

Claudio Melchiorri,
Carlo Zanantoni,
Patrizio Casavola
Commissione
Centrale Materiali
e Tecniche

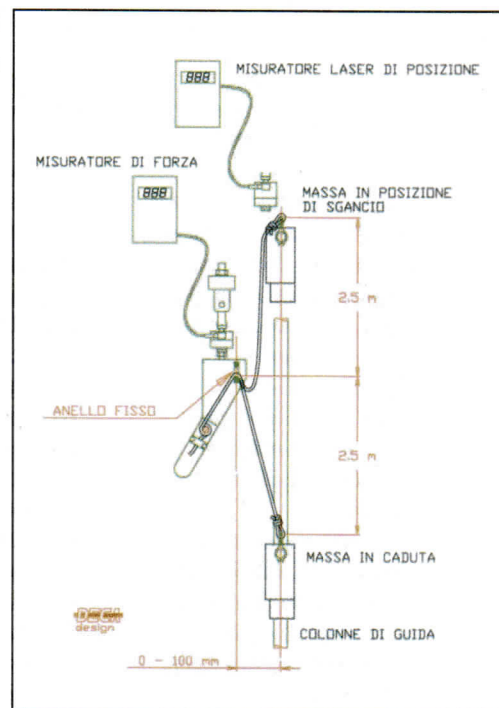
L'apparecchio DODERO: passato presente e futuro

L'apparecchio DODERO è da diversi decenni lo strumento principale utilizzato per l'omologazione delle corde dinamiche da alpinismo. È infatti ben noto che una corda, prima di essere posta in commercio, deve superare opportune verifiche che ne definiscono le caratteristiche di elasticità e robustezza e garantiscono all'arrampicatore opportuni margini di sicurezza. Di recente, la Commissione Centrale Materiali e Tecniche del CAI ha eseguito un importante lavoro di riprogettazione e modifica del DODERO presente presso la Facoltà di Scienza e Tecnica delle Costruzioni dell'Università di Padova per ottenere uno strumento all'avanguardia in campo europeo ed eseguire prove più complesse e precise di quelle eseguite sinora. Questi lavori, descritti brevemente nel seguito, fanno sì che l'attrezzatura disponibile al momento a Padova sia tra le più sofisticate attualmente esistenti per le prove dinamiche su corde da alpinismo.

1. Le origini ed i principi del DODERO

Le prove sulle corde da alpinismo vennero proposte nel dopoguerra, attorno al 1950, quando al posto delle corde di canapa vennero introdotte le corde di nylon, inizialmente prodotte negli USA per l'esercito (per truppe speciali e per il traino di alianti). Queste corde hanno mostrato fin da subito caratteristiche nettamente superiori rispetto alle corde di canapa dal punto di vista della resistenza statica, della minor ritenzione di acqua in caso di pioggia, dell'influenza di tale ritenzione sulla rigidità della corda e sulla sua resistenza a trazione, della maggior leggerezza a pari resistenza. Soprattutto, rispetto alle vecchie corde in canapa, le corde in nylon sono più deformabili, dote importante sia per la trazione di alianti che per gli alpinisti: questa caratteristica consente infatti un arresto più graduale della caduta di un corpo, con la generazione di una sollecitazione molto inferiore sia sul corpo dell'alpinista che cade sia sui rinvii, cioè i punti di ancoraggio della corda alla roccia.

Fig. 1: Schema degli elementi principali del DODERO (descrizione qualitativa).



Con le corde in nylon, ci si trovò ad avere disponibile un prodotto che, oltre ad essere nettamente superiore a quanto precedentemente in uso, presentava affidabilità e possibilità di controllo della produzione tali da dare un senso all'introduzione di prove standard.

Tali prove potevano e dovevano essere dinamiche e non statiche perché lo sforzo a cui la corda è sottoposta in caso di caduta – e quindi anche la sua probabilità di rottura – è di tipo dinamico e dipende dalle caratteristiche “elastiche” delle corde (si userà qui ripetutamente il termine “elasticità” in modo improprio; una definizione rigorosa di “elasticità”, di “deformabilità” e di “modulo elastico” di una corda esula dagli obiettivi di questo articolo).

