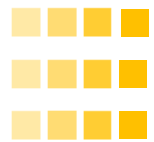


**CORDE "SEMI STATICHE": COMPARAZIONE TRA CAMPIONI NUOVI E USURATI,
SECONDO NORME UNI EN 1891 E UIAA 101**





Sommario

1.	PREMESSA.....	1
2.	CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE.....	1
3.	LE TIPOLOGIE DI PROVE ESEGUITE	2
4.	METODO DI LAVORO E NUMERO DI TEST	3
5.	PROTOCOLLO PROVE DINAMICHE (UNI EN 1891).....	4
5.1	PROCEDIMENTO TEST DINAMICO – STEP 1: Determinazione della forza di picco di arresto alla caduta (<i>requisito norma $F_{MAX} = 6 \text{ kN}$</i>)	5
5.2	PROCEDIMENTO TEST DINAMICO – STEP 2 (da eseguirsi se non vi è cedimento allo STEP 1): prova delle prestazioni dinamiche (<i>requisito norma min 5 cadute</i>).....	6
6.	PROTOCOLLO PROVE SHARP EDGE (UIAA 101-V11).....	7
6.1	PROCEDIMENTO TEST SHARP EDGE	7
7.	PROTOCOLLO PROVE STATICHE (<i>requisito norma UNI EN 1891 $F_{min} = 22 \text{ kN}$</i>).....	8
7.1	PROOCOLLO PROVE SHARP EDGE (UIAA 101-V11)	9
8.	DATI OTTENUTI	10
8.1	DATI sperimentali ottenuti: corda usurata VS corda nuova – <i>Prove STATICHE (trazione)</i>	11
8.2	DATI sperimentali ottenuti: corda usurata VS corda nuova – <i>Prove DINAMICHE (STEP 1)</i>	12
8.3	DATI sperimentali ottenuti: corda usurata VS corda nuova – <i>Prove DINAMICHE (STEP 2)</i>	13
8.4	DATI sperimentali ottenuti: corda usurata VS corda nuova – <i>Prove SHARP EDGE</i>	14
9.	INTERPRETAZIONE DEI DATI OTTENUTI E PROSPETTIVE DI STUDI FUTURI	15
10.	RINGRAZIAMENTI	15

.....



1. PREMESSA

Il seguente lavoro, impostato su corde con guaina a basso coefficiente di allungamento (solitamente denominate come “semi statiche”), ad uso speleologico di tipo A, mette a confronto corde usurate e corde nuove per valutarne il comportamento in accordo alle norme di riferimento UNI EN 1891 (ed. 2001) e UIAA 101-V11. Mentre la prima, cogente per i fabbricanti, prevede prove statiche e dinamiche, la seconda pone l’attenzione sull’energia assorbita a rottura. Quest’ultima caratteristica è da tempo oggetto di studio in ambito alpinistico (corde dinamiche), ma non sembra essere stata mai presa in considerazione in ambito speleologico.

Interessanti sono i risultati ottenuti su tutti i fronti: alcuni confermano ipotesi, altri pongono quesiti su cui ragionare. Trattandosi di uno studio sperimentale, offre la possibilità di intervenire sulle variabili analizzate per sviluppare indagini future. Il tutto, dunque, sembra essere un ottimo punto di partenza per ulteriori analisi ed approfondimenti.

2. CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE

Le corde analizzate e i risultati che seguono sono relativi ad un ambiente ipogeo circoscritto e definito per alcune caratteristiche. La complessità del fenomeno oggetto di analisi infatti – ovvero le corde nel sistema grotta – è correlata alla complessità dei singoli elementi che lo costituiscono (la corda e la grotta), che interagiscono tra di loro e che dipendono da numerosi parametri specifici dell’ambiente ipogeo (temperatura, umidità, pH dell’acqua, tipologia di calcare, roccia ecc.) spesso tipici di una singola cavità e, per questo, differenti da grotta a grotta. Così come sono caratteristici anche il posizionamento della corda, ovvero l’armo, il luogo in cui si trova (ad es. in un ambiente con o senza fango, con acqua diretta o meno, profondità...), la frequenza di utilizzo (numero di persone in salita/discesa), il tempo di permanenza della corda in grotta ecc.

Le corde analizzate sono state quelle dismesse a seguito del riarmo (aprile 2022) della “Riserva Naturale Ipogea Bus della Genziana” (sotto tutela del Comando Forestale Biodiversità di Vittorio Veneto).

All’interno della grotta la T media è di circa 5-7 °C, l’umidità è di circa 95-98 %, il pH dell’acqua è di circa 8.0-8.5. Il calcare è di tipo selce con scaglia grigia negli strati superiori, per poi proseguire con calcare scogliera negli strati più profondi.

Sono state analizzate le corde (semi statiche, di tipo A, diametro 10 mm) che erano posizionate fino ad una profondità di circa -240 m, zona percorsa da un alto numero di persone, stimato circa 1000 in 8 anni (25 settimane/anno * 8 anni * 5 numero medio di persone ad uscita), in quanto la grotta è oggetto di altissima frequentazione per diversi scopi: esplorazione, corsi di introduzione, manovre CNSAS, visite, studi, ecc.

(Come si approfondirà in seguito, interessante sarebbe l’analisi con dati il più possibile vicini alla realtà, non solo stimati. Un lavoro di controllo degli accessi alla grotta e di monitoraggio costante dello stato delle corde si avvierà a tal proposito per replicare lo studio in futuro.)

