

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica



Analisi comparativa del comportamento a rottura di corde da
arrampicata in prove statiche e dinamiche per lo sviluppo di
normative di sicurezza.

Tesi di Laurea Triennale

Relatore: Prof. Ing. Nicola Petrone Laureando: Francesco Chitarin

Correlatori: CAAI Giuliano Bressan

Dott. Ing. Vittorio Bedogni

Anno Accademico 2011-2012

INDICE

1	Introduzione	3
1.1	L'utilizzo di corde dinamiche nell'arrampicata.....	3
1.2	Il fattore di caduta.....	8
1.3	Criticità dell'utilizzo	11
Cap. 2	12
2.1	Descrizione normativa attuale	12
2.2	Il Dodero secondo la normativa EN-892	13
2.3	Obiettivo della tesi.....	19
Cap.3	20
3.1	Caratteristiche del Very Sharp Dodero (VSD).....	20
3.2	Prove sperimentali dinamiche con Very Sharp Dodero (VSD)	25
3.2.1	Calcolo spostamento della massa in caduta	26
3.2.2	Calcolo della forza massima, della deformazione a rottura e dell'energia assorbita	27
3.3	Prove sperimentali Statiche con Sharp Edge (SSE).....	29
3.3.1	La macchina a trazione lenta	29
3.3.2	Prova Statica con Sharp Edge (SSE)	31
3.3.3	Calcolo della forza massima, della deformazione a rottura e dell'energia assorbita	35
Cap.4	38
4.1	Materiale utilizzato per le prove.....	38
4.2	Risultati prove dinamiche con Very Sharp Dodero (VSD)	39
4.2.1	Dati sperimentali.....	39
4.2.2	Forza massima, deformazione a rottura, energia assorbita.....	43
4.3	Risultati prove Statiche con Sharp Edge (SSE).....	48
4.3.1	Dati sperimentali.....	48
4.3.2	Forza massima, deformazione massima, energia assorbita	53
4.4	Confronto prove statiche con prove dinamiche.....	57
4.4.1	Confronto forza massima.....	57
4.4.2	Confronto deformazione a rottura	58
4.4.3	Confronto energie assorbite.....	59
5	Conclusioni	61
5.1	Discussione dei risultati	61
5.1.1	La geometria dello Sharp Edge nella due prove	61
5.1.2	Limitazioni del confronto	62
5.2	Si può sostituire ad una prova dinamica una prova statica?	63
5.3	Confronto prove utilizzate con quelle di normativa	64
5.3.1	Prova Dodero standard (Normativa EN-892): pro e contro.....	64
5.3.2	Prova Very Sharp Dodero (VSD): pro e contro.....	64
5.3.3	Prova Statica con Sharp Edge (SSE): pro e contro	65
	BIBLIOGRAFIA.....	66
	RINGRAZIAMENTI.....	67

1 Introduzione

1.1 L'utilizzo di corde dinamiche nell'arrampicata

La corda dinamica d'arrampicata è l'elemento più importante della cosiddetta "catena di sicurezza".

La "catena di sicurezza" è quell'insieme di attrezzature che permettono all'arrampicatore di muoversi in sicurezza su pareti verticali ed è costituita da vari elementi:

- a) soste**
- b) protezioni intermedie**
- c) bloccanti o dissipatori**
- d) corda dinamica.**

a) Le soste sono formate da più punti di protezione fissati alla roccia, ad esempio chiodi o viti ad espansione collegati da cordini o fettucce. A una sosta è legato anche l'arrampicatore che fa sicura al compagno (Fig. 1).

b) Le protezioni intermedie, che sono ad esempio chiodi, nut (blocchi ad incastro a parallelepipedo) e friend (blocchi ad incastro autoespandenti a camma) fissati sulla roccia, servono per minimizzare la lunghezza delle cadute (Fig. 2 e Fig. 3). Su ciascuna protezione intermedia viene fissato un moschettone attraverso cui la corda può scorrere.

c) I bloccanti o dissipatori sono strumenti o nodi effettuati su un moschettone che bloccano la corda o la lasciano scorrere con una certa "difficoltà". Sono essenziali per trattenere la caduta di uno dei membri della cordata. Essi vengono in genere ancorati alla sosta e permettono di fermare lo scorrimento della corda e quindi bloccare la caduta del compagno tenendo semplicemente un capo della corda con una sola mano (Fig. 4).

d) La corda [10] è costruita in fibra poliammidica (nylon 6, nylon 6.6, polipropilene, ecc.) ed è strutturalmente composta da due parti principali: l'anima e la camicia (o calza) (Fig. 5). La corda è denominata dinamica se è in grado di assorbire energia deformandosi elasticamente e/o plasticamente. La resistenza alla rottura dipende per circa il 70% dall'anima e per il restante 30% dalla calza.



Fig. 1: La sosta



Fig. 2: Chiodi, Nut(Blocchi da incastro), Friend

Fig. 3: Rinvii



Fig. 4: Dissipatori e bloccanti

Tipicamente l'anima è costituita da un insieme di trefoli, a loro volta formati da una terna di stoppini; questi sono ottenuti da 6 fascetti più sottili costituiti da un insieme di monofilamenti fortemente torsionati tra loro. Il diametro dei trefoli varia da 2.5 a 3.0 mm. Il numero totale di monofilamenti, $\frac{2}{3}$ del totale, è di circa 40.000. La calza, a struttura tubolare, è ottenuta per intreccio di un insieme di stoppini tra loro perpendicolari e disposto a circa 45° rispetto all'asse longitudinale della corda. Il numero totale di monofilamenti è all'incirca $\frac{1}{3}$ del totale: mediamente circa 20.000. La calza ha la duplice funzione di contenimento e protezione dell'anima e di "bilanciamento" delle caratteristiche dinamiche della corda. A parità di diametro, un maggior numero di stoppini nella calza conferisce una maggiore resistenza all'usura superficiale, diversamente un minor numero migliora le caratteristiche dinamiche della corda. Infatti il comportamento globale dei filamenti dell'anima, pressoché rettilinei, è più "rigido" di quello della calza ove i filamenti sono a 45° rispetto all'asse della corda.

Le corde oggi in commercio hanno diametri variabili da 8 a 11 mm, in funzione della loro destinazione d'uso, ma ai fini di un loro corretto utilizzo non è il diametro l'elemento importante da tenere in considerazione, bensì i criteri di progetto e di prova che derivano dalla seguente classificazione:

- corde singole (simbolo 1) omologate per essere impiegate da sole in arrampicata;
- mezze corde (simbolo $\frac{1}{2}$) omologate per essere impiegate sempre in coppia con un'altra mezza corda;
- corde gemellari (simbolo OO) (in inglese twin) omologate per essere impiegate accoppiate con un'altra corda gemellare come se si trattasse di un'unica corda semplice.

La lunghezza delle corde utilizzate in campo alpinistico varia solitamente da 50 a 70 metri. Il peso delle corde vale:

- corda semplice 58-85 g/m
- mezze corde (singola) 42-55 g/m
- corde gemellari (la coppia) 76-94 g/m

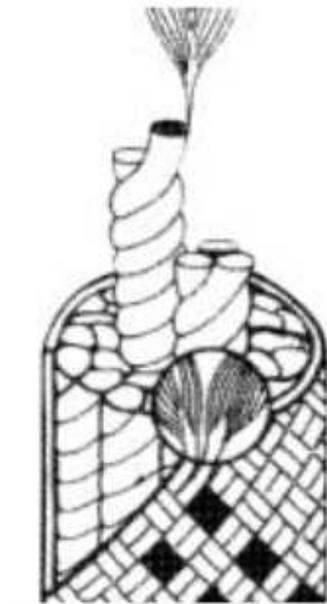


Fig. 5: La struttura della corda dinamica

Spiegati quindi gli strumenti della catena di sicurezza passiamo a spiegare cosa succede in parete e quali sono i momenti maggiormente critici per quanto riguarda le sollecitazioni che riceve la catena di sicurezza.

In Fig. 6 è riportato uno schema dei vari stadi di progressione della cordata tra una sosta e l'altra.

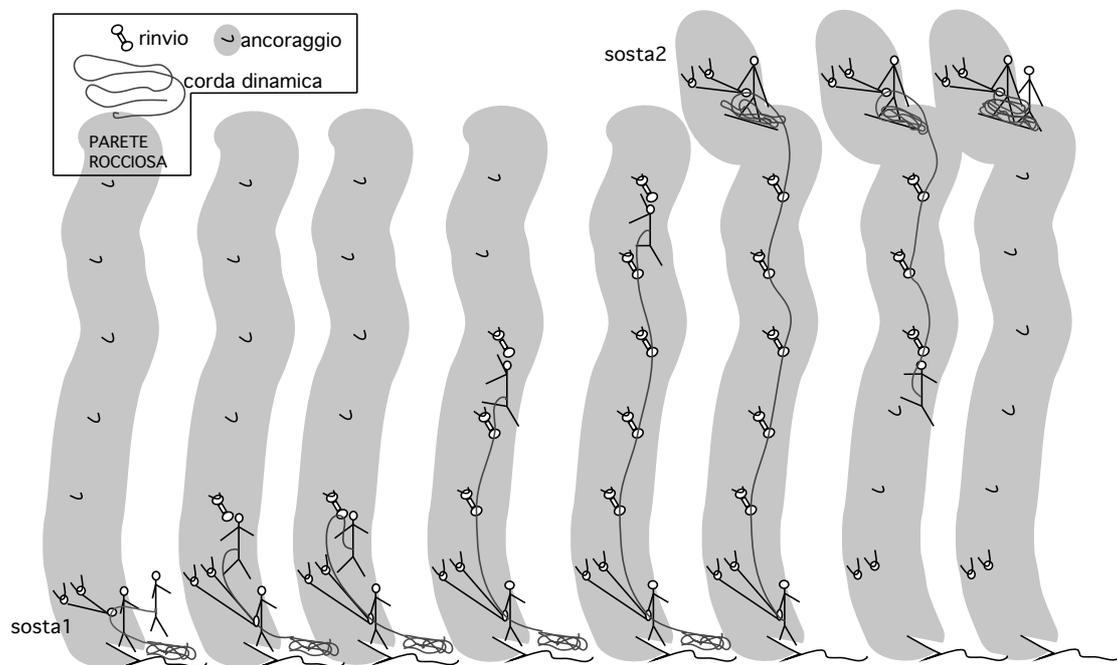


Fig. 6: Catena di sicurezza

Mano a mano che il primo di cordata si muove verso l'alto inserisce nelle protezioni intermedie i rinvii facendovi passare la corda, la quale può scorrere con pochissimo attrito.

Un rinvio è costituito da due moschettoni collegati insieme da un anello di fettuccia (fig. 4). In uno dei moschettoni è passata la corda e nell'altro viene passato l'anello della protezione intermedia, la quale deve essere saldamente fissata alla roccia. Mano a mano che il primo procede, il secondo dà corda tramite uno strumento dissipatore o bloccante in quantità appena sufficiente perché il primo si possa muovere liberamente.

Quando il primo di cordata arriva alla sosta successiva, si assicura alla sosta e, tramite uno strumento bloccante, recupera il secondo tenendo la corda sempre più corta possibile.

Ora si può facilmente capire che una eventuale caduta del secondo di cordata non è per nulla gravosa perché il secondo non potrà mai cadere in volo libero perché la sua corda è sempre praticamente tesa. Le forze in gioco sono quindi poco più alte della forza peso del secondo di cordata.

La "catena di sicurezza" è invece sollecitata in modo grave quando il primo di cordata, dopo aver superato una protezione intermedia, scivola e cade in volo libero per una lunghezza pari al doppio della distanza che lo separa dall'ultima protezione intermedia.

Per ridurre il danno conseguente alla caduta la corda dovrebbe avere le seguenti proprietà:

- a) assorbire energia allungandosi, ma non eccessivamente perché questo potrebbe facilitare un contatto violento con la roccia al termine del volo
- b) limitare le forze d'impatto a valori inferiori a 12 kN (per una persona di 80 Kg) in quanto la decelerazione massima che un corpo umano può sopportare non può superare i 15g affinché non ci siano danni agli organi interni.
- c) resistere all'abrasione ed a spigoli vivi
- d) resistere ai raggi UV
- e) assicurare che variazioni di temperatura e umidità non comportino eccessive variazioni delle proprietà sopra elencate

1.2 Il fattore di caduta

Il fattore di caduta può essere definito solo se le seguenti ipotesi sono vere.

Ipotesi:

- a) La corda deve essere bloccata alla sosta durante il volo del primo di cordata.
- b) Gli attriti della corda con le protezioni intermedie e con la parete devono essere nulli.
- c) Il volo libero del primo di cordata deve essere eseguito lungo una retta verticale.

Si definisce quindi:

h = lunghezza volo libero (da quando l'alpinista cade a quando la corda comincia a tendersi)

l = lunghezza totale corda (tra la sosta ed il primo di cordata)

$F_c = \frac{h}{l}$ è il fattore di caduta.

Il fattore di caduta massimo è , come mostrato in figura, pari a due (Fig. 7).

Infatti se il primo di cordata sale dalla sosta di n metri in verticale, senza passare protezioni intermedie, la corda sarà lunga n e il volo sarà di $2n$.

Questa è la caduta più grave che si possa avere nella realtà.

L'energia cinetica della persona quando la corda comincia a tendersi è $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, che trascurando l'energia dissipata in attriti, sarà pari a $E_{potenziale} = mgh$.

Definisco inoltre:

$E_{specifica}$ = energia per unità di lunghezza che la corda deve assorbire.

Quindi posso scrivere:

$$E_{specifica} = \frac{E_k}{l} = \frac{1}{2l}mv^2 = mg \frac{h}{l} = mgF_c$$

L'energia specifica che deve essere assorbita dalla corda è quindi una variabile del peso della persona e del fattore di caduta.

Dato quindi un fattore di caduta ed il peso della persona possiamo facilmente calcolare l'energia che la corda deve assorbire.

Es.

$m=80\text{kg}$

$m=100\text{kg}$

$F_c=2$

$F_c=2$

$E_{specifica}=1569,6 \text{ J/m}$

$E_{specifica}=1962 \text{ J/m}$

Da notare è il fatto che l'energia specifica che la corda deve assorbire non dipende dalla lunghezza effettiva del volo ma dal fattore di caduta.

A parità di lunghezza del volo, maggiore è la distanza tra la sosta e l'ultima protezione intermedia minore è l'energia specifica che la corda deve assorbire (Fig. 8).

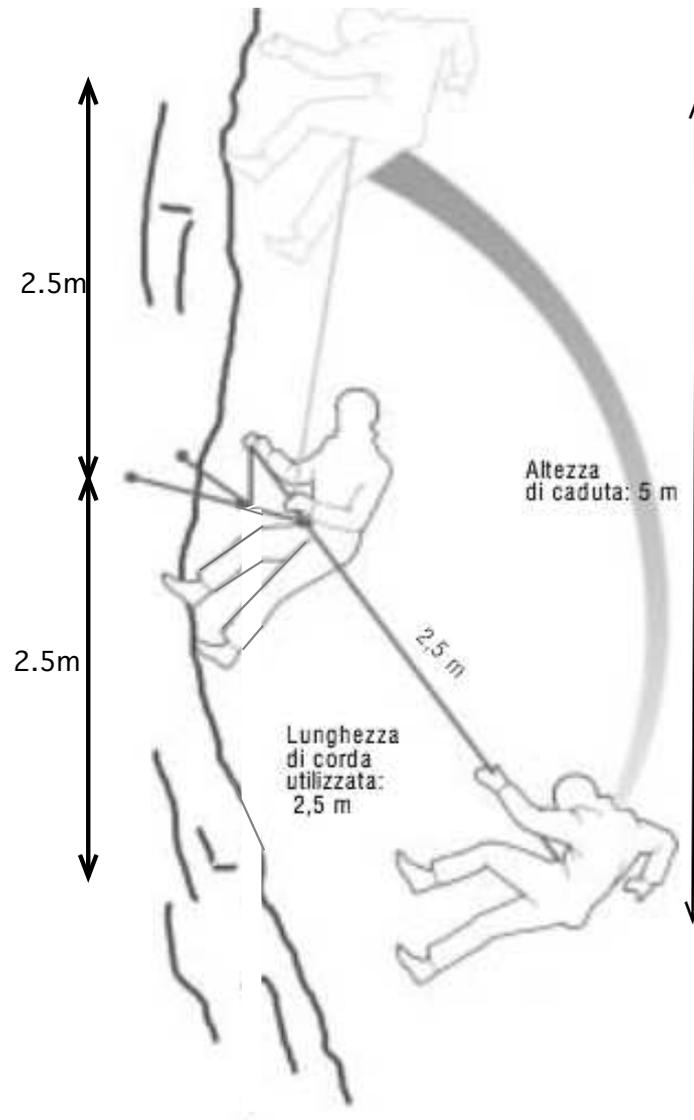


Fig. 7: Caduta del primo di cordata sulla sosta $F_c=2$

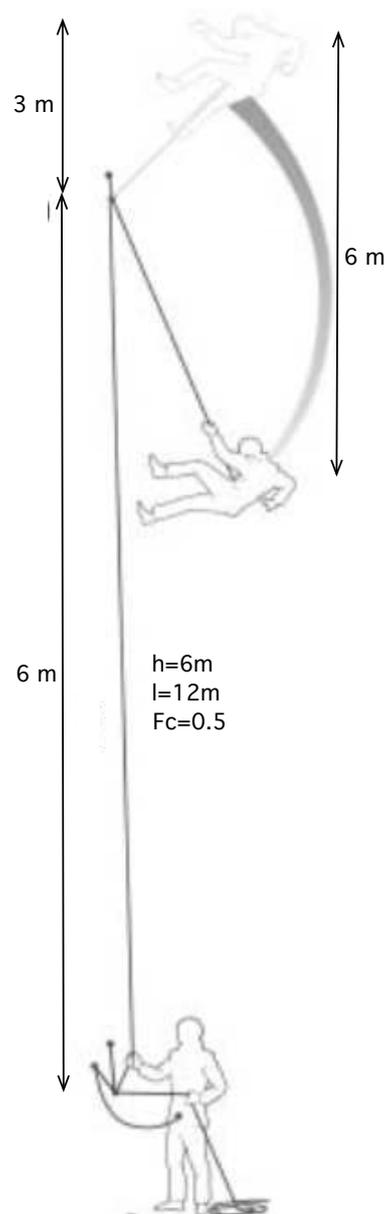


Fig. 8: Caduta con protezione intermedia

1.3 Criticità dell'utilizzo

Dagli anni '60, ovvero da quando sono state approvate norme di sicurezza molto simili alle attuali, non sono stati registrati casi di rottura di corde dinamiche d'arrampicata in corrispondenza del nodo o su moschettoni. Gli unici casi di rottura di corde d'arrampicata sono stati causati da spigoli vivi ed in alcuni casi da agenti chimici (Fig. 9). Escludendo i casi degli agenti chimici (che provocano la depolimerizzazione della corda) le perizie hanno mostrato che molte delle corde che avevano causato incidenti superavano il test prescritto dalla normativa (Vedi Cap.2). Anche gli spezzoni di corde più usurati apparivano ancora sicure sulla base dei test effettuati. Per questo motivo da vari anni si cerca di sviluppare una prova che permetta di valutare le qualità reali di resistenza di una corda su spigolo vivo.

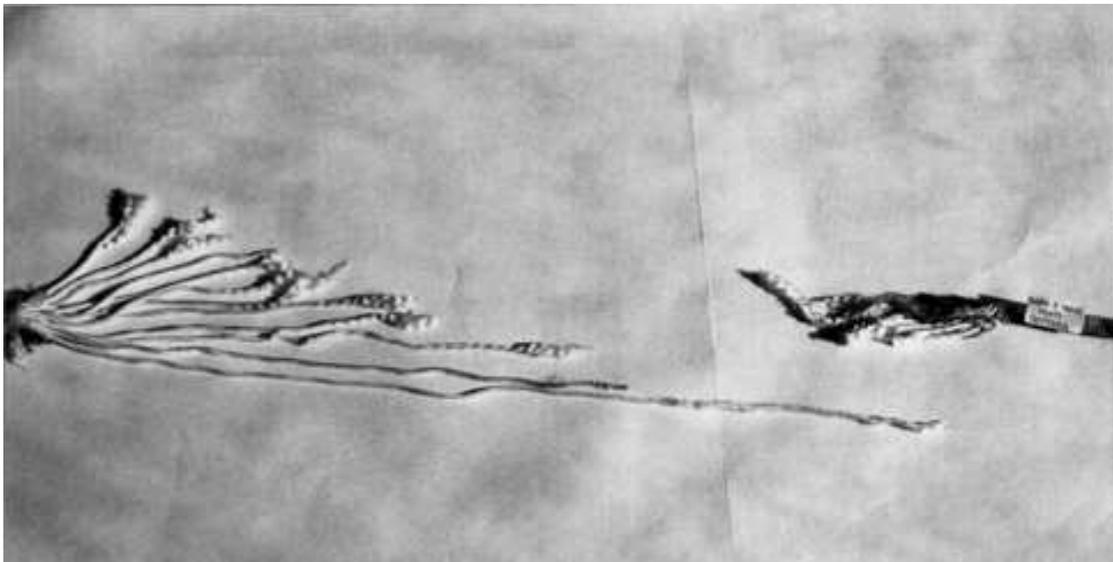


Fig. 9: Corda tagliata dalla roccia

La prova che ha riscontrato più successo per la sua semplicità è denominata prova "Very Sharp Dodero". [1, 2]

L'obiettivo di questo lavoro è quello di cercare un test su spigolo che possa dare modo di confrontare le reali qualità delle corde su spigolo.

A questo fine si andranno a confrontare i risultati della stessa tipologia di corda su prove statiche e dinamiche.

Cap. 2

2.1 Descrizione normativa attuale

La norma UIAA-101 (EN892) si occupa delle corde dinamiche d'arrampicata e da alpinismo a struttura guainata. Per le prove i campioni di corda vanno condizionati.