Vi è una seconda ed importante ragione per cui si debbono eseguire prove di tipo dinamico: i carichi a cui sono sottoposti gli altri

elementi della catena di sicurezza sono determinati dallo sforzo che la corda genera durante la fase di trattenuta e arresto della caduta. Bisogna dunque verificare che la deformabilità della corda (in una situazione dinamica) sia tale da generare, in occasione di una caduta, sforzi al di sotto di un valore massimo definito.

Come si è detto, le prove sulle corde per alpinismo vengono eseguite tramite l'apparecchio DODERO, schematicamente mostrato in Fig. 1 e Fig. 3, così chiamato in onore dell'inventore, il prof. Dodero dell'Università di Grenoble in Francia (si noti che, essendo francese, il suo nome va pronunciato con l'accento sull'ultima “o”). L'importanza del DODERO sta nel valore generale dei risultati che esso fornisce, cioè lo sforzo massimo (detto Forza di Arresto) ed il numero di cadute sostenute dalla corda

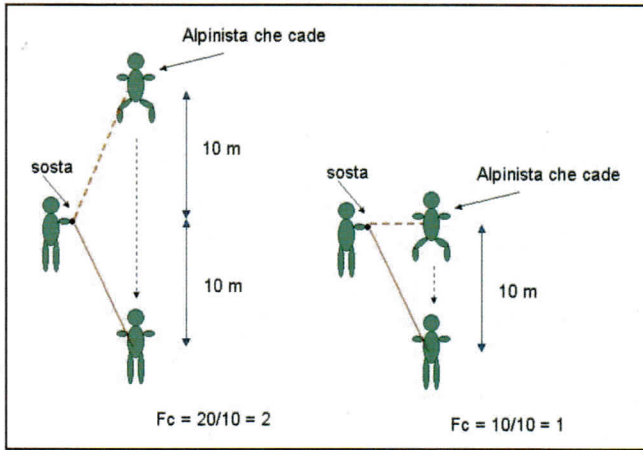


Fig. 2: Due casi con diversi fattori di caduta. In entrambi gli esempi la lunghezza della corda è di 10 m; nel caso di sinistra l'alpinista cade per

20 m, con un fattore di caduta pari a 2, mentre nel caso di destra cade per 10 m, ed il fattore di caduta si riduce a 1.

prima di rompersi.

Si deve infatti rilevare che lo sforzo massimo in caso di caduta, che si ottiene quando la corda è legata ad un punto fisso e le modalità di caduta sono fissate come fra poco vedremo, è indipendente dall'altezza di caduta. Questo fatto, a prima vista sorprendente, è facilmente comprensibile se si pensa che all'arresto l'energia di caduta è tutta assorbita dalla corda e che l'altezza di caduta e la lunghezza della corda sono fra loro proporzionali. Dunque l'energia assorbita per unità di lunghezza di corda, e quindi lo sforzo massimo all'arresto del corpo, è indipendente dall'altezza. Ovviamente questo avviene se rimane costante il cosiddetto fattore di caduta, ossia il rapporto fra lunghezza della corda e altezza della caduta. Nel DODERO questo rapporto è quasi 2, cioè il massimo possibile (uomo che sale verticalmente per tutta la lunghezza di corda disponibile prima di cadere; si veda la Figura 2, ove sono mostrati due casi con diversi fattori di caduta).

Il tempo di arresto varia con l'altezza di caduta (cresce grosso modo con la sua radice quadrata), ma questo non riduce in modo

significativo il valore della prova, eseguita, con piccole altezze, al DODERO. L'altezza della caduta libera al DODERO è stata fissata in 5 m, come compromesso fra: 1. altezza del locale che ospita il laboratorio, in quanto sono necessari almeno 8 metri; 2. necessità di ridurre quegli elementi del dispositivo che porterebbero ad una non completa indipendenza dei risultati dall'altezza di caduta. Infatti, considerando l'elemento principale (la corda) e semplificando il discorso, la strizione dei nodi che collegano la corda da un lato alla massa che cade e dall'altro alla struttura rigida che la sostiene induce dissipazioni ed assorbimenti di energia che non sono proporzionali alla lunghezza di corda, e quindi all'altezza di caduta. Infatti tali assorbimenti risultano percentualmente tanto più influenti quanto minore è l'altezza di caduta. Da ciò deriverebbe, per rendere la prova il più possibile indipendente da questi effetti, la necessità di avere una elevata altezza di caduta.

