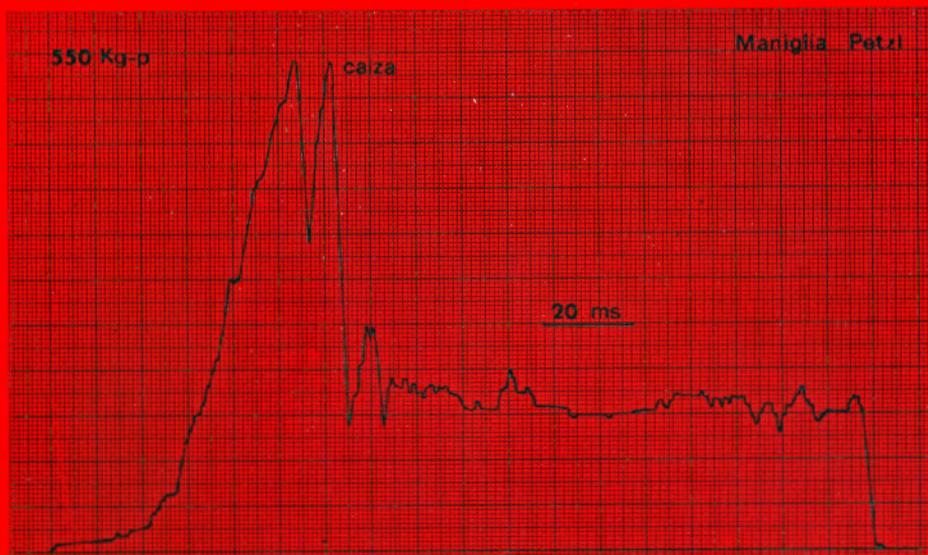


SQUADRA SOCCORSO SPELEOLOGICO CNSA PERUGIA
CATASTO SPELEOLOGICO DELL'UMBRIA
CENTRO NAZIONALE DI SPELEOLOGIA "M. CUCCO"

Sergio Celesti - Giovanni Guerriero - Francesco Salvatori

SOLLECITAZIONI DINAMICHE E STATICHE NELLE ATTREZZATURE SPELEOLOGICHE. TEORIA E SPERIMENTAZIONE.



SQUADRA SOCCORSO SPELEOLOGICO CNSA PERUGIA
CATASTO SPELEOLOGICO DELL'UMBRIA
CENTRO NAZIONALE DI SPELEOLOGIA "M. CUCCO"

Sergio Celesti - Giovanni Guerriero - Francesco Salvatori

**SOLLECITAZIONI DINAMICHE
E STATICHE NELLE
ATTREZZATURE SPELEOLOGICHE.
TEORIA E SPERIMENTAZIONE.**

SPELEOLOGIA UMBRA - Numero Speciale - Ottobre 1984

Redazione a cura di Marco Menichetti

SPELEOLOGIA UMBRA

Periodico del Catasto Speleologico dell'umbria

Numero Speciale - Ottobre 1984

Direttore Responsabile: Calogero Giancarlo Viviani

Redazione ed Amministrazione; Catasto Speleologico dell'Umbria -
Piazza Cesarei, 4 - 06100 Perugia.

Autorizzazione del Tribunale di Perugia n. 554 del 4-1-1979.

Negli ultimi dieci anni la speleologia ha subito profonde modificazioni, sia nelle tecniche di progressione che nella mentalità operativa dei singoli speleologi: nuovi materiali, nuove tecniche e perché no, nuovi orizzonti. Ma quanto conosciamo e fino a che punto le attrezzature che utilizziamo e alle quali affidiamo la nostra vita? Solo alla luce di esperienze eseguite con un certo rigore scientifico scopriamo cose sul comportamento di questi materiali che prima nemmeno immaginavamo, e soprattutto ne possiamo conoscere i limiti operativi.

I Gruppi Speleologici Umbri hanno iniziato recentemente, presso il Centro Nazionale di Speleologia di Costacciaro, una serie di prove sperimentali sui materiali di progressione speleologica; prove eseguite prima in maniera empirica e poi utilizzando tecniche sempre più sofisticate. Quello che viene presentato nei prossimi articoli è solo una prima serie di risultati, che si badi bene, sotto certi aspetti sono ancora incompleti e necessitano di essere ulteriormente interpretati e collocati in un contesto pratico. Crediamo di non essere lontani dal vero nell'affermare che la continua sperimentazione e conoscenza delle attrezzature cambi il nostro modo di operare in grotta e che questa rappresenta senza dubbio una delle vie migliori nella prevenzione degli incidenti.

Ed è proprio qui la chiave di lettura di questo numero speciale di Speleologia Umbra, un modo perché tutti fruiscano dei risultati fin'ora raggiunti e possano dare un contributo personale secondo le proprie competenze.

Tutte le esperienze eseguite sono state effettuate al Centro Nazionale di Speleologia di Costacciaro: la disponibilità tecnica delle attrezzature, le palestre, la ricezione, ne hanno fatto fino ad oggi la sede operativa per tutti gli Speleologi Umbri e non.

Una proposta e un punto di riferimento per chiunque desideri dare il proprio contributo nella sperimentazione sui materiali speleologici.

Marco Menichetti

In questo volume sono riportate, nel modo più chiaro e didattico a noi possibile, tutte le conoscenze e le esperienze sui materiali speleo acquisite dalla Squadra di Soccorso Speleologico di Perugia.

È una testimonianza fedele e coerente di una storia fatta di piccole ma costanti ricerche, incominciata dopo l'11 novembre 1979, quando fu chiaro che se si voleva conoscere qualcosa di più corretto e serio sulle attrezzature da grotta bisognava organizzarsi da soli, non potendo contare, ancora una volta, su alcuna Entità nazionale che si facesse carico concretamente del problema.

La Squadra di Soccorso Speleo di Perugia ha sempre ritenuto e tutt'ora ritiene che conoscere attraverso la sperimentazione e l'elaborazione teorica le caratteristiche dei materiali è un fatto culturale e didattico di grande rilievo, ma è anche una palese e concreta dimostrazione di un impegno fondamentale nel campo della prevenzione degli incidenti. Prevenzione che si esplica non solo perché si arriva a conoscere i limiti delle attrezzature, ma anche e soprattutto perché con la sperimentazione e la ricerca si contribuisce a diffondere una cultura specifica che è la necessaria base di ogni addestramento tecnico.