La norma riporta:

"Essiccare i campioni per almeno 24 h in un'atmosfera di (50 ± 5) °C e un'umidità relativa minore del 10%. Successivamente, raffreddare i campioni in un'atmosfera di (20 ± 2) °C e un'umidità relativa non maggiore del 65% per 2 h. Quindi condizionare questi campioni in un'atmosfera di (20 ± 2) °C e un'umidità relativa del (65 ± 2) % per almeno 72 h. Sottoporre quindi a prova questi campioni a una temperatura di (23 ± 5) °C."

Per le prove viene utilizzato un dispositivo chiamato "Dodero" (vedi paragrafo 2.2).

La norma prescrive che al Dodero:

1. L' allungamento statico, misurato applicando staticamente una massa da 80 kg ad uno spezzone di corda lungo 1500 mm, non superi il :
 - 10% nelle corde singole (su fune singola della corda);
 - 12% nelle mezze corde (su fune singola della corda);
 - 10% nelle doppie corde (su doppia fune della corda).
2. L' allungamento dinamico non deve superare il 40% alla prima caduta della massa.
3. La Forza massima d'arresto alla prima caduta della massa non deve essere maggiore di:
 - 12 kN per le corde singole (fune singola della corda);
 - 8 kN per le mezze corde (fune singola della corda);
 - 12 kN per le doppie corde (fune doppia della corda).
4. Il numero di cadute al Dodero deve essere almeno pari a :
 - 5 per una corda singola,
 - 5 per le mezze corde (perché la prova avviene su singola fune) e
 - 12 per le corde doppie (perché la prova avviene su fune doppia) .

2.2 Il Dodero secondo la normativa EN-892

Il Dodero è un dispositivo inventato negli anni '50 dal prof. Dodero che insegnava a Grenoble (F).

L'idea è quella di simulare l'effetto localizzato di un moschettone su una corda causato da una caduta con fattore di caduta vicino a due.

In pratica c'è una massa che scorre con minimo attrito su due guide cilindriche.

La corda viene fissata con un nodo alla massa, con un morsetto alla struttura portante e viene fatta passare dentro un moschettone o un foro (con bordi smussati) in una piastra, che simula il moschettone stesso.

La massa viene sollevata fino a quando la corda è quasi tesa e poi viene lasciata cadere.

La caduta libera della massa sarà circa pari al doppio della lunghezza della corda utilizzata per il test. Lo strumento originale consentiva di valutare la qualità di una corda esclusivamente in base al numero di cadute che la corda sopporta prima di rompersi.

Oggi il Dodero (vedi fig. 10) è uno strumento molto più evoluto e consiste in:

- a) un punto fisso (Poller) e un dispositivo di ancoraggio,
- b) una piastra fissa di rinvio,
- c) una massa con guide di caduta,
- d) un dispositivo per misurare la forza massima nella corda,
- e) un dispositivo per misurare l'estensione massima della corda,
- f) un dispositivo per misurare i tempi di discesa della massa, al fine di controllare che il sistema di guida non interferisca con la sua caduta libera.



Fig. 10: Struttura del Dodero nel CSMT del CAI

a) Punto fisso e dispositivo di ancoraggio

Il punto fisso detto anche Poller è uno spinotto di acciaio del diametro di 30 mm su cui viene avvolta la corda la cui estremità è stretta dal morsetto (fig. 11).

I due dispositivi, punto fisso e morsetto, sono fissati ad una piastra la quale è collegata alla struttura portante attraverso una cella di carico.

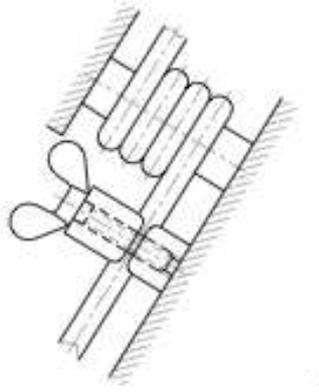


Fig. 11: Punto fisso e morsetto

b) La piastra fissa di rinvio

La piastra fissa di rinvio simula la superficie di un moschettone ed è fabbricata in acciaio con una durezza almeno di 52 HRC. Attraverso la piastra fissa di rinvio si realizza un foro cilindrico perpendicolare alla sua superficie. Il bordo interno dell'orifizio ha una forma semi-toroidale, con dimensioni in conformità alla figura 12. La piastra fissa di rinvio è montata verticalmente nell'apparecchiatura e fissata rigidamente assieme al punto fisso (fig. 13a, 13b).

La superficie semi-toroidale dell'orifizio ha la rugosità seguente:

- scarto medio aritmetico del profilo $Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$;
- rugosità di superficie $R_{\text{max}} \leq 2 \mu\text{m}$.

La superficie della piastra fissa di rinvio sotto l'orifizio ha la rugosità seguente:

- scarto medio aritmetico del profilo $Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$;
- rugosità di superficie $R_{\text{max}} \leq 4\mu\text{m}$.

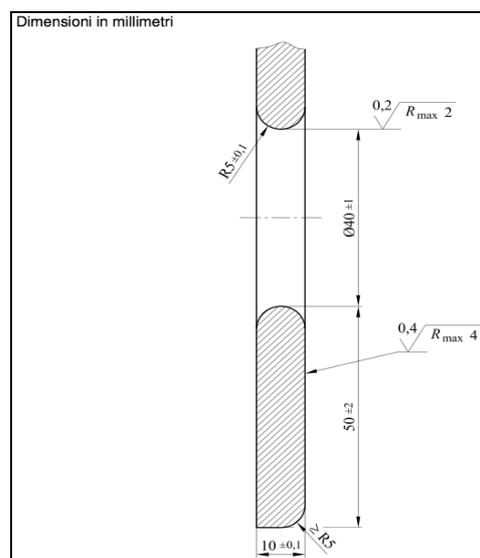


Fig. 12: Piastra fissa di rinvio EN-892

c) La massa in caduta e guide

La massa in caduta (Fig. 14) è di acciaio e la sua caduta è guidata da due guide rigide verticali. Nel laboratorio del CSMT del CAI le due guide sono due colonne cilindriche di acciaio e la massa scorre su di esse tramite cuscinetti. A parte gli elementi di massa trascurabili, il sistema della massa di caduta e delle guide ha un piano comune di simmetria a metà tra le guide. La superficie della piastra fissa di rinvio è perpendicolare a questo piano di simmetria. Il sistema della massa in caduta e delle guide è posizionato in modo che la distanza orizzontale tra l'asse centrale della piastra fissa di rinvio e il centro del dispositivo di attacco della corda alla massa in caduta sia (80 ± 10) mm per tutta la caduta.

La massa in caduta, compreso il dispositivo di attacco della corda, i cuscinetti guida ed eventuali altri accessori fissi, pesa:

- $(80 \pm 0,1)$ kg per le corde singole
- $(55 \pm 0,1)$ kg per le mezze corde;
- $(80 \pm 0,1)$ kg per le doppie corde.

Va notato che le doppie corde vanno testate assieme.

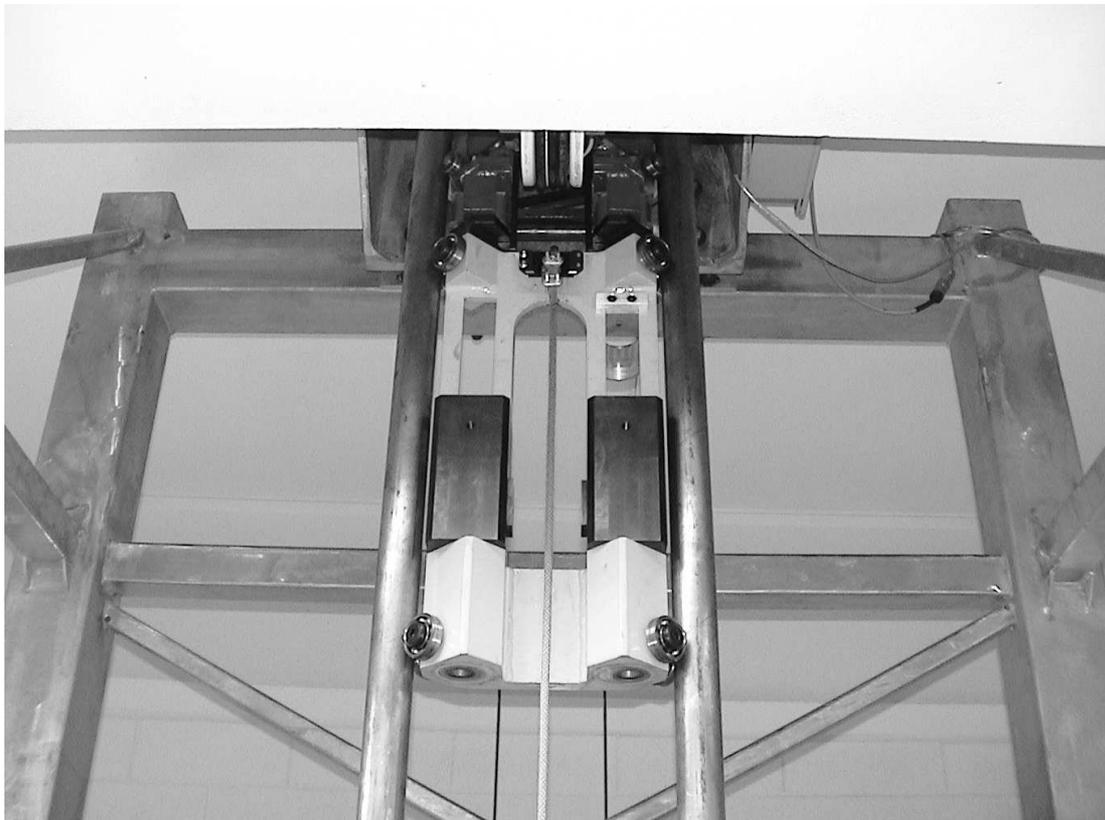


Fig. 14: La massa e le guide del Dodero del CSMT

d) Dispositivo per misurare la forza massima nella corda

Nel laboratorio del CSMT del CAI il dispositivo per misurare la forza è una cella di carico HBM, modello:U10M. (Fig. 15) La cella è fissata tra la struttura portante del Dodero e la piastra su cui è fissato il morsetto, il Poller e la piastra fissa di rinvio come in fig. 13b. La forza nominale massima misurata dalla cella è pari a 25 kN e la sensibilità è pari allo 0.1%. La frequenza di campionamento è di 1 kHz, come da normativa e l'errore di misurazione e registrazione della forza nella corda è minore dell'1% in conformità alla ISO 6487.



Fig. 15: Cella di carico HBM del CSMT del CAI

g) e h) Dispositivo per misurare l'estensione massima della corda e per misurare i tempi di discesa della massa

Per queste misure si utilizza un laser con frequenza di campionamento pari a 1 kHz e precisione di ± 1 mm (fig. 16). Il laser è posizionato in cima alla struttura portante e sulla massa è posto un puntatore che riflette il segnale.

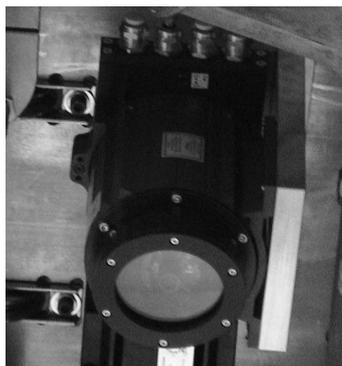


Fig. 16: Laser del CSMT del CAI

Infine dalla figura 13a si può calcolare il fattore di caduta a cui viene sottoposta la corda in questa prova. La lunghezza totale della corda è pari a $(2300 \text{ mm} + 300 \text{ mm}) = 2600 \text{ mm}$. Mentre la lunghezza della caduta libera della massa è pari a 4600 mm. Facendo il rapporto si stima il fattore di caduta attorno ad un valore di 1,77.

2.3 Obiettivo della tesi

Dato che è attualmente in discussione da parte della commissione UIAA di una nuova normativa che prevede una prova denominata "Very Sharp Dodero" (VSD), questa tesi si pone come obiettivo il confronto tra questa nuova tipologia di prova e una prova alternativa denominata "Statica con Sharp Edge" (SSE).

Questa tipologia di prova statica non è mai stata utilizzata prima d'ora, ma l'idea non è per niente nuova [3]. Il confronto tra i risultati di queste due prove potrà dare qualche elemento in più per capire se la prova "Very Sharp Dodero" possa essere utile per confrontare diverse corde e inoltre potrà permettere di farsi un'idea sulla possibilità di utilizzare delle prove statiche al posto di quelle dinamiche.

Cap.3

3.1 Caratteristiche del Very Sharp Dodero (VSD)

Le modifiche da apportare al Dodero di normativa EN892 (vedi par. 2.2) sono:

- a) La piastra fissa di rinvio è sostituita da una piastra a spigolo vivo: lo Sharp Edge (Fig. 17).

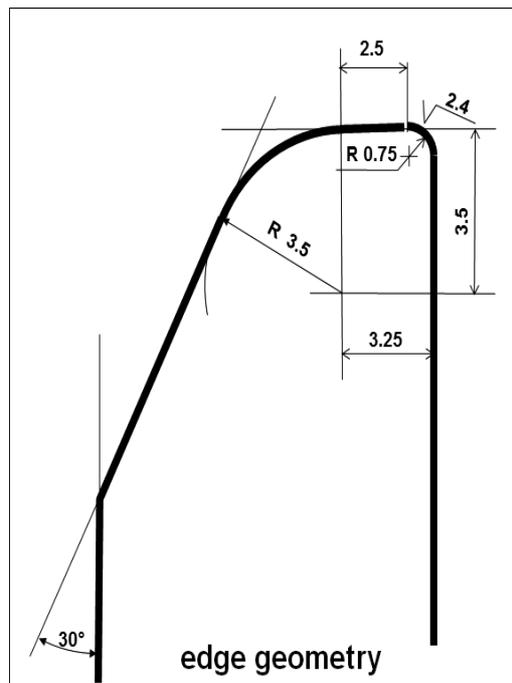


Fig. 17: Sezione piastra Sharp Edge (parte 2)

- b) Il punto fisso e il sistema di bloccaggio corda (Poller) è sostituito da un sistema "strizza-corda" che non permette lo scorrimento della stessa (Fig. 18, 19, 20).

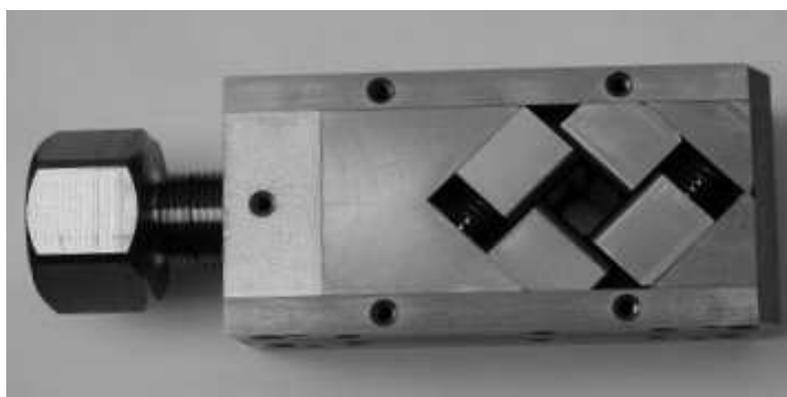


Fig. 18: Sistema "strizza-corda" (parte 1)

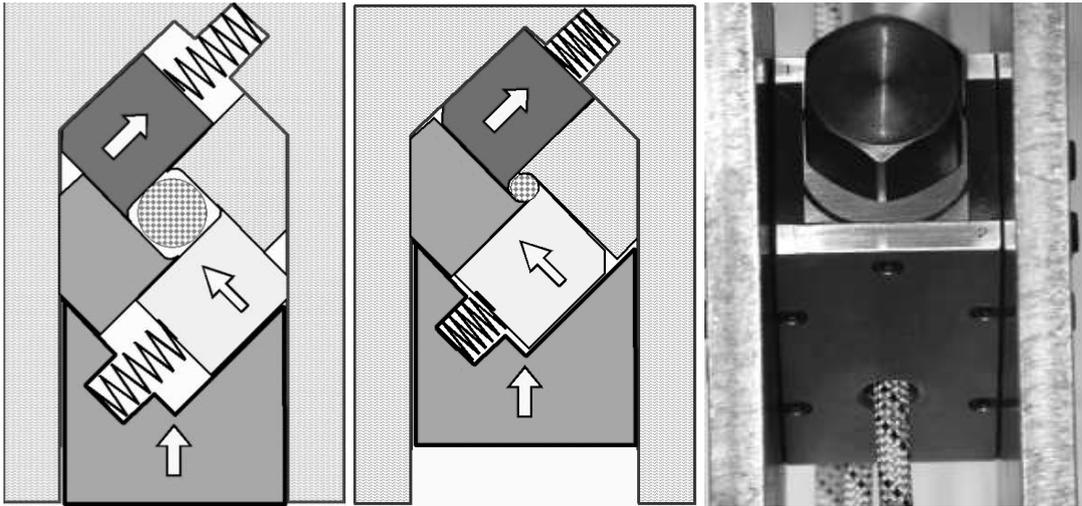


Fig. 19: Schizzo del sistema strizza corda aperto e chiuso Fig. 20: Lo "strizza-corda" (parte 1)

- c) La lunghezza di corda libera tra lo "strizza-corda" e lo spigolo è ridotta a 50 mm (vedi figure 25, 26) a differenza del Dodero standard dove la distanza tra piastra fissa e Poller era pari a 300 mm.
- d) La massa utilizzata è pari a 100 ± 1 kg per una corda singola, invece di 80 kg (Fig. 22, 23).
- e) La corda è fissata alla massa tramite 2 morsetti al posto del nodo a otto (Fig. 21).



Fig. 21: Collegamento corda-massa tramite morsetti nella prova VSD.



Fig. 22: La massa del CSMT (parte 3)

Dato che la corda tra la massa e lo spigolo (L_{corda}) è pari a 2300 ± 5 mm e la corda totale tra la massa e lo "strizza-corda" è pari a 2350 ± 5 mm allora il fattore di caduta sarà pari a circa 1.96 (Valeva 1.77 nella prova standard) (Fig. 23, 24).

Con la prova VSD la maggior parte delle corde in commercio si rompono alla prima caduta della massa. Le corde testate si sono rotte tutte alla prima caduta della massa in corrispondenza dello Sharp Edge.



Fig. 23: Guide (a) e massa in caduta (parte 3)

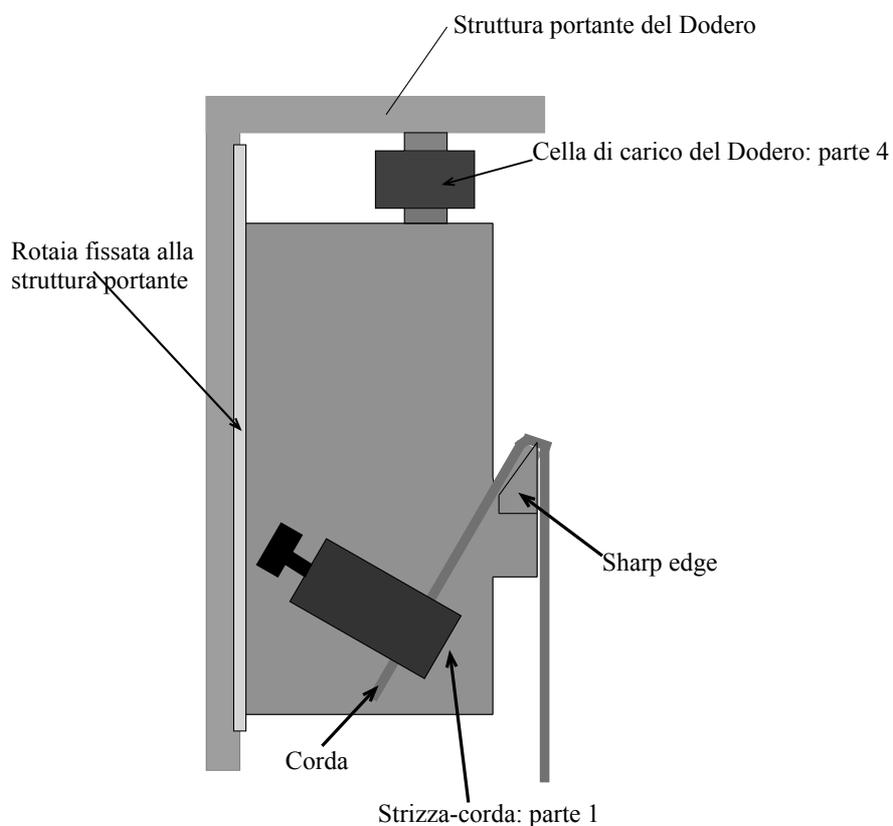


Fig. 24: Schizzo della configurazione della cella di carico, dello strizza corda e dello Sharp Edge.