2. Cenni storici

Anche se Dodero, come si è detto, insegnava a Grenoble, il primo esemplare di DODERO fu costruito a

Tolosa, dove ha sede il Centre Aéroporté de l'Armée, centro di ricerca francese sul trasporto aereo di uomini ed equipaggiamento bellico. Fu qui infatti che, dopo opportuni studi, si concluse che la sollecitazione massima di arresto sostenibile senza danni permanenti dal corpo umano

maniera non cogente, dalla UIAA (Unione Internazionale Associazioni Alpinistiche); da questa data le stesse norme sono state adottate, e divenute cogenti, da parte del CEN come norme europee. La UIAA continua peraltro a sorvegliare il rispetto delle proprie norme a livello mondiale.

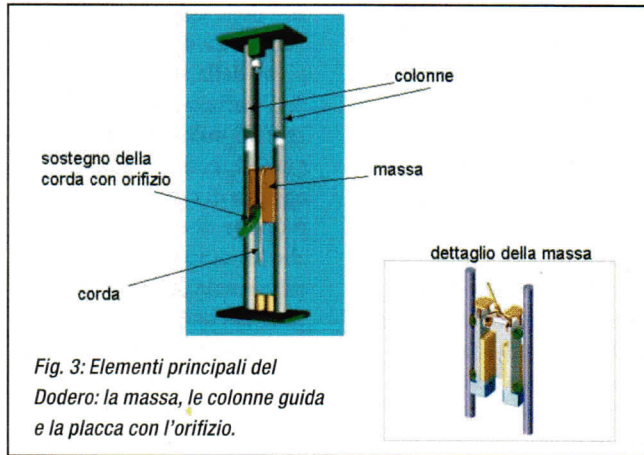


Fig. 3: Elementi principali del Dodero: la massa, le colonne guida e la placca con l'orifizio.

(a testa in alto) sia circa di 15 g, cioè di 15 volte la forza di accelerazione. Questo fu il risultato di numerose prove condotte sui paracadutisti (la decelerazione subita all'apertura del paracadute si può paragonare a quella causata da una corda dinamica) e questa considerazione portò a fissare a 1200 daN lo sforzo massimo generabile da una corda durante una caduta di una massa di 80 kg ($1200 = 15 \times 80$). Sulla base delle prestazioni delle migliori corde costruibili all'epoca, si decise anche di richiedere la resistenza ad un minimo di 2 cadute standard. Queste norme furono approvate dall'UIAA nel 1956. Successivamente, in seguito al miglioramento dei materiali, nei primi anni '70 il numero minimo di cadute fu portato prima a 3 e poi, nel 1979, a 5.

Fino al giugno 1995 le norme per i materiali alpinistici furono ideate e gestite, in

3. Elementi fondamentali del DODERO

Gli elementi fondamentali dell'apparecchio DODERO, si vedano le Figure 1 e 3, sono:

1. la massa;
2. l'orifizio;
3. il carrello di sostegno;
4. le colonne di guida.

La massa è 80 kg per le prove sulle "corde singole" e "gemellari" e 55 kg per le prove sulle "mezzo corde". Deve essere costituita da una struttura rigida d'acciaio e il suo baricentro deve trovarsi sulla verticale per il punto di sospensione alla corda (tolleranza 1 mm).

