Club Alpino Italiano
Commissione Centrale per la Speleologia e Torrentismo
Scuola Nazionale di Speleologia
Gruppo di Studio Materiali e Tecniche



37° Corso Nazionale sulle caratteristiche e resistenza delle attrezzature speleo alpinistiche e canyoning

6 – 8 dicembre 2019

Francesco Salvatori

Marco Menichetti

Catena di sicurezza

*Longe 30-40 cm

deformabile

Limite Inferiore Resistenza

LIR ≥ 1100 kgp

Roccia — Non deformabile

Tassello — Rigido 1 cm

Bullone — Rigido 1 cm

Placca/anello — Rigido 5 cm

Moschettone — Rigido 10 cm

Corda

Bloccanti* — Imbraco — CORPO

Imbraco — CORPO

Discensore* — Imbraco — CORPO

Sollecitazione lenta o quasi-statica

Sollecitazione veloce o choc

Test quasi-statici

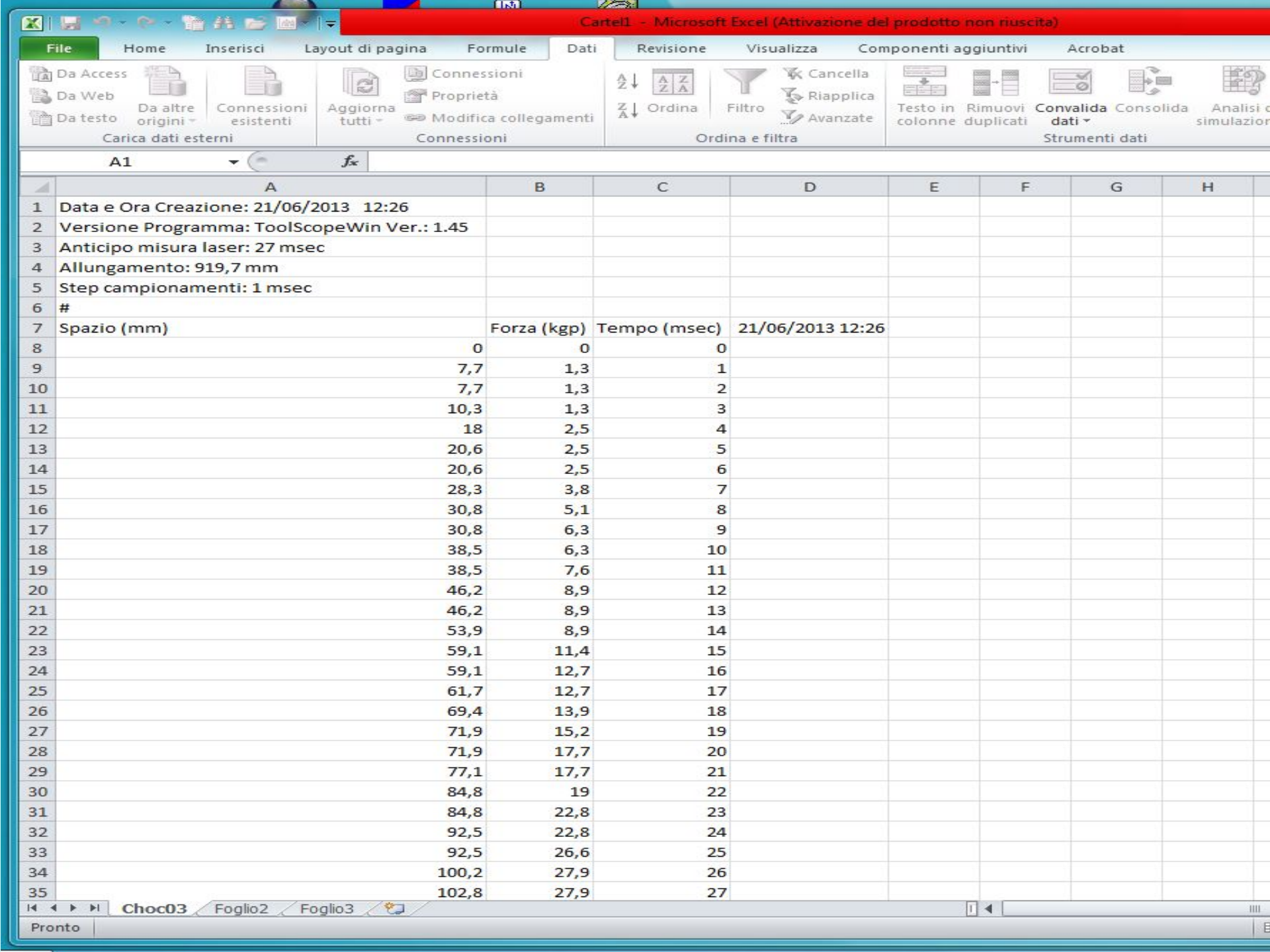
con nodi

Trazione alla rottura:

lavoro alla rottura

Trazione lenta o quasi statica corda con nodi





Cartel1 - Microsoft Excel (Attivazione del prodotto non riuscita)

File | Home | Inserisci | Layout di pagina | Formule | Dati | Revisione | Visualizza | Componenti aggiuntivi | Acrobat

Da Access | Da Web | Da testo | Da altre origini | Connessioni esistenti — Carica dati esterni

Aggiorna tutti | Connessioni | Proprietà | Modifica collegamenti — Connessioni

Ordina | Filtro | Cancella | Riapplica | Avanzate — Ordina e filtra

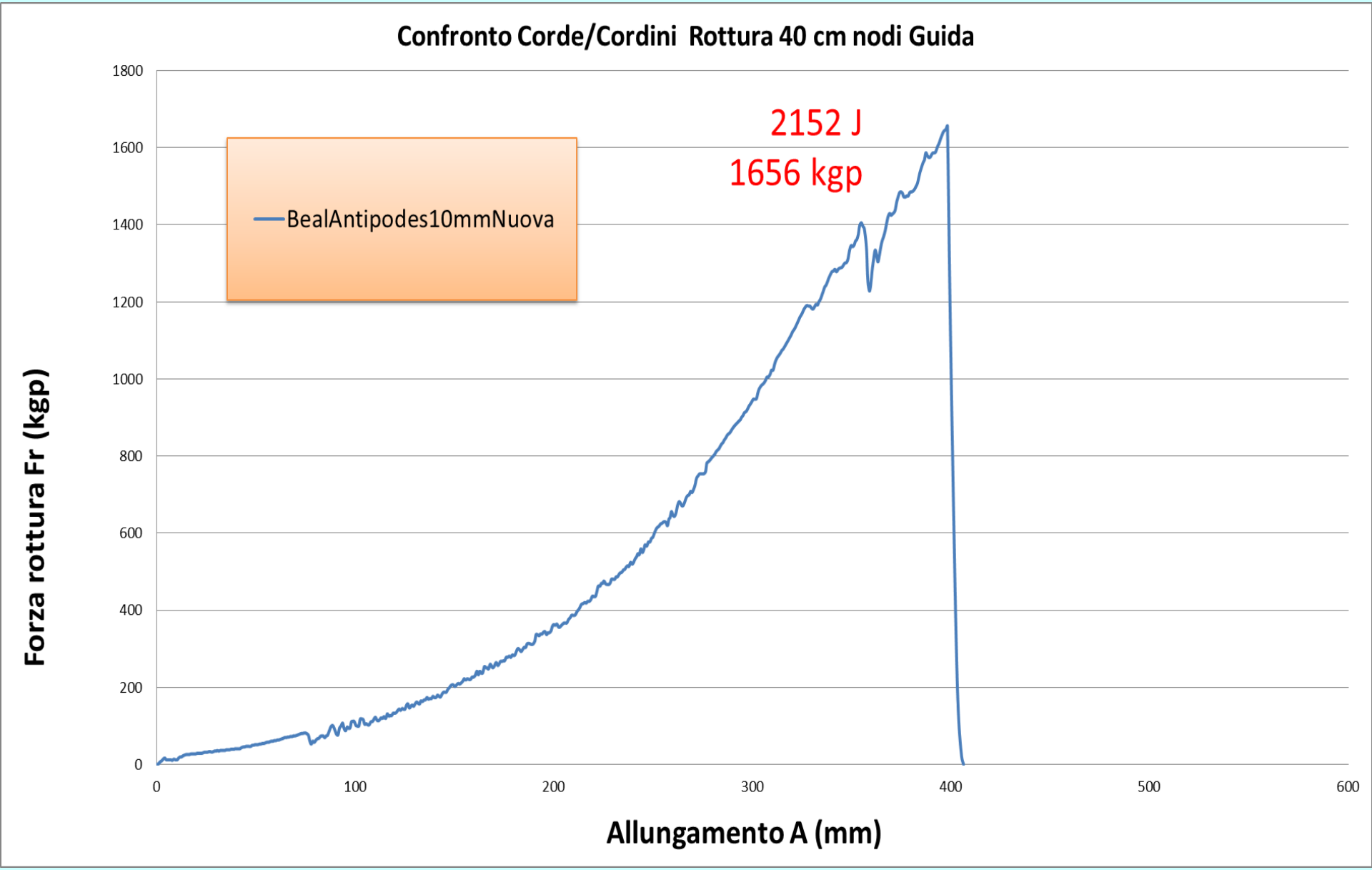
Testo in colonne | Rimuovi duplicati | Convalida dati | Consolida | Analisi simulazion — Strumenti dati

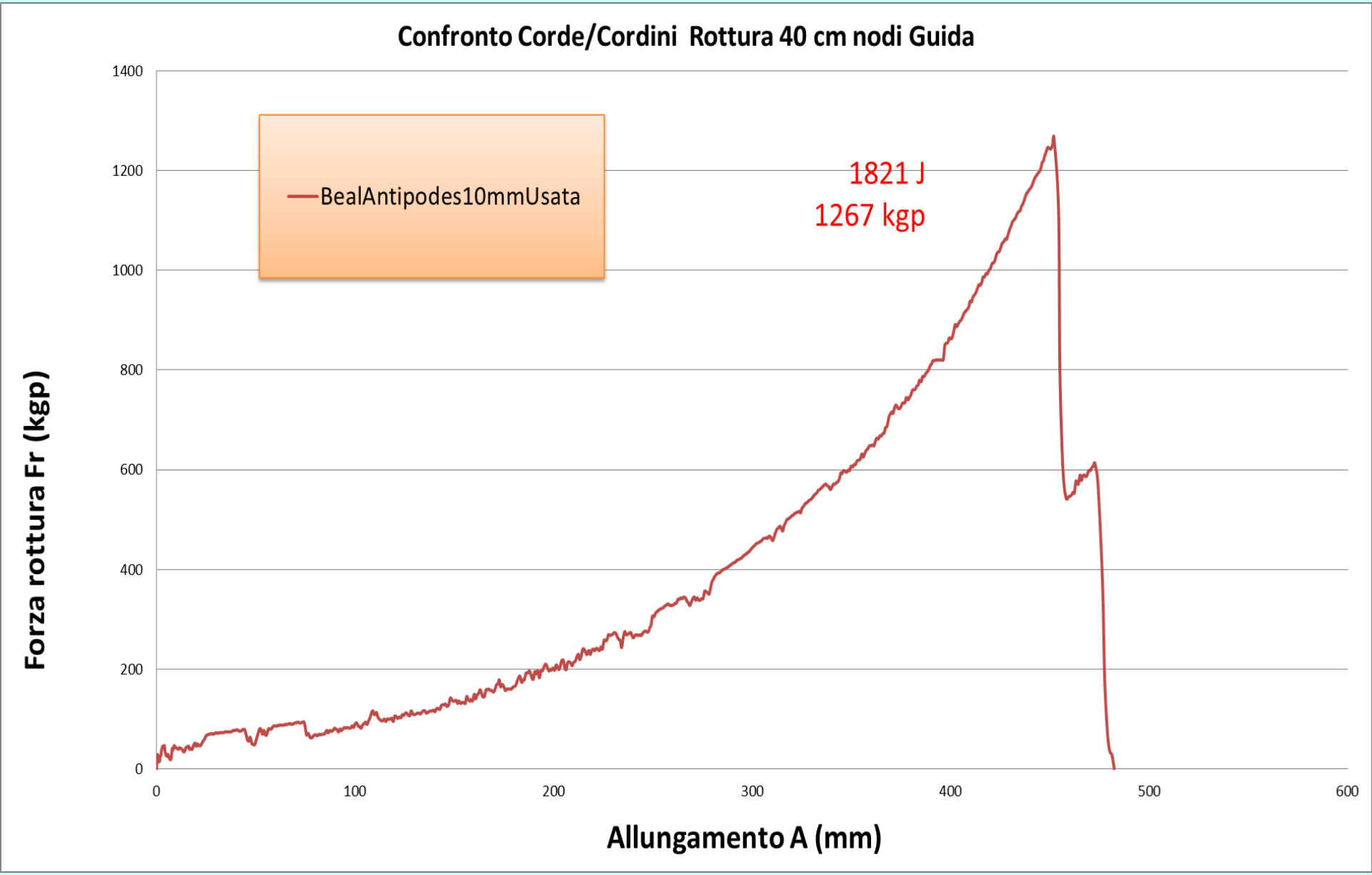
A1

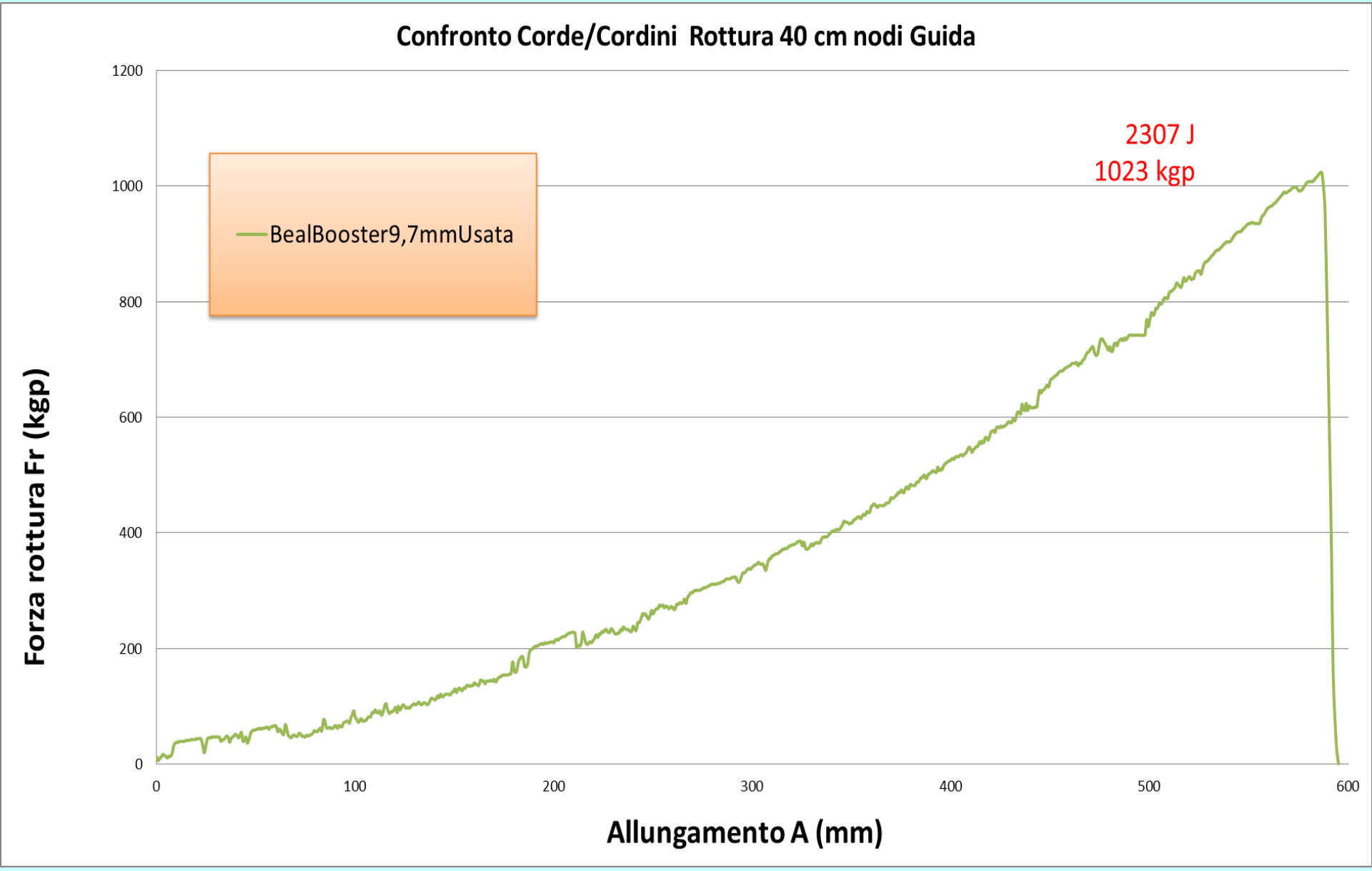
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Data e Ora Creazione: 21/06/2013 12:26							
2	Versione Programma: ToolScopeWin Ver.: 1.45							
3	Anticipo misura laser: 27 msec							
4	Allungamento: 919,7 mm							
5	Step campionamenti: 1 msec							
6	#							
7	Spazio (mm)	Forza (kgp)	Tempo (msec)	21/06/2013 12:26				
8	0	0	0					
9	7,7	1,3	1					
10	7,7	1,3	2					
11	10,3	1,3	3					
12	18	2,5	4					
13	20,6	2,5	5					
14	20,6	2,5	6					
15	28,3	3,8	7					
16	30,8	5,1	8					
17	30,8	6,3	9					
18	38,5	6,3	10					
19	38,5	7,6	11					
20	46,2	8,9	12					
21	46,2	8,9	13					
22	53,9	8,9	14					
23	59,1	11,4	15					
24	59,1	12,7	16					
25	61,7	12,7	17					
26	69,4	13,9	18					
27	71,9	15,2	19					
28	71,9	17,7	20					
29	77,1	17,7	21					
30	84,8	19	22					
31	84,8	22,8	23					
32	92,5	22,8	24					
33	92,5	26,6	25					
34	100,2	27,9	26					
35	102,8	27,9	27					

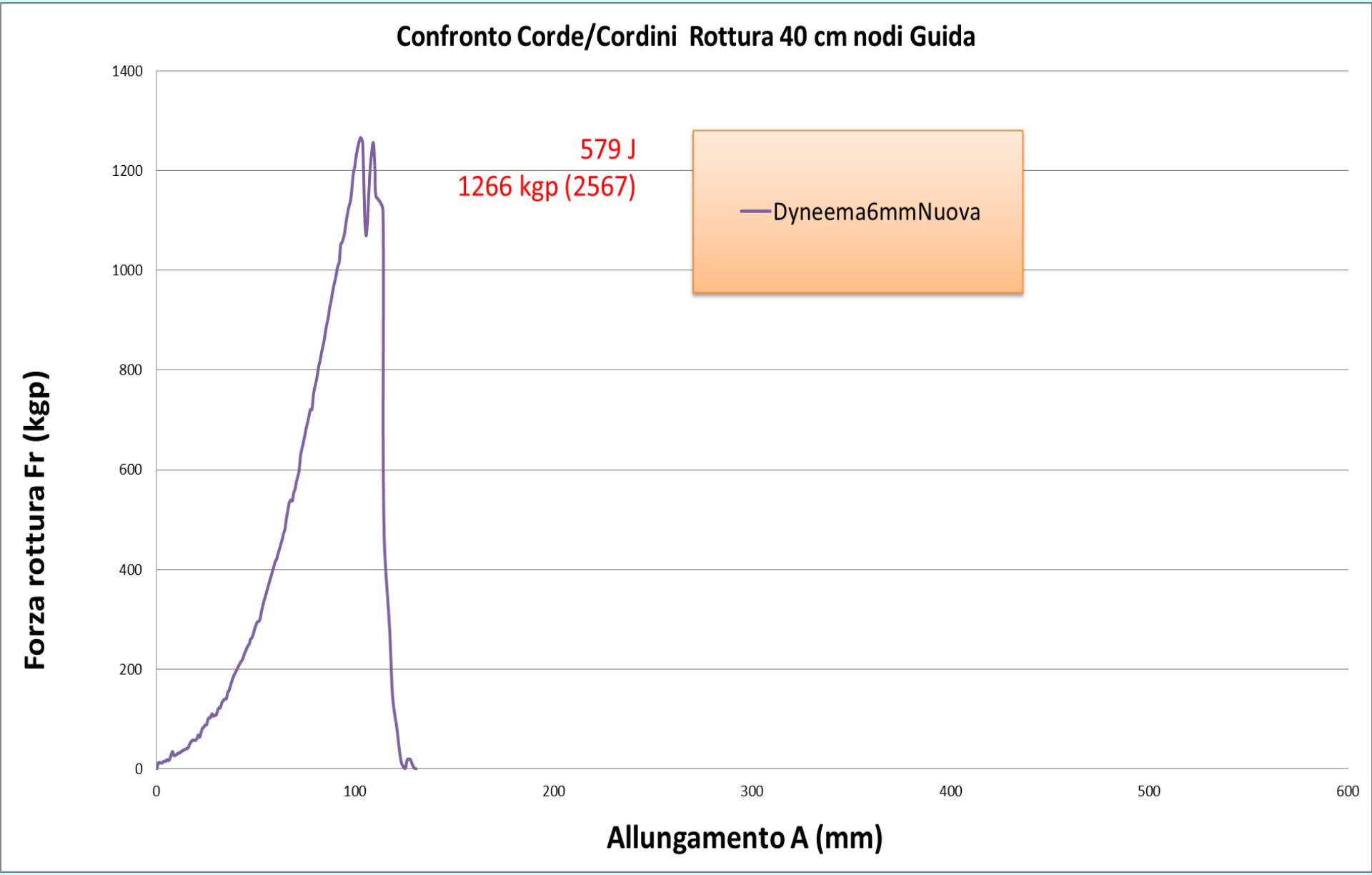
Choc03 | Foglio2 | Foglio3

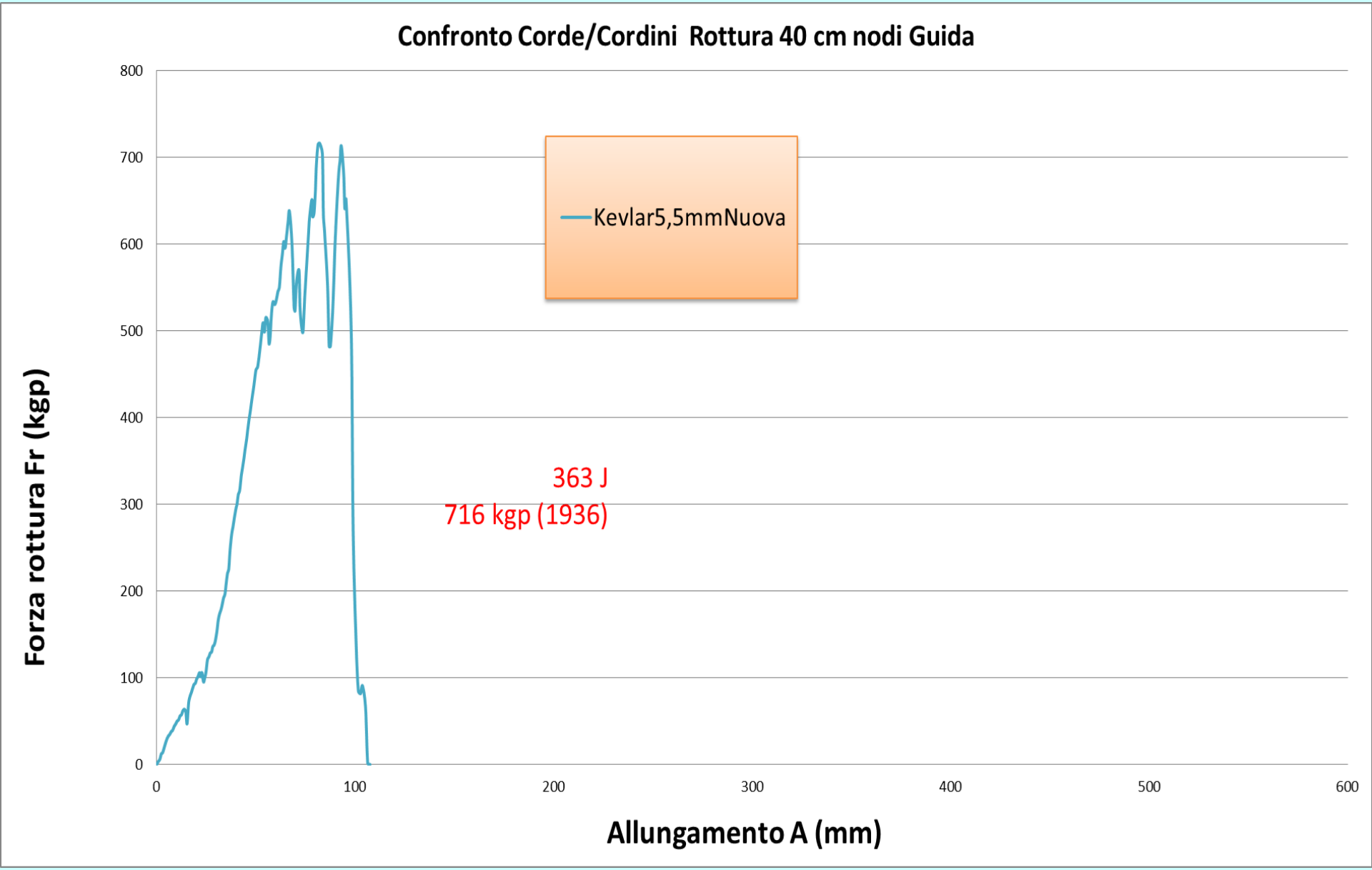
Pronto

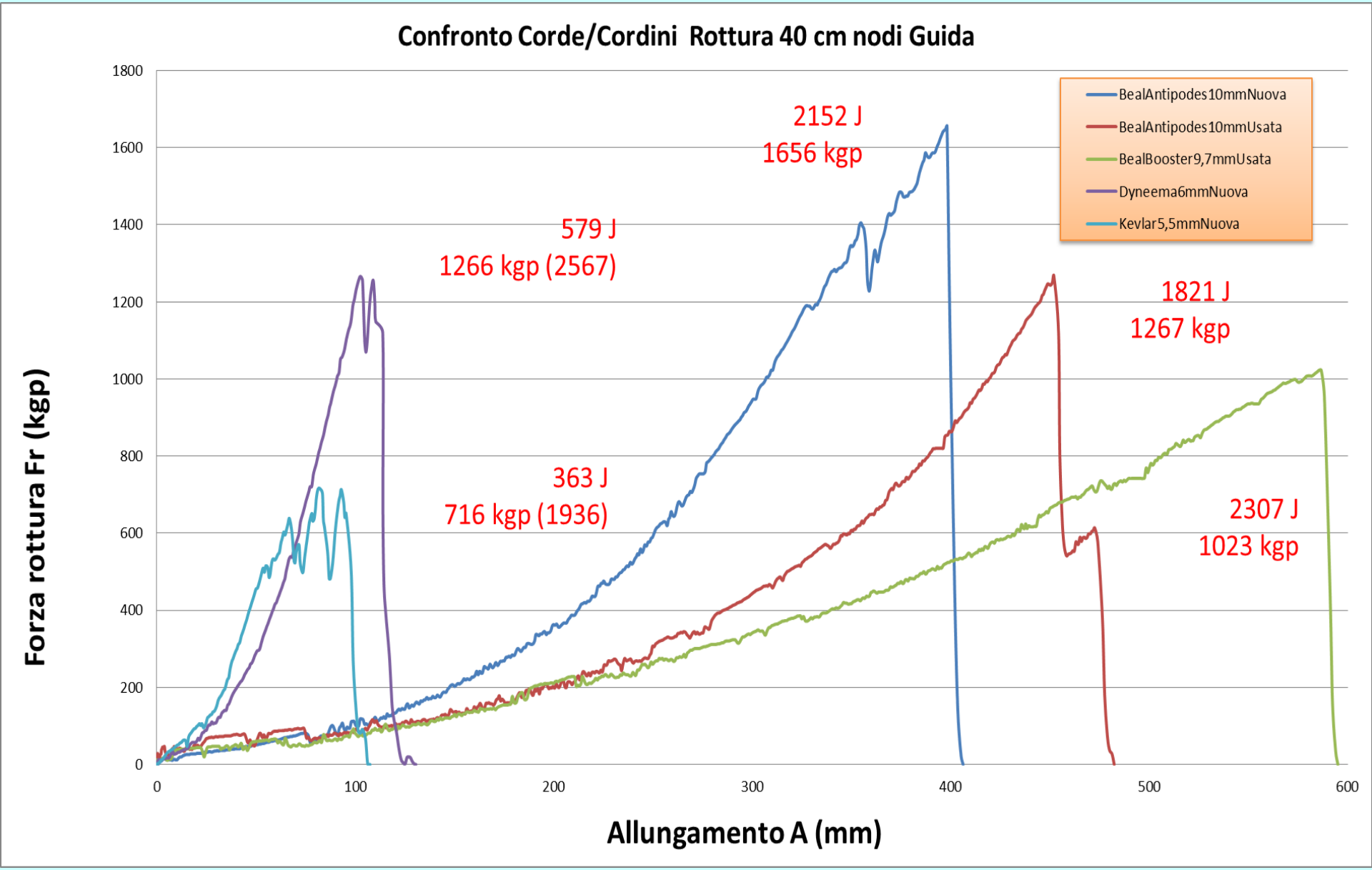

Confronto Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
2152 J
1656 kgp
BealAntipodes10mmNuova
Forza rottura Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
0
100
200
300
400
500
600


Confronto Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
BealAntipodes10mmUsata
1821 J
1267 kgp
Forza rottura Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
0
100
200
300
400
500
600


Confronto Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
1200
1000
800
600
400
200
0
Forza rottura Fr (kgp)
BealBooster9,7mmUsata
2307 J
1023 kgp
0
100
200
300
400
500
600
Allungamento A (mm)


Confronto Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
579 J
1266 kgp (2567)
Dyneema6mmNuova
Forza rottura Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
100
200
300
400
500
600


Confronto Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
Forza rottura Fr (kgp)
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Kevlar5,5mmNuova
363 J
716 kgp (1936)
0
100
200
300
400
500
600
Allungamento A (mm)


Confronto Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
Forza rottura Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
100
200
300
400
500
600
BealAntipodes10mmNuova
BealAntipodes10mmUsata
BealBooster9,7mmUsata
Dyneema6mmNuova
Kevlar5,5mmNuova
2152 J
1656 kgp
579 J
1266 kgp (2567)
1821 J
1267 kgp
363 J
716 kgp (1936)
2307 J
1023 kgp

CADUTA

trazione veloce
sollecitazione choc

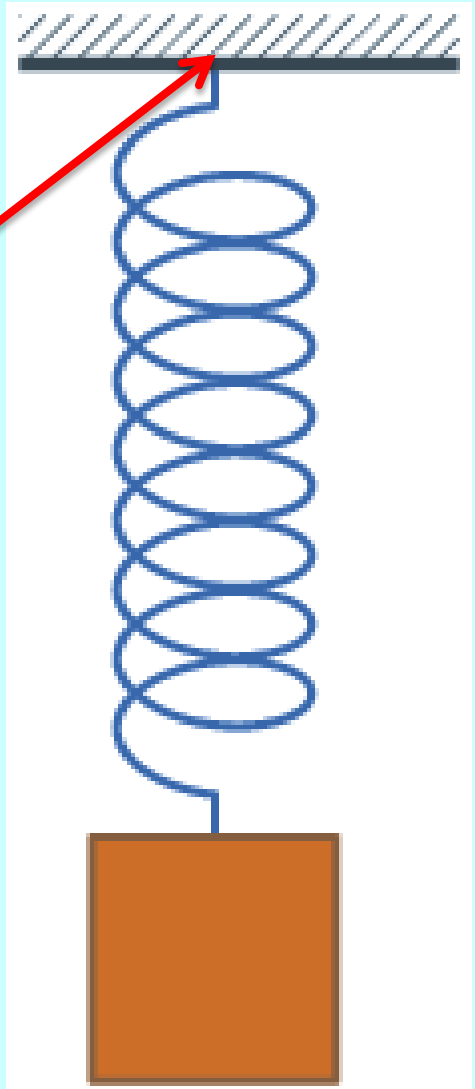
Teoria

Oscillazioni armoniche

(Forza/Tempo)

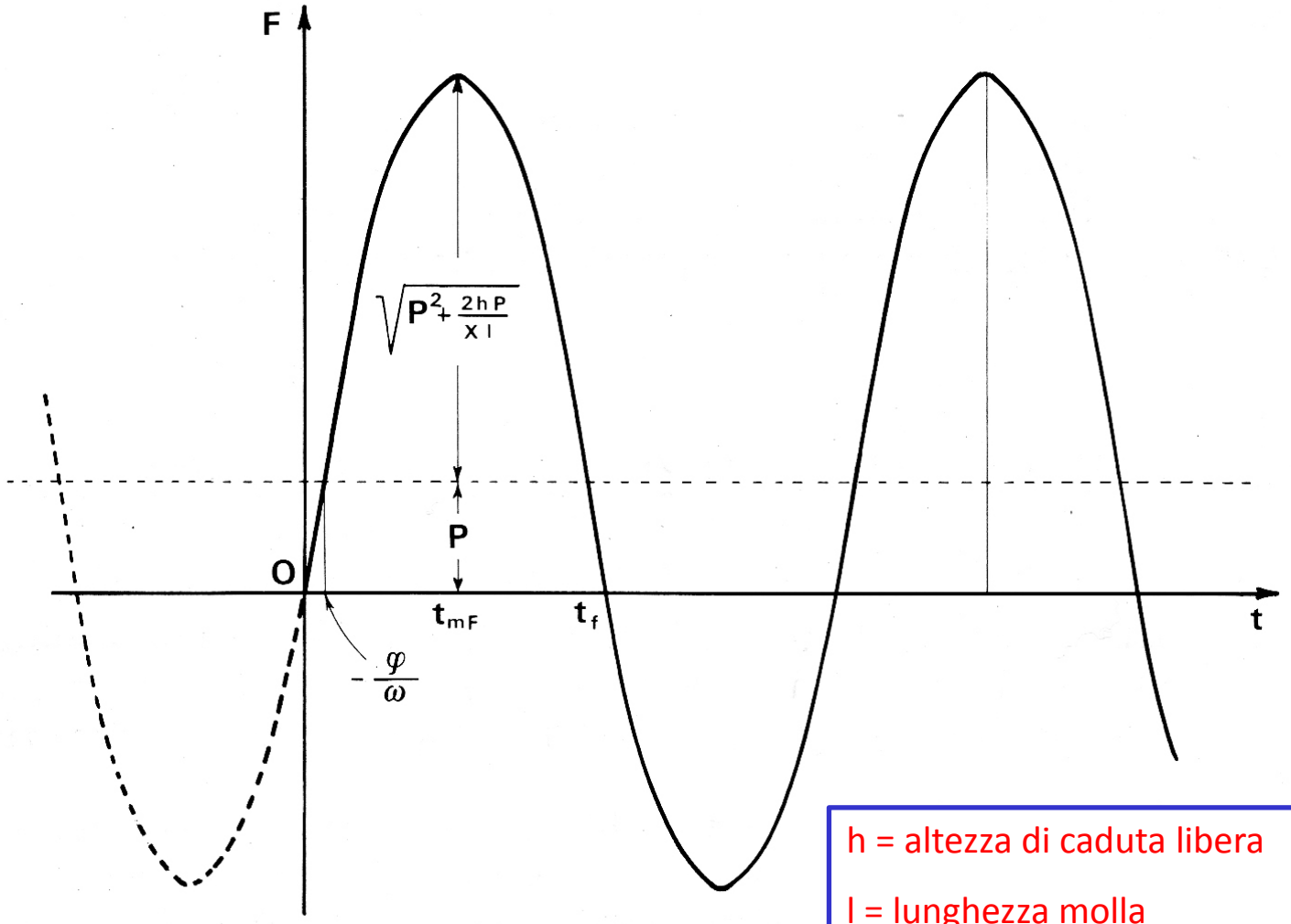
Dinamometro verticale

Cella di carico F = Forza (kgp)



Orologio = Tempo (s)





Forza/Tempo

h = altezza di caduta libera

l = lunghezza molla

X = coefficiente di elasticità della molla

$$F_{max} = P + \sqrt{P^2 + \frac{2P \cdot F_c}{X}}$$

$X = coeficiente\ di\ elasticità$

$F_c = fattore\ di\ caduta = \frac{h}{L}$

$h = altezza\ di\ caduta$

$L = lunghezza\ campione$

Calcolo Forza Massima

(con X costante)

Un corpo di 80 kg dopo un 1 m di caduta genera forze che possono superare i 1000 kgp



FORZA

Limite Inferiore di resistenza

LIR

1100 kgp

Realtà

Oscillazioni armoniche

smorzate

(Forza/Tempo)

Nella realtà:

1) con gli attriti interni alla corda,

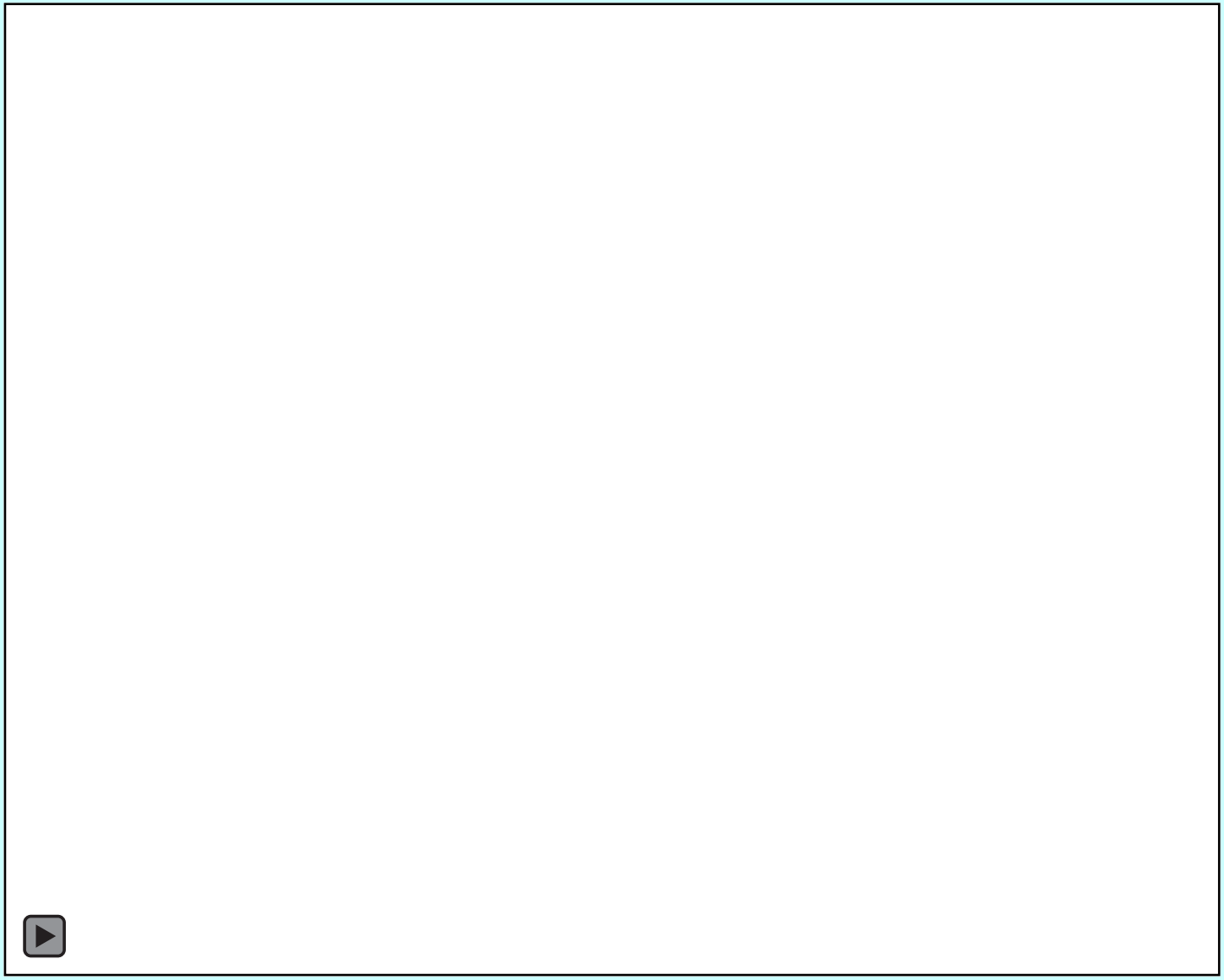
2) con la resistenza dell'aria,

3)con le deformazioni permanenti,

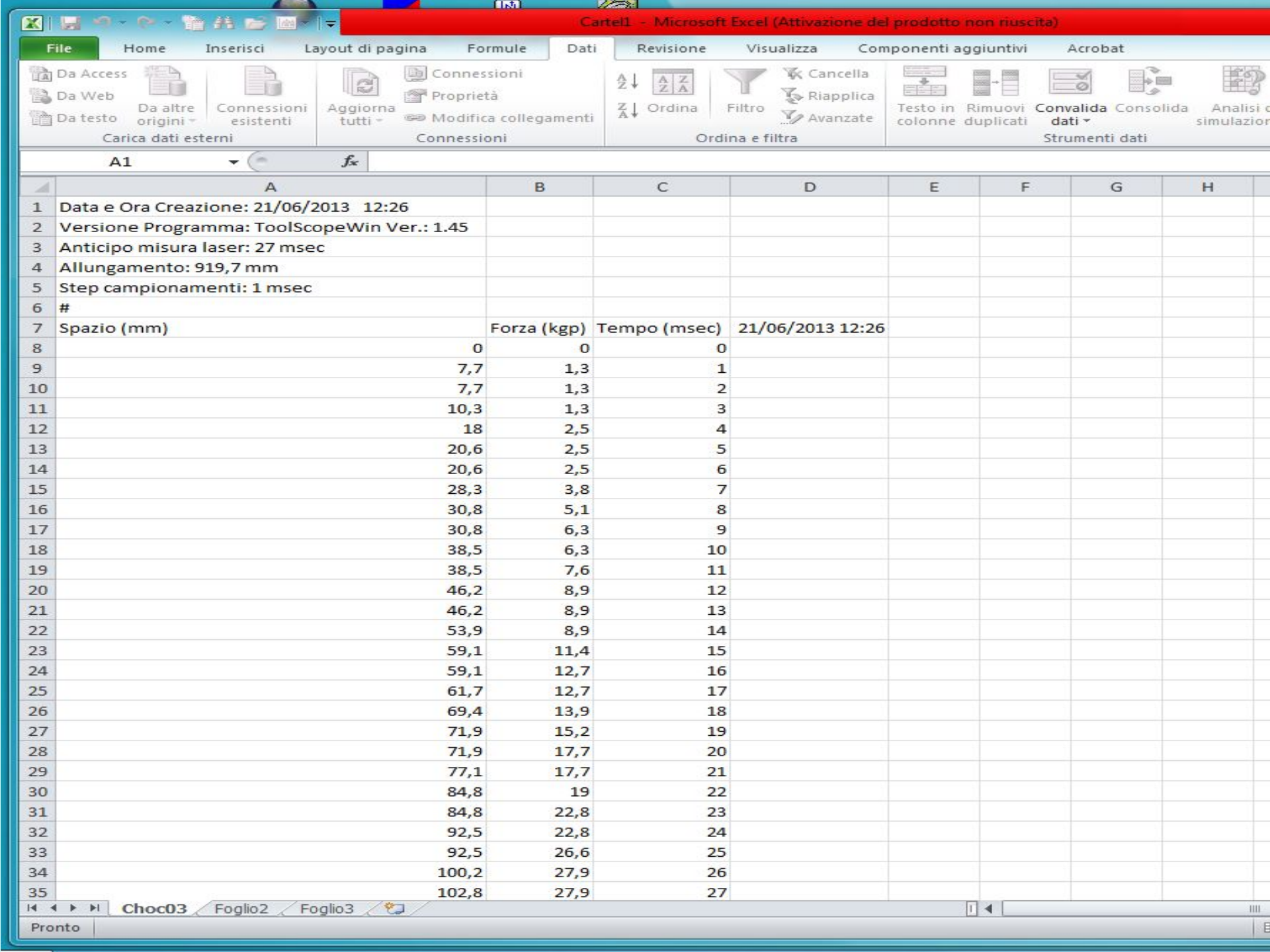
le oscillazioni vanno gradualemnte smorzandosi



Caduta peso su corda con nodi







Cartel1 - Microsoft Excel (Attivazione del prodotto non riuscita)

File | Home | Inserisci | Layout di pagina | Formule | Dati | Revisione | Visualizza | Componenti aggiuntivi | Acrobat

Da Access | Da Web | Da testo | Da altre origini | Connessioni esistenti — Carica dati esterni

Aggiorna tutti | Connessioni | Proprietà | Modifica collegamenti — Connessioni

Ordina | Filtro | Cancella | Riapplica | Avanzate — Ordina e filtra

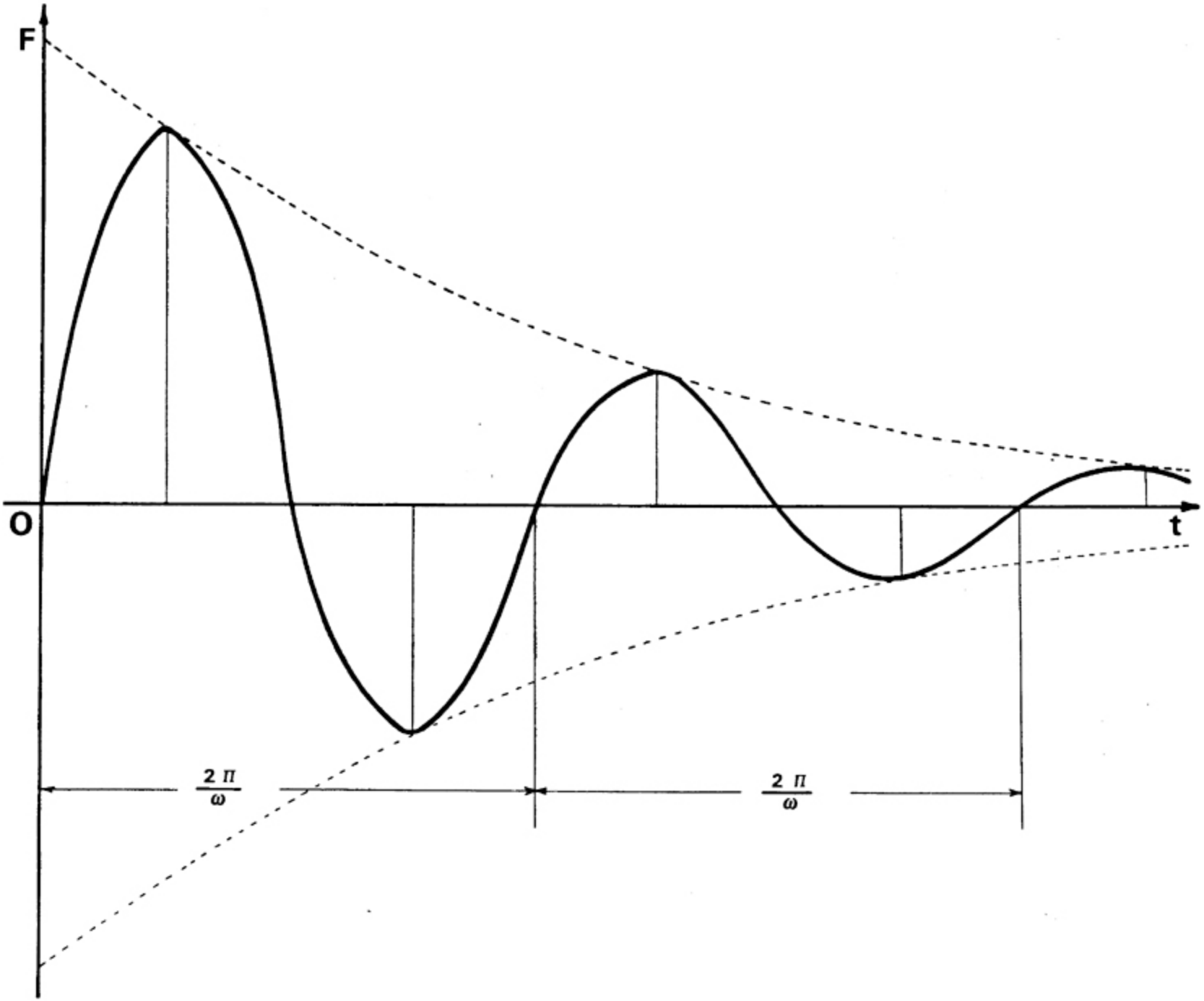
Testo in colonne | Rimuovi duplicati | Convalida dati | Consolida | Analisi simulazion — Strumenti dati

A1

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Data e Ora Creazione: 21/06/2013 12:26							
2	Versione Programma: ToolScopeWin Ver.: 1.45							
3	Anticipo misura laser: 27 msec							
4	Allungamento: 919,7 mm							
5	Step campionamenti: 1 msec							
6	#							
7	Spazio (mm)	Forza (kgp)	Tempo (msec)	21/06/2013 12:26				
8	0	0	0					
9	7,7	1,3	1					
10	7,7	1,3	2					
11	10,3	1,3	3					
12	18	2,5	4					
13	20,6	2,5	5					
14	20,6	2,5	6					
15	28,3	3,8	7					
16	30,8	5,1	8					
17	30,8	6,3	9					
18	38,5	6,3	10					
19	38,5	7,6	11					
20	46,2	8,9	12					
21	46,2	8,9	13					
22	53,9	8,9	14					
23	59,1	11,4	15					
24	59,1	12,7	16					
25	61,7	12,7	17					
26	69,4	13,9	18					
27	71,9	15,2	19					
28	71,9	17,7	20					
29	77,1	17,7	21					
30	84,8	19	22					
31	84,8	22,8	23					
32	92,5	22,8	24					
33	92,5	26,6	25					
34	100,2	27,9	26					
35	102,8	27,9	27					

Choc03 | Foglio2 | Foglio3

Pronto


F
O
t
2 π / ω
2 π / ω

Beal Antipodes 10mm Nuova H10cm L3275mm Choc08

CADUTA

su

catena di sicurezza

*Longe 30-40 cm

deformabile

Limite Inferiore Resistenza

LIR ≥ 1100 kgp

Roccia — Non deformabile

Tassello — Rigido 1 cm

Bullone — Rigido 1 cm

Placca/anello — Rigido 5 cm

Moschettone — Rigido 10 cm

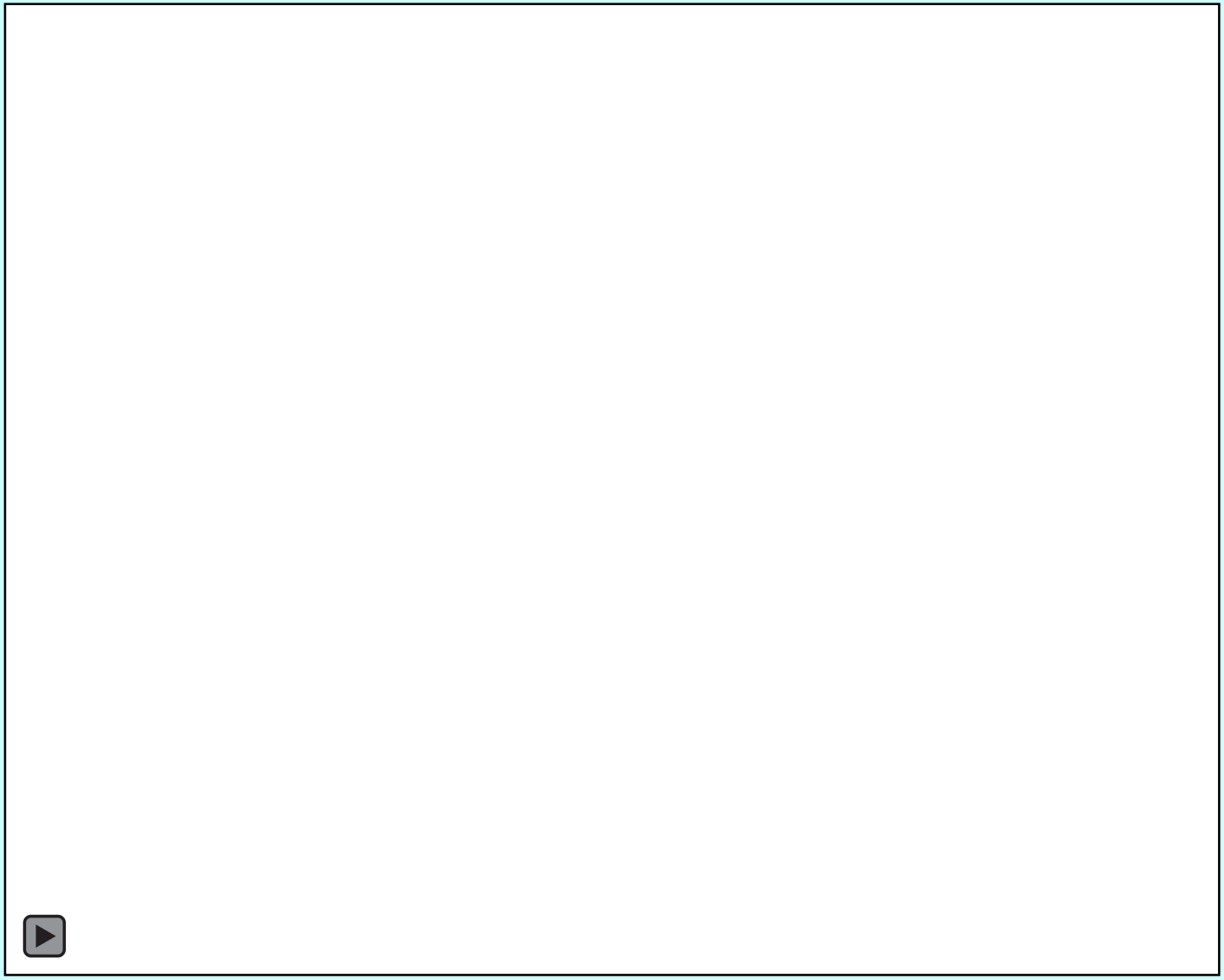
Corda

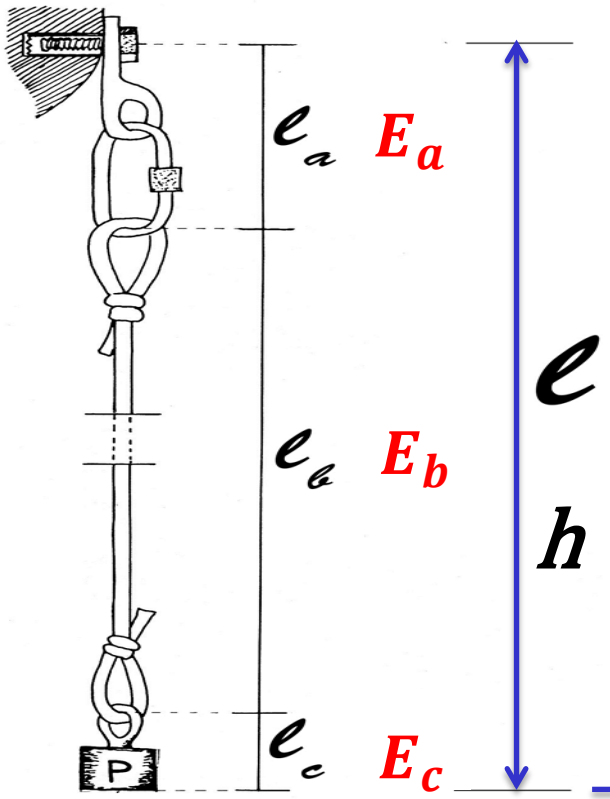
Bloccanti* — Imbraco — CORPO

Imbraco — CORPO

Discensore* — Imbraco — CORPO

Caduta peso su corda con nodi





statico

$E_{cinetica} = P \cdot h$

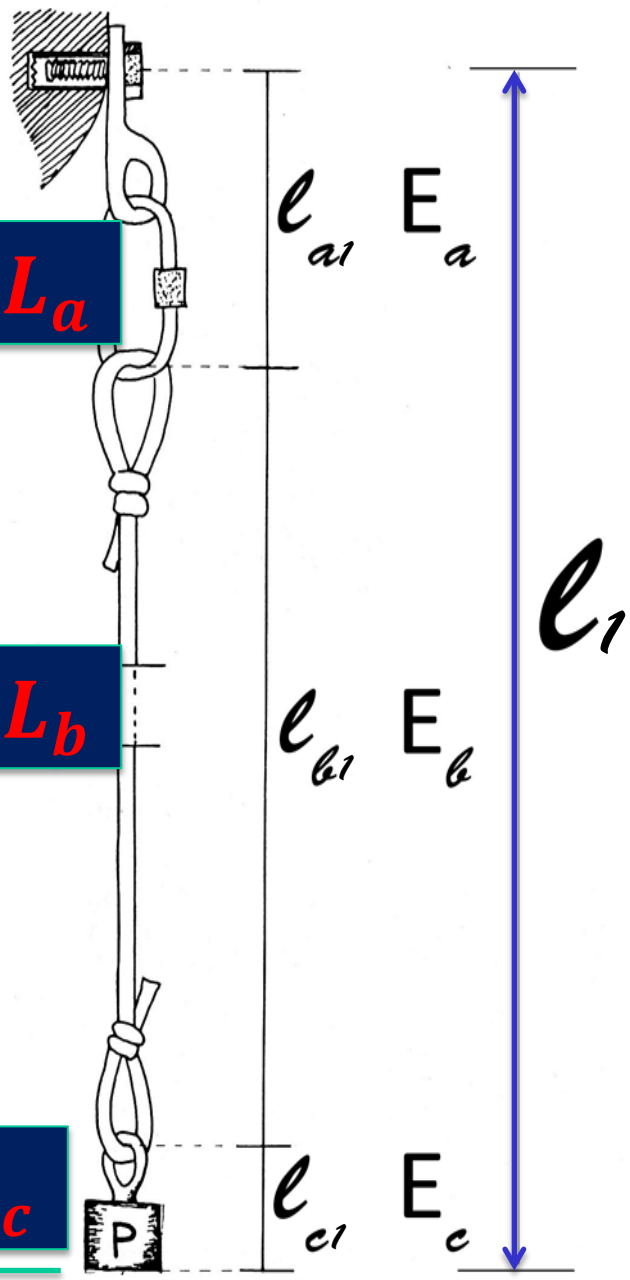
ℓ = lunghezza

E = modulo di elasticita'

L = lavoro = energia

$E_c > E_a \gg E_b$

F = 0



$l_1 - l = Allungamento\ max = A_{max}$

F_{max}

F_{max} = massima = arresto = choc

dinamico

$$Lavoro = L = \Delta E$$

$L =$ Forza x Spostamento $=$ F x S

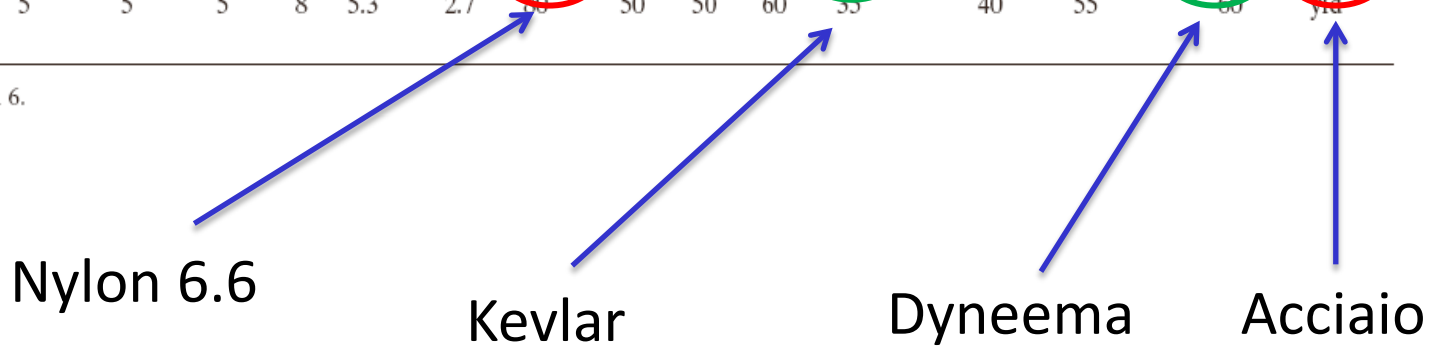
$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

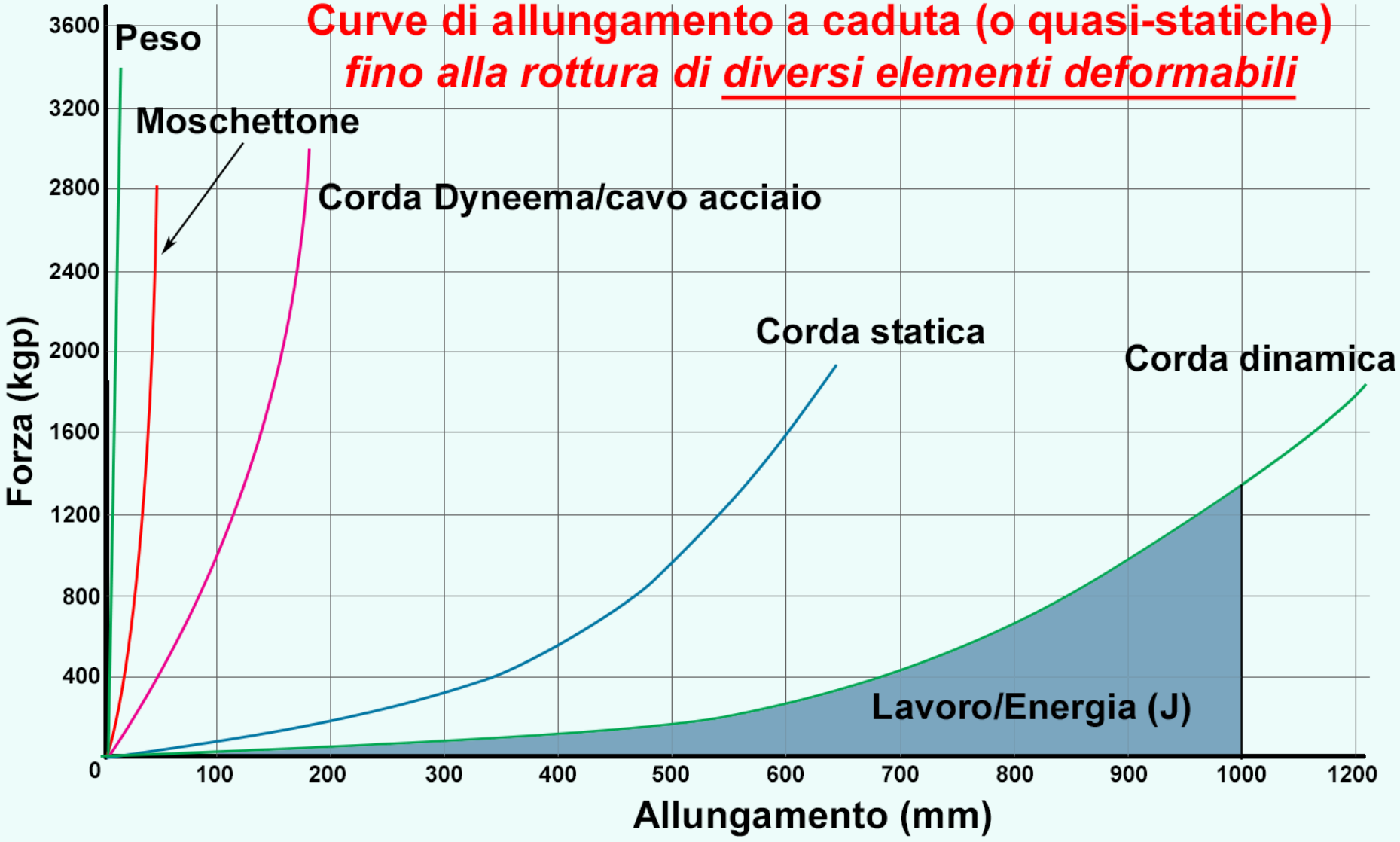
$E =$ *modulo elasticità*

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

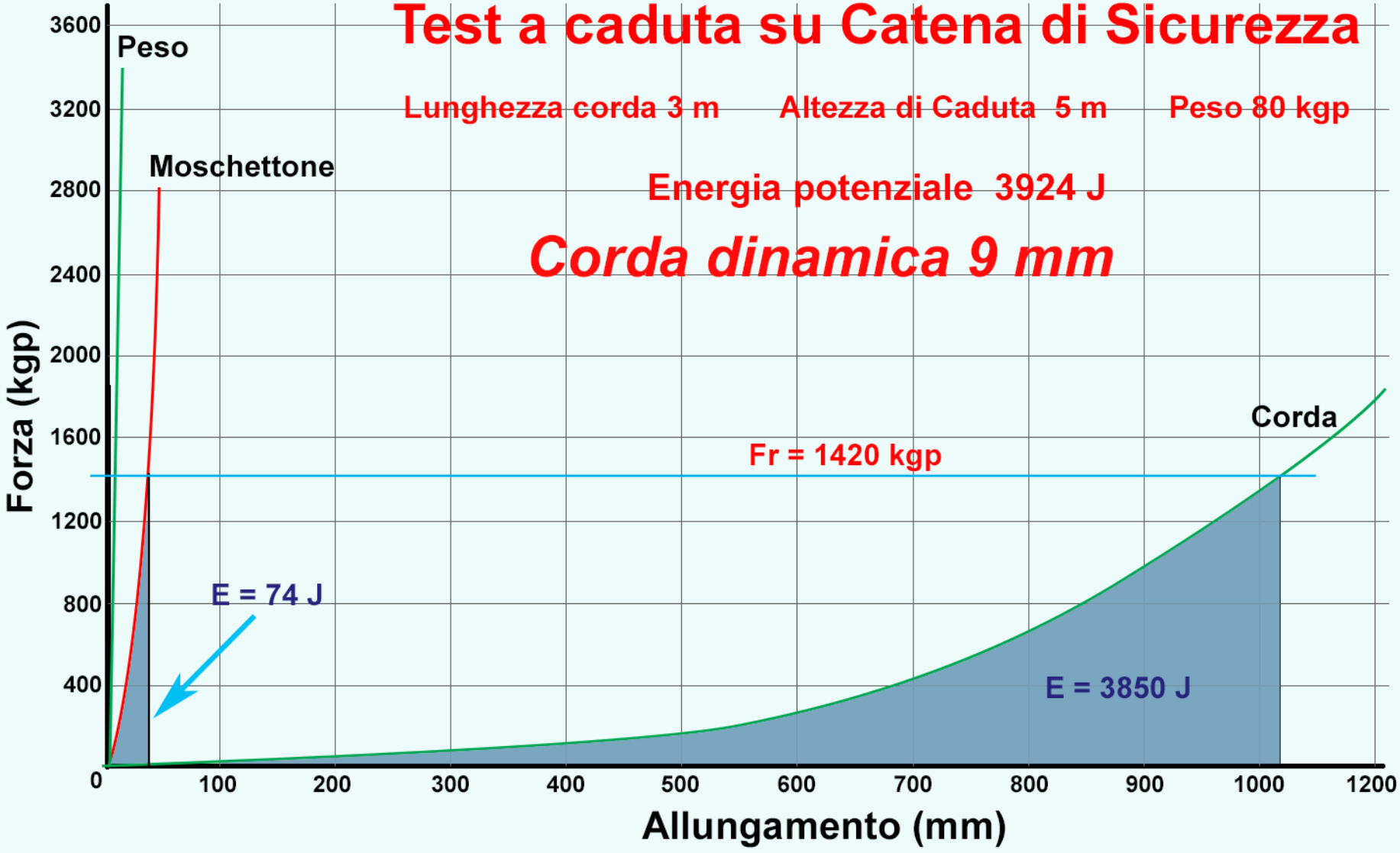
	Cotton	Abaca	Sisal	Flax	Hemp	Jute	Nylon	PET	PE	PP	Aramid	TLCP	PBO	HMPE	Steel
Density (g/cm^3)	1.54	1.32	1.32	1.54	1.5	1.5	1.14	1.38	0.95	0.91	1.45	1.40	1.55	0.97	7.85
Melting point (°C)	– – – – – – – – – char at *ca*150 – – – – – – – –						258*	258	140	165	decom 500	330	decom 650	150	1600
Moisture (%) 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

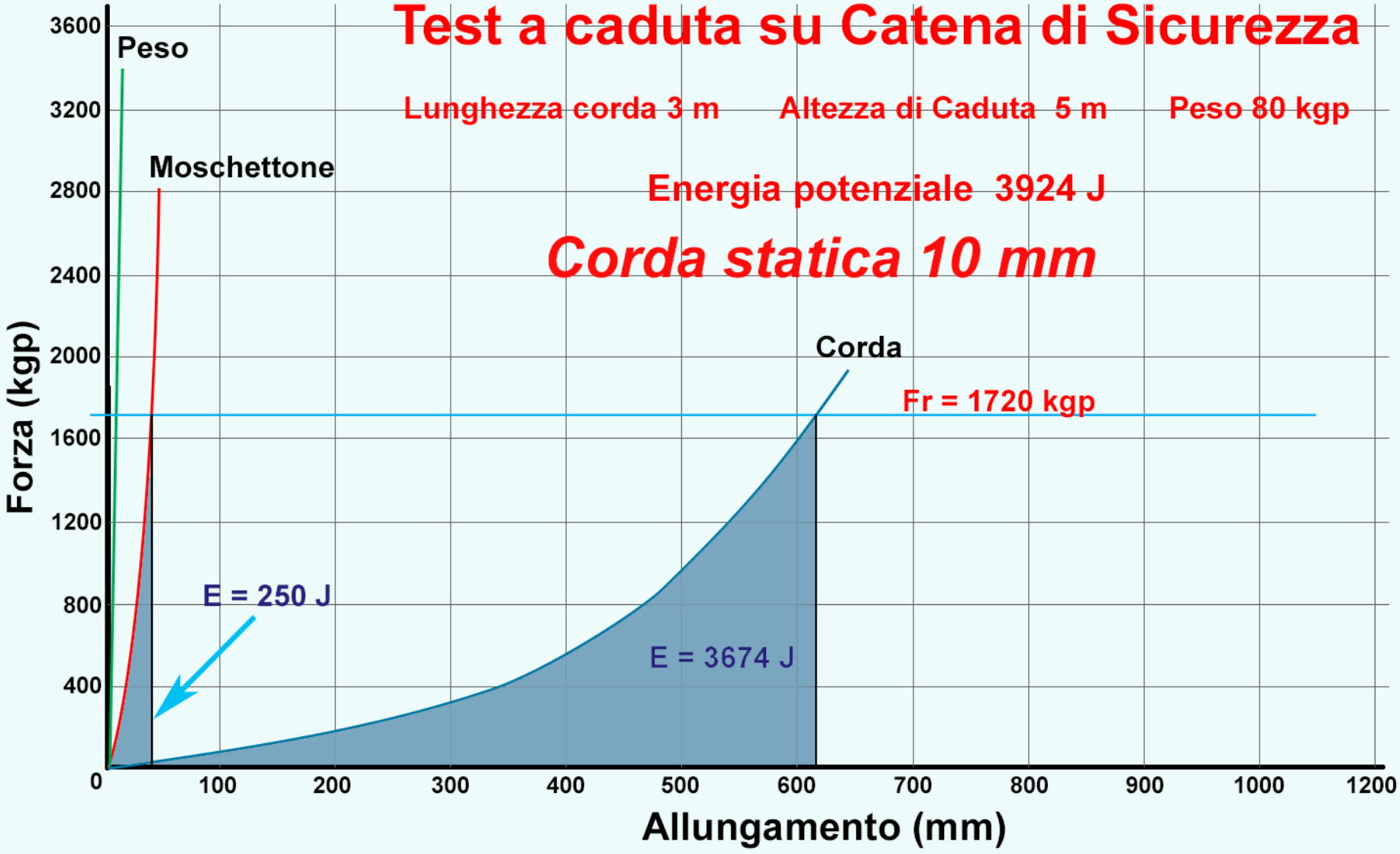
* Nylon 6.6–218°C for nylon 6.
** Less when wet.

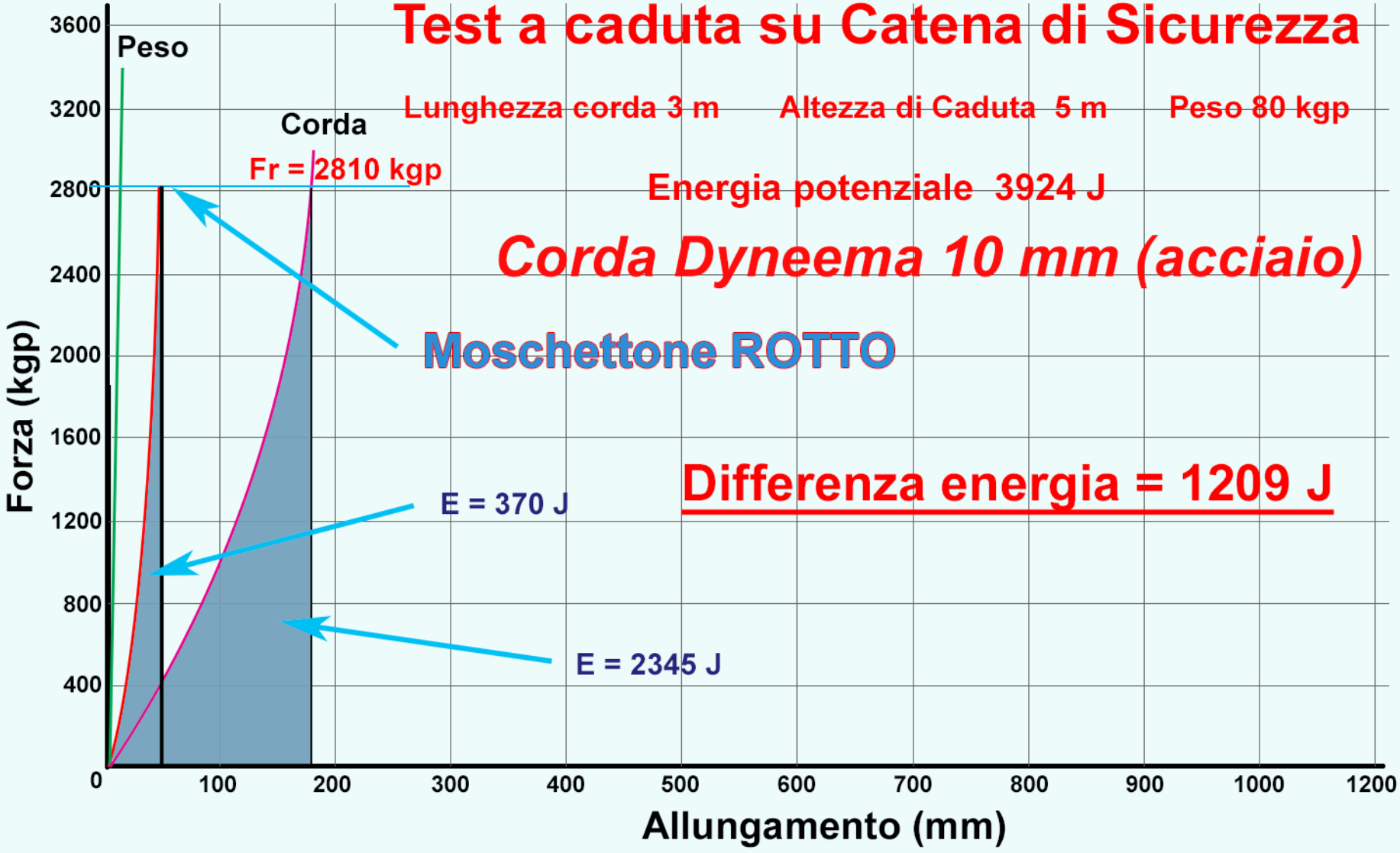



Curve di allungamento a caduta (o quasi-statiche)
fino alla rottura di diversi elementi deformabili
Peso
Moschettone
Corda Dyneema/cavo acciaio
Corda statica
Corda dinamica
Lavoro/Energia (J)
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
400
800
1200
1600
2000
2400
2800
3200
3600
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1200

Beal Antipodes 10mm Nuova H10cm L3275mm Choc08


Test a caduta su Catena di Sicurezza
Lunghezza corda 3 m
Altezza di Caduta 5 m
Peso 80 kgp
Energia potenziale 3924 J
Corda dinamica 9 mm
Peso
Moschettone
Corda
Fr = 1420 kgp
E = 74 J
E = 3850 J
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
400
800
1200
1600
2000
2400
2800
3200
3600
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1200


Test a caduta su Catena di Sicurezza
Lunghezza corda 3 m
Altezza di Caduta 5 m
Peso 80 kgp
Energia potenziale 3924 J
Corda statica 10 mm
Peso
Moschettone
Corda
Fr = 1720 kgp
E = 250 J
E = 3674 J
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
400
800
1200
1600
2000
2400
2800
3200
3600
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1200


Test a caduta su Catena di Sicurezza
Lunghezza corda 3 m
Altezza di Caduta 5 m
Peso 80 kgp
Energia potenziale 3924 J
Corda Dyneema 10 mm (acciaio)
Moschettone ROTTO
Differenza energia = 1209 J
Peso
Corda
Fr = 2810 kgp
E = 370 J
E = 2345 J
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
400
800
1200
1600
2000
2400
2800
3200
3600
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1200

Un corpo di 80 kg dopo un 1 m di caduta libera genera:

758 J di energia

758 J = 181 calorie

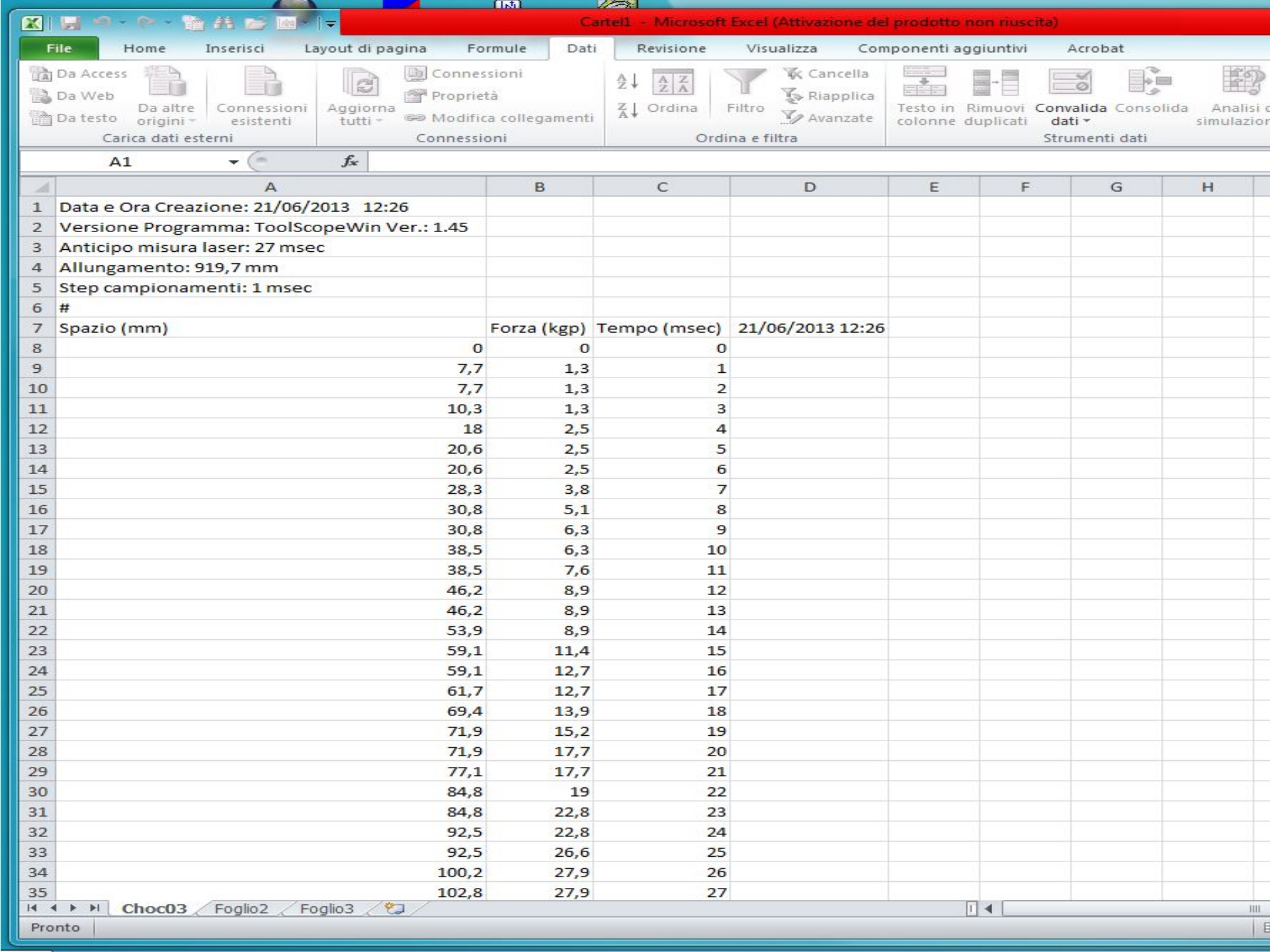
2250 calorie/quotidiane

Progressione normale

Forze in gioco







Cartel1 - Microsoft Excel (Attivazione del prodotto non riuscita)

File | Home | Inserisci | Layout di pagina | Formule | Dati | Revisione | Visualizza | Componenti aggiuntivi | Acrobat

Da Access | Da Web | Da testo | Da altre origini | Connessioni esistenti — Carica dati esterni

Aggiorna tutti | Connessioni | Proprietà | Modifica collegamenti — Connessioni

Ordina | Filtro | Cancella | Riapplica | Avanzate — Ordina e filtra

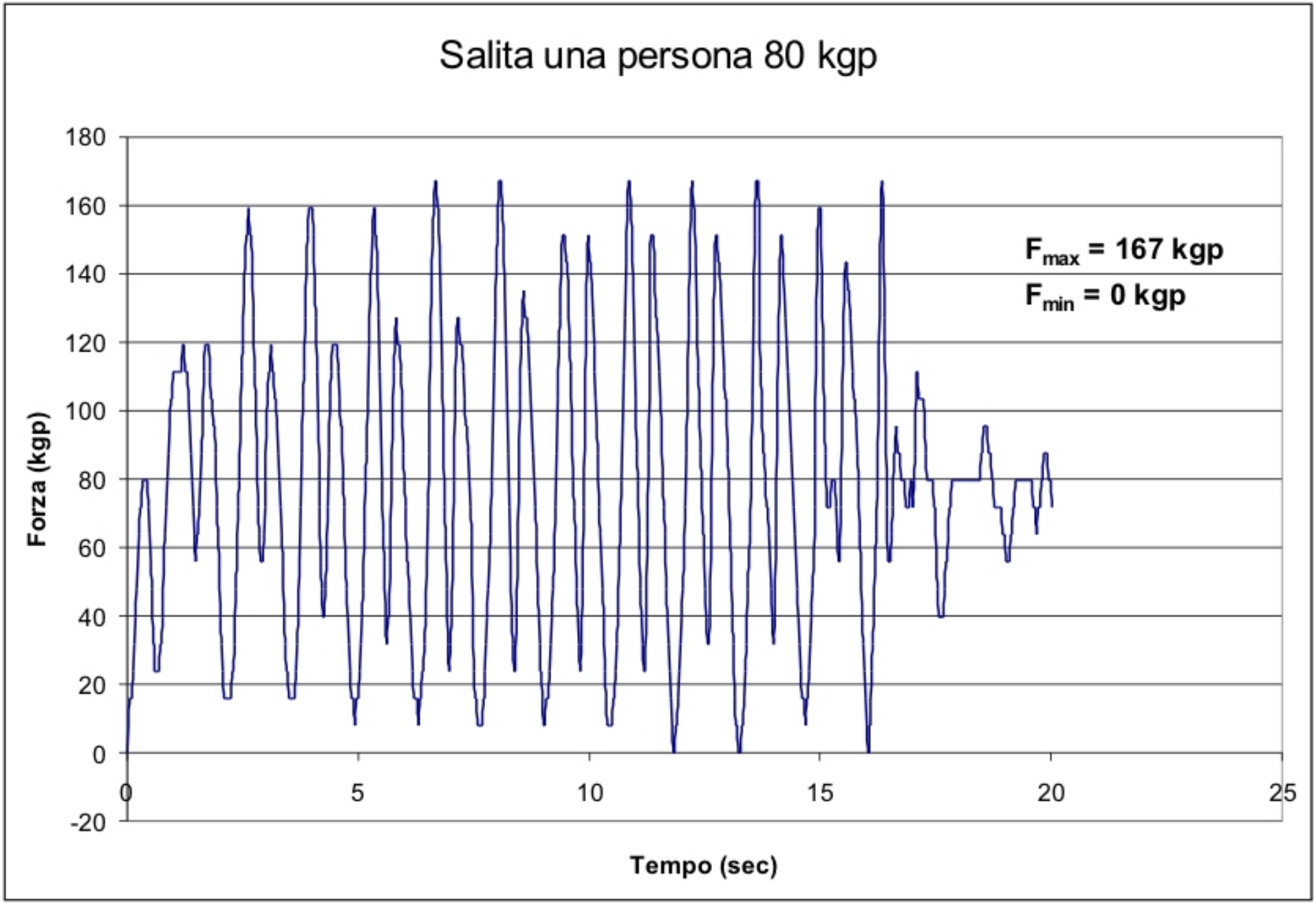
Testo in colonne | Rimuovi duplicati | Convalida dati | Consolida | Analisi simulazion — Strumenti dati

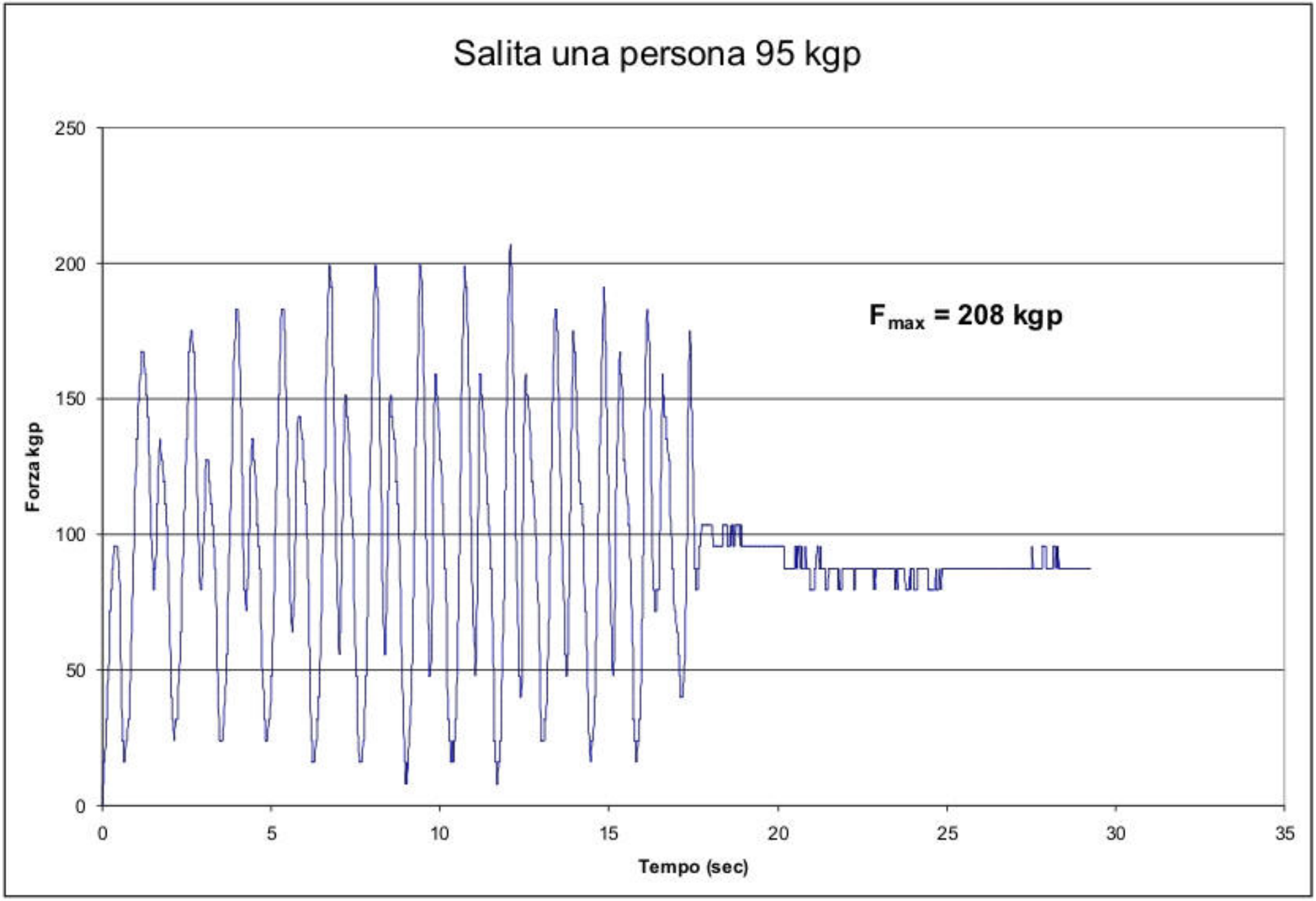
A1

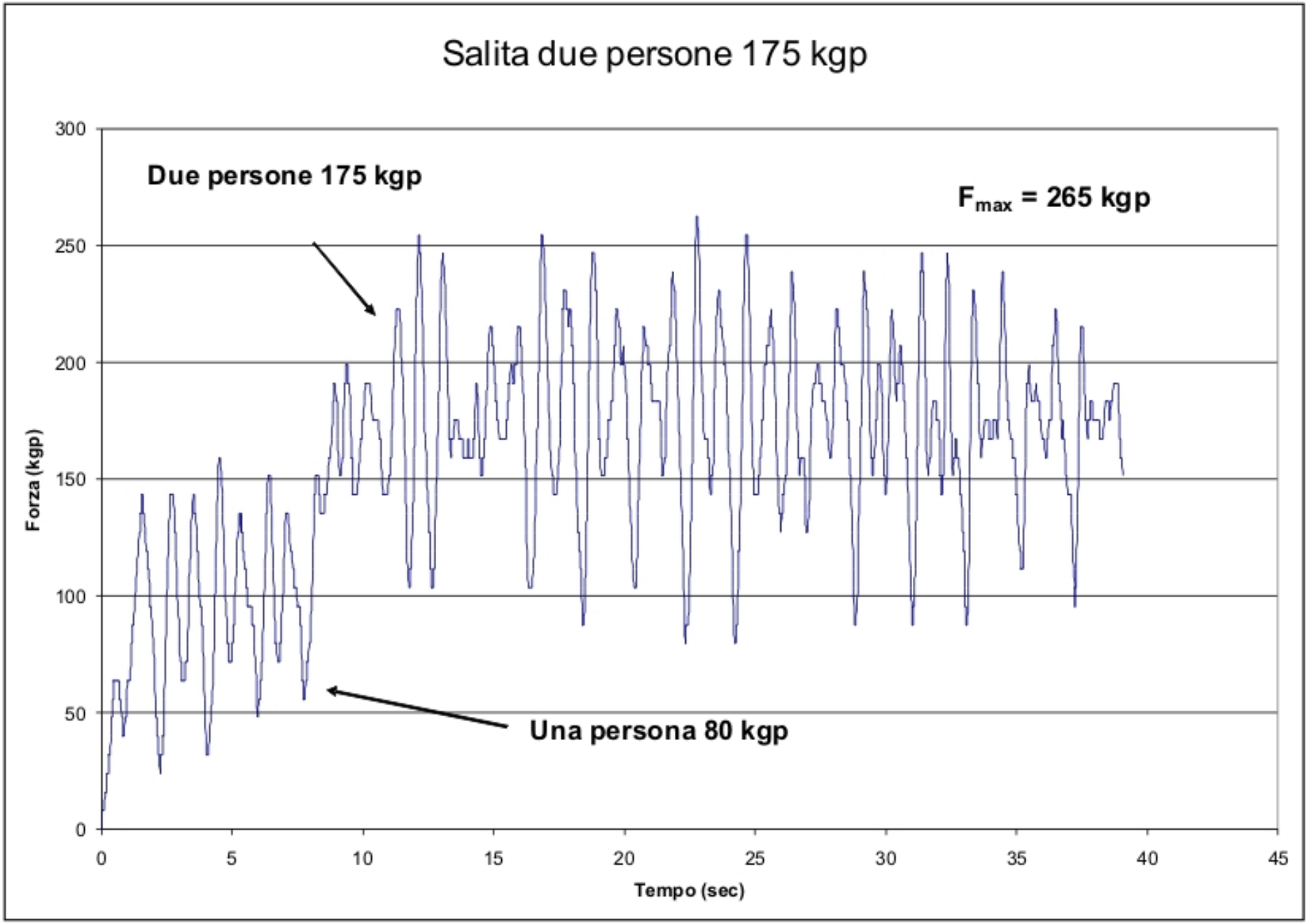
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Data e Ora Creazione: 21/06/2013 12:26							
2	Versione Programma: ToolScopeWin Ver.: 1.45							
3	Anticipo misura laser: 27 msec							
4	Allungamento: 919,7 mm							
5	Step campionamenti: 1 msec							
6	#							
7	Spazio (mm)	Forza (kgp)	Tempo (msec)	21/06/2013 12:26				
8	0	0	0					
9	7,7	1,3	1					
10	7,7	1,3	2					
11	10,3	1,3	3					
12	18	2,5	4					
13	20,6	2,5	5					
14	20,6	2,5	6					
15	28,3	3,8	7					
16	30,8	5,1	8					
17	30,8	6,3	9					
18	38,5	6,3	10					
19	38,5	7,6	11					
20	46,2	8,9	12					
21	46,2	8,9	13					
22	53,9	8,9	14					
23	59,1	11,4	15					
24	59,1	12,7	16					
25	61,7	12,7	17					
26	69,4	13,9	18					
27	71,9	15,2	19					
28	71,9	17,7	20					
29	77,1	17,7	21					
30	84,8	19	22					
31	84,8	22,8	23					
32	92,5	22,8	24					
33	92,5	26,6	25					
34	100,2	27,9	26					
35	102,8	27,9	27					

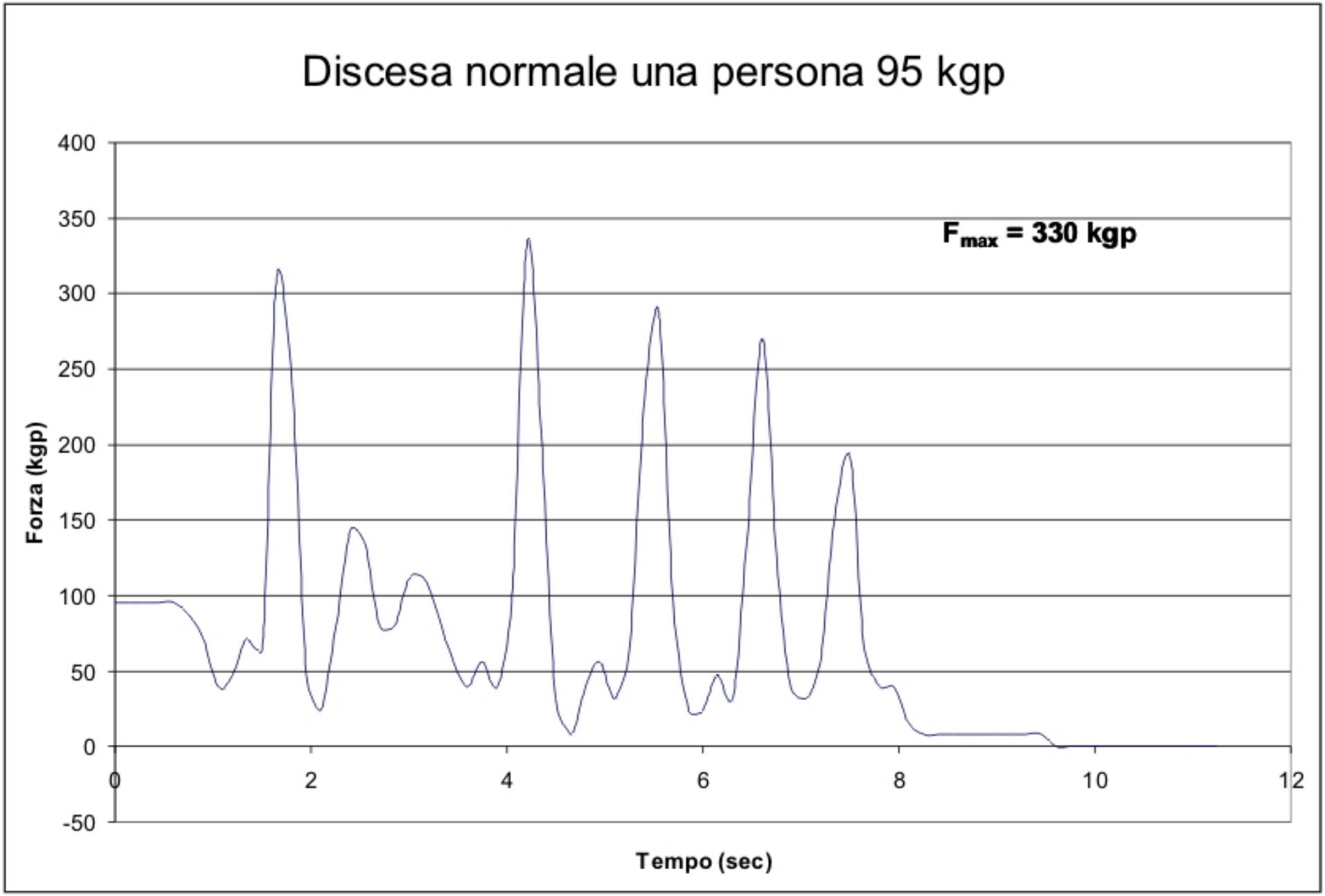
Choc03 | Foglio2 | Foglio3

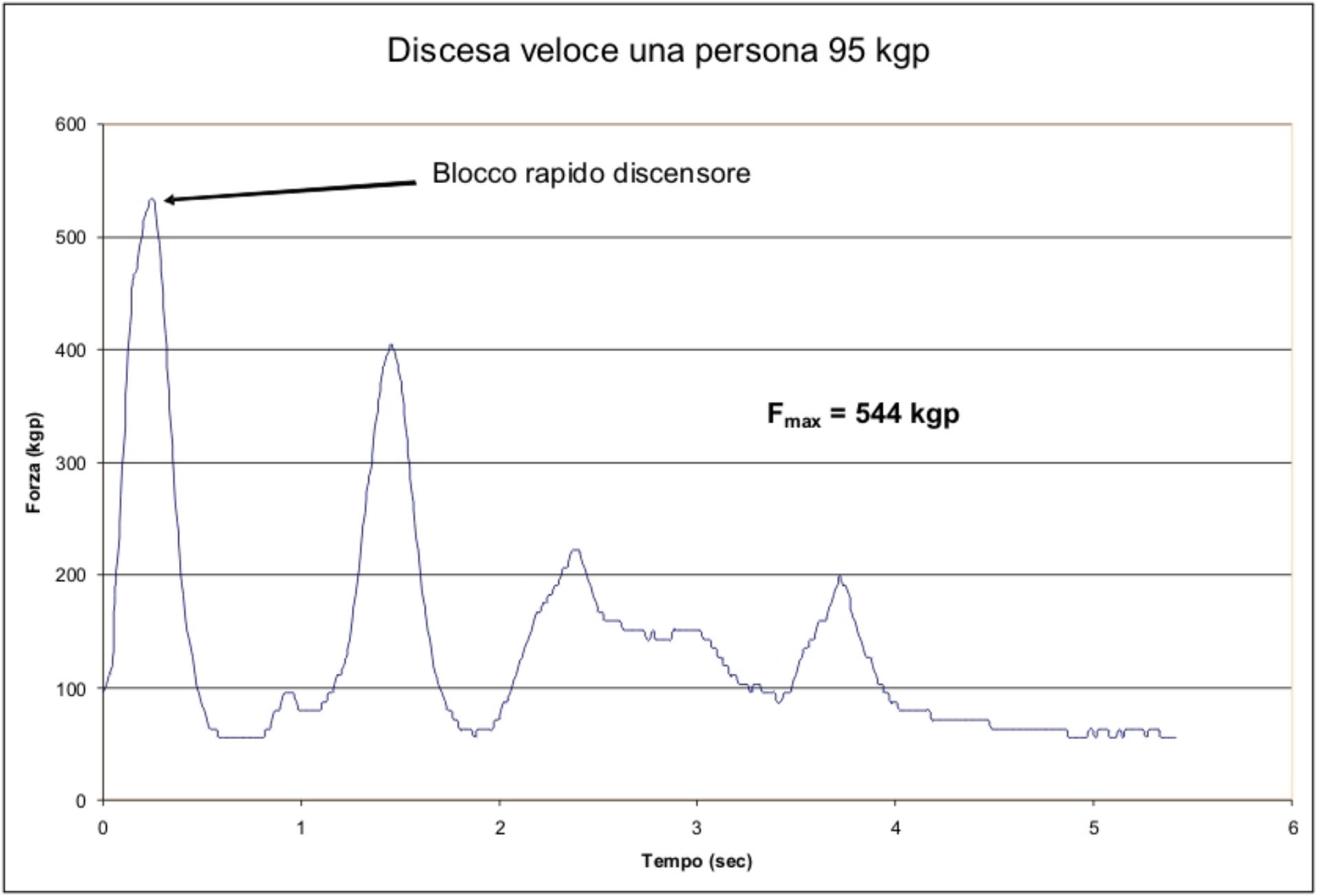
Pronto

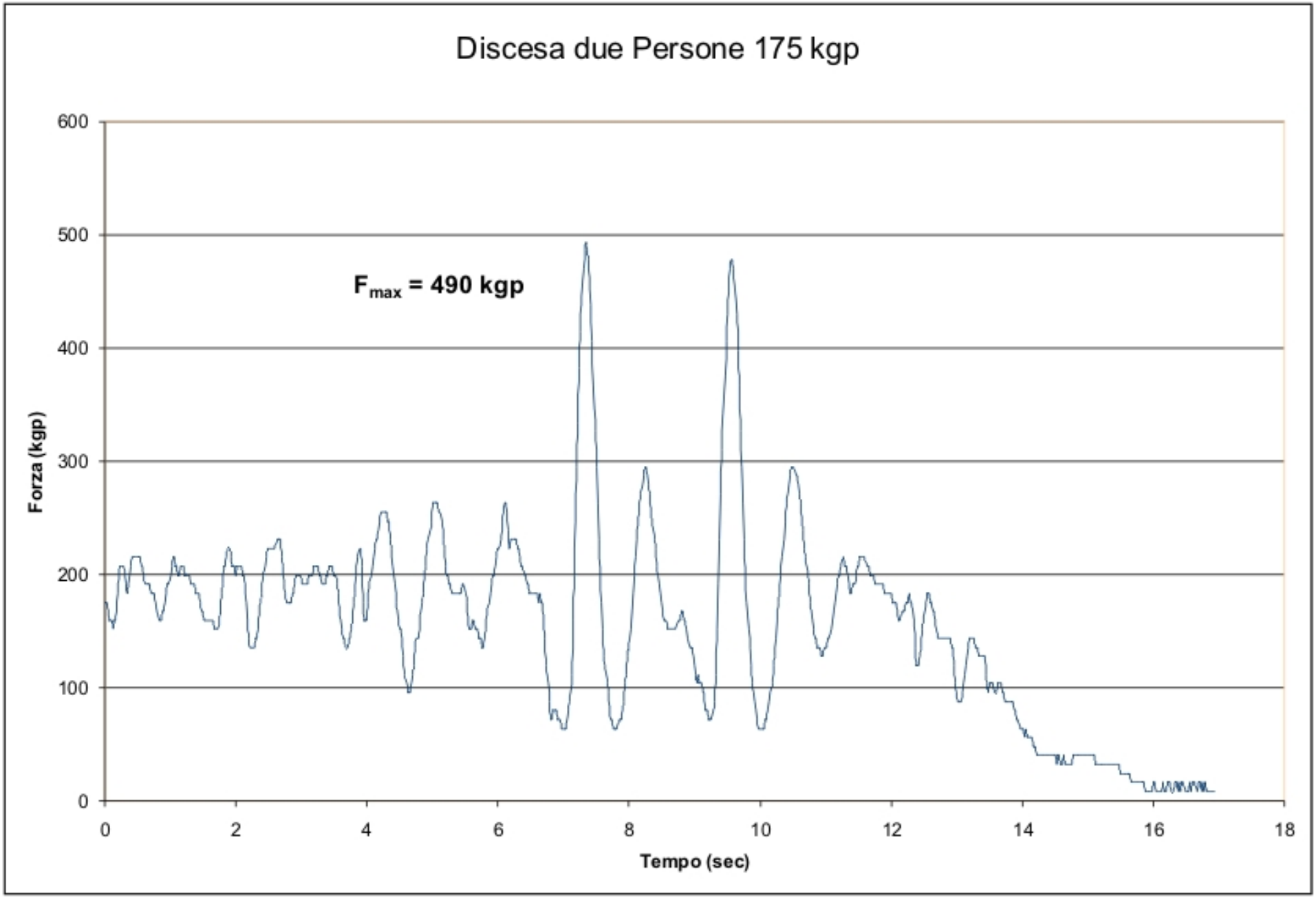

Salita una persona 80 kgp
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
0
5
10
15
20
25
Forza (kgp)
Tempo (sec)
F_{max} = 167 kgp
F_{min} = 0 kgp


Salita una persona 95 kgp
250
200
150
100
50
0
Forza kgp
F_{max} = 208 kgp
0
5
10
15
20
25
30
35
Tempo (sec)


Salita due persone 175 kgp
Due persone 175 kgp
F_{max} = 265 kgp
Una persona 80 kgp
Forza (kgp)
Tempo (sec)
300
250
200
150
100
50
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45


Discesa normale una persona 95 kgp
F_{max} = 330 kgp
Forza (kgp)
400
350
300
250
200
150
100
50
0
-50
0
2
4
6
8
10
12
Tempo (sec)


Discesa veloce una persona 95 kgp
Blocco rapido discensore
F_{max} = 544 kgp
Forza (kgp)
600
500
400
300
200
100
0
0
1
2
3
4
5
6
Tempo (sec)


Discesa due Persone 175 kgp
F_{max} = 490 kgp
Forza (kgp)
600
500
400
300
200
100
0
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
Tempo (sec)

Sperimentazione

Torre di caduta

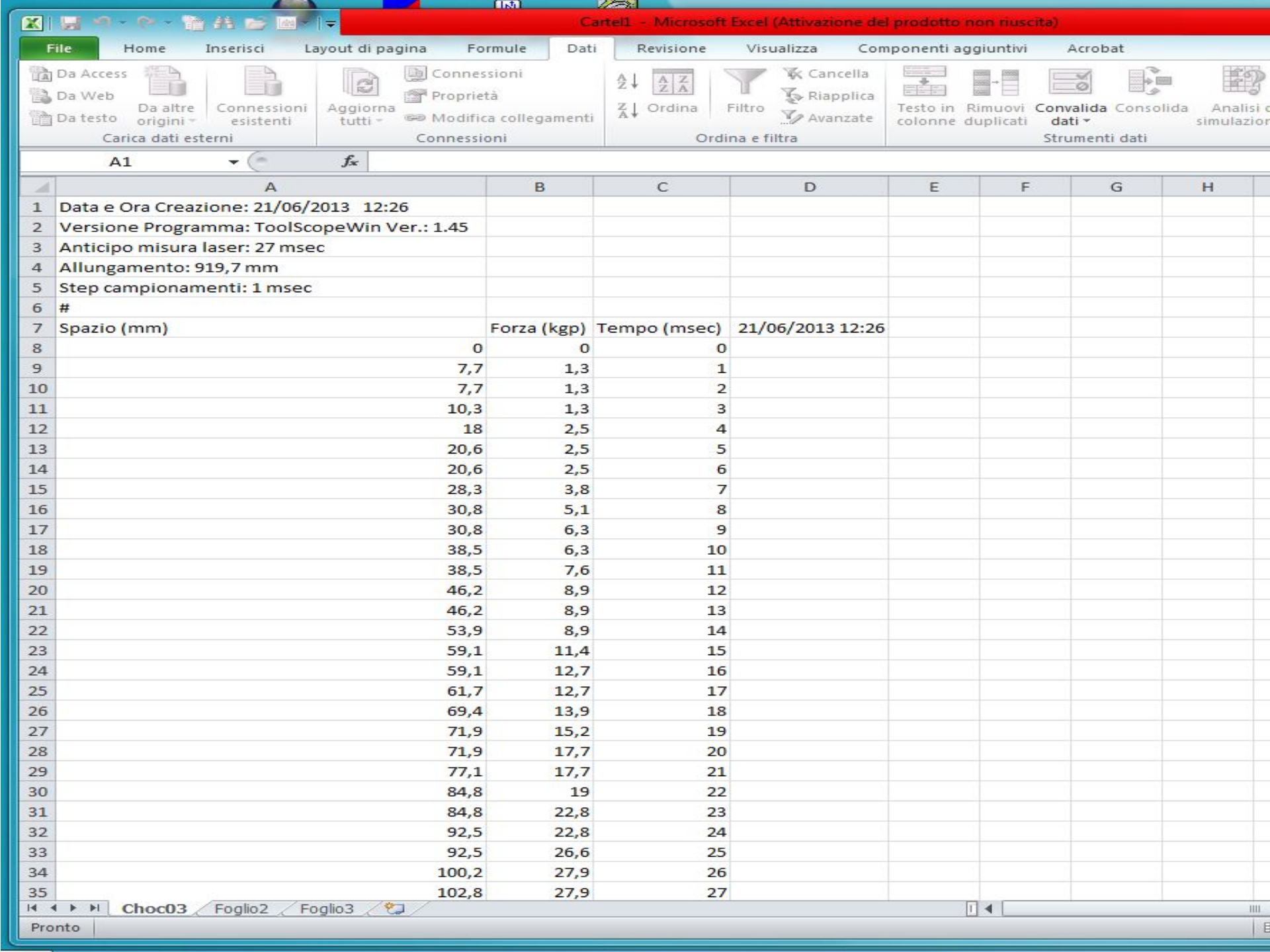
(Forza/Allungamento/Tempo)

Sollecitazioni choc

Forze in gioco







Cartel1 - Microsoft Excel (Attivazione del prodotto non riuscita)

File | Home | Inserisci | Layout di pagina | Formule | Dati | Revisione | Visualizza | Componenti aggiuntivi | Acrobat

Da Access | Da Web | Da testo | Da altre origini | Connessioni esistenti — Carica dati esterni

Aggiorna tutti | Connessioni | Proprietà | Modifica collegamenti — Connessioni

Ordina | Filtro | Cancella | Riapplica | Avanzate — Ordina e filtra

Testo in colonne | Rimuovi duplicati | Convalida dati | Consolida | Analisi simulazion — Strumenti dati

A1

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Data e Ora Creazione: 21/06/2013 12:26							
2	Versione Programma: ToolScopeWin Ver.: 1.45							
3	Anticipo misura laser: 27 msec							
4	Allungamento: 919,7 mm							
5	Step campionamenti: 1 msec							
6	#							
7	Spazio (mm)	Forza (kgp)	Tempo (msec)	21/06/2013 12:26				
8	0	0	0					
9	7,7	1,3	1					
10	7,7	1,3	2					
11	10,3	1,3	3					
12	18	2,5	4					
13	20,6	2,5	5					
14	20,6	2,5	6					
15	28,3	3,8	7					
16	30,8	5,1	8					
17	30,8	6,3	9					
18	38,5	6,3	10					
19	38,5	7,6	11					
20	46,2	8,9	12					
21	46,2	8,9	13					
22	53,9	8,9	14					
23	59,1	11,4	15					
24	59,1	12,7	16					
25	61,7	12,7	17					
26	69,4	13,9	18					
27	71,9	15,2	19					
28	71,9	17,7	20					
29	77,1	17,7	21					
30	84,8	19	22					
31	84,8	22,8	23					
32	92,5	22,8	24					
33	92,5	26,6	25					
34	100,2	27,9	26					
35	102,8	27,9	27					

Choc03 | Foglio2 | Foglio3

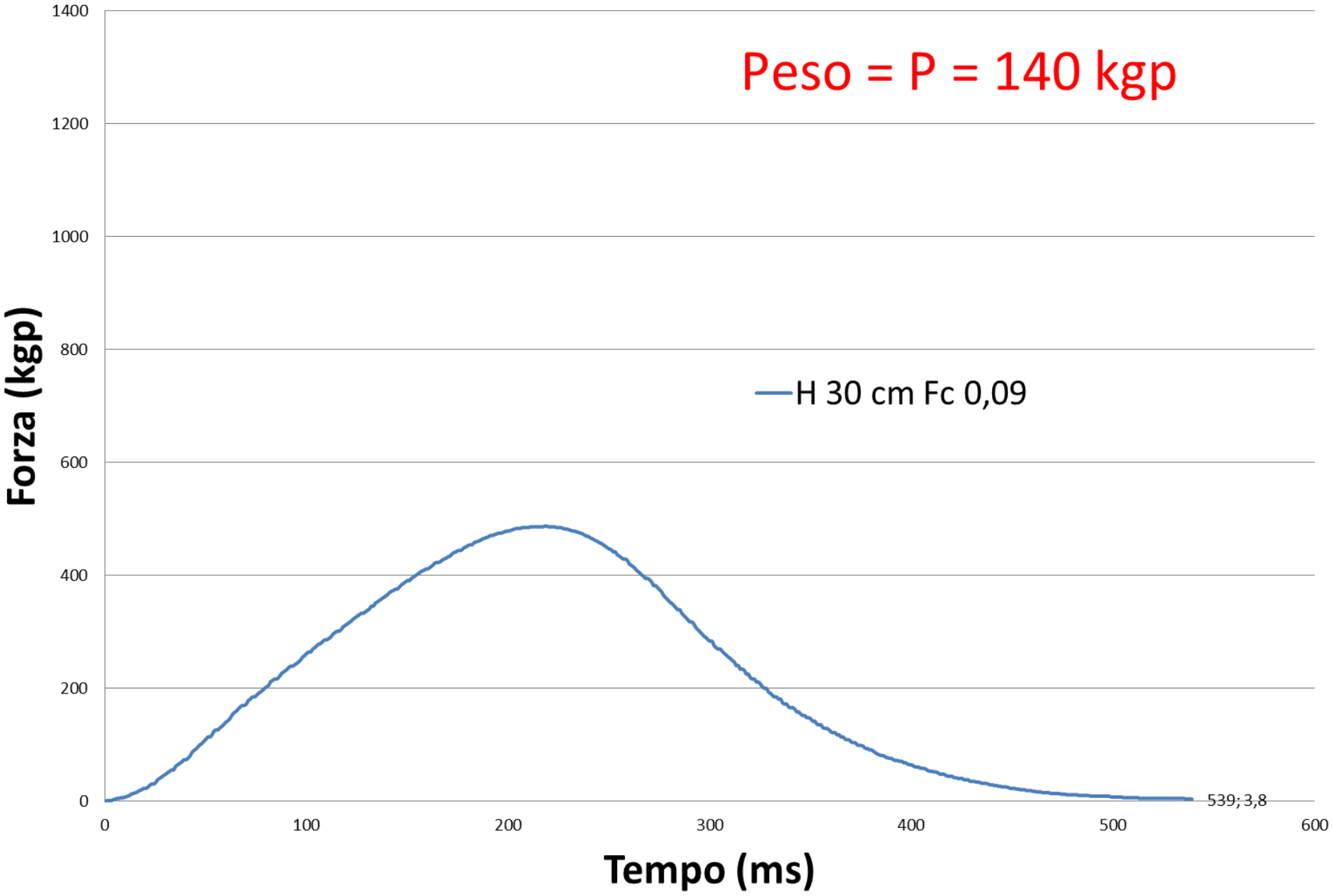
Pronto

Altezza di caduta crescente

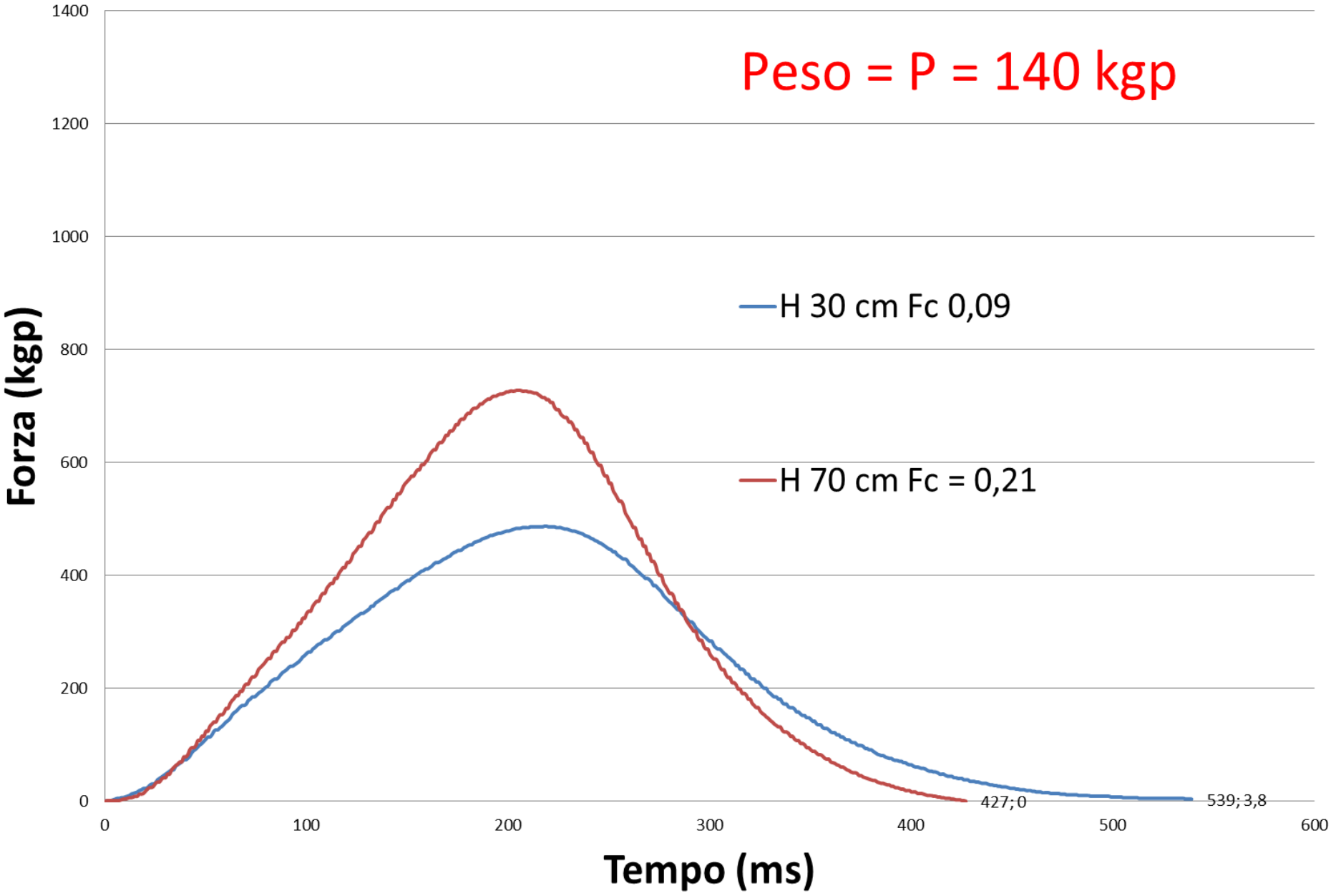
(fattore di caduta crescente)

Corda statica nuova

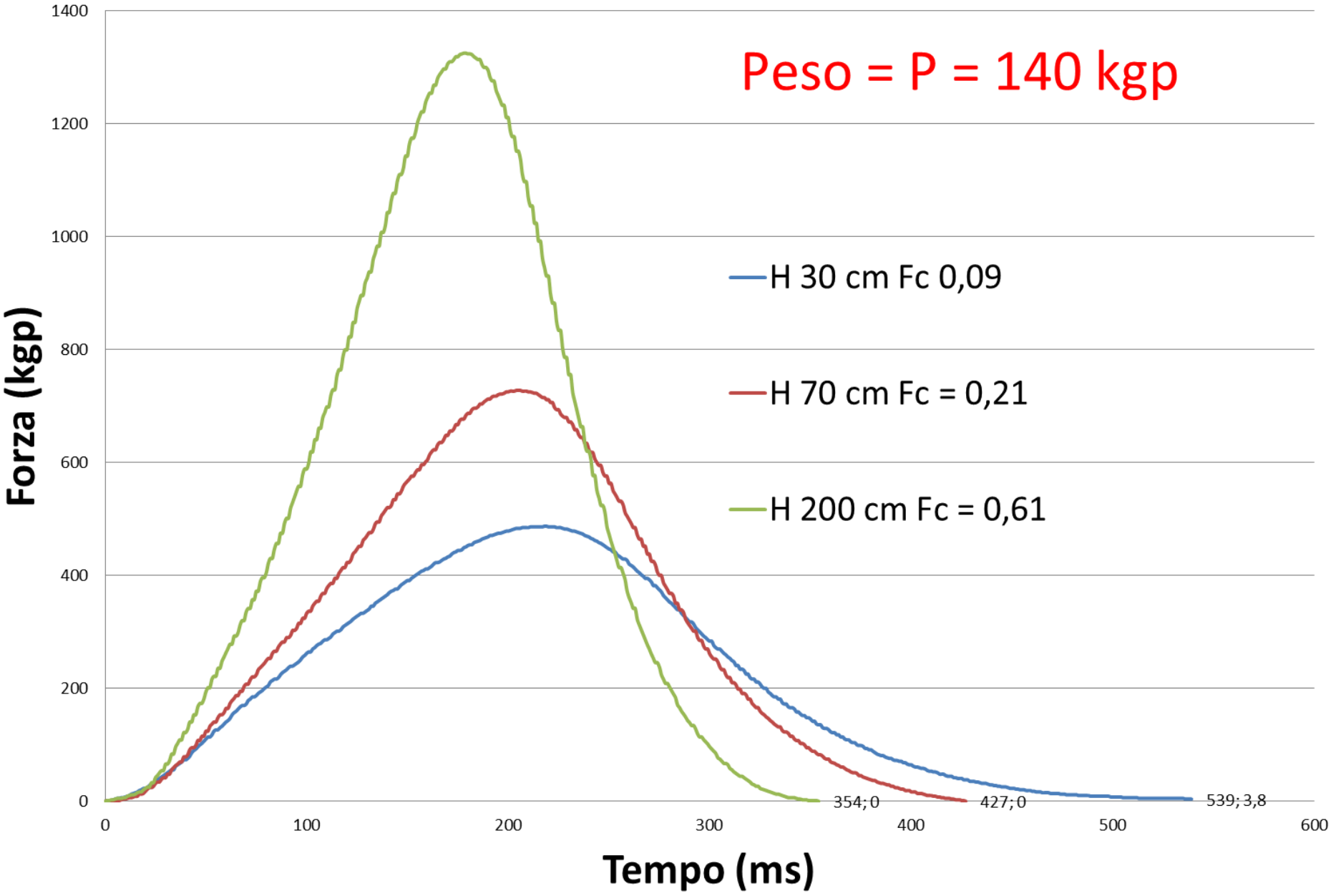
Altezza Caduta Crescente L 3000 mm Choc01 Beal Antipodes 10 mm Nuova



Altezza Caduta Crescente L 3000 mm Choc01 Beal Antipodes 10 mm Nuova

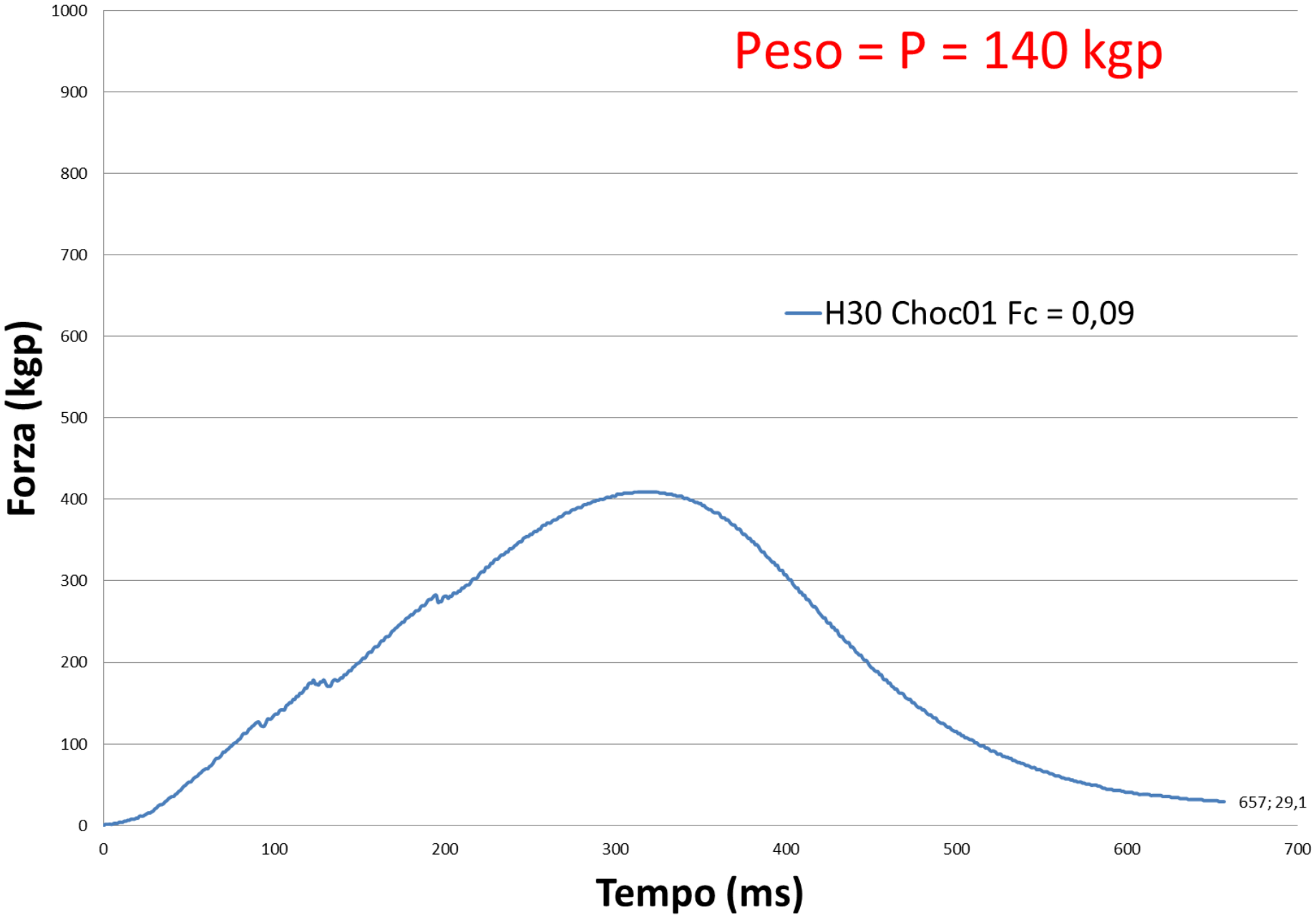


Altezza Caduta Crescente L 3000 mm Choc01 Beal Antipodes 10 mm Nuova

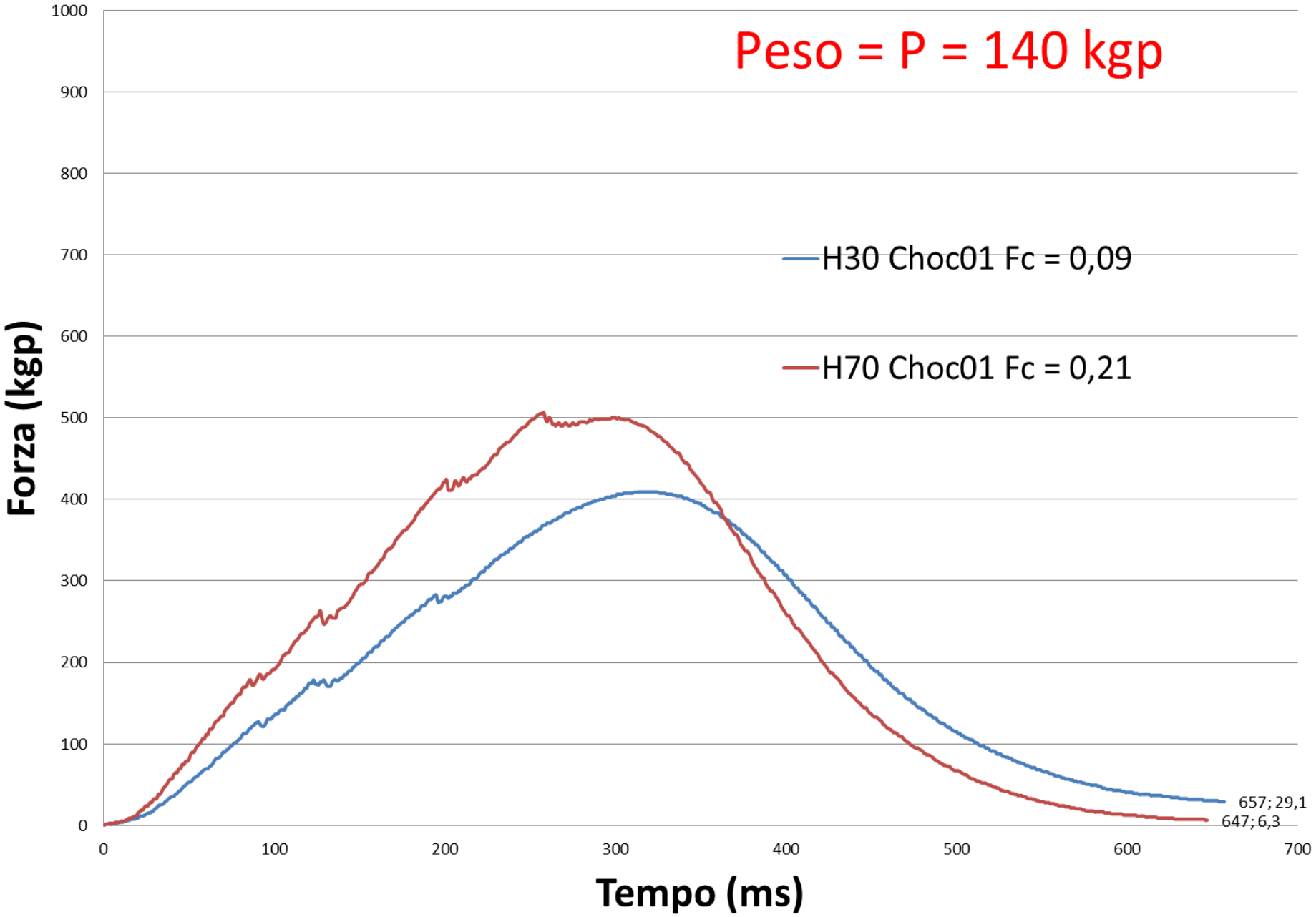


Corda statica usata

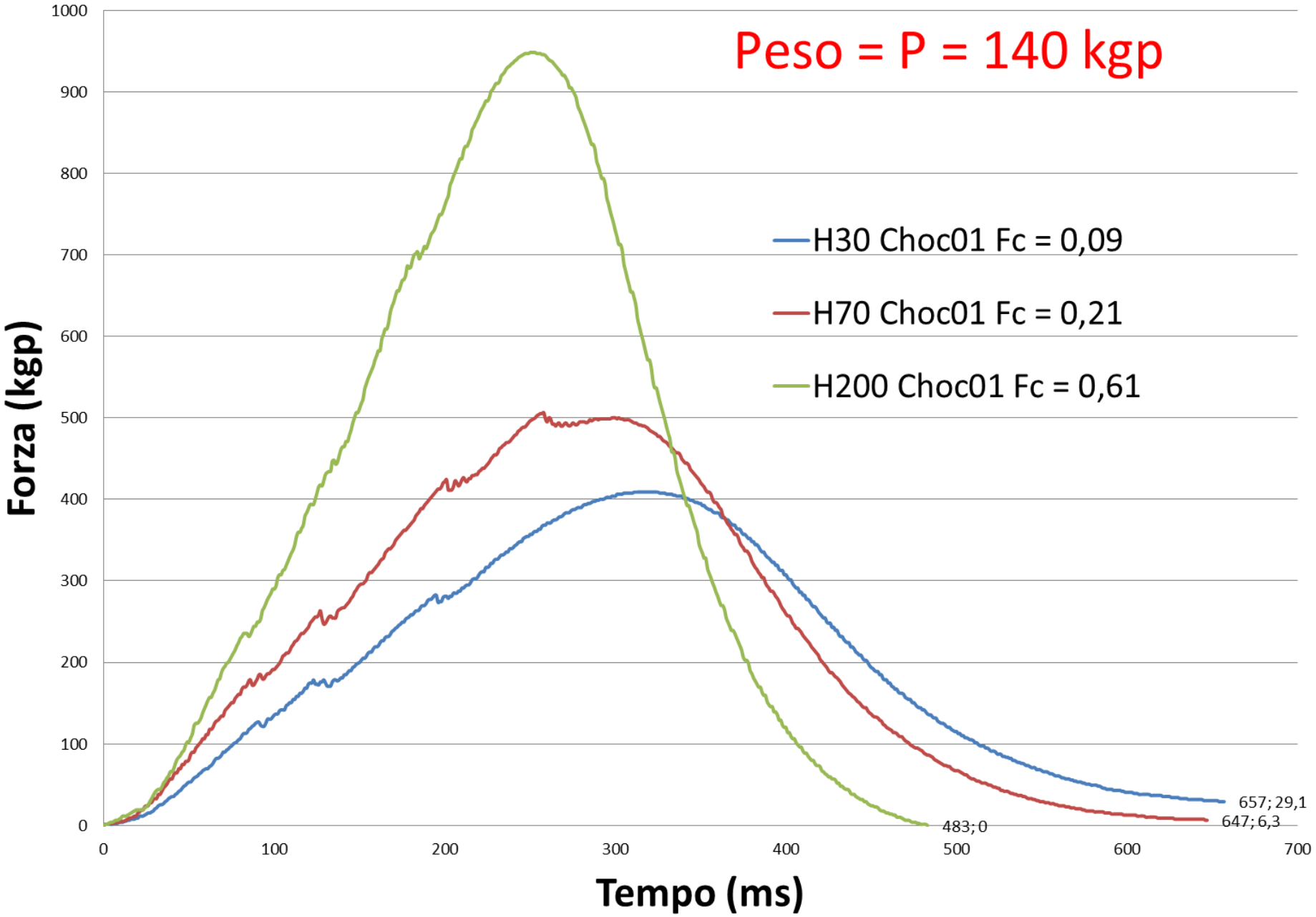
Altezza Caduta Crescente L 3000 mm Choc01 Beal Antipodes 10 mm Usata



Altezza Caduta Crescente L 3000 mm Choc01 Beal Antipodes 10 mm Usata



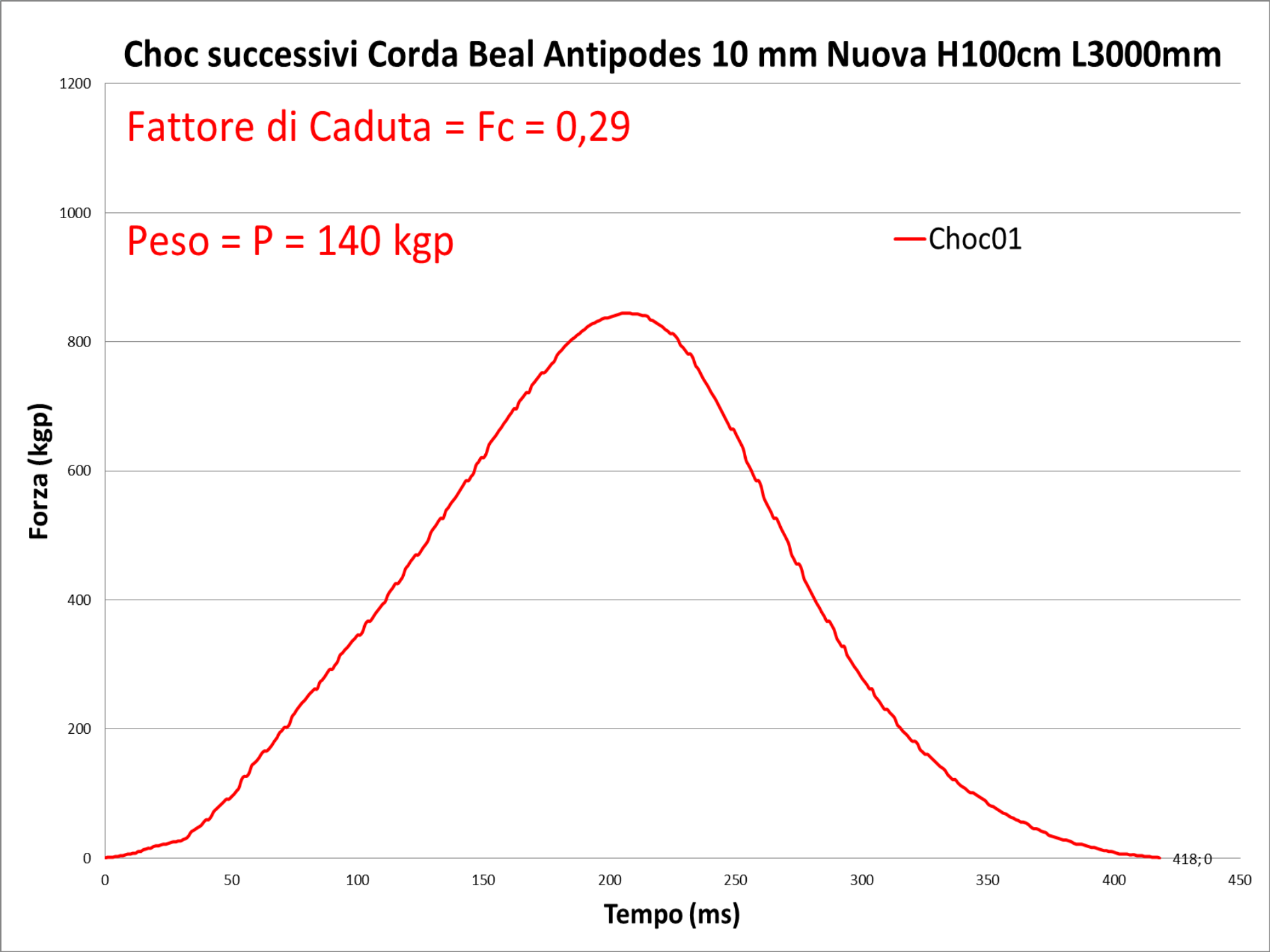
Altezza Caduta Crescente L 3000 mm Choc01 Beal Antipodes 10 mm Usata