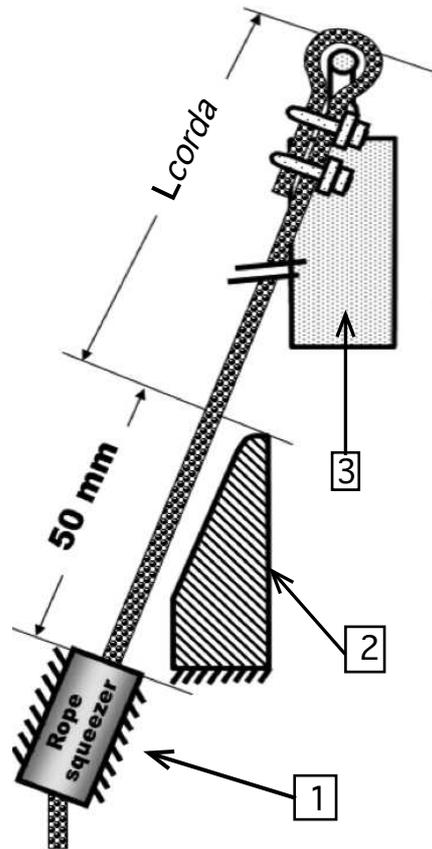


Fig. 25: Configurazione VSD prima della caduta della massa

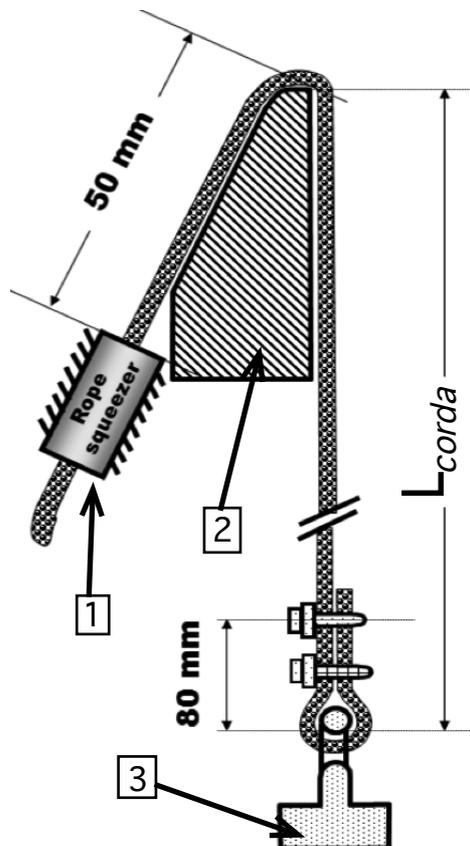


Fig. 26: Configurazione VSD quando la corda entra in tensione

In figura 27 e 28 si può vedere la configurazione di montaggio della cella di carico.



Fig. 27: Cella di carico (parte 4) con sopra il fissaggio sulla struttura portante e sotto il fissaggio al telaio dove sono posti anche lo "strizza-corda" e lo Sharp Edge

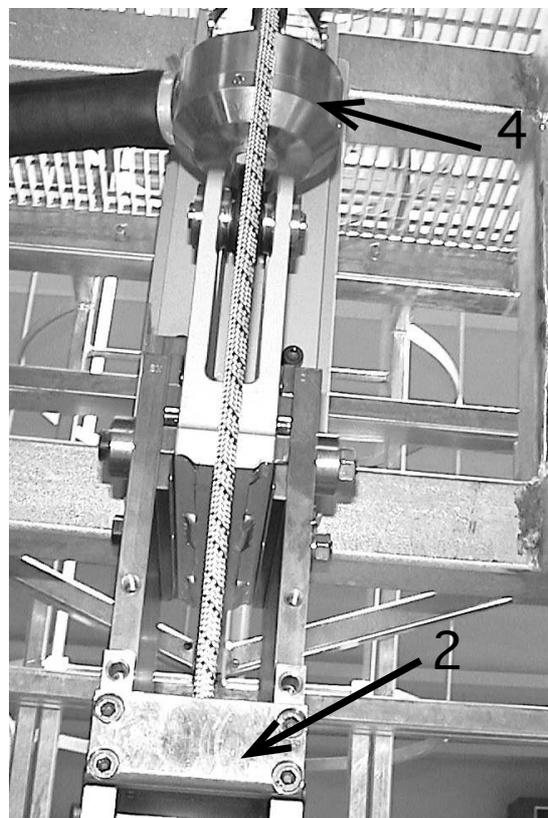


Fig. 28: Cella di carico (parte 4) e Sharp Edge (parte 2)

3.2 Prove sperimentali dinamiche con Very Sharp Dodero (VSD)

Modificato il Dodero di normativa e preparati gli spezzoni di corda per la cosiddetta prova VSD si è proceduto come segue:

- a) si è collegata la corda alla massa tramite morsetti avvitati con coppia di serraggio pari a 8 Nm.
- b) si è sollevata la massa da 100 kg a 2300 mm dallo spigolo e, infilata la corda nello "strizza-corda" (fig. 29), senza stringerlo, si è applicato un peso di 1 kg alla corda. Dopo 30 secondi circa, è stato stretto lo "strizza-corda" con una coppia di serraggio pari a 200 Nm (Fig. 30).
- c) si è azzerato il valore di riferimento del laser.
- d) si è azzerato il riferimento della cella di carico.
- e) infine si è fatta cadere la massa e si sono registrati i dati di spostamento e forza tramite un sistema di acquisizione computerizzato utilizzando il software LabView.

Sono state fatte tre prove con tre diversi spezzoni per ogni tipo corda.

Tutte le prove hanno portato a rottura gli spezzoni utilizzati.

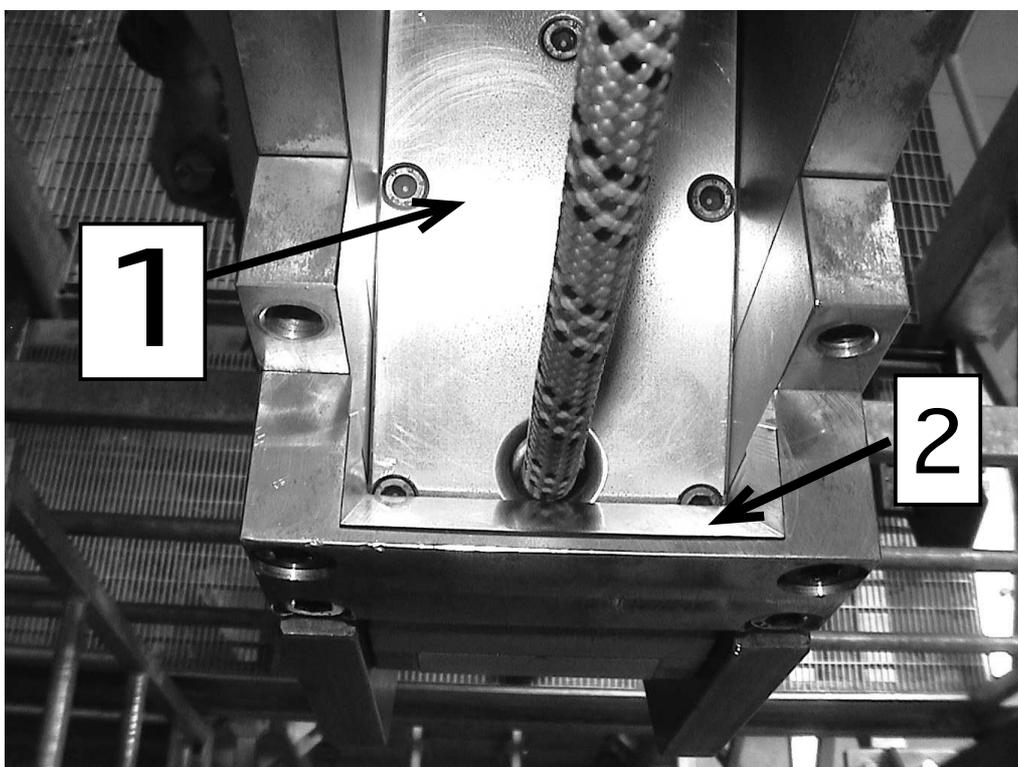


Fig. 29: Lo Sharp Edge (parte 2) e il punto in cui la corda entra nello "strizza-corda" (parte 1)

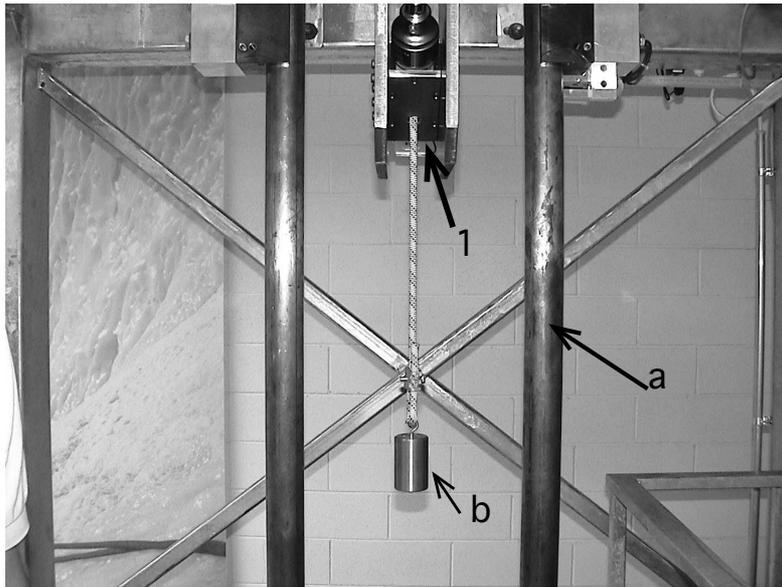


Fig. 30: Peso di 1 kg attaccato alla corda per poter stringere correttamente lo "strizza-corda" (parte 1)

3.2.1 Calcolo spostamento della massa in caduta

Dato l'eccessivo sfasamento temporale tra i dati di forza e quelli di posizione registrati dal programma di acquisizione si è rilevato necessario ricalcolare gli spostamenti della massa in caduta. I calcoli sono stati effettuati tramite doppia integrazione dei valori di forza come prevede la bozza di norma discussa durante il meeting della Commissione di Sicurezza UIAA a S. Pietroburgo dal 30 maggio al 1 giugno 2012.

Questo metodo può quindi essere utilizzato anche su un Dodero che non monta sensori di posizione della massa.

I dati di forza registrati sono singoli punti quindi l'integrale è sostituito con una sommatoria.

Conoscendo la forza in funzione del tempo, tramite il metodo del trapezio, posso calcolare le variazioni di velocità della massa.

Definiamo:

$F_{t_{i+1}}$ = forza all' istante t_{i+1}

F_{t_i} = forza all' istante t_i

g = accelerazione di gravità

M = massa in caduta

$\Delta V_{t_{i+1}}$ = variazione di velocità tra l'istante t_i e l'istante t_{i+1}

Nella formula la massa della corda viene trascurata.

$$\Delta V_{t_{i+1}} = V_{t_{i+1}} - V_{t_i} = \left(g - \frac{F_{t_{i+1}} + F_{t_i}}{2M} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Sapendo che:

t_{tens} = istante in cui la corda entra in tensione

t_{rupt} = istante in cui la corda si rompe

L_{corda} = lunghezza della corda tra lo spigolo e la massa

V_{max} = Velocità massima della massa circa pari a $\sqrt{2gL_{\text{corda}}}$

La misura della velocità massima acquisita dalla massa in caduta libera è rilevata dal laser ed è in ottimo accordo con il valore teorico.

La velocità ad un certo istante $t > t_{\text{tens}}$ risulta dalla formula

$$V_t = V_{\text{max}} + \sum_{t_{\text{tens}}}^t \Delta V_{t_{i+1}}$$

Ricordiamo che la frequenza di campionamento è pari a 1 kHz e quindi:

$$t_{i+1} = t_i + 0.001s$$

Integrando la velocità appena calcolata sempre con il metodo del trapezio si ottiene lo spostamento della massa per $t > t_{\text{tens}}$.

$$S_t = \sum_{t_{\text{tens}}}^t (V_{t_{i+1}} + V_{t_i}) \frac{(t_{i+1} - t_i)}{2} + 2L_{\text{corda}}$$

3.2.2 Calcolo della forza massima, della deformazione a rottura e dell'energia assorbita

a) Forza massima

Per trovare il valore di forza massima è stato preso il valore massimo registrato dalla cella di carico.

Questo valore si trova sempre in corrispondenza dell'istante in cui la corda è in procinto di rompersi.

b) Deformazione a rottura

Per trovare il valore della deformazione si è dovuto capire quale sia l'istante in cui la corda "comincia a tendersi" cioè l'istante t_{tens} .

Per non farsi influenzare dalle iniziali oscillazioni della forza nel tempo si è preso l'ultimo minimo precedente al valore di forza pari a 200 daN. In corrispondenza di questo valore di forza troviamo t_{tens} .

t_{rupt} è l'istante in cui avviene la rottura e corrisponde alla forza massima.

Determinando le posizioni della massa in corrispondenza di t_{tens} e di t_{rupt} (vedi paragrafo 3.2.1) si determina per differenza l'allungamento assoluto e dividendo per la lunghezza iniziale della corda si ottiene l'allungamento percentuale, ovvero la deformazione a rottura.

L_{corda} = lunghezza della corda iniziale

S_{tens} = posizione della massa quando la corda entra in tensione

S_{rupt} = posizione della massa quando la corda si rompe

$$\text{Deformazione a rottura} = \frac{(S_{t_{rupt}} - S_{t_{tens}})}{L_{corda}}$$

c) Energia totale e specifica assorbita

Il calcolo dell'energia è stato fatto tramite integrazione.

E' stata integrata la forza sullo spostamento della massa tramite il metodo del trapezio.

Gli estremi di integrazione sono stati: l'istante in cui la corda entra in trazione, come visto per il calcolo della deformazione, e l'istante corrispondente alla forza massima.

$$Energia_{tot} = \sum_{t_{tens}}^{t_{rupt}} \frac{(F_{t_{i+1}} + F_{t_i})(S_{t_{i+1}} - S_{t_i})}{2}$$

L'energia specifica è stata calcolata dividendo il valore dell'energia totale per la lunghezza iniziale della corda.

3.3 Prove sperimentali Statiche con Sharp Edge (SSE)

3.3.1 La macchina a trazione lenta

La macchina per la trazione lenta di corde (statiche o dinamiche) serve per trovare i carichi a rottura di corde (Fig. 31).

La macchina è costituita da un motore elettrico che, tramite ingranaggi, muove a velocità prefissata una testa rispetto all'altra, che è fissa. Su ciascuna testa è vincolato un capo della corda, quindi la prova avviene su un unico ramo di corda.

Le teste possiedono un sistema costituito da un cilindro con morsetto che permette di evitare l'applicazione di sforzi concentrati che altrimenti farebbero rompere la corda dove viene bloccata dal morsetto (Fig. 32).

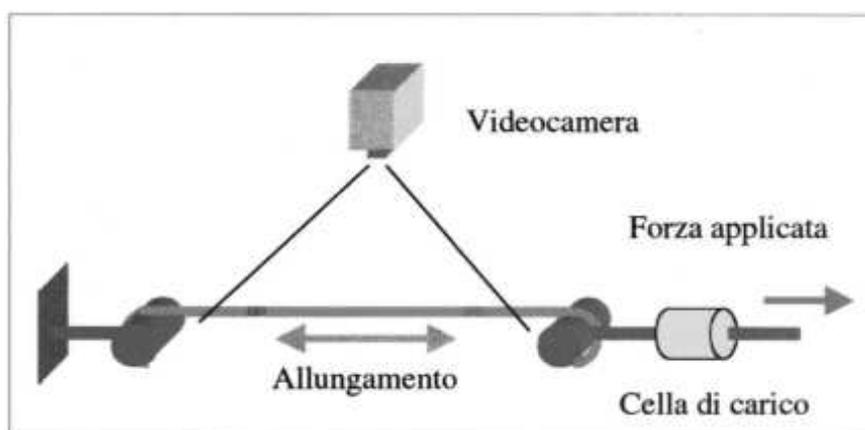


Fig. 31: Schizzo macchina a trazione lenta

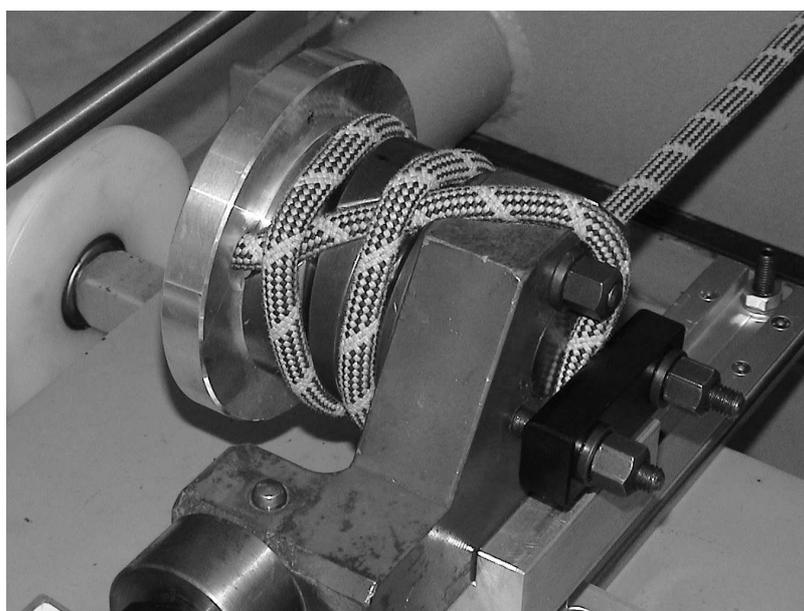
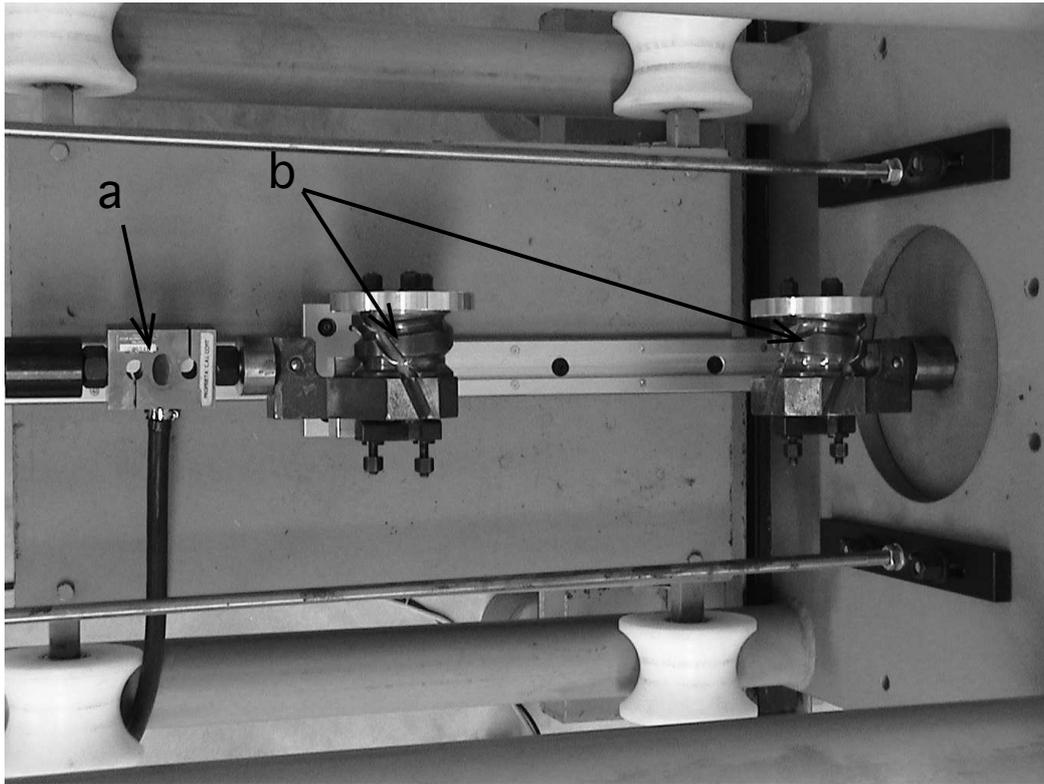
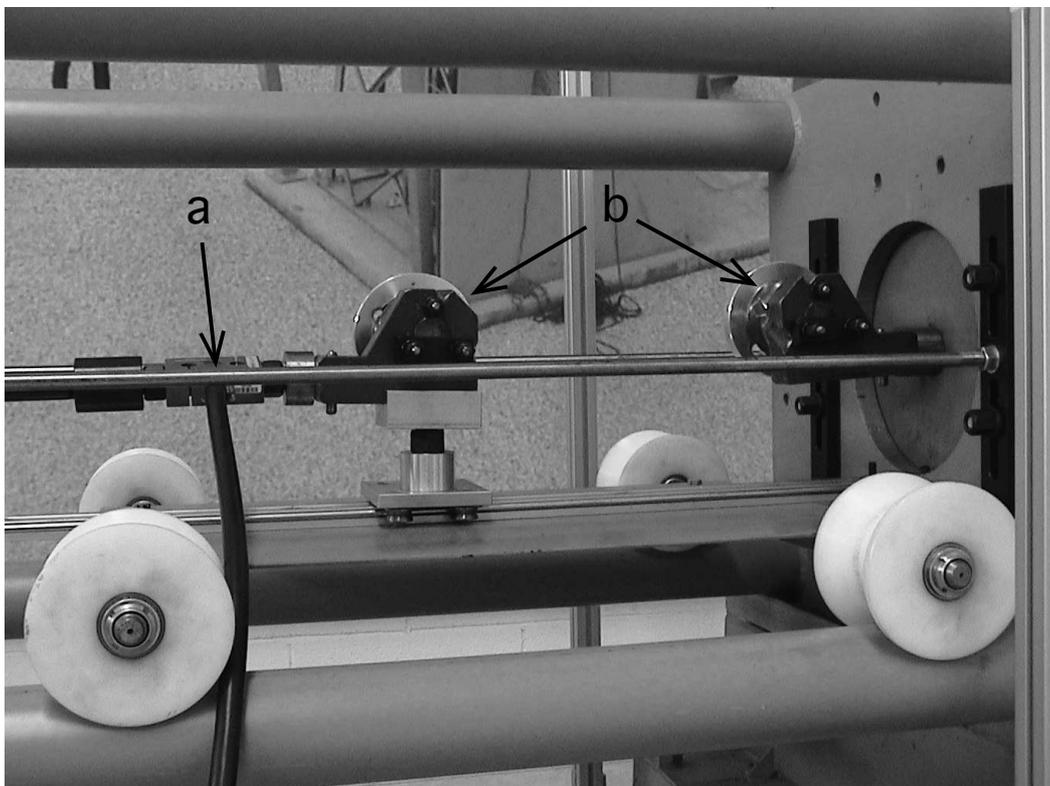


Fig. 32: Testa con morsetto (parte 5)



**Fig. 33: Macchina a trazione lenta con cella di carico (a) e teste (b)
(vista dall' alto)**



**Fig. 34: Macchina a trazione lenta con cella di carico (a) e teste (b)
(vista laterale)**

Una cella di carico (a) viene utilizzata per l'acquisizione della forza (Fig. 33, 34, 35).