Fondamentale per la finalità del lavoro è stata l’attività preliminare di rintracciabilità delle corde:

1. Misurazioni dei parametri dell’ambiente grotta a diverse zone di profondità (*foto a*)
2. Etichettatura di ogni singolo nodo e tratto di corda posizionato in grotta, per valutarne il collocamento rispetto l’armo (*foto b*)
3. Fotografia associata ad ogni nodo (*foto b*)
4. Organizzazione in tabella (riferimento tratto grotta, n. nodo associato, tipologia nodo, foto) (*foto c*)



5. Misurazione delle lunghezze di corda per ricavarne i provini da testare



foto a)



foto b)



foto c)

3. LE TIPOLOGIE DI PROVE ESEGUITE

Sulle corde sono state eseguite nr. 3 tipologie di prove, definibili come di seguito:

1. Prova dinamica, in accordo alla norma UNI EN 1891 (ed. 2001) che prevede un primo step "STEP 1": misura della forza di picco di arresto alla caduta (fattore di caduta $FC=0.3$), e un secondo step "STEP 2": verifica delle prestazioni dinamiche (fattore di caduta $FC=1$)
2. Prova di resistenza statica (fattore di caduta $FC=0$)
3. Prova dinamica "Sharp Edge" in accordo alla norma UIAA 101-V11 (Prove di caduta su spigolo – determinazione dell'energia assorbita a rottura) (fattore di caduta $FC=2$)



4. METODO DI LAVORO E NUMERO DI TEST

Le prove sono state eseguite dapprima sulle corde usurate, in seguito sulle corde nuove (tipologia A, diametro 10 mm, materiale poliammide, anno fabbricazione 2019, capacità carico statico 25 kN, n. cadute a FC=1 pari a 6). NOTA: la corda nuova, prima dell'esecuzione dei test, è stata lasciata 24 h in acqua per eliminare la cera, poi lasciata in grotta per 95 giorni per cercare di testarla alle stesse condizioni dei parametri di grotta della corda usurata.

In base alla lunghezza delle corde disponibili per ogni tratto di grotta, alle lunghezze minime richieste dalle norme di riferimento per l'esecuzione dei test (Fig. 7 UNI EN 1891), e dando come ordine di priorità ai test stessi le prove di tipo 1 (dinamiche), 2 (Sharp Edge), 3 (statiche), sono stati predisposti un totale di:

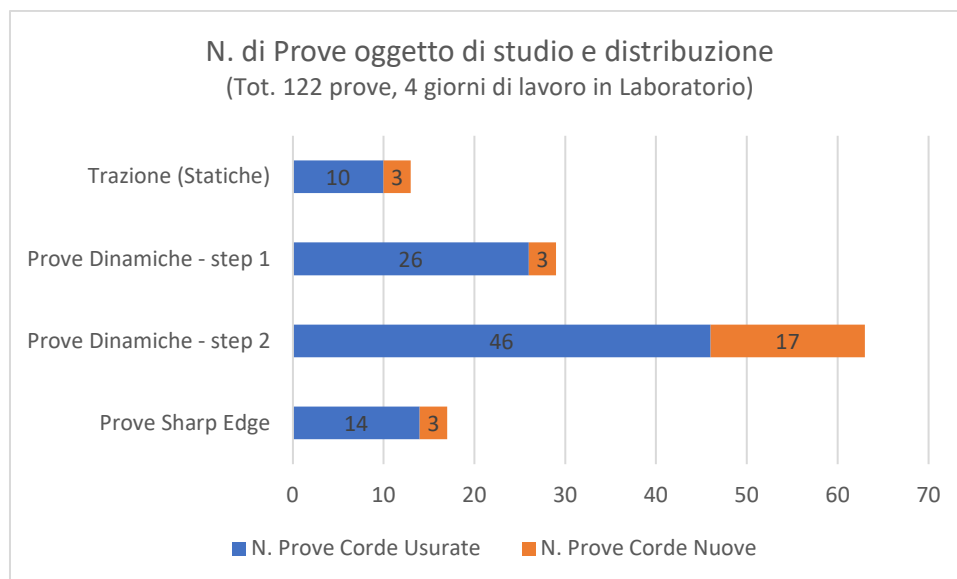
8.1 Prove di trazione (statiche) → 10 con corde usurate, 3 con corde nuove

8.2 Prove dinamiche:

- Step 1 (prova della forza di picco di arresto alla caduta F, Fig. 8 UNI EN 1891) → 26 prove con corde usurate, 3 con corde nuove

- Step 2 (prova delle prestazioni dinamiche (Fig. 9 UNI EN 1891) → 46 prove con corde usurate, 17 con corde nuove

8.3 Prove Sharp Edge → 14 prove con corde usurate, 3 con corde nuove





5. PROTOCOLLO PROVE DINAMICHE (UNI EN 1891)

Preparazione dei provini di prova

I campioni da testare hanno una lunghezza pari a 2000 mm, in accordo alla Fig. 7 UNI EN 1891.