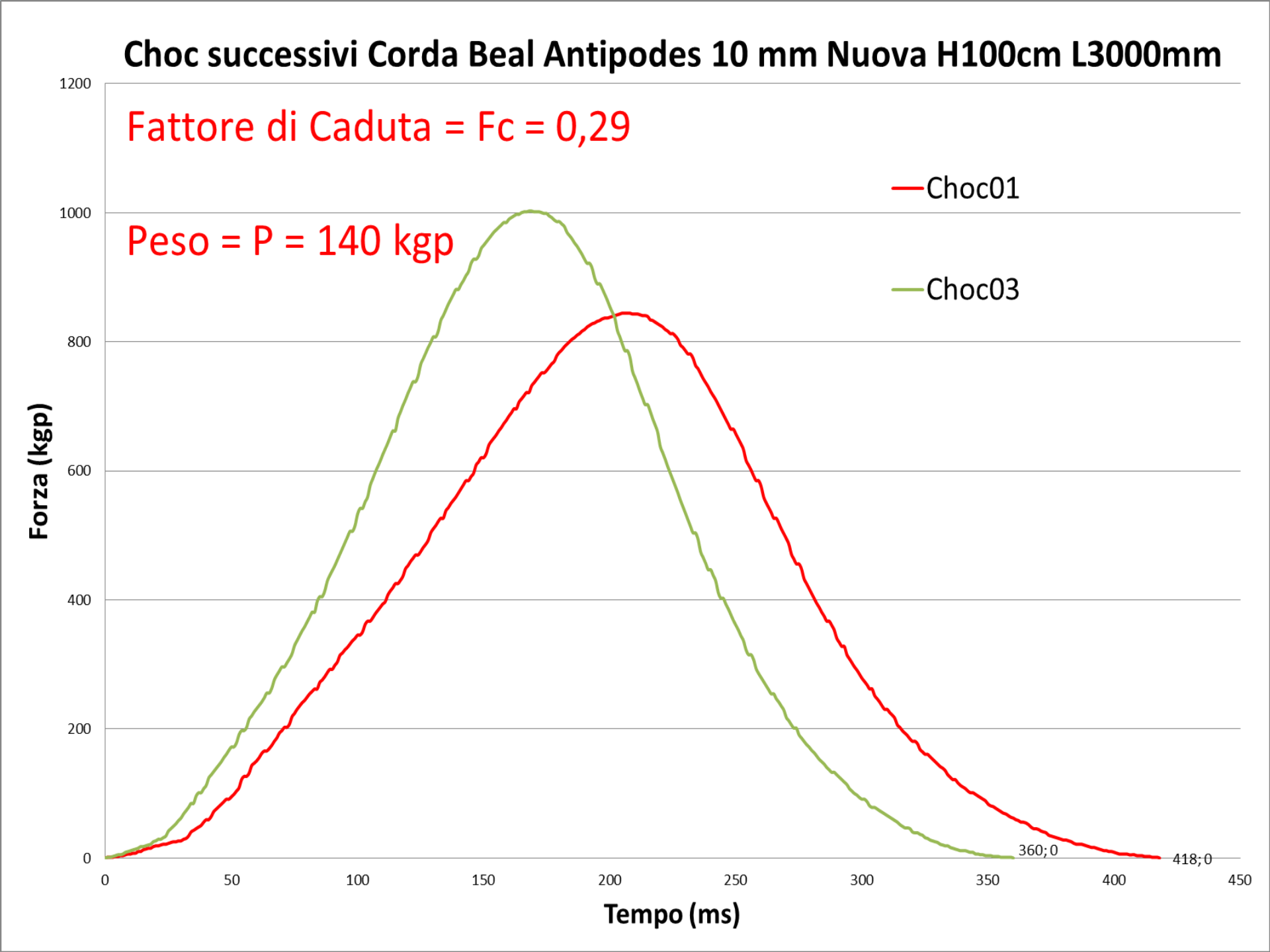


Choc ripetuti

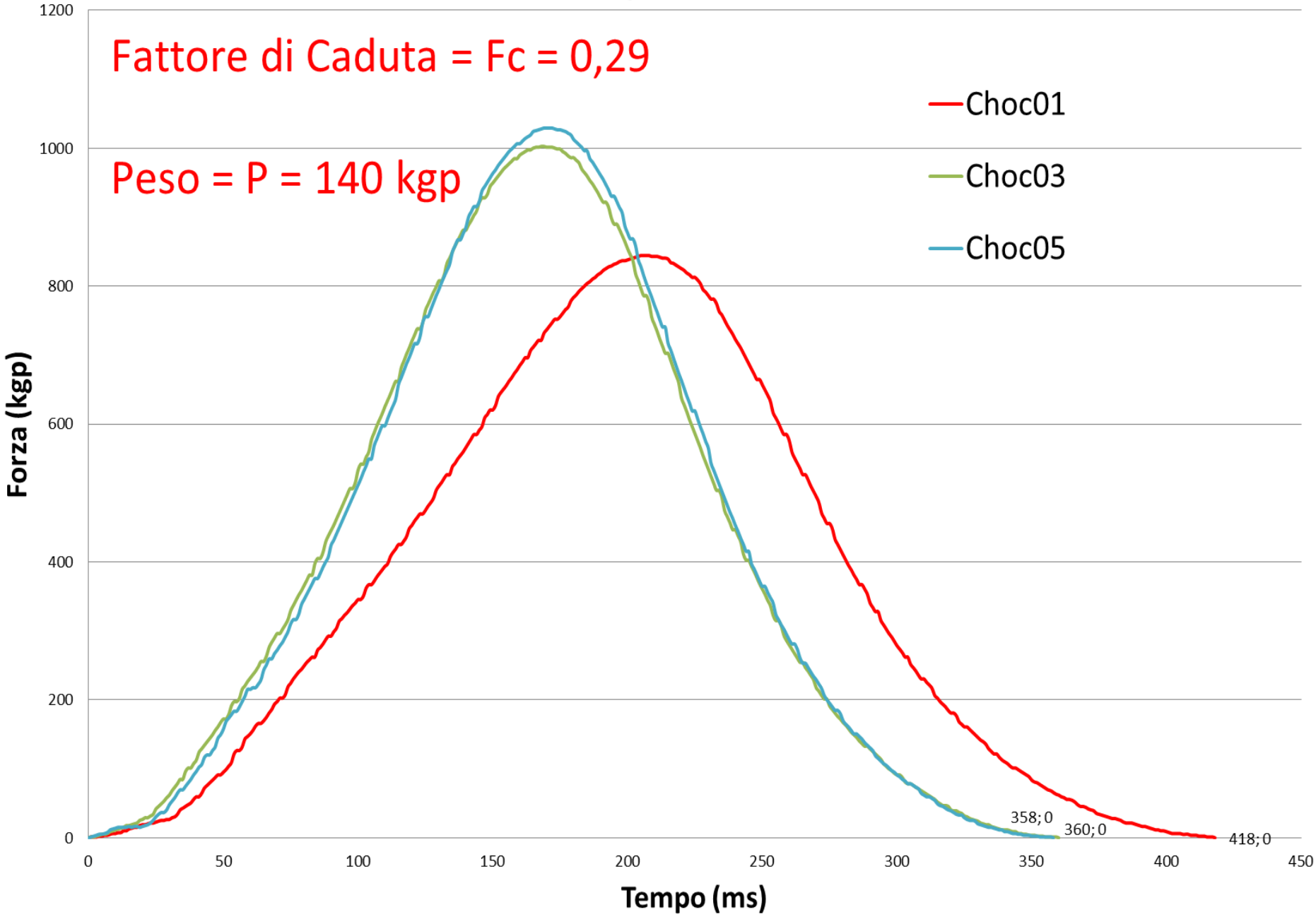
(invecchiamento)

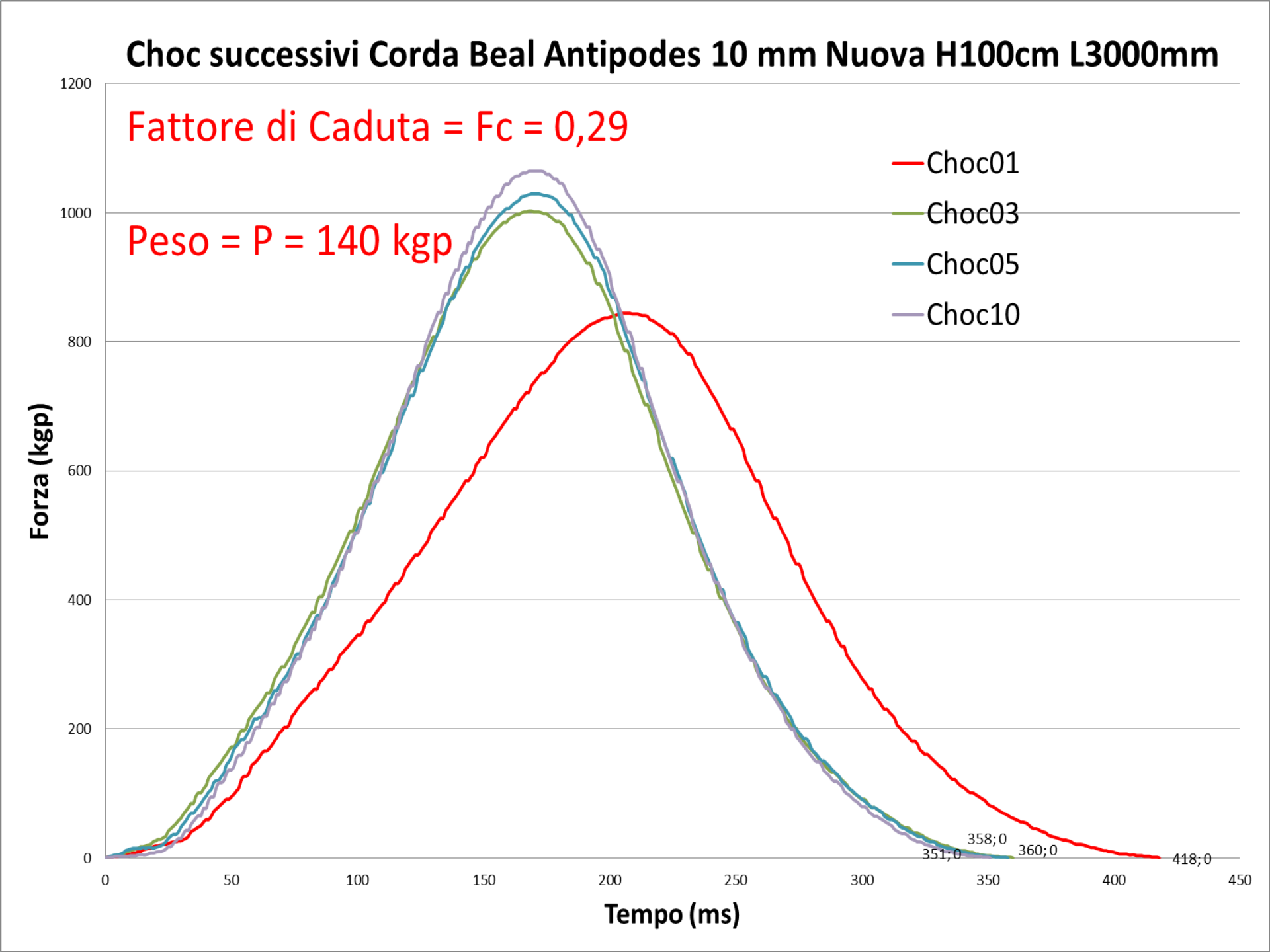
Corda statica nuova


Choc successivi Corda Beal Antipodes 10 mm Nuova H100cm L3000mm
Fattore di Caduta = Fc = 0,29
Peso = P = 140 kgp
Choc01
Forza (kgp)
Tempo (ms)
1200
1000
800
600
400
200
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
418; 0

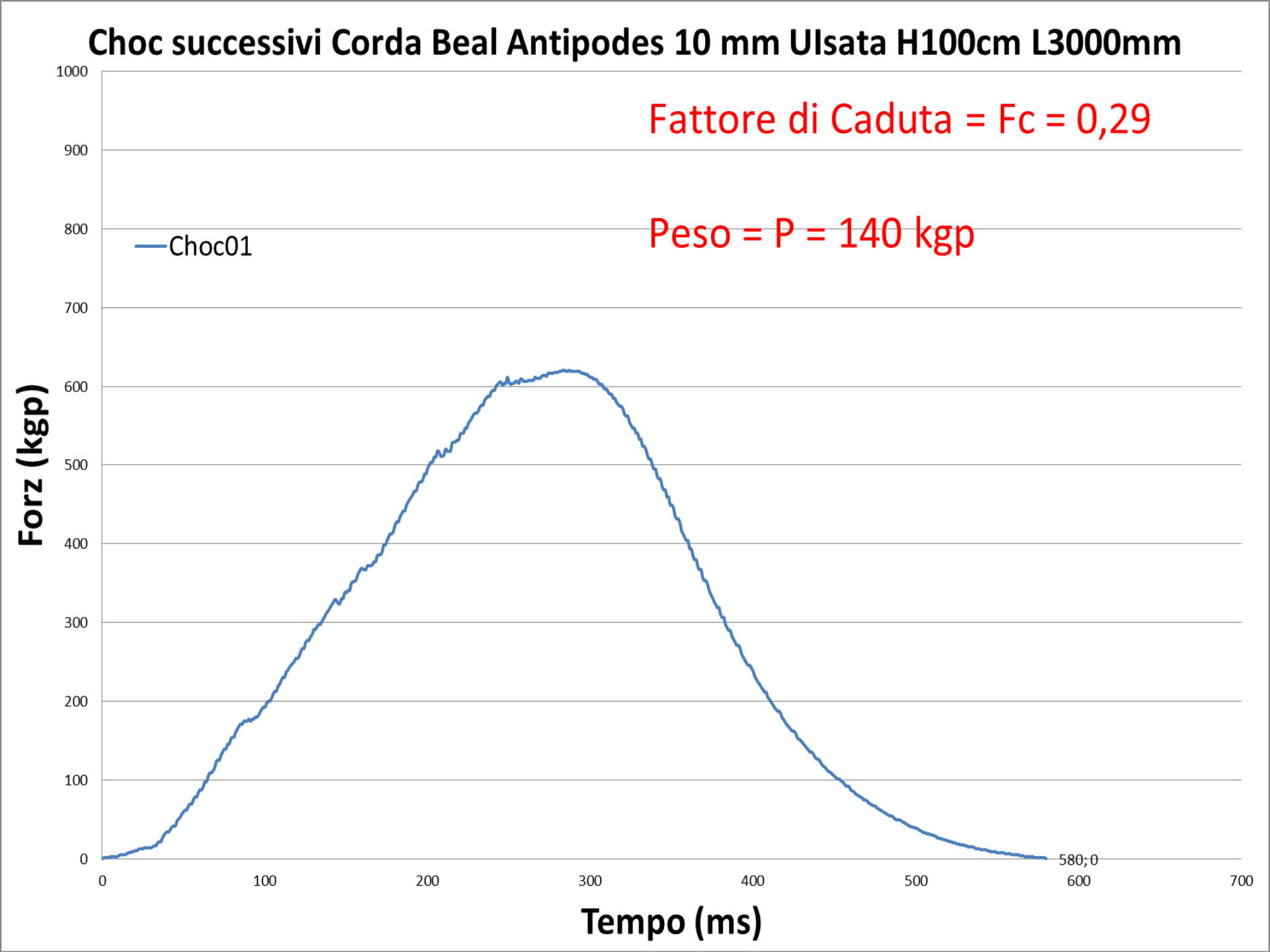

Choc successivi Corda Beal Antipodes 10 mm Nuova H100cm L3000mm
Fattore di Caduta = Fc = 0,29
Peso = P = 140 kgp
Choc01
Choc03
Forza (kgp)
Tempo (ms)
1200
1000
800
600
400
200
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
360; 0
418; 0

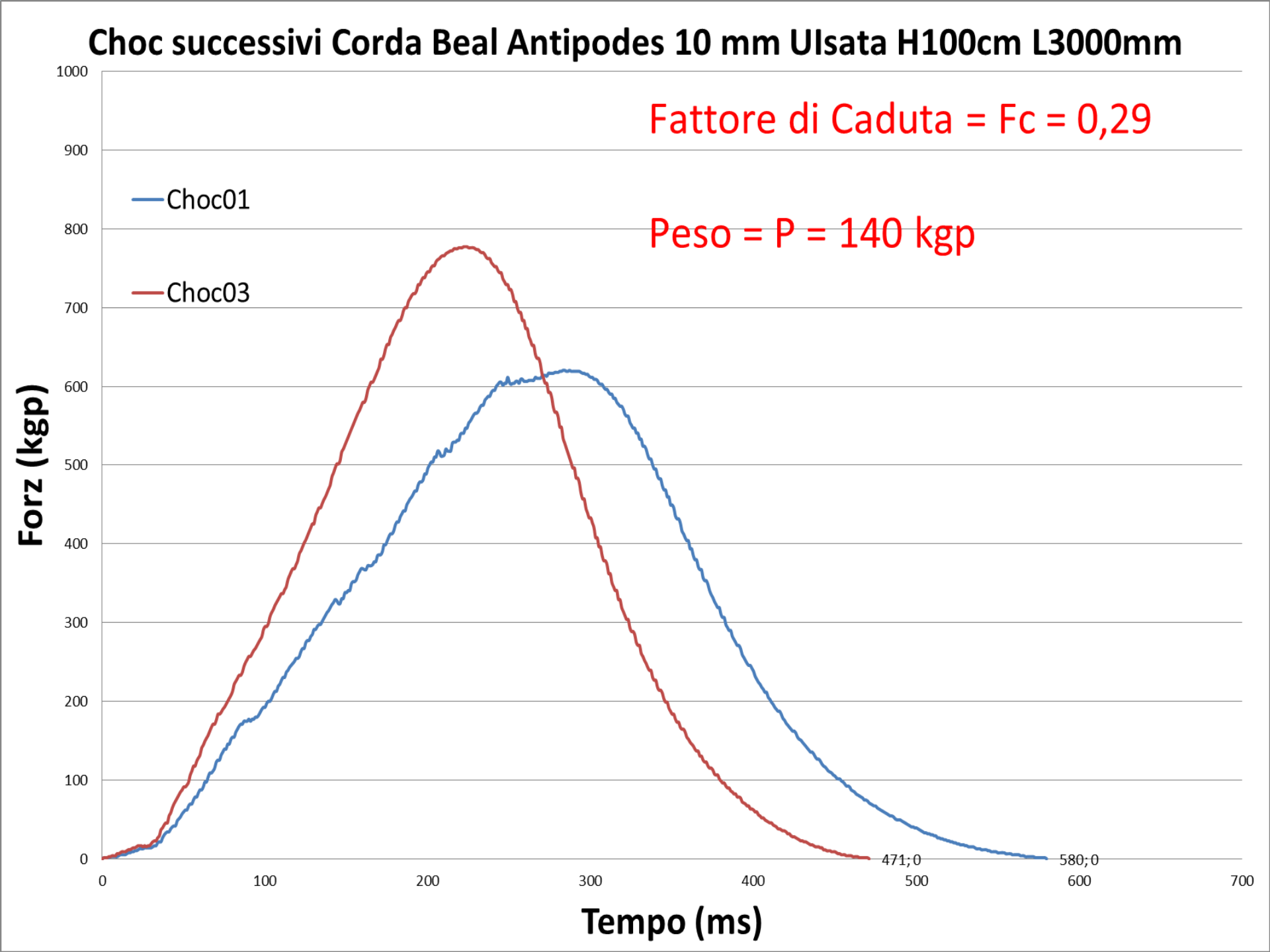
Choc successivi Corda Beal Antipodes 10 mm Nuova H100cm L3000mm

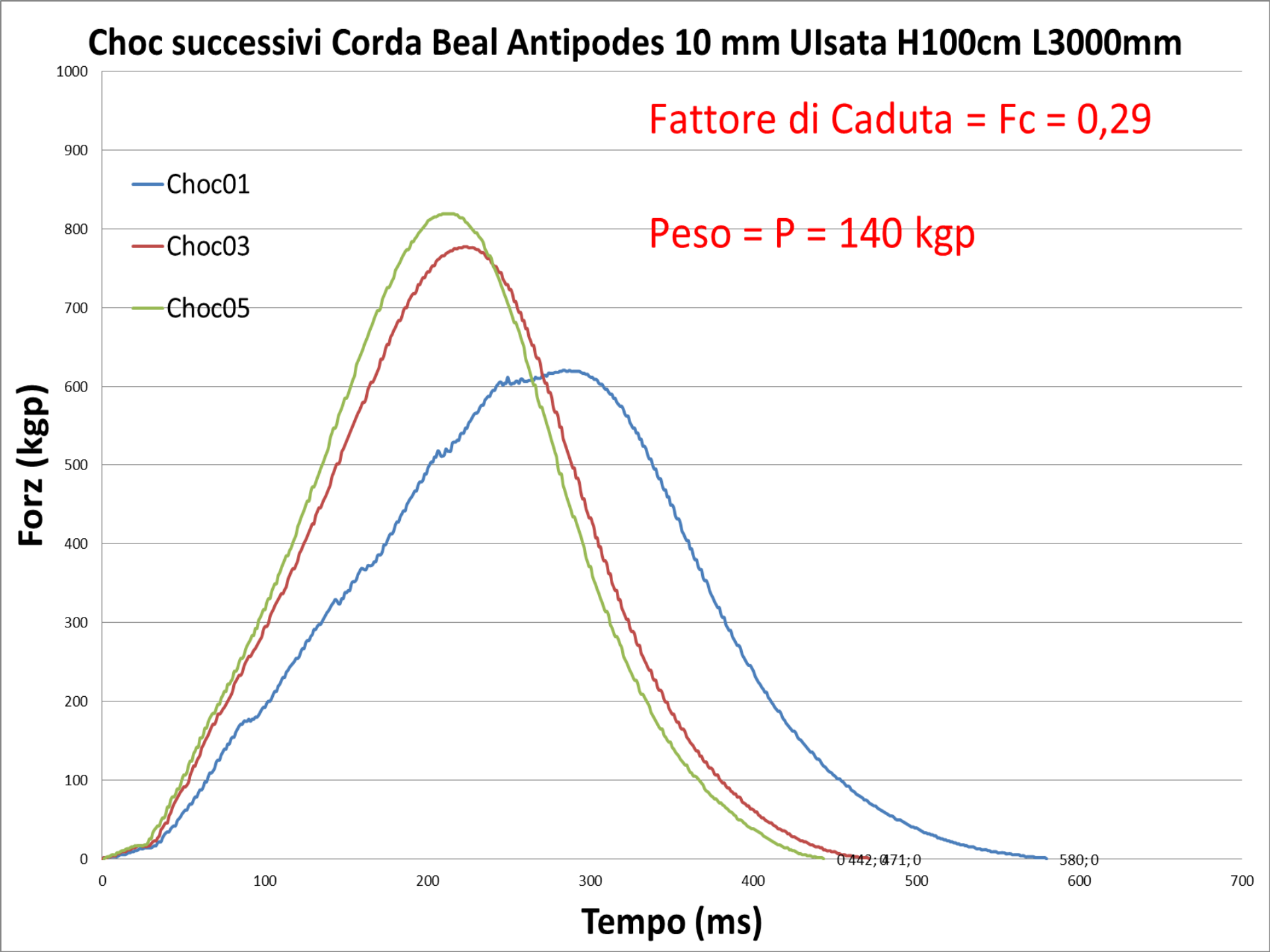


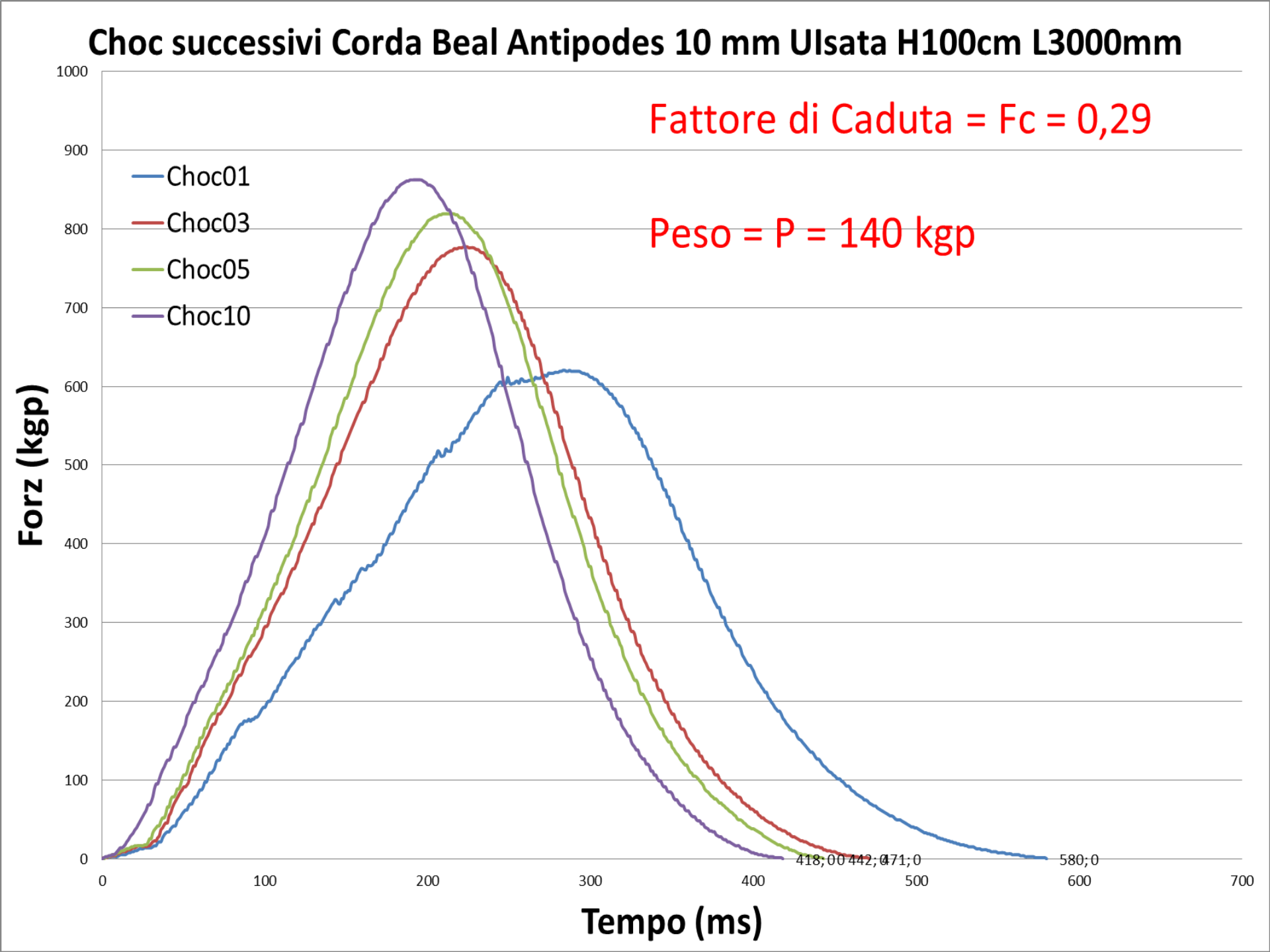

Choc successivi Corda Beal Antipodes 10 mm Nuova H100cm L3000mm
Fattore di Caduta = Fc = 0,29
Peso = P = 140 kgp
Choc01
Choc03
Choc05
Choc10
Forza (kgp)
Tempo (ms)
1200
1000
800
600
400
200
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
358; 0
351; 0
360; 0
418; 0

Corda statica usata


Choc successivi Corda Beal Antipodes 10 mm UIsata H100cm L3000mm
Fattore di Caduta = Fc = 0,29
Peso = P = 140 kgp
Choc01
Forz (kgp)
Tempo (ms)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
100
200
300
400
500
600
700
580; 0

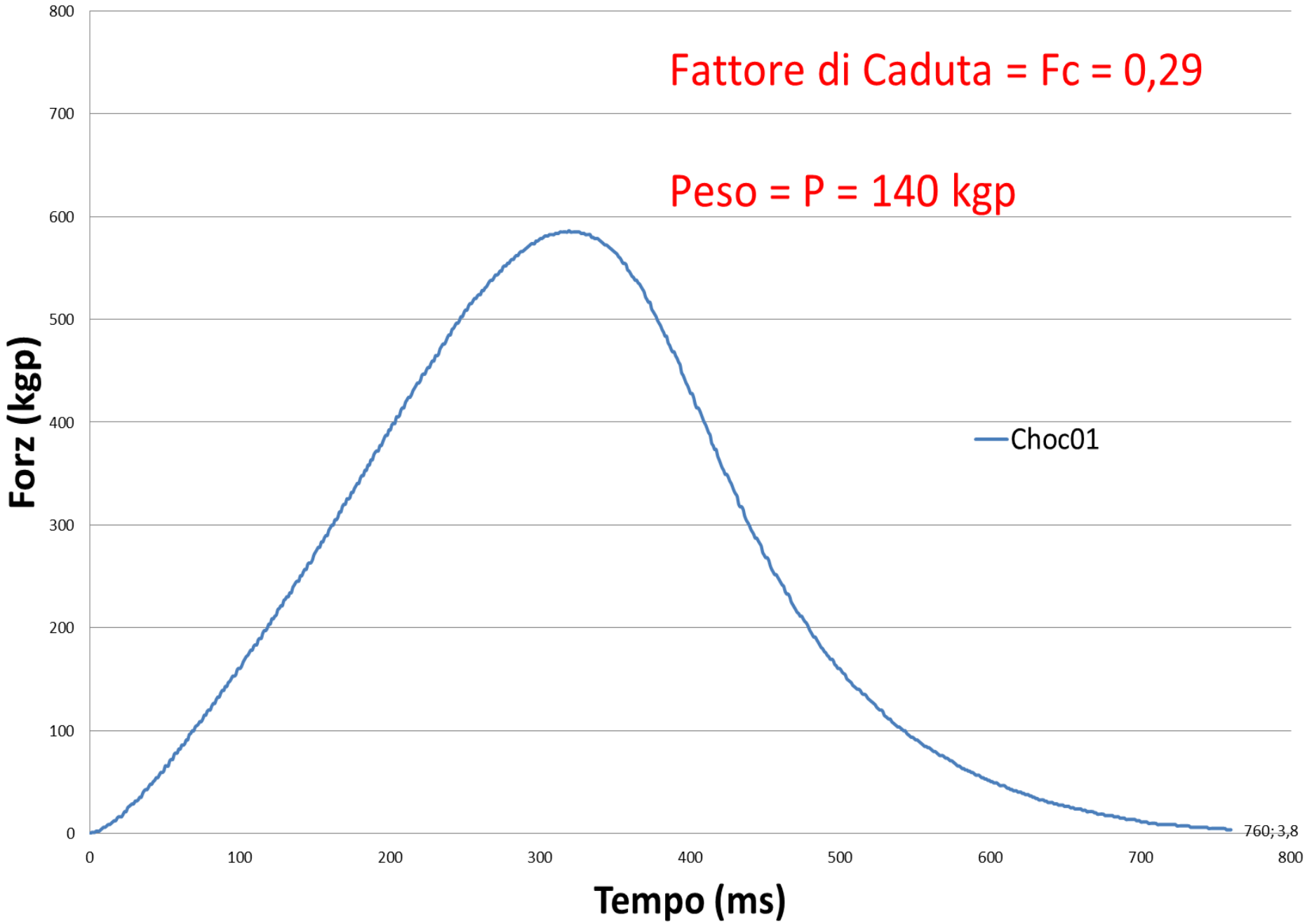

Choc successivi Corda Beal Antipodes 10 mm UIsata H100cm L3000mm
Fattore di Caduta = Fc = 0,29
Peso = P = 140 kgp
Choc01
Choc03
Forz (kgp)
Tempo (ms)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
100
200
300
400
500
600
700
471; 0
580; 0

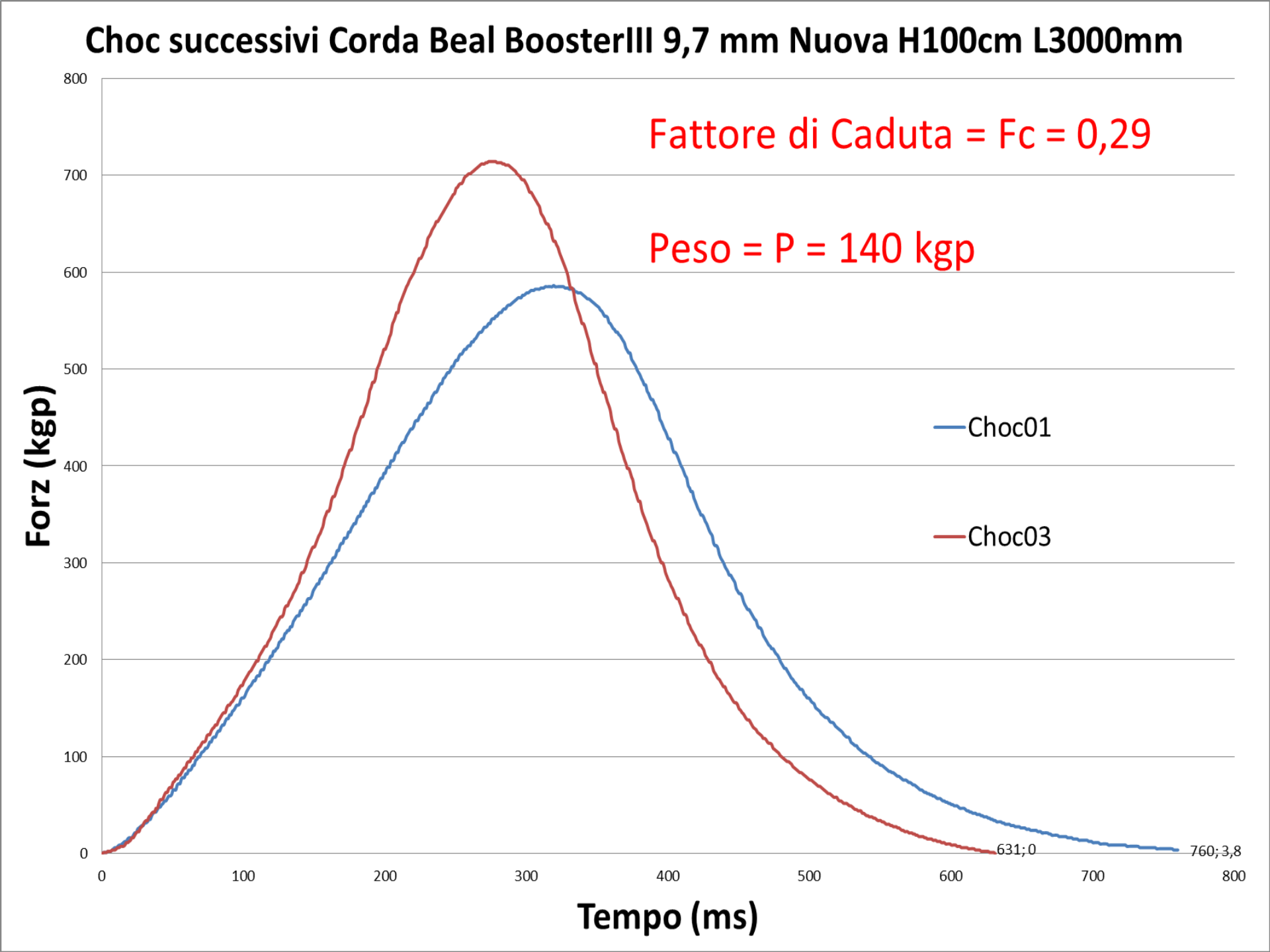

Choc succesivi Corda Beal Antipodes 10 mm UIsata H100cm L3000mm
Fattore di Caduta = Fc = 0,29
Peso = P = 140 kgp
Choc01
Choc03
Choc05
Forz (kgp)
Tempo (ms)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
100
200
300
400
500
600
700
442; 471; 0
580; 0


Choc succesivi Corda Beal Antipodes 10 mm UIsata H100cm L3000mm
Fattore di Caduta = Fc = 0,29
Peso = P = 140 kgp
Choc01
Choc03
Choc05
Choc10
Forz (kgp)
Tempo (ms)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
100
200
300
400
500
600
700
418;00
442;0
471;0
580;0

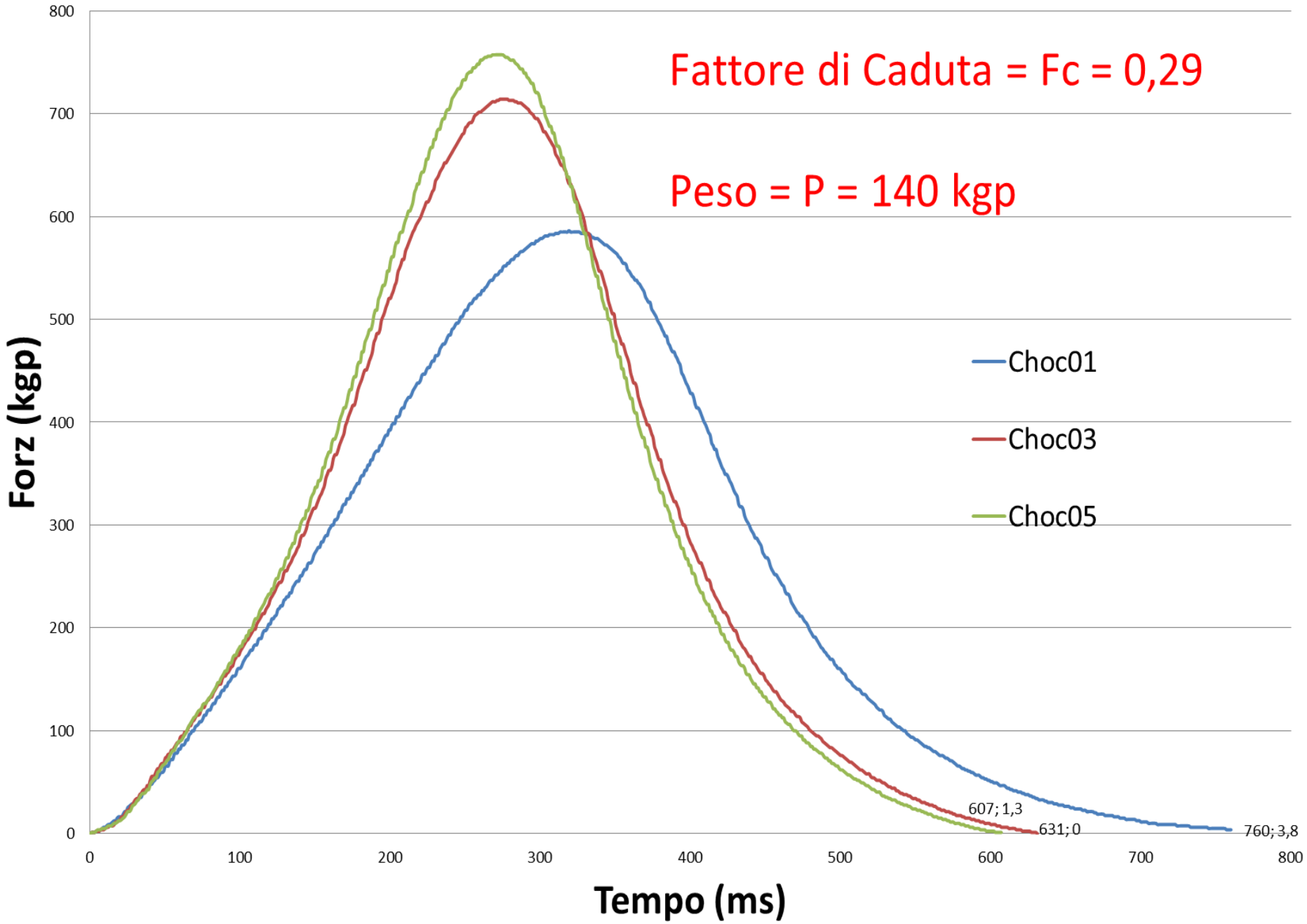
Corda dinamica nuova

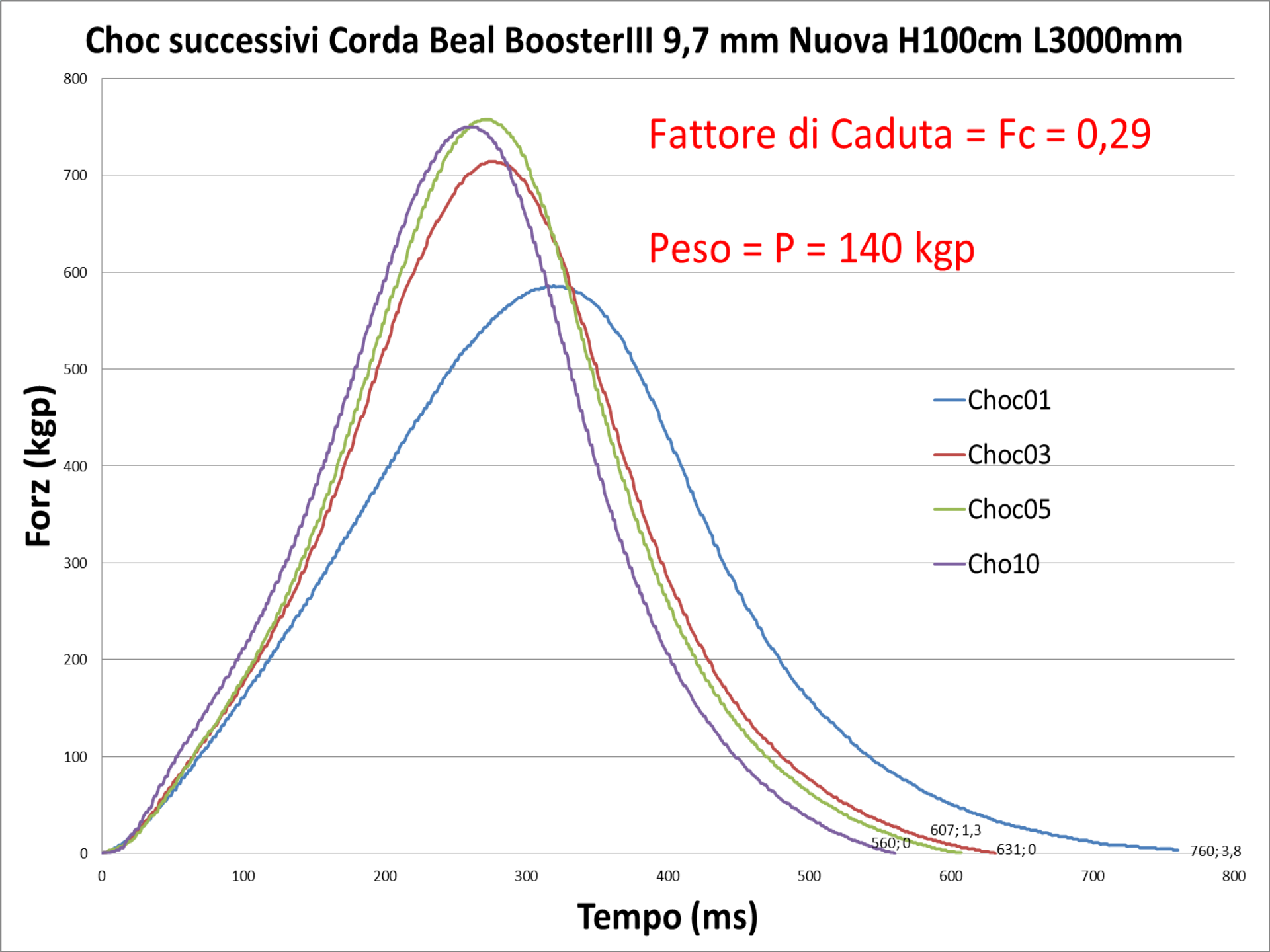
Choc successivi Corda Beal BoosterIII 9,7 mm Nuova H100cm L3000mm



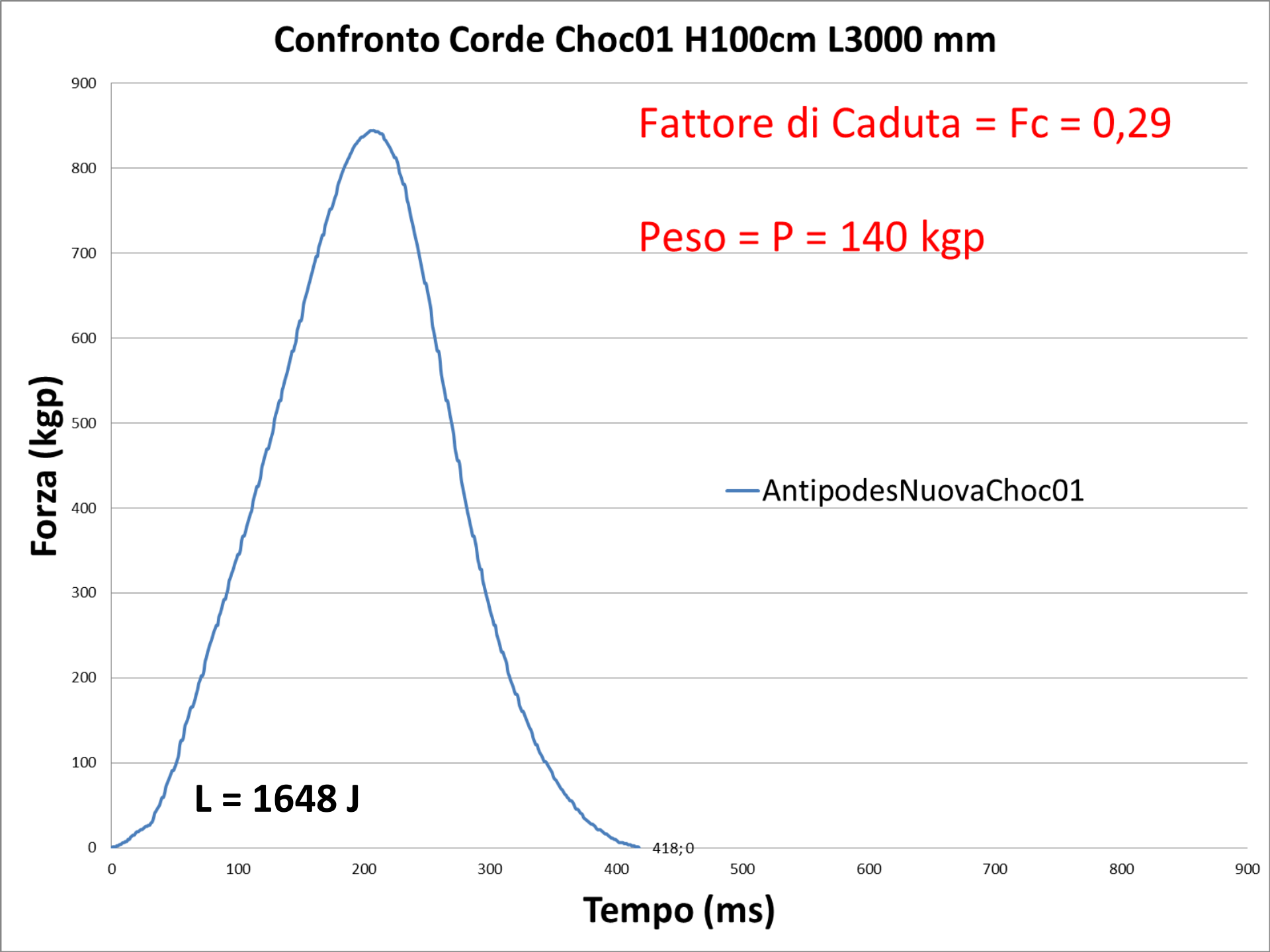

Choc succesivi Corda Beal BoosterIII 9,7 mm Nuova H100cm L3000mm
Fattore di Caduta = Fc = 0,29
Peso = P = 140 kgp
Choc01
Choc03
631;0
760;3,8
Forz (kgp)
Tempo (ms)
0
100
200
300
400
500
600
700
800

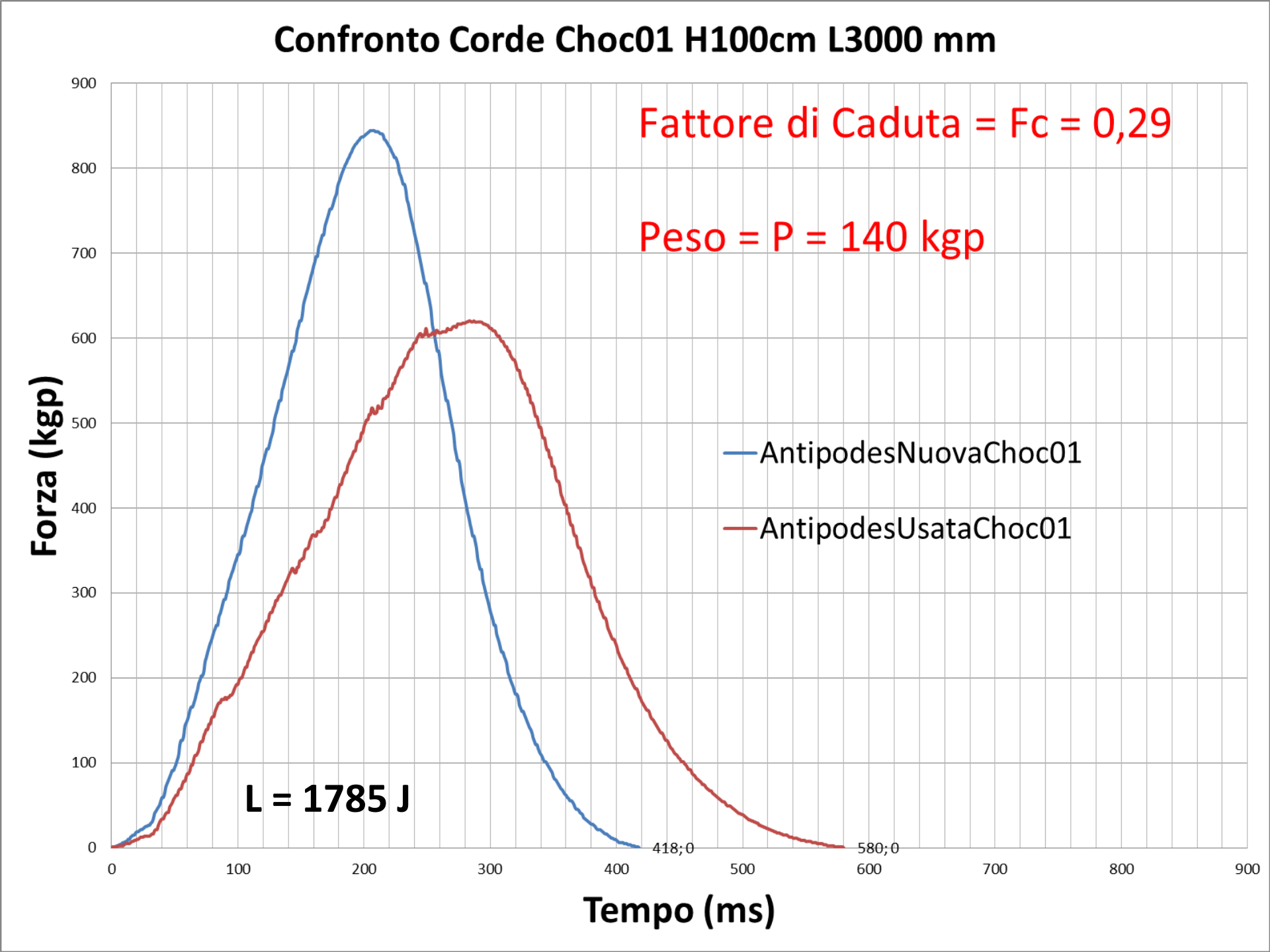
Choc successivi Corda Beal BoosterIII 9,7 mm Nuova H100cm L3000mm

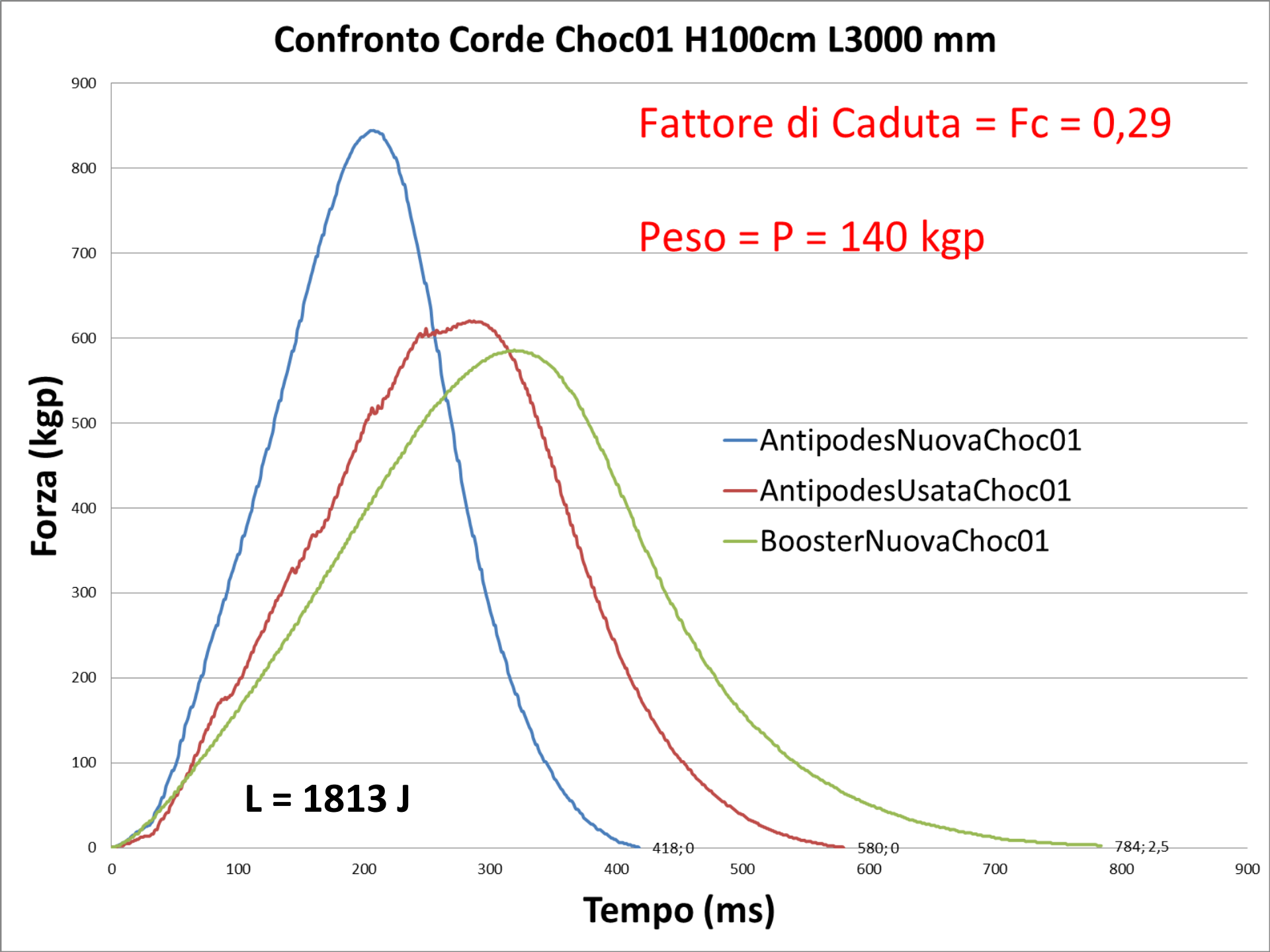



Choc successivi Corda Beal BoosterIII 9,7 mm Nuova H100cm L3000mm
Fattore di Caduta = Fc = 0,29
Peso = P = 140 kgp
Choc01
Choc03
Choc05
Cho10
607; 1,3
560; 0
631; 0
760; 3,8
Forz (kgp)
Tempo (ms)
0
100
200
300
400
500
600
700
800

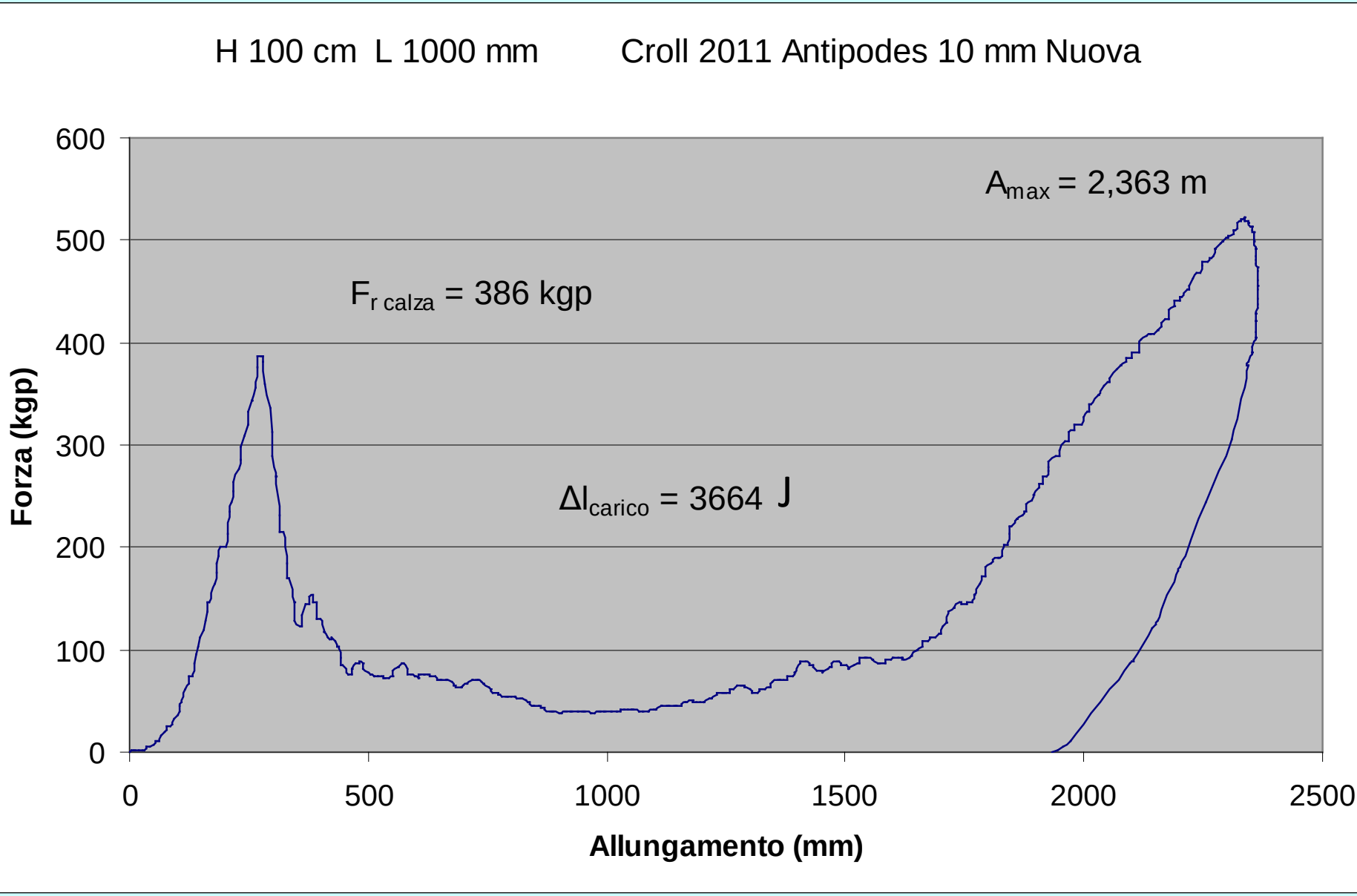
Confronto corde statiche e dinamiche nuove e usate

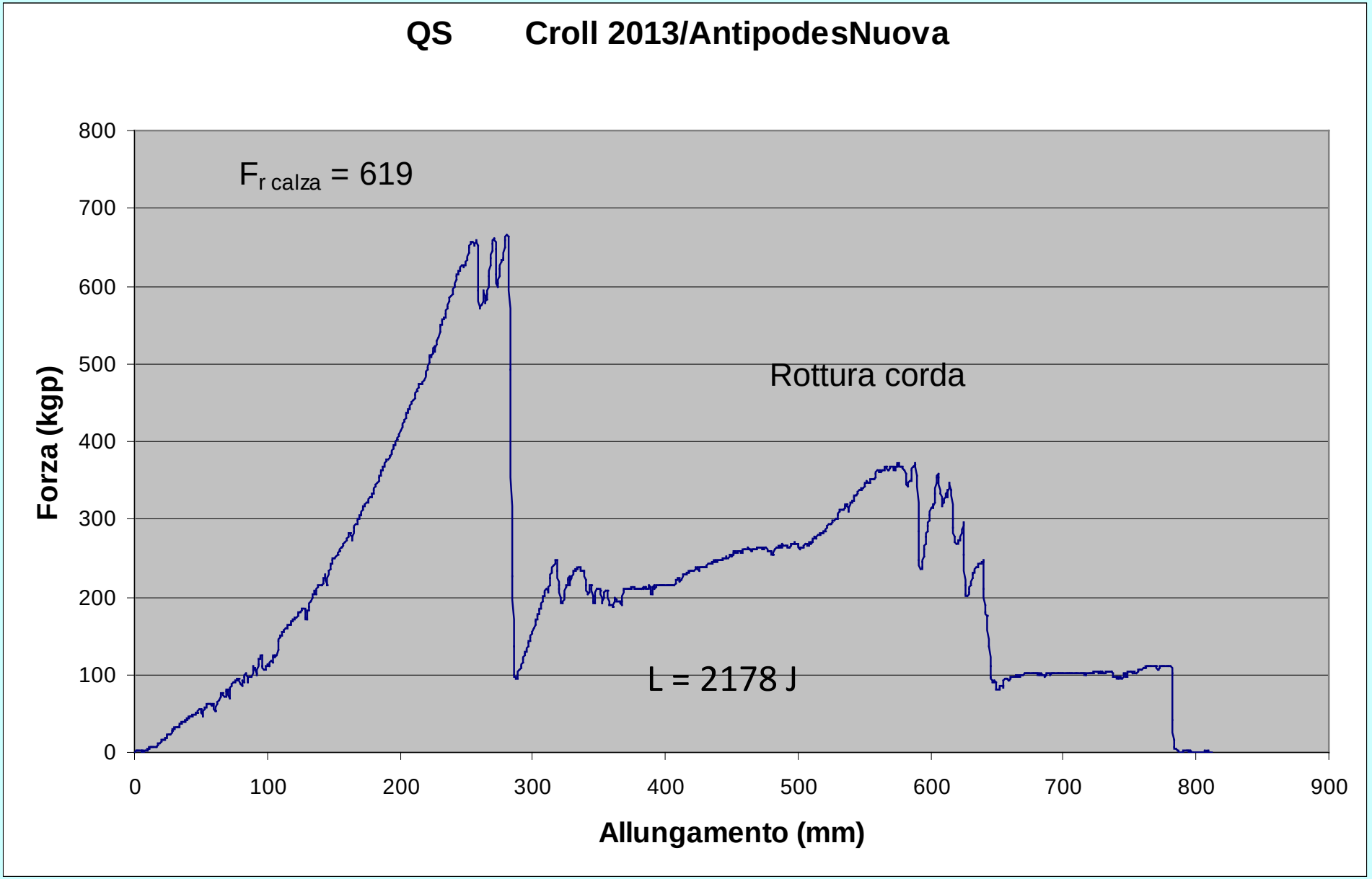

Confronto Corde Choc01 H100cm L3000 mm
Fattore di Caduta = Fc = 0,29
Peso = P = 140 kgp
AntipodesNuovaChoc01
L = 1648 J
418; 0
Forza (kgp)
Tempo (ms)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900


Confronto Corde Choc01 H100cm L3000 mm
Fattore di Caduta = Fc = 0,29
Peso = P = 140 kgp
AntipodesNuovaChoc01
AntipodesUsataChoc01
L = 1785 J
418;0
580;0
Forza (kgp)
Tempo (ms)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900

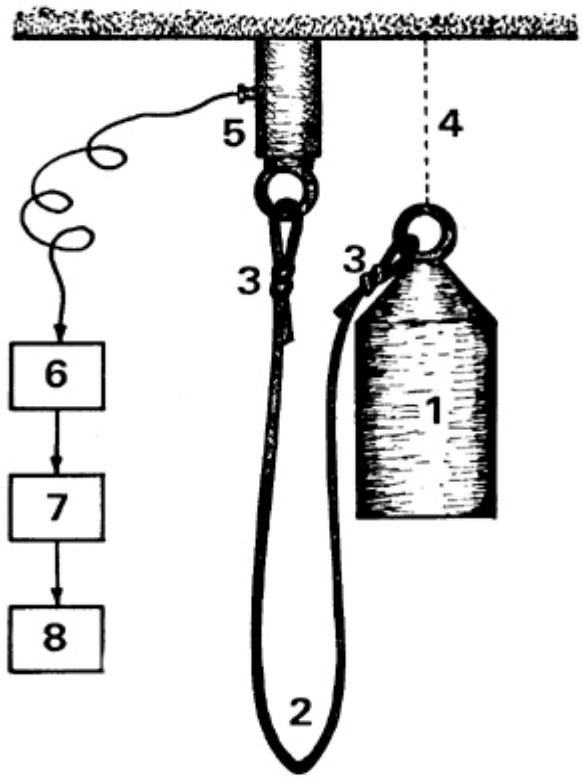

Confronto Corde Choc01 H100cm L3000 mm
Fattore di Caduta = Fc = 0,29
Peso = P = 140 kgp
AntipodesNuovaChoc01
AntipodesUsataChoc01
BoosterNuovaChoc01
L = 1813 J
418; 0
580; 0
784; 2,5
Forza (kgp)
Tempo (ms)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900

Interazioni corde attrezzi


H 100 cm L 1000 mm
Croll 2011 Antipodes 10 mm Nuova
A_{max} = 2,363 m
$F_{r\ calza}$ = 386 kgp
Δl_{carico} = 3664 J
Forza (kgp)
600
500
400
300
200
100
0
0
500
1000
1500
2000
2500
Allungamento (mm)


QS Croll 2013/AntipodesNuova
$F_{r\ calza}$ = 619
Rottura corda
L = 2178 J
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900

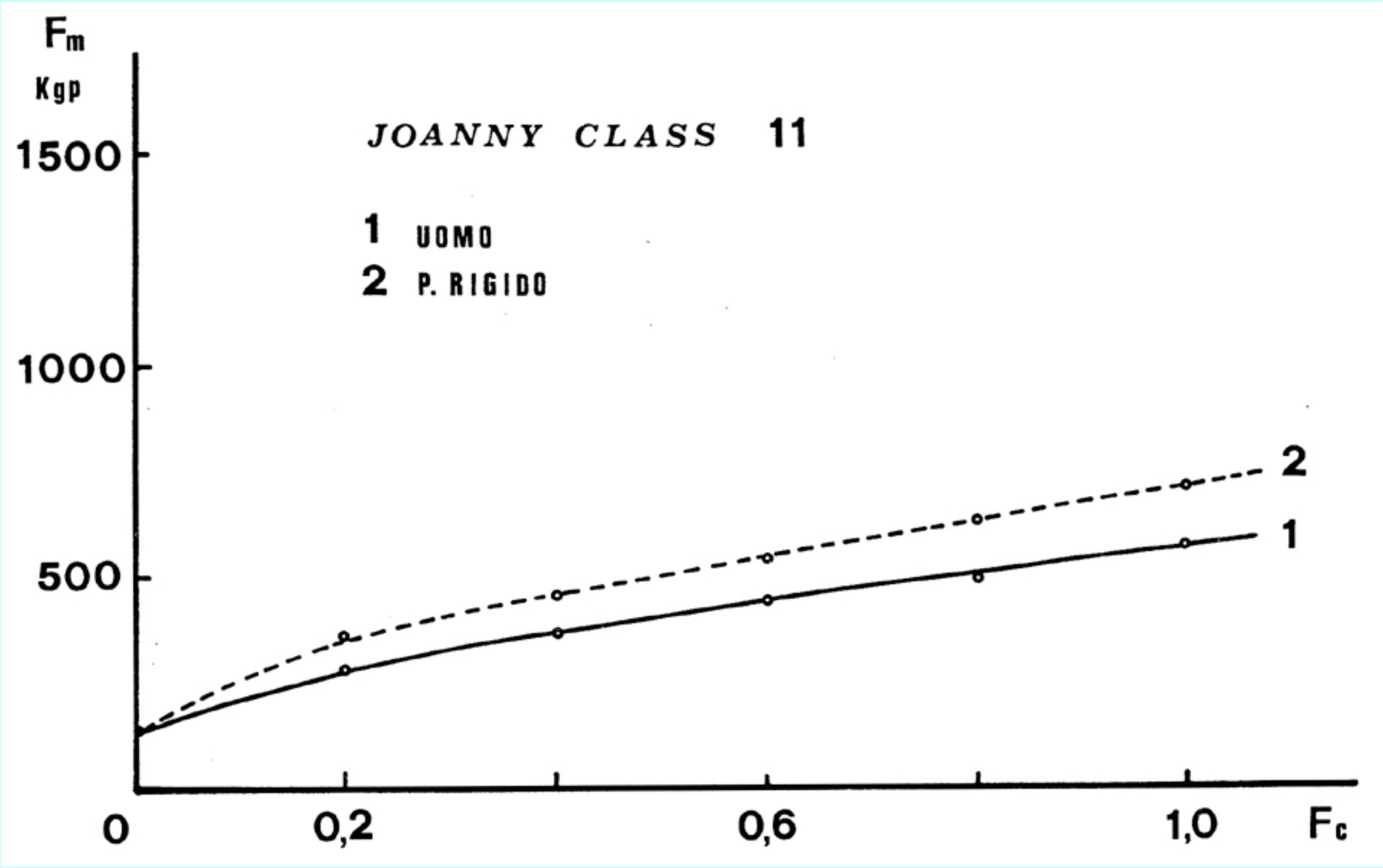
Effetto corpo umano

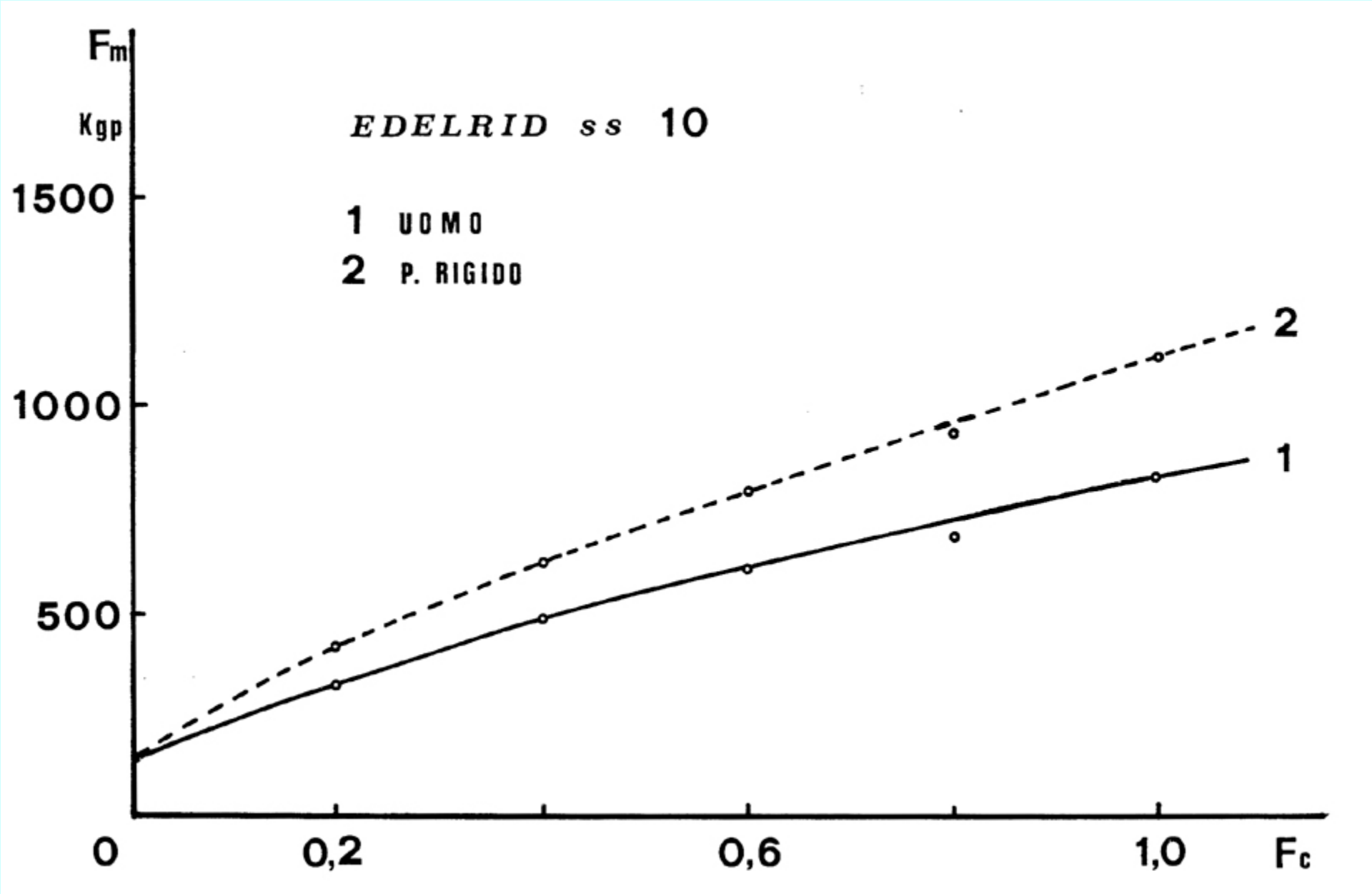


1 PESO
2 CAMPIONE DI CORDA
3 NODI
4 SGANCIAMENTO
5 CELLA DI CARICO
6 AMPLIFICATORE
7 MEMORIA
8 REGISTRATORE

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

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


Fm
Kgp
JOANNY CLASS 11
1 UOMO
2 P. RIGIDO
1500
1000
500
0
0,2
0,6
1,0
Fc
2
1


Fm
Kgp
EDELRID ss 10
1 UOMO
2 P. RIGIDO
1500
1000
500
0
0,2
0,6
1,0
Fc
2
1

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

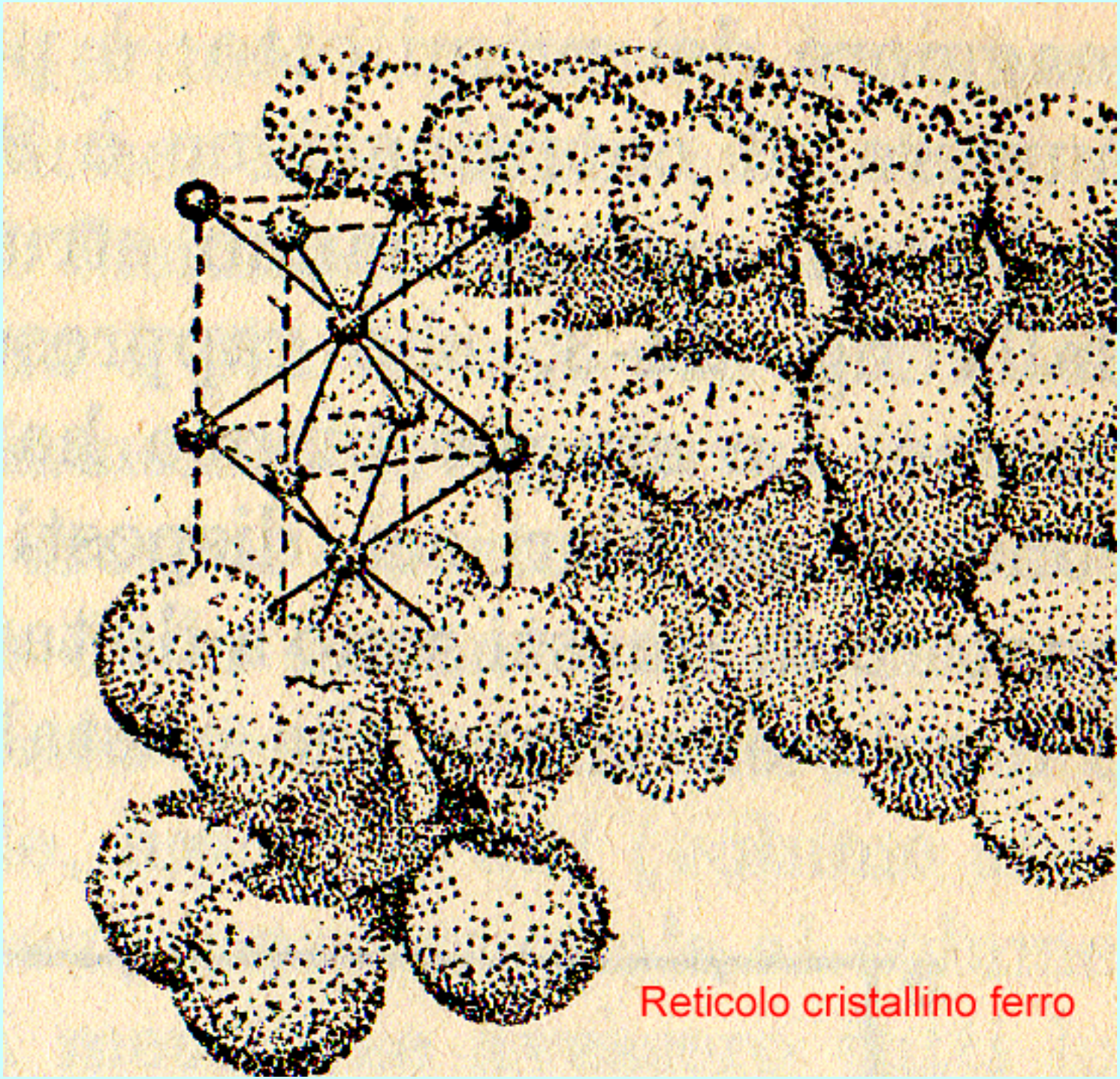
Modelli teorici o test sperimentali?

Gli uni e gli altri

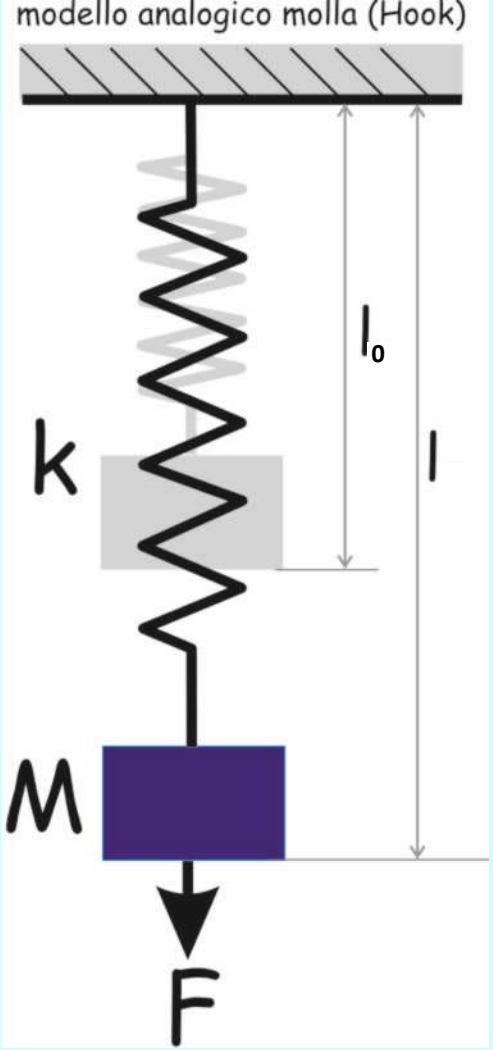


Deformazioni:

- elastiche
- reversibili
- lineari



Reticolo cristallino ferro



L_0 = lunghezza del campione a riposo

L = lunghezza del campione trazionato dalla massa ***m***

Legge di Hooke $\sigma = E\varepsilon$

Legge di Hook (barre)

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

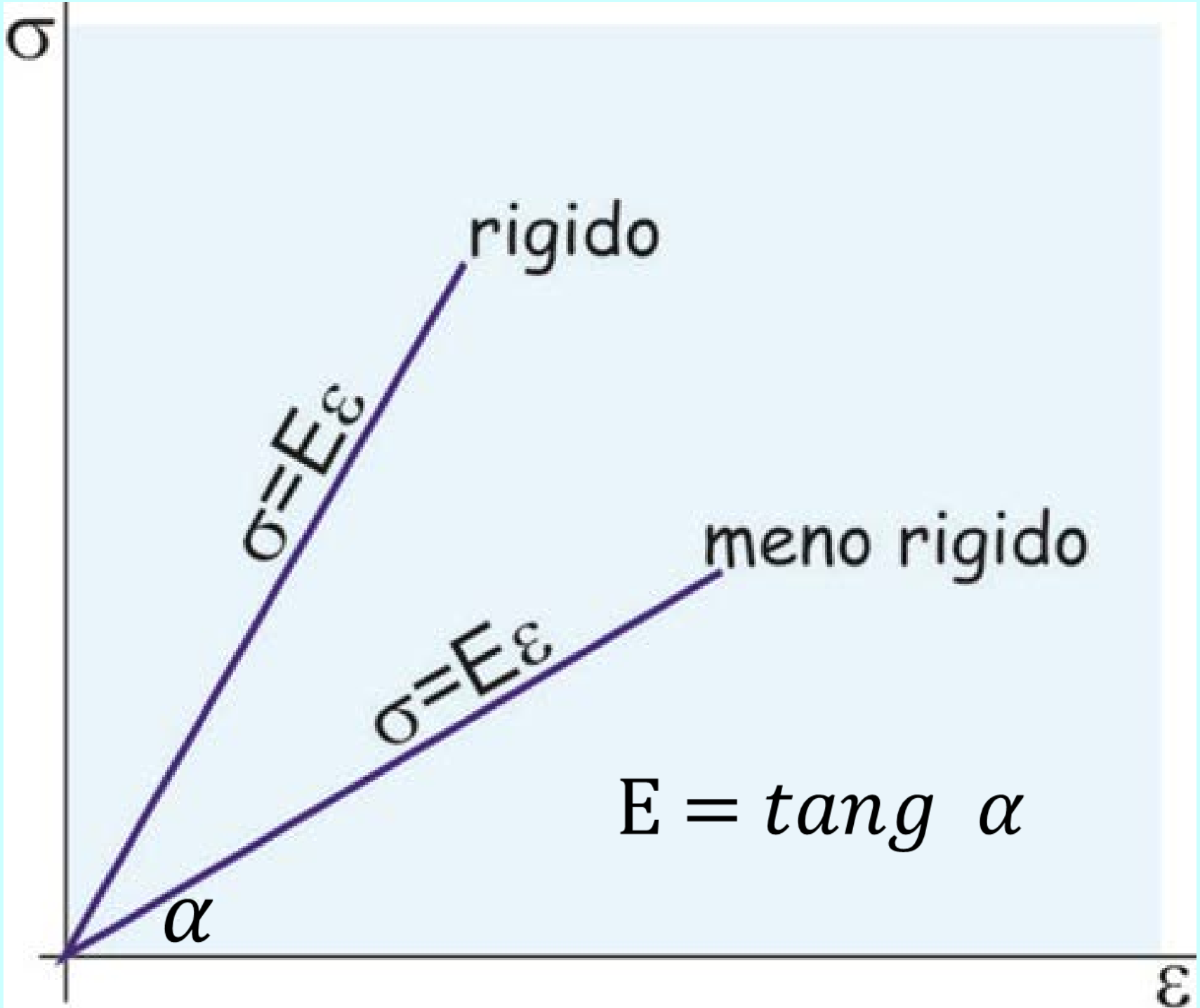
$$\sigma = \frac{F}{S}$$ Sforzo (stress) $N/m^2 = Pa$

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$ Deformazione (strein) adimensionale

E = modulo [$Pa=N/m^2$]

Materiali elastici e piccole deformazioni

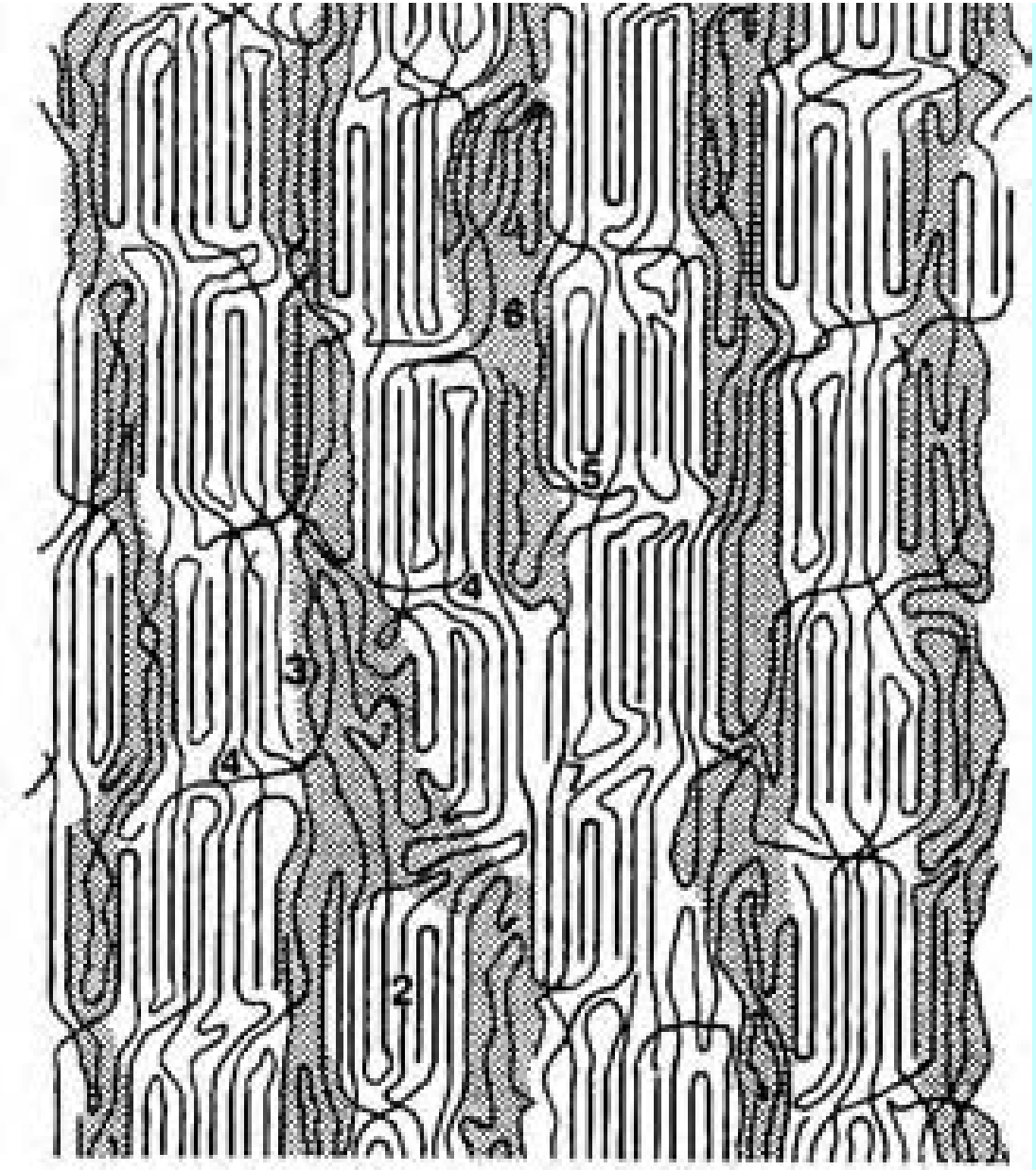
Campioni con geometria omogenea

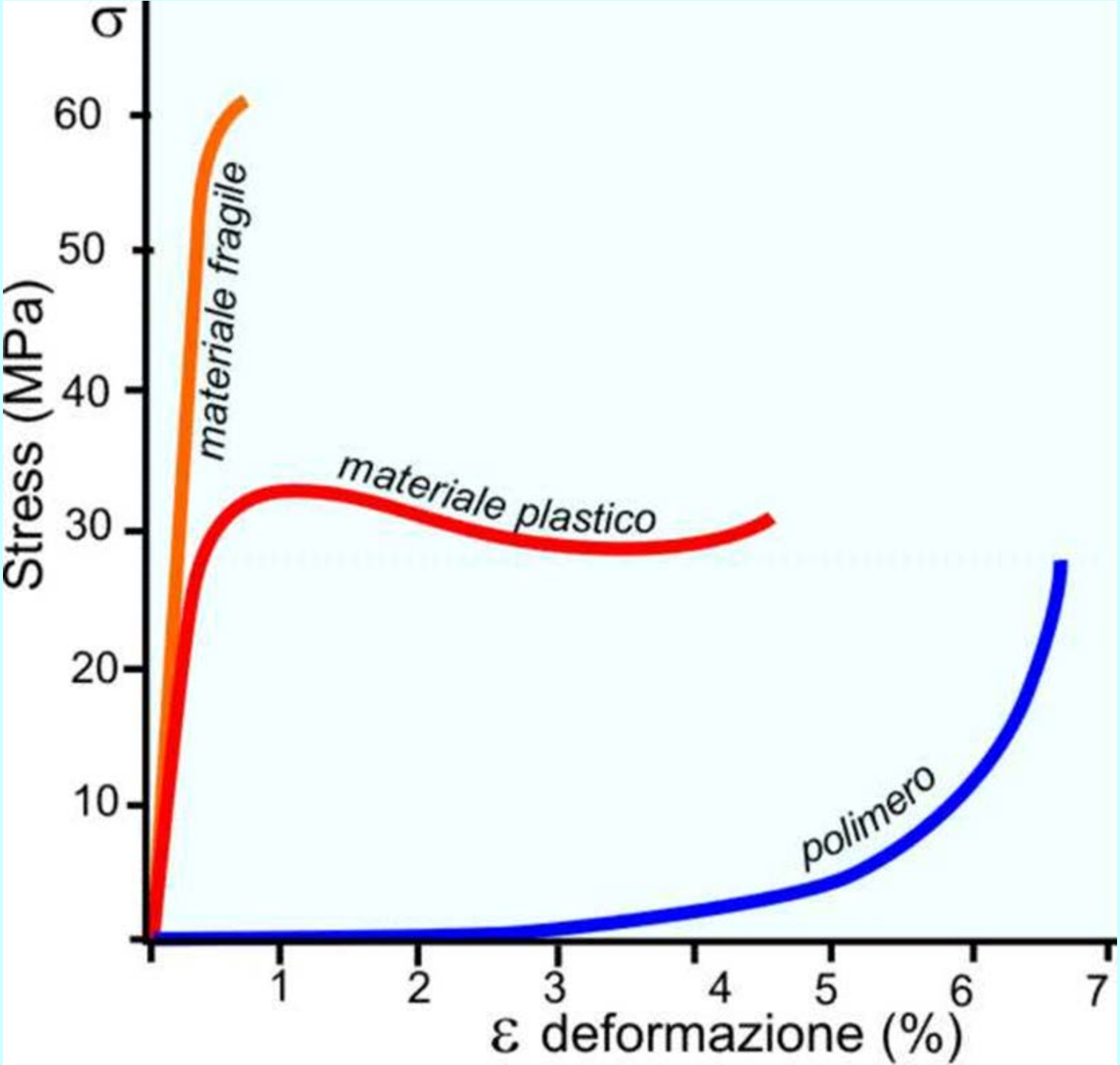

σ
rigido
σ=Eε
meno rigido
σ=Eε
α
E = tang α
ε

Deformazioni:

- viscose
- plastiche
- irreversibili
- non lineari

Struttura semicristallina di un filo elementare di un polimero di corda




σ
60
50
40
30
20
10
Stress (MPa)
materiale fragile
materiale plastico
polimero
1
2
3
4
5
6
7
ε deformazione (%)

Deformazioni viscoelastiche:

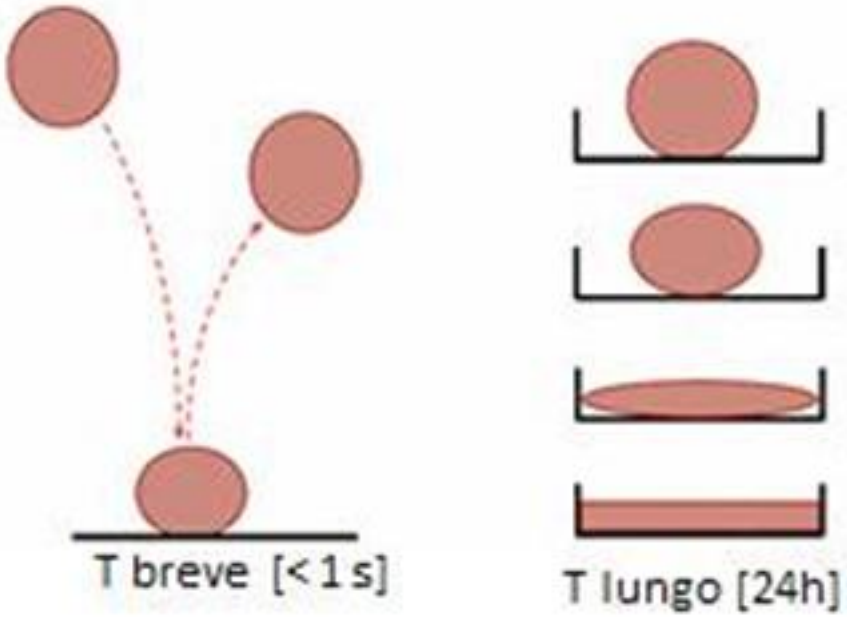
elastiche e viscose contemporaneamente

Comportamento viscoelastico

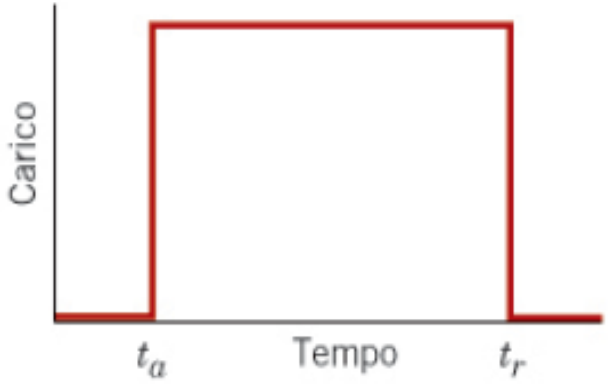
I materiali viscoelastici rispondono alle sollecitazioni in funzione della velocità con le quali vengono impresse:

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

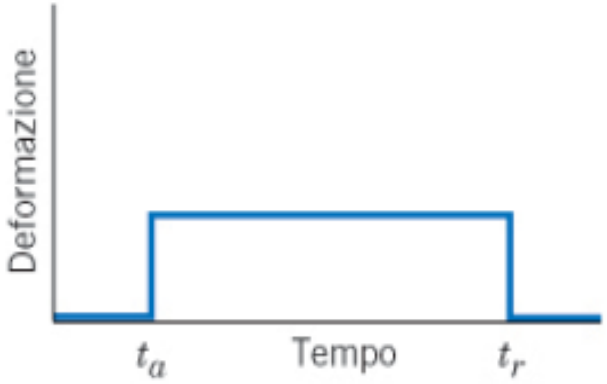
È fondamentale quindi conoscere come viene applicato un carico
Il comportamento viscoelastico è DIPENDENTE DAL TEMPO



Elasticità (reversibile)

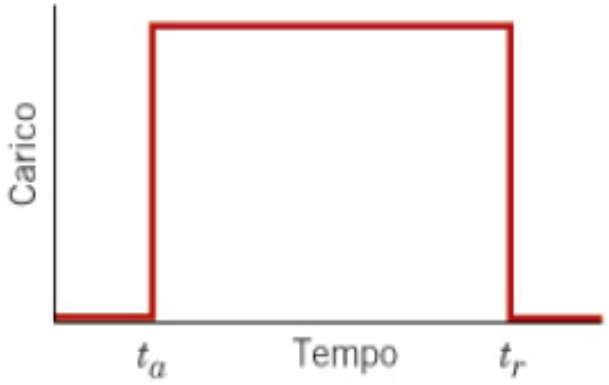


Curva del carico in funzione di t (il carico è applicato in modo istantaneo in t_a e rimosso in t_r.

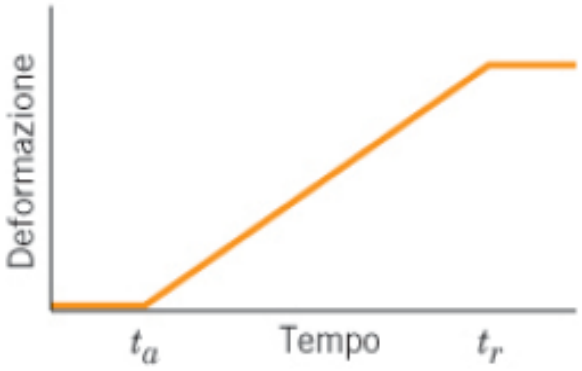


Curva sforzo-deformazione per comportamento elastico

Viscosità (irreversibile)

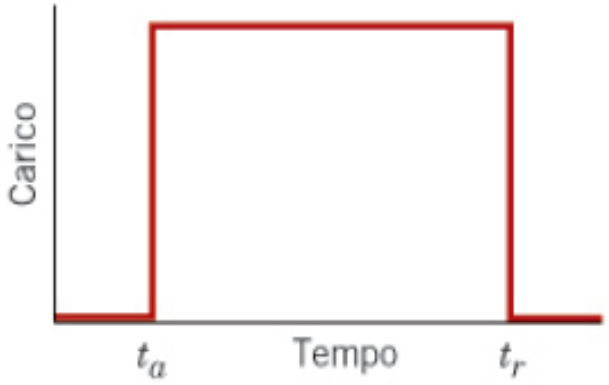


Curva del carico in funzione di t (il carico è applicato in modo istantaneo in t_a e rimosso in t_r.

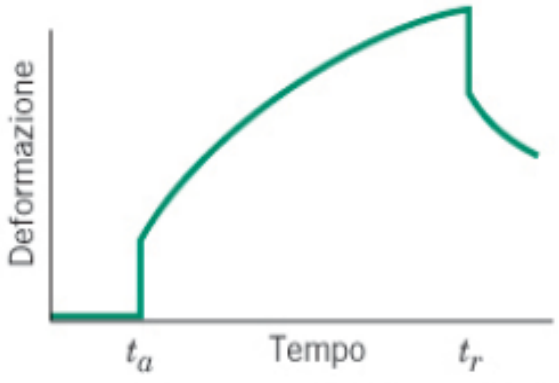


Curva sforzo-deformazione per comportamento viscoso

Elasticità + Viscosità



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



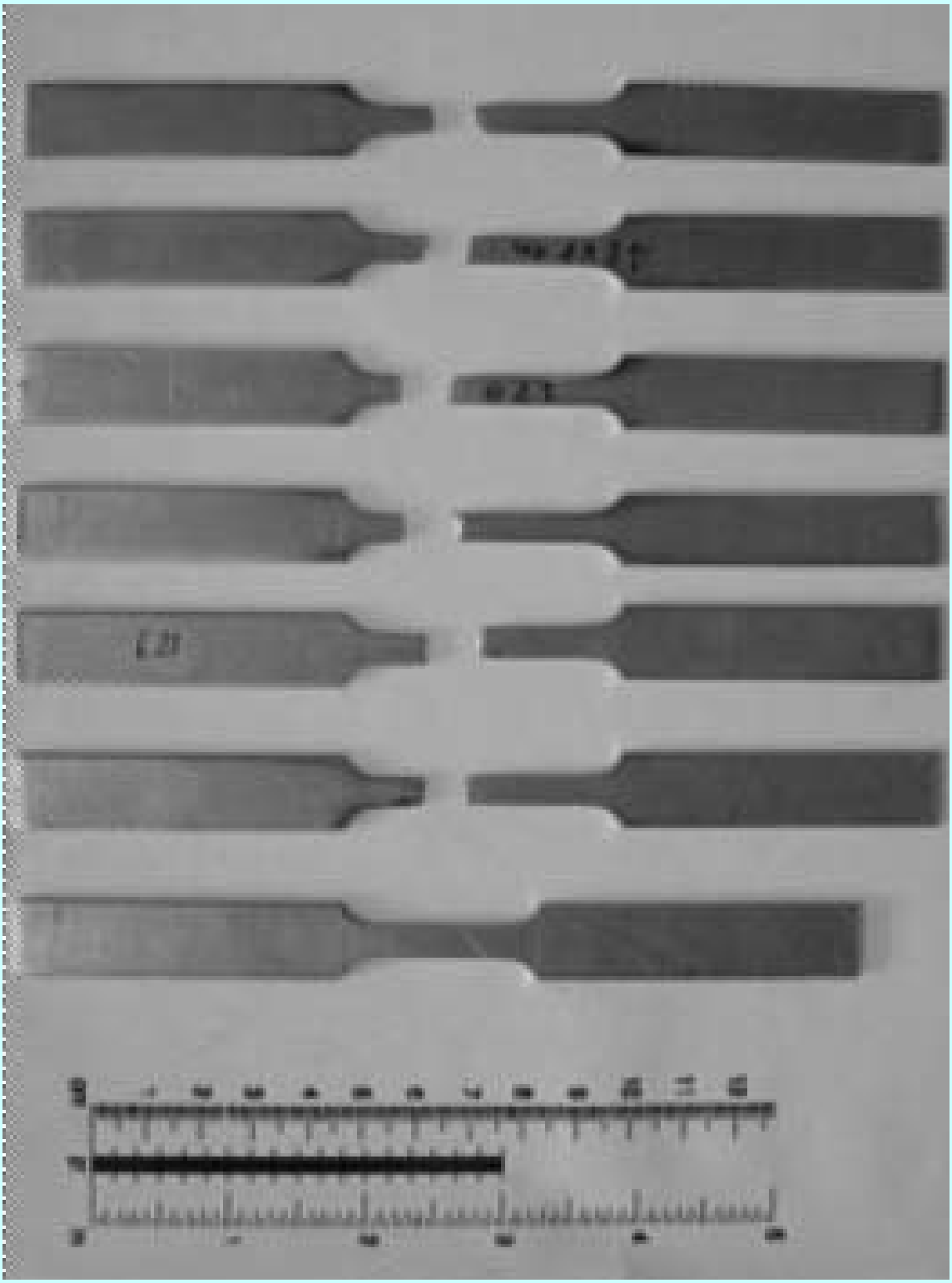
Curva sforzo-deformazione per comportamento viscoelastico

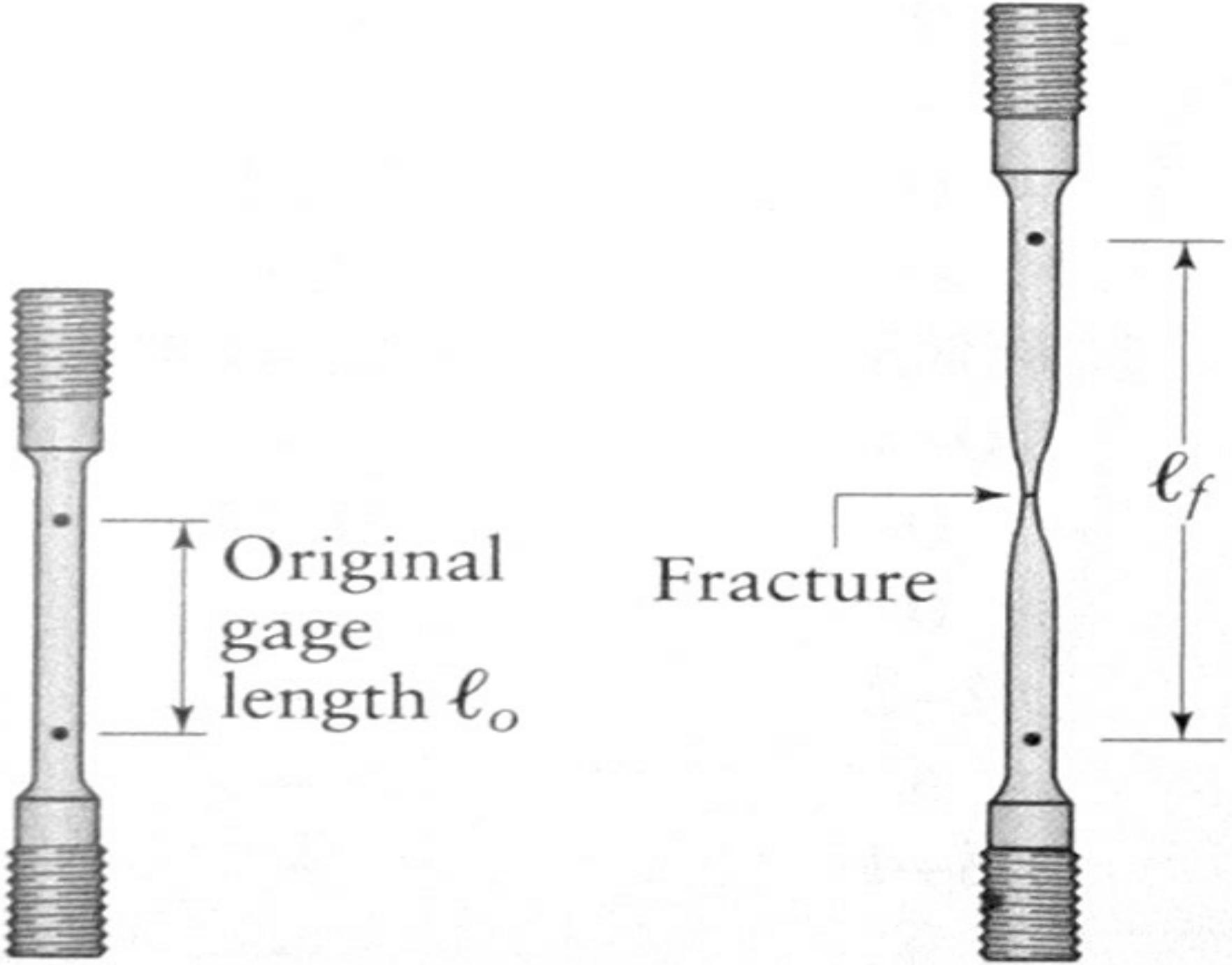
Trazione quasi-statica

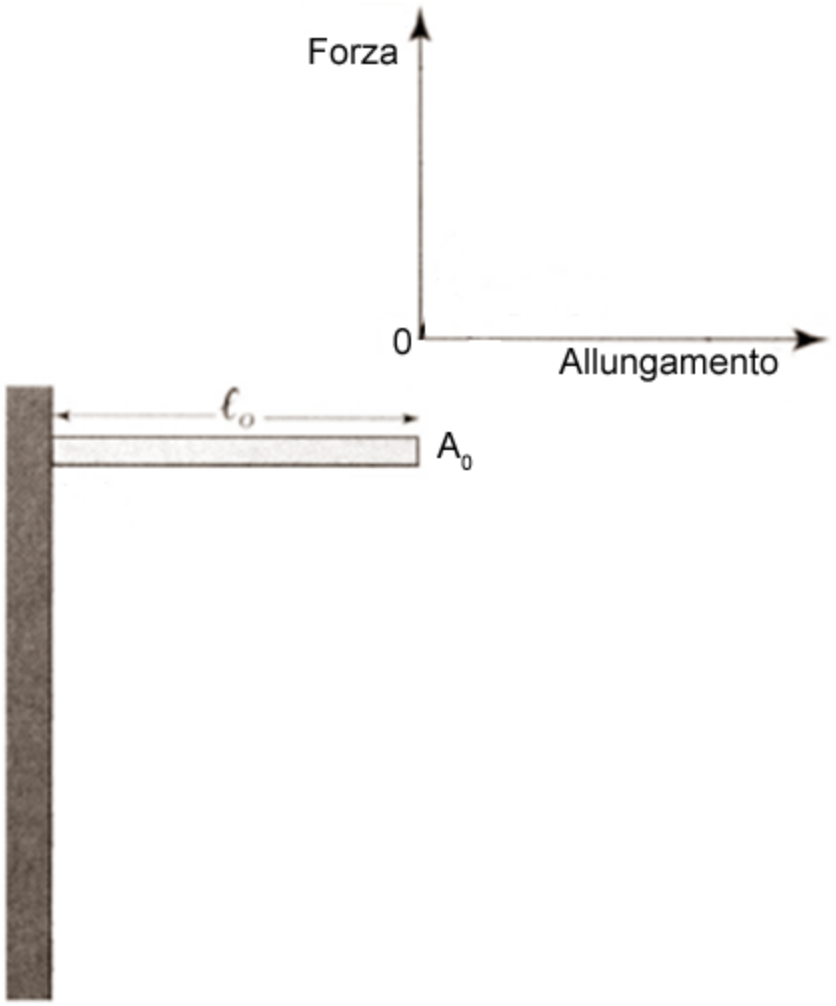
dinamometro da banco


55MT

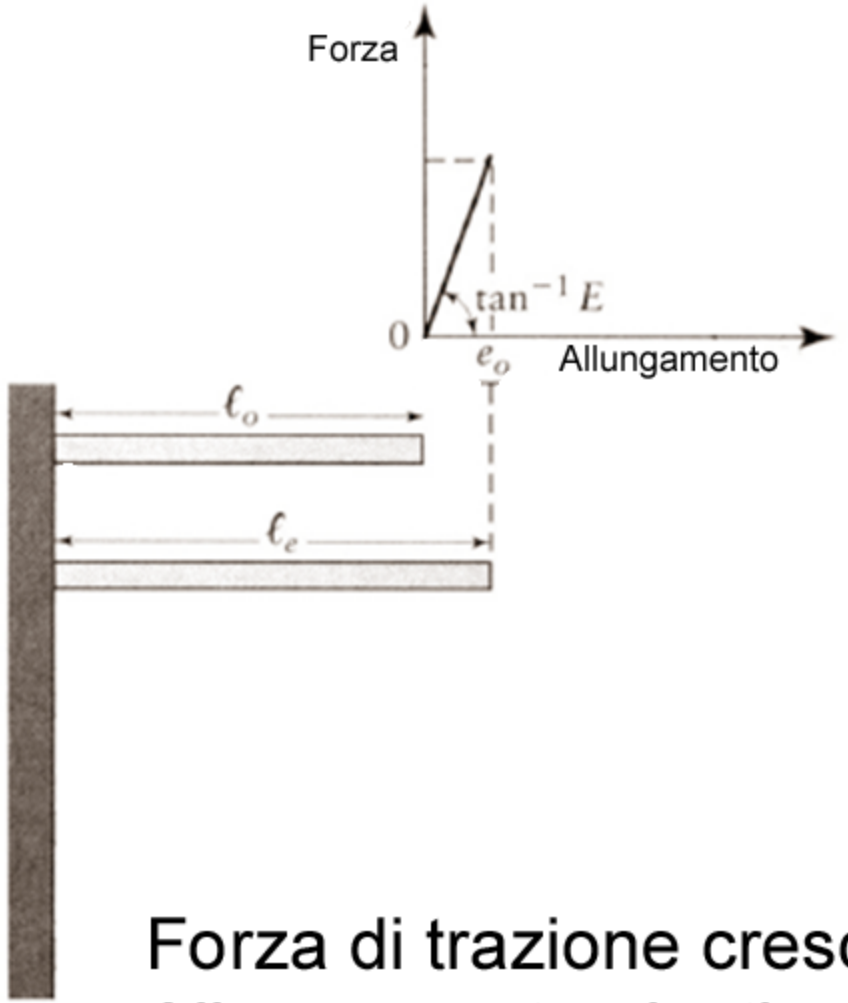
Provini metallici



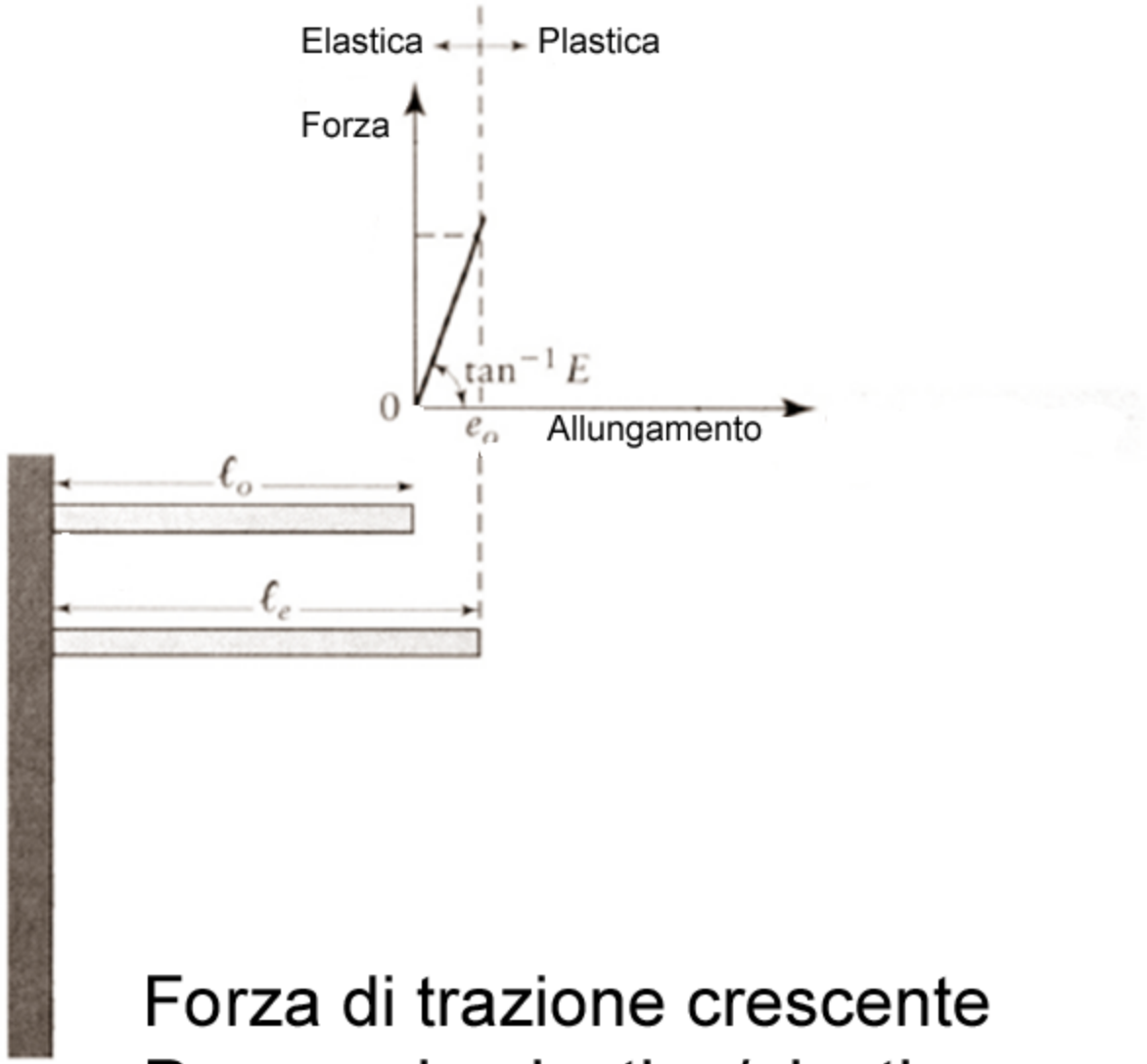

Original
gage
length ℓ_o
Fracture
ℓ_f



Forza di trazione nulla (inizio)



Forza di trazione crescente
Allungamento elastico reversibile
Grafico lineare



Forza di trazione crescente
Passaggio elastico/plastico
Deformazioni irreversibili

Legge di Hook (barre)

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

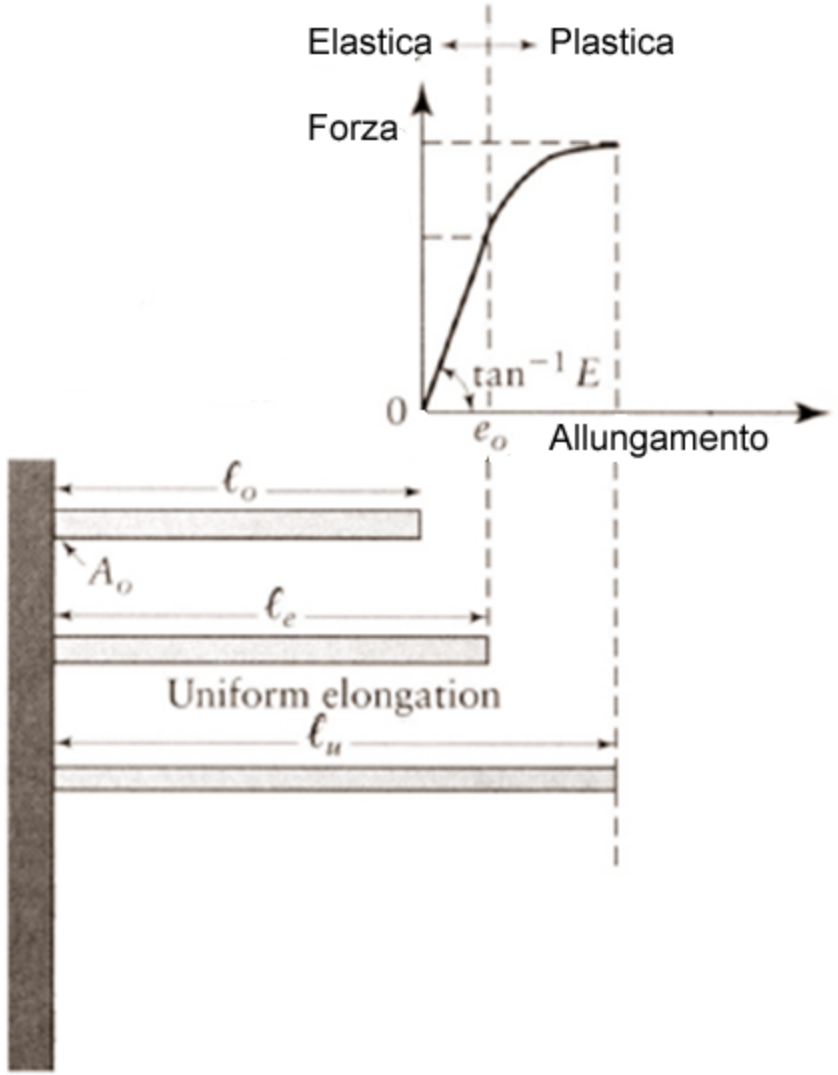
$$\sigma = \frac{F}{S}$$ Sforzo (stress) $N/m^2 = Pa$

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$ Deformazione (strein) adimensionale

E = modulo [$Pa=N/m^2$]

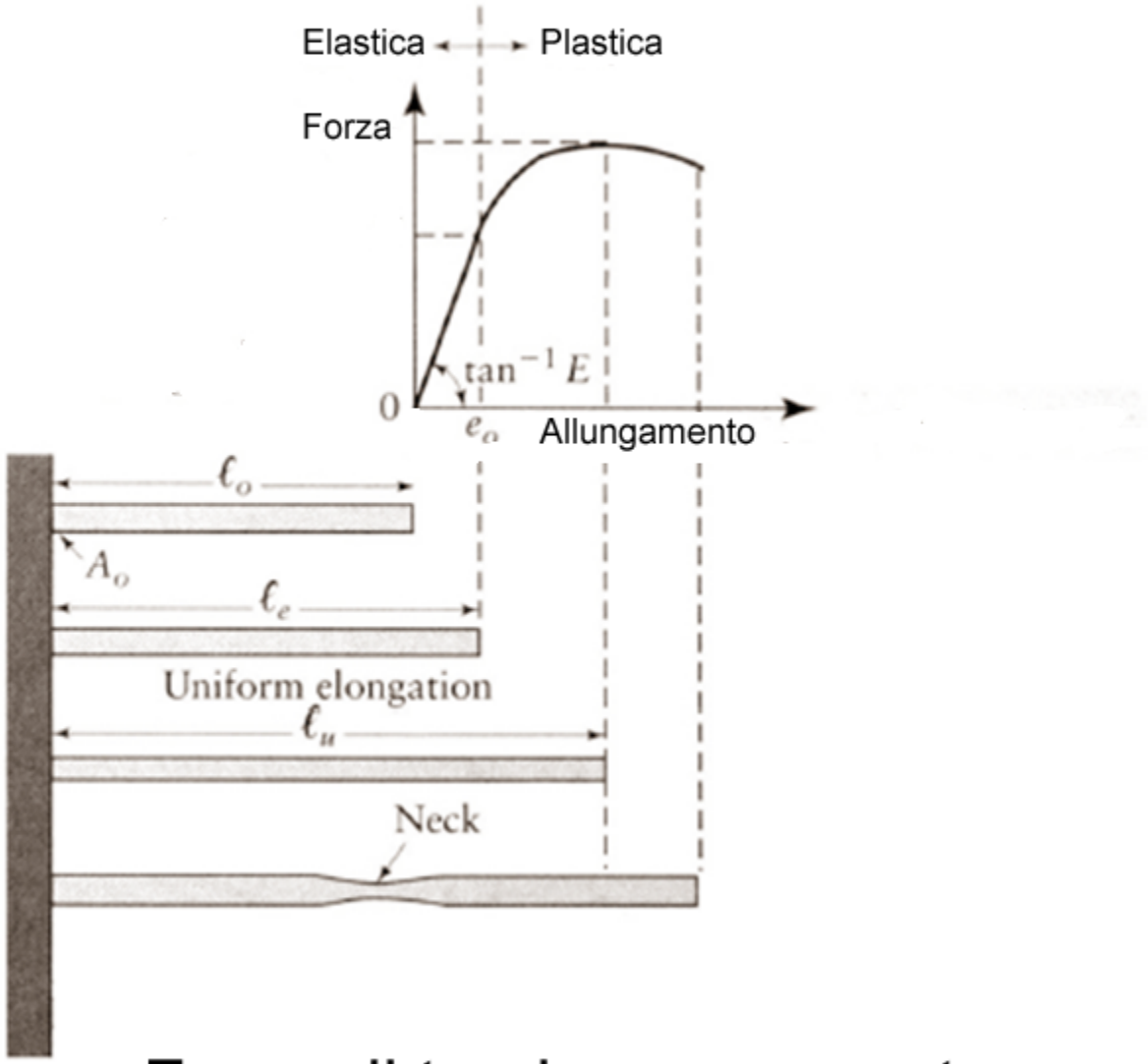
Materiali elastici e piccole deformazioni

Campioni con geometria omogenea



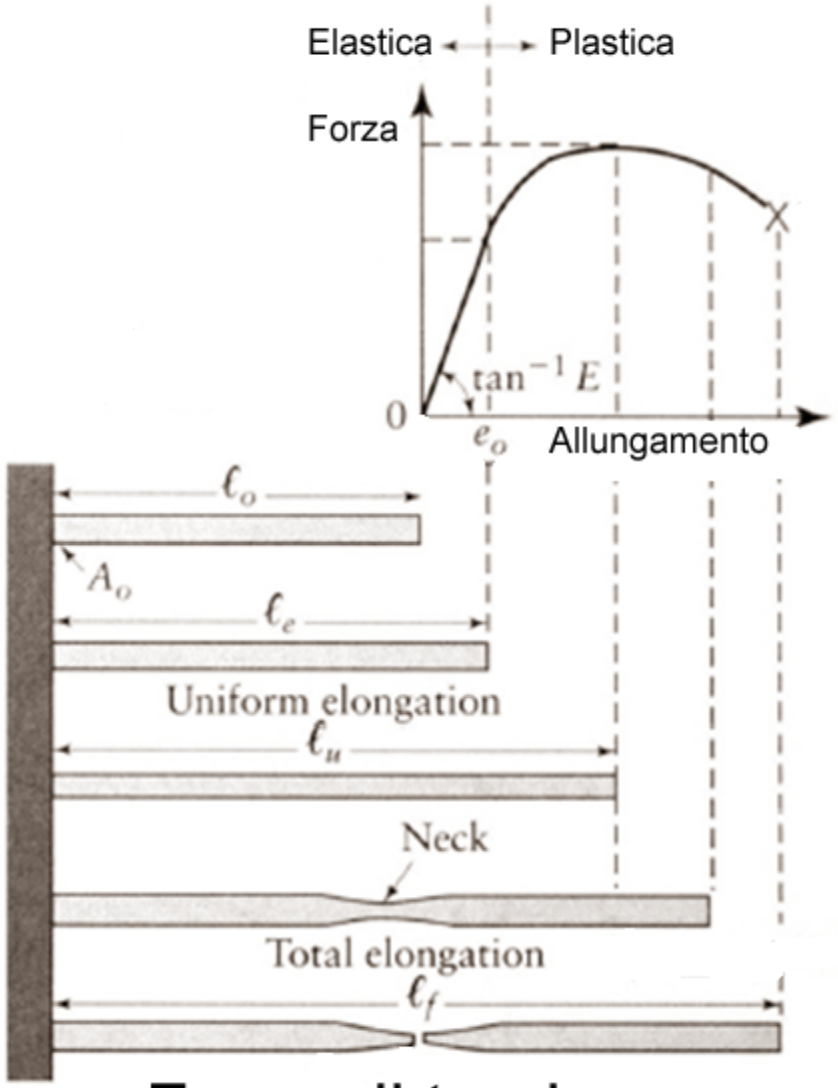
Forza di trazione crescente

Trasformazione plastica irreversibile



Forza di trazione crescente

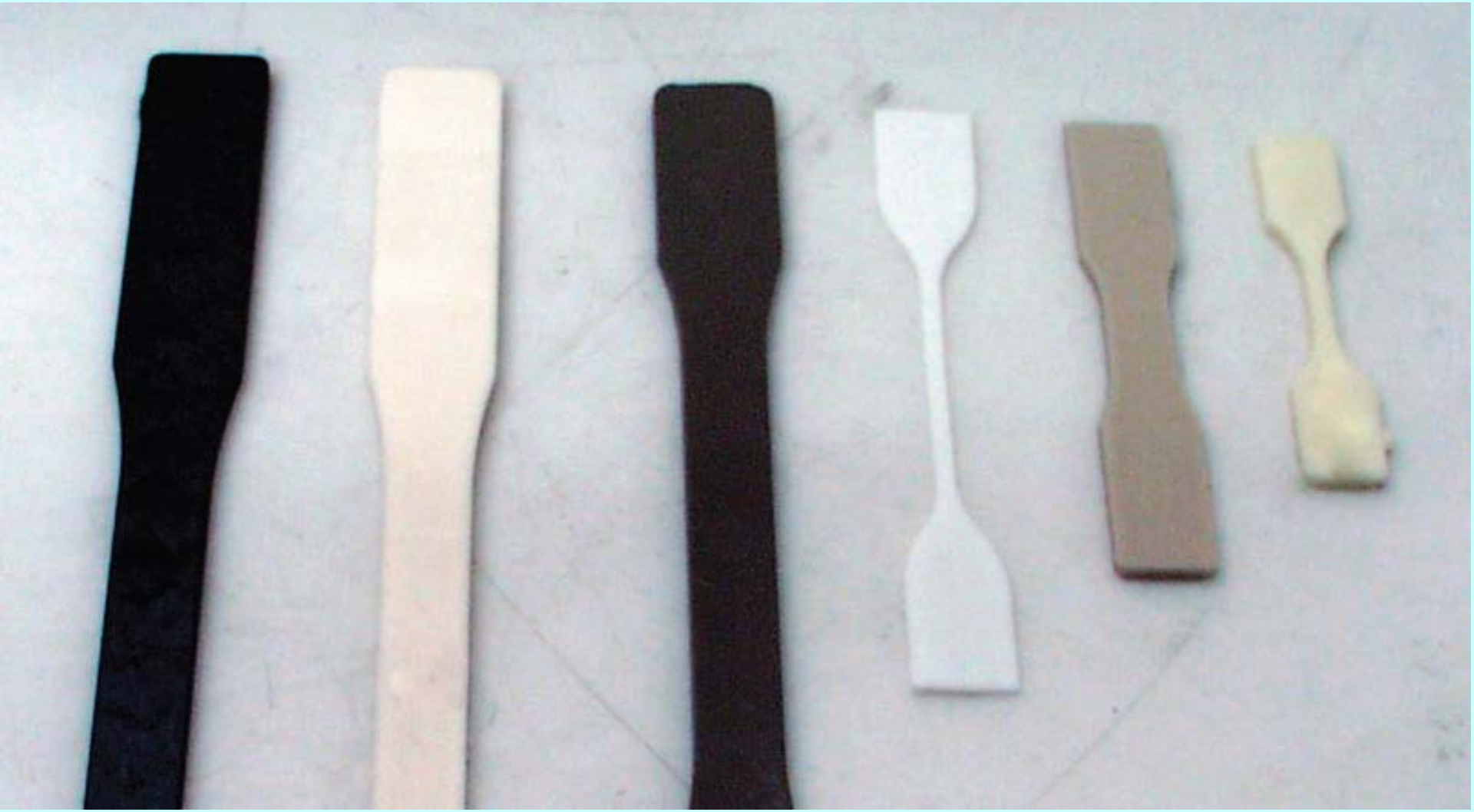
Strizione (Neck)

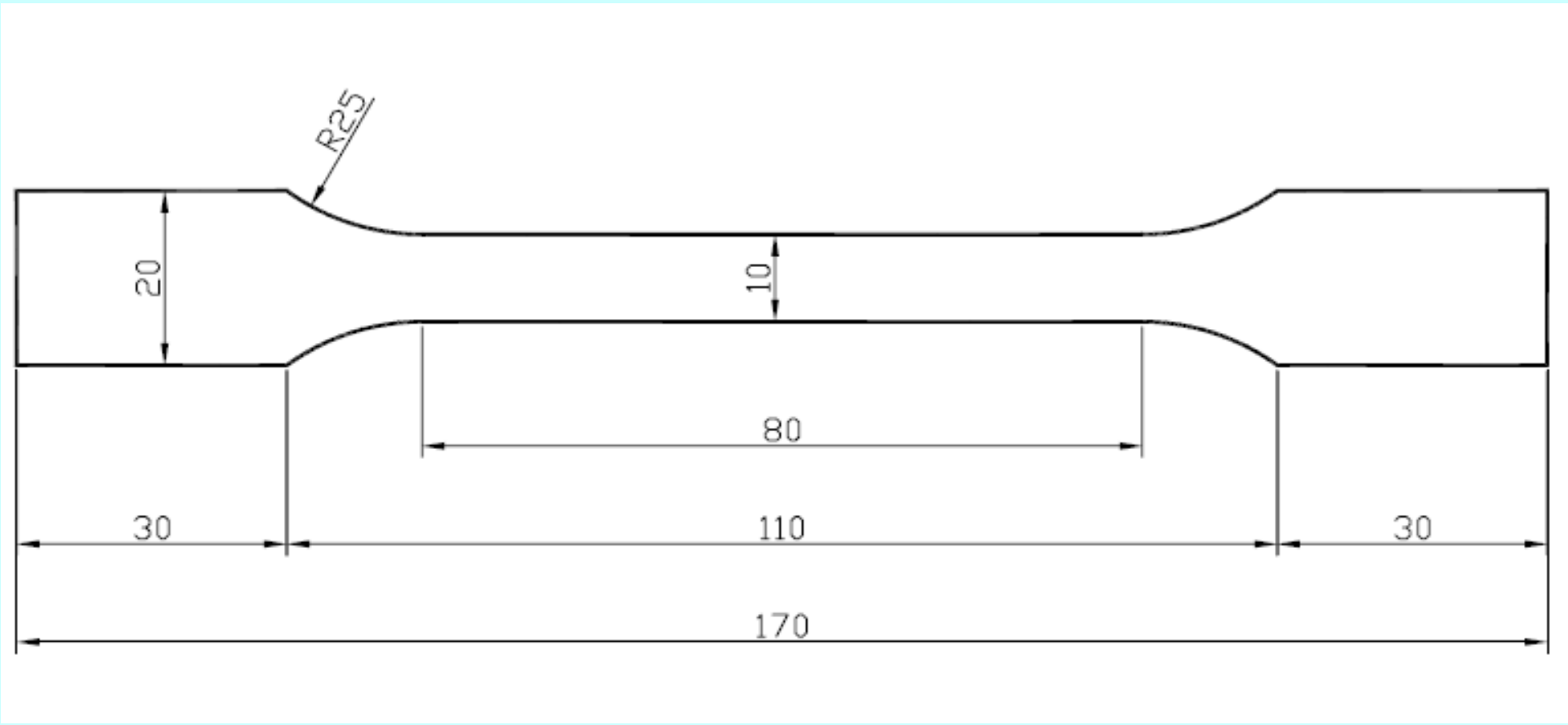


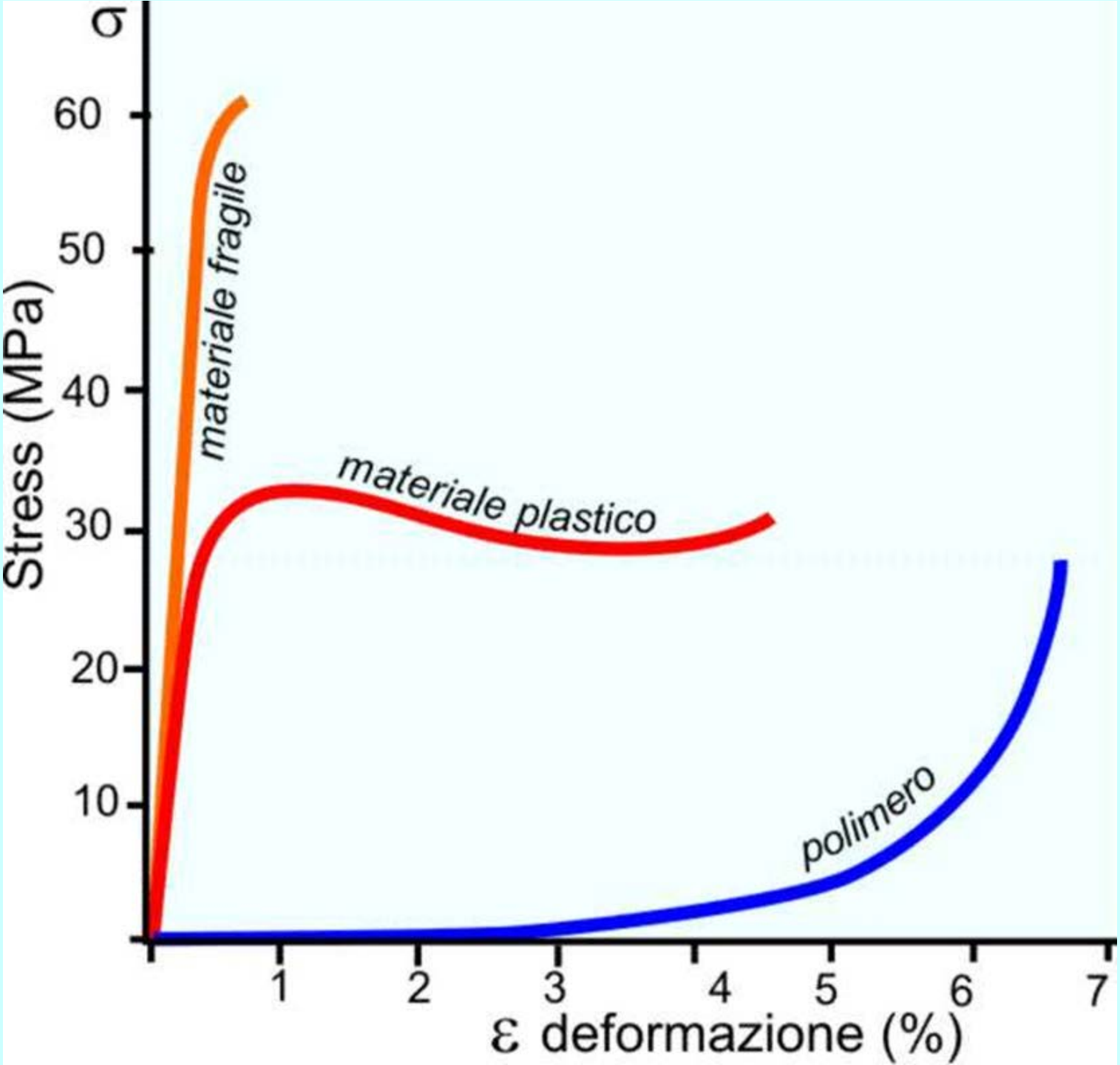
Forza di trazione crescente

Frattura (carico di rottura)

Provini non metallici




R25
20
10
80
30
110
30
170


σ
60
50
40
30
20
10
Stress (MPa)
materiale fragile
materiale plastico
polimero
1
2
3
4
5
6
7
ε deformazione (%)

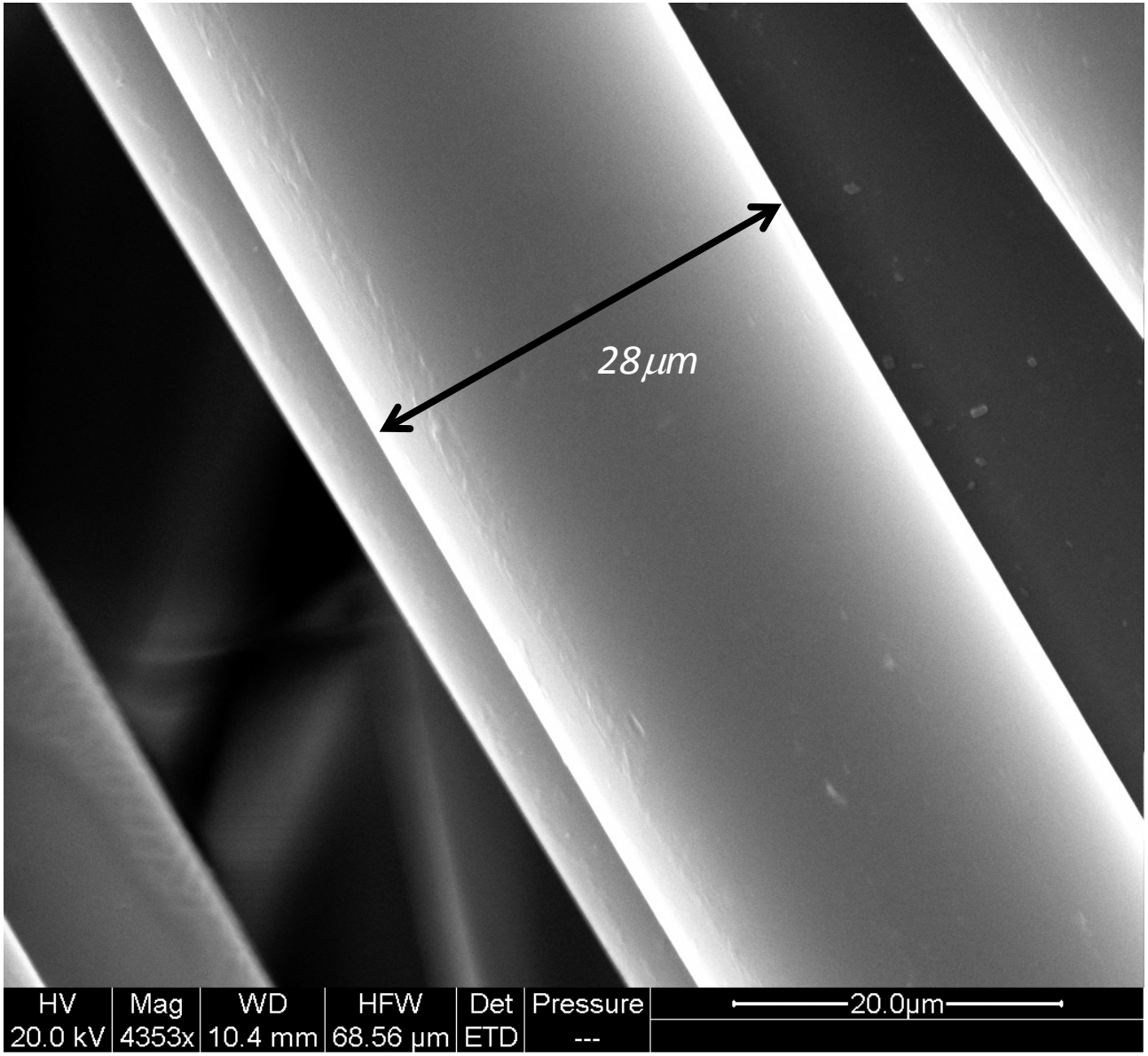
Corde

(discontinuità)

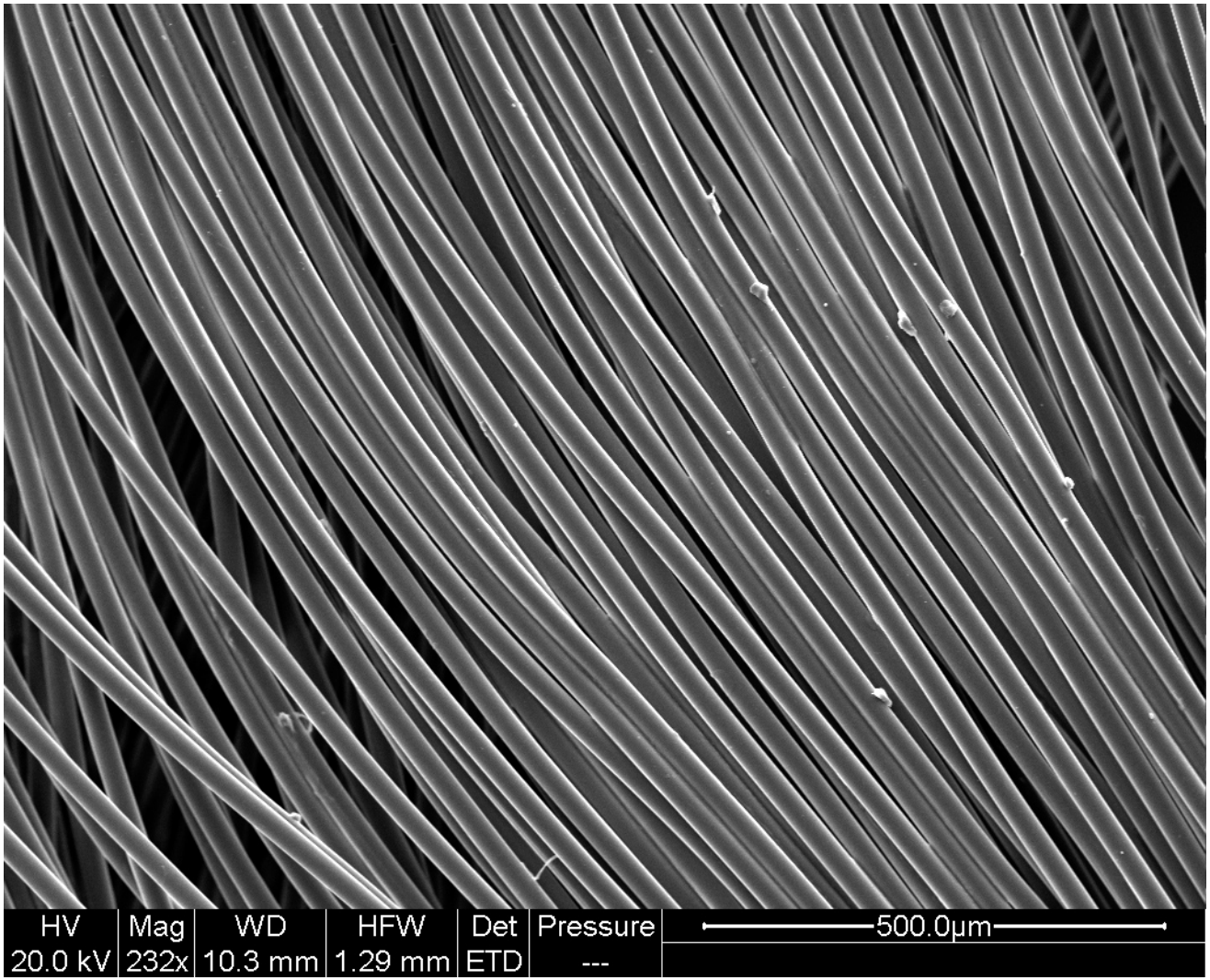
(~15 % spazi vuoti)



Filo elementare

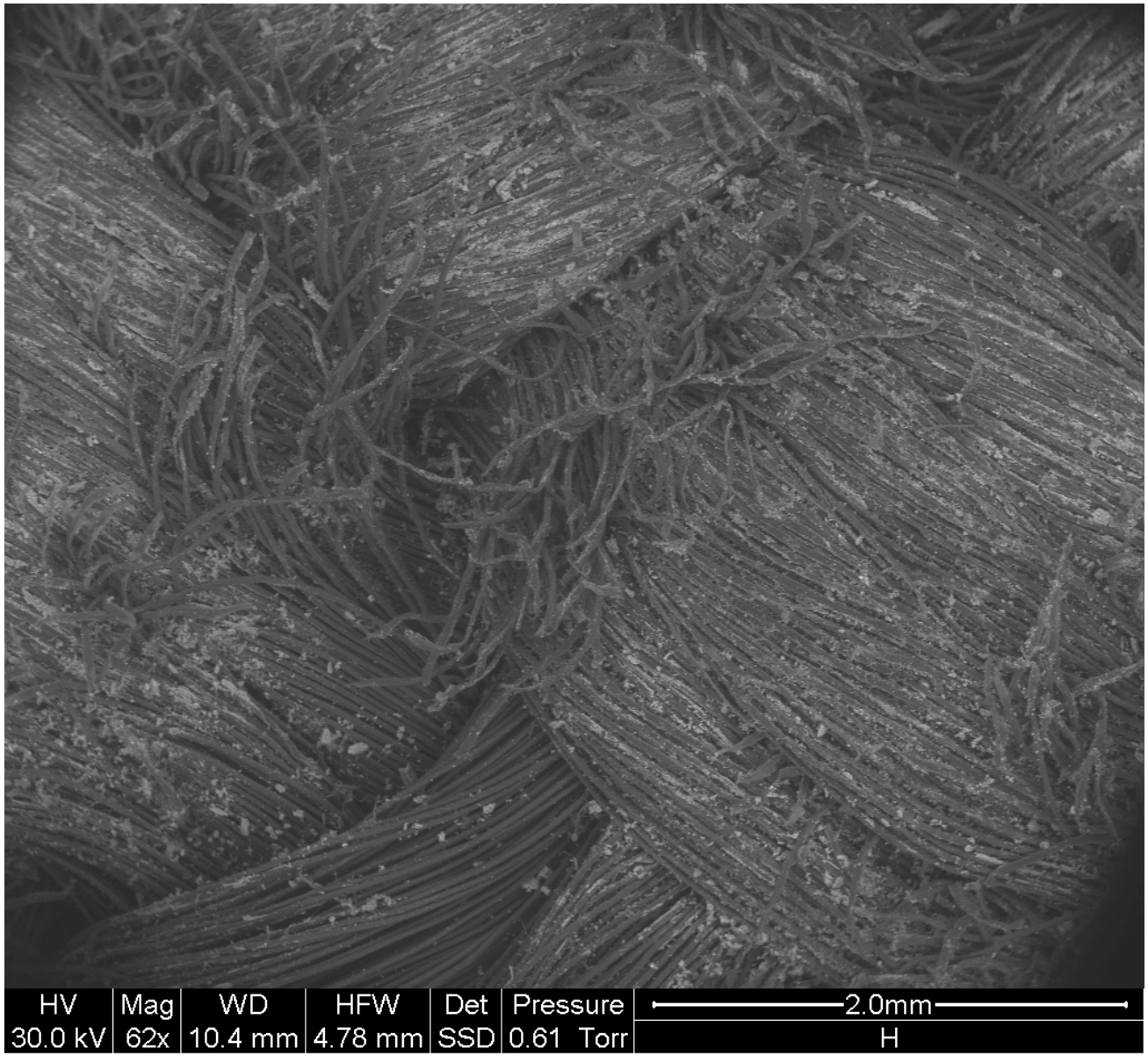


Corda nuova





Corda Beal Antipod ϕ 10 mm usata (CENS)





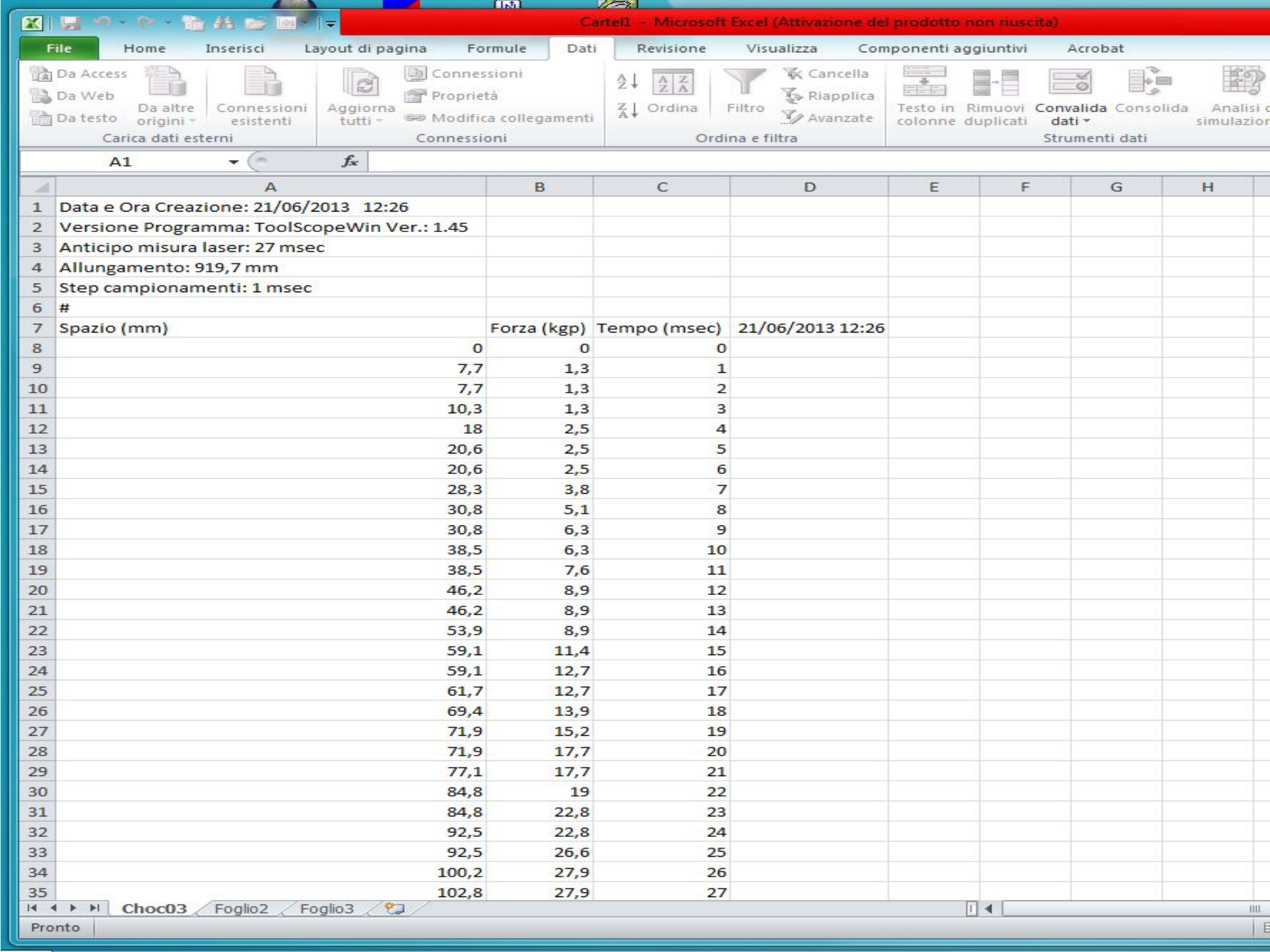
Trazione senza nodi

F_r = forza rottura




INSTRON
TVL


EDELRID
CORDE E
ATTREZZI DA
WWW.