Ciò è stato compreso dalla Scuola Nazionale di Speleologia del CAI, dando così un apporto qualificato ed intenso alle ricerche ed utilizzando molte sedute sperimentali per diverse sue iniziative nazionali.

Le prime timide indagini sono state effettuate nel 1980 con mezzi rudimentali e con poca chiarezza nelle idee; ma sono servite per rompere il ghiaccio e soprattutto per capire che la ricerca poteva essere molto entusiasmante. Si capì anche che di pregiudizi nel campo dei materiali ne giravano molti (e tutt'ora non sono debellati!).

Nel 1981 è stato acquistato il dinamometro a molla. Subito fu possibile iniziare delle indagini di un certo rigore e procedere se non altro ad un primo tentativo di standardizzazione dei metodi. L'anno successivo sono stati costruiti ed acquistati altri strumenti complementari, fino a costituire un insieme

di apparecchiature che ha permesso di effettuare le prove sperimentali del Corso Nazionale di Tecnica della SNS CAI, tenutosi presso il CNS nel 1982. È stata questa la prima occasione per la speleologia italiana di partecipare a una serie di esperienze rigorosamente condotte. I risultati di queste prove sono stati pubblicati e diffusi a cura del CNS presso tutti i Gruppi Grotte.

Da allora si sono moltiplicate le occasioni, fuori e dentro la SNS, di sperimentazione e di riflessione, tanto che almeno due volte all'anno è stato possibile svolgere incontri a livello nazionale su questi temi.

Nel frattempo la Squadra di SS di Perugia ha acquistato altre strumentazioni e si è potuto ottenere un discreto quantitativo di materiali dalla Ditta Petzl, dalla Ditta Bonaiti e dal Gruppo Speleologico CAI Perugia. Le ricerche teorico-sperimentali hanno portato alle prime conclusioni e ne è scaturita una pubblicazione ciclostilata che è stata diffusa su tutto il territorio nazionale, sempre a cura del CNS.

Ma accanto a questi successi e all'incalzare dell'entusiasmo per le ricerche, si sono evidenziati i limiti del dinamometro a molla, per la sua impossibilità ad avere una adeguata velocità di risposta (sembrava strano che in caso di rottura dei campioni si registrassero delle forze massime irrisorie?!). Ed è per questo motivo, per non chiudere un discorso così denso di prospettive, che i Gruppi Speleologici Umbri, con un notevolissimo sforzo finanziario, hanno unanimemente deciso di impegnare parte del contributo regionale 1984 all'acquisto di un dinamometro a trasduttori che ovviasse i molti inconvenienti incontrati.

E subito, sin dalle prime sedute sperimentali, si è rivelata la grandissima efficacia della nuova strumentazione, che apre enormi prospettive di ricerca ed ha messo la speleologia italiana al livello di altre realtà europee.

I risultati ora sono così evidenti e così tanti sono i campi di ricerca che si sono proposti che viene, quasi quasi, il dubbio di poterli affrontare. Ma è il dubbio di un attimo, perché il gusto di "scoprire" è così intenso e penetrante da far superare molti ostacoli, forse tutti. Se con il dinamometro meccanico grandi passi avanti erano stati fatti, con la strumentazione elettronica è possibile esaminare la dinamica delle sollecitazioni in modo talmente minuzioso da metterne in risalto ogni aspetto, anche i più nascosti. Forse non passerà molto tempo da quando potrà essere elaborato un modello matematico che aderisca alla realtà dei fenomeni nella loro generalità.

È come trovarsi alle soglie di una nuova fase di ricerche, che supera in modo nettissimo la precedente, ma al tempo stesso richiede un nuovo atteggiamento, più "professionale". Infatti, come si vedrà dalla lettura di questo lavoro, si sono posti ora più problemi di quanti ne siano stati risolti; solo con un lavoro assiduo ed organico sarà possibile raggiungere nuove conclusioni generali.

Sarà anche necessario che il CNS, al quale è stata affidata tutta la strumentazione di ricerca, si adoperi per reperire dei locali da adibire a laboratorio fisso e funzionale. In tal senso sono già stati fatti dei passi per avere un finan-

ziamento per la costruzione di questa "palestra".

In questo momento, vista anche l'opportunità favorevole determinata dal Convegno Nazionale del Soccorso Speleologico a Trieste (1-4 novembre 1984), si è pensato che fosse giusto e opportuno fare un inventario generale delle conoscenze acquisite e dei problemi aperti. Ci sembra soprattutto necessario trasferire prima possibile il nostro patrimonio di conoscenze a tutti gli interessati, sia che abbiano collaborato sia che non ne abbiano avuta l'opportunità, con la speranza che si possa formare un insieme di persone, capaci di lavorare intorno ai nuovi problemi, che sia in grado di assumere un ruolo dirigente. Se ciò non avverrà tutto sarà più difficile e lungo.

Ecco, dunque la giustificazione di questo volume: è un puro e semplice trasferimento di conoscenze, così come sono state raccolte, ancora grezze e non amalgamate, neanche troppo digerite; è una foto di una situazione reale, a volte anche contraddittoria, ma estremamente veritiera e ricca di spunti (i soli grafici ricavati con il dinamometro elettronico sono una miniera di notizie e suggerimenti), a disposizione di tutti, come, del resto, l'apparecchiatura di ricerca.

Ma questo volume è nato anche con lo scopo di richiamare l'attenzione sulla sempre più impellente necessità di costituire un organismo che riesca a standardizzare i metodi di ricerca e controlli le caratteristiche delle attrezzature. Qui abbiamo indicato alcune ipotesi di lavoro e ovviamente siamo del tutto disponibili a collaborare in tal senso. Resta da vedere se il polso dell'Italia speleologica, fuori dalle grotte, dà segni di vitalità oppure è sempre di più in via di indebolimento, tanto che si stenta a credere che sia ancora in vita. E di quest'ultima affermazione non si rallegri la cosiddetta "speleologia reale", perché anche in grotta non c'è nulla di più che un mediocre tran tran.