L'orifizio è circolare ($\varnothing 40$ mm), con bordo a raggio di curvatura 5 mm (simula un moschettone). Esso è ricavato da una piastra che fa parte del carrello di sostegno. Il carrello di sostegno contiene l'orifizio e il punto d'aggancio della corda, che poi passa per l'orifizio. Il carrello è collegato ad una

struttura rigida mediante un quadrilatero articolato o guide a scorrimento, in modo da potersi muovere soltanto in direzione verticale. Così si evita che la cella di misura, che collegata alla struttura rigida sostiene il carrello, misuri anche componenti non verticali della forza trasmessa dalla corda. Si noti infatti che, nel caso in cui il carrello è collegato alla struttura per mezzo di un quadrilatero articolato, i suoi movimenti verticali sono così piccoli (pari alla deformazione della cella di misura) da fare ritenere il suo moto perfettamente verticale per i nostri scopi.

Le colonne servono per guidare con attrito trascurabile la massa lungo una caduta perfettamente verticale. Il baricentro della massa deve muoversi nel piano verticale definito dagli assi delle colonne (tolleranza 1 mm). La distanza di questo piano dalla superficie dell'orifizio può variare fra 75 e 95 millimetri. Questo punto è, come si dirà, oggetto di critiche e di proposte di modifica, dato che la componente orizzontale della forza generata dalla corda può raggiungere qualche decina di daN e causare per attriti resistenza alla caduta della massa. La distanza suddetta

è stata accettata per ragioni storiche, volendo fare in modo che nella norma rientrassero i DODERO esistenti, realizzati senza voler affrontare le complicazioni costruttive che avrebbero potuto consentire di azzerare tale distanza evitando al contempo che la massa tocchi la piastra. A seguito di una opportuna riprogettazione, nel DODERO all'Università di Padova la distanza suddetta potrà essere variata fra 0 e 100 mm, e dare quindi indicazioni sull'opportunità di modificare gli altri DODERO esistenti in Europa.

Il parallelismo fra le colonne deve essere tale che la loro distanza non vari per più di 1 mm sui 5 metri della caduta. Il gioco esistente fra la massa e le colonne deve essere ovviamente superiore a 1 mm, ed è stato fissato al momento a 3-8 mm. La rigidità della struttura portante il carrello e del carrello stesso deve essere tale che l'orifizio non si sposti per più di 1 mm quando è sottoposto a trazione di 16 kN nella direzione corrispondente alla massima elongazione della corda. L'accoppiamento meccanico delle colonne con la massa che cade deve generare un

attrito il più basso possibile per non falsare le prove. Infatti, maggiore è l'attrito, minore risulta la velocità di caduta della massa (e quindi la corda può sostenere più agevolmente la caduta). Si è pertanto stabilito che la velocità di caduta della massa al DODERO deve essere inferiore per non più di 0.1 m/s al valore ideale, corrispondente alla caduta libera nell'aria.

L'orifizio è uno degli elementi più discussi del DODERO, per motivi a cui qui si può solo fare cenno. Poiché le norme sui moschettoni prescrivono che la zona di contatto con la

corda abbia un raggio di curvatura non inferiore a 5 mm, tale è al momento il raggio di curvatura dell'orifizio. Però le corde, in pratica, non si rompono mai sul moschettone ma per l'azione di spigoli di roccia; si sta pertanto discutendo l'opportunità di sostituire l'orifizio con uno a spigolo più o meno vivo, o almeno aggiungere alle attuali prove un test su spigolo vivo. Questo è uno dei problemi che verranno affrontati grazie al DODERO a Padova. La prova standard manterrà comunque la sua validità, perché è una prova severissima e fornisce validi elementi di confronto fra

corde. Ritornando all'orifizio attuale, si è solo di recente scoperto che la sua rugosità influenza il numero di cadute sostenute in maniera inaspettata, trattandosi comunque di rugosità massime inferiori a 10 micron. Nelle attuali corde "a molte cadute", passando da rugosità max di 5 micron a 2 micron (valori medi 0.5 e 0.2 rispettivamente) si può salire, tipicamente, da 10 a 15 cadute. Al di sotto di 2/0.2 le variazioni sono trascurabili, almeno secondo i risultati fino ad oggi ottenuti; perciò questi valori sono oggi assegnati dalle norme come valori da non superare.