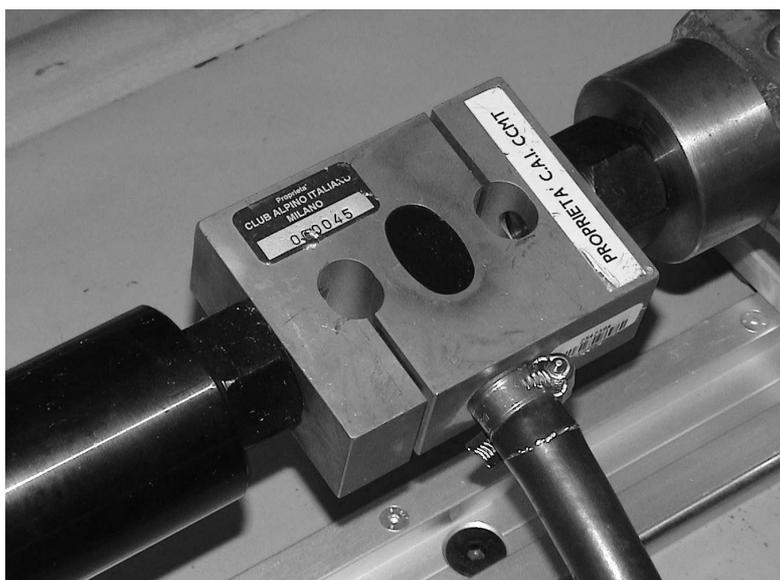


Fig. 35: Cella di carico (a)

Infine una telecamera registra la distanza tra due marker posti opportunamente sulla corda. Tutta la strumentazione è connessa ad un sistema di acquisizione computerizzato che memorizza i risultati tramite software LabView.

La forza massima sviluppabile dalla macchina è pari 60 kN, il campo nominale di lavoro è 1-40 kN.

La velocità della testa mobile è pari ad 1,63 m/min $\pm 5\%$ e la corsa utile è pari a 3000 mm.

La cella di carico montata sulla macchina a trazione lenta è HBM modello RSCA. (Fig. 35) La capacità nominale della cella è di 20 kN e la sensibilità è pari a 0.2%.

3.3.2 Prova Statica con Sharp Edge (SSE)

La macchina a trazione lenta è stata da me modificata in modo che la corda sia sottoposta allo Sharp Edge. Lo Sharp Edge utilizzato è lo stesso utilizzato nella prova Very Sharp Dodero (vedi cap. 2).

A tale scopo è stata montata sulla testa fissa una struttura di acciaio su cui è lo Sharp Edge. (Fig. 36, 37) è stato posizionato orizzontalmente.

Data la presenza dello Sharp Edge, ora le prove non possono essere effettuate su un singolo ramo di corda ma su anelli di corda.

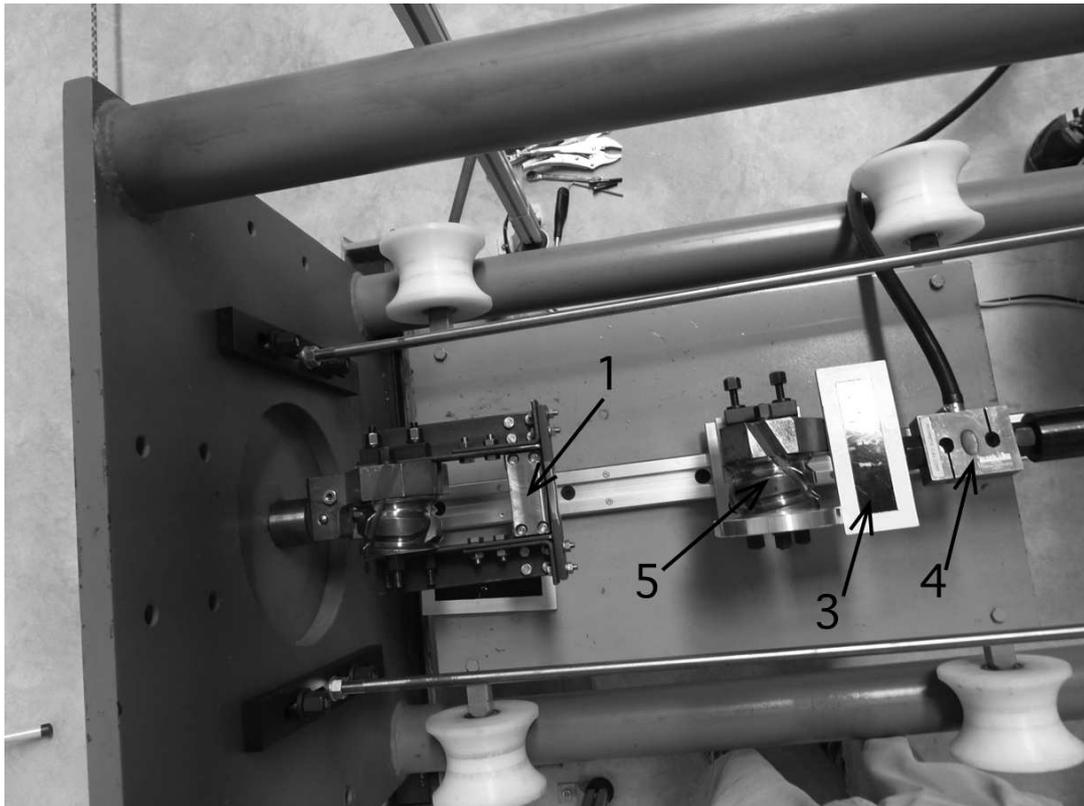


Fig. 36: Macchina per la trazione lenta con modifica.
Sharp Edge (1), testa mobile (5), marker (3), cella di carico (4)

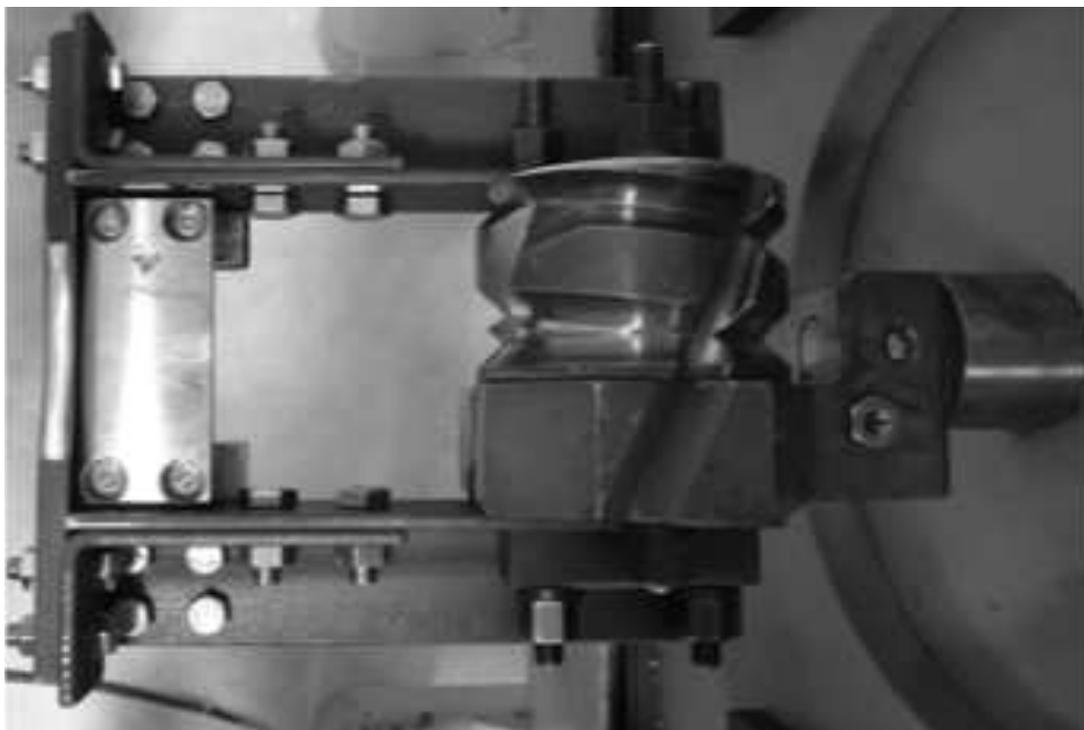


Fig. 37: Particolare montaggio Sharp Edge (parte 1)

Gli anelli di corda sono chiusi tramite quattro morsetti per evitare possibili scorrimenti (massimo scorrimento 1mm).(Fig. 38a, 38b)

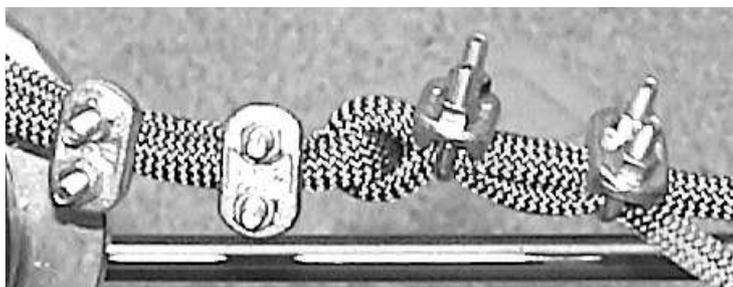


Fig. 38a: Chiusura anelli di corda

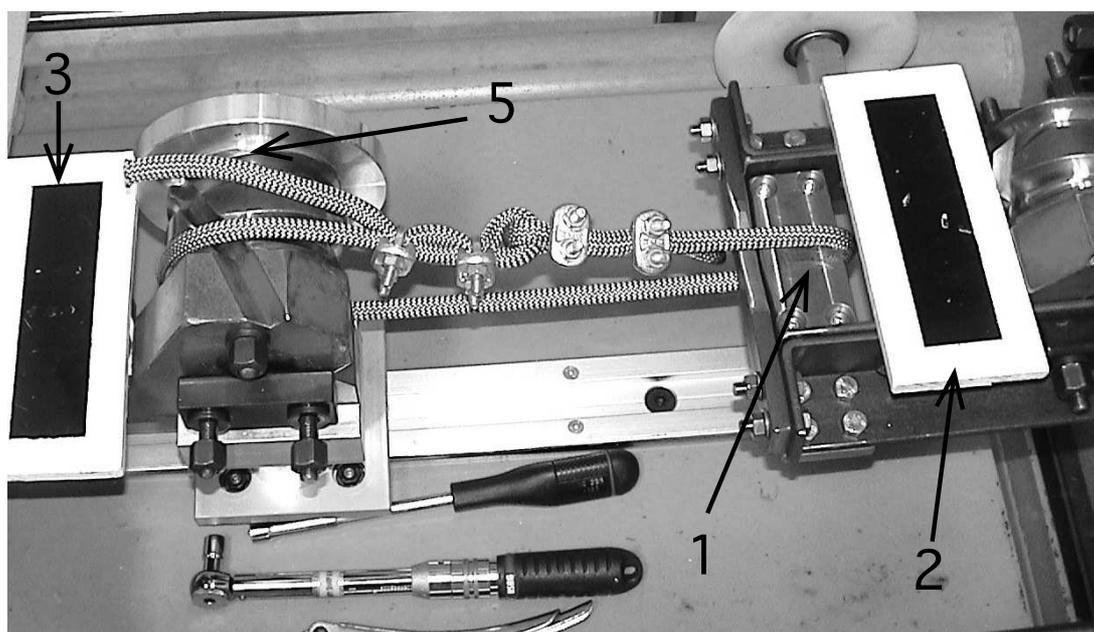


Fig. 38b: Anello di corda montato sulla macchina a trazione lenta con marker (2, 3) in posizione.

L' anello di corda è fatto passare dietro lo Sharp Edge e attorno alla testa mobile originale della macchina a trazione lenta (Fig. 38a, 38b). I due marker sono posti uno sulla struttura di acciaio che tiene in posizione lo Sharp Edge e l'altro è posto sulla struttura della testa mobile (Fig. 38, 39). Prima di ciascuna prova la macchina è portata a fine corsa a cui corrisponde una distanza tra i marker pari a 460 mm. Gli anelli sono stati creati con spezzoni di lunghezza di 1000 mm. La lunghezza della circonferenza dell' anello di corda è circa 700 mm. La zona in cui sono posti i morsetti è pari a 150 mm e sono stati stretti con un momento torcente pari a 8 Nm. La distanza tra ciascun morsetto e il successivo è pari a 50 mm.

Dato che si utilizza un anello di corda chiuso le forze misurate dalla cella di carico saranno pari al doppio di quelle applicate a ciascun ramo della corda, mentre la deformazione misurata sarà pari a metà di quella di tutto l' anello.

In tutte le prove la corda è stata portata a rottura e il punto di rottura è stato sempre in corrispondenza con lo Sharp Edge

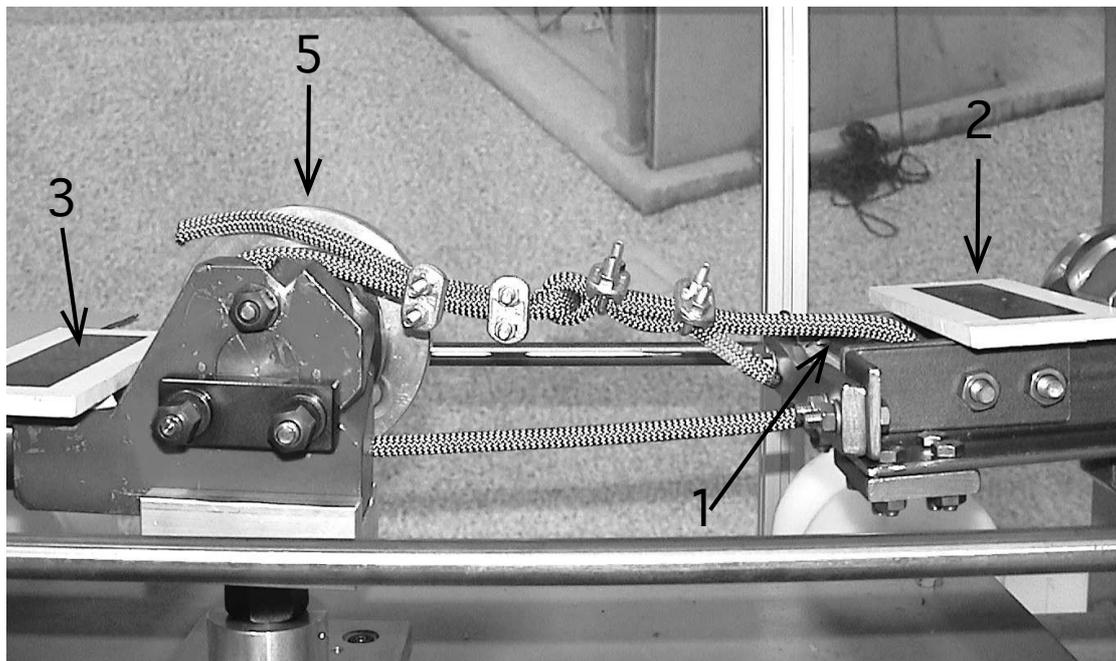


Fig. 39: Sharp Edge(1), marker fisso(2), marker mobile(3), testa mobile(5)

3.3.3 Calcolo della forza massima, della deformazione a rottura e dell'energia assorbita

a) Forza massima

Per trovare il valore di forza massima è stato preso il valore di picco che corrisponde all'istante in cui la corda si rompe ed è stato diviso per due in quanto la prova è stata fatta su di un anello di corda e quindi la forza sulla corda è pari alla metà di quella misurata dalla cella di carico.

b) Deformazione a rottura

Per trovare il valore della deformazione si è dovuto capire quale è la posizione dei marker in cui l'anello di corda "comincia a tendersi".

Il problema è in realtà grave in quanto è difficile conoscere la lunghezza esatta di un anello di corda di forma non definita ed inoltre capire come si comportano i 15cm in cui sono posti ben 4 morsetti per chiudere l'anello.

Il metodo utilizzato è stato questo: si sceglie il valore minimo di forza tale che l'andamento successivo dei valori di forza sia crescente. In corrispondenza di questo valore di forza troviamo il valore della posizione dei marker in cui la corda comincia a tendersi.

Così possiamo calcolare una stima della lunghezza reale dell'anello che in queste condizioni sarà leggermente tensionato perché conosciamo la posizione iniziale dei marker e la geometria a cui il nostro anello di corda deve adattarsi (Sharp Edge da una parte e testa/rocchetto dall'altra).

Per prima cosa si misura la distanza all'inizio della prova tra i due marker.

Poi si trova la distanza fra i due marker corrispondente al punto in cui l'anello di corda è leggermente tensionato.

Possiamo ora calcolare, conoscendo la geometria della macchina, la lunghezza iniziale dell'anello leggermente tensionato (fig. 40).

Definisco:

D_i =distanza iniziale tra i marker pari a 460 mm

L_i =lunghezza "anello ideale" di corda pari a 700mm. Per "anello ideale" si intende l'anello di corda leggermente tensionato con una distanza tra i marker pari a D_i

D_{tens} =distanza tra i marker quando l'anello di corda è leggermente pretensionato

L_{corda} =lunghezza anello leggermente pretensionato

Allora:

$$L_{corda} = 2(D_{tens} - D_i) + L_i$$

Poi si trova la posizione dei marker a cui la forza è massima e la corda si rompe.

Dalla posizione dei marker si risale alla lunghezza dell'anello nell'istante di rottura della corda (fig. 40).

Sapendo che:

L_{rupt} = lunghezza dell'anello quando la corda si rompe

D_{tens} = posizione marker quando la corda entra in tensione

D_{rupt} = posizione posizione marker quando al corda si rompe

Allora:

$$L_{rupt} = 2(D_{rupt} - D_{tens}) + L_{corda}$$

La deformazione a rottura sarà pari a:

$$Deformazione = \frac{L_{rupt} - L_{corda}}{L_{corda}} = \frac{2(D_{rupt} - D_{tens}) + L_{corda} - L_{corda}}{L_{corda}} = \frac{2(D_{rupt} - D_{tens})}{L_{corda}}$$

c) Energia totale e specifica assorbita

Il calcolo dell' energia è stato fatto tramite integrazione.

E' stata integrata la forza sullo spostamento della massa tramite il metodo del trapezio.

Gli estremi di integrazione sono stati: l'istante in cui la corda entra in trazione t_{tens} , e

l'istante corrispondente alla forza massima t_{rupt} .

$$Energia_{tot} = \sum_{t_{tens}}^{t_{rupt}} \frac{(F_{t_{i+1}} + F_{t_i})(D_{t_{i+1}} - D_{t_i})}{2}$$

Con:

F_{t_i} = forza misurata dalla cella di carico all' istante t_i

D_{t_i} = Distanza tra i marker misurata all' istante t_i

Per calcolare l' energia specifica è stato diviso il valore totale di energia per la lunghezza iniziale dell' anello di corda leggermente tensionato.

Cap.4

4.1 Materiale utilizzato per le prove

Sono state utilizzate tre corde diverse. Tutte corde singole con diametri diversi.

Tutte e tre le corde sono state testate sia con la prova detta Very Sharp Dodero (VSD) sia con la prova a trazione Statica con Sharp Edge (SSE).

Le corde erano nuove e erano sempre rimaste stoccate nello stesso luogo protetto da sbalzi di temperatura e raggi UV.

Qui sotto è riportata la tabella con le caratteristiche fornite dal fabbricante secondo la norma EN-892 o UIAA-101.

Tabella 1

	Corda 1	Corda 2	Corda 3
Marca	Beal	Roca	Singing Rock
Nome	Booster II	Fanatic	Trinity
Diametro	9,7 mm	10 mm	10,3 mm
Forza d'impatto	7,05-7,20 kN	8,4 kN	9,2 kN
Numero cadute al Dodero	9-10	10	8
Allungamento con 80kg	10 %	6 %	7,8 %
Allungamento dinamico	37 %	30,2 %	33 %
Peso al metro	61 g	65 g	66g
Anno di fabbricazione	2003	2009	2004

Dalle corde sono stati tagliati sei spezzoni. Tre spezzoni lunghi 3 m per la prova Very Sharp Dodero e tre spezzoni lunghi 1 m per la prova Static Sharp Edge. Gli spezzoni non sono stati condizionati ma come, scritto sopra, erano state tenute per qualche anno nello stesso ambiente.

4.2 Risultati prove dinamiche con Very Sharp Dodero (VSD)

4.2.1 Dati sperimentali

Come già detto la frequenza di campionamento della forza è pari ad 1kHz.

Dato che temperatura ed umidità sono due parametri che influenzano in modo sensibile le proprietà delle corde durante la prova di ogni spezzone si è misurata la temperatura e l'umidità relativa.

Tabella 2

Corda 1	Temperatura	Umidità (RH%)
Spezzone A	34.0°	31.1
Spezzone B	34.0°	31.3
Spezzone C	34.1	31.7

Corda 2	Temperatura	Umidità (RH%)
Spezzone A	34.0°	31.9
Spezzone B	34.1°	31.6
Spezzone C	34.1°	31.9

Corda 3	Temperatura	Umidità (RH%)
Spezzone A	34.3°	31.8
Spezzone B	34.3°	32.2
Spezzone C	34.4°	32.3

Come si può vedere dalla tabella la temperatura e l'umidità dell'ambiente dove si sono tenute le prove sono restate uniformi per tutta la durata delle prove in quanto sono state eseguite dalle 14:00 alle 17:00 dello stesso giorno.