Cartel1 - Microsoft Excel (Attivazione del prodotto non riuscita)

File | Home | Inserisci | Layout di pagina | Formule | Dati | Revisione | Visualizza | Componenti aggiuntivi | Acrobat

Da Access | Da Web | Da testo | Da altre origini | Connessioni esistenti — Carica dati esterni

Aggiorna tutti | Connessioni | Proprietà | Modifica collegamenti — Connessioni

Ordina | Filtro | Cancella | Riapplica | Avanzate — Ordina e filtra

Testo in colonne | Rimuovi duplicati | Convalida dati | Consolida | Analisi simulazion — Strumenti dati

A1

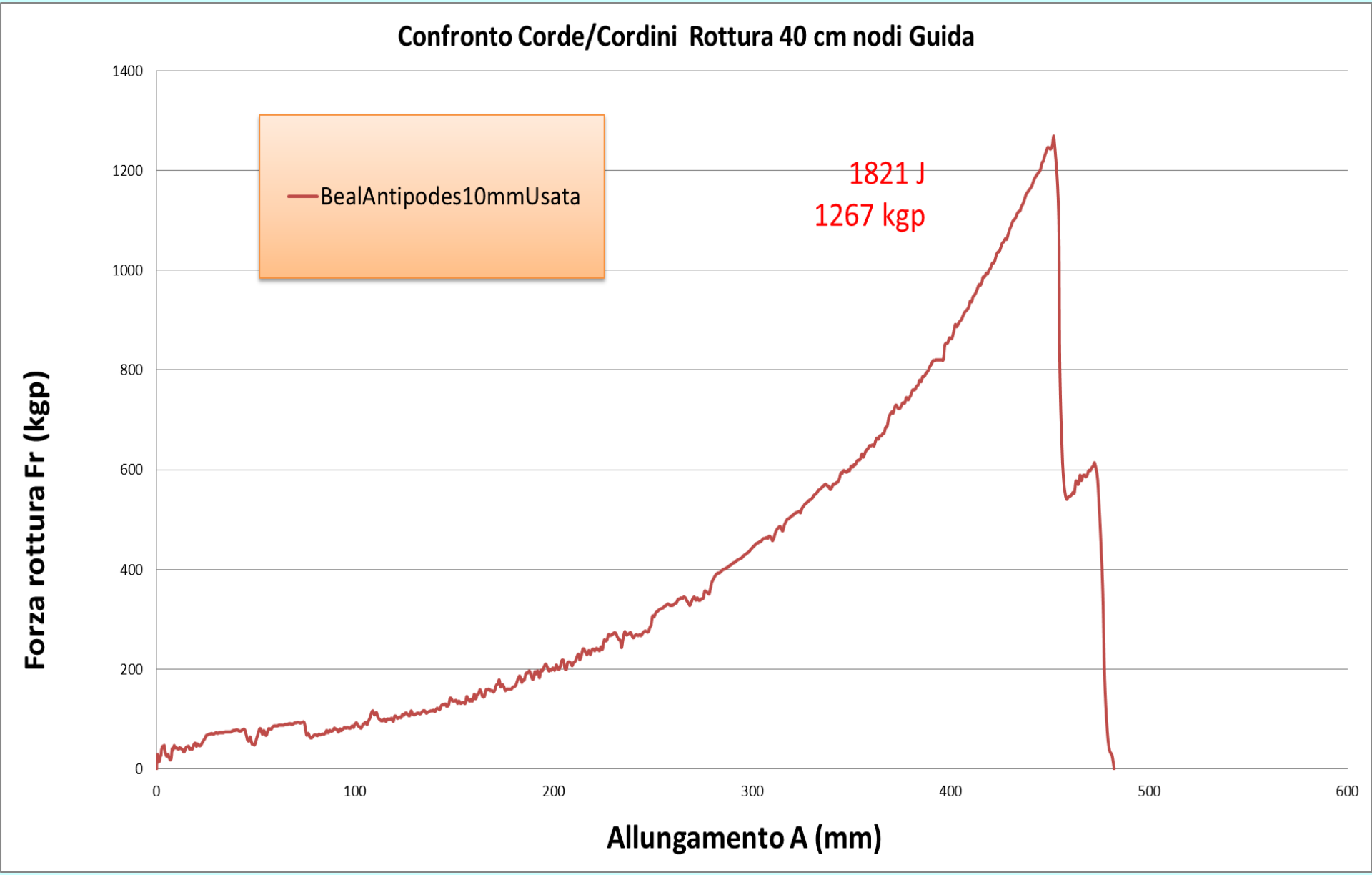
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Data e Ora Creazione: 21/06/2013 12:26							
2	Versione Programma: ToolScopeWin Ver.: 1.45							
3	Anticipo misura laser: 27 msec							
4	Allungamento: 919,7 mm							
5	Step campionamenti: 1 msec							
6	#							
7	Spazio (mm)	Forza (kgp)	Tempo (msec)	21/06/2013 12:26				
8	0	0	0					
9	7,7	1,3	1					
10	7,7	1,3	2					
11	10,3	1,3	3					
12	18	2,5	4					
13	20,6	2,5	5					
14	20,6	2,5	6					
15	28,3	3,8	7					
16	30,8	5,1	8					
17	30,8	6,3	9					
18	38,5	6,3	10					
19	38,5	7,6	11					
20	46,2	8,9	12					
21	46,2	8,9	13					
22	53,9	8,9	14					
23	59,1	11,4	15					
24	59,1	12,7	16					
25	61,7	12,7	17					
26	69,4	13,9	18					
27	71,9	15,2	19					
28	71,9	17,7	20					
29	77,1	17,7	21					
30	84,8	19	22					
31	84,8	22,8	23					
32	92,5	22,8	24					
33	92,5	26,6	25					
34	100,2	27,9	26					
35	102,8	27,9	27					

Choc03 | Foglio2 | Foglio3

Pronto

Trazione con nodi

F_{rn} = forza rottura

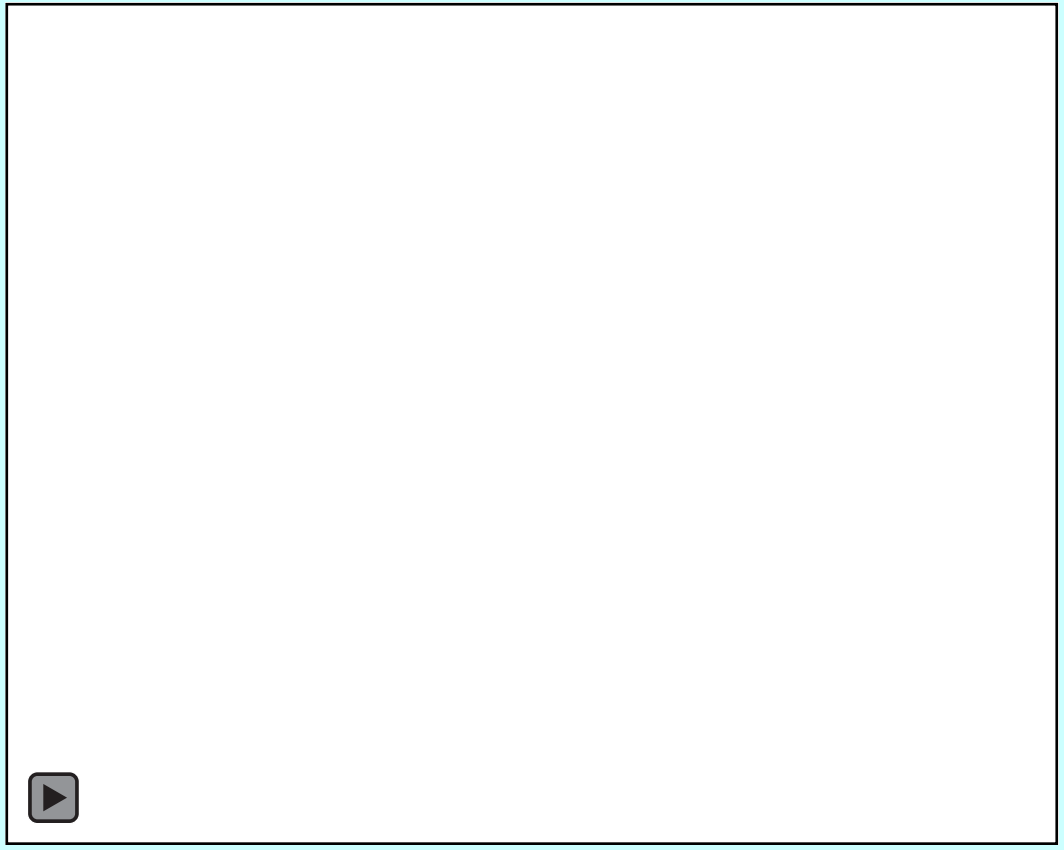

Confronto Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
BealAntipodes10mmUsata
1821 J
1267 kgp
Forza rottura Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
0
100
200
300
400
500
600

Moschettoni e maglie rapide

(geometrie complesse)



Interazione metallo/roccia



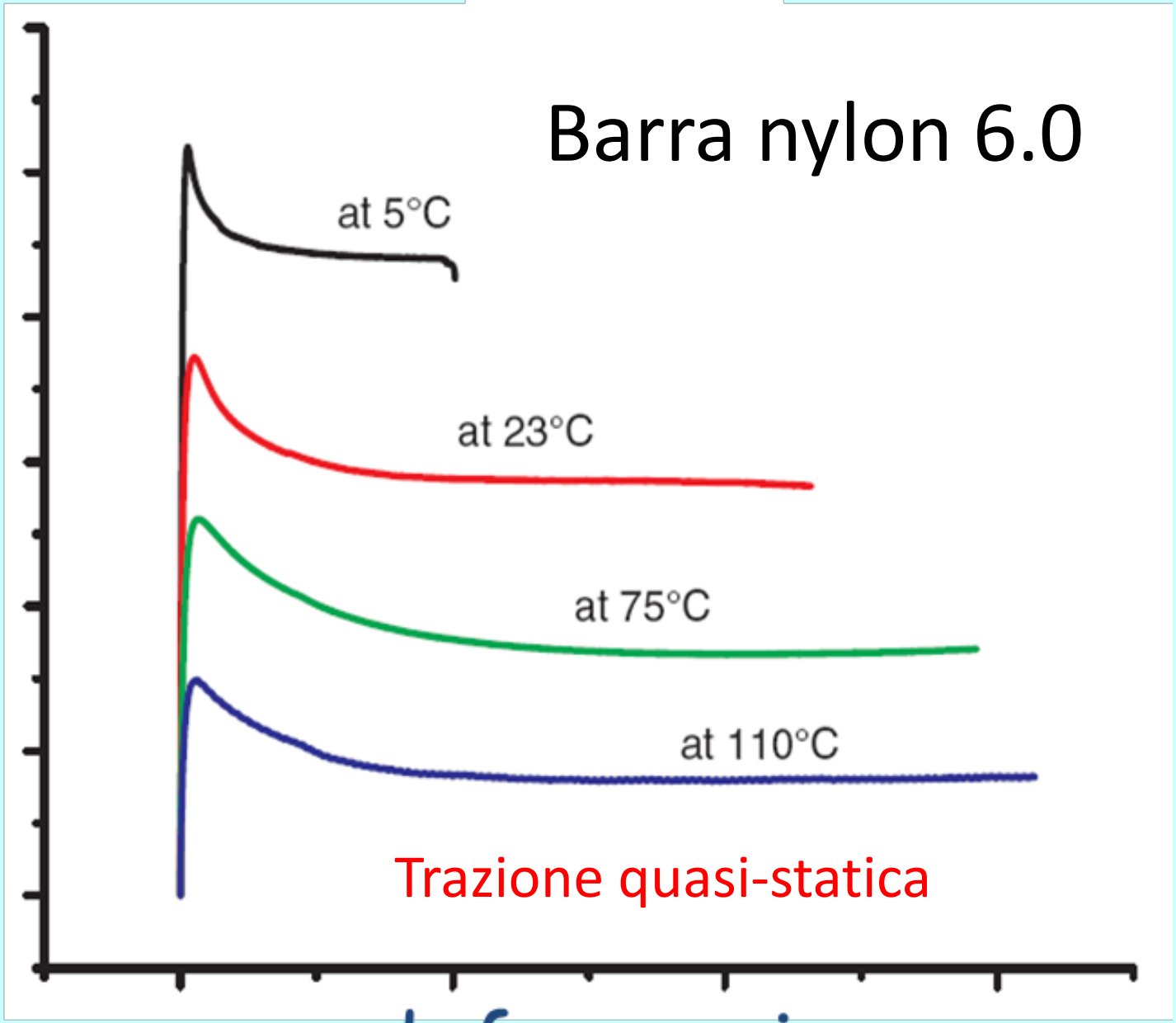
Interazione metallo polimeri


GROLL

Fattori che influenzano le caratteristiche e il comportamento di qualsiasi materiale

1. **Struttura atomico-molecolare**
2. **Temperatura**
3. **Velocità di deformazione**

1
Effetto temperatura


Barra nylon 6.0
at 5°C
at 23°C
at 75°C
at 110°C
Trazione quasi-statica
σ sforzo
deformazione ε

2
Struttura atomico-molecolare



3
Velocità di deformazione

$$V_A = V_0 = \sqrt{2hg}$$



Velocità di deformazione

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

V_A = velocità di allungamento (se d'impatto = V_0)

l_0 = lunghezza del campione a riposo

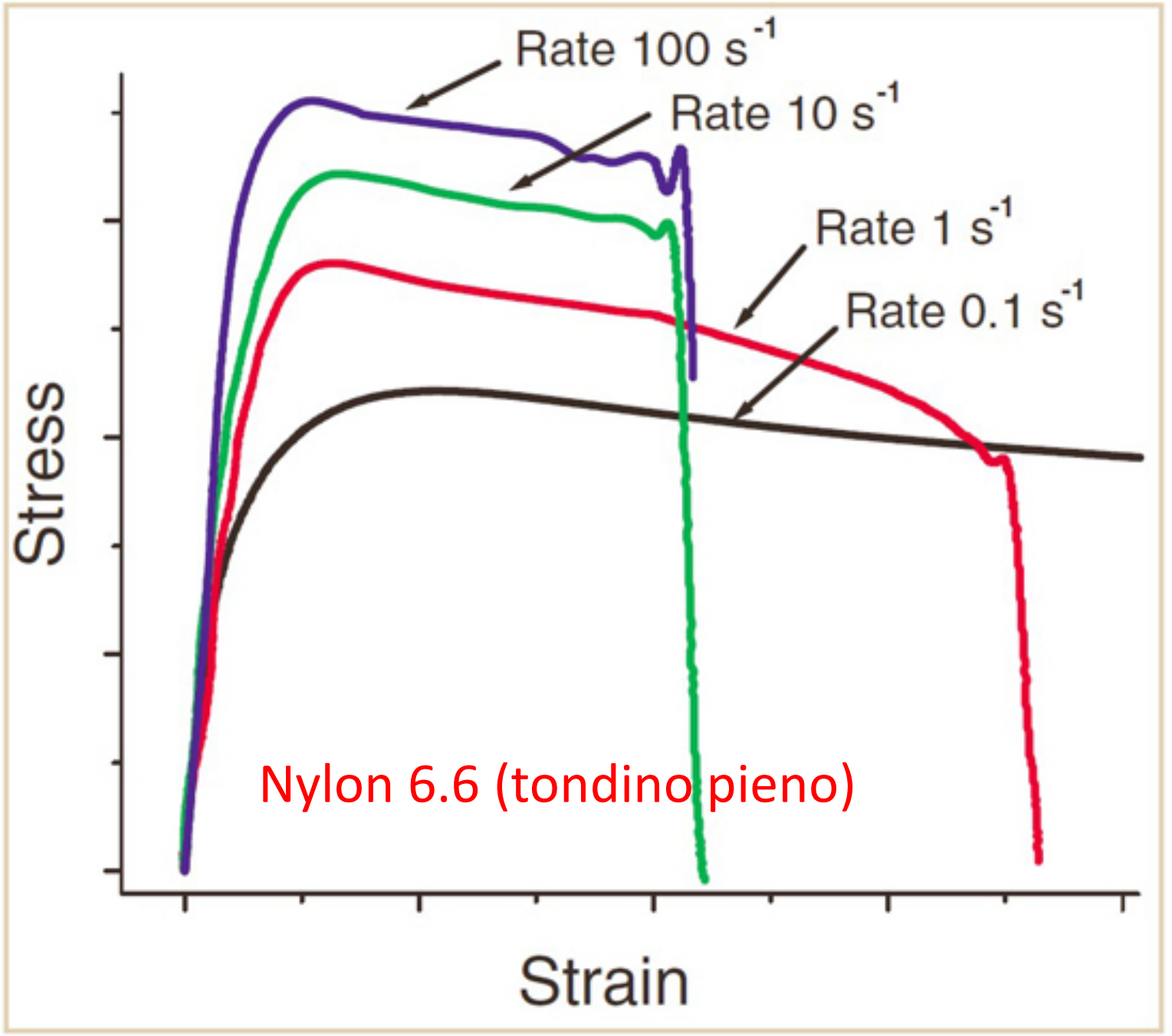
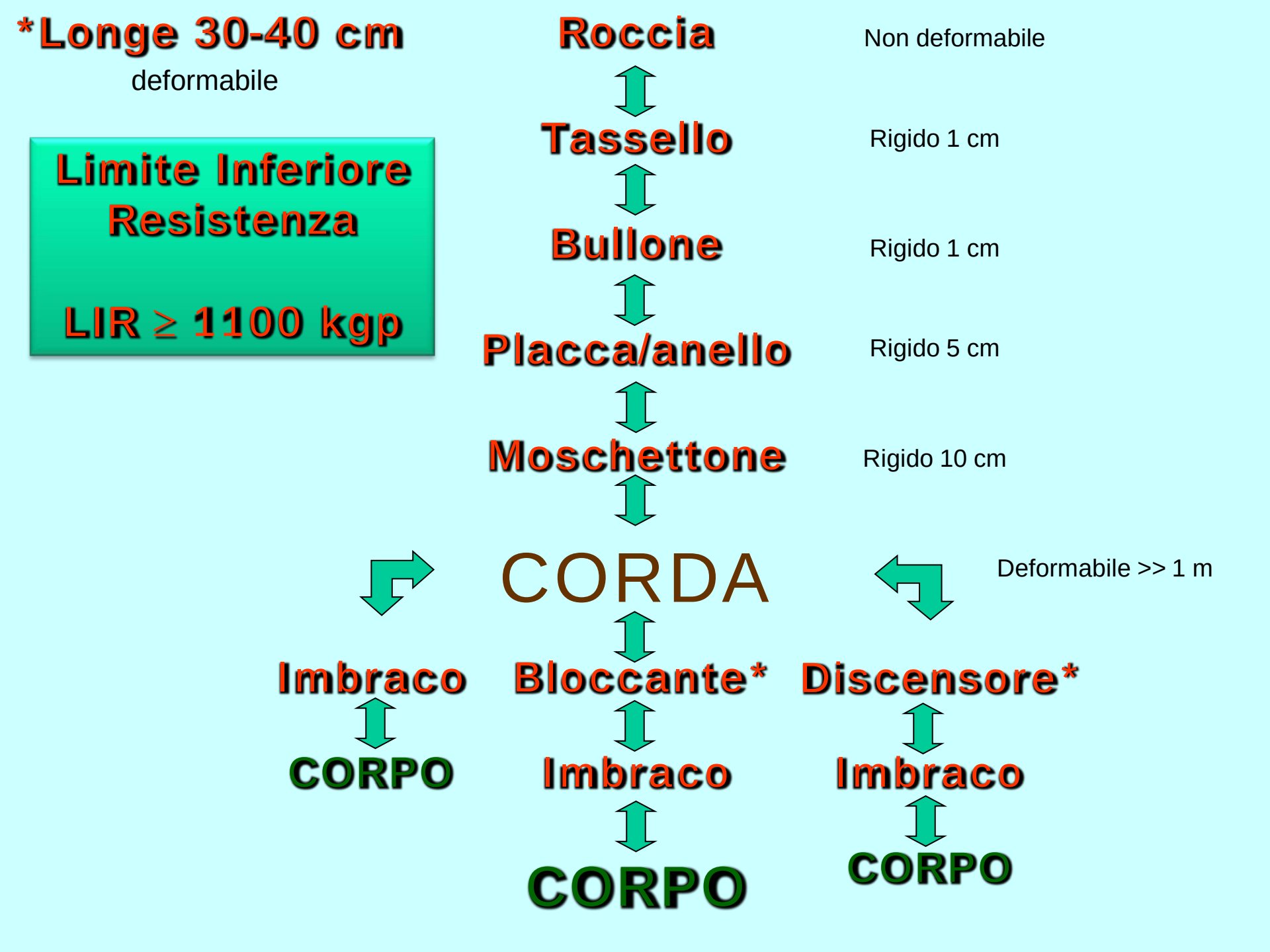


Figure 24, Plastic tensile stress strain data at decade increments of strain rate.

Esame componenti catena di sicurezza:

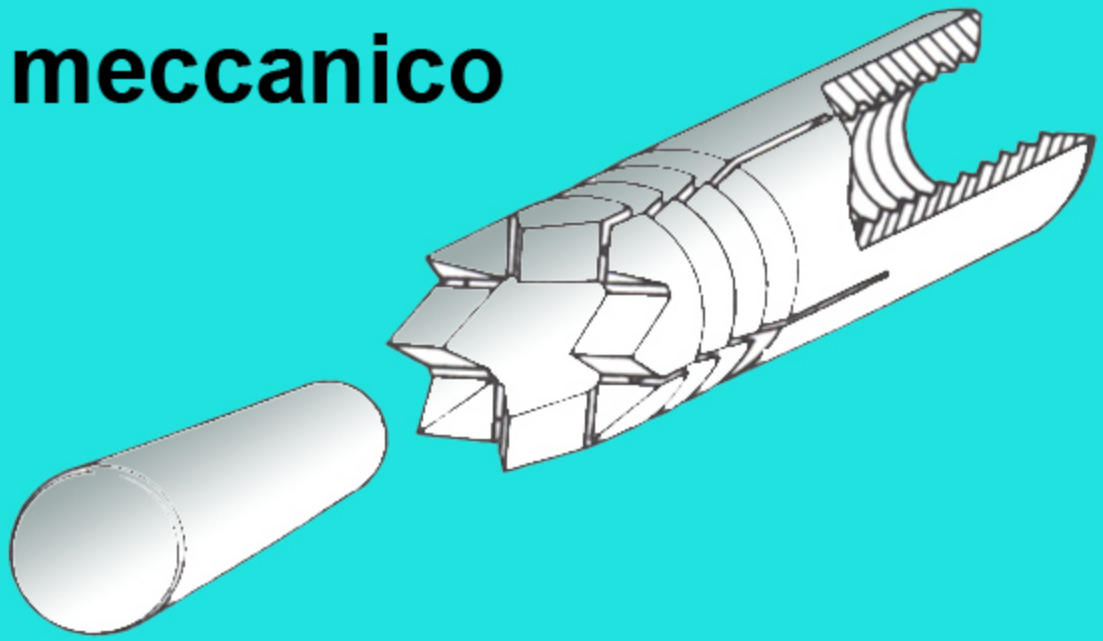
Ancoraggi e moschettoni

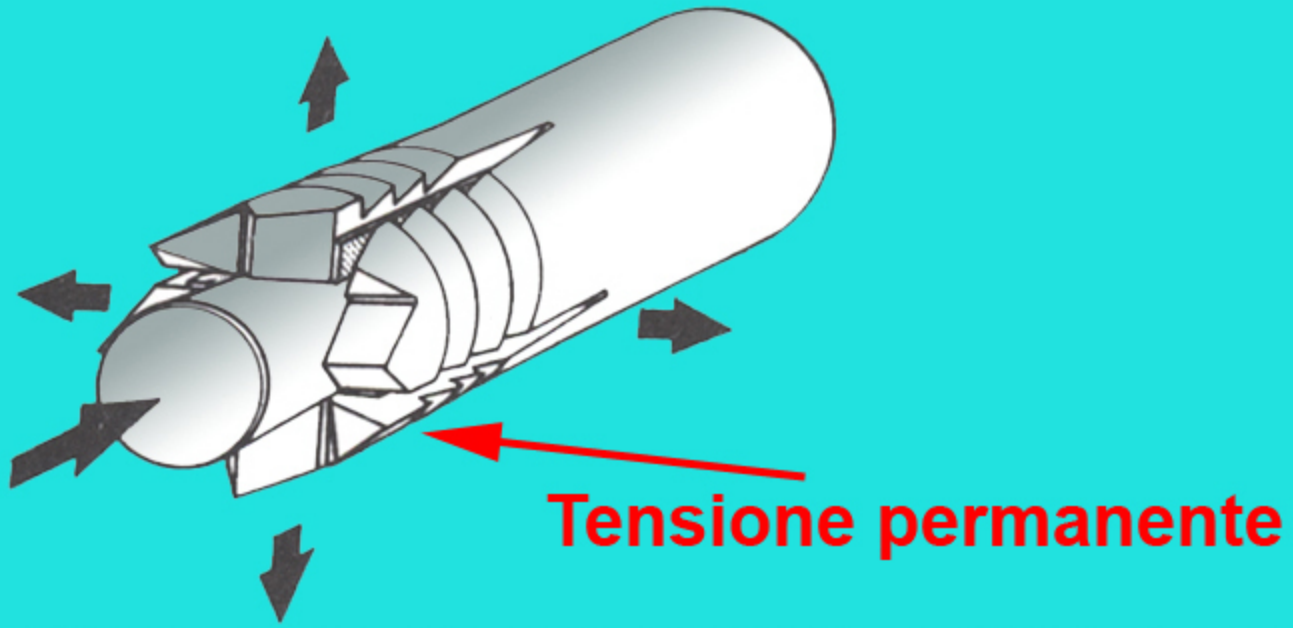

*Longe 30-40 cm
deformabile
Limite Inferiore Resistenza
LIR ≥ 1100 kgp
Roccia
Non deformabile
Tassello
Rigido 1 cm
Bullone
Rigido 1 cm
Placca/anello
Rigido 5 cm
Moschettone
Rigido 10 cm
CORDA
Deformabile >> 1 m
Imbraco
CORPO
Bloccante*
Imbraco
CORPO
Discensore*
Imbraco
CORPO

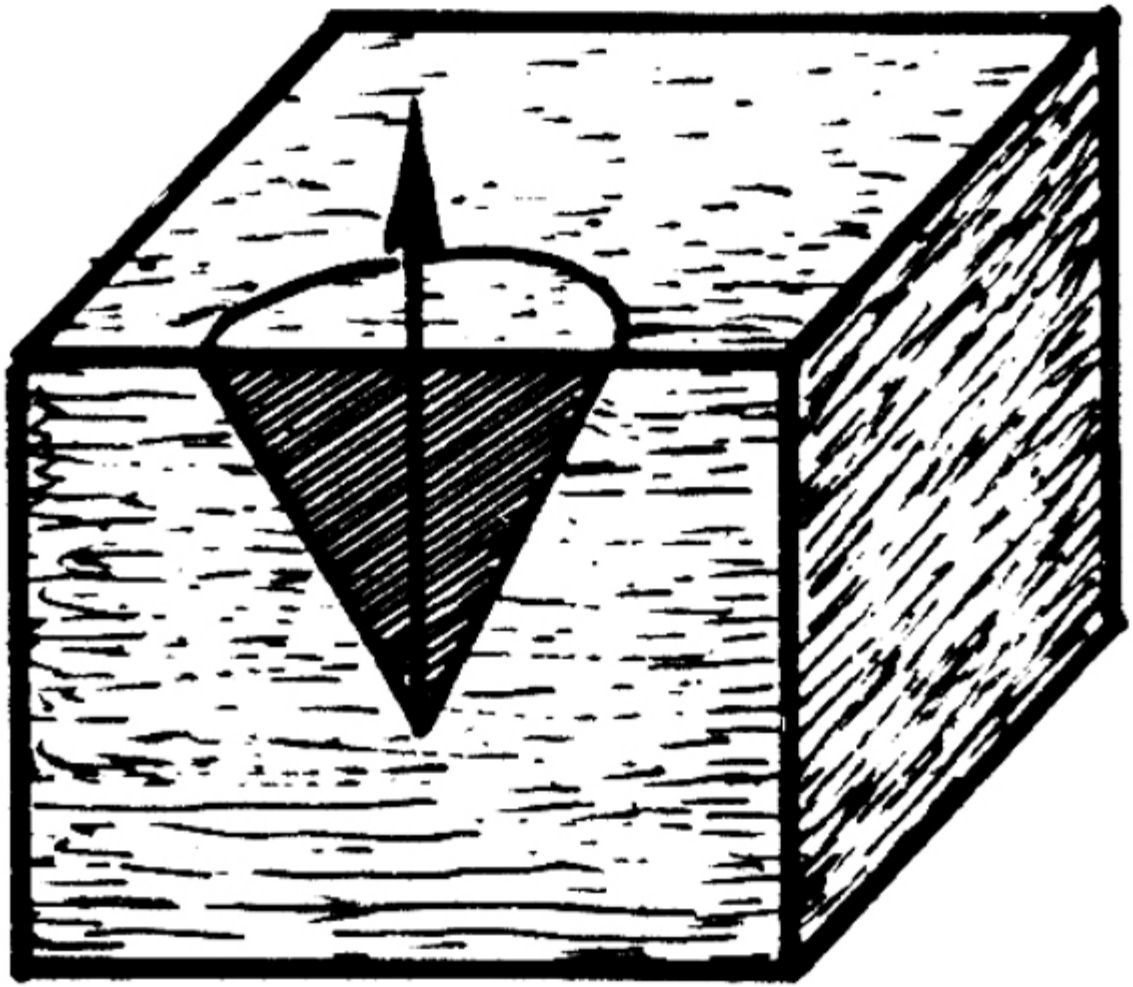
Test con trazione quasi-statica

Tasselli autoperforanti *Spit Roc MF 8*

Tassello meccanico
Spit MF







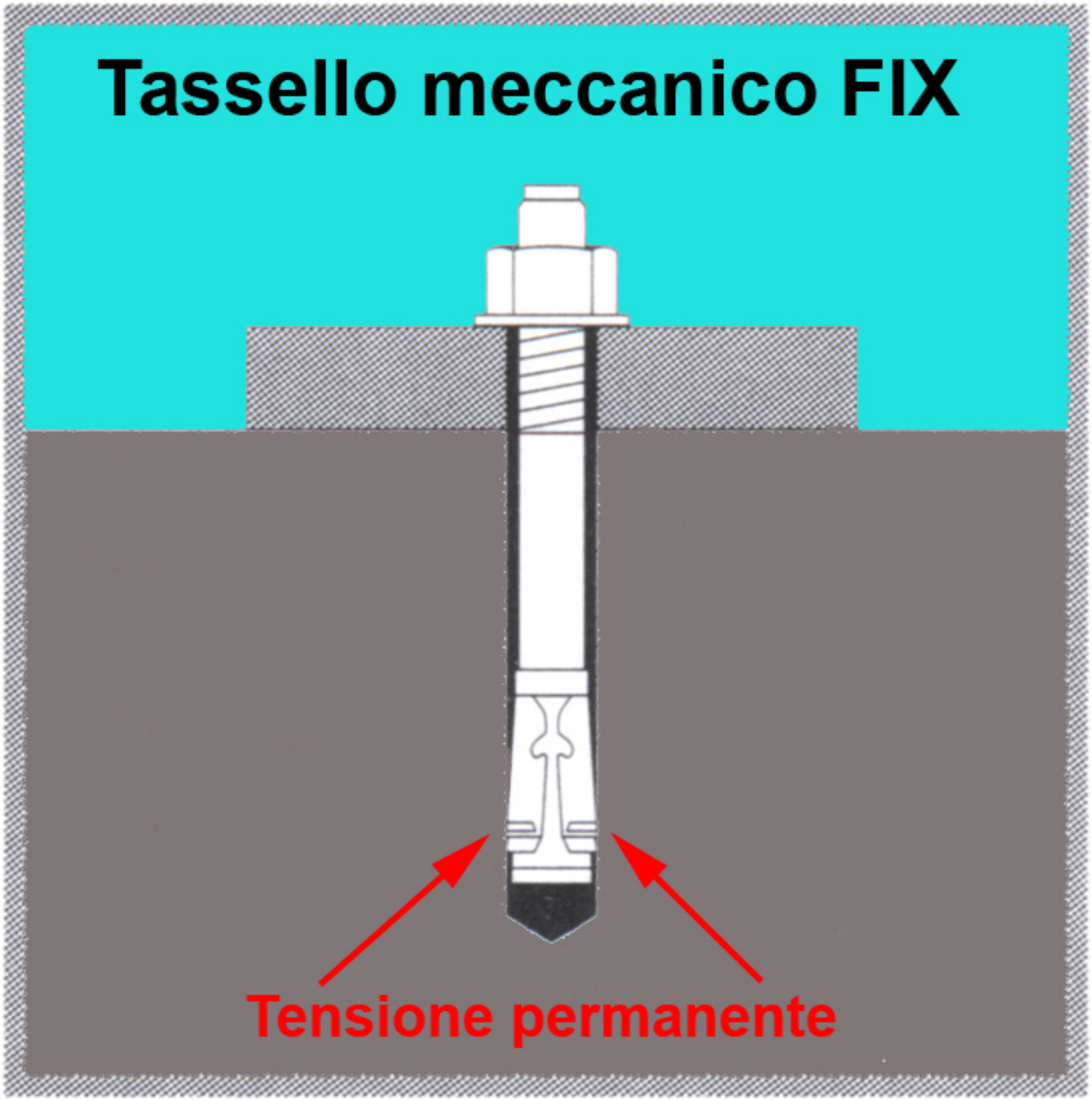
Spit MF8



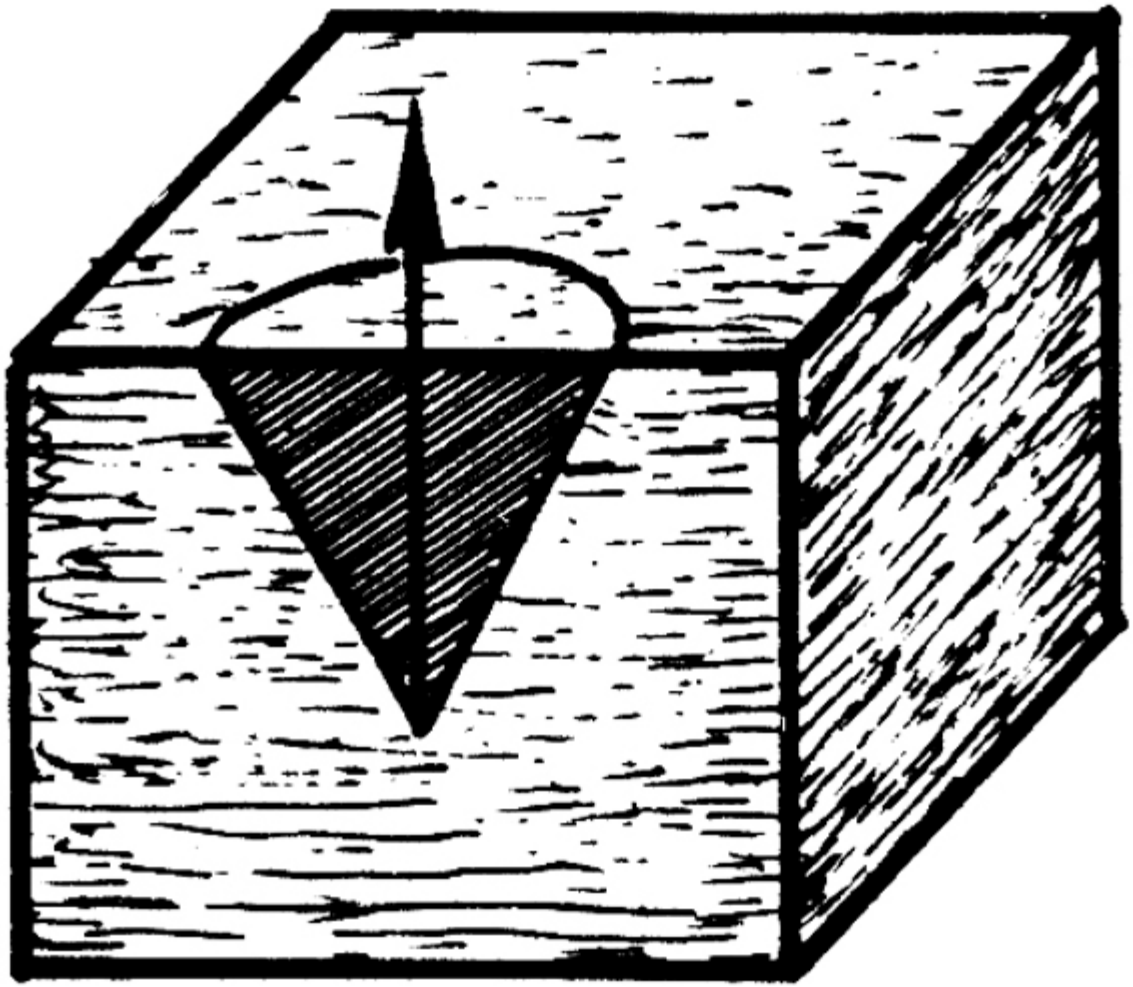
TIPO ROCCIA	Fr TAGLIO	Fr ESTRAZIONE
Marmo Bianco Carrara (MBC)	2506[1]	3101[7]
Travertino (TR)	2373[1]	2088[6]
Scaglia Rossa (SR)	2630[1]	1720[6]
Scaglia Bianca (SB)	2664[1]	2240[7]
Grigio Ammonitico (GA)	2611[1]	2746[6]
Calcare Massiccio M. Cucco (CMC)	1589[2]	1600[6]
Calcare Massiccio Rocchetta (CMR)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

Tasselli ad espansione *Fix M8*

Tassello meccanico FIX







Fix Hilti HSA 8 mm





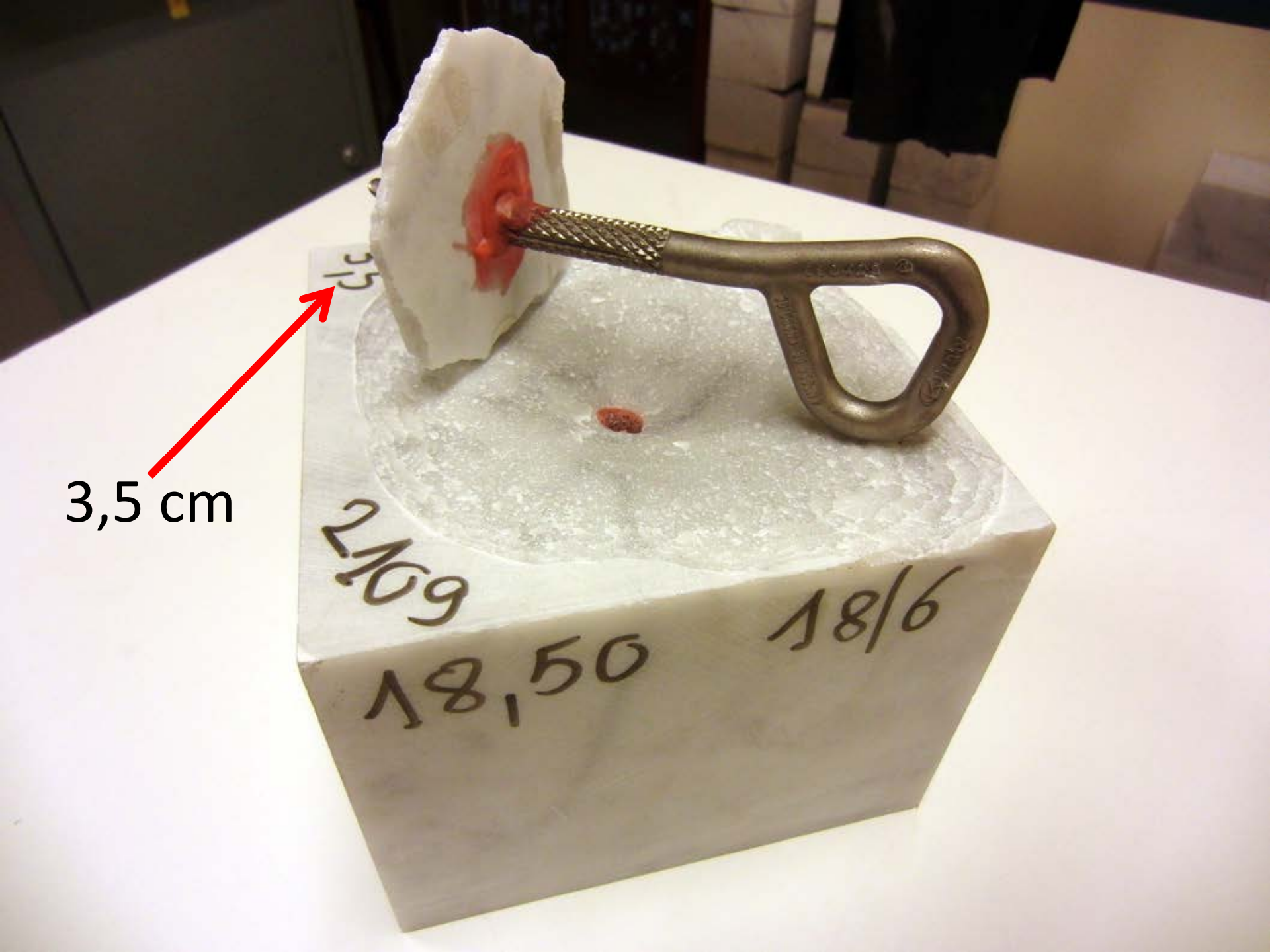
Fix Hilti HSA diametro 8 mm

Estrazione (kgp)	Taglio (kgp)
2096	1568

Tasselli resinati (o chimici)

Foro asciutto

Tasselli zigrinati


3,5 cm
2109
18,50
18/6

Raumer Superstar Zigrinato



5015 kgp estrazione

4350 kgp taglio

Collinox Petzl 25 kN
Primo modello



2933 kgp estrazione

5850 kgp taglio

Collinox Petzl 25 kN
Secondo modello



3450 kgp estrazione

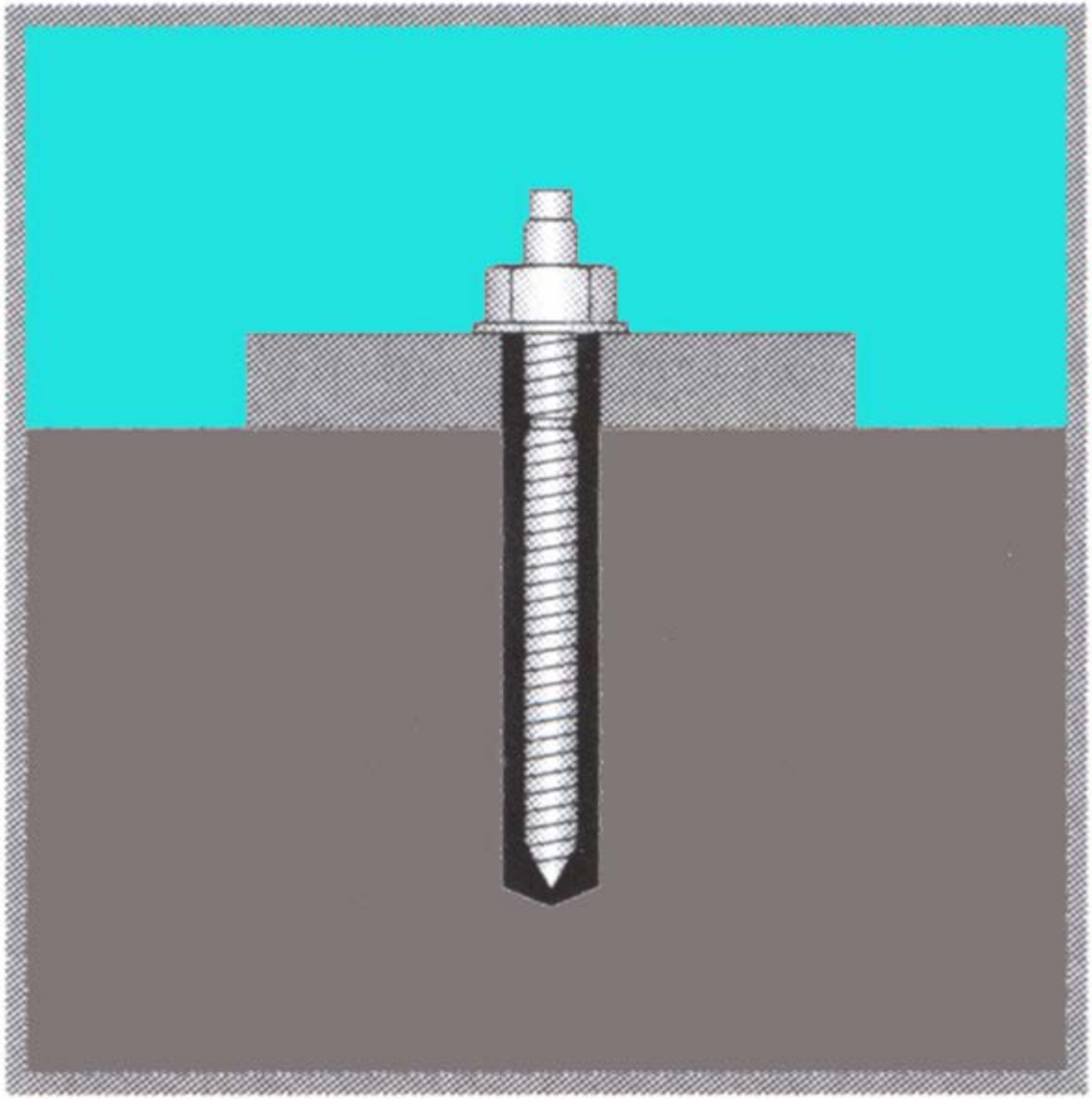
4320 kgp taglio


19.10
18/6
5 cm
3103 Kgf

Barre filettate



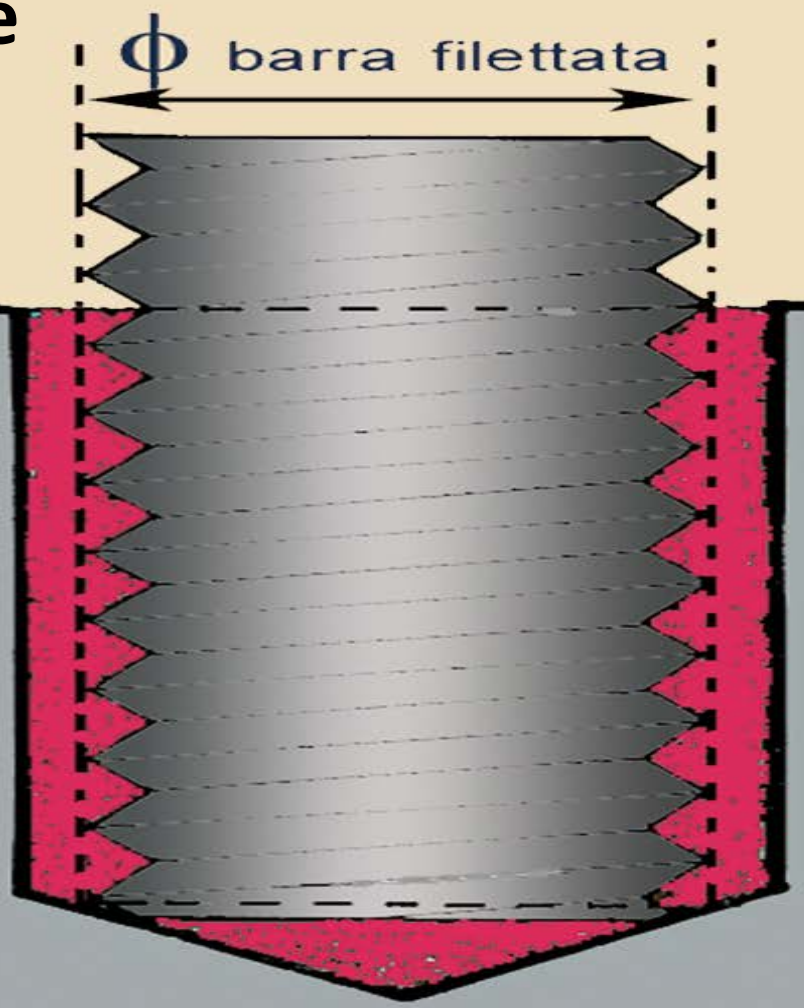
Barra filettata resinata



σ = sforzo

F_{re} = carico rottura a estrazione

S = superficie



$$\sigma_t = F_{re}/S$$

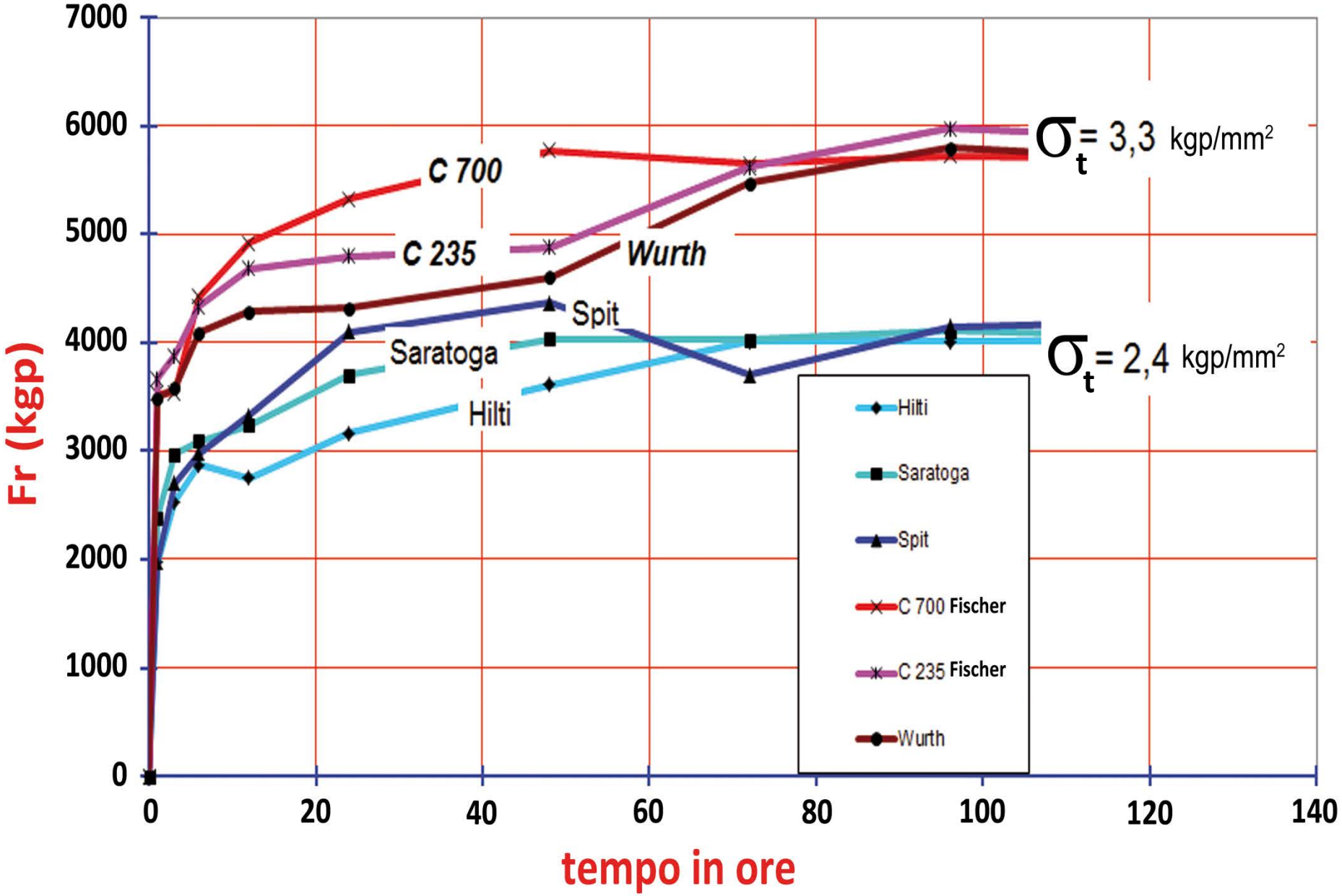
$$F_{re} = \pi . \phi_{barra} . h . \sigma_t$$

$$\sigma_t = \frac{F_{re}}{\pi \cdot \phi_{barra} \cdot h}$$

σ_t = resistenza unitaria della resina a estrazione (kgp/mm^2)

Calcolo del sigma della resina testata

CONFRONTO FRA RESINE DIVERSE



CONFRONTO RESINE DIVERSE (ottobre 2013)

Test a estrazione su barra filettata 12.9 M8 (diametro = 8 mm)
Tempo intercorso fra messa in opera e effettuazione test = 96 ore
Temperatura ambiente = 19° C

h (mm) = lunghezza variabile dell'immersione della barra nella resina del foro

HILTI HIT-RE 500-SD			
Campione	**h (mm)**	**Fre (kgp)**	**σ_t (kgp/mm^2)**
asciutto-pulito 01	51,20	4555	3,59
asciutto-pulito 02	30,90	2792	3,59
asciutto-pulito 03	39,96	3432	3,42

$\sigma_{t\ medio} = 3{,}53$ (kgp/mm^2)

WURTH WIT-EA 150			
Campione	**h (mm)**	**Fre (kgp)**	**σ_t (kgp/mm^2)**
asciutto-pulito 01	51,40	4594	3,56
asciutto-pulito 02	29,35	2420	3,38
asciutto-pulito 03	39,70	3319	3,35

$\sigma_{t\ medio} = 3{,}43$ (kgp/mm^2)

FISCHER T-BOND PLUS			
Campione	**h (mm)**	**Fre (kgp)**	**σ_t (kgp/mm^2)**
asciutto-pulito 01	50,40	4844	3,83
asciutto-pulito 02	30,10	2469	3,27
asciutto-pulito 03	39,43	3209	3,23

$\sigma_{t\ medio} = 3{,}44$ (kgp/mm^2)

Attenzione! Se il foro era bagnato al momento del riempimento con qualunque resina, il carico di rottura è risultato sempre pressoché uguale a zero.

Tasselli resinati (o chimici)

Foro bagnato

TEST ANCORAGGI RESINATI

Barre Filettate M8 Collanti diversi (96 ore)

Marmo Bianco Carrara Estrazione

Fori asciutti e bagnati

Tipologia test			Diametro foro 12mm	Resine								
	Sporco	Pulito	Diametro barra(mm)	Hilti RE 500			Würth WIT PE500			Mungo MIT 600 RE		
			8,00	Test1	Test2	Test3	Test1	Test2	Test3	Test1	Test2	Test3
Foro Asciutto	X		Sigla	HAS1	HAS2	HAS3	WAS1	WAS2	WAS3	MAS1	MAS2	MAS3
			Profondità (mm)	47,10	48,40	51,00	48,10	46,90	43,60	47,30	48,10	48,20
			Rottura (Kgp)	4166	4242	4641	4049	3887	3740	4446	4327	4546
			Tenuta (Kgp/mm^2)	3,52	3,49	3,62	3,35	3,30	3,41	3,74	3,58	3,75
			σ (Kgp/mmq)	3,54			3,36			3,69		
		X	Sigla	HAP1	HAP2	HAP3	WAP1	WAP2	WAP3	MAP1	MAP2	MAP3
			Profondità (mm)	51,20	30,90	39,96	51,40	29,35	39,70	50,40	30,10	39,43
			Rottura (Kgp)	4555	2792	3432	4594	2420	3319	4844	2469	3209
			Tenuta (Kgp/mm^2)	3,54	3,60	3,42	3,56	3,28	3,33	3,83	3,27	3,24
			σ (Kgp/mmq)	3,52			3,39			3,44		
Foro Bagnato	X		Sigla	HBS1	HBS2	HBS3	***WBS1 ****	WBS2	WBS3	MBS1	MBS2	MBS3
			Profondità (mm)	47,10	43,40	50,00	47,90	45,00	44,70	44,60	44,40	46,50
			Rottura (Kgp)	277	150	145	80	204	169	285	1522	436
			Tenuta (Kgp/mm^2)	0,23	0,14	0,12	0,07	0,18	0,15	0,25	1,36	0,37
			σ (Kgp/mmq)	0,16			0,13			0,66		
		X	Sigla	HBP1	HBP2	HBP3	WBP1	WBP2	WBP3	MBP1	MBP2	MBP3
			Profondità (mm)	44,80	46,50	44,20	46,60	47,30	47,70	46,90	49,00	47,50
			Rottura (Kgp)	383	590	252	275	230	223	2272	212	3160
			Tenuta (Kgp/mm^2)	0,34	0,51	0,23	0,23	0,19	0,19	1,93	0,17	2,65
			σ (Kgp/mmq)	0,36			0,20			1,58		

TEST ANCORAGGI RESINATI

Barre Filettate M8 Wurth Wit EA 150 (96 ore)

Mormo Bianco Carrara Estrazione

Fori asciutti e bagnati

Campione	**h** profondità immersione (mm)	**Fr** (kgp)	σ_t (kgp/mm^2)	
Asciutto01 (Villa Scirca)	50	4312	3,4	
Bagnato01 (Villa Scirca)	45	2933	2,58	(-25%)
Asciutto02 (Finale Ligure)	44	3773	3,4	
Bagnato02 (Finale Ligure)	50	3394	2,70	(-21%)

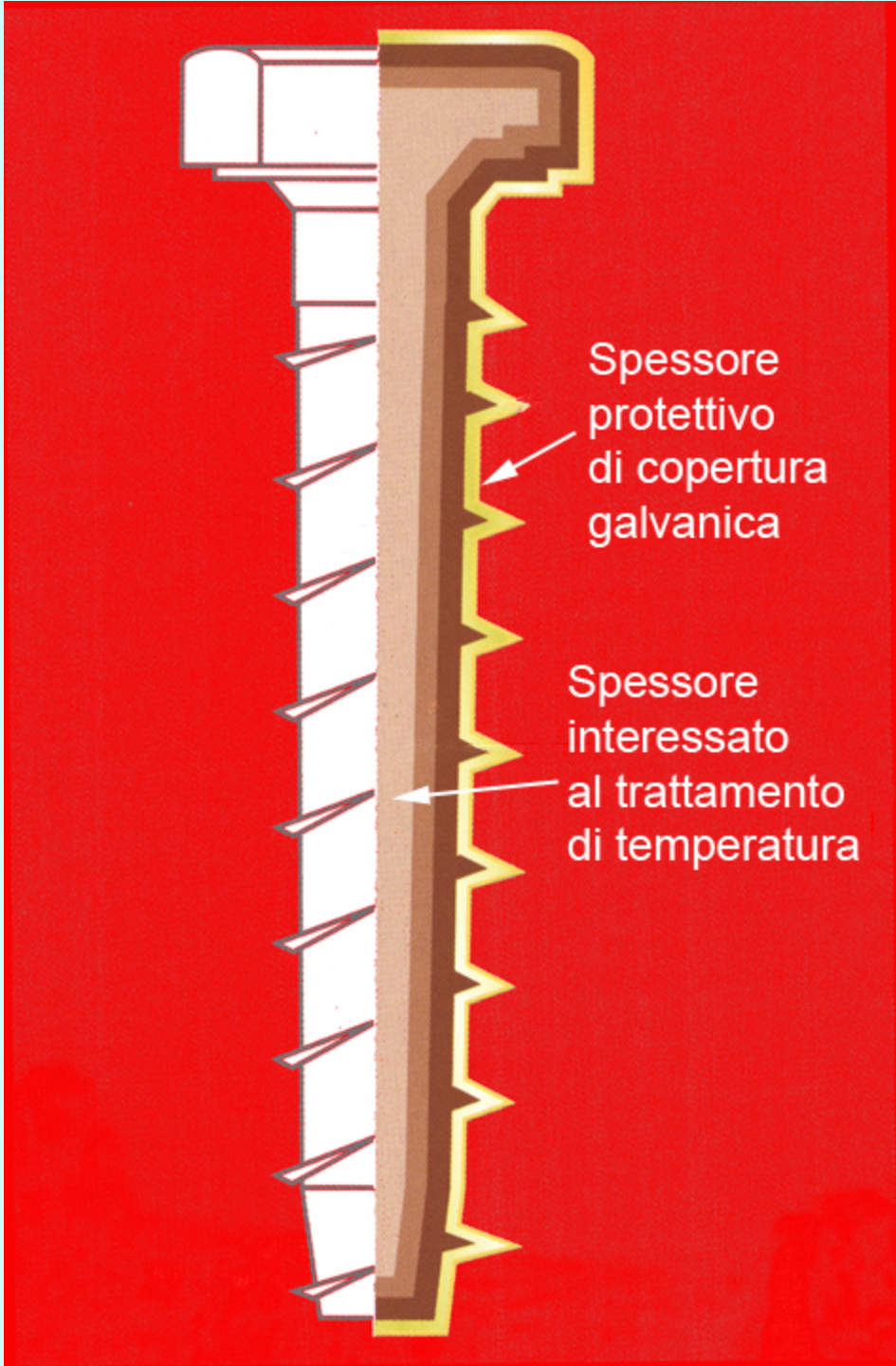
Ancoranti autofilettanti

Multi Monti

Ancorante Multi Monti autofilettante



Il filetto deve essere in grado di incidere la roccia senza perdere la sua capacità di tenuta alle sollecitazioni a estrazione e a taglio



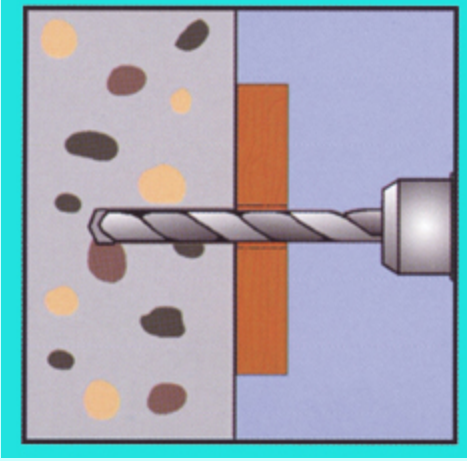


Vari diametri e diverse lunghezze, con testa esagonale o altri tipi di presa per l'avvitamento

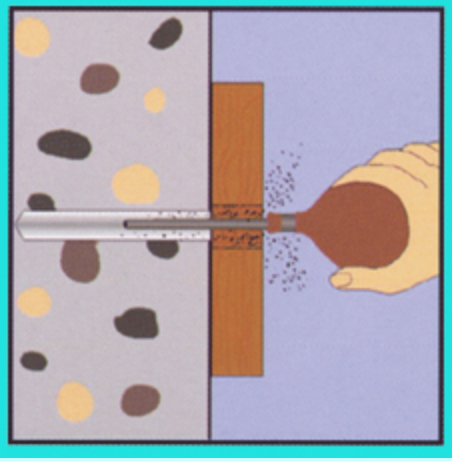
Messa in opera dell'ancorante Multi Monti

Tre semplicissime fasi

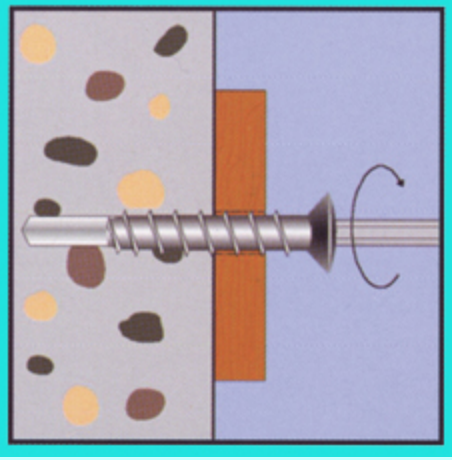
Foratura



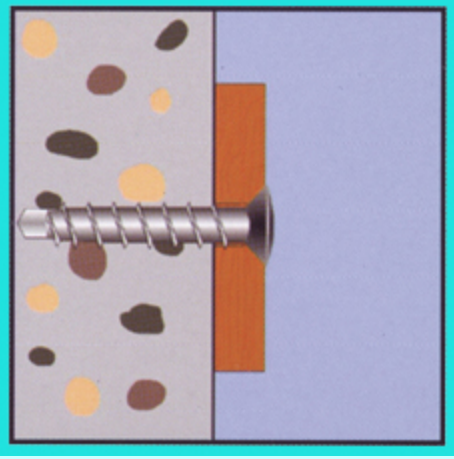
Pulizia



Avvitamento



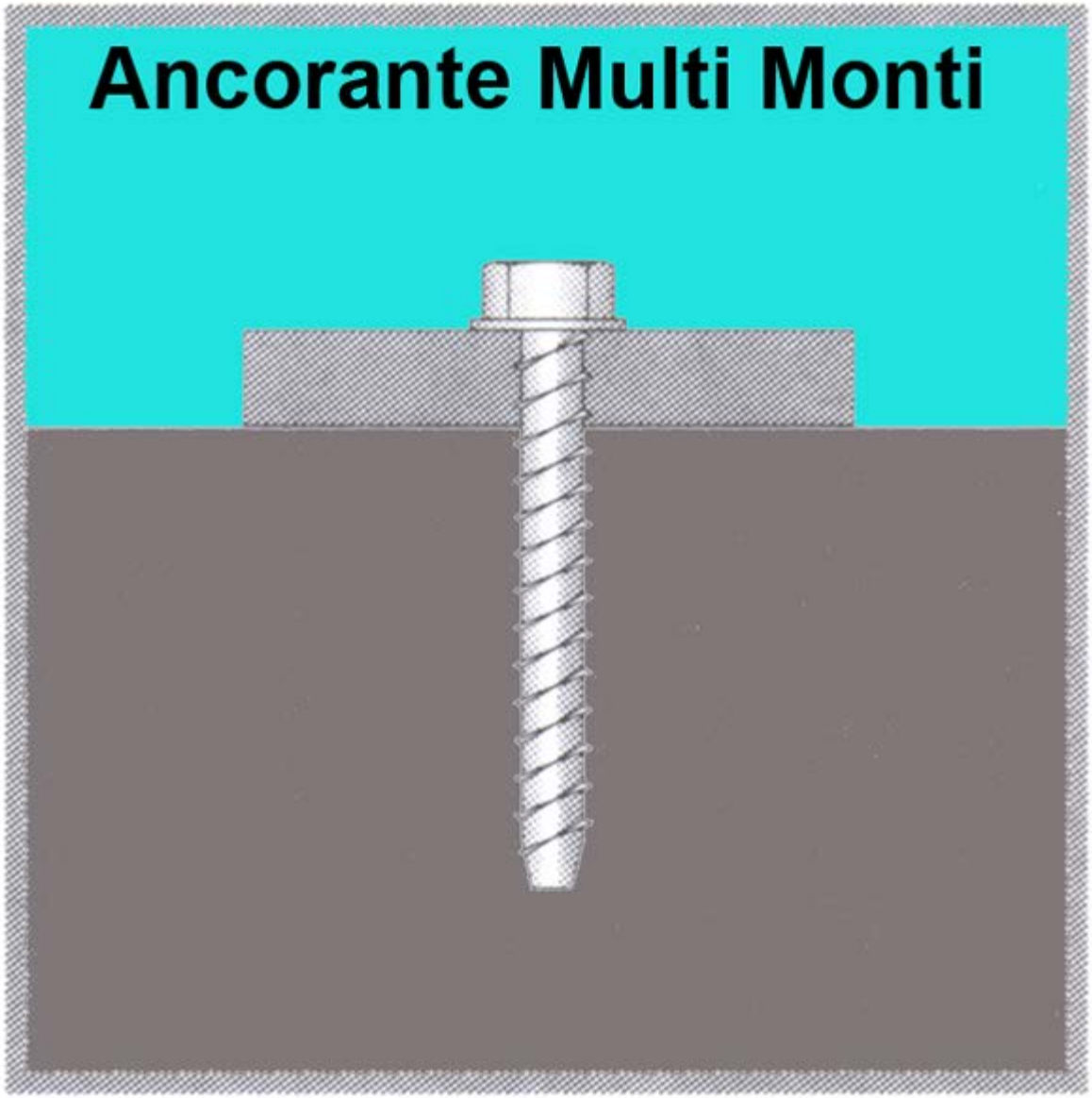
OK



Tutte operazioni semplici e rapide

E poi l'ancorante è subito pronto

Ancorante Multi Monti



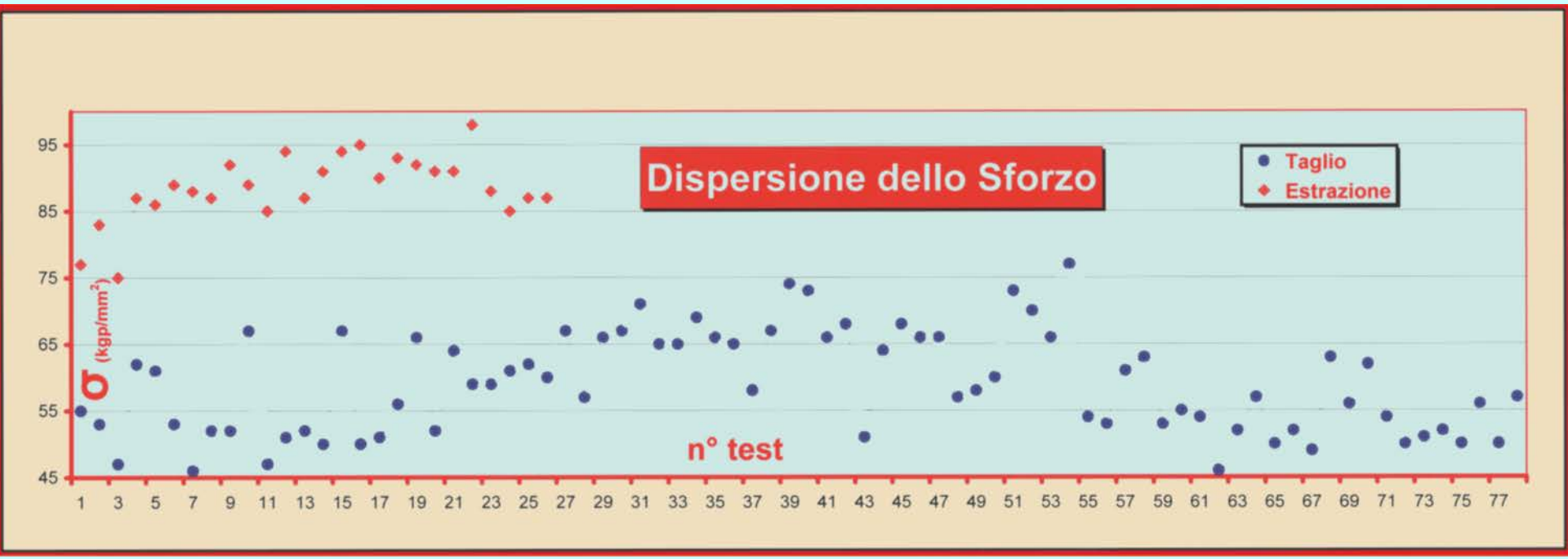

RAUMER ALLOY INOX



Modello		Marmo BC		Marna Sentino		Scaglia Rossa		Travertino		Granito		Tufo Peperino		Cemento	
		Taglio	Estraz.	Taglio	Estraz.	Taglio	Estraz.	Taglio	Estraz.	Taglio	Estraz.	Taglio	Estraz.	Taglio	Estraz.
7,5 x 40	6	1536[1]	2080[2]			54[6]	876[2]		1513[2]			1300[6]	1230[2]	1893[1]	1252
7,5 x 45	6	1413[1]	2220[1]			1614[5]			1163[2]		2464[1]	1513[6]	1549[2]	1893[1]	1608
7,5 x 50	6	1440[1]	2480[1]	1583[1]	239	363			2598[1]	2001[1]	2	1829[5]	1857[4]	1893[1]	1608
7,5 x 60	6	1484[1]	2565[1]			1907[1]	1899[2]		2649[1]			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	1726[2]	2718[1]	2199
10 x 70	8	3131[1]	>5000		4980[2]	2660[5]	2858[2]	3727[1]	4441[2]	3333[1]		3692[1]		2718[1]	2586
10 x 80	8	3313[1]	>50		>500			34			3459[1]	02[1]	4274[1]	2718[1]	2586
10 x 100	8	3273[1]	>5000		>5			3685			691[1]	3498[1]	4383[1]	2718[1]	2586
12 x 60	10	4251[1]	4292[1]		4573			417		4064[1]	3	84	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]		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

545 test

Pur essendo di produzione industriale Multi Monti manifesta una ridotta oscillazioni nella tenuta (dispersione dei risultati alla rottura) che conferma la buona qualità del materiale usato e l'uso di trattamenti di modellazione, termici e galvanici tali da non compromettere la resistenza al cedimento



Fr = 1200 kgp per un ancorante MMS-S del diametro di 6 mm e lungo 40 mm

Confronto fra tasselli e Multi Monti di dimensioni simili

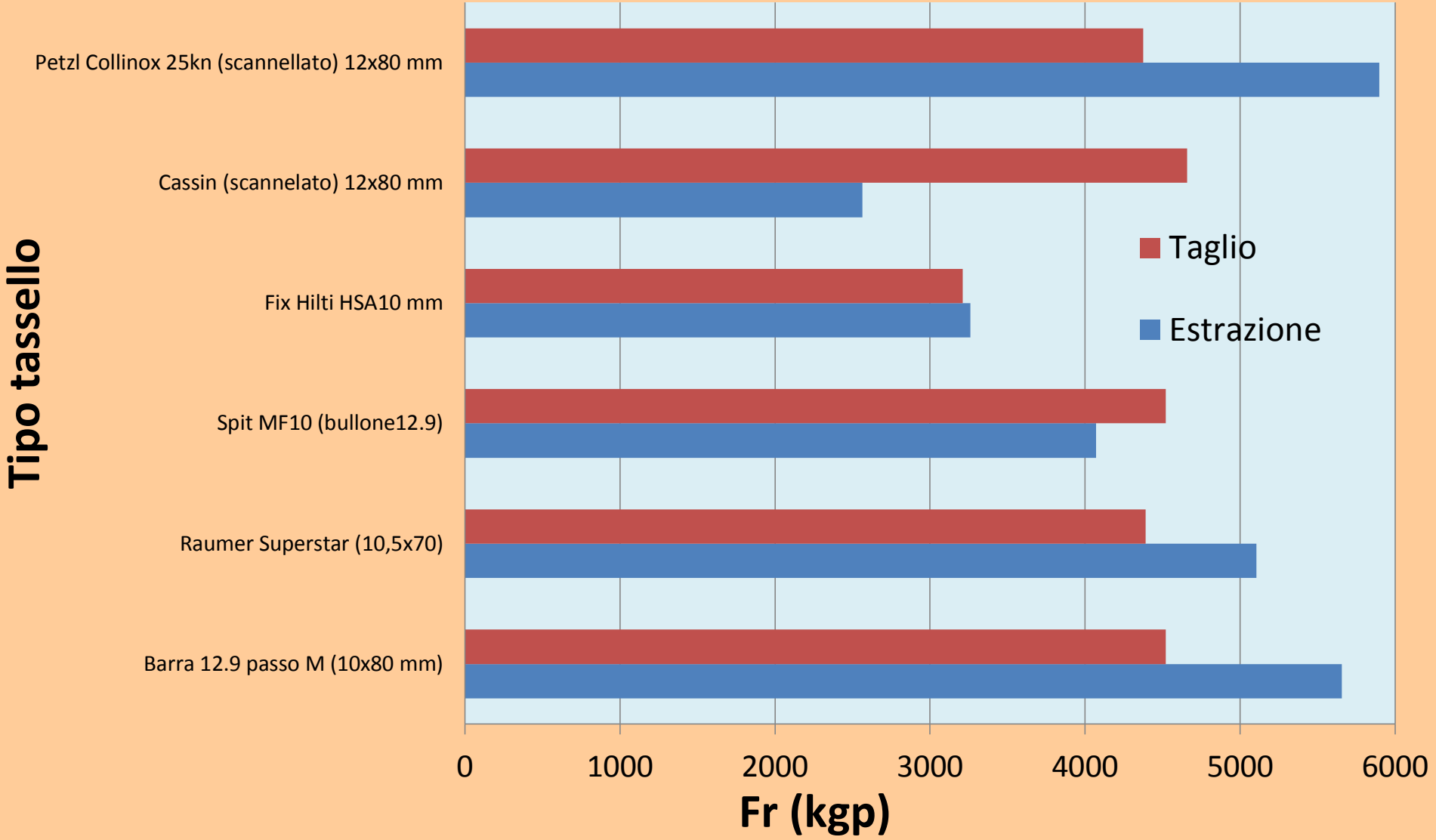
Sollecitazione	MMS-S 10 x 80 Ø 8 mm L = 80 mm	Spit MF8 Bullone 8.8	Fix acciaio normale Ø 8 mm L = 85 mm	Fix acciaio inox Ø 8 mm L = 85 mm	Chimico barra 8.8 Ø 8 mm L = 85 mm	MMS-S 7,5 x 50 Ø 6 mm L = 50 mm
Taglio	3313	2256	1584	2354	2256	1440
Estrazione	> 5000	2530	2298	2434	3101	2480

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

Confronto fra tasselli meccanici e resinati a parità di diametro

(resina bicomponente HILTI HY 150)



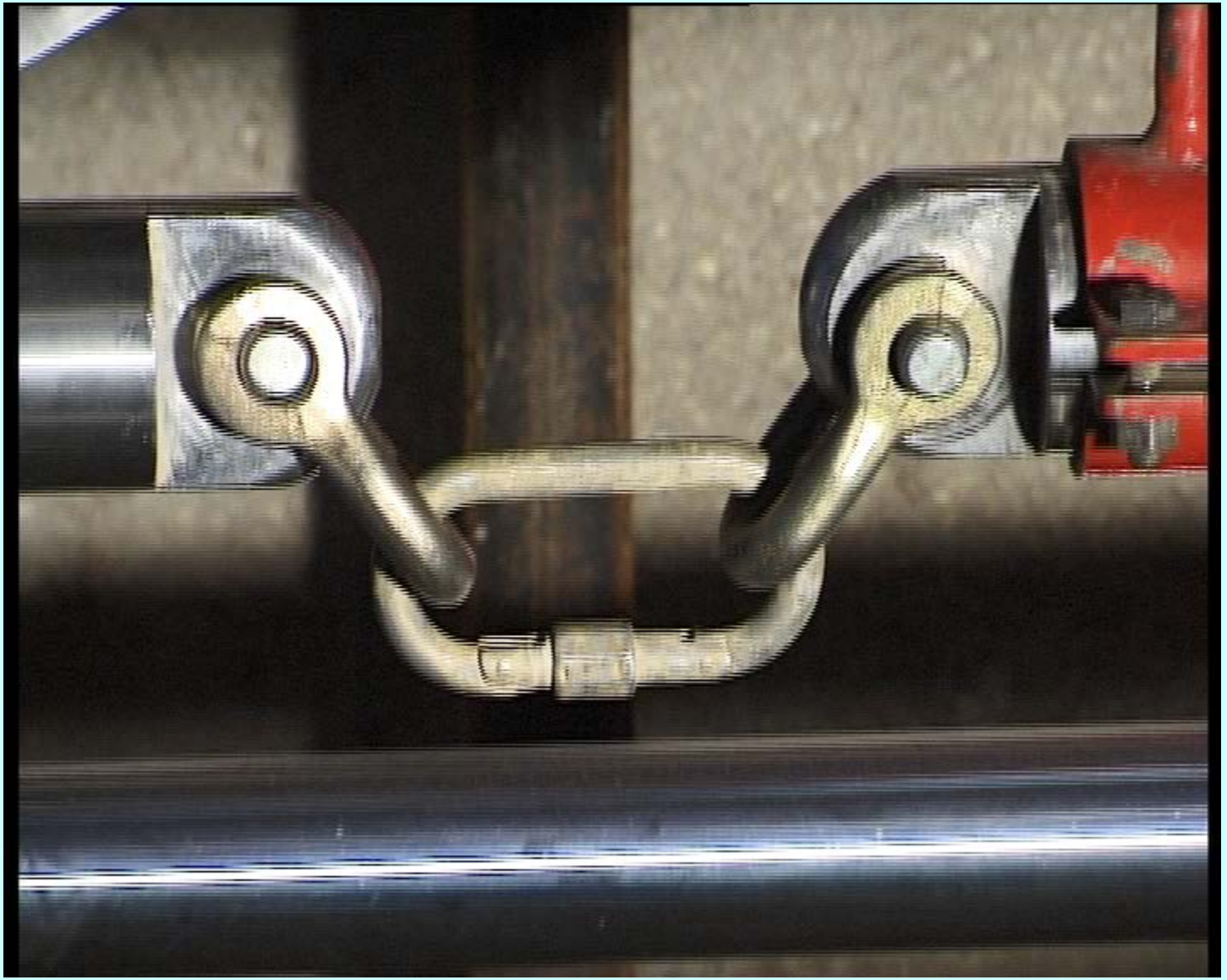
Placchette e anelli

Placchette su piastra acciaio



Moschettoni simmetrici e asimmetrici nuovi

Moschettoni



Distribuzione delle sollecitazioni

Simmetrico

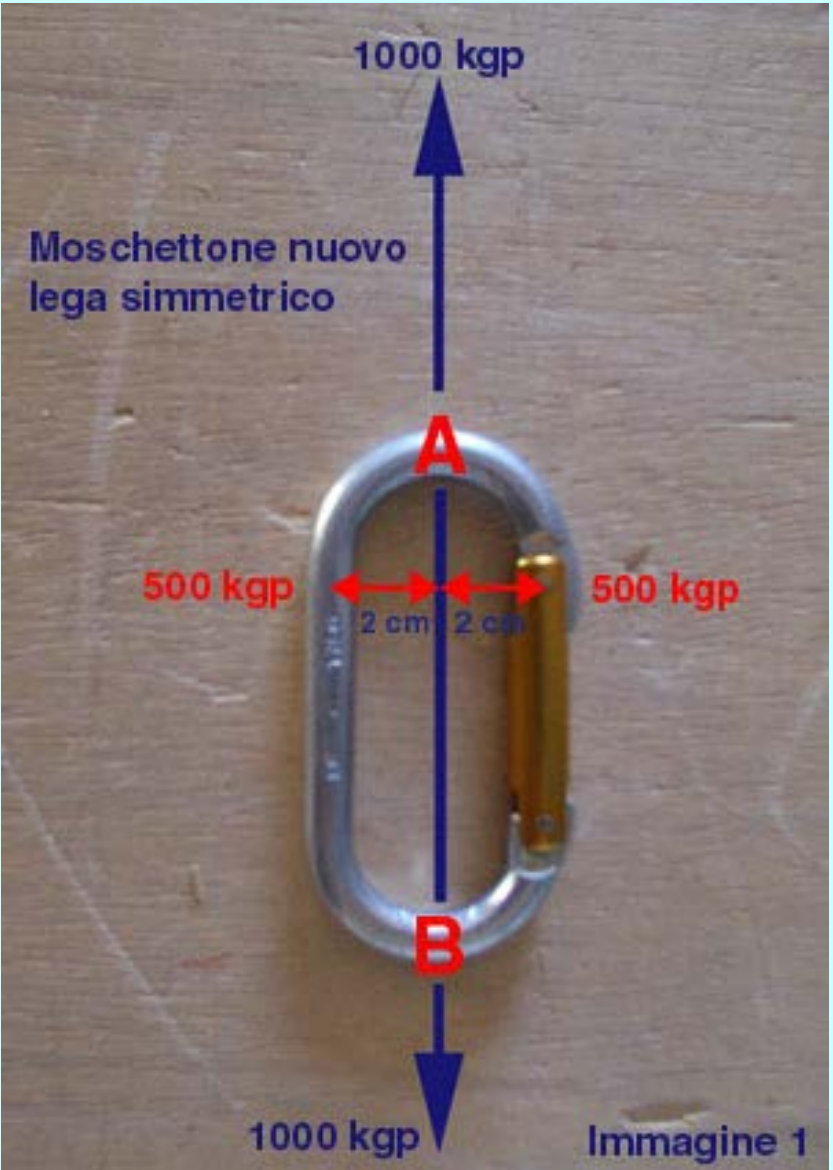


Immagine 1

Asimmetrico



Immagine 2

Rottura di un moschettone nuovo

Simmetrico

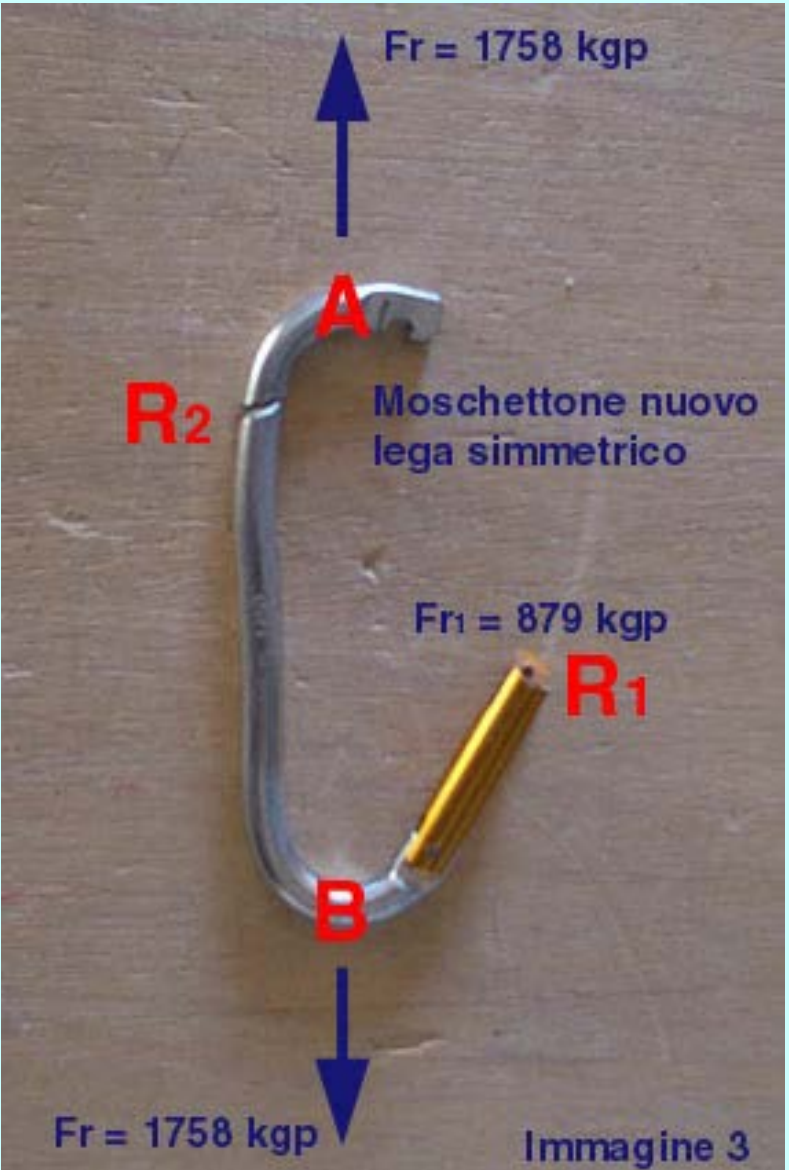


Immagine 3

Asimmetrico

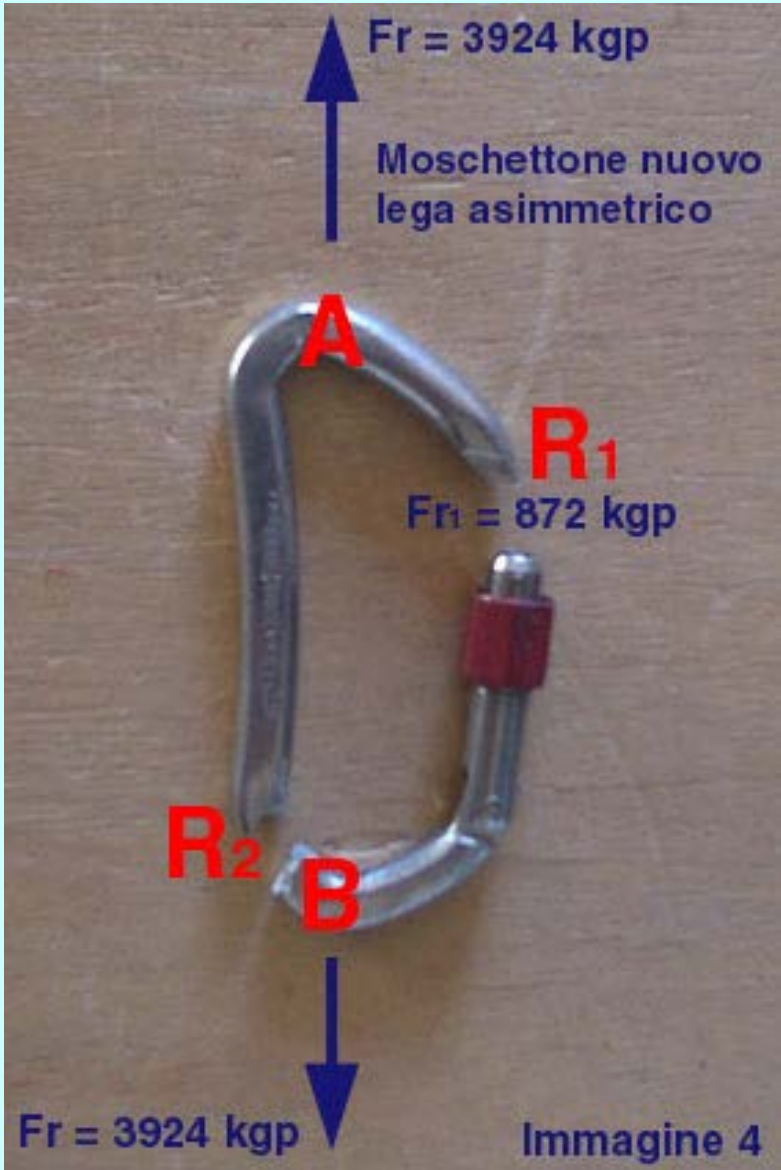
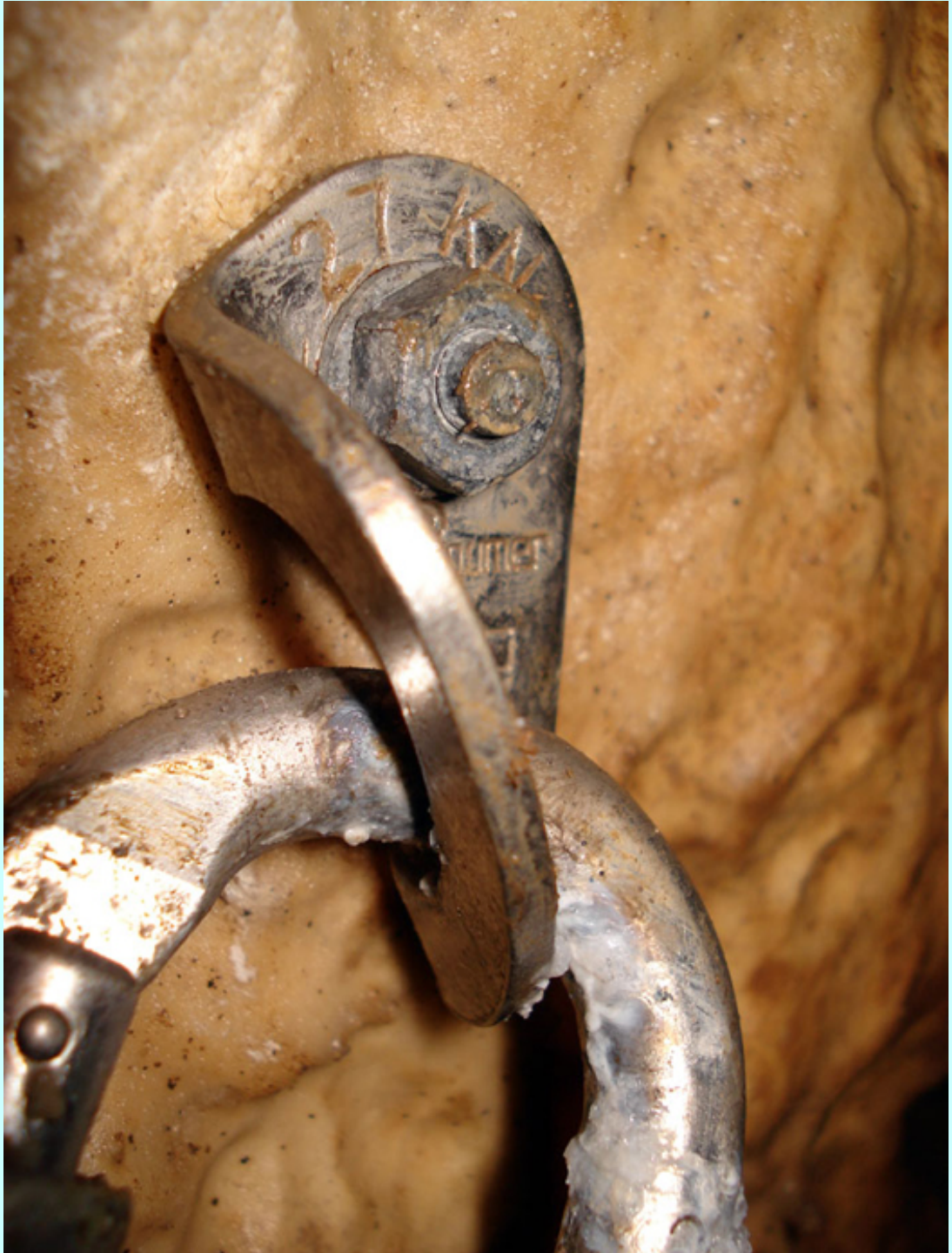
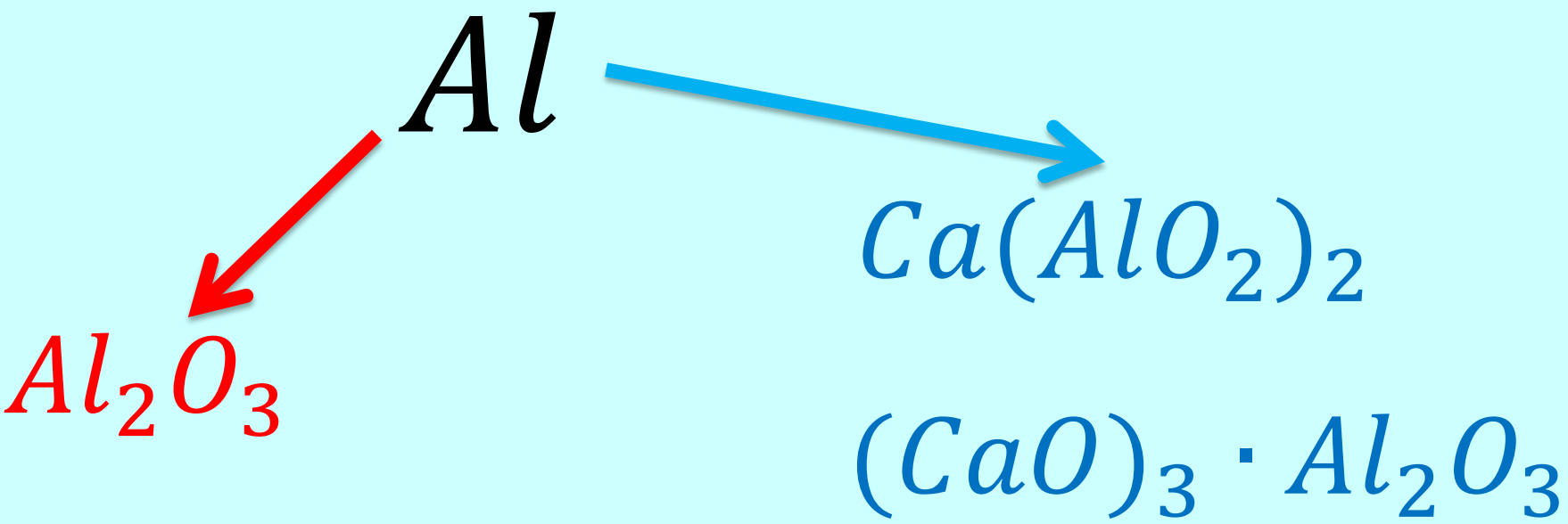


Immagine 4

Moschettoni
Usati e corrosi







Esterno
non basico

Ossido di
alluminio

Protettivo

Grotta (ambiente
basico)

Alluminati di calcio

Corrosione

Rottura di moschettoni in lega

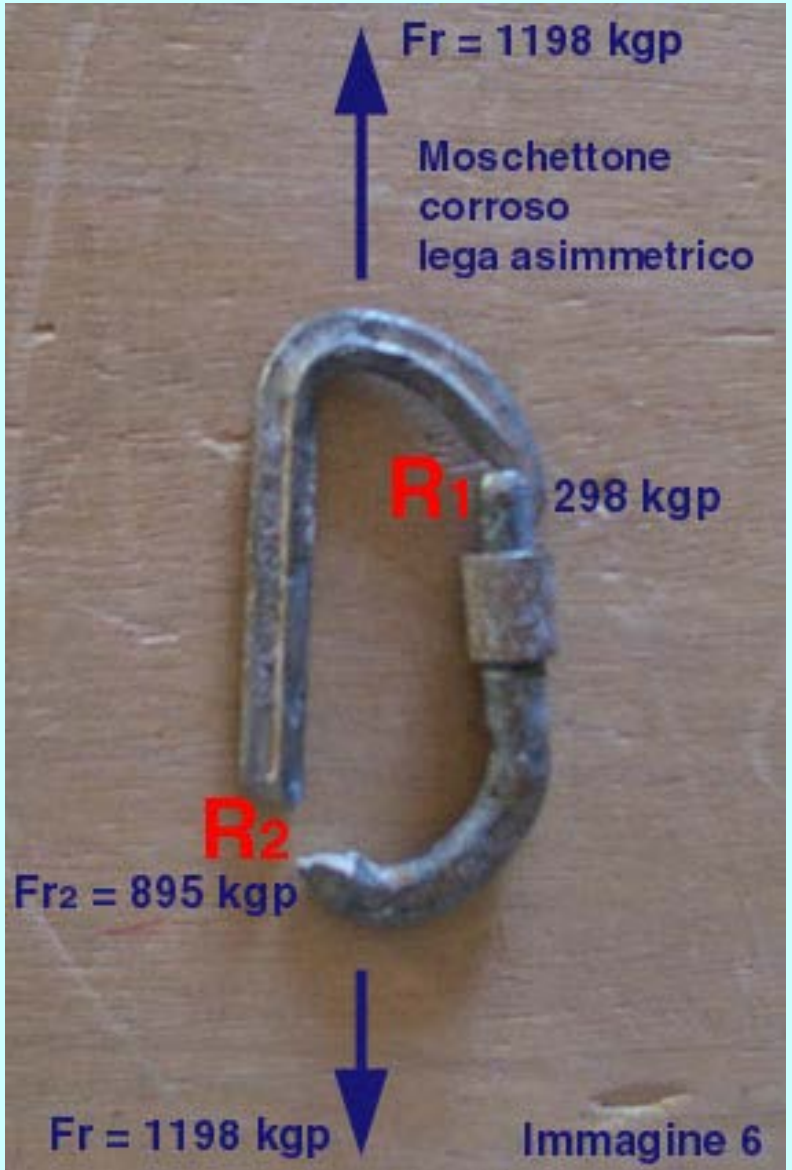
usati e corrosi



Carico di rottura di un moschettone in lega usato e corroso

Carico di rottura da nuovo

2500 kgp



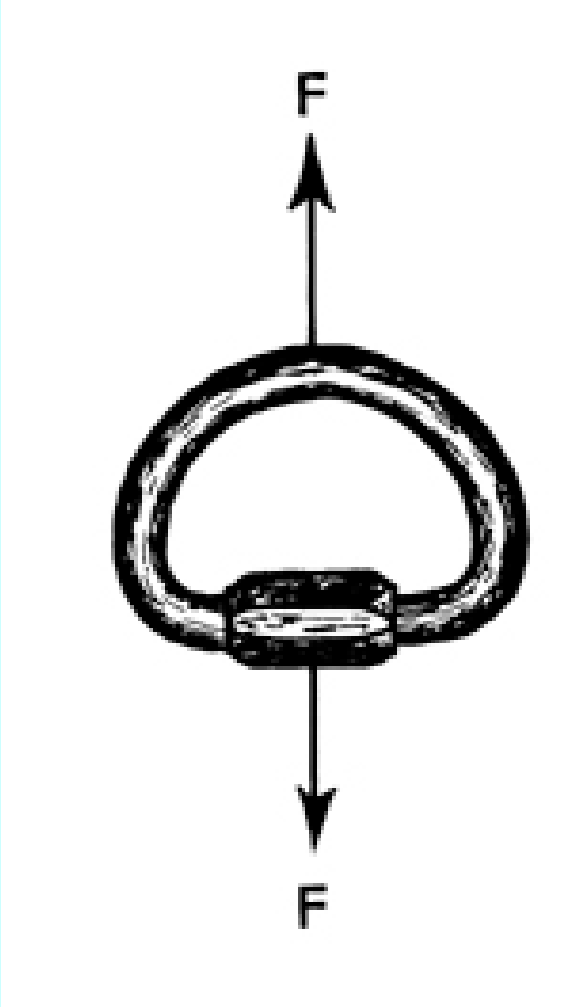
Maglie rapide

(trazione quasi-statica)

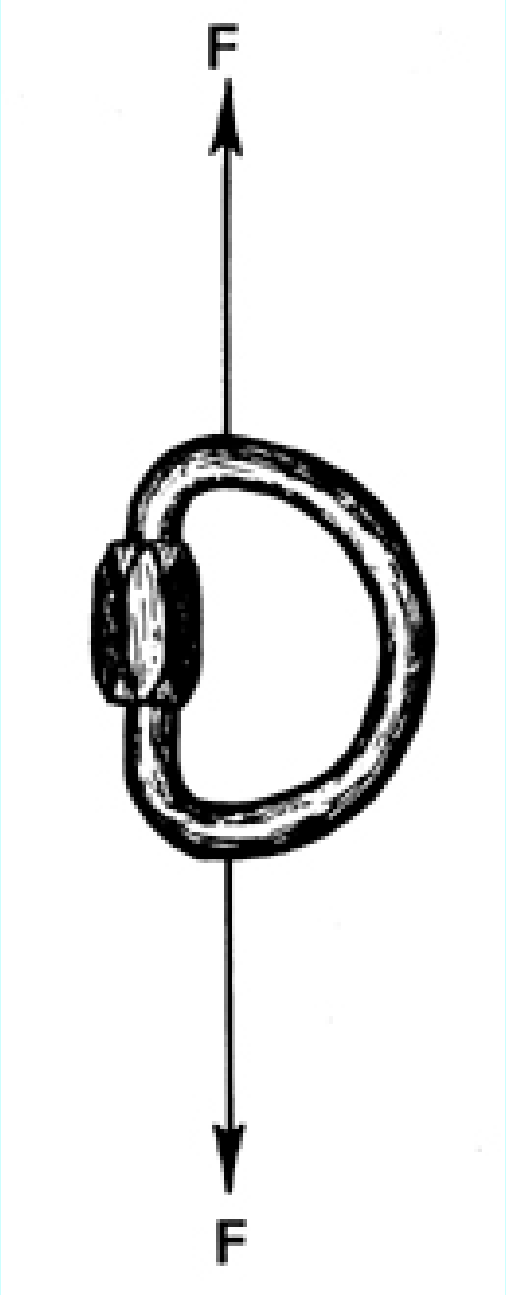


Maglie rapide

Trazione trasversale



Trazione longitudinale





a) *Semicircolare ∅ 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 ∅ 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)*

∅ 10 mm	F_r	>	5000 (3 prove)	
∅ 9 mm	F_r	>	5000 (3 prove)	
∅ 8 mm	F_r	=	3961 4380 4125 4360	
			4023 3982 4301 4277	
			4017 4091	
			F_r media = 4152	
∅ 7 mm	F_r	=	3709 2669 3543 3217	
			2503 2991 3722 3011	
			3127 3083	
			F_r media = 3157	

∅ 6 mm F_r =

2968 2281 2478 2491
2456 2376 2501 2732
1971 2821

F_r media = 2507

∅ 5 mm F_r =

2159 1450 1270 2101
2117 *485* *671* 1970
1018 1182

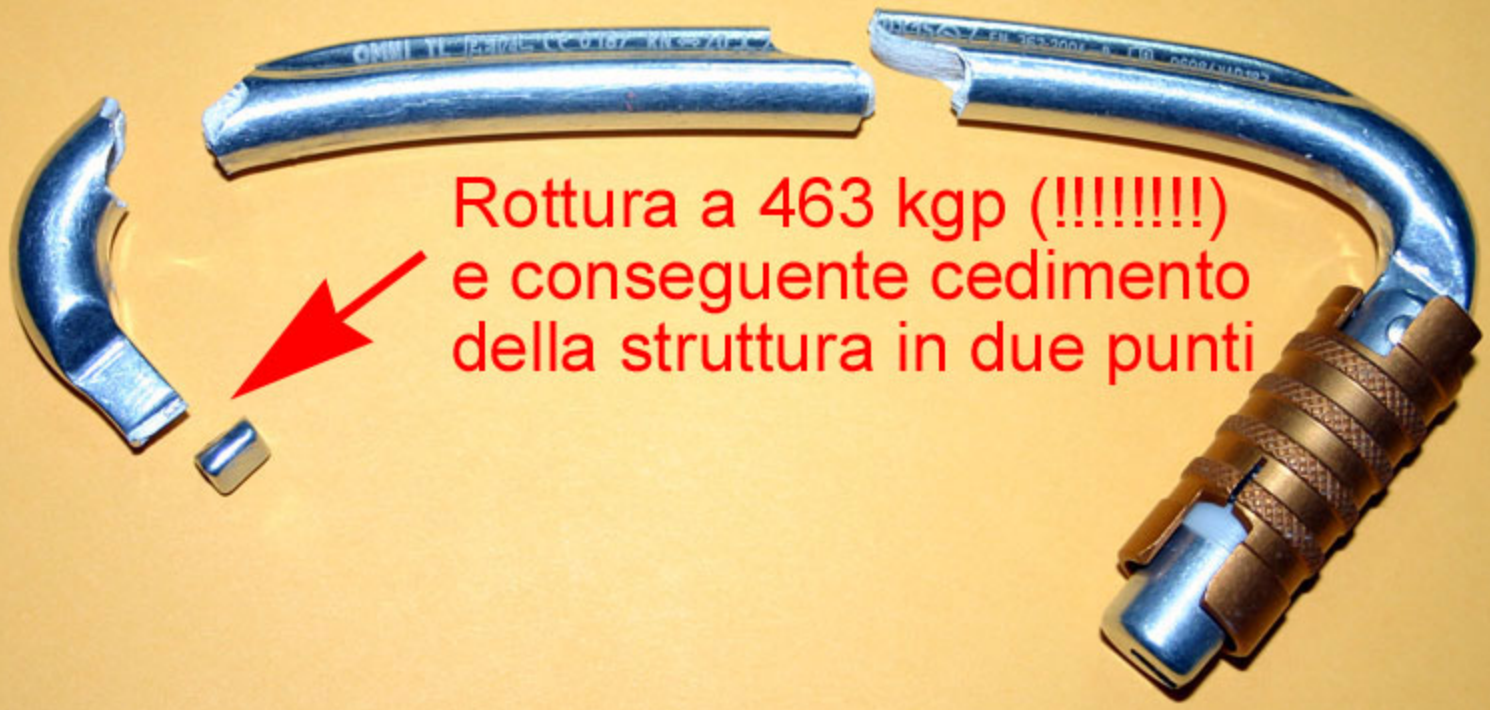
F_r media = 1442

∅ 4 mm F_r =

1280 *953* 1333 1327
923 *680* 1368 *487*
1421 1308

F_r media = 1108

OMNI LOCK PETZL



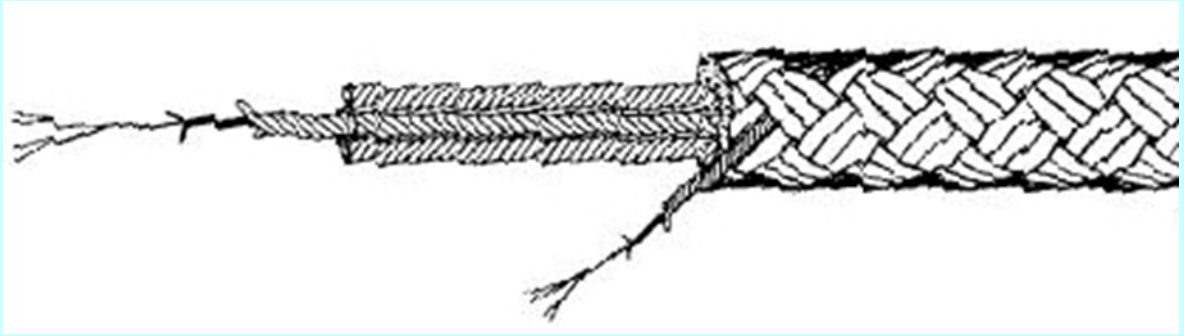
Rottura a 463 kgp (!!!!!!!!)
e conseguente cedimento
della struttura in due punti

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)

Esame componenti catena di sicurezza:

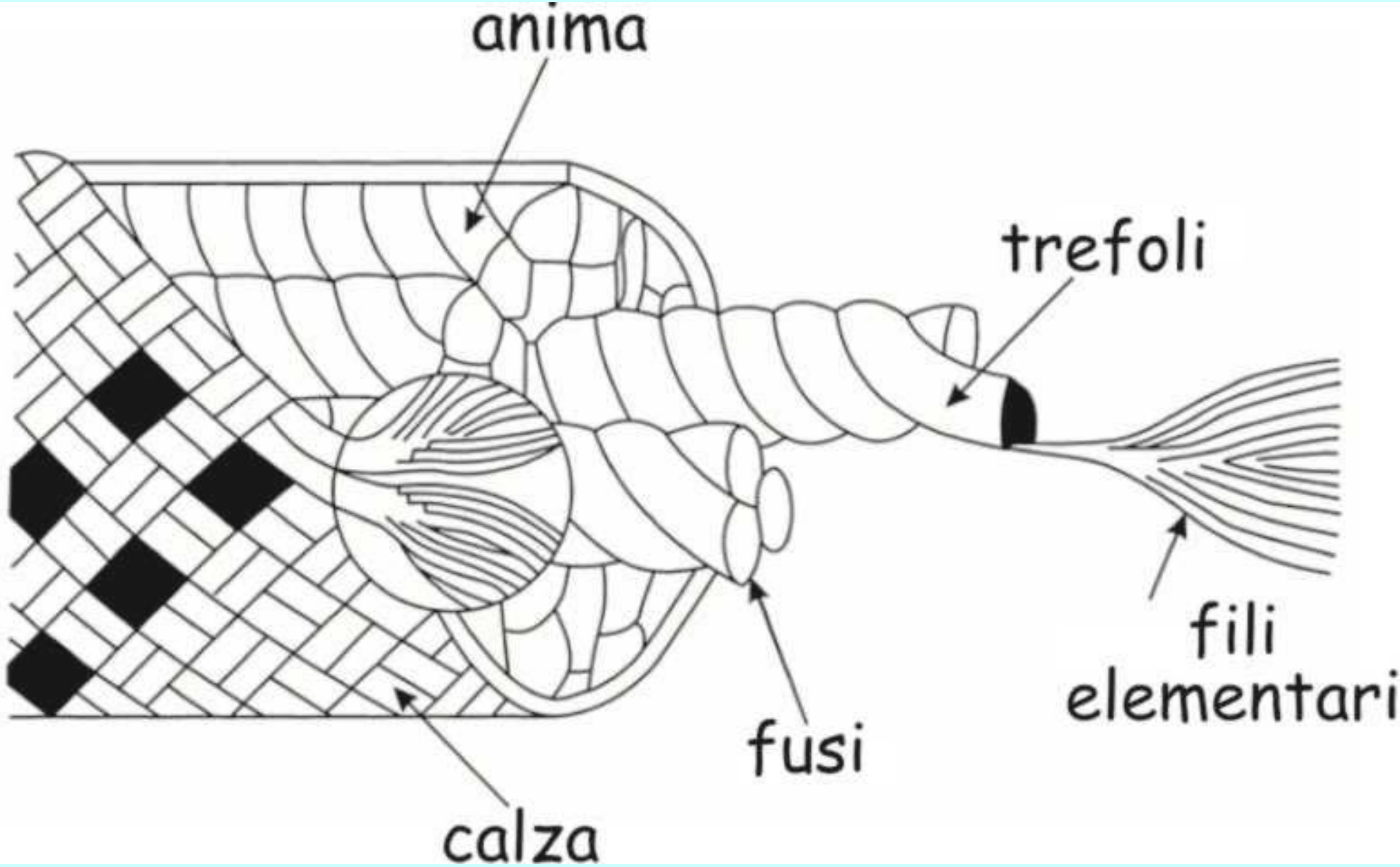
le corde

Caratteristiche delle fibre dei polimeri







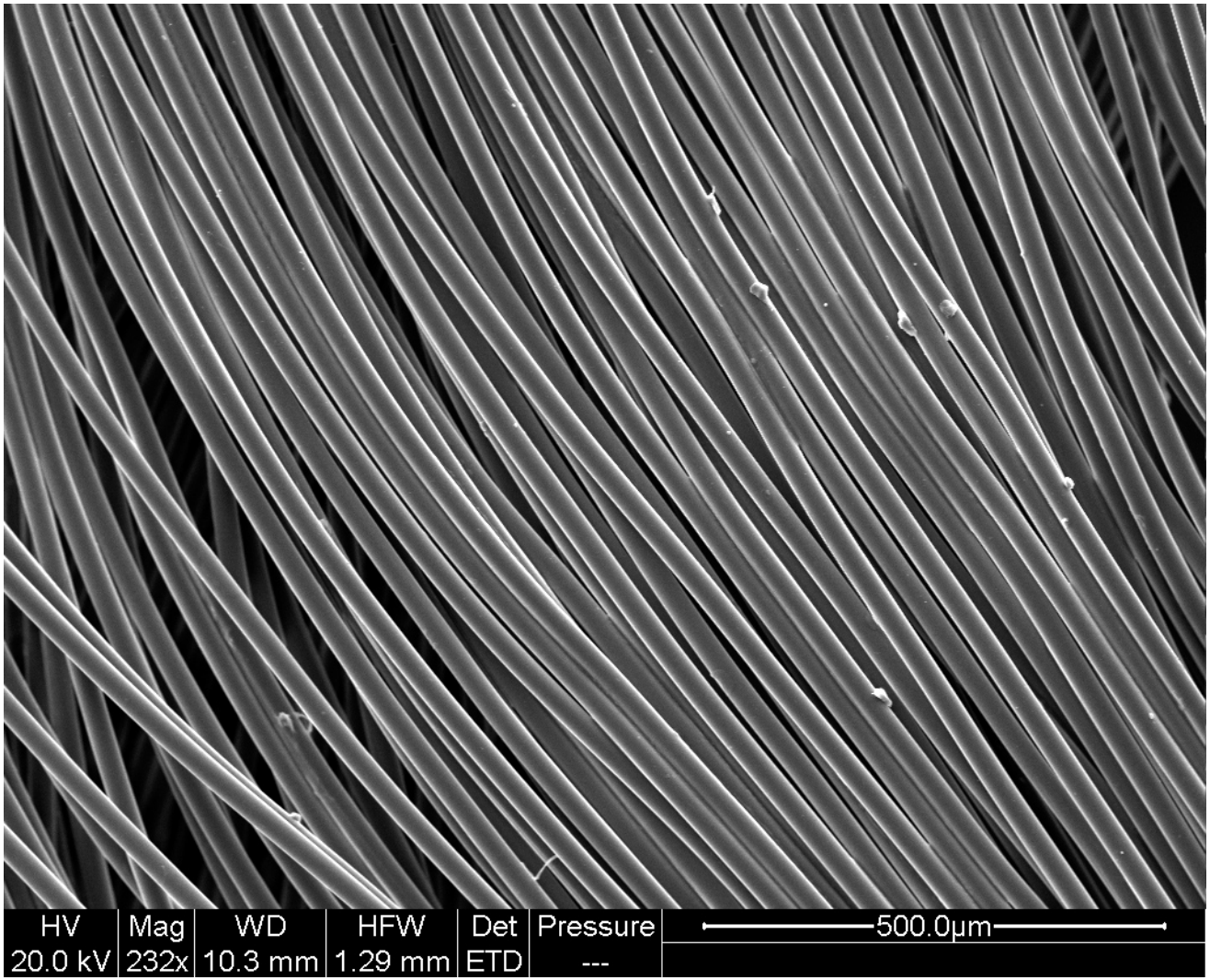

anima
trefoli
fili
elementari
fusi
calza

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 utilizzata per calcolare lo sforzo σ

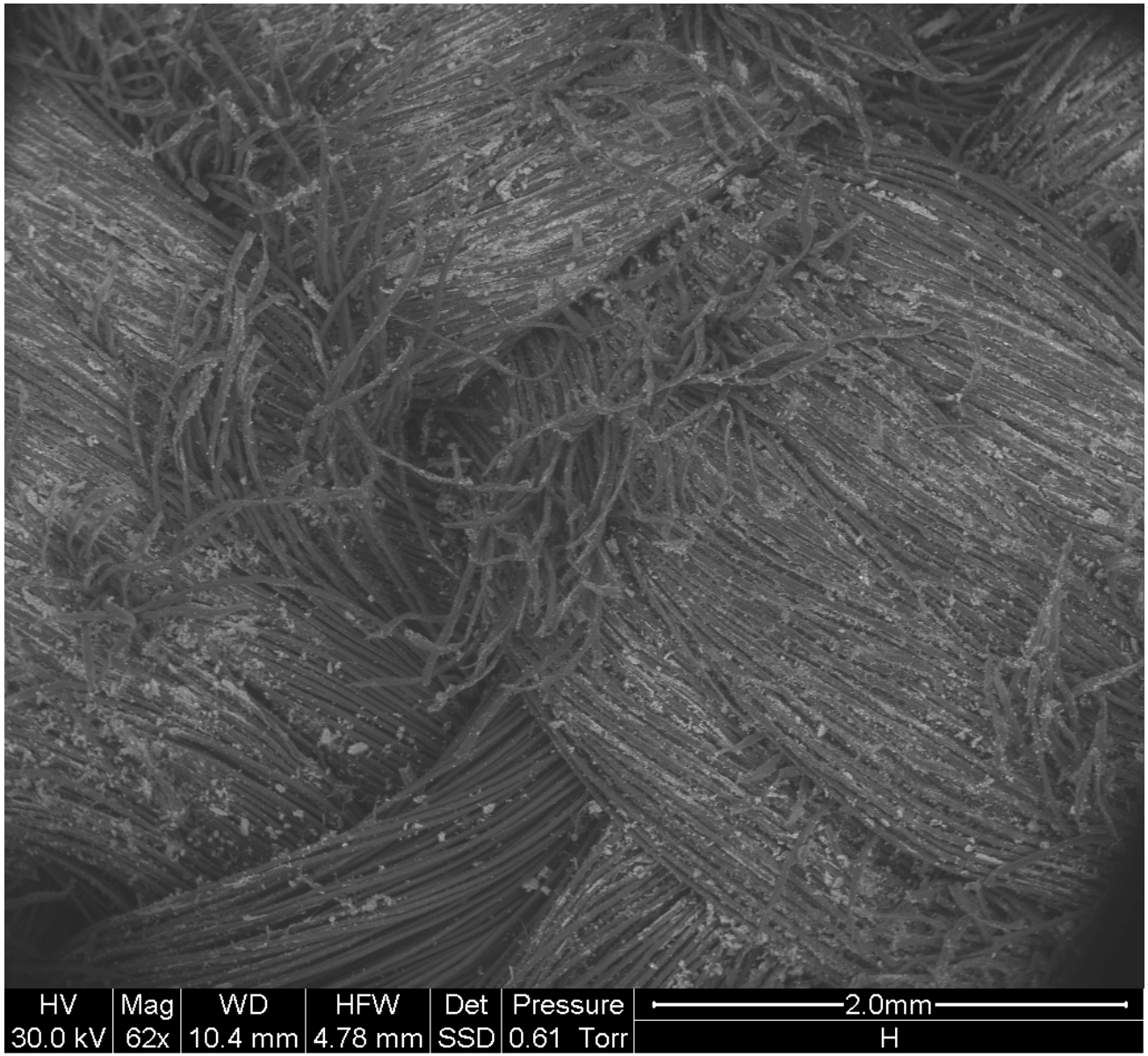
S_e (superficie trasversale efficace della corda) che corrisponde al valore pari alla somma delle superfici trasversali di tutti i fili elementari della corde e quindi può essere utilizzata per calcolare lo sforzo σ della corda intesa come barra omogenea di sezione trasversale S_e

Corda nuova





Corda Beal Antipod ϕ 10 mm usata (CENS)





Fibre

Materiale e sezione trasversale omogeneo e uniforme

Filo elementare

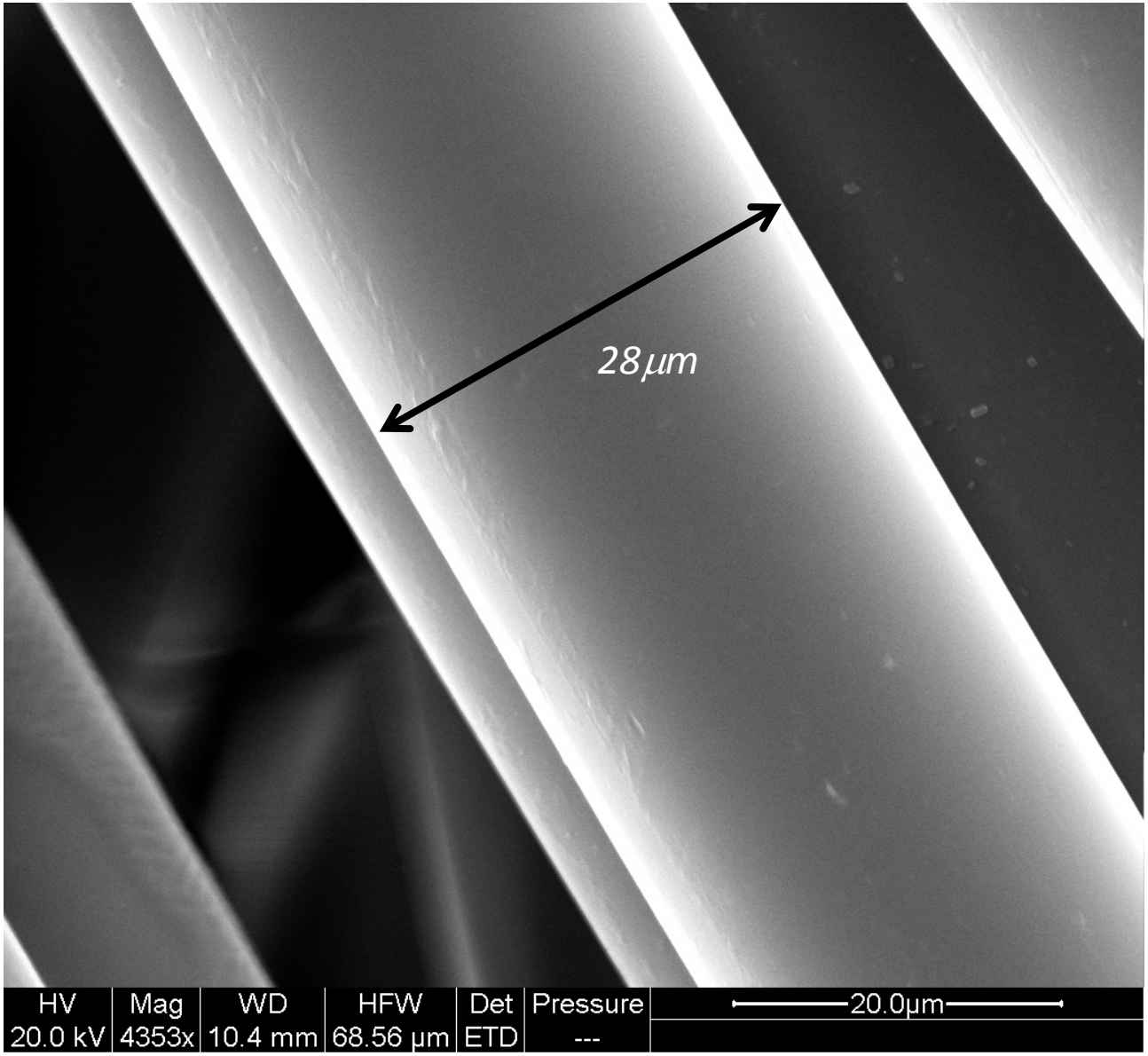


Table 2.3 Properties of major rope fibres, based on Cordage Institute Charts, TTI and Noble Denton (1999), and Morton and Hearle (1993). Note that these are typical values, but the actual properties cover a range of values depending on the particular variant of each type of fibre

	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 *ca*150 – – – – – – – –						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.

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 E (Gpa)	2,6	
Lavoro alla rottura (mN/Tex)	76	

Poliammide Nylon 6.6

Densità ρ (g/cm^3)	1,14	
Punto di fusione (°C)	265	
Tenacità (N/Tex)	0,64	
Sforzo alla rottura (N/mm^2=MPa)	900	strength
Allungamento alla rottura (%)	16	
Modulo E (Gpa)	8,0	
Lavoro alla rottura (mN/Tex)	80	

Aramide Kevlar (48)

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

HMPE Dyneema SK 60

Densità ρ (g/cm^3)	0,97	
Punto di fusione (°C)	150	
Tenacità (N/Tex)	2,80	
Sforzo alla rottura (N/mm^2=MPa)	3000	strength
Allungamento alla rottura (%)	3,5	
Modulo E (Gpa)	142	
Lavoro alla rottura (mN/Tex)	55	

Temperatura fusione

$T_{fNylon\ 6} = 218\ °C$

$T_{fNylon\ 6.6} = 265\ °C$

$T_{fKevlar} = 500\ °C$

$E_{fDyneema} = 140\ °C$

Tenacità

$T_{eNylon\ 6} = 0{,}47$ N/Tex

$T_{eNylon\ 6.6} = 0{,}64$ N/Tex

$T_{eKevlar} = 2{,}03$ N/Tex

$T_{eDyneema} = 2{,}80$ N/Tex

Sforzo alla rottura

$\sigma_{nylon\ 6} = 2{,}6$ Gpa

$\sigma_{nylon\ 6.6} = 8{,}0$ Gpa

$\sigma_{Kevlar} = 72$ Gpa

$\sigma_{Dyneema} = 142$ Gpa

Modulo (rigidità)

$E_{nylon\ 6} = 2{,}6$ Gpa

$E_{nylon\ 6.6} = 8{,}0$ Gpa

$E_{Kevlar} = 72$ Gpa

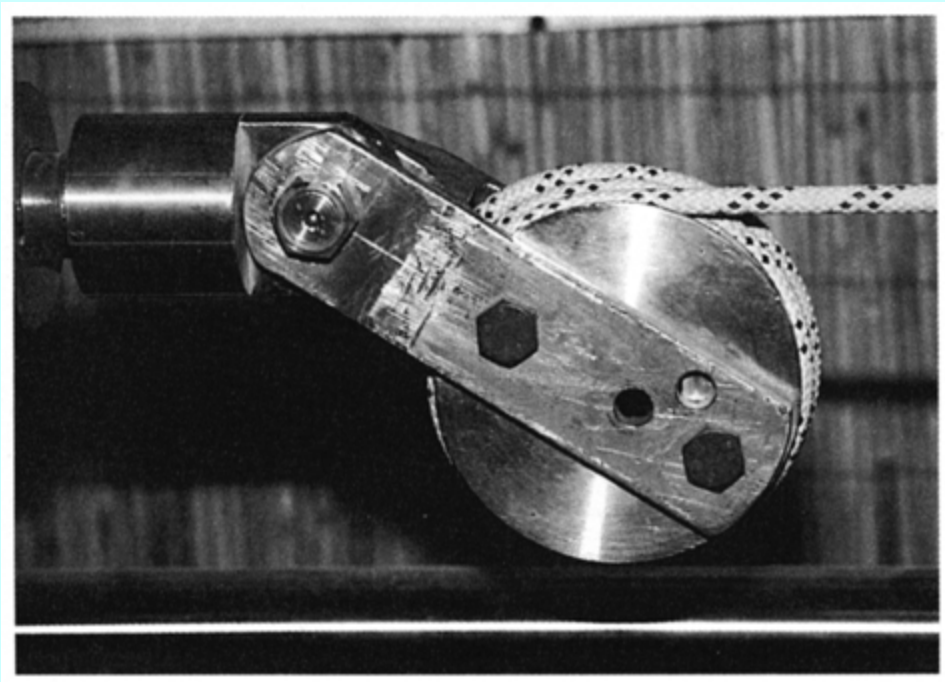
$E_{Dyneema} = 142$ Gpa

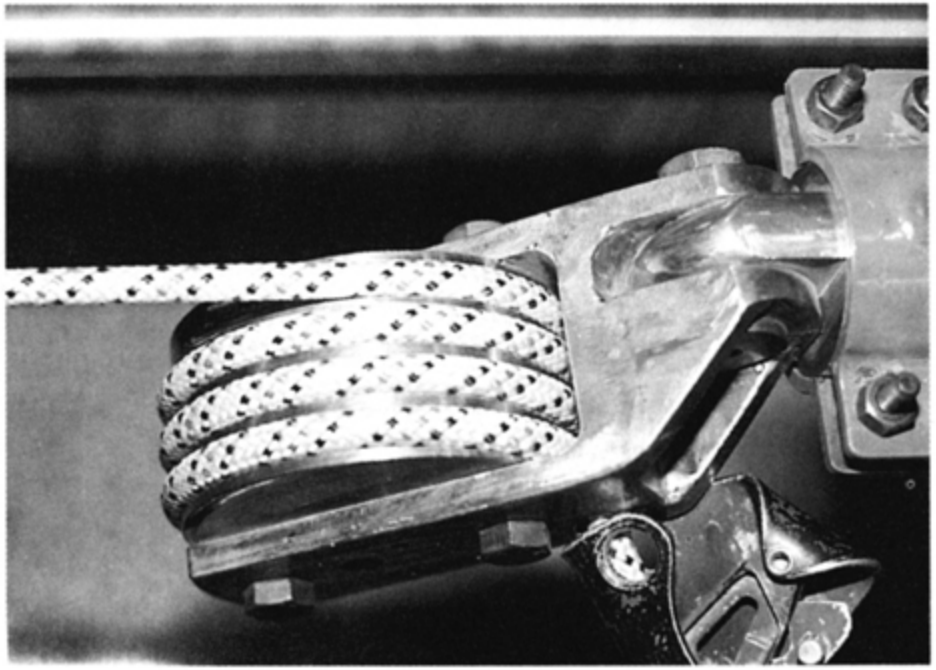
Test quasi-statici alla rottura

senza nodi



tamburi di ancoraggio estremità corda





Diametro efficace



Sforzo specifico

$$\sigma_s = \frac{F}{\rho_l}$$

ρ_l = densità lineare (tex = g/km)

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

Alla rottura per trazione QS lo sforzo specifico diventa

$$\sigma_{sr} = \frac{F_r}{\rho_l}$$

$$\sigma_{sr} = T = tenacità\ (N/tex)$$

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

Altra relazione

$$\sigma_s = \frac{\sigma}{\rho}$$

$\boldsymbol{\rho}$ = densità della fibra (g/cm^3)

Alla rottura la relazione diventa

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

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

infine

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

dove tutti i componenti del 2° membro sono noti

$$d_e = 2\sqrt{\frac{F_r}{\pi \cdot T \cdot \rho}}$$

d_e= diametro efficace (mm)

F_r = carico di rottura senza nodi (kgp)

T = tenacità (N/tex)

ρ = densità (g/cm^3)

Formula/calcolo

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) = 7,13 mm

g = accelerazione di gravità (m/s^2) = 9,81 m/s^2

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

T = tenacità (N/tex) = 0,67 N/tex

ρ = densità (g/cm^3) = 1,14 g/cm^3

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) = 8,99 mm

g = accelerazione di gravità (m/s^2) = 9,81 m/s^2

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

T = tenacità (N/tex) = 0,47 N/tex

ρ = densità (g/cm^3) = 1,14 g/cm^3

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) = 8,41 mm

g = accelerazione di gravità (m/s^2) = 9,81 m/s^2

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

T = tenacità (N/tex) = 0,47 N/tex

ρ = densità (g/cm^3) = 1,14 g/cm^3

Schede
corde

Corda Beal Antipodes 10 mm

Nuova asciutta diametro apparente 10 mm numero trefoli 12

Test “quasi-statici”	velocità di trazione 0,005 m/s	
carico rottura calza con bloccante (kgp)	587	*nessun trefolo rotto*
tipo bloccante	Croll Petzl	*Modello 2011*
carico rottura calza (kgp)	1046	*senza nodi*
carico rottura trefolo (kgp)	141	*senza nodi*
carico rottura senza nodi (kgp)	2666	
carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp)	1441	*- 46 % (*)*
punto fusione calza (°C)	218	*fibra nylon 6*
punto fusione anima (°C)	218	*fibra nylon 6*
diametro efficace (mm)	7,9	
temperatura nodi rottura corda (°C)	circa 50	*Termo camera*
peso (g/m)	64	

(*) Rispetto stesso test senza nodi

Corda Beal Antipodes 10 mm

Usata asciutta diametro apparente 10 mm numero trefoli 12

Test "quasi-statici"	velocità di trazione 0,005 m/s	
carico rottura calza con bloccante (kgp)	862	*tutti trefoli rotti (*)*
tipo bloccante	Croll Petzl	*Modello 2011*
carico rottura calza (kgp)	470	*- 55 % (**)*
carico rottura trefolo (kgp)	75	*- 47 % (**) (***)*
carico rottura senza nodi (kgp)	1370	*- 49 % (**)*
carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp)	1059	*- 26 % (**)*
punto fusione calza (°C)	218	*fibra nylon 6*
punto fusione anima (°C)	218	*fibra nylon 6*
diametro efficace (mm)	5,7	
temperatura nodi rottura corda (°C)	circa 50	*Termo camera*
peso (g/m)	72	

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

(**) Rispetto alla corda nuova

(***) I trefoli sono apparentemente come nuovi

Corda Beal Booster III 9,7 mm

Nuova asciutta diametro apparente 10,7 mm numero trefoli 9

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 senza nodi (kgp)	1862	
carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp)	1257	*- 32 % (*)*
punto fusione calza (°C)	218	*fibra nylon 6*
punto fusione anima (°C)	218	*fibra nylon 6*
diametro efficace (mm)	6,6	
temperatura nodi rottura corda (°C)	circa 50	*Termo camera*
peso (g/m)	70	

(*) Rispetto stesso test senza nodi

Corda Beal Booster III 9,7 mm

Usata asciutta diametro apparente 11,4 mm numero trefoli 9

Test "quasi-statici"	velocità di trazione 0,005 m/s	
carico rottura calza con bloccante (kgp)	474	*nessun trefolo rotto*
tipo bloccante	Croll Petzl	*Modello 2011*
carico rottura calza (kgp)	372	*- 51 % (*)*
carico rottura trefolo (kgp)	98	*- 18 % (*) (**)*
carico rottura senza nodi (kgp)	1370	*- 36 % (*)*
carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp)	1059	*- 36 % (*)*
punto fusione calza (°C)	218	*fibra nylon 6*
punto fusione anima (°C)	218	*fibra nylon 6*
diametro efficace (mm)	5,1	
temperatura nodi rottura corda (°C)	circa 50	*Termo camera*
peso (g/m)	67	

(*) Rispetto alla corda nuova

(**) I trefoli sono apparentemente come nuovi

Corda Cavalieri Cave Explorer 10,6 mm

Nuova asciutta diametro apparente 10,7 mm numero trefoli 16

Test “quasi-statici”	velocità di trazione 0,005 m/s	
carico rottura calza con bloccante (kgp)	589	*nessun trefolo rotto*
tipo bloccante	Croll Petzl	*Modello 2011*
carico rottura calza (kgp)	864	*senza nodi*
carico rottura trefolo (kgp)	157	*senza nodi*
carico rottura senza nodi (kgp)	3344	
carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp)	1840	*- 45 % (*)*
punto fusione calza (°C)	265	*fibra nylon 6.6*
punto fusione anima (°C)	265	*fibra nylon 6.6*
diametro efficace (mm)	7,6	
temperatura nodi rottura corda (°C)	circa 50	*Termo camera*
peso (g/m)	74	

(*) Rispetto stesso test senza nodi

Corda Cavalieri Cave Explorer 10,6 mm

Usata asciutta diametro apparente 11,6 mm numero trefoli 16

Test “quasi-statici”	velocità di trazione 0,005 m/s	
carico rottura calza con bloccante (kgp)	843	*tutti i trefoli rotti*
tipo bloccante	Croll Petzl	*Modello 2011*
carico rottura calza (kgp)	566	*- 36 % (*)*
carico rottura trefolo (kgp)	116	*- 26 % (*) (**)*
carico rottura senza nodi (kgp)	1533	*- 54 % (*)*
carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp)	1222	*- 34 % (*)*
punto fusione calza (°C)	265	*fibra nylon 6.6*
punto fusione anima (°C)	265	*fibra nylon 6.6*
diametro efficace (mm)	5,1	
temperatura nodi rottura corda (°C)	circa 50	*Termo camera*
peso (g/m)	83	

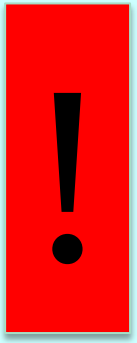
(*) Rispetto alla corda nuova

(**) I trefoli sono apparentemente come nuovi

Corde: test quasi-statici confronto dati nuove/usate

Beal Antipodes 10 mm Nylon 6

	Nuova	*Usata*	*Diminuzione %*
$F_{r\ corda\ (kgp)}$	2666	1370	49
$F_{r\ calza\ (kgp)}$	1046	470	55
$F_{r\ trefolo\ (kgp)}$	141	75	47
Diametro efficace (mm)	7,9	5,7	28
Punto fusione (°C)	218	218	



Beal Booster III 9,7 mm Nylon 6

	Nuova	*Usata*	*Diminuzione %*
$F_{r\ corda\ (kgp)}$	1862	1130	39
$F_{r\ calza\ (kgp)}$	764	372	51
$F_{r\ trefolo\ (kgp)}$	120	98	18
Diametro efficace (mm)	6,6	5,1	23
Punto fusione (°C)	218	218	

Cavalieri Cave Explorer 10,6 mm Nylon 6.6

	Nuova	*Usata*	*Diminuzione %*
$F_{r\ corda\ (kgp)}$	3344	1533	54
$F_{r\ calza\ (kgp)}$	864	566	34
$F_{r\ trefolo\ (kgp)}$	157	116	26
Diametro efficace (mm)	7,6	5,1	33
Punto fusione (°C)	265		

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 abrasi.