4. Il DODERO come strumento di accettazione e di misura

Nei primi tempi (anni 50/60) il numero minimo di cadute richiesto, prima 2 e poi 3, era troppo piccolo per fornire un confronto abbastanza dettagliato fra due corde o fra le prestazioni di una corda nuova e di una usata. Certo si sarebbe potuto abbassare il fattore di caduta e alzare così il numero minimo di cadute richiesto, ma a quei tempi non era facile convincere produttori e alpinisti, in seno alla UIAA, ad accettare una prova che si discostasse troppo da un ben definito "caso reale" (peraltro la riduzione del fattore di caduta

verrà introdotta a breve per le prove su spigolo vivo). Solo in anni recenti, grazie al notevole miglioramento della qualità delle corde indotto dalle norme UIAA, il numero di cadute sostenute al DODERO classico è aumentato al punto (fino a più di 15 cadute) da costituire un valido strumento di confronto fra corde, sia dal punto di vista commerciale e del giudizio dell'alpinista, sia dal punto di vista della ricerca oggi in atto sui fattori che influenzano le prestazioni delle corde in seguito all'usura meccanica, alla sporcizia e alle radiazioni UV. Tale numero costituisce una misura, diciamo forse meglio un indice, abbastanza significativo delle differenze fra corde. Peraltro, non è l'unico indice disponibile per valutare le prestazioni di una corda. Per esempio, la Commissione Centrale Materiali e Tecniche del Club Alpino Italiano sta studiando l'uso dell'assorbimento di energia a rottura al DODERO (ottenuto mediante una massa opportuna, tale da rompere comunque la corda, energia misurata tramite la rilevazione laser della velocità della massa prima e dopo l'impatto) ed il carico di rottura tramite trazione lenta come mezzi non solo più rapidi della prova classica (che impone una attesa di 5 minuti fra le cadute), ma anche tali da consentire rilevazioni più fini, cioè vere e proprie misure. Si stanno anche studiando, soprattutto per lo studio degli effetti dell'usura, altri tipi di

misure, basate sulla rilevazione degli sforzi, delle deformazioni e delle energie assorbite mediante l'apparecchiatura descritta nel seguito.

Il DODERO dell'Università di Padova verrà preso come punto di riferimento per giudicare fino a che punto queste idee sono realizzabili.

5. La crisi del DODERO (1998) e le prospettive di sviluppo delle norme UIAA

Recentemente, negli anni 1997 e 1998, i DODERO che la UIAA era riuscita a fare installare in vari laboratori (il primogenitore a Tolosa, poi alle Università di Vienna, Stoccarda e Padova, presso il National Engineering Laboratory di Glasgow, l'APAVE di Grenoble, l'EMPA di San Gallo) hanno cominciato a fornire risultati preoccupanti: differenze del 30% nel numero di cadute per la stessa corda non erano rare. Dopo che i primi casi sono stati accertati (da parte di produttori che, avendo riscontrato differenze fra il proprio DODERO e quello di un laboratorio certificato [1,2], avevano inviato la loro corda ad un altro laboratorio) i casi di discrepanze notevoli si sono moltiplicati a causa della maggiore attenzione dei produttori e della UIAA. Successivi test hanno dato spiegazione del problema. Infatti, per merito degli stretti controlli la qualità delle corde (in termini di numero di cadute sostenute) era talmente migliorata che i produttori cercavano di spingere in alto questo numero per farsi pubblicità. Ma gli alti numeri, spesso

ottenuti con astuti artifici nella costruzione delle corde, sono un po' effimeri, sia perché si abbassano presto con l'uso della corda (ma questo non è il problema affrontato in questa sede), sia perché sono molto sensibili sia a piccoli dettagli nella costruzione del DODERO che ad altri fattori come il fissaggio della corda, le imprecisioni nell'umidità della camera di condizionamento corde, i tempi di attesa, gli attriti, il bilanciamento della massa, eccetera.

Nel corso del 1998 e del 1999 la UIAA ha eseguito numerosi controlli in tutti i laboratori, seguiti da modifiche e da due Round Robin Tests (cioè un confronto fra i risultati ottenuti con le stesse corde) fra i laboratori.

