

La catena di assicurazione

misura e verifica delle forze agenti

V. Bedogni^{a,b}, E. Guastalli^a,
G. Landreani^a, A. Manes^b

^a CAI, Commissione Centrale
Materiali e Tecniche

^b CAI, Commissione Lombarda
Materiali e Tecniche

1. INTRODUZIONE

Sin dalla nascita della "Commissione Materiali e Tecniche" (CMT) all'interno del CAI, grande attenzione è stata posta nell'approfondire gli aspetti legati alla sicurezza nella progressione in verticale, tipica delle discipline di arrampicata. Vi è il potenziale, ed ineliminabile, rischio della caduta, che costituisce la principale causa di pericolo di questo modo di procedere. Numerosi studi sono stati effettuati in 40 anni circa - al fine di limitare, in caso di caduta, i danni alle persone coinvolte - sui materiali, gli attrezzi e le tecniche inerenti alla "Catena di Assicurazione" [1-2-3]. E' anche grazie anche a questi studi che sono stati elaborati alcuni paragrafi della direttiva europea 89/686/CEE [4] riguardante i dispositivi di protezione individuale, le norme tecniche inerenti e, più in particolare, alcuni materiali in uso nell'attività alpinistica. Per affinare maggiormente le conoscenze la CMT, in collaborazione con la Commissione Lombarda, ha deciso, in questi ultimi anni, di concentrare la ricerca sulle acquisizioni sperimentali e su modelli analitici in grado di descrivere le sollecitazioni sui componenti della Catena di Assicurazione e sull'essere umano coinvolto. In particolare, per quanto riguarda la parte sperimentale, sono stati utilizzati i moderni strumenti di misura che permettono di acquisire, elaborare e salvare i dati in formato

digitale.

In questo lavoro viene mostrato il sistema di misura basato su acquisizione di carichi in punti prestabiliti e successivo trasporto dei dati su personal computer attraverso una scheda di acquisizione A/D. I dati acquisiti sono stati confrontati con un modello analitico; questo è stato recentemente sviluppato, sempre in ambito della CMT [5-6], raffinando notevolmente i semplici modelli preesistenti [7]. Sempre al fine di indagare sulle sollecitazioni in atto sulla Catena di Assicurazione è in corso di realizzazione un sistema di estrazione lenta portatile per provare gli ancoraggi da roccia. Il dispositivo, è composto di un cilindro oleodinamico la cui pressione viene fornita attraverso una pompa manuale. Attraverso una correlazione tra la misura della pressione e la forza esercitata dal pistone è possibile risalire al carico d'estrazione degli infissi senza l'ausilio d'ulteriori strumenti. Questo semplice sistema di misura permette l'utilizzo dell'attrezzo in ambienti dove non esiste la possibilità di usare strumentazioni alimentate elettricamente.

2. LA CATENA DI ASSICURAZIONE

Gli attrezzi e le tecniche che vengono utilizzati durante un'ascensione, hanno il duplice scopo di permetterne la progressione e di garantirne la sicurezza. Garantire la sicurezza significa prima di tutto indagare sulle possibili cause che potrebbero pregiudicare questa cercando, se possibile, di prevenirle. Quando questo non fosse possibile è in ogni modo necessario cautelarsi in maniera opportuna per minimizzare i possibili danni, ovvero proteggersi. L'arrampicare necessita di un insieme di attrezzi e tecniche non solo al fine della progressione vera e propria (il salire) ma anche, e a volte soprattutto, per l'assicurazione (la sicurezza). Si pensi all'arrampicata sportiva dove la progressione avviene solo e unicamente grazie alle capacità motorie individuali. In questo caso i

