

Club Alpino Italiano
Commissione Centrale per la Speleologia
Scuola Nazionale di Speleologia

Gruppo Lavoro Materiali

Nuove ricerche su corde, cordini e moschettoni (*protocolli di sperimentazione*)

Premessa

Due anni fa, quando si iniziò questa nuova fase di prove sui materiali speleo-canyoning-alpinismo, lo scopo era di superare le metodologie di ricerca utilizzate in passato - tutte basate su prove a trazione lenta (quasi-statiche) - per arrivare a definire in modo più corretto e realistico il quadro dei comportamenti delle attrezzature con test ad alta velocità di deformazione, tipica delle situazioni in grotta, in montagna e in forra.

Dopo due impegnativi anni di modifiche, di acquisizioni, di traslochi, di test preliminari e di tarature ripetute i laboratori del CRASC di Costacciaro sono ora pronti ad affrontare - con metodologie avanzate ed innovative – queste nuove sistematiche ricerche sugli attrezzi che compongono la catena di sicurezza nella progressione in grotta, in forra, in montagna.

I nuovi laboratori di Costacciaro per test a velocità di deformazione variabile sono ora in grado di fornire, fra l'altro, relazioni sperimentali fra forze applicate e allungamenti prodotti, essenziali per definire correttamente e realisticamente il comportamento delle attrezzature sotto sollecitazione veloce.

In questi ultimi mesi è stato realizzato anche un nuovo dinamometro a trazione lenta con velocità variabile, unico nel suo genere, che utilizza la struttura e la strumentazione di misura della Torre di Caduta ed è in grado di effettuare test su campioni con lunghezza fino a 4 m. E' questa una novità di assoluto rilievo unica nel suo genere, che consente di effettuare prove comparative con grande precisione, in modo lineare e senza l'inserimento di calcoli complessi (potenzialmente causa di errori di valutazione).

Sono stati definiti anche gli accordi di collaborazione con il Laboratorio di Forlì dell'Università di Bologna (test quasi-statici a diverse velocità di trazione su campioni metallici di piccole dimensioni) e l'Università di Urbino

(ricerche al microscopio elettronico e termografiche) a rendere ancora più rilevante il potenziale d'analisi del CRASC.

Il Gruppo di Lavoro Materiali SNS CAI (GLM), costituito nell'Assemblea della SNS CAI di Pietrasanta del maggio 2011, si è inserito in tale situazione e nella riunione del novembre scorso ha deciso di far proprio il programma e il metodo di ricerca precedentemente riportati ("nuove indagini sui componenti della catena di sicurezza della progressione speleo-canyoning-alpinistica a diverse velocità di deformazione"). Nella stessa riunione del GLM si è iniziato a definire i protocolli per le prime indagini (corde, cordini e moschettoni), dando poi l'incarico al coordinatore di completarne la stesura, che qui di seguito viene riportata.

Appena sarà a punto tutta la strumentazione (restano solo pochi passaggi) verrà indetta la prima riunione del 2012 che avrà come oggetto l'esecuzione dei test previsti (elencati qui di seguito), parte dei quali già effettuati. Il materiale necessario per i test è già a disposizione.

Nel momento in cui le ricerche abbiano prodotto dei risultati certi, il GLM organizzerà un seminario per il corpo docente della SNS CAI e per tutti gli interessati allo scopo di divulgare le conoscenze raggiunte. Ciò dovrebbe avvenire, presumibilmente, nel prossimo autunno.

Impostazione generale

Come già detto, nelle ultime occasioni di incontro del GLM e del CRASC è stata decisa la strategia delle ricerche per i prossimi anni, cioè a dire: sulla falsariga di quanto fatto per la stesura del volume "Resistenza dei materiali speleo-alpinistici", Salvatori F., Celesti S., Menichetti M. Lambri F., Guerriero G. ed altri, Centro Nazionale di Speleologia "Monte Cucco, Costacciaro 1989" verranno di nuovo presi in esame tutti gli elementi costituenti la catena di sicurezza speleo-canyoning-alpinistica nell'ottica resa possibile dalle nuove strumentazioni di misura, soprattutto quelle che permettono di calcolare gli allungamenti in funzione della forza a diverse velocità di deformazione.

Si ritiene opportuno e corretto continuare in modo coerente, per quanto possibile, con le condizioni sperimentali e la base teorica precedentemente utilizzate.

Si inizierà dalle **corde**, dai **cordini** e dai **moschettoni**, tenendo conto che molti dei test sinora effettuati dal CRASC possono essere utilizzati per questa nuova fase di indagini. I dati da acquisire proverranno principalmente:

1. dalla descrizione della geometria del campione (o della tessitura in caso di corde);
2. dall'analisi chimico-fisica (ad esempio la determinazione del punto di fusione) del materiale (o dei materiali) che costituisce il campione ;
3. dall'analisi termografica durante la trazione quasi-statica;
4. da test a velocità di deformazione variabile, sia a trazione che a caduta;
5. dall'analisi al microscopio elettronico;
6. dalla bibliografia esistente.

DEFINIZIONE DI NUOVI PARAMETRI E DELLE CONDIZIONI SPERIMENTALI NEI TEST

In questa nuova prospettiva di ricerche occorre definire preventivamente nuovi parametri e fattori, fondamentali, fra cui la velocità di deformazione V_d , il Fattore di Deformazione K e, in caso di corde, la sezione trasversale effettiva S_e .

VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE V_d

Dinamometro a trazione

Trazionando a velocità costante V , la velocità di deformazione V_d è data da:

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

dove l_0 è la lunghezza del campione, lungo l'asse di trazione, in condizioni di riposo.

Il dinamometro del CRASC ha una velocità di trazione media di 0,005 m/s.

Il dinamometro del laboratorio di Forlì dell'Università di Bologna ha la possibilità di variare la velocità di trazione da valori prossimi allo zero fino a 0,05 m/s.

Dinamometro a caduta

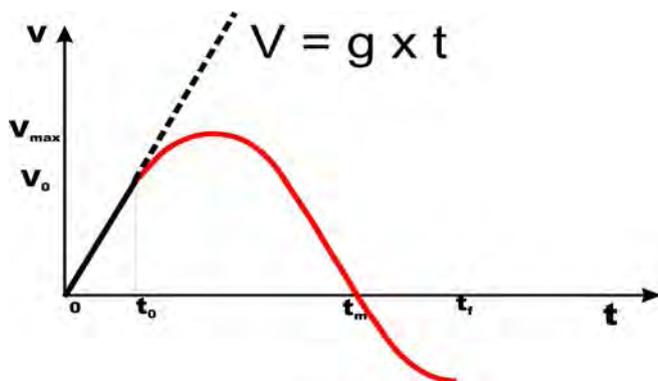


Fig. 1

In una prova a caduta, la massa che trazona il campione prima discendere liberamente, aumentando in modo lineare (fig. 1) la sua velocità V da 0 a V_0 (**velocità d'impatto**) e seguendo la classica relazione:

$$V = g \times t$$

dove g è l'accelerazione di gravità e t il tempo, fino a raggiungere il tempo t_0

(quando il peso inizierà a sollecitare il campione). In questo punto la velocità raggiunta dalla caduta libera del peso è pari a:

$$V_0 = \sqrt{2 \times g \times h}$$

Da questo istante entrerà in gioco la capacità di trattenuta del campione sottoposto a test il quale inizierà a deformarsi fino all'arresto del peso (o al suo cedimento). In questo secondo tratto (fig. 1) vale in prima approssimazione la relazione ("Resistenza dei materiali speleo-alpinistici", Salvatori F., Celesti S., Menichetti M., Lambri F., Guerriero G. ed altri, Centro Nazionale di Speleologia "Monte Cucco, Costacciaro 1989, pag. 50):

$$Va = \sqrt{Xl_0Pg + V_0^2} \times \cos(\omega t + \varphi)$$

La velocità di caduta del peso (essendo rigido il suo collegamento con il campione che riceve lo choc) coincide con la velocità di allungamento del campione sottoposto a test. Questa velocità è dunque variabile da V_0 a 0 in un arco di tempo più o meno lungo in funzione dell'entità della massa cadente, del coefficiente di elasticità, della lunghezza del campione.

Per calcolare la velocità di deformazione nelle prove di caduta (molto utilizzate anche in ambiti non speleo-alpinistici e sui più svariati materiali metallici e plastici) si è stabilito di assumere come rappresentativa del test la velocità d'impatto V_0 (vedi "Sviluppo di una macchina per prove di trazione veloce", M. Anghileri, M.L. Castelletti, A. Milanese, G. Moretti, La metallurgia italiana, 2009), anche se in realtà la velocità di allungamento del campione varia, come già detto, da V_0 a 0 . Da precisare inoltre che nelle sopradette considerazioni si è ritenuta trascurabile la massa del campione sottoposto a test e ininfluenti gli attriti prodottisi durante la caduta.

Dunque la velocità di deformazione V_d nella Torre CRASC viene calcolata come indica la relazione seguente:

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

dove:

V_0 è la velocità di allungamento iniziale o velocità d'impatto

l_0 è la lunghezza del campione a riposo.

SEZIONE TRASVERSALE EFFETTIVA S_e DELLE CORDE

Il valore di S_e viene ottenuto con la seguente procedura:

1. attraverso un'analisi chimico-fisica si riconosce il tipo di sostanza (o sostanze) che costituisce la corda (ad esempio attraverso il punto di fusione del polimero);
2. dai dati reperibili in bibliografia (ad esempio in "Handbook of fibre rope technology", H.A. McKenna, *Woodhead Publishing*; John W. S. Hearle; N. O'Hear, 2004, CRC Press, Tension Technology International, The Netherlands, pag.53) si ricava il valore dello sforzo alla rottura σ_r del materiale che compone la corda (ricavato da campioni con corpo omogeneo e senza soluzioni di continuità, quindi non certo come una corda con struttura estremamente complessa e disomogenea);
3. effettuando test per calcolare il carico di rottura F_r senza nodi della corda in esame.

S_e si ottiene da:

$$S_e = \frac{F_r}{\sigma_r}$$

Per esempio per una corda con le seguenti caratteristiche:

- diametro $\phi = 10 \text{ mm}$
- materiale **nylon 6.0**

- carico di rottura $F_r = 3218$ kgp

- $\sigma_r = 960$ MPa

$$S_e = \frac{3218 \times 9,81}{960} = 32,9 \text{ mm}^2$$

contro i **78,5** mm² della superficie trasversale apparente con diametro di 10 mm.