Ne sono risultate numerose modifiche nelle apparecchiature e nelle procedure. Per quanto riguarda le apparecchiature, le più importanti modifiche sono state qui citate. Il secondo Round Robin ha dimostrato che le modifiche introdotte, soprattutto per quanto riguarda l'accresciuta precisione nella costruzione meccanica e nel controllo della rugosità dell'orifizio, hanno portato a differenze accettabili fra i laboratori (1 caduta su 10-15).

Resta comunque aperto il campo per ulteriori sviluppi. Qui se ne citano due:

1. la misura dell'allungamento massimo della corda e della curva $F(t)$ (andamento della forza in funzione del tempo) alla prima caduta, che costituiscono informazioni

aggiuntive a cui fare riferimento quando si cerca d'interpretare eventuali differenze fra risultati, non solo fra differenti laboratori ma anche fra differenti spezzoni di corda;

2. la definizione di una prova, alternativa o addizionale, su spigolo più o meno vivo. Una decisione su questo punto richiederà attenta riflessione, perché, se è pur vero che le corde si rompono soprattutto per l'azione di spigoli di roccia, non è ancora chiaro quale prova, su spigolo più o meno vivo al DODERO, potrà meglio rappresentare la resistenza della corda su spigolo di roccia. Per esempio: è meglio considerare una sola caduta (in tal caso con misura dell'assorbimento di energia a rottura), oppure cadute ripetute, con fattore di caduta ridotto per fare in modo da non avere un numero di cadute troppo piccolo e quindi una differenziazione insufficiente fra due corde?

Le discussioni sul primo punto saranno forse completate entro il primo semestre del 2001. Il secondo punto richiederà invece studi più lunghi, che si spera di terminare entro il 2002.

Il delegato UIAA del Club Alpino Italiano ha il compito di coordinare l'attività di ricerca in questo campo, che coinvolge i produttori di corde e le altre associazioni della UIAA, e baserà la maggior parte della sua attività sperimentale sul DODERO dell'Università di Padova, i cui sviluppi sono descritti in questo lavoro.

6. Nuova strumentazione per il DODERO

Come si è detto, la Commissione Materiali e Tecniche del CAI sta lavorando per la modernizzazione del DODERO di Padova e l'aggiornamento della sua strumentazione. Oltre ad una serie di modifiche strutturali che consentiranno di rendere più precise le misure e di variare la configurazione della macchina (ad esempio per le prove a spigolo), sono anche state fatte importanti migliorie per la strumentazione di acquisizione dei dati durante le prove. In particolare, si è provveduto alla messa in opera di una strumentazione basata su un PC in grado di acquisire durante la prova informazioni provenienti da:

- una cella di carico (per la misura delle forze generate dalla corda),
- un sensore laser (per la misura della posizione e velocità della massa durante