materiali utilizzati (corda, rinvii, moschettoni, sistemi di assicurazione) hanno il solo scopo di garantire la sicurezza di chi arrampica. In caso di caduta infatti sono essi infatti (assieme al loro corretto uso) che preservano gli alpinisti da conclusioni anche mortali. Tutto l'insieme, attrezzi e tecniche, prende appunto il nome di Catena di Assicurazione. Il termine non è casuale e richiama il concetto di più anelli tra loro interconnessi ove la resistenza complessiva dipende dal più debole di questi. Al fine di limitare il pericolo della caduta, la progressione avviene a tiri, ovvero un componente, il primo di cordata, sale posizionando delle protezioni intermedie che permettono di limitare l'entità del volo e le sollecitazioni in caso di caduta del medesimo, oltre che naturalmente, vincolarlo alla parete. Il secondo di cordata, vincolato alla sosta, assicura il primo di cordata e sale successivamente, quando il primo si è nuovamente assicurato ad un'altra sosta e lo assicura dall'alto. In altri termini il secondo di cordata, in sosta, predispone un sistema di assicurazione che permette la trattenuta del compagno in caso di caduta. Il sistema di assicurazione deve permettere l'arresto dello scorrimento della corda nell'eventualità di una caduta, ma anche la riduzione delle sollecitazioni lungo tutta la corda e quindi per ogni dispositivo coinvolto. Da quest'introduzione appare evidente come la materia, all'apparenza teorica, abbia profondi sviluppi pratici. E' quindi intuibile come la maggior parte delle risorse, anche e soprattutto nell'ambito della ricerca, siano state investite allo scopo di comprendere il fenomeno della caduta e della successiva trattenuta. Una tra le principali problematiche connesse con queste ricerche è la comprensione e l'eventuale ottimizzazione delle forze contingenti su tutto il sistema durante la caduta. Le sollecitazioni, infatti, si trasmettono, attraverso tutta la corda, dall'imbracatura indossata dall'alpinista (che permette di connetterlo alla corda in maniera idonea), fino alla sosta passando per le protezioni intermedie.



Figura 1: Le celle di carico sul rinvio ed in sosta. Si noti la protezione intorno alla cella di carico in sosta

La corda in sosta viene fatta scorrere attraverso un freno che permette di trattenere la caduta semplicemente con la forza della mano dell'operatore che compie l'assicurazione. Il potere frenante di questi freni (ne esistono di diversi tipi) dipende molto dal dispositivo adottato, dal modo con cui esso viene usato e naturalmente dalla forza di opposizione che l'assicuratore è capace di opporre. L'insieme di questi fattori, ed in modo particolare la non ripetitività del comportamento dell'operatore che compie l'assicurazione, sono alla base di questa ricerca. Un sistema di acquisizione che permette di rilevare le forze all'interno della Catena di Assicurazione, non solo rende possibile l'acquisizione oggettiva di queste ma mostra come, a parità di altri fattori, l'elemento umano - l'operatore - influisce notevolmente sui risultati. Risulta impossibile fare considerazioni oggettive sulle forze contingenti, in diversi casi, se non si è in grado di misurarle in maniera rigorosa. Il semplice giudizio di chi esegue prove è, infatti, doppiamente falsato dalla sua capacità di effettuare l'assicurazione e dal proprio giudizio sulle sollecitazioni dovute al suo agire. Un sistema di misura delle sollecitazioni di alcuni punti è quindi alla base di qualsiasi ulteriore studio. E' assai evidente che nel modo di procedere in cordata "a tiri", due risultano essere i punti maggiormente critici nella Catena di Assicurazione, in caso di caduta: l'ultima protezione intermedia prima della caduta e la sosta. L'ultima protezione intermedia è sicuramente la più critica in quanto è sottoposta alla somma delle sollecitazioni dei due rami di corda: quello legato a chi cade e quello che

