

I.I.S. SILVA – RICCI

ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE STATALE

PERITO INDUSTRIALE SPECIALIZZAZIONE MECCANICA E MECCATRONICA

***Test dinamico sulle corde d'arrampicata:
il Dodero***

TESINA DI MATURITÀ

Stefano Sarti

ANNO SCOLASTICO 2015/2016

Sommario

Introduzione	5
Nozioni tecniche generali	7
La catena di assicurazione	7
La Corda	8
<i>Introduzione e cenni storici</i>	8
<i>Composizione e struttura</i>	8
<i>Omologazione</i>	8
Strumenti e apparecchiature	9
Dodero	9
<i>Introduzione e cenni storici</i>	9
<i>Struttura</i>	9
<i>Fattore di caduta e principio di funzionamento</i>	10
<i>Dati e considerazioni</i>	12
La Torre di Padova	14
<i>Introduzione, cenni storici, struttura</i>	14
<i>Utilizzo e tipi di prove</i>	14
<i>Sistema di misura</i>	14
Cella di carico e trasduttori	15
Laser measuring device – Misuratore laser	16
Bibliografia e sitografia	19
Ringraziamenti	21

Introduzione

Lo scopo di questa trattazione è di presentare una particolare tipologia di prova meccanica eseguita su uno specifico materiale. Essa viene utilizzata per lo studio e l'omologazione delle corde dinamiche, che vengono utilizzate in arrampicata per le loro proprietà elastiche. La prova viene eseguita grazie a una particolare macchina, chiamata Dodero, inventata poco dopo gli anni '50. Sfruttando le nuove tecnologie è stato possibile aggiornarla e renderla più precisa, ma tuttora sfrutta lo stesso principio dell'epoca. Inoltre, dopo aver esposto le caratteristiche di tale macchinario, si cercherà di dimostrare come i principi fisici e matematici abbiano permesso di individuare il metodo corretto di studio e di sviluppo delle corde.



Dodero del CSMT

Nozioni tecniche generali

La catena di assicurazione

La catena di assicurazione indica l'insieme complessivo degli elementi che costituiscono il sistema di sicurezza della cordata: moschettoni, corda, imbracatura, sistemi frenanti, cordini, fettucce e ancoraggi (naturali e artificiali).

La cordata è un gruppo di due o più arrampicatori o alpinisti che compiono una scalata legati alla medesima corda, permettendo l'abbassamento del rischio.

Per freno, in ambito arrampicatorio e alpinistico, si intende uno strumento che permette l'arresto di un'eventuale caduta ed è definibile come moltiplicatore di forze.

Un'assicurazione di tipo dinamico viene definita tale quando si utilizza un freno che rallenta la corda fino ad arrestarla completamente mediante l'attrito e la forza di trattenuta esercitata sulla corda da parte dell'assicuratore (colui che svolge il compito di assicurazione). L'energia meccanica sviluppata nella caduta viene dissipata principalmente dal freno sotto forma di calore dovuto all'attrito freno-corda. Questa tipologia di assicurazione permette di sollecitare in modo minore i punti di ancoraggio e quindi viene preferita nella pratica dell'alpinismo, dove questi ultimi sono più precari e distanziati tra loro. Questo tipo di freno richiede costantemente la presenza di una forza di arresto esterna al freno (assicuratore), in caso di caduta perciò risulta più pericoloso e talvolta fatale.

Un'assicurazione di tipo statico viene definita tale quando si utilizza un freno che blocca completamente la corda andando a sollecitare in modo brusco i componenti della catena di assicurazione. L'energia viene dissipata dal sistema di ancoraggio della corda (vincolo statico) e dalla corda stessa (grazie alla sua elasticità). Questa tipologia di assicurazione viene utilizzata quasi unicamente in arrampicata sportiva su lunghezze relativamente contenute e dove si conoscono bene i punti di ancoraggio. Il freno bloccante permette all'assicuratore di prestare minore attenzione, comunque sempre necessaria, riducendo i rischi causati dal fattore umano e rendendo tale strumento più adatto ai meno esperti.

In entrambi i casi si utilizzano corde di tipo dinamico (elastiche) in modo tale da rendere le altre componenti della catena di assicurazione, tra cui l'arrampicatore, meno sollecitate. Se nell'assicurazione dinamica questo può essere un ulteriore aiuto alla dissipazione, nell'assicurazione statica questo è di vitale importanza per salvaguardare e non provocare gravi lesioni a colui che cade.