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 ("idrogeno" e/o Van der Walls) che legano fra di loro le macromolecole,*
4. *l'effetto calore sui fili elementari della Cave Explorer (nylon 6.6) è minore.*

Schede cordini

Cordino Beal Nylon 5,5 mm

Nuovo asciutta diametro apparente 5,5 mm numero trefoli 4

Test “quasi-statici”	velocità di trazione 0,005 m/s	
carico rottura calza con bloccante (kgp)	253	*Scorrimento con nessun trefolo rotto*
tipo bloccante	Croll Petzl	*Modello 2011*
carico rottura calza (kgp)	454	*senza nodi*
carico rottura trefolo (kgp)	181	*senza nodi*
carico rottura senza nodi (kgp)	929	
carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp)	560	*- 60 % (*)*
punto fusione calza (°C)	218	*fibra nylon 6*
punto fusione anima (°C)	218	*fibra nylon 6*
diametro efficace (mm)	4,7	
temperatura nodi rottura corda (°C)	circa 50	*Termo camera*
peso (g/m)	23,7	

(*) Rispetto stesso test senza nodi

Cordino Courant Kevlar 5,5 mm

Nuovo asciutta diametro apparente 5,5 mm numero trefoli 1

Test “quasi-statici”	velocità di trazione 0,005 m/s	
carico rottura calza con bloccante (kgp)	259	*Rottura dopo circa 50 cm di scorrimento*
tipo bloccante	Croll Petzl	*Modello 2011*
carico rottura calza (kgp)	413	*senza nodi*
carico rottura trefolo (kgp)	1753	*senza nodi*
carico rottura senza nodi (kgp)	2142	
carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp)	675	*- 69 % (*)*
punto fusione calza (°C)	265	*fibra nylon 6.6*
punto fusione anima (°C)	> 360	*fibra kevlar*
diametro efficace (mm)	2,8 + 0,8	*diametro anima+spessore calza*
temperatura nodi rottura corda (°C)		
peso (g/m)		

(*) Rispetto stesso test senza nodi

Cordino Monteisola Dyneema 5,5 mm

Nuovo asciutta diametro apparente 5,5 mm numero trefoli 1

Test “quasi-statici”	velocità di trazione 0,005 m/s	
carico rottura calza con bloccante (kgp)	205	*Scorrimento con nessun trefolo rotto*
tipo bloccante	Croll Petzl	*Modello 2011*
carico rottura calza (kgp)	378	*senza nodi*
carico rottura trefolo (kgp)	1110	*senza nodi*
carico rottura senza nodi (kgp)	1473	
carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp)	660	*- 55 % (*)*
punto fusione calza (°C)	265	*fibra nylon 6.6*
punto fusione anima (°C)	150	*fibra dyneema*
diametro efficace (mm)	2,0+1,0	*diametro anima +spessore calza*
temperatura nodi rottura corda (°C)		
peso (g/m)		

(*) Rispetto stesso test senza nodi

Cordino Monteisola Dyneema 8,0 mm

Nuovo asciutta diametro apparente 8,6 mm numero trefoli 1

Test “quasi-statici”	velocità di trazione 0,005 m/s	
carico rottura calza con bloccante (kgp)	468	*Scorrimento con nessun trefolo rotto*
tipo bloccante	Croll Petzl	*Modello 2011*
carico rottura calza (kgp)	678	*senza nodi*
carico rottura trefolo (kgp)	2428	*senza nodi*
carico rottura senza nodi (kgp)	3068	
carico rottura con nodi (guida semplice) (kgp)	1331	*- 57 % (*)*
punto fusione calza (°C)	265	*fibra nylon 6.6*
punto fusione anima (°C)	150	*fibra dyneema*
diametro efficace (mm)	3,0+1,2	*diametro anima +spessore calza*
temperatura nodi rottura corda (°C)		
peso (g/m)		

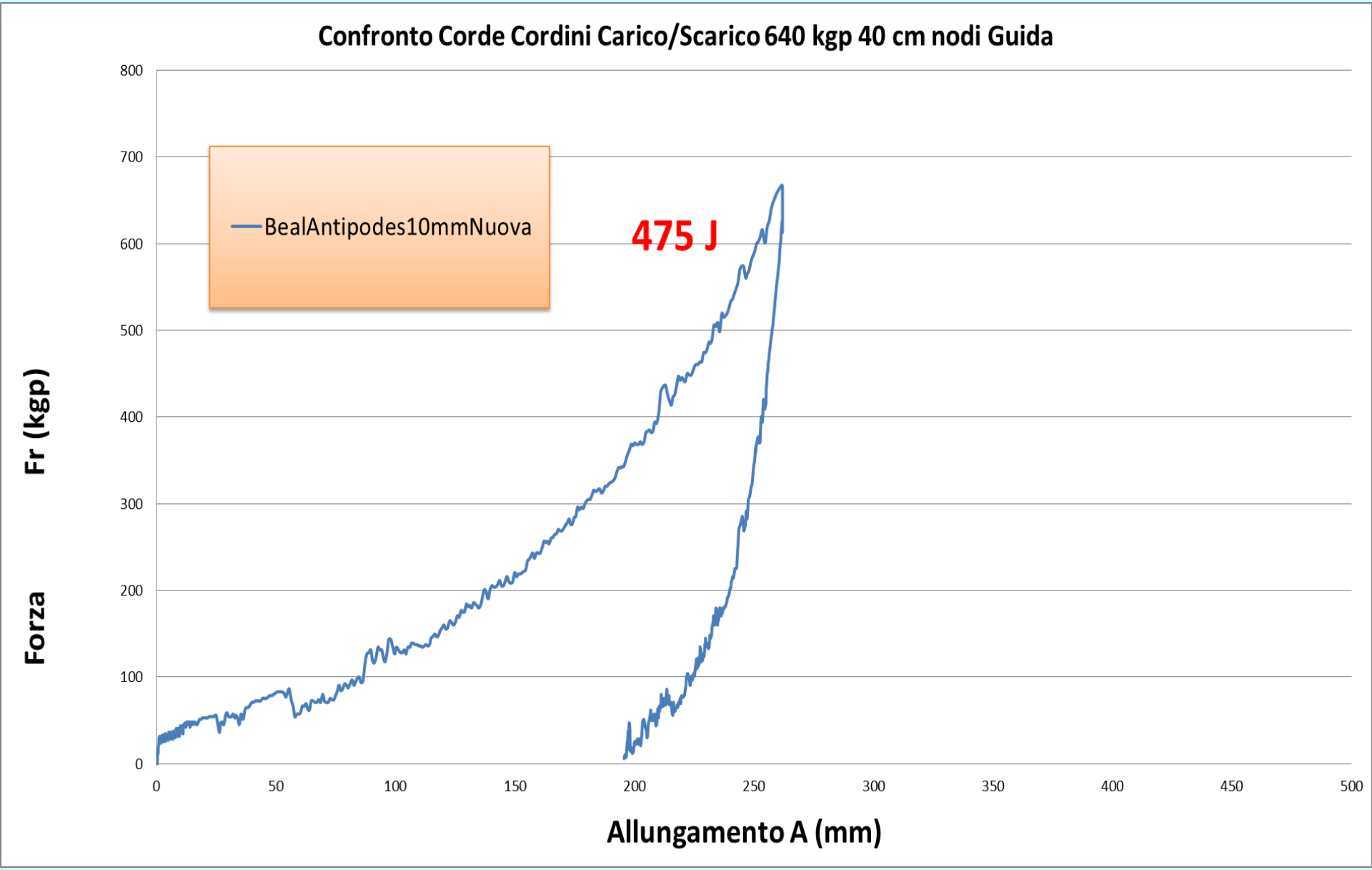
(*) Rispetto stesso test senza nodi

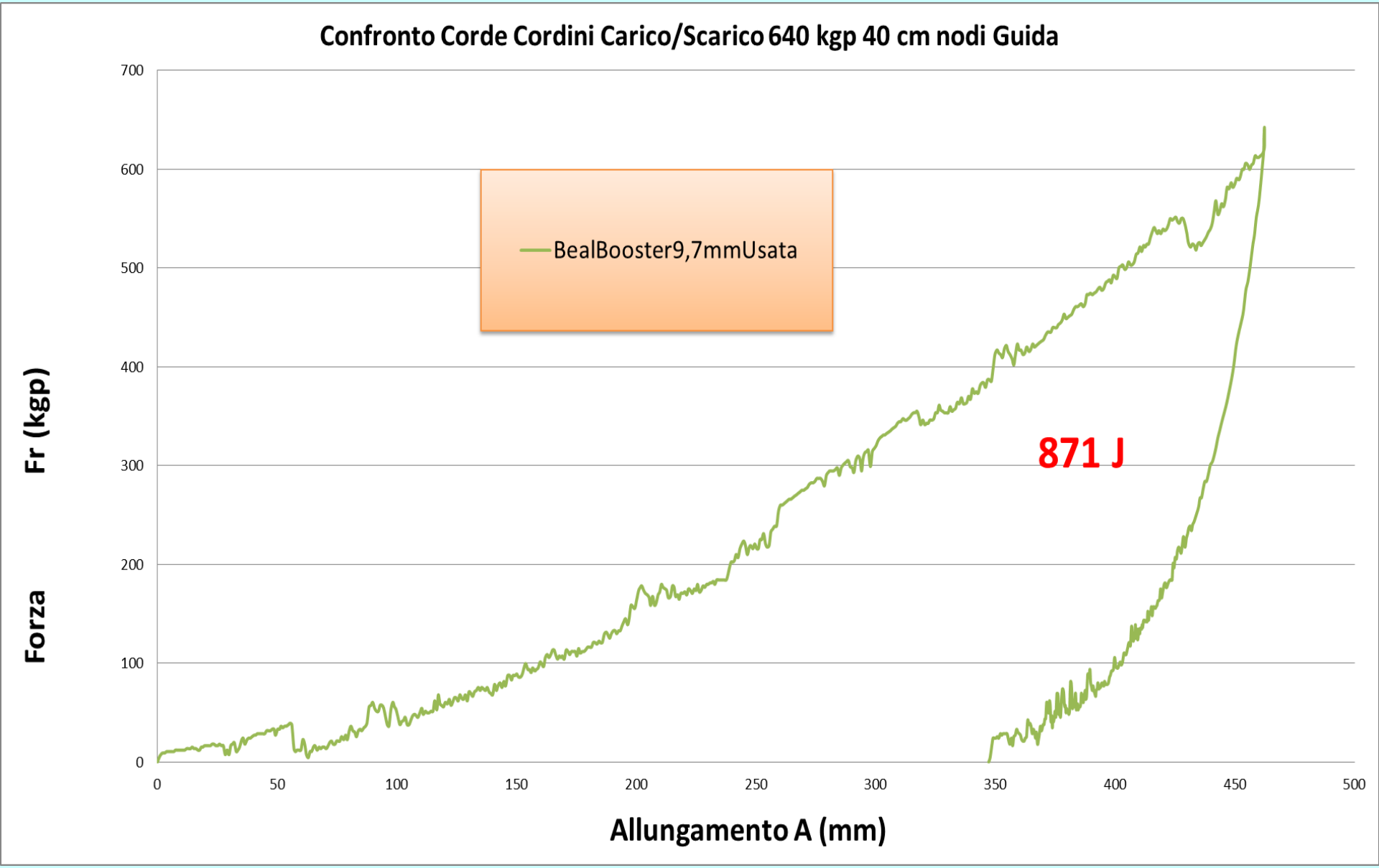
Test quasi-statici

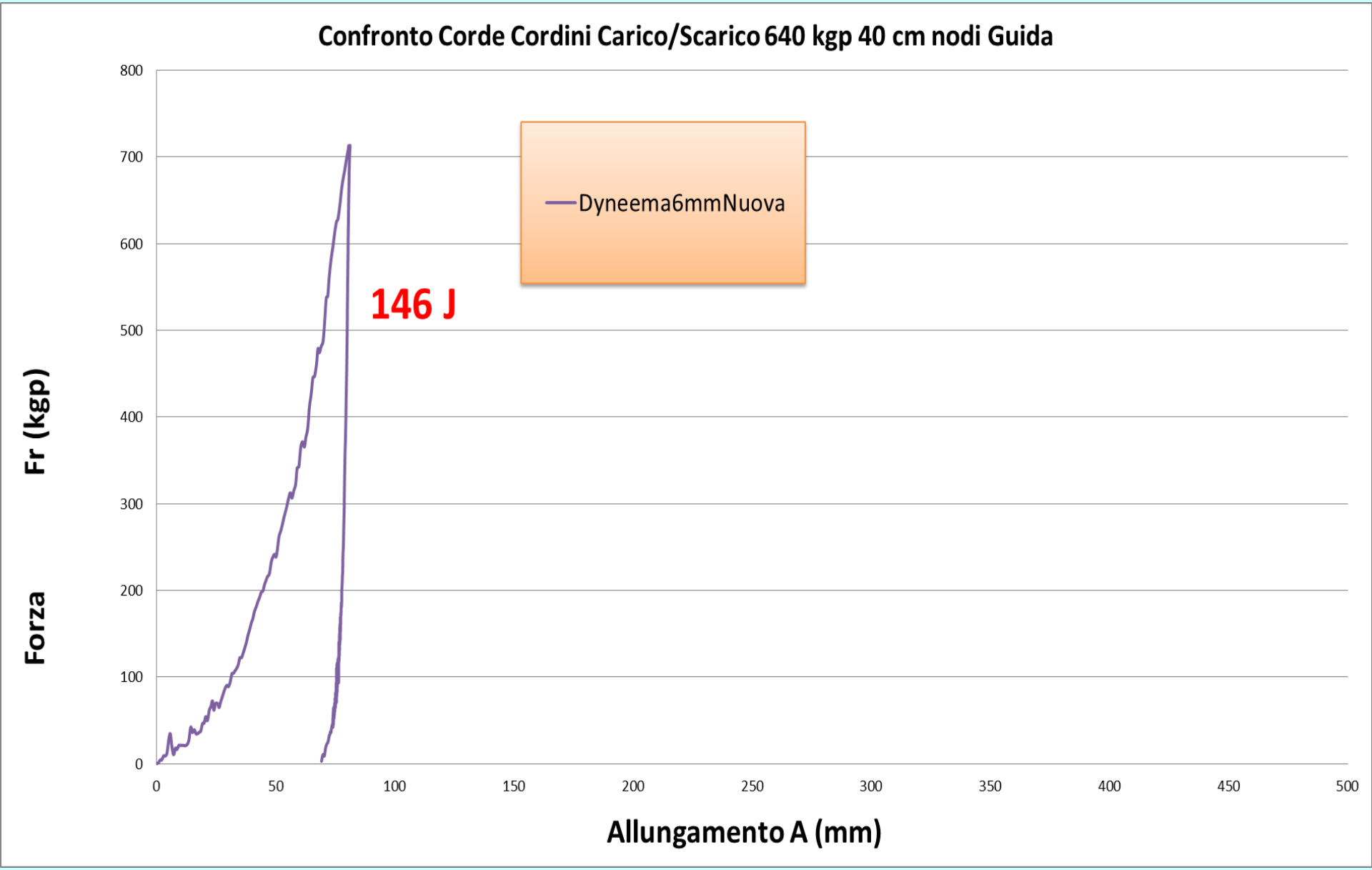
con nodi

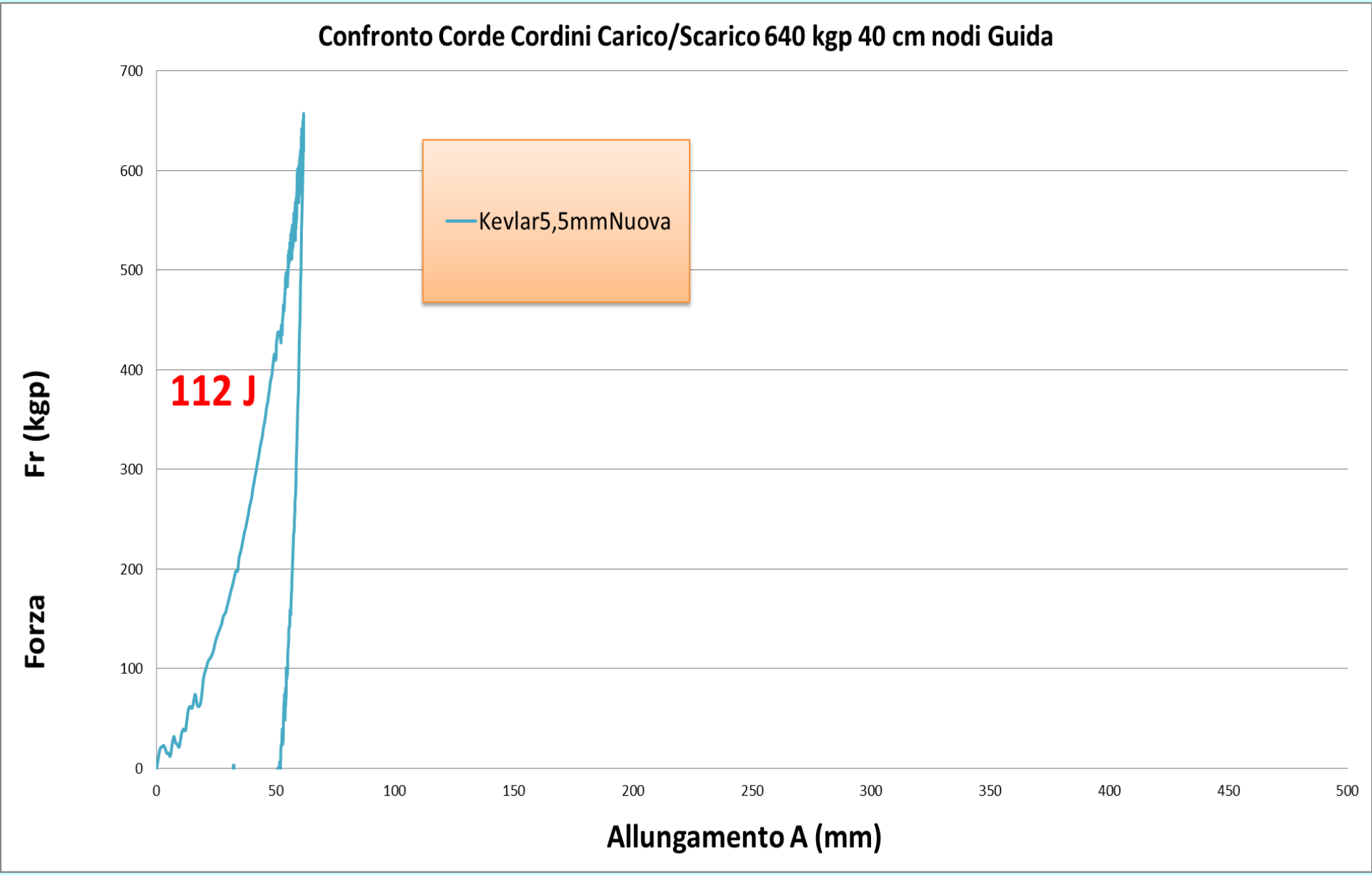
Trazione quasi-statica senza rottura:

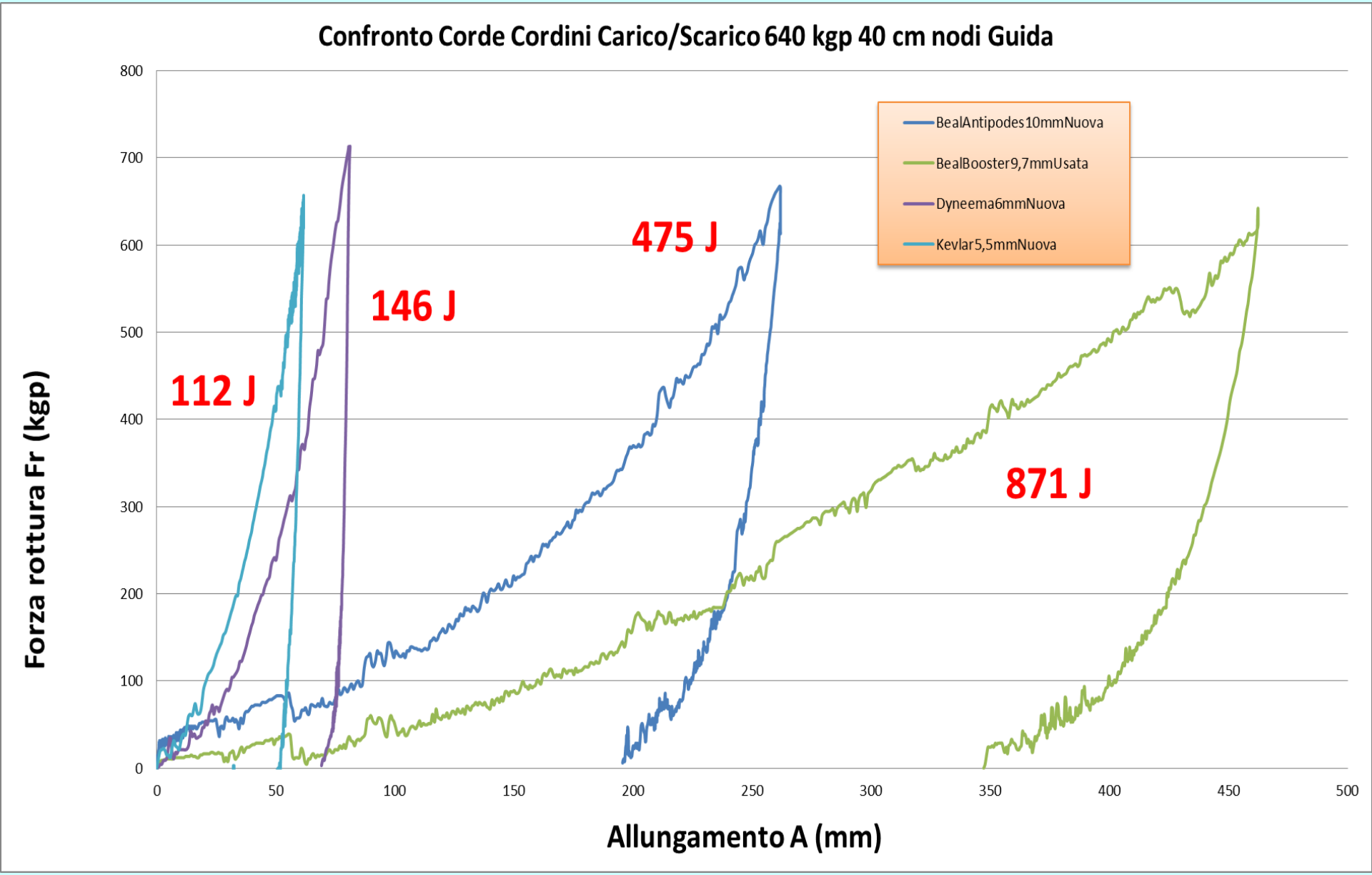
curve di carico/scarico


Confronto Corde Cordini Carico/Scarico 640 kgp 40 cm nodi Guida
BealAntipodes10mmNuova
475 J
Fr (kgp)
Forza
Allungamento A (mm)
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500


Confronto Corde Cordini Carico/Scarico 640 kgp 40 cm nodi Guida
Fr (kgp)
Forza
700
600
500
400
300
200
100
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
Allungamento A (mm)
BealBooster9,7mmUsata
871 J

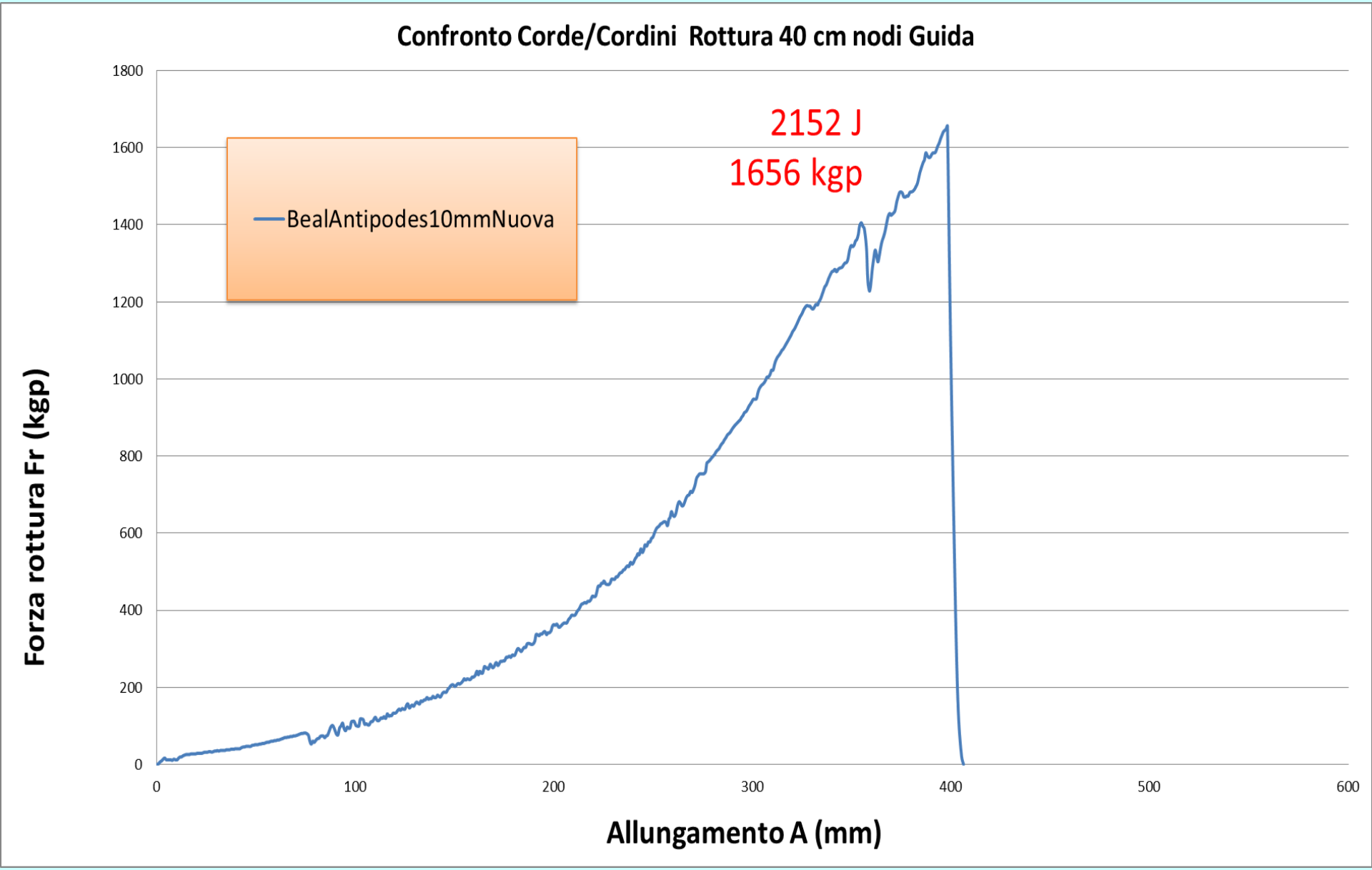

Confronto Corde Cordini Carico/Scarico 640 kgp 40 cm nodi Guida
Dyneema6mmNuova
146 J
Forza
Fr (kgp)
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
Allungamento A (mm)

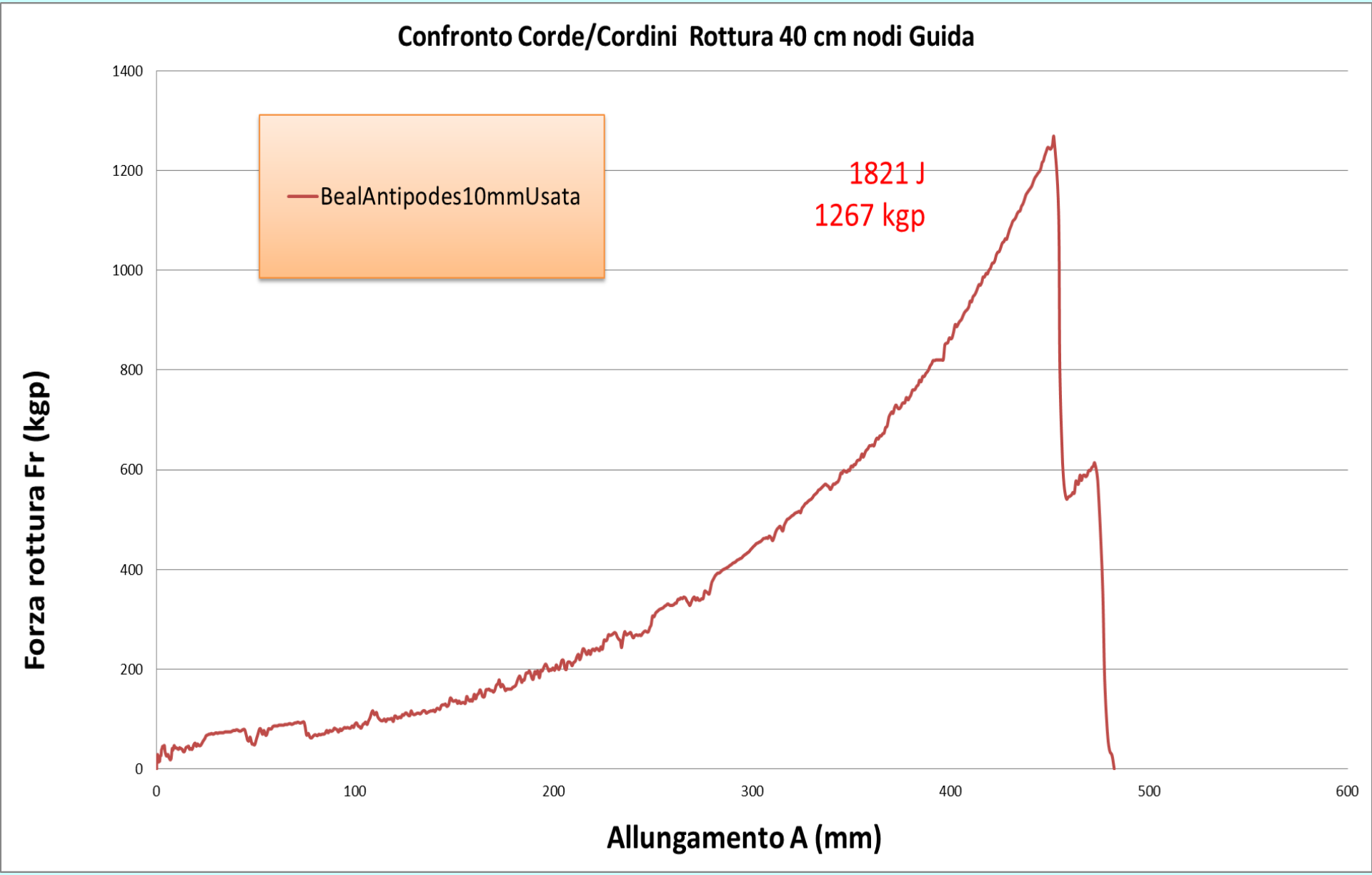

Confronto Corde Cordini Carico/Scarico 640 kgp 40 cm nodi Guida
Kevlar5,5mmNuova
112 J
Forza
Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
0
100
200
300
400
500
600
700
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500

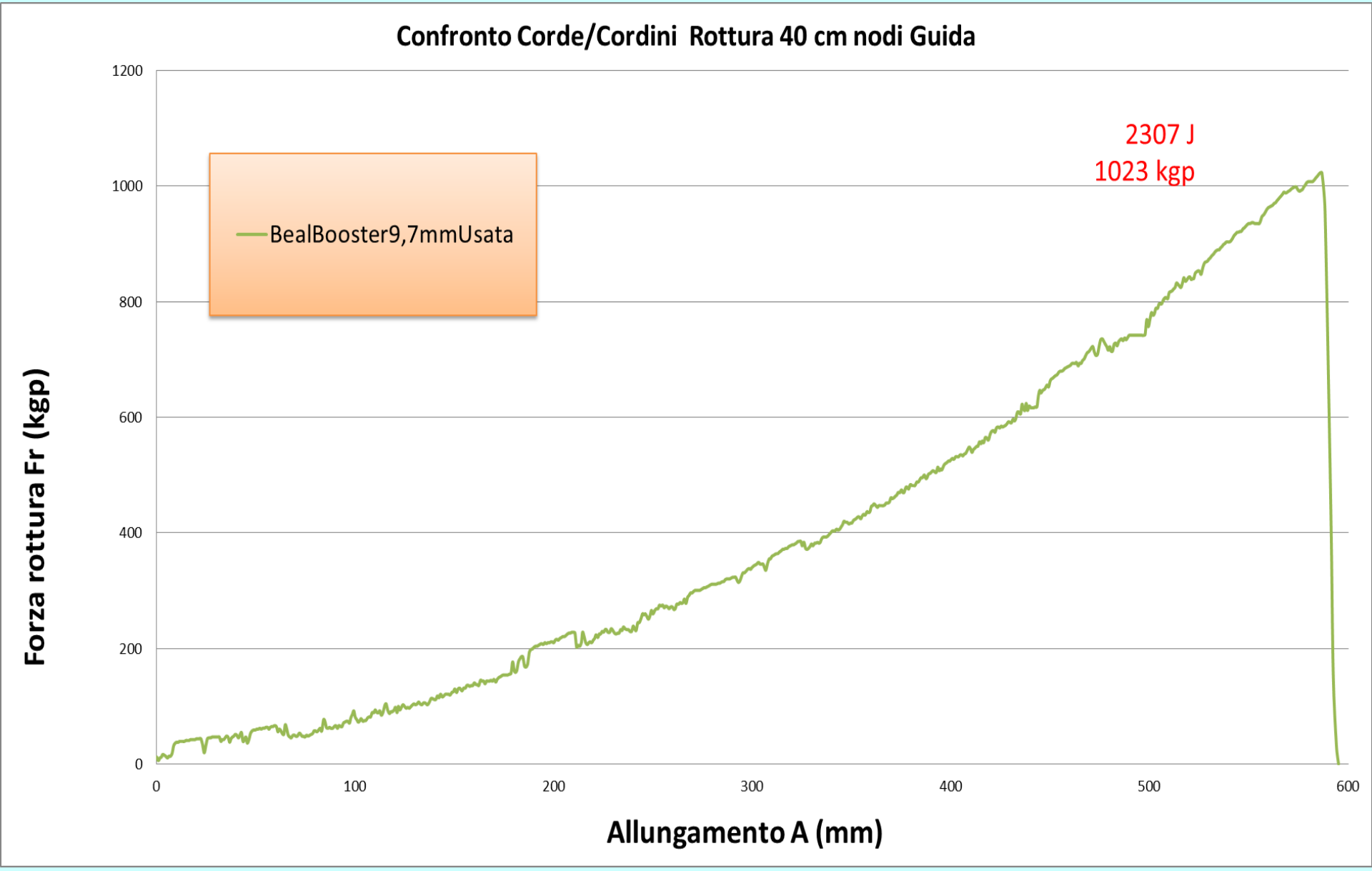

Confronto Corde Cordini Carico/Scarico 640 kgp 40 cm nodi Guida
Forza rottura Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
BealAntipodes10mmNuova
BealBooster9,7mmUsata
Dyneema6mmNuova
Kevlar5,5mmNuova
112 J
146 J
475 J
871 J
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500

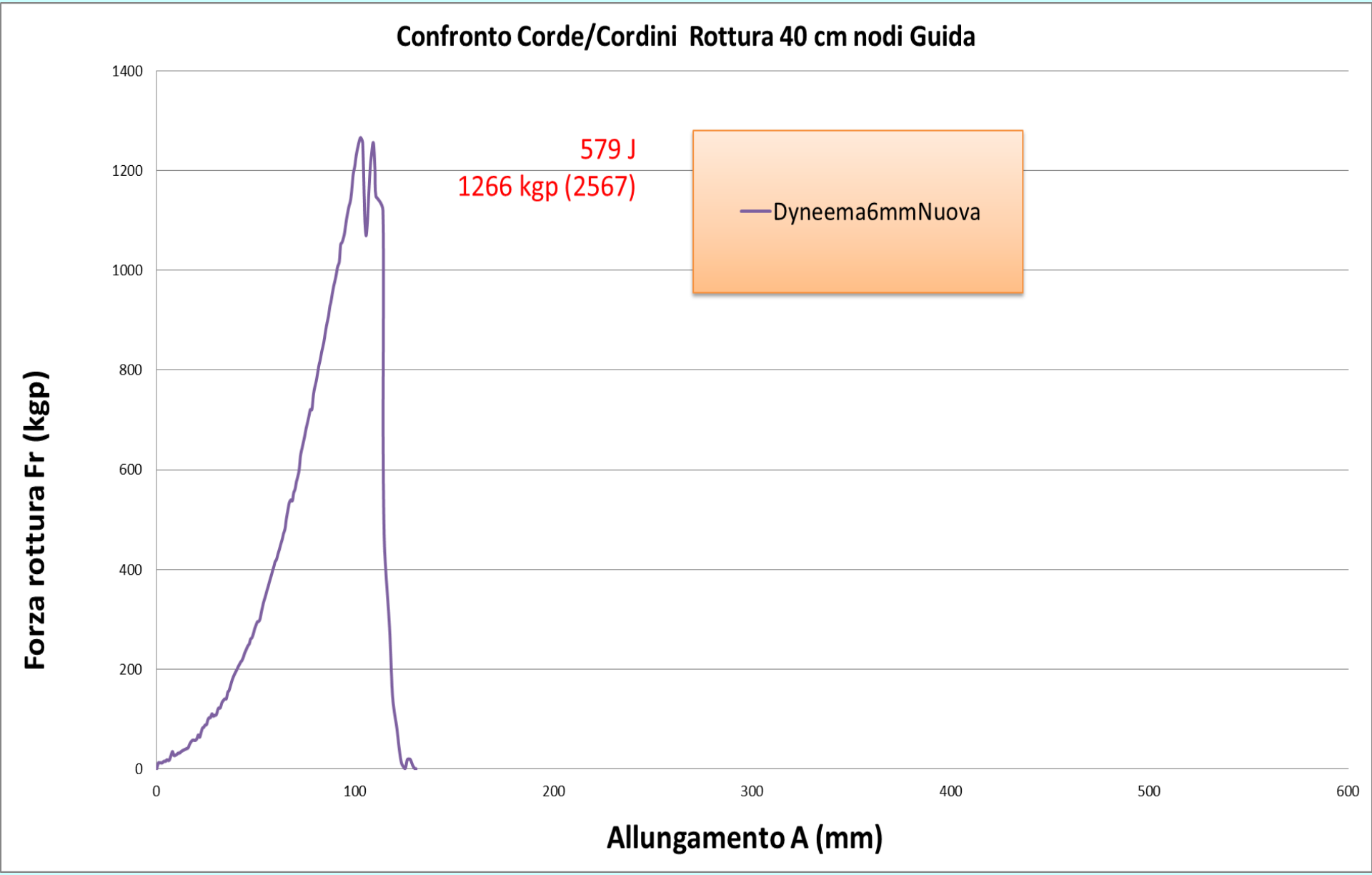
Trazione alla rottura:

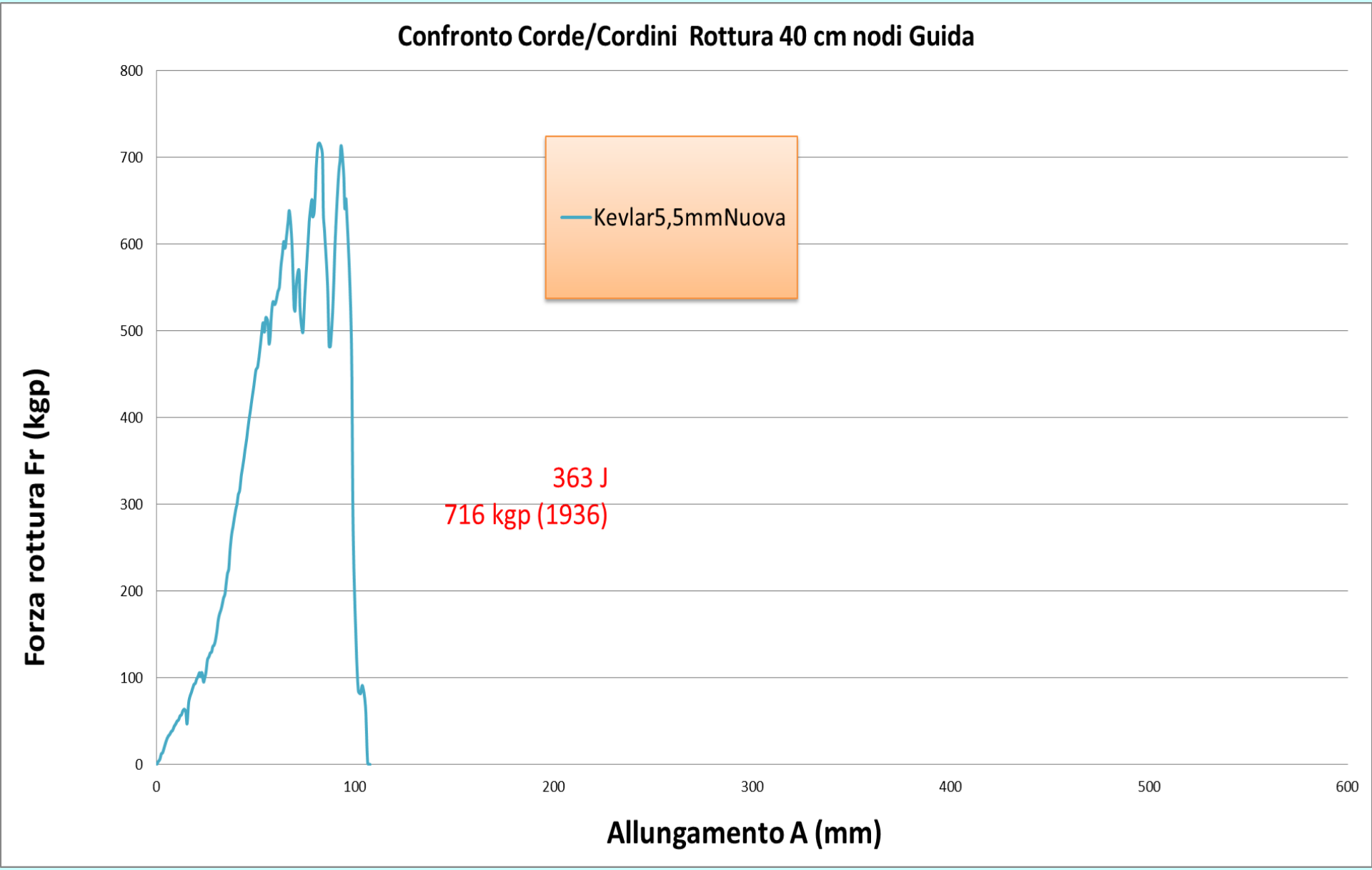
lavoro alla rottura

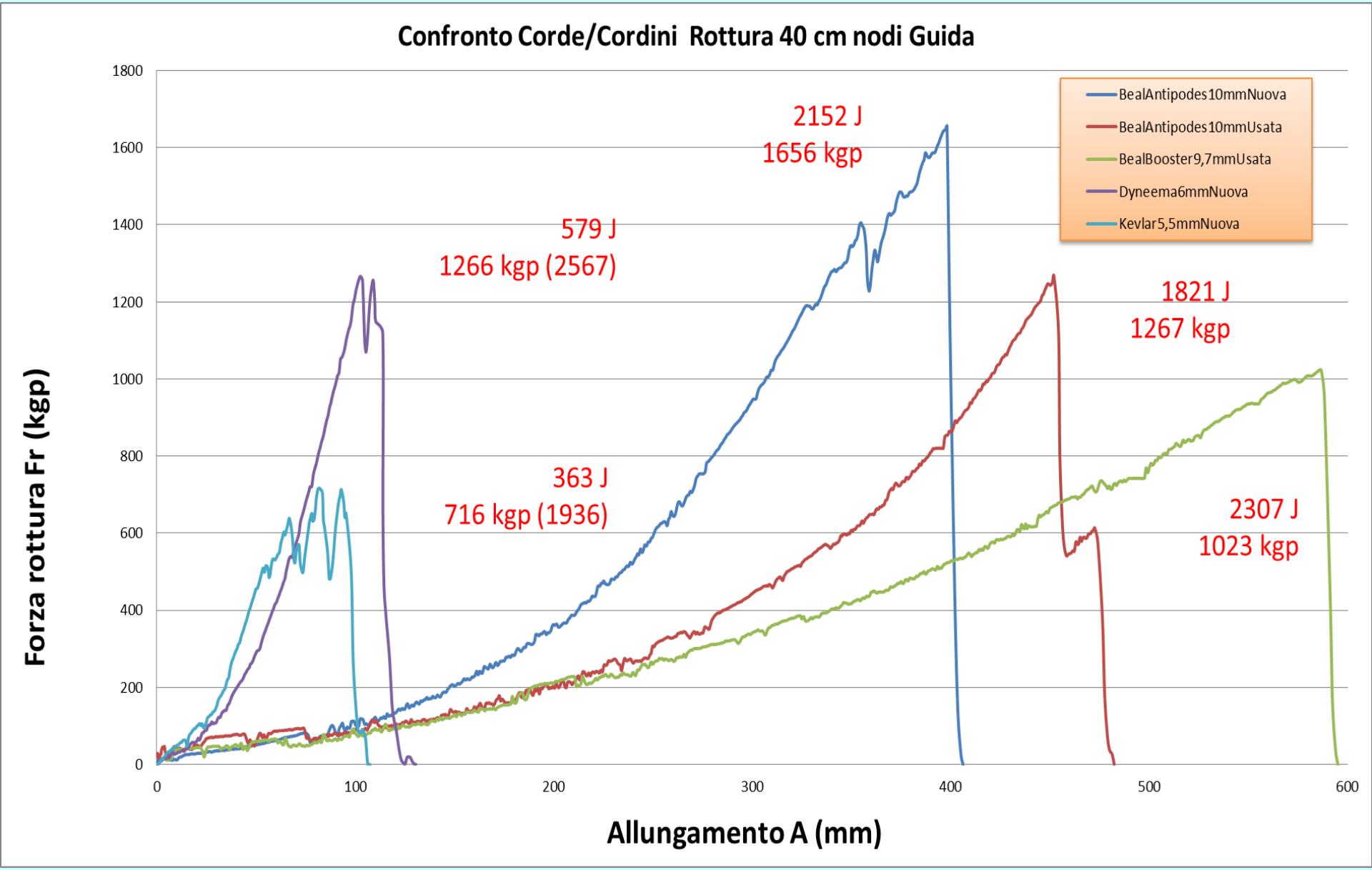

Confronto Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
2152 J
1656 kgp
BealAntipodes10mmNuova
Forza rottura Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
0
100
200
300
400
500
600


Confronto Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
BealAntipodes10mmUsata
1821 J
1267 kgp
Forza rottura Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
0
100
200
300
400
500
600


Confronto Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
1200
1000
800
600
400
200
0
Forza rottura Fr (kgp)
BealBooster9,7mmUsata
2307 J
1023 kgp
0
100
200
300
400
500
600
Allungamento A (mm)


Confronto Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
579 J
1266 kgp (2567)
Dyneema6mmNuova
Forza rottura Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
100
200
300
400
500
600


Confronto Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
Forza rottura Fr (kgp)
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Kevlar5,5mmNuova
363 J
716 kgp (1936)
0
100
200
300
400
500
600
Allungamento A (mm)


Confronto Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
Forza rottura Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
100
200
300
400
500
600
BealAntipodes10mmNuova
BealAntipodes10mmUsata
BealBooster9,7mmUsata
Dyneema6mmNuova
Kevlar5,5mmNuova
2152 J
1656 kgp
579 J
1266 kgp (2567)
1821 J
1267 kgp
363 J
716 kgp (1936)
2307 J
1023 kgp

Cause decadimento corde:

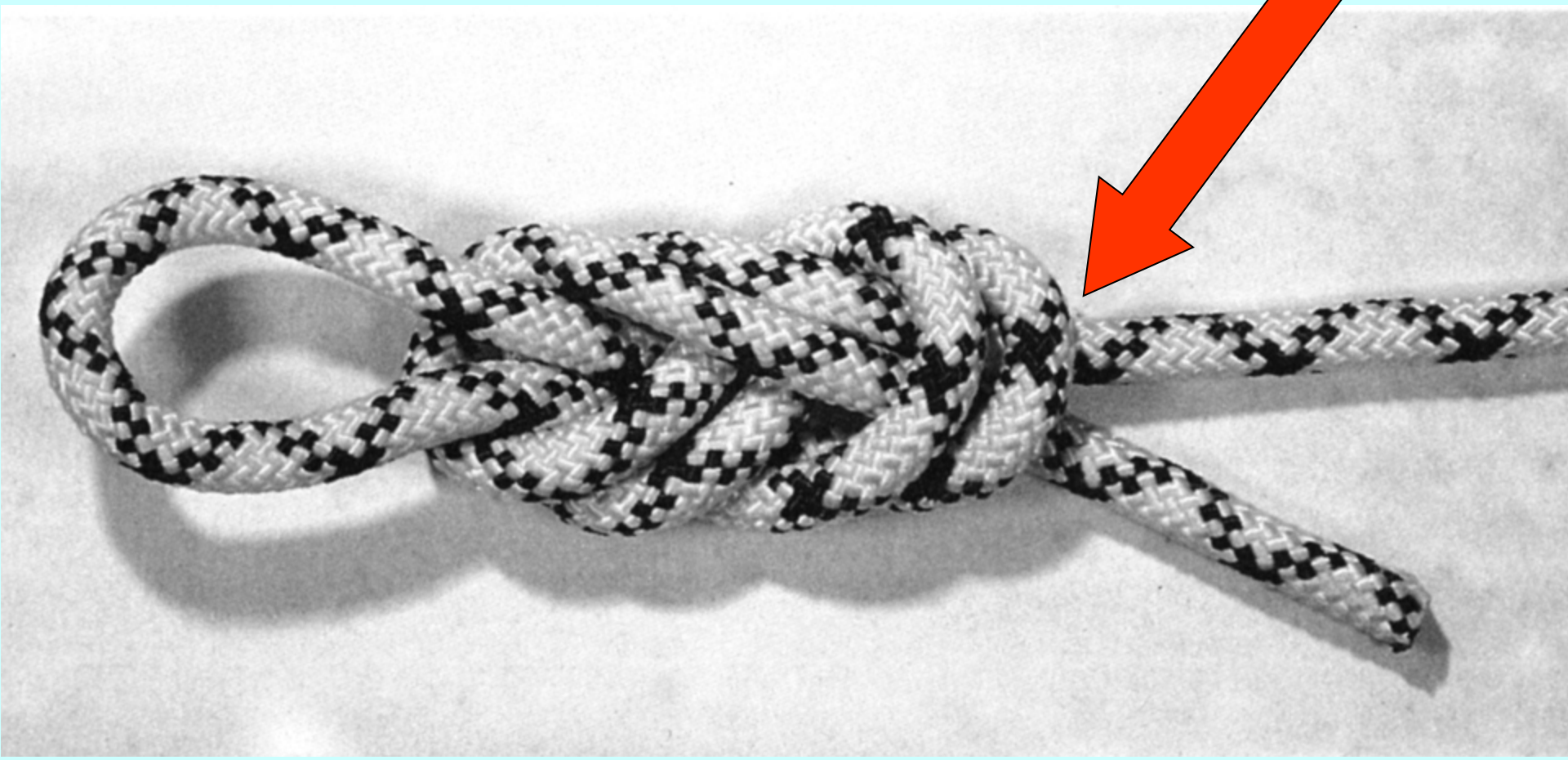
1. effetto temperatura (calore da attriti),
2. idrolisi polimeri
3. rottura per abrasione e/o cedeimento di fili elementari,

Rottura nodi



temperatura

Punto di rottura



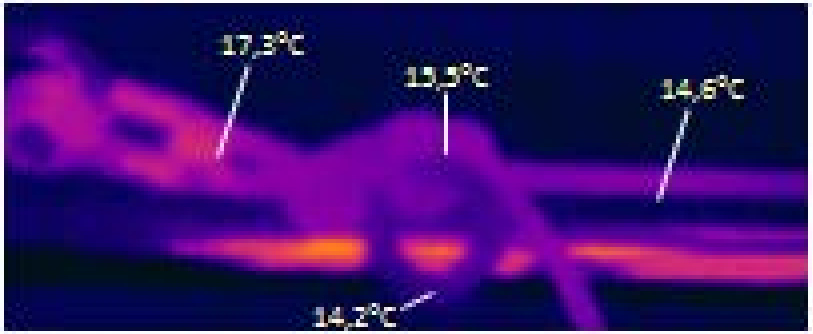
TIPO DI NODO ancoraggio	E 10		E 9		E 8		B 10,2		B 9		MEDIA %
	Frn	%	Frn	%	Frn	%	Frn	%	Frn	%	
Senza nodi	2715	100	2400	100	1673	100	2655	100	1857	100	100
Guida d. sot.	1956	72	1502	63	1067	64	1461	55	1075	58	62
Guida d. sop.	2079	77	1498	62	1023	61	1355	51	990	53	61
Guida con frizione d. sot.	1986	73	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

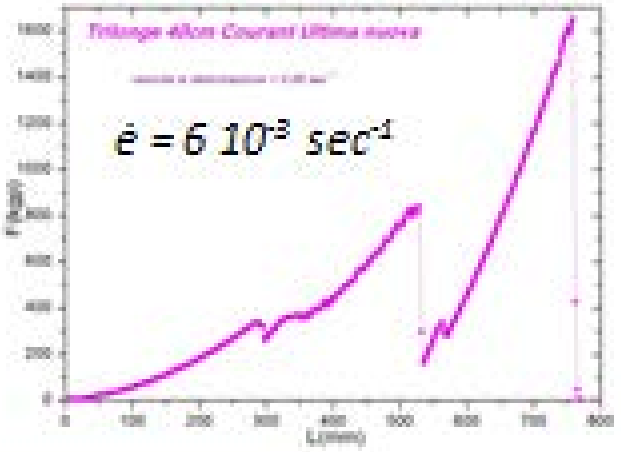

FLIR
FLIR i7
343°F

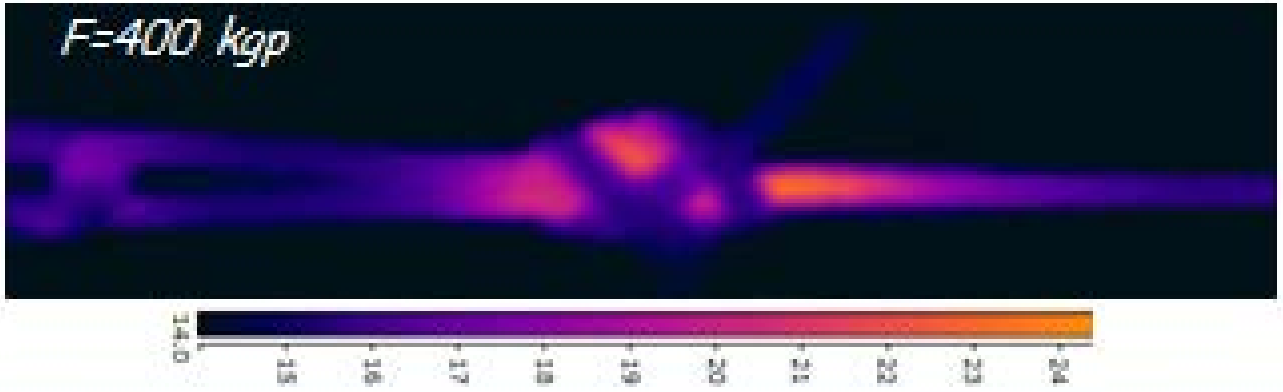

FLIR i7
15.3°C
FLIR

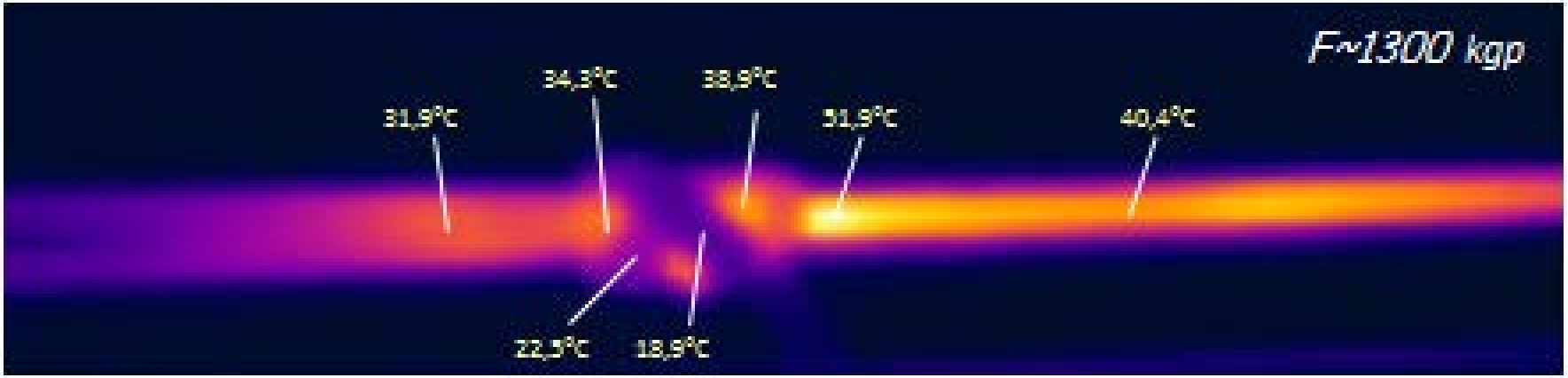
Trilonge Courant Ultima ϕ10mm

F=0 kgp

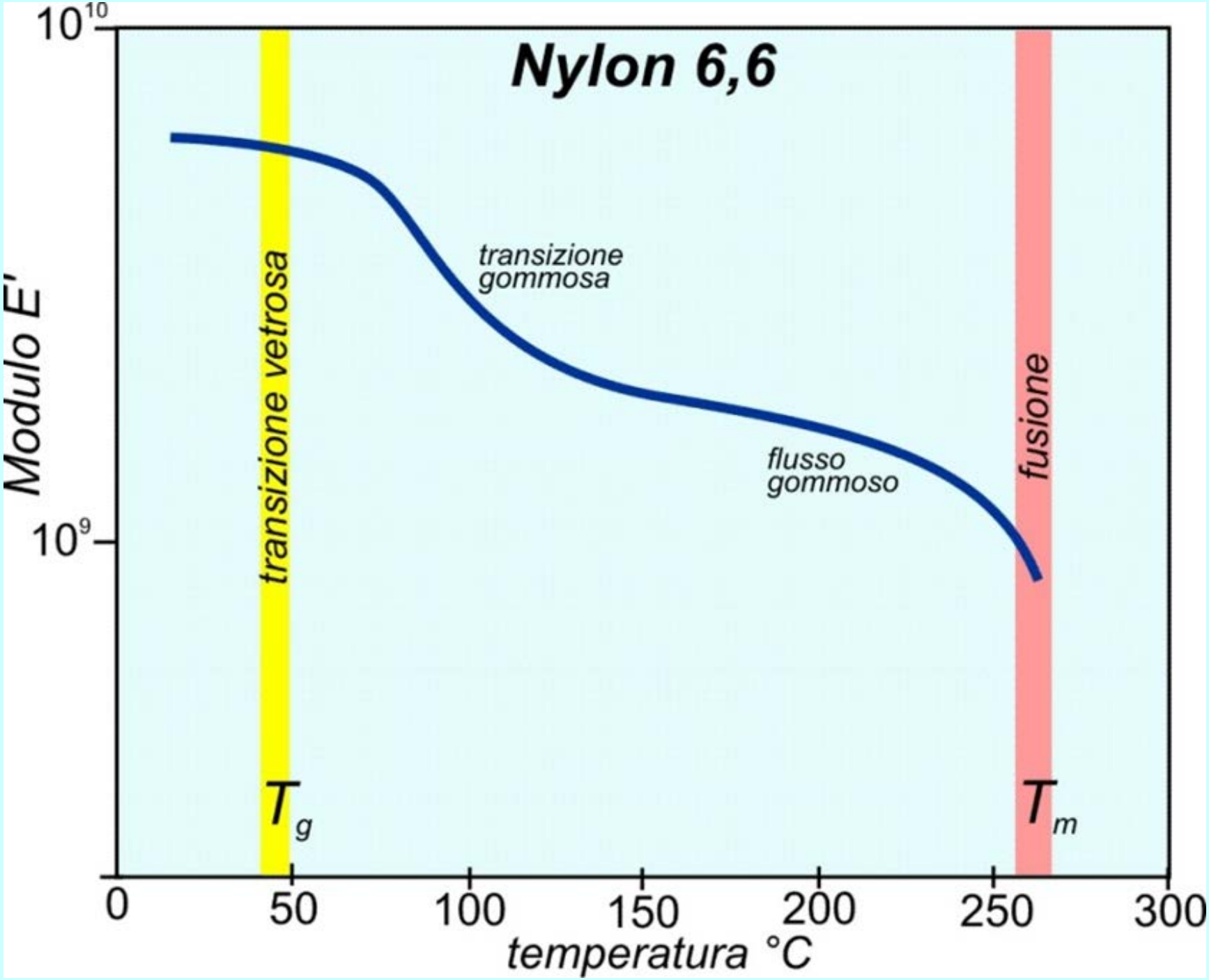




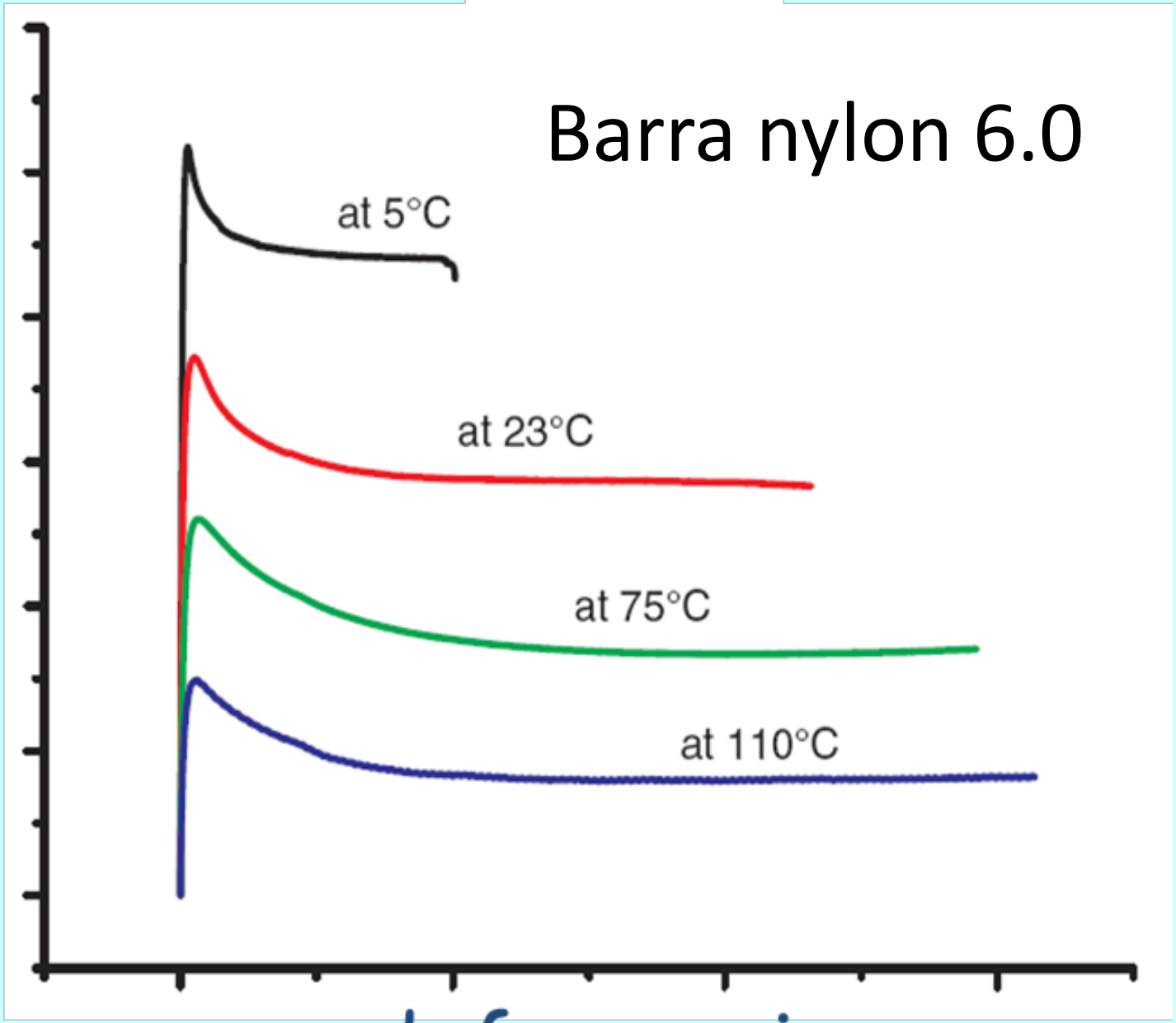


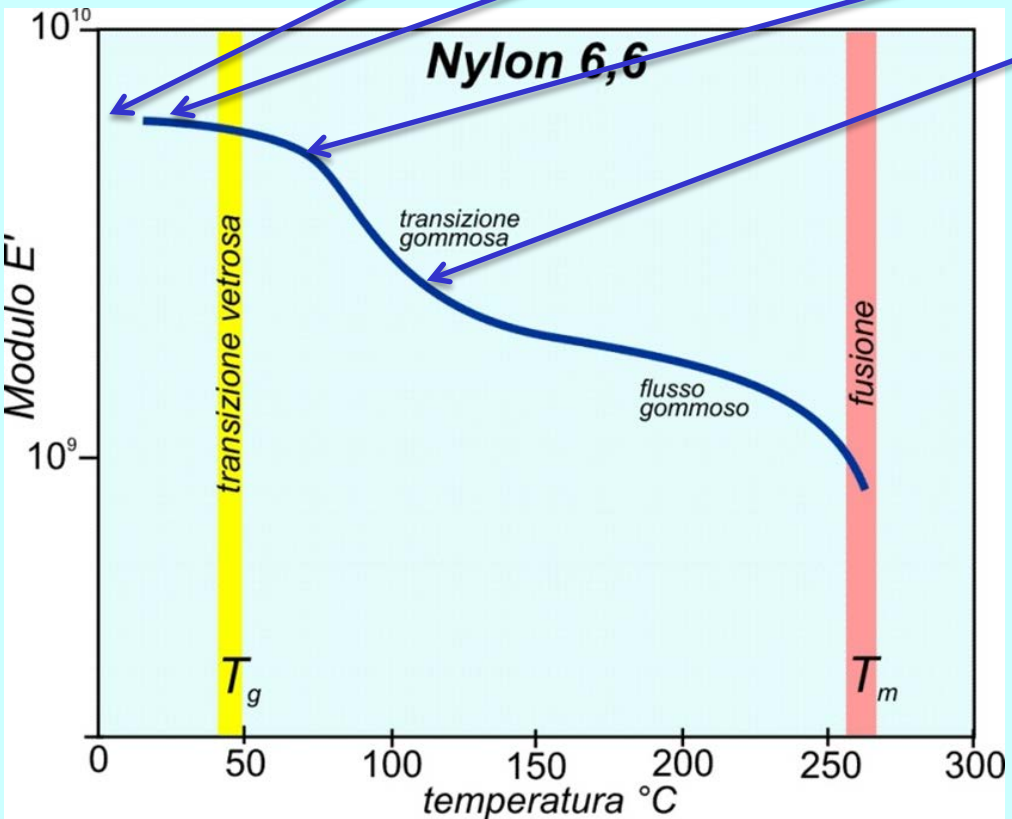


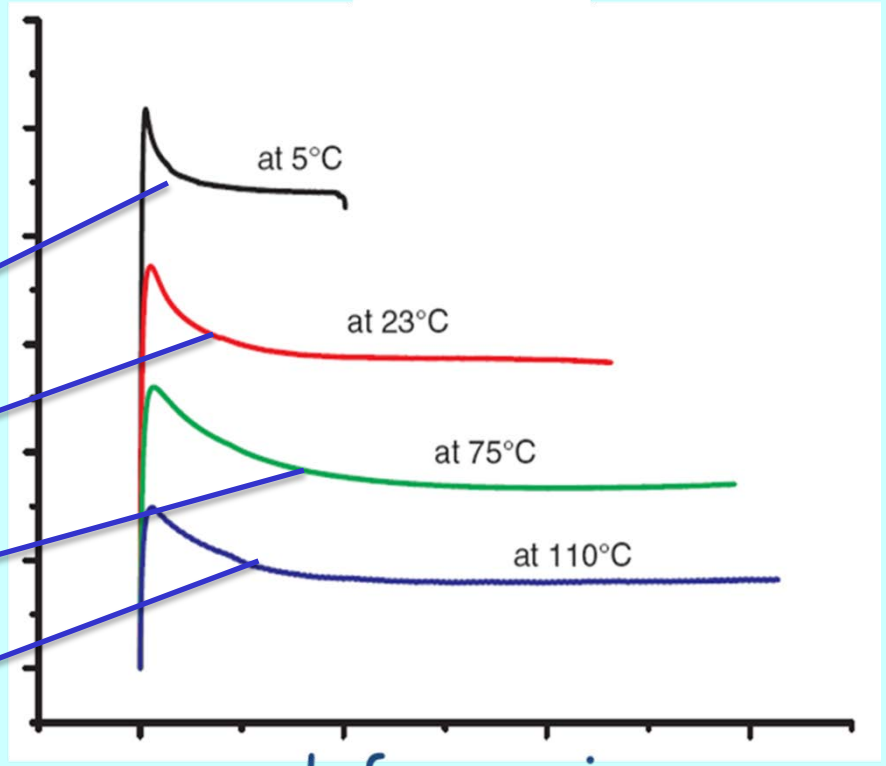



Nylon 6,6
10^{10}
10^{9}
Modulo E'
transizione vetrosa
transizione gommosa
flusso gommoso
fusione
T_g
T_m
0
50
100
150
200
250
300
temperatura °C

Barra nylon 6.0

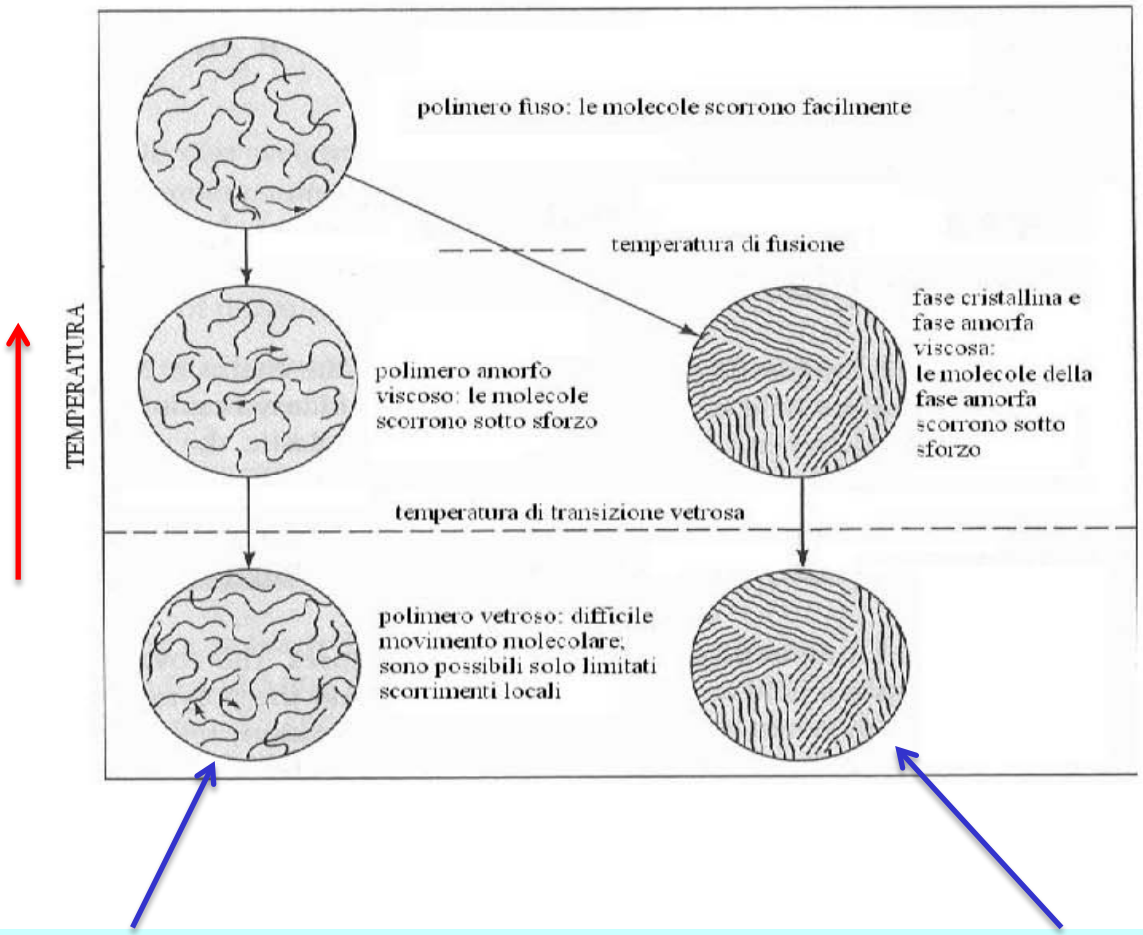



Nylon 6,6
10^{10}
10^{9}
Modulo E'
transizione vetrosa
transizione gommosa
flusso gommoso
fusione
T_g
T_m
0
50
100
150
200
250
300
temperatura °C


sforzo
at 5°C
at 23°C
at 75°C
at 110°C
deformazione

Termoplastici

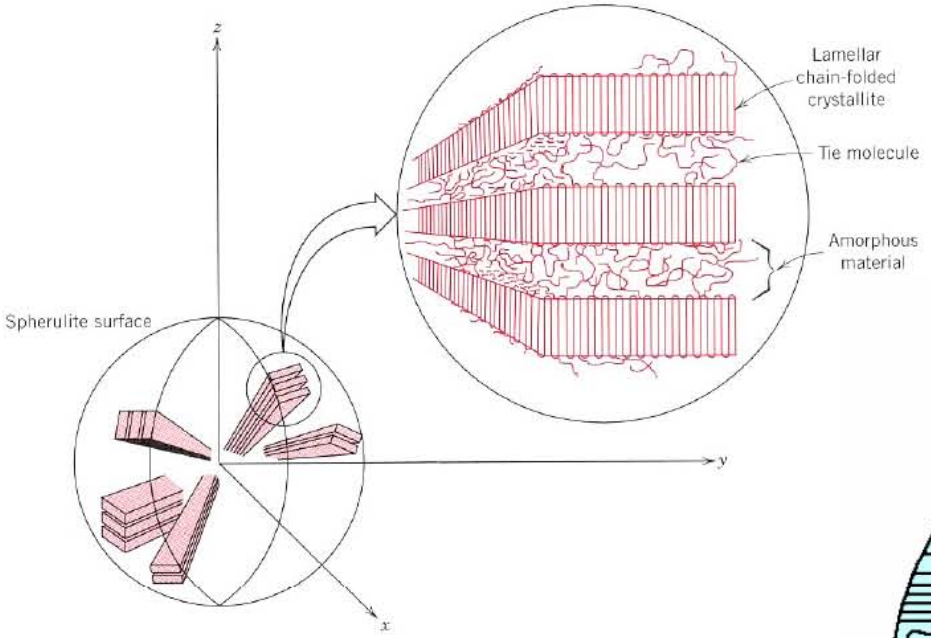
La temperatura di transizione vetrosa e cristallinità

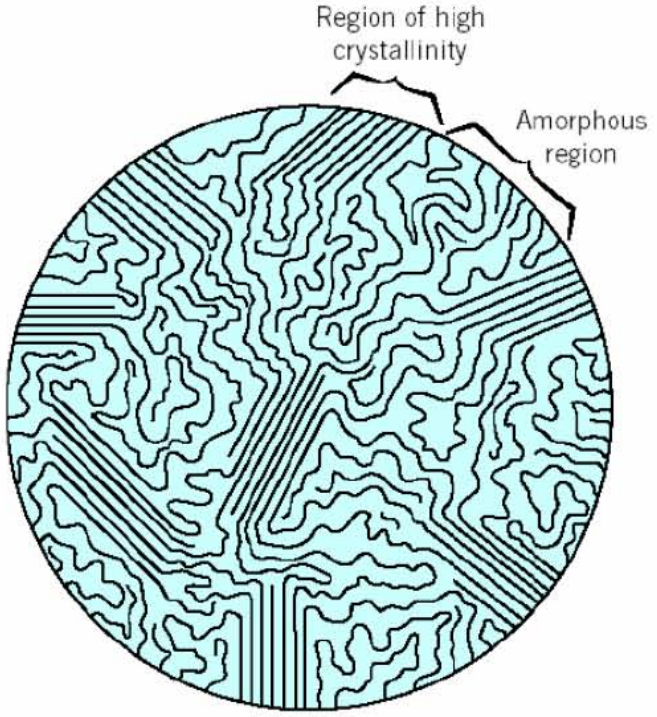


raffreddamento veloce

raffreddamento lento

Modelli morfologici Termoplastici Semicristallini





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

Discensore

Corde: test quasi-statici confronto dati nuove/usate

Beal Antipodes 10 mm Nylon 6

	Nuova	*Usata*	*Diminuzione %*
$F_{r\ corda\ (kgp)}$	2666	1370	49
$F_{r\ calza\ (kgp)}$	1046	470	55
$F_{r\ trefolo\ (kgp)}$	141	75	47
Diametro efficace (mm)	7,9	5,7	28
Punto fusione (°C)	218	218	

Beal Booster III 9,7 mm Nylon 6

	Nuova	*Usata*	*Diminuzione %*
$F_{r\ corda\ (kgp)}$	1862	1130	39
$F_{r\ calza\ (kgp)}$	764	372	51
$F_{r\ trefolo\ (kgp)}$	120	98	18
Diametro efficace (mm)	6,6	5,1	23
Punto fusione (°C)	218	218	

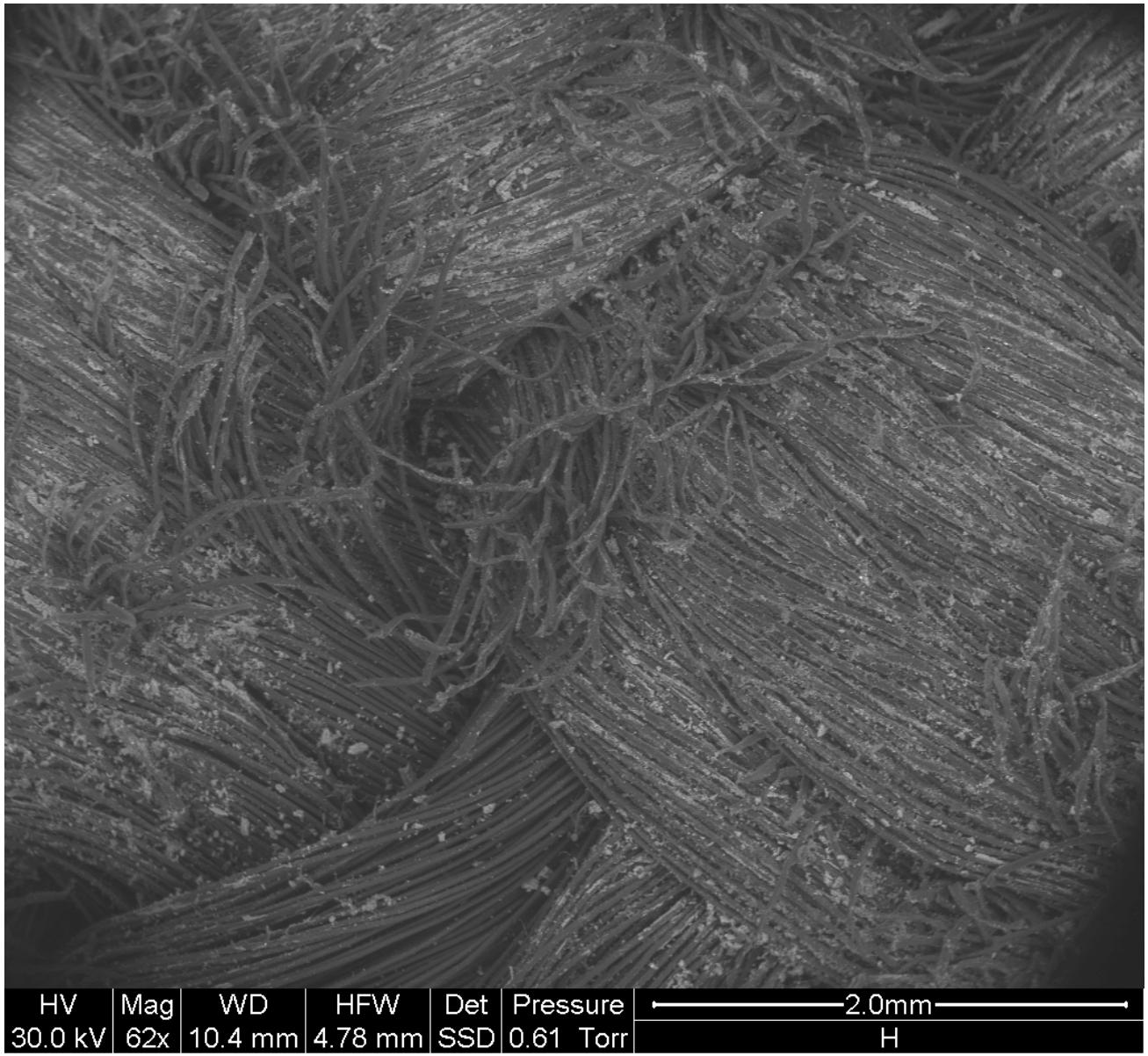
Cavalieri Cave Explorer 10,6 mm Nylon 6.6

	Nuova	*Usata*	*Diminuzione %*
$F_{r\ corda\ (kgp)}$	3344	1533	54
$F_{r\ calza\ (kgp)}$	864	566	34
$F_{r\ trefolo\ (kgp)}$	157	116	26
Diametro efficace (mm)	7,6	5,1	33
Punto fusione (°C)	265		

Rottura fili elementari:

1. per abrasione,
2. per cedimento sotto trazione

Corda Beal Antipod ϕ 10 mm usata (CENS)





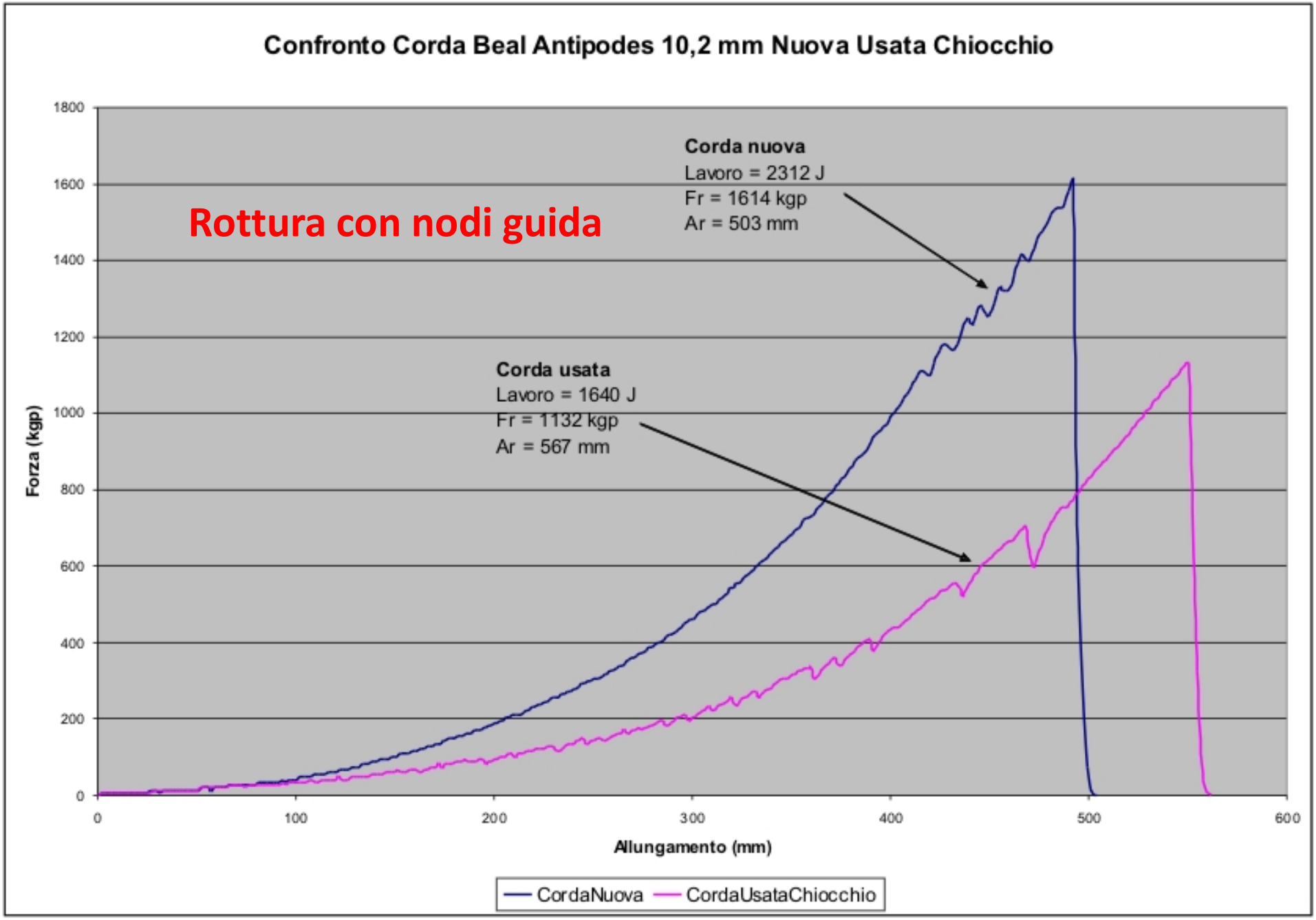
Idrolisi poliammide (nylon)

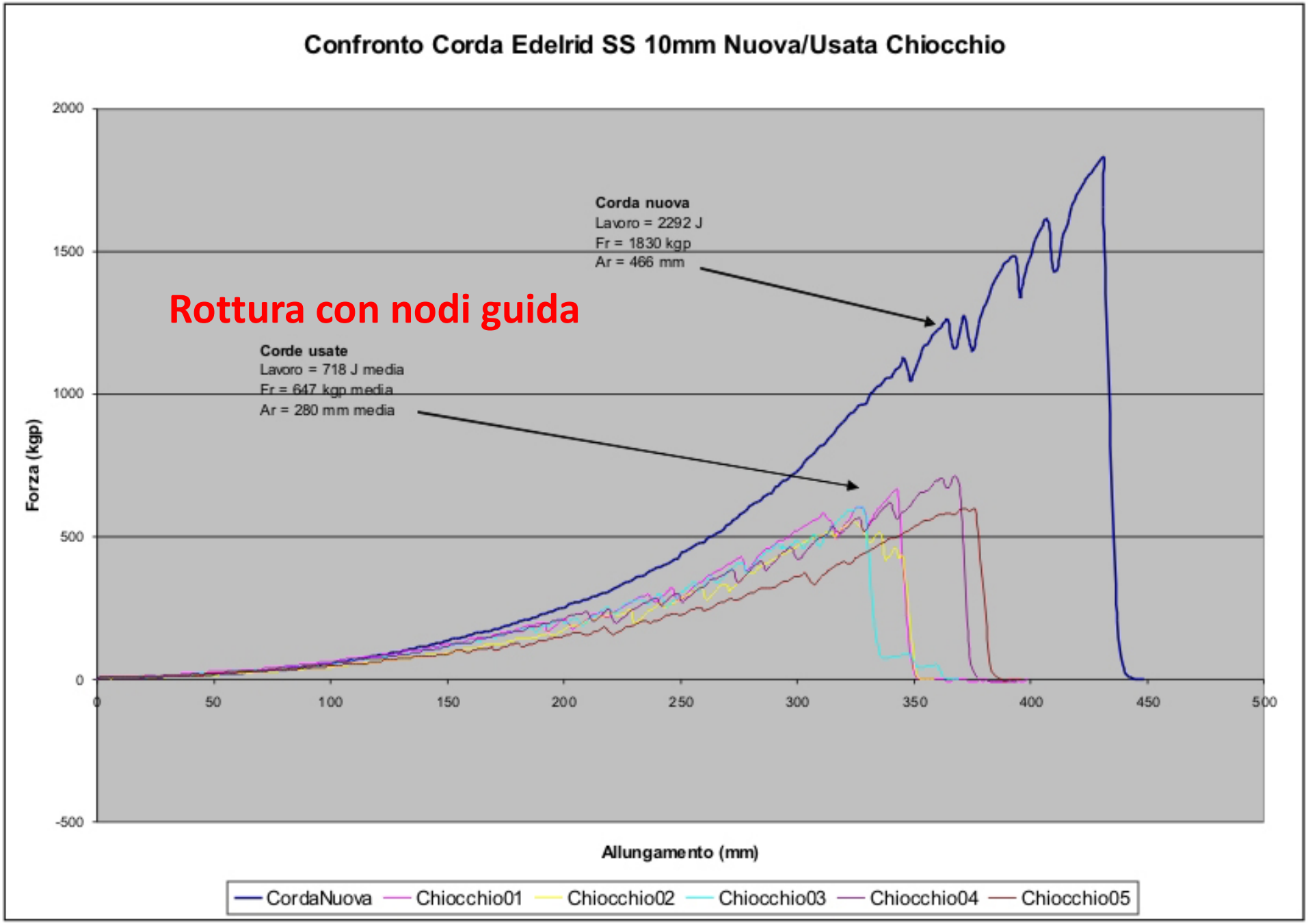


Corda Beal
Antipodes 10 mm

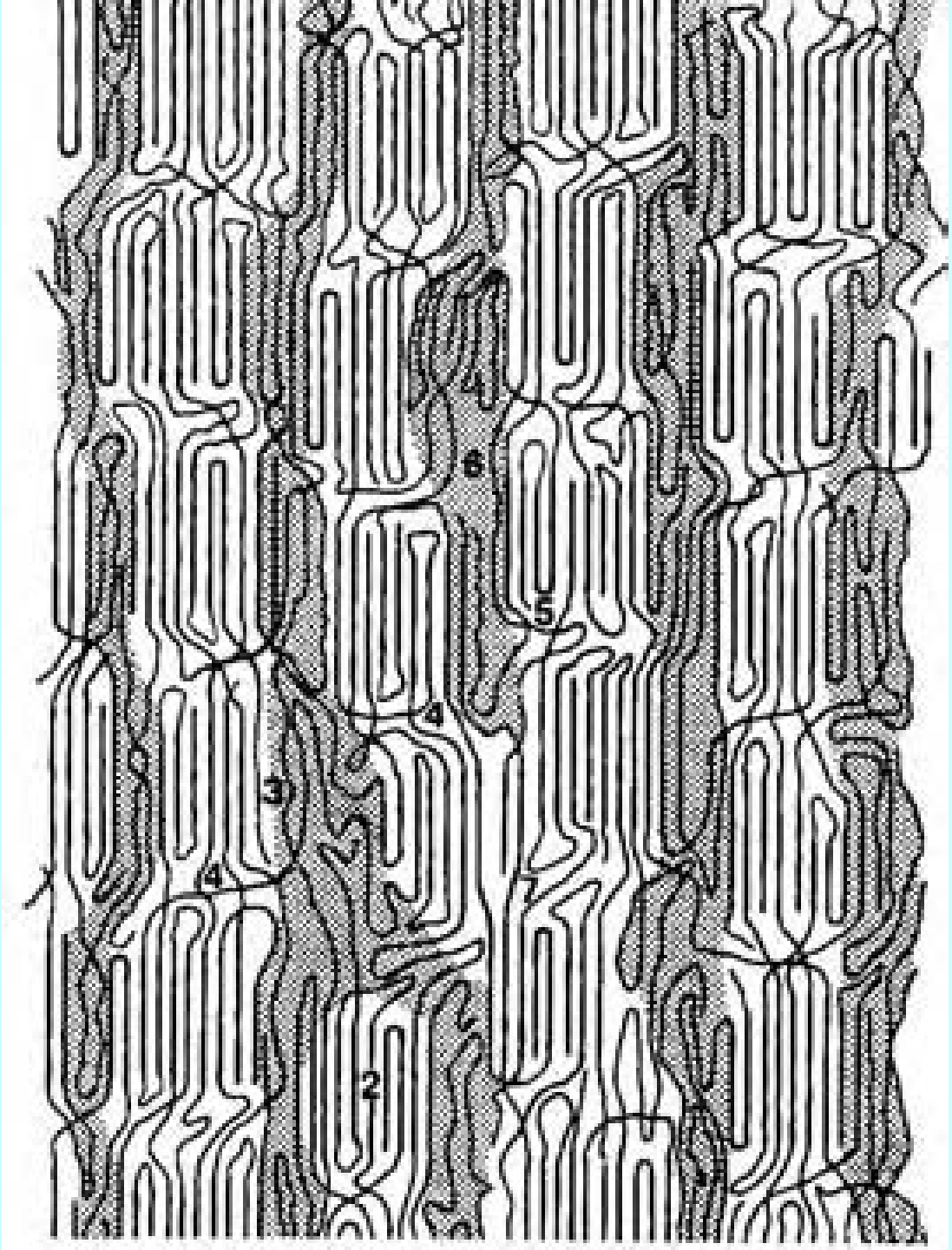
Corda Edelrid SS
10 mm

5 anni in grotta
molto bagnata
(attiva)


Confronto Corda Beal Antipodes 10,2 mm Nuova Usata Chiocchio
Rottura con nodi guida
Corda nuova
Lavoro = 2312 J
Fr = 1614 kgp
Ar = 503 mm
Corda usata
Lavoro = 1640 J
Fr = 1132 kgp
Ar = 567 mm
Forza (kgp)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
100
200
300
400
500
600
Allungamento (mm)
CordaNuova
CordaUsataChiocchio

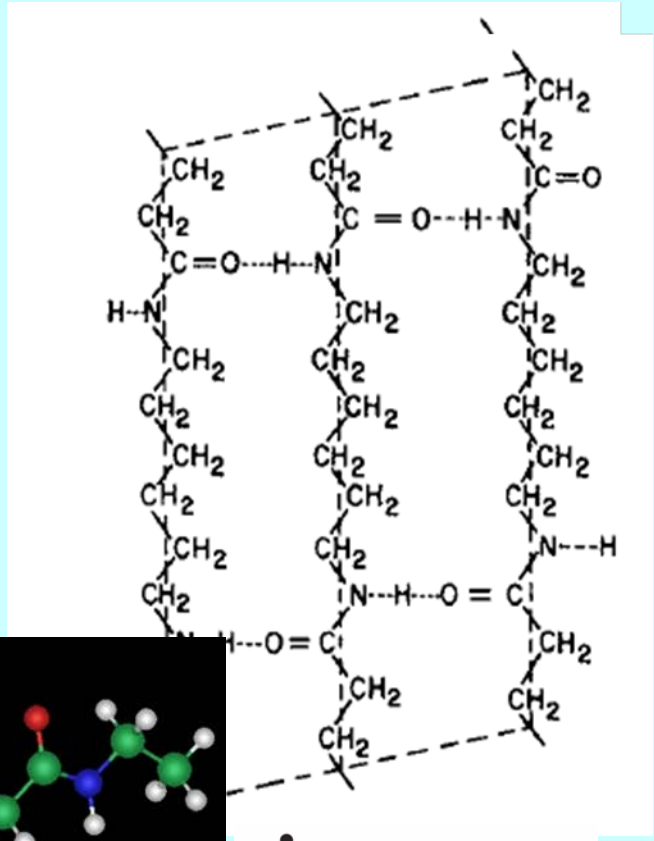

Confronto Corda Edelrid SS 10mm Nuova/Usata Chiocchio
Corda nuova
Lavoro = 2292 J
Fr = 1830 kgp
Ar = 466 mm
Rottura con nodi guida
Corde usate
Lavoro = 718 J media
Fr = 647 kgp media
Ar = 280 mm media
Forza (kgp)
2000
1500
1000
500
0
-500
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
Allungamento (mm)
CordaNuova
Chiocchio01
Chiocchio02
Chiocchio03
Chiocchio04
Chiocchio05

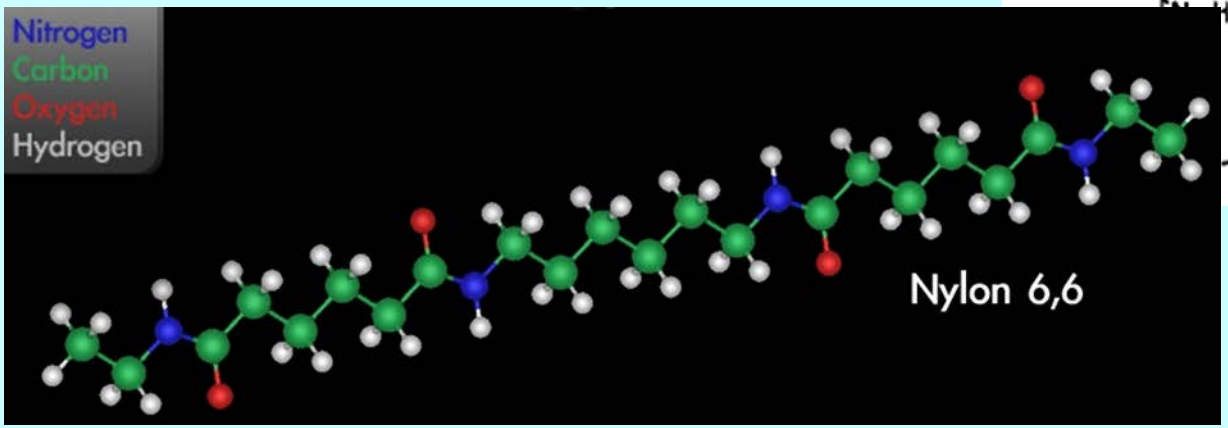
Oltre temperatura, abrasione e cedimento anche .....

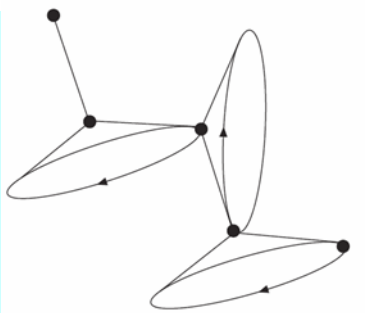

6
5
4
3
4
2

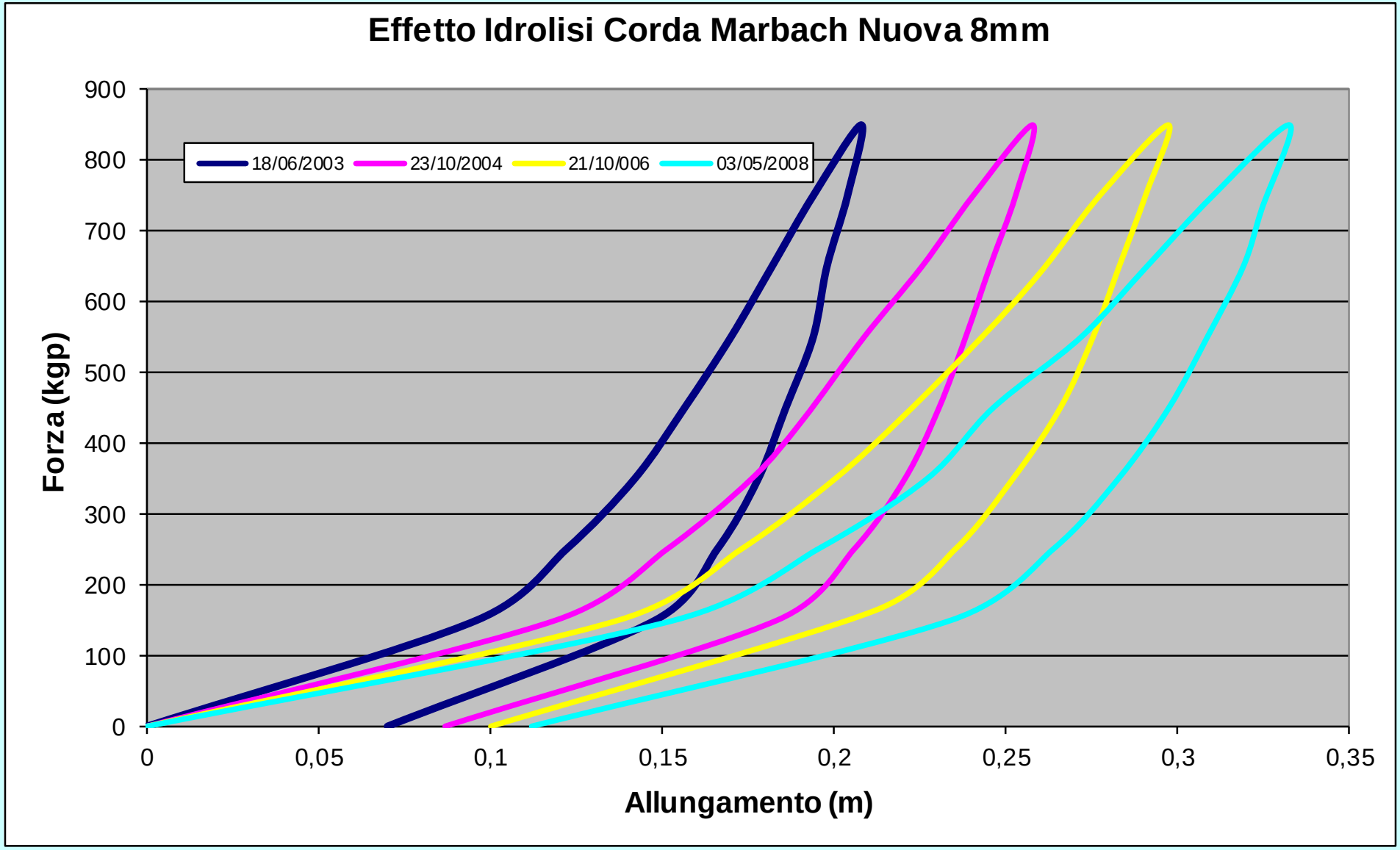
Nylon 6.6.

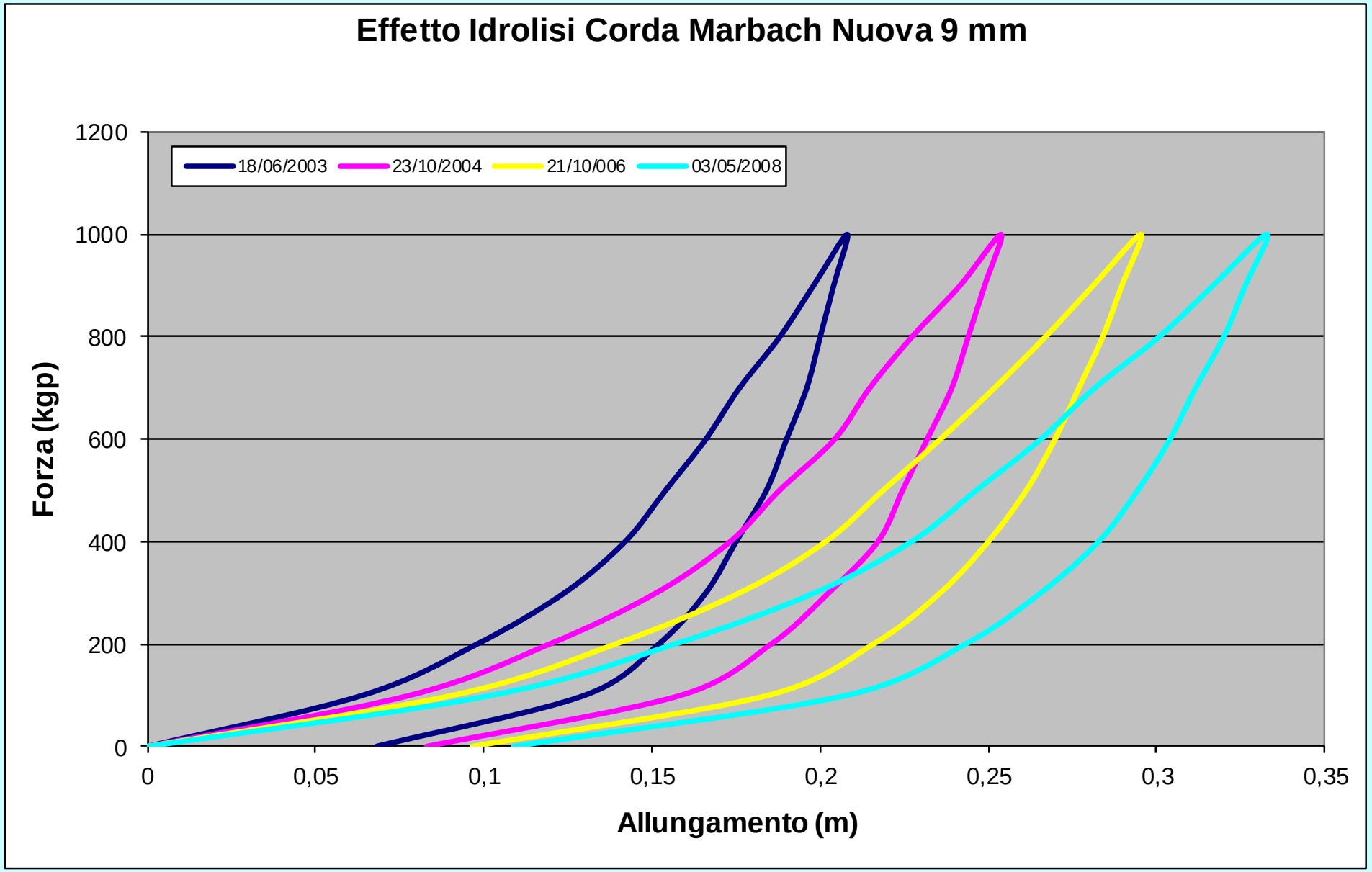
- punto di fusione 265°C
- transizione vetrosa a circa 45°C
- densità (cristallina a 25°C) 1,15 g/cm3
- cond. termica 0,25 W/mK

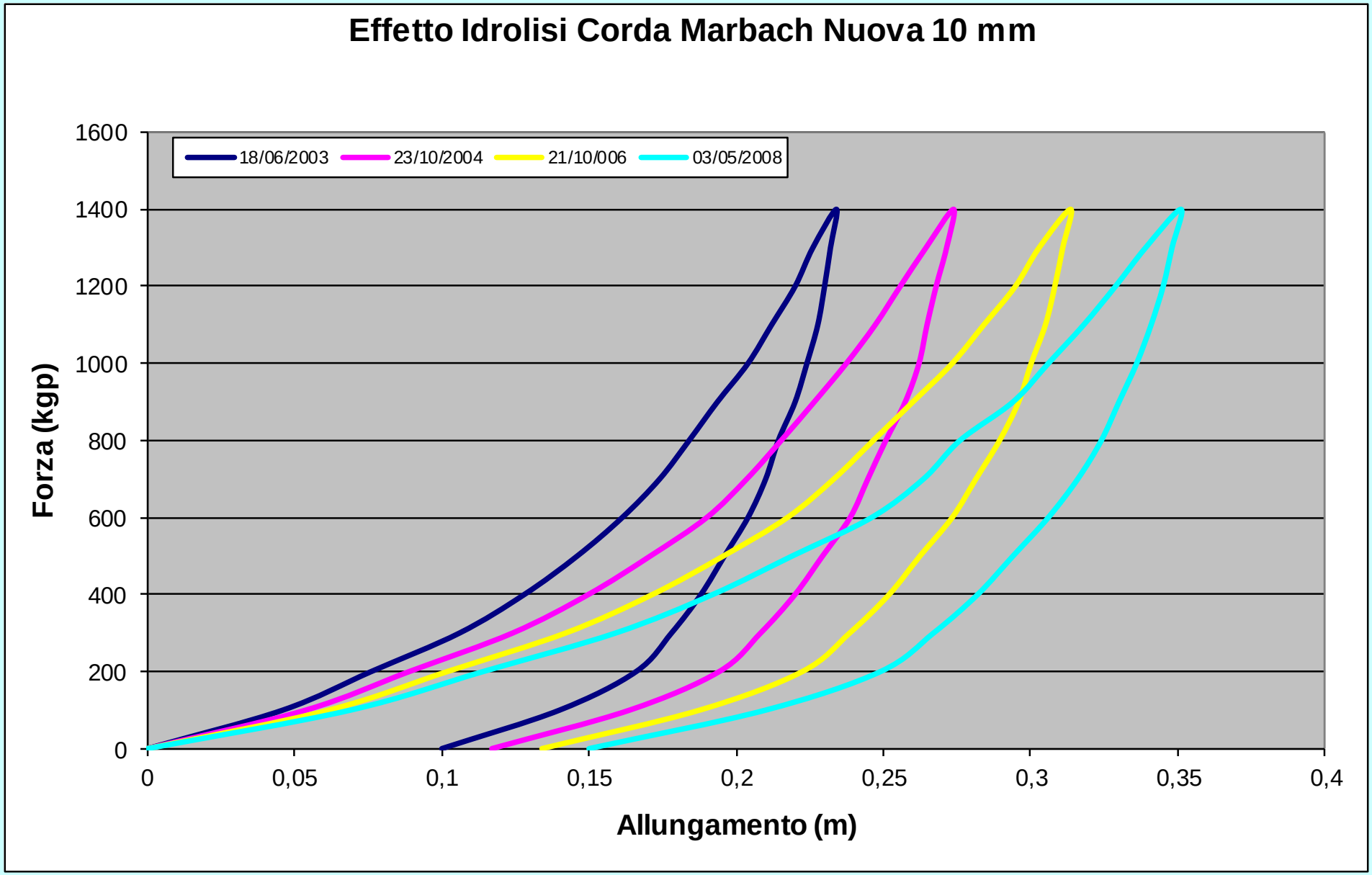


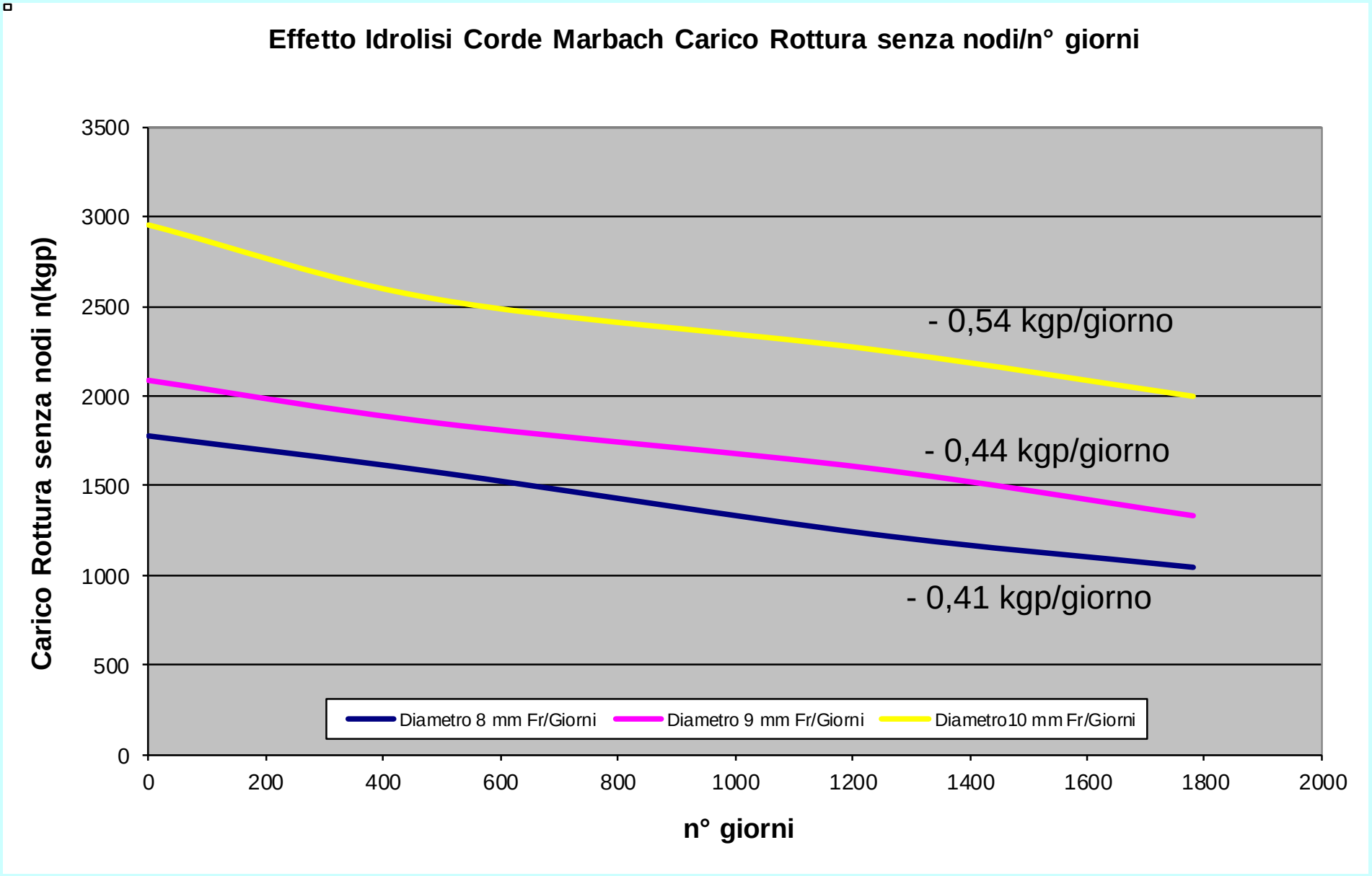


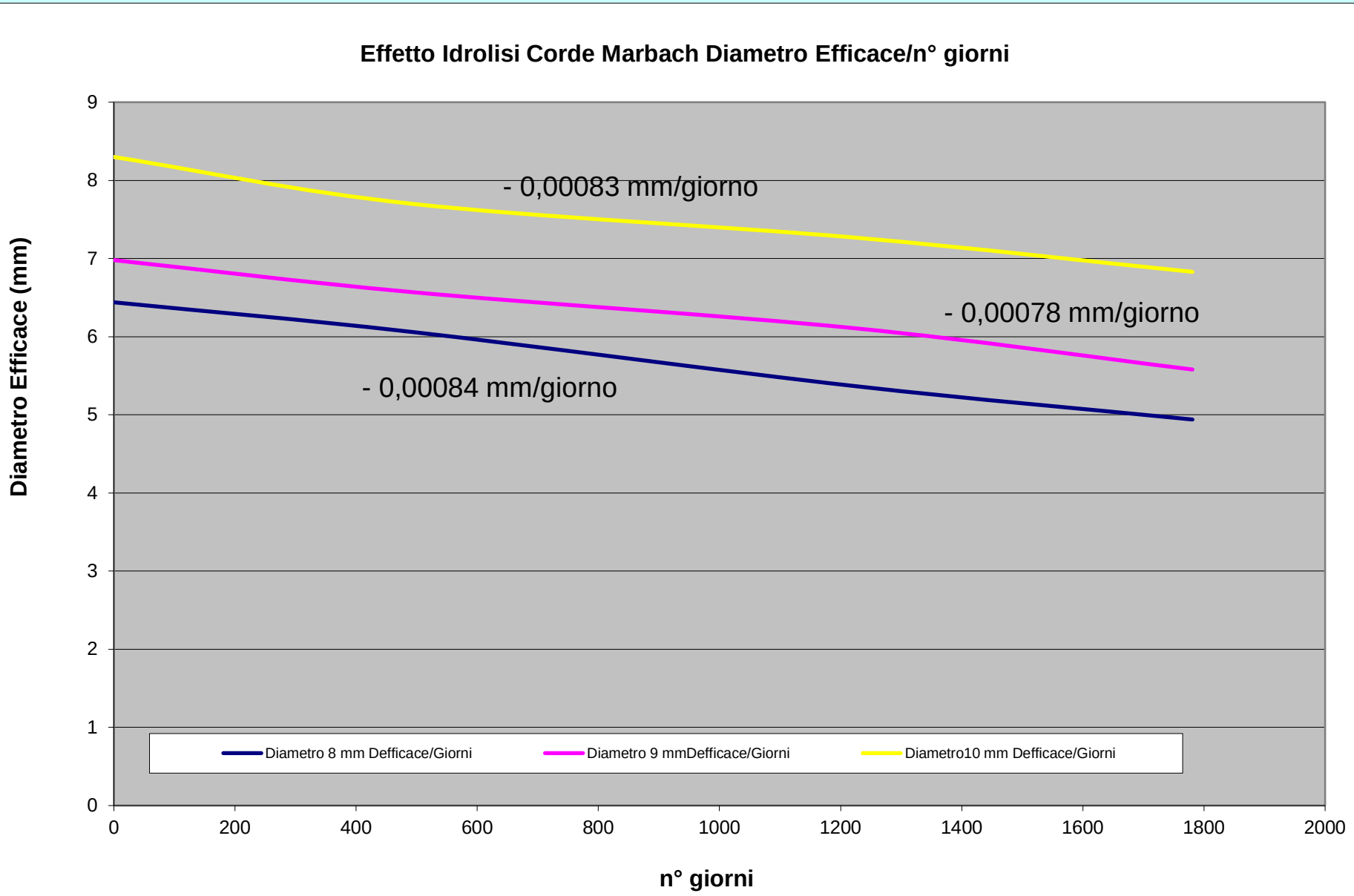



Effetto Idrolisi Corda Marbach Nuova 8mm
18/06/2003
23/10/2004
21/10/006
03/05/2008
Forza (kgp)
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
0,05
0,1
0,15
0,2
0,25
0,3
0,35
Allungamento (m)


Effetto Idrolisi Corda Marbach Nuova 9 mm
18/06/2003
23/10/2004
21/10/006
03/05/2008
1200
1000
800
600
400
200
0
Forza (kgp)
0
0,05
0,1
0,15
0,2
0,25
0,3
0,35
Allungamento (m)


Effetto Idrolisi Corda Marbach Nuova 10 mm
18/06/2003
23/10/2004
21/10/006
03/05/2008
Forza (kgp)
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
0,05
0,1
0,15
0,2
0,25
0,3
0,35
0,4
Allungamento (m)


Effetto Idrolisi Corde Marbach Carico Rottura senza nodi/n° giorni
Carico Rottura senza nodi n(kgp)
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
n° giorni
- 0,54 kgp/giorno
- 0,44 kgp/giorno
- 0,41 kgp/giorno
Diametro 8 mm Fr/Giorni
Diametro 9 mm Fr/Giorni
Diametro10 mm Fr/Giorni


Effetto Idrolisi Corde Marbach Diametro Efficace/n° giorni
Diametro Efficace (mm)
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
- 0,00083 mm/giorno
- 0,00078 mm/giorno
- 0,00084 mm/giorno
Diametro 8 mm Defficace/Giorni
Diametro 9 mmDefficace/Giorni
Diametro10 mm Defficace/Giorni
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
n° giorni

Corde usate

1

Prova usura trazione

quasi-statica

Prova di usura corde

Durata 24 mesi

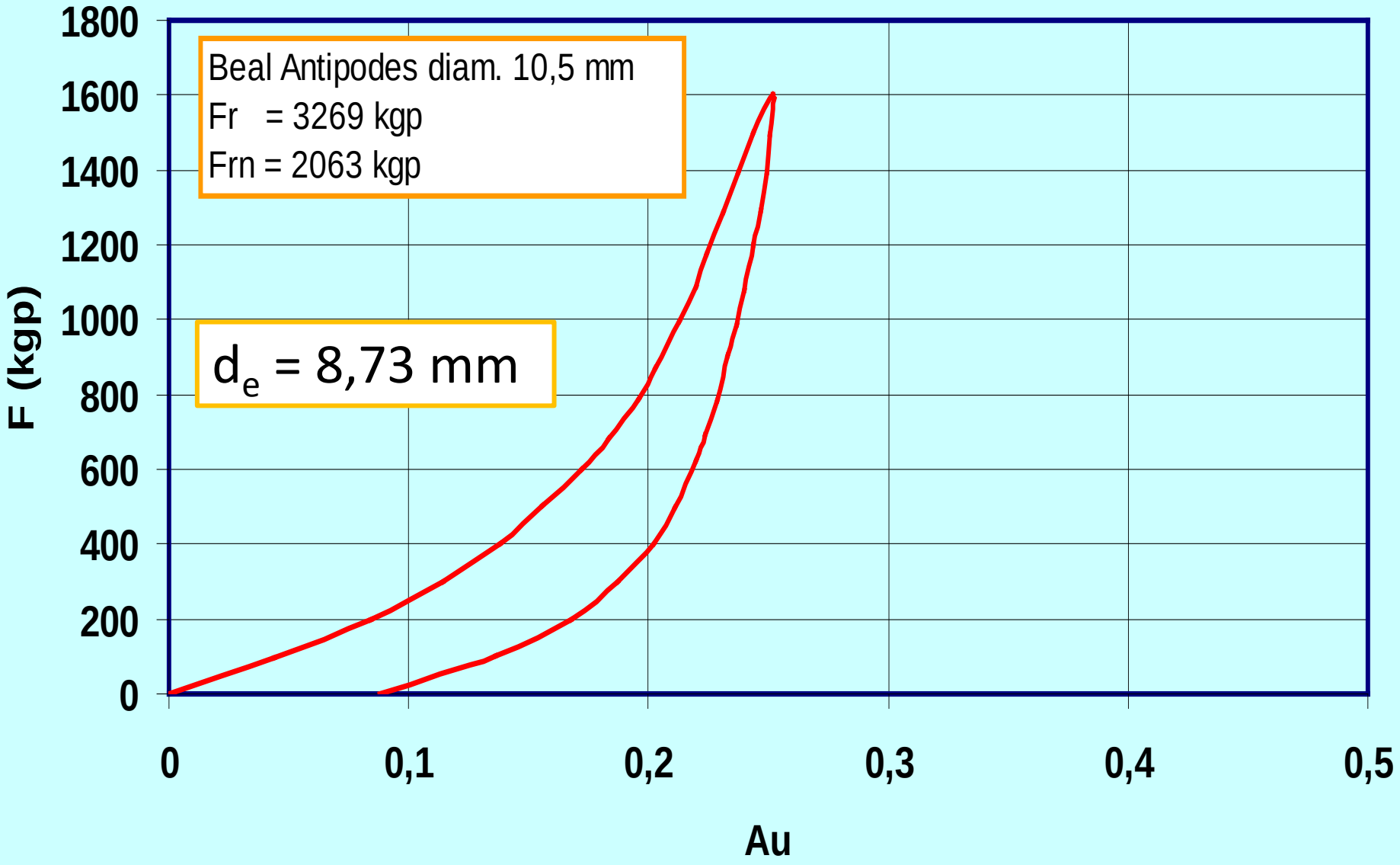
Corda Beal Antipodes 10,5 mm

20 campioni da 40 m:

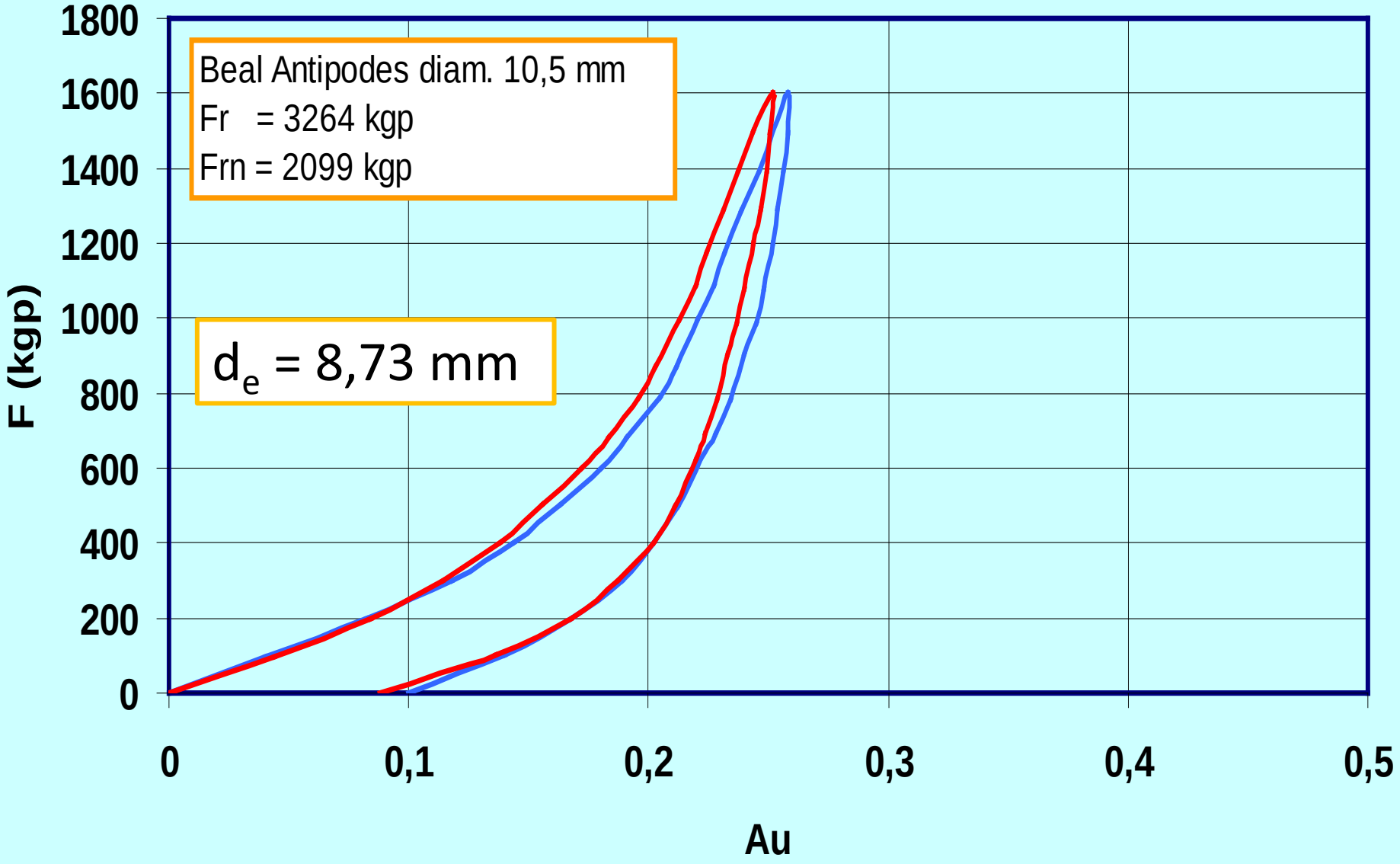
1 campione per condizioni iniziali,
1 campione conservato al buio,
14 campioni consegnati ai GS

n° campione	Gruppo Speleologico	Note
1	CENS Costacciaro	Corda nuova, uscita di fabbrica da appena 30 giorni
2	CENS Costacciaro	Corda nuova, non usata in alcun modo e chiusa in assenza di luce e scambi gassosi
3	Gruppo Speleologico CAI Napoli	Grotte del Matese e dei Monti Alburni. Discese: 61 Salite: 85
4	Gruppo Grotte CAI Carnago	Pozzo Abisso G.V. Schiaparelli (Campo dei Fiori): calcare selcifero con acqua. Discese: 130 Salite: 130
5	Gruppo Grotte "Solve" CAI Belluno	Forre, soprattutto, e grotte del bellunese. Discese: 24 Salite:10
6	Gruppo Speleologico CAI Macerata	Grotte varie dell'Appennino umbro marchigiano/palestre/forre. Discese: 241 Salite: 230
7	Gruppo Speleologico CAI Feltre	Abisso dei Piani Eterni. Temperatura sempre fra -2°C e +1°C. Passaggi teleferica: 108. Discese: 42 Salite: 42
8	Comm. Grotte Boegan CAI-SAG Trieste	25 uscite in Canin e nel Carso triestino. Discese: 100 Salite: 100
9	Speleo G.A.M. Mezzano	Grotte nei gessi, con molta acqua e fango. Discese: 271 Salite: 271
10	Gruppo Grotte CAI Saronno	Grotte/forre/palestre, anche con calcari selciferi e acqua. Discese: 382 Salite: 382
11	Gruppo Speleologico CAI Cento Talpe	Palestra esterna e grotte varie, anche nei gessi, con fango e acqua. Discese: 103 Salite: 103
12	Gruppo Grotte "E.Roner" CAI-SAT Rovereto	Grotte/palestre/forre del Trentino, anche a bassa temperatura e con acqua. Discese: 156 Salite: 156
13	Gruppo Grotte XXX Ottobre CAI Trieste	Grotte/palestre del Carso triestino, in genere asciutte. Discese: 62 Salite: 62
14	Gruppo Grotte Giara Modon CAI Valstagna	Varie grotte, poi armo fisso per 21 mesi su primo pozzo (esterno) dell'Abisso Pianca. Discese: 108 Salite: 108
15	Gruppo Speleologico CAI Bolzaneto	Grotte varie del Marguareis, Alpi Apuane (Arnetola), Liguria/palestra esterna. Discese: 343 Salite: 343
16	Gruppo Speleologico CAI Lucca	Grotte varie delle Alpi Apuane/forre/palestre. Discese: 264 Salite: 264

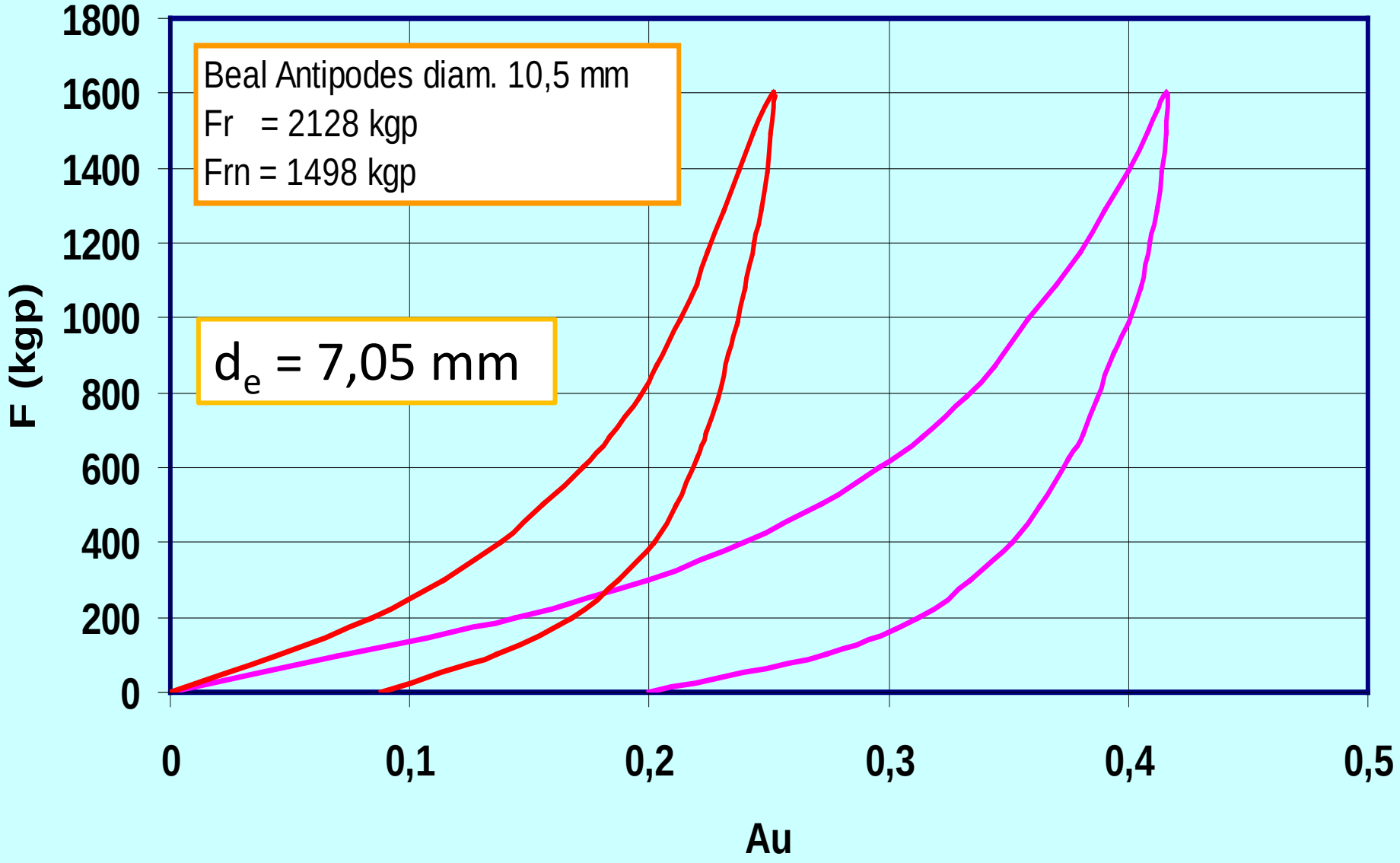
Carico/scarico Corda01 (nuova)



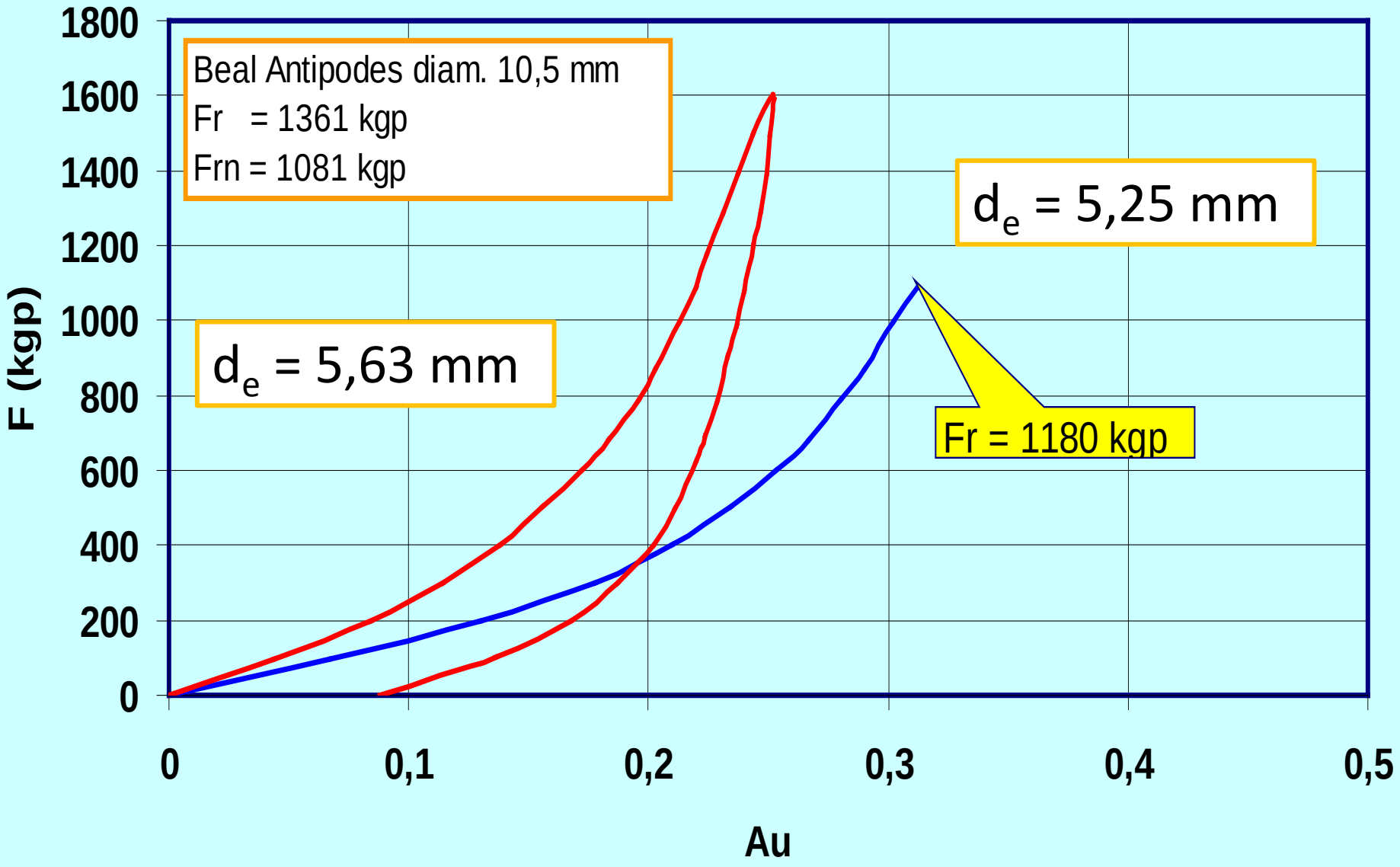
Carico/scarico Corda02 (conservata 2 anni)