Il valore di S_e è molto indicativo rispetto alla valutazione della quantità di materiale utilizzata per la tessitura della corda.

FATTORE DI DEFORMAZIONE **K**

Nel volume “Resistenza dei materiali speleo-alpinistici” (Centro Nazionale di Speleologia “Monte Cucco, Costacciaro, 1989, pag. 44) è stato definito il Coefficiente di Elasticità **X**:

$$X = \frac{A_u}{F}$$

dove A_u è l'allungamento unitario pari ad:

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

e **F** uguale alla forza applicata. Il tutto nell'ipotesi che il materiale abbia un comportamento elastico e quindi **X** sia una costante.

Ma nella realtà, e quindi nell'ambito sperimentale con velocità di deformazione variabile, il rapporto **F/A** è in funzione dell'allungamento; pertanto è necessario inserire un nuovo elemento, il Fattore di Deformazione **K**:

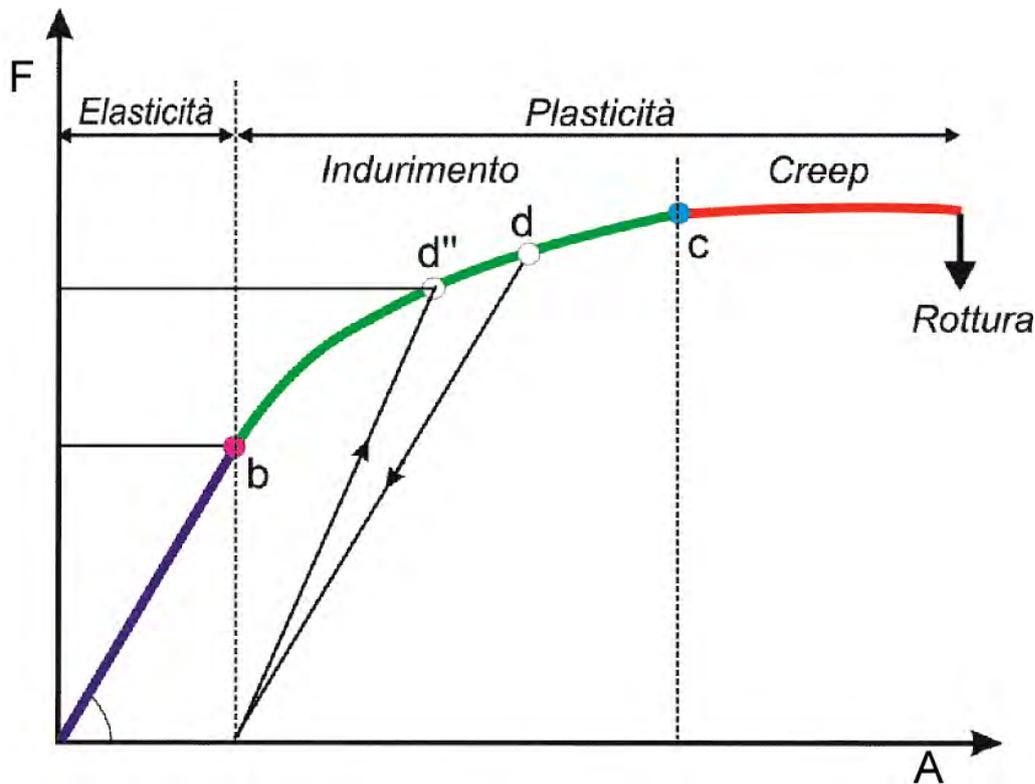
$$K = \frac{F}{A}$$

fra la forza **F** applicata e allungamento conseguente effettivo **A** (pari a $l - l_0$, dove l è la lunghezza del campione con applicata la forza **F** ed l_0 la lunghezza del campione a riposo).

La relazione fra **K** ed **X** è:

$$K = X \times l_0$$

Per le attrezzature speleo-alpinistiche **K** non è una costante, se non per alcuni intervalli come indicato nella immagine sottostante (il primo tratto color viola):



INTERVALLO DI ELASTICITÀ

Nella curva $F = f(A)$ del grafico soprastante, come spesso accade per le corde, il tratto iniziale ha un andamento lineare (linea color viola della figura soprastante), dove gli incrementi dell'allungamento sono proporzionali alla forza applicata; dalle curve ottenute sperimentalmente è dunque possibile ricavare il valore del Fattore di Deformazione **K**:

$$K = tg \alpha$$

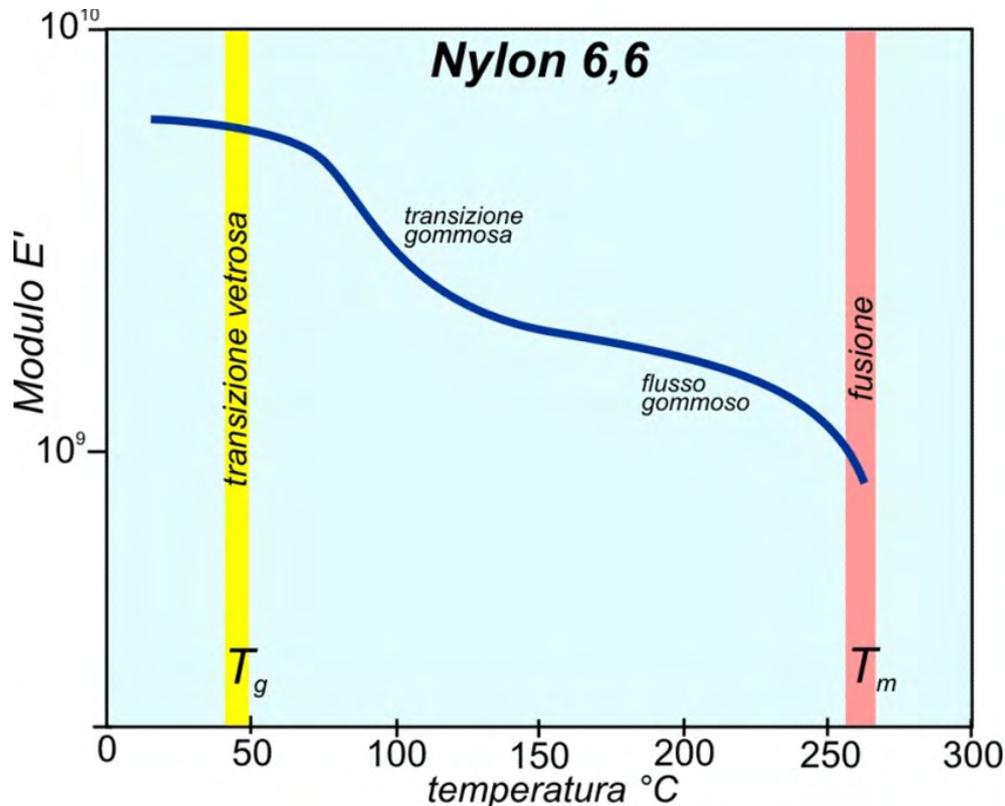
Oltre questo intervallo di elasticità, il fattore varia con l'allungamento ma in modo non più lineare (intervallo di plasticità) dove **K** è ricavabile punto per punto costruendo la tangente alla curva: l'intersezione di questa tangente con l'asse orizzontale formerà un angolo α_n , la cui tangente darà il valore K per il singolo punto:

$$K_n = tg \alpha_n$$

INFLUENZA DELLA TEMPERATURA ED EFFETTO NODO

I tre fattori di determinano il comportamento dei materiali sono:

1. la struttura atomico-molecolare del materiale (o dei materiali) che costituiscono il campione,
2. la temperatura,
3. la velocità di deformazione.



Nel grafico soprastante sono riportati i valori del modulo di elasticità E di una barra omogenea di nylon 6.6 al variare della temperatura. E' evidente che la deformabilità della barra, a parità di forza traente, aumenti con l'aumento della temperatura. Ma non in modo uniforme e addirittura determinando passaggi di stato, come quello che si verifica intorno ai 50°C (stato plastico \Rightarrow stato vetroso).

D'altro canto nel laboratorio a trazione si è avuto modo di utilizzare una termocamera a raggi infrarossi con la quale è stato possibile osservare, in via preliminare, che la temperatura di una corda, trazionata fino alla rottura sui due nodi di ancoraggio posti all'estremità:

- raggiunge il suo massimo valore al momento del cedimento;
- che questo valore è compreso fra i 50 °C e i 60 °C;
- che questo valore massimo si registra nel tratto di corda che esce dalle spire dei nodi (vedi "Resistenza dei materiali speleo-alpinistici", Salvatori F., Celesti S., Menichetti M. Lambri F., Guerriero G. ed altri, Centro Nazionale di Speleologia "Monte Cucco, Costacciaro 1989, pag. 227).

Questi dati sperimentali contrastano con l'ipotesi che la corda si rompa all'uscita del nodo per il calore accumulato con l'attrito fino a raggiungere il punto di fusione del polimero che costituisce la corda (per esempio i 220 °C del nylon 6.0).

ANALISI AL MICROSCOPIO ELETTRONICO

Con la collaborazione offerta dall'Università di Urbino è possibile visualizzare al microscopio elettronico i vari elementi che compongono un campione. L'osservazione è particolarmente interessante e significativa quando investe le parti dove si è verificato il cedimento strutturale, contribuendo anche all'individuazione del meccanismo che condotto alla rottura.

CORDE E CORDINI

ELENCO DELLE CORDE E DEI CORDINI DA SOTTOPORRE AI TEST

In totale, per ogni tipo di corda occorrono 21,5 m.

Corde dinamiche:

Beal Edlinger 10 mm nuova

Beal Edlinger 10 mm usata

Corde statiche:

Beal Antipodes 10 mm nuova

Beal Antipodes 10 mm usata

Cavalieri 10,6 mm nuova

Courant Ultima 11 mm nuova

Courant Ultima 10 mm nuova

Courant Ultima 9 mm nuova

Courant Ultima 9,5 mm nuova

Courant Equirial 10 mm nuova

Corda's Fina 8,5 mm nuova

Cordini

Dyneema Repetto 8 mm nuovo

Dyneema Repetto 5,5 mm nuovo

Kevlar Courant 5,4 mm nuovo

ELENCO DEI TEST DA EFFETTUARE SU CIASCUN TIPO DI CORDA E CORDINO *(la successione che segue rispecchia la successione con cui si devono essere eseguite le prove)*

Analisi della struttura della corda o cordino a riposo

Misurazione del diametro apparente, valutazione del tipo di tessitura dell'anima e della calza, valutazione separata della resistenza a rottura dei vari elementi (trefoli, calza, ed altro).

Punto di fusione

Calcolare il punto di fusione del materiale (o dei materiali: anima e calza) che costituiscono la corda (per la definizione del tipo di polimero utilizzato)

Carico di rottura senza nodi

Calcolare F_r con il dinamometro CRASC, trazionandola con la velocità standard di 0,005 m/s e ancorandola alle estremità con avvolgimento sui tamburi di ancoraggio fino alla rottura della corda stessa. Spazio libero fra tamburi = 50 cm.

Carico di rottura con nodi

Calcolare F_{rn} con il dinamometro CRASC, trazionandola con la velocità standard di 0,005 m/s e ancorandola alle estremità con nodi guida (lunghezza fuori tutto = 50 cm).

Analisi termografica durante i test di rottura con e senza nodi

Con termocamera a infrarossi documentare la distribuzione delle temperature lungo la corda e nei nodi, fino alla rottura.

Documentazione fotografica al microscopio elettronico

Utilizzando il microscopio elettronico a scansione dell'università di Urbino, raccogliere una documentazione fotografica sui fili elementari di polimero e sulle loro modificazioni dopo le sollecitazioni applicate.

ELENCO DEI TEST DA EFFETTUARE SULLE CORDE DINAMICHE E STATICHE

COSTRUZIONE SPERIMENTALE DELLE CURVE $F = f(A)$ DI CARICO/SCARICO IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE E DEL NUMERO DI CHOC SUBITI

Il campione base è della lunghezza fuori tutto di 3 m e con due gasse all'estremità (guida semplice) della lunghezza di 6 cm (solo doppino).

La ragione della scelta di tale lunghezza sta nel fatto che la deformazione e l'energia collegate alla trazione dei soli nodi diviene trascurabile rispetto alla deformazione e all'energia che la trazione

produce nel tratto di corda libero dai nodi (si veda “Resistenza dei materiali speleo-alpinistici”, Salvatori F., Celesti S., Menichetti M. Lambri F., Guerriero G. ed altri, Centro Nazionale di Speleologia “Monte Cucco, Costacciaro 1989, pagg. 191 – 195).

Il campione viene pretirato con la sospensione di un peso di 140 kgp e dopo il pretiraggio si misura con esattezza la lunghezza del campione fuori tutto. E' questa la lunghezza da prendere in considerazione per il calcolo della Velocità di Deformazione.

CONDIZIONI A CADUTA

TORRE CRASC A TRAZIONE VELOCE CON VELOCITÀ DI ALLUNGAMENTO VARIABILI DA 1 m/s A 8 m/s

COSTRUZIONE DELLA CURVA SPERIMENTALE FORZA/ALLUNGAMENTO DI VARI CAMPIONI DELLA STESSA CORDA

1. Campione: corda con due nodi di ancoraggio all'estremità della lunghezza fuori tutto di 3 m.
2. Lunghezza gassa uguale a 6 cm (solo doppino).
3. Pretiraggio del campione con sospensione di un peso di 140 kgp.
4. Misurare esattamente dopo pretiraggio la lunghezza del campione fuori tutto.
5. Su questo campione effettuare e registrare i dati forza/allungamento per una caduta di 1,0 m con un peso da 140 kgp (choc 01).
6. Ripetere sullo stesso campione di corda lo stesso test (choc 02).
7. Ripetere sullo stesso campione di corda lo stesso test (choc 03).
8. Su un campione della stessa corda con le dimensioni e le condizioni indicate al punto 3) effettuare e registrare i dati forza/allungamento per una caduta di 2,0 m con un peso da 140 kgp (choc 01).
9. Ripetere sullo stesso campione di corda lo stesso test (choc 02).
10. Ripetere sullo stesso campione di corda lo stesso test (choc 03).
11. Su un campione della stessa corda con le dimensioni e le condizioni indicate al punto 3) effettuare e registrare i dati forza/allungamento per una caduta di 3,0 m con un peso da 140 kgp (choc 01).
12. Ripetere sullo stesso campione di corda lo stesso test (choc 02).
13. Ripetere sullo stesso campione di corda lo stesso test (choc 03).

CONDIZIONI QUASI-STATICHE

TORRE CRASC A TRAZIONE MANUALE (TIRFOR)

Un campione confezionato esattamente come sopra indicato nei punti 1), 2), 3), 4) si collega alla cella di carico superiore, mentre l'estremità inferiore viene collegata al piatto del peso utilizzato per le cadute (sostenuto dal verricello affinché non eserciti alcuna forza sul campione). Al di sotto del piatto si collega il cavo d'acciaio del Tirfor che viene messo in trazione agendo sulla leva di recupero cavo.

Nei parametri del software si inserisce 255 ms come tempo di campionamento. Dopo lo start all'acquisizione dati si inizia a trazionare con velocità media di 0,005 m/s fino a raggiungere il valore di forza massima precedentemente individuata dopo le prove a caduta, per poi tornare con

la stessa velocità al valore di forza uguale a zero (curva di carico e scarico). La misurazione avverrebbe con steep di 255 ms, tramite il laser e la cella di carico, per costruire, appunto curve Forza/Allungamento

Con una modifica (in via di esecuzione) del software sarebbe possibile trazionare a velocità inferiori a 0,005 m/s ed acquisire in continuo i dati nella memoria del computer (come avviene nel dinamometro a trazione).

CALCOLI COMPARATIVI IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE

Per il campione di corda in prova, sulla base dei dati raccolti nei test indicati nel paragrafo precedente, si calcola:

1. la forza massima,
2. il fattore di elasticità,
3. l'intervallo di elasticità,
4. l'energia in gioco,
5. la misurazione della plasticità del campione,
6. il ritardo fra allungamento in corrispondenza della forza massima e allungamento massimo,
7. la valutazione quantitativa delle caratteristiche visco-elastiche.

TABELLE SINTETICHE DEI TEST SU CORDE DINAMICHE E STATICHE

Ogni riga rappresenta le condizioni sperimentali di un test.

I parametri definiti nelle tabelle possono essere cambiati se durante l'esecuzione delle prove si manifesti questa necessità.

La quantità di corde necessaria per la confezione dei campioni è già stata acquisita.

Test già eseguito

NB Il valore di l_0 riportato è quello del campione fuori tutto con nodi non pretirato. Il valore da utilizzare nel calcolo della velocità di deformazione è quello che si ricava dopo il pretiraggio a 140 kg.

BEAL EDLINGER DIAMETRO 10 MM NUOVA (TEST PARZIALI)

Modo	Dove	h (m)	V_0 (m/s)	l_0 (m)	V_d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8
Caduta	Crasc	1,00	4,43	3	1,48	4,5
Caduta	Crasc	2,00	6,26	3	2,09	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,67	3	2,56	4,5

BEAL EDLINGER DIAMETRO 10 MM USATA (TUTTI DA FARE)

Modo	Dove	h (m)	V ₀ (m/s)	l ₀ (m)	V _d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8
Caduta	Crasc	1,00	4,43	3	1,48	4,5
Caduta	Crasc	2,00	6,26	3	2,09	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,67	3	2,56	4,5

BEAL ANTIPODES DIAMETRO 10 MM NUOVA (TUTTI DA FARE)

Modo	Dove	h (m)	V ₀ (m/s)	l ₀ (m)	V _d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8
Caduta	Crasc	1,00	4,43	3	1,48	4,5
Caduta	Crasc	2,00	6,26	3	2,09	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,67	3	2,56	4,5

BEAL ANTIPODES DIAMETRO 10 MM USATA (TUTTI DA FARE)

Modo	Dove	h (m)	V ₀ (m/s)	l ₀ (m)	V _d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8
Caduta	Crasc	1,00	4,43	3	1,48	4,5
Caduta	Crasc	2,00	6,26	3	2,09	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,67	3	2,56	4,5

CAVALIERI NUOVA 10,6 MM NUOVA (TUTTI DA FARE)

Modo	Dove	h (m)	V ₀ (m/s)	l ₀ (m)	V _d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8
Caduta	Crasc	1,00	4,43	3	1,48	4,5
Caduta	Crasc	2,00	6,26	3	2,09	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,67	3	2,56	4,5

COURANT ULTIMA DIAMETRO 11 MM NUOVA (TEST PARZIALI)

Modo	Dove	h (m)	V ₀ (m/s)	l ₀ (m)	V _d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8
Caduta	Crasc	1,00	4,43	3	1,48	4,5
Caduta	Crasc	2,00	6,26	3	2,09	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,67	3	2,56	4,5

COURANT ULTIMA DIAMETRO 10 MM NUOVA (TUTTI DA FARE)

Modo	Dove	h (m)	V ₀ (m/s)	l ₀ (m)	V _d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8
Caduta	Crasc	1,00	4,43	3	1,48	4,5
Caduta	Crasc	2,00	6.26	3	2,09	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,67	3	2,56	4,5

COURANT ULTIMA DIAMETRO 9 MM NUOVA (TUTTI DA FARE)

Modo	Dove	h (m)	V ₀ (m/s)	l ₀ (m)	V _d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8
Caduta	Crasc	1,00	4,43	3	1,48	4,5
Caduta	Crasc	2,00	6.26	3	2,09	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,67	3	2,56	4,5

COURANT ULTIMA DIAMETRO 8,5 MM NUOVA (TUTTI DA FARE)

Modo	Dove	h (m)	V ₀ (m/s)	l ₀ (m)	V _d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8
Caduta	Crasc	1,00	4,43	3	1,48	4,5
Caduta	Crasc	2,00	6.26	3	2,09	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,67	3	2,56	4,5

COURANT EQUIRIAL DIAMETRO 10 MM NUOVA (TUTTI DA FARE)

Modo	Dove	h (m)	V ₀ (m/s)	l ₀ (m)	V _d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8
Caduta	Crasc	1,00	4,43	3	1,48	4,5
Caduta	Crasc	2,00	6.26	3	2,09	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,67	3	2,56	4,5

CORDA'S FINA DIAMETRO 8,5 MM NUOVA (TUTTI DA FARE)

Modo	Dove	h (m)	V ₀ (m/s)	l ₀ (m)	V _d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8
Caduta	Crasc	1,00	4,43	3	1,48	4,5

Caduta	Crasc	2,00	6,26	3	2,09	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,67	3	2,56	4,5

ELENCO DEI TEST DA EFFETTUARE SUI CORDINI IN DYNEEMA E KEVLAR

COSTRUZIONE SPERIMENTALE DELLE CURVE $F = f(A)$ FINO ALLA ROTTURA IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE

Il campione base è della lunghezza fuori tutto di 3 m e con due gasse all'estremità (guida semplice) della lunghezza di 6 cm (solo doppino).

La ragione della scelta di tale lunghezza, come già detto, sta nel fatto che la deformazione e l'energia collegate alla trazione dei soli nodi diviene trascurabile rispetto alla deformazione e all'energia che la trazione produce nel tratto di corda libero dai nodi (si veda "Resistenza dei materiali speleo-alpinistici", Salvatori F., Celesti S., Menichetti M. Lambri F., Guerriero G. ed altri, Centro Nazionale di Speleologia "Monte Cucco, Costacciaro 1989, pagg. 191 – 195).

Il campione viene pretirato con la sospensione di un peso di 140 kgp e dopo il pretiraggio si misura con esattezza la lunghezza del campione fuori tutto. E' questa la lunghezza da prendere in considerazione per il calcolo della Velocità di Deformazione.

CONDIZIONI A CADUTA

TORRE CRASC A TRAZIONE VELOCE CON VELOCITÀ DI ALLUNGAMENTO VARIABILI DA 1 m/s A 8 m/s

COSTRUZIONE DELLA CURVA SPERIMENTALE FORZA/ALLUNGAMENTO DI VARI CAMPIONI DELLA STESSA CORDA

1. Campione: corda con due nodi di ancoraggio all'estremità della lunghezza fuori tutto di 3 m.
2. Lunghezza gassa uguale a 6 cm (solo doppino).
3. Pretiraggio del campione con sospensione di un peso di 140 kgp.
4. Misurare esattamente dopo pretiraggio la lunghezza del campione fuori tutto.
5. Su questo campione effettuare e registrare i dati forza/allungamento per una caduta di 1,0 m con un peso da 140 kgp fino alla rottura.
6. Su un campione della stessa corda con le dimensioni e le condizioni indicate ai punti soprastanti 1), 2), 3), 4) effettuare e registrare i dati forza/allungamento per una caduta di 2,0 m con un peso da 140 kgp fino alla rottura.
7. Su un campione della stessa corda con le dimensioni e le condizioni indicate ai punti soprastanti 1), 2), 3), 4) effettuare e registrare i dati forza/allungamento per una caduta di 3,0 m con un peso da 140 kgp fino alla rottura.

CONDIZIONI QUASI-STATICHE

TORRE CRASC A TRAZIONE MANUALE (TIRFOR)

Un campione confezionato esattamente come sopra indicato nei punti 1), 2), 3), 4) si collega alla cella di carico superiore, mentre l'estremità inferiore viene collegata al piatto del peso utilizzato per le cadute (sostenuto dal verricello affinché non eserciti alcuna forza sul campione). Al di sotto del piatto si collega il cavo d'acciaio del Tirfor che viene messo in trazione agendo sulla leva di recupero cavo.

Nei parametri del software si inserisce 255 ms come tempo di campionamento. Dopo lo start all'acquisizione dati si inizia a trazionare con velocità media di 0,005 m/s fino a raggiungere la rottura. La misurazione avverrebbe con steep di 255 ms, tramite il laser e la cella di carico, per costruire, appunto curve Forza/Allungamento

Con una modifica (in via di esecuzione) del software sarebbe possibile trazionare a velocità inferiori a 0,005 m/s ed acquisire in continuo i dati nella memoria del computer (come avviene nel dinamometro a trazione).

CALCOLI COMPARATIVI IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE

Per il campione di corda in prova, sulla base dei dati raccolti nei test indicati nel paragrafo precedente, si calcola:

1. la forza di rottura,
2. il fattore di elasticità,
3. l'intervallo di elasticità,
4. il lavoro alla rottura.

TABELLE SINTETICHE DEI TEST SUI CORDINI

Ogni riga rappresenta le condizioni sperimentali di un test.

I parametri definiti nelle tabelle possono essere cambiati se durante l'esecuzione delle prove si manifesti questa necessità.

La quantità di corde necessaria per la confezione dei campioni è già stata acquisita.

Test già eseguito

NB Il valore di l_0 riportato è quello del campione con nodi non pretirato. Il valore da utilizzare nel calcolo della velocità di deformazione è quello che si ricava dopo il pretiraggio a 140 kg.

CORDINO DYNEEMA REPETTO DIAMETRO 8 MM NUOVA (TEST PARZIALI)

Modo	Dove	h (m)	V_0 (m/s)	l_0 (m)	V_d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8

Caduta	Crasc	0,50	3,13	3	1,04	4,5
Caduta	Crasc	1,00	4,430	3	1,48	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,670	3	2,56	4,5

CORDINO DYNEEMA REPETTO DIAMETRO 5,5 mm nuova (tutti da fare)

Modo	Dove	h (m)	V ₀ (m/s)	l ₀ (m)	V _d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8
Caduta	Crasc	0,50	3,13	3	1,04	4,5
Caduta	Crasc	1,00	4,430	3	1,48	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,670	3	2,56	4,5

CORDINO KEVLAR COURANT DIAMETRO 5,5 mm nuova (test parziali)

Modo	Dove	h (m)	V ₀ (m/s)	l ₀ (m)	V _d (s ⁻¹)	n° metri
QS	Crasc		0,005	3	0,0016	8
Caduta	Crasc	0,25	2,210	3	0,738	4,5
Caduta	Crasc	0,50	3,13	3	1,04	4,5
Caduta	Crasc	1,00	4,430	3	1,48	4,5
Caduta	Crasc	3,00	7,670	3	2,56	4,5

NB. Dovendo effettuare test con caduta superiore a 3 m occorre allungare con catena rigida il punto di ancoraggio della cella di carico.

MOSCHETTONI

ELENCO DEI MOSCHETTONI DA SOTTOPORRE AI TEST (LUNGHEZZA DEI CAMPIONI CIRCA 10 cm)

Lega: Kong Oval KL lucido kN 22

Acciaio: Kong Oval KL Carbon Steel kN 24

La lunghezza l_t di un moschettone si misura lungo l'asse di trazione maggiore come indicato nella figura sottostante:



Nel caso che si sottoponga a test un unico moschettone:

$$l_0 = l_t$$

Nel caso di catene di moschettoni (occorre fissare con nastro-carta i moschettoni in modo corretto per una trazione lungo l'asse maggiore di tutti moschettoni costituenti la catena) la lunghezza del campione l_0 è pari a:

$$l_0 = l_t \times n$$

con n uguale al numero di moschettoni che costituisce la catena.

Questo è dovuto al fatto che i punti di appoggio interni fra i moschettoni, essendo la struttura del tondino di fatto rigida, possono essere traslati lungo l'asse di trazione all'esterno degli stessi moschettoni.

ELENCO DEI TEST DA EFFETTUARE SU CIASCUN TIPO DI MOSCHETTONE

ANALISI DELLA STRUTTURA DEL MOSCHETTONE

Analisi della sua costituzione (tipo di metallo) e misurazione della sua geometria (lunghezza, forma e diametro del tondino, tipo di chiusura, ecc.).

VALUTAZIONE DEL CARICO DI ROTTURA F_r IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE

MOSCHETTONE IN LEGA KONG OVAL KL LUCIDO kN 22

Modo	Dove	h (m)	V_0 (m/s)	l_0 (m)	V_d (s^{-1})	n° moschettoni
QS	Forlì		0,001	0,1	0,01	3 (singolo)
QS	Crasc		0,005	0,1	0,05	3 (singolo)
QS	Forlì		0,01	0,1	0,1	3 (singolo)
QS	Forlì		0,05	0,1	0,5	3 (singolo)
Caduta	Crasc	1,0	4,43	1	4,43	10 (unica catena)
Caduta	Crasc	2,0	6,26	0,5	12,53	5 (unica catena)
Caduta	Crasc	3,0	7,670	0,2	35,01	2 (unica catena)

MOSCHETTONE IN ACCIAIO Kong Oval KL Carbon Steel kN 24

Modo	Dove	h (m)	V_0 (m/s)	l_0 (m)	V_d (s^{-1})	n° moschettoni
QS	Forlì		0,001	0,1	0,01	3 (singolo)
QS	Crasc		0,005	0,1	0,05	3 (singolo)
QS	Forlì		0,01	0,1	0,1	3 (singolo)
QS	Forlì		0,05	0,1	0,5	3 (singolo)
Caduta	Crasc	1,0	4,43	1	4,43	10 (unica catena)
Caduta	Crasc	2,0	6,26	0,5	12,53	5 (unica catena)
Caduta	Crasc	3,0	7,670	0,2	35,01	2 (unica catena)

FINALITÀ DELLA RICERCA

In funzione della velocità di deformazione:

1. si misura il carico di rottura F_r (forza alla quale si ha il primo cedimento della struttura, di solito all'interno del "dito" di apertura);
2. si costruiscono i grafici $F = f(A)$;
3. si calcola il lavoro alla rottura L_r .

STRUMENTAZIONI DA UTILIZZARE

Dinamometro a trazione (CRASC e Forlì) con ancoraggio su grilli con tondino del diametro di 12 mm: trazione a velocità costante fino alla rottura completa. Questo a diverse velocità di trazione, utilizzando sia il dinamometro CRASC che quello del laboratorio di Forlì.

Dinamometro a caduta (Torre CRASC di Costacciaro) con condizioni sperimentali, in aggiunta a quelle indicate nelle soprastanti tabelle relativa ai moschettoni, come qui di seguito indicate:

1. ancoraggio su grilli o maillon rapide con tondino del diametro di 12 mm,
2. peso in caduta è di 140 kgp,
3. utilizzo di una catena rigida (della lunghezza da valutare di volta in volta, per prolungare il punto di ancoraggio sulla cella di carico,
4. il campione (moschettoni o catene di moschettoni) deve essere collocato fra l'ultimo anello della catena e il peso, per non inserire influssi legati alla forza d'inerzia della massa della catena e dei moschettoni stessi.

Costacciaro 20 aprile 2012

Testo elaborato da Francesco Salvatori e Marco Menichetti in collaborazione con Sergio Celesti (progettista e realizzatore della strumentazione di misura)