In ultimo vorremmo ringraziare le tante persone che hanno collaborato in varia maniera e in diversa misura alle ricerche: l'ingegner Gangemi della Ditta Galber di Torino per la collaborazione nell'acquisto e nella messa a punto del dinamometro a trasduttori; Gianni Follis per le prime, importanti, indicazioni operative; la Ditta Elton di Perugia per la progettazione e la realizzazione di tutte le apparecchiature di misura del dinamometro a trasduttori; le centinaia di partecipanti ai Corsi della SNS che hanno sempre dato entusiasticamente il loro contributo di idee e di lavoro manuale, in particolare Giovanni Guerriero del G.S. CAI Napoli, che fra l'altro ha dato un apporto fondamentale alla costituzione di questo volume; il signor Ascanio Capocchia, artigiano di Perugia, che con amore ed estrema competenza ha elaborato la strumentazione di supporto ai dinamometri; il Gruppo Speleologico CAI Perugia che non ha mai fatto storie quando si è trattato di spendere soldi per le ricerche; i tanti speleologi umbri che da molto tempo hanno compreso quanto sia importante la collaborazione fra gruppi, dando il loro disinteressato apporto alla realizzazione di esperienze che vanno a vantaggio di tutti.

Francesco Salvatori
Responsabile Squadra Socc. Spel. PG - IV Gruppo Umbria-Marche

<i>Capitolo I - Teoria e metodologia sperimentale (F. Salvatori)</i>	Pag.
1) Premessa	15
2) Sollecitazioni dinamiche e statiche	16
3) Relazioni fondamentali	17
4) Unità di misura	18
5) Elementi elastici ideali	19
a) curve di trazione o di allungamento	19
b) coefficiente di elasticità	21
c) calcolo del coefficiente di elasticità	21
d) valutazione energetiche	24
e) superficie sottesa alla curva di trazione e quantità di lavoro	28
f) caduta di un corpo vincolato ad una fune con traiettoria lungo la retta verticale passante per il punto di ancoraggio	30
g) studio della funzione $F_m = 2Ph/Xl$	33
h) fattore di caduta	35
i) caduta di un corpo vincolato ad una fune con traiettoria non coincidente con la retta verticale passante per il punto di ancoraggio	38
l) elementi elastici in serie	46
m) elementi elastici in parallelo	51
n) elementi elastici in serie ed in parallelo	54
o) coefficiente di riduzione di forza R_f	60
p) misura del coefficiente di riduzione di forza	61
6) Elementi elastici reali (corde)	62
a) curve di trazione o di allungamento	62
b) curve di trazione e curve di scarico	64
c) arresto di caduta di un corpo con corde a diverso coefficiente di elasticità	66
d) sistemi ammortizzanti (nodi)	68
7) Sollecitazioni statiche	71
a) carichi sospesi su una fune tesa orizzontalmente	72
8) Caratteristiche delle corde	72
a) carico di rottura e tipo di fibra	75
b) tempo di rottura e tipo di fibra	75
c) resistenza alla flessione	75
d) resistenza alla abrasione	78
e) caratteristiche delle corde (secondo Marbach)	78

f) caratteristiche delle corde (secondo Courbis)	78
9) Fattori che determinano la variazione delle caratteristiche delle corde	80
a) effetto nodo	82
b) invecchiamento	82
c) decadimento chimico	86
d) successione di microsollecitazioni in senso longitudinale e trasversale	86
e) penetrazione di corpi estranei	88
f) abrasione	88
g) effetto choc ripetuti	91
h) effetto acqua	93
i) effetto ghiaccio	93
l) effetto fettuccia	94
10) Metodi e strumenti per la sperimentazione	95
a) scopi	95
b) strumenti di misura ed attrezzature per la sperimentazione	96
c) dinamometri	96
d) mezzi traenti	100
e) pesi	100
f) altre attrezzature di supporto	100
g) alcuni esempi di dimostrazioni sperimentali	100
h) risultati di alcune dimostrazioni sperimentali	101

Capitolo II - Prove sperimentali su corde (G. Guerriero)

1) Prove di trazione su:	
a) molla elicoidale	111
b) corda con forza applicata crescente e decrescente	113
2) Prove di caduta choc di un peso su:	
a) corda statica	116
b) corda dinamica	119
c) corda statica con e senza nodi ammortizzanti	121
d) insieme corda statica-moschettone e cavo d'acciaio-moschettone	123
e) corda dinamica, ripetute fino alla rottura	125

Capitolo III - Prove sperimentali su corde di diametro ridotto (F. Salvatori)

1) Prove di caduta choc di un peso su:	
a) corda statica diametro 8 mm.	128
b) corda statica diametro 9 mm.	129
c) corda statica diametro 8 mm. con nodo ammortizzante	129

Capitolo IV - Prove sperimentali su attrezzature meccaniche di progressione in grotta (G. Guerriero).

1) Premessa	130
2) Prove di caduta choc di un peso su:	
a) Croll	132
b) Maniglia Dressler	133
c) Bloccante Dressler	133
d) Shunt	133
e) Maniglia Bonaiti	134
f) Maniglia Jumar	134
g) Maniglia Dressler con longe	134
h) Croll e Maniglia Dressler collegati con longe (distanziati)	136
i) Croll e Maniglia Dressler collegati con longe (ravvicinati)	136
l) Maniglia Dressler con longe MAO	139
m) Croll e Maniglia Dressler con longe MAO	139
n) Discensore autobloccante Petzl	139
o) Discensore semplice Petzl	143
p) Discensore autobloccante Petzl con corda diametro 9 mm.	143
q) Croll con corda diametro 9 mm.	143
r) Discensore autobloccante Petzl con corda diametro 8 mm.	143
s) Croll con corda diametro 8 mm.	144
t) Croll posto obliquamente rispetto alla corda	144

Capitolo V - Il dinamometro elettronico (S. Celesti)

1) Descrizione della strumentazione	145
2) Possibilità di analisi	146

Capitolo VI - Grafici di prove sperimentali su corde e attrezzature speleologiche ottenuti con il dinamometro elettronico (S. Celesti - G. Guerriero)