I grafici di figura 41, 42, 43 mostrano la forza in funzione dello spostamento della massa. Sono rappresentati i risultati dall'istante t_{tens} a qualche istante successivo al t_{rupt} . E' stato fatto per ogni tipo di corda un unico grafico che rappresenta il risultato dei test sui tre spezzoni. Gli spostamenti della massa sono stati calcolati come descritto nel Cap.3.2.1

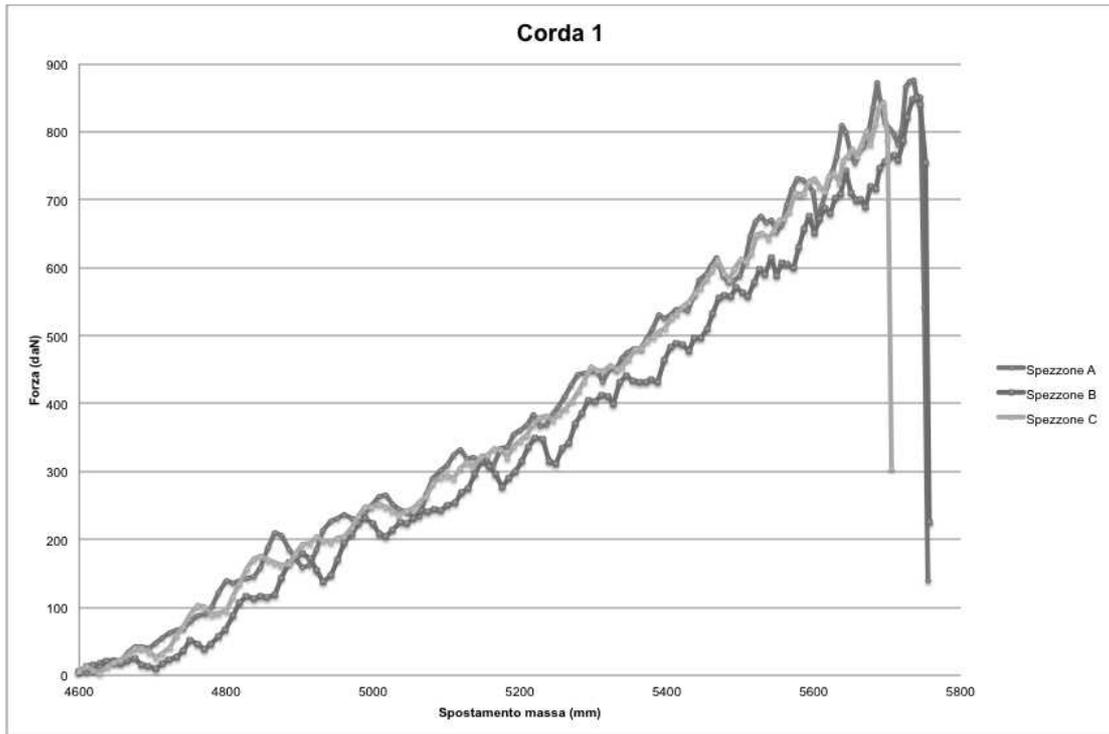


Fig. 41

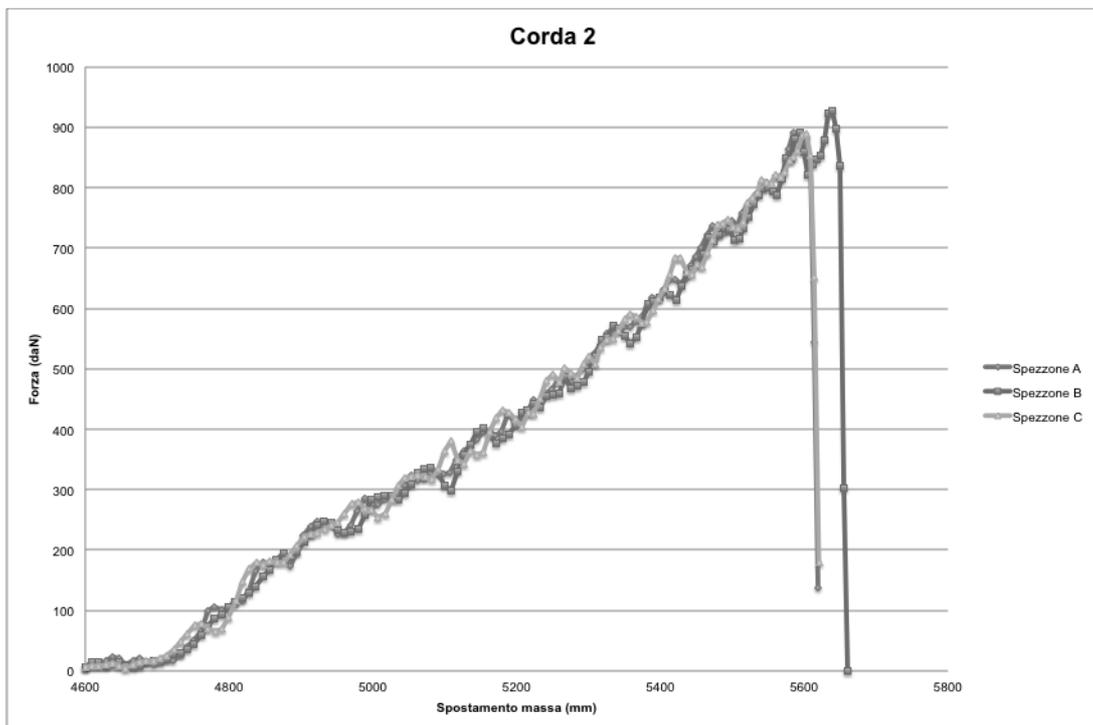


Fig. 42

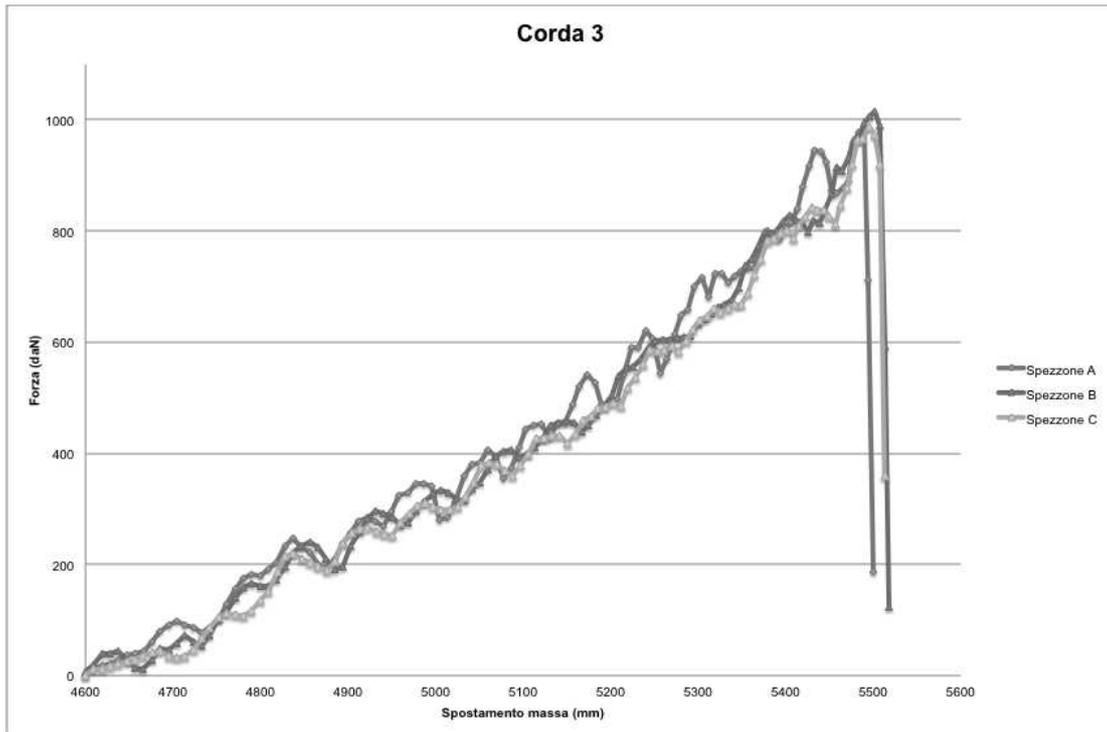


Fig. 43

In figura 44 è riportato un grafico della forza in funzione dello spostamento che permette di confrontare gli spezzoni più significativi dei tre tipi corde.

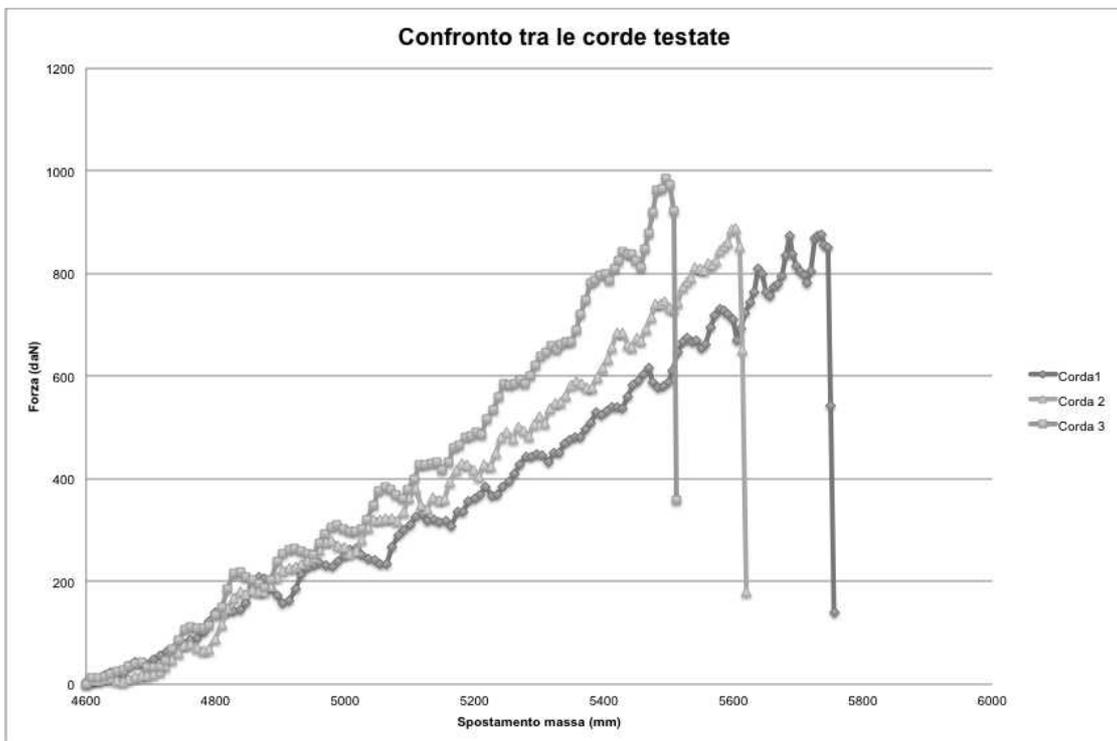


Fig. 44

Confrontando i valori massimi di forza registrati si ottengono informazioni qualitativamente concordanti con quelle della forza d'impatto alla prova al Dodero di normativa (vedi Cap.4.1).

La Corda 1 ha forza d'impatto minore della Corda 2 che ha sua volta ha forza d'impatto minore della Corda 3 sia per quanto riguarda le prove di normativa sia per quanto riguarda le prove al Very Sharp Dodero.

I valori di deformazione vanno in modo inversamente proporzionale rispetto alla forza sia nella prova Very Sharp Dodero sia in quella standard al Dodero.

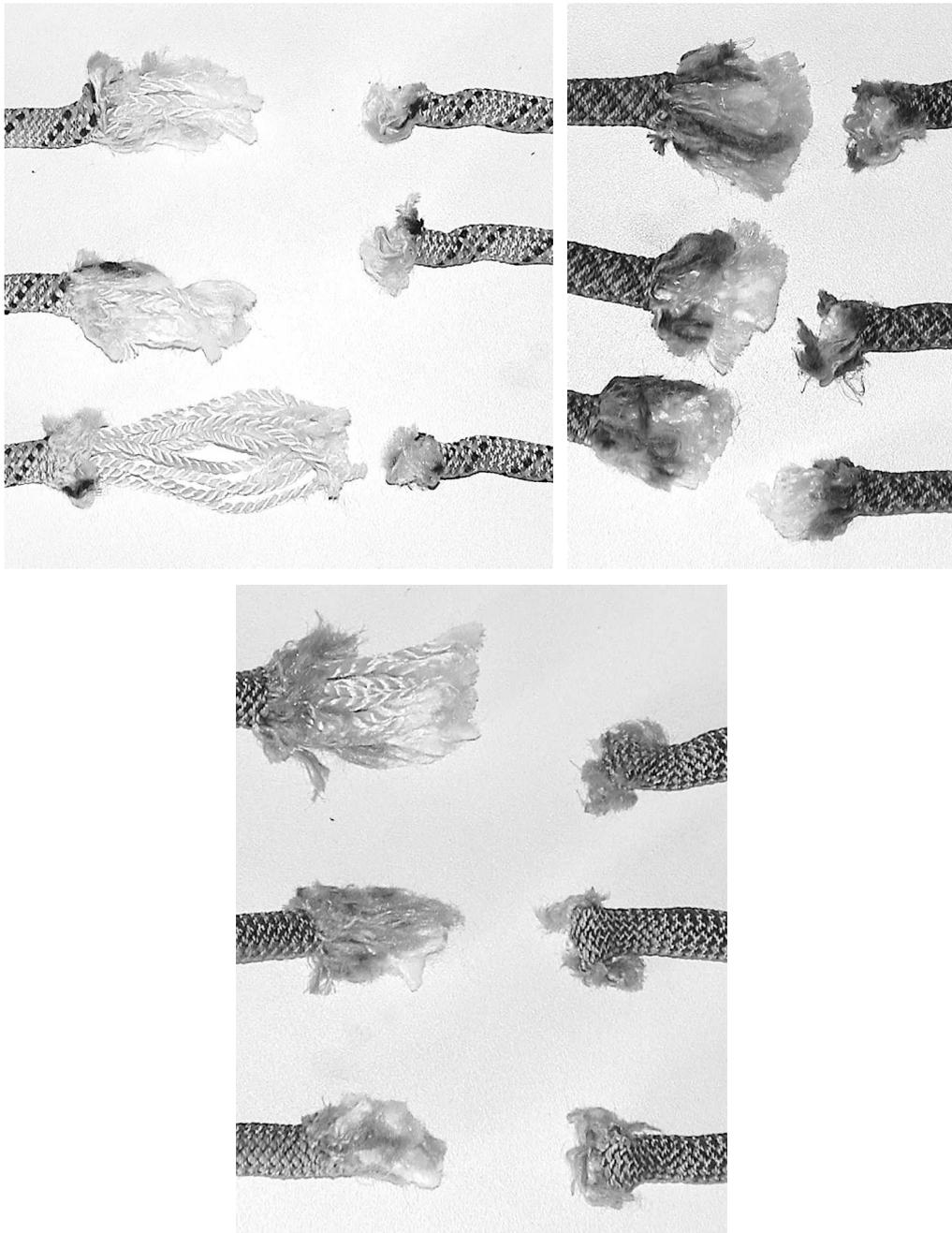


Fig. 45: Corda 1 (in alto a sx), Corda 2 (in alto dx), Corda 3 (in basso)

4.2.2 Forza massima, deformazione a rottura, energia assorbita

I valori in tabella sono stati calcolati come descritto nel Cap.3.2.2 .

F=Forza massima

D_{rupt} =Deformazione a rottura

E_{tot} =Energia totale assorbita

E_{spec} =Energia specifica assorbita

Q=Percentuale di energia assorbita rispetto all' energia totale in gioco

L' energia totale in gioco è pari a $2mgL_{corda}=4512$ J.

Tabella 3

Corda 1	Spezzone A	Spezzone B	Spezzone C	Media	Dev.S.
F (daN)	876.839	849.331	843.915	856.70	17.65
D_{rupt} (%)	50.2%	50.3%	48.1%	49.5%	1.2%
E_{tot} (J)	4353.63	3919.69	3949.47	4074.26	242.40
E_{spec} (J/m)	1892.88	1704.21	1717.16	1771.42	105.39
Q (%)	98.6%	88.8%	89.4%	92.3%	5.93

Tabella 4

Corda 2	Spezzone A	Spezzone B	Spezzone C	Media	Dev.S.
F (daN)	891.036	926.882	889.025	902.31	21.3
D_{rupt} (%)	44.3%	46.1%	44.4%	44.9%	1.0%
E_{tot} (J)	3765.90	4065.79	3850.03	3893.90	154.68
E_{spec} (J/m)	1637.35	1767.73	1673.93	1693.00	67.25
Q (%)	85.3%	92.1%	87.2%	88.2%	3.5%

Tabella 5

Corda 3	Spezzone A	Spezzone B	Spezzone C	Media	Dev.S.
F (daN)	983.063	1015.582	986.388	995.011	17.892
D_{rupt} (%)	39.2%	39.9%	39.7%	39.6%	0.4%
E_{tot} (J)	3652.96	3755.08	3606.11	3671.38	76.18
E_{spec} (J/m)	1588.24	1632.64	1567.87	1596.25	33.12
Q (%)	82.7%	85.0%	81.7%	83.1%	1.7%

Qui sotto sono riportati gli istogrammi della forza massima, dell' energia specifica assorbita e della deformazione a rottura per i tre spezzoni di ogni corda.

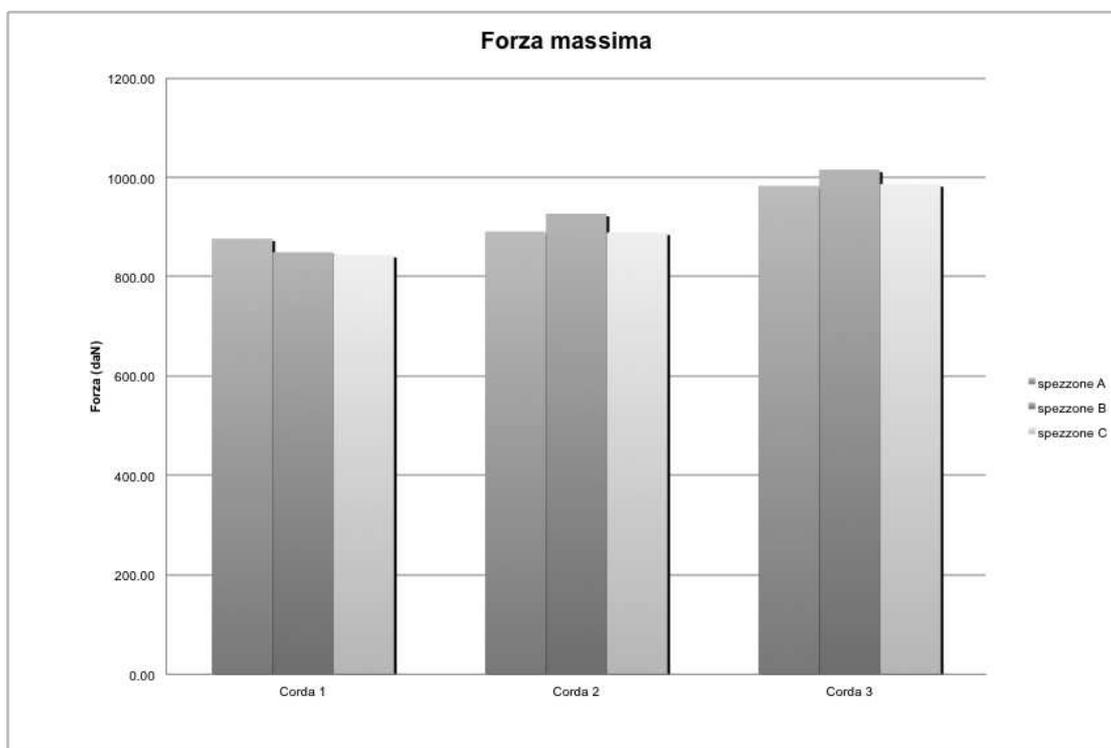


Fig. 46

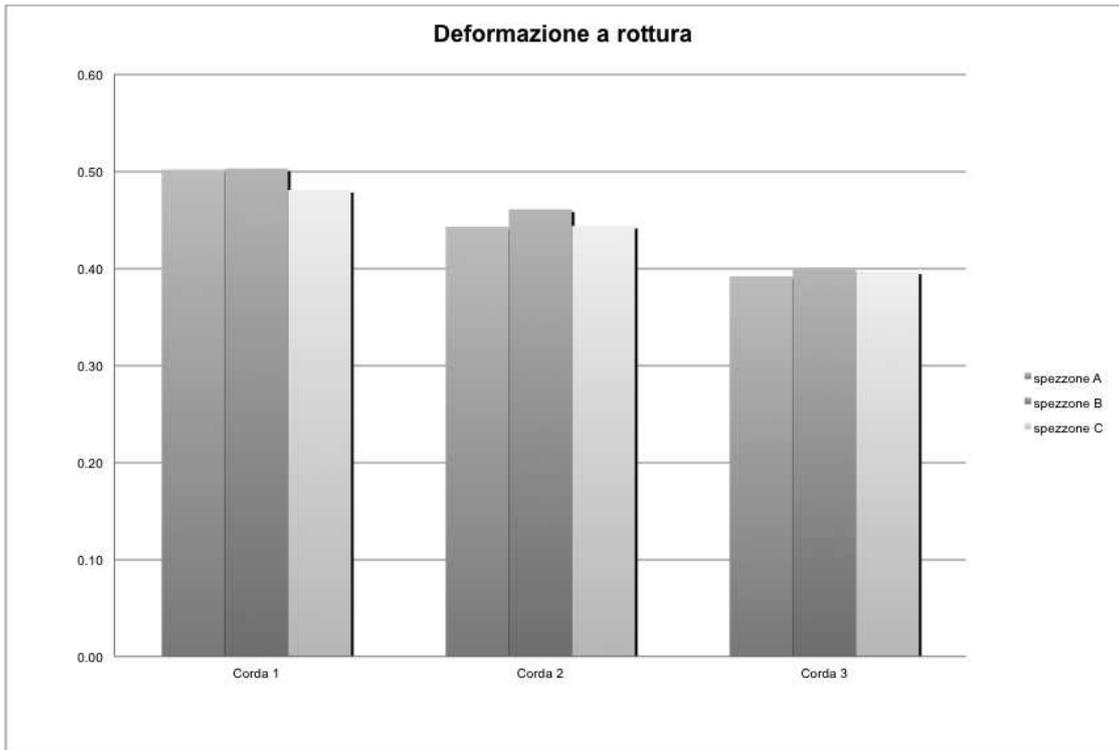


Fig. 47

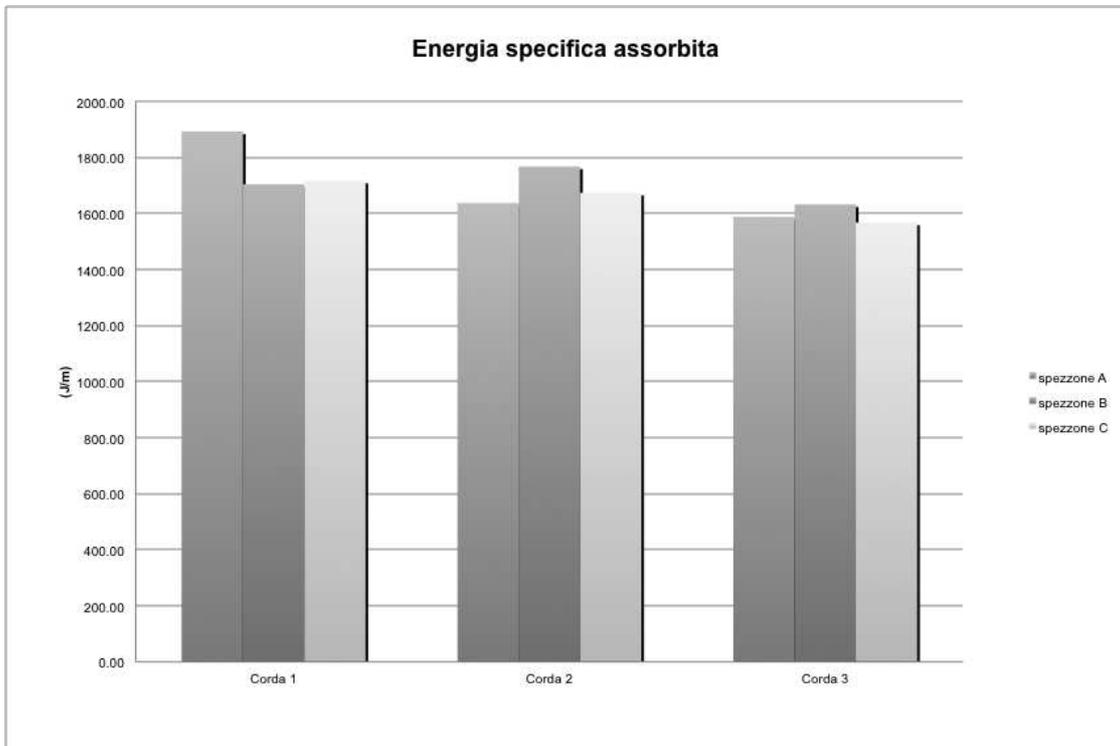


Fig. 48

Qui sotto sono riportati gli istogrammi dei valori medi della forza massima, dell'energia specifica assorbita e della deformazione a rottura per i tre spezzoni di ogni corda. Inoltre è indicato il valore della deviazione standard.