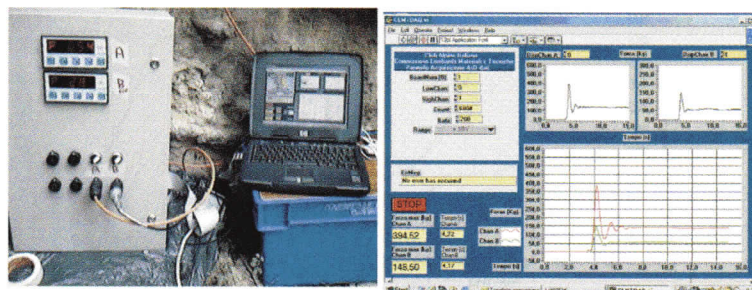


Figura 2: Il sistema di misura
(è possibile notare i due display
che segnalano il valore di picco)
e il programma in LABVIEW per
l'acquisizione

il vincolo fisso della sosta e il freno attraverso cui viene fatta passare la corda. Da prove effettuate in precedenza si è osservato che le forze che si verificano sulla sosta raramente superano i 400 daN.

3. IL SISTEMA DI MISURA

Sulla base di queste considerazioni è stato costruito un sistema di misura delle forze sia in sosta che sull'ultimo rinvio. Due celle di carico sono state posizionate in sosta e sull'ultimo rinvio, rispettivamente con limite di 2500 daN e 500 daN (fig. 1). Queste sono vincolate alla Catena di Assicurazione attraverso connettori e giunti sferici per eliminare possibili flessioni sulle celle dovute a non perfetti allineamenti. Le celle vengono alimentate e condizionate attraverso uno strumento che permette una risoluzione di 1 daN e una frequenza di campionamento di 50 Hz. Questa è sufficiente allo scopo, in quanto i fenomeni da registrare presentano andamenti con frequenze che non superano la decina di Hz. Lo strumento ha il vantaggio di visualizzare il valore di carico in tempo reale ed eventualmente di memorizzare il valore di picco. Questo è molto importante in quanto, attualmente, il valore di picco è uno dei principali indici di pericolosità per il trattamento dei dati inerenti alla caduta. Lo strumento fornisce anche un segnale analogico amplificato in un range di +-5 V che può essere acquisito ed elaborato. A tal proposito è stato costruito un sistema di acquisizione basato su di una scheda capace di una risoluzione a 12 bit ed input range compatibile con l'uscita dello strumento di condizionamento delle celle. La scheda di acquisizione viene montata su di un PC attraverso un apposito ingresso. L'acquisizione viene eseguita attraverso un applicativo originale costruito in ambiente LABVIEW (fig. 2). Il programma di acquisizione permette di acquisire e visualizzare in tempo reale l'andamento delle forze nelle due celle. Successivamente all'acquisizione, le due storie temporali vengono presentate in un solo grafico e vengono riportati i valori di picco e gli istanti temporali associati ai valori di picco. I dati sono poi archiviati automaticamente in un semplice file di testo.



In fig. 3 sono riportati gli andamenti delle sollecitazioni durante una campagna di prove. I test 1,2,4,5,6,7,8,9 si riferiscono ad un medesimo tipo di caduta di una massa di 80 kg che cade 3.4 m sopra l'ultima protezione intermedia, avendo a disposizione 10.8 m di corda tra la massa e il freno. Il sistema di assicurazione - freno e modalità di