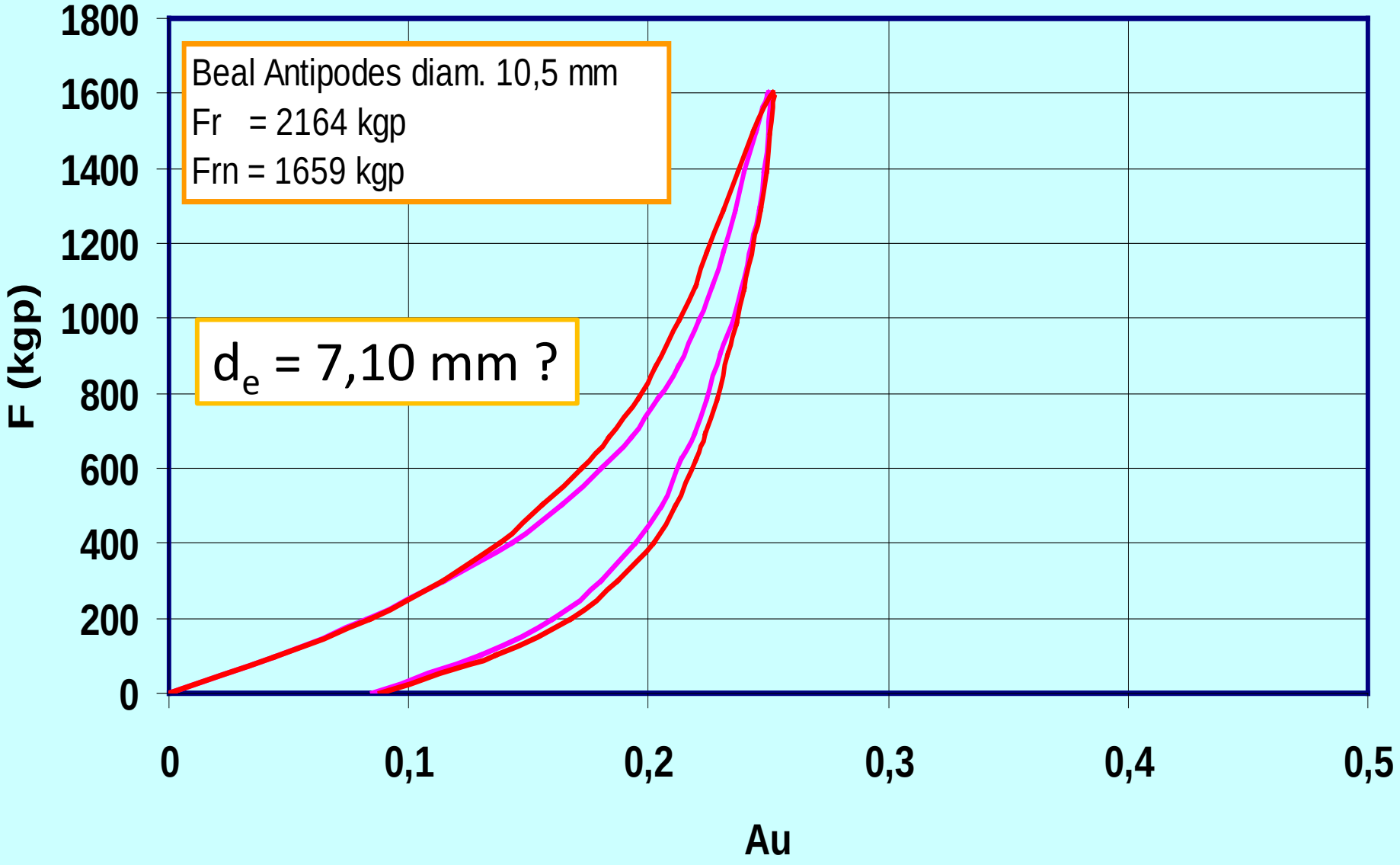
Carico/scarico Corda03 (GS CAI Napoli)



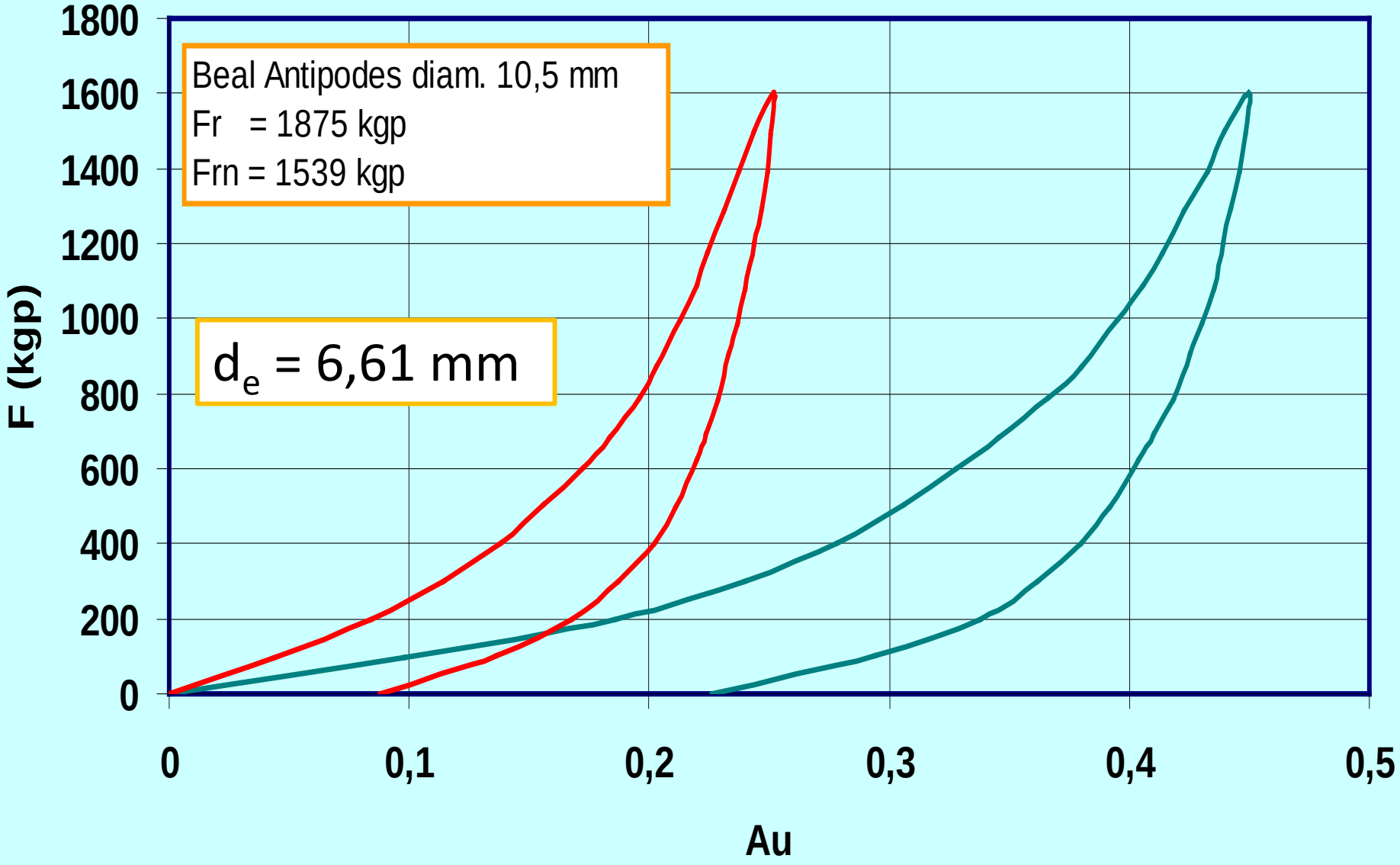
Carico/scarico Corda04 (GG CAI Carnago)



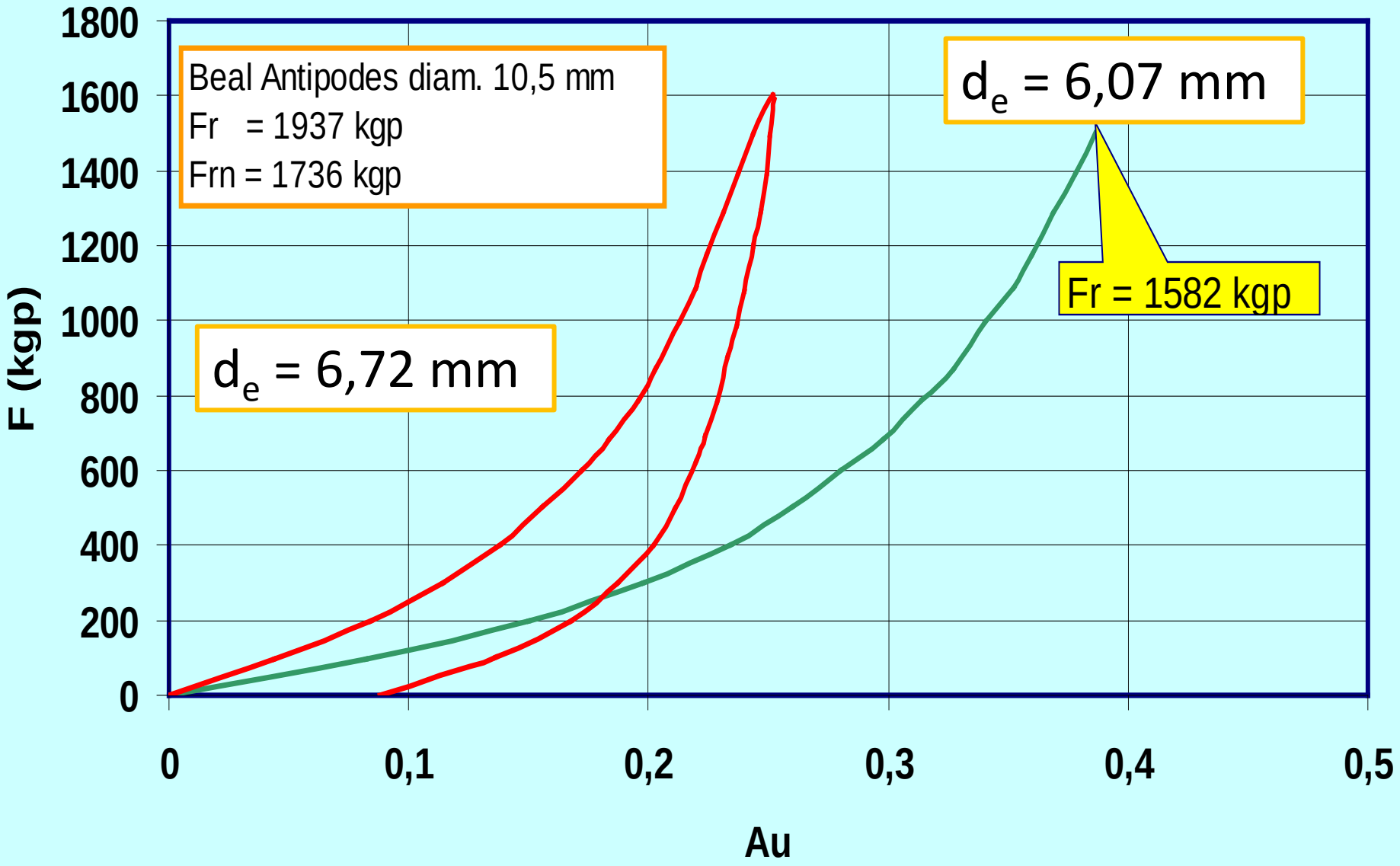
Carico/scarico Corda05 (GG Cai Belluno Solve)



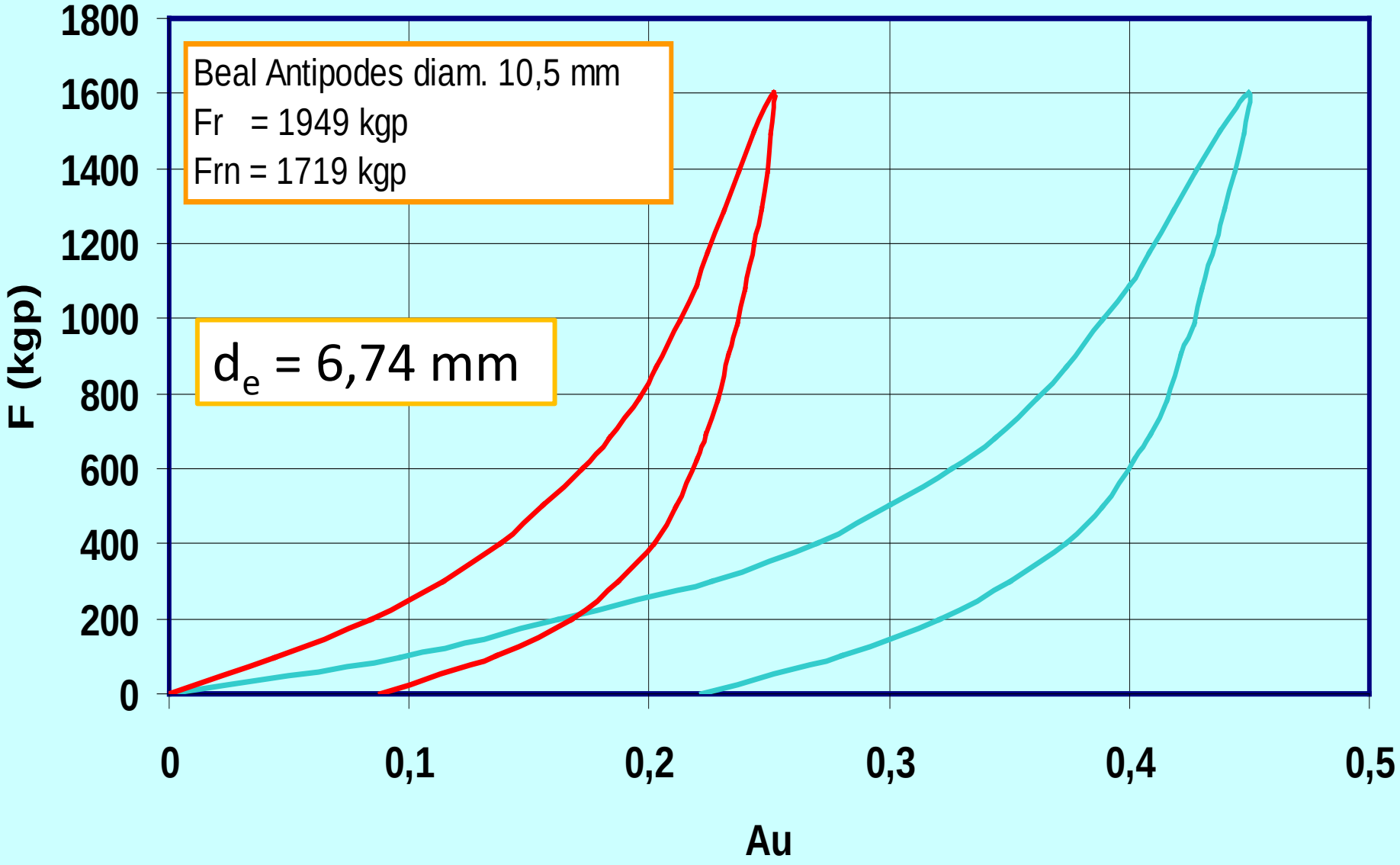
Carico/scarico Corda06 (GS CAI Macerata)



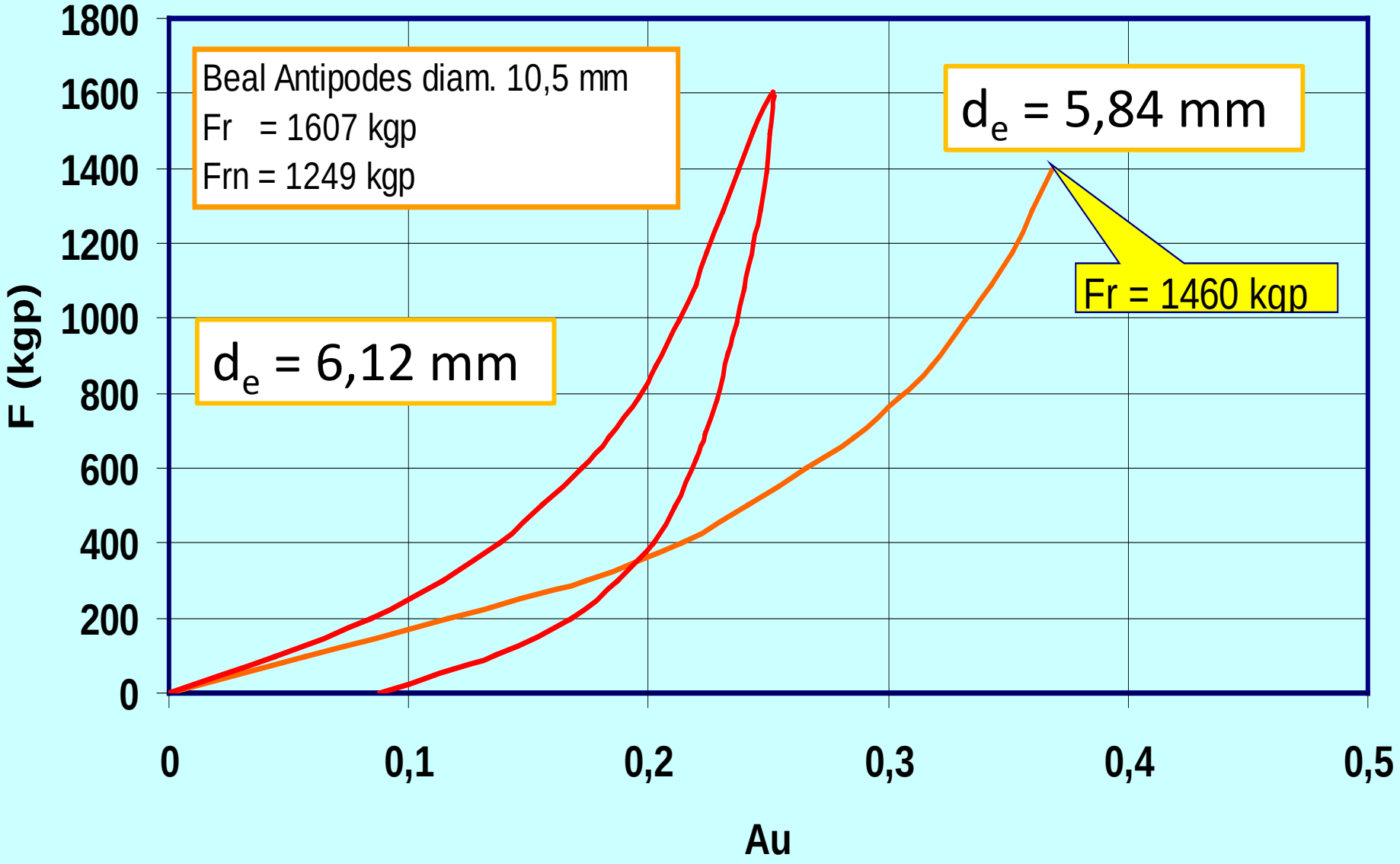
Carico/scarico Corda07 (GS CAI Feltre)



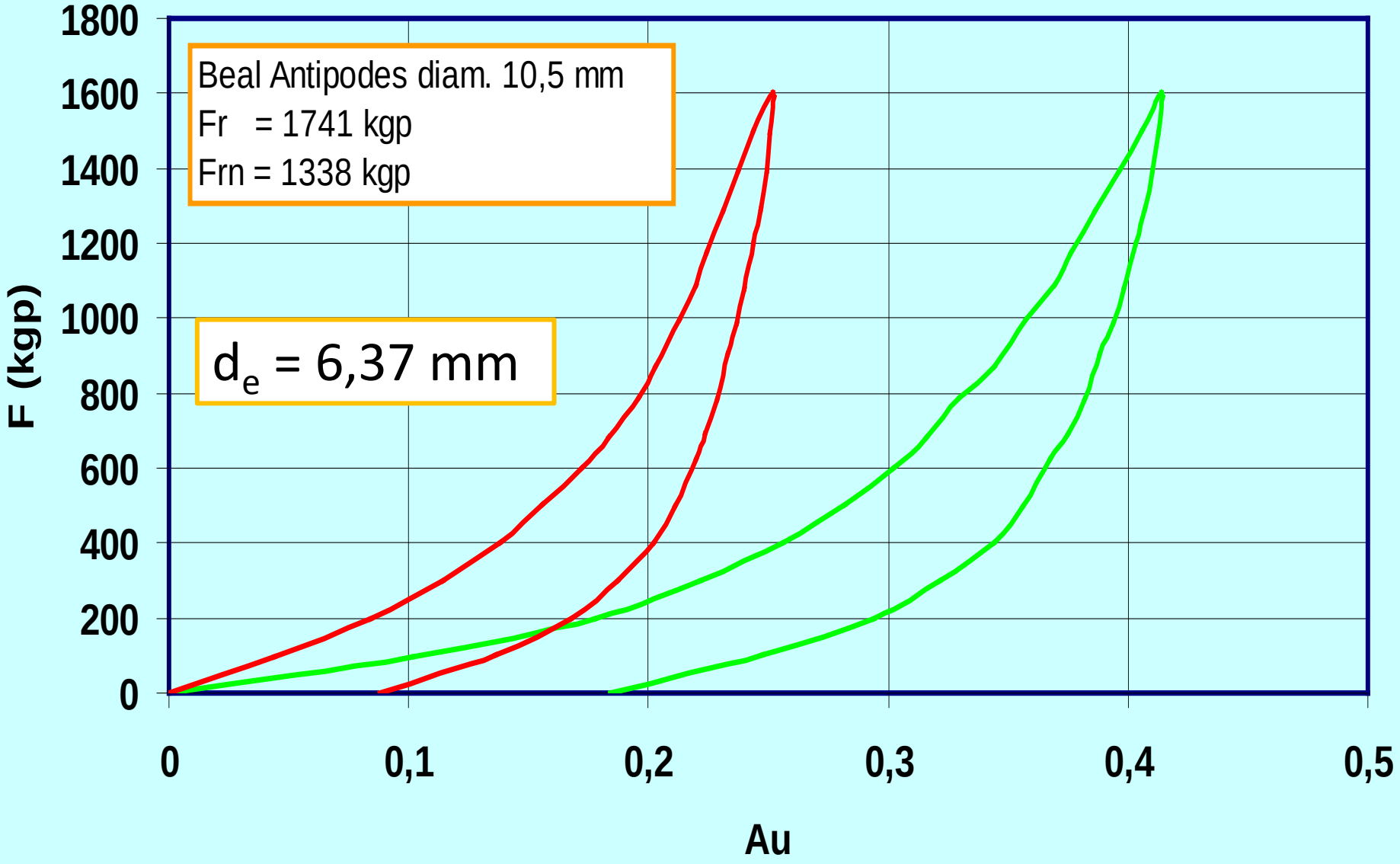
Carico/scarico Corda08 (CG "E.Boegan" CAI-SAG Trieste)



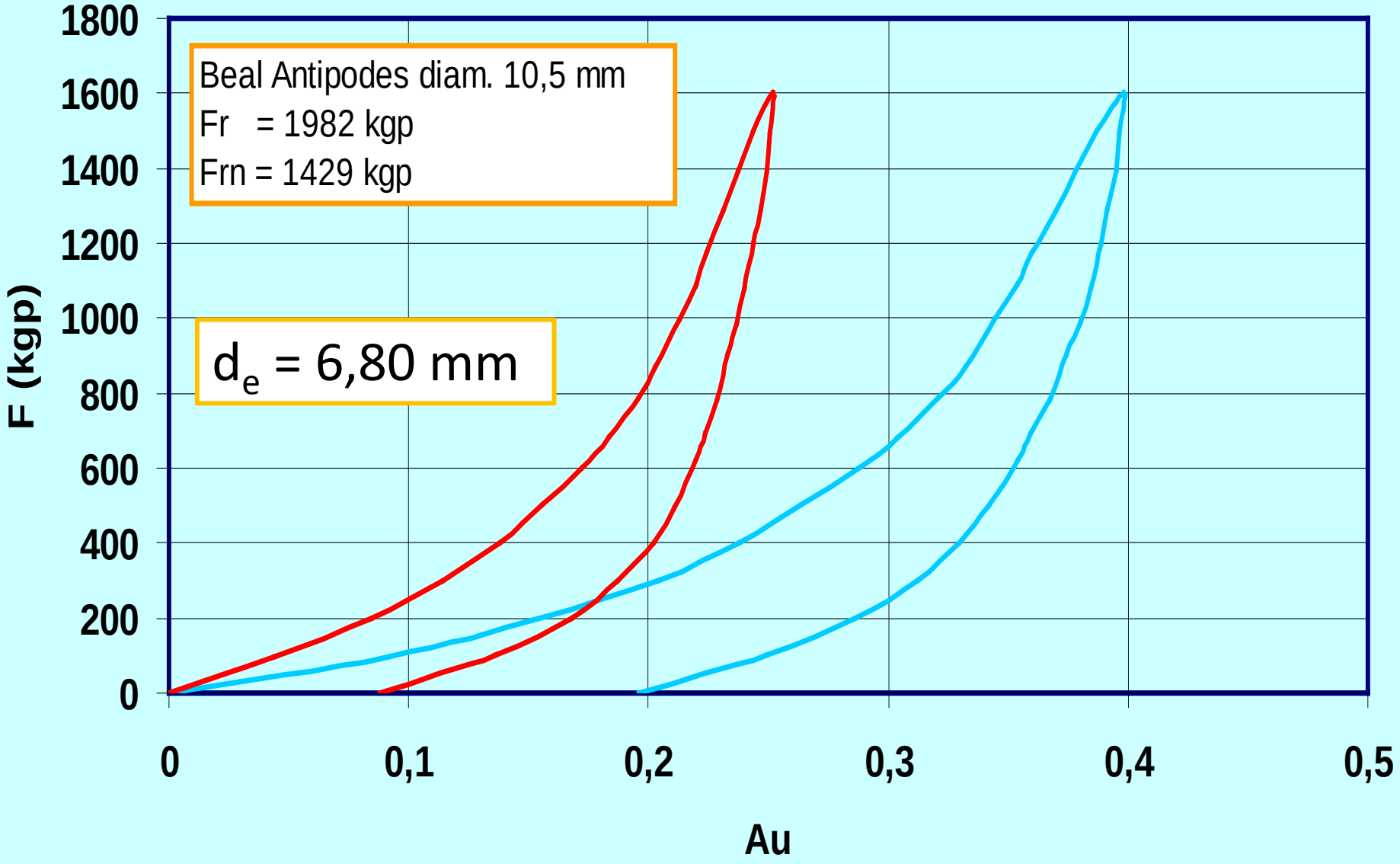
Carico/scarico Corda09 (GS Mezzano GAM)



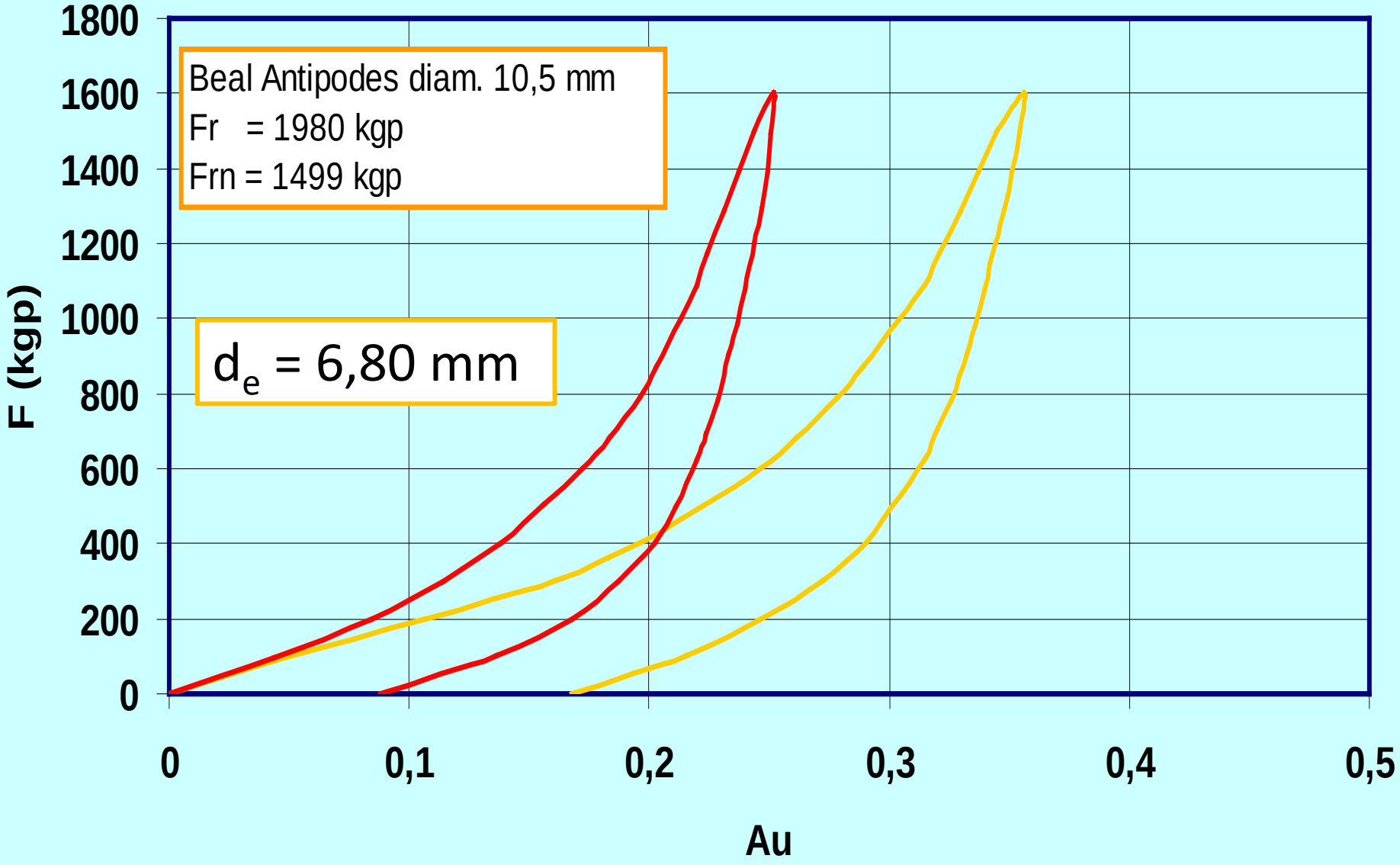
Carico/scarico Corda10 (GS CAI Saronno)



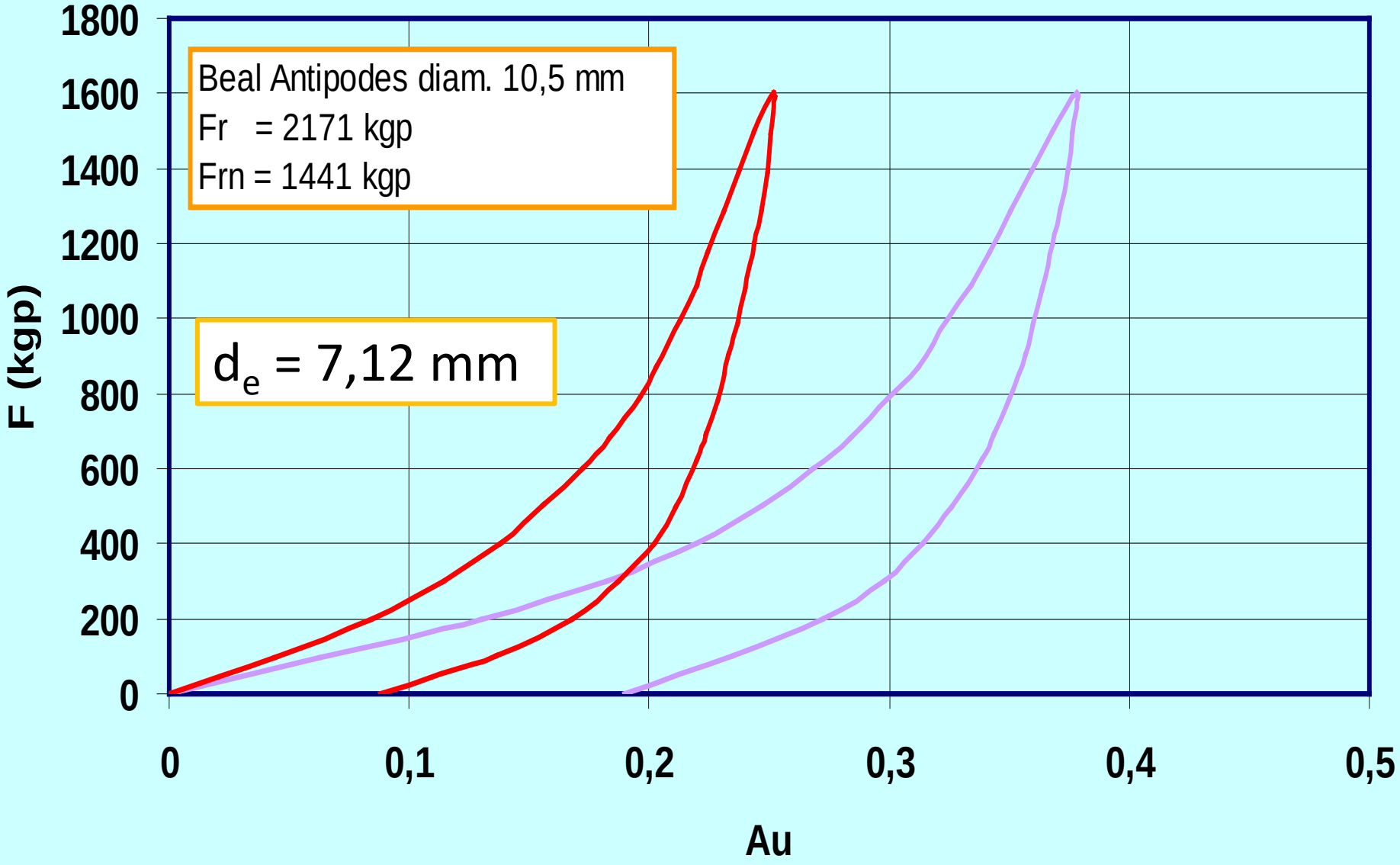
Carico/scarico Corda11 (GS CAI Centro Talpe)



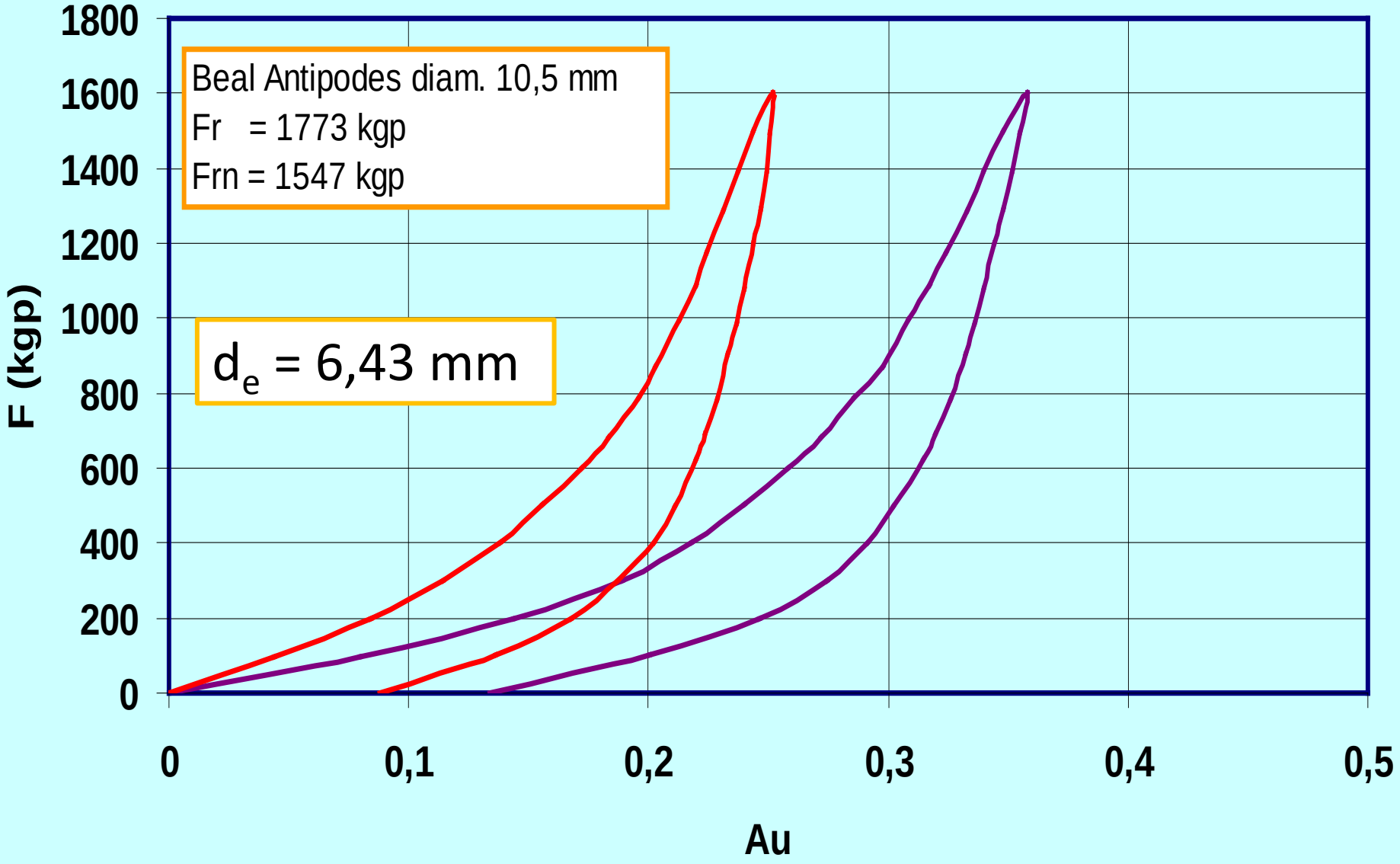
Carico/scarico Corda12 (GG "Roner" CAI-SAT Rovereto)



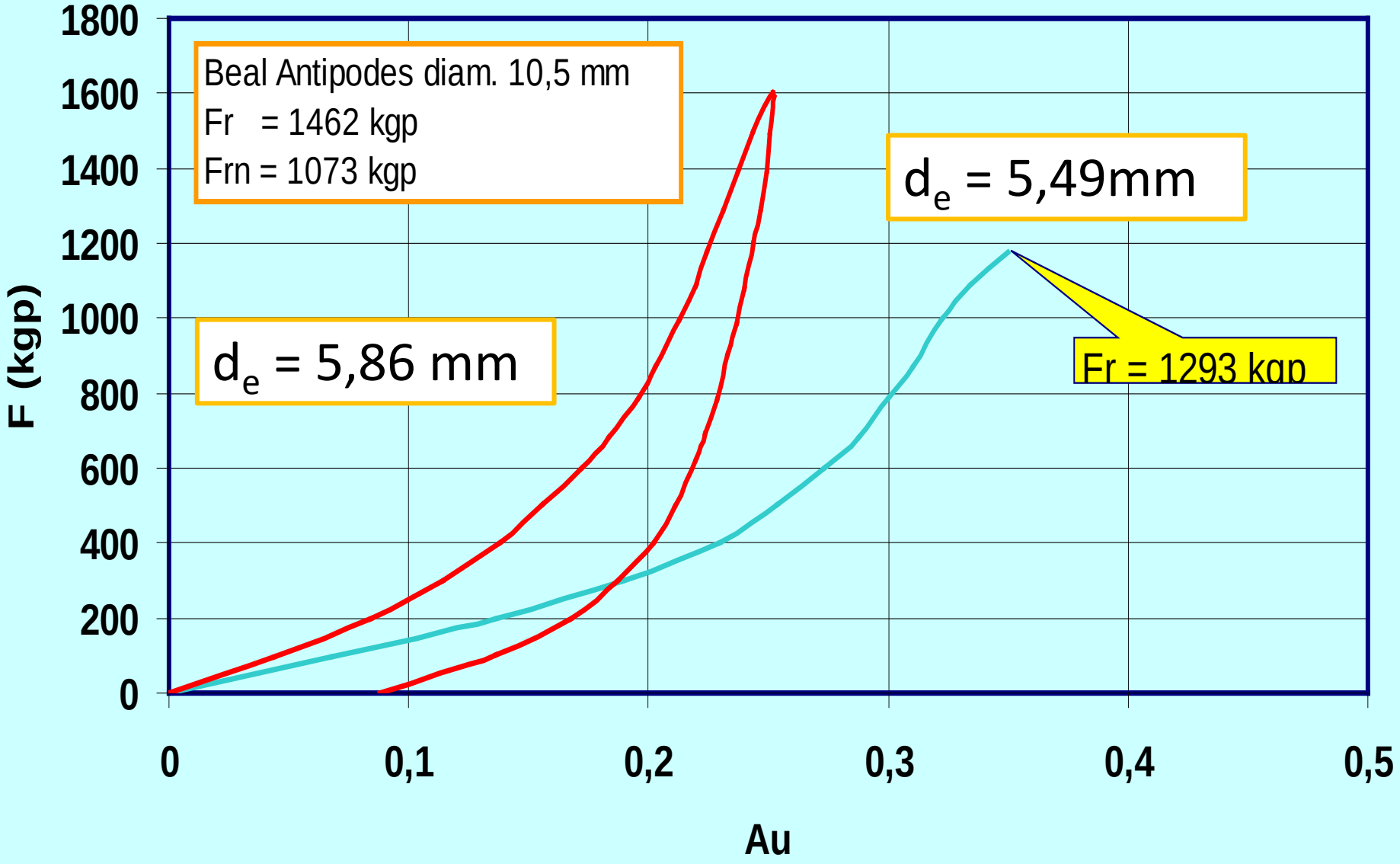
Carico/scarico Corda13 (GG XXX Ottobre CAI Trieste)



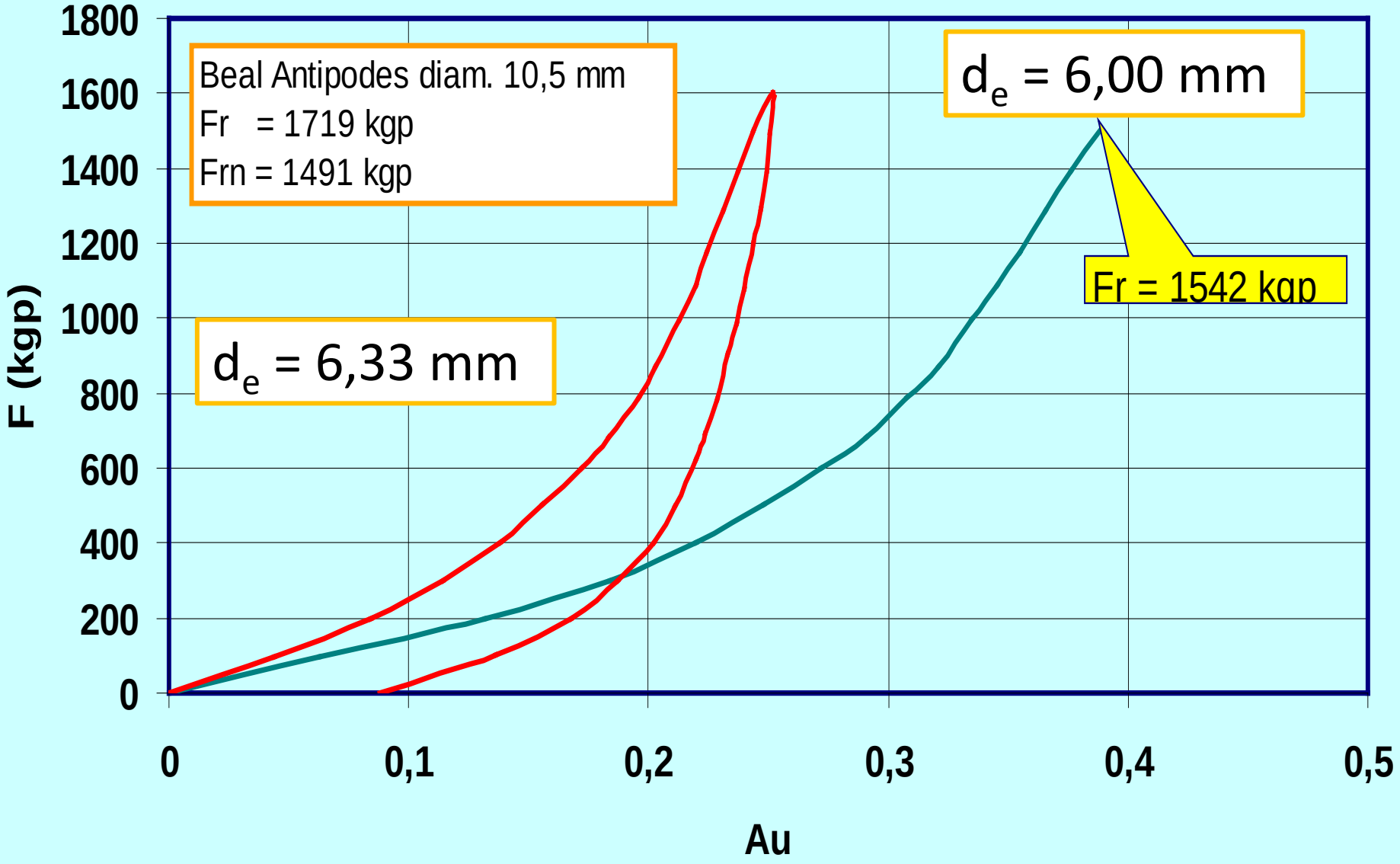
Carico/scarico Corda14 (GG CAI Valstagna)



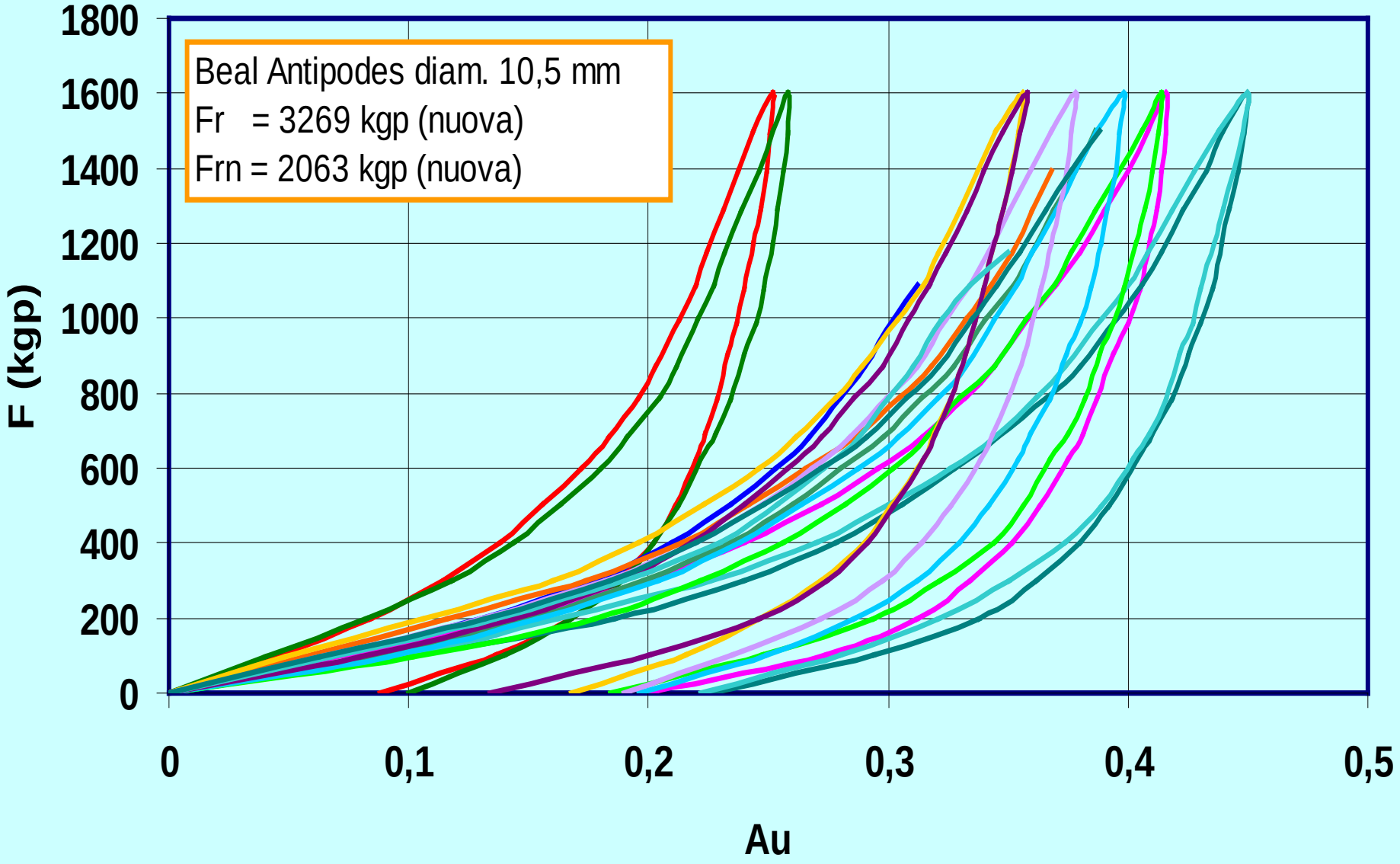
Carico/scarico Corda15 (GS CAI Bolzaneto)



Carico/scarico Corda16 (GS CAI Lucca)



Carico/scarico Corde 01-16 sintesi



Campione	$D_{efficace}$ 01 (mm)	$D_{efficace}$ 02 (mm)	% riduzione 01	% riduzione 02
1	8,73		0	
2	8,73		0	
3	7,05		19,2	
4	5,63	5,25	35,5	39,9
5	7,10		18,7	
6	6,61		24,3	
7	6,72	6,07	23,0	30,1
8	6,74		22,8	
9	6,12	5,84	29,9	33,1
10	6,37		27,0	
11	6,80		22,1	
12	6,80		22,1	
13	7,12		18,4	
14	6,63		27,5	
15	5,86	5,49	32,9	37,1
16	6,33	6,00	27,5	31,3
Media	**6,55**	**5,73**	**25,1**	**34,3**

RIDUZIONE LUNGHEZZA

n° campione	Lunghezza residua (m)	% riduzione
1	40	0
2	39,36	1,6
3	34,10	14,8
4	34,32	14,2
5	33,84	15,4
6	32,11	20,0
7	34,45	13,9
8	34,30	14,3
9	33,60	16,0
10	34,20	14,5
11	34,52	13,7
12	36,27	9,3
13	34,97	12,6
14	34,99	12,5
15	33,55	16,1
16	33,79	15,5
Media	*34,21*	*14,5*

CARICO DI ROTTURA SENZA NODI

n° campione	Carico rottura F_r (kgp)	% riduzione F_r
1	3269	0
2	3230	1
3	2128	35
4	1361	58
5	2164	34
6	1875	43
7	1937	41
8	1949	40
9	1607	51
10	1741	47
11	1982	39
12	1980	39
13	2171	34
14	1773	46
15	1462	55
16	1719	47
Media	*1847*	*44*

EFFETTO NODO (guida con frizione d.s.)

n° campione	Carico rottura con nodo $F_{r\,n}$ (kgp)	% riduzione $F_r/F_{r\,n}$
1	2063	37
2	2099	36
3	1498	54
4	1081*	67
5	1659	49
6	1539	53
7	1736	47
8	1719	47
9	1249*	62
10	1338	59
11	1429	56
12	1499	54
13	1441	56
14	1547	53
15	1073*	67
16	1491	54
Media	*1450*	*56*

CONFRONTO ANALITICO fra F_r e F_{rn}

n° campione	F_r (kgp)	% riduzione F_r nuova/ F_r usata	$F_{r\,n}$ (kgp)	% riduzione F_r nuova/ $F_{r\,n}$ usata	% riduzione solo effetto nodo
1	3269	0	2063	37	37
2	3230	1	2099	36	35
3	2128	35	1498	54	19
4	1361	58	1081	67	9
5	2164	34	1659	49	15
6	1875	43	1539	53	10
7	1937	41	1736	47	6
8	1949	40	1719	47	7
9	1607	51	1249	62	11
10	1741	47	1338	59	12
11	1982	39	1429	56	17
12	1980	39	1499	54	15
13	2171	34	1441	56	22
14	1773	46	1547	53	7
15	1462	55	1073	67	12
16	1719	47	1491	54	7
Media	*1847*	*44*	*1450*	*56*	*12*

2

Corde non usate e poco usate

Corda Beal Antipodes 10,5 mm non utilizzata per 18 anni e conservata in luogo buio e asciutto

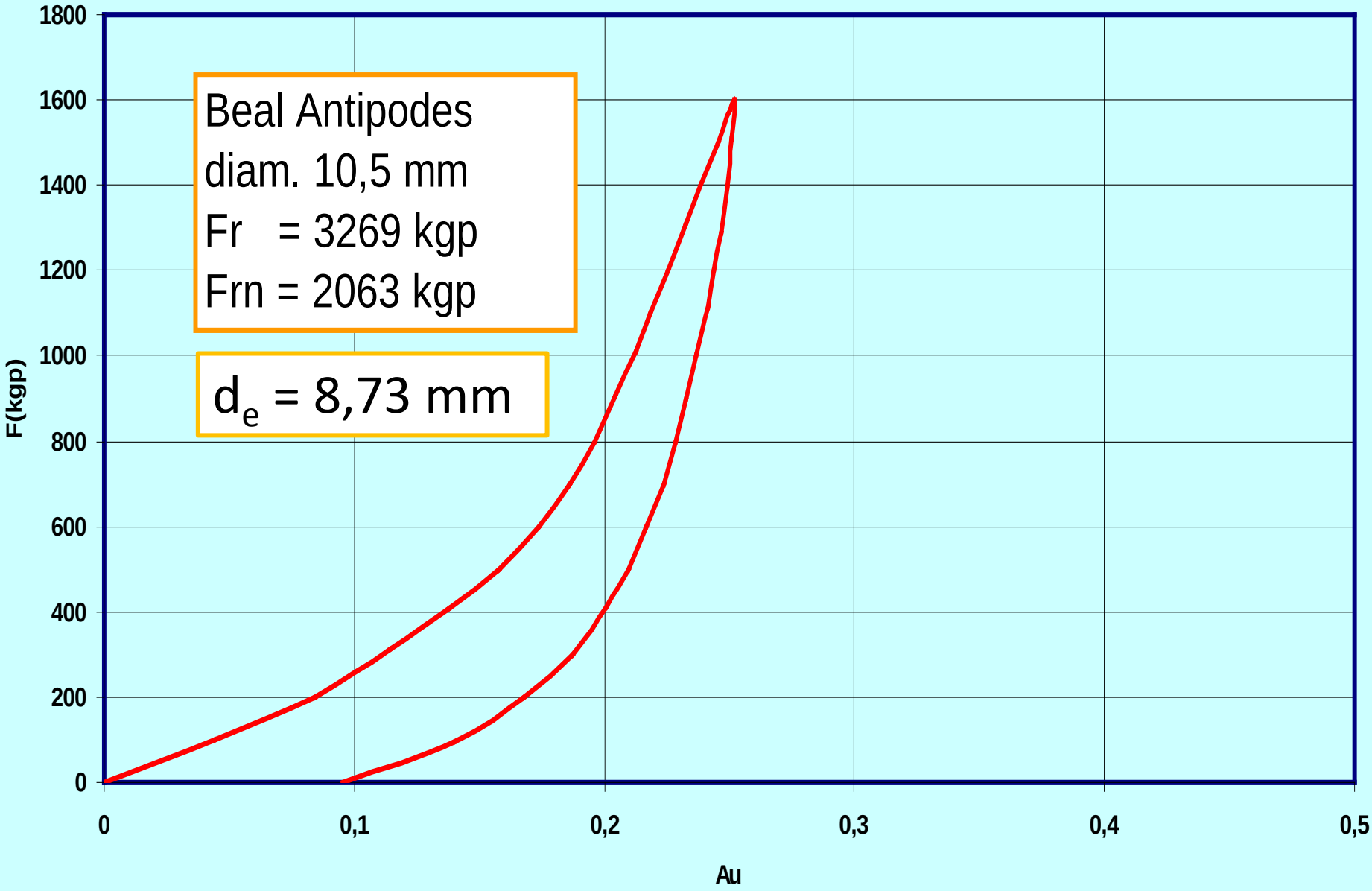
Ha dato come risultati:

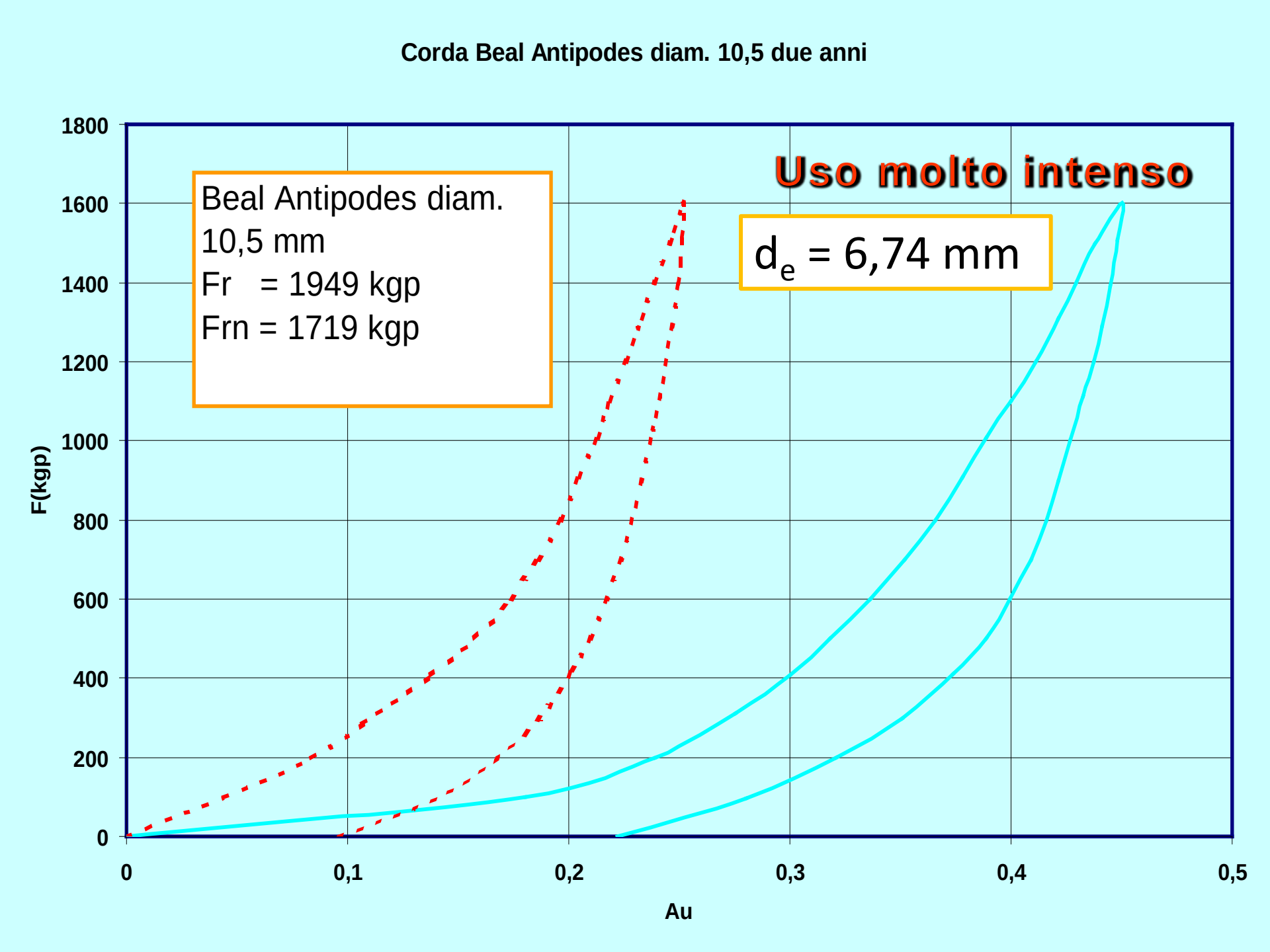
Fr senza nodi = 3265 kgp

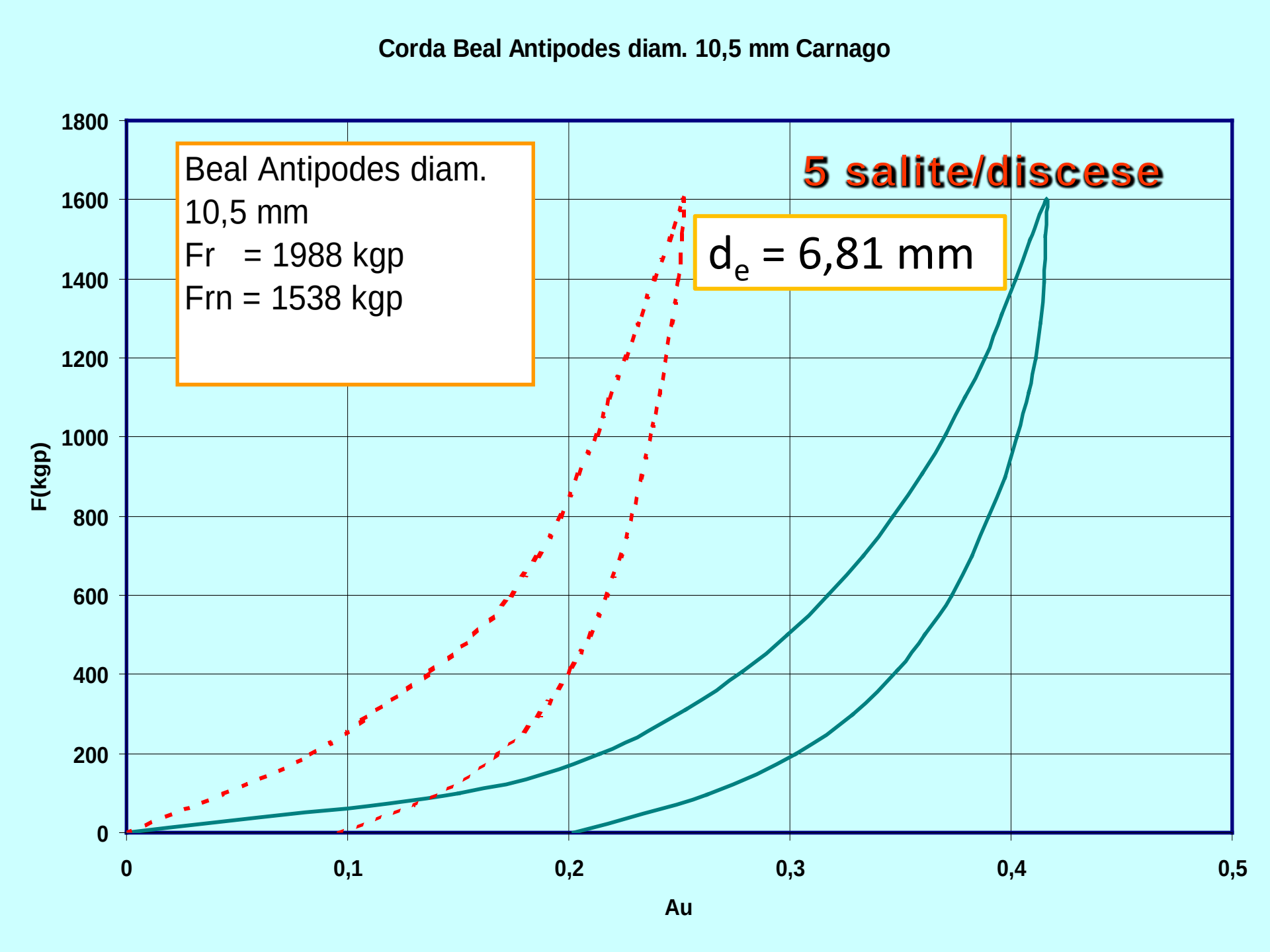
Fr n con nodi = 2043 kgp (- 37%)

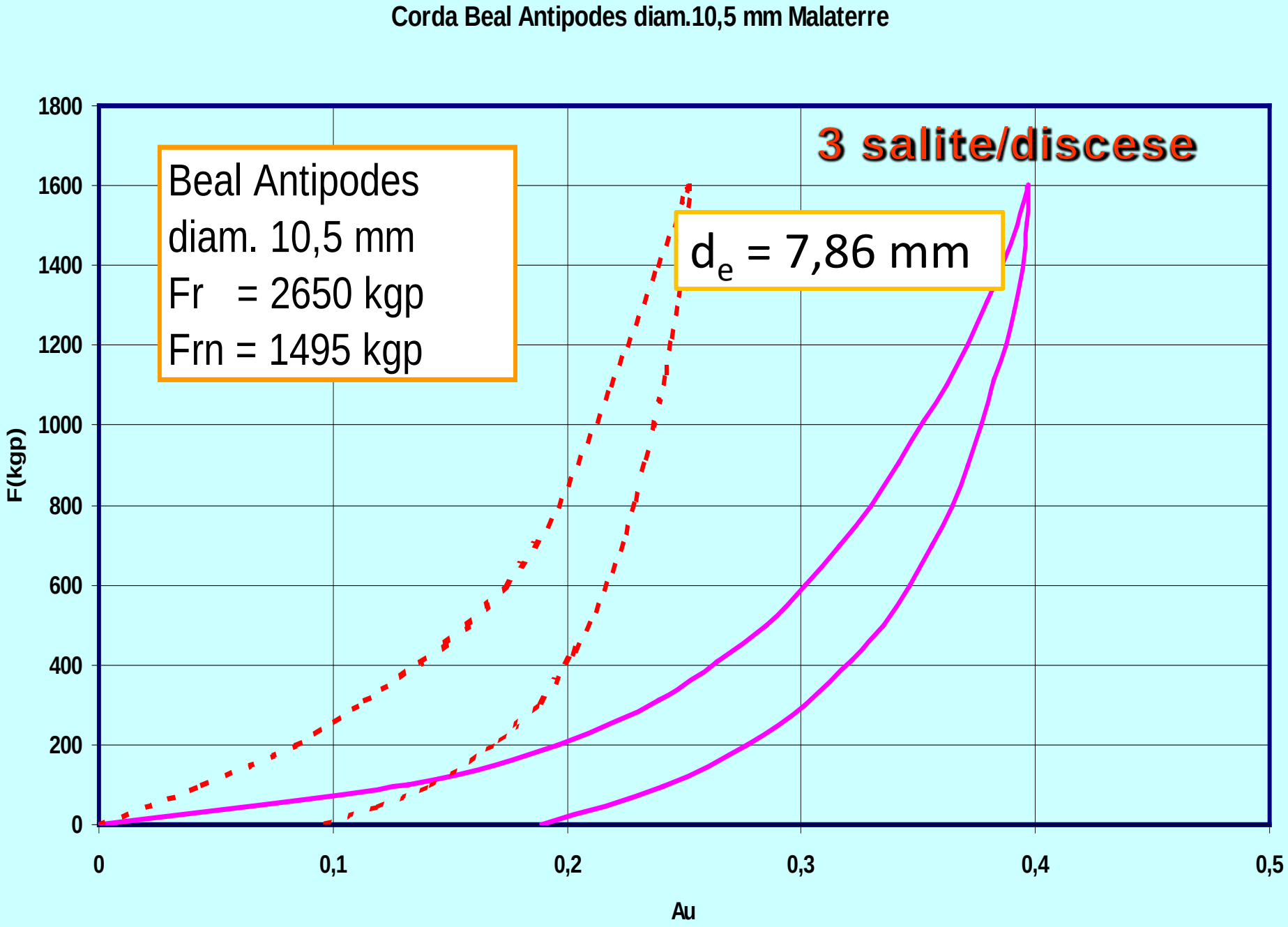
che sono gli stessi risultati ottenibili con una analoga corda appena uscita di fabbrica

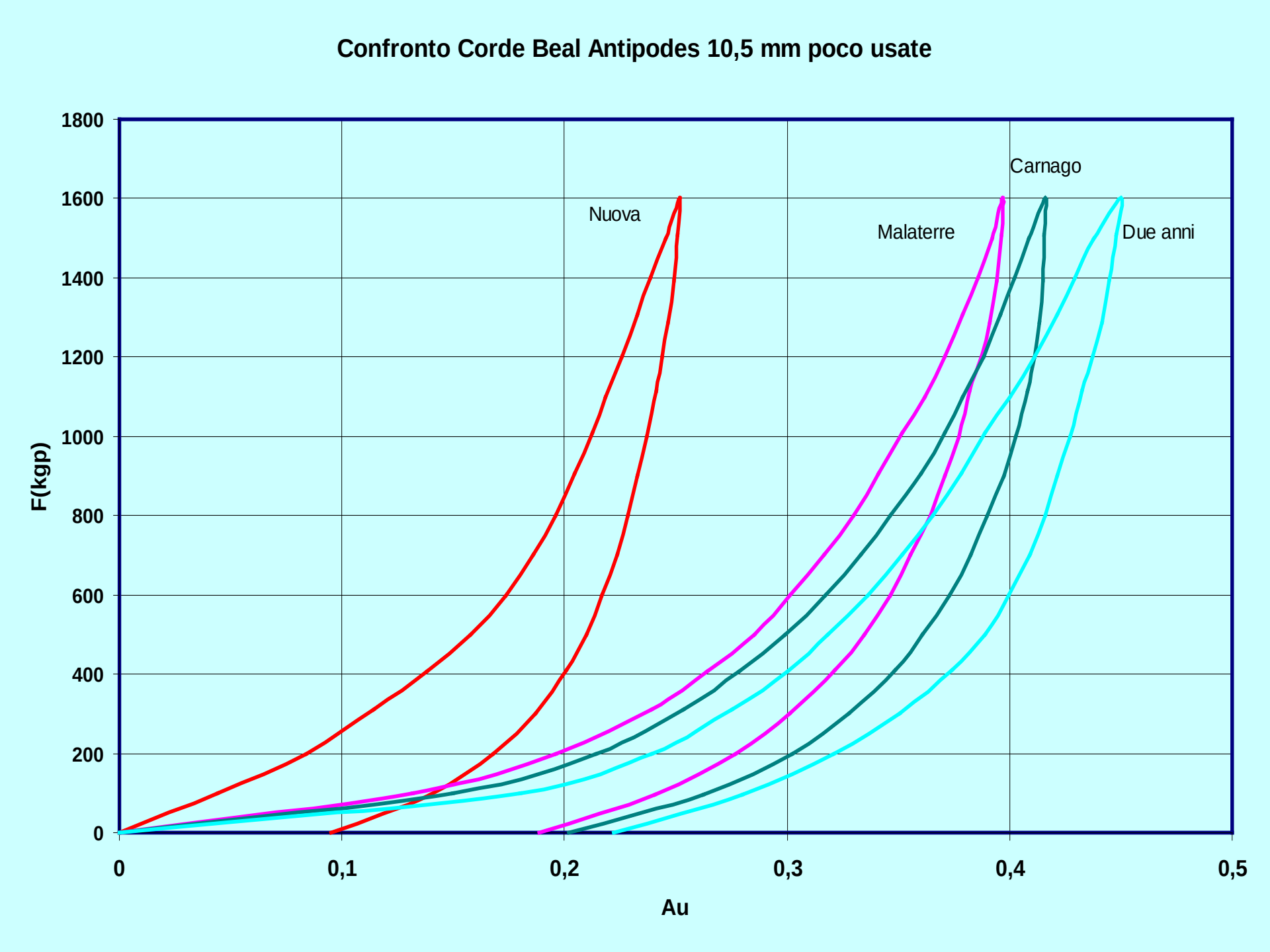
Corda Beal Antipodes diam. 10,5 mm nuova




Corda Beal Antipodes diam. 10,5 due anni
Beal Antipodes diam.
10,5 mm
Fr = 1949 kgp
Frn = 1719 kgp
Uso molto intenso
d_e = 6,74 mm
F(kgp)
Au
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5


Corda Beal Antipodes diam. 10,5 mm Carnago
Beal Antipodes diam.
10,5 mm
Fr = 1988 kgp
Frn = 1538 kgp
5 salite/discese
d_e = 6,81 mm
F(kgp)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
Au


Corda Beal Antipodes diam.10,5 mm Malaterre
3 salite/discese
Beal Antipodes
diam. 10,5 mm
Fr = 2650 kgp
Frn = 1495 kgp
d_e = 7,86 mm
F(kgp)
Au
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5


Confronto Corde Beal Antipodes 10,5 mm poco usate
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
F(kgp)
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
Au
Nuova
Malaterre
Carnago
Due anni

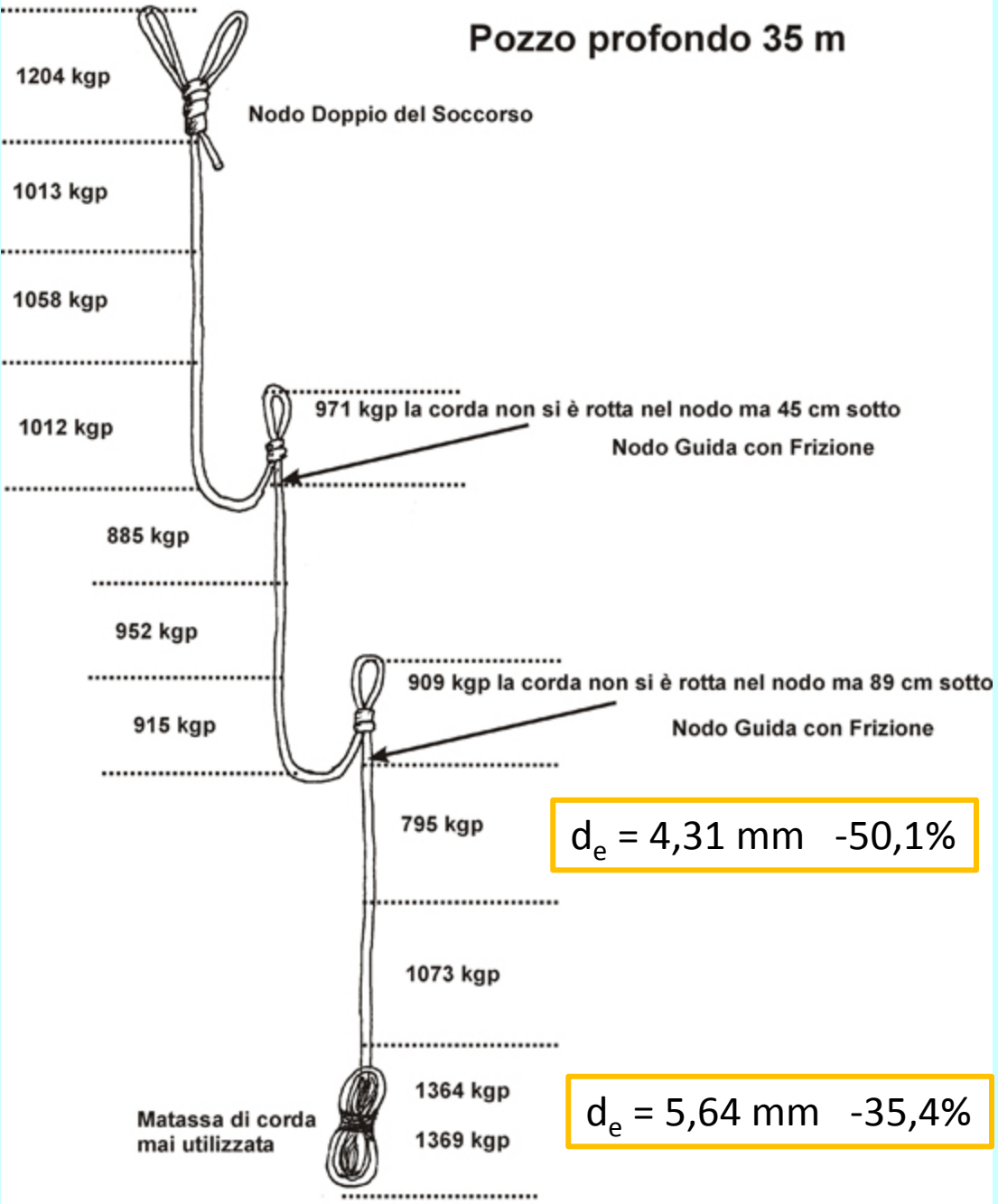
Riepilogo corde poco usate

Nuova	3269		8,73
Malaterre	2650	(- 19%)	7,78
Carnago	1988	(- 39%)	6,81
Due anni	1949	(- 40%)	6,74

Dal punto di vista del decadimento di una corda poche discese/risalite equivalgono a due anni d'intenso uso

3

Analisi Sistema d’Armo
Corde molto usate



Pozzo Pataton

Abisso Spaurasso

Monte Grappa

Corda beal Antipodes diametro 10,5

Fr = 3269 Frn = 2063

Periodo d'uso:

Agosto 1995 – giugno 2006

10 anni + 10 mesi

Dai 200 ai 400 transiti

Cavità attiva idrologicamente

Con presenza di sabbia silicea

Test quasi-statici

corda/bloccante

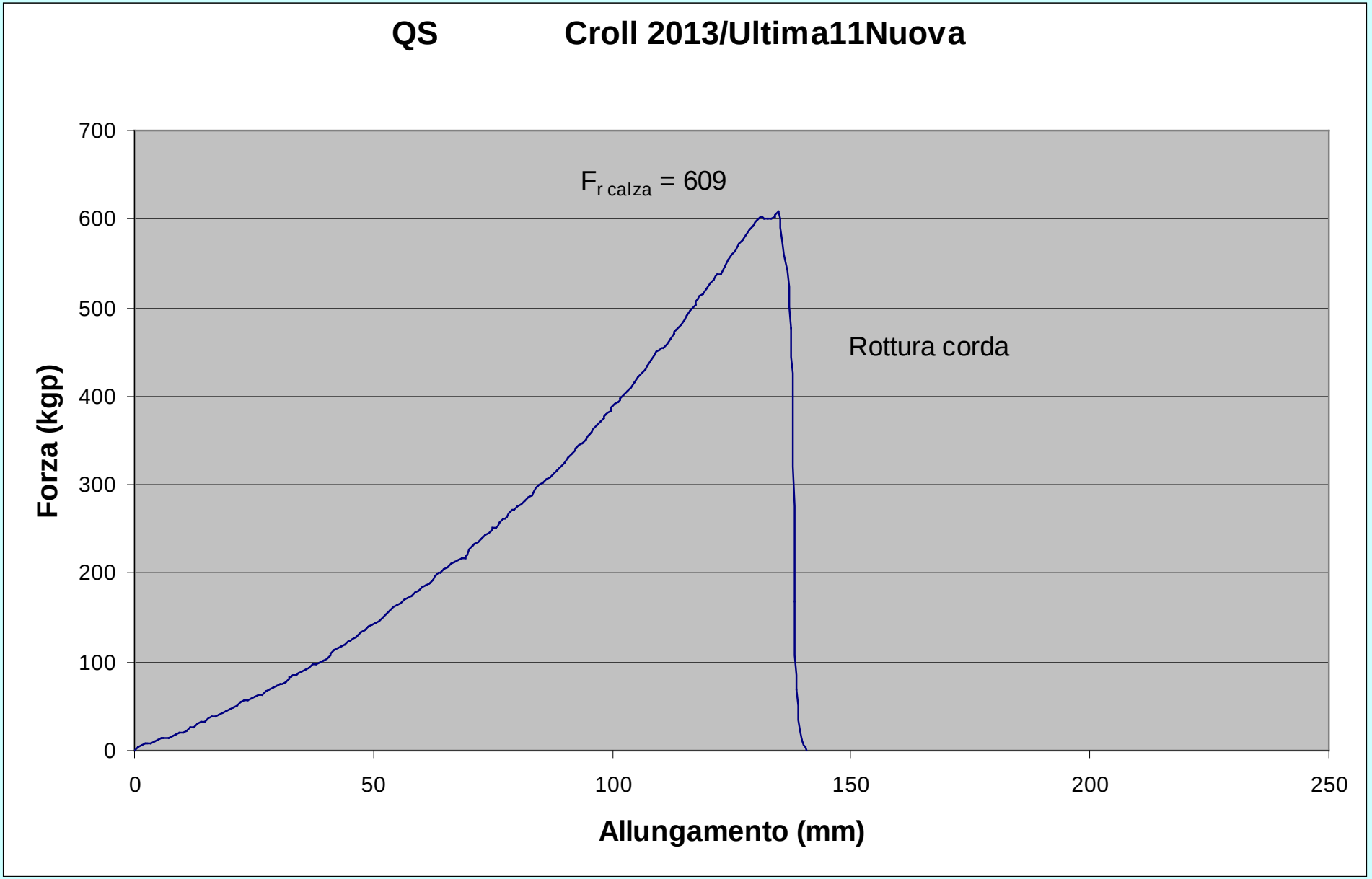


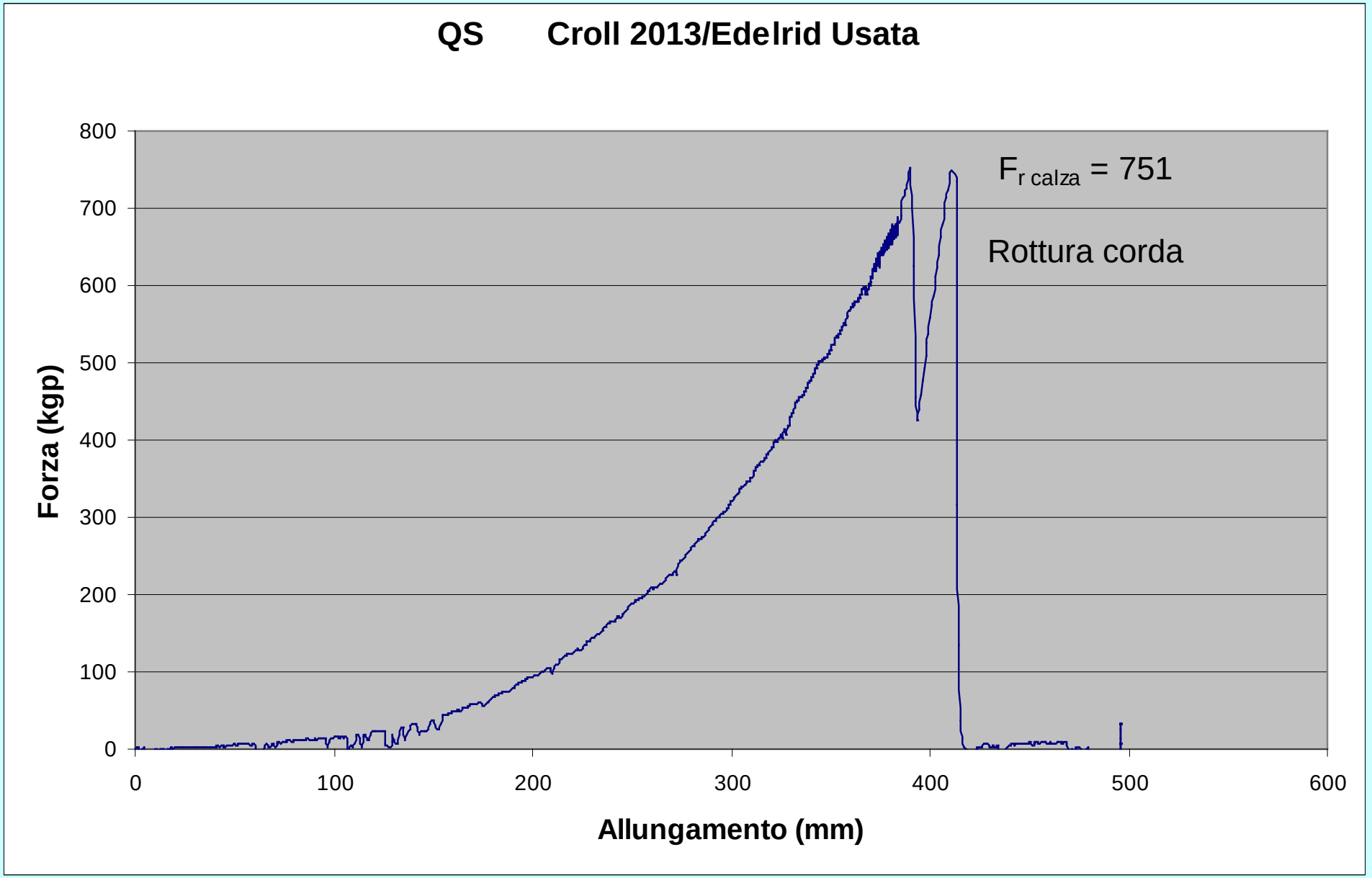


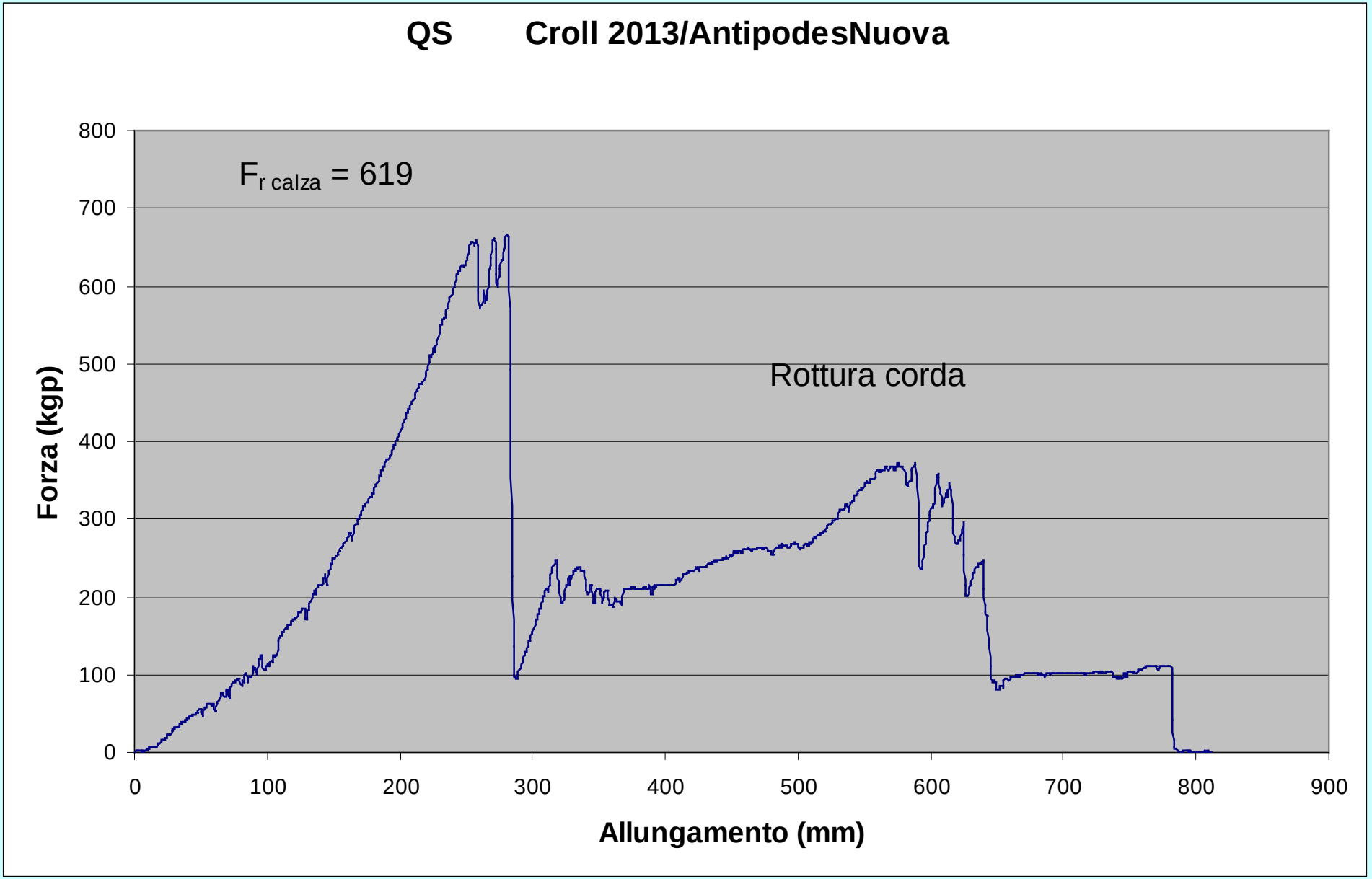
Esempi di test quasi-statici fra:

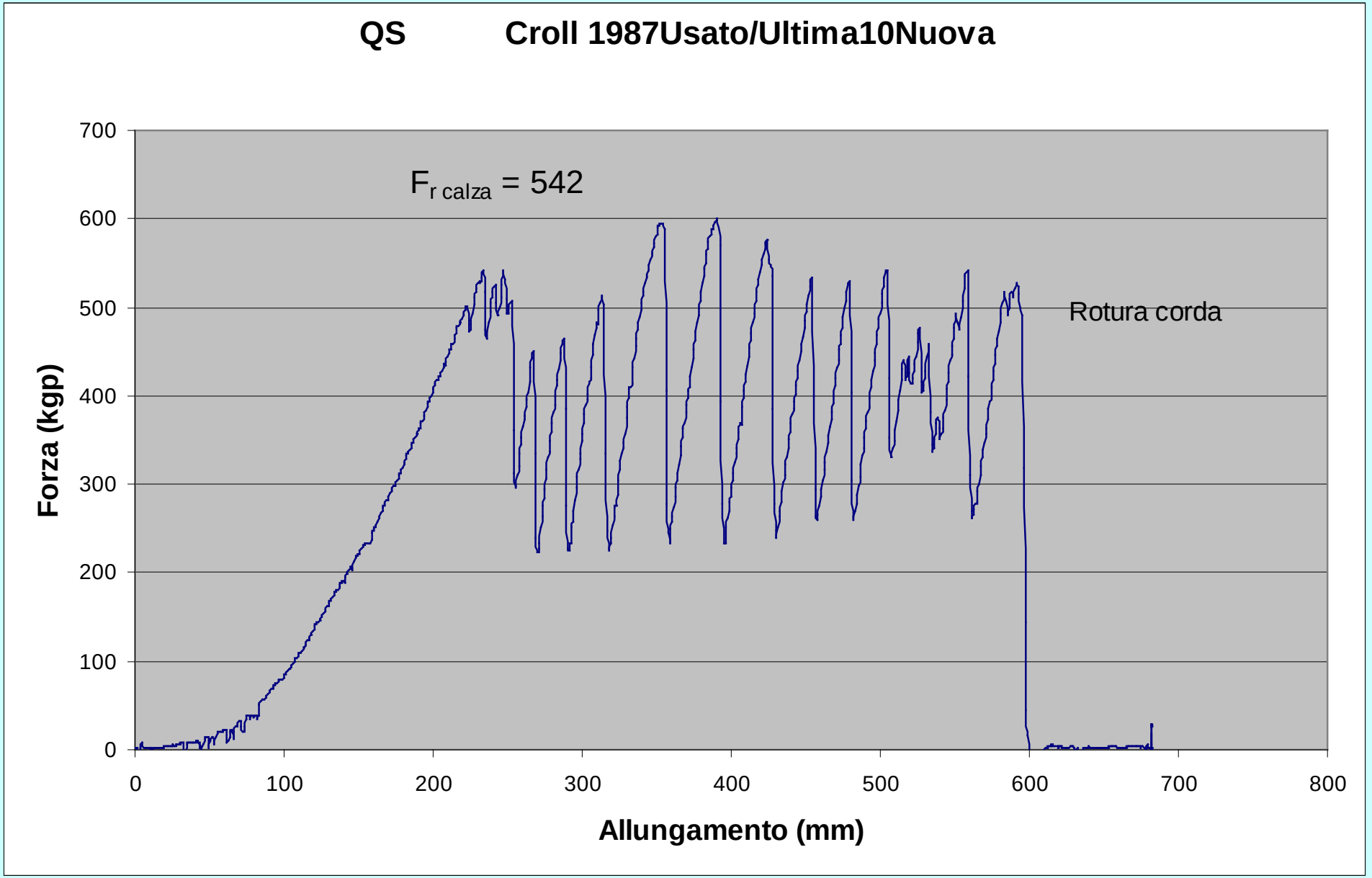
Corde

Croll, maniglie, Cirano, T-bloc eec.

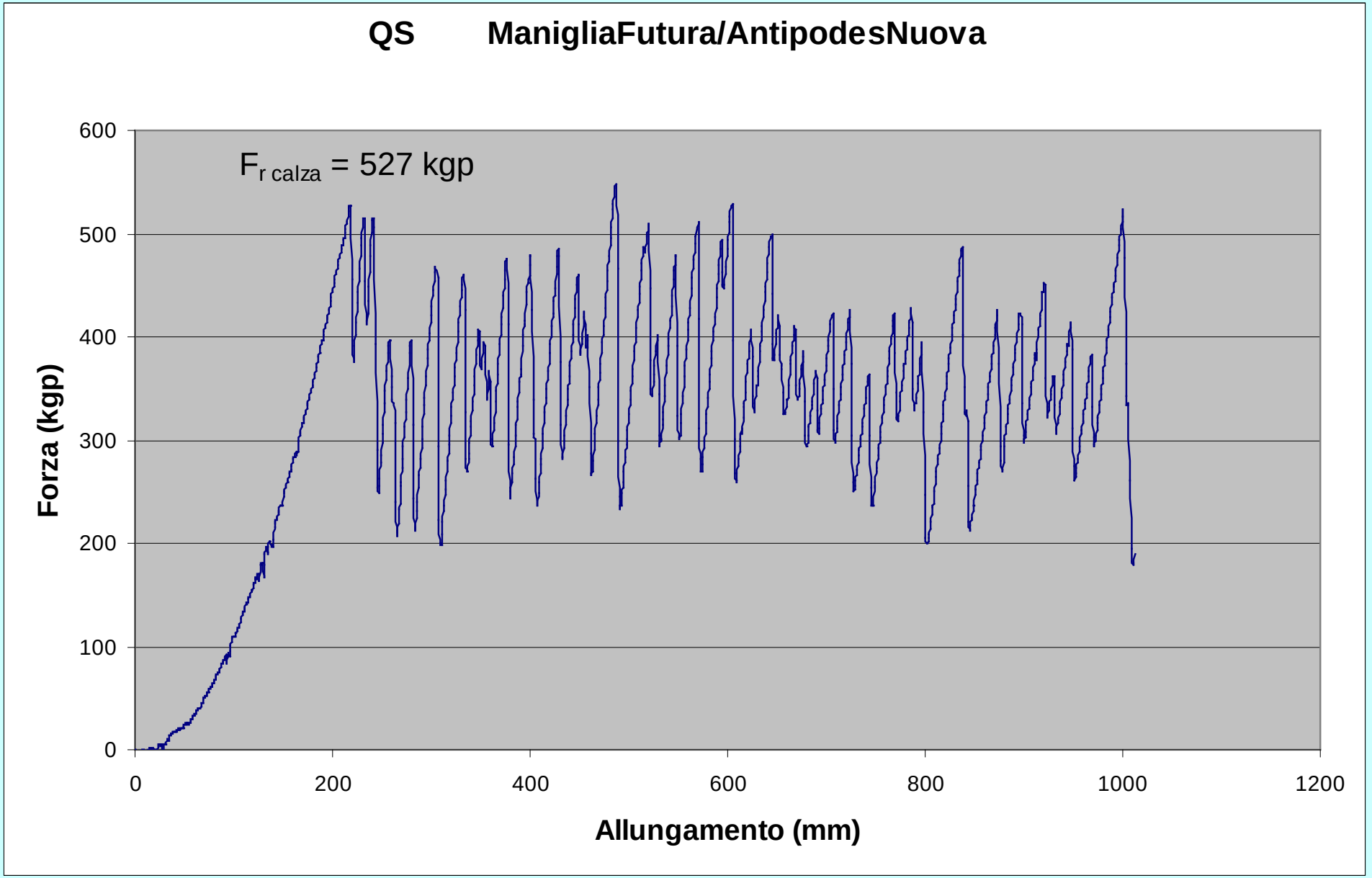

QS Croll 2013/Ultima11Nuova
$F_{r\ calza}$ = 609
Rottura corda
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
100
200
300
400
500
600
700
0
50
100
150
200
250

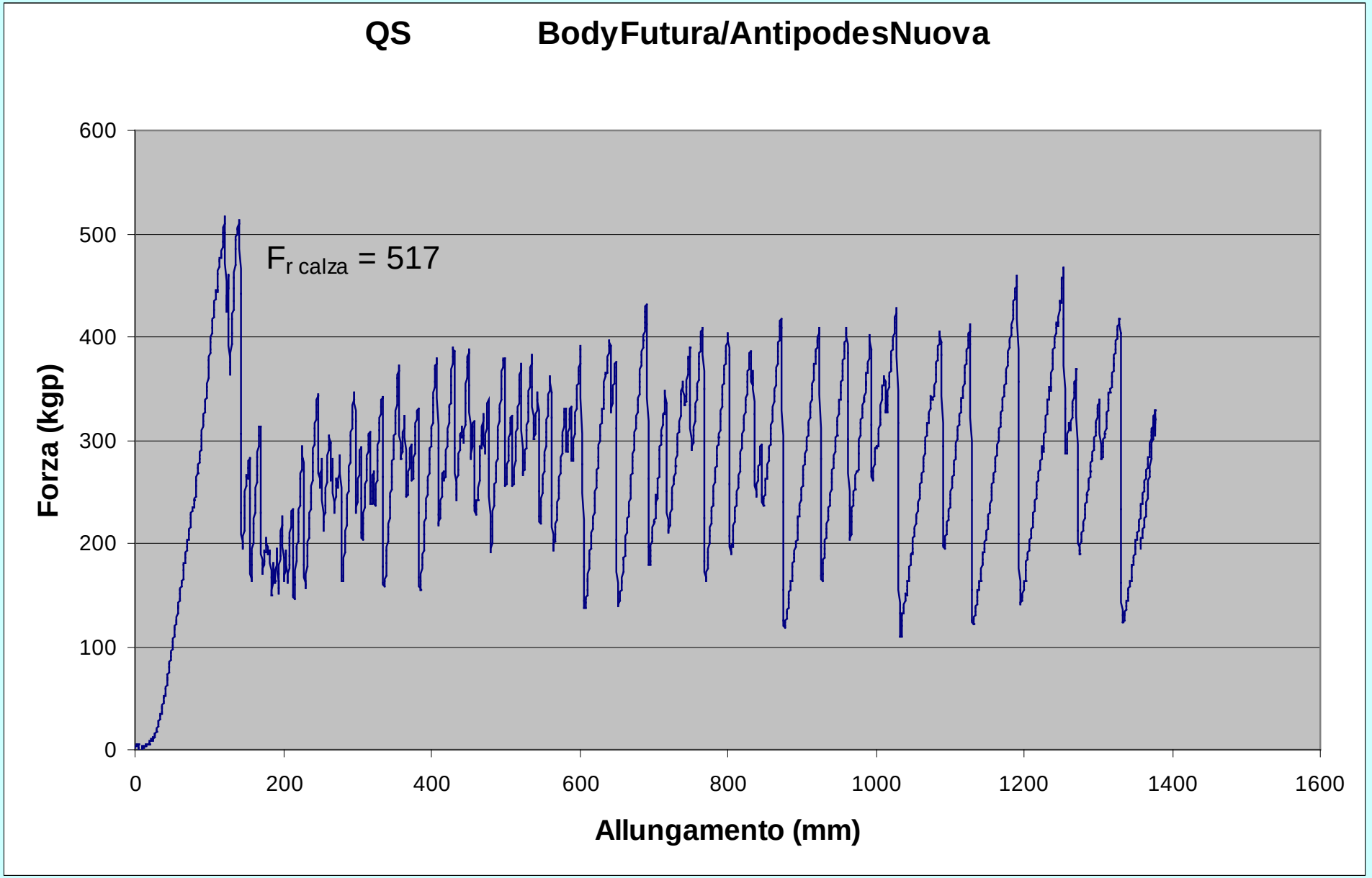

QS Croll 2013/Edelrid Usata
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Forza (kgp)
0
100
200
300
400
500
600
Allungamento (mm)
$F_{r\ calza}$ = 751
Rottura corda

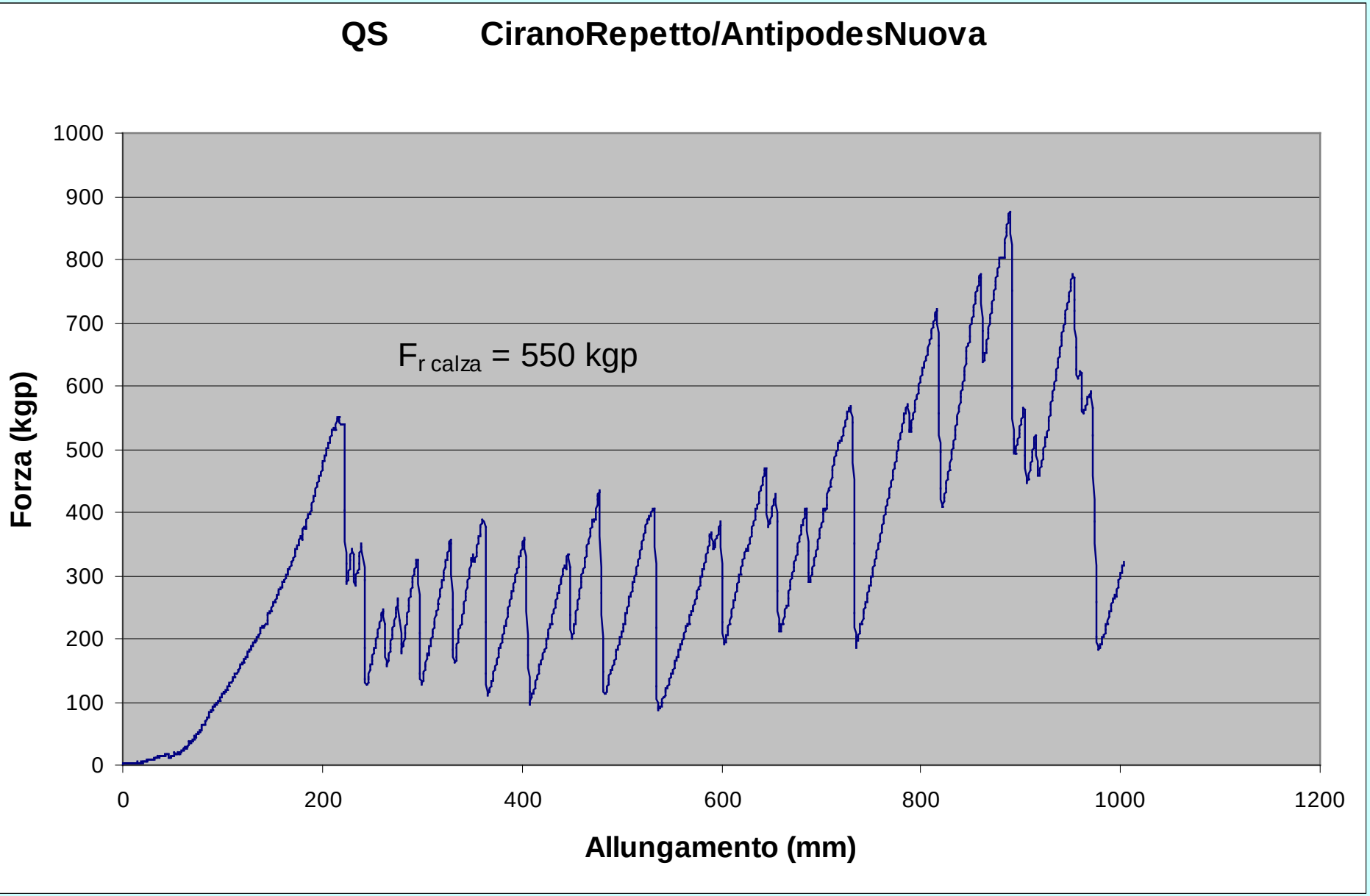

QS Croll 2013/AntipodesNuova
$F_{r\ calza}$ = 619
Rottura corda
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900

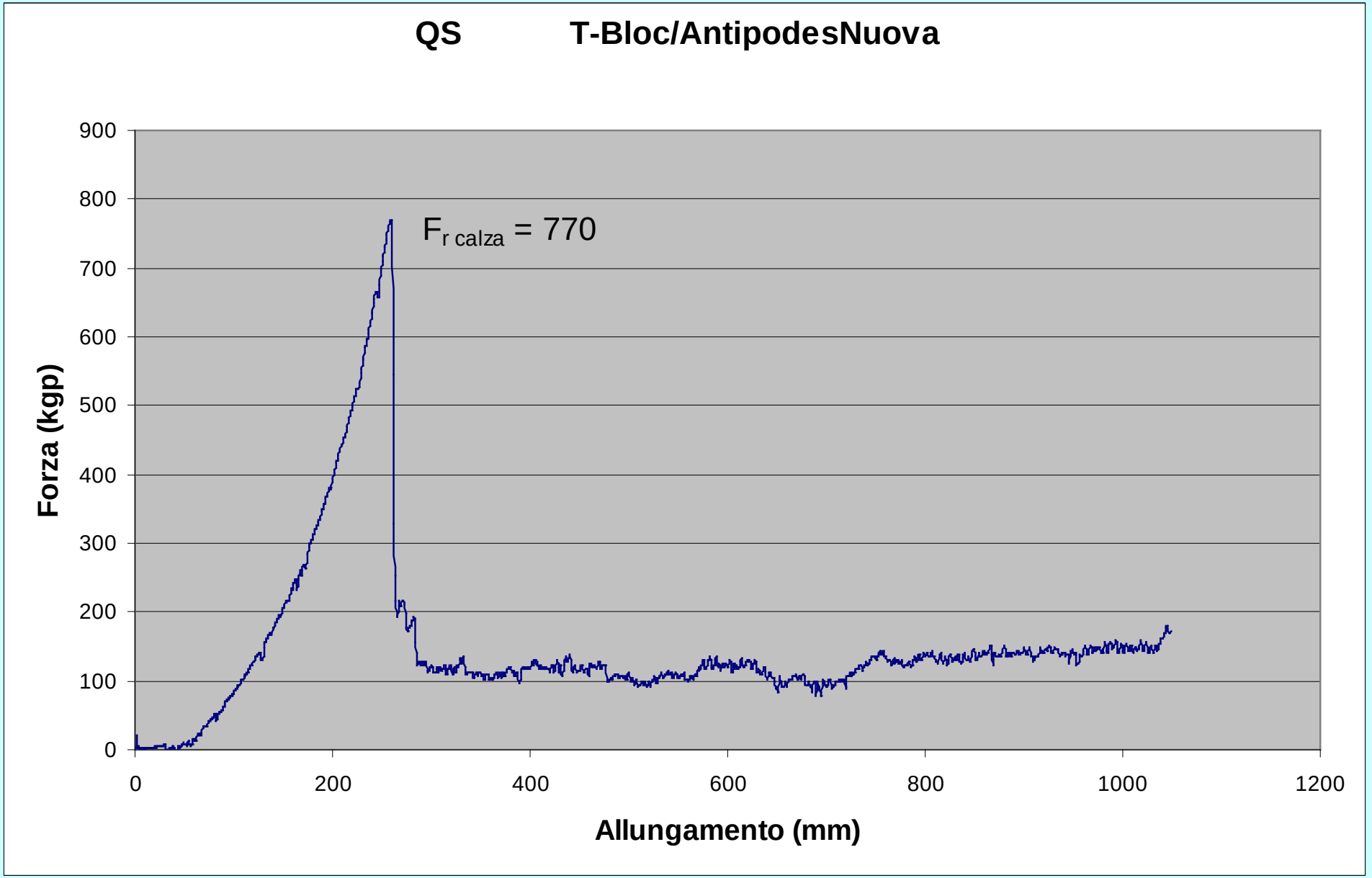

QS Croll 1987Usato/Ultima10Nuova
$F_{r\ calza}$ = 542
Rotura corda
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
100
200
300
400
500
600
700
800

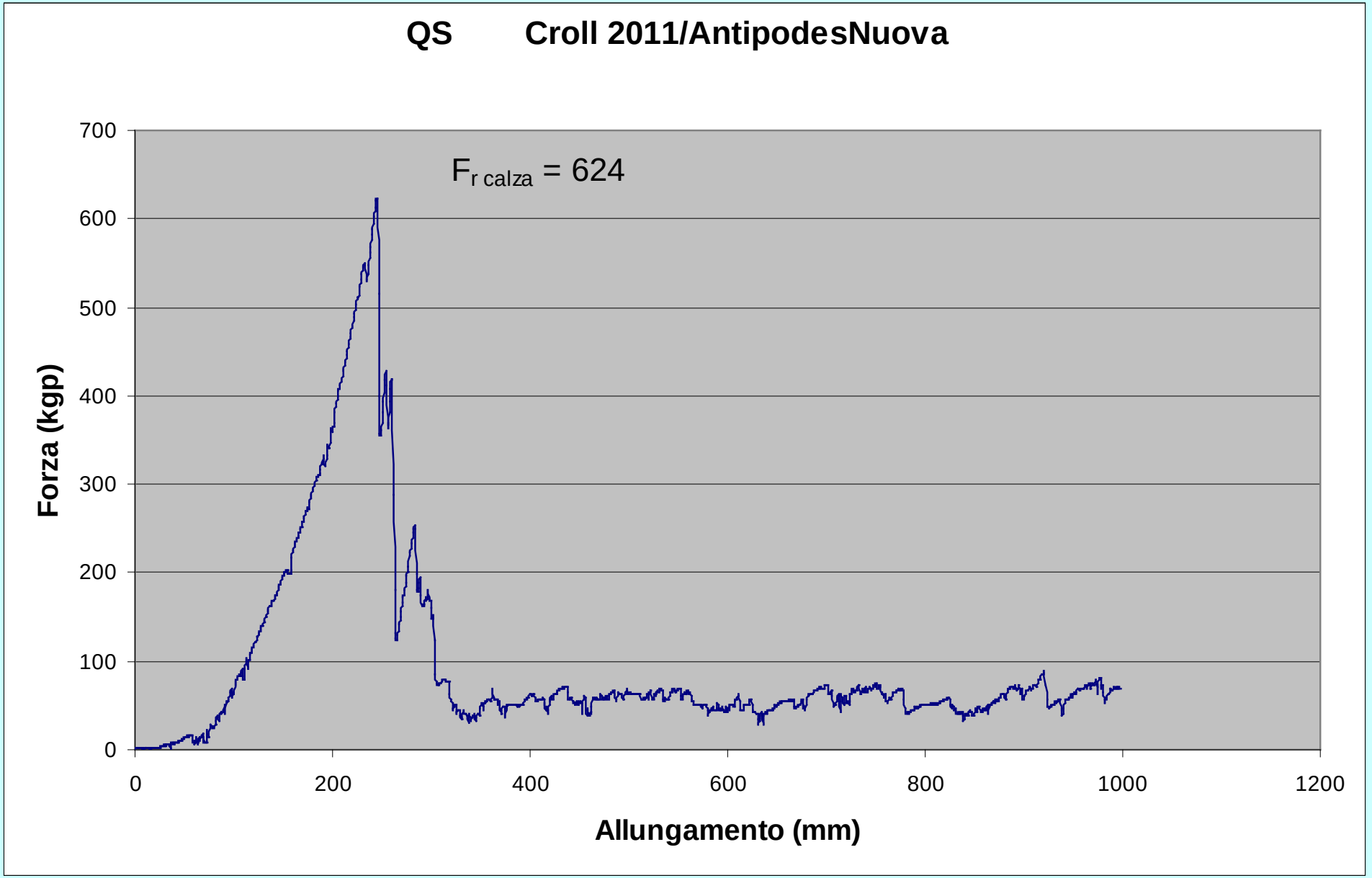


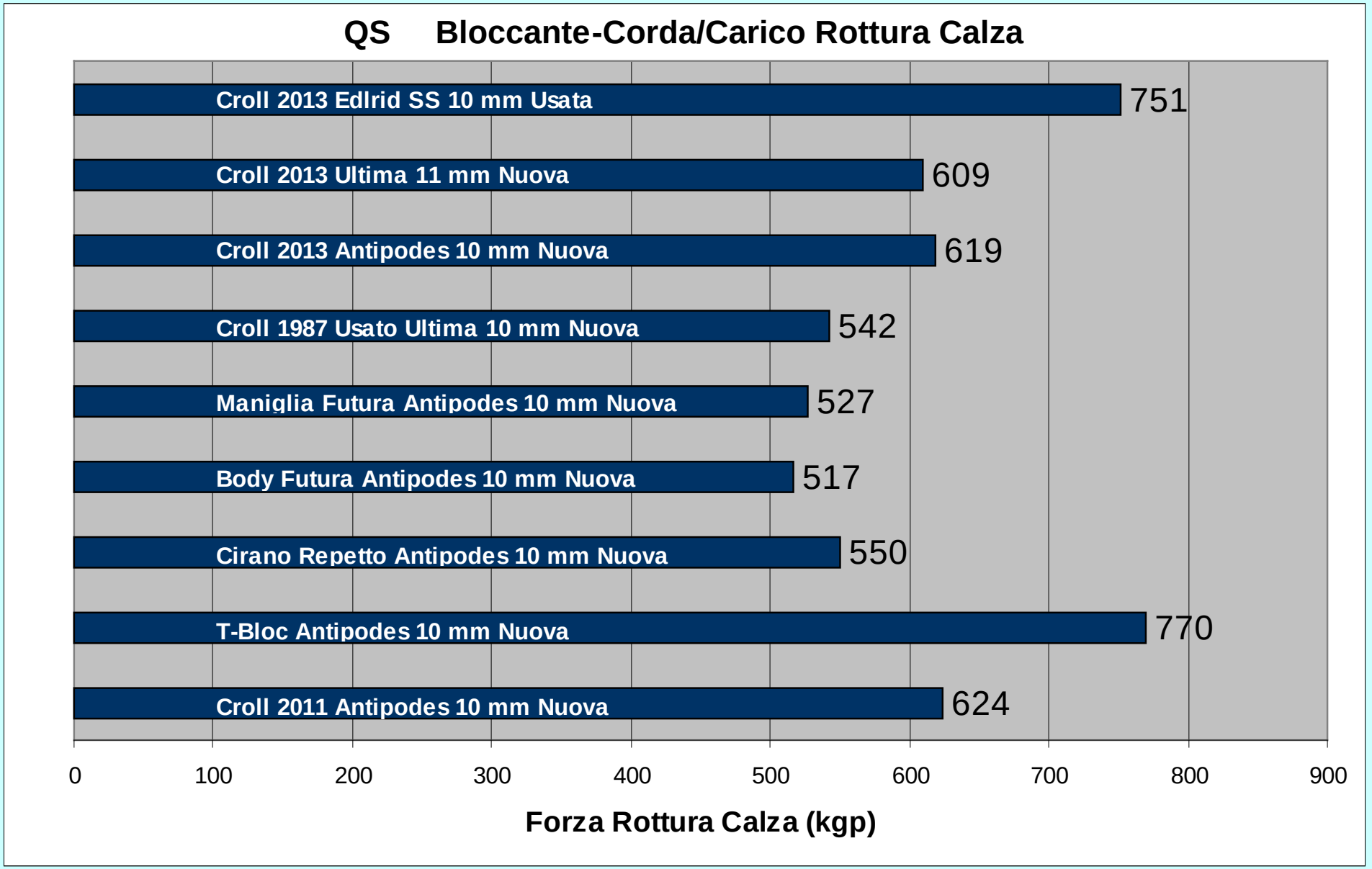

QS ManigliaFutura/AntipodesNuova
$F_{r\ calza}$ = 527 kgp
Forza (kgp)
0
100
200
300
400
500
600
0
200
400
600
800
1000
1200
Allungamento (mm)


QS BodyFutura/AntipodesNuova
Forza (kgp)
600
500
400
300
200
100
0
$F_{r\ calza}$ = 517
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
Allungamento (mm)


QS CiranoRepetto/AntipodesNuova
Forza (kgp)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
$F_{r\ calza}$ = 550 kgp
0
200
400
600
800
1000
1200
Allungamento (mm)


QS T-Bloc/AntipodesNuova
$F_{r\ calza}$ = 770
Forza (kgp)
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
200
400
600
800
1000
1200
Allungamento (mm)


QS Croll 2011/AntipodesNuova
$F_{r\ calza}$ = 624
Forza (kgp)
700
600
500
400
300
200
100
0
0
200
400
600
800
1000
1200
Allungamento (mm)


QS Bloccante-Corda/Carico Rottura Calza
Croll 2013 Edlrid SS 10 mm Usata
751
Croll 2013 Ultima 11 mm Nuova
609
Croll 2013 Antipodes 10 mm Nuova
619
Croll 1987 Usato Ultima 10 mm Nuova
542
Maniglia Futura Antipodes 10 mm Nuova
527
Body Futura Antipodes 10 mm Nuova
517
Cirano Repetto Antipodes 10 mm Nuova
550
T-Bloc Antipodes 10 mm Nuova
770
Croll 2011 Antipodes 10 mm Nuova
624
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
Forza Rottura Calza (kgp)

Test quasi-statici

bloccante/corda statica

nuova asciutta
usata asciutta
usata bagnata



Corde usate e bloccanti

Le corde usate asciutte, contrariamente a quelle nuove, si rompono sotto l'azione dei bloccanti. Bagnandole l'effetto si trasforma nella sola lacerazione della calza.





Corde usate e bloccanti

C’è una differenza sostanziale fra corde asciutte e corde bagnate.

Nelle corde usate asciutte si rompe prima la calza e poi tutti i trefoli.

Nelle corde usate bagnate si rompe la calza e poi il bloccante scorre con forza d’attrito intorno agli 80 - 120 kgp.

Velocità di deformazione

Macchine idrauliche (vapore) o elettromagnetiche

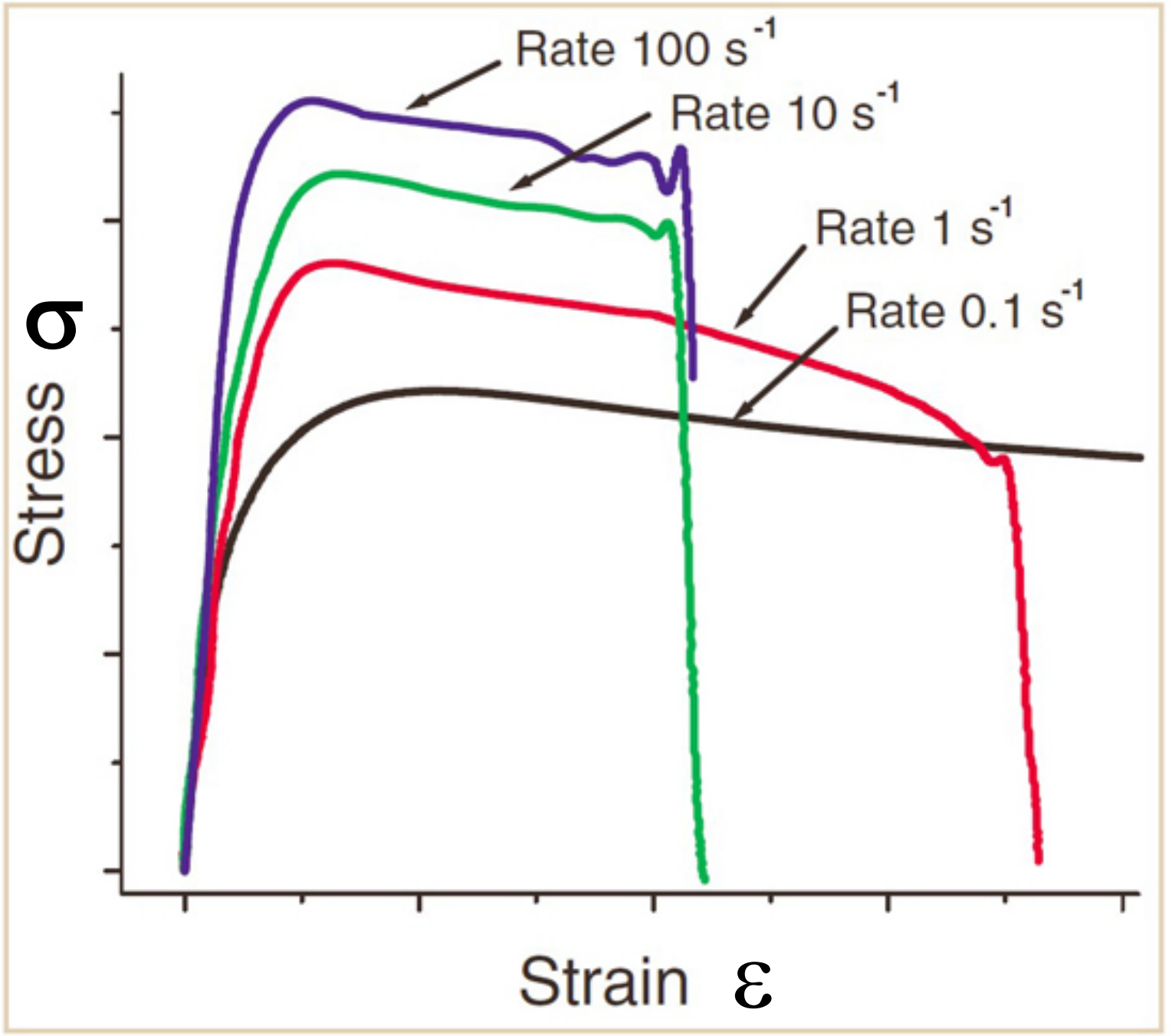
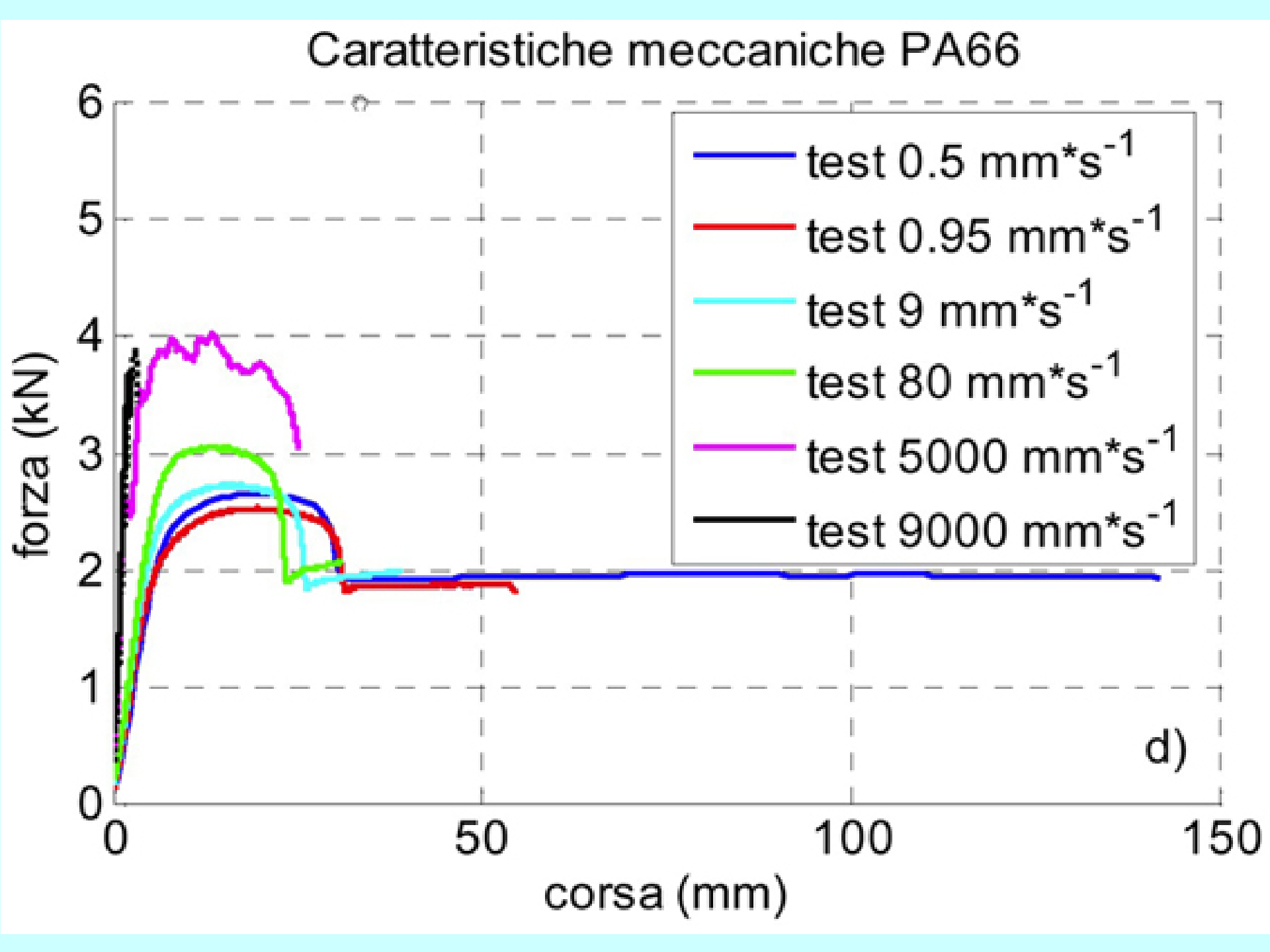
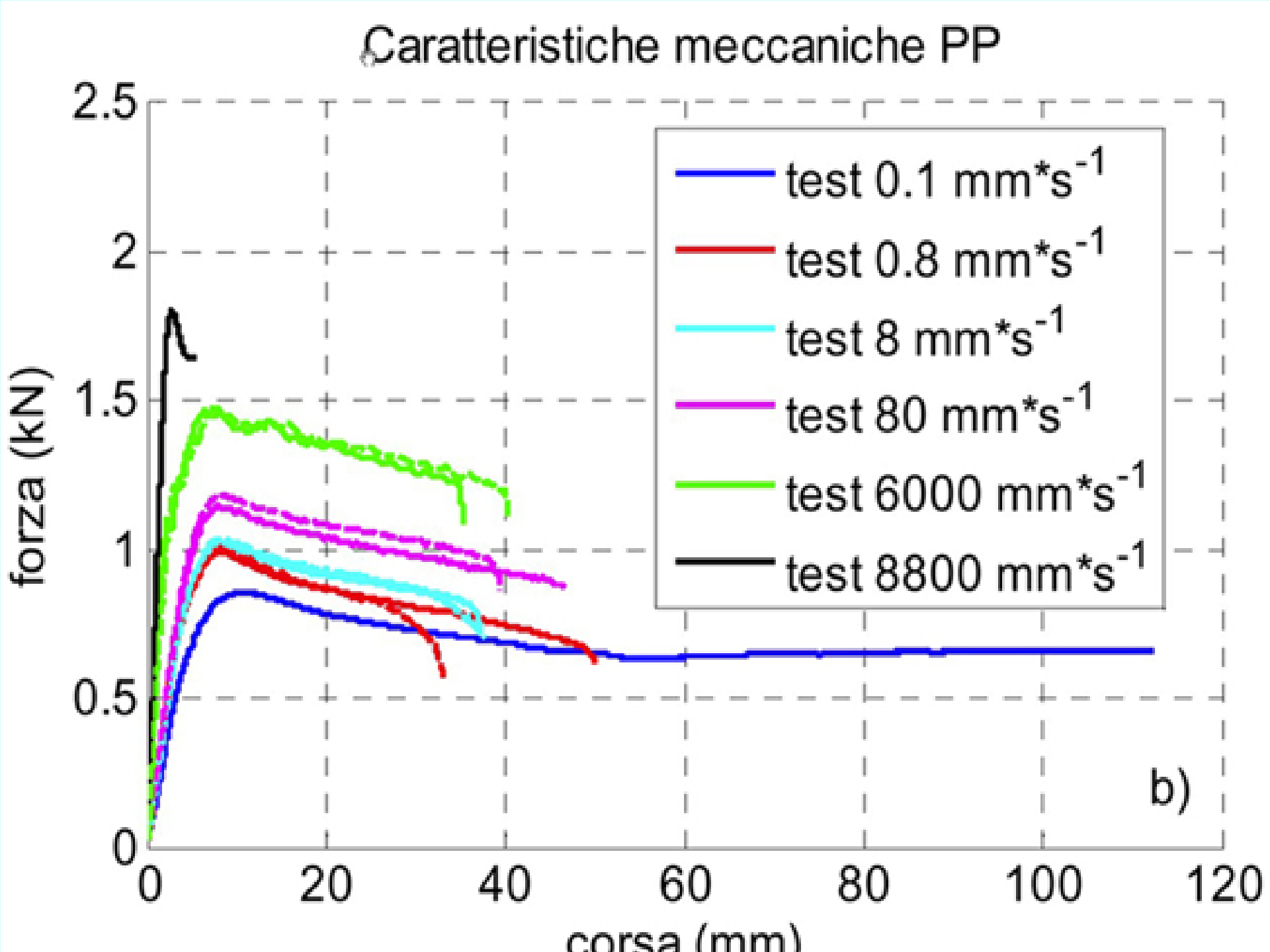


Figure 24, Plastic tensile stress strain data at decade increments of strain rate.