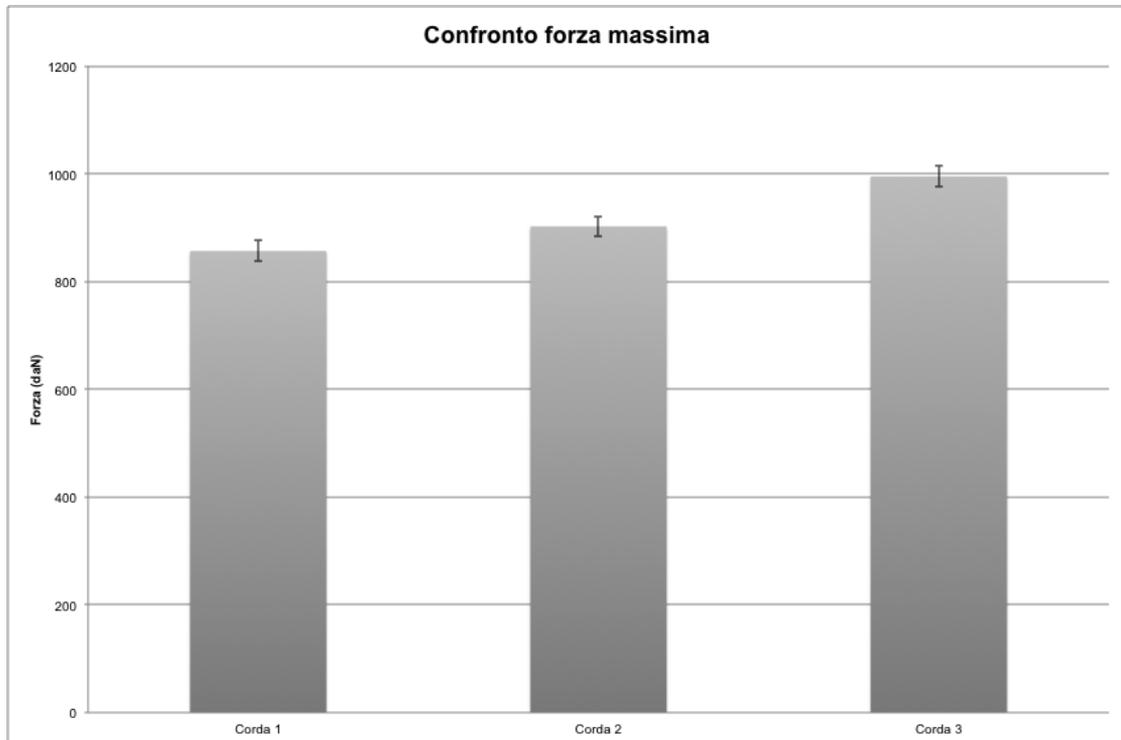


Fig. 49

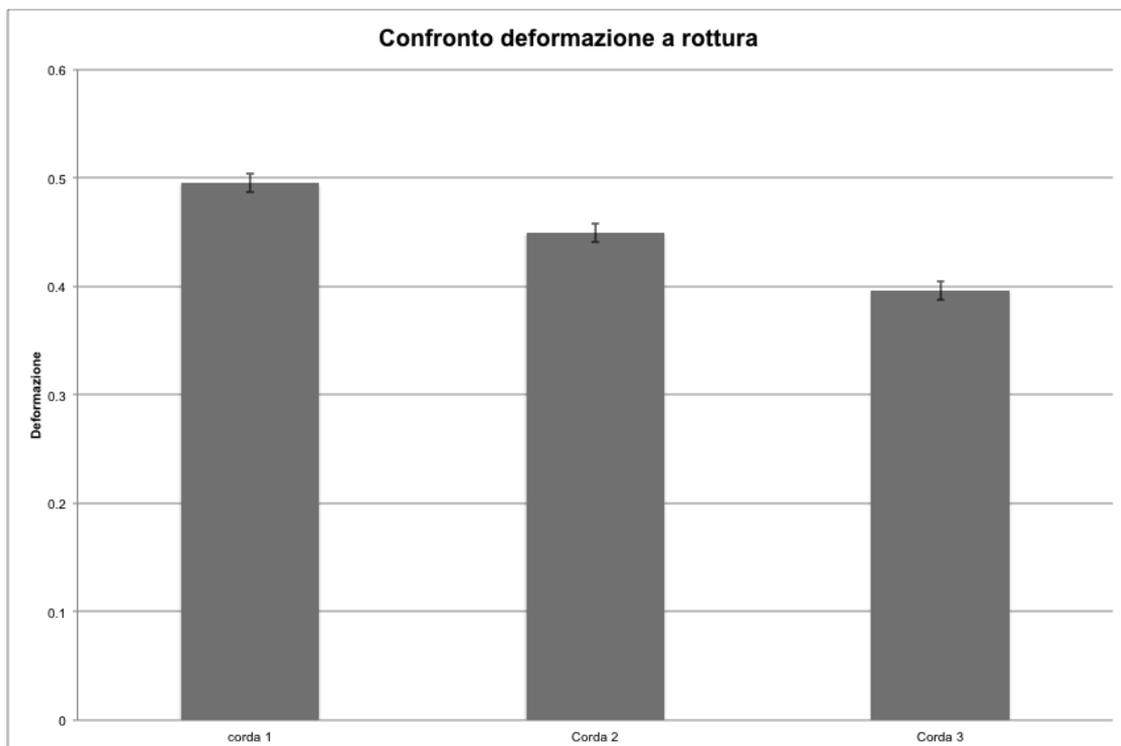


Fig. 50

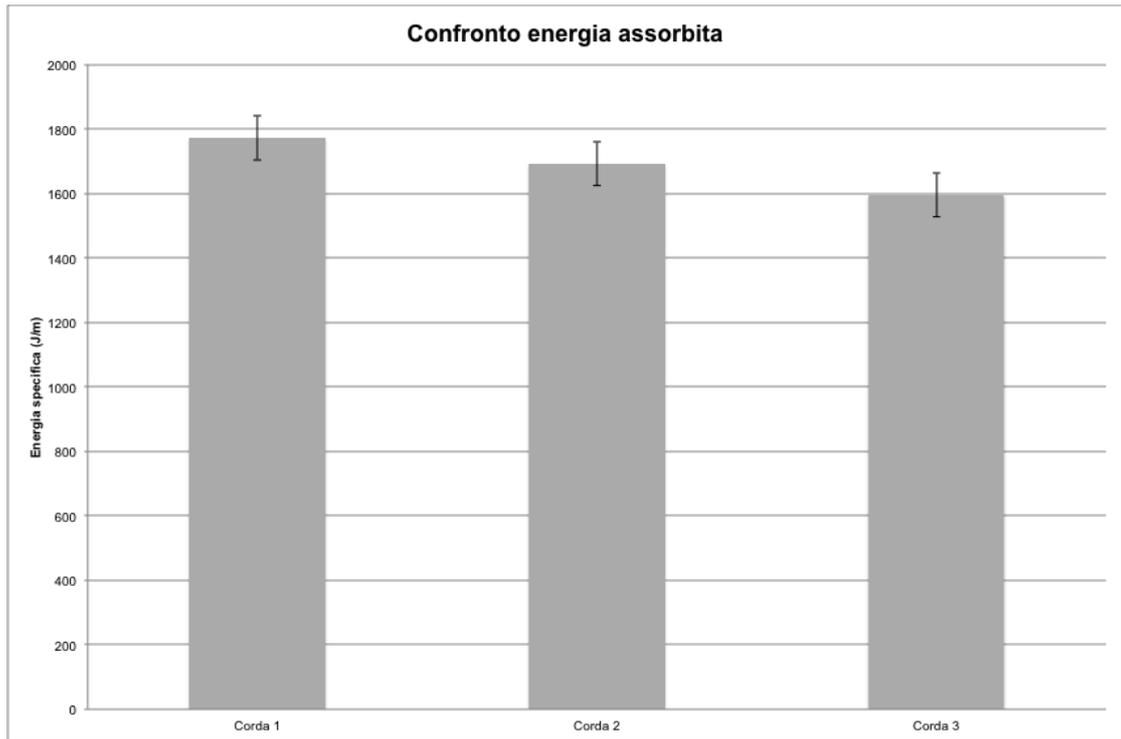


Fig. 51

4.3 Risultati prove Statiche con Sharp Edge (SSE)

4.3.1 Dati sperimentali

Temperatura ed umidità sono due parametri che influenzano in modo sensibile le proprietà delle corde quindi durante ogni test è stata misurata la temperatura e l'umidità relativa.

Tabella 6

Corda 1	Temperatura	Umidità (RH%)
Spezzone A	32.0°	37.4
Spezzone B	32.1°	37.8
Spezzone C	32.3°	37.7

Corda 2	Temperatura	Umidità (RH%)
Spezzone A	32.3°	38.0
Spezzone B	32.4°	38.8
Spezzone C	32.6°	37.2

Corda 3	Temperatura	Umidità (RH%)
Spezzone A	32.8°	36.9
Spezzone B	32.8°	36.2
Spezzone C	33.0°	35.4

Come si può vedere dalla tabella la temperatura e umidità dell' ambiente dove si sono tenute le prove sono restate uniformi per tutta la durata delle prove in quanto sono state eseguite dalle 9:00 alle 13:00 dello stesso giorno.

Nella seguente tabella sono calcolate le deformazioni dell' anello con il metodo spiegato nel Cap.3.3.1

Tabella 7

Corda 1	Spezzone A	Spezzone B	Spezzone C
D_i	495 mm	460 mm	460 mm
D_{tens}	495 mm	484 mm	471 mm
D_{rupt}	736.6 mm	723.7 mm	696.3 mm
ΔD	241.6 mm	239.7 mm	225.3 mm
L_{tens}	770 mm	748 mm	722 mm
L_{rupt}	1253 mm	1227 mm	1172 mm

Tabella 8

Corda 2	Spezzone A	Spezzone B	Spezzone C
D_i	460 mm	460 mm	460 mm
D_{tens}	474 mm	465 mm	465 mm
D_{rupt}	689.9 mm	678.9 mm	675.4 mm
ΔD	215.9 mm	213.9 mm	210.4 mm
L_{tens}	728 mm	710 mm	710 mm
L_{rupt}	1159.8 mm	1137.8 mm	1130.8 mm

Tabella 9

Corda 3	Spezzone A	Spezzone B	Spezzone C
D_i	460 mm	460 mm	460 mm
D_{tens}	473 mm	463 mm	470 mm
D_{rupt}	643.2 mm	630.9 mm	643.7 mm
ΔD	170.2 mm	167.9 mm	173.7 mm
L_{tens}	726 mm	706 mm	720 mm
L_{rupt}	1066.4 mm	1041.8 mm	1067.4 mm

Con:

D_i =Distanza ad inizio prova tra i due marker

D_{tens} =Distanza tra i marker nell' istante in cui la corda è "leggermente tensionata"

D_{rupt} =Distanza tra i marker nell' istante in cui la corda si rompe

ΔD =Variazione di distanza tra i marker tra inizio tensionamento e rottura della corda

L_{tens} =Lunghezza anello di corda "leggermente tensionata"

L_{rupt} =Lunghezza a rottura anello di corda.

Nelle figure 52, 53, 54 sono riportati i grafici della forza registrata dalla cella di carico in funzione della distanza tra i due marker. Dato che il marker posizionato sullo Sharp Edge è fisso, questo spostamento equivale alla posizione del marker sulla testa/rocchetto mossa dal motore elettrico. Sono rappresentati i risultati dall' istante t_{tens} a qualche istante successivo al t_{rupt} .

E' stato fatto per ogni tipo di corda un unico grafico che rappresenta il risultato dei test sui tre spezzoni .