1) Prove di caduta choc di un peso su:	
a) corda statica a fattore di caduta crescente	150
b) corda statica e dinamica	151
c) corda statica usata	152
d) corda statica diametro 8 mm, ripetute fino alla rottura	153
e) corda statica diametro 10 mm, ripetute più volte	153/a
f) corda statica diametro 9 mm, ripetute più volte	153/b
g) corda statica diametro 8 mm con nodo ammortizzante	154

h) insieme corda statica-moschettoni e cavo d'acciaio-moschettoni	155
i) corda statica con maniglia dressler e croll collegati con longhe	156
l) corda statica con maniglia dressler e longhe MAO	156
m) corda statica e discensore Petzl autobloccante	157
n) corda statica e maniglia Bonaiti	157
o) corde statiche diametro 9 mm. e 10 mm. con dissipatore Bonaiti	158/159

Capitolo VII - Considerazioni in merito alle prove sperimentali effettuate (G. Guerriero)

1) Premessa	161
2) Prove sperimentali su corde	162
3) Prove sperimentali su attrezzature meccaniche	184
4) Prove sperimentali su corde e attrezzature meccaniche con dinamometro elettronico.	185

Bibliografia	189
--------------	-----

Capitolo I

TEORIA E METODOLOGIA SPERIMENTALE

(F. Salvatori)

PREMESSA

La trattazione ha fini didattici e si rivolge alla grande maggioranza di speleologici (ai quali si chiede solo un po' di buona volontà), senza quindi presupporre la conoscenza di nozioni di fisica e matematica che non siano elementari. Quando è stato inevitabile introdurre concetti non più a livello elementare sono stati proposti in modo semplice, lineare ed intuitivo, tanto da risultare comunque comprensibili.

Sempre al fine di dare una prevalente impostazione didattica al lavoro, la trattazione teorica iniziale sarà fondata sul presupposto di esaminare dei sistemi dal comportamento ideale. Questo faciliterà la comprensione dei contenuti fondamentali dei fenomeni.

Successivamente verranno apportate le dovute modifiche ed integrazioni sulla base di considerazioni che non contrastano con la realtà dei fatti (ed a questo punto non risulterà più difficoltoso comprendere relazioni più complesse).

In ultimo verranno riportati i dati ricavati sperimentalmente in "laboratorio", a conferma della teoria per prima cosa, poi per evidenziare eventuali lacune o discrepanze.

Lo scopo per cui vede la luce questo lavoro - è bene rimarcarlo - non è certo quello di dire la parola conclusiva in un tema così vasto e complesso; si spera invece che si possa diffondere un interesse per le questioni trattate e creare così nuovi presupposti per ricerche sempre più avanzate. Il che significherebbe maggiore sicurezza e più alta funzionalità nelle esplorazioni speleologiche. Speriamo che questo semplice assunto sia compreso e che finalmente si voglia collaborare su più vasta scala. Da parte della speleologia umbra c'è la massima disponibilità a mettere a disposizione le conoscenze raggiunte (la stampa di questo volume ne è la concreta dimostrazione).

In ultimo è necessario premettere che questo lavoro non è un "trattato"

ma è piuttosto un documento completo sull'evoluzione delle nostre conoscenze, con alcune ipotesi confermate ed altre invece respinte. Molti concetti si sono evoluti e modificati con il succedersi dei risultati sperimentali e con l'aumentare della capacità di indagine strumentale. E questo è naturale in ogni processo di conoscenza.

SOLLECITAZIONI DINAMICHE E STATICHE

Nella progressione spleleo le sollecitazioni puramente statiche non si verificano che raramente, anche se si può decisamente affermare che in grotta la "dinamicità" è nettamente inferiore a quella riscontrabile in alpinismo.

Altro fatto da tener presente: il confine fra statica e dinamica è indefinibile e solo una differenziazione nei tempi di realizzazione degli eventi distingue le due situazioni, ma nella sostanza i fenomeni sono del tutto analoghi (tranne per alcuni fatti legati alla trasmissione impulsiva di onde di energia, come vedremo in seguito).

Per esempio, la dinamica di una corda che viene bruscamente sollecitata per la caduta di un peso e per questo è costretta ad allungarsi fino a quando non si esaurisce tutta l'energia messa in gioco è in tutto simile al prendere la medesima corda e sottoporla ad una lenta trazione con forze gradualmente crescenti. Nel primo caso tutto si realizza nel breve volgere di una frazione di secondo (circa $1/4$), nel secondo caso si ha un lento e discreto evolversi della situazione, ma sempre con in ballo gli stessi parametri, limiti e risultati.

Ed è per questo motivo che nel presente lavoro non si farà mai distinzione fra statica e dinamica. Piuttosto si insisterà sugli aspetti dinamici dei fenomeni, introducendo l'analisi statica solo per fissare una ben specifica e peculiare immagine fra le infinite che costituiscono, nel loro rapido e concatenato succedersi, l'insieme del fenomeno, dal suo inizio al termine.

Volendo fare un esempio, semplicistico ma anche suggestivo ed illuminante, si potrebbe dire che l'analisi dinamica di un evento è come una cinepresa che lo riprende totalmente; per contro l'analisi statica è una macchina fotografica, con tempo di apertura infinitamente piccolo, che fissa solo una immagine dello stesso evento (oppure come una ripresa cinematografica ma analizzata fotogramma per fotogramma).

In ultimo vi è da premettere e sottolineare che nella realtà delle cose non esistono corpi non elastici, ma solo corpi più o meno elastici. Anche la roccia, l'acciaio, l'alluminio hanno una loro elasticità, ridotta quanto si vuole ma pur sempre riscontrabile.

Altra faccia dello stesso problema è invece la reversibilità o meno dei fenomeni legati alla elasticità di un corpo: raramente accade che dopo un al-

lungamento la struttura di un corpo ritorni nel suo stato originario, infatti quasi sempre avvengono delle trasformazioni irreversibili.

Vi sono anche dei casi reali in cui certi materiali si comportano in modo perfettamente elastico, per cui dopo ogni allungamento si ritorna nello stato iniziale, ma ciò è vero entro certi limiti, superati i quali avvengono comunque trasformazioni anelastiche (irreversibili).