Caratteristiche meccaniche PA66
forza (kN)
corsa (mm)
0
1
2
3
4
5
6
0
50
100
150
test 0.5 mm*s-1
test 0.95 mm*s-1
test 9 mm*s-1
test 80 mm*s-1
test 5000 mm*s-1
test 9000 mm*s-1
d)


Caratteristiche meccaniche PP
2.5
2
1.5
1
0.5
0
forza (kN)
0
20
40
60
80
100
120
corsa (mm)
test 0.1 mm*s-1
test 0.8 mm*s-1
test 8 mm*s-1
test 80 mm*s-1
test 6000 mm*s-1
test 8800 mm*s-1
b)

Torre di Caduta

CRASC



Fig. 4

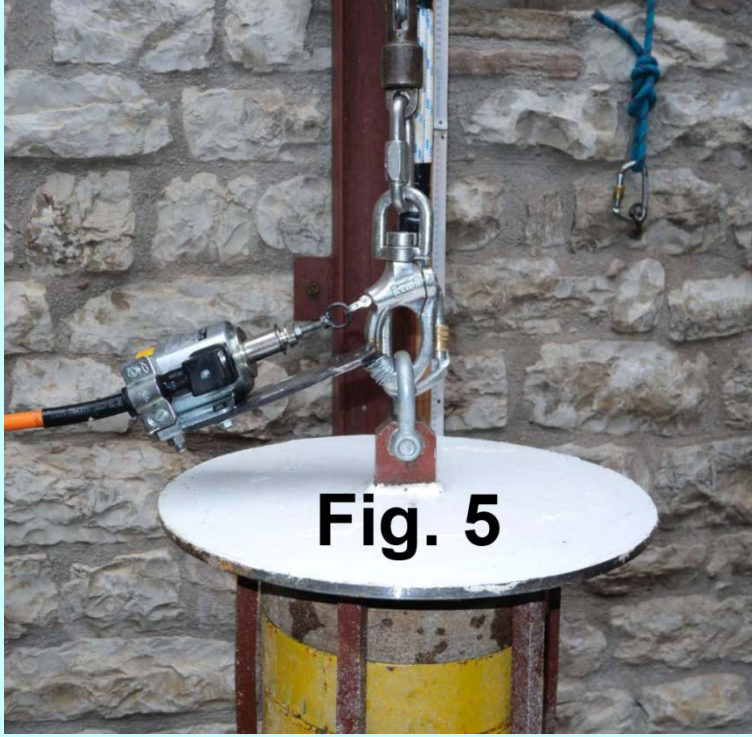


Fig. 5

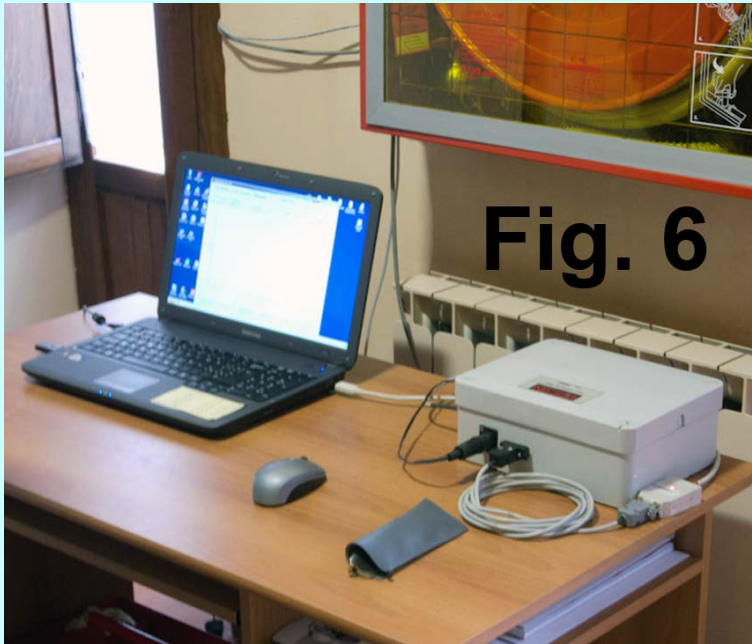


Fig. 6

Velocità del peso che cade



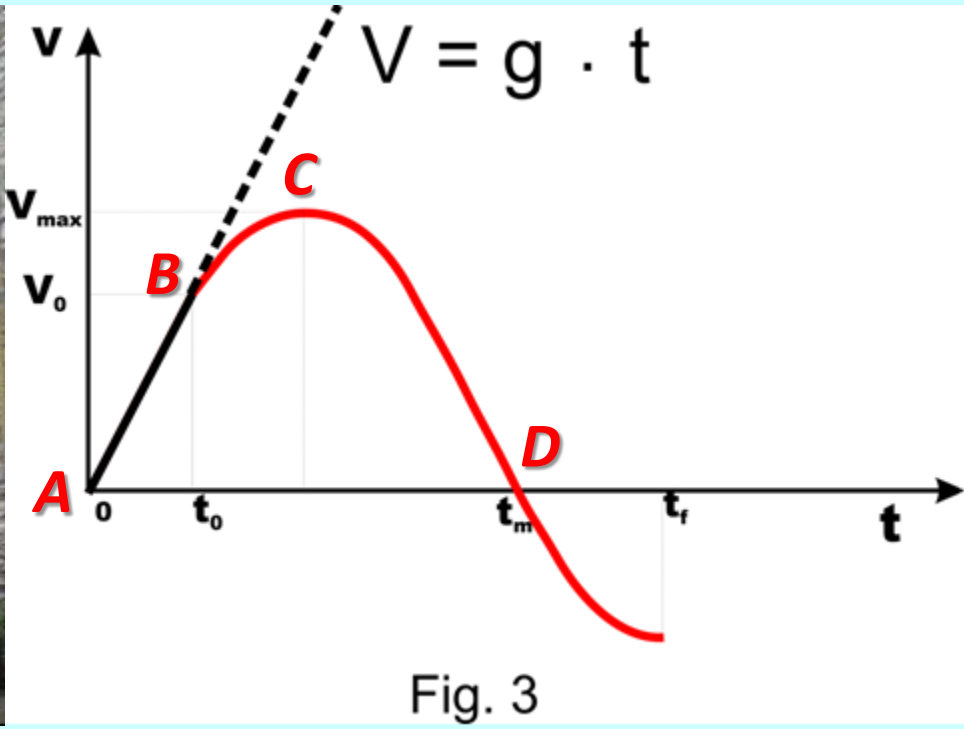


Fig. 3

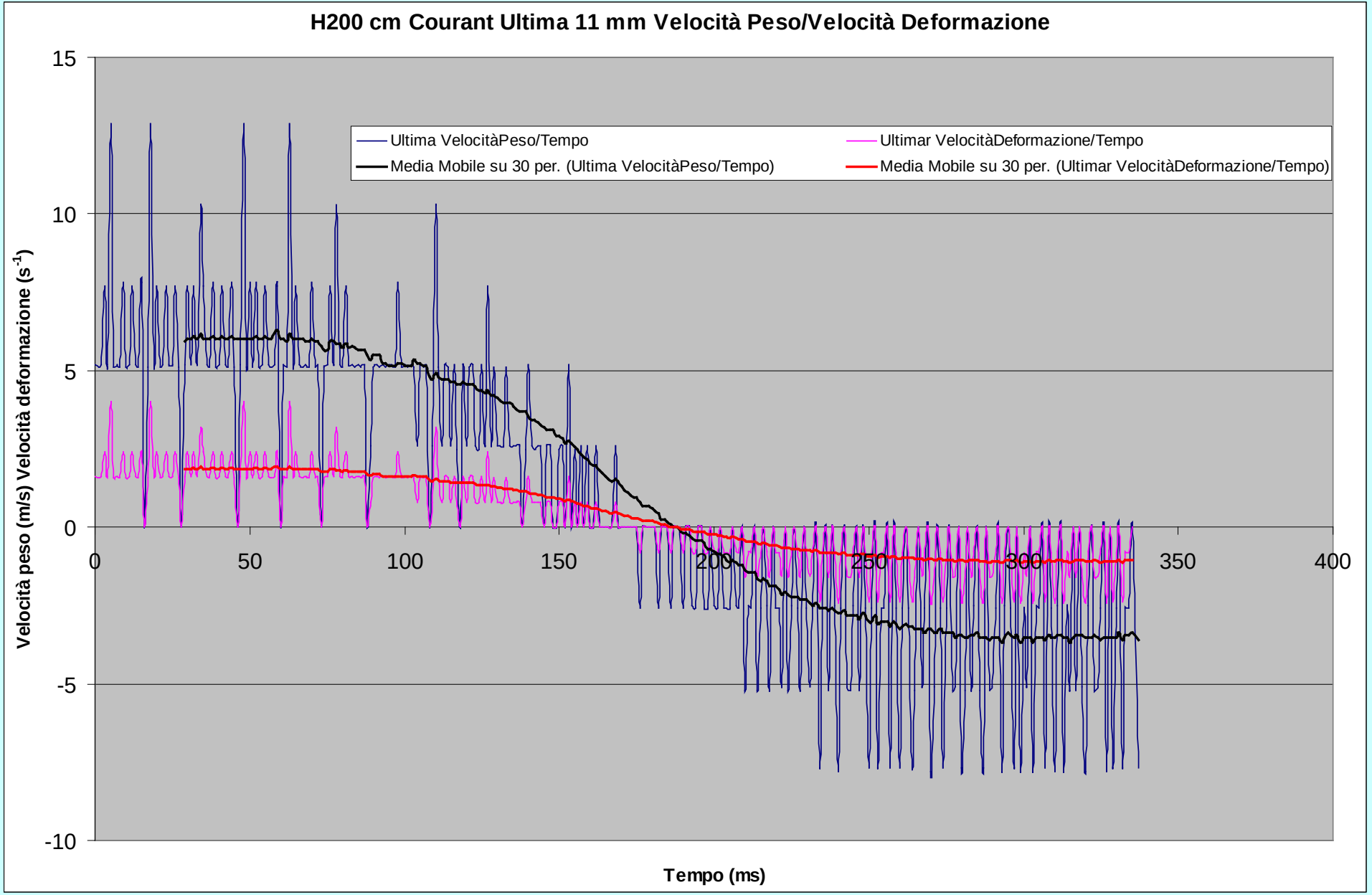
A – B: Caduta libera B: Impatto sulla corda C Velocità massima

D Velocità minima = 0 Punto d'inversione della velocità

D Forza Massima o d'Arresto

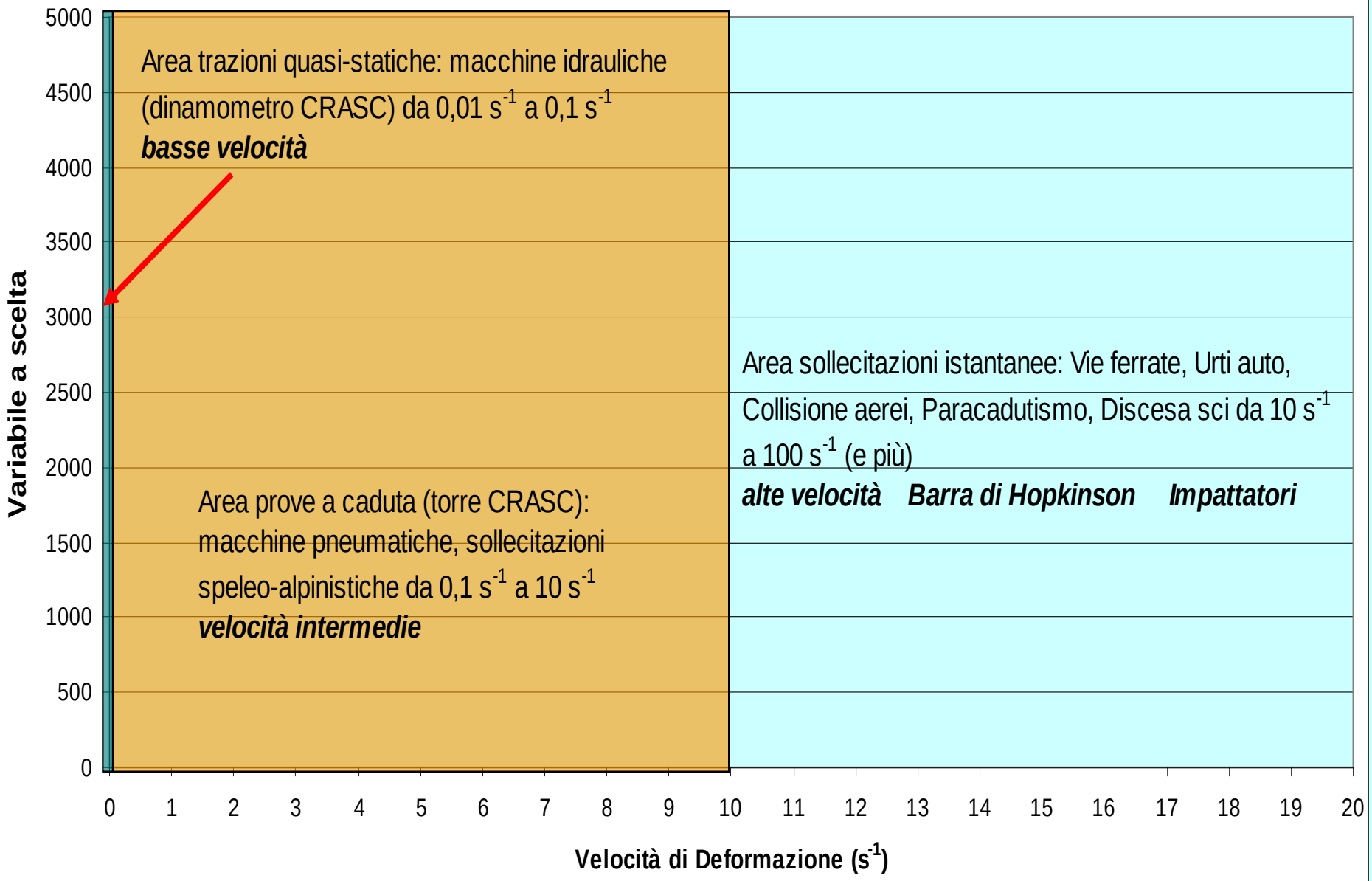
Velocità di deformazione

$$V_d = \frac{V_0}{l_0} (s^{-1})$$

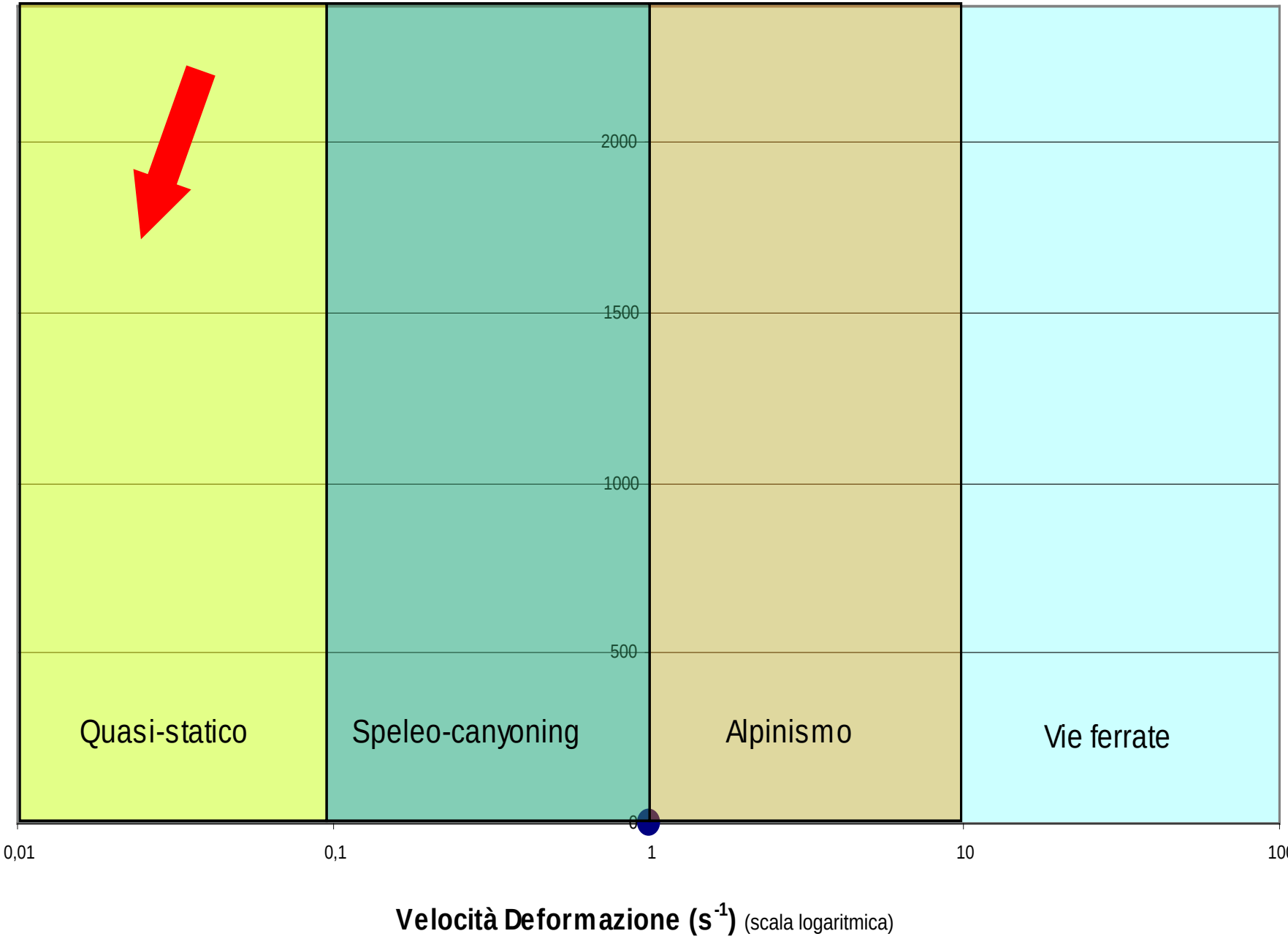

H200 cm Courant Ultima 11 mm Velocità Peso/Velocità Deformazione
Ultima VelocitàPeso/Tempo
Ultimar VelocitàDeformazione/Tempo
Media Mobile su 30 per. (Ultima VelocitàPeso/Tempo)
Media Mobile su 30 per. (Ultimar VelocitàDeformazione/Tempo)
Velocità peso (m/s) Velocità deformazione (s-1)
Tempo (ms)
15
10
5
0
-5
-10
0
50
100
150
200
250
300
350
400

Tipi di progressione e Velocità di Deformazione

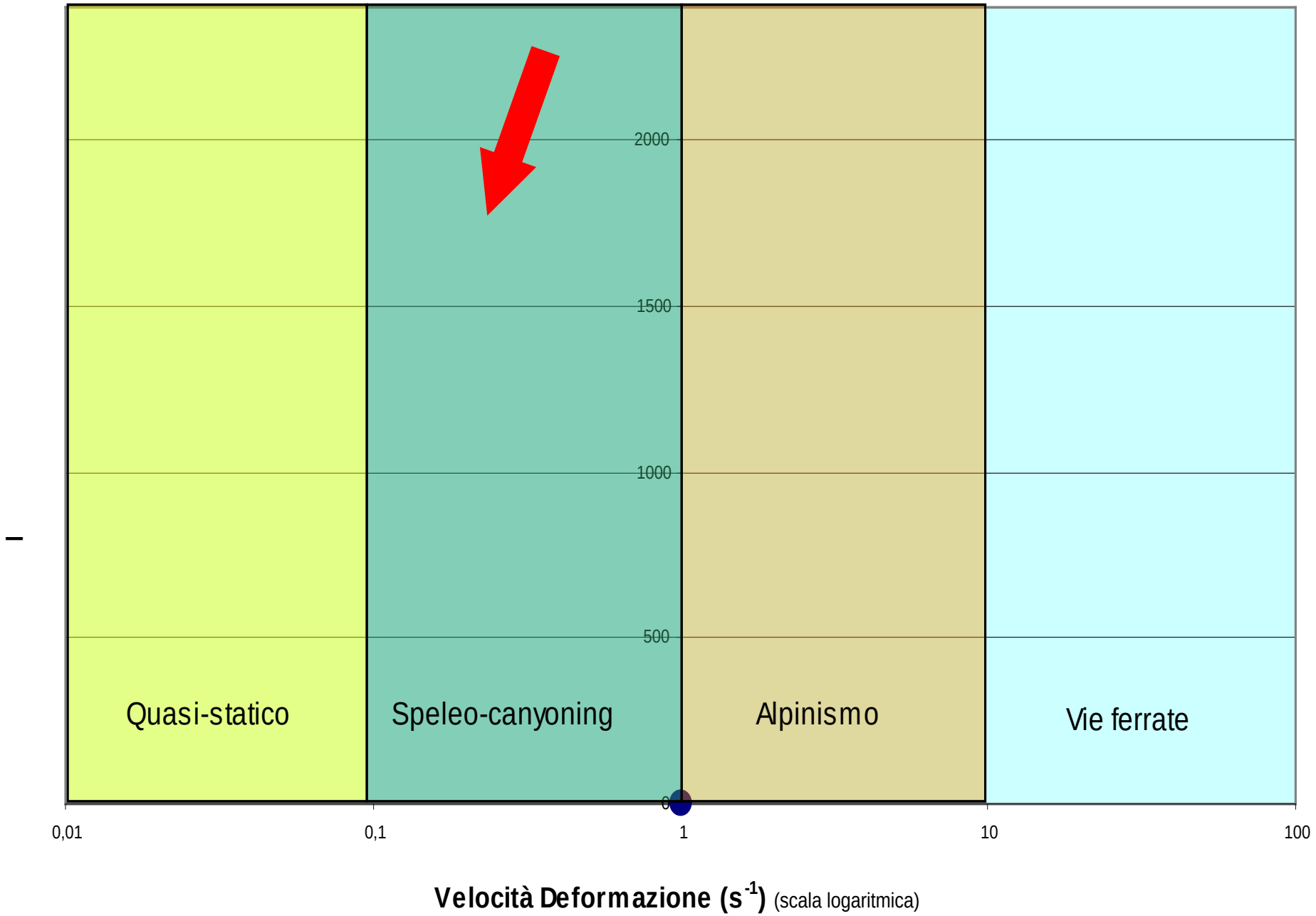
Velocità di Deformazione V_d (s^{-1}): aree di applicazione Valori assoluti



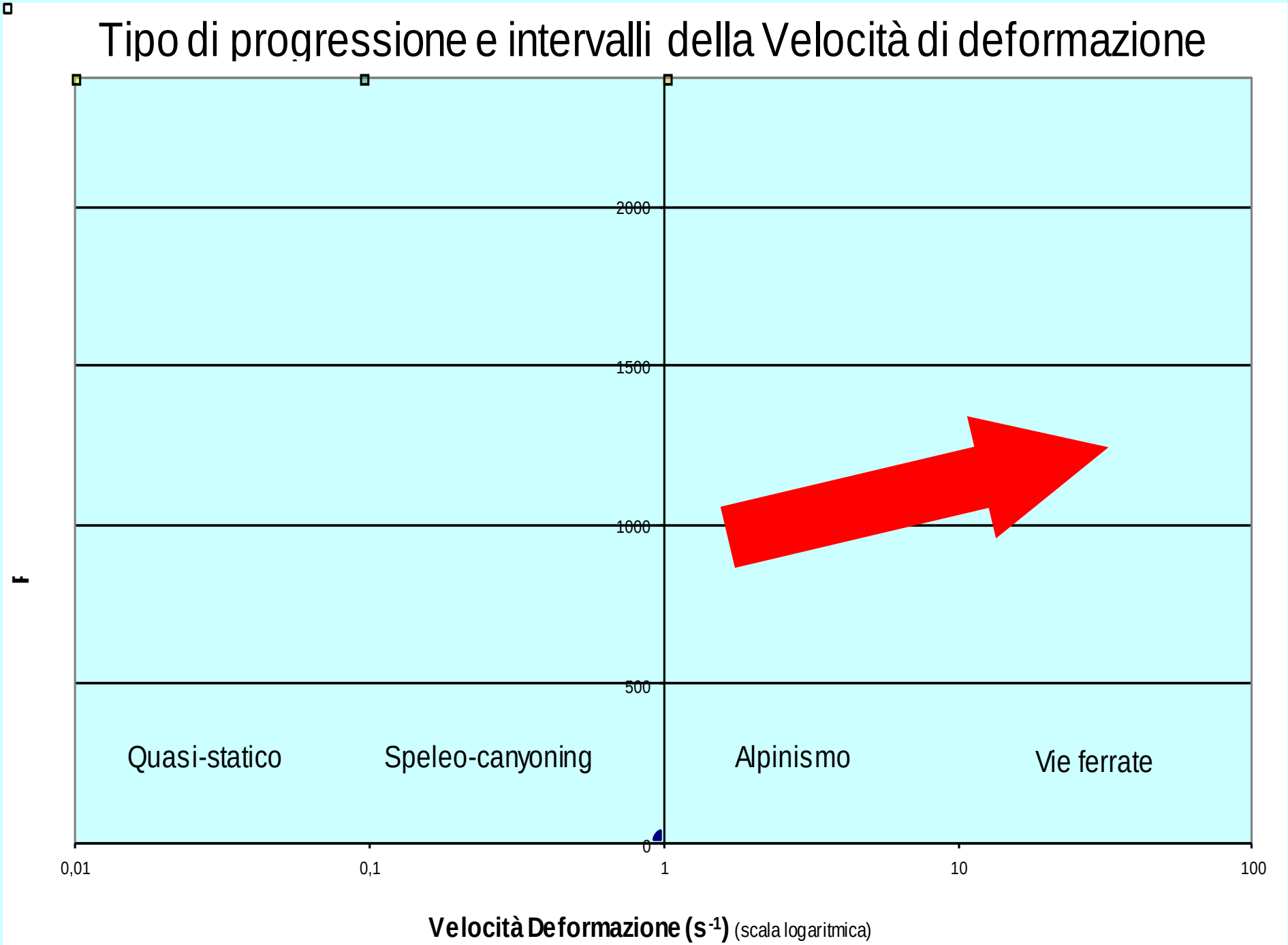
Tipo di progressione e intervalli della Velocità di deformazione



Tipo di progressione e intervalli della Velocità di deformazione



Tipo di progressione e intervalli della Velocità di deformazione



Altezza Caduta/Velocità Impatto/Velocità Deformazione

$V = \sqrt{2hg}$		Corda 10,00m	Corda 3,00 m	Corda 1,00 m	Longe 0,40 m	Moschettone 0,10 m
h (m)	V_0 (m/s)	V_d (s^{-1})	V_d (s^{-1})	V_d (s^{-1})	V_d (s^{-1})	V_d (s^{-1})
QS	0,006	0,0006	0,002	0,006	0,015	0,06
0,25	2,21	**0,22**	0,74	2,21	5,53	22,1
0,50	3,13	0,31	1,04	3,13	7,83	31,3
1,00	4,43	0,44	1,48	4,43	11,07	44,3
2,00	6,26	0,63	2,09	6,26	15,65	62,6
3,00	7,67	0,77	2,56	7,67	19,17	76,7
4,00	8,86	0,89	2,95	8,86	22,15	88,6
5,00	9,90	0,99	3,30	9,90	24,75	**99,0**

Rapporto fra Fattore di caduta e Velocità di deformazione

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

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

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

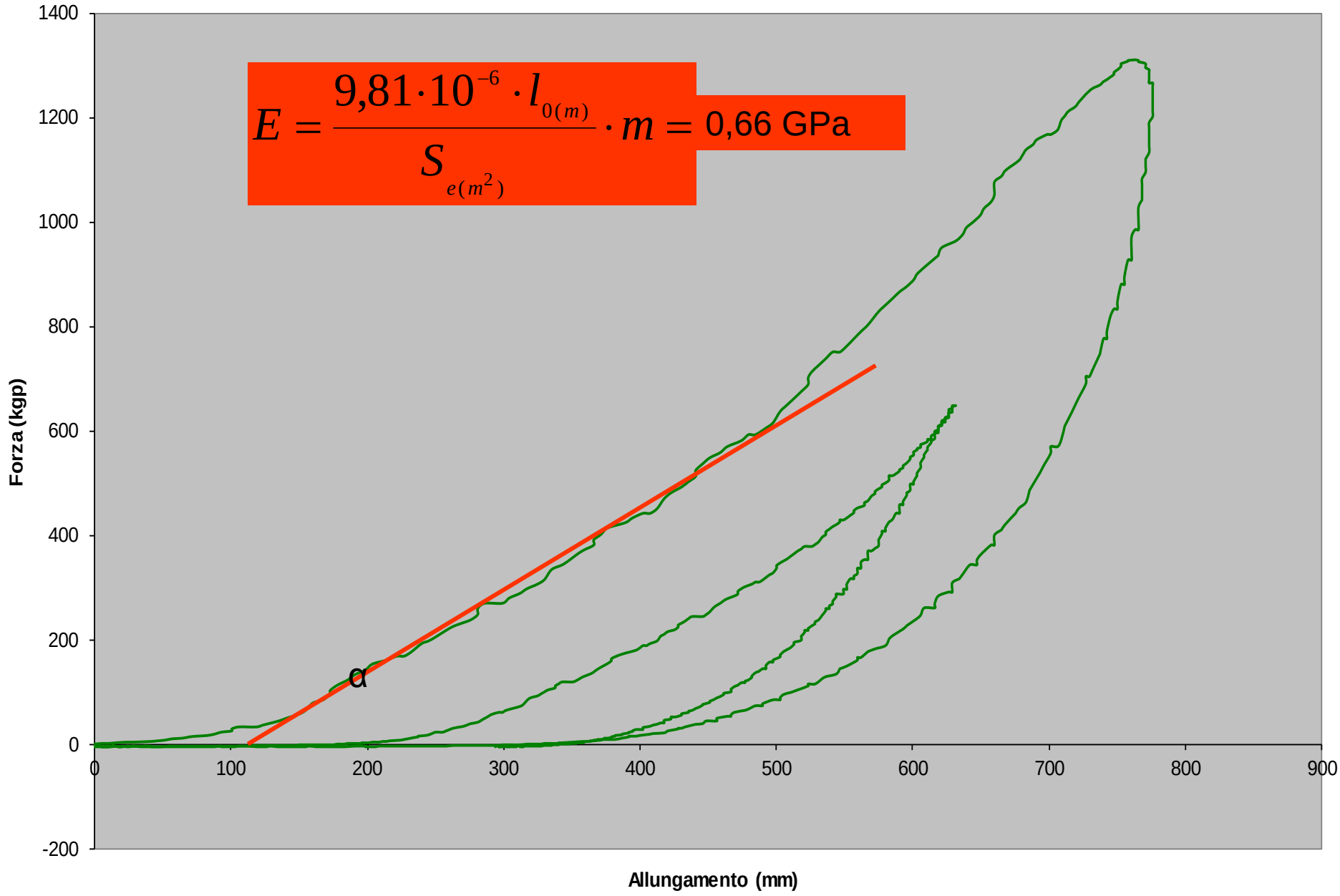
l_0 = lunghezza campione a riposo (m)

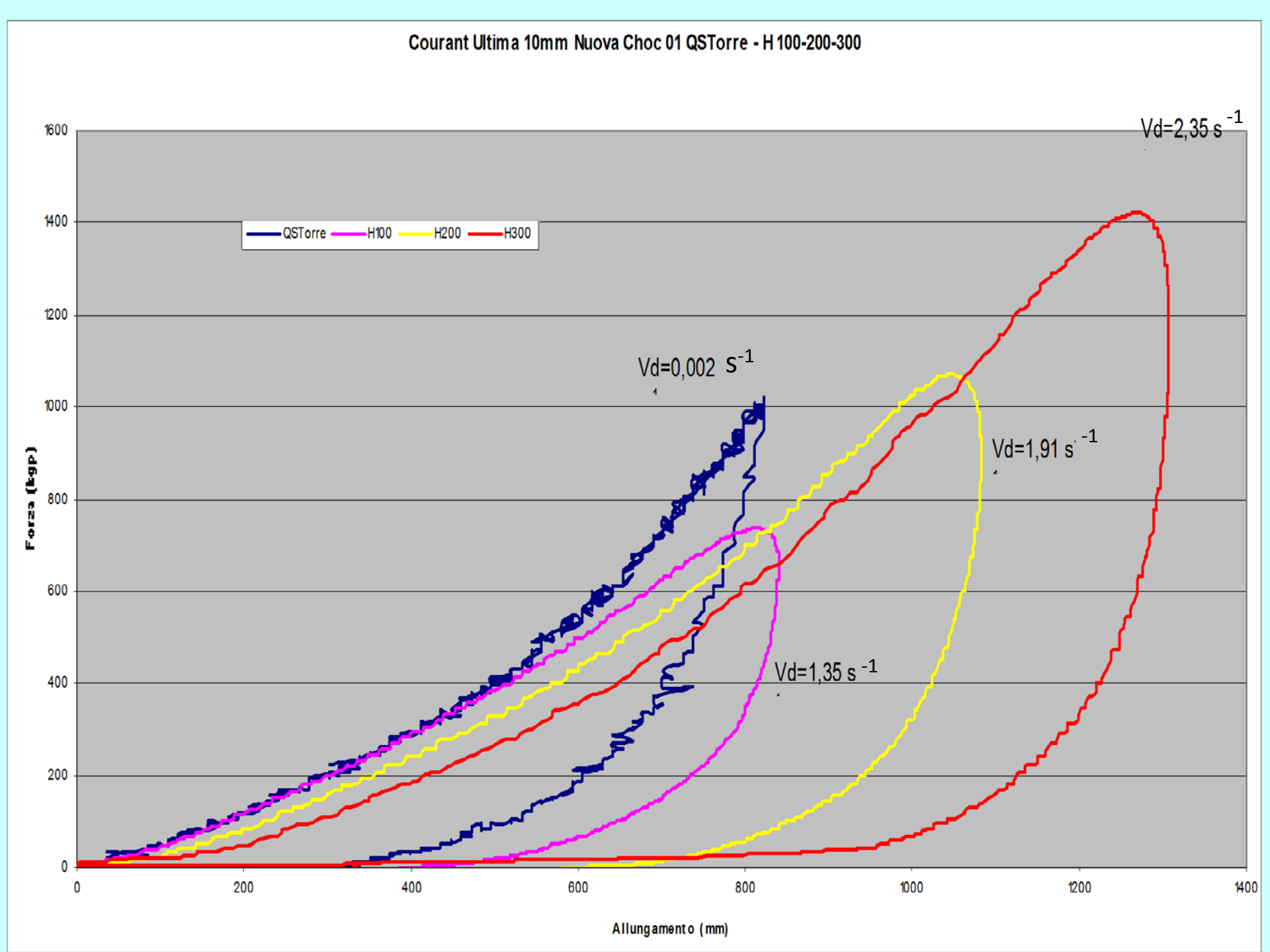
g = accelerazione di gravità (m/s^2)

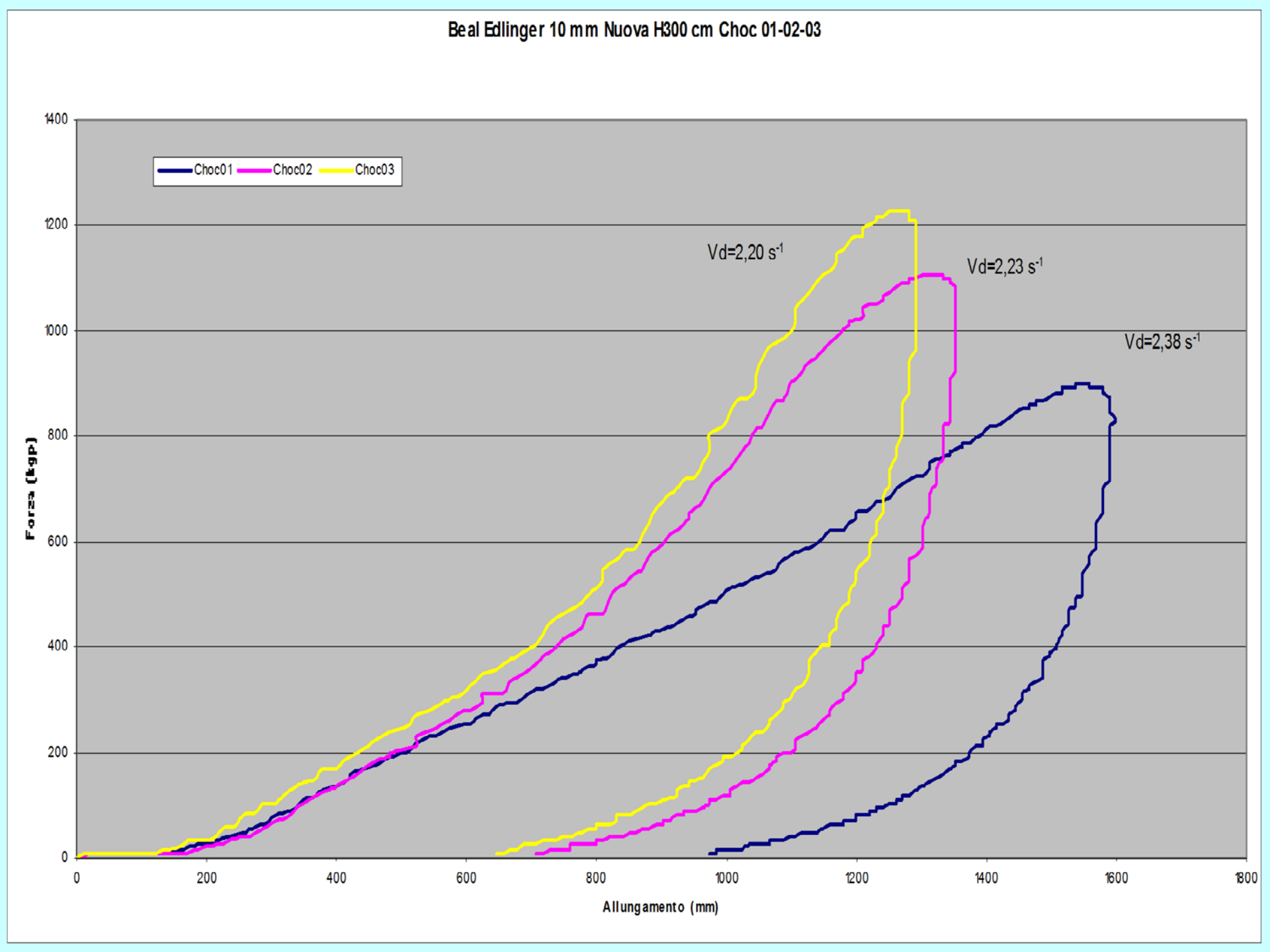
h = altezza di caduta (m)

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

Modulo Ultima 11 mm Nuova H200 cm Choc 02



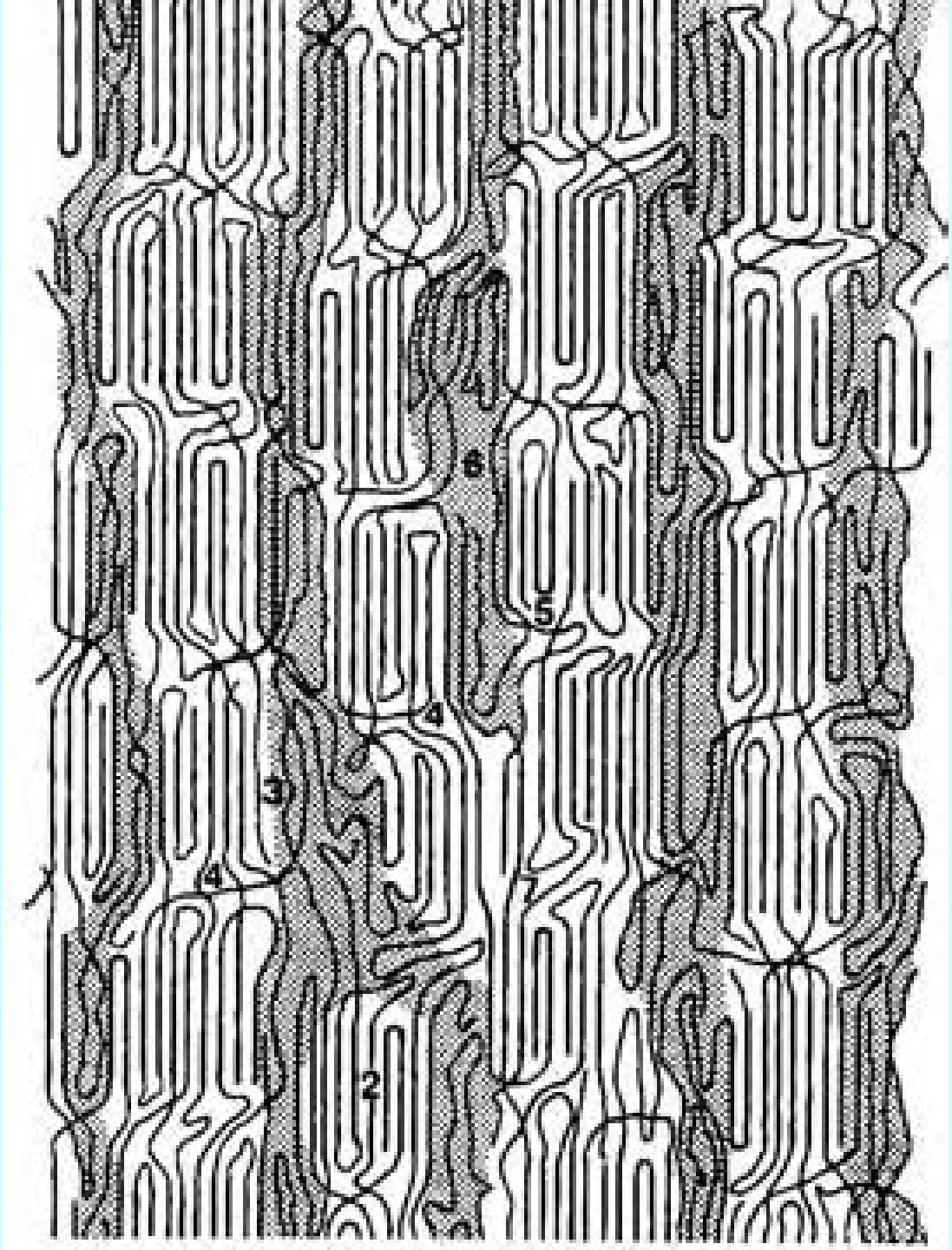

Courant Ultima 10mm Nuova Choc 01 QSTorre - H 100-200-300
QSTorre
H100
H200
H300
Vd=2,35 s -1
Vd=0,002 s-1
Vd=1,91 s -1
Vd=1,35 s -1
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600


Beal Edlinger 10 mm Nuova H300 cm Choc 01-02-03
Choc01
Choc02
Choc03
Vd=2,20 s-1
Vd=2,23 s-1
Vd=2,38 s-1
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

La visco - elasticità dei polimeri

Comportamento visco-elastico:

una parte di energia viene persa per viscosità

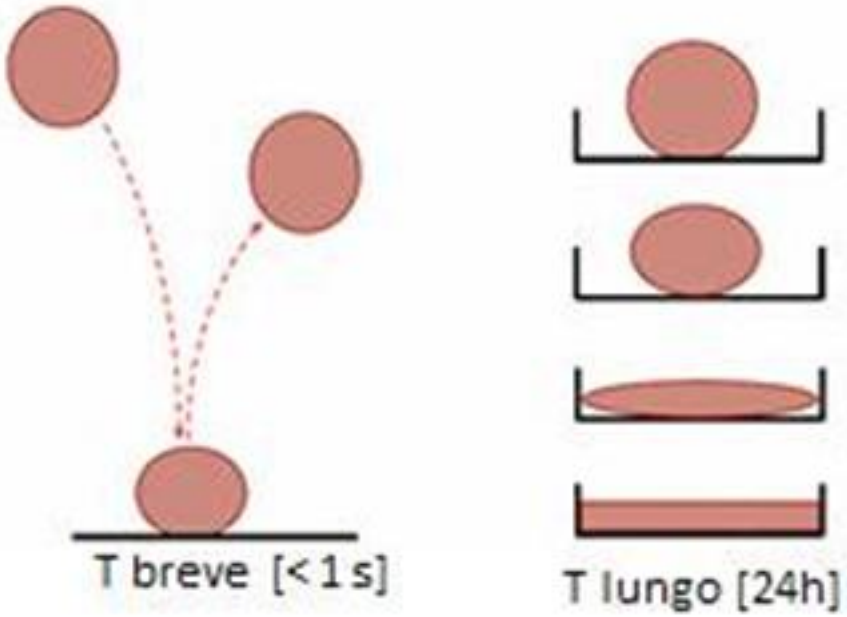

6
5
4
3
4
2

Comportamento viscoelastico

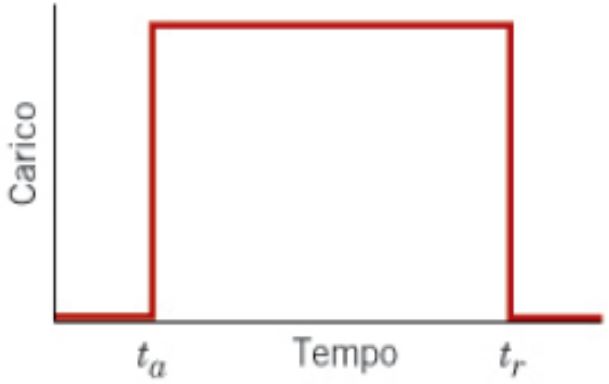
I materiali viscoelastici rispondono alle sollecitazioni in funzione della velocità con le quali vengono impresse:

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

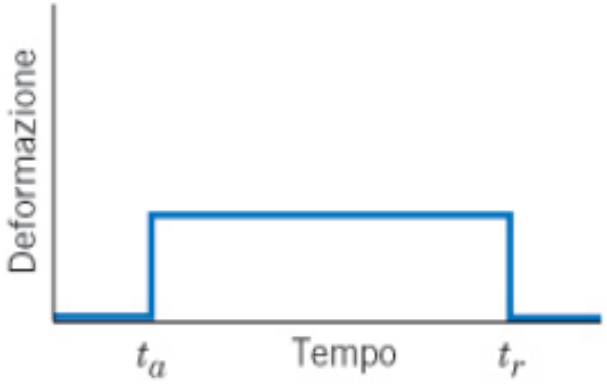
È fondamentale quindi conoscere come viene applicato un carico
Il comportamento viscoelastico è DIPENDENTE DAL TEMPO



Elasticità (reversibile)

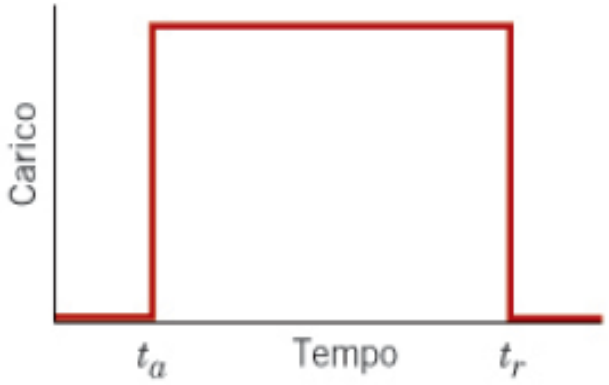


Curva del carico in funzione di t (il carico è applicato in modo istantaneo in t_a e rimosso in t_r.

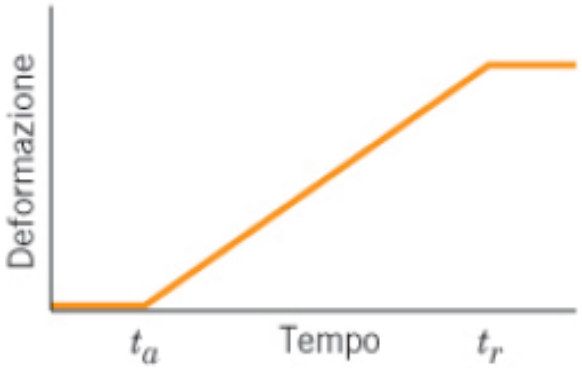


Curva sforzo-deformazione per comportamento elastico

Viscosità (irreversibile)

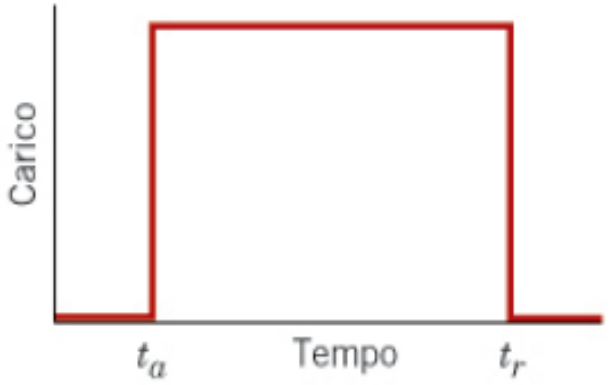


Curva del carico in funzione di t (il carico è applicato in modo istantaneo in t_a e rimosso in t_r.

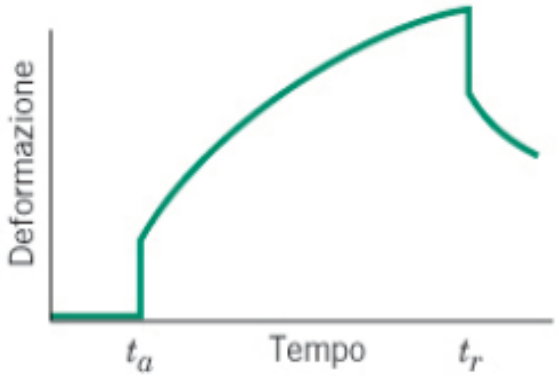


Curva sforzo-deformazione per comportamento viscoso

Elasticità + Viscosità



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

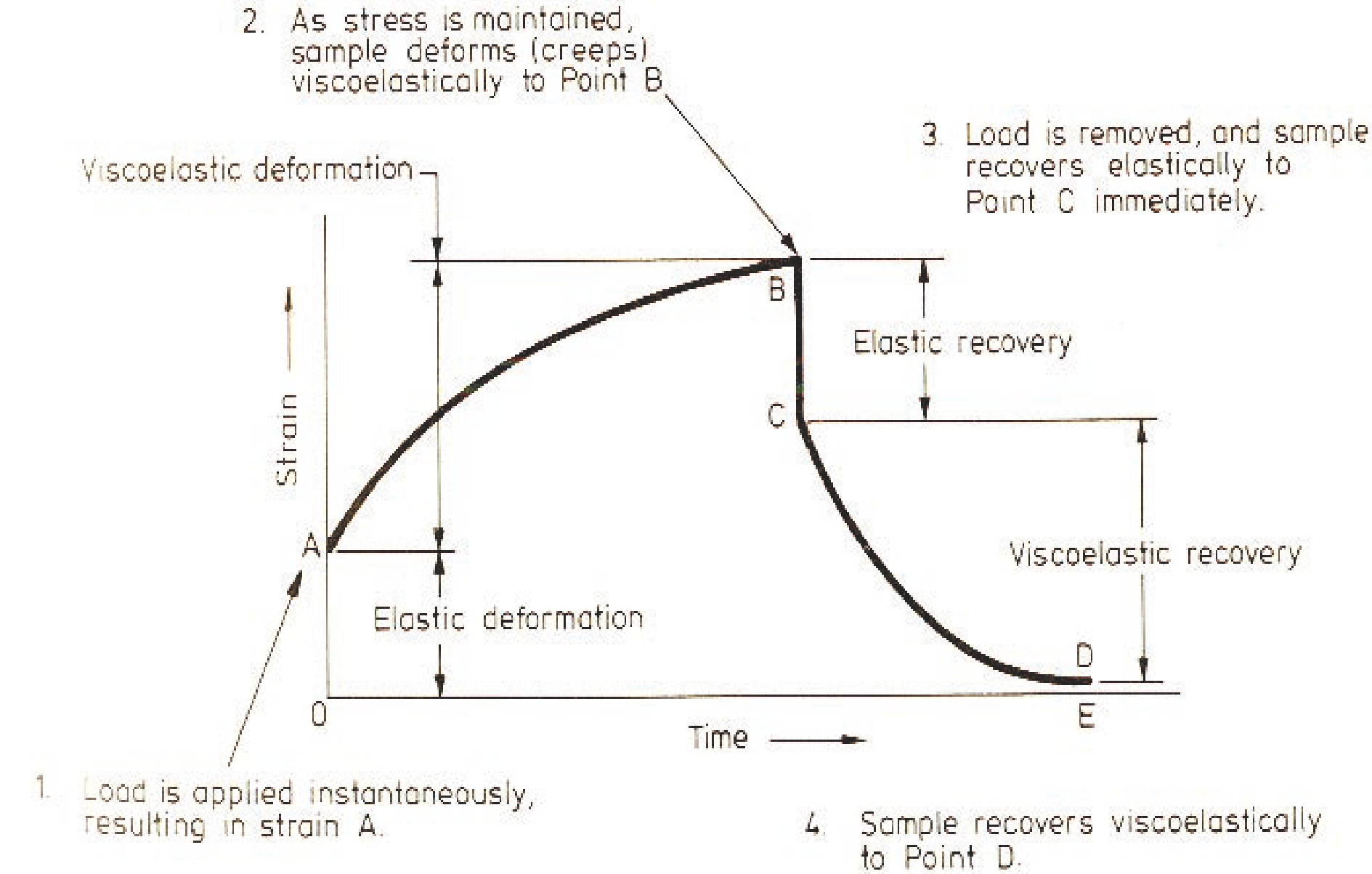
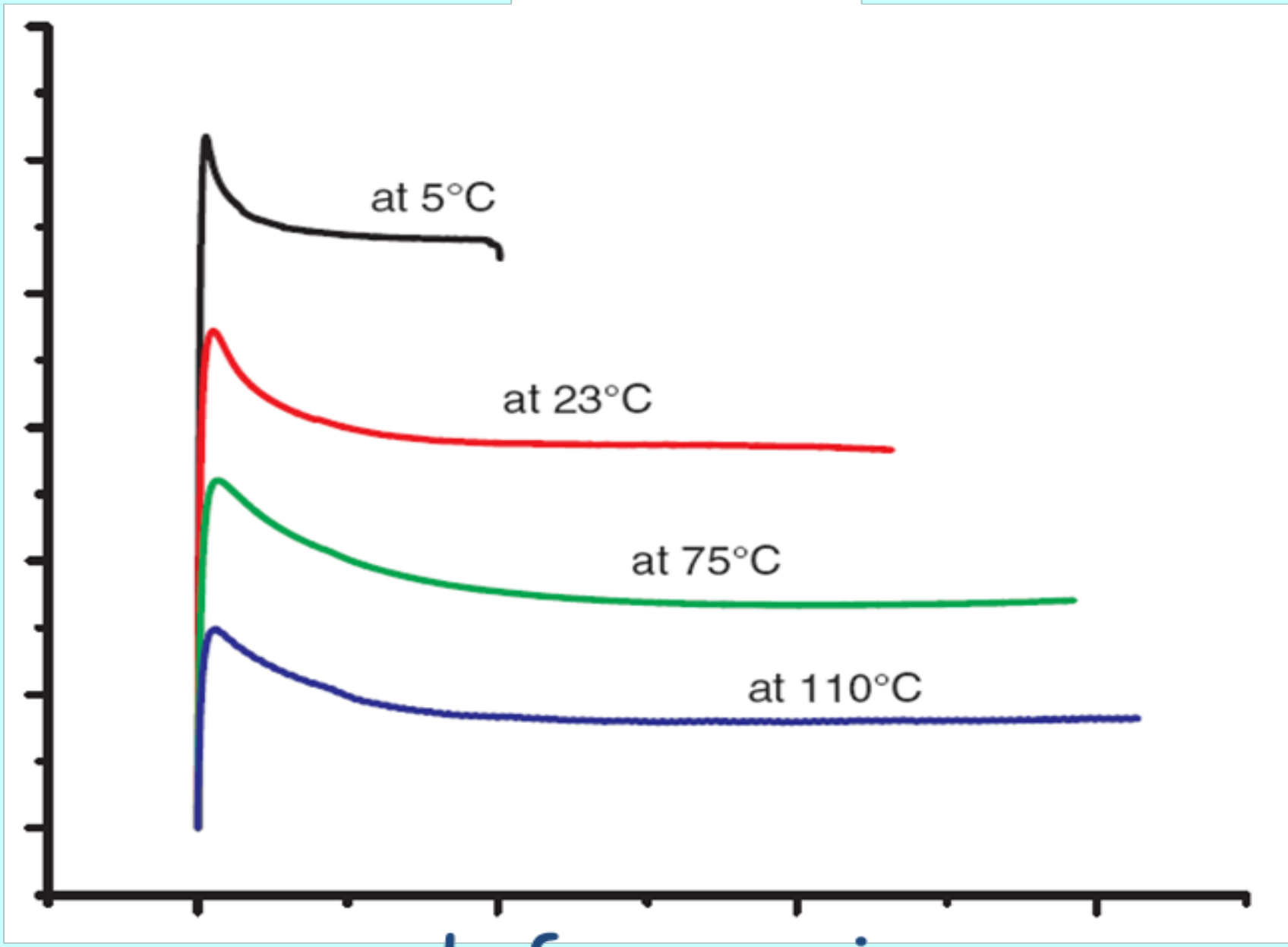


Fig 1.9 Typical Creep and recovery behaviour of a plastic

Effetto temperatura (calore)


sforzo
at 5°C
at 23°C
at 75°C
at 110°C
deformazione

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 proceso di cristallizzazione.

TRANSIZIONE VETROSA

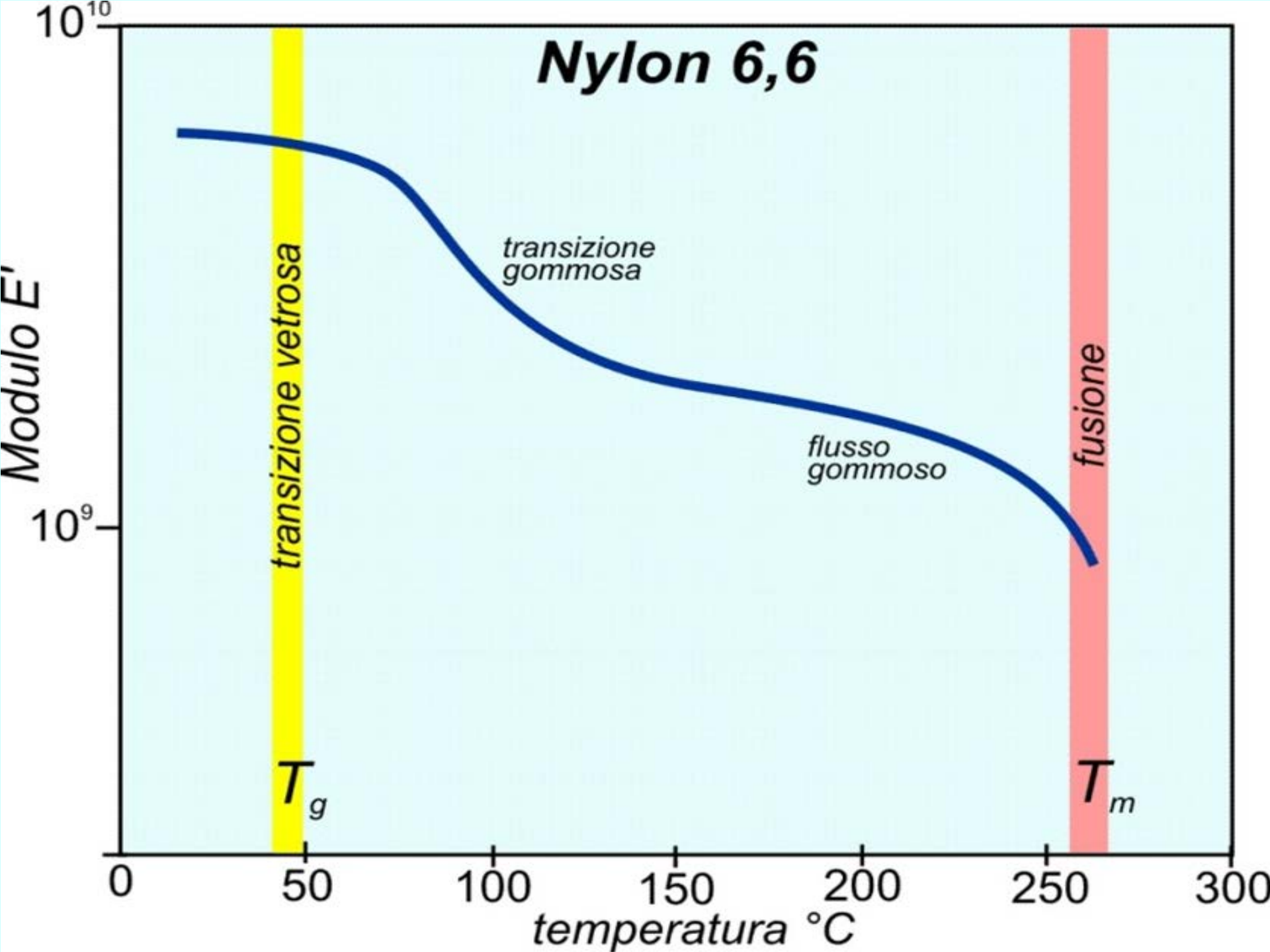
Si presenta nei polimeri amorfi (vetrosi) e semicristallini ed è dovuto alla diminuzione della mobilità delle catene molecolari al diminuire della temperatura.

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:

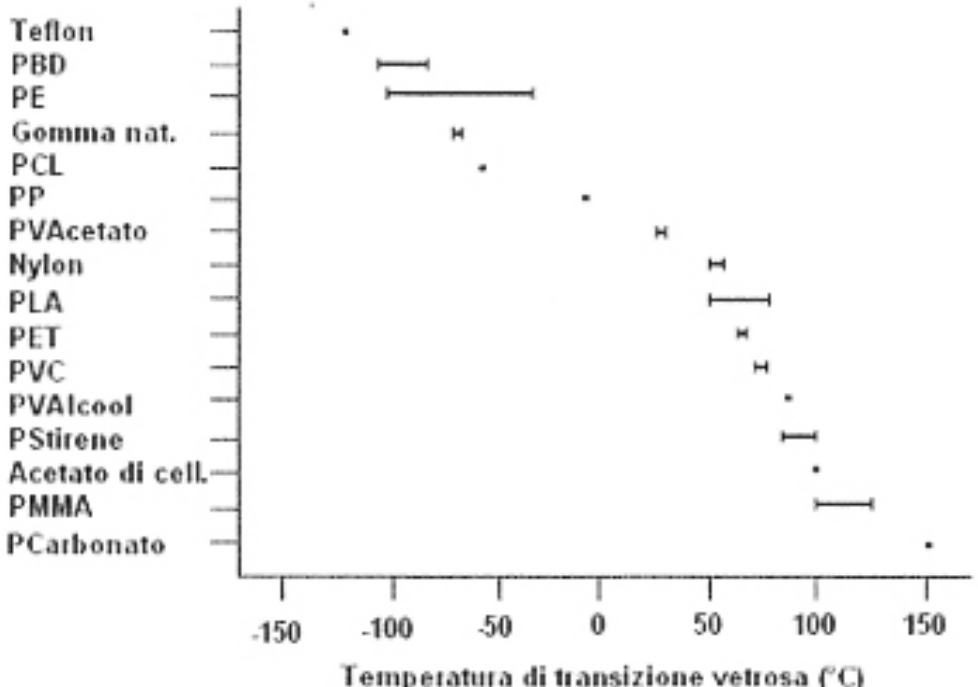
- rigidezza
- capacità termica
- coefficiente di dilatazione termica


Nylon 6,6
Modulo E'
10^{10}
10^{9}
transizione vetrosa
transizione gommosa
flusso gommoso
fusione
T_g
T_m
0
50
100
150
200
250
300
temperatura °C

TEMPERATURA DI TRANSIZIONE VETROSA (T_g)

TEMPERATURA DI ESERCIZIO (T_e):

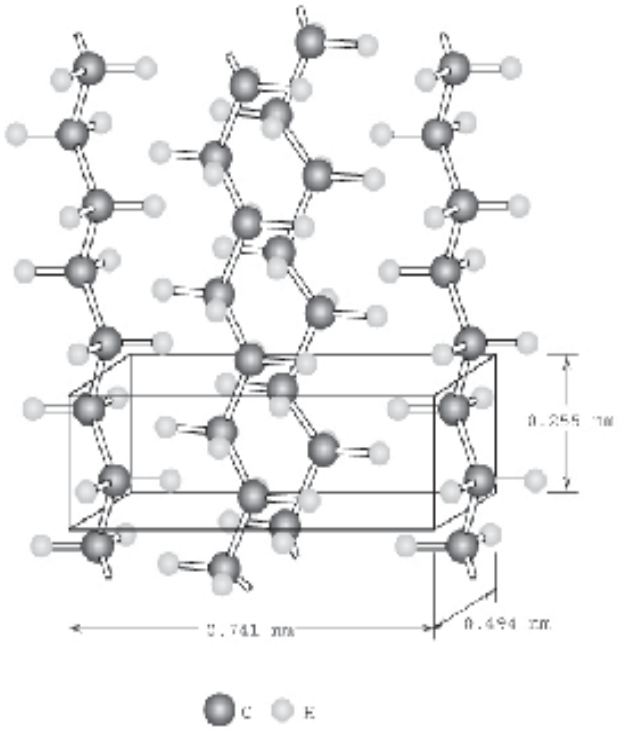
- ***Per $T_e < T_g$: comportamento vetroso***
- ***Per $T_e > T_g$: comportamento gommoso***



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.

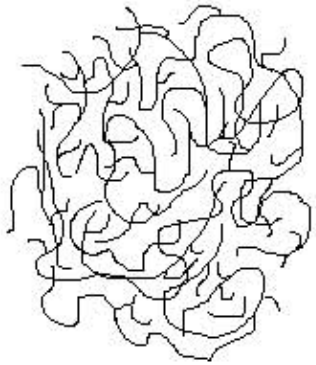


Disposizione delle catene molecolari di polietilene in una cella unitaria

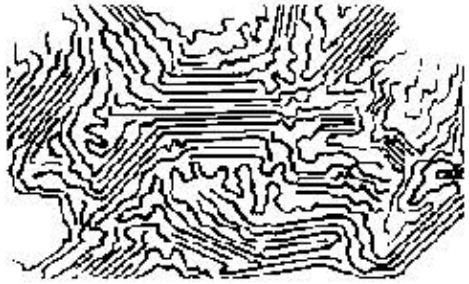
A differenza delle sostanze con molecole piccole (acqua, metano,...) che di norma sono o cristalline o completamente amorfe, i polimeri, per le loro dimensioni e complessità, sono parzialmente cristalline (semicristalline, con regioni cristalline disperse in una massa amorfa).

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

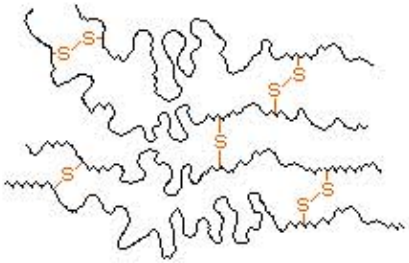
TERMOPLASTICO E TERMOINDURENTE



Struttura amorfa (random)



Struttura semi-cristallina

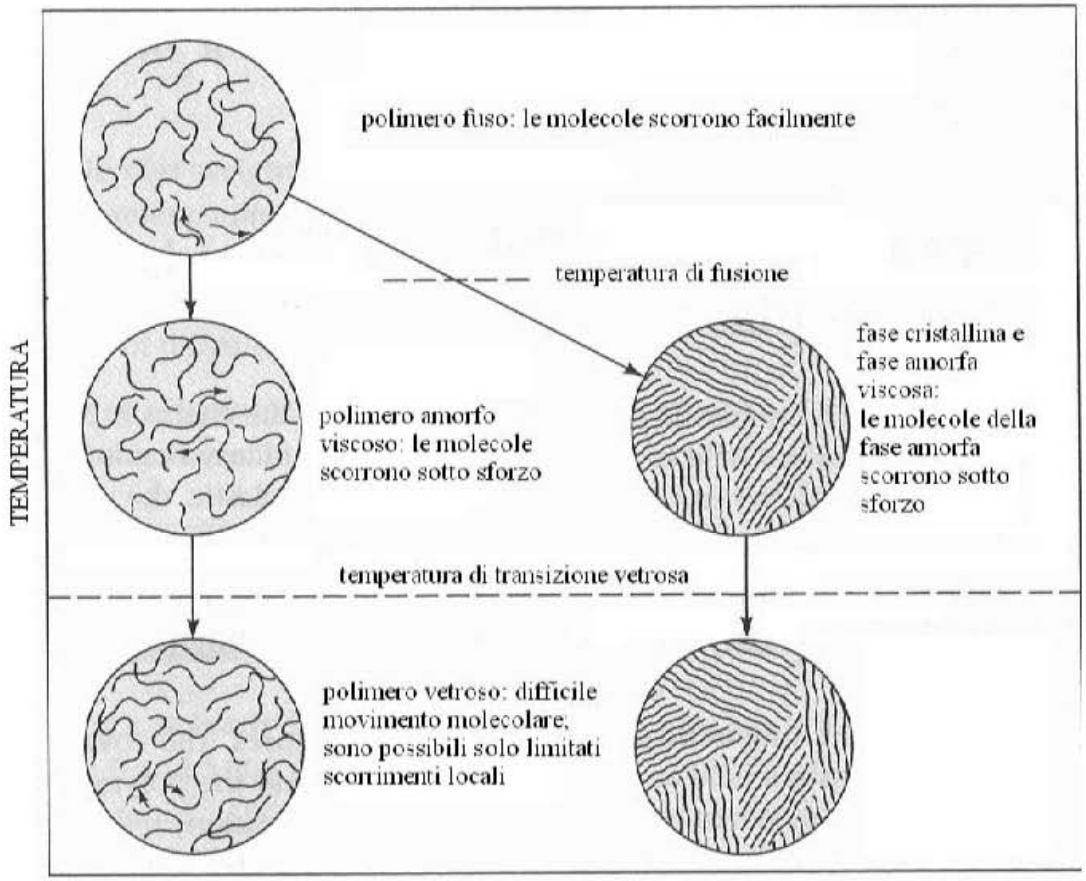


Struttura con legami incrociati - termoindurente (es. gomma vulcanizzata)

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

Termoplastici

La temperatura di transizione vetrosa e cristallinità



Deformazione meccanica

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).

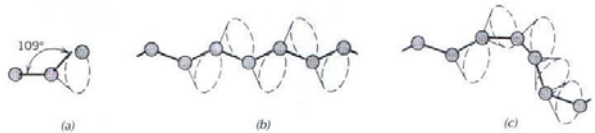


Figura 16 – *Differenti possibilità di orientamento della catena molecolare*

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.

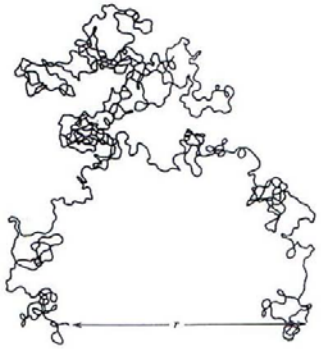
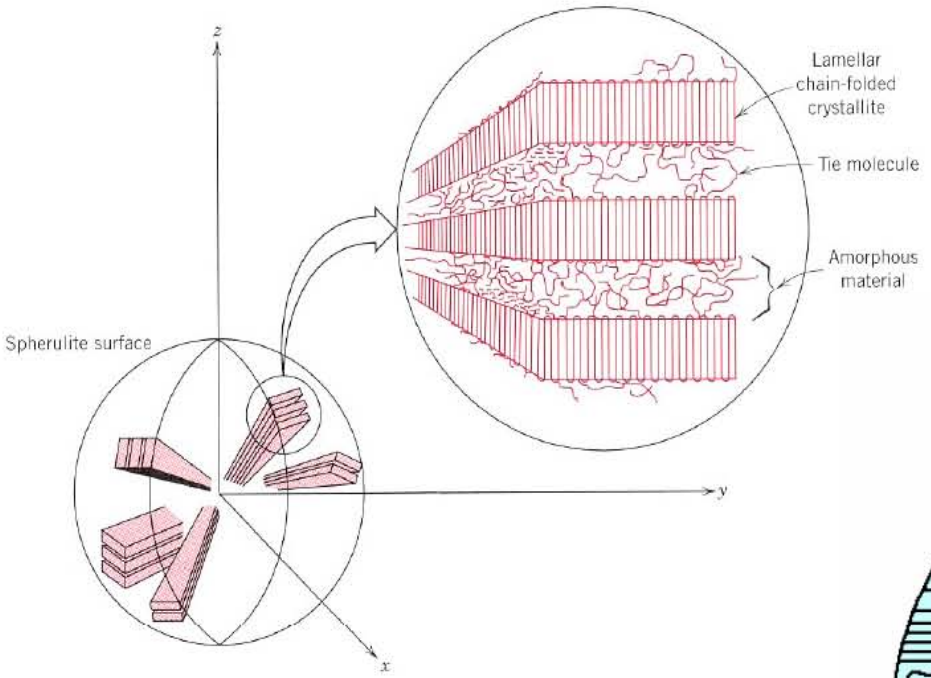
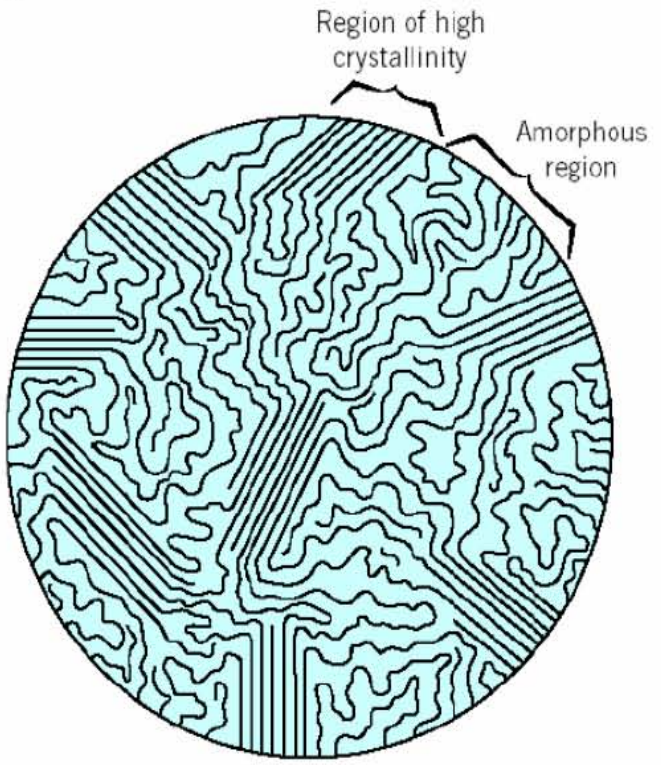


Figura 17 – *Rappresentazione della struttura a gomitolo di una macromolecola*

Modelli morfologici Termoplastici Semicristallini

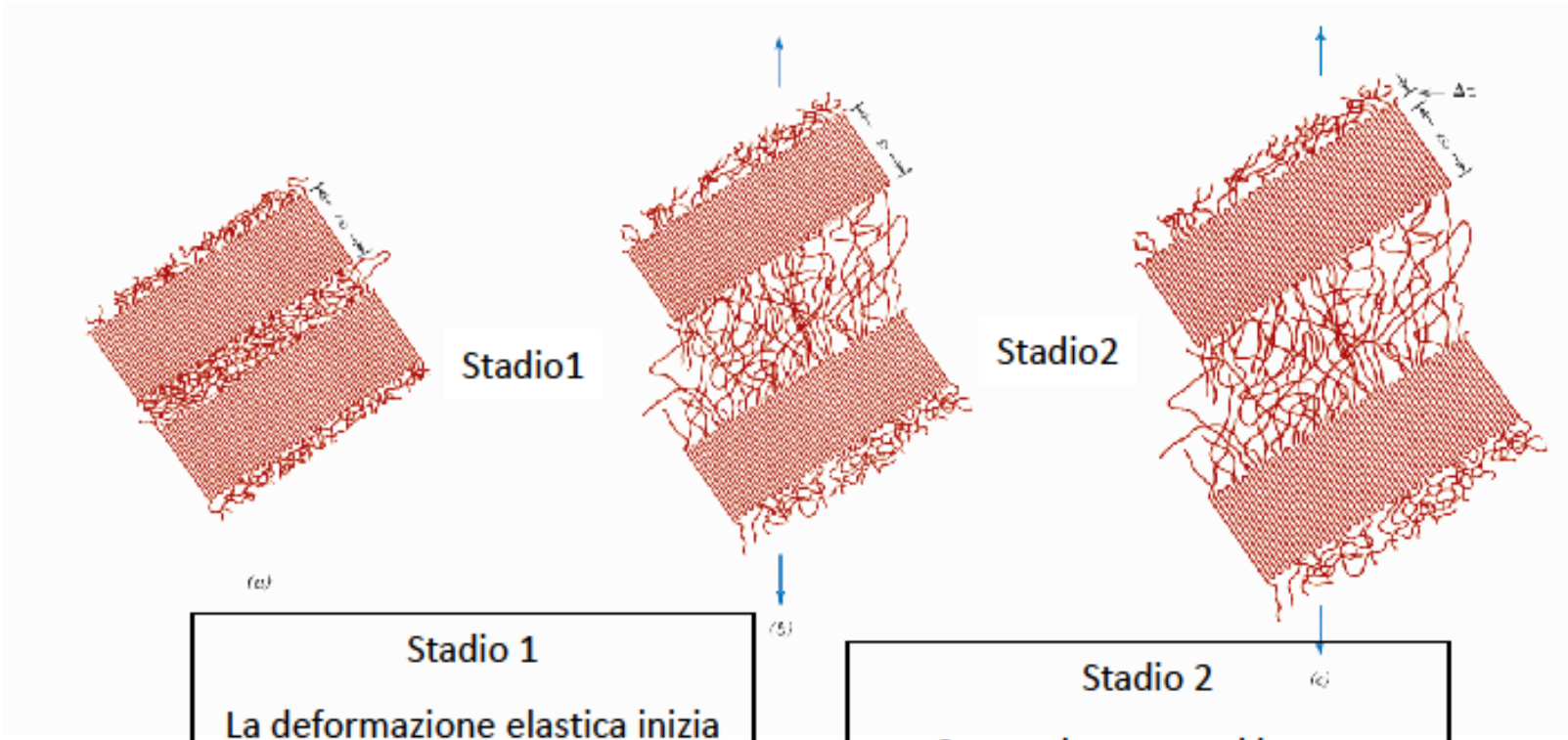




Le lamelle (zone cristalline) sono alternate a zone amorfe che garantiscono la continuità fra le molecole

Deformazione dei polimeri cristallini ➔

meccanismo di deformazione elastica



Stadio 1

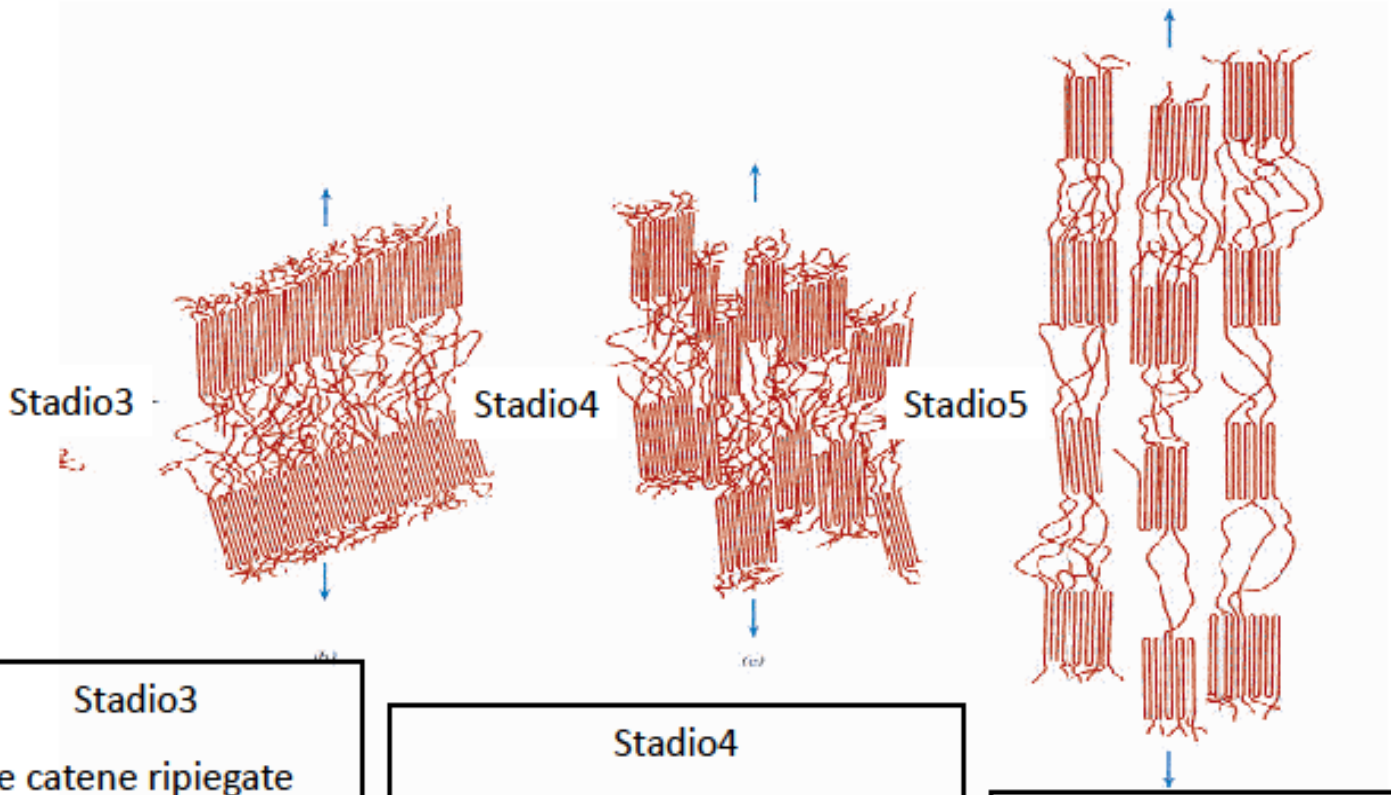
La deformazione elastica inizia dalle catene molecolari delle regioni amorfe che si allungano nella direzione di applicazione della sollecitazione di trazione

Stadio 2

Successivamente si hanno cambiamenti sia nelle regioni amorfe che nelle regioni lamellari cristalline.

Deformazione dei polimeri cristallini ➔

meccanismo di deformazione plastica



Stadio3

Le catene ripiegate adiacenti nelle lamelle scorrono le une sulle altre allineandosi con l'asse di trazione

Stadio4

Le lamelle si frazionano in blocchi cristallini attaccati mediante catene di collegamento

Stadio5

Sia blocchi che catene di collegamento sono allineati (**stiramento**)

Perchè i polimeri sono viscoelastici

punto di vista microscopico

macromolecole legate a formare un reticolo tridimensionale

legami non permanenti (*entanglement*)



LEGAME TOPOLOGICO



MODELLO RETICOLARE

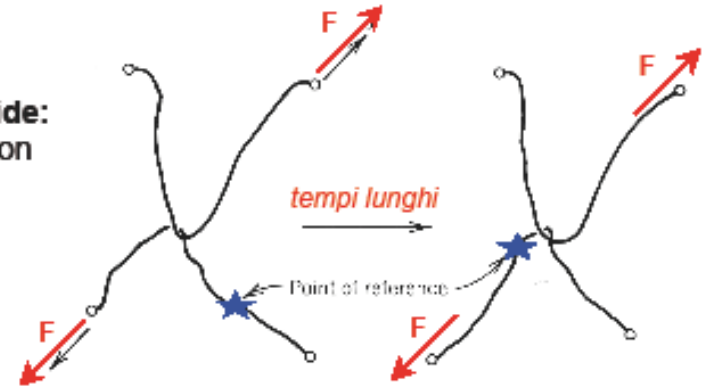
reticolo tipo elastomeri

macromolecole mutuamente concatenate ⇒ **effetti cooperativi**

(le molecole si influenzano l' un l' altra)

deformazioni rapide: gli *entanglement* non si dipanano

risposta elastica



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

risposta viscosa

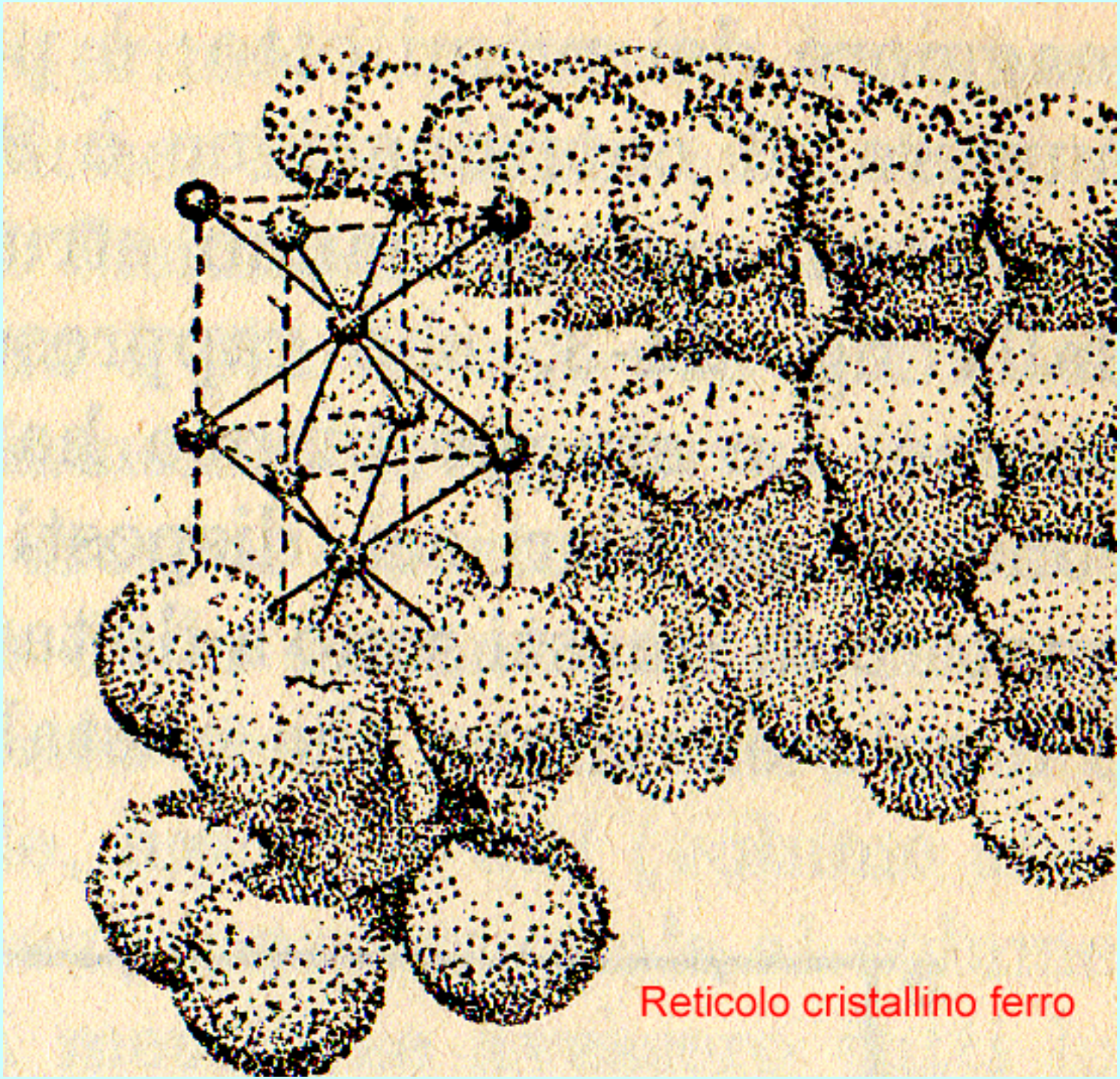
Figure 10.1 An illustration of reversible motion in a trapped entanglement under stress. The marked point of reference moves with time. When the stress is released, entropic forces return the chains to near their original positions.

Test a caduta su corde

Polimeri

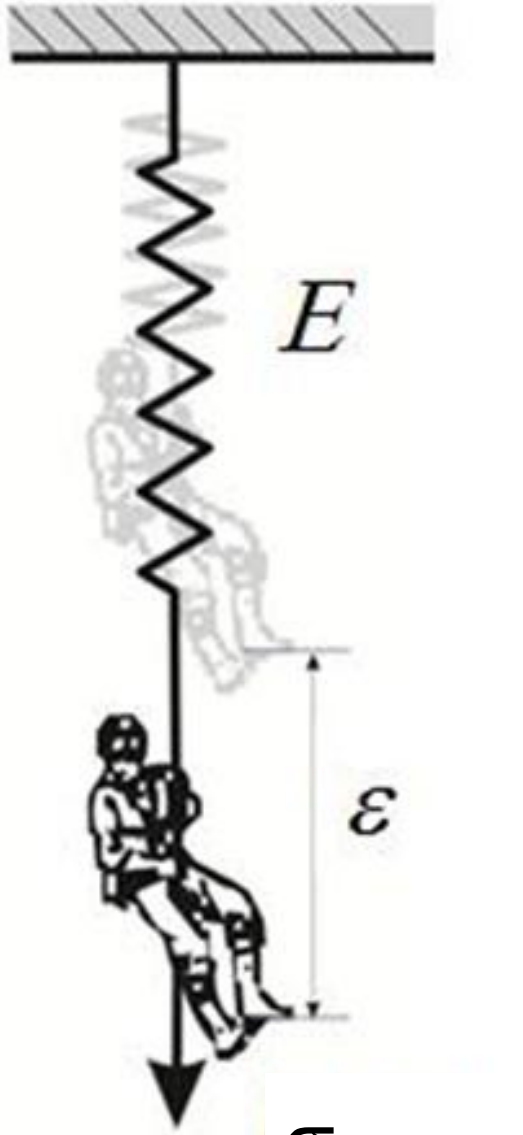
Deformazione elastiche

reversibili



Reticolo cristallino ferro

comportamento elastico di una corda speleo



Legge di Hook (barre)

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

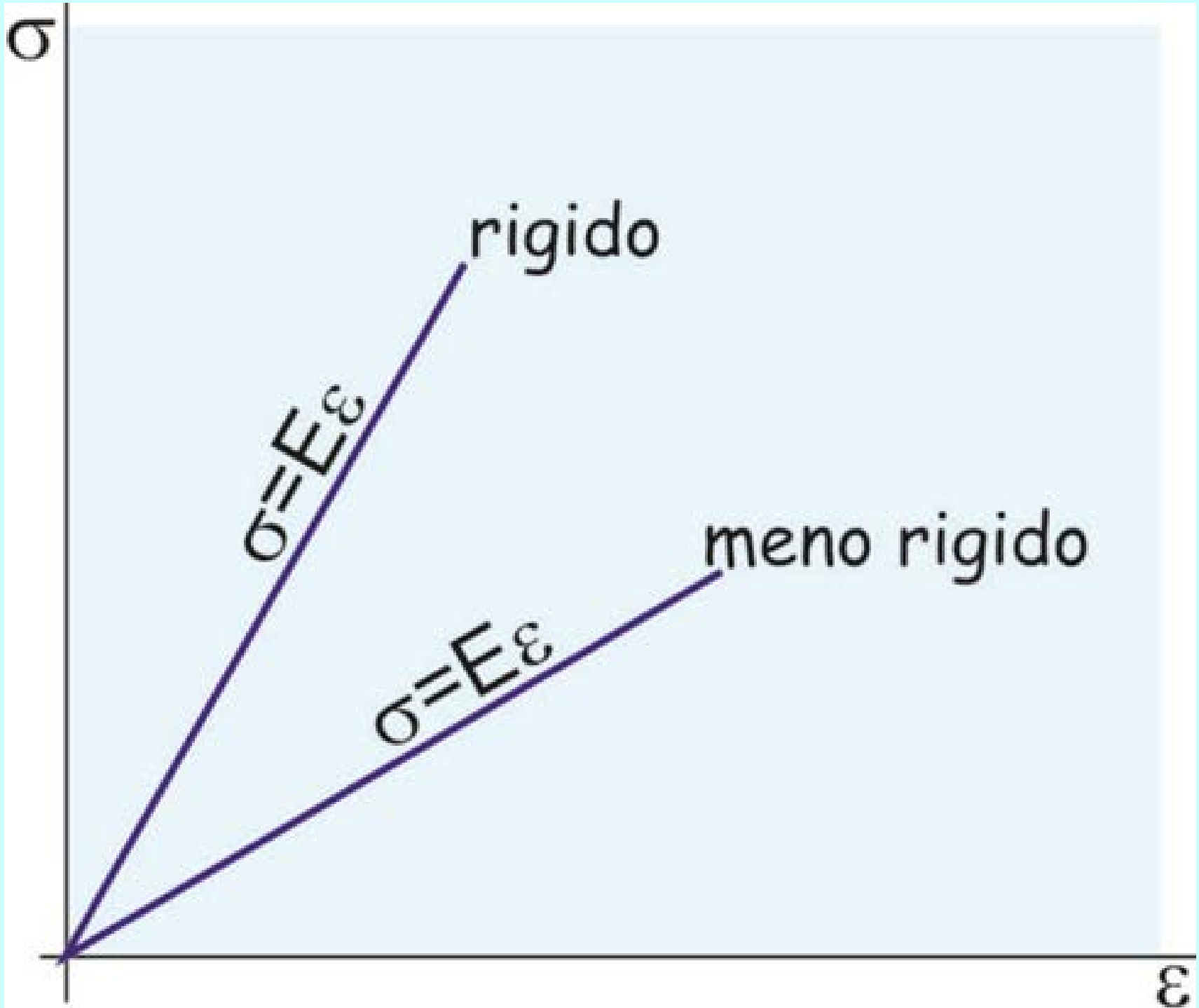
$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Sforzo (stress) $N/m^2 = Pa$

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

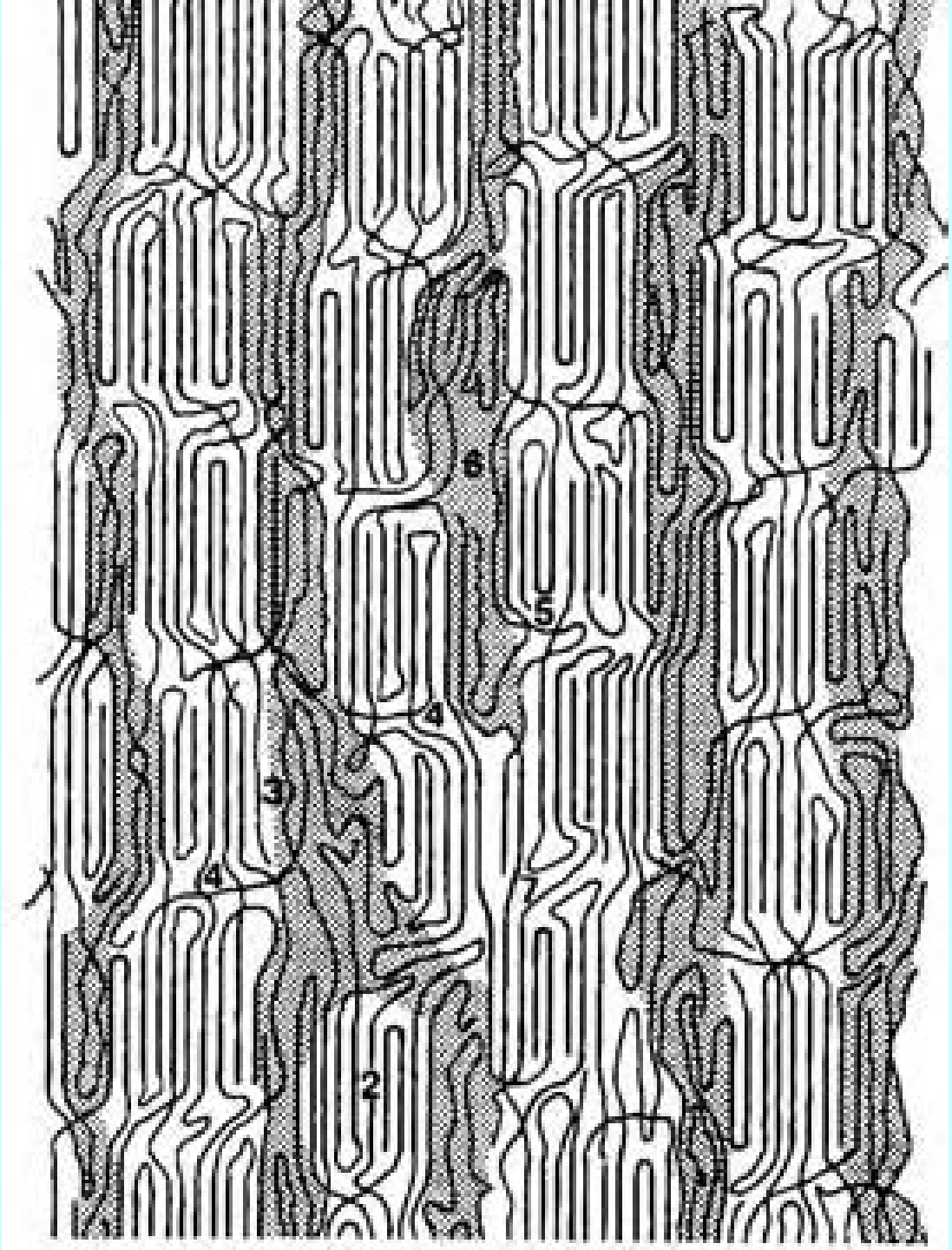
Deformazione (strein) adimensionale

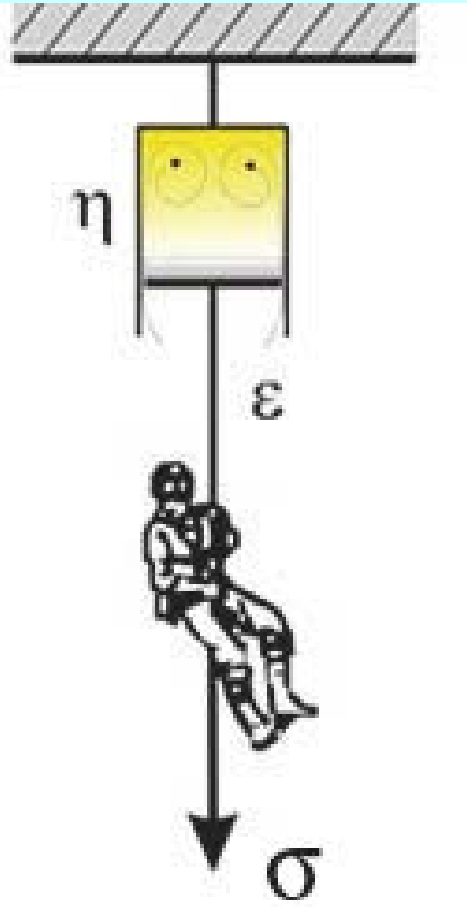
Materiali elastici e piccole deformazioni


σ
rigido
σ=Eε
meno rigido
σ=Eε
ε

Deformazione plastiche - viscose

irreversibili


6
5
4
3
4
2



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

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

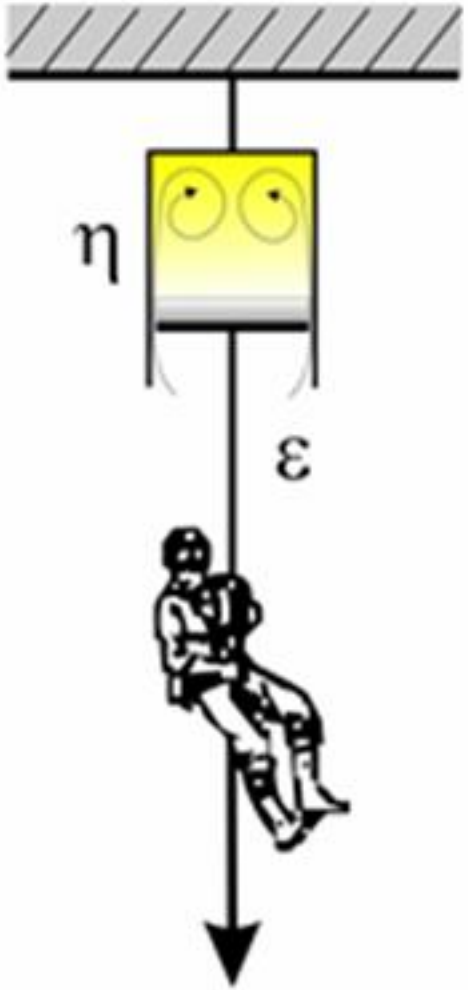
η = coefficiente di viscosità

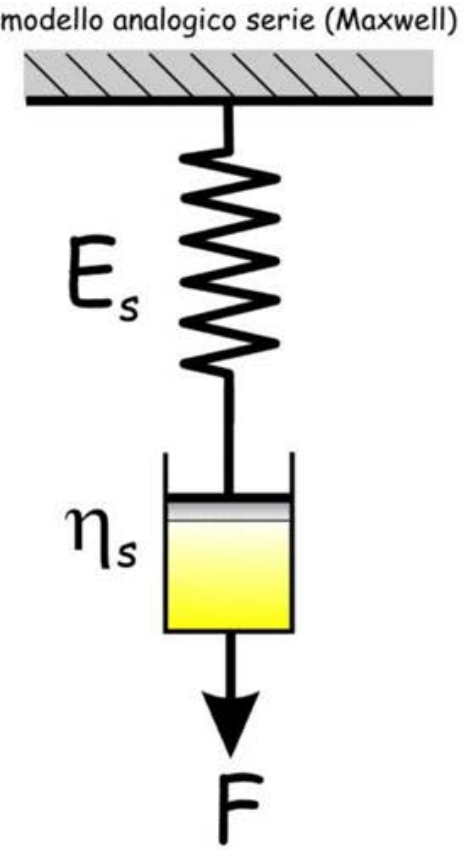
Legge di Newton

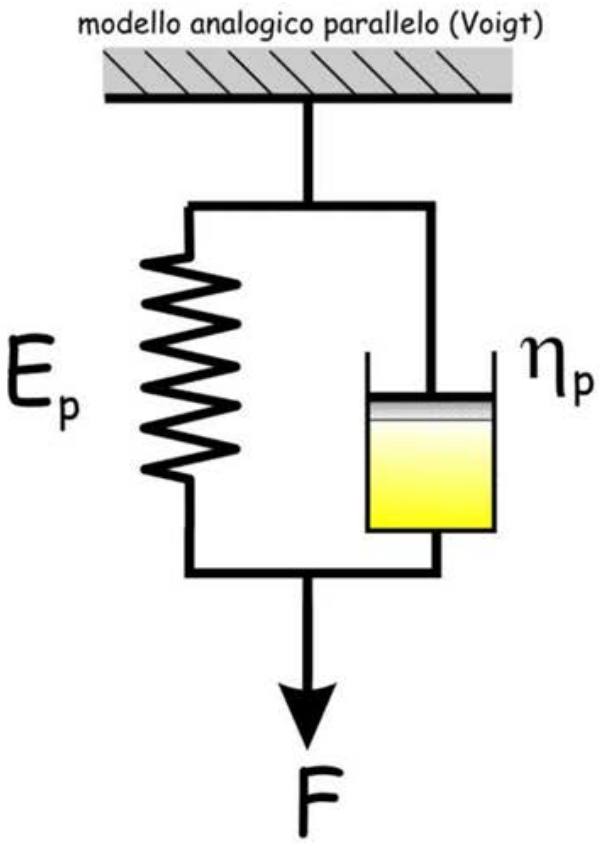
$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \text{velocità di deformazione}$$

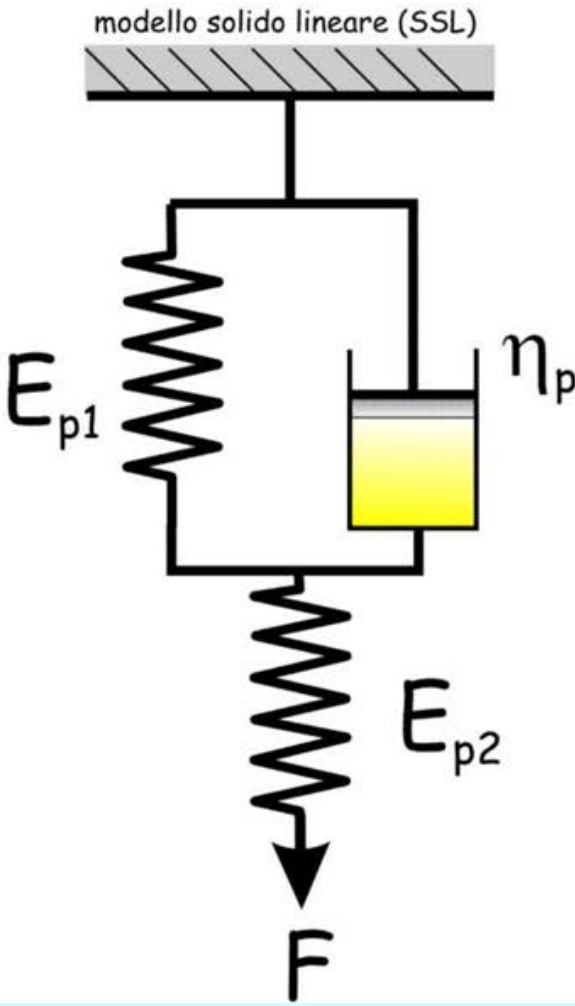
Quale è il modello migliore che simula il comportamento di una corda speleo?





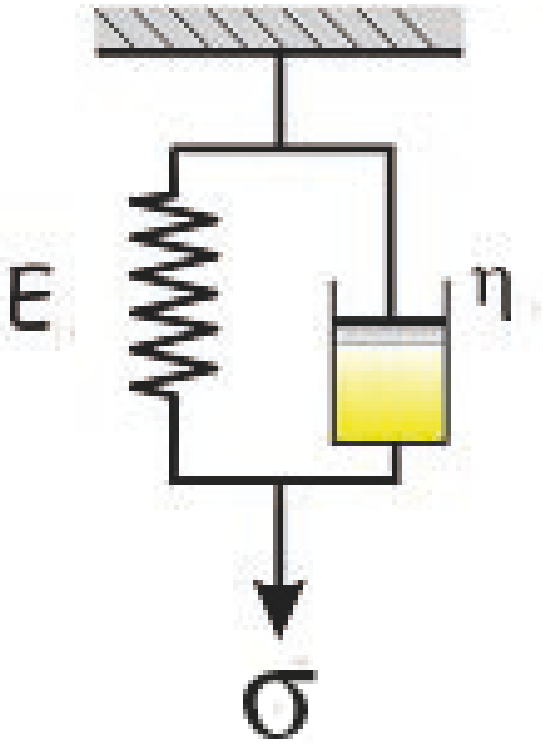

modello analogico serie (Maxwell)
E_s
η_s
F


modello analogico parallelo (Voigt)
E_p
η_p
F


modello solido lineare (SSL)
E_{p1}
η_p
E_{p2}
F

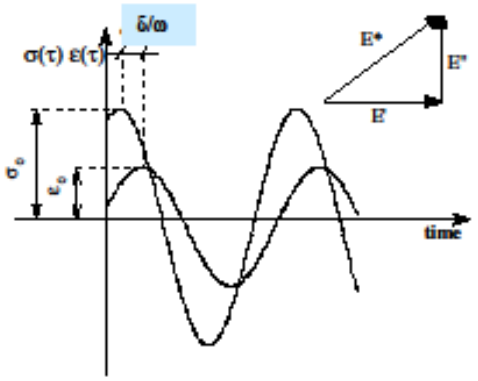
Modello viscoelastico di Voigt

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

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

OUTPUT

Solido elastico lineare $\sigma(t) = \sigma_0 \cdot \sin \varpi t$

Fluido newtoniano $\sigma(t) = \eta \varpi \varepsilon_0 \cdot \cos \varpi t$

Materiale viscoelastico $\sigma(t) = \sigma_0 \cdot \sin(\varpi t + \delta)$

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

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.

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 (rimbalzo) 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

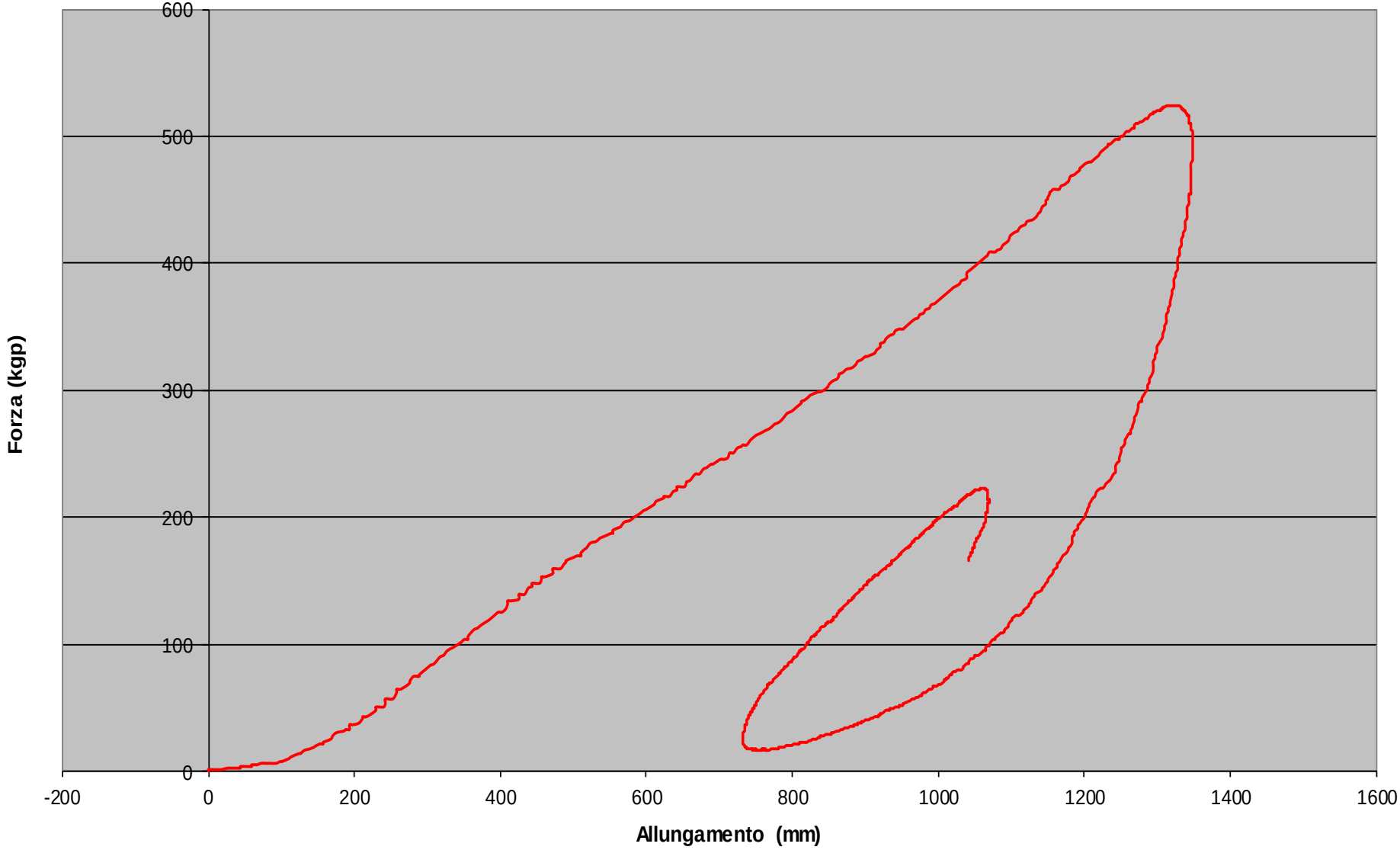
A_0 = Allungamento massimo

δ = sfasamento fra F_0 e A_0

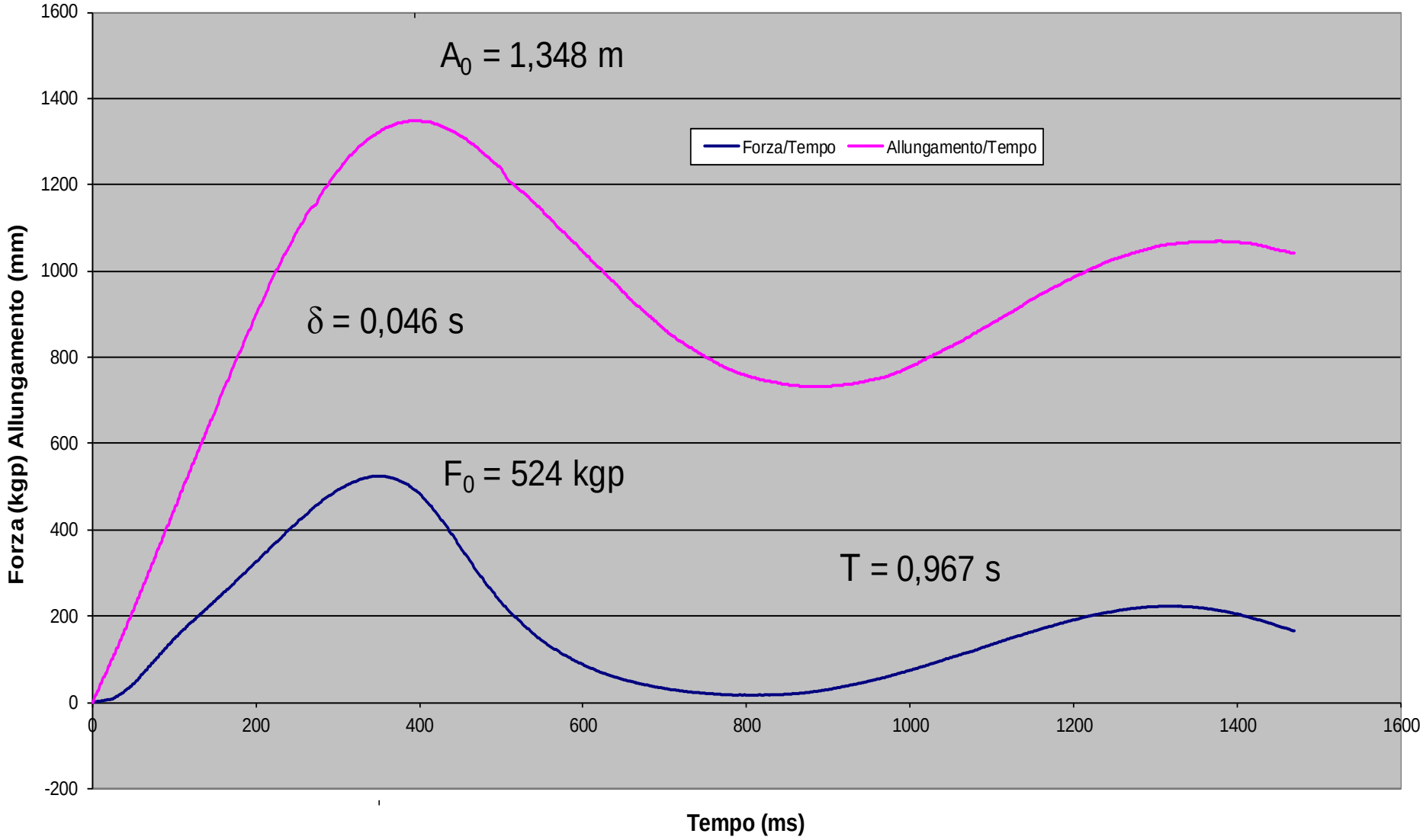
T = periodo dell'oscillazione

Perché campioni di corda lunghi 3 m

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



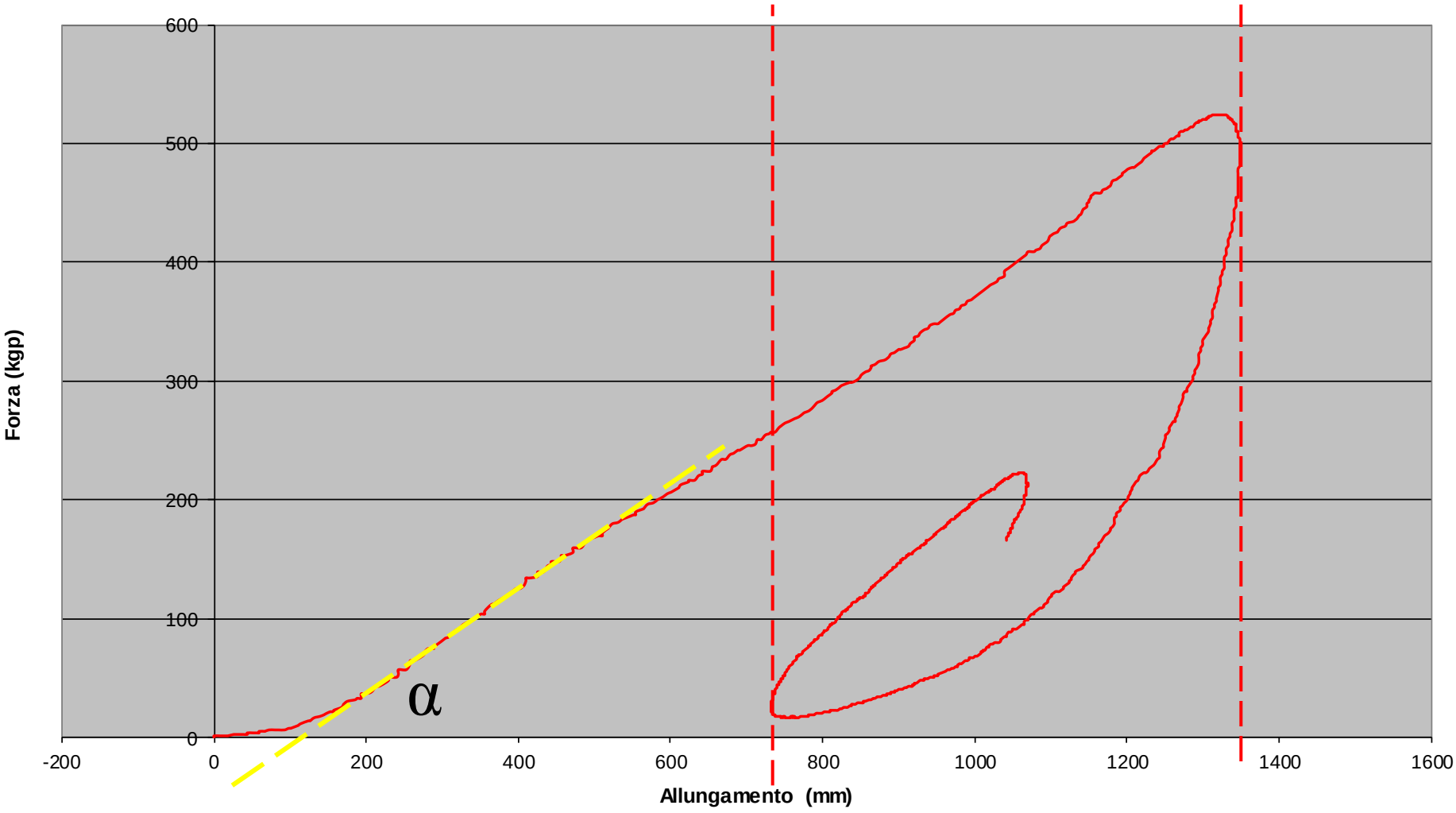
Beal Booster III 9,7 mm H100 cm L3370 mm Choc 01
Forza-Allungamento/tempo



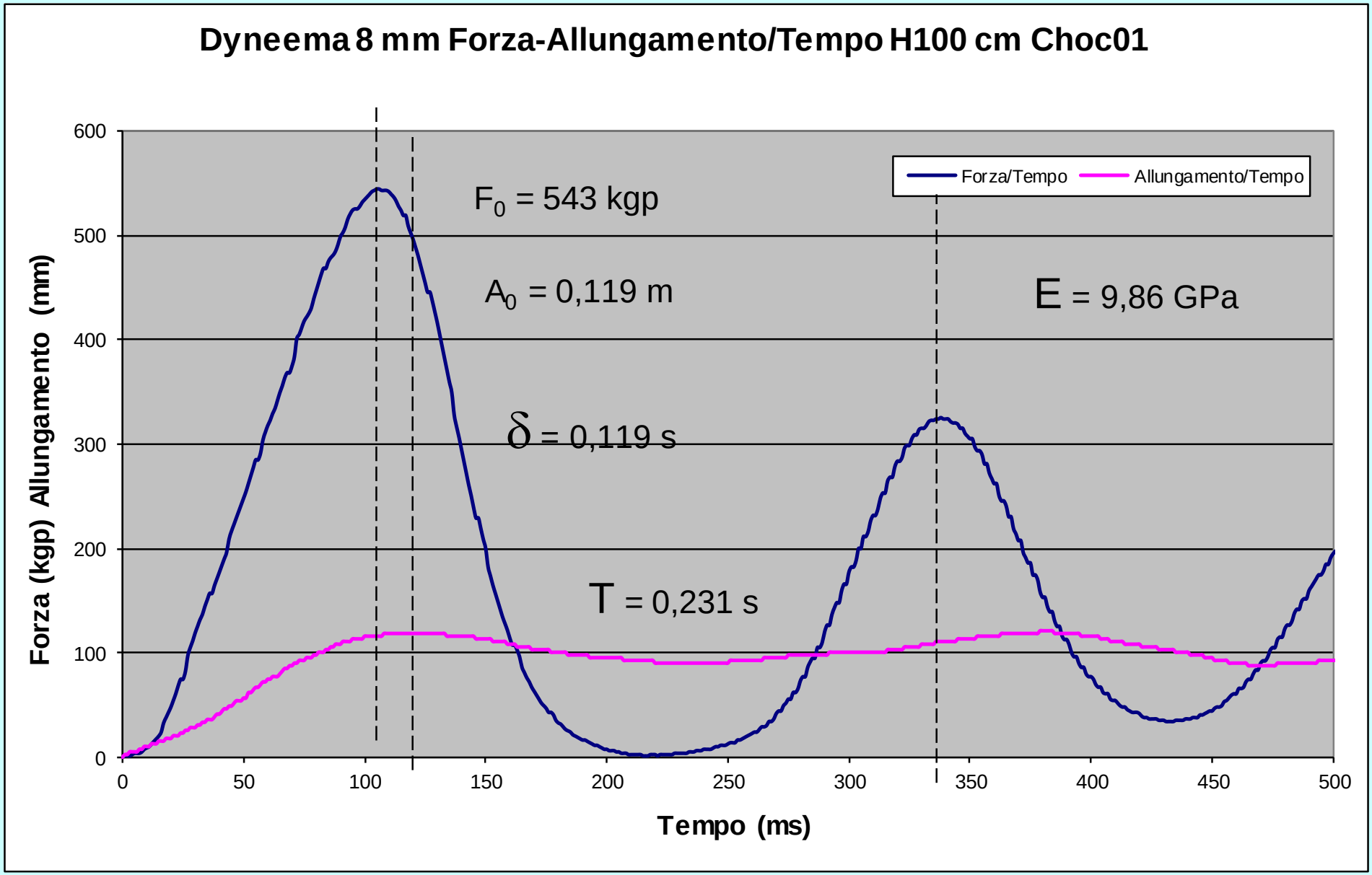
Dal grafico forza/allungamento vengono rilevati altri dati sulla:

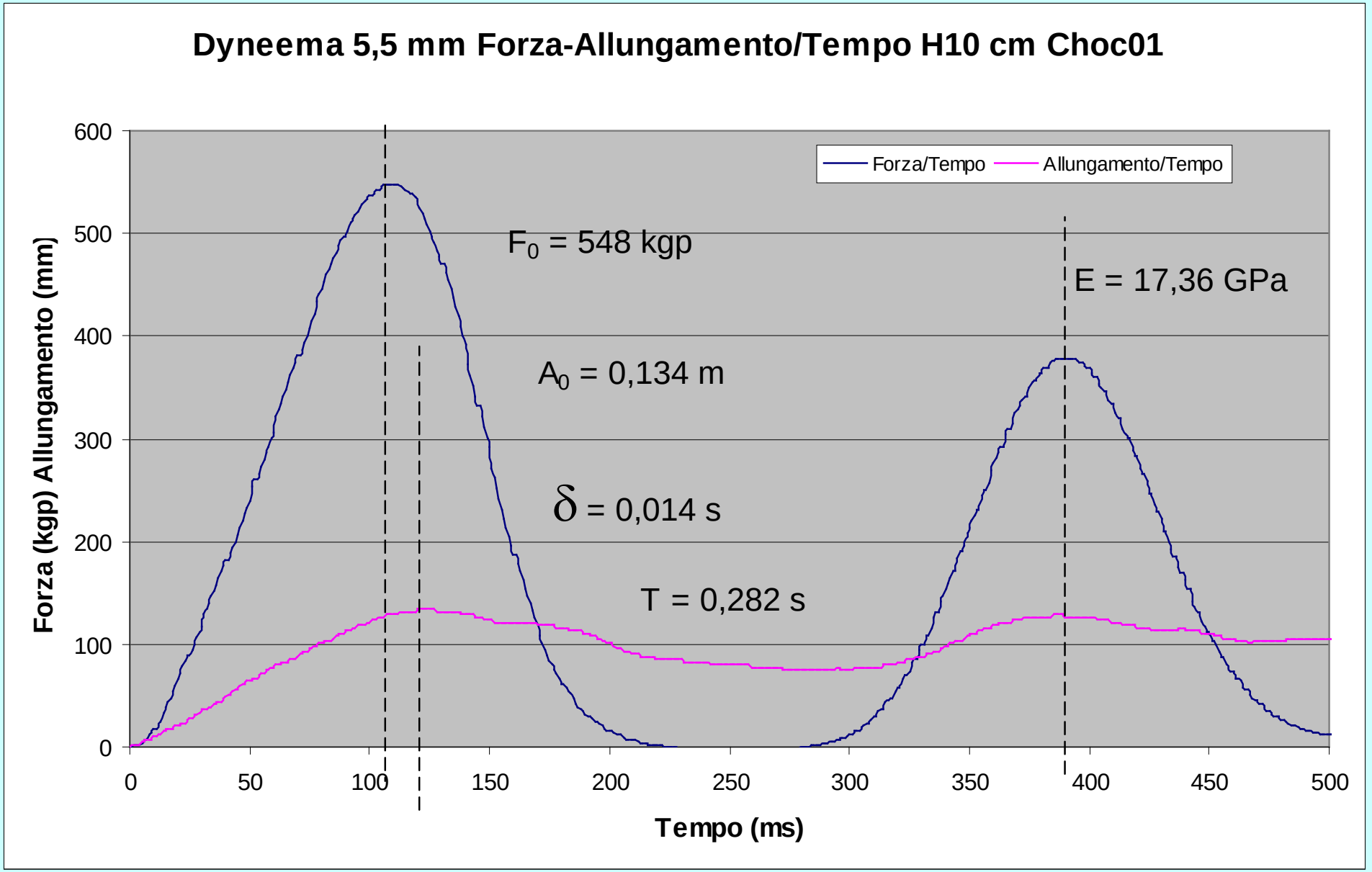
1. percentuale di energia dissipata per viscosità rispetto a quella ricevuta dal peso che cade;
2. coefficiente di elasticità.

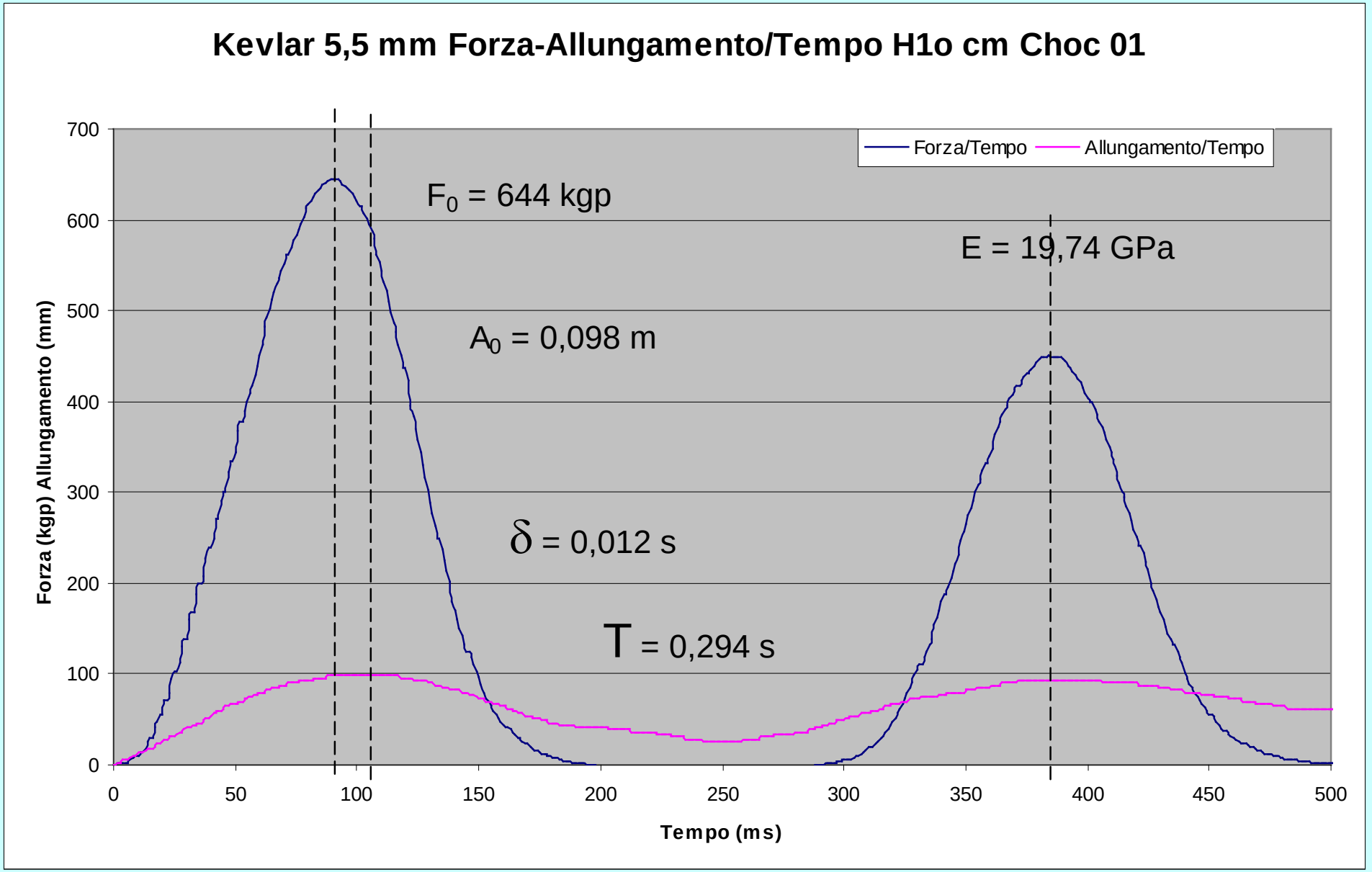
Beal Booster III 9,7 mm H100 cm L3370 mm Choc 01
Forza/Allungamento



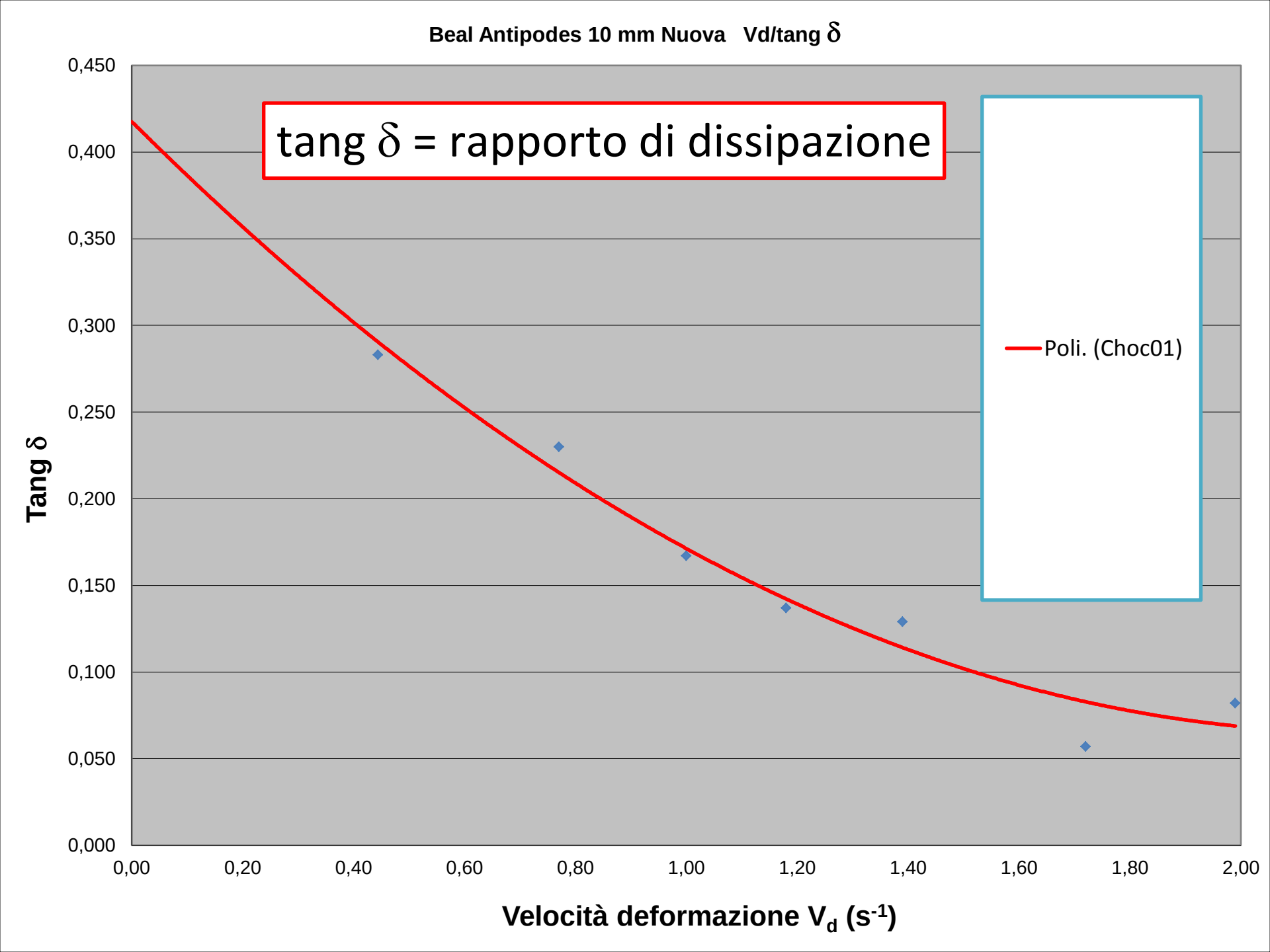
Esempio elaborazione dati test a caduta

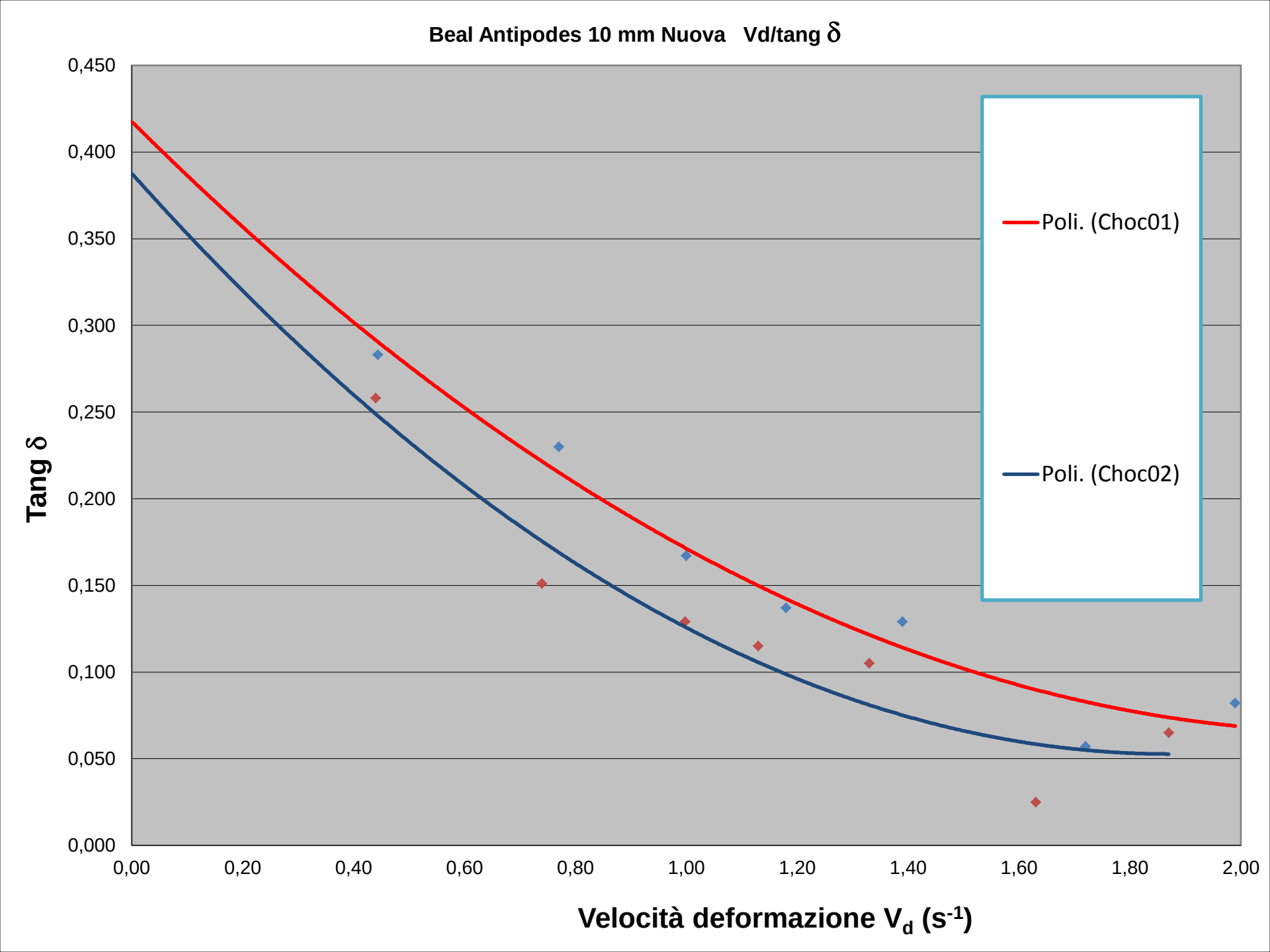

Dyneema 8 mm Forza-Allungamento/Tempo H100 cm Choc01
Forza/Tempo
Allungamento/Tempo
F0 = 543 kgp
A0 = 0,119 m
δ = 0,119 s
T = 0,231 s
E = 9,86 GPa
Forza (kgp) Allungamento (mm)
Tempo (ms)
0
100
200
300
400
500
600
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500

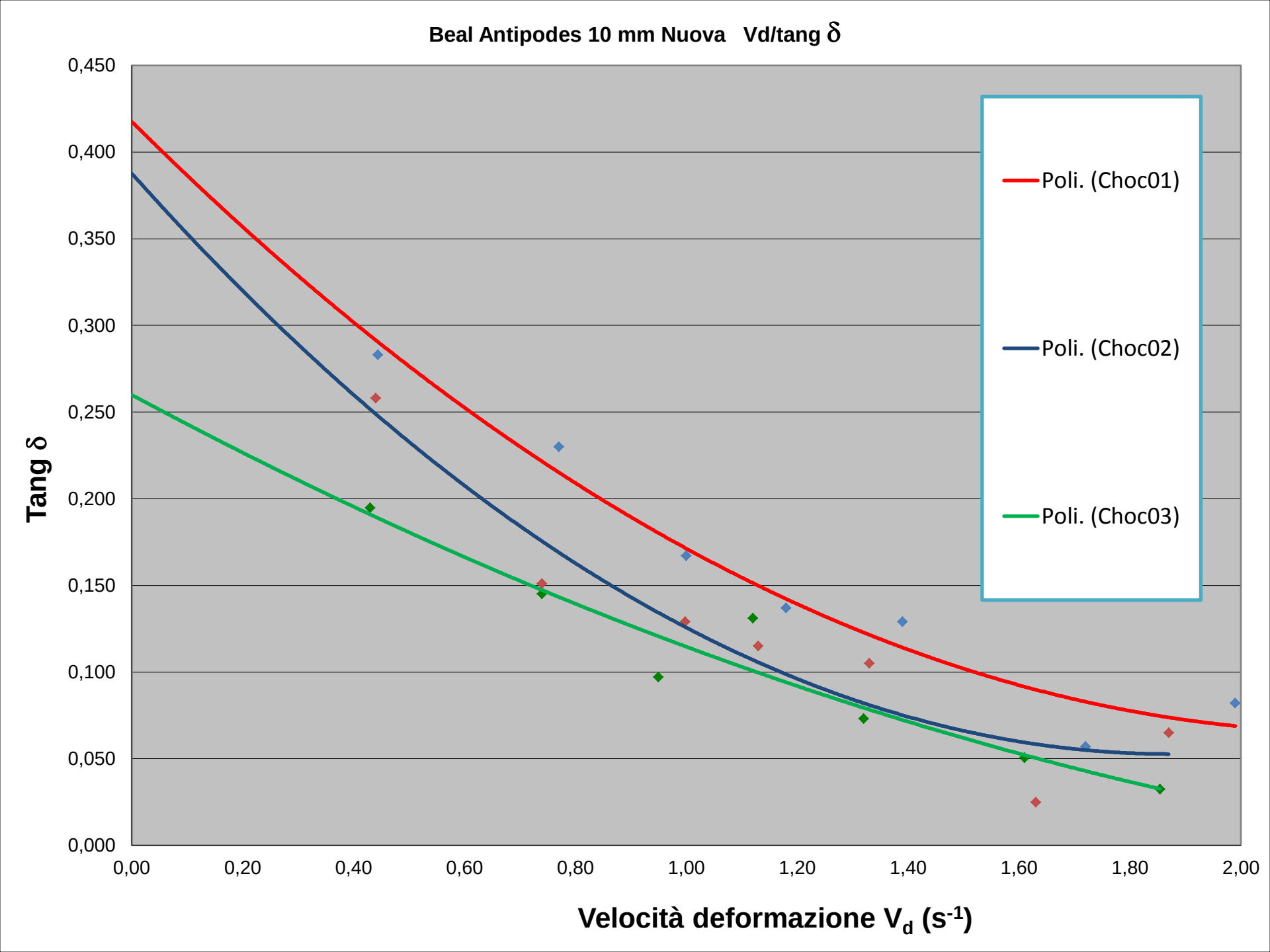

Dyneema 5,5 mm Forza-Allungamento/Tempo H10 cm Choc01
Forza/Tempo
Allungamento/Tempo
F0 = 548 kgp
E = 17,36 GPa
A0 = 0,134 m
δ = 0,014 s
T = 0,282 s
Forza (kgp) Allungamento (mm)
Tempo (ms)
600
500
400
300
200
100
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500

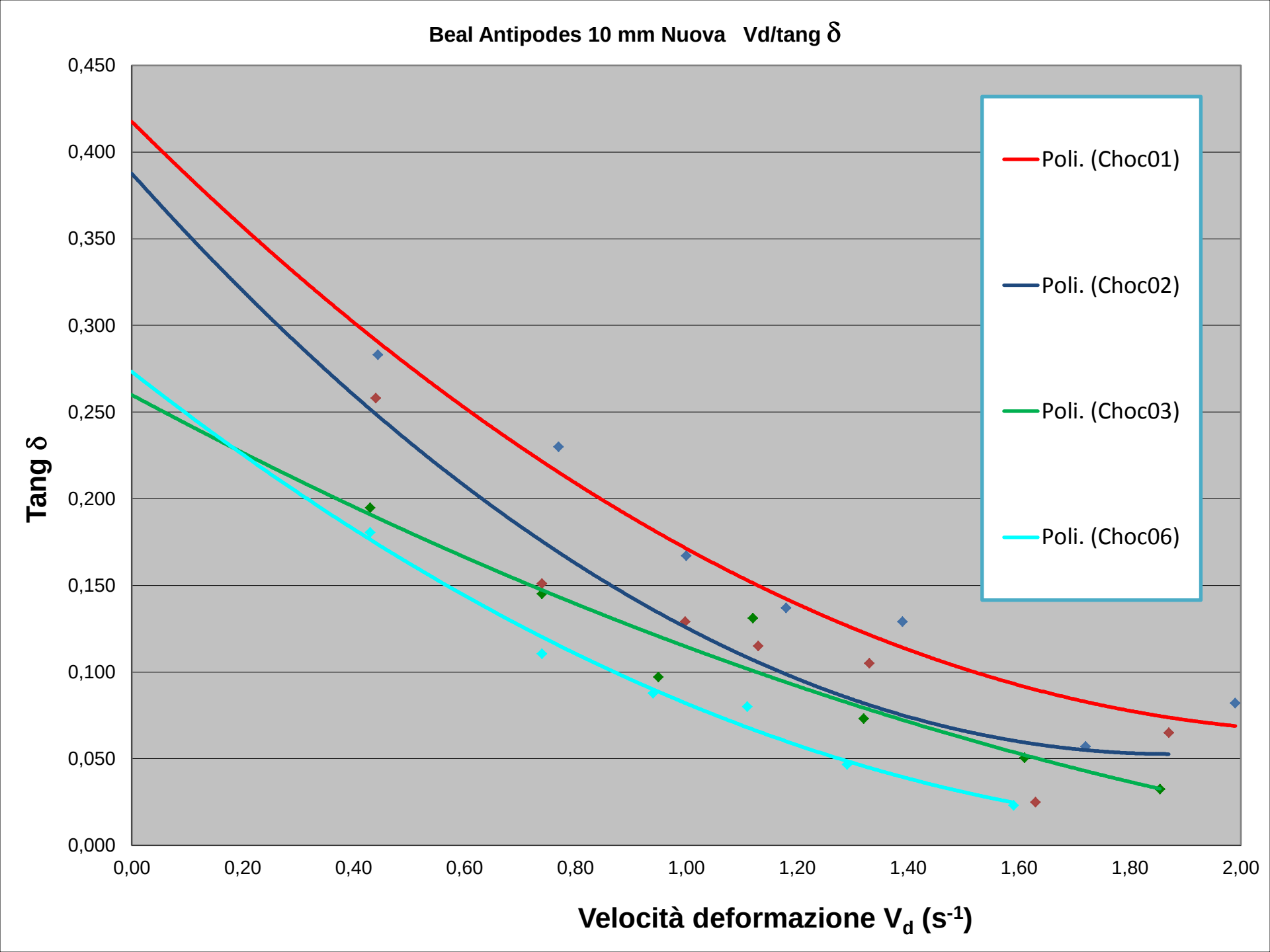

Kevlar 5,5 mm Forza-Allungamento/Tempo H1o cm Choc 01
Forza/Tempo
Allungamento/Tempo
F0 = 644 kgp
E = 19,74 GPa
A0 = 0,098 m
δ = 0,012 s
T = 0,294 s
Forza (kgp) Allungamento (mm)
Tempo (ms)
0
100
200
300
400
500
600
700
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500

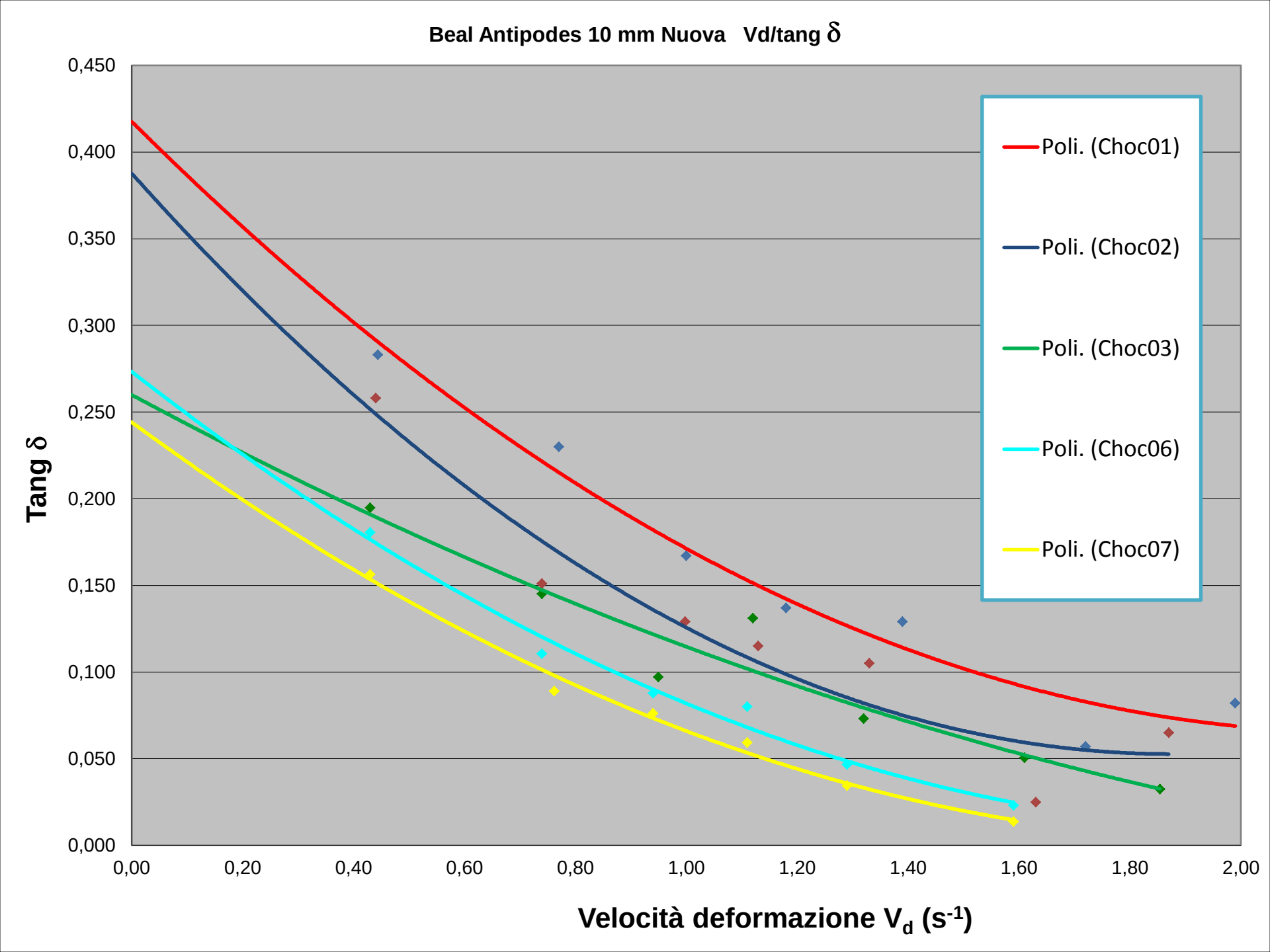
Fac-simile scheda raccolta dati

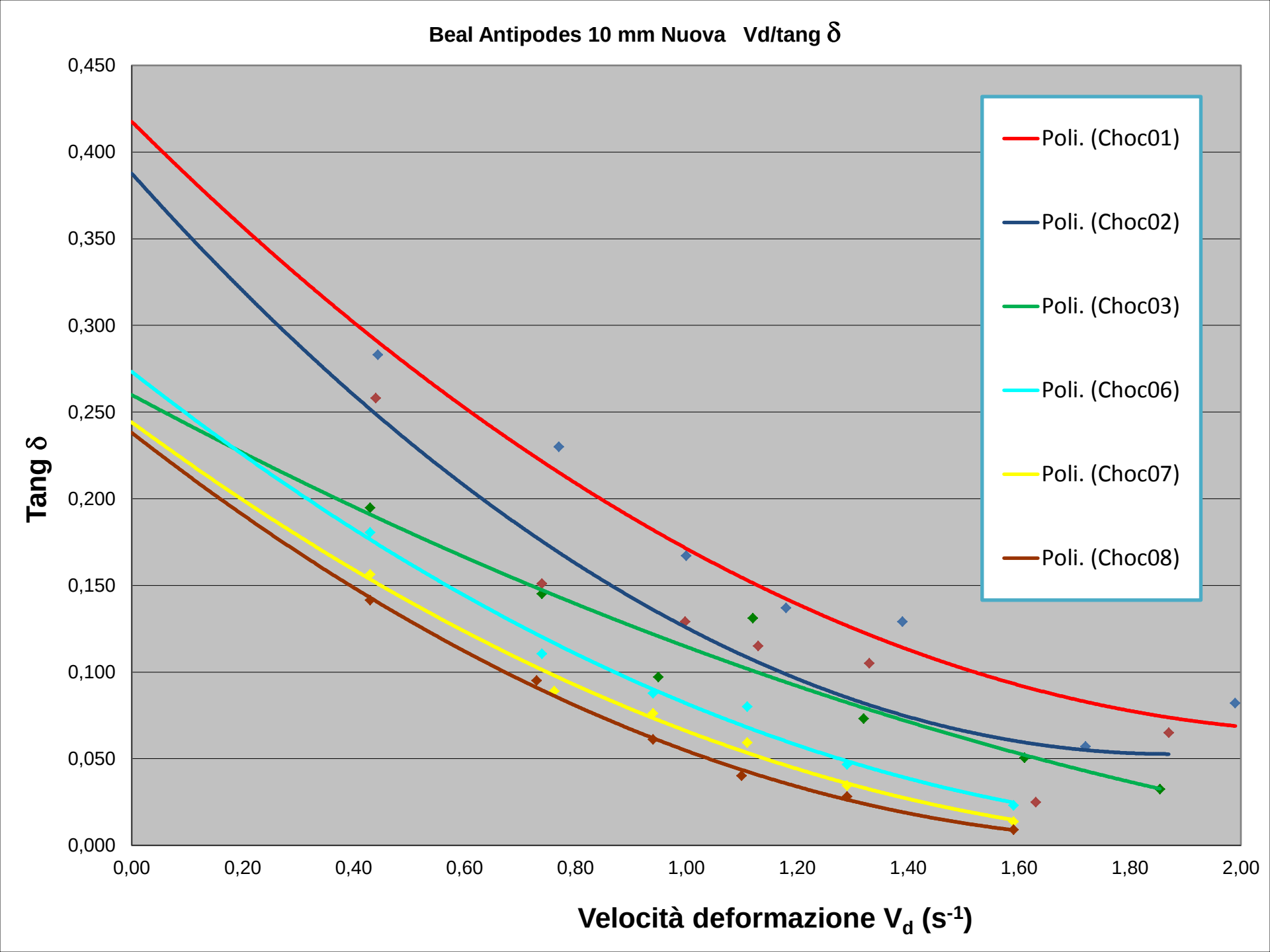

Beal Antipodes 10 mm Nuova Vd/tang δ
tang δ = rapporto di dissipazione
Poli. (Choc01)
Tang δ
0,450
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,00
0,20
0,40
0,60
0,80
1,00
1,20
1,40
1,60
1,80
2,00
Velocità deformazione V_d (s^{-1})