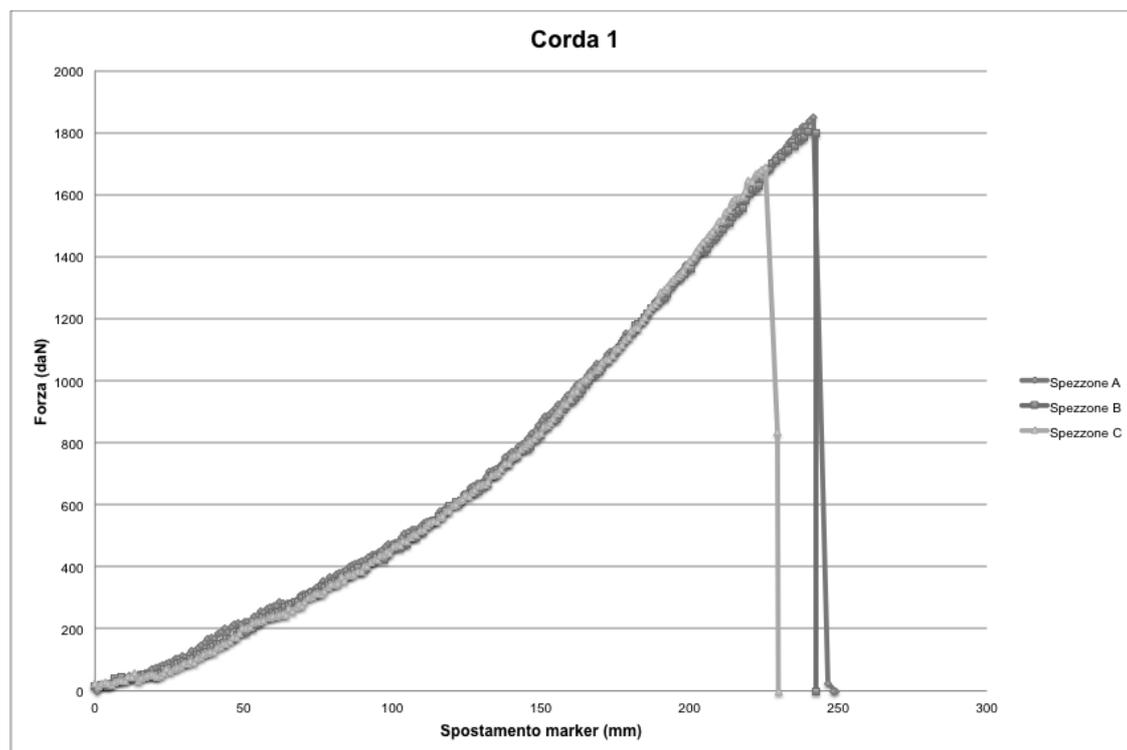


Fig. 52

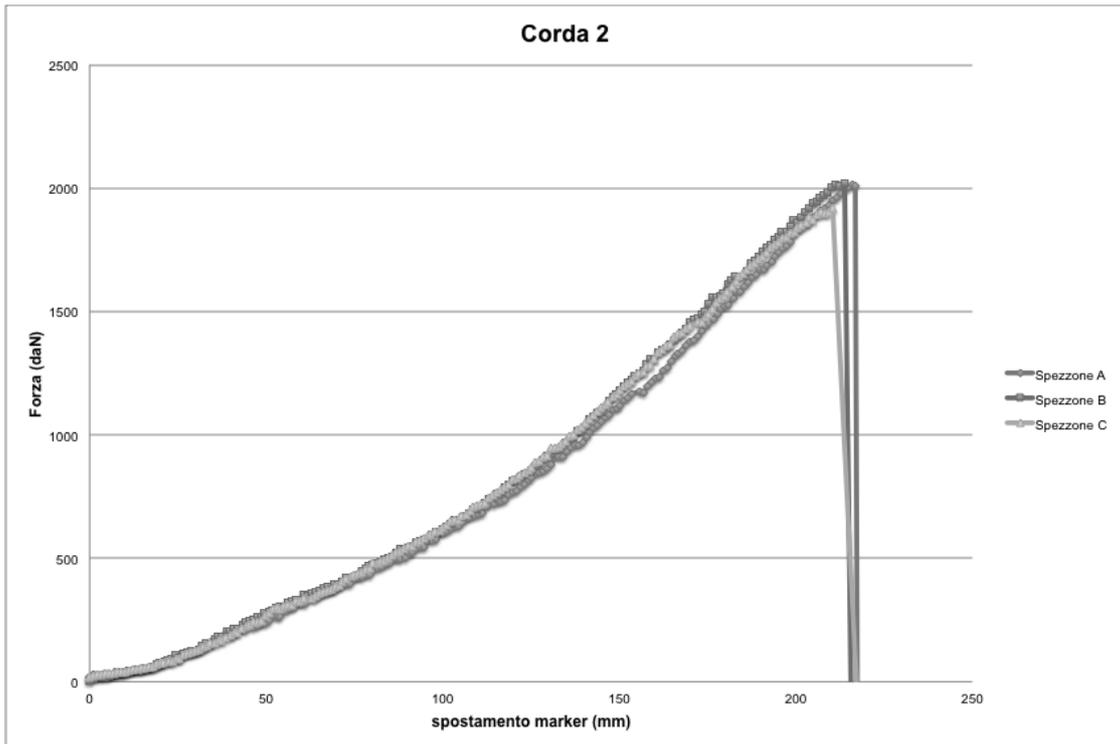


Fig. 53

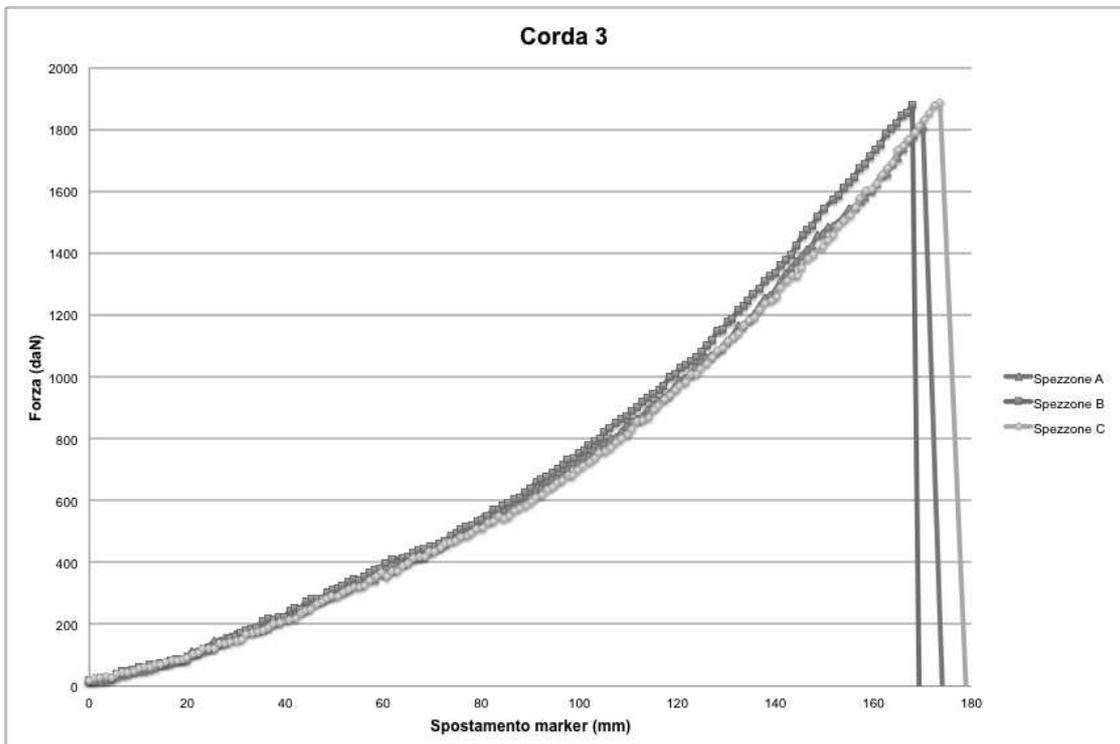


Fig. 54

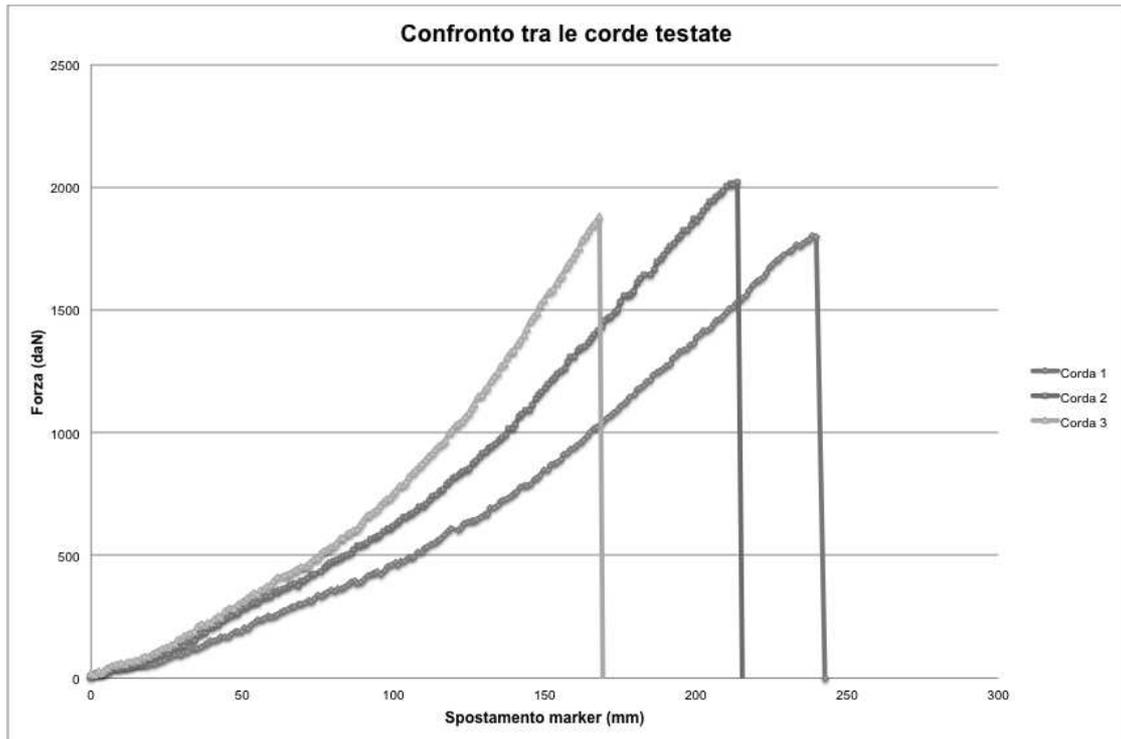


Fig.55

Si può subito notare che la Corda 2 si rompe con una forza maggiore della Corda 3 diversamente da quanto accade nelle prove dinamiche. La Corda 3 sembra tagliarsi con più facilità in questa prova statica. La Corda 1 sembra sempre comportarsi bene poiché si deforma di più delle contendenti.

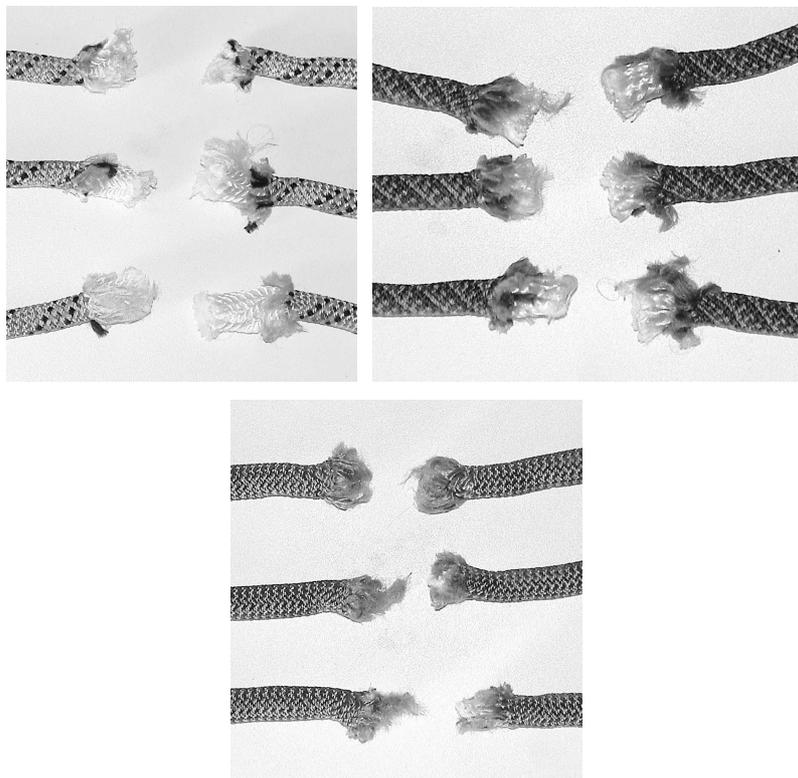


Fig. 56 Corda 1 (in alto a sx), Corda2 (in alto a dx), Corda 3 (in basso)

4.3.2 Forza massima, deformazione massima, energia assorbita

I valori in tabella sono stati calcolati come descritto nel Cap.3.3.1

F=Forza massima

D_{rupt} =Deformazione a rottura

E_{tot} =Energia totale assorbita

E_{spec} =Energia specifica assorbita

Tabella 10

Corda 1	Spezzone A	Spezzone B	Spezzone C	Media	Dev.S.
F (daN)	925.293	900.879	844.726	890.299	41.312
D_{rupt} (%)	62.8%	64.1%	62.4%	63.1%	0.9%
E_{tot} (J)	1774.96	1752.30	1509.46	1678.91	147.18
E_{spec} (J/m)	2305.14	2342.25	2090.66	2246.02	135.82

Tabella 11

Corda 2	Spezzone A	Spezzone B	Spezzone C	Media	Dev.S.
F (daN)	1008.301	1010.742	959.472	992.838	28.922
D_{rupt} (%)	59.3%	60.2%	59.3%	59.6%	0.5%
E_{tot} (J)	1731.77	1749.27	1666.12	1715.72	43.84
E_{spec} (J/m)	2378.81	2463.76	2346.65	2396.40	60.51

Tabella 12

Corda 3	Spezzone A	Spezzone B	Spezzone C	Media	Dev.S.
F (daN)	905.762	939.942	944.824	930.176	21.284
D_{rupt} (%)	46.9%	47.6%	48.2%	47.6%	0.7%
E_{tot} (J)	1178.48	1189.31	1221.71	1196.50	22.49
E_{spec} (J/m)	1623.25	1684.58	1696.82	1668.22	39.42

Nelle figure 57, 58, 59 sono riportati gli istogrammi della forza massima, dell' energia specifica assorbita e della deformazione a rottura per i tre spezzoni di ogni corda.

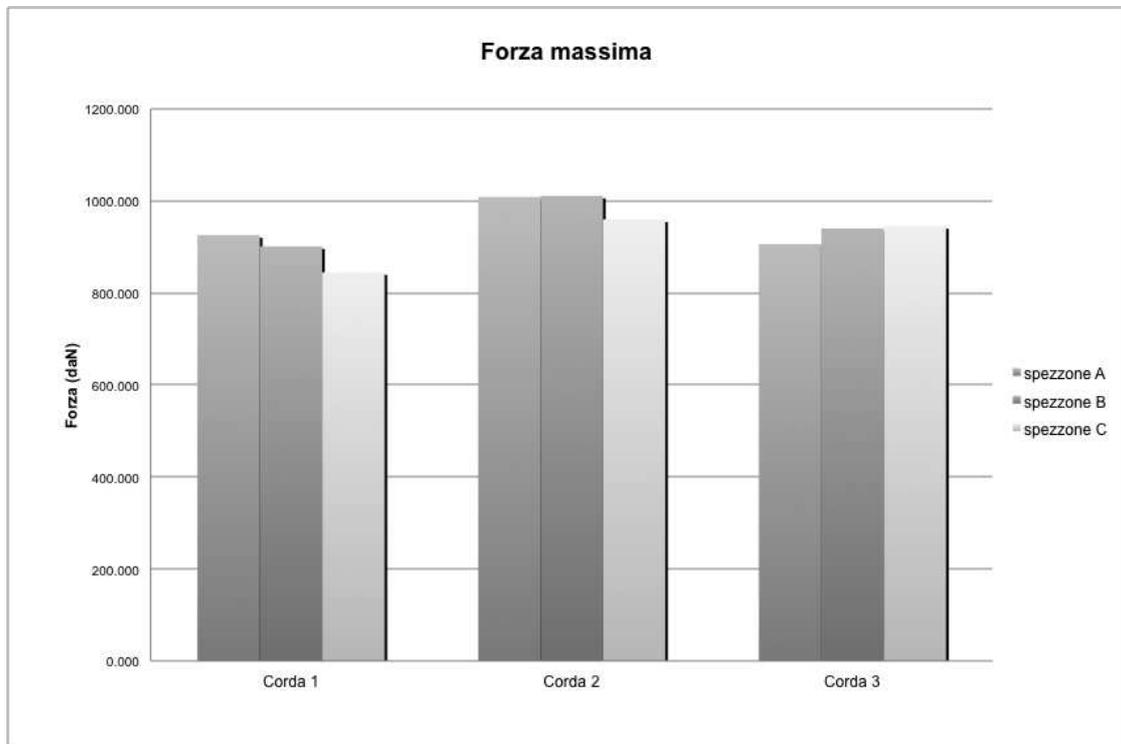


Fig. 57

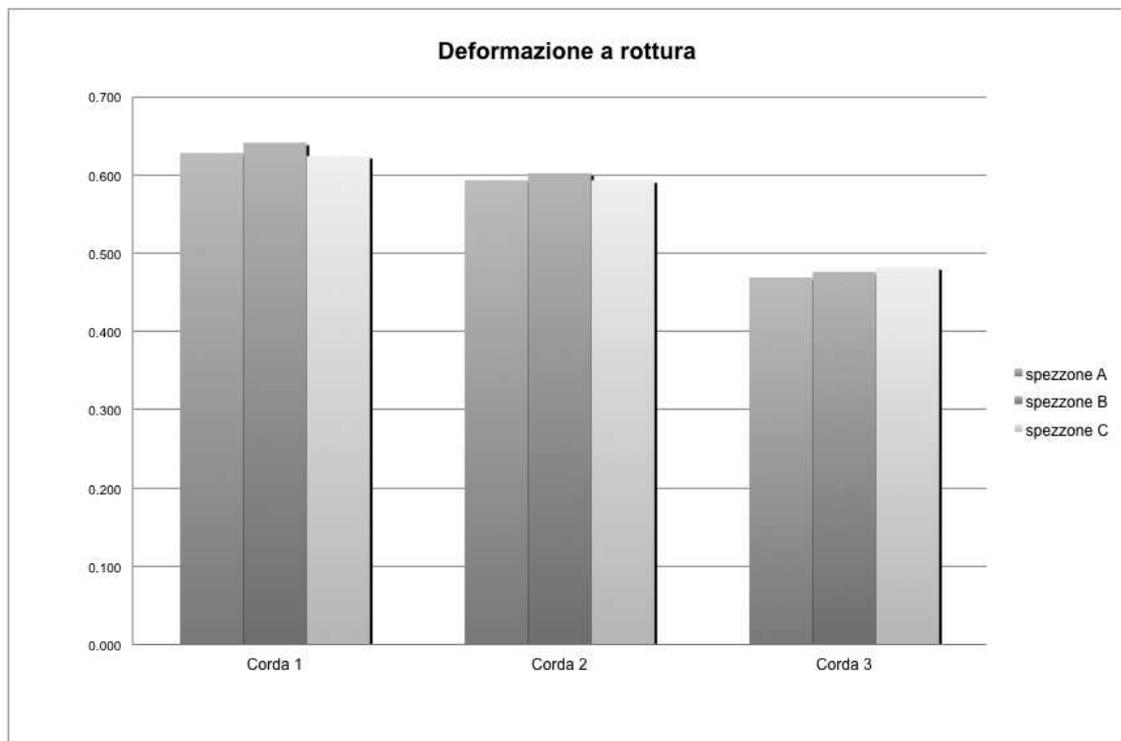


Fig. 58

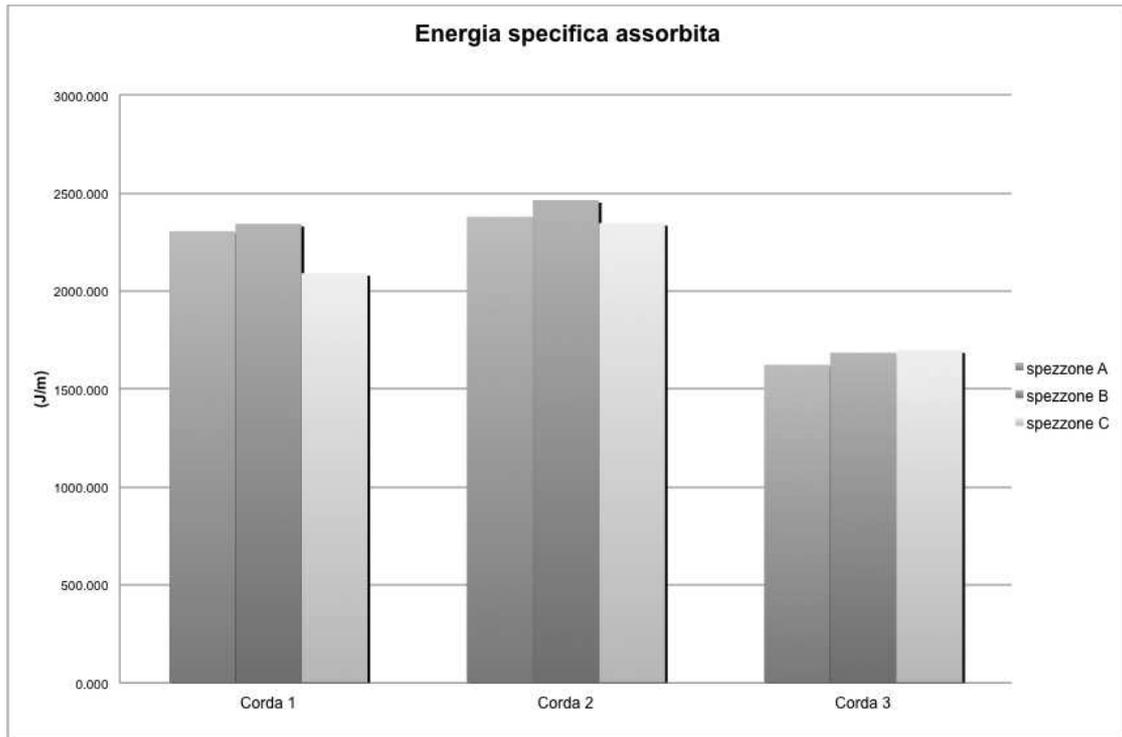


Fig. 59

Nelle figure 60, 61, 62 sono riportati gli istogrammi dei valori medi della forza massima, dell' energia specifica assorbita e della deformazione a rottura per i tre spezzoni di ogni corda. Inoltre è indicato il valore della deviazione standard.

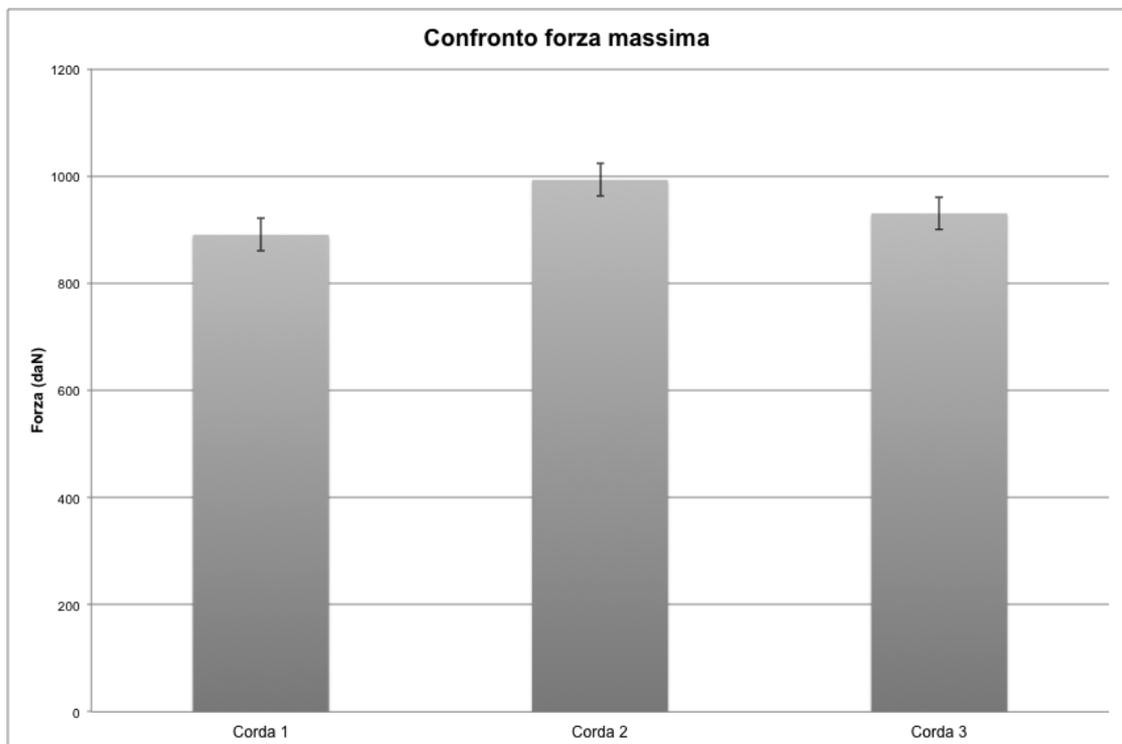


Fig. 60

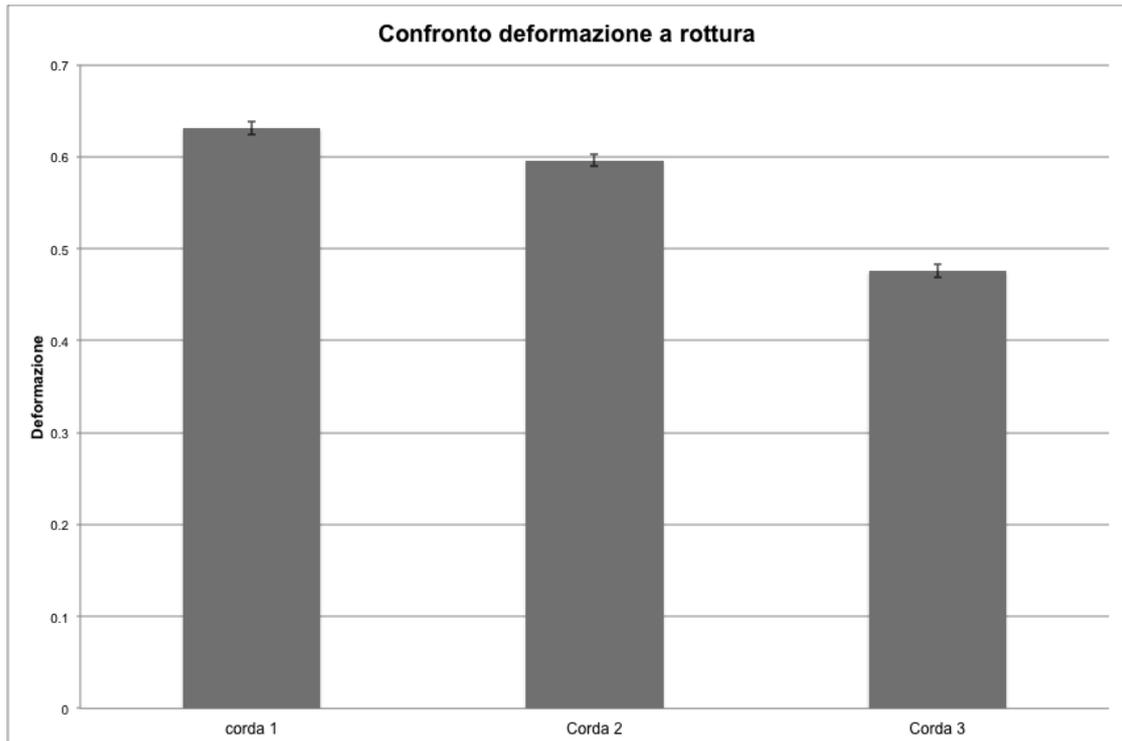


Fig. 61

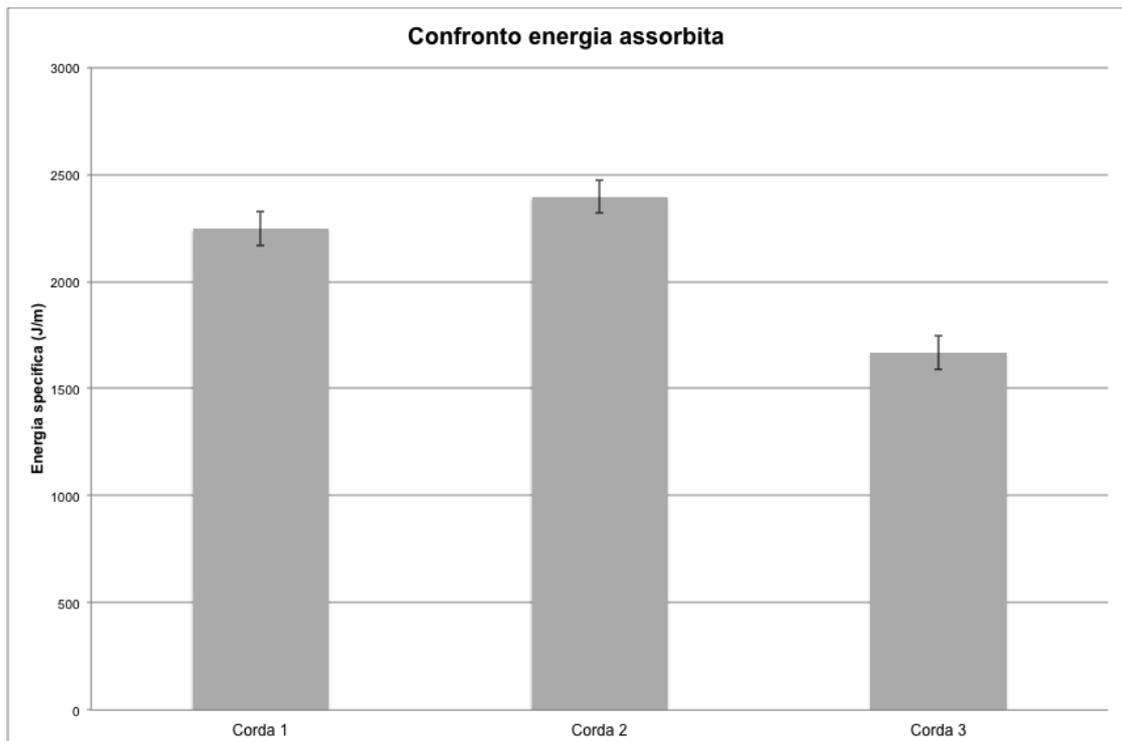


Fig. 62

4.4 Confronto prove statiche con prove dinamiche

Sono stati calcolati, per poter fare un ragionevole confronto, i valori medi di forza e di deformazione a rottura dei tre spezzoni di ogni corda.