La corda dinamica, nell'assicurazione statica come in quella dinamica, ha il compito di assorbire l'energia di caduta allungandosi e producendo calore per attrito. Soprattutto nell'arrampicata sportiva, più che nell'alpinismo, questo elemento deve, quindi, ridurre la decelerazione dell'arrampicatore ad un valore compatibile con le caratteristiche biomeccaniche del corpo umano. Di conseguenza lo studio delle corde in questo ambito è riportato allo studio delle forze di arresto che il corpo di un arrampicatore è in grado di sopportare, dovute alla forte decelerazione che si genera al momento della trattenuta e non ai carichi di rottura.

La Corda

Introduzione e cenni storici

Prima del secondo dopoguerra le corde erano fabbricate interamente in canapa e presentavano scarse caratteristiche meccaniche. Successivamente, negli U.S.A., vennero introdotte le corde in Nylon. Inizialmente erano prodotte per le truppe speciali dell'esercito e nel campo dell'aviazione per la fabbricazione dei paracadute, ma subito trovarono largo impiego in vari settori. Le corde in Nylon presentano migliori caratteristiche quali: maggior resistenza statica, leggerezza a parità di resistenza, minor rigidità e maggior elasticità. [1]

Composizione e struttura

La corda è costruita con materiali sintetici, generalmente Poliammide 6 (Nylon), ed è composta da un'anima e una camicia (o calza). L'anima è la parte interna ed è composta da filamenti attorcigliati tra loro a formare degli stoppini, a loro volta attorcigliati a formare i trefoli. La camicia è il rivestimento esterno ed è costituita da un intreccio di fili formanti un tessuto tubolare colorato, avente lo scopo di proteggere l'anima dai raggi del sole e dalle abrasioni. Questa tipologia di intreccio favorisce il giusto compromesso tra elasticità e resistenza che rende la corda in Nylon adatta all'uso in arrampicata. [2]

Nel complesso la resistenza alla rottura di una corda dipende per il 70% dall'anima e per il 30% dalla calza, e il carico di rottura statico medio risulta circa pari a 2400 daN. [3]

Omologazione

La corda per essere introdotta legittimamente nel mercato europeo deve superare diverse prove. La loro regolamentazione è dettata dalle norme EN (European Norms) curate da un Comitato Europeo per la Normalizzazione (CEN), il quale sta cercando di rendere il contenuto tecnico delle norme non diverso dal testo UIAA (Unione Internazionale delle Associazioni Alpinistiche). L'UIAA è l'ente di regolamentazione internazionale specifico per il settore alpinistico per i paesi che vi hanno aderito, però non è al momento obbligatorio per il mercato europeo. Deriva da ciò che le due norme sono interdipendenti tra loro, o meglio, le norme EN derivano dagli studi svolti dalla UIAA.

Le prove EN riguardano:

- Deformabilità a carico statico: applicato un carico statico prestabilito, la corda non deve allungarsi oltre certi valori percentuali.
- Scorrimento della calza: lo scorrimento della calza rispetto all'anima deve rispettare valori specifici.
- Annodabilità: l'occhiello di un nodo semplice eseguito su una corda in trazione deve rientrare entro certi parametri.
- Resistenza e deformabilità dinamica: la corda deve essere in grado di resistere per un numero minimo di volte a un carico dinamico prestabilito e non superare una percentuale di allungamento stabilita dalla norma.

Per alcune di queste prove, in modo specifico per quelle dinamiche, viene utilizzato uno strumento chiamato "macchina di Dodero". [2]

Strumenti e apparecchiature

Dodero

Introduzione e cenni storici

La macchina nasce intorno agli anni '50 a Grenoble (Francia), per poi essere sviluppata a Tolosa, secondo l'idea del professor Maurice Dodero, da cui prende il nome, in concomitanza con l'uscita delle corde in Nylon e la necessità della loro omologazione. L'apparecchiatura fu realizzata non più per studiare il valore del carico di rottura statico, come si era soliti fare per le corde in canapa, ma le forze di arresto che variavano secondo le caratteristiche elastiche delle nuove corde.