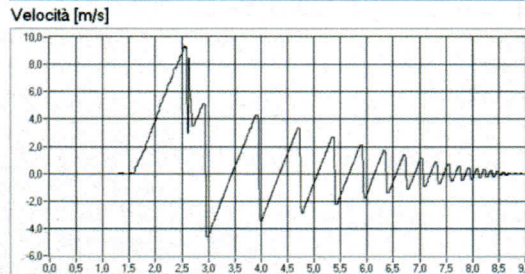
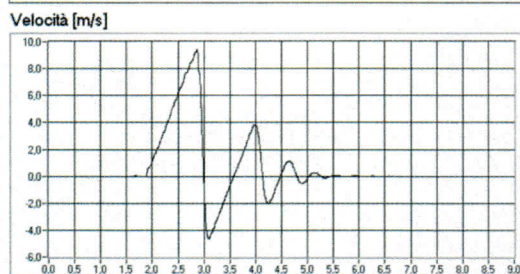
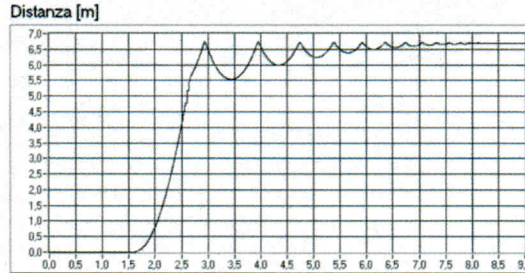
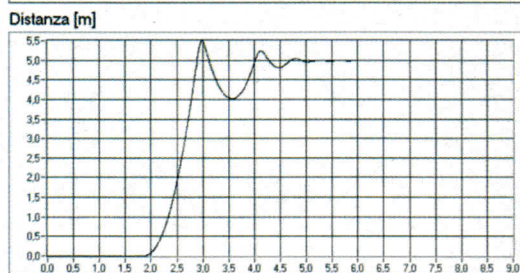
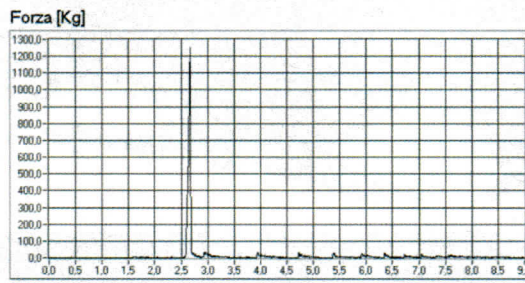
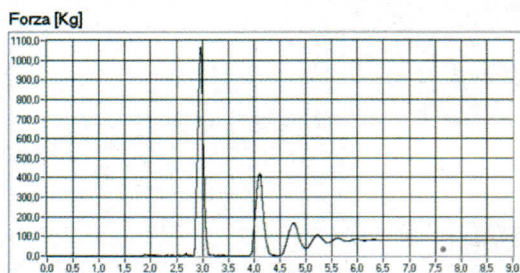
Fig.4: il sensore laser (sinistra) e la cella di carico (destra) installati sul DODERO di Padova.

la caduta),
 - un accelerometro (per un controllo addizionale delle forze applicata alla massa).
 Il sensore laser e la cella di carico sono mostrati in Fig. 4. La predisposizione di questa strumentazione (sia la parte hardware di acquisizione che la parte software per l'analisi dei dati) è stata oggetto di una Tesi di Laurea in Ingegneria Elettronica presso l'Università di Bologna [3],

e fa sì che il sistema a disposizione della CCMT sia tra i più avanzati esistenti al momento. A titolo di esempio di quanto è possibile ottenere con questa strumentazione. Risultati tipici di prove di misura sono mostrati in Fig. 5. In particolare, sono riportate due prove: nella prima la corda non si rompe, mentre nella seconda si ha la rottura della corda.

Oltre che per i test sulle corde, utili sia per il miglioramento delle loro prestazioni che per il perfezionamento dei metodi di prova, la strumentazione a disposizione della CCMT potrà essere utilizzata per quanto riguarda la didattica nell'ambito delle Scuole CAI sugli argomenti relativi agli attrezzi alpinistici e al loro corretto utilizzo in montagna.

Fig. 5: Tipici risultati delle misure sulle corde con la nuova strumentazione. Dall'alto: forza sviluppata durante la caduta, posizione della massa e sua velocità in un caso normale (sinistra) e con rottura della corda (destra). In quest'ultimo caso i rimbalzi visibili nel secondo e terzo grafico sono dovuti non alla corda bensì al sistema di ammortizzazione posto alla base del DODERO.



Ringraziamenti

Gli autori ringraziano le ditte DecaDesign (Longarone, BL) e Telear (Milano) per il supporto tecnico e l'Ing. Gallegati per l'attività di sviluppo di parte delle attrezzature descritte.

Riferimenti

- [1] Melchiorri C., "Corde: chi controlla i controllori? I requisiti minimi degli apparecchi Dodero", Lo Scarpone, gennaio 2000.
- [2] Zanatoni C. "Corde e Dodero", La Rivista del CAI, gennaio-febbraio 2000.
- [3] Gallegati M., *Sistema di acquisizione ed analisi dati per macchina Dodero*, Tesi di Laurea, Università di Bologna, DEIS - Dip. Elettronica Informatica Sistemistica, rel. Prof. C. Melchiorri, Ottobre 2000.