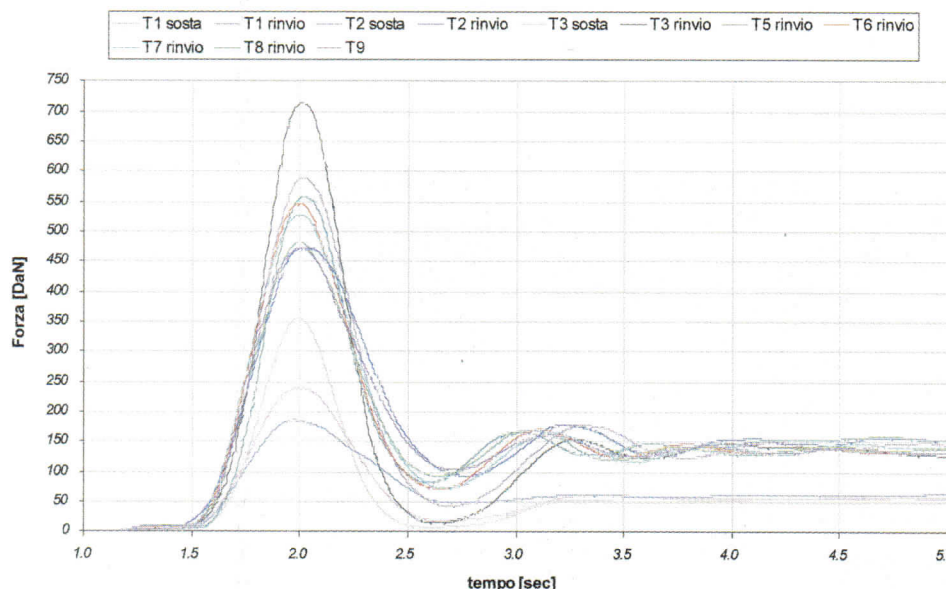
utilizzo - è uguale per tutte le prove; per ognuna di esse cambia l'operatore o il suo modo di agire. La variabilità di risultati ottenuta verrà discussa in seguito. La prova 3 (T3) si riferisce invece ad una medesima disposizione geometrica ma ad una situazione di corda bloccata in sosta. In questo caso le sollecitazioni sia in sosta che sull'ultimo rinvio risultano più alte.

Questa prova è necessaria per la successiva caratterizzazione della corda (in quanto non vi è l'intervento di un fattore variabile come il comportamento dell'operatore) nella costruzione del modello numerico.

4. MODELLO MATEMATICO DELLA CATENA DI SICUREZZA

Al fine di comprendere meglio i fenomeni connessi con l'evento della caduta è stato costruito un modello matematico [5-6]. Il gran vantaggio del modello applicato ad un simile fenomeno consiste non solo nella possibilità illimitata di simulare svariate situazioni ma, anche e soprattutto, di poter riprodurre l'evento escludendo le variabilità dell'operatore. Sia lo sviluppo del modello che le prove sperimentali,

Figura 3: Andamento delle sollecitazioni durante una campagna di misura



va in sosta.

Al fine di comprendere le scelte effettuate esponiamo alcune considerazioni che permettono di capire l'entità delle forze contingenti. Le corde per alpinismo hanno notevoli proprietà dinamiche, come viene descritto nella relativa norma tecnica [8-9]. Questa norma, sulla base di considerazioni di fisiologia (ereditate da studi sulle decelerazioni dovute all'apertura di un paracadute) e di considerazioni pratiche, limita la massima decelerazione al corpo umano a 15 g. In realtà questa viene espressa in termini di forza su di una massa di 80 kg e conduce ad un valore limite di 1200 daN. Questa forza rappresenta la massima forza a cui può essere sottoposto (per breve tempo) un uomo di 80 kg, in posizione eretta, senza subire danni permanenti. La peggiore delle condizioni possibili si verifica, quando la corda è bloccata in sosta (non lasciata scorrere all'interno di un freno) e non esistono rinvii intermedi. La presenza di protezioni intermedie riduce le sollecitazioni sulla Catena di Assicurazione; infatti, lo scorrimento della corda nei moschettoni è fonte di dissipazione di energia per attrito. Lo scorrimento della corda all'interno di questi, durante la caduta, provoca una notevole dissipazione dell'energia che si traduce in un rapporto di forze di circa 1.5 tra il ramo a valle e quello a monte del moschettoni. Il posizionamento di una cella di carico, interposta tra il vincolo fisso e il connettore di passaggio della corda, risulta quindi di estremo interesse. Dalle considerazioni prima esposte risulta come un carico di 2000 daN possa rappresentare un limite superiore.