RELAZIONI FONDAMENTALI

Per traslare una forza F costante di uno spostamento s , contrastandola lungo la sua direzione di applicazione, si compie un lavoro L pari a:

$$L = F s \quad (1)$$

Nel caso di una caduta di una massa m si avranno le seguenti relazioni:

$$P = m g \quad (2)$$

$$L = P h \quad (3)$$

dove: P peso del corpo di massa m

g accelerazione di gravità

h altezza di caduta

L lavoro che il corpo può compiere a seguito di detta caduta.

Ma è altrettanto vero che il corpo ha acquistato una energia cinetica E_c (aumenta gradualmente la sua velocità di caduta con valore finale v) pari a:

$$E_c = 1/2 m v^2 \quad (4)$$

relazione che si trasforma, per effetto dell'eguaglianza:

$$v = \sqrt{2 g h} \quad (5)$$

in:

$$E_c = m g h$$

quindi in:

$$E_c = P h \quad (6)$$

analoga alla relazione (3).

Quindi si può concludere che nella caduta di un corpo di peso P per una altezza h il lavoro che può essere svolto è uguale all'energia cinetica acqui-

stata E_c ed alla perdita di energia potenziale E_p :

$$L = E_c = - E_p$$

Si ricordi infine che il peso di un corpo è una forza, che gli deriva dal fatto che la sua massa è soggetta all'accelerazione di gravità (vedi relazione 2).

UNITÀ DI MISURA

Sarà utilizzato il sistema Giorgi, altrimenti detto M.K.S., che prevede come grandezze base:

metro (m) (lunghezza)	chilogrammo (Kg.) (massa)	secondo (s) (tempo)
--------------------------	------------------------------	------------------------

Unità di forza

Tenendo presente che si ha:

$$F = m a \quad (7)$$

dove: F forza costante applicata alla massa m
 a accelerazione di gravità misurata in m/sec^2

si definisce come unità di misura della forza il NEWTON (N) che è pari a:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ Kg} \times 1 \text{ m/sec}^2 \quad (8)$$

ne deriva anche che:

$$1 \text{ Kg peso} = 1 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/sec}^2 \quad (9)$$

quindi: $1 \text{ Kg. peso} = 9,81 \text{ N}$ (10)

Quest'ultima relazione è bene tenerla sempre presente perché verrà utilizzata in continuazione, visto che nella pratica le misure vengono fatte in Kg peso (che è una forza, ripeto) ma le relazioni richiedono sempre grandezze espresse in newton.

Nelle convenzioni internazionali, anche per il motivo appena detto, si definisce una diversa unità di forza, il DECANEWTON (daN):

$$1 \text{ da N} = 10 \text{ N}$$

e quindi, in base alla relazione (10):

$$1 \text{ Kg. peso} = 0,981 \text{ daN}$$

e cioè:

$$1 \text{ Kg peso} = \text{circa } 1 \text{ daN} \quad (11)$$

Unità di lavoro

Si definisce come unità di lavoro il JAULE (J), pari a:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m} \quad (12)$$

ELEMENTI ELASTICI IDEALI

Sono elementi elastici ideali quelli in cui vi è proporzionalità diretta fra forze applicate e relativi allungamenti e dove le trasformazioni sono reversibili (perlomeno entro certi limiti).

Appartengono a questa categoria le strutture metalliche fisicamente omogenee; un esempio classico è una barra in acciaio.

Curve di trazione o di allungamento

Nell'ipotesi che un elemento elastico ideale della lunghezza l (elle) sia vincolato ad un estremo in modo rigido (**fig. 1**) mentre all'altro estremo sia sollecitato ad allungarsi da una forza F , si otterrà un allungamento A tale che la forza elastica di reazione sia pari alla forza F .

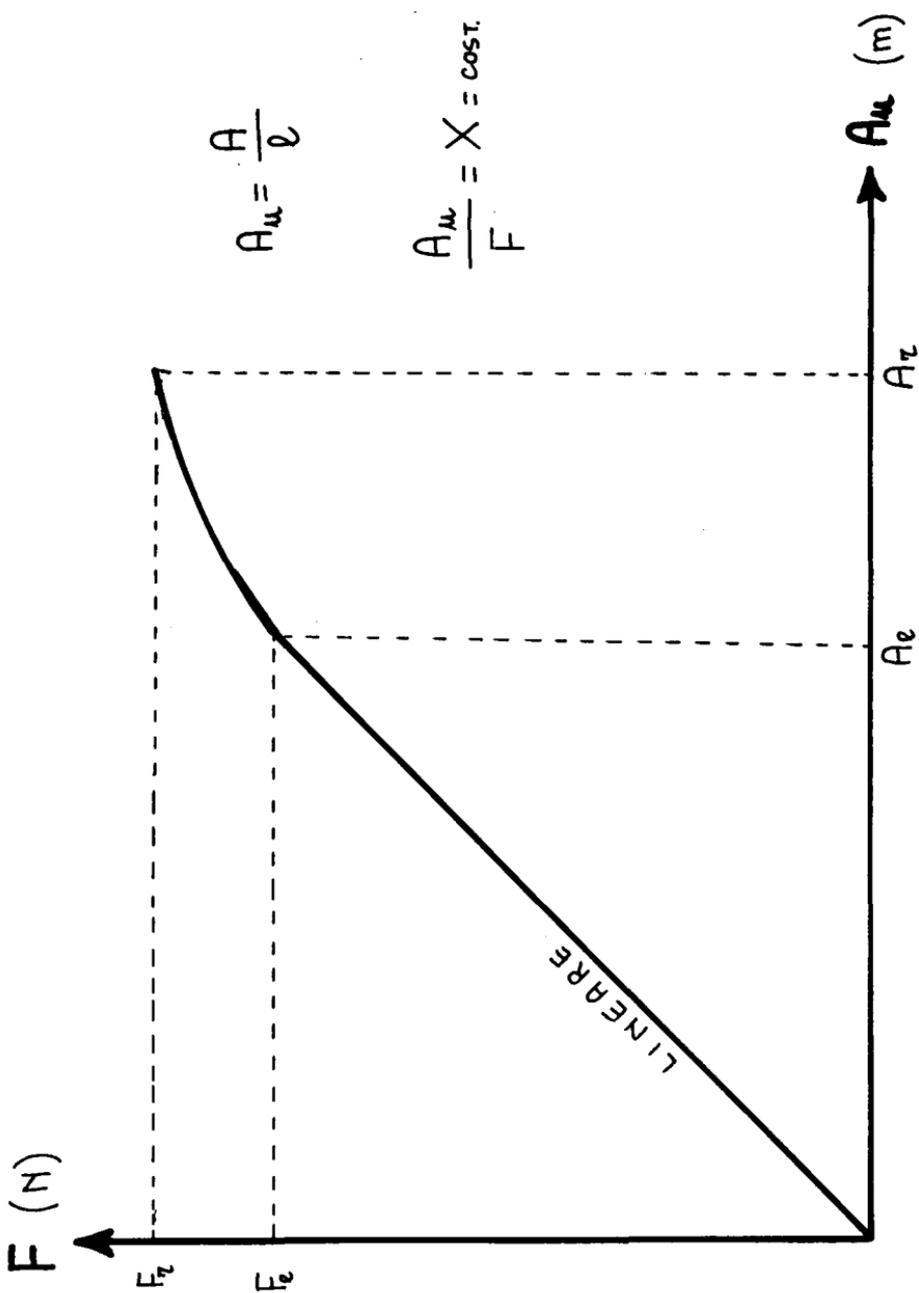
Si definisce:

A allungamento relativo

$$A_u = A/l \text{ allungamento unitario} \quad (13)$$

Quasi sempre è necessario riferirsi all'allungamento unitario in quanto esso esprime un insieme di fattori non comprendenti la lunghezza dell'elemento. Lo stesso risultato si ha con l'allungamento percentuale.

Riportando in un grafico l'andamento $F = f(A_u)$ dell'allungamento unitario di un elemento elastico ideale in funzione della forza applicata si ottiene quanto indicato nella **fig. 1**, dove:



$$A_u = \frac{A}{\rho}$$

$$\frac{A_u}{F} = X = \text{const.}$$

- A_e allungamento limite elasticità reversibile
- A_r allungamento limite rottura
- F_e forza relativa ad A_e
- F_r forza necessaria per produrre la rottura

Coefficiente di elasticità

Si deduce che, come era stato anticipato nel paragrafo precedente, in ogni elemento elastico ideale, rimanendo entro i limiti dell'elasticità reversibile, il rapporto fra allungamento unitario e forza applicata è costante:

$$A_u/F = X = \text{costante} \quad (14)$$

essendo X coefficiente di elasticità.

Ogni elemento elastico ideale ha un suo coefficiente X che lo caratterizza, cosa che è possibile evidenziare in **fig. 2** ed in **fig. 3**, in cui sono riportate le curve di allungamento di tre elementi elastici a diverso coefficiente X ($X_1 > X_2 > X_3$). Nella **fig. 2** si vede che applicando la stessa forza F_0 ai tre elementi si ottengono rispettivamente gli allungamenti unitari $A_1 > A_2 > A_3$, non in contrasto con il fatto che l'elemento 1 è più elastico del 2, il quale a sua volta è più elastico del 3.

Nella **fig. 3** si può osservare che per ottenere lo stesso allungamento A_0 occorre applicare ai tre elementi rispettivamente la forza $F_1 < F_2 < F_3$, il che non è in contrasto con il fatto che l'elemento 3 è più rigido del 2, il quale è più rigido dell'1.

Da notare: tanto più le curve di trazione si avvicinano all'asse orizzontale tanto più è elastico l'elemento al quale si riferiscono; oppure tanto maggiore è il valore del coefficiente X tanto più grande è l'elasticità.

Dall'analisi dimensionale della relazione (14) si ricava che il coefficiente di elasticità X si misura in $\text{sec}^2/\text{m Kg}$.

Calcolo del coefficiente di elasticità

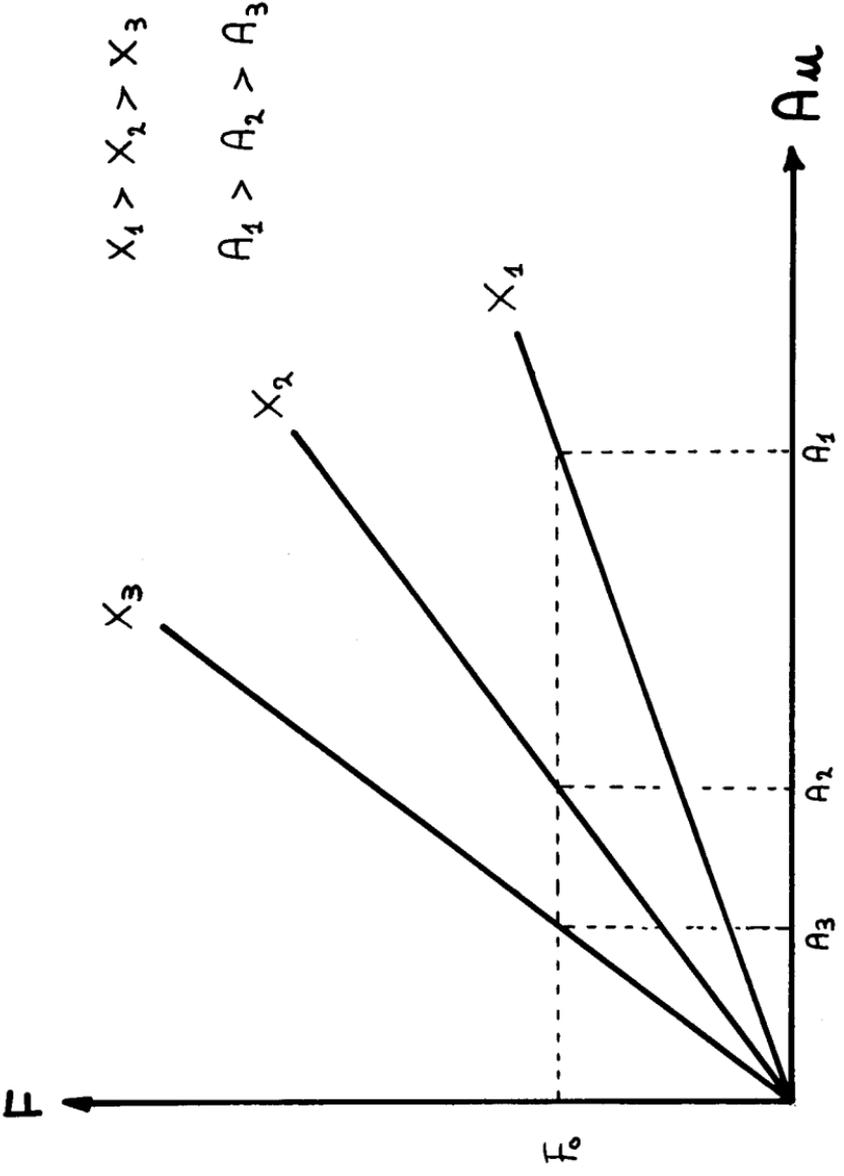
Dato che nei casi speleo di nostro interesse l'elasticità di un elemento ha grande importanza, è spesso necessario conoscerne il coefficiente per poter quantizzare ogni tipo di analisi.