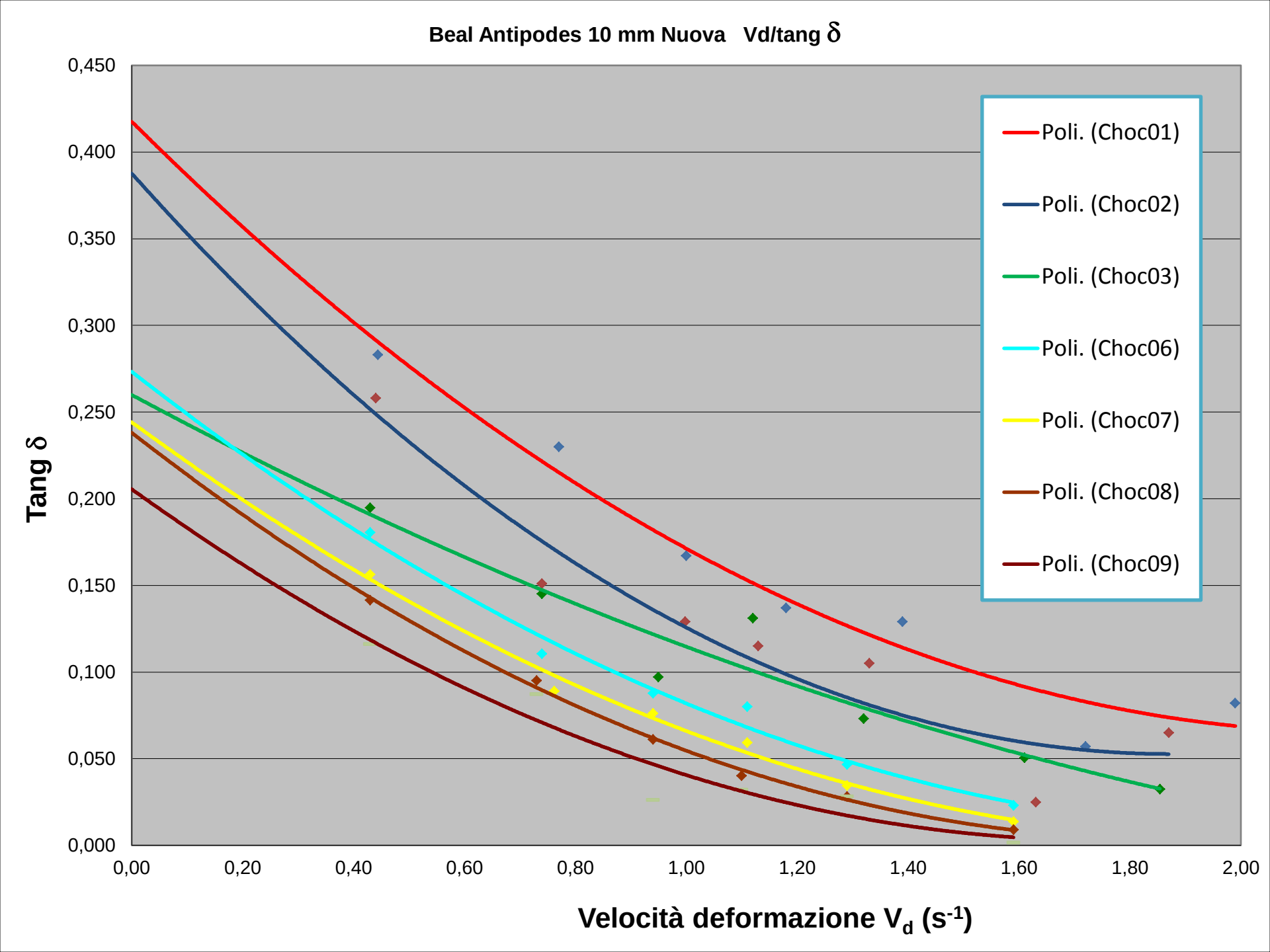

Beal Antipodes 10 mm Nuova Vd/tang δ
0,450
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
Tang δ
0,00
0,20
0,40
0,60
0,80
1,00
1,20
1,40
1,60
1,80
2,00
Velocità deformazione V_d (s^{-1})
Poli. (Choc01)
Poli. (Choc02)

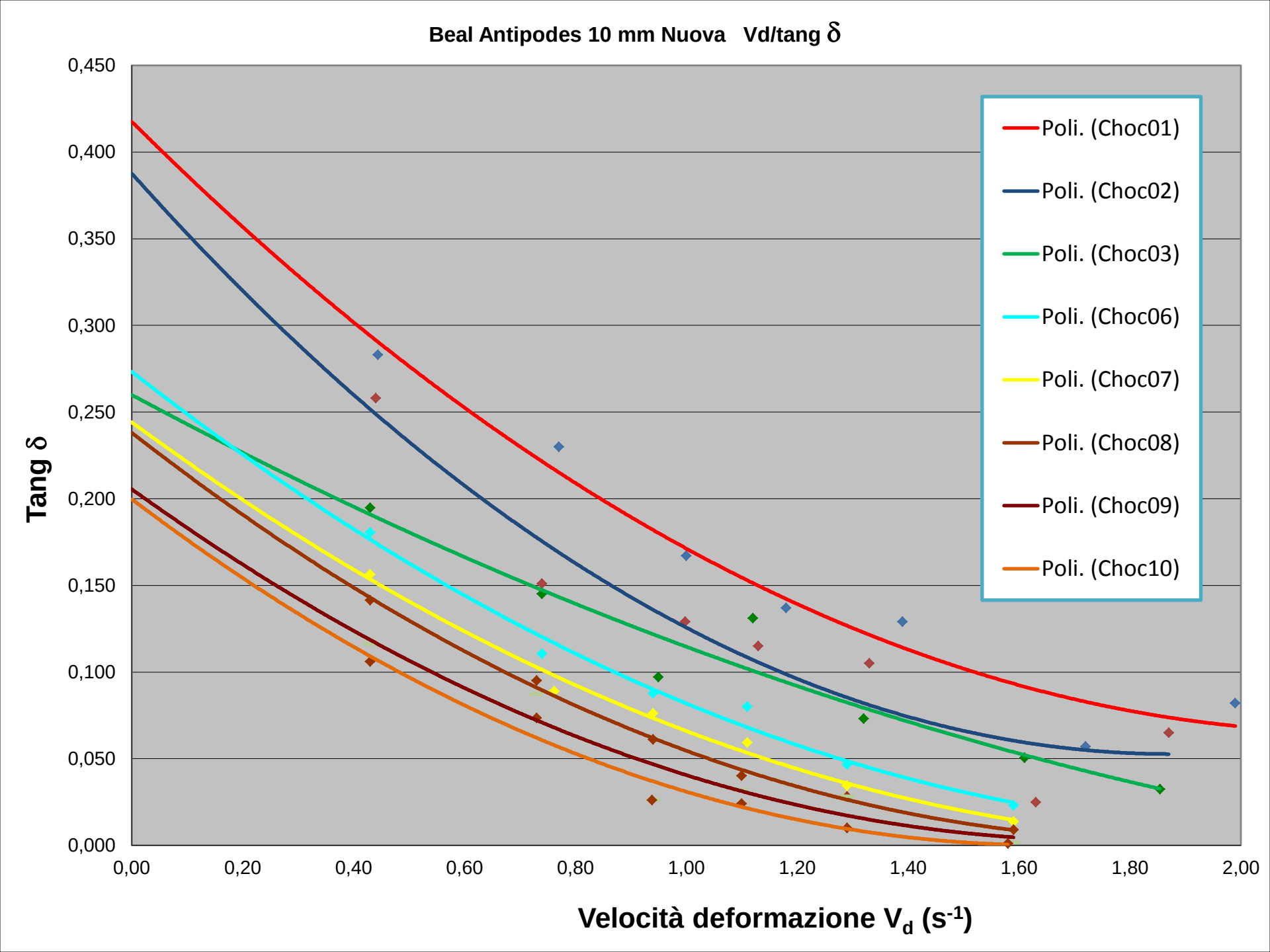

Beal Antipodes 10 mm Nuova Vd/tang δ
0,450
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
Tang δ
0,00
0,20
0,40
0,60
0,80
1,00
1,20
1,40
1,60
1,80
2,00
Velocità deformazione Vd (s-1)
Poli. (Choc01)
Poli. (Choc02)
Poli. (Choc03)


Beal Antipodes 10 mm Nuova Vd/tang δ
0,450
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
Tang δ
0,00
0,20
0,40
0,60
0,80
1,00
1,20
1,40
1,60
1,80
2,00
Velocità deformazione Vd (s-1)
Poli. (Choc01)
Poli. (Choc02)
Poli. (Choc03)
Poli. (Choc06)


Beal Antipodes 10 mm Nuova Vd/tang δ
0,450
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
Tang δ
0,00
0,20
0,40
0,60
0,80
1,00
1,20
1,40
1,60
1,80
2,00
Velocità deformazione Vd (s-1)
Poli. (Choc01)
Poli. (Choc02)
Poli. (Choc03)
Poli. (Choc06)
Poli. (Choc07)


Beal Antipodes 10 mm Nuova Vd/tang δ
0,450
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
Tang δ
0,00
0,20
0,40
0,60
0,80
1,00
1,20
1,40
1,60
1,80
2,00
Velocità deformazione V_d (s^{-1})
Poli. (Choc01)
Poli. (Choc02)
Poli. (Choc03)
Poli. (Choc06)
Poli. (Choc07)
Poli. (Choc08)


Beal Antipodes 10 mm Nuova Vd/tang δ
0,450
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
Tang δ
0,00
0,20
0,40
0,60
0,80
1,00
1,20
1,40
1,60
1,80
2,00
Velocità deformazione Vd (s-1)
Poli. (Choc01)
Poli. (Choc02)
Poli. (Choc03)
Poli. (Choc06)
Poli. (Choc07)
Poli. (Choc08)
Poli. (Choc09)


Beal Antipodes 10 mm Nuova Vd/tang δ
0,450
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
Tang δ
0,00
0,20
0,40
0,60
0,80
1,00
1,20
1,40
1,60
1,80
2,00
Velocità deformazione Vd (s-1)
Poli. (Choc01)
Poli. (Choc02)
Poli. (Choc03)
Poli. (Choc06)
Poli. (Choc07)
Poli. (Choc08)
Poli. (Choc09)
Poli. (Choc10)

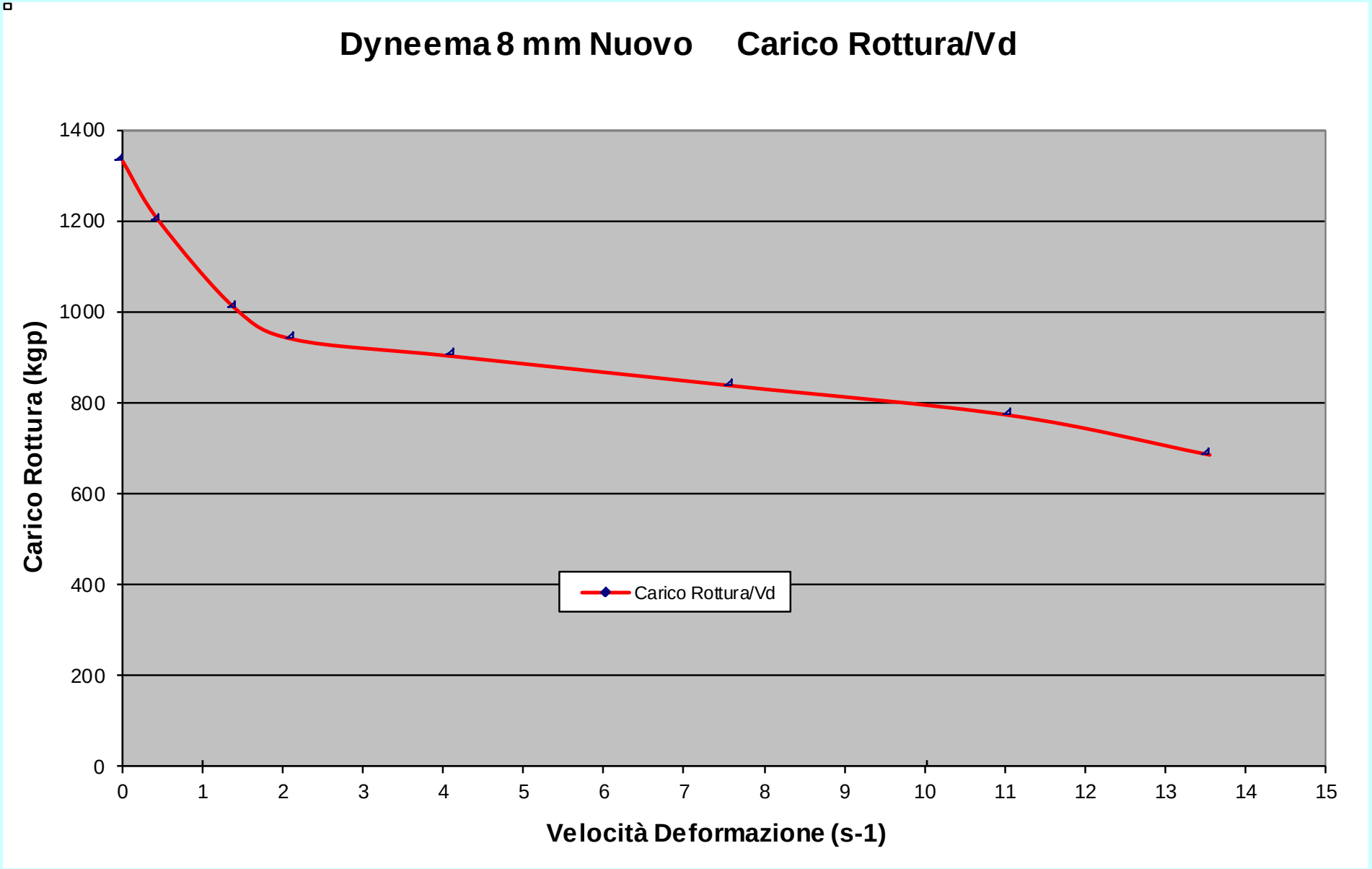
Test a caduta cordini

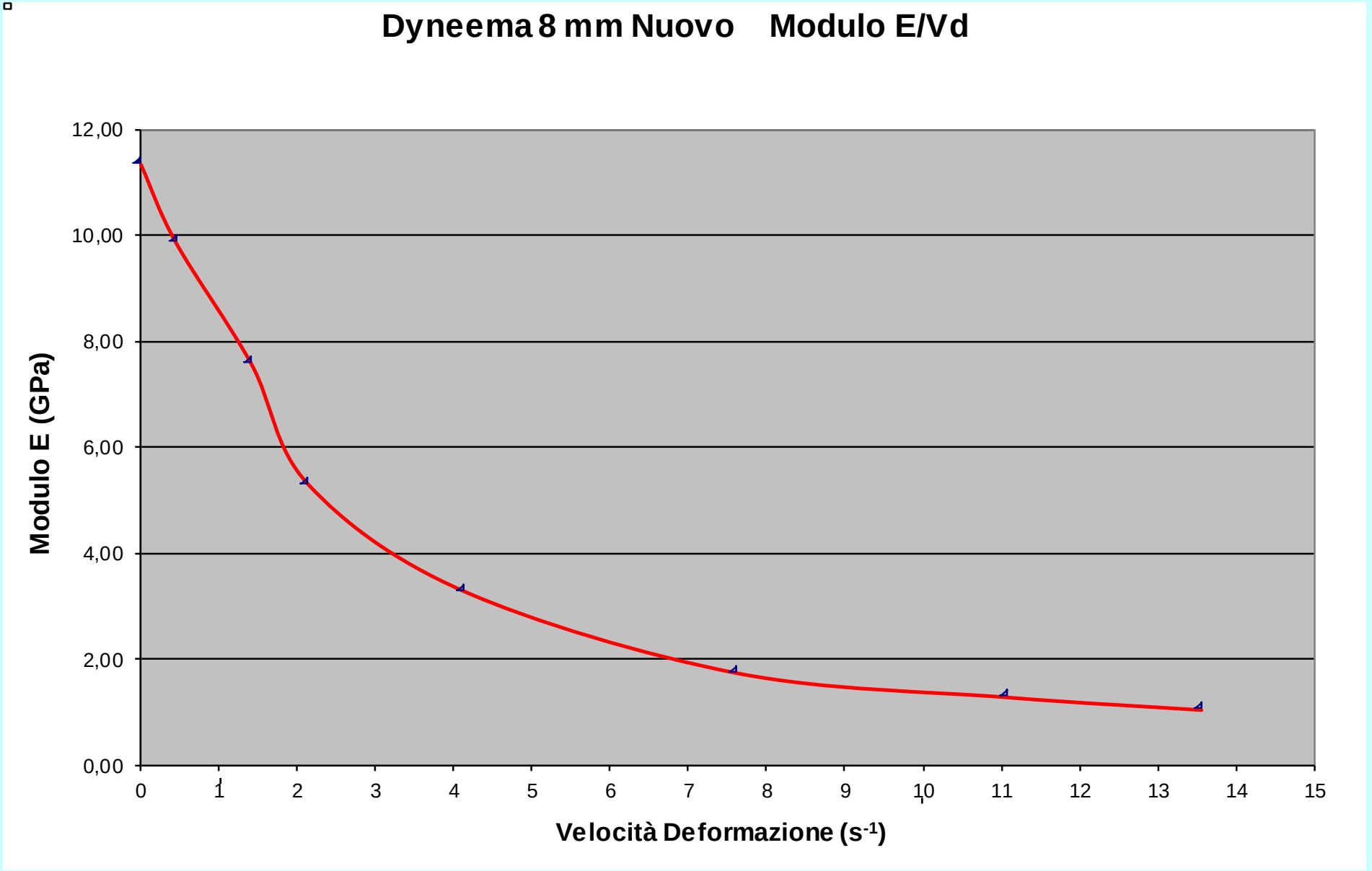
Effetto nodo

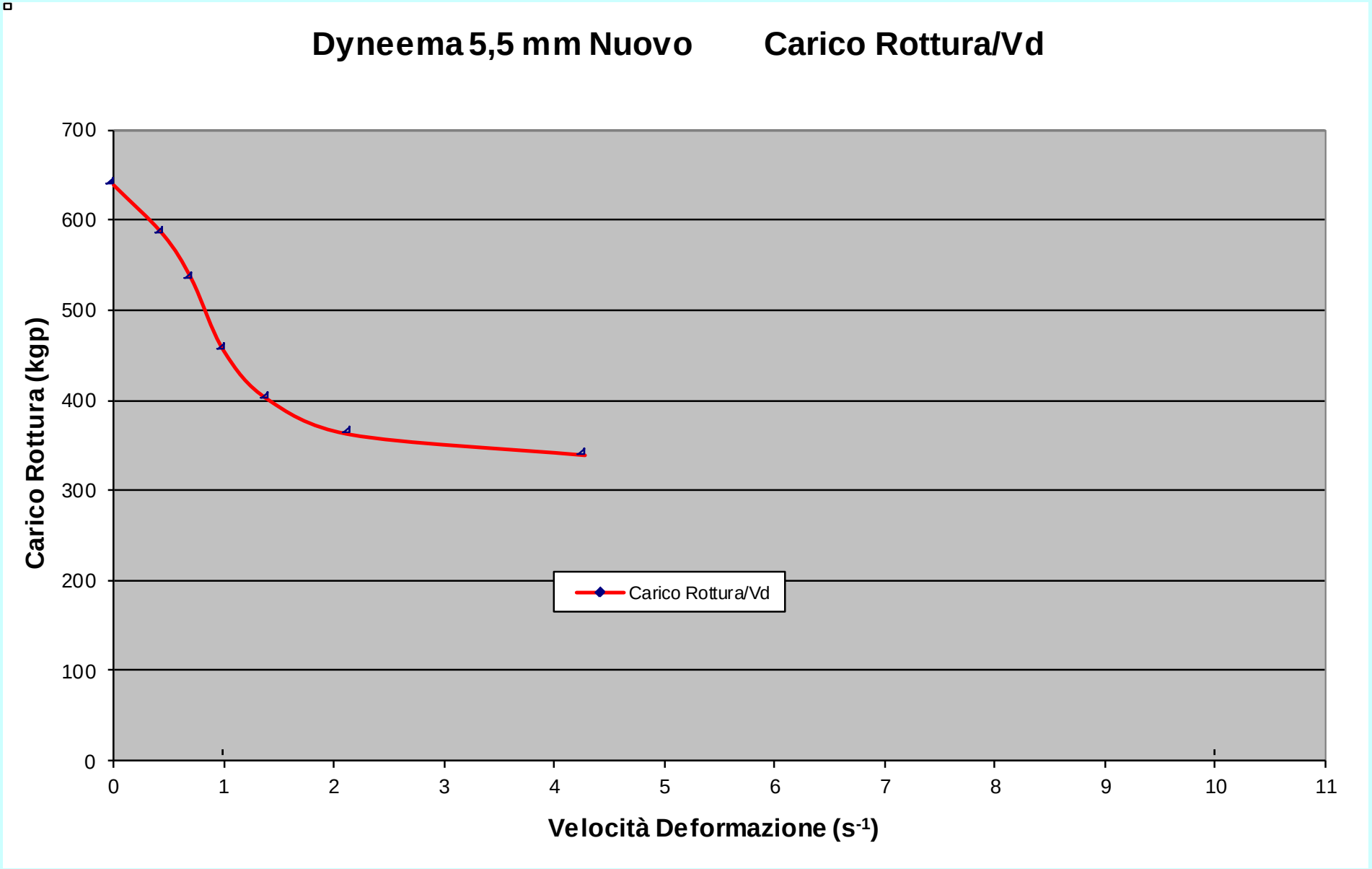
Cordini nuovi nodi guida:

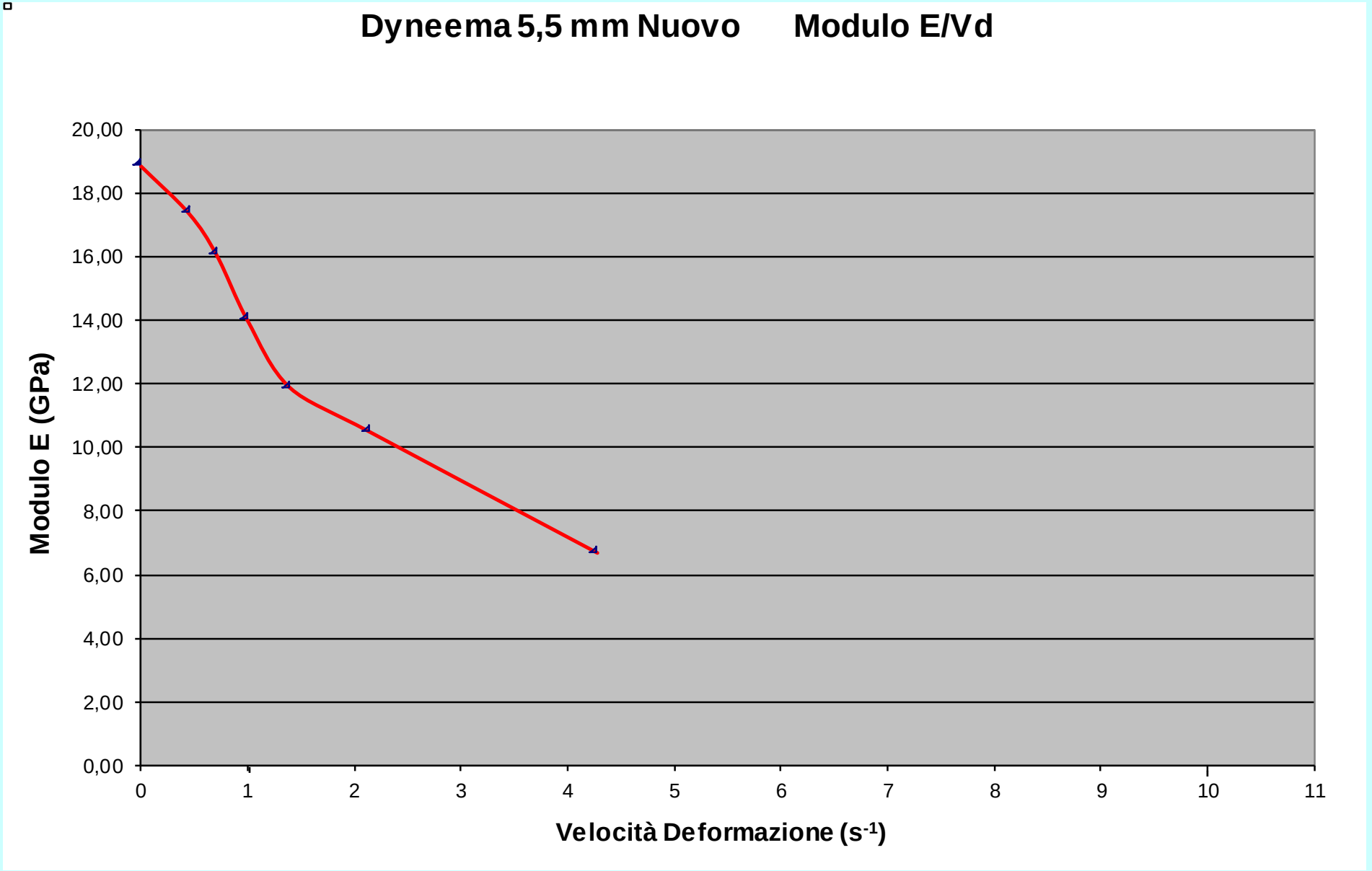
1. Dyneema 8,0 mm
2. Dyneema 5,5 mm
3. Kevlar 5,5 mm
4. Nylon 5,5 mm

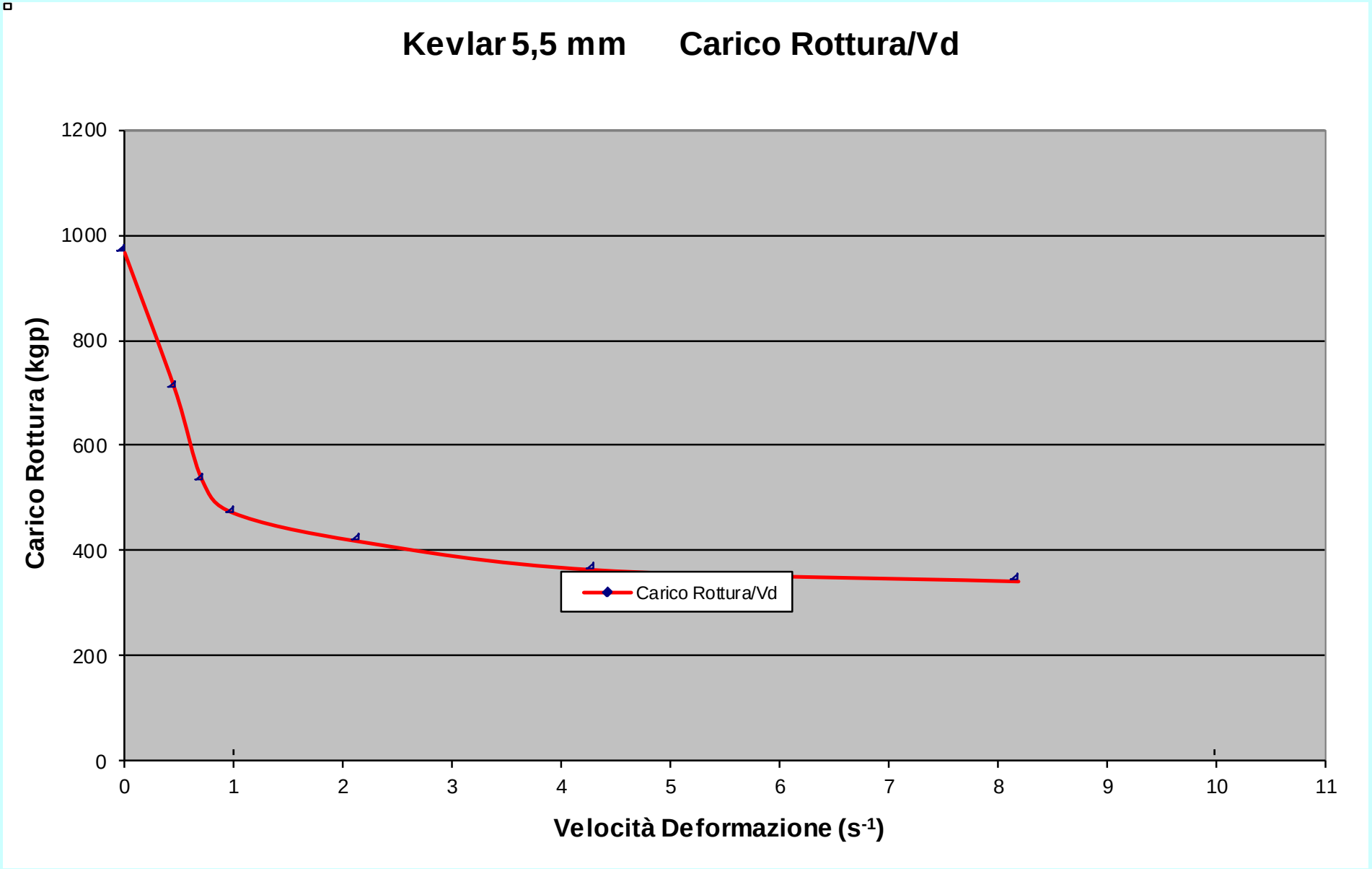
Lunghezza campione 40 cm f.t.

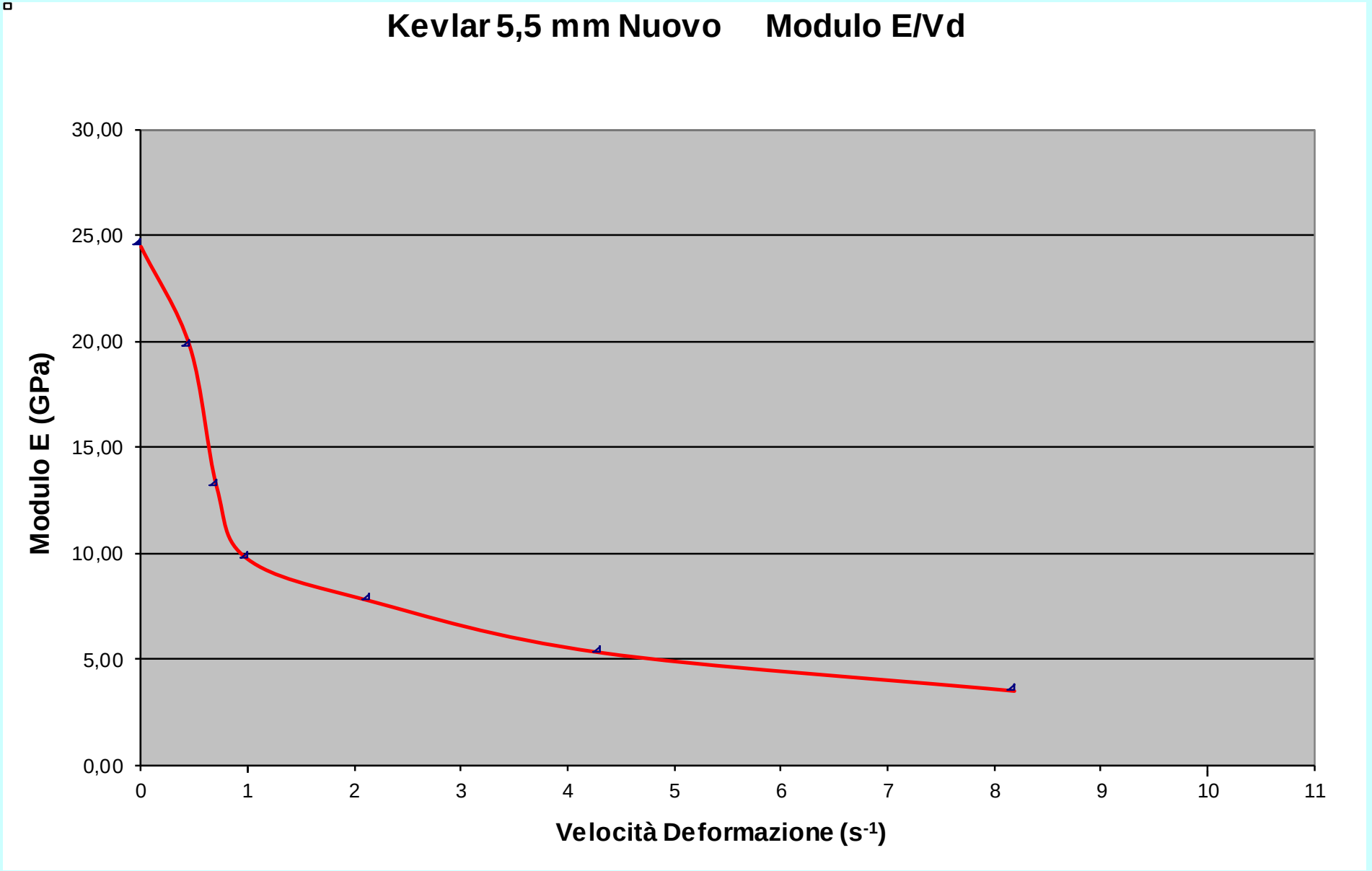

Dyneema 8 mm Nuovo Carico Rottura/Vd
Carico Rottura (kgp)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
Carico Rottura/Vd
Velocità Deformazione (s-1)

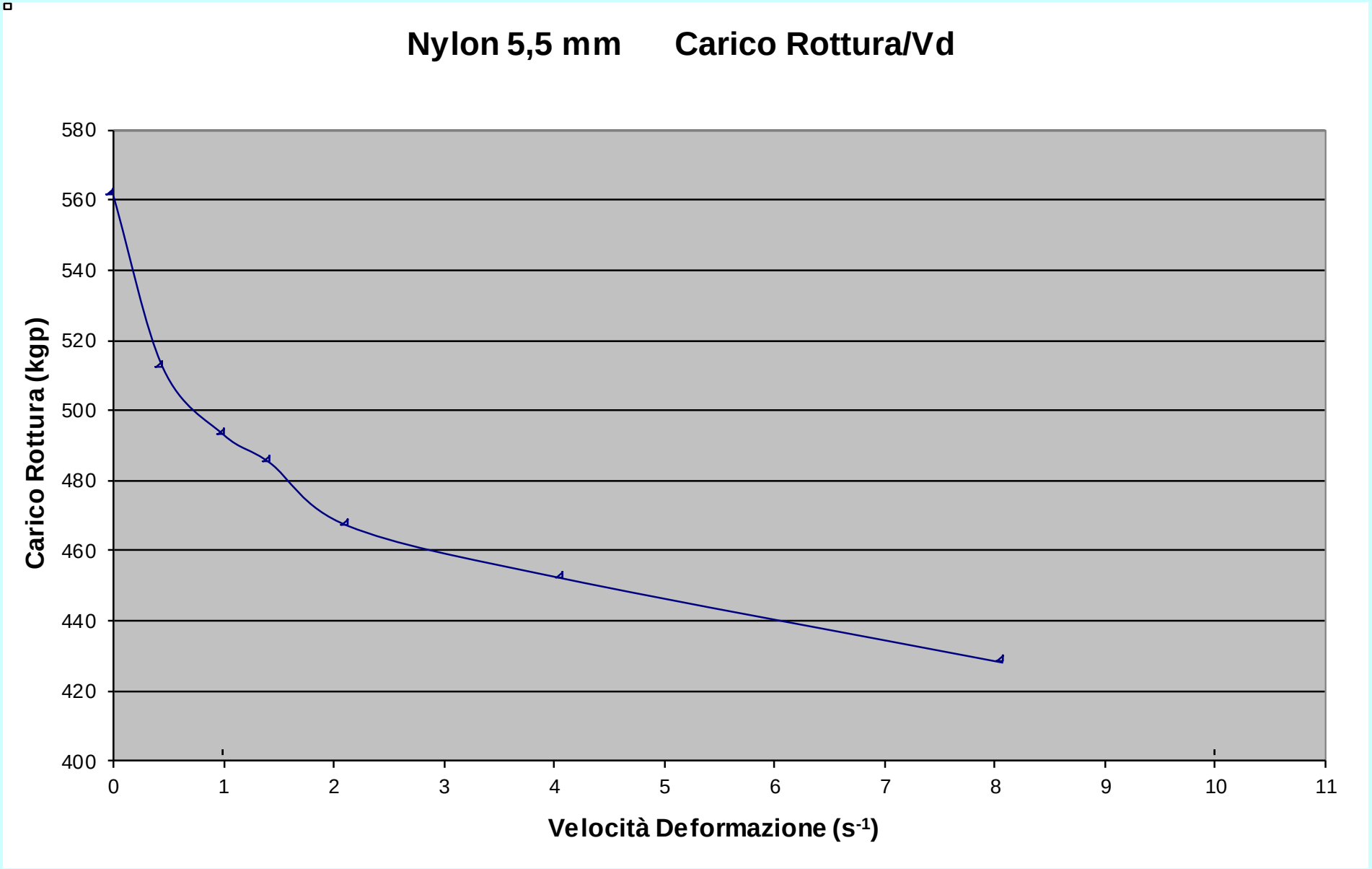

Dyneema 8 mm Nuovo Modulo E/Vd
Modulo E (GPa)
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
Velocità Deformazione (s-1)

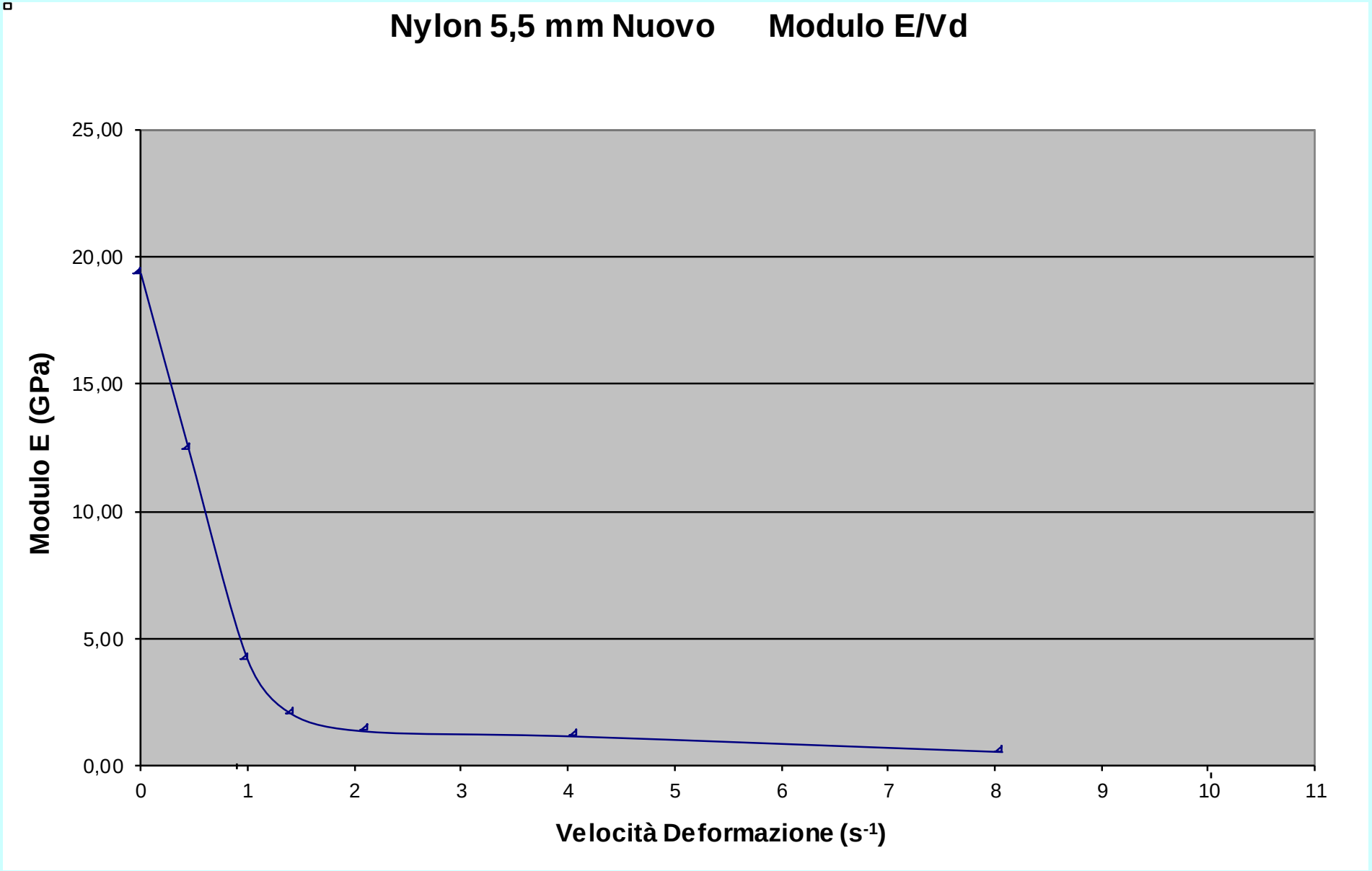

Dyneema 5,5 mm Nuovo Carico Rottura/Vd
Carico Rottura (kgp)
700
600
500
400
300
200
100
0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Velocità Deformazione (s-1)
Carico Rottura/Vd


Dyneema 5,5 mm Nuovo Modulo E/Vd
Modulo E (GPa)
20,00
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Velocità Deformazione (s-1)


Kevlar 5,5 mm Carico Rottura/Vd
Carico Rottura (kgp)
1200
1000
800
600
400
200
0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Carico Rottura/Vd
Velocità Deformazione (s-1)


Kevlar 5,5 mm Nuovo Modulo E/Vd
Modulo E (GPa)
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Velocità Deformazione (s-1)


Nylon 5,5 mm Carico Rottura/Vd
Carico Rottura (kgp)
580
560
540
520
500
480
460
440
420
400
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Velocità Deformazione (s-1)


Nylon 5,5 mm Nuovo Modulo E/Vd
Modulo E (GPa)
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Velocità Deformazione (s-1)

Test a caduta

corda/bloccante

Test a caduta

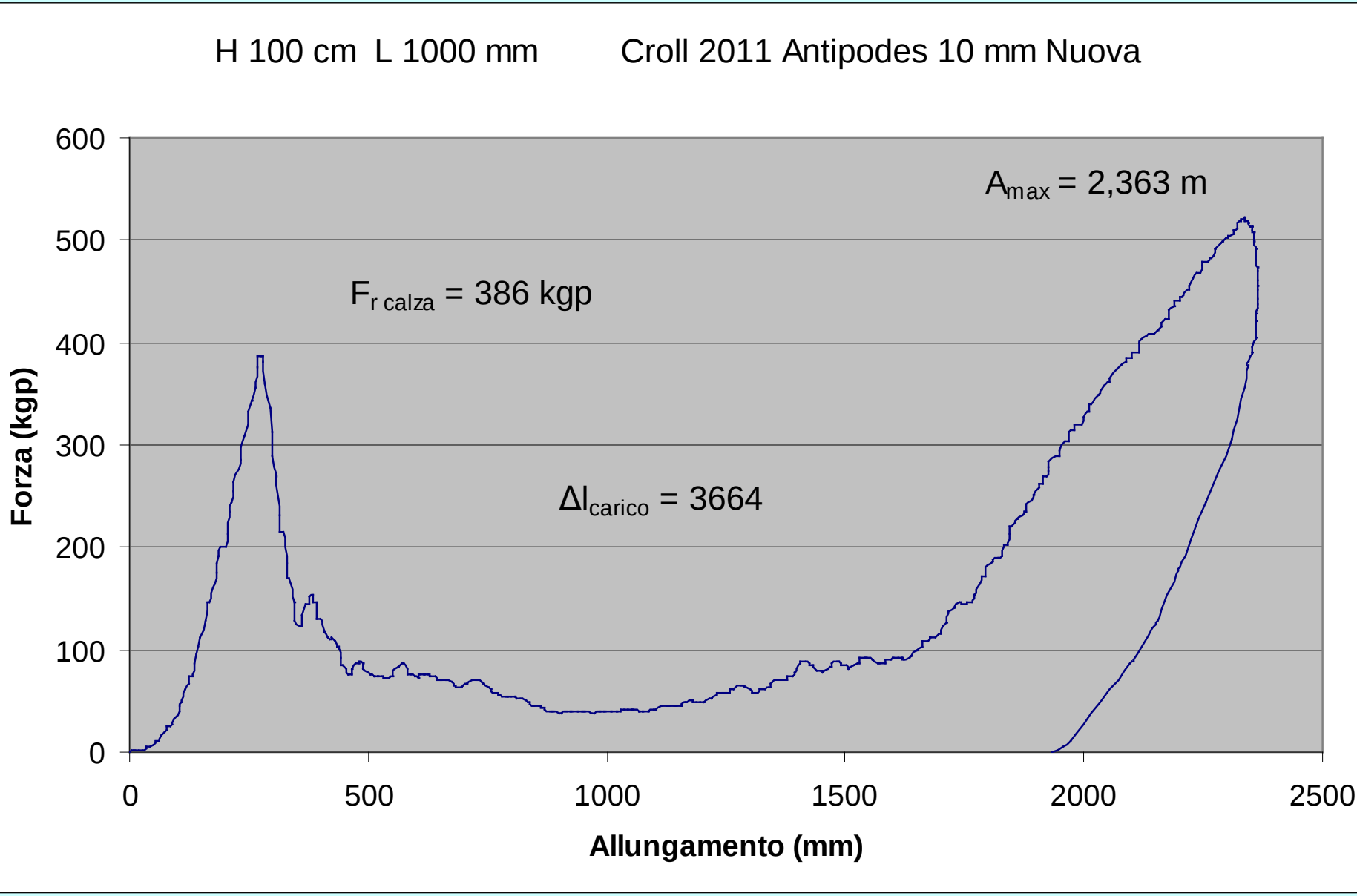
H 100 cm L 1000 mm

$V_0 = 4,43$ m/s

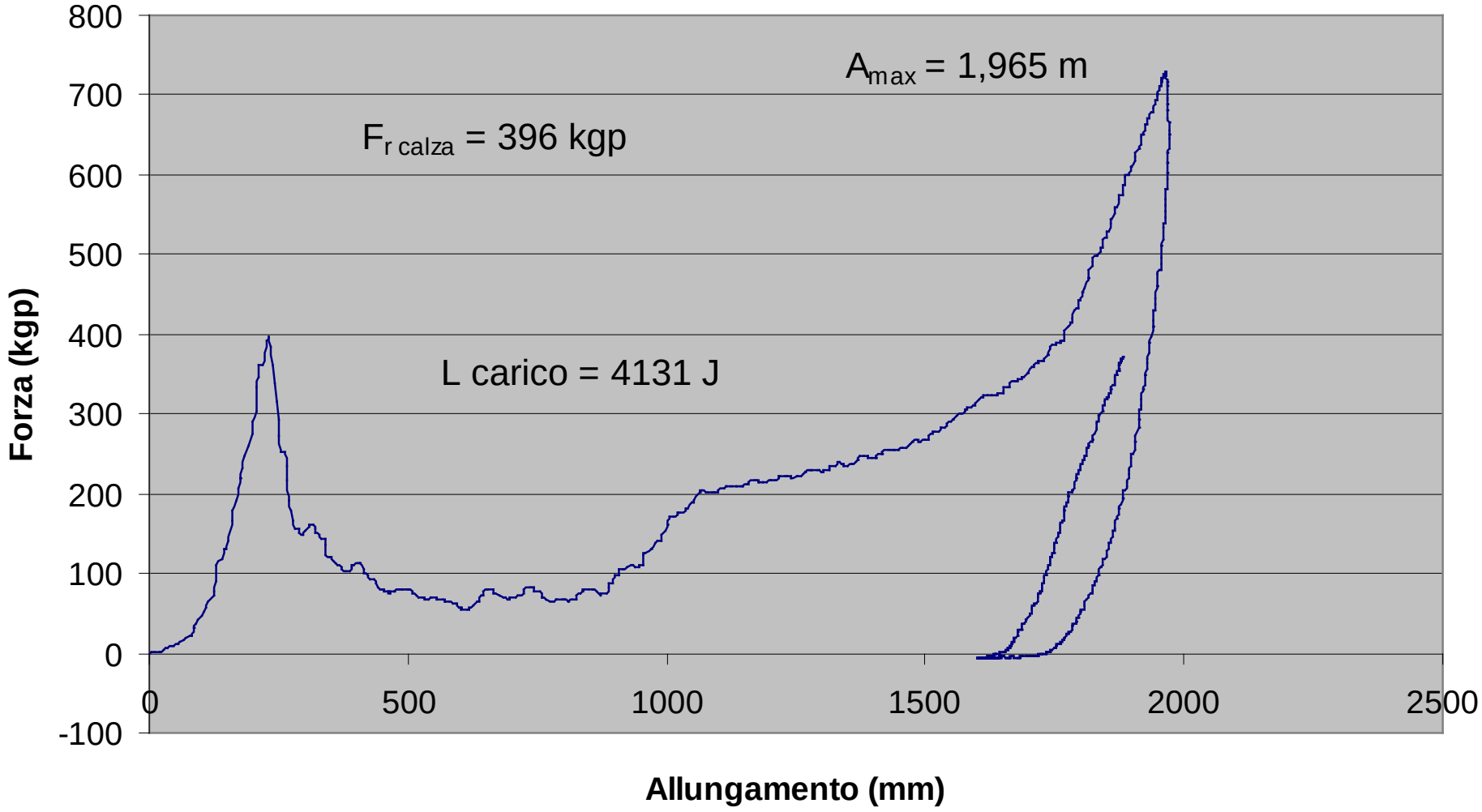
$V_d = 4,43$ s^{-1}

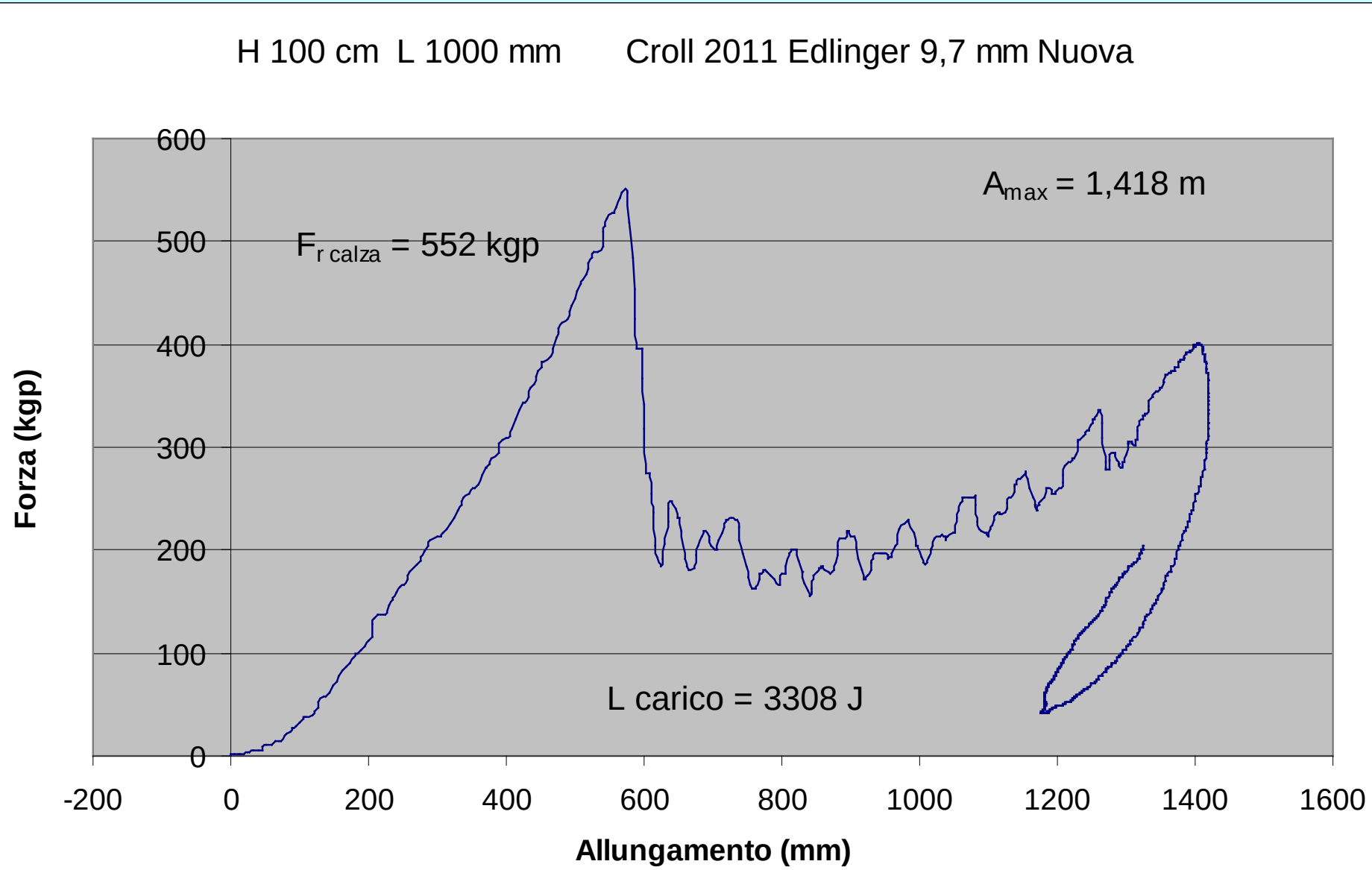
Croll 2011/ corde diverse

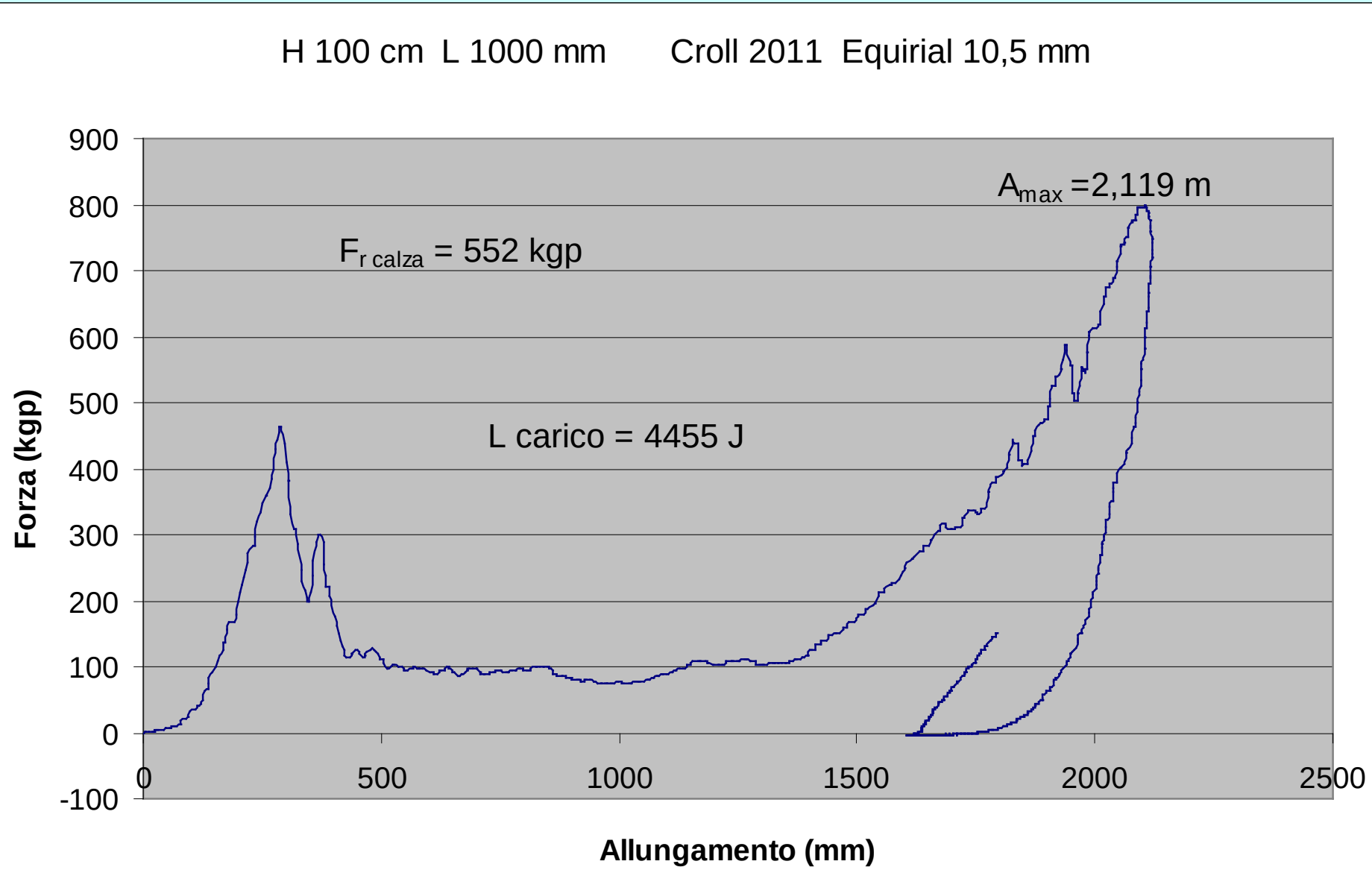
(antiribaltamento)

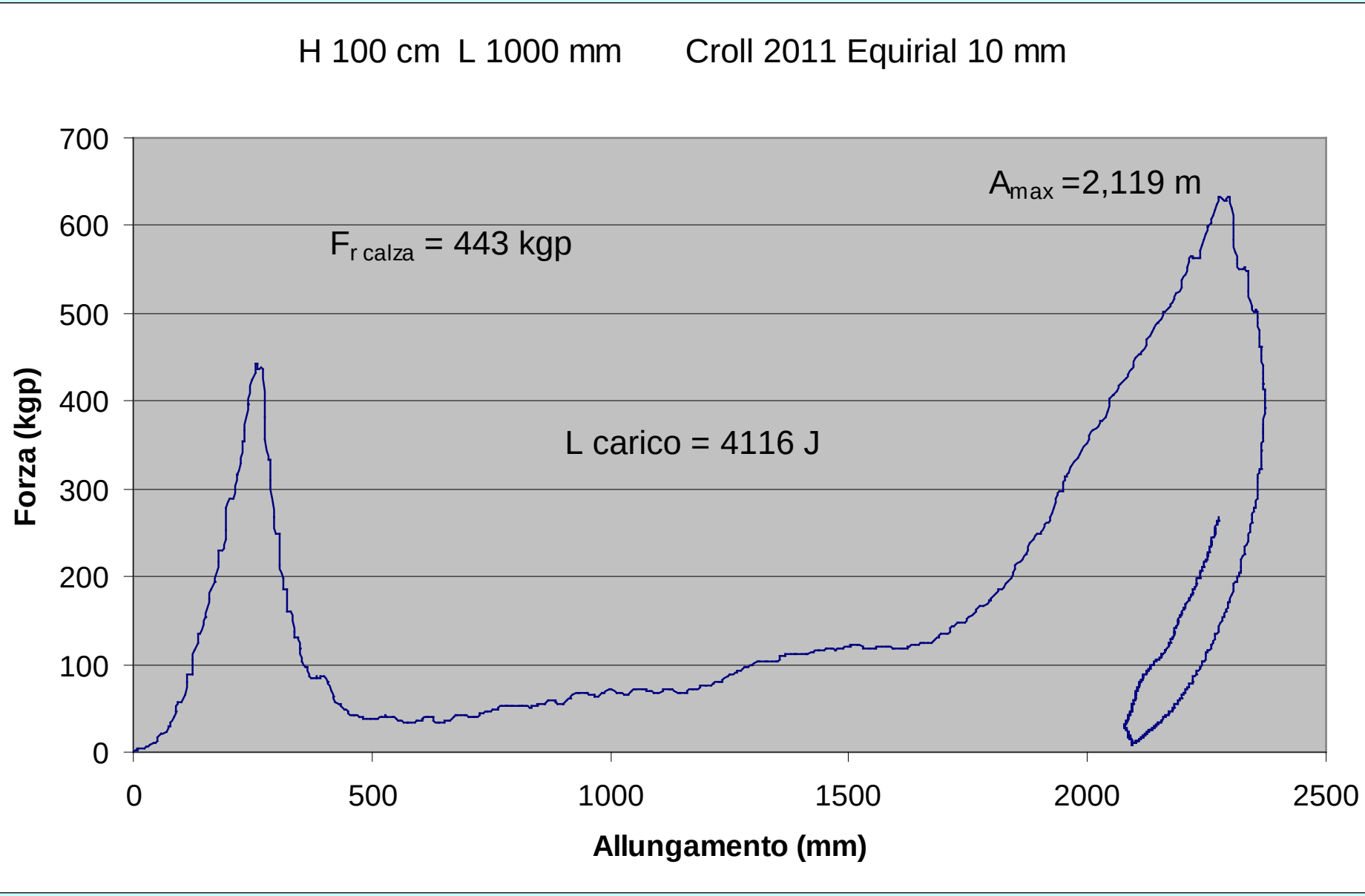

H 100 cm L 1000 mm
Croll 2011 Antipodes 10 mm Nuova
A_{max} = 2,363 m
$F_{r\ calza}$ = 386 kgp
Δl_{carico} = 3664
Forza (kgp)
600
500
400
300
200
100
0
0
500
1000
1500
2000
2500
Allungamento (mm)

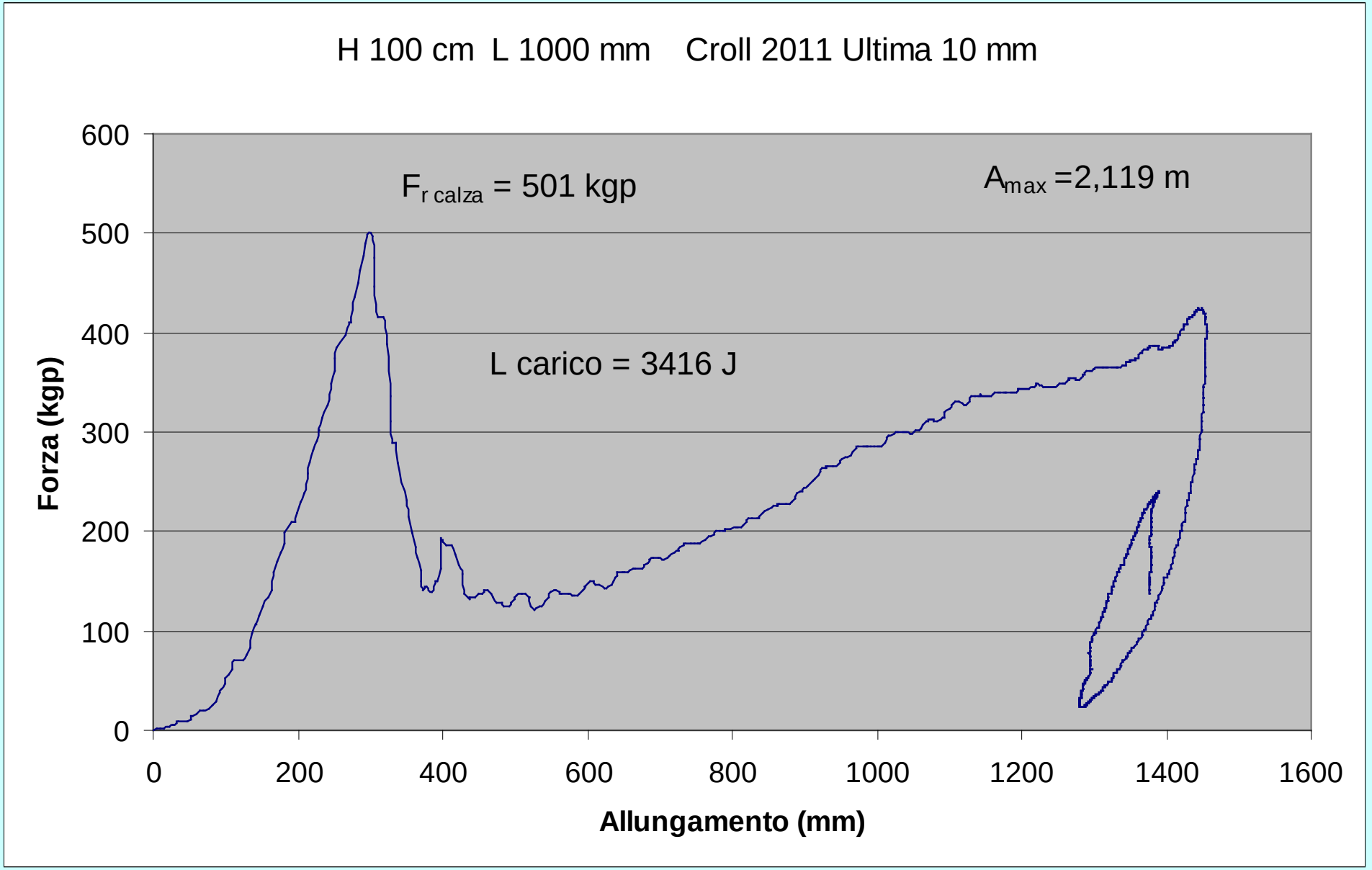
H 100 cm L 1000 mm Croll 2011 Cave Explorer 10, 6 mm Nuova

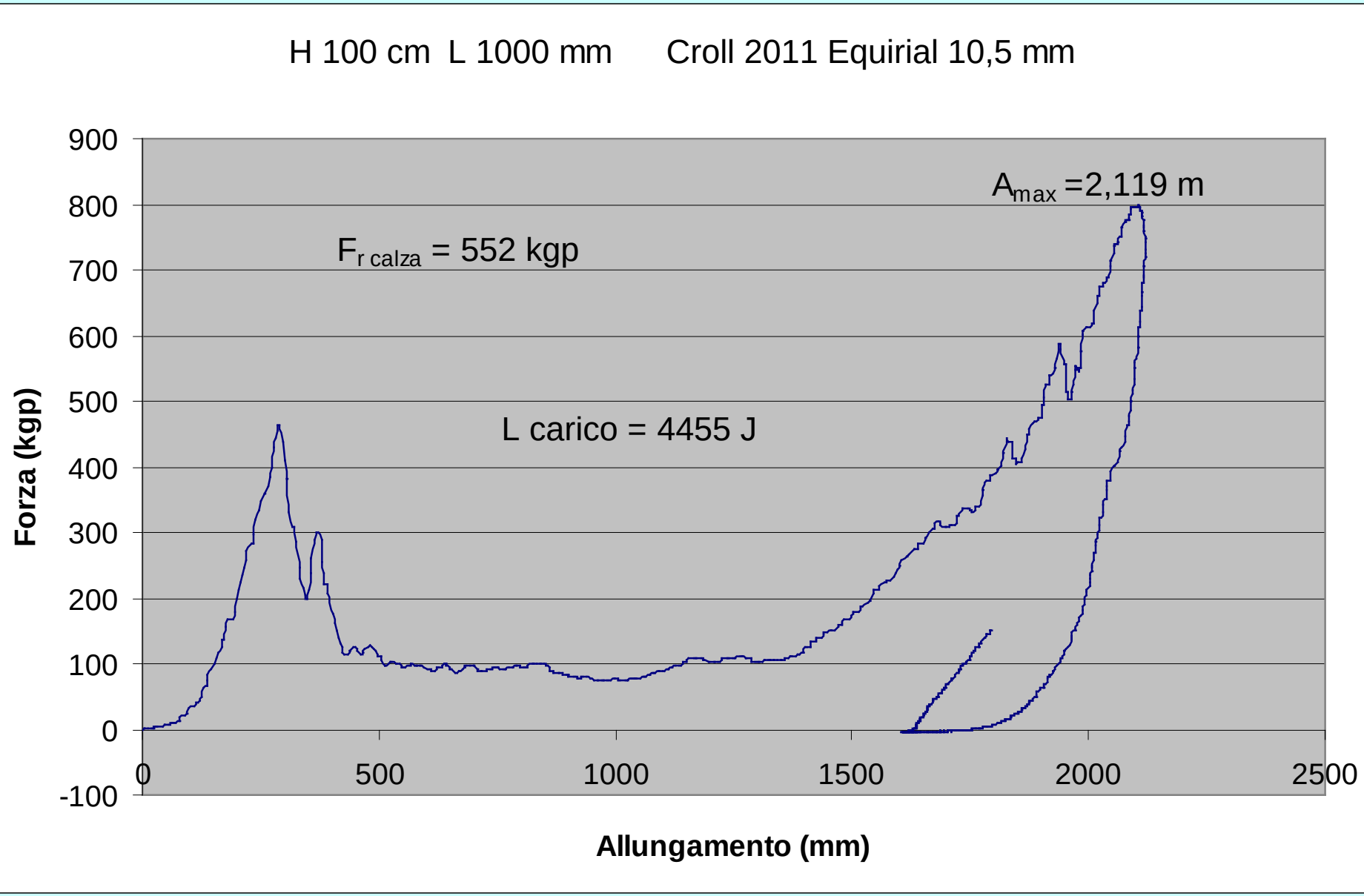



H 100 cm L 1000 mm
Croll 2011 Edlinger 9,7 mm Nuova
A_{max} = 1,418 m
$F_{r\ calza}$ = 552 kgp
L carico = 3308 J
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
600
500
400
300
200
100
0
-200
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600


H 100 cm L 1000 mm
Croll 2011 Equirial 10,5 mm
A_{max} =2,119 m
$F_{r\ calza}$ = 552 kgp
L carico = 4455 J
Forza (kgp)
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
-100
0
500
1000
1500
2000
2500
Allungamento (mm)

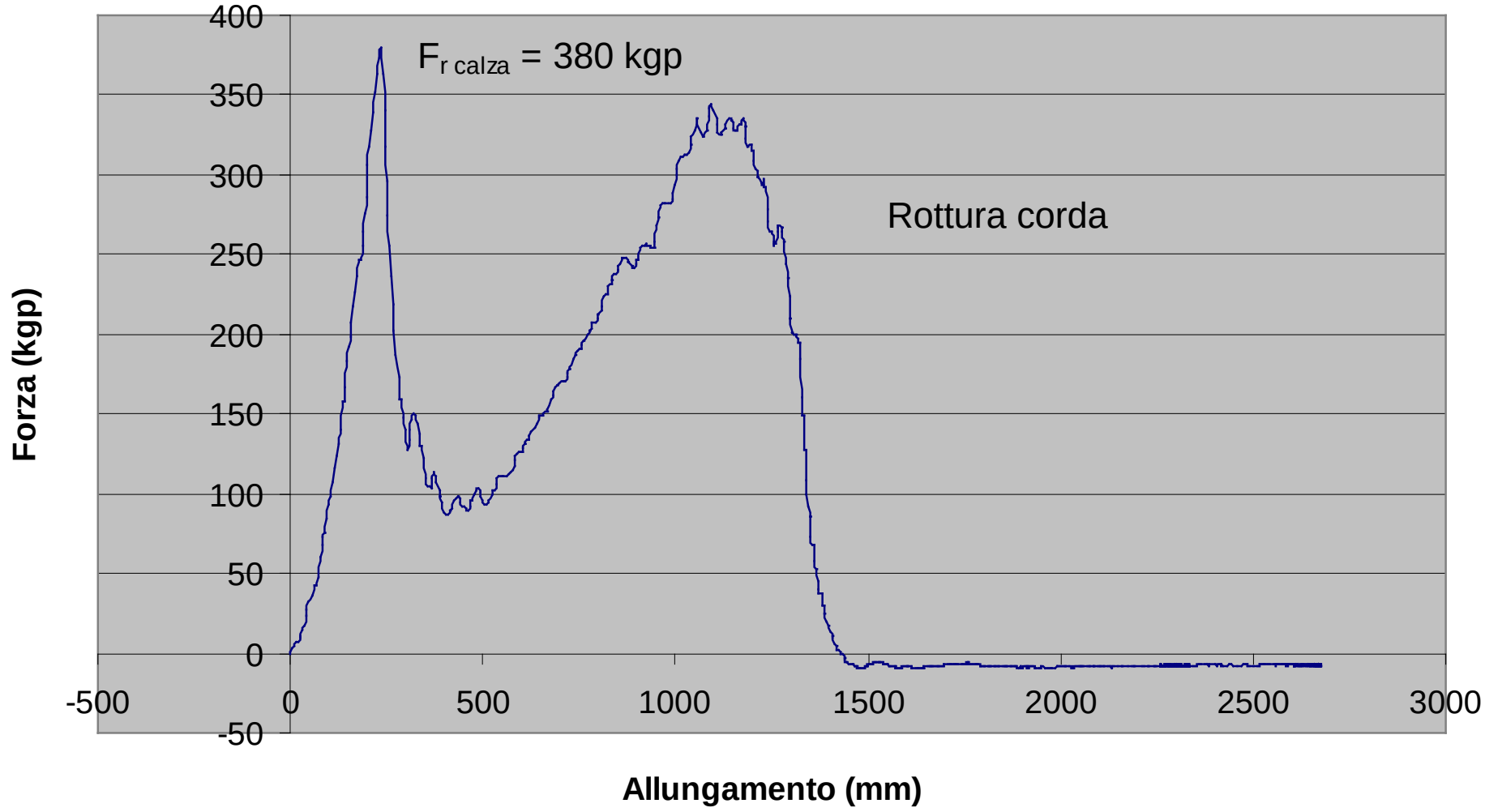

H 100 cm L 1000 mm
Croll 2011 Equirial 10 mm
A_{max} =2,119 m
$F_{r\ calza}$ = 443 kgp
L carico = 4116 J
Forza (kgp)
700
600
500
400
300
200
100
0
0
500
1000
1500
2000
2500
Allungamento (mm)

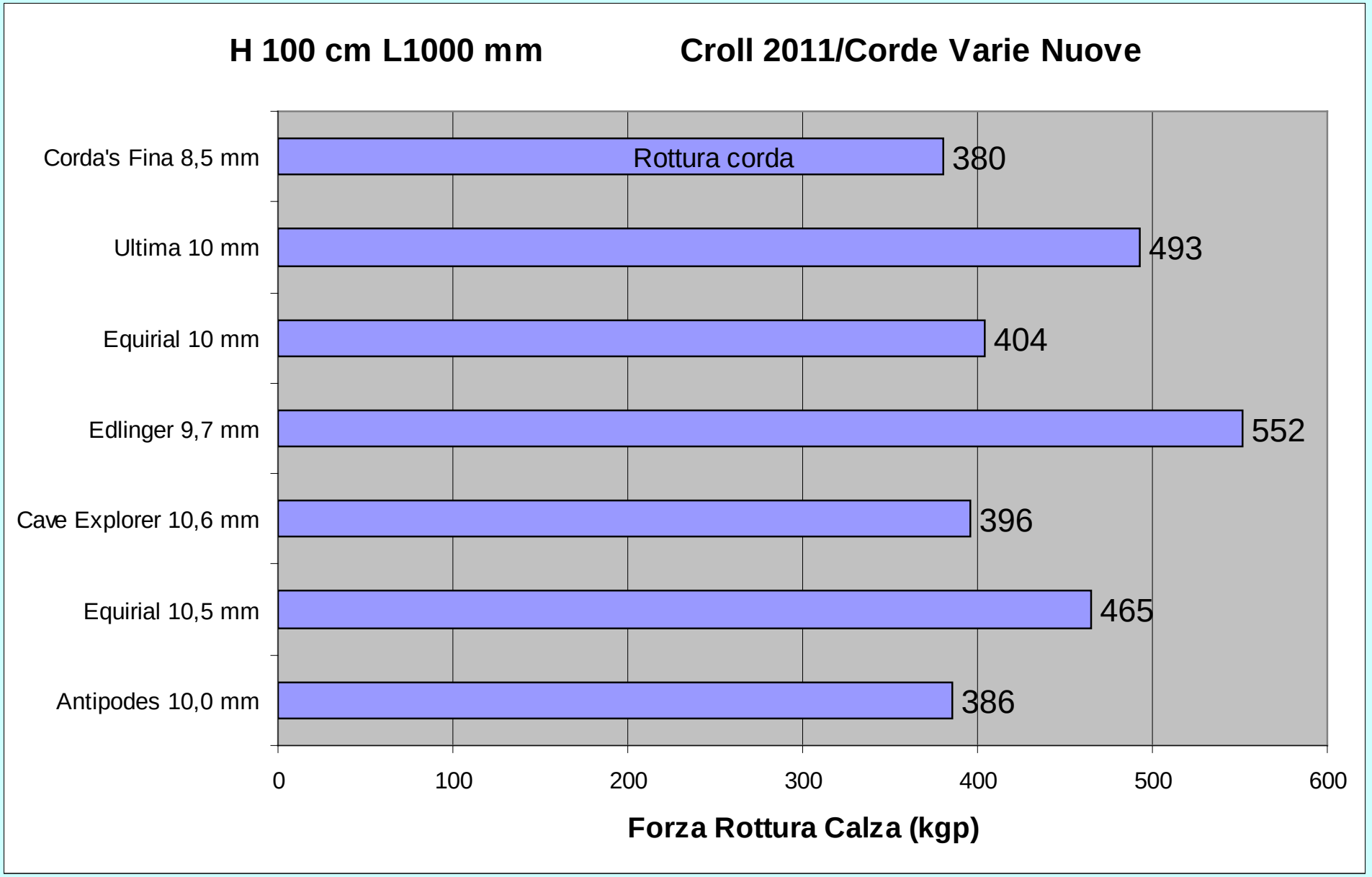

H 100 cm L 1000 mm Croll 2011 Ultima 10 mm
$F_{r\ calza}$ = 501 kgp
A_{max} =2,119 m
L carico = 3416 J
Forza (kgp)
0
100
200
300
400
500
600
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
Allungamento (mm)


H 100 cm L 1000 mm Croll 2011 Equirial 10,5 mm
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
-100
0
500
1000
1500
2000
2500
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
A max =2,119 m
F r calza = 552 kgp
L carico = 4455 J



H 100 cm L 1000 mm Croll 2011 Corda's Fina 8,5 mm




H 100 cm L1000 mm
Croll 2011/Corde Varie Nuove
Corda's Fina 8,5 mm
Rottura corda
380
Ultima 10 mm
493
Equirial 10 mm
404
Edlinger 9,7 mm
552
Cave Explorer 10,6 mm
396
Equirial 10,5 mm
465
Antipodes 10,0 mm
386
0
100
200
300
400
500
600
Forza Rottura Calza (kgp)

Test a caduta

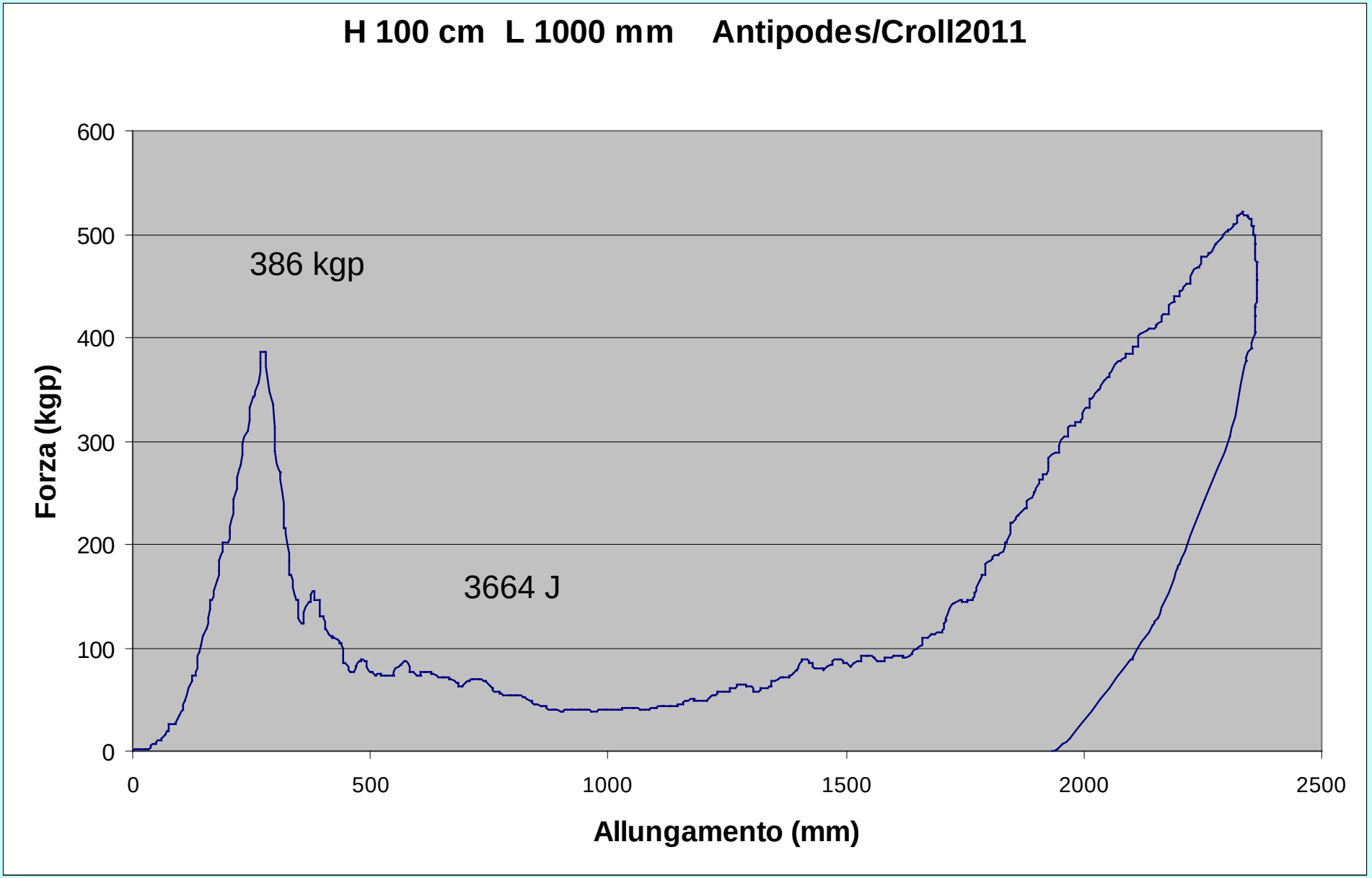
H 100 cm L 1000 mm

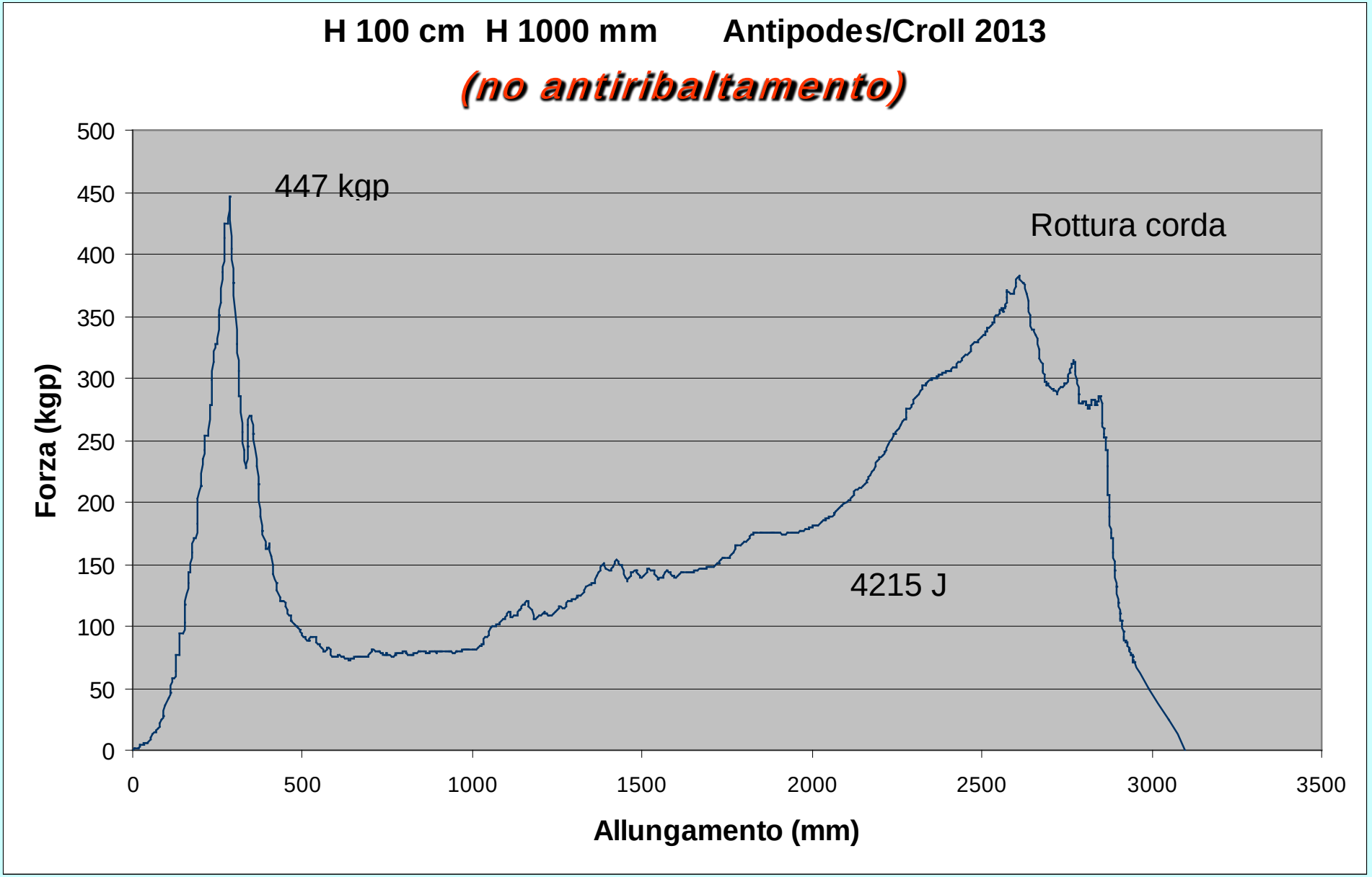
$V_0 = 4,43$ m/s

$V_d = 4,43$ s^{-1}

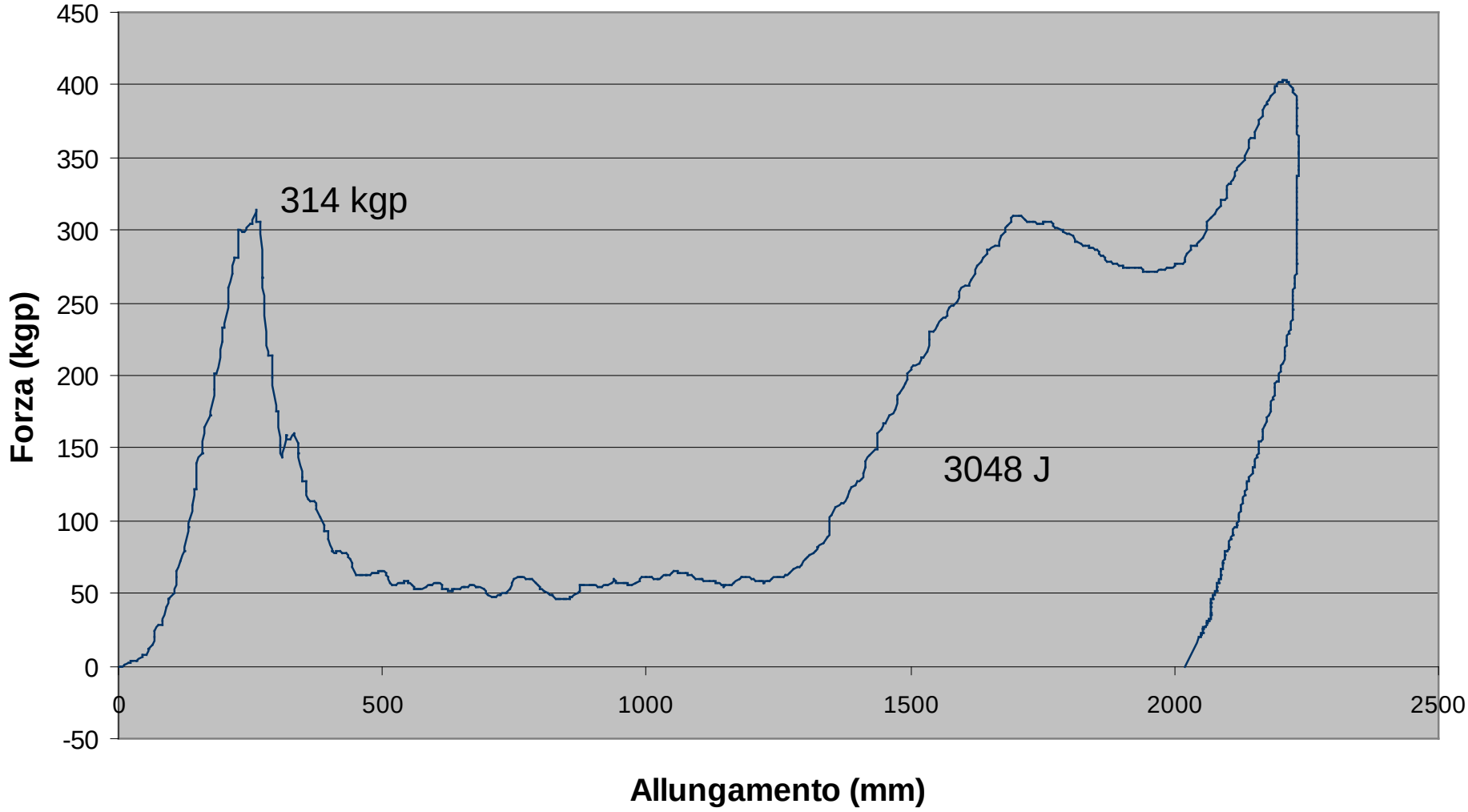
Bloccanti diversi

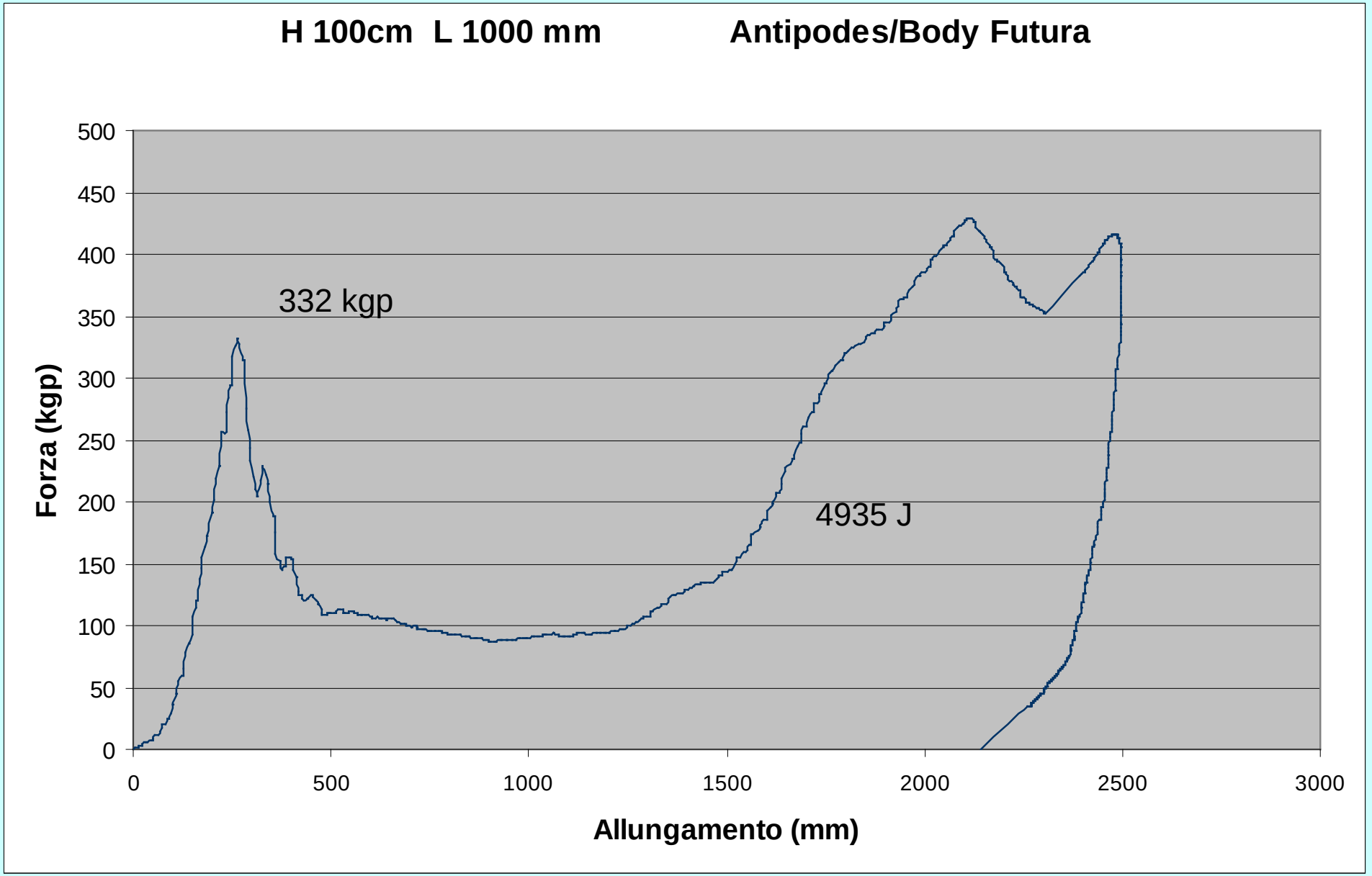
Corda Beal Antipodes 10 mm

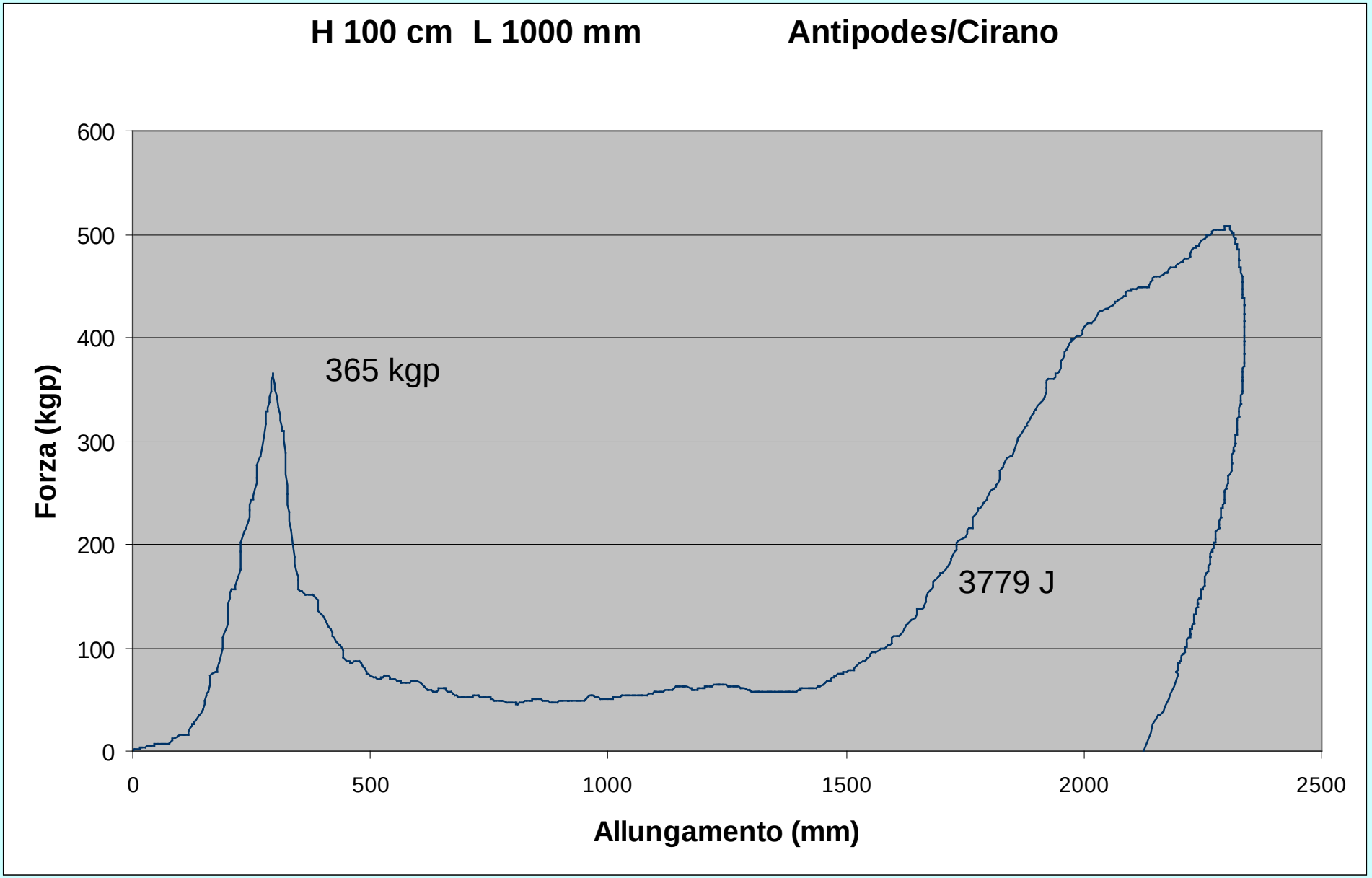

H 100 cm L 1000 mm Antipodes/Croll2011
386 kgp
3664 J
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
600
500
400
300
200
100
0
0
500
1000
1500
2000
2500

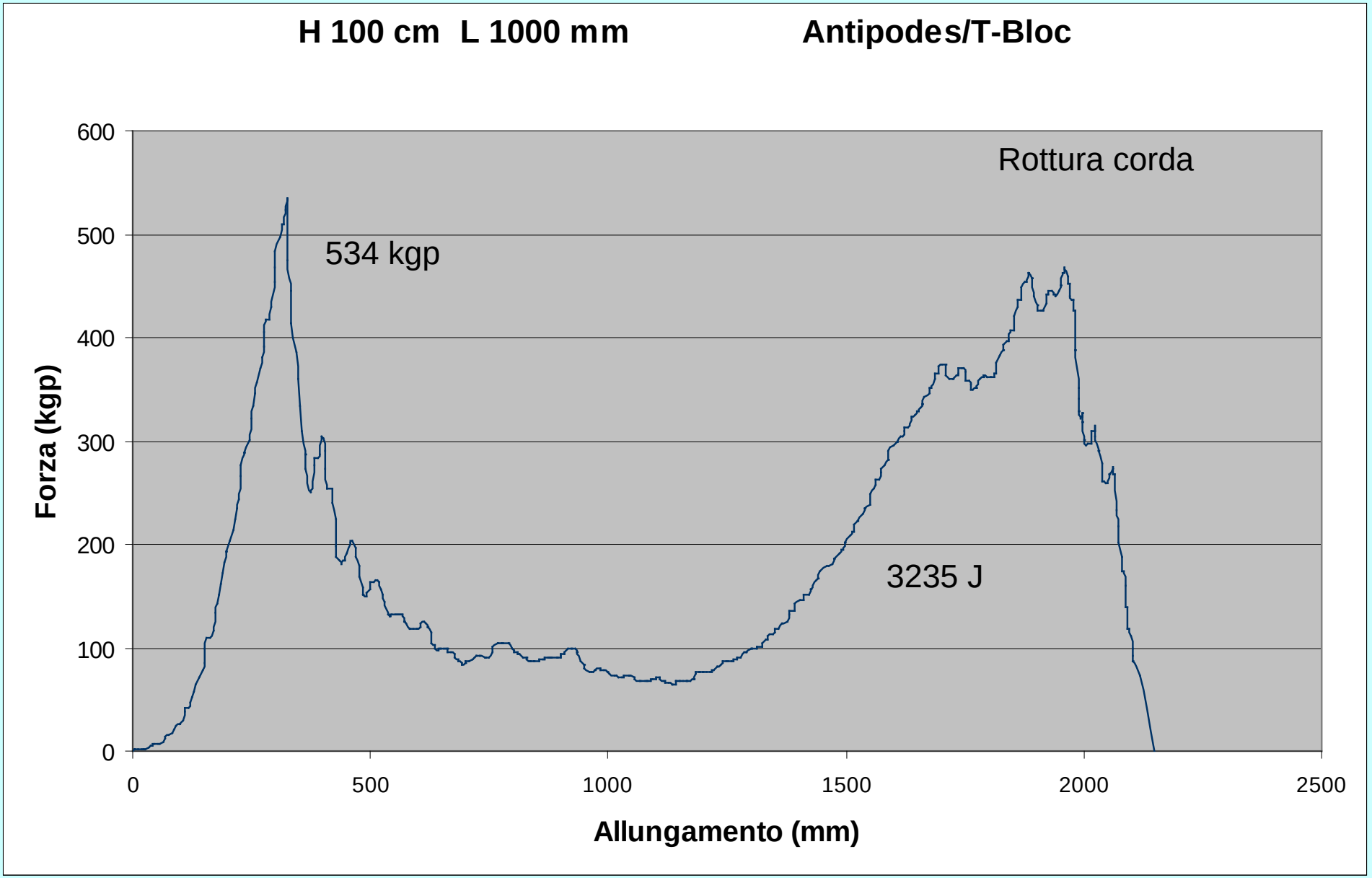

H 100 cm H 1000 mm Antipodes/Croll 2013
(no antiribaltamento)
447 kgp
Rottura corda
4215 J
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500

H 100 cm L 1000 mm Antipodes/Maniglia Futura

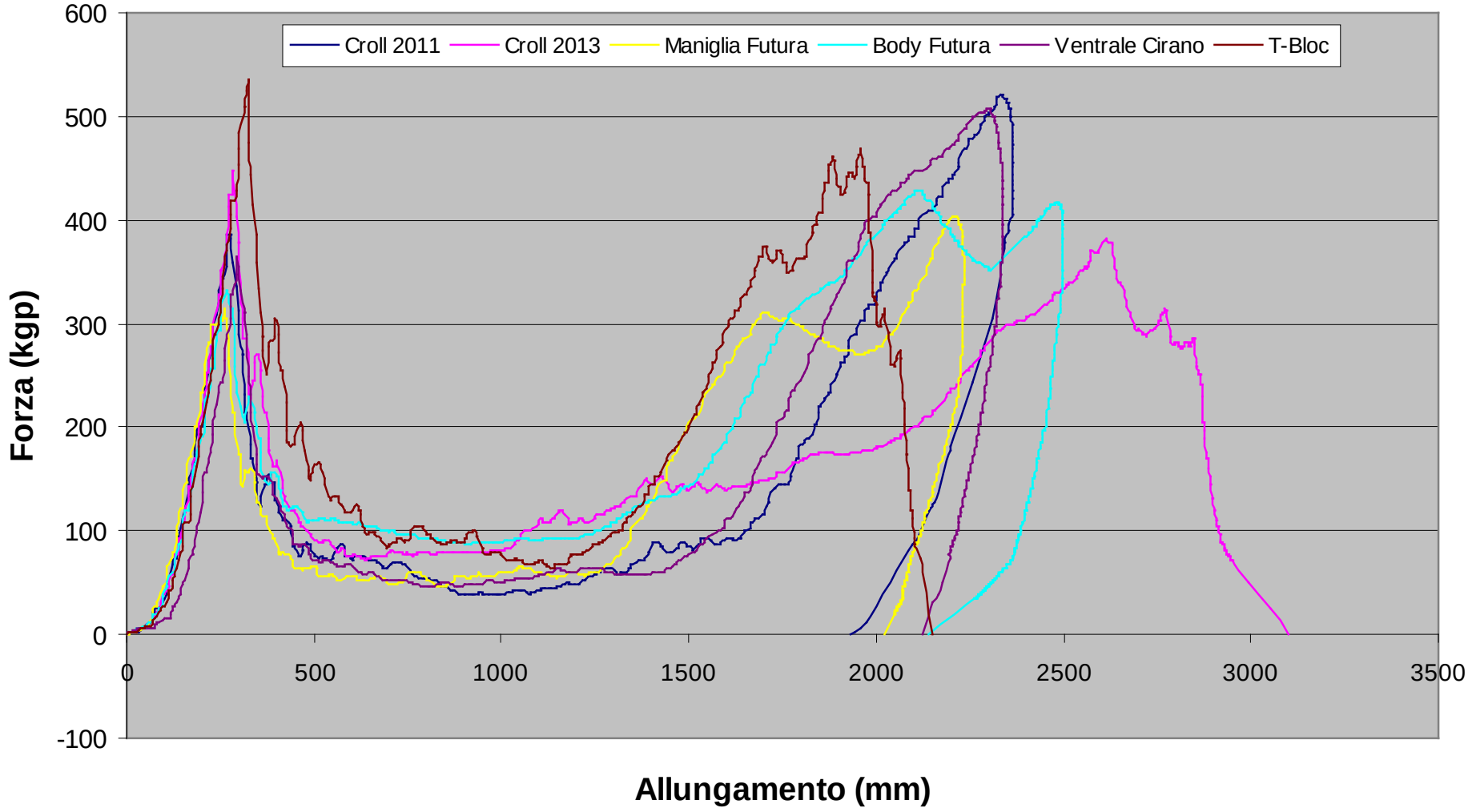


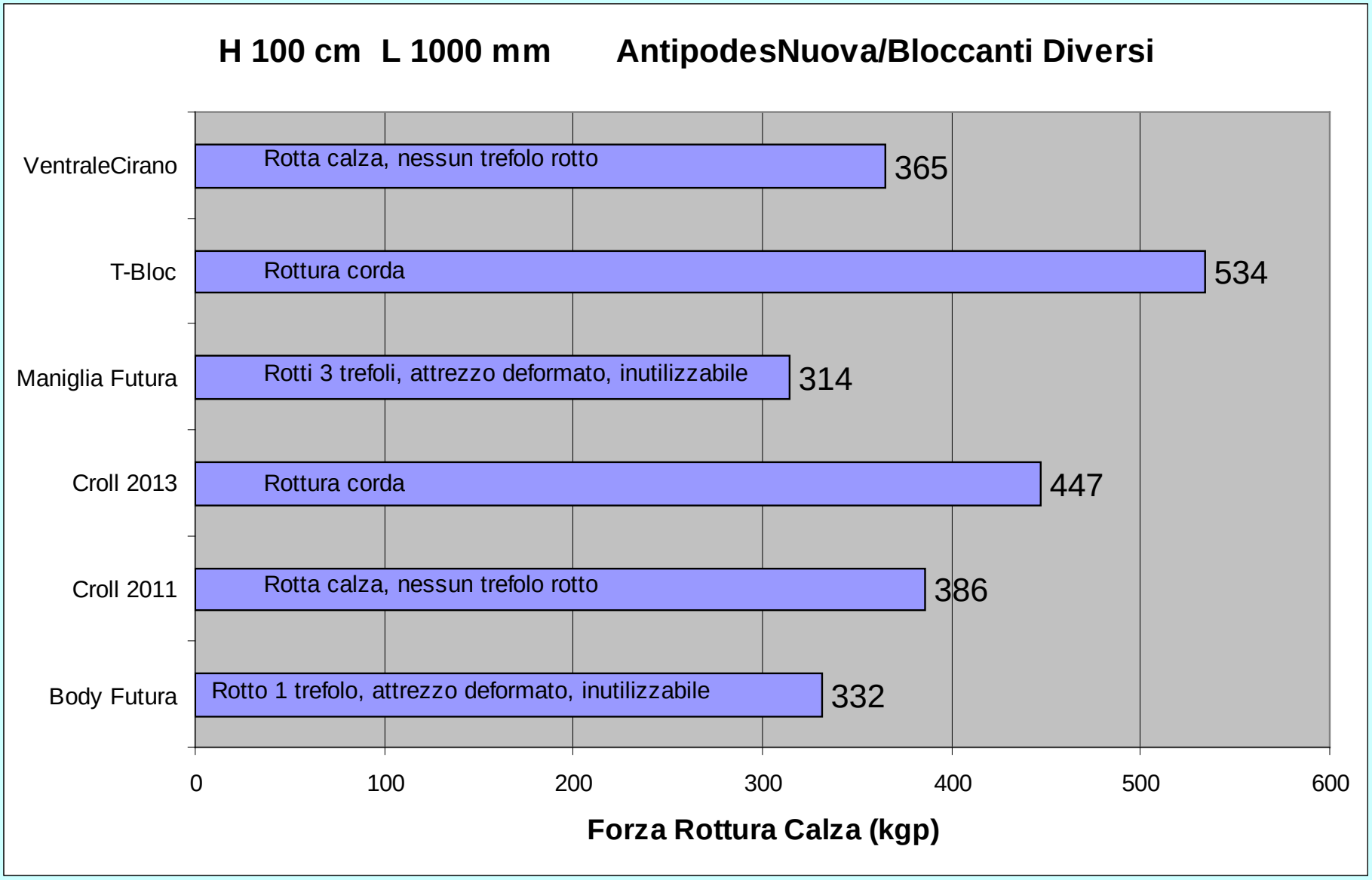

H 100cm L 1000 mm
Antipodes/Body Futura
332 kgp
4935 J
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
0
500
1000
1500
2000
2500
3000


H 100 cm L 1000 mm
Antipodes/Cirano
600
500
400
300
200
100
0
Forza (kgp)
365 kgp
3779 J
0
500
1000
1500
2000
2500
Allungamento (mm)


H 100 cm L 1000 mm
Antipodes/T-Bloc
Rottura corda
534 kgp
3235 J
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
600
500
400
300
200
100
0
0
500
1000
1500
2000
2500

H 100 cm L 1000 mmm Confronto Antipodes/Bloccanti diversi




H 100 cm L 1000 mm AntipodesNuova/Bloccanti Diversi
VentraleCirano
Rotta calza, nessun trefolo rotto
365
T-Bloc
Rottura corda
534
Maniglia Futura
Rotti 3 trefoli, attrezzo deformato, inutilizzabile
314
Croll 2013
Rottura corda
447
Croll 2011
Rotta calza, nessun trefolo rotto
386
Body Futura
Rotto 1 trefolo, attrezzo deformato, inutilizzabile
332
0
100
200
300
400
500
600
Forza Rottura Calza (kgp)

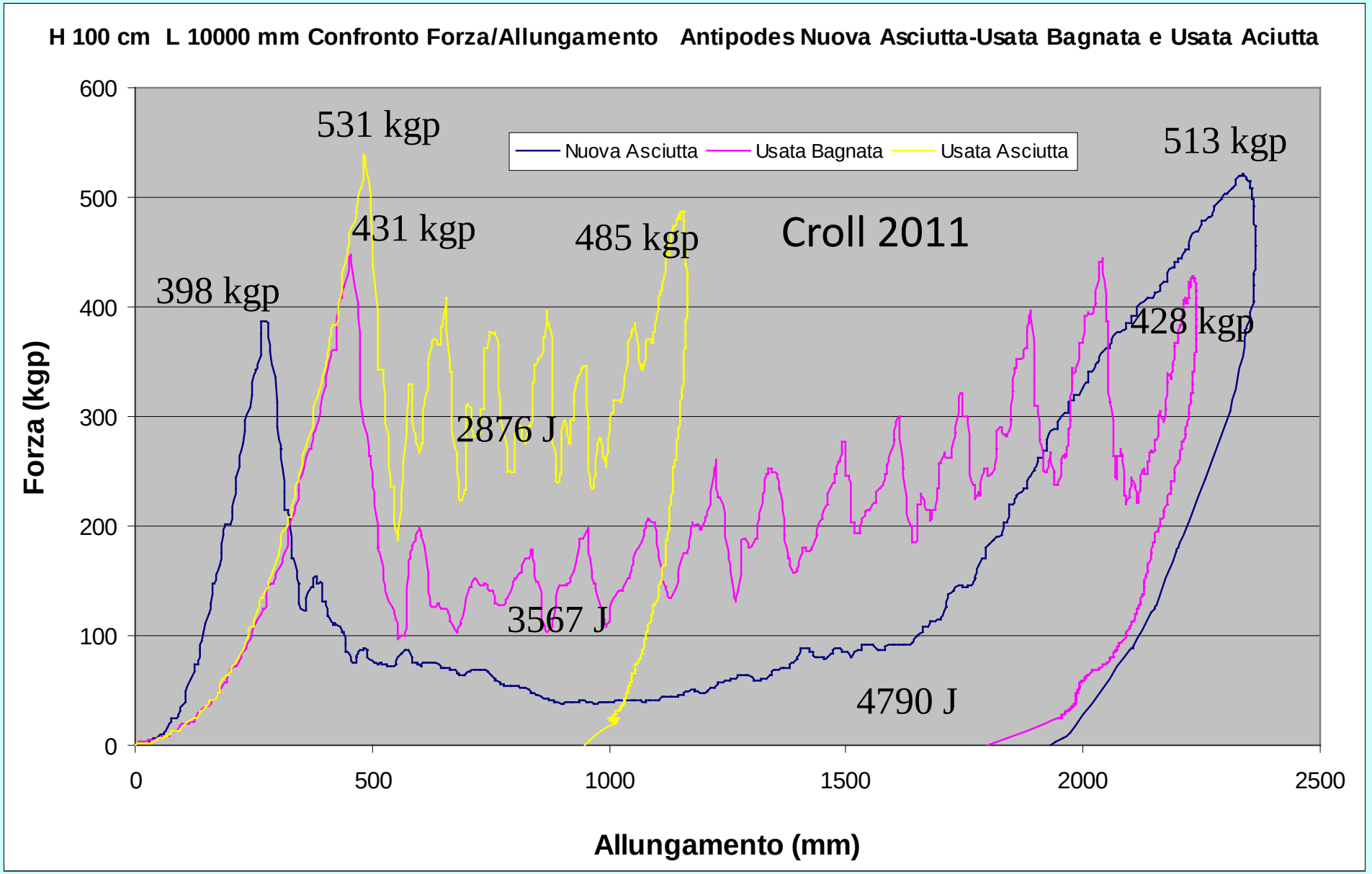
Test a caduta

H 100 cm L 1000 mm

$V_0 = 4,43$ m/s

$V_d \equiv 4,43$ s^{-1}

Croll 2011
Corde Beal Antipodes 10 mm usata asciutta e usata bagnata


H 100 cm L 10000 mm Confronto Forza/Allungamento Antipodes Nuova Asciutta-Usata Bagnata e Usata Aciutta
Nuova Asciutta
Usata Bagnata
Usata Asciutta
Croll 2011
531 kgp
431 kgp
485 kgp
398 kgp
513 kgp
428 kgp
2876 J
3567 J
4790 J
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
100
200
300
400
500
600
0
500
1000
1500
2000
2500

Test quasi-statici

bloccante/corda statica

nuova asciutta
usata asciutta
usata bagnata



Corde usate e bloccanti

Le corde usate asciutte, contrariamente a quelle nuove, si rompono sotto l'azione dei bloccanti. Bagnandole l'effetto si trasforma nella sola lacerazione della calza.





Corde usate e bloccanti

C’è una differenza sostanziale fra corde asciutte e corde bagnate.

Nelle corde usate asciutte si rompe prima la calza e poi tutti i trefoli.

Nelle corde usate bagnate si rompe la calza e poi il bloccante scorre con forza d’attrito intorno agli 80 - 120 kgp.

Longe
Trilonge
Confezionate

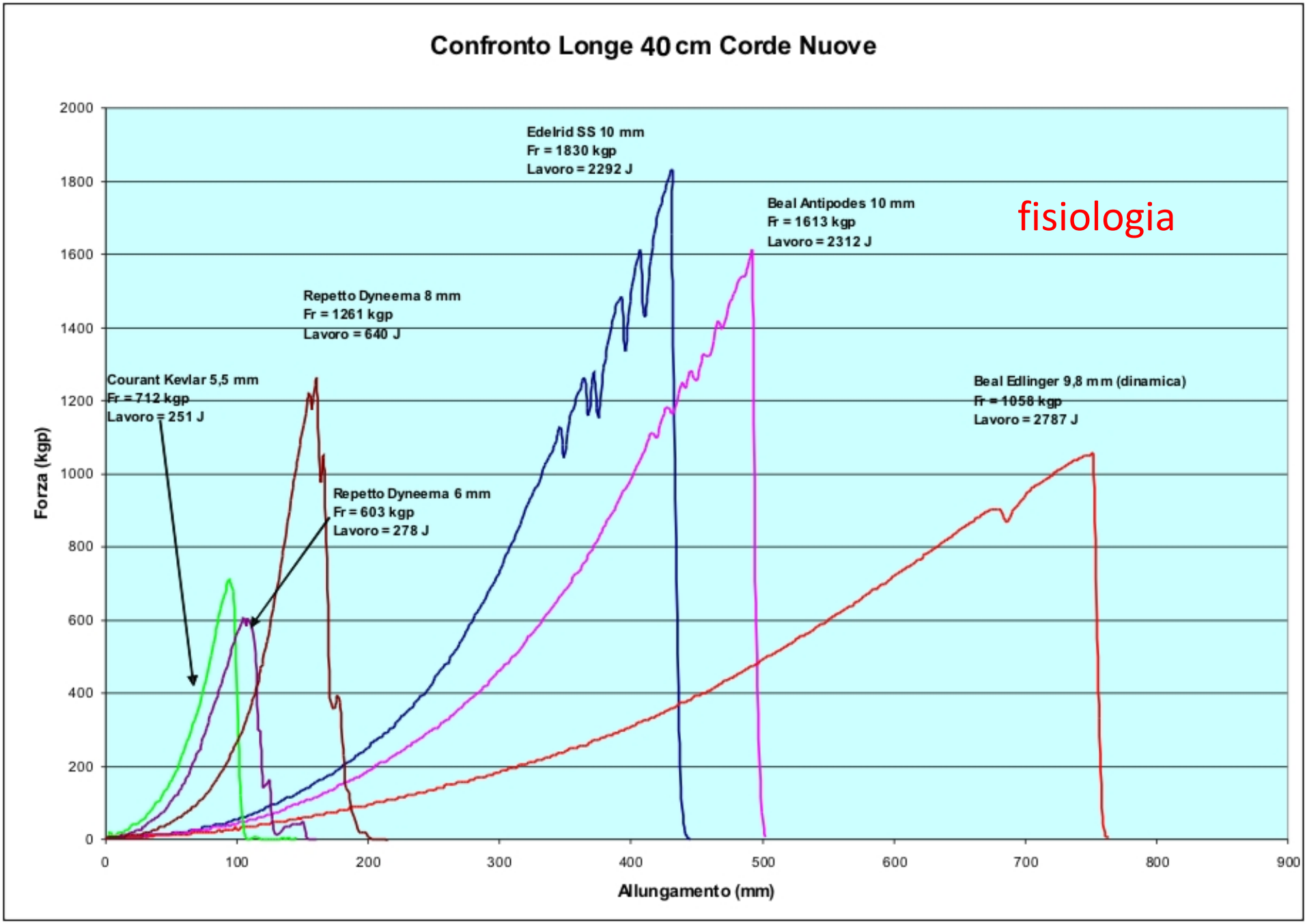
Trazione quasi-statica

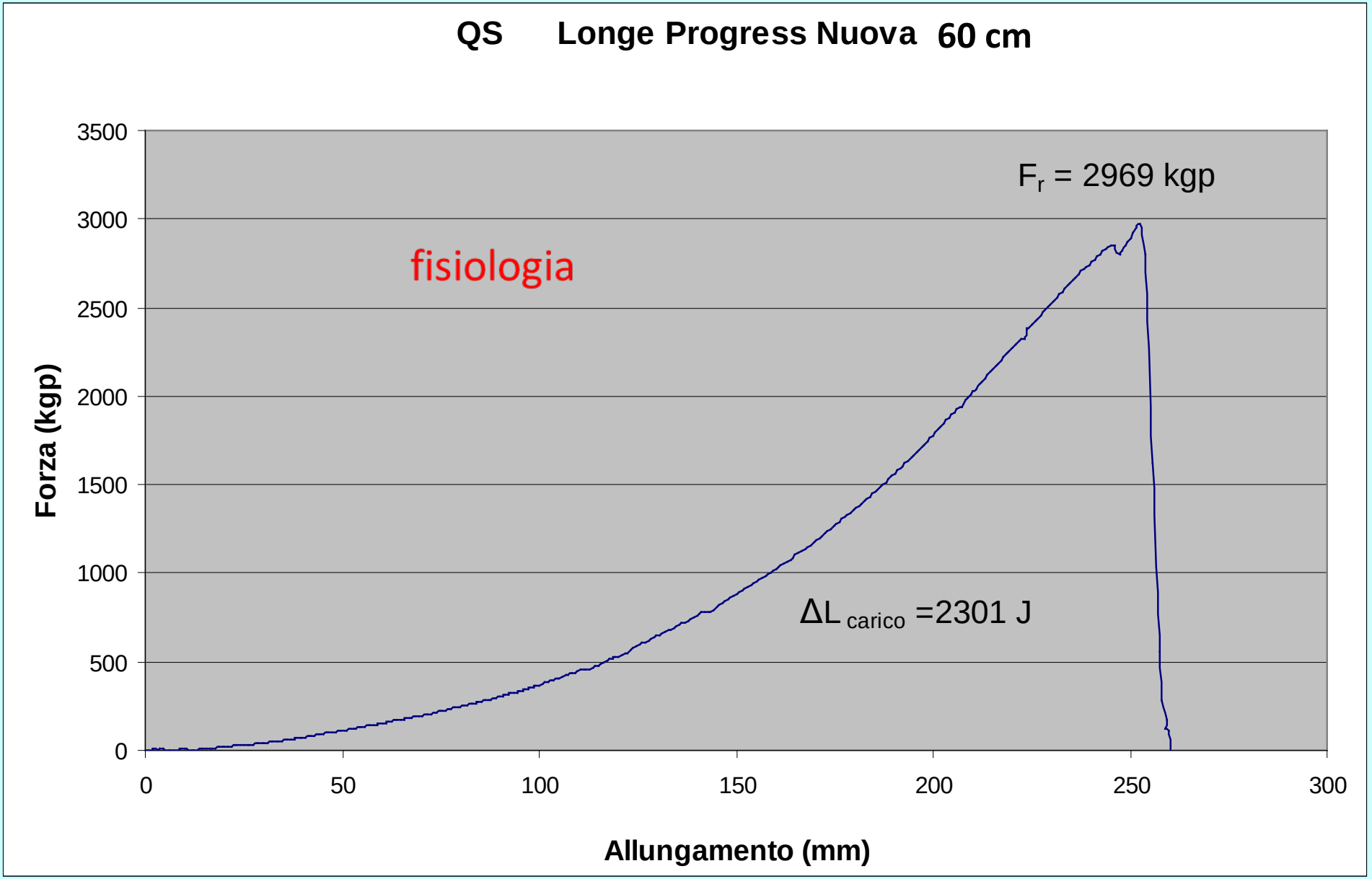
Longe di corda

(con nodi guida o gasse cucite)

lunghezza 40 cm f.t.

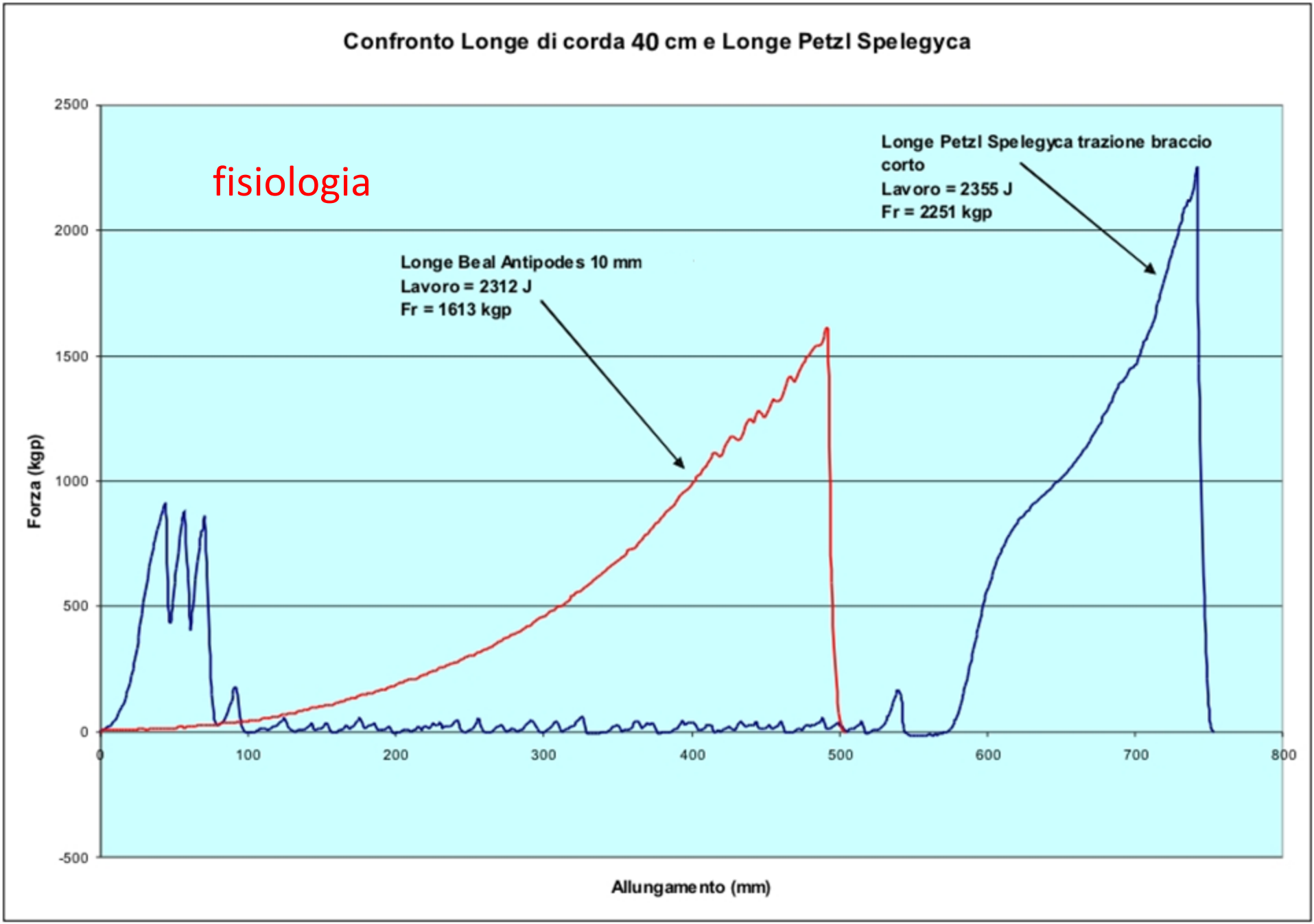

Longe lunghezza 40 cm
Nodi Guida

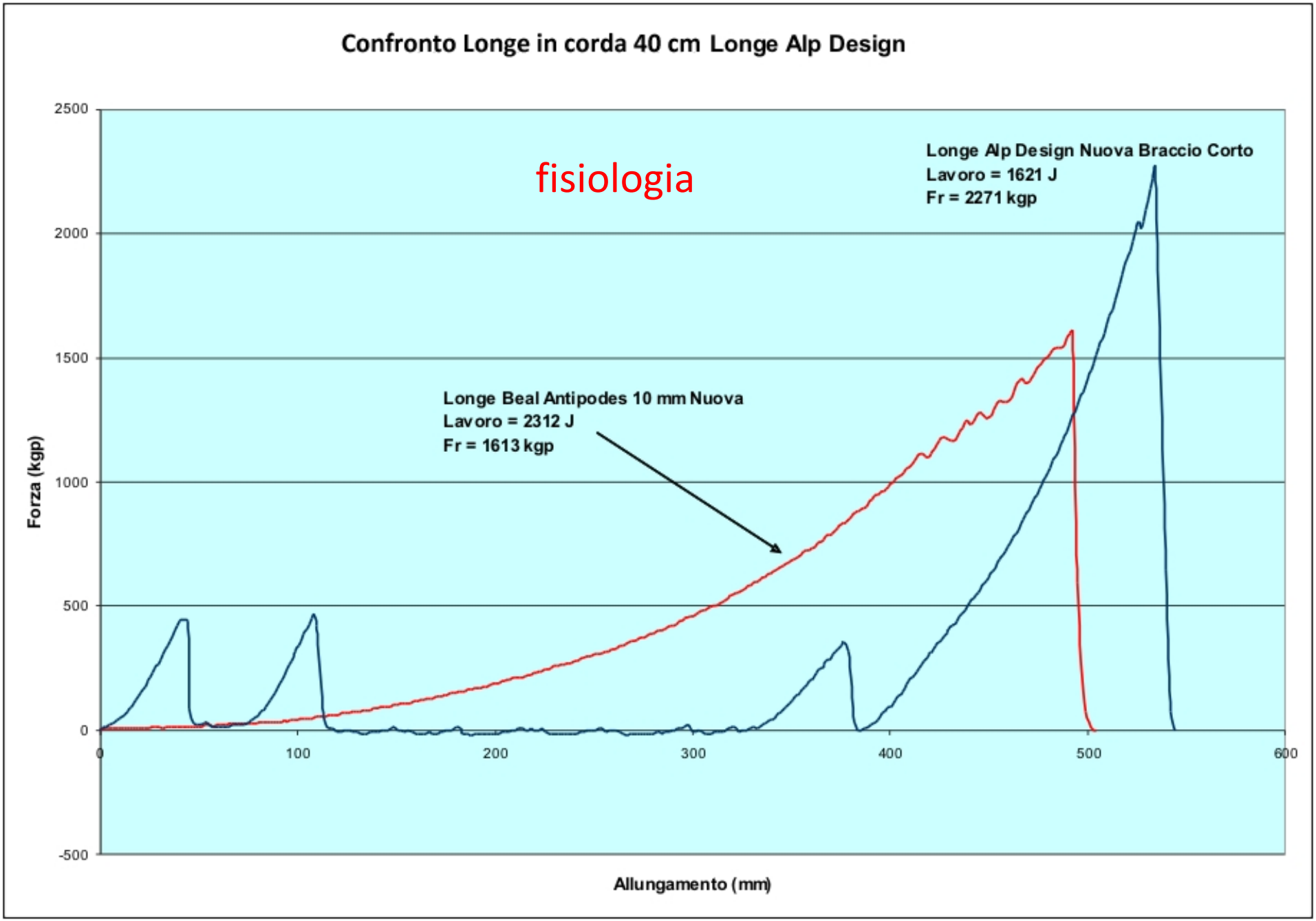

Confronto Longe 40 cm Corde Nuove
Edelrid SS 10 mm
Fr = 1830 kgp
Lavoro = 2292 J
Beal Antipodes 10 mm
Fr = 1613 kgp
Lavoro = 2312 J
Repetto Dyneema 8 mm
Fr = 1261 kgp
Lavoro = 640 J
Courant Kevlar 5,5 mm
Fr = 712 kgp
Lavoro = 251 J
Repetto Dyneema 6 mm
Fr = 603 kgp
Lavoro = 278 J
Beal Edlinger 9,8 mm (dinamica)
Fr = 1058 kgp
Lavoro = 2787 J
fisiologia
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900

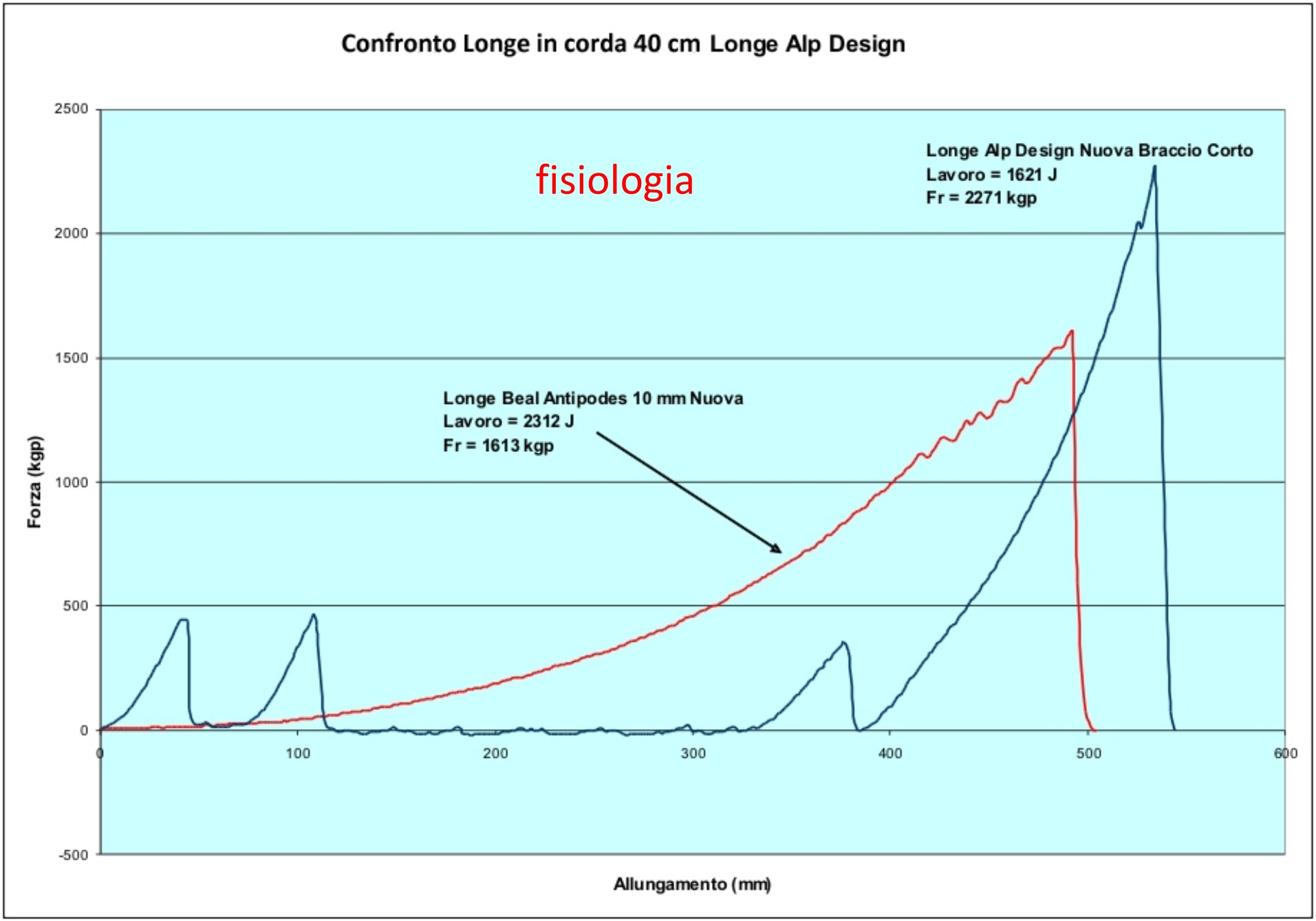

QS Longe Progress Nuova 60 cm
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Forza (kgp)
fisiologia
F_r = 2969 kgp
ΔL_{carico} =2301 J
0
50
100
150
200
250
300
Allungamento (mm)

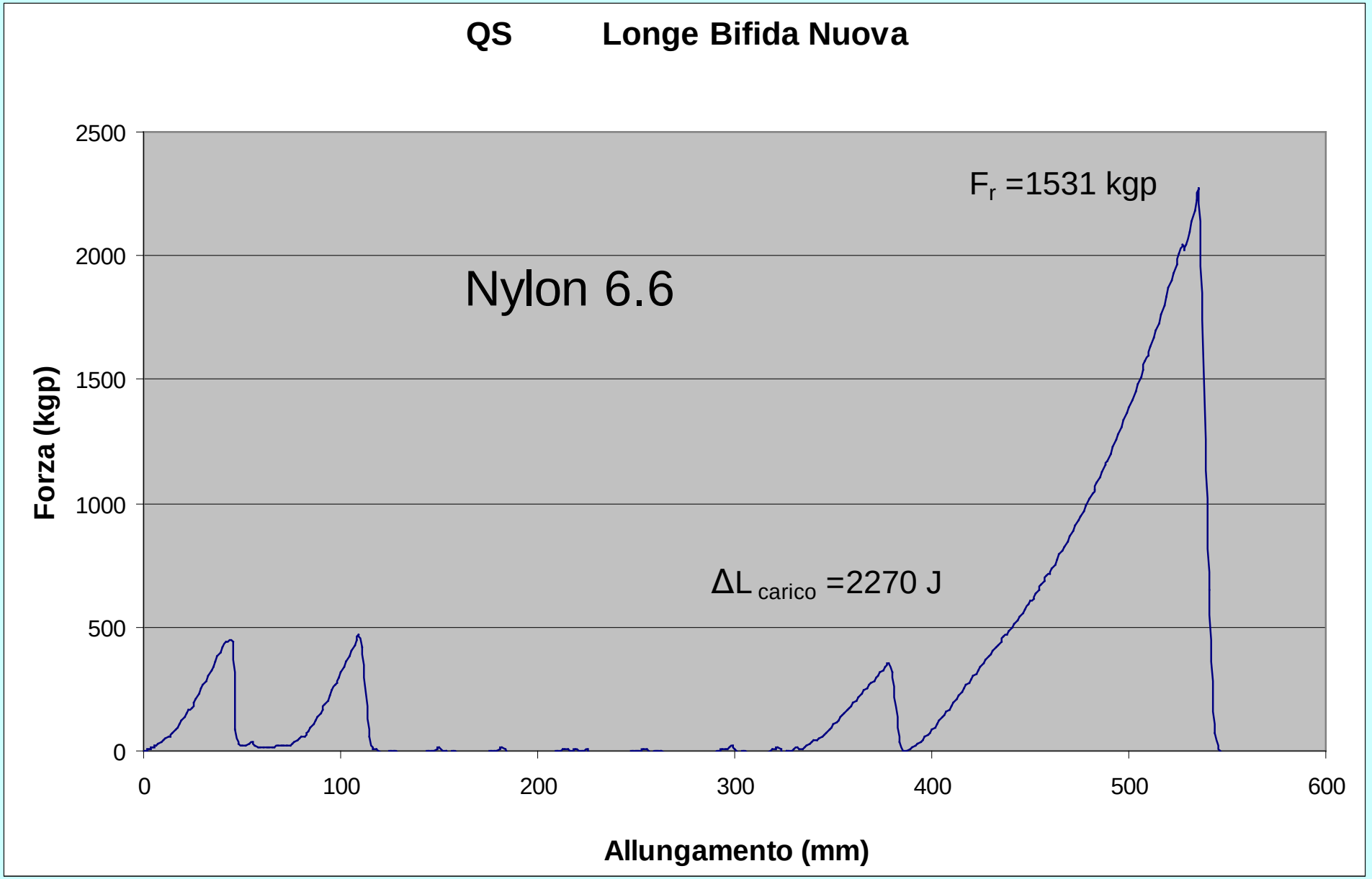
Longe e bilonge confezionate

(con cucitura a rottura programmata)


Confronto Longe di corda 40 cm e Longe Petzl Spelegyca
fisiologia
Longe Petzl Spelegyca trazione braccio corto
Lavoro = 2355 J
Fr = 2251 kgp
Longe Beal Antipodes 10 mm
Lavoro = 2312 J
Fr = 1613 kgp
Forza (kgp)
2500
2000
1500
1000
500
0
-500
0
100
200
300
400
500
600
700
800
Allungamento (mm)


Confronto Longe in corda 40 cm Longe Alp Design
fisiologia
Longe Alp Design Nuova Braccio Corto
Lavoro = 1621 J
Fr = 2271 kgp
Longe Beal Antipodes 10 mm Nuova
Lavoro = 2312 J
Fr = 1613 kgp
Forza (kgp)
2500
2000
1500
1000
500
0
-500
0
100
200
300
400
500
600
Allungamento (mm)


Confronto Longe in corda 40 cm Longe Alp Design
fisiologia
Longe Alp Design Nuova Braccio Corto
Lavoro = 1621 J
Fr = 2271 kgp
Longe Beal Antipodes 10 mm Nuova
Lavoro = 2312 J
Fr = 1613 kgp
Forza (kgp)
2500
2000
1500
1000
500
0
-500
0
100
200
300
400
500
600
Allungamento (mm)


QS Longe Bifida Nuova
2500
2000
1500
1000
500
0
Forza (kgp)
Nylon 6.6
F_r =1531 kgp
ΔL_{carico} =2270 J
0
100
200
300
400
500
600
Allungamento (mm)

Trilonge di corda

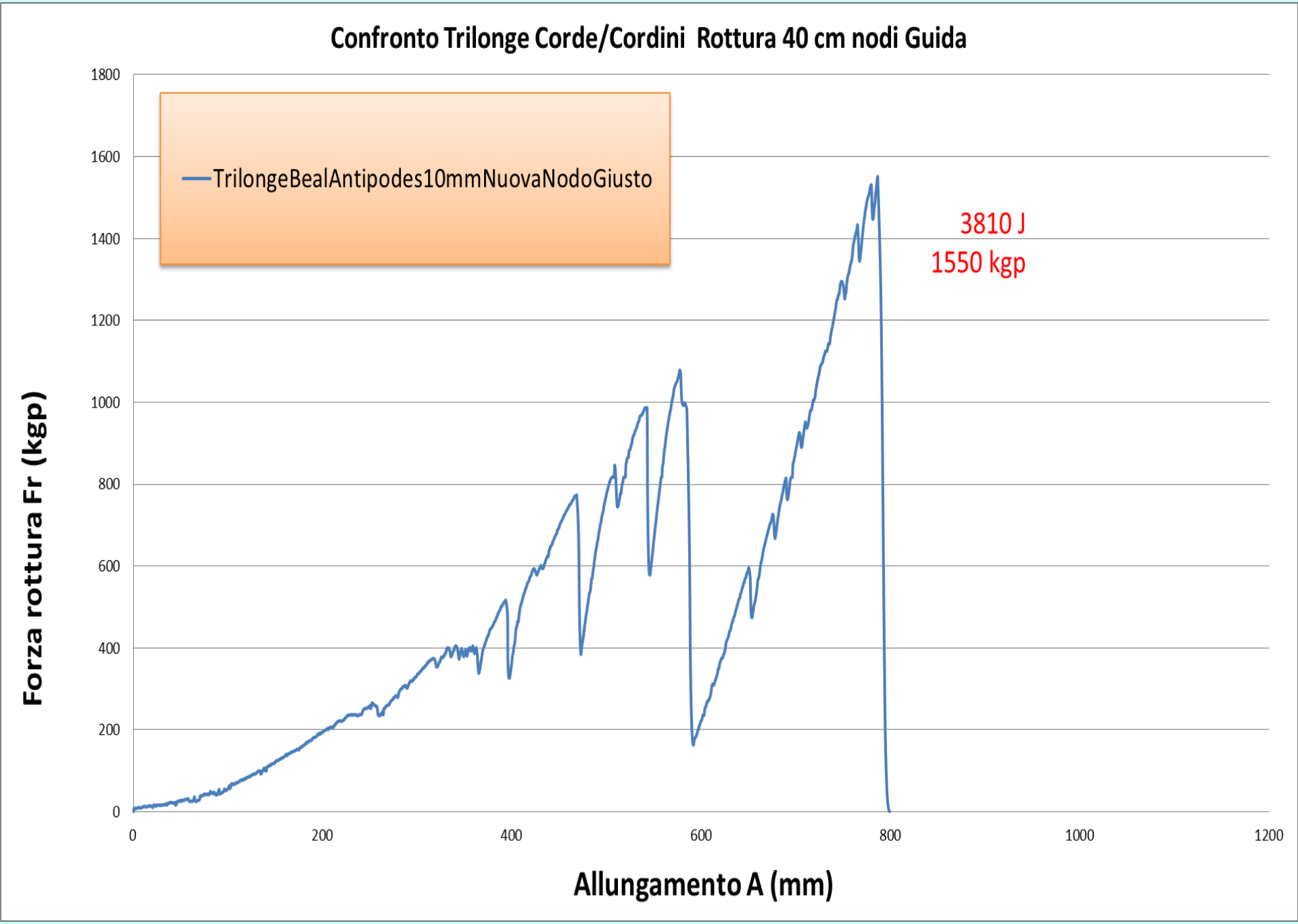
(con nodi guida all'estremità)

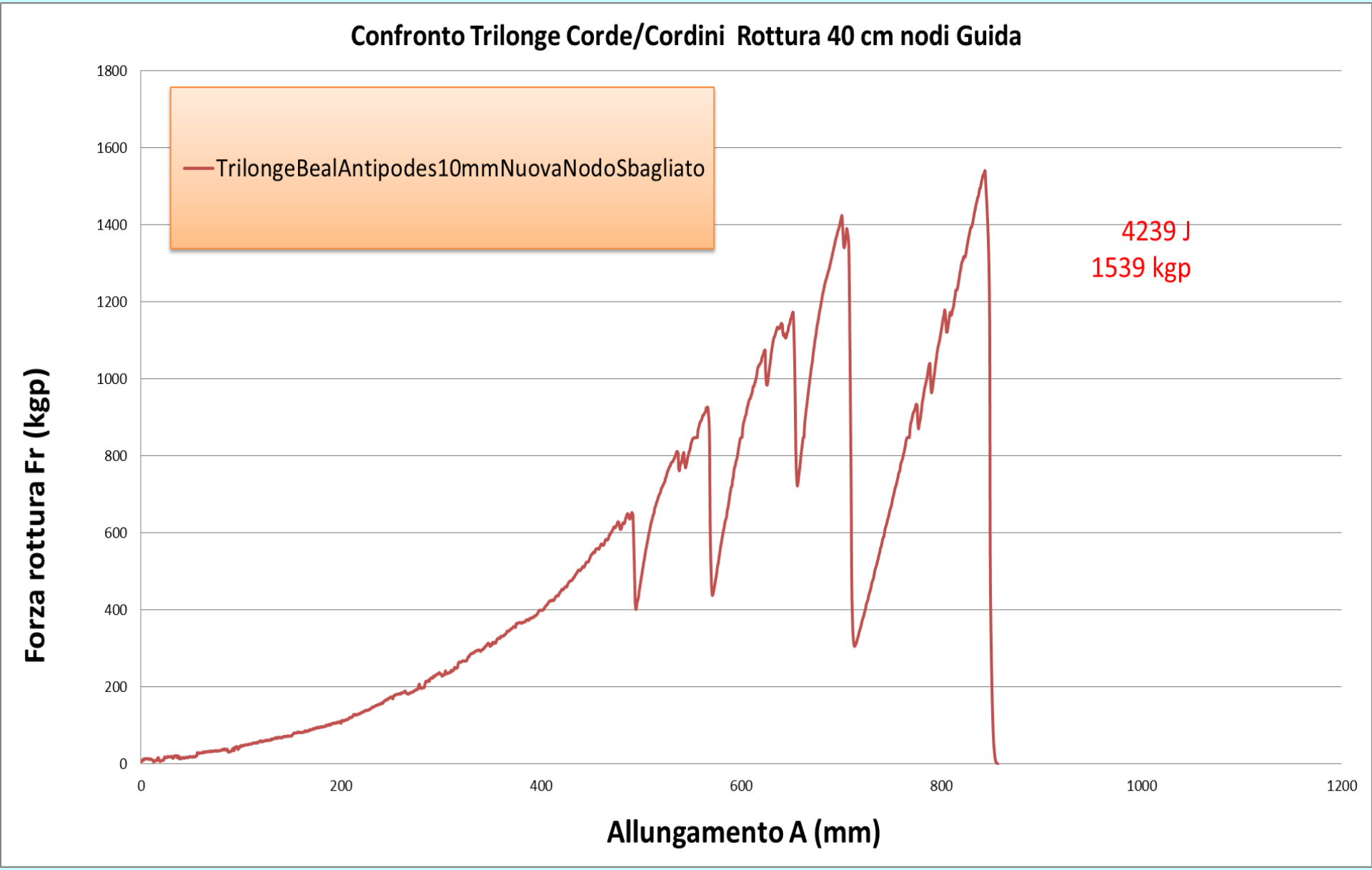
lunghezza 40 cm f.t.