Per quanto concerne la sosta essa è il cuore di tutto il sistema di assicurazione adottato. Anche in questo caso risulta di notevole interesse l'interposizione di una cella di carico tra

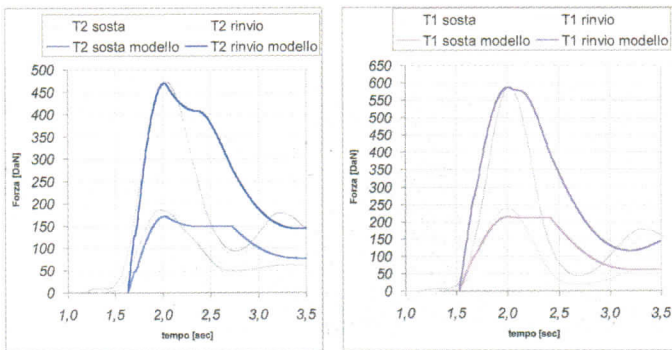


Figura 4: Andamento delle sollecitazioni misurate e calcolate dal modello

modello matematico traduce in equazioni di movimento le fasi sopra schematizzate facendo opportune ipotesi esemplificative.

In fig. 4 sono rappresentati i dati ottenuti nelle prove 1 e 2 (T1, T2) confrontandoli con i risultati del modello analitico. Questo è stato costruito inserendo le condizioni geometriche di prova e le caratteristiche elastiche equivalenti della corda ricavate dalla prova 3 (T3). Vengono altresì inserite delle caratteristiche di trattenuta dell'operatore compatibili con il comportamento tenuto durante le prove sperimentali: trattenuta vigorosa, trattenuta blanda.

L'inserimento di questi dati costituisce una possibilità di implementazione del modello. Risulta, infatti, molto complessa la corretta identificazione del comportamento dell'operatore sia come forza e inerzia iniziale ma, anche e soprattutto, durante la fase muscolare ed eventualmente di scorrimento della corda. Ciò porta ad una non perfetta modellazione della forza, successivamente al picco. Il modello riesce comunque a descrivere molto bene la prima parte di sollecitazioni fino al picco e soprattutto è in grado di variare i parametri in modo da descrivere diversi comportamenti sia dell'operatore che, a parità di questi, di diversi sistemi di assicurazione.

5. IL SISTEMA DI ESTRAZIONE LENTA

Conosciuti i carichi che gravano sulla Catena di Assicurazione, il passo successivo è di assicurarsi dell'affidabilità dei componenti della Catena di Assicurazione rispetto ai carichi contingenti. A tal proposito le norme tecniche (presenti per molti attrezzi) guidano i costruttori affinché non ci siano anelli deboli nell'intera catena, almeno per quanto concerne la corretta progettazione e la buona costruzione. Resta l'incognita di come si comportano in ambiente i dispositivi di protezione e assicurazione (sistemi di ancoraggio o infissi) posizionati sulle pareti al fine di vincolo. Le prove di omologazione si riferiscono, infatti, ad un tipo di materiale su cui avviene l'infissione, standard, mentre la roccia, su cui vengono posizionati, varia notevolmente. Al fine di valutare in ambiente l'effettiva tenuta dei dispositivi di ancoraggio è stato costruito un sistema di estrazione lenta

costituito da un pistone oleodinamico con una pompa a mano e con un sistema di vincolo autocentrante (fig. 6). Il sistema, dopo essere stato correttamente vincolato permette di estrarre infissi in direzione radiale con forze fino a 3000 daN. Un manometro digitale a batteria con rilevazione di picco permette di ottenere la massima pressione registrata nel corso delle prove. Essa poi viene correlata alla forza effettiva attraverso l'area del pistone. Attualmente non ci sono ancora risultati in quanto il sistema è appena stato approntato.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano l'Ing. Carlo Zanantoni e Giuliano Bressan della Commissione Centrale Materiali e Tecniche del Club Alpino Italiano per il prezioso contributo nella stesura di questo testo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Commissione Interregionale Materiali e Tecniche Veneto Friulana Giuliana "La Catena di Assicurazione", Manuale didattico C.A.I. 1997
- [2] CAI CNSASA, Alpinismo su ghiaccio e misto, pag. 120-200, 2005
- [3] A. Manes "La Catena di Assicurazione: la normativa europea e i materiali", 2004, Documentazione interna, Commissione Lombarda Materiali e Tecniche
- [4] Direttiva 89/686/CEE del Consiglio, del 21 dicembre 1989, concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative ai dispositivi di protezione individuale, Gazzetta ufficiale n. L 399 del 30/12/1989 pag. 18-38
- [5] V. Bedogni, "Computer Mathematical model in belying technique", Proc. of "Nylon and Ropes for Mountaineering and Caving", Torino, Italy, 2002
- [6] V. Bedogni, G. Bressan, C. Melchiorri, G. Signoretti, C. Zanantoni "Le tecniche di assicurazione in parete", La Rivista del C.A.I., Gennaio-Febbraio 2001 pp. 77-83
- [7] G. Reali, L. Stefanini "An important question about rock climbing" European Journal of Physics, 17, 1996, pag. 348-352
- [8] UNI EN 892 Attrezzature per l'alpinismo - Corde dinamiche per alpinismo: requisiti di sicurezza e metodi di prova
- [9] A. Manes, "Analysis of a textile rope with analytical models", Proc. of "Nylon and Ropes for Mountaineering and Caving", Torino, Italy, 2002