Inoltre nella tabella si possono leggere anche i valori di deviazione standard.

4.4.1 Confronto forza massima

Tabella 13

Forza massima (daN)	Corda 1	Corda 2	Corda 3
Prova SSE	890.3	992.8	930.2
Dev. s. SSE	41.3	28.9	21.3
Prova VSD	856.7	902.3	995.0
Dev. s.VSD	17.6	21.3	17.9

I valori di forza massima non sono molto diversi tra prove statiche e dinamiche ma come si può notare non mantengono lo stesso andamento.

La deviazione standard è un pò più alta nelle prove statiche rispetto a quelle dinamiche.

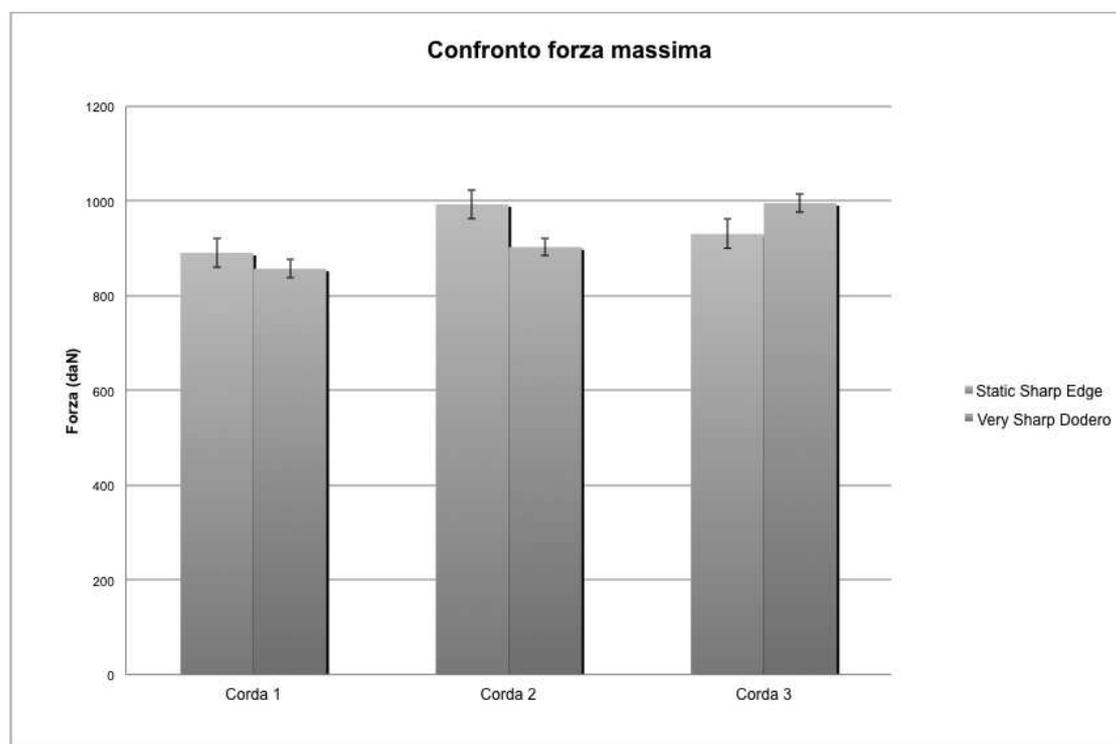


Fig. 63

Calcolo ora i rapporti tra forza massima nella prova SSE e VSD.

Tabella 14

Rapporti F_{\max}	Corda 1	Corda 2	Corda 3
$R_{F_{\max}} \text{ SSD/VSD}$	1.039	1.100	0.935

4.4.2 Confronto deformazione a rottura

Tabella 15

Deformazione a rottura (per unità)	Corda 1	Corda 2	Corda 3
Prova SSE	0.631	0.596	0.476
Dev. s. SSE	0.0089	0.0052	0.0065
Prova VSD	0.495	0.449	0.396
Dev. s.VSD	0.0124	0.0101	0.0036

Le deformazioni nelle prove statiche sono giustamente molto più grandi che nelle prove al Very Sharp Dodero. La motivazione è semplice: il Nylon e simili materiali polimerici hanno un comportamento visco-elastico. La prova al Very Sharp Dodero dura 0.12-0.14 s, mentre la prova Statica con Sharp Edge dura 8-9 s tra l'istante in cui la corda entra in tensione e l'istante in cui si rompe. Le deviazioni standard hanno valori molto bassi quindi i risultati sono piuttosto precisi. Un altro buon risultato è che le deformazioni hanno proprio lo stesso andamento nei due tipi di prova.

Calcolo ora i rapporti tra i valori di deformazione nella prova SSE e nella VSD.

Tabella 15

Rapporti D_{rupt}	Corda 1	Corda 2	Corda 3
$R_{D_{\text{rupt}}} \text{ SSD/VSD}$	1.274	1.326	1.201

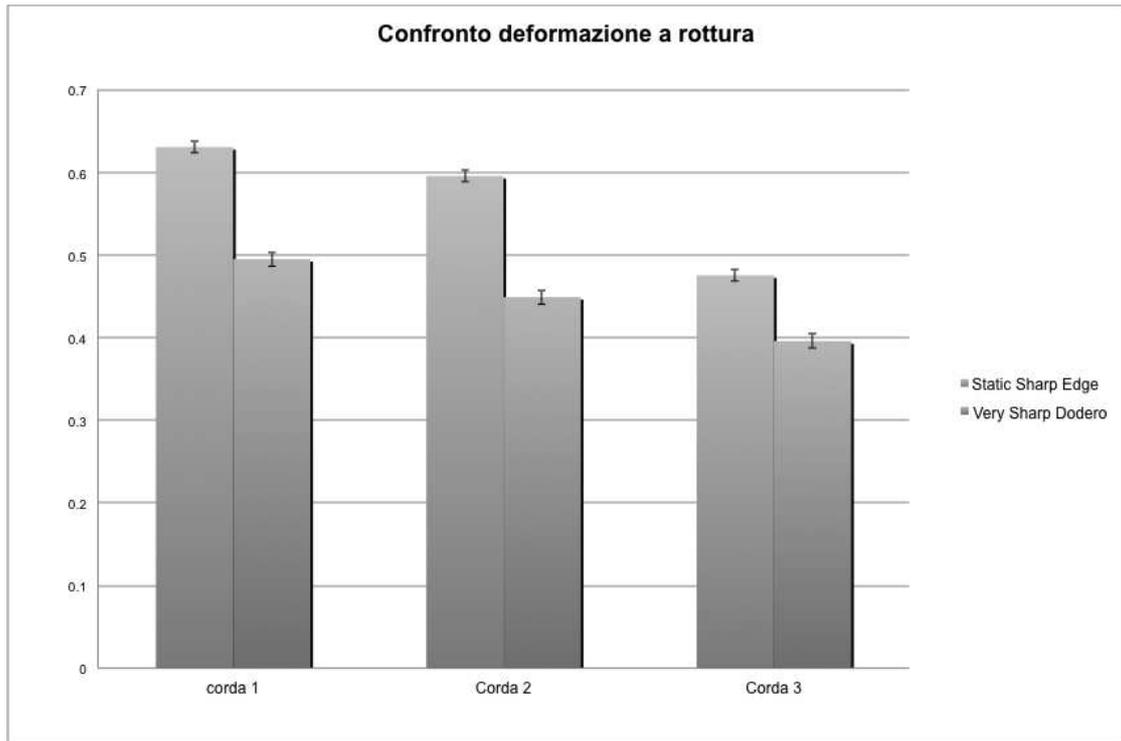


Fig. 64

4.4.3 Confronto energie assorbite

Tabella 16

Energia specifica assorbita (J/m)	Corda 1	Corda 2	Corda 3
Prova SSE	2246.02	2396.40	1668.22
Dev. s. SSE	135.82	60.51	39.42
Prova VSD	1771.42	1693.00	1596.25
Dev. s.VSD	105.39	67.25	33.12

Per la Corda 1 e la Corda 3 l'andamento dell' energia assorbita nelle due prove è lo stesso. La Corda 2 assorbe una quantità maggiore di energia rispetto alla Corda 1 nella prova statica sebbene quest'ultima sembri leggermente migliore nella prova dinamica.

Calcolo ora i rapporti tra l' Energia assorbita nella prova SSE e nella VSD.

Tabella 16

Rapporti E_{spec}	Corda 1	Corda 2	Corda 3
$R_{Espec SSD/VSD}$	1.268	1.415	1.045

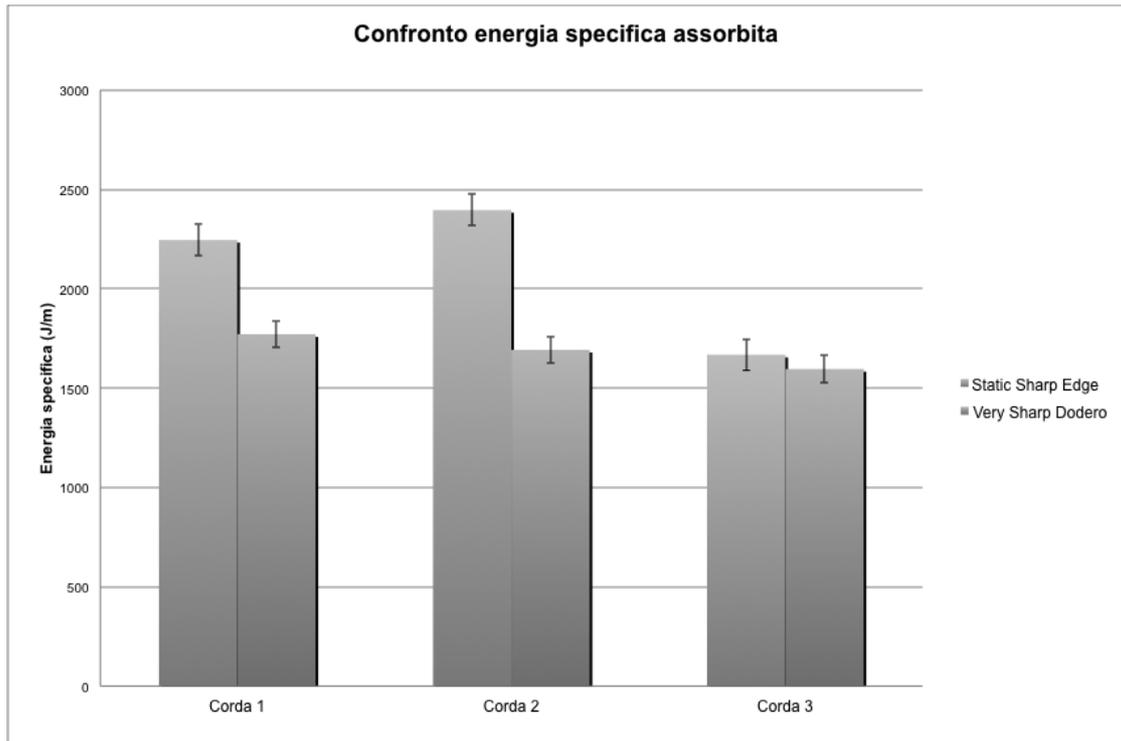


Fig. 65

Il numero di cadute tenute dalla corda 1 e 2 nella prova al Dodero standard è lo stesso mentre la corda 3 ne tiene due in meno.

Questo dato si riflette sia sulle prove al Very Sharp Dodero sia su quelle Statiche con Sharp Edge.

Ma questo fatto è molto meno evidente nella prova con Very Sharp Dodero.

5 Conclusioni

5.1 Discussione dei risultati

L'obbiettivo di questa tesi è quello di confrontare delle prove statiche e dinamiche su spigolo di corde da arrampicata. Sono state eseguite, a questo scopo, due tipi di prove : Very Sharp Dodero e Static Sharp Edge.

Il problema reale da cui si è partiti è il seguente: le corde si rompono su spigolo "abbastanza facilmente" e non esiste una normativa che tuteli l'arrampicatore dall'acquisto di corde che si possono rompere un po' "troppo facilmente" su spigolo.

Dato la commissione di sicurezza della UIAA sta discutendo una prova, chiamata Very Sharp Dodero, si è pensato confrontare questa con una prova statica. Questa prova statica è stata chiamata Static Sharp Edge.

La motivazione per cui è stata scelta una prova statica è la seguente: una prova statica è più semplice di una prova dinamica sia per l'attrezzatura utilizzata sia per i sistemi di acquisizione (la frequenza di campionamento necessaria è più bassa). In teoria una prova statica dovrebbe essere anche più facilmente ripetibile in diversi laboratori con diverse attrezzature.

5.1.1 La geometria dello Sharp Edge nella due prove

Si discute molto sulla geometria che è giusto debba possedere lo Sharp Edge per simulare bene uno spigolo di roccia. Dai risultati di queste prove si può dire che le differenze tra le corde sono sensibili sia nelle prove al VSD sia nelle SSE. Se si utilizzasse uno spigolo più tagliente ci sarebbe il rischio di non poter più riuscire a confrontare le corde.

Dire che lo Sharp Edge simuli uno spigolo di roccia non è assolutamente vero, però, se una prova su spigolo è necessaria, e lo è innegabilmente, lo Sharp Edge è il miglior strumento per effettuarla.

5.1.2 Limitazioni del confronto

a) Limitazioni sulle corde

Le corde non sono state condizionate e pretensionate ma sono state tenute nello stesso ambiente alla stessa temperatura ed umidità per anni. Sono state utilizzate solo tre corde per un totale di nove spezzoni per tipologia di prova. In totale sono state fatte solo 18 prove: 9 al Very Sharp Dodero e 9 al Static Sharp Edge.

b) Limitazioni al Very Sharp Dodero

La misura della posizione della massa è registrata dal software in ritardo rispetto ai dati di forza questo ha reso necessario l' utilizzo dei dati di forza per calcolare gli spostamenti provocando sicuramente un' incertezza maggiore sui valori di energia assorbita.

c) Limitazioni nella prova Static Sharp Edge

E' stata eseguita su un anello di corda e non su un singolo ramo di corda come nel dodero. Il calcolo della lunghezza reale dell'anello di corda è molto approssimata e non si tiene conto della presenza dei morsetti per chiudere l'anello. Gli anelli di corda con cui è stata effettuata la prova sono piccoli (70cm) per questioni pratiche di preparazione della prova. Le misure di spostamento possono essere fatte con precisione molto più alta senza utilizzare una telecamera ed i marker.

5.2 Si può sostituire ad una prova dinamica una prova statica?

Dai dati ottenuti si può dire che tra le misure di deformazione ottenute nelle prove al Very Sharp Dodero e in quelle allo Static Sharp Edge sono proporzionali. Il rapporto tra deformazioni percentuali statiche e dinamiche è sempre circa pari ad 1.2 . I valori di forza registrati non rivelano grande proporzionalità soprattutto per quanto riguarda la corda 2. Anche i valori di energia specifica assorbita nelle varie prove non hanno un legame evidente.

Per questo motivo e per le limitazioni di cui si è parlato nel paragrafo 5.1.2 sarebbero necessarie prove su un campione di corde condizionate più ampio, eventualmente confrontando i risultati ottenuti in diversi laboratori.

Se poi vogliamo confrontare i risultati ottenuti con le proprietà di queste corde per la EN-892 allora si può dire che la prova statica ha dato risultati, in termini di energia specifica assorbita, coerenti con il numero di cadute ottenuto nella prova al Dodero standard.

La Corda 1 tiene 9-10 cadute al Dodero standard ed ha assorbito nella prova statica 2246.02 J/m.

La Corda 2 tiene 10 cadute al Dodero standard ed ha assorbito nella prova statica 2396.40 J/m.

La Corda 3 tiene 8 cadute al Dodero standard ed ha assorbito nella prova statica 1668.22 J/m.

Invece nella prova Very Sharp Dodero la corda 3 è quella che assorbe la maggior energia specifica.

5.3 Confronto prove utilizzate con quelle di normativa

5.3.1 Prova Dodero standard (Normativa EN-892): pro e contro

-pro

- è utilizzata per testare corde dagli anni 50'.
- simula una situazione realistica limite in cui la corda lavora su moschettoni.
- fornisce un valore di forza d'impatto massimo abbastanza preciso.

-contro

- il numero di cadute non permette di confrontare facilmente ed in modo scientifico corde diverse per capire quale abbia proprietà migliori e quale abbia durata maggiore.
- non si ottengono valori di energia assorbita.
- non dà nessuna informazione sulla qualità della corda su uno spigolo.
- è una prova che richiede molto tempo per i tempi che intercorrono necessariamente tra una caduta della massa e quella successiva (circa 10min).

5.3.2 Prova Very Sharp Dodero (VSD): pro e contro

-pro

- assomiglia ad una situazione reale di caduta del primo di cordata con fattore di caduta pari a 2 e con la corda che passa sopra uno spigolo.
- si può ottenere un valore di forza d' impatto/rottura.
- si ottiene un valore di energia assorbita dalla corda.
- è una prova più breve in quanto la corda si deve rompere alla prima caduta della massa.

-contro

- non si è riusciti ancora ad ottenere risultati sufficientemente simili in laboratori diversi.
- gli strumenti per le misure devono essere molto precisi e le frequenze di campionamento alte per ottenere un valore preciso di energia assorbita dalla corda.
- alcune corde molto buone non si riescono a rompere alla prima caduta della massa e ciò rende inutilizzabile la prova.

5.3.3 Prova Statica con Sharp Edge (SSE): pro e contro

-pro

- prova rapida per i tempi di esecuzione
- porta inevitabilmente a rottura la corda.
- maggiore precisione nella misurazione dell' energia assorbita poiché la registrazione dei dati è effettuata in tempi più lunghi.
- prova semplice per gli strumenti utilizzati anche se la macchina a trazione deve avere grandi escursioni.

-contro

- non fornisce valori di forza d' impatto ma un valore di forza a rottura.
- è una prova lontana dalla realtà di utilizzo della corda.
- occorre necessariamente poter misurare gli spostamenti simultaneamente al valore di forza.
- nei risultati ottenuti i valori di deviazione standard sono più alti di quelli ottenuti nelle prove VSD.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Schubert P., Le corde si possono rompere? 1.parte, Le Alpi Venete, febbraio 2000
- [2] Schubert P., Le corde si possono rompere? 2.parte, Le Alpi Venete, febbraio 2001
- [3] Melchiorri C., Casavola P., Zanantoni C., Nuove attrezzature per studi sulle corde dinamiche, La Rivista del CAI, luglio-agosto 2003
- [4] Melchiorri C.,Zanantoni C., Casavola P., L'apparecchio Dodero: Passato presente e futuro, la Rivista del Club Alpino Italiano, luglio-agosto 2001, pp. 88-94.
- [5] Signoretti G., Corde e Dintorni, CCMT CAI, Rivista della Montagna, marzo 2002, pg.110.
- [6] Zanantoni C., Corde e Dodero, CSMT CAI, La rivista del Club Alpino Italiano gennaio- febbraio 2000, pp. 96-100.
- [7] Tesi di laurea, I filati di Nylon 6,6: lavorazioni e caratteristiche principali, applicazioni e valutazione ambientale del ciclo produttivo., Relatore:Prof.Enrico Bernardo, Laureando:Daniele Zavattini 2010-2011.
- [8] Zanantoni C., Un nuovo modo di provare le corde. ,LAV ,febbraio 2008
- [9] Norma EN-892 o UIAA 101
- [10] Commissione Nazionale Scuole di Alpinismo e Scialpinismo, Alpinismo su roccia, I Manuali del CAI
- [11] Bedogni V., Zanantoni C. , Il “fattore di caduta”, questo sconosciuto. - Centro Studi Materiali e Tecniche ,In corso di pubblicazione.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la Commissione Centrale Materiali e Tecniche del CAI per aver messo a disposizione il laboratorio del CSMT e il materiale per le prove.

Si ringrazia Giuliano Bressan del CAAI per la grande disponibilità, Sandro Bavaresco per l'essenziale supporto tecnico e l' Ing. Vittorio Bedogni per il materiale scientifico e le utili discussioni.