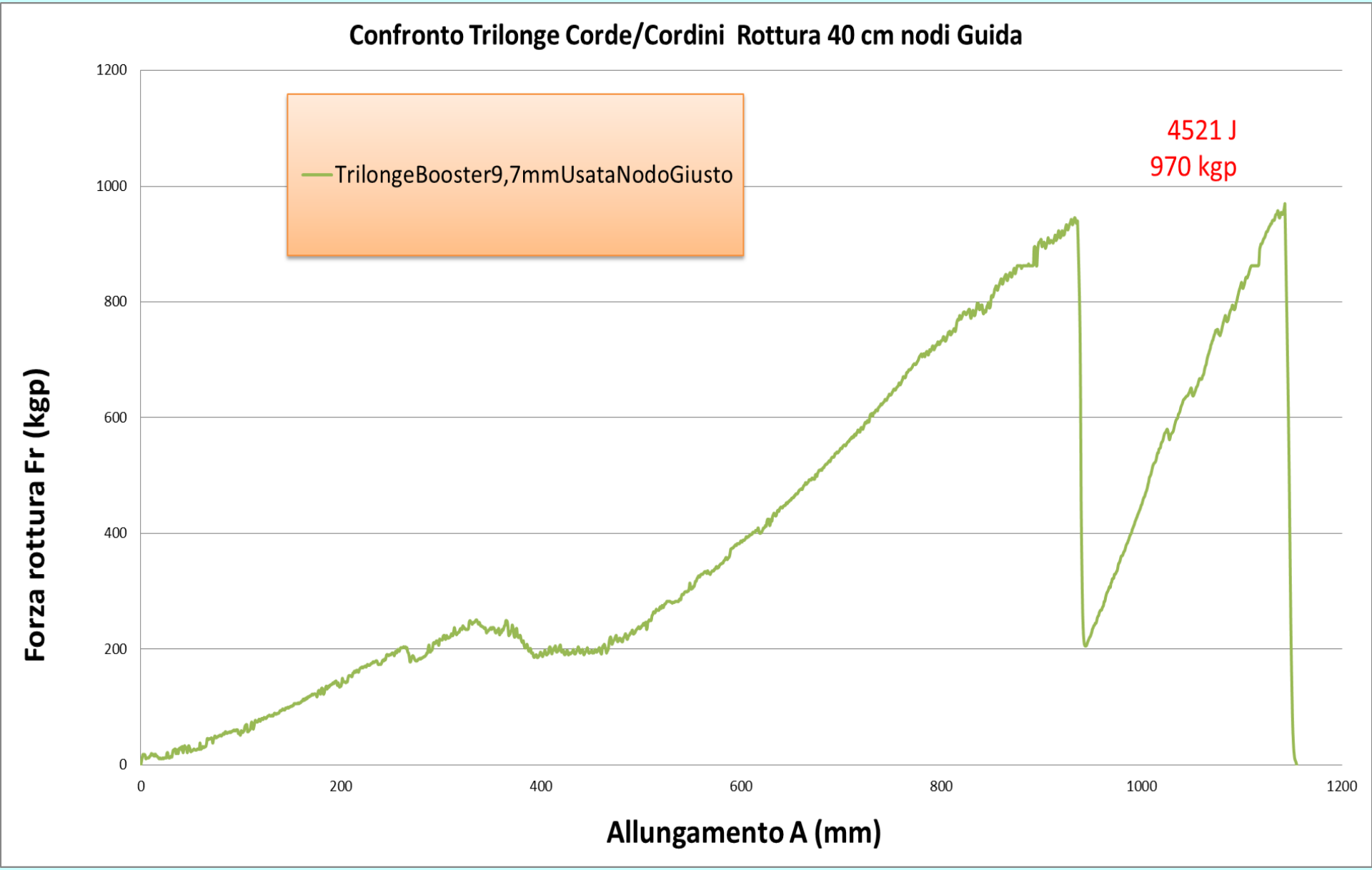


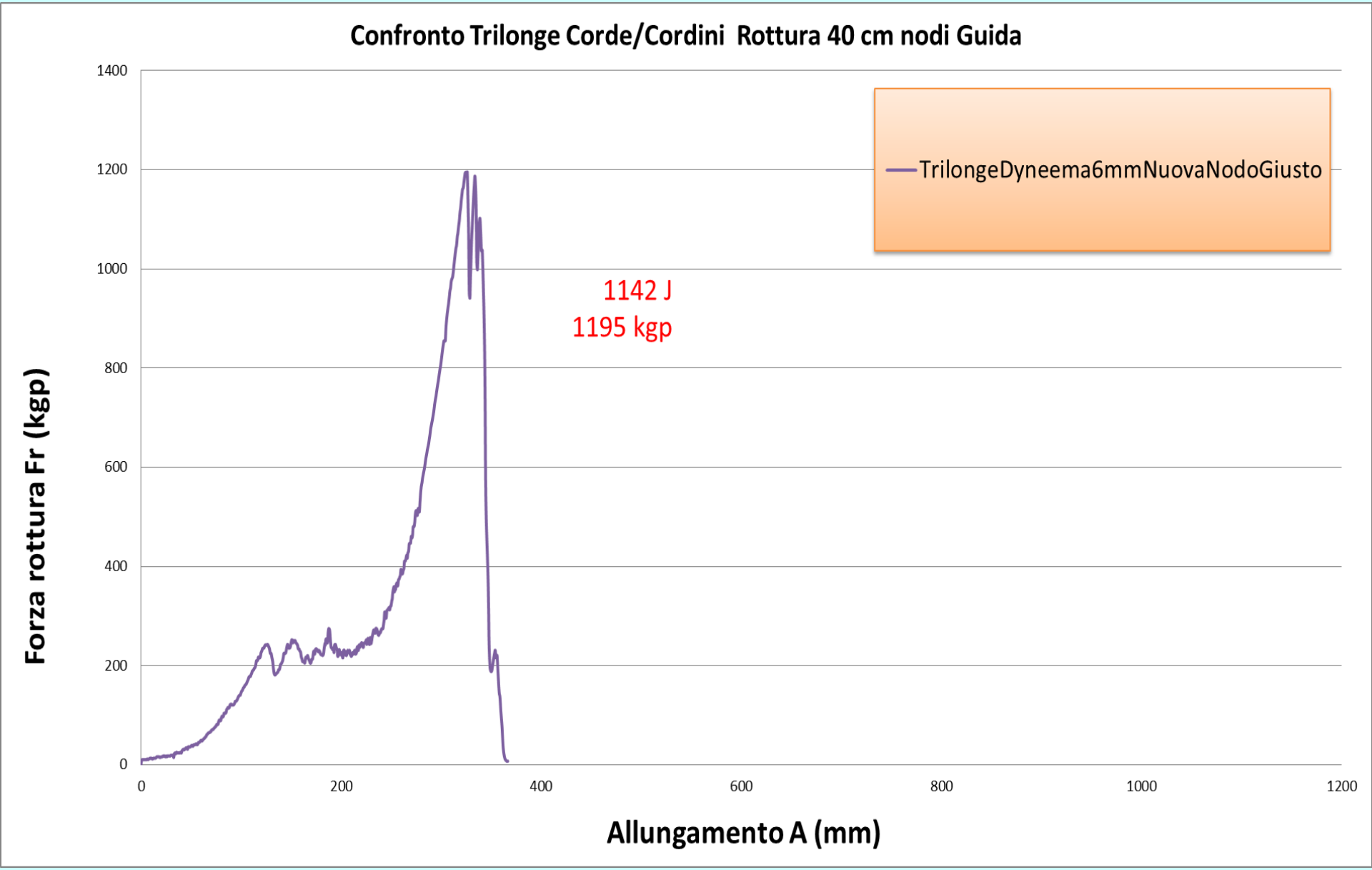
Trilonge lunghezza40 cm

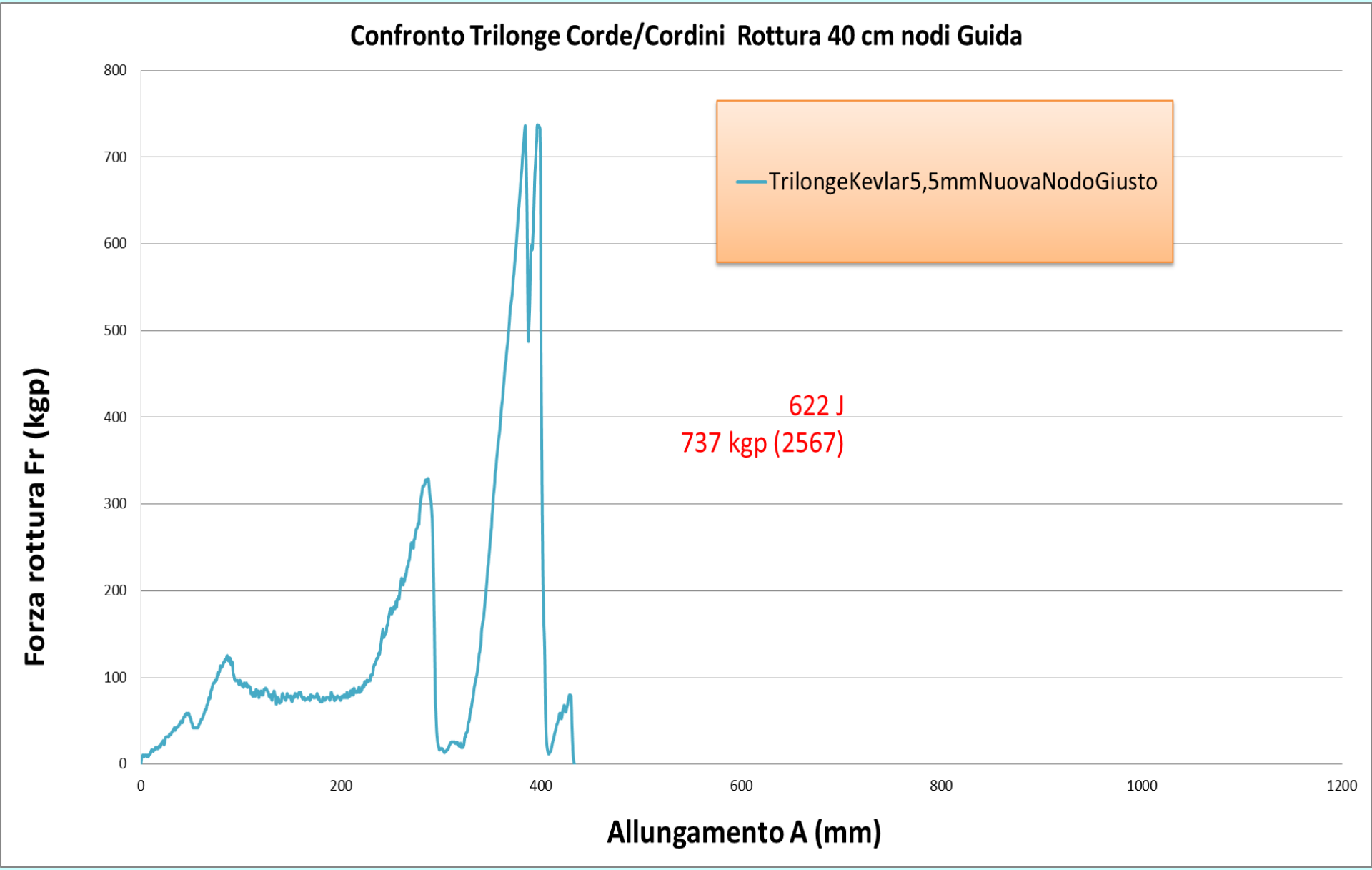
Nodo Guida

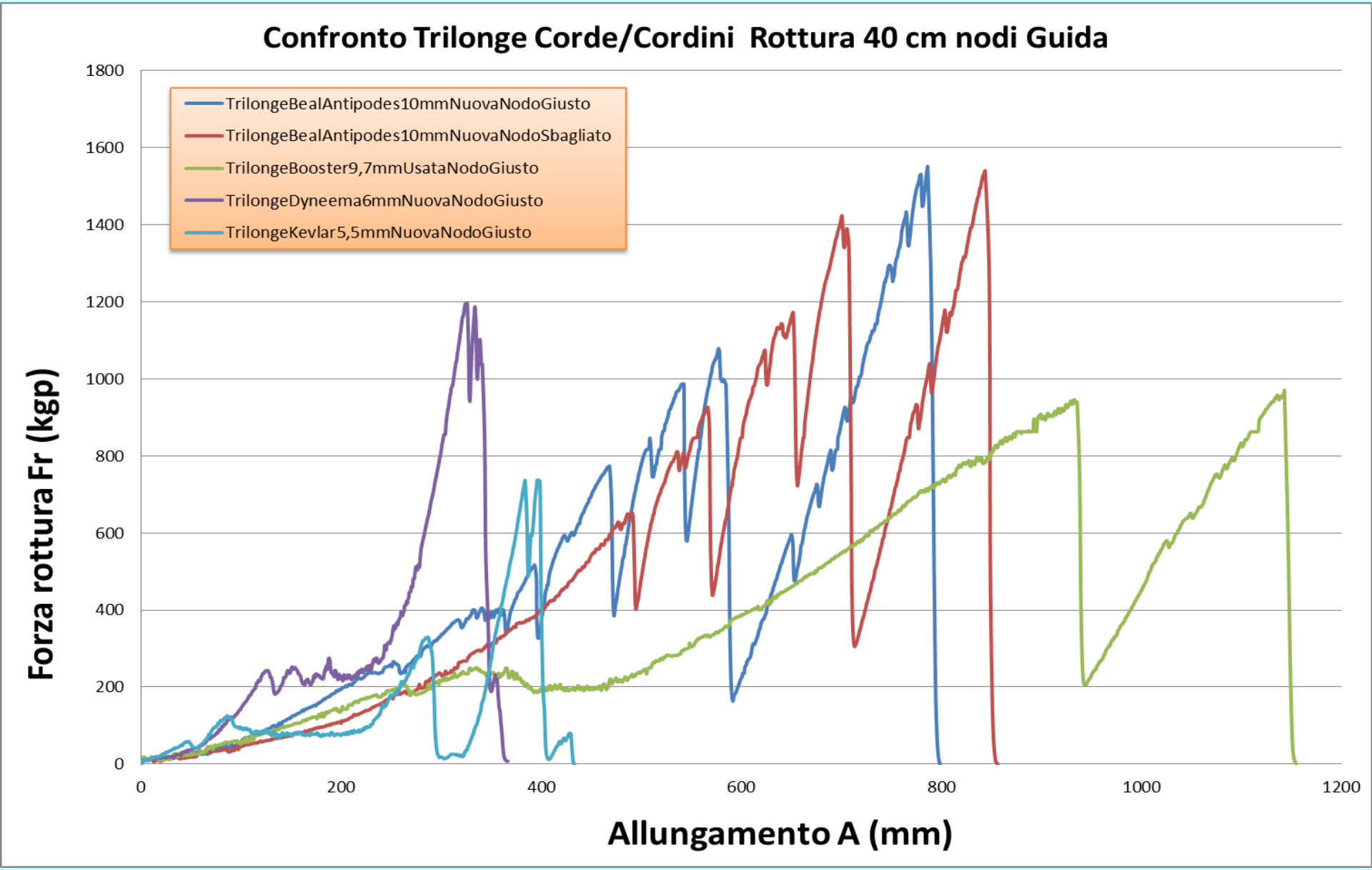

Confronto Trilonge Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
TrilongeBealAntipodes10mmNuovaNodoGiusto
3810 J
1550 kgp
Forza rottura Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

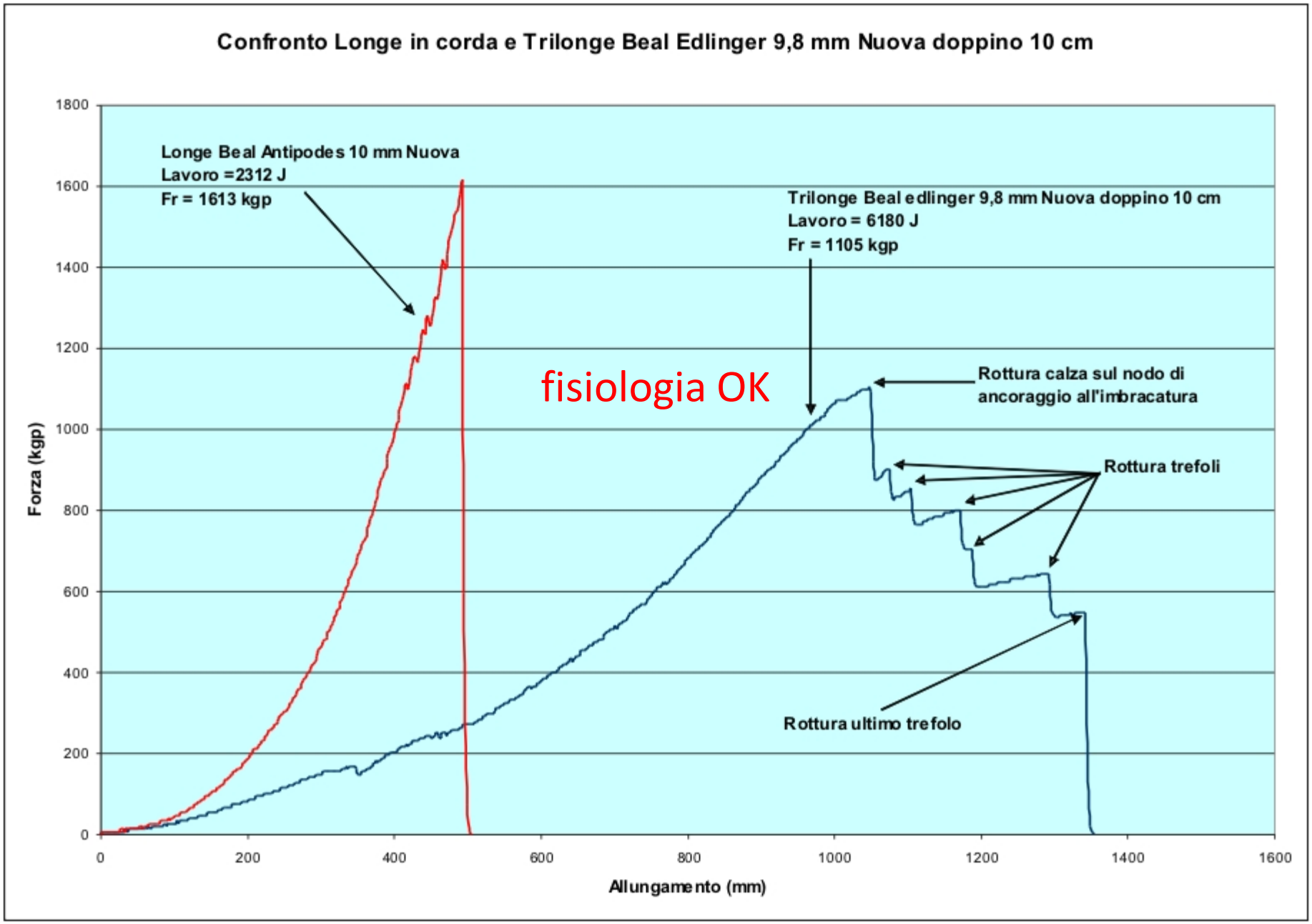

Confronto Trilonge Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
TrilongeBealAntipodes10mmNuovaNodoSbagliato
4239 J
1539 kgp
Forza rottura Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

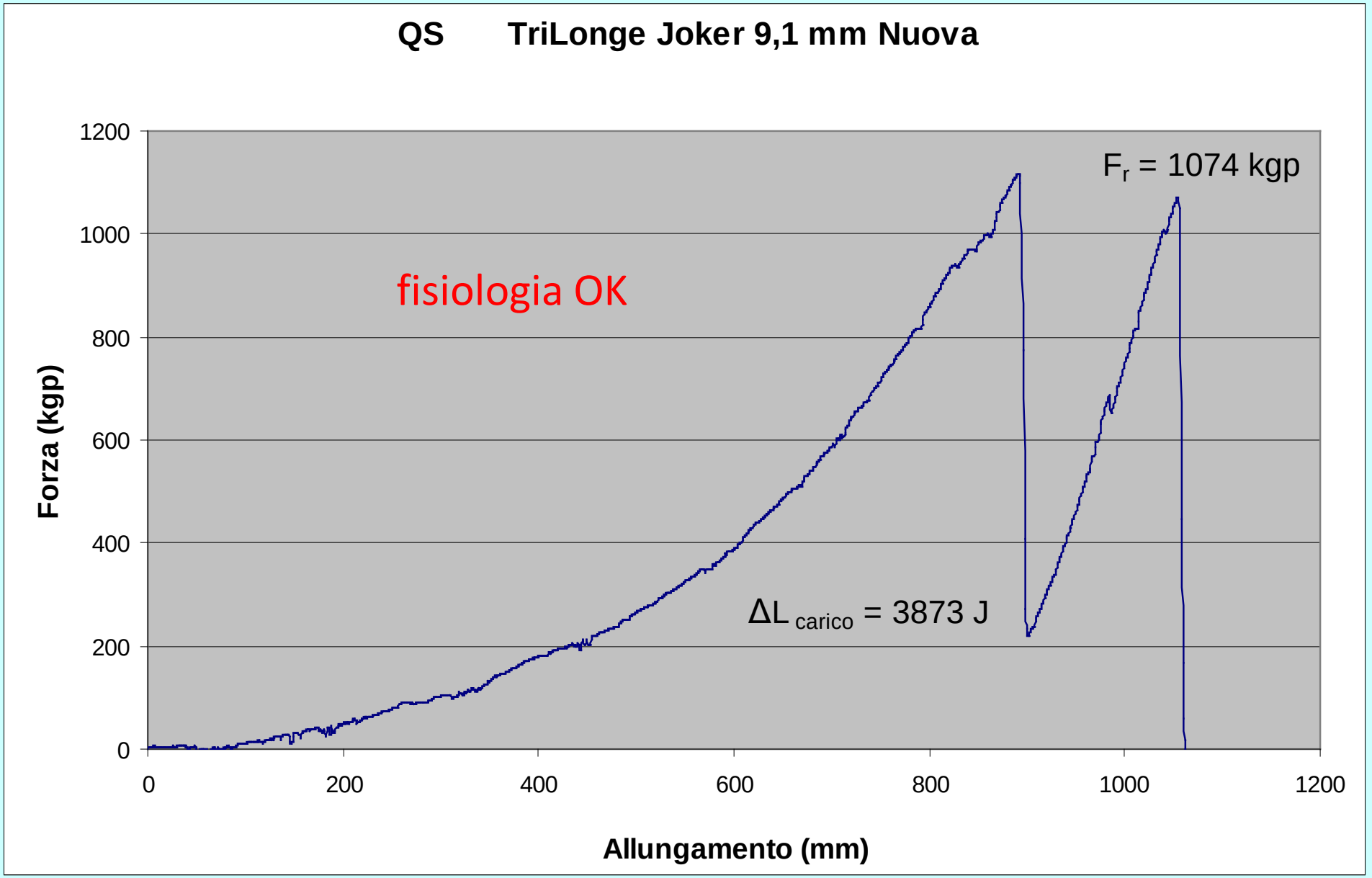

Confronto Trilonge Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
TrilongeBooster9,7mmUsataNodoGiusto
4521 J
970 kgp
Forza rottura Fr (kgp)
Allungamento A (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200

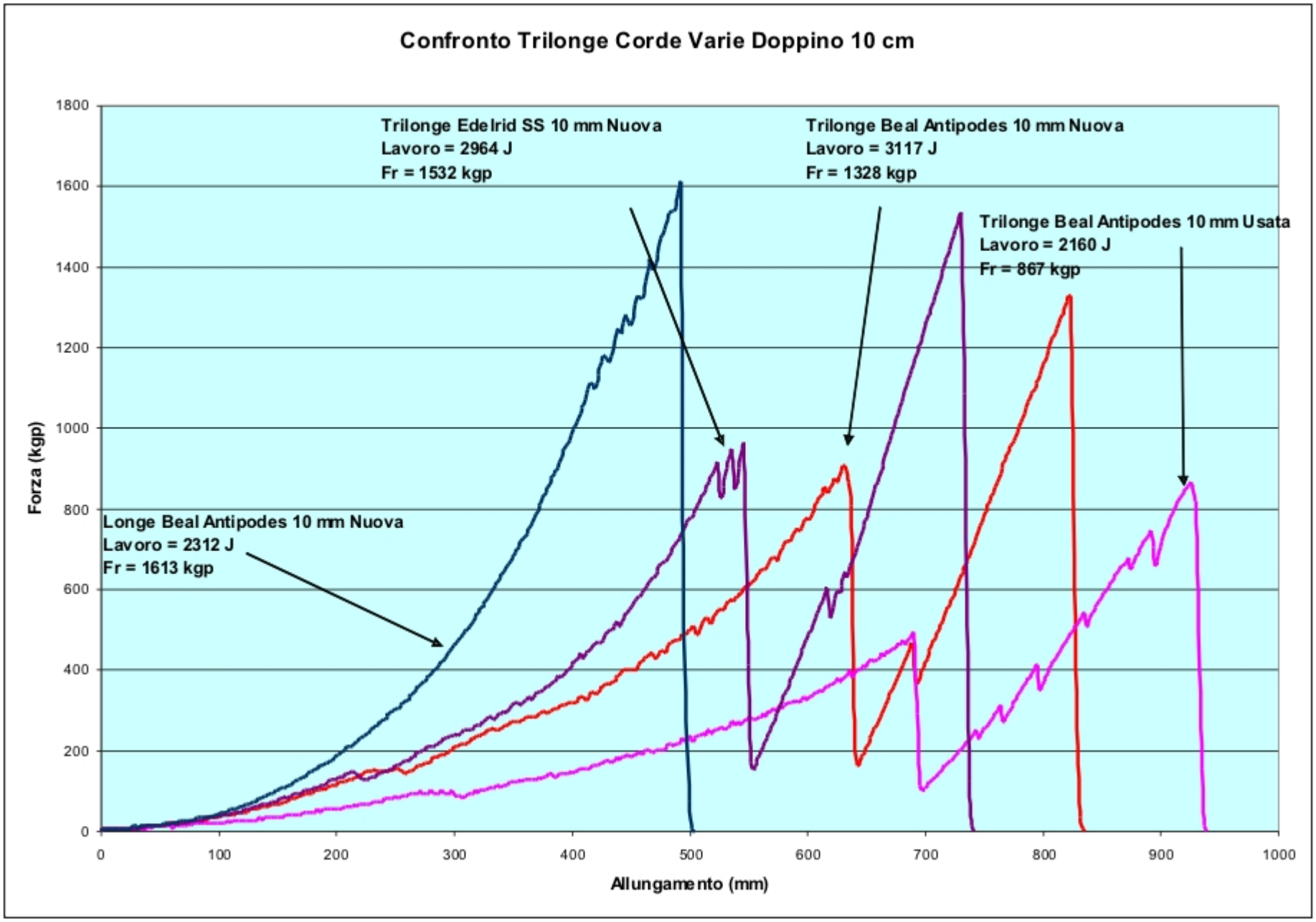

Confronto Trilonge Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
Forza rottura Fr (kgp)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
200
400
600
800
1000
1200
Allungamento A (mm)
TrilongeDyneema6mmNuovaNodoGiusto
1142 J
1195 kgp

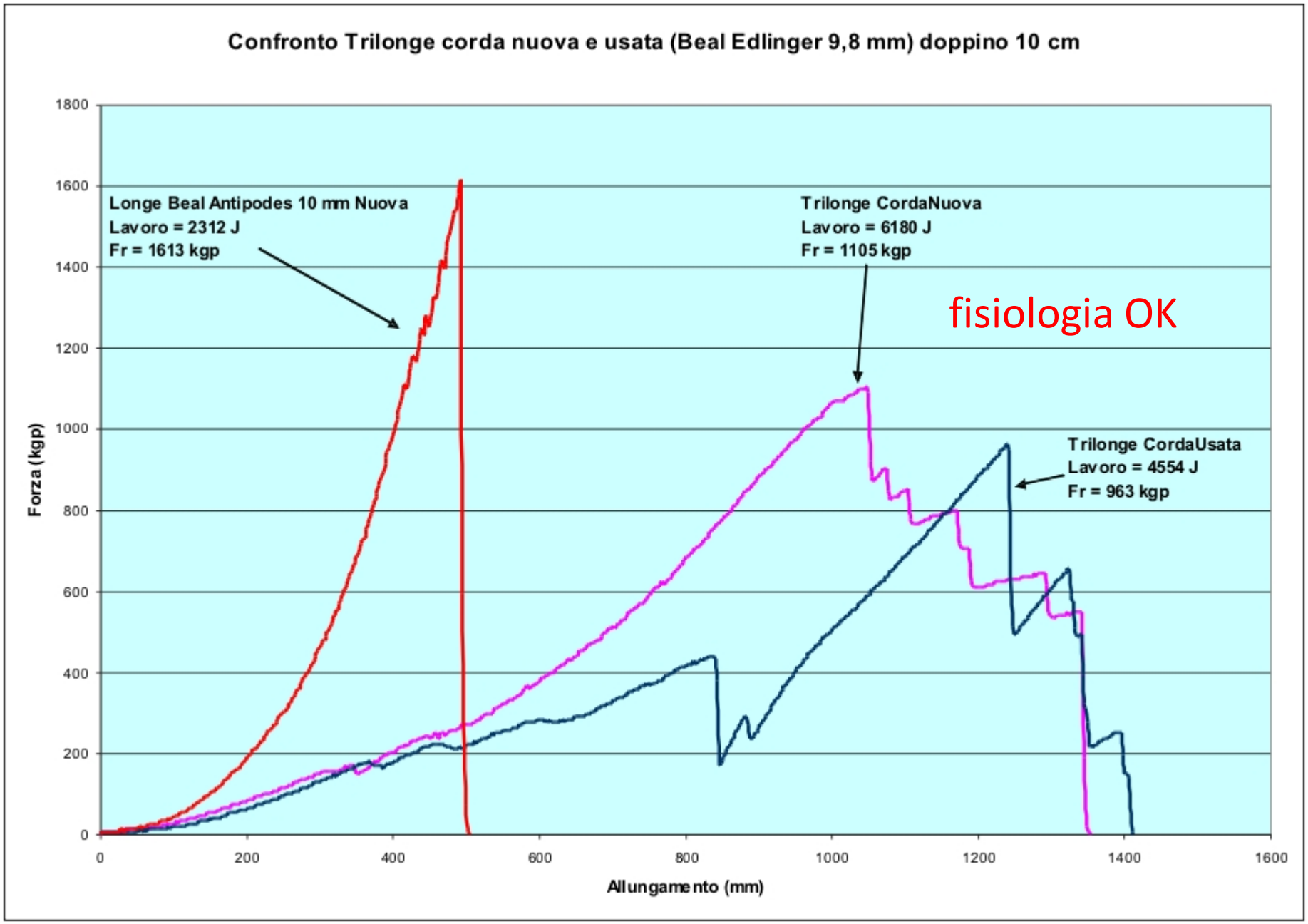

Confronto Trilonge Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
Forza rottura Fr (kgp)
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
200
400
600
800
1000
1200
Allungamento A (mm)
TrilongeKevlar5,5mmNuovaNodoGiusto
622 J
737 kgp (2567)

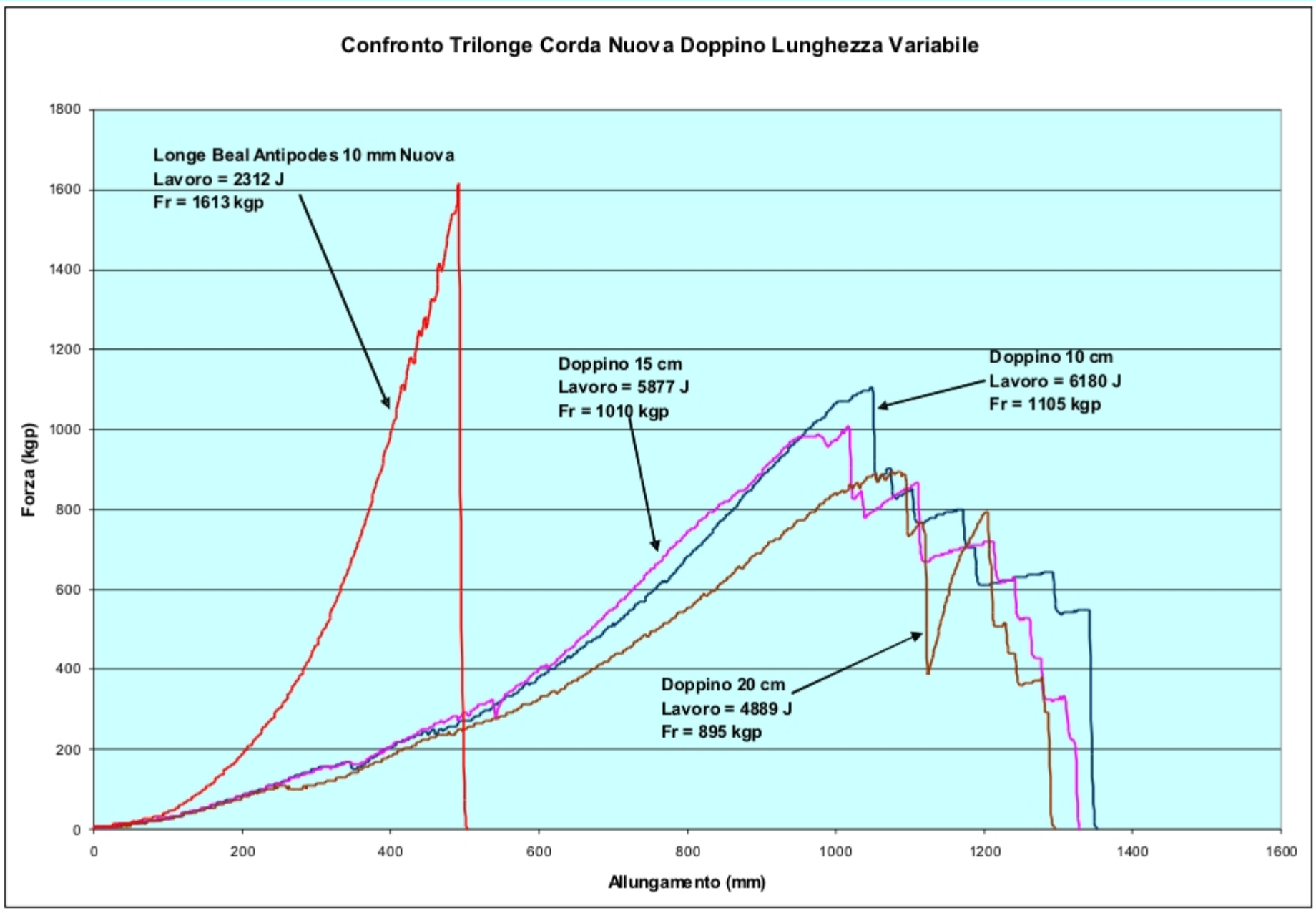

Confronto Trilonge Corde/Cordini Rottura 40 cm nodi Guida
TrilongeBealAntipodes10mmNuovaNodoGiusto
TrilongeBealAntipodes10mmNuovaNodoSbagliato
TrilongeBooster9,7mmUsataNodoGiusto
TrilongeDyneema6mmNuovaNodoGiusto
TrilongeKevlar5,5mmNuovaNodoGiusto
Forza rottura Fr (kgp)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
0
200
400
600
800
1000
1200
Allungamento A (mm)

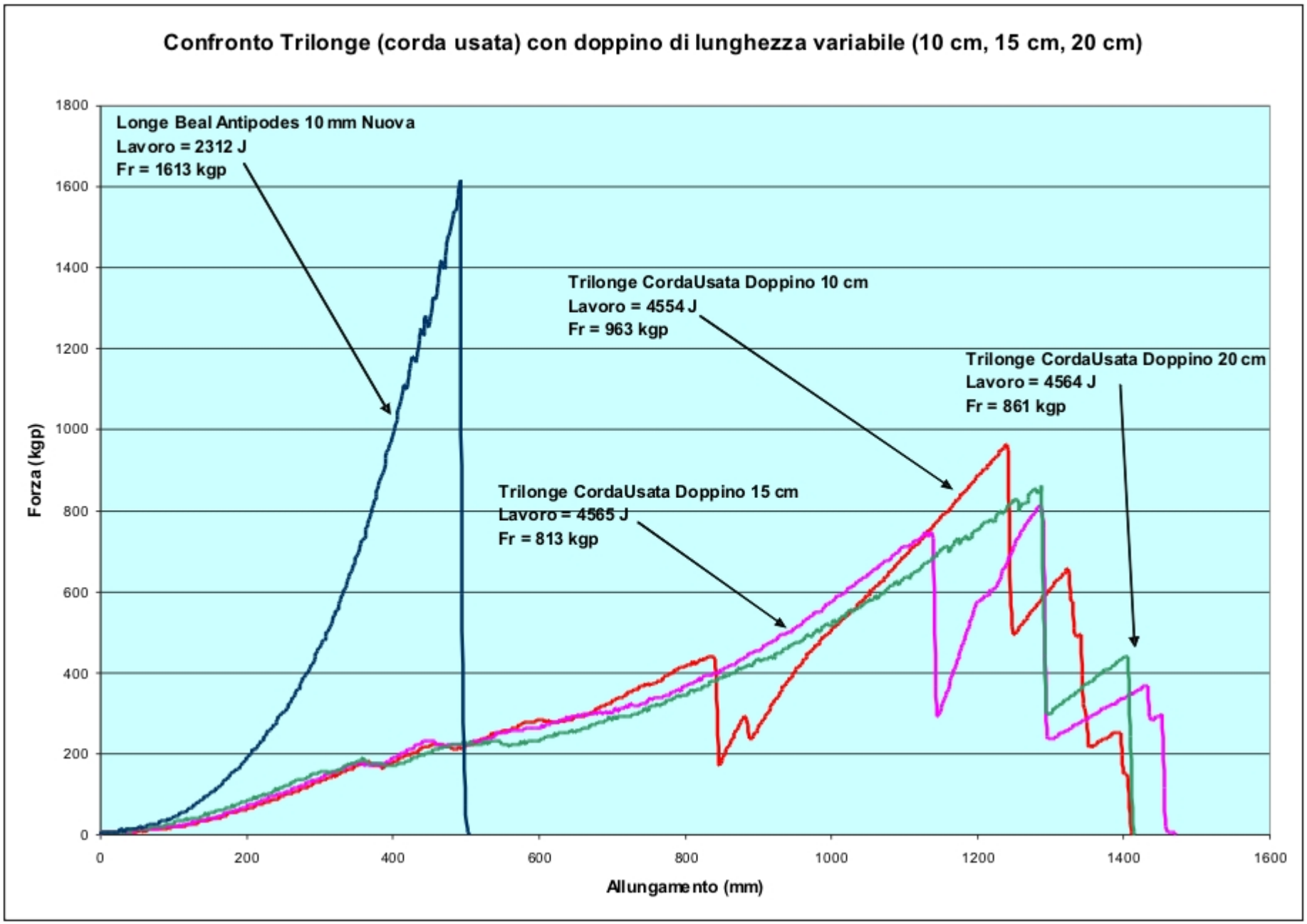

Confronto Longe in corda e Trilonge Beal Edlinger 9,8 mm Nuova doppino 10 cm
Longe Beal Antipodes 10 mm Nuova
Lavoro =2312 J
Fr = 1613 kgp
Trilonge Beal edlinger 9,8 mm Nuova doppino 10 cm
Lavoro = 6180 J
Fr = 1105 kgp
fisiologia OK
Rottura calza sul nodo di ancoraggio all'imbracatura
Rottura trefoli
Rottura ultimo trefolo
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800


QS TriLonge Joker 9,1 mm Nuova
1200
1000
800
600
400
200
0
Forza (kgp)
fisiologia OK
F_r = 1074 kgp
ΔL_{carico} = 3873 J
0
200
400
600
800
1000
1200
Allungamento (mm)


Confronto Trilonge Corde Varie Doppino 10 cm
Trilonge Edelrid SS 10 mm Nuova
Lavoro = 2964 J
Fr = 1532 kgp
Trilonge Beal Antipodes 10 mm Nuova
Lavoro = 3117 J
Fr = 1328 kgp
Trilonge Beal Antipodes 10 mm Usata
Lavoro = 2160 J
Fr = 867 kgp
Longe Beal Antipodes 10 mm Nuova
Lavoro = 2312 J
Fr = 1613 kgp
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000


Confronto Trilonge corda nuova e usata (Beal Edlinger 9,8 mm) doppino 10 cm
Longe Beal Antipodes 10 mm Nuova
Lavoro = 2312 J
Fr = 1613 kgp
Trilonge CordaNuova
Lavoro = 6180 J
Fr = 1105 kgp
fisiologia OK
Trilonge CordaUsata
Lavoro = 4554 J
Fr = 963 kgp
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800


Confronto Trilonge Corda Nuova Doppino Lunghezza Variabile
Longe Beal Antipodes 10 mm Nuova
Lavoro = 2312 J
Fr = 1613 kgp
Doppino 15 cm
Lavoro = 5877 J
Fr = 1010 kgp
Doppino 10 cm
Lavoro = 6180 J
Fr = 1105 kgp
Doppino 20 cm
Lavoro = 4889 J
Fr = 895 kgp
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800


Confronto Trilonge (corda usata) con doppino di lunghezza variabile (10 cm, 15 cm, 20 cm)
Longe Beal Antipodes 10 mm Nuova
Lavoro = 2312 J
Fr = 1613 kgp
Trilonge CordaUsata Doppino 10 cm
Lavoro = 4554 J
Fr = 963 kgp
Trilonge CordaUsata Doppino 20 cm
Lavoro = 4564 J
Fr = 861 kgp
Trilonge CordaUsata Doppino 15 cm
Lavoro = 4565 J
Fr = 813 kgp
Forza (kgp)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
Allungamento (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600

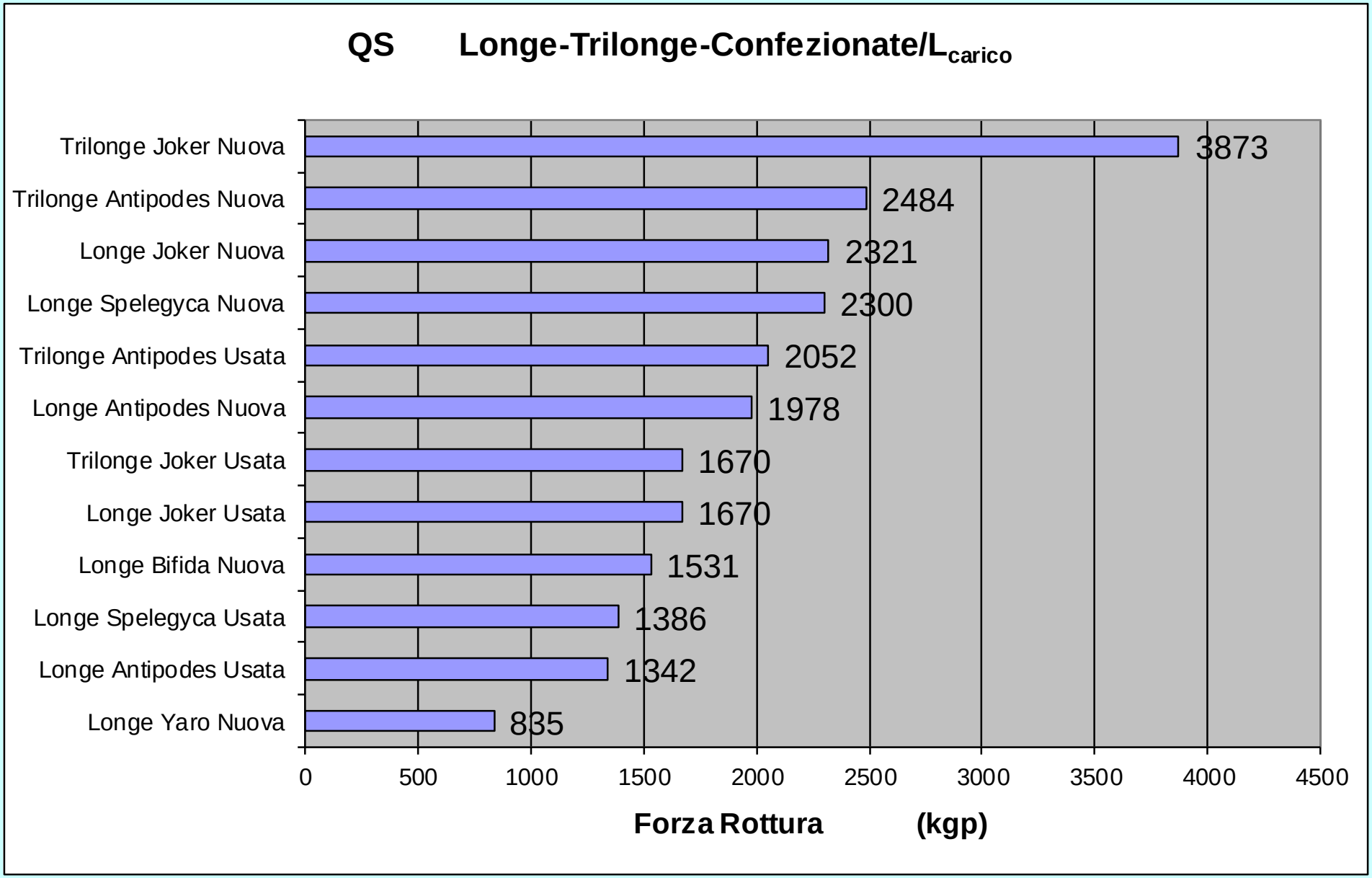
Trazione quasi-statica

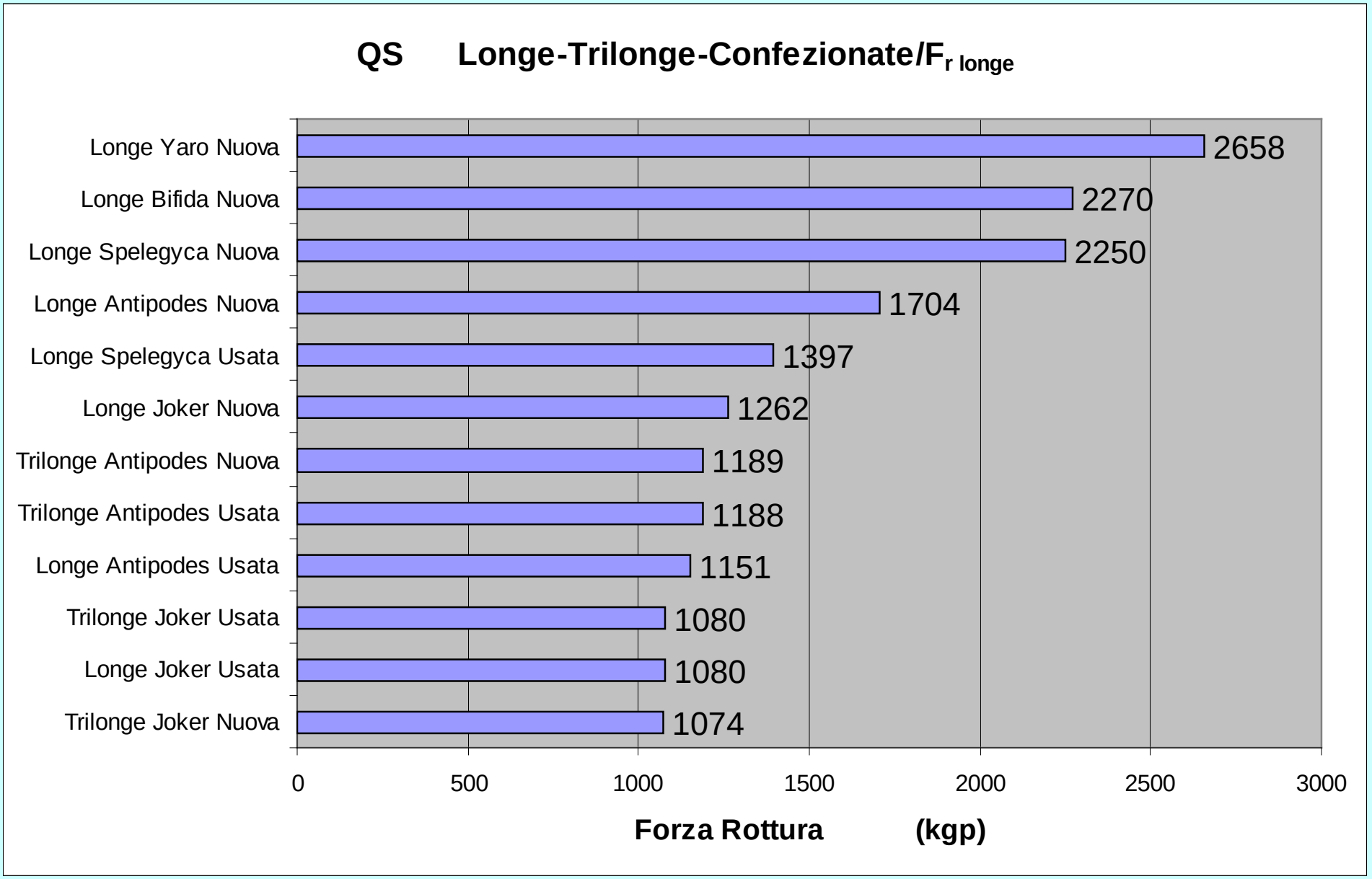
Confronto

Longe in corda

Longe confezionate

Trilonge


QS Longe-Trilonge-Confezionate/L carico
Trilonge Joker Nuova
Trilonge Antipodes Nuova
Longe Joker Nuova
Longe Spelegyca Nuova
Trilonge Antipodes Usata
Longe Antipodes Nuova
Trilonge Joker Usata
Longe Joker Usata
Longe Bifida Nuova
Longe Spelegyca Usata
Longe Antipodes Usata
Longe Yaro Nuova
3873
2484
2321
2300
2052
1978
1670
1670
1531
1386
1342
835
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
Forza Rottura (kgp)


QS Longe-Trilonge-Confezionate/F r longe
Longe Yaro Nuova
Longe Bifida Nuova
Longe Spelegyca Nuova
Longe Antipodes Nuova
Longe Spelegyca Usata
Longe Joker Nuova
Trilonge Antipodes Nuova
Trilonge Antipodes Usata
Longe Antipodes Usata
Trilonge Joker Usata
Longe Joker Usata
Trilonge Joker Nuova
2658
2270
2250
1704
1397
1262
1189
1188
1151
1080
1080
1074
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
Forza Rottura (kgp)

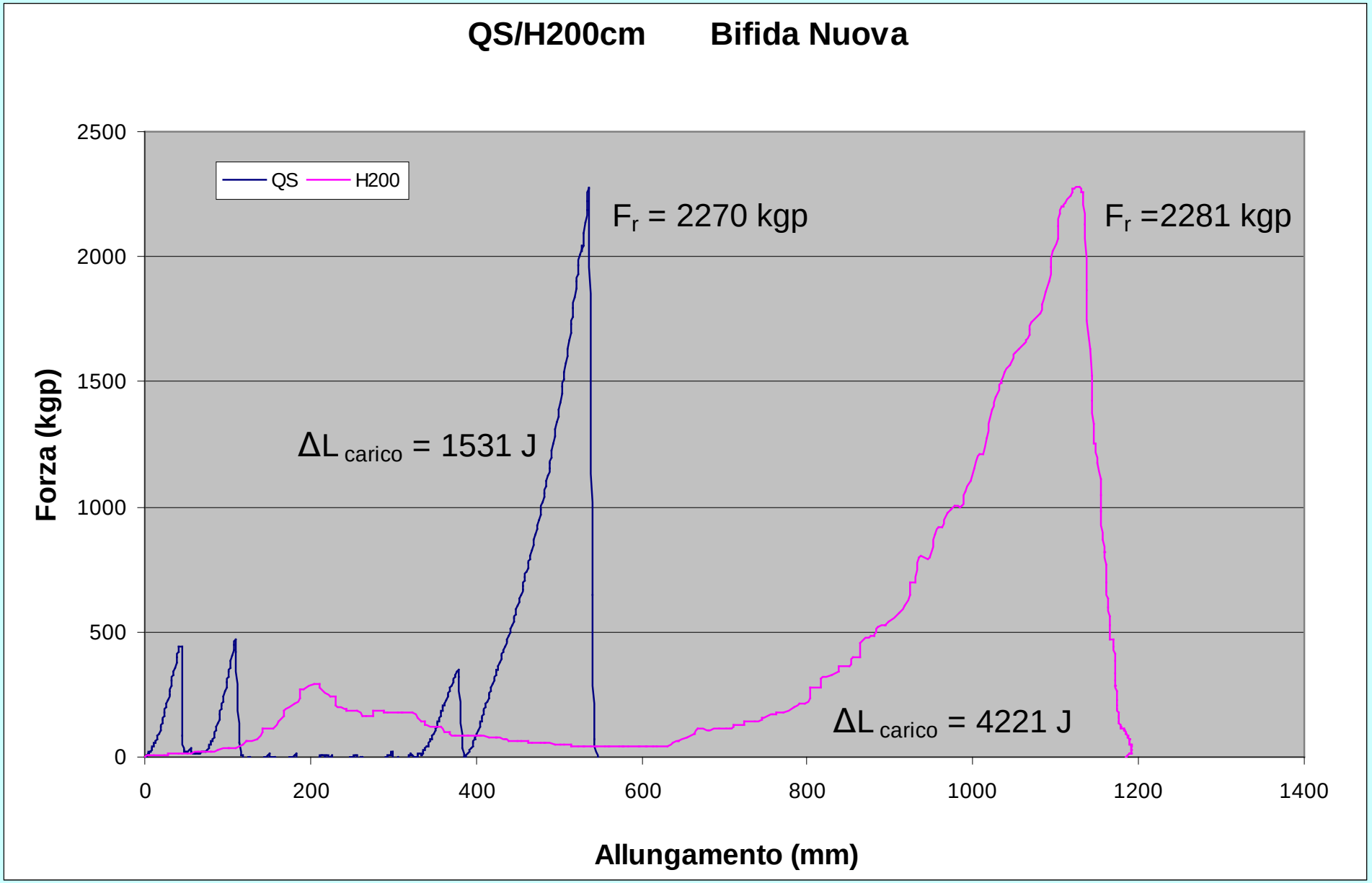
Valutazione dell'incidenza della capacità aggiuntiva di assorbimento dell'energia fra longe e trilonge

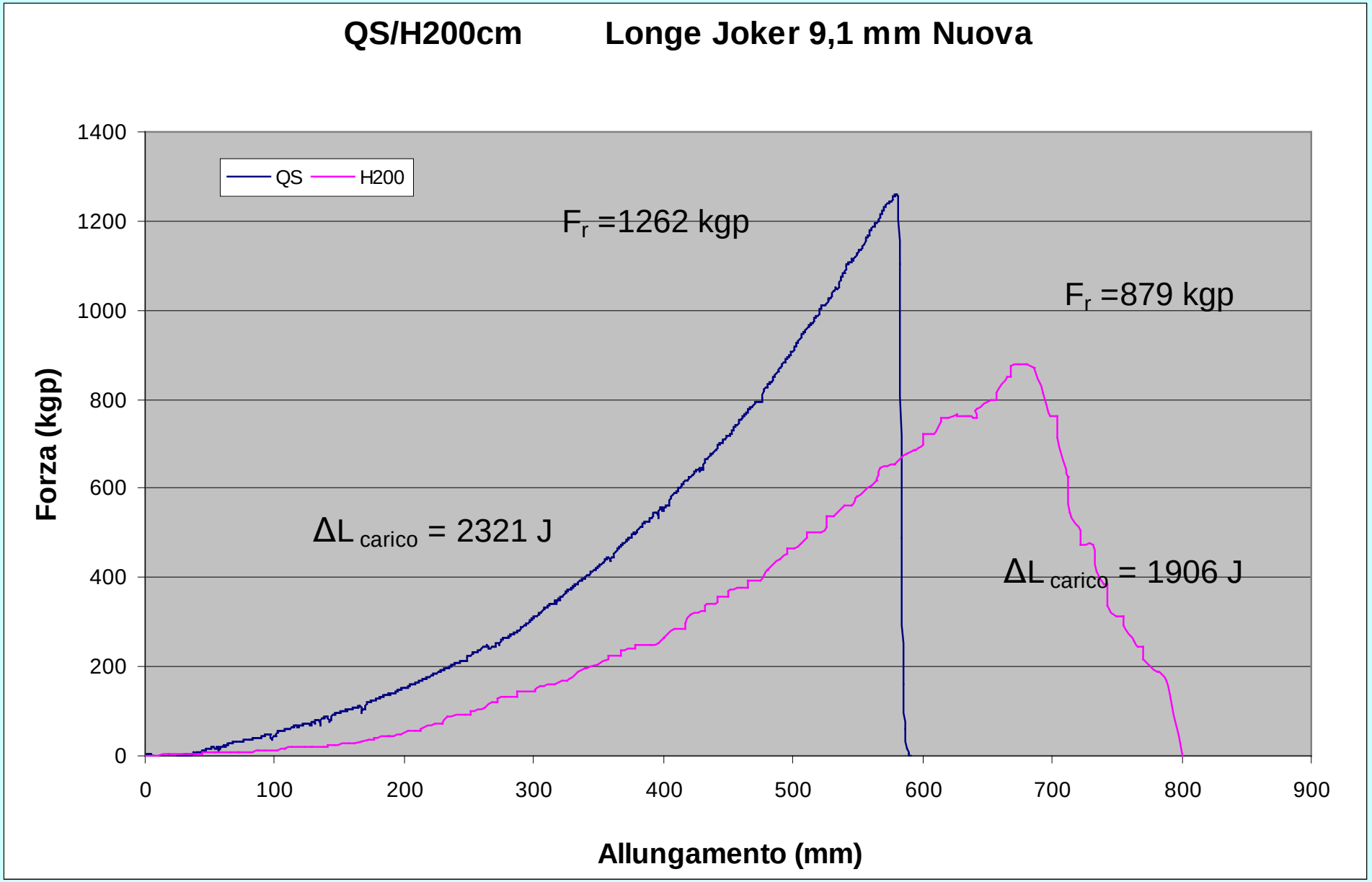
Tipo di longe	Condizione	Lunghezza campione (m)	Lavoro alla rottura (J)
Longe Beal Antipodes 10 mm	Nuova	0,4	**2312**
Trilonge Beal Edlinger 9,8 mm	Usata	0,4	**4554**
			Differenza = 2242 J

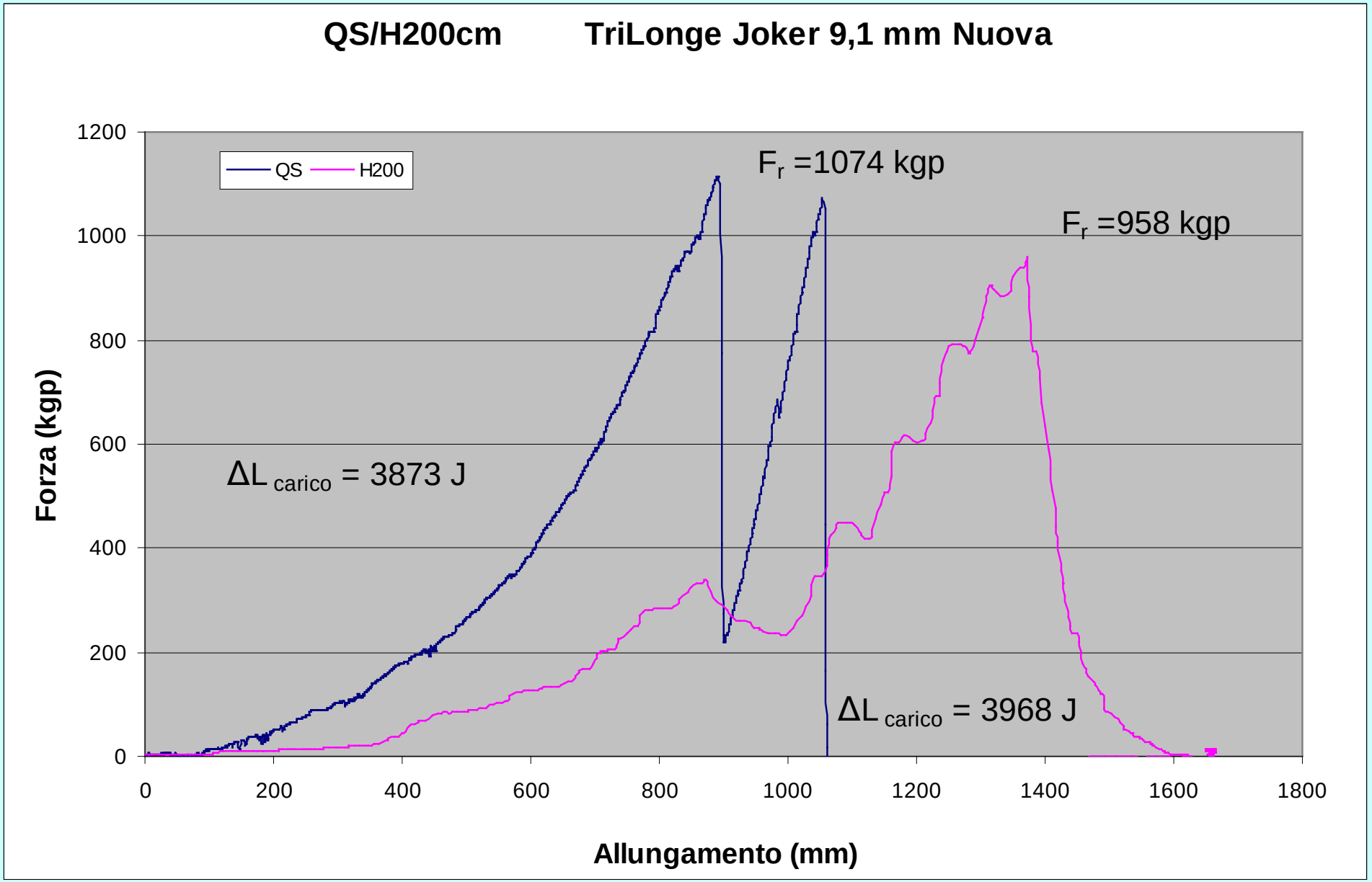
Tipo di corda	Condizione	Lunghezza campione (m)	Lavoro alla rottura (J)	%
Corda Beal Antipodes 10 mm	Nuova	1,0	4624	48
Corda Beal Antipodes 10 mm	Nuova	2,0	9248	24
Corda Beal Antipodes 10 mm	Nuova	3,0	13872	16
Corda Beal Antipodes 10 mm	Nuova	4,0	18496	12
Corda Beal Antipodes 10 mm	Nuova	5,0	23120	10
Corda Beal Antipodes 10 mm	Nuova	6,0	27744	8
Corda Beal Antipodes 10 mm	Nuova	7,0	32368	7
Corda Beal Antipodes 10 mm	Nuova	8,0	36992	6
Corda Beal Antipodes 10 mm	Nuova	9,0	41416	5
Corda Beal Antipodes 10 mm	Nuova	10,0	46240	4

Test a caduta

Longe
Bilonge
Trilonge


QS/H200cm Bifida Nuova
QS
H200
F_r = 2270 kgp
F_r =2281 kgp
ΔL_{carico} = 1531 J
ΔL_{carico} = 4221 J
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
2500
2000
1500
1000
500
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400


QS/H200cm Longe Joker 9,1 mm Nuova
QS
H200
F_r =1262 kgp
F_r =879 kgp
ΔL_{carico} = 2321 J
ΔL_{carico} = 1906 J
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900


QS/H200cm
TriLonge Joker 9,1 mm Nuova
QS
H200
F_r =1074 kgp
F_r =958 kgp
ΔL_{carico} = 3873 J
ΔL_{carico} = 3968 J
Forza (kgp)
Allungamento (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

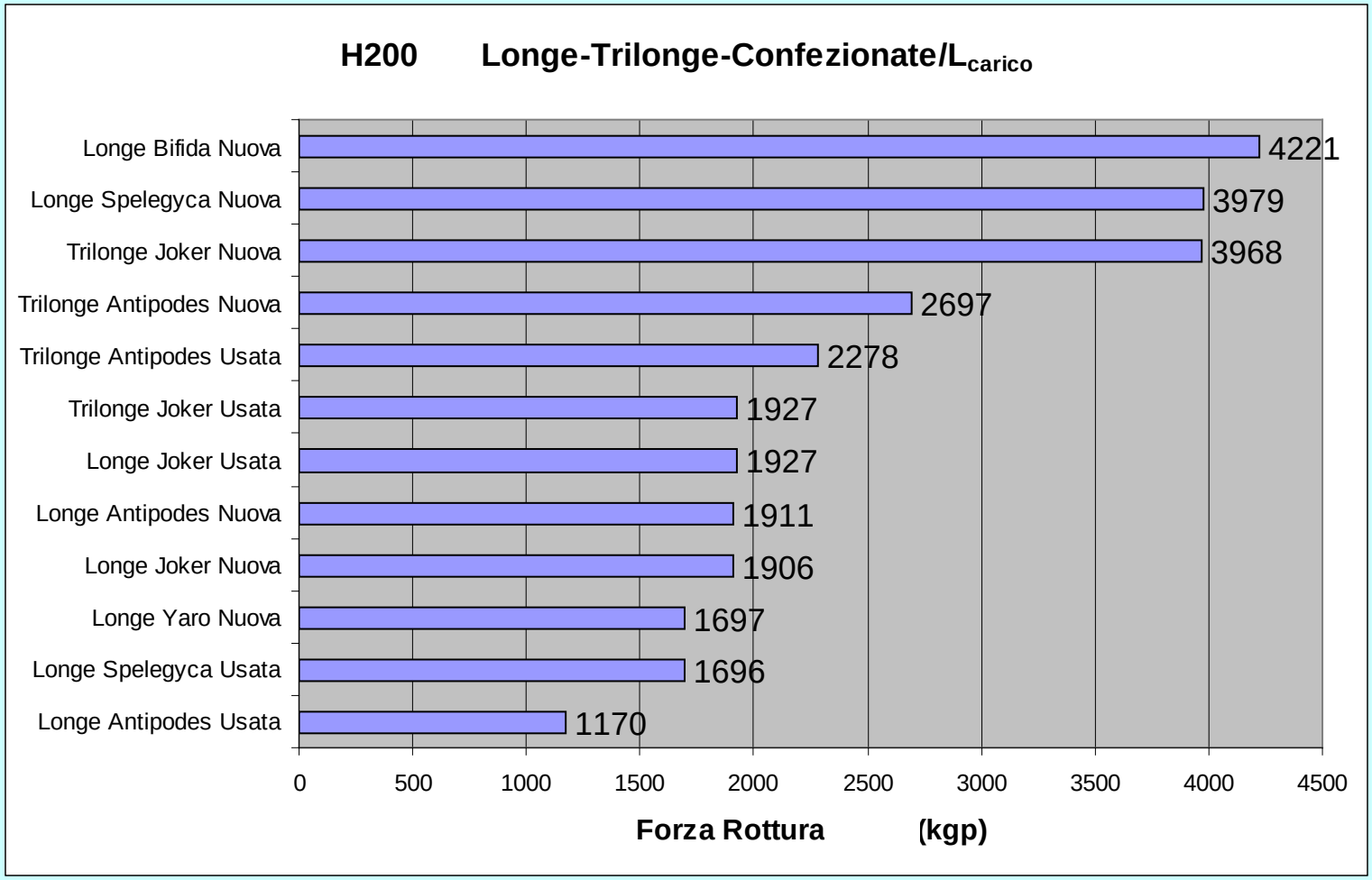
Test a caduta

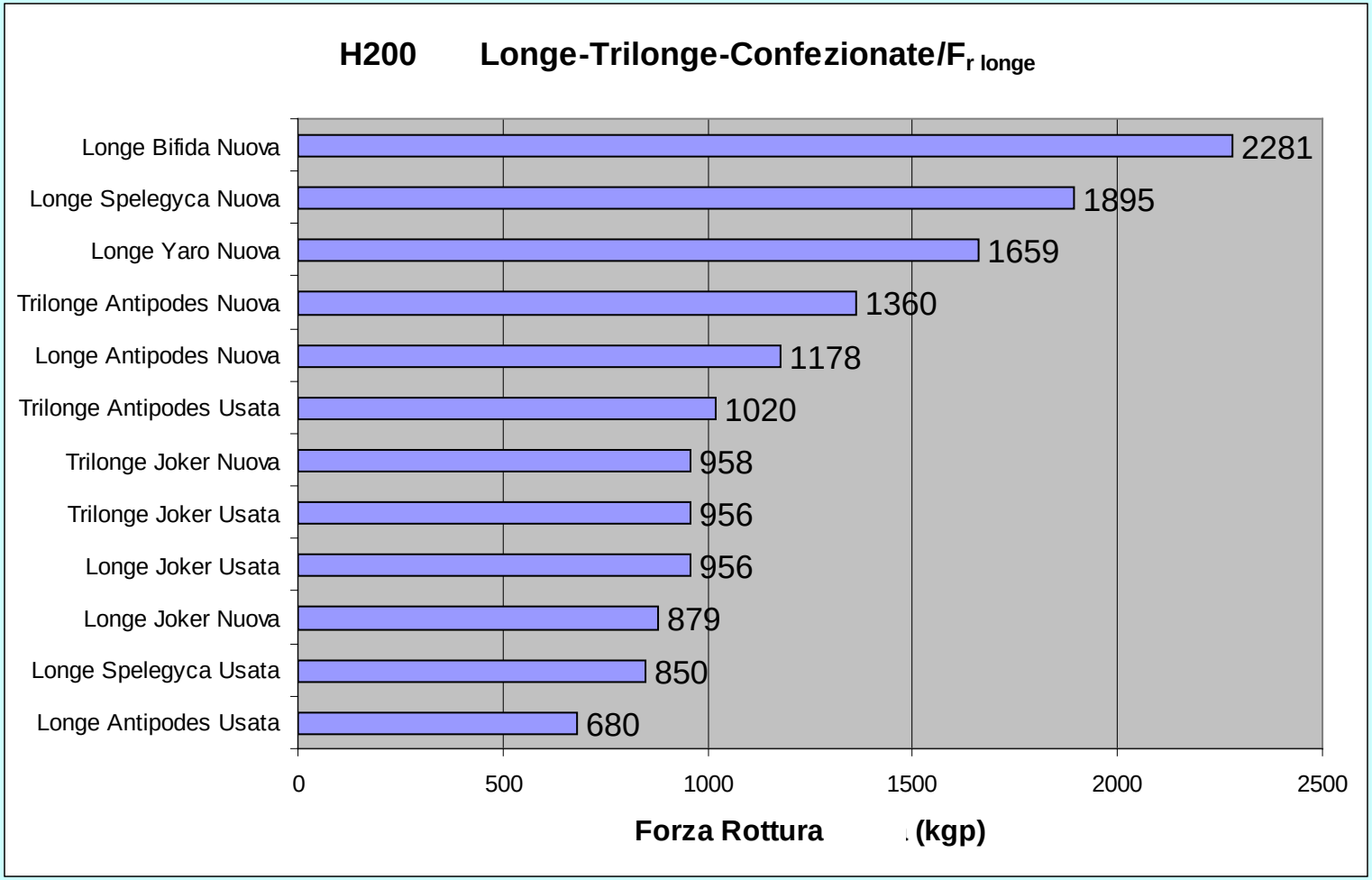
Confronto

Longe in corda

Longe confezionate

Trilonge


H200 Longe-Trilonge-Confezionate/L carico
Longe Bifida Nuova
Longe Spelegyca Nuova
Trilonge Joker Nuova
Trilonge Antipodes Nuova
Trilonge Antipodes Usata
Trilonge Joker Usata
Longe Joker Usata
Longe Antipodes Nuova
Longe Joker Nuova
Longe Yaro Nuova
Longe Spelegyca Usata
Longe Antipodes Usata
4221
3979
3968
2697
2278
1927
1927
1911
1906
1697
1696
1170
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
Forza Rottura (kgp)


H200 Longe-Trilonge-Confezionate/F r longe
Longe Bifida Nuova
Longe Spelegyca Nuova
Longe Yaro Nuova
Trilonge Antipodes Nuova
Longe Antipodes Nuova
Trilonge Antipodes Usata
Trilonge Joker Nuova
Trilonge Joker Usata
Longe Joker Usata
Longe Joker Nuova
Longe Spelegyca Usata
Longe Antipodes Usata
2281
1895
1659
1360
1178
1020
958
956
956
879
850
680
0
500
1000
1500
2000
2500
Forza Rottura (kgp)

Moschettoni

Influenza della geometria

Distribuzione delle sollecitazioni

Simmetrico

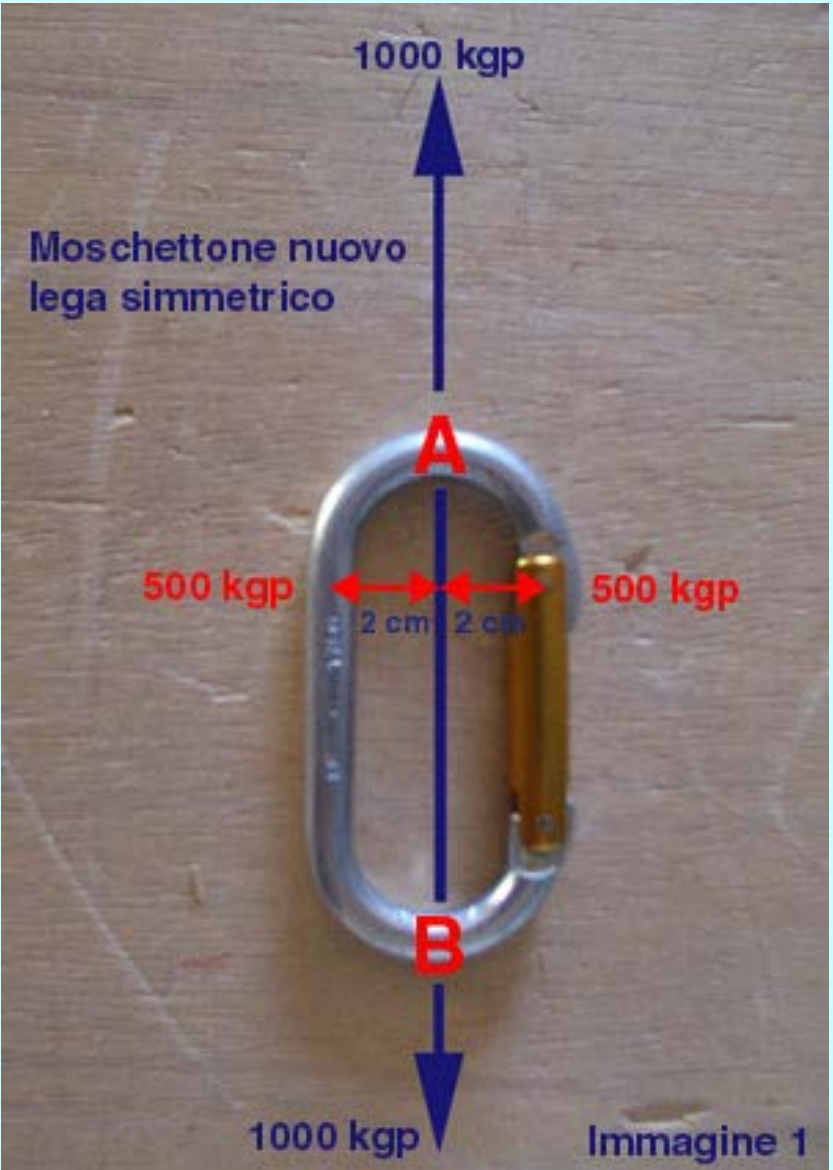


Immagine 1

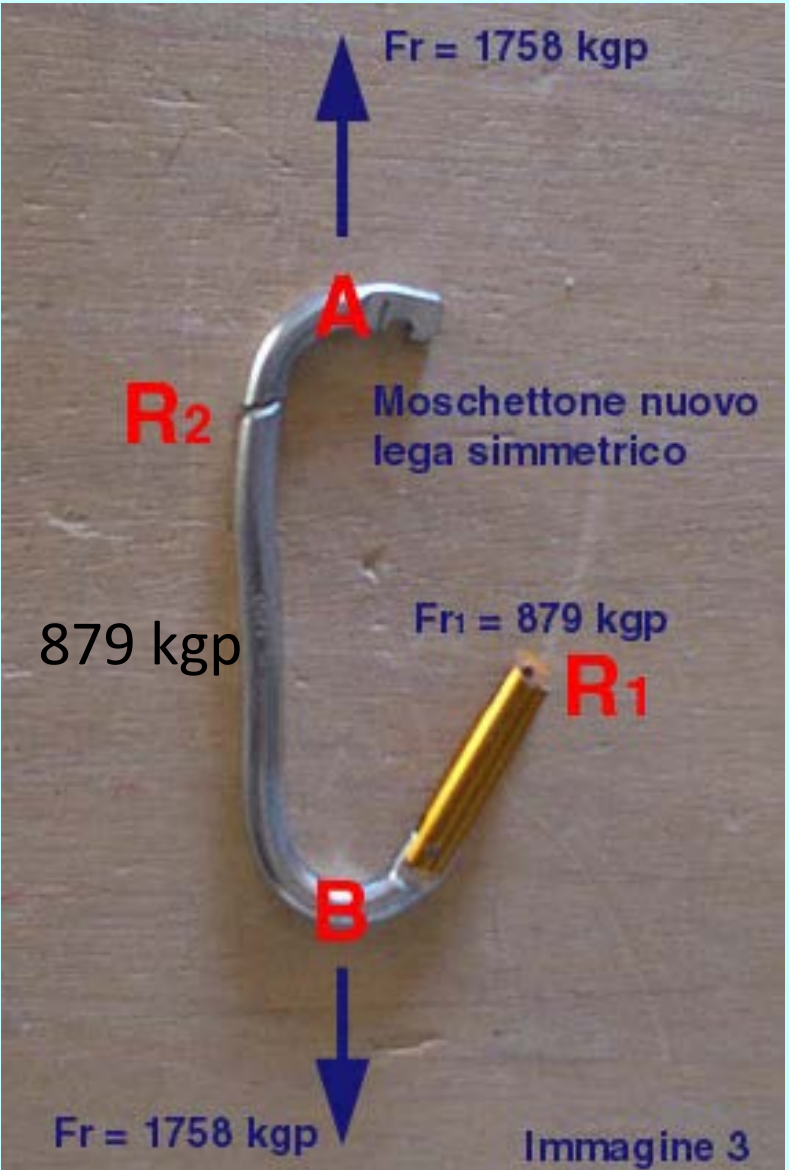
Asimmetrico



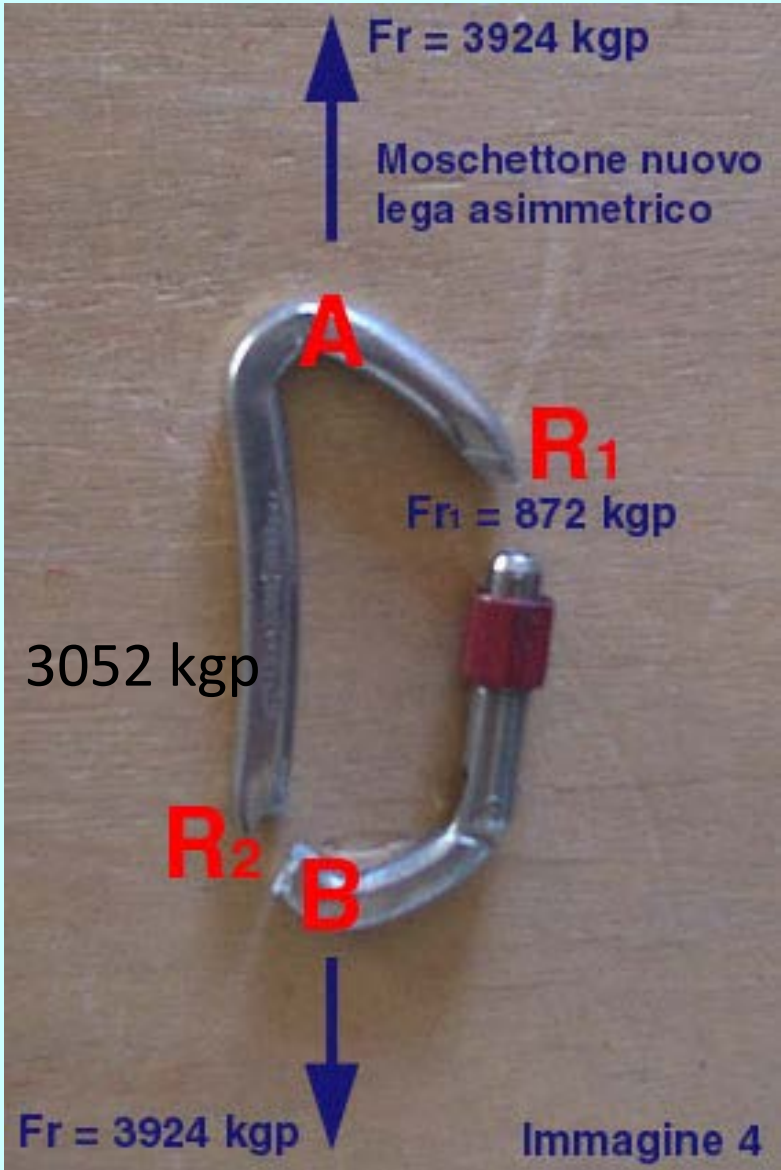
Immagine 2

Rottura di un moschettone nuovo

Simmetrico



Asimmetrico



Velocità di deformazione

e

Moschettoni

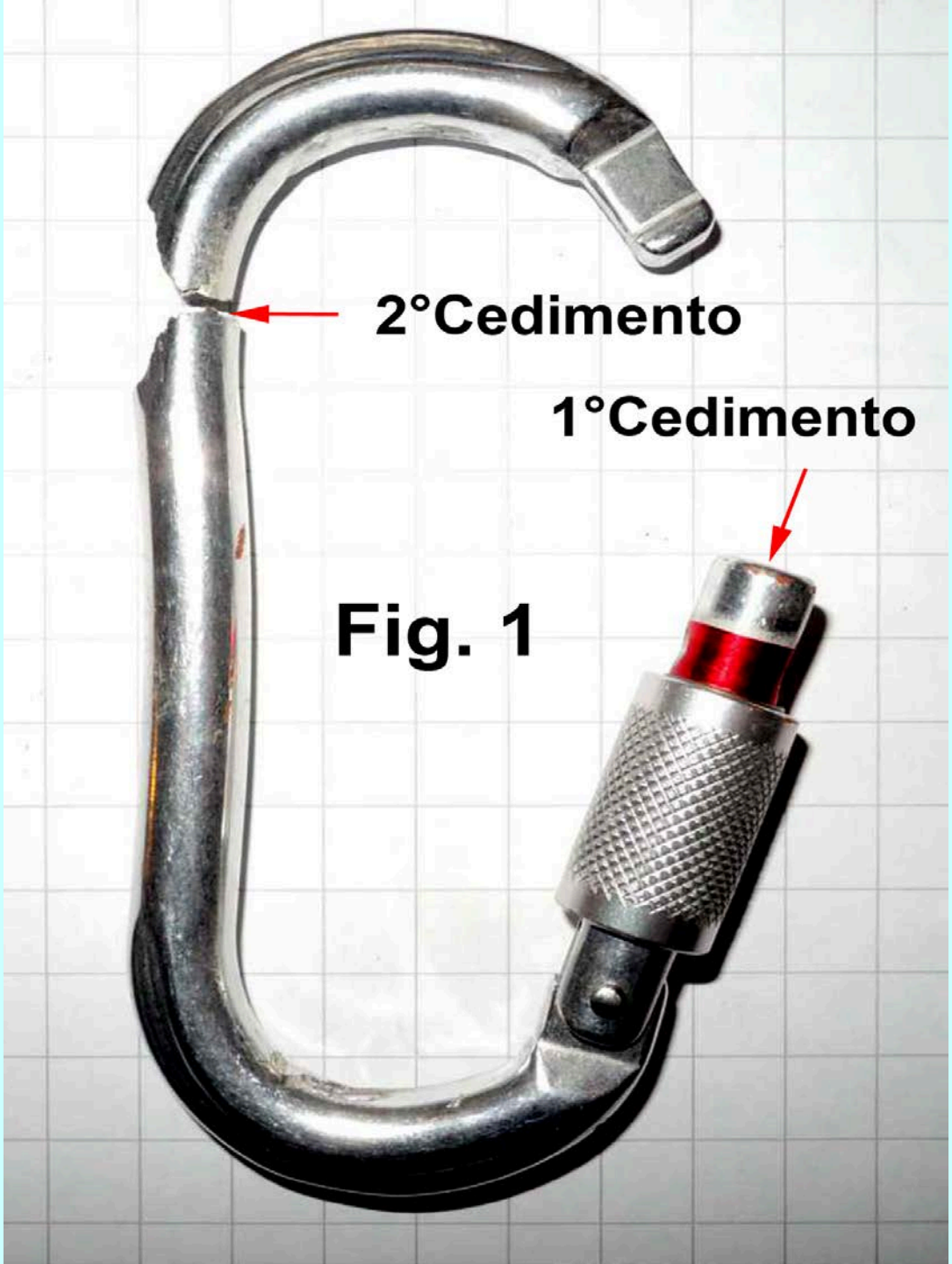


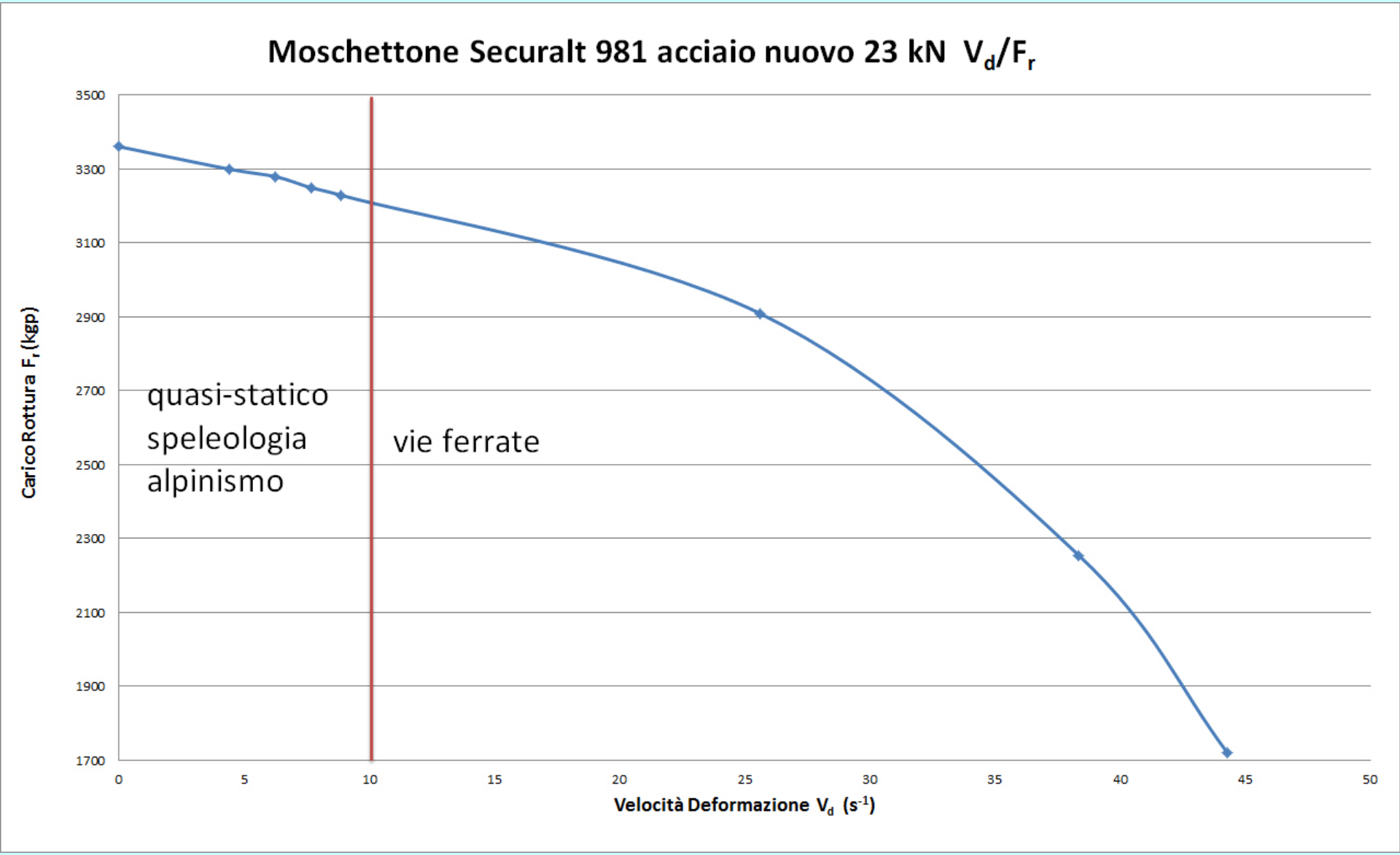
Fig. 1

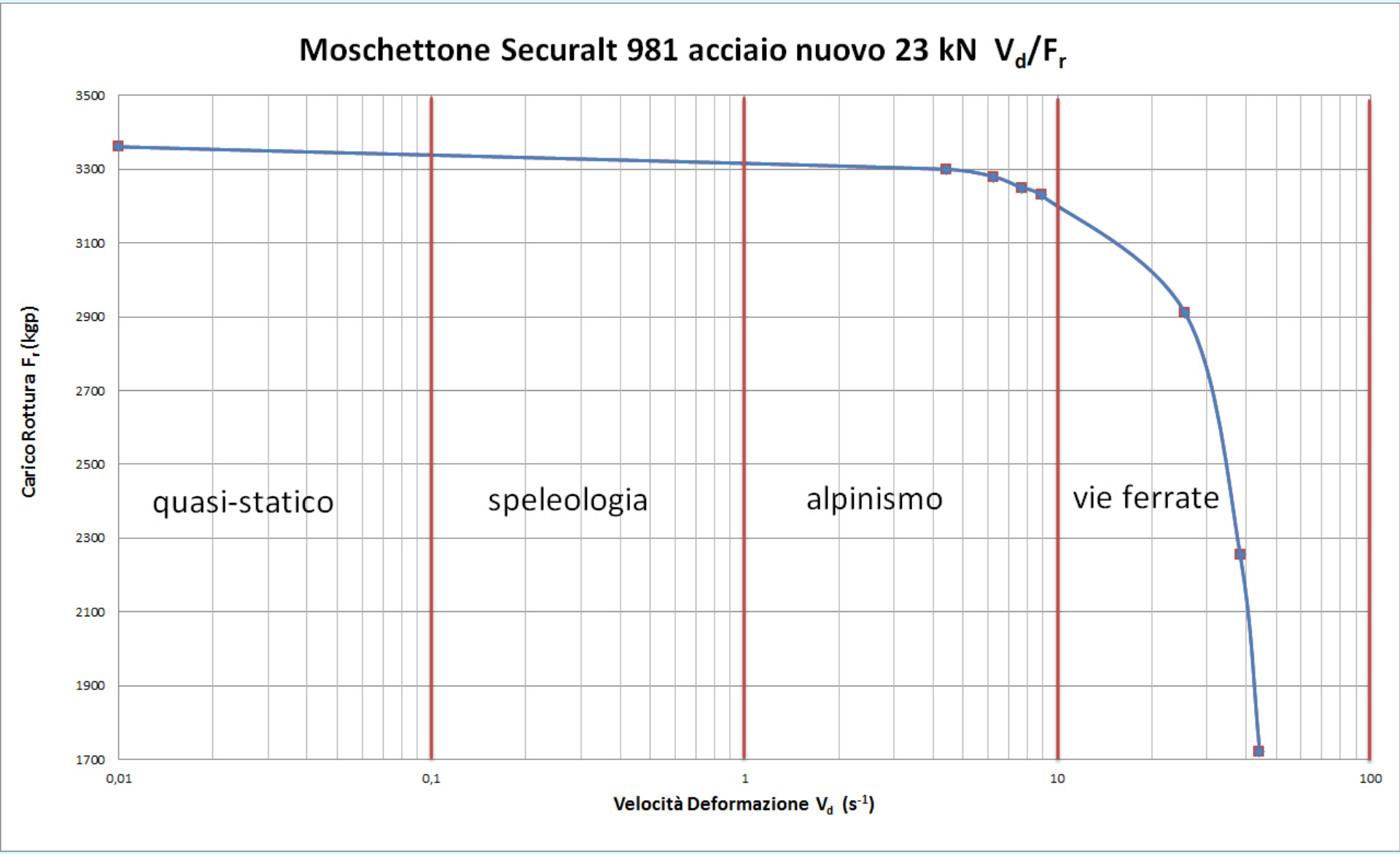


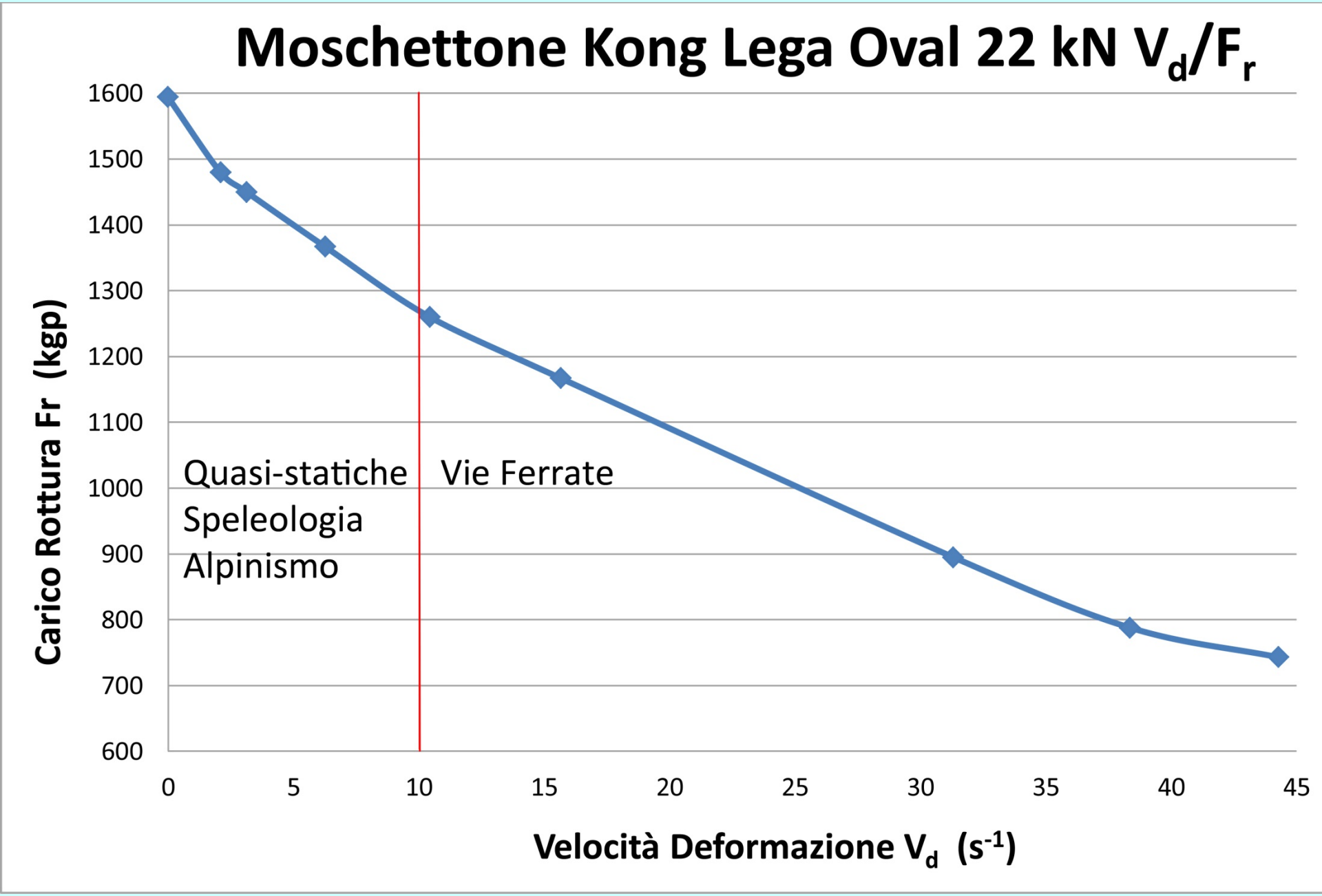
Fig. 2

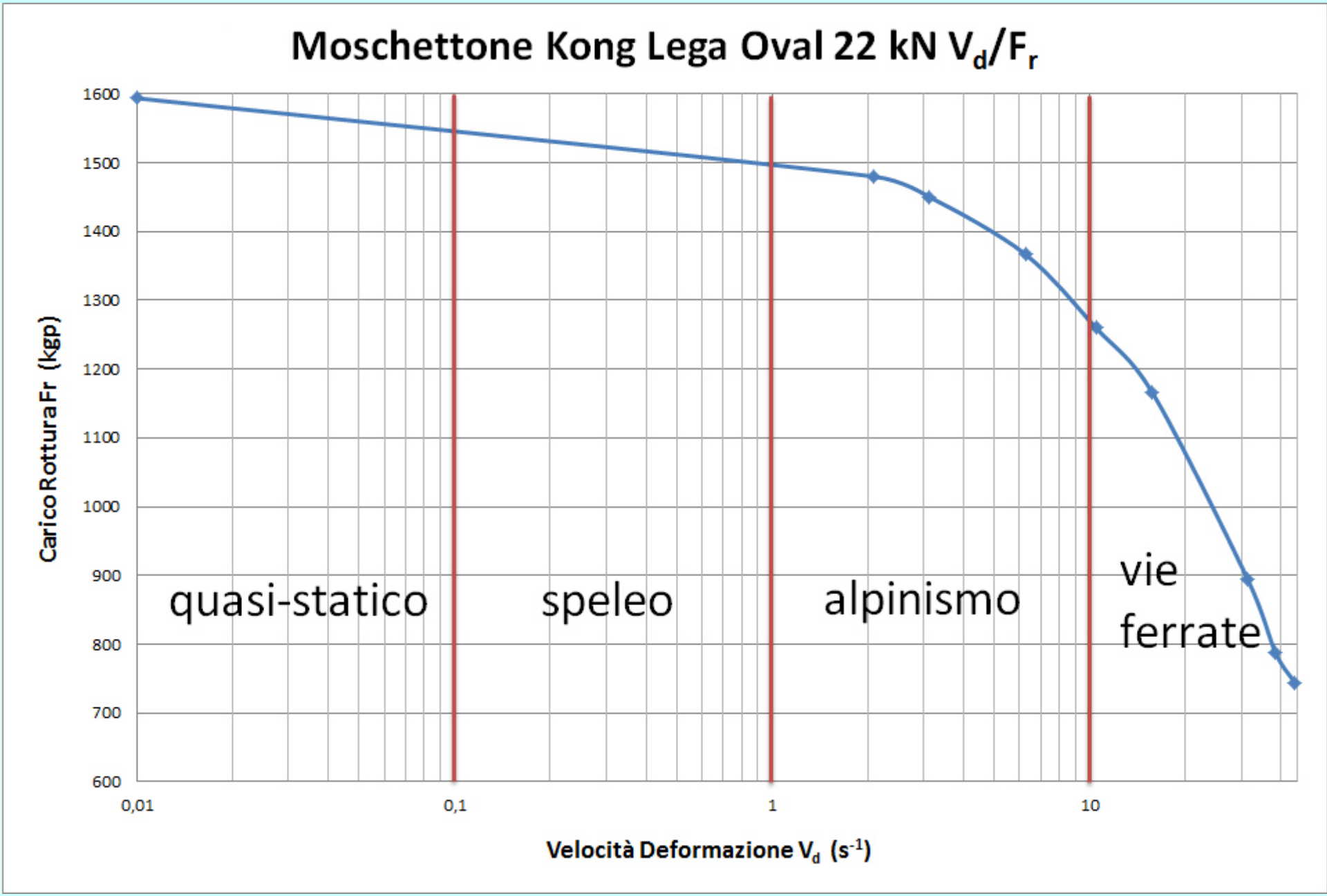
Fig. 3



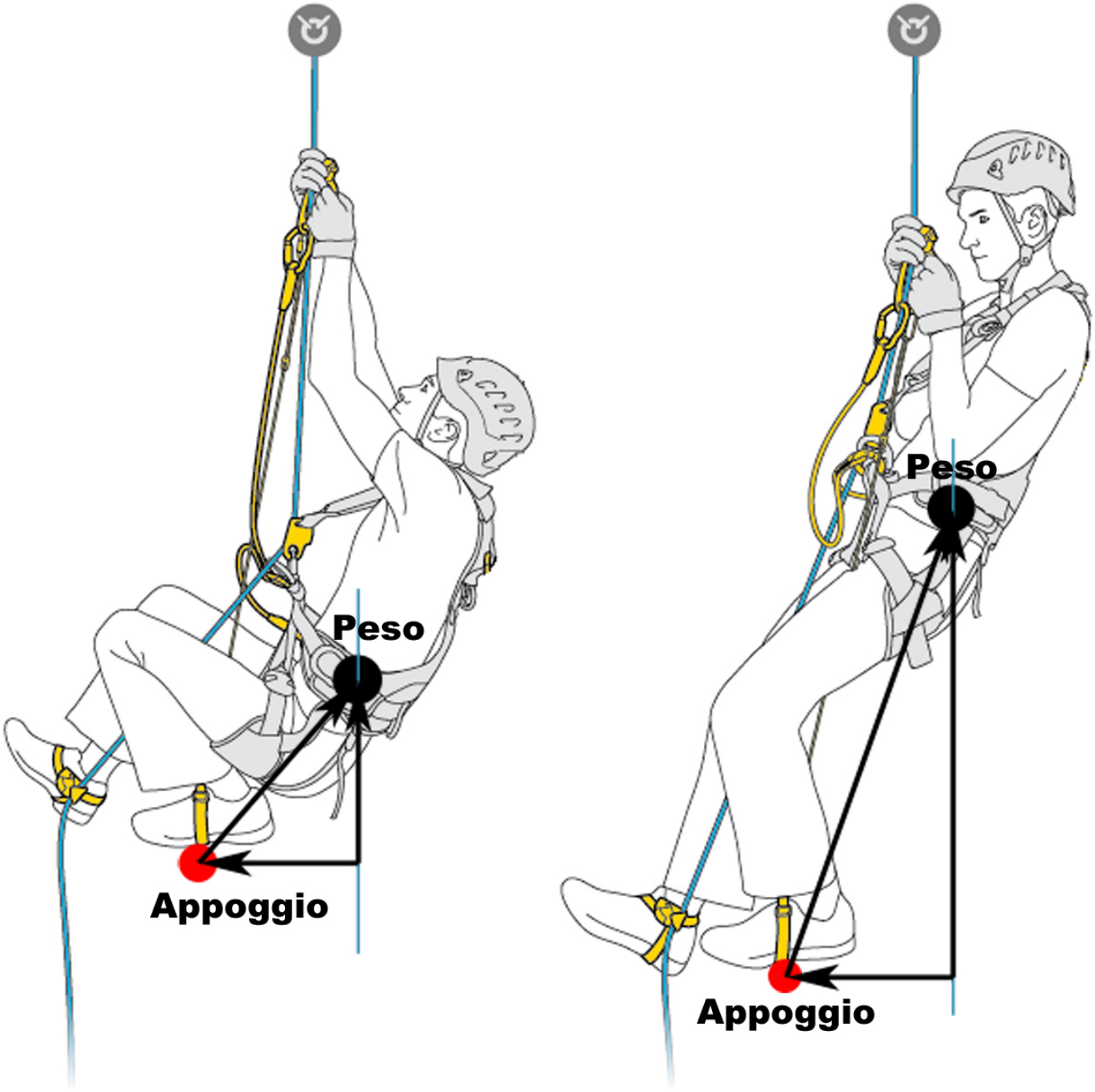

Moschettone Securalt 981 acciaio nuovo 23 kN V_d/F_r
Carico Rottura F_r (kgp)
3500
3300
3100
2900
2700
2500
2300
2100
1900
1700
quasi-statico
speleologia
alpinismo
vie ferrate
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
Velocità Deformazione V_d (s^{-1})

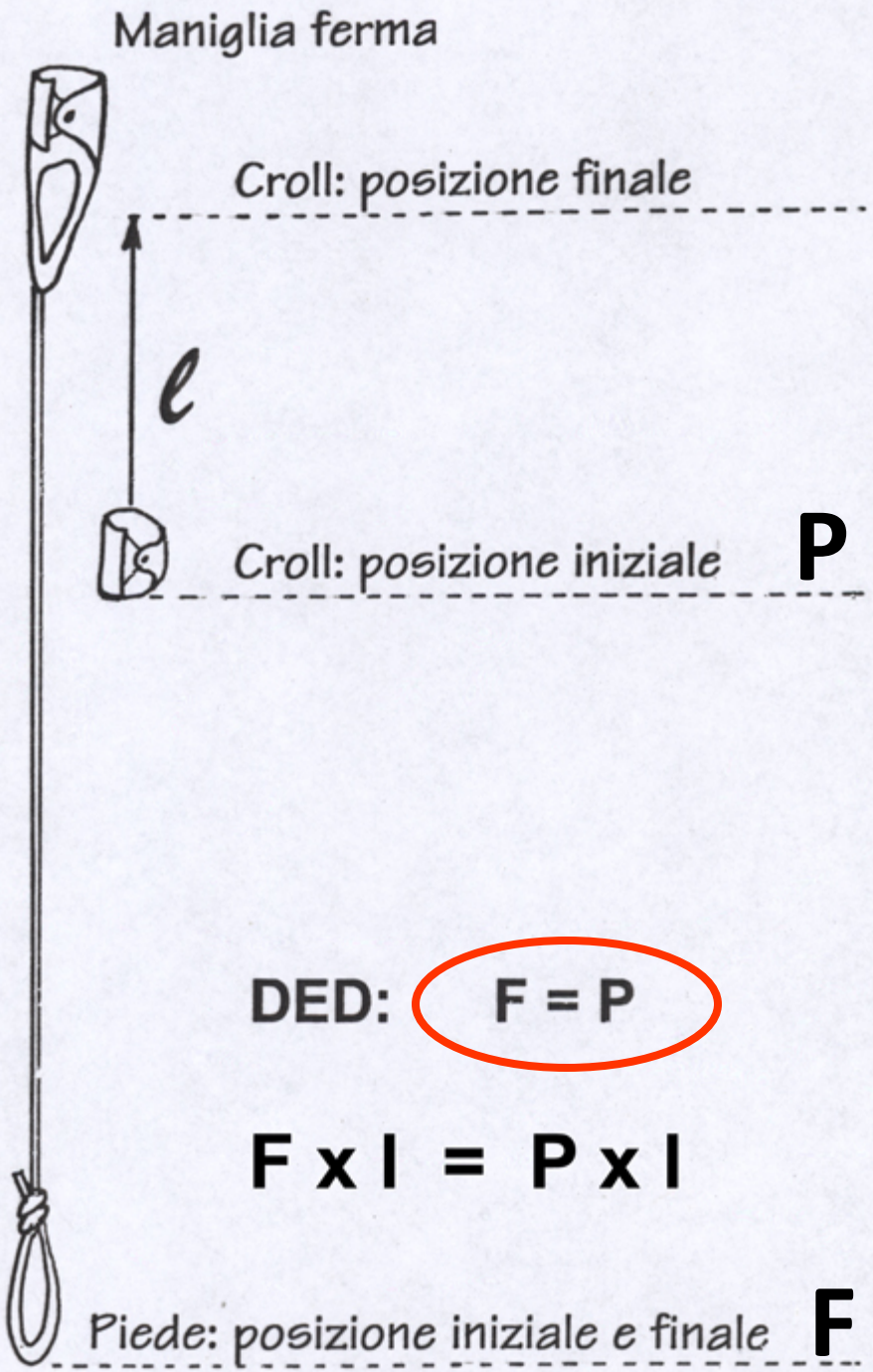

Moschettone Securalt 981 acciaio nuovo 23 kN V_d/F_r
Carico Rottura F_r (kgp)
3500
3300
3100
2900
2700
2500
2300
2100
1900
1700
quasi-statico
speleologia
alpinismo
vie ferrate
0,01
0,1
1
10
100
Velocità Deformazione V_d (s^{-1})


Moschettone Kong Lega Oval 22 kN V_d/F_r
Carico Rottura Fr (kgp)
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
Quasi-statiche
Speleologia
Alpinismo
Vie Ferrate
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
Velocità Deformazione V_d (s^{-1})


Moschettone Kong Lega Oval 22 kN V_d/F_r
Carico Rottura Fr (kgp)
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
0,01
0,1
1
10
quasi-statico
speleo
alpinismo
vie ferrate
Velocità Deformazione V_d (s^{-1})

Confronto tecniche di risalita


Peso
Appoggio
Peso
Appoggio



Metodo DED

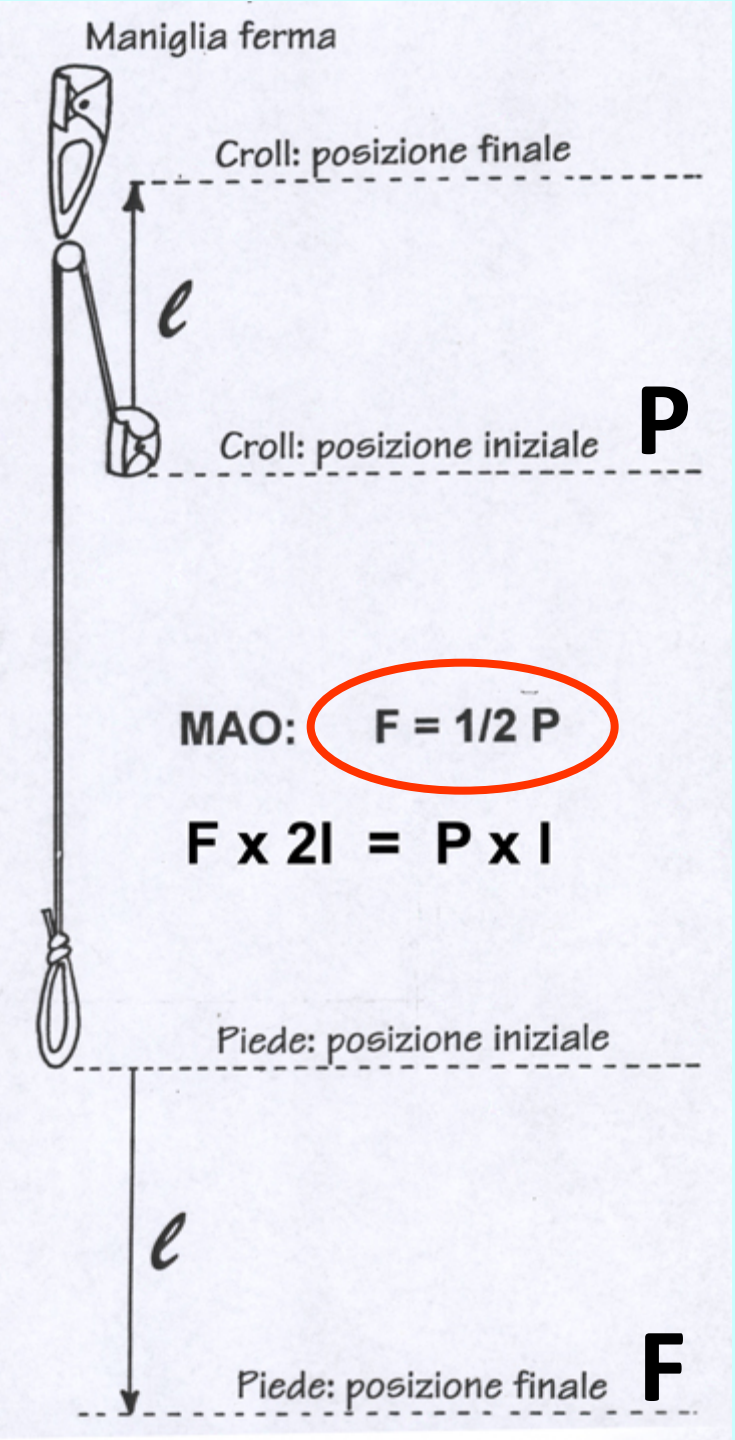
Pedale fisso



MAO 2.0

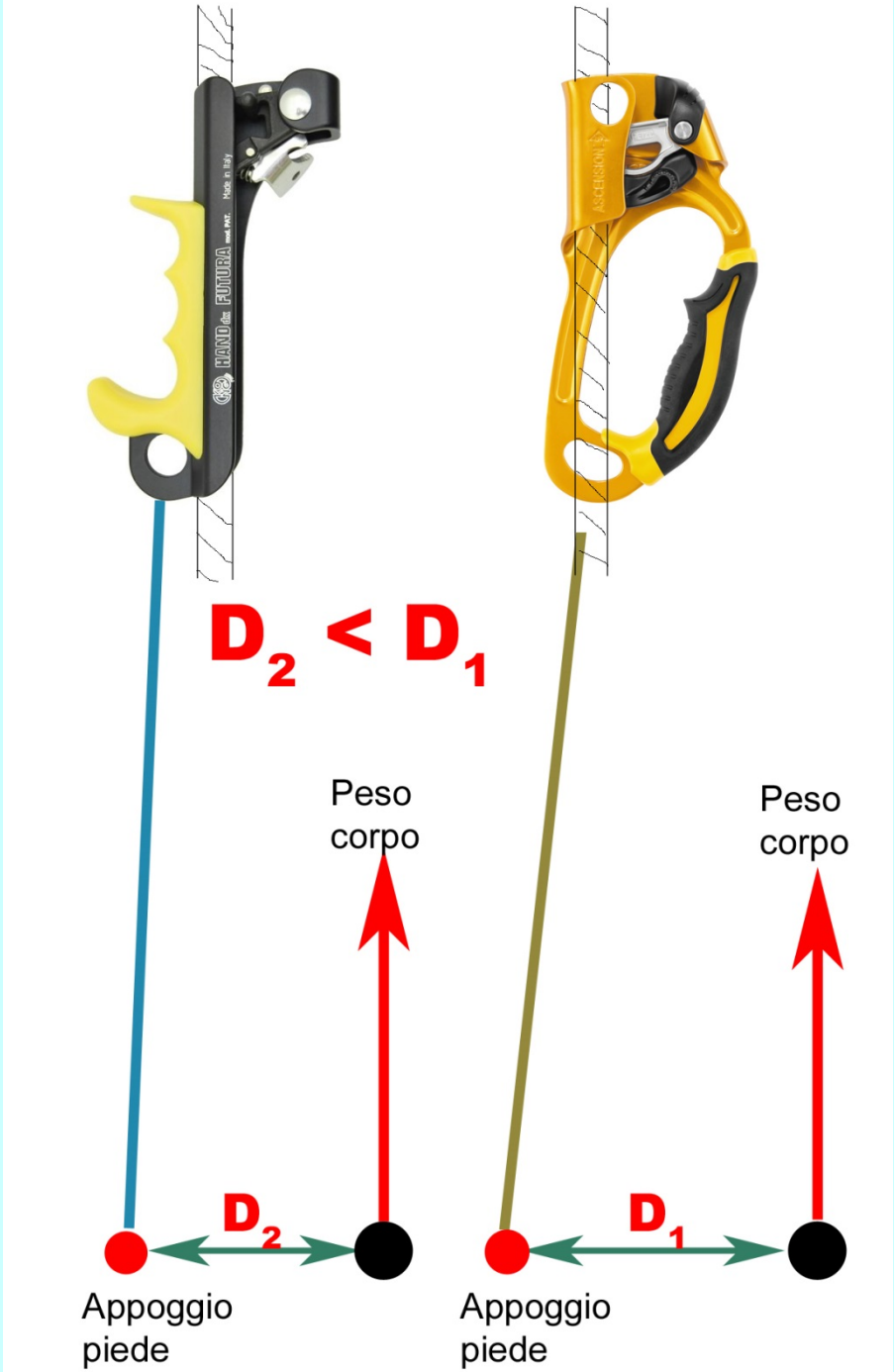
Repetto

?



Metodo MAO

Pedale mobile


$D_2 < D_1$
Peso corpo
Peso corpo
D_2
D_1
Appoggio piede
Appoggio piede

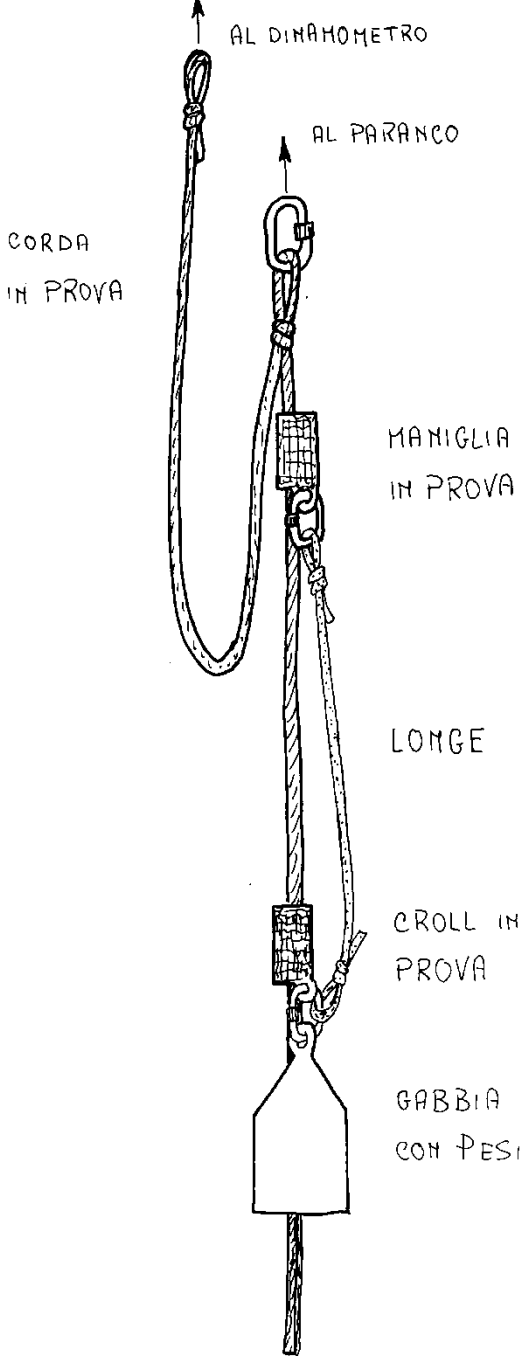


FIG 52

Croll e Maniglia Dressler uniti ma distanti con longe tesa

Peso = 80 kgp

Lunghezza corda = 2 m

Lunghezza Longe (ϕ 9 mm) = 0,5 m

Fattore di caduta = 1

Nodi Guida con frizione

Forza massima = 600 kgp

Il peso viene trattenuto

Calza tranciata dal Croll

Rotto 1 trefolo su 13

Gli attrezzi sono intatti e si aprono

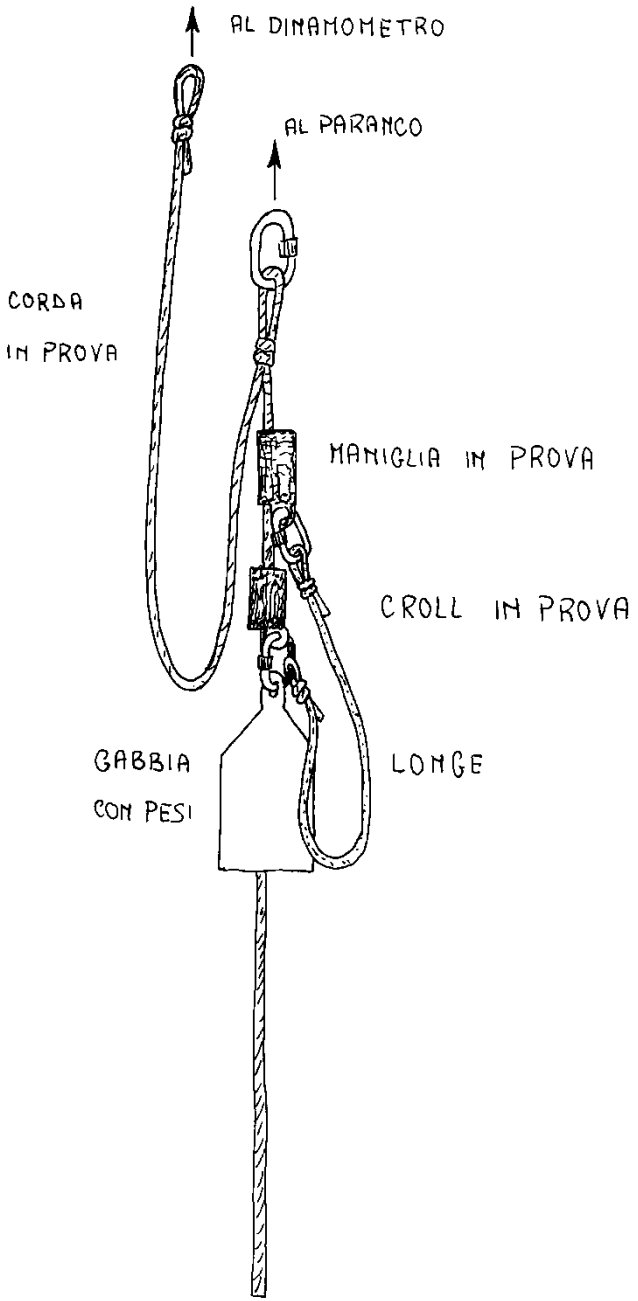


FIG 53

Croll e Maniglia Dressler uniti e ravvicinati

Peso = 80 kgp

Lunghezza corda = 2 m

Lunghezza Longe (ϕ 9 mm) = 0,5 m

Fattore di caduta = 1

Nodi Guida con frizione

Forza massima = 540 kgp

Il peso viene trattenuto

Calza tranciata dal Croll

Rotto 1 trefolo su 13

Gli attrezzi sono intatti e si aprono

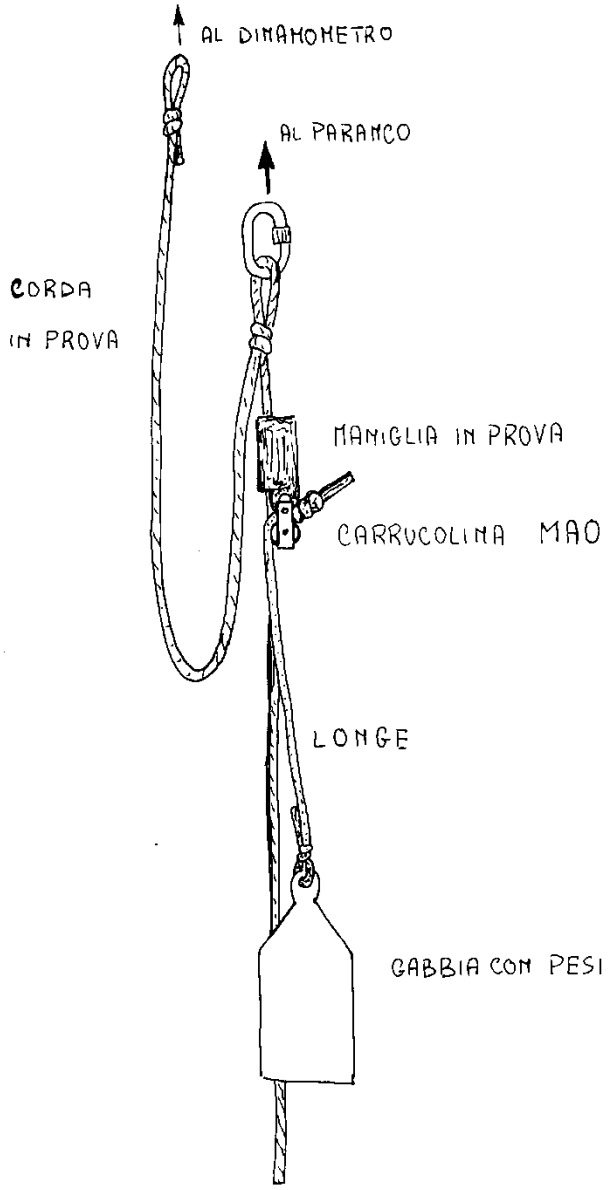


FIG 54

Maniglia Dressler con carrucola MAO (Minima Azione Operativa)

Peso = 80 kgp

Lunghezza corda = 2 m

Lunghezza Longe (ϕ 8 mm) = 0,75 m

Fattore di caduta = 1

Nodi Guida con frizione + cappuccino

Fm = 420 kgp

Il peso viene trattenuto

Calza tranciata dalla maniglia

Rotti 3 trefoli su 13

La maniglia è intatta e si apre

La carrucola non è deformata

Il nodo cappuccino è intatto

Test caduta Edelrid 10 mm ss Maniglia Petzl con carrucola (MAO)



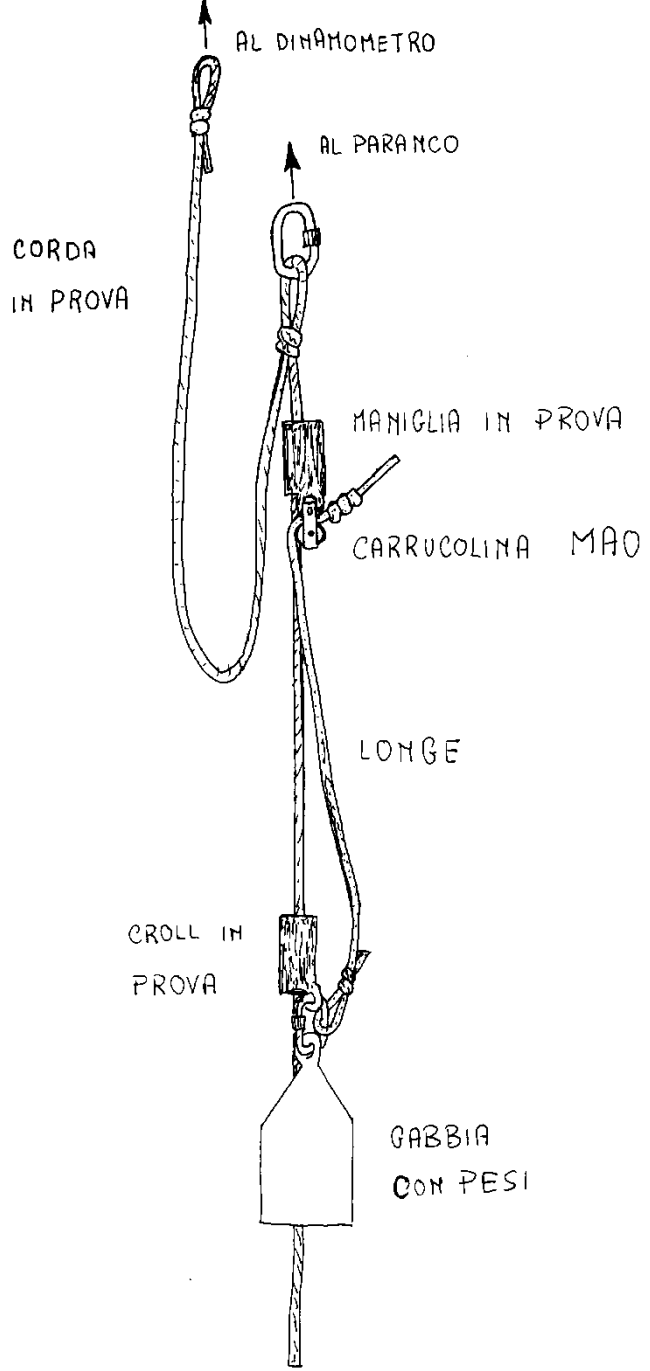


FIG 55

141

Maniglia Dressler con carrucola con longe tesa collegata al Croll

Peso = 80 kgp
Lunghezza corda = 2 m
Lunghezza Longe (8 mm) = 0,75 m
Fattore di caduta = 1
Nodi Guida con frizione + cappuccino

Fm = 380 kgp

Il peso viene trattenuto
Calza tranciata dalla maniglia
Rotti 2 trefoli su 13
La maniglia è intatta e si apre
La carrucola non è deformata
Il nodo cappuccino è intatto
Il Croll è intatto e si apre

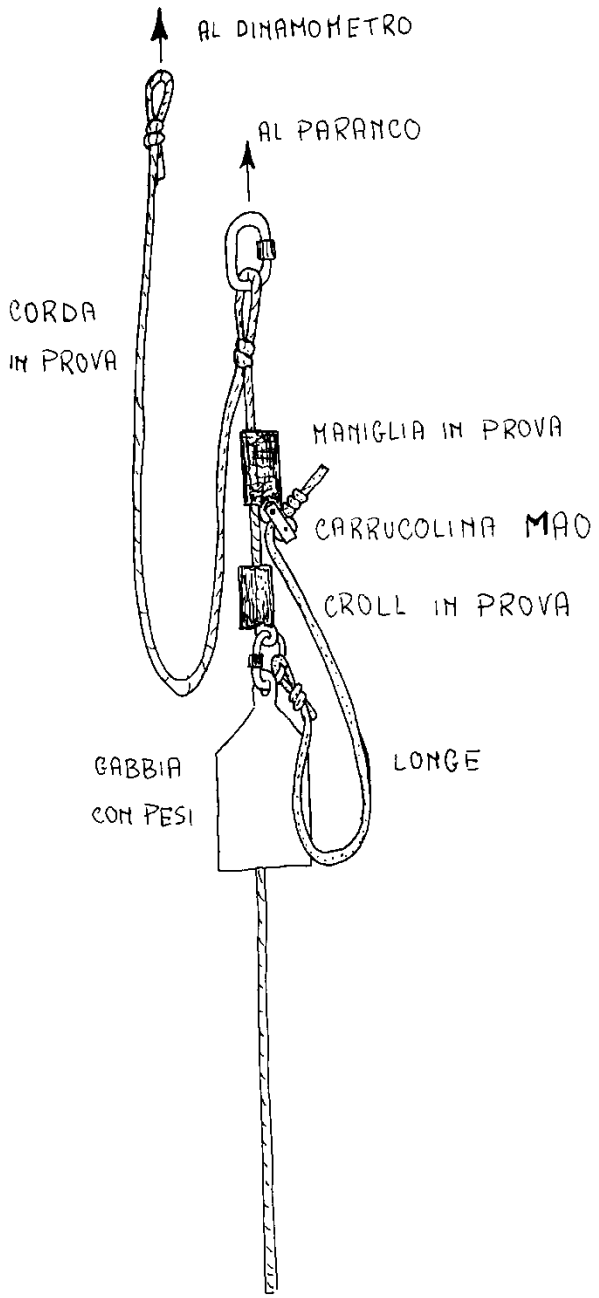


FIG 56

Maniglia Dressler con carrucola con longe non tesa collegata al Croll

Peso = 80 kgp

Lunghezza corda = 2 m

Lunghezza Longe (8 mm) = 0,75 m

Fattore di caduta = 1

Nodi Guida con frizione + cappuccino

Fm = 430 kgp

Il peso viene trattenuto

Calza tranciata dalla maniglia

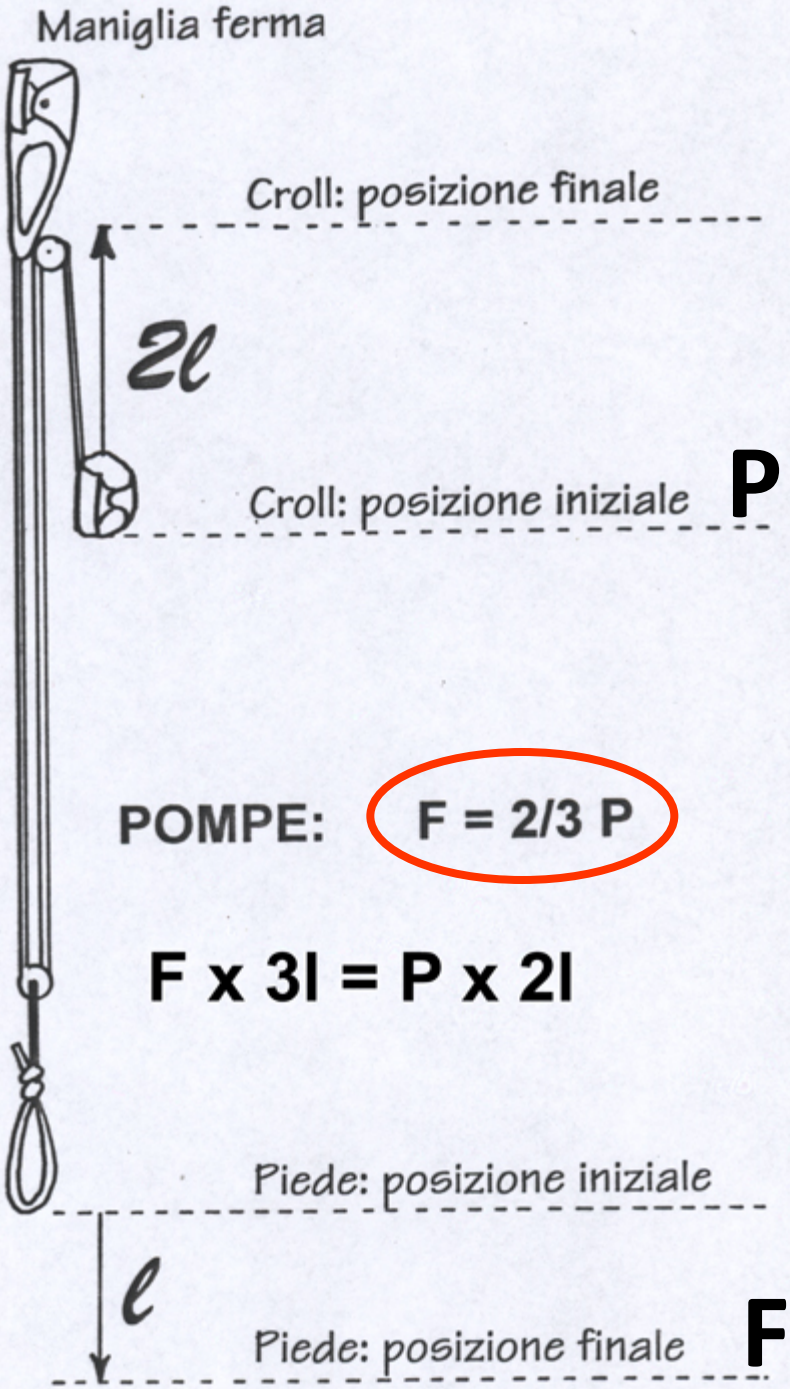
Rotti 4 trefoli su 13

La maniglia è intatta e si apre

La carrucola non è deformata

Il nodo cappuccino è intatto

Il Croll è intatto e si apre



Metodo POMPE

Pedale mobile e carrucola mobile