infatti, hanno messo in evidenza il ruolo svolto dalla "mano" dell'assicuratore. La mano e soprattutto le forze peso e le forze d'inerzia ad essa collegate sono quelle che permettono il funzionamento del sistema di assicurazione attraverso il freno. Nelle prove sperimentali spesso vi è una notevole varietà nei risultati ottenuti che dipendono dal comportamento dell'operatore e che spesso non si riesce a schematizzare. Il risultato finale è di avere rilevazioni sperimentali molto diverse in prove teoricamente uguali, con l'impossibilità di poter quindi formulare considerazioni significative. Anche i dati ottenuti dalle prove illustrate in fig. 3 mostrano questa variabilità, dovuta al comportamento dell'operatore o alla differenza tra più operatori. A titolo d'esempio si considerino le prove 1 e 2 (T1 e T2) che rappresentano l'estremo superiore e l'estremo inferiore dei carichi. Esse sono state effettuate dallo stesso operatore rispettivamente con una tenuta vigorosa T1, e una tenuta blanda T2. I risultati sono notevolmente diversi e mettono in luce come il comportamento della mano (sia esso volontario o involontario) provochi risultati notevolmente diversi, pur a parità di tutte le altre condizioni. Come già evidenziato, il modello numerico permette di riprodurre in maniera ripetitiva i vari comportamenti seguiti dagli operatori, in modo da poter esprimere considerazioni

oggettive su varie metodologie di tecniche di assicurazione. All'opposto è possibile anche interpretare il comportamento di un operatore sulla base del confronto tra i rilievi sperimentali e il modello numerico, ricavando preziose informazioni che possono aiutare gli alpinisti a comportarsi in maniera sempre più efficace nel caso si verifichi una caduta. Lo schema delle modalità di trattenuta si basa essenzialmente su quanto sopra indicato e può essere ricondotto a due fasi:

- Una prima fase, che verrà indicata come "inerziale", in cui l'azione frenante è generata essenzialmente dall'inerzia della mano-braccio dell'assicuratore (l'entità di massa corporea coinvolta è legata al grado d'irrigidimento muscolare attivato dall'operatore) che si sviluppa a causa del movimento della corda. Questa fase è caratterizzata da un moto molto rapido della mano.
- Una seconda fase, che verrà indicata come "muscolare", è caratterizzata dal moto anche di parte del corpo, oltre la mano, di cui si è detto. Questo movimento è relativamente lento rispetto alla prima fase, come si vede chiaramente dalle riprese filmate, e suggerisce che in questa fase la forza muscolare prevale sulle forze d'inerzia. Generalmente la forza decresce nel tempo; al termine di questa fase si ha l'arresto della massa che cade e la fine dello scorrimento della corda nel freno.

Vi può essere anche una ulteriore fase, che viene indicata come "di scorrimento" in cui la forza generata dalla mano risulta circa costante. Il

Figura 6: Il sistema di estrazione lenta durante una prova con cella di carico