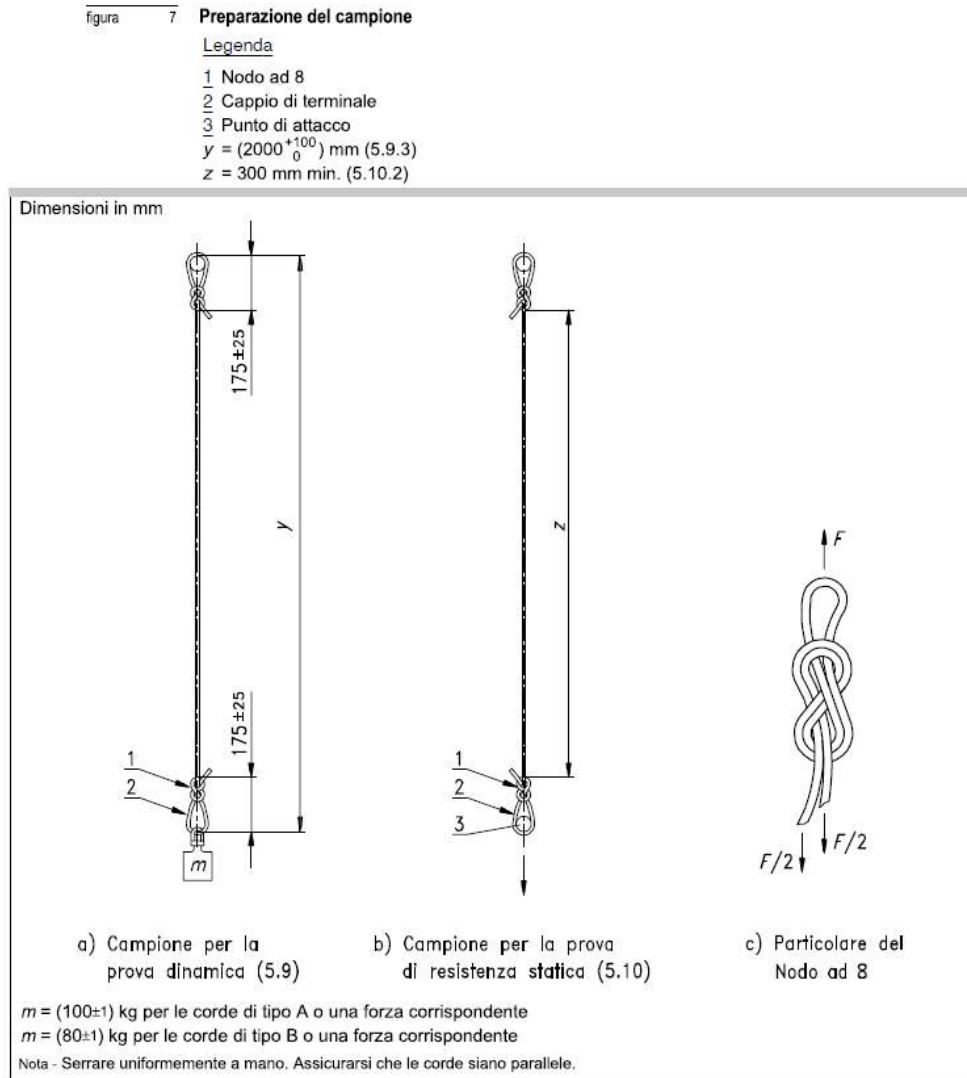


figura 7 UNI EN 1891

Per quanto concerne i nodi sui cappi terminali, sono stati utilizzati i nodi della configurazione d'armo, ove presenti, quindi diversi anche dal nodo ad otto prescritto dalla norma.

Spesso gli spezzoni testati contenevano nel tratto utile anche nodi tipici della configurazione d'armo, alcuni sciolti, altri lasciati in essere. Si è deciso, infatti, di valutare, oltre al valore, anche se l'eventuale posizione del nodo potesse avere influenza sull'eventuale rottura.

In riferimento alle condizioni di prova, invece, si riportano i punti di riferimento della norma da rispettare:

p.to 5.9.1 le due tipologie di prove dinamiche utilizzano lo stesso provino (STEP 1 e STEP 2)

p.to 5.9.2.3 velocità massa in caduta: 9,9 (tolleranza 0/-0.2) m/s

p.to 5.9.2.4 massa: 100 kg, guidata

p.to 5.9.3.5 lunghezza campione: 2000 mm



5.1 PROCEDIMENTO TEST DINAMICO – STEP 1: Determinazione della forza di picco di arresto alla caduta (*requisito norma $F_{MAX} = 6 \text{ kN}$*)

figura 8 Prova della forza di picco di arresto della caduta

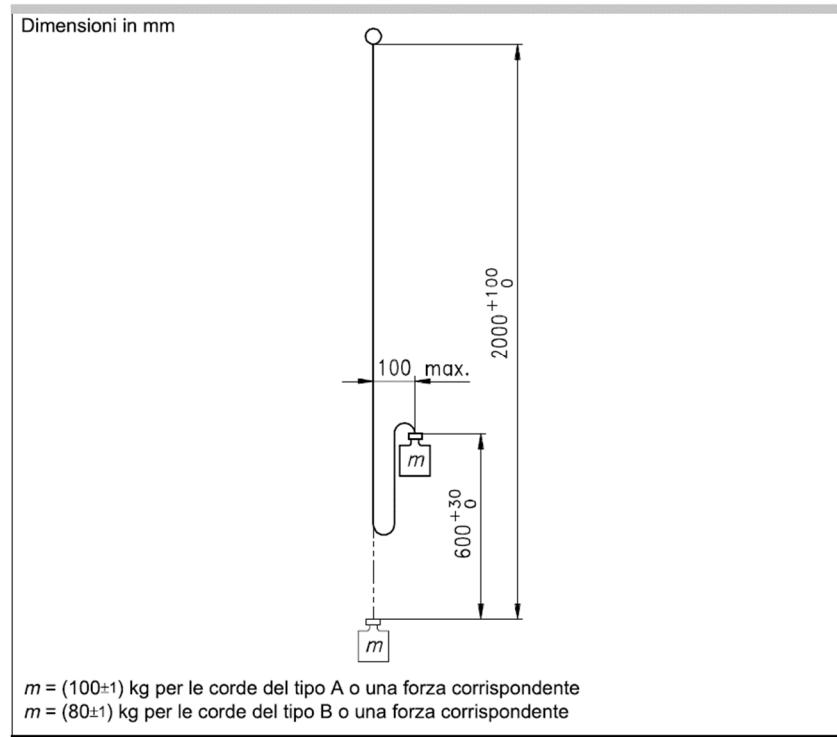


figura 8 UNI EN 1891

In accordo al punto 5.9.4 della UNI EN 1891, si riassume di seguito la procedura seguita:

- appendere la massa di 100 kg (corde Tipo A) al punto di ancoraggi per 60 s
- sollevare la massa di 600 mm (tolleranza +20/0) fino ad un max di 100 mm orizzontalmente (Fig. 8)
- azionare il dispositivo di sbloccaggio rapido e lasciar cadere la massa
- misurare e registrare la forza di picco
- togliere il carico dal campione entro 1 min
- non rimuovere il campione dall'apparecchiatura di prova
- eseguire la prima prova delle prestazioni dinamiche entro 3 min dopo aver tolto il carico dal campione





5.2 PROCEDIMENTO TEST DINAMICO – STEP 2 (da eseguirsi se non vi è cedimento allo STEP 1):
prova delle prestazioni dinamiche (*requisito norma min 5 cadute*)

figura 9 Prova delle prestazioni dinamiche

Legenda

x Distanza dopo la prova della forza di picco di arresto della caduta di 5.9.4

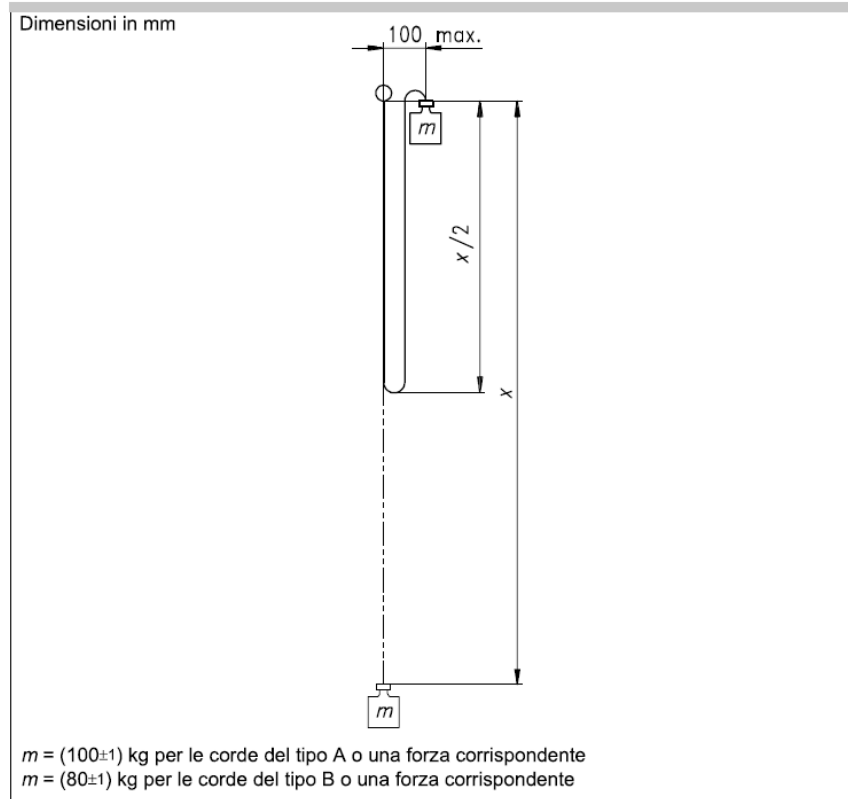
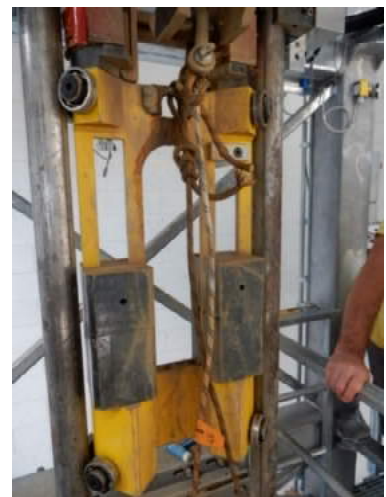


figura 9 UNI EN 1891

Riferendosi al punto 5.9.5 della UNI EN 1891, si descrive di seguito la procedura utilizzata per il test:

- sollevare la massa di 100 kg (corde Tipo A) in modo che il punto di attacco della massa sia alla stessa altezza del punto di ancoraggio della struttura, ad una distanza orizzontale max di 100 mm (Fig. 9)
- tenere ferma la massa con il dispositivo di sbloccaggio rapido
- azionare il dispositivo di sbloccaggio rapido e lasciar cadere la massa
- dopo la caduta, togliere il carico dalla corda entro 1 min
- l'intervallo fra le prove consecutive deve essere di 3 min da rilascio a rilascio
- eseguire le prove n volte fino a quando la corda rilascia la massa



6. PROTOCOLLO PROVE SHARP EDGE (UIAA 101-V11)

Preparazione dei provini e condizioni di prova

Il test si svolge in accordo a quanto stabilito al punto 3.3.1 dalla norma UIAA 101-V11 che prevede l'utilizzo di spezzoni di lunghezza pari a 3000 mm e privi di nodi.