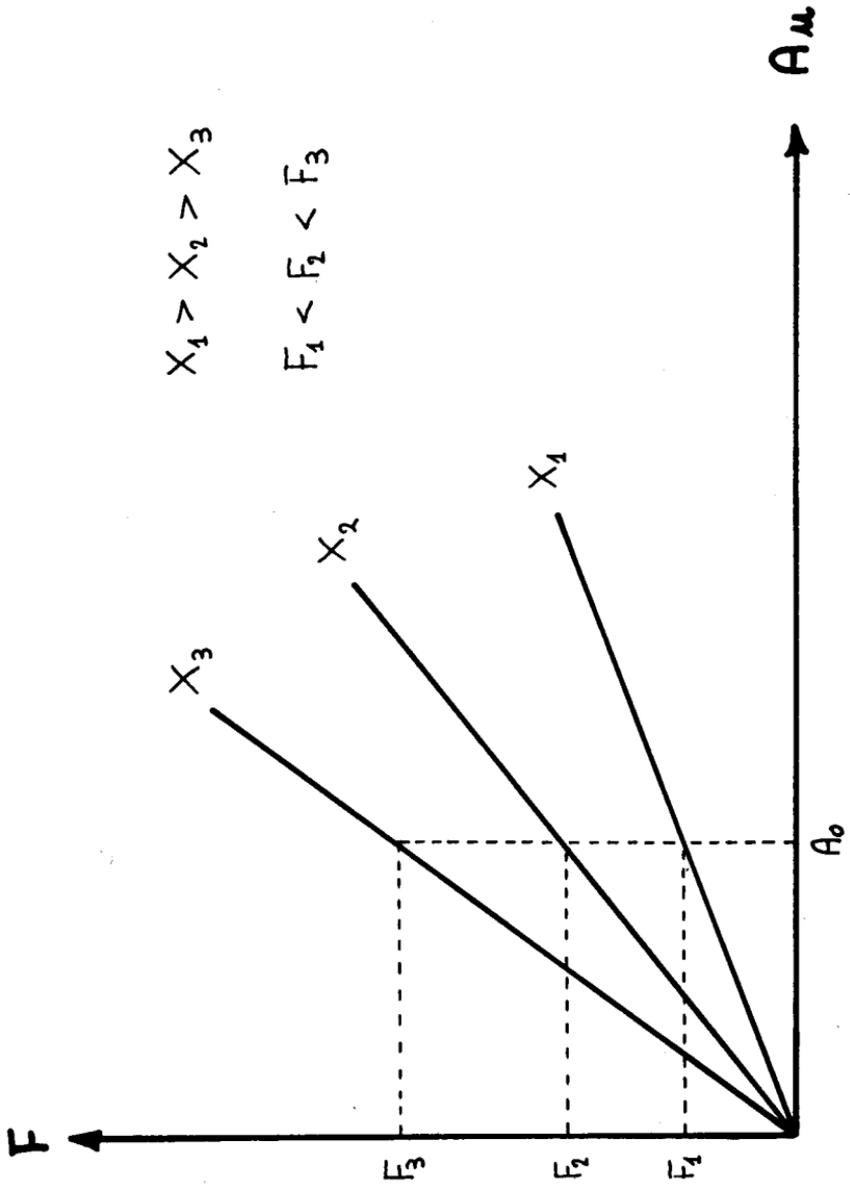
A tal fine si applica un peso noto P ad un campione di lunghezza l dell'elemento in esame e si misura l'allungamento che ne consegue. Nell'ipotesi che si abbia:

$$P = 80 \text{ Kg peso} = 784 \text{ N}$$

$$l = 3 \text{ m}$$

$$A = 0,03 \text{ m}$$





visto che dalle relazioni (13) e (14) si ottiene:

$$X = A/F l \quad (15)$$

si ha in definitiva:

$$X = 0,03 / 784 \times 3 = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$$

Si fa notare che l'allungamento unitario in ipotesi è di circa 1/100, pari a quello realmente riscontrabile in alcune corde speleo "statiche", le quali pertanto hanno coefficienti di elasticità dell'ordine di quello sopraindicato.

Nell'ipotesi invece che si abbia:

$$P = 80 \text{ Kg peso } l = 3 \text{ m } A = 0,30 \text{ m}$$

si ottiene un coefficiente di elasticità:

$$X = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$$

che dà una misura dell'ordine di grandezza riscontrabile nelle corde cosiddette "dinamiche" utilizzate in alpinismo.

Si ricorda ancora una volta:

- 1) il coefficiente di elasticità è una costante solo negli elementi elastici ideali ed entro certi limiti;
- 2) così come è stata impostata la trattazione X è un indice della struttura chimica e fisica dell'elemento, nonché delle dimensioni della sua sezione trasversale (che si suppone costante);
- 3) per cavi e corde il coefficiente di elasticità non è propriamente una costante in quanto è la risultante di due diversi tipi di elasticità, una legata alla qualità del materiale usato, mentre l'altra è una conseguenza delle trasformazioni (in gran parte irreversibili) che subisce la struttura dell'intreccio di fili elementari.