Struttura

Lo spezzone di corda da esaminare viene ancorato a un'estremità con un sistema omologato (Poller, *figura 1*), fatto passare attraverso una piastra forata ($d = 40 \text{ mm}$) a bordo arrotondato (raggio bordo 5 mm che simula il contatto con il moschettone, *figura 2*), e agganciato a una massa standard di 80 kg al capo opposto (*figura 3*), a simulare l'arrampicatore. La massa viene sollevata a un'altezza di 2,3 m sopra la piastra e lasciata cadere verticalmente lungo due colonne guida (*figura 3*), strutturate in modo da ridurre al minimo i fattori d'attrito con la massa stessa¹. [4]



Figura 1 - Sistema di ancoraggio Poller

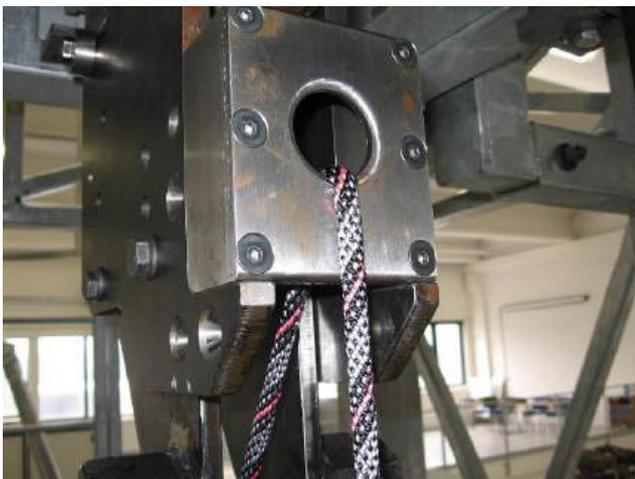


Figura 2 - Piastra forata



Figura 3 – Colonne guida e massa (gialla) con sistema di sgancio (rosso)

¹ Per verificare l'effettiva assenza di attriti si misura la velocità della massa durante la sua caduta.

Fattore di caduta e principio di funzionamento

La massa inizialmente possiede un'energia potenziale². Man mano che la massa cade, e quindi acquista velocità, l'energia potenziale si trasforma in energia cinetica. Nell'istante prima che la corda inizi a entrare in tensione, la massa possiede un'energia cinetica³, trascurando gli attriti, pari all'energia potenziale iniziale. La corda inizia a deformarsi. Quando raggiunge l'allungamento massimo, l'energia cinetica si è trasformata (teoricamente) in energia elastica, pertanto si avrà che:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = E_e = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x_{max}^2$$

dove k è il coefficiente elastico della corda, ipotizzando di avere una deformazione proporzionale alla forza applicata, e x_{max} l'allungamento massimo della corda.

Inoltre per la definizione di deformazione elastica si ha che:

$$\varepsilon = \frac{dx}{dL}$$

dove dL indica un tratto di corda infinitesimo a cui è applicata una forza F di trazione e dx indica il rispettivo allungamento infinitesimo. Ma per la legge di Hooke è vero anche che:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{F}{E \cdot A}$$

con E modulo di elasticità della corda e A la sua sezione trasversale. Allora:

$$\frac{dx}{dL} = \frac{F}{E \cdot A}$$

Pertanto, integrando, l'allungamento complessivo risulta:

$$\int_0^x dx = \int_0^L \frac{F}{E \cdot A} dL$$
$$x = \frac{F \cdot L}{E \cdot A}$$

Ma poiché la corda risponde teoricamente alla legge:

$$F = k \cdot x$$

si ha:

$$k = \frac{F}{x} = \frac{E \cdot A}{L}$$

Andando a ricollegarci quanto detto inizialmente risulterà quindi:

$$F_{max} = k \cdot x_{max} = \sqrt{2 \cdot k \cdot \frac{1}{2} \cdot k \cdot x_{max}^2} = \sqrt{2 \cdot k \cdot m \cdot g \cdot h}$$

² m = massa

g = accelerazione gravitazionale

h = altezza di caduta

³ v = velocità della massa

e andando a sostituire k , considerando $E \cdot A = k_0$ (costante dipendente dalla corda), risulterà che sull'arrampicatore si scaricherà una forza proporzionale al rapporto $\frac{h}{L}$ pari a:

$$F_{max} = \sqrt{2 \cdot m \cdot g \cdot k_0 \cdot \frac{h}{L}}$$

Il rapporto tra l'altezza di caduta e lunghezza della corda determina il fattore di caduta, nel Dodero⁴ poco meno di 2, poiché sono presenti 30 centimetri di corda tra il sistema di ancoraggio Poller e la piastra forata. L'energia cinetica della massa in caduta libera viene dissipata dall'elasticità della corda e grazie alla seconda legge di Newton ($F = m \cdot a$) si può capire che in presenza di una decelerazione più graduale una forza d'arresto minore si scarica sulla massa. Riassumendo tutta la trattazione si intuisce che aumentando l'altezza di caduta aumenta l'energia potenziale, e allo stesso tempo aumenta la quantità di corda disponibile alla dissipazione. Lo sforzo massimo quindi non dipende dall'altezza di caduta bensì dal fattore di caduta. Questo spiega il motivo per cui non è necessario lavorare con altezze relativamente elevate, come si potrebbero trovare sul campo, ma è possibile contenerle all'interno di un laboratorio. [5] Oltre a verificare che la corda resista al caso peggiore appena descritto per un numero minimo di trattenute (5 per l'omologazione, 1979 [6]), essa deve essere costruita e verificata al Dodero, affinché non superi il valore della forza di arresto di 1200 daN per la prima caduta libera. Questo valore viene rilevato tramite una cella di carico⁵ installata nell'ancoraggio, e fu stabilito dal centro di ricerca dell'aviazione francese, il quale arrivò a determinare che il corpo umano, per non subire danni permanenti, riesce a resistere a un'accelerazione (o decelerazione in questo caso) di 15 volte quella di gravità⁶.

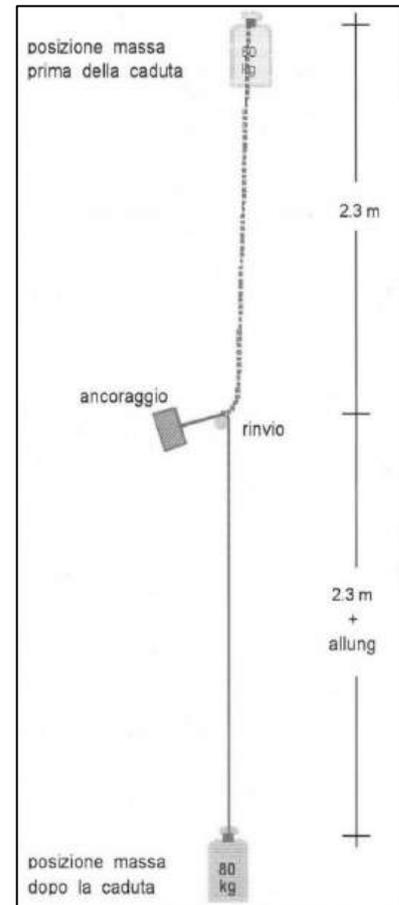


Figura 4 - Schema di funzionamento

Nella struttura, inoltre, è installato un misuratore laser⁷, che permette di misurare la posizione della massa in caduta libera, approssimata al millimetro, a ogni millesimo di secondo, in contemporanea con la misura della tensione della corda. [6] È possibile quindi ottenere i dati precisi di allungamento della corda.

⁴ $F.C. = H_{caduta} / L_{corda} = 4,6 [m] / 2,6 [m] = 1,77$

⁵ Vedi "Cella di carico e trasduttori", p. 15

⁶ $F.A._{max} = m \cdot 15g = \frac{kg_{peso}}{g} \cdot 15g = 80 [kg] \cdot 15 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 1200 [daN]$

⁷ Vedi "Laser measuring device – Misuratore laser", p. 16

Dati e considerazioni

Nella tabella qui a fianco (figura 5) sono riportati i dati di una prova eseguita su una corda nuova, marca Edelrid modello Pro Line Swift, di diametro 8,9 mm. In questo specifico caso lo svolgimento della prova non era finalizzato all'omologazione della corda ma alla verifica della stessa. La prima colonna riporta il numero di cadute effettuate (Drop n°), la seconda i valori della forza d'arresto espressi in Kgf (Kg. F.), la terza l'altezza effettiva di caduta, in millimetri (D.M.), e la quarta la velocità massima⁸ (V.M.) raggiunta dalla massa.

Si può notare come la corda abbia resistito a sei cadute e alla settima si sia rotta. Inoltre, nella prima caduta, è stato registrato un valore della forza d'arresto pari a 847,18 Kgf, quindi ben al di sotto dei 1200 Kgf richiesti dalla normativa. Se si osservano i dati relativi all'altezza di caduta effettiva, cioè la distanza dalla posizione iniziale alla posizione in cui si rileva l'inversione di moto della massa (velocità pari a zero), si nota come questa distanza aumenti a ogni caduta libera poiché la quantità di corda è sempre la stessa, ma non la sua lunghezza, dato che ha subito degli snervamenti. Ne deriva un continuo aumento della forza d'arresto fino al punto che la corda non riesce più ad allungarsi, e quindi non riesce più a dissipare energia, e si rompe nel punto di contatto con l'orifizio, poiché è il punto dove si scaricano tutte le tensioni. In sostanza, la corda a ogni caduta si allunga sempre di più fino alla rottura.