Nella Fig. 4 si riassume lo schema di prova (la massa è pari a 100 kg), mentre la Fig. 5 descrive le caratteristiche geometriche dello spigolo su cui avviene la rottura della fune.

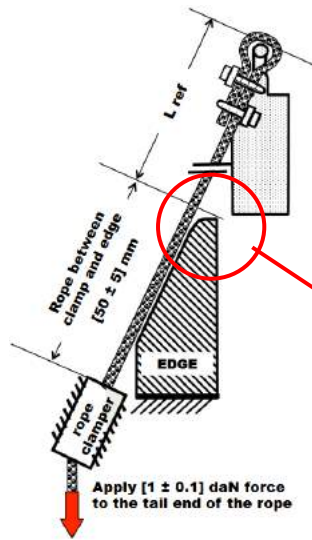


figura 4

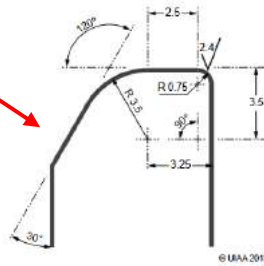


figura 5

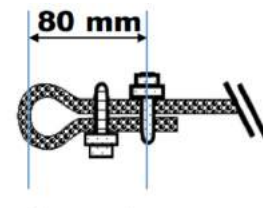


figura 6

6.1 PROCEDIMENTO TEST SHARP EDGE

In accordo al p.to 3.3.3 della UIAA 101-V11, si elenca di seguito la procedura seguita per il test:

- collegare la fune alla massa secondo la Fig. 6
- sollevare la massa fino al livello superiore, tale da raggiungere la distanza L_{ref} tra il bordo e la massa (vedi Fig. 4). Registrare la posizione della massa
- precaricare la fune applicando una forza di $(1 \pm 0,1)$ daN, (appendendo una massa); il precarico va effettuato lasciando il bloccante aperto con la fune libera di scorrere
- bloccare temporaneamente il bloccante della fune e abbassare la massa a bassa velocità; lasciare la massa sospeso per (60 ± 1) s
- sollevare la massa al livello superiore registrato
- chiudere definitivamente il bloccante



- rilasciare la massa. La prova è considerata valida se la rottura della fune avviene solo oltre il bordo; la rottura, anche se parziale, della corda in corrispondenza della connessione di massa o al morsetto non è ammessa
- registrare la cronologia temporale della forza



7. PROTOCOLLO PROVE STATICHE (*requisito norma UNI EN 1891 $F_{min} = 22 \text{ kN}$*)

Preparazione dei provini e condizioni di prova

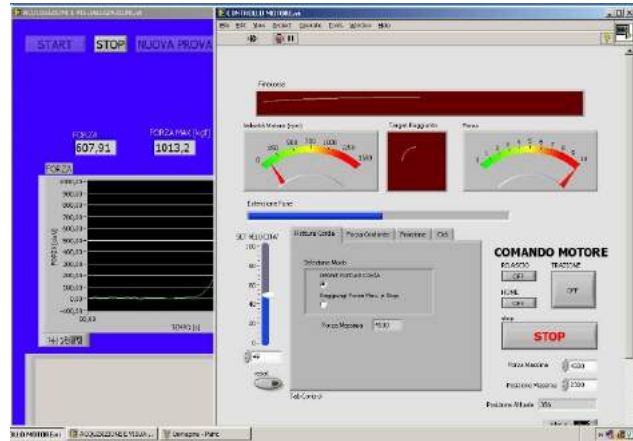
I campioni da testare vengono preparati secondo le indicazioni ai punti 5.10.2.1 e 4.12.1 della norma UNI EN 1891: ovvero con una lunghezza pari a 3000 mm e con l'assenza di punti terminali di ancoraggio. La fune, infatti, viene collegata alla macchina alle due estremità tramite delle apposite teste di serraggio (distanti tra loro circa 350 mm), per fare in modo che non vi siano nodi nel campione di prova.



7.1 PROTOCOLLO PROVE SHARP EDGE (UIAA 101-V11)

Di seguito la procedura seguita:

- installare il campione nella macchina di prova
- serrare il campione nelle teste di serraggio
- sottoporre il campione a trazione con un set di velocità della macchina pari al 50 %, corrispondente ad una velocità di circa 2 m/min





8. DATI OTTENUTI

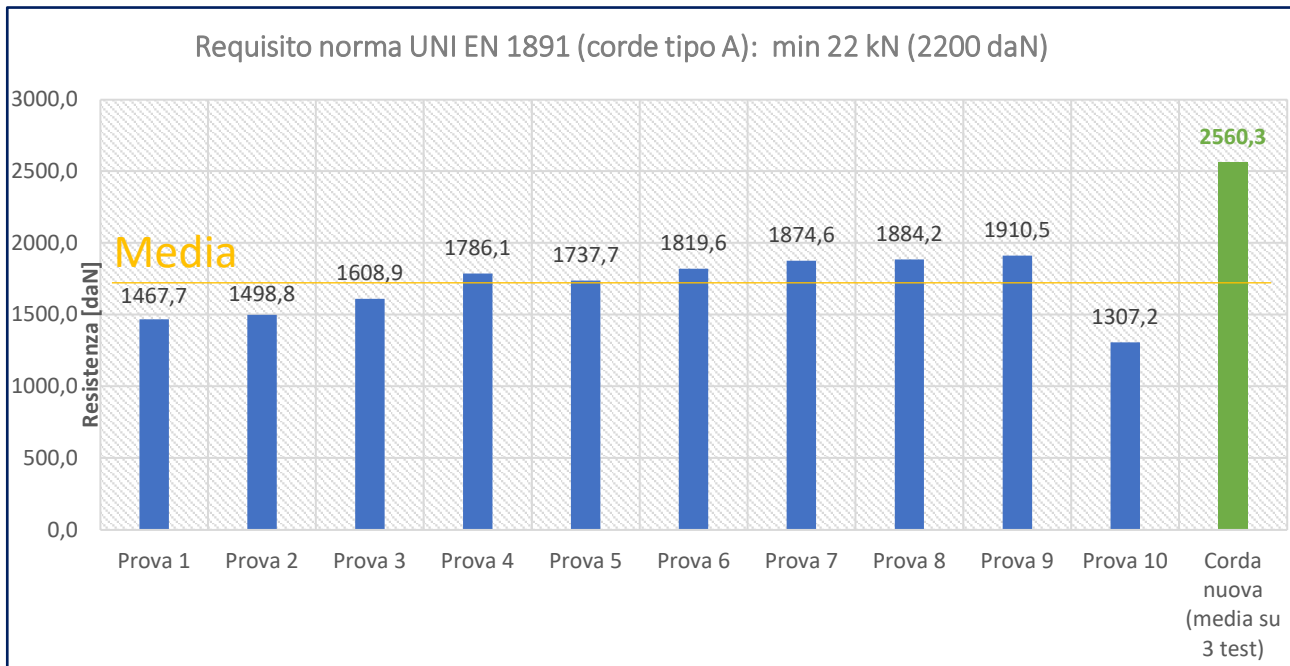
Di seguito verranno esposti i dati ottenuti cercando di semplificarne la lettura mediante una serie di grafici.

Scopo primario dell'analisi è il confronto tra i dati ricavati dalle corde usurate e quelli conseguiti dalla corda nuova. Entrambi, dunque, confrontati con requisiti della norma UNI EN 1891, riassunti come in tabella sotto.

TIPO	A	B
DIAMETRO	da 8,5 a 16 mm	
RESTISTENZA STATICA	22 kN	18 kN
RESTISTENZA STATICA CON NODO A OTTO	15 kN (per 3 min)	12 kN (per 3 min)
NUMERO DI CADUTE	≥ 5 cadute FC=1 (100 kg)	≥ 5 cadute FC=1 (80 kg)
FORZA DI ARRESTO (FC=0.3)	≤ 6 kN	
ALLUNGAMENTO TRA 50 e 150 kg	≤ 5 %	≤ 5 %
SCORRIMENTO DELLA CALZA	20 – 30 mm massimo	15 mm massimo
ACCORCIAMENTO IN ACQUA	Senza limite	



8.1 DATI sperimentali ottenuti: corda usurata VS corda nuova – Prove STATICHE (trazione)



Valutando i risultati della rottura di nr. 10 campioni ricavati dalla corda usurata disponibile e sottoposti a trazione statica si evince che tutte le nr. 10 prove mostrano un valore di rottura inferiore al requisito minimo della norma (22 kN); contrariamente, il valore ottenuto nelle prove eseguite con la corda nuova è sicuramente maggiore al valore minimo indicato dalla norma, oltre che superiore anche al valore dichiarato dal fabbricante (25 kN).

Premesso che i nr. 10 campioni testati sono sicuramente associati ad un'allocatione diversa in grotta e che ogni campione è rappresentativo di un tratto di grotta diverso per configurazione dell'armo, presenza di acqua, fango, numero di passaggi subiti (usura) ecc., se si valuta il valore medio dei valori di rottura ottenuti (1690 daN) e lo si compara con il valore della corda nuova (che è stata solo condizionata a temperatura e umidità della grotta, per cui tutte le variabili dell'usura di cui prima non sono associabili), si valuta che il decadimento della proprietà del carico statico è di circa il 34 %.



8.2 DATI sperimentali ottenuti: corda usurata VS corda nuova – Prove DINAMICHE (STEP 1)

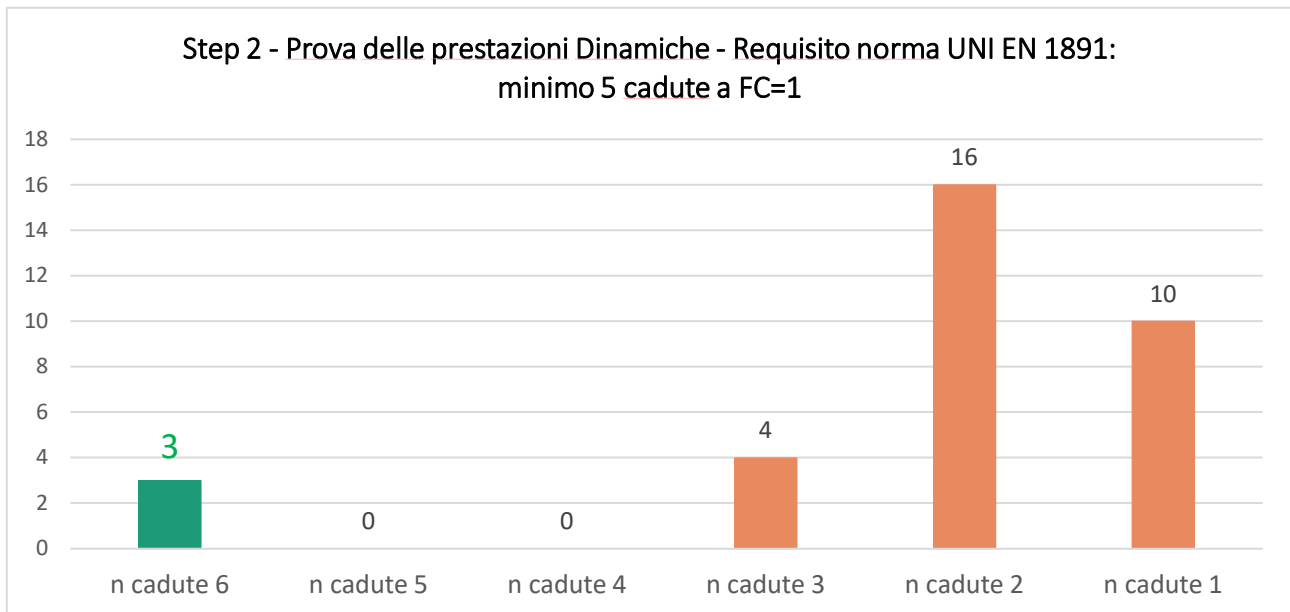


I dati emersi dai nr. 26 campioni ricavati dalla corda usurata disponibile e sottoposti a prova dinamica a FC=0.3 risultano tutti di valore inferiore al requisito minimo indicato dalla norma ($\leq 600 \text{ daN}$), così come inferiore risulta anche il valore ottenuto per le prove eseguite con la corda nuova.

Anche in questo caso i nr. 26 campioni testati sono sicuramente associati ad un'allocatione diversa in grotta e ogni campione è rappresentativo di un tratto di grotta diverso per configurazione dell'armo, presenza di acqua, fango, numero di passaggi subiti, ecc. Per questo primo step di prova (STEP 1) è interessante osservare che non si è verificata alcuna rottura dei campioni, a differenza di quanto verificato nello STEP 2, come di seguito rappresentato.



8.3 DATI sperimentali ottenuti: corda usurata VS corda nuova – Prove DINAMICHE (STEP 2)



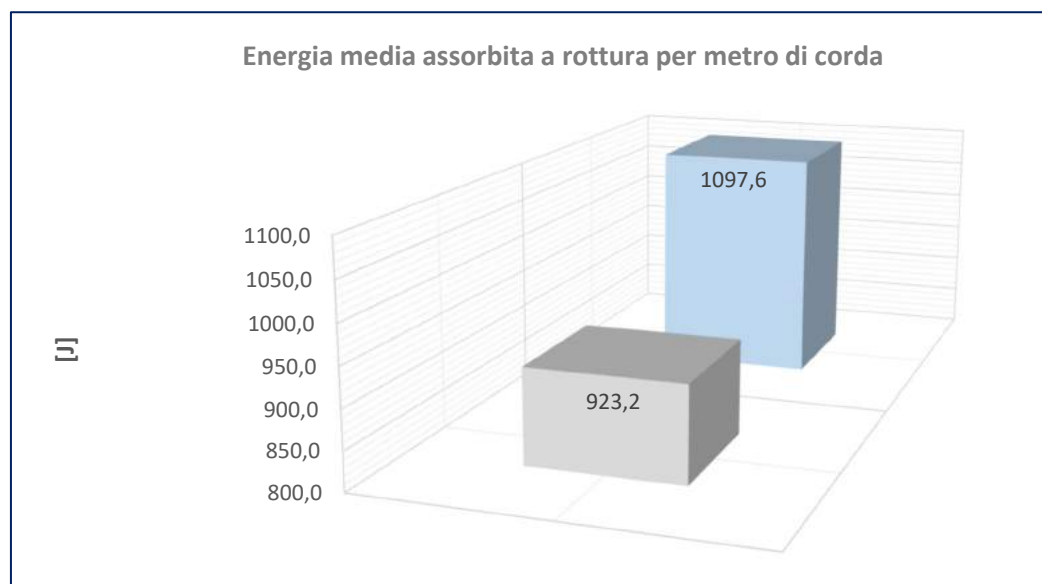
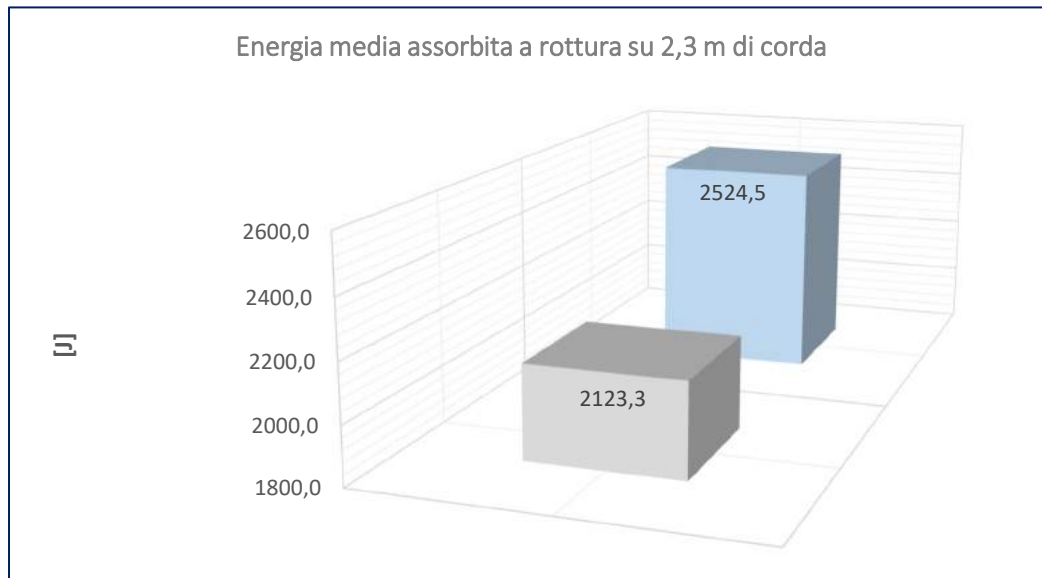
La verifica delle prestazioni dinamiche, eseguita sempre sui nr. 26 campioni ricavati dalla corda usurata disponibile, successivamente all'esecuzione della prova STEP 1, sicuramente non è stata soddisfacente per tutti i nr. 26 campioni testati. Il ciclo di prova per ogni campione richiedeva la ripetizione del test a FC=1 per almeno 5 volte. I dati ottenuti sono così sintetizzabili:

- nr. 10 campioni hanno rilasciato la massa (rottura della corda) dopo la prima prova dinamica a FC=1
- nr. 16 campioni hanno rilasciato la massa (rottura della corda) dopo due prove
- nr. 4 campioni hanno rilasciato la massa (rottura della corda) dopo tre prove
- nessun campione si è rotto dopo quattro o cinque prove

Tutti e 3 i campioni testati con la corda nuova, invece, hanno superato il numero minimo di 5 cadute richiesto dalla norma, con conseguente rottura della corda al sesto ciclo di prova.



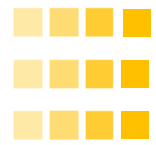
8.4 DATI sperimentali ottenuti: corda usurata VS corda nuova – Prove SHARP EDGE



Le prove di caduta su spigolo si propongono di determinare l'energia assorbita a rottura applicando le formule come di cui al punto 3.3.4 della norma UIAA 101-V11

$$S_{(t)} = \iint_{t_{\text{tens}}}^t \frac{(gM - F_{(t)})}{M} dt dt \quad E_{\text{rupt}} = \int_{S_{\text{tens}}}^{S_{\text{rupt}}} F_{(S)} dS$$

Da una media dei nr. 14 campioni ricavati dalla corda usurata disponibile, il valore medio di energia assorbito ottenuto (rapportato per metro di corda) pari a 923,2 J risulta circa il 16% inferiore del valore medio ottenuto da corda nuova (sempre rapportato per metro di corda).



9. INTERPRETAZIONE DEI DATI OTTENUTI E PROSPETTIVE DI STUDI FUTURI

Un primo sguardo globale sui dati ottenuti permette di asserire che le corde usurate subiscono un decadimento delle proprietà, ed è provato da un confronto di tali proprietà con analoghe corde nuove.

Il decadimento di tali proprietà è sicuramente attenzionato nelle condizioni di stress dinamico, in quanto trattasi della condizione a fattore di caduta peggiorativo tra le possibili modalità di test.

Un'analisi più affinata ed interessante emerge se si correlano i dati ottenuti per ogni tratto di corda rispetto alla posizione in grotta. Si conviene che i dati ottenuti possono trovare una spiegazione rispetto all'allocazione, e viceversa, portando così all'attenzione eventuali zone critiche della grotta (es. traversi/corrimani).

Infine, sembra essere possibile correlare energia assorbita a rottura e i valori di prestazioni statica e dinamica, sebbene ulteriori indagini e numeri di prove sufficienti siano necessari per asserire con certezza quella che al momento è un'indicazione emersa da questa indagine.

Di qui, una serie di quesiti destano curiosità, e magari si propongono per avere risposte impostando studi futuri:

- sarebbero interessanti ulteriori indagini per capire se le prove Sharp Edge (SE) effettivamente identificano nei tratti di «traverso/corrimano», quelli in grado di assorbire meno energia?
- è possibile correlare Energia assorbita dalla corda (prove SE) al loro comportamento dinamico?
- c'è correlazione tra spezzoni con bassa energia assorbita (E_{RUPT}) e basse prestazioni in termini di caduta a $FC=1$?
- come mai i dati peggiori sono stati ottenuti nelle configurazioni di traverso/corrimano? Può essere considerata una condizione critica nell'armo?
- a $FC=0.3$, quante «n cadute» ci sarebbero per una corda nuova e una corda usurata prima della rottura?
- in grotte con caratteristiche diverse (T, Ur %, pH, frequentazione) si otterrebbero risultati analoghi o completamente diversi?
- sarebbe interessante fare analoghe prove con corda nuova e senza che abbia subito permanenza in grotta (no umidità)? Che risultati si comparerebbero?

10. RINGRAZIAMENTI

Un doveroso ringraziamento va a tutte le persone che hanno dato disponibilità e collaborato alla realizzazione di questo studio, sia da un punto di vista operativo che di analisi dei risultati: Giuliano Bressan, Simone Maratea e Massimo Polato per il CSMT e il tecnico del Laboratorio, Sandro Bavaresco.

Un particolare ringraziamento va a Sandro Sorzè e agli speleologi del Gruppo Speleologico CAI Conegliano che hanno contribuito alla preparazione del lavoro e rintracciabilità dei dati in grotta, e al Nucleo Forestale Biodiversità di Vittorio Veneto per la costante disponibilità di accesso alla riserva ipogea.