Valutazioni energetiche

Se si trasmette rapidamente ad un elemento elastico una certa quantità di energia in modo tale che la forza agente si espliciti nel senso dell'allungamento, si ha di fatto che questa forza e gli allungamenti che ne derivano si manifestano in modo gradualmente crescente e tutta l'energia in gioco si scaricherà nel momento in cui si raggiungerà la forza massima F_m , alla quale corrisponderà l'allungamento massimo A_m . Oltre questo punto l'elemento elastico restituirà l'energia accumulata, ma con una forza agente nel

senso opposto; quindi inizieranno una serie di oscillazioni lungo l'asse di allungamento che non interessano, se non marginalmente, i nostri problemi speleo (nei casi reali gli attriti e le deformazioni irreversibili annulleranno gradualmente le oscillazioni: le forze massime successive risulteranno sempre inferiori alla prima).

Dei risultati del tutto analoghi si ottengono sottoponendo a lenta trazione lo stesso elemento elastico con forze gradualmente crescenti fino a raggiungere il medesimo valore di F_m , al quale ovviamente corrisponderà un identico valore di A_m . Ebbene, sia nel primo caso (sollecitazione rapida) che nel secondo (trazione lenta), nell'ipotesi che si raggiunga la stessa F_m e, quindi, lo stesso A_m , *la quantità di energia (o lavoro) in gioco è esattamente la stessa; è identico il lavoro che la forza compie nel primo e nel secondo caso.*

Una considerazione importante: se ad un dato elemento elastico viene applicata una forza F_0 tale da produrre un allungamento A_0 , in ogni punto dell'elemento, compresi gli estremi, è riscontrabile l'azione di una forza F_0 . Variando lentamente o rapidamente la forza F_0 , anche in ogni punto dell'elemento varia di conseguenza la forza F_0 . Questo significa che, volendo seguire quantitativamente l'evoluzione dinamica di una sollecitazione rapida o lenta, il misuratore di forza (dinamometro) può essere inserito in un qualsiasi punto dell'elemento elastico.

Ad onor del vero quest'ultima considerazione non è completamente esatta in quanto nella trasmissione rapida di energia ad un elemento elastico, ad esempio una corda, la forza riscontrabile istante per istante lungo di esso si diversifica, sia pur di poco da punto a punto (l'energia si trasmette per onde): se in un dato istante la forza applicata è F_i , nello stesso istante lungo l'elemento riscontreremo dei punti dove la forza è leggermente minore di F_i e dei punti invece dove la forza è leggermente superiore di F_i ; agli estremi dell'elemento si accumuleranno i maggiori incrementi di forza.

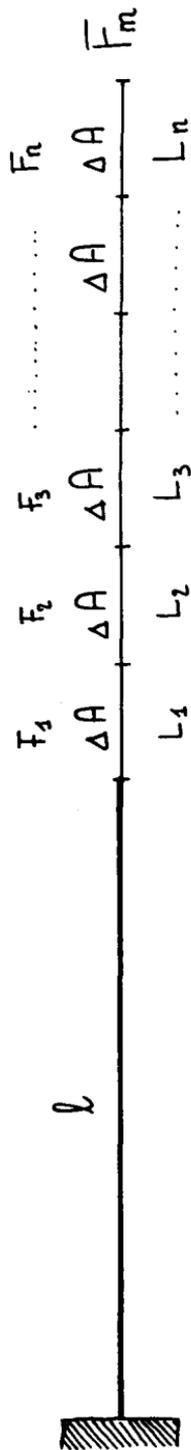
In ogni modo, entro i limiti quantitativi riscontrabili nella progressione speleologica, queste variazioni di forza in senso longitudinale per trasmissione impulsiva di energia, sono dell'ordine dell'1% rispetto alla forza applicata e quindi tali da poter essere trascurate.

Ma ora poniamoci il problema di valutare qual'è la quantità di lavoro L necessario per produrre impulsivamente in un elemento elastico di lunghezza l un allungamento A_m , applicando in ultimo una forza F_m (come vedremo meglio in seguito questo equivale alla caduta di un corpo vincolato ad una fune). È proprio questo il caso in cui l'evoluzione del fenomeno di allungamento rapido, sotto l'azione di una sollecitazione impulsiva, è utile analizzarla come una successione concatenata di situazioni statiche.

Supponiamo (ved. fig. 4) che l'elemento elastico sia ancorato ad un estremo, mentre all'altro agisca una forza gradualmente crescente. Suddivi-

LAVORO DI ALLUNGAMENTO

A_m



$$L = \sum_{n=1}^n F_n \cdot \Delta A = F_1 \cdot \Delta A + F_2 \cdot \Delta A + \dots + F_n \cdot \Delta A$$

$$L = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^n F_n \cdot \Delta A = \int_{F_0}^0 F \cdot dA$$

$$L = \frac{1}{2} \times l \times F_m^2$$

FIG 4

diamo l'allungamento massimo A_m in n piccoli allungamenti ΔA (delta A) uguali. In ogni tratto ΔA possiamo ritenere che la forza applicata sia costante (ma diversa da tratto a tratto) e precisamente F_1 nel tratto 1, F_2 nel tratto 2,, F_n nel tratto n . Rispettivamente si avrà il lavoro L_1 nel tratto 1, L_2 nel tratto 2,, L_n nel tratto n .

Il lavoro globale di allungamento sarà quindi:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

ma:

$$L_1 = F_1 \Delta A$$

$$L_2 = F_2 \Delta A$$

.....

$$L_n = F_n \Delta A$$

quindi:

$$L = F_1 \Delta A + F_2 \Delta A + \dots + F_n \Delta A$$

cioè, utilizzando l'appropriata notazione di sommatoria,:

$$L = \sum_n^1 F_n \cdot \Delta A \tag{16}$$

Quest'ultimo risultato è tanto più vero quanto più fitta è la suddivisione dell'allungamento massimo, cioè tanto più è grande il numero n delle suddivisioni (più è piccola la suddivisione più è vero che in essa la forza rimane costante). Al limite per $n \rightarrow \infty$ (n tendente all'infinito) il risultato è rigorosamente esatto e si trasforma nel calcolo dell'integrale):

$$L = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_n^1 F_n \cdot \Delta A = \int_{F_n}^0 F \, dA \tag{17}$$

Tenendo conto della relazione (15), si ha:

$$A = X \int F \tag{18}$$

e quindi:

$$dA = X \, l \, dF \quad (19)$$

Da tutto ciò si ottiene:

$$L = \int_{F_n}^0 X \, l \, F \, dF$$

che integrata opportunamente dà per risultato:

$$\boxed{L = 1/2 X \