Possiamo quindi confermare quanto ipotizzato precedentemente a livello teorico e ribadire che l'assorbimento energetico di caduta avviene grazie alle caratteristiche elastiche della corda. I dati presentati dimostrano un chiaro esempio di come la prova pratica in laboratorio abbia confermato i principi teorici.

La caratteristica principale della prova risulta essere la sua ripetibilità, la quale rende possibile confrontare corde fornite da costruttori differenti e standardizzare le caratteristiche finali del prodotto. In aggiunta, affiancando il collaudo al Dodero ad altri test complementari come la prova a trazione lenta⁹, "si può testare la corda nuova, la corda usurata artificialmente e la corda usurata sul terreno. L'usura artificiale è ottenuta con una procedura nuova ancora oggetto di studio. È interessante notare che una corda vecchia anche di venti anni, ma conservata senza esposizione al sole resiste come nuova alle prove di caduta al Dodero. Viceversa una corda usata per un anno in falesia potrebbe non resistere neanche a una sola prova. Il risultato finale di queste ricerche si rifletterà forse in una nuova normativa riguardante il logorio delle corde" [7], ulteriore incognita costatata recentemente che mette appunto in difficoltà gli studi.

Drop n°	Kg. F.	D.M.	V.M.	+2.300%	elong %
1	847,18	5680	9,30		
2	1032,49	5810	9,68		
3	1221,50	5860	9,56		
4	1232,15	5920	9,69		
5	1237,99	5930	9,69		
6	1242,56	5960	9,71		
7	1244,09	6680	9,72		
8					
9					
10					
11					
12					
Proptore	Orifizio		Condizionamento		
	Dodero ST17				
	Bifessamento nuovo				
Direttore	e: /20160226/				
Data	26/02/2016				
Tempo Meteo	Pioggia				
Ore	8,571				
Massa	Kg. 80				
Room %	33,5%				
Room temp.	22,0°				
Water %					

Figura 5 - Corda Edelrid Pro Line Swift diametro 8.9 mm

⁸ Come accennato in precedenza, serve solamente a verificare che si tratti di una effettiva caduta libera priva di attriti.

⁹ Consiste nell'applicare alla corda un carico graduale fino alla sua rottura. Rilevando i carichi di rottura e abbinandoli ai risultati del Dodero, questi test permettono un confronto diretto tra caratteristiche statiche e dinamiche.

La prova rispecchia una situazione di caduta ben lontana dalla realtà, in quanto si basa su un principio di corda bloccata e fattore di caduta massimo, condizione che si verifica effettivamente solo in rare circostanze in cui la corda si viene a bloccare involontariamente nella roccia (es. fessure). Tuttavia permette di ottenere una corda in grado di resistere al massimo valore della forza d'arresto, motivo per cui rimane la prova d'eccellenza per l'omologazione. È bene ricordare inoltre che, nelle particolari occasioni in cui la corda si ritrova incastrata, la sua rottura non avviene a causa di una scarsa elasticità, ma dell'effetto tagliente della roccia. È per questo motivo che negli ultimi tempi si sta cercando di sviluppare un sistema efficace e ripetibile per analizzare le corde sotto questo punto di vista. Il CSMT¹⁰, il cui laboratorio si trova a Villafranca Padovana (PD), ha lavorato anni per ottenere una soluzione comune per tutti da proporre ai produttori. Si è trovata una modifica da realizzare andando a sostituire la piastra a bordo arrotondato del Dodero con uno spigolo orizzontale in acciaio temprato (raggio di curvatura 0.75 mm), e andando ad aumentare la massa fino a 100 kg, per ottenere la rottura della corda alla prima caduta e ricavarne il valore dell'energia assorbita nell'attimo precedente la rottura; tale modifica è stata ormai accettata dalla commissione UIAA come prova ulteriore rispetto a quella "classica", ma sta tuttora aspettando l'accettazione da parte del CEN.

Il CSMT dichiara infatti:

La norma da noi proposta è stata formalmente accettata a Chamonix nel giugno 2013 da parte della Safety Commission UIAA (e anche a livello Working Group CEN poco dopo) come prova aggiuntiva rispetto alla prova Dodero classica. L'accettazione della norma a livello CEN invece non è ancora completa, perché si attende un Round Robin Test (prova collettiva e confronto dei risultati) fra produttori di corde e laboratori certificati. [8]

Per di più il numero di cadute al quale la corda riesce a resistere costituisce un valore poco significativo e non fisico¹¹, poiché il numero di cadute (una, due, tre o quattro) non può essere inteso come unità di misura della resistenza [6]. Si sta cercando di sostituire il numero di cadute con il valore dell'energia assorbita dalla corda prima di rompersi [8]. Queste valutazioni stanno emergendo in periodi recenti e sono ancora in via di sviluppo, quindi non è possibile dare una risposta definitiva al problema, sicuramente legato alla complicazione dell'effetto usura, oltre a quello dello sfregamento.

¹⁰ Centro Studi Materiali e Tecniche – è una struttura operativa del Club Alpino Italiano (CAI) e ha come obiettivo lo studio, teorico e pratico, dei problemi legati alla sicurezza nella progressione in montagna e in parete; studia inoltre le caratteristiche di resistenza e le prestazioni delle attrezzature alpinistiche e speleologiche. Il Dodero di Padova non viene utilizzato per le omologazioni, ma a scopo di ricerca.

¹¹ Sperimentalmente è stato dimostrato in generale che testando la corda nuova che resisteva a 14 – 15 cadute, dopo qualche utilizzo lo stesso tipo di corda passava a 11 – 12 cadute, e che testando una corda nuova resistente per 6 cadute, il passaggio a 5 poteva richiedere anche un anno di utilizzo.

La Torre di Padova

Introduzione, cenni storici, struttura

Grazie a un'idea che si ispira in una certa misura all'apparecchiatura che da Dodero prese il nome, gli Istruttori Nazionali della Scuola di Alpinismo della sezione CAI di Padova Giuliano Bressan e Giuseppe Grazian, in collaborazione con l'ing. Carlo Zanantoni, hanno comprato, rinforzato e modificato un vecchio traliccio ENEL situato alle porte di Padova per ottenere quella che ora è conosciuta da arrampicatori e alpinisti di tutta Europa come la "Torre di Padova". Con un'altezza di circa 20 metri e due piattaforme a diverse altezze per consentire lo svolgimento dei test o la loro semplice osservazione, la struttura completata nel 1990 ha permesso, e sta permettendo, mediante condizioni controllate, lo studio di situazioni critiche e di svariate prove sui materiali d'alpinismo. [9] Come il Dodero, la Torre presenta un sistema di guide verticali, nel quale scorre una massa di 80 kg, con la differenza che qui la massa ha a disposizione più di 10 metri di caduta libera consentendo di analizzare le tecniche di frenamento della stessa¹²:

Qui didattica di assicurazione e test sui materiali per alpinismo trovano spazio, con l'ausilio di una notevole serie di attrezzature che ci pongono fra i primi posti a livello internazionale. [7]

Utilizzo e tipi di prove

Era necessario identificare un sistema che riproducesse maggiormente la realtà mantenendo le caratteristiche positive del Dodero, quali ripetibilità e attriti controllati, in modo da esporre a esperti e meno cosa potesse accadere in casi di pericolo reale e quali forze entrassero in gioco. È questa struttura infatti l'anello di collegamento tra laboratorio e montagna. A differenziare la Torre dal Dodero, oltre alle dimensioni, è il fatto che principalmente la Torre viene sfruttata per collaudare parti della catena d'assicurazione, e relative tecniche d'utilizzo, con corda frenata (condizione che si ripropone costantemente nella realtà), anziché con corda bloccata, anche se è comunque possibile riprodurre la situazione. [10]

Sistema di misura

Inoltre ciò che accomuna la Torre con il Dodero è il sistema che permette il rilevamento e lo studio successivo dei dati. Ciò, bisogna sottolineare, è stato possibile solo negli ultimi anni in quanto prima le strumentazioni non lo permettevano. Grazie al progresso tecnologico c'è stata la possibilità di raggiungere misurazioni più precise e accurate che permettono confronti sempre più prossimi alla realtà tra le varie corde. Entrambe le strutture acquisiscono dati, per misurare le forze d'arresto, mediante una cella di carico.

¹² Lo scopo è analizzare tecniche e catena di assicurazione e non le caratteristiche della singola corda, motivo per cui la Torre non viene utilizzata per l'omologazione dei materiali.

Cella di carico e trasduttori

La cella di carico è un particolare tipo di trasduttore che viene impiegato per la misurazione di forze.

Il trasduttore è costituito da due parti principali, sensore e convertitore, e in linea generale può essere definito come “un dispositivo che rileva un’informazione su una variabile fisica e la converte in un segnale, di natura elettrica, a essa legato da una legge di corrispondenza ben determinata.” [11] Il sensore è la parte del trasduttore che percepisce la variazione della grandezza fisica da controllare, mentre il convertitore trasforma il segnale proveniente dal sensore in una grandezza (generalmente di tipo elettrico) adatta alla trasmissione e alla sua elaborazione.

Esistono diversi tipi di trasduttori e possono essere classificati in base a vari criteri (grandezza misurata, apporto energetico, tipologia segnale d’uscita, tipologia di sensore), ma complessivamente i parametri caratteristici sono:

- Caratteristica di trasferimento: legge matematica che lega la grandezza d’ingresso a quella d’uscita;
- Isteresi: fenomeno che influenza la caratteristica di trasferimento e che determina valori diversi alla variabile dipendente (uscita) per uno stesso valore della variabile indipendente (ingresso) in base alla direzione in cui si analizzano i valori;
- Offset: in mancanza di segnale di ingresso si presenta comunque un segnale di uscita;
- Linearità: sensibilità costante per tutto il campo di misura;
- Errore di linearità: errore percentuale del rapporto tra lo scostamento massimo e la linea ideale, riferito al fondo scala;
- Sensibilità: rapporto tra un incremento del valore della grandezza in uscita e il rispettivo incremento della grandezza in ingresso ($S = \frac{\Delta U}{\Delta I}$);
- Campo di misura: intervallo di valori misurabili in maniera corretta senza esporre a rischio lo strumento;
- Risoluzione: la più piccola variazione in ingresso che determina una variazione della grandezza in uscita;
- Valore di soglia: massima variazione del segnale d’ingresso necessaria per ottenere un segnale di uscita diverso da zero;
- Precisione: proprietà del dispositivo di fornire valori di misura il più possibile vicini ai valori reali della grandezza misurata;
- Tempo di risposta: tempo necessario affinché l’uscita raggiunga un valore pari a un’elevata percentuale (90-95%) del valore di regime;
- Affidabilità: capacità di mantenimento nel tempo dei parametri di funzionamento. [11]

Le forze, nel caso del Dodero (*figura 6*) e della Torre, vengono rilevate tramite la misura di un segnale elettrico che varia a causa della deformazione provocata dalla forza stessa. La cella di carico è uno strumento in grado di rilevare una deformazione meccanica causata da una forza esterna tramite estensimetri, i quali sono trasduttori che provocano la variazione di una resistenza, applicata a un circuito di riferimento, in modo direttamente proporzionale al valore della forza applicata.



Figura 6 - Cella di carico HBM - U10M del CSMT del C.A.I. di Padova

Laser measuring device – Misuratore laser

The laser measuring device is an optical sensor to measure the distance between the sensor and a reflector.

In this particular application, the measuring system is used to record linear movements and process the measured data, so as to detect the distance that the mass has covered.

It consists of a transmitter and a receiver which are placed at the same location (figure 7). The transmitter emits a beam of electromagnetic radiation (laser beam) that is bounced back to the receiver via a reflector installed on the mass. The laser emits 1000 samples per second and a software detects the distance thanks to the phase angle of the received signal in relation to the transmitted signal (figure 8).

Furthermore, to measure the distance, the reflector must always remain within the visual field of the sensor since the reflector is attached to a moving object and the sensor to a fixed position.

This device has allowed the development of the Dodero, and also for this reason this particular machine is still used nowadays to test dynamic ropes.

Principle: $d = f(\phi)$

ϕ = Phase displacement
 d = Distance

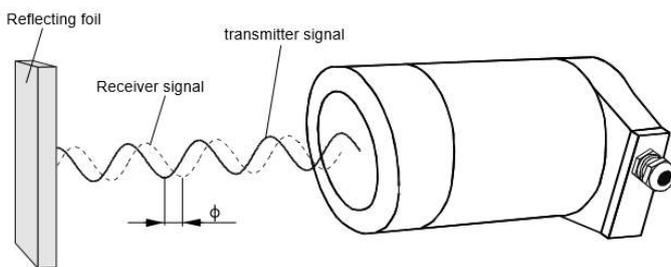


Figura 8 - Operation principle



Figura 7 - Laser LE - 100 SSI del CSMT

Il dispositivo di misurazione laser è un sensore ottico impiegato per misurare la distanza tra il sensore e un riflettore.

In questa particolare applicazione, il sistema di misura viene utilizzato per la registrazione di movimenti lineari ed elaborare i dati misurati, in modo da misurare la distanza che la massa ha percorso.

Il sistema è composto da un trasmettitore e un ricevitore che sono posti nella stessa posizione (figura 7). Il trasmettitore emette un fascio di radiazione elettromagnetica (raggio laser) che viene fatto rimbalzare al ricevitore tramite un riflettore installato sulla massa. Il laser emette 1000 campionamenti al secondo e un software rileva la distanza grazie all'angolo di sfasamento del segnale riflesso che viene percepito in entrata rispetto al segnale trasmesso (figura 8).

Per misurare la distanza, inoltre, il riflettore deve sempre rimanere all'interno del campo visivo del sensore in quanto il riflettore è attaccato ad un oggetto in movimento e il sensore ad una posizione fissa.

Il Dodero è usato ancora oggi per verificare le corde dinamiche anche grazie a questo dispositivo, che ha permesso il suo sviluppo.

Bibliografia e sitografia

- [1] Cfr. P. Casavola, C. Melchiorri, C. Zanantoni, "L'apparecchio Dodero: passato, presente e futuro", *La Rivista del Club Alpino Italiano*, Luglio-Agosto 2001, pp. 88-94
- [2] Cfr. Commissione nazionale scuole di alpinismo, scialpinismo e arrampicata libera, "Corde", *Alpinismo su roccia*, Milano, Club Alpino Italiano, 2008, pp. 53-63
- [3] Cfr. P. Casavola, C. Melchiorri, C. Zanantoni, "Nuove attrezzature per studi su corde dinamiche", *La Rivista del Club Alpino Italiano*, Luglio-Agosto 2003, pp. 76-79
- [4] Cfr. Commissione tecnica UNI, *Attrezzatura per alpinismo - Corde dinamiche per alpinismo - Requisiti di sicurezza e metodi di prova*, norma europea UNI EN 892, edizione Maggio 2015
- [5] Cfr. E. Ambrogio, *Studio del fenomeno di rottura delle corde da arrampicata*, Università degli studi di Torino, Tesi di Laurea Magistrale, Corso di Laurea Magistrale in Chimica Clinica, Forense e dello Sport, A.A. 2011/2012, pp. 6-8
- [6] Cfr. e Cit. C. Zanantoni, "Un nuovo modo di provare le corde", *Le Alpi Venete*, 2008, pp. 234-236
- [7] Cfr. e Cit. Comunicato Stampa (CAI), *I TEST SUI MATERIALI DI ARRAMPICATA - Dalla Torre al Dodero*, 30/03/2007
- [8] Cit. V. Bedogni, G. Bressan, C. Zanantoni, "Rottura di una corda in arrampicata", 01/12/2015, <http://www.loscarpone.cai.it/news/items/prova-su-spigolo-delle-corde-facciamo-il-punto.html>
- [9] Cfr. A. Carboni, "La 'Torre' di Padova didattica di assicurazione e test dei materiali", *Le Alpi Venete*, 2002, pp. 98-103
- [10] Cfr. A. Castagna, "Torre S. Lazzaro - la risposta ai tanti perché nella catena di sicurezza", *Annuario CAAI*, 2000, pp. 96-97
- [11] Cfr. e Cit. G. Natali, N. Aguzzi, *Sistemi e automazione/3*, Milano, Edizioni Calderini, 2010

Ringraziamenti

Desidero ringraziare tutti coloro che hanno contribuito alla stesura del mio elaborato.

Ringrazio anzitutto il Centro Studi Materiali e Tecniche (CSMT) del C.A.I. che mi ha ospitato e permesso di vedere lo svolgimento della prova, oltre ad avermi fornito tutto il materiale tecnico di cui ho avuto bisogno; in particolar modo il presidente Giuliano Bressan per ogni delucidazione e il tecnico Sandro Bavaresco per avermi illustrato ogni componente della macchina e la completa esecuzione della prova.

Ringrazio tutti i docenti che mi hanno aiutato con critiche e suggerimenti, in modo specifico la professoressa Paola Bertolaso per la trattazione in inglese e la professoressa Carolina Pernigo per il supporto morale e la correzione strutturale - ortografica.

Infine un ringraziamento va ai miei fratelli Luca e Davide che hanno saputo consigliarmi e guidarmi in quest'ultimo periodo.