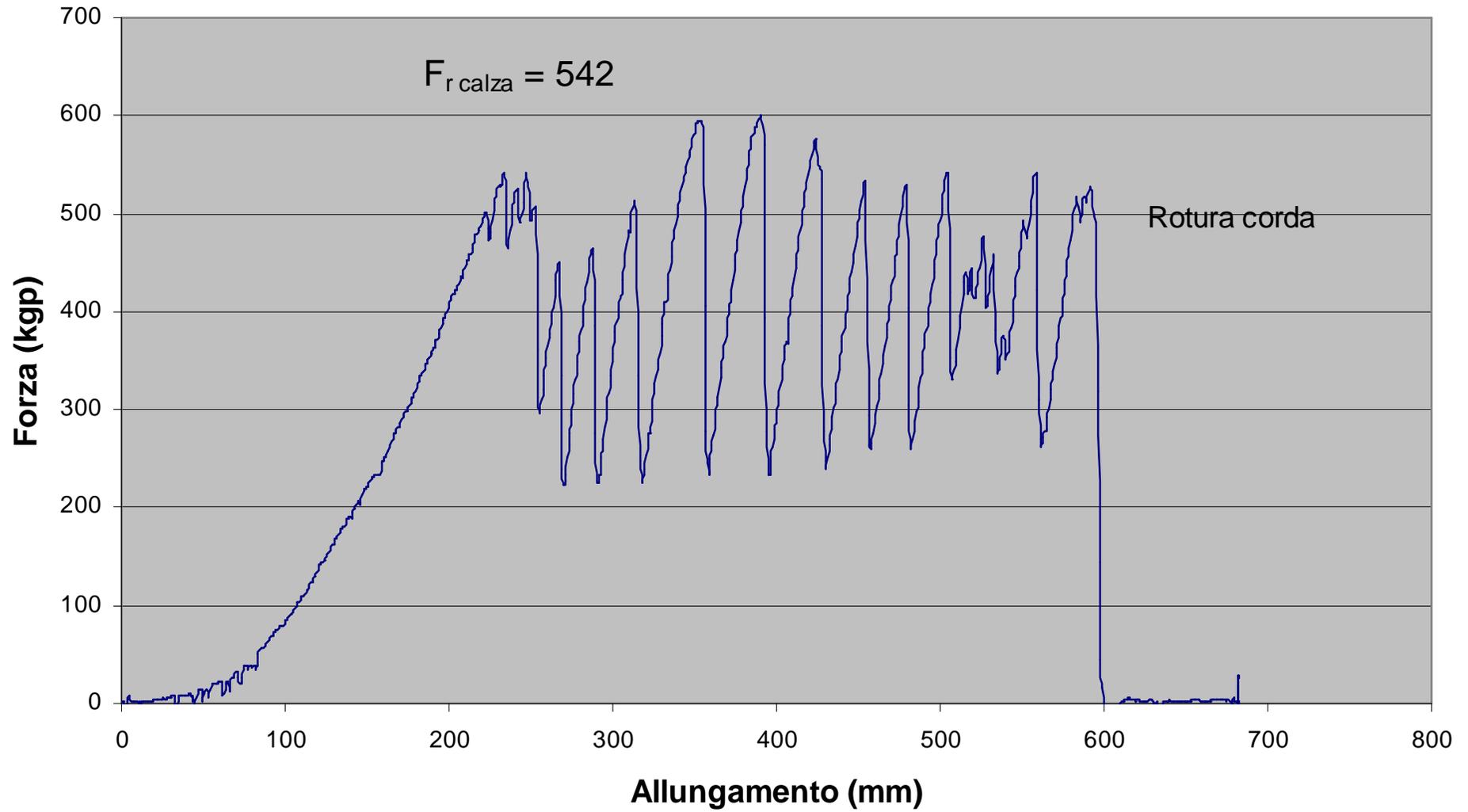


QS ManigliaFutura/AntipodesNuova

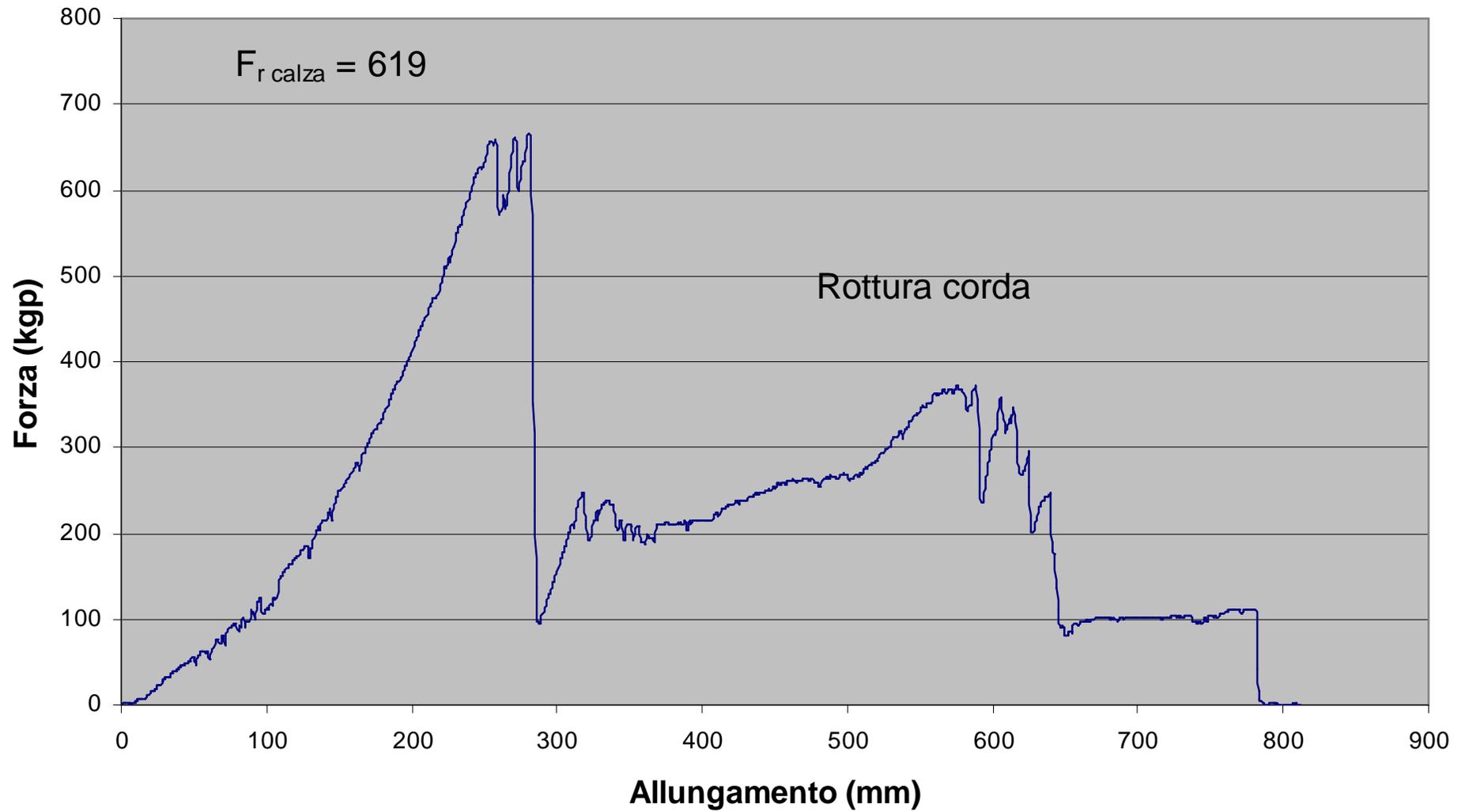


QS

Croll 1987Usato/Ultima10Nuova

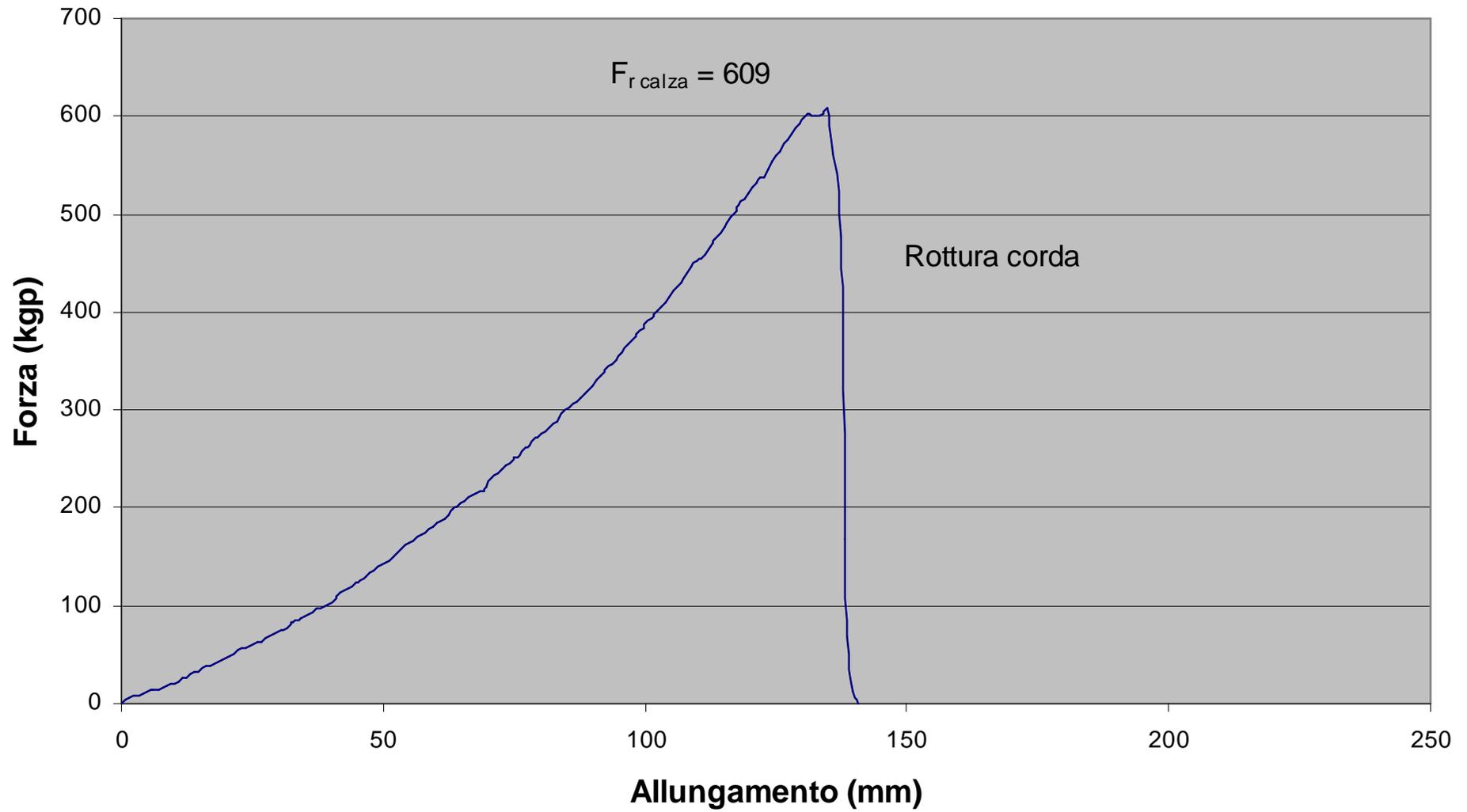


QS Croll 2013/AntipodesNuova

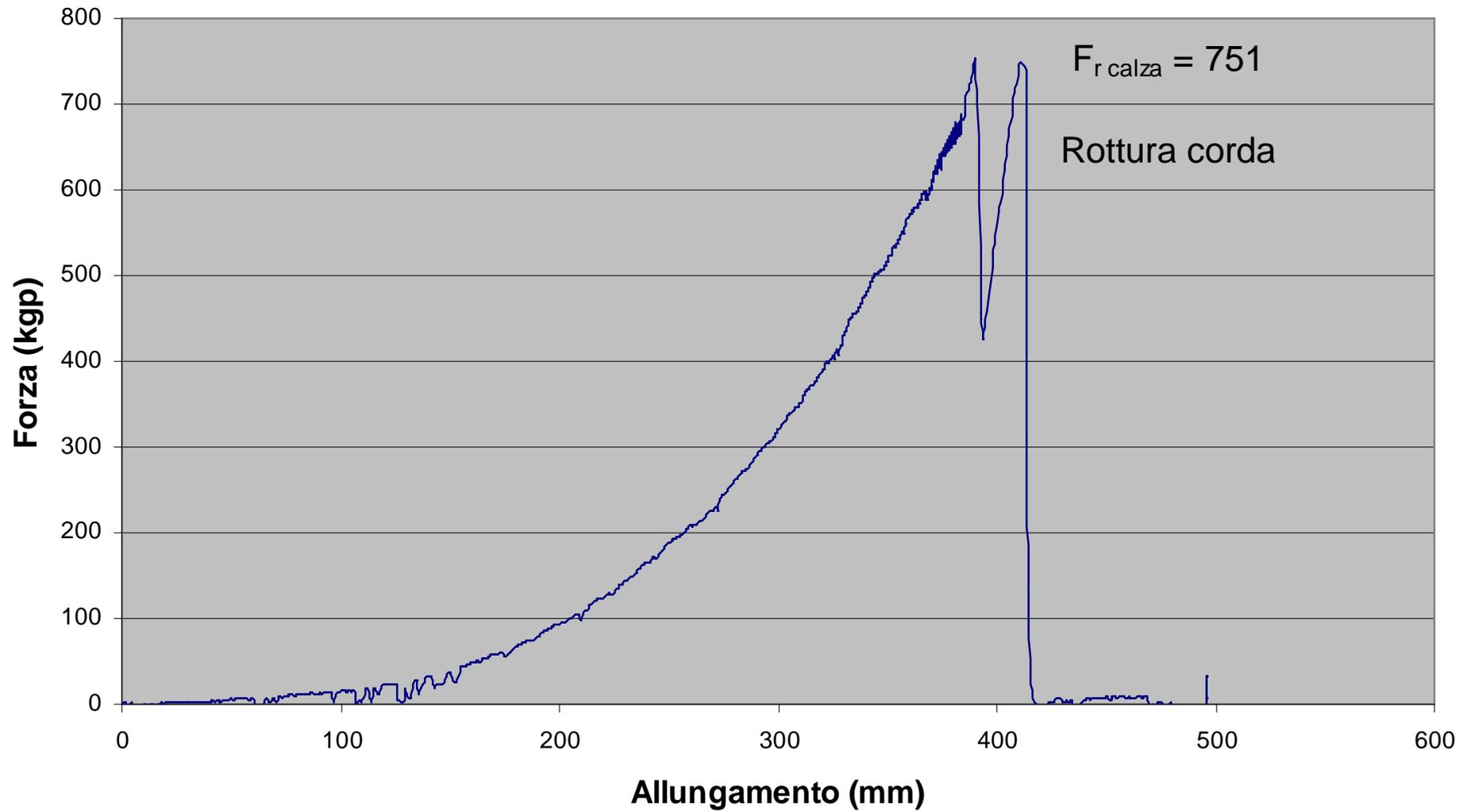


QS

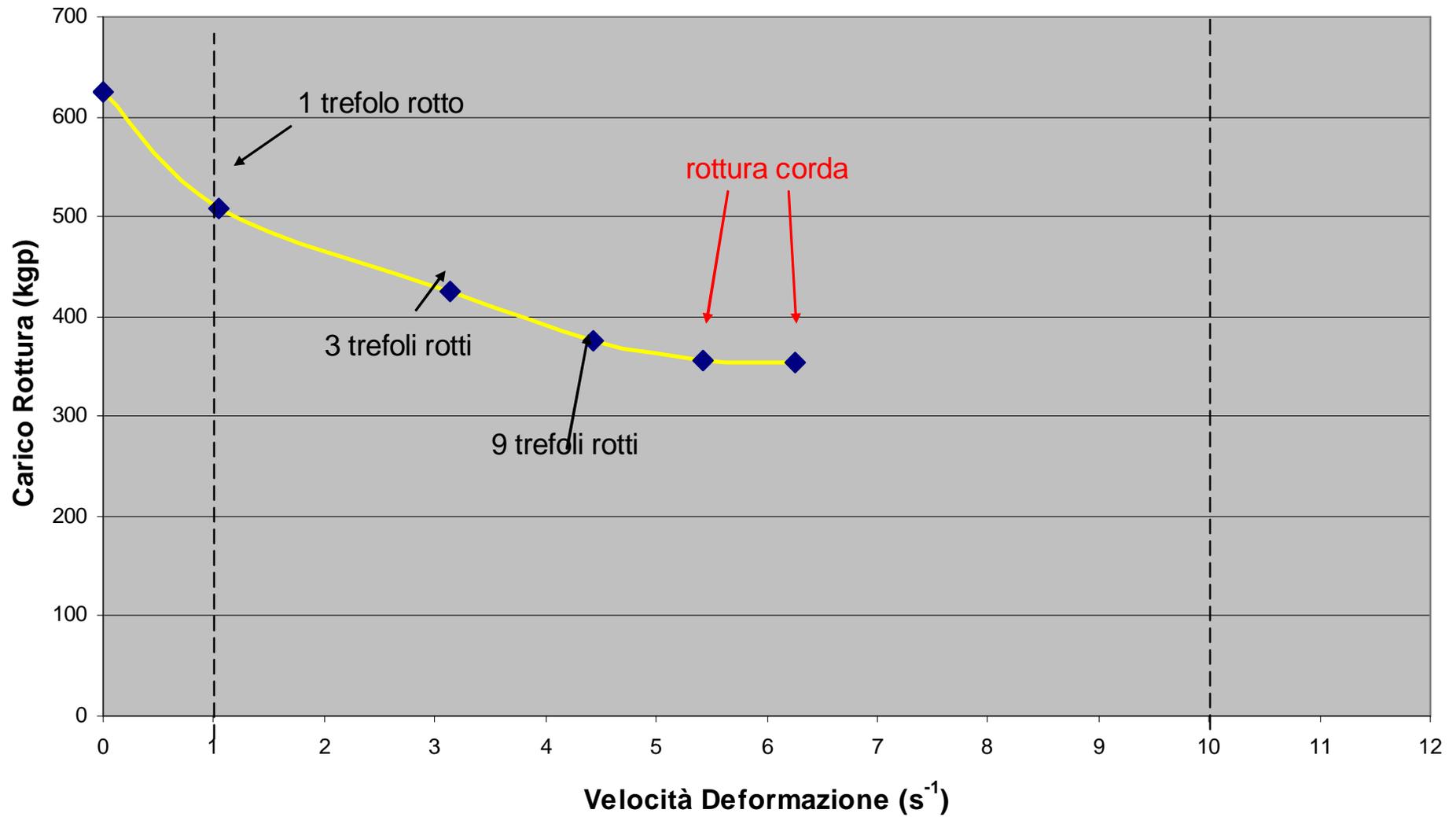
Croll 2013/Ultima11Nuova



QS Croll 2013/Edelrid Usata

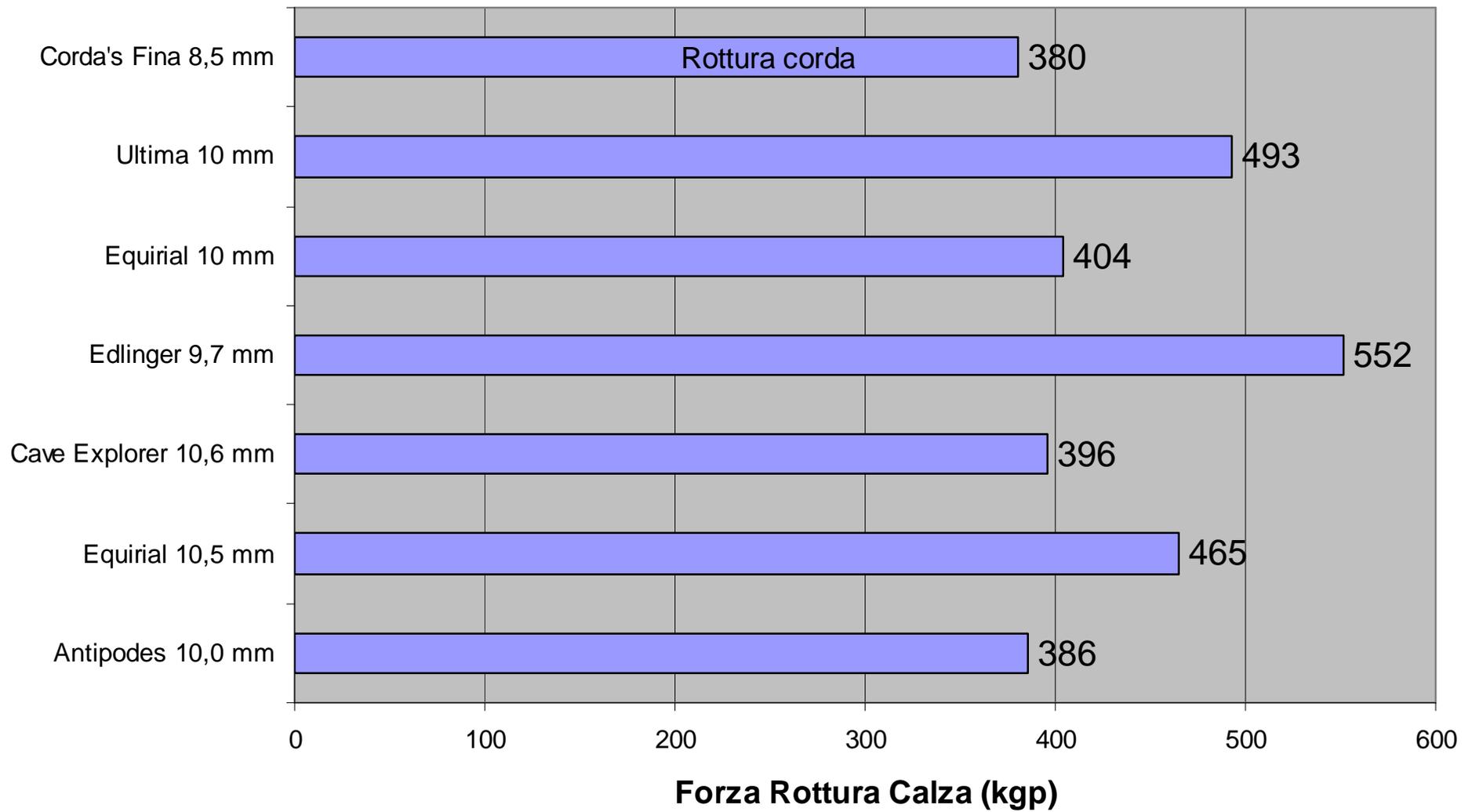


Croll 2011-Antipodes 10 mm Nuova Carico Rottura Calza/Vd



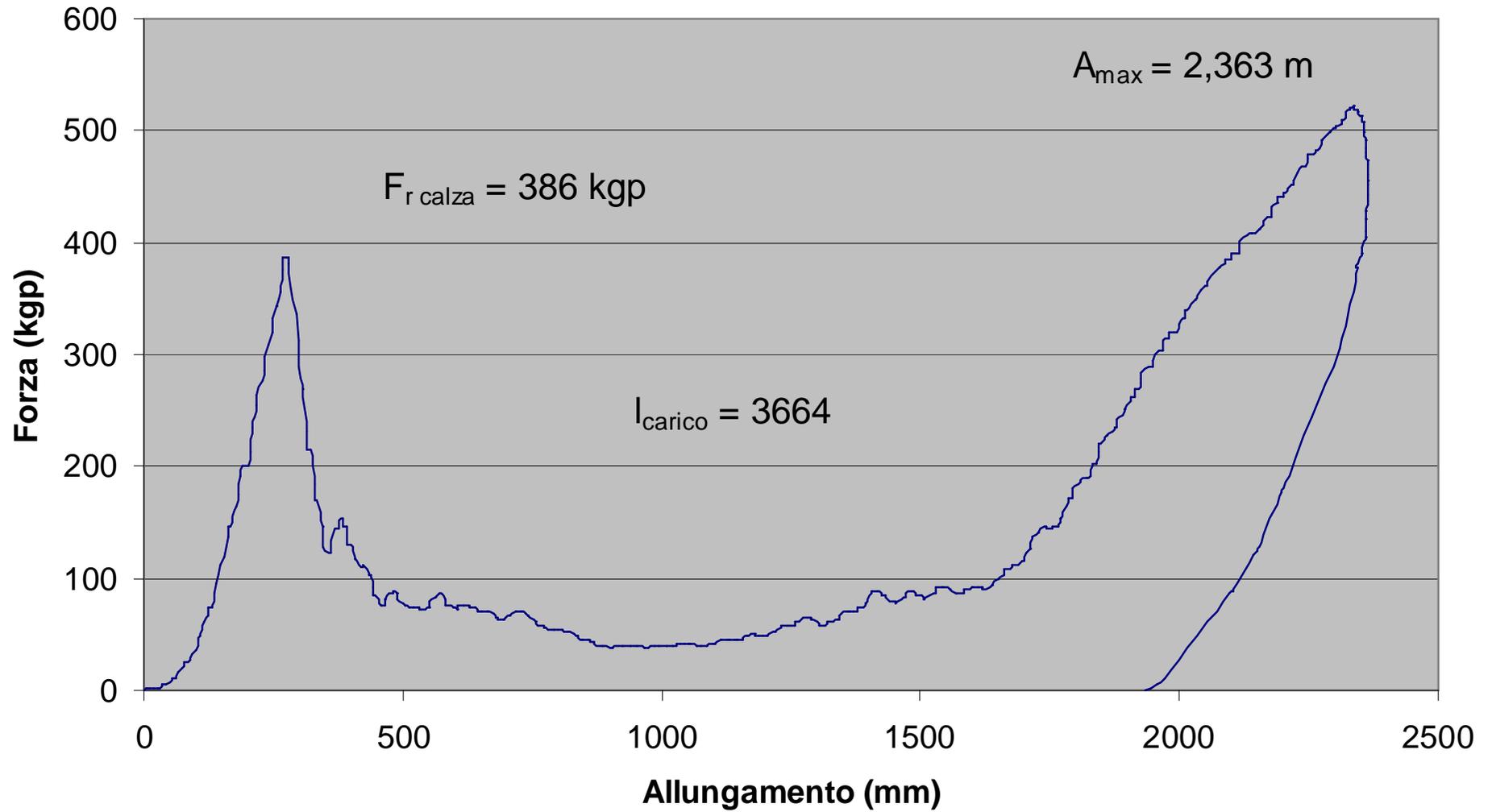
H 100 cm L1000 mm

Croll 2011/Corde Varie Nuove



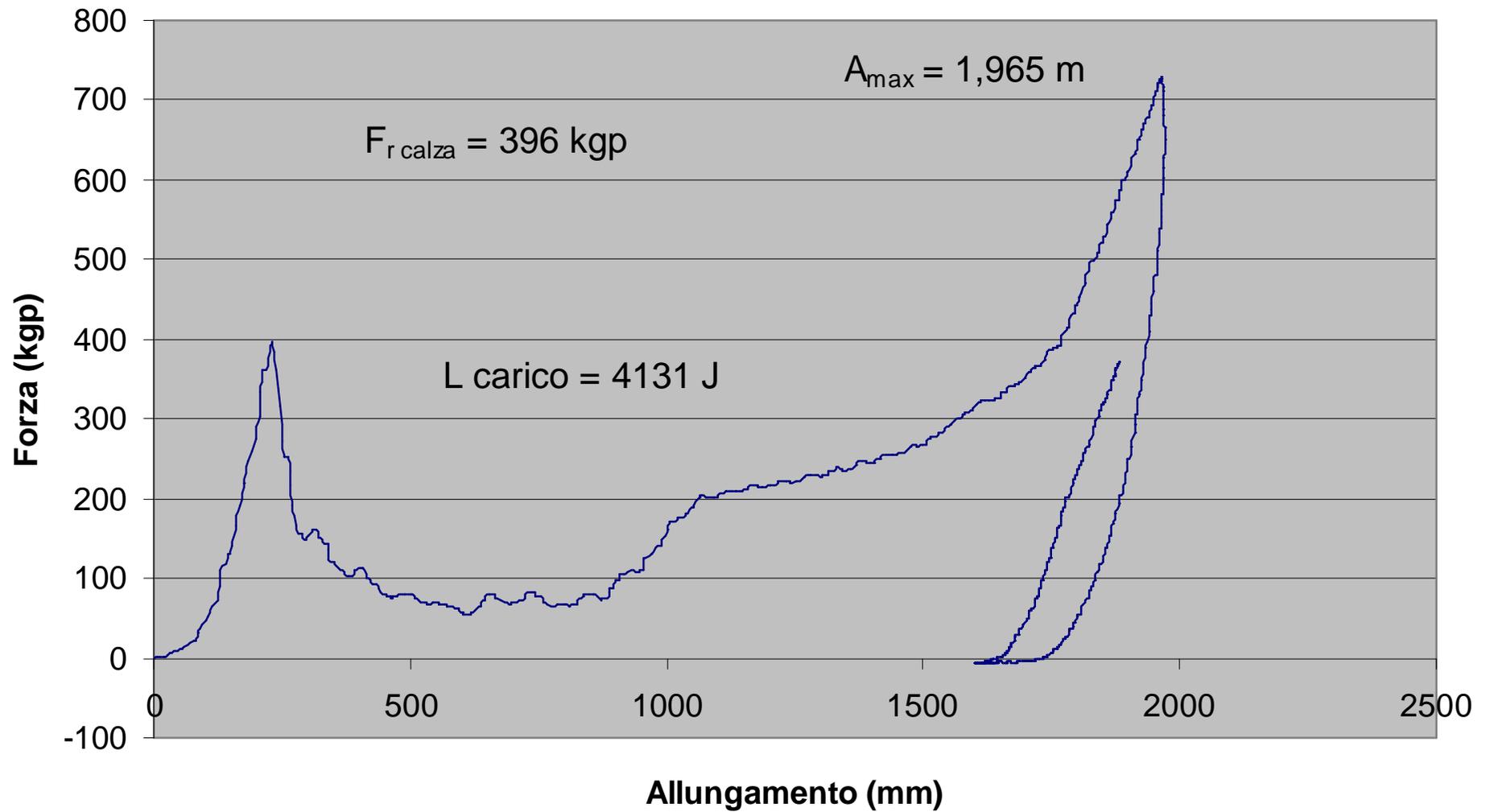
H 100 cm L 1000 mm

Croll 2011 Antipodes 10 mm Nuova



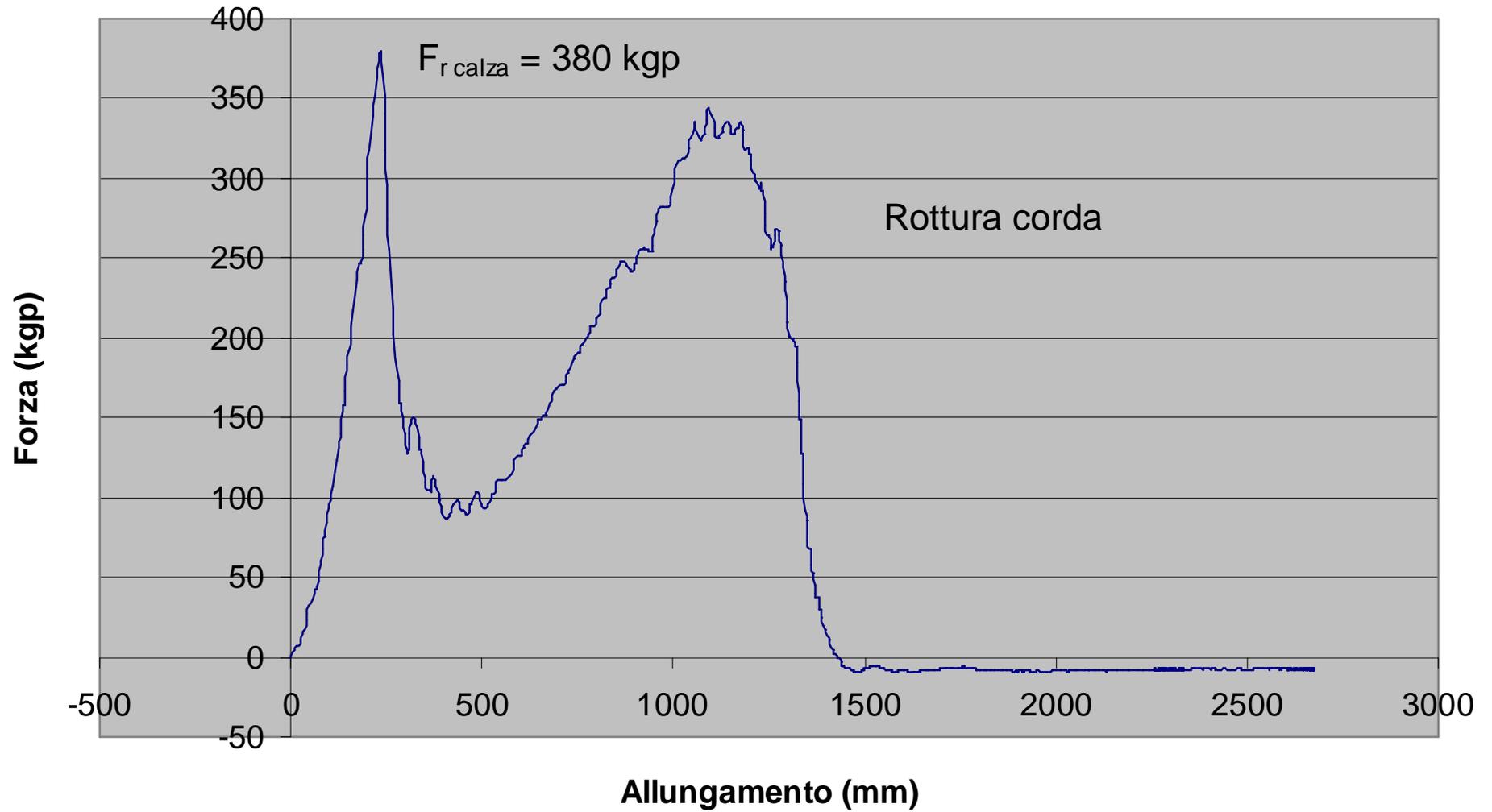
H 100 cm L 1000 mm

Croll 2011 Cave Explorer 10, 6 mm Nuova



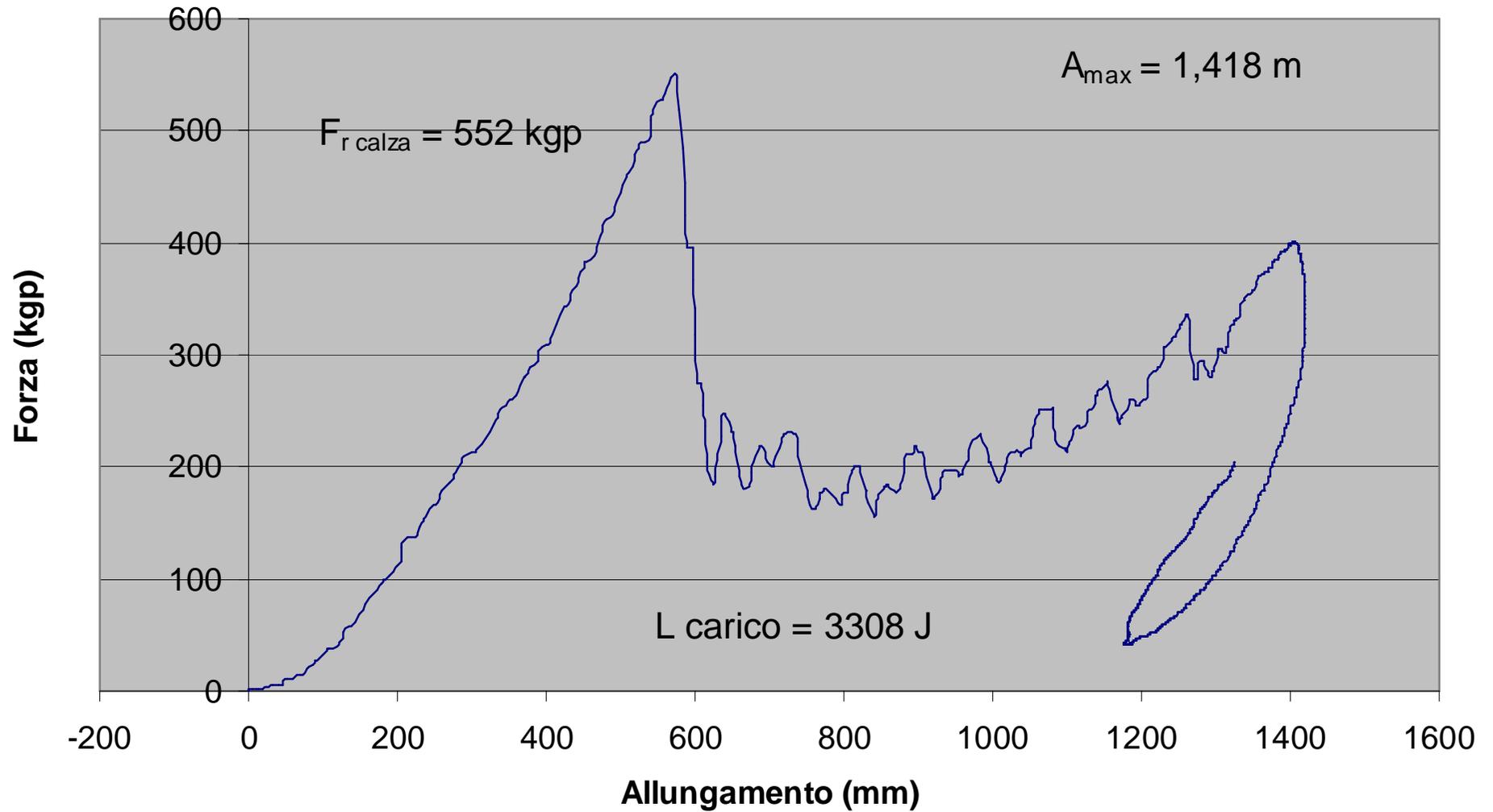
H 100 cm L 1000 mm

Croll 2011 Corda's Fina 8,5 mm



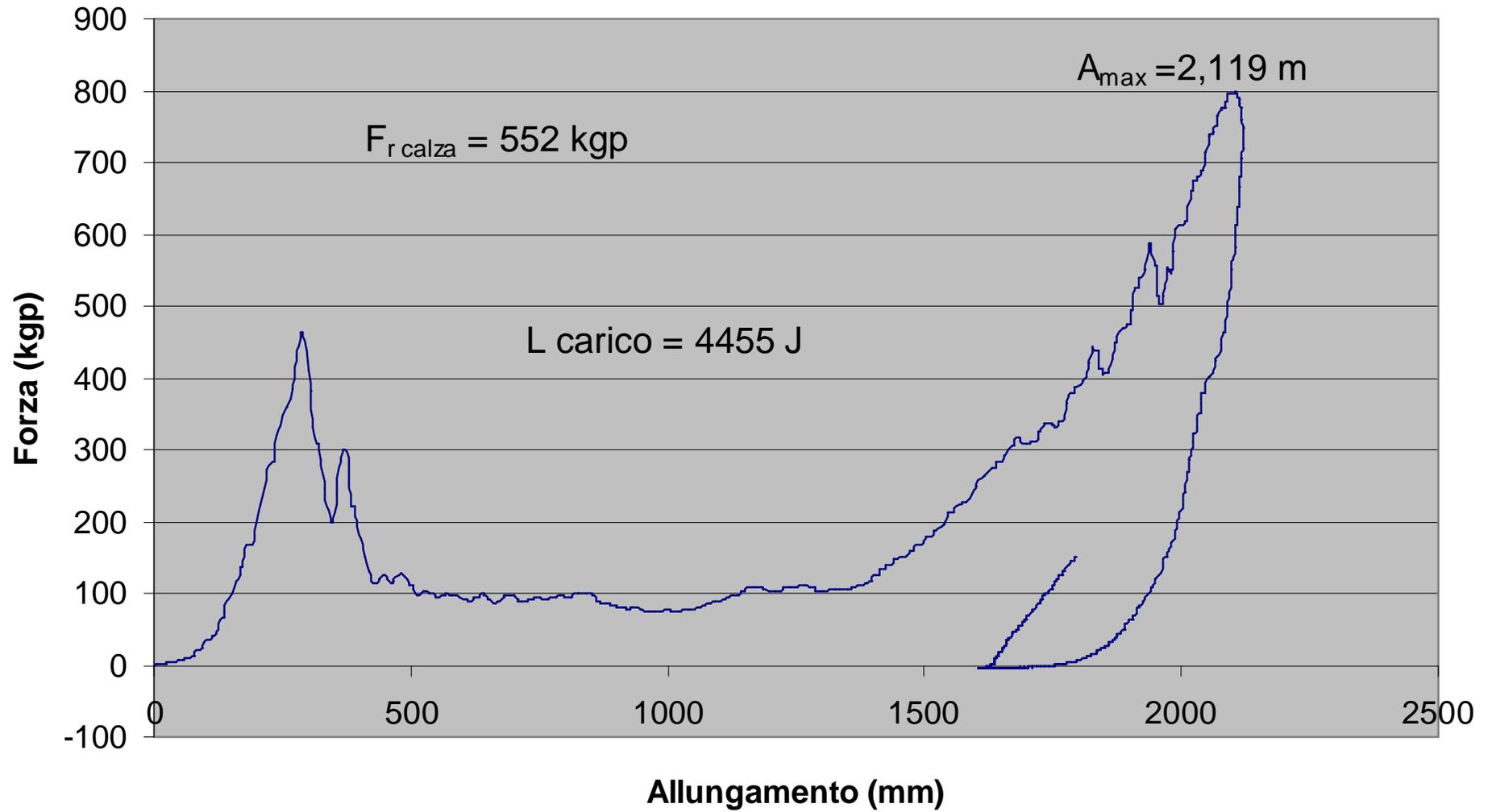
H 100 cm L 1000 mm

Croll 2011 Edlinger 9,7 mm Nuova



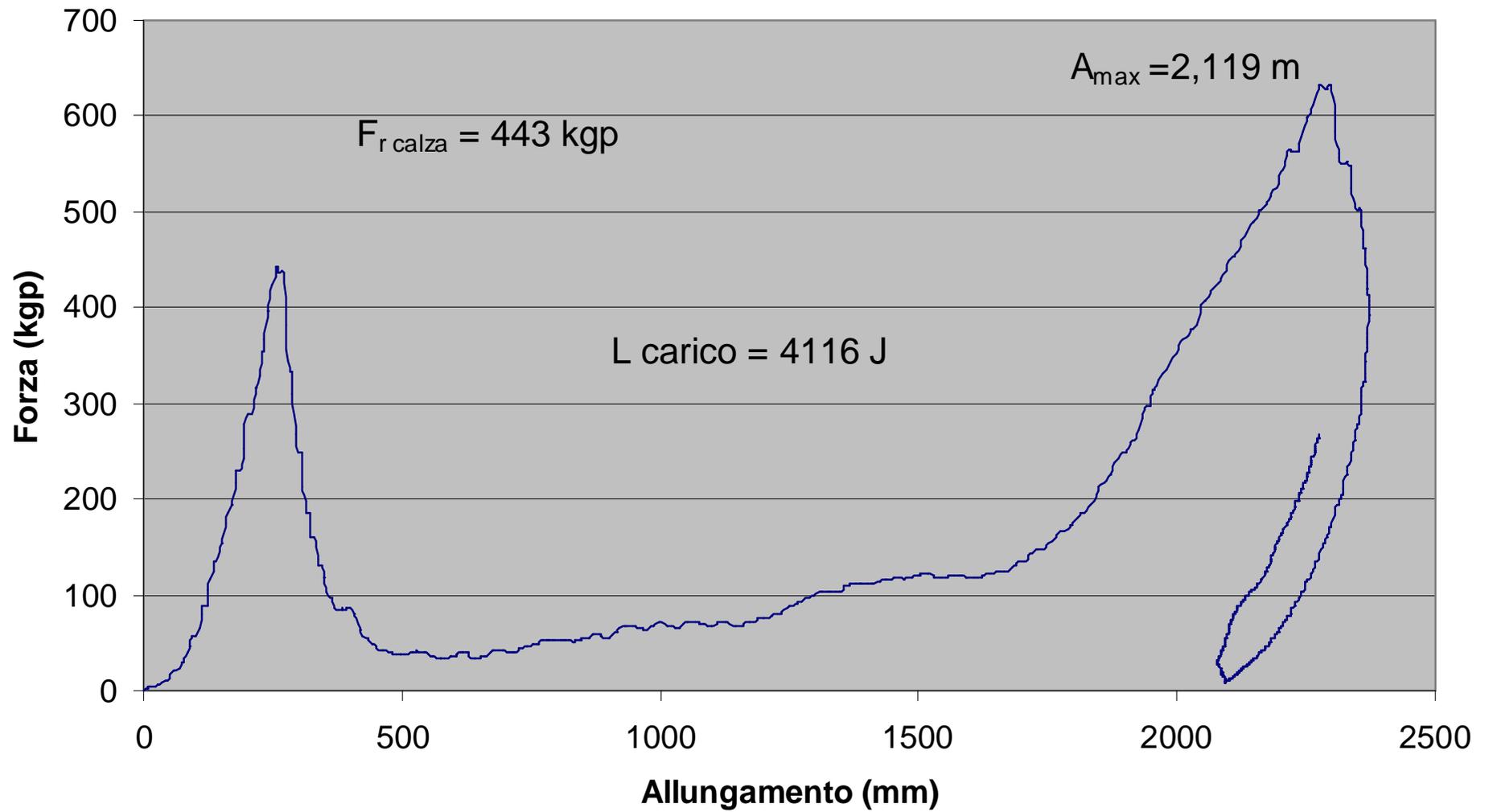
H 100 cm L 1000 mm

Croll 2011 Equirial 10,5 mm

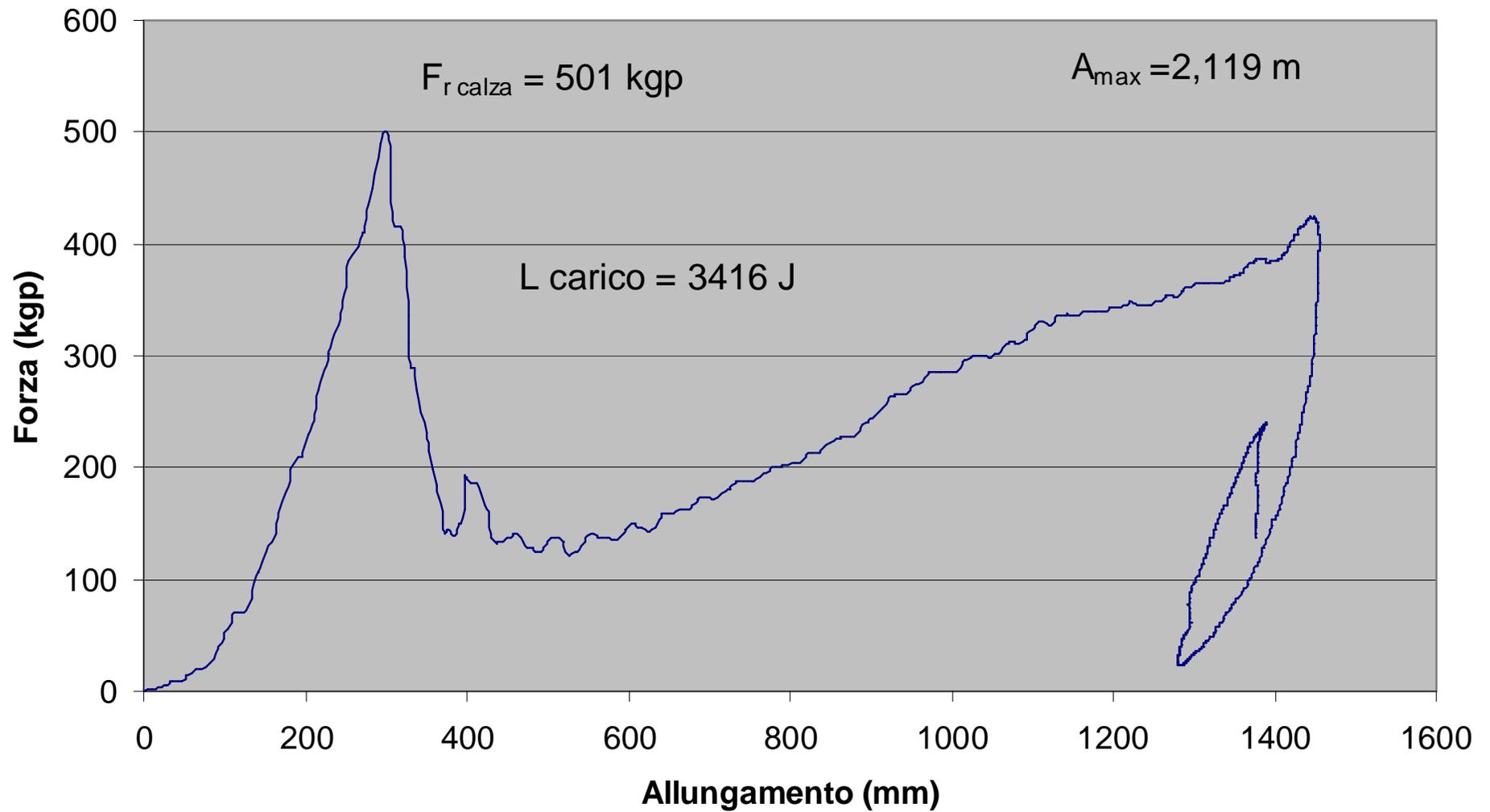


H 100 cm L 1000 mm

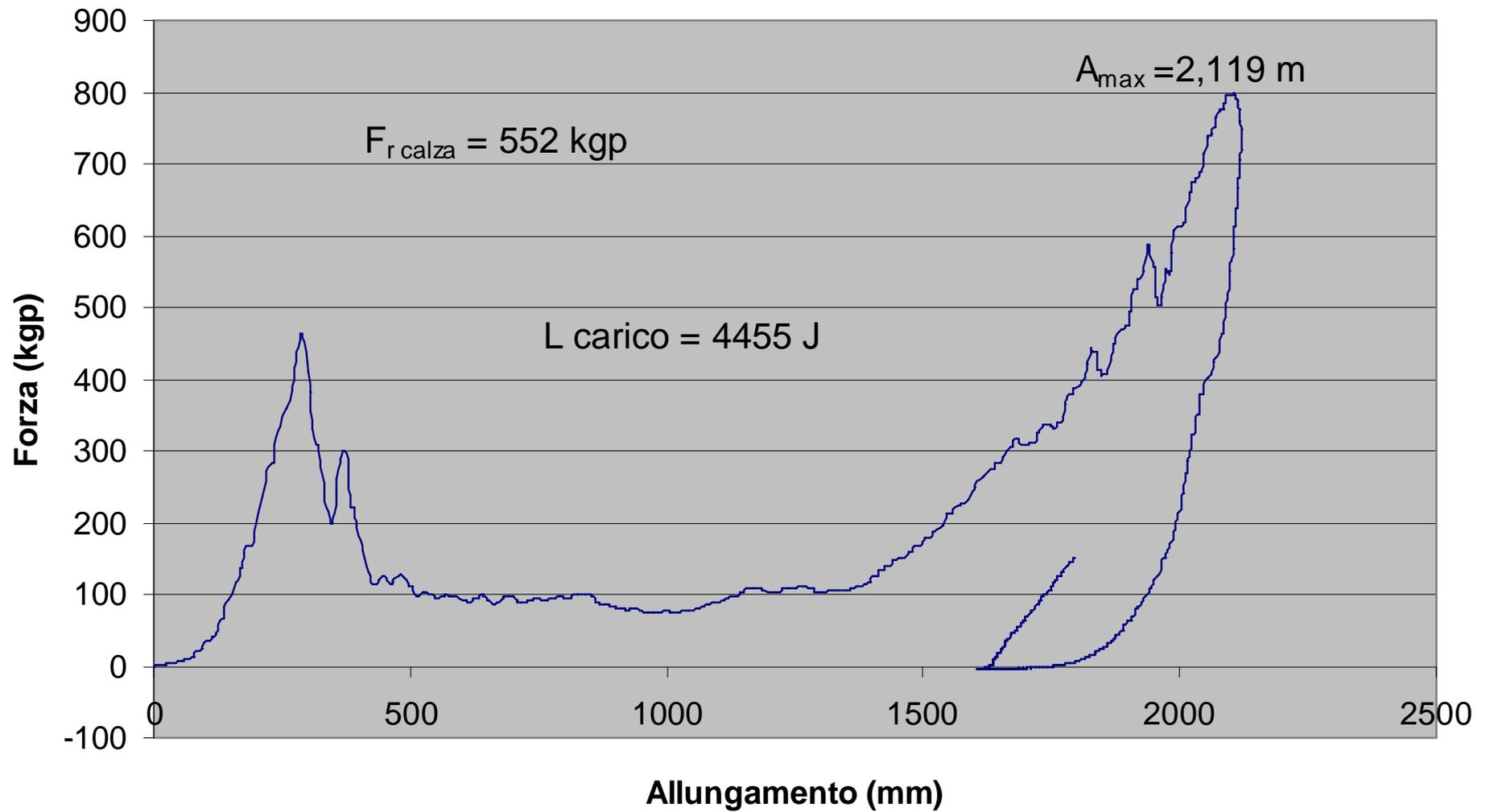
Croll 2011 Equirial 10 mm



H 100 cm L 1000 mm Croll 2011 Ultima 10 mm

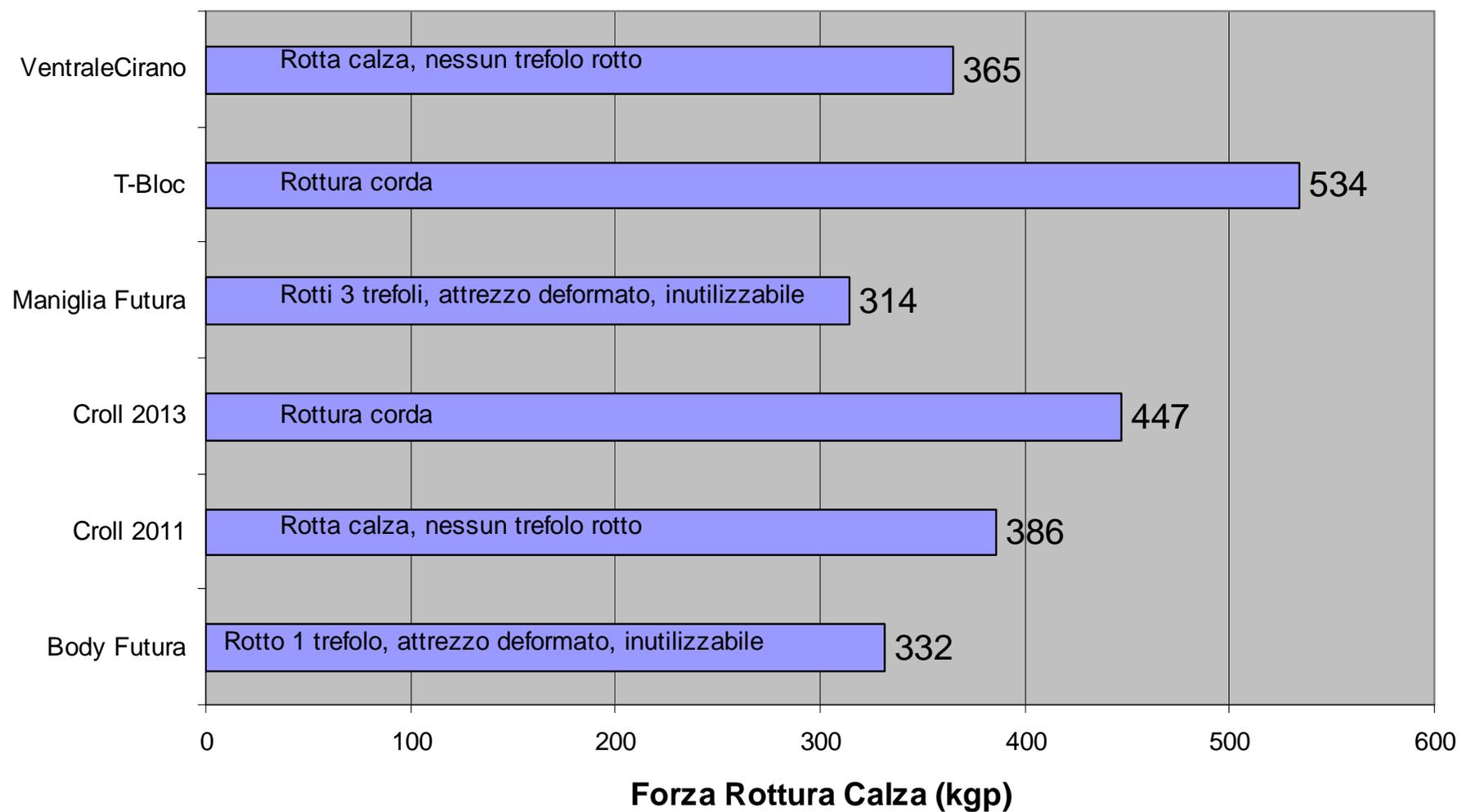


H 100 cm L 1000 mm Croll 2011 Equirial 10,5 mm



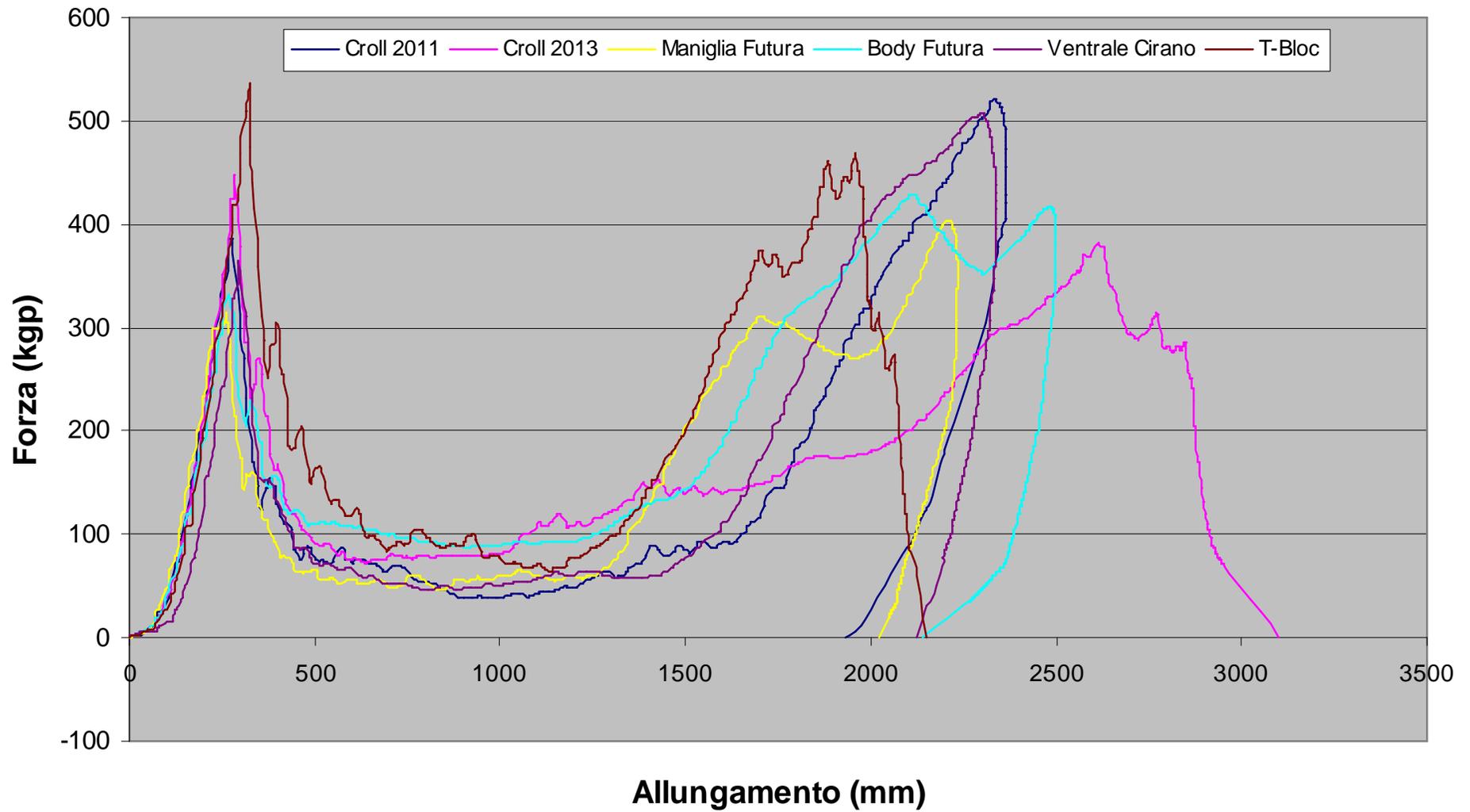
H 100 cm L 1000 mm

AntipodesNuova/Bloccanti Diversi

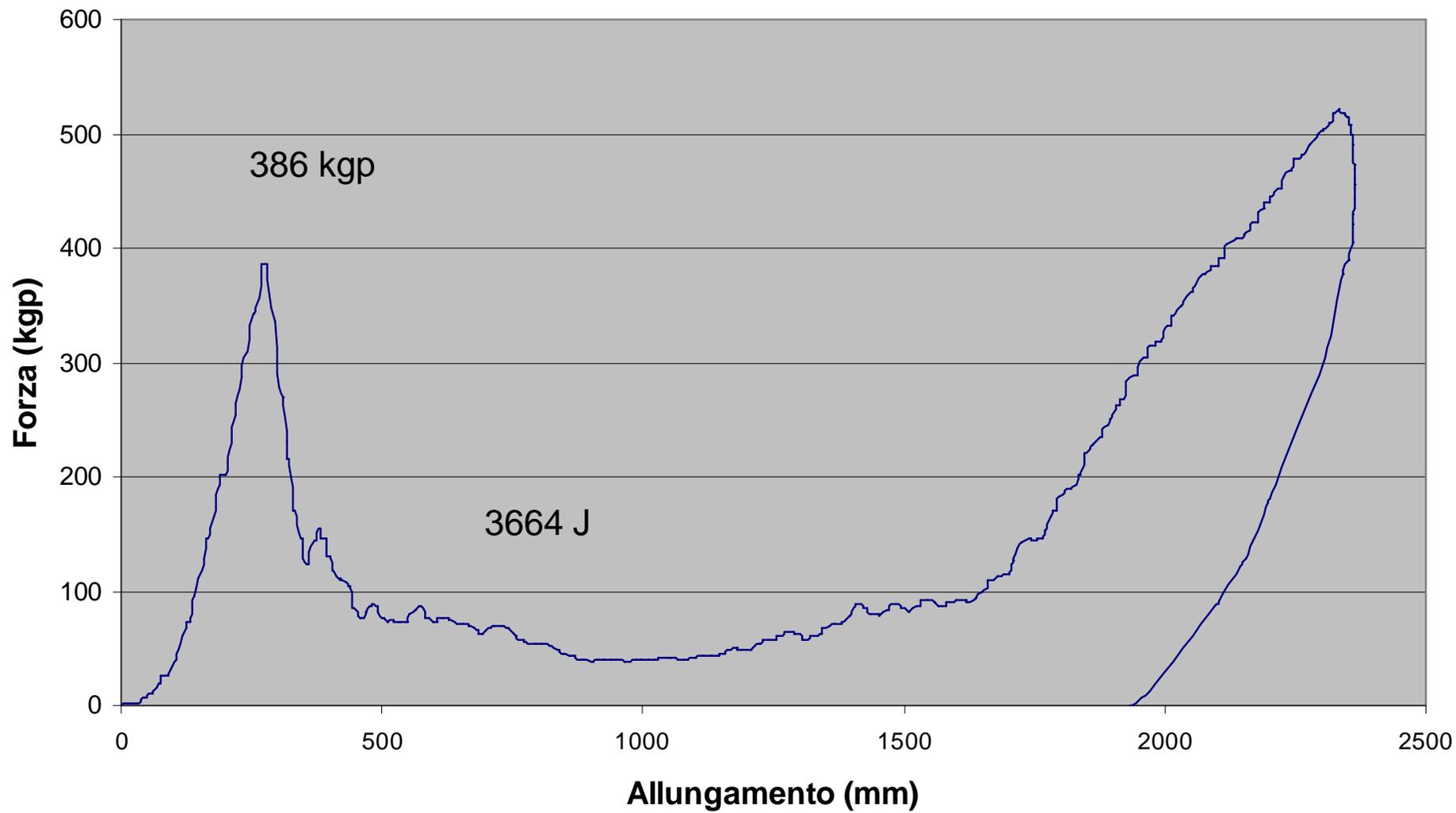


H 100 cm L 1000 mm

Confronto Antipodes/Bloccanti diversi

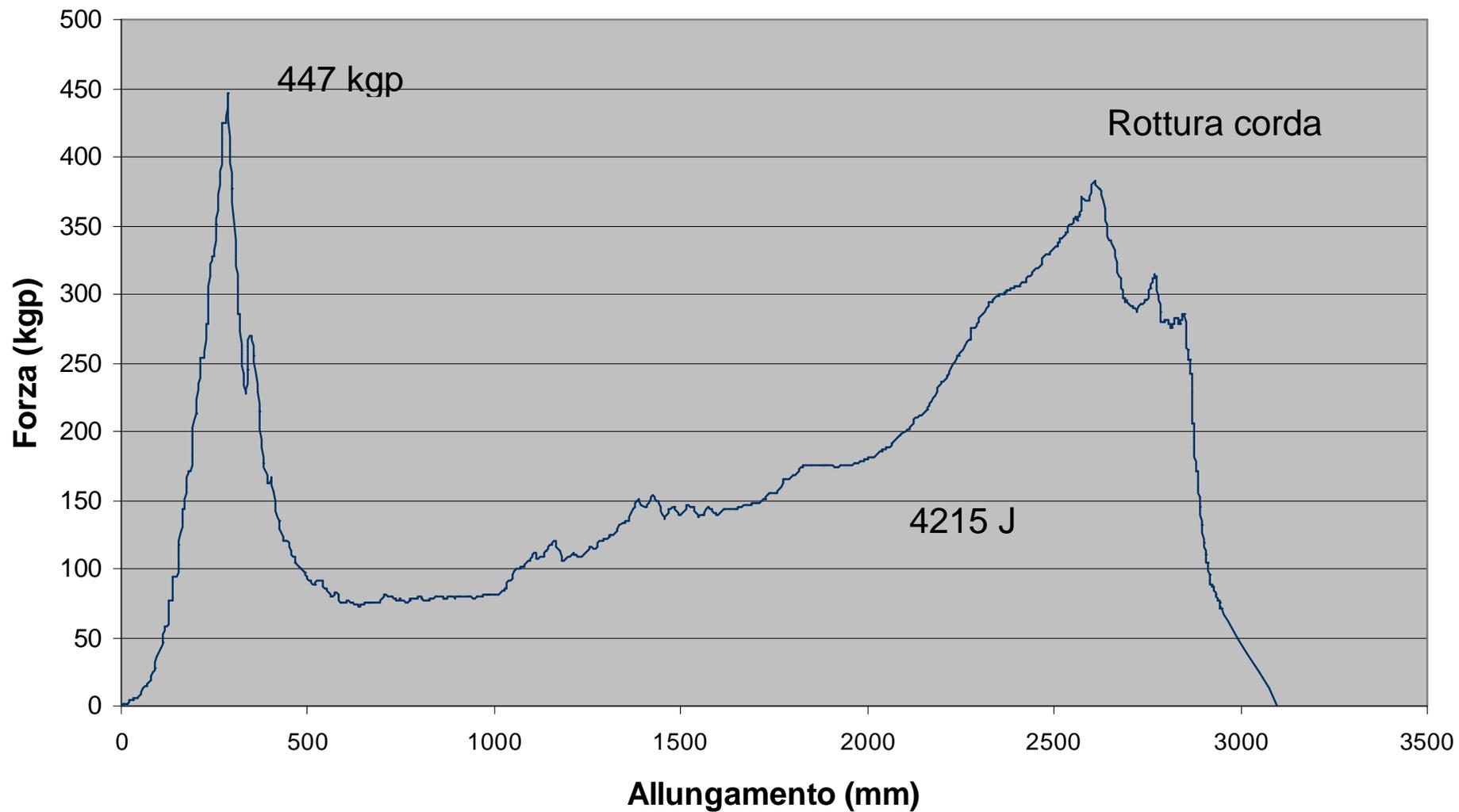


H 100 cm L 1000 mm Antipodes/Croll2011



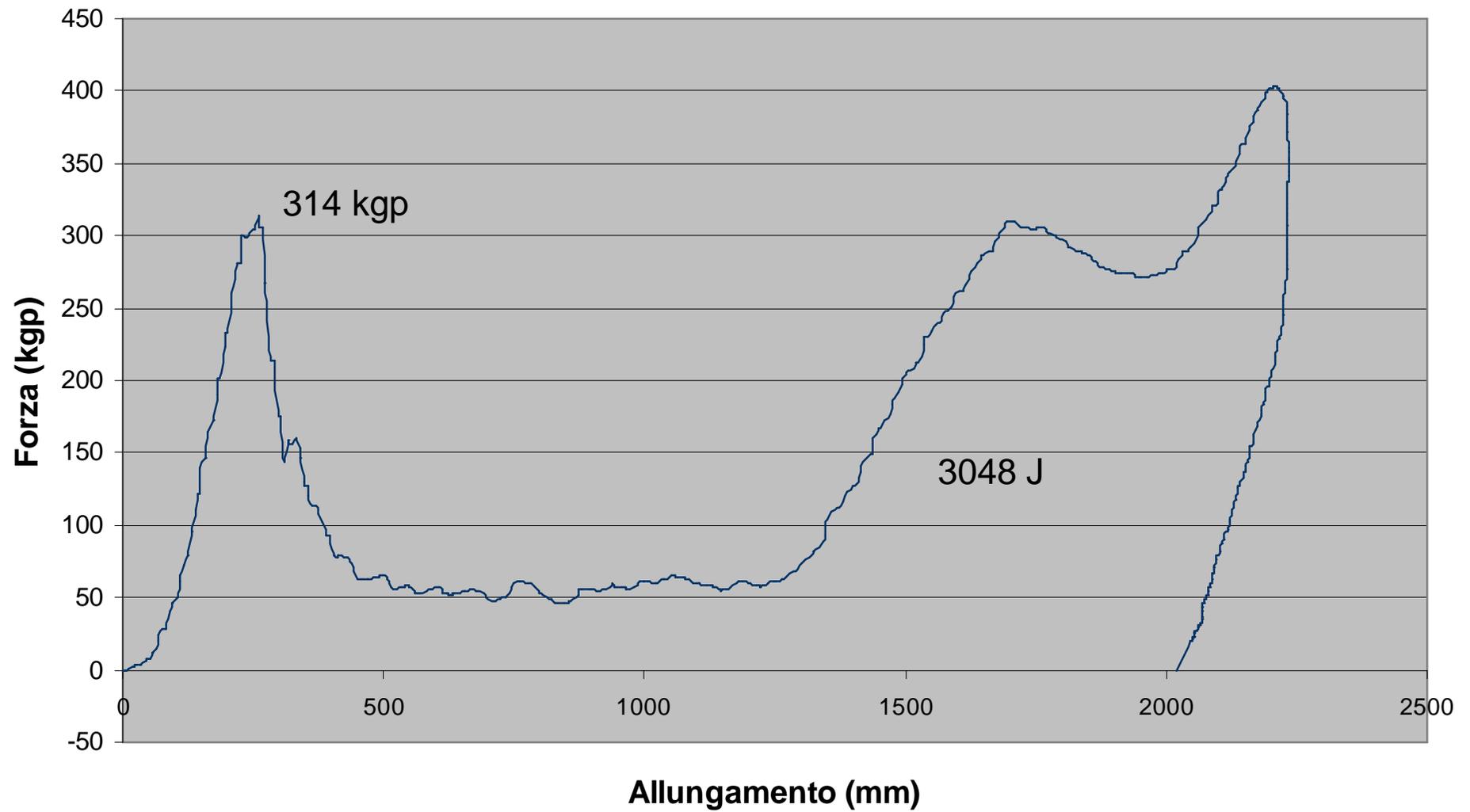
H 100 cm H 1000 mm

Antipodes/Croll 2013



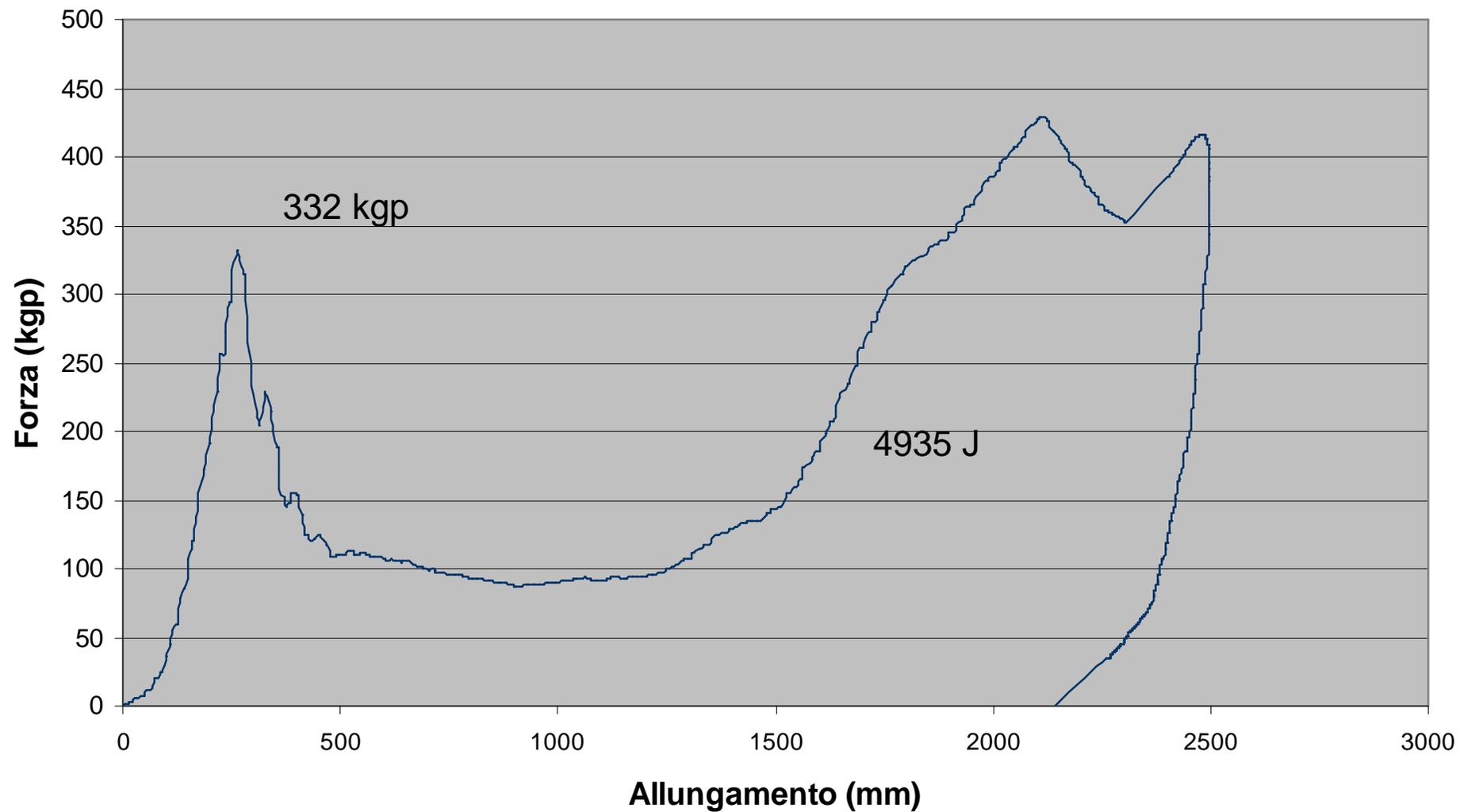
H 100 cm L 1000 mm

Antipodes/Maniglia Futura



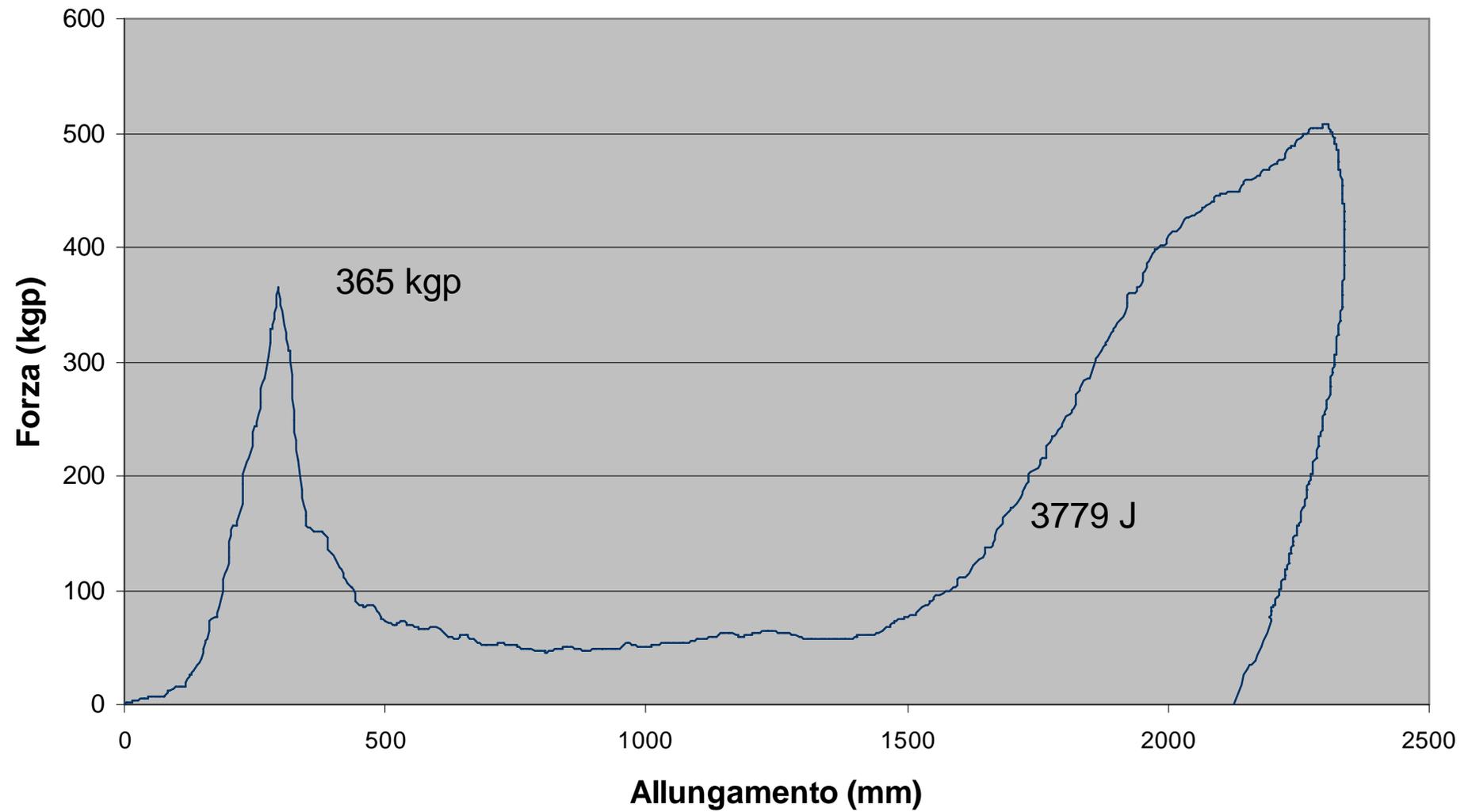
H 100cm L 1000 mm

Antipodes/Body Futura



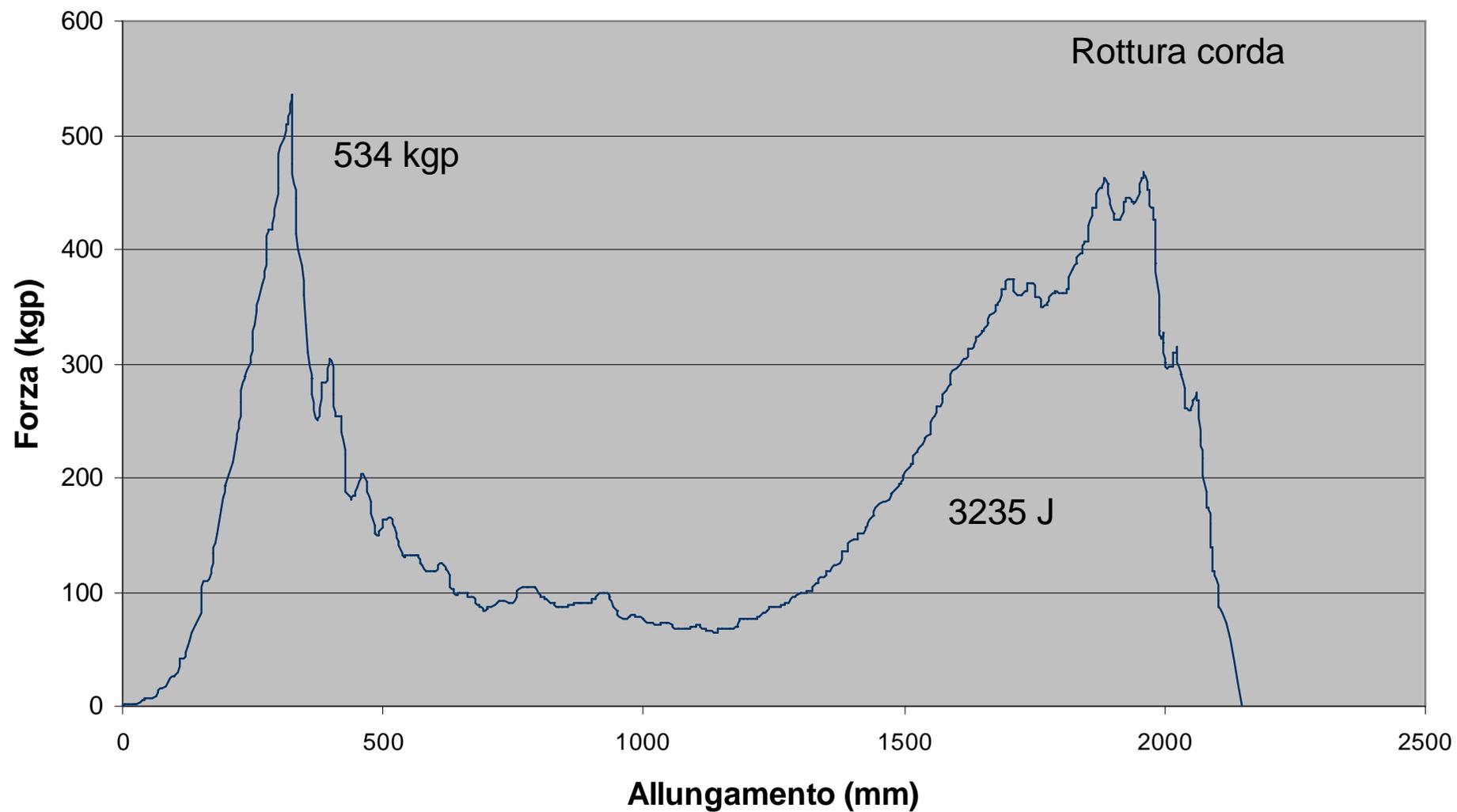
H 100 cm L 1000 mm

Antipodes/Cirano



H 100 cm L 1000 mm

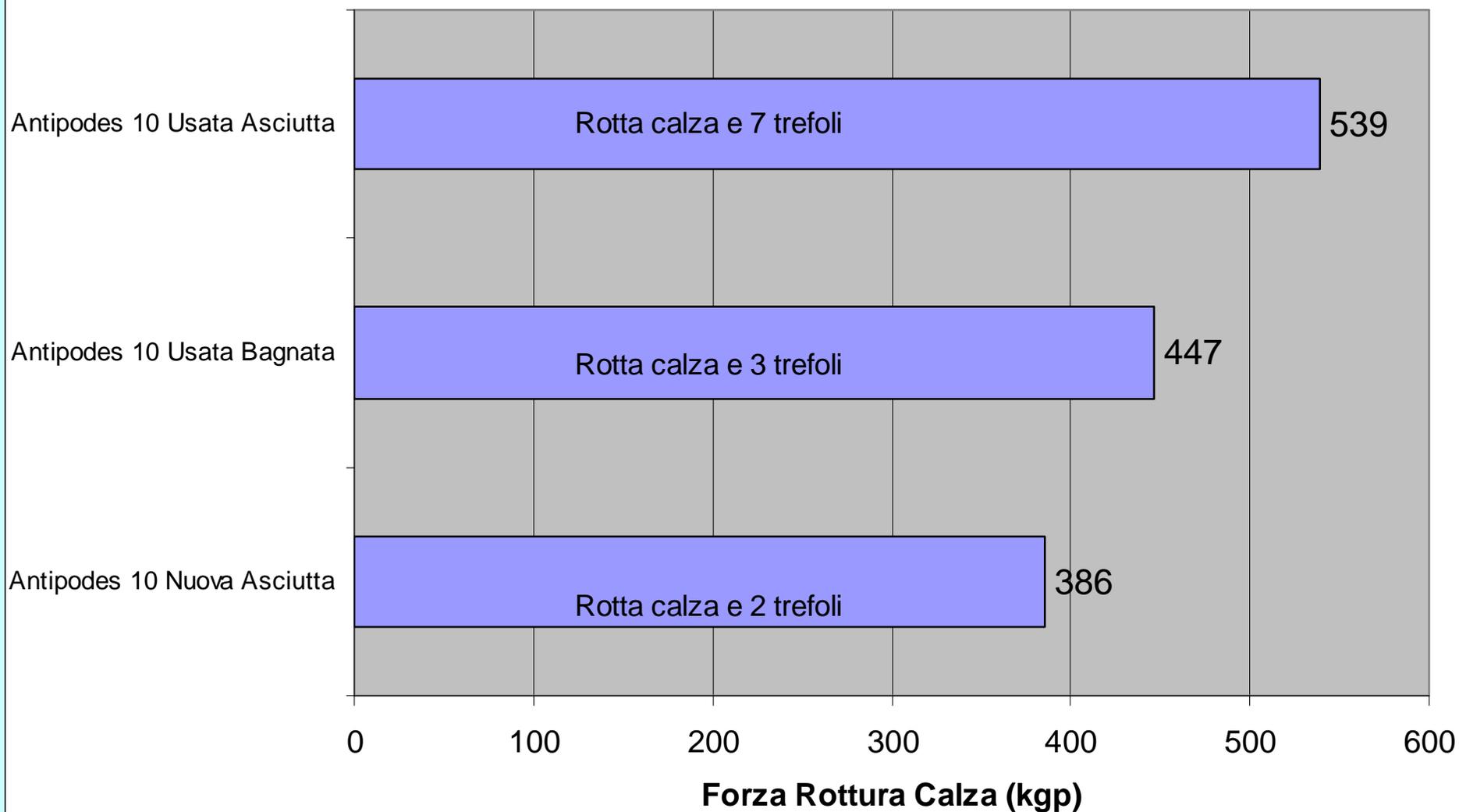
Antipodes/T-Bloc



H 100 cm L 1000 mm

Forza Rottura Calza

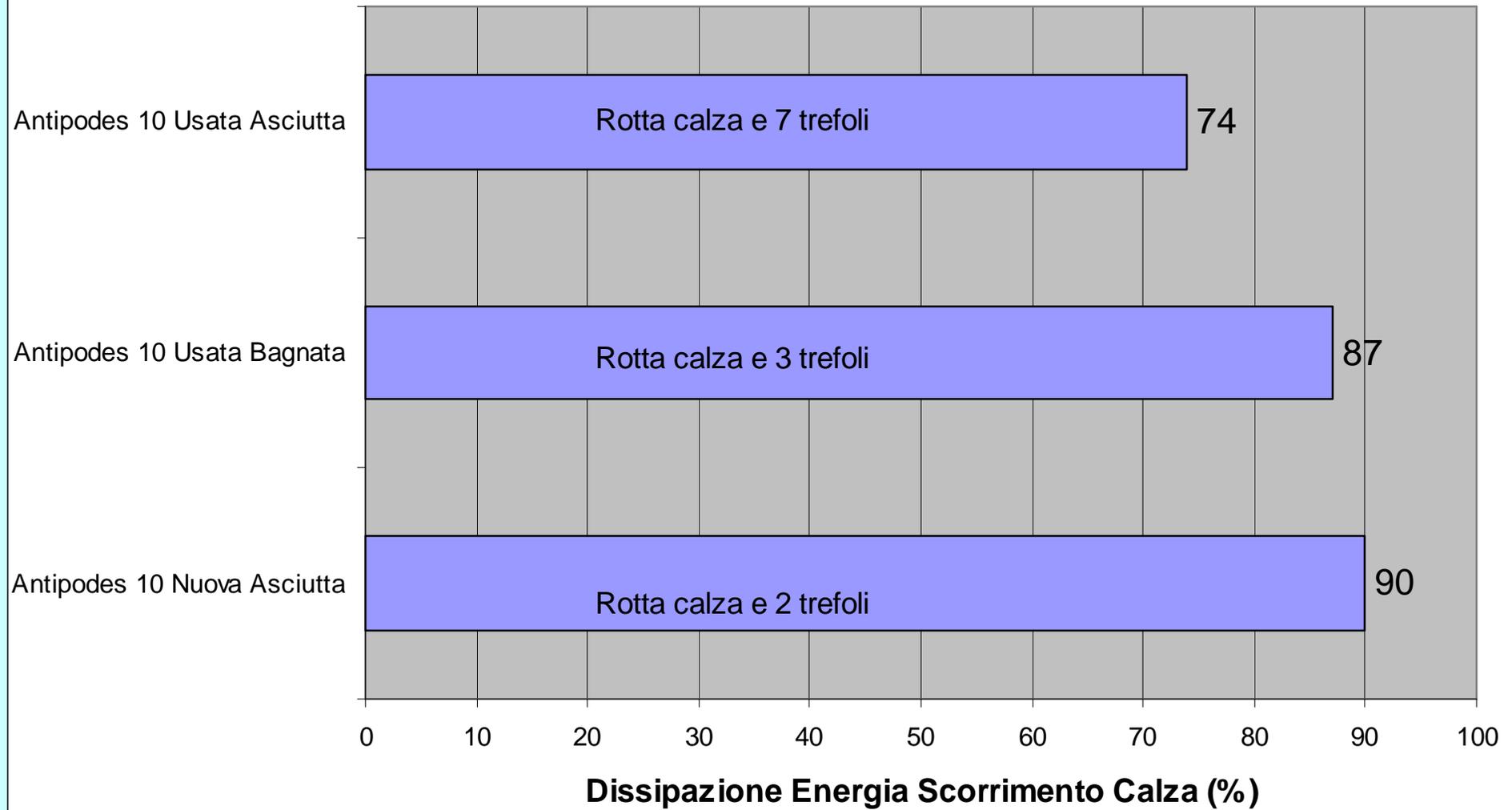
Antipodes Nuova Asciutta-Usata Asciutta-Usata Bagnata



H 100 cm L 1000 mm

Dissipazione energia

Antipodes NuovaAsciutta-UsataAsciutta-UsataBagnata



H 100 cm L 10000 mm Confronto Forza/Allungamento Antipodes Nuova Asciutta-Usata Bagnata e Usata Aciutta

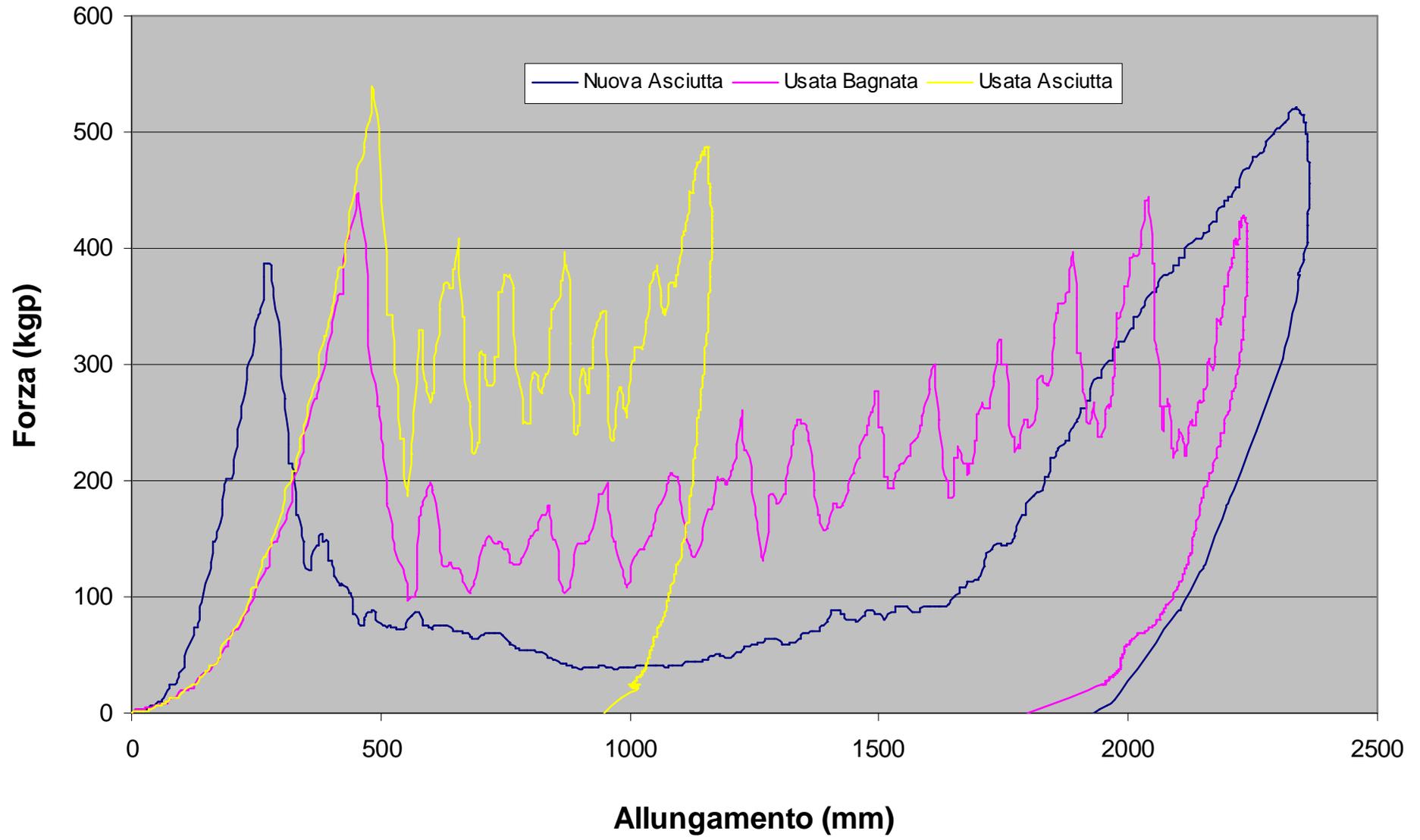




Foto n. 1

Gruppo Lavoro SNS CAI

Durante le ricerche sperimentali del GLM effettuate nei laboratori di Costacciaro, con prove a trazione lenta ($v_d = 0,005 \text{ s}^{-1}$) e a caduta ($v_d = 4,429 \text{ s}^{-1}$) sono stati testati diversi bloccanti ventrali applicati a corde nuove e usate.

Tutti hanno dato ottimi risultati ad eccezione del Croll Petzl messo in vendita a partire dal gennaio 2013 (foto n. 1) che si è rotto anche con sollecitazioni di appena 500 kgp, facendo ribaltare



Foto n. 3

il cricchetto e fuoriuscire la corda, senza lacerare la calza e iniziare quel processo di assorbimento dell'energia legato allo scorrimento della calza sui trefoli interni (foto n. 2 - 3).

Gli esemplari esaminati (comperati in un negozio di articoli sportivi con emissione di regolare fattura, nella confezione originale) sono identificabili tramite le rispettive sigle riportate all'interno del cricchetto.



Foto n. 2

Il Croll Petzl 2013 si diversifica dal modello precedente per:

1. un lamierino con spessore ridotto di circa 1 mm,
2. una protezione in acciaio all'interno della gola di scorrimento della corda,
3. l'assenza di un sistema di antiribaltamento del cricchetto.

Gli effetti più marcati si sono avuti a trazione lenta ($v_d = 0,005 \text{ s}^{-1}$) con forze comprese fra 400 kgp e 600 kgp, con la rottura del dorso dell'attrezzo, l'apertura della gola, il ribaltamento del cricchetto e la fuoriuscita della corda (foto n. 4 - 5).



In alcuni casi la gola non si è aperta completamente, il cricchetto sia pur di poco non si è ribaltato, la calza si è rotta, ma immediatamente dopo il cricchetto a strozzato a tal punto i trefoli da romperli tutti in pochissimo tempo. Non si è innescato alcun fenomeno di dissipazione di energia con scorrimento della calza sull'anima delle corde.



Nei test a caduta ($v_d = 4,429 \text{ s}^{-1}$) la gola non si è aperta e il cricchetto non si è ribaltato, ma dopo la rottura della calza tutti i trefoli sono stati tranciati a rapida successione. In questi casi il bloccante è risultato inutilizzabile in quanto la gola si è aperta di alcuni millimetri e la corda poteva fuoriuscire con una minima trazione trasversale.

La deformazione della gola avviene anche con piccole sollecitazioni (300 kgp – 400 kgp) a seguito delle quali si misura una apertura aggiuntiva di qualche decimo di millimetro. Sommandosi ad altre simili sollecitazioni l'apertura della gola continua ad aumentare.

I risultati sopra elencati sono stati ottenuti sulle seguenti corde:

1. Beal Antipodes 10 mm Nuova (statica),
2. Beal Antipodes 10 mm Usata (statica),
3. Edelrid SS 10 mm Usata (statica),
4. Courant Ultima 10 mm Nuova (statica) con trefoli incollati internamente alla calza,
5. Courant Ultima 11 mm Nuova (statica) con trefoli incollati internamente alla calza.

I risultati peggiori si sono avuti con le corde Courant Ultima (calza incollata ai trefoli) e, soprattutto, con le corde usate (stato più comune nella progressione in grotta).

Per tutto questo ritengo che il Croll Petzl 2013 sia una bloccante che deve essere usato con estrema attenzione, con frequenti osservazioni del suo stato e da sostituire nel caso che subisca una sollecitazione superiore ai 400 kgp. Occorre inoltre fare molta attenzione in risalita nei frazionamenti con tiri di corda molto spostati, comunque ogni volta che il tratto di corda a valle del bloccante esercita trazioni trasversali.

Foto n. 6



Foto n. 7



Per contro un Croll Petzl prodotto in precedenza (codice di riconoscimento 10266FU8865, quindi prodotto nel 266° giorno del 2010), con antiribaltamento del cricchetto (foto n. 6) è risultato un attrezzo eccezionalmente resistente ed affidabile, che ha sopportato numerosi test, con sollecitazioni al limite, senza mai mostrare deformazioni e cedimenti strutturali.

E' stato anche testato a trazione lenta un Croll Petzl senza antiribaltamento del cricchetto prodotto negli anni ottanta del secolo passato: con una sollecitazione massima di circa 600 kgp si è ribaltato il cricchetto ed è fuoriuscita la corda per l'allargamento della gola (foto n. 7). Comportamento quasi del tutto simile a quello del Croll 2013, con l'unica differenza che il dorso non si è fratturato.

Ritengo che le cause principali che determinano il comportamento del modello 2013 del Croll Petzl siano da ricercare nel ridotto spessore del lamierino e nella mancanza del sistema "antiribaltamento" del cricchetto.

Costacciaro 18 aprile 2013

Il coordinatore GLM SNS CAI: Francesco Salvatori (francesco.salvatori@sns-cai.it)

Ulteriori considerazioni sul Croll modello 2013 dopo la risposta del costruttore Petzl

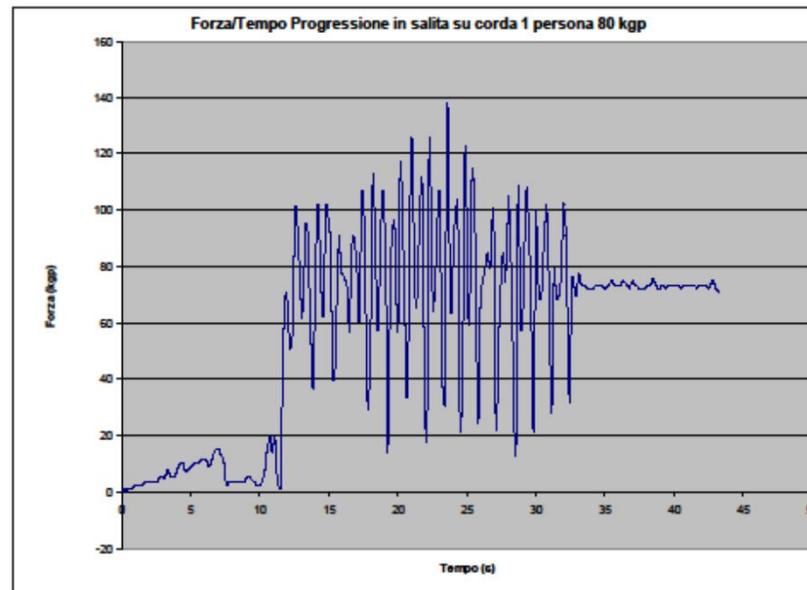
di Francesco Salvatori coordinatore Gruppo Lavoro Materiali SNS CAI

Non nego che avrei preferito che la questione fosse rimasta nell'ambito esclusivo della SNS CAI, senza diffusione pubblica sul sito della Scuola. Avrei preferito così e avrei portato in discussione l'argomento alla prossima assemblea del 19 maggio (c'è inserito all'ordine del giorno un punto specifico). E così comunque farò e se ci saranno da fare ulteriori ricerche le metteremo in cantiere, anche se mi sembra evidente che i test sinora effettuati parlino piuttosto chiaro.

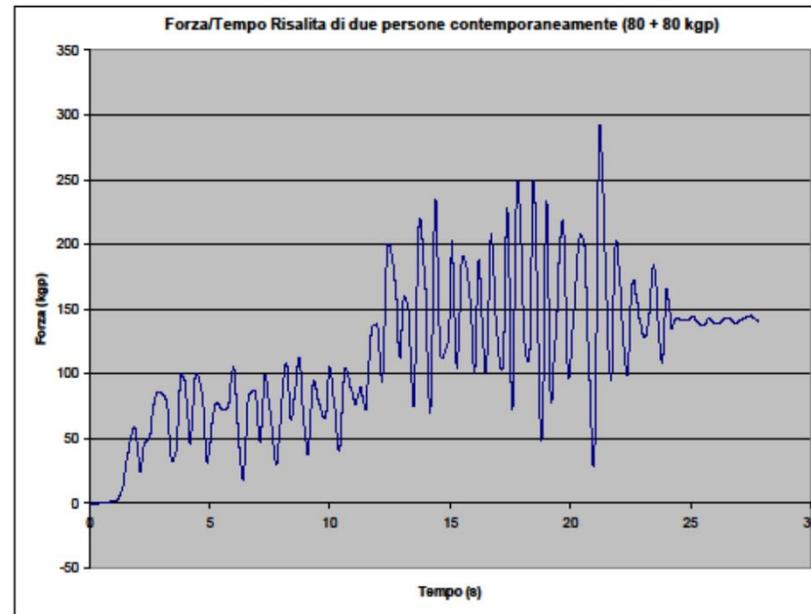
Con questo scritto vorrei comunque fare ulteriori considerazioni sulla questione Croll 2013, non solo sulle affermazioni che fa il costruttore Petzl ma anche in relazione alle esigenze della SNS e dei criteri di sicurezza che si è data, con particolare riferimento a quelle contenute nel suo Manuale Tecnico Operativo.

Premessa 01

Nel grafico sottostante sono riportate le forze registrate in un test durante la salita su corda singola di un operatore del peso di 80 kgp. Come si vede per una singola normale pedalata si può arrivare in prossimità di 140 kgp. In ricaduta sul bloccante ventrale agisce una analoga sollecitazione.



Nel successivo grafico sono riportate le forze raggiunte nel caso straordinario di una risalita due persone sempre su corda singola (per esempio quando si effettua un soccorso uomo a uomo).



In questo caso la forza massima raggiungibile si approssima a 300 kgp e in alcuni istanti del soccorso uomo a uomo è possibile che i due corpi siano appesi allo stesso bloccante ventrale. In questa situazione anche una piccola oscillazione può portare sul bloccante ventrale un carico di oltre 250 kgp.

Premessa 02

Nell'ambito della SNS CAI, sin dagli anni ottanta con l'avvento della pubblicazione delle ricerche sperimentali effettuate a Costacciaro (*Resistenza dei Materiali Speleo-alpinistici – Salvatori F., Guerriero G., Menichetti M., Celesti S., ed altri – CNS Costacciaro/CNSAS 1989*), si è seguito il criterio che ogni componente della catena di sicurezza della progressione speleologica non potesse avere una resistenza inferiore a 1100 kgp (LIR = limite inferiore di resistenza). Ciò derivava dalla constatazione che anche con fattori di caduta inferiori ad uno, propri della progressione speleo, si potevano raggiungere, in caso di caduta, valori di forza massima prossimi al LIR indicato.

Premessa 03

I punti deboli della catena di sicurezza, da riguardare con particolare attenzione, sono i nodi sulla corda e l'azione dei bloccanti sulla corda. Nel primo caso si sa bene come comportarsi conoscendo l'effetto nodo. Nel secondo caso è noto sin dagli anni ottanta che i bloccanti non sono in grado di superare valori di 400-600 kgp senza incidere pesantemente sulla calza, sull'anima della corda (trefoli in numero variabile) e sulla struttura del bloccante stesso, deformandone la gola

dove scorre la corda e/o ribaltandone il cricchetto. In ognuno di questi casi c'è la rottura o la fuoriuscita della corda dal bloccante e quindi la malaugurata caduta.

Ma sin dagli anni ottanta, proprio con i test effettuati a Costacciaro, si è capito che occorre un quid che potesse impedire al cricchetto di:

1. ribaltarsi,
2. strozzare la corda fino a tranciarla,
3. di stringere la corda nella gola permettendo solo di lacerare la calza.

Petzl fu il primo ad adottare il sistema di antiribaltamento.

La soluzione di mettere in opera un sistema antiribaltamento del cricchetto fa sì che nella maggioranza dei casi la rottura della calza a seguito della sollecitazione inneschi un sistema di dissipazione di energia senza rottura dei trefoli interni e quindi evitando la caduta. Per tale motivo è stato accettato nella SNS CAI l'uso dei bloccanti purché provvisti di sistema antiribaltamento del cricchetto. Fra le caratteristiche sarebbe anche opportuno richiedere che il lamierino in lega che costituisce la struttura dell'attrezzo non abbia uno spessore troppo sottile.

Fatte queste premesse, ecco le considerazioni aggiuntive

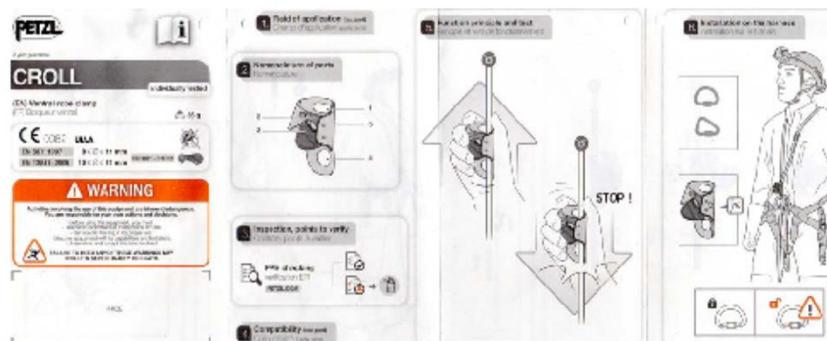
Nessuno nega quanto afferma Petzl (fino a 400 kgp il Croll 2013 resiste). Il problema sta nel fatto che, non avendo un sistema antiribaltamento, non innesca l'assorbimento di energia e in caso di caduta può portare al ribaltamento del cricchetto o al tranciamento totale della corda perché strozzata senza limite nella gola, a valori intorno ai 600-700 kgp. Questo è fuori dai criteri di sicurezza che si è data la SNS CAI (basta leggere il manuale tecnico operativo).

Vorrei inoltre far notare che nei nostri test il ribaltamento del cricchetto non è mai avvenuto in condizioni dinamiche (a caduta) ma solo in condizione di trazione lenta, senza choc, quindi nelle condizioni migliori. I risultati peggiori a trazione lenta si sono avuti con corde statiche usate (tipiche nella normale progressione in grotta) e corde nuove ma con la calza incollata ai trefoli interni (come ora sembra andare di moda fra i costruttori di corda). Preoccupante è anche il fatto che tutti i Croll 2013 testati a trazione lenta fino a valori massimi di forza di circa 600 kgp abbiano, prima o poi, portato alla rottura del dorso dell'attrezzo, con fratture che sono una fotocopia dell'altra, e ribaltamento del cricchetto. Un danno che si ripete sistematicamente non è un buon auspicio di affidabilità.

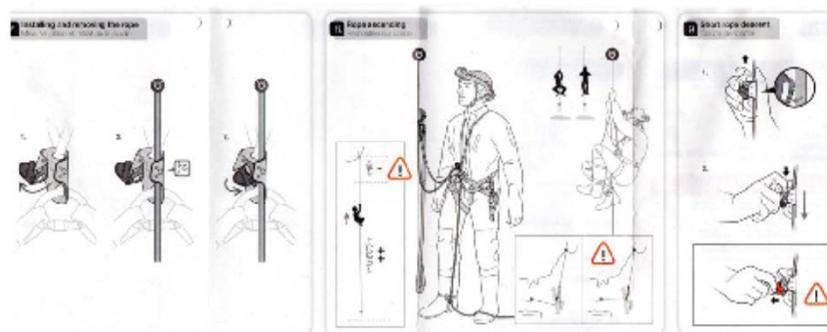
Nel Croll 2013 lo spessore del lamierino costitutivo è di un millimetro inferiore rispetto a quello del Croll 2011. Questo potrebbe essere la causa del fatto che la gola si allarga (sia pur di alcuni decimi di millimetro) anche a seguito di piccole sollecitazioni. A 400 kgp abbiamo notato un allargamento permanente di circa un millimetro. Abbiamo anche notato che queste deformazioni della gola si sommano anche a seguito del succedersi di normali manovre di risalita, quindi con sollecitazioni che non superano di molto i 100 kgp. Si hanno notizie di deformazione del lamierino anche in corrispondenza del foro dove ancorare l'imbracatura ventrale.

Ma il Croll 2013 a che uso è stato destinato dal costruttore?

Qui di seguito sono riportate le immagini che aprono l'insieme di istruzioni contenute nella confezione del Croll 2013. E' evidente da subito che si tratta del Croll, il bloccante ventrale che ha fatto la storia della speleologia; un nuovo modello ma sostanzialmente il Croll. Quindi chi lo compra – ed è in vendita nei normali negozi di articoli sportivi – pensa di avere acquistato uno strumento ultra collaudato ed affidabile. E' altrettanto evidente a chi lo acquista che si tratta di un attrezzo per speleologi vista la fig. 6 dove è rappresentata la tipica attrezzatura da grotta (il casco con l'illuminazione, l'imbracatura, la longe, ecc.).



Stessa sostanza per la fig. 8, dove però compare la prima questione: quando si fa un frazionamento spostato si usa passare la corda sotto la coscia? E' questo che insegna la SNS? Sembra chiaro che il costruttore suggerisca di usare queste modalità di progressione per salvaguardare l'integrità dell'attrezzo. Perché: c'è qualche problema di tenuta con sollecitazioni trasversali?



Poi quando passo a visionare la fig. 10 non riesco più a comprendere: il Croll 2013 deve essere utilizzato avendo accanto una seconda corda (di sicurezza, immagino) dove è in opera un sistema anticaduta ASAP? Ma il Croll 2013 è un attrezzo per speleologia su corda singola o da lavoro su corda dove si richiede in abbinamento nell'armo una seconda corda e un attrezzo anticaduta?

Per cercar di comprendere quale sia la destinazione d'uso dell'attrezzo vado a leggere dettagliatamente quanto riportato nelle istruzioni contenute nella confezione. Leggo e riporto.

Punto 1. Campo di applicazione

Dispositivo di protezione individuale (DPI). Bloccante ventrale di progressione su corda.

- Bloccante per alpinismo e arrampicata (EN 567: 1997).
- Dispositivo di salita per supporto da lavoro (EN 12841 tipo B: 2006).

Quindi il Croll modello 2013 non è destinato alla speleologia!

Punto 10. EN 12841 tipo B – Informazioni supplementari

Il Croll è un dispositivo di regolazione su corda di tipo B destinato alla progressione verso l'alto sulla fune di lavoro.

Il Croll deve essere utilizzato con un dispositivo di tipo A in autoassicurazione sulla fune di sicurezza (es. con un anticaduta di tipo guidato su corda ASAP).

- *il Croll non è adatto ad un utilizzo in un sistema anticaduta,*
- *omissis.*

Un sovraccarico dinamico potrebbe danneggiare i supporti d'assicurazione.

Carico nominale massimo: 100kg.

Si spiega così la fig. 10:

1. in caso di lavori su funi occorre che si risalga utilizzando una seconda corda per sicurezza anticaduta,
2. occorre altresì che non si superino i 100 kg (naturalmente kgp essendo una forza e non un massa).

Ma a questo punto mi sorge spontanea una domanda: lo stesso attrezzo se lo utilizza un lavoratore su fune deve avere una corda di sicurezza abbinata e non si possono superare i 100 kgp di forza massima. Per contro se lo utilizza uno speleologo può essere usato su una corda singola, essere un attrezzo anticaduta e resistere 400 kgp?

A questo punto, anche alla luce dei test da noi effettuati, mi sembra che la conclusione possa essere una sola. Il nuovo Croll della Petzl, nonostante il nome, è un nuovo strumento che nulla a che fare con il vecchio efficientissimo Croll. Il modello 2013 è progettato per lavori su fune e richiede il rispetto di tutte le relative norme (doppia corda, non superamento del carico massimo di 100 kgp, ecc.).

Non mi sembra dunque adatto alla progressione in grotta dove si utilizza una sola fune, le cadute sono sempre in agguato e nella progressione si superano normalmente e ripetutamente i 100 kgp di sollecitazione.

Mi sfugge poi completamente il senso di quella limitazione del carico massimo (100 kgp) quando sappiamo per certo che anche nelle condizioni più normali ogni singola pedalata può produrre forze superiori a 100 kgp (vedi grafico soprastante). E su questo non c'è distinzione perché, suppongo, pedalino allo stesso modo tanto un lavoratore quanto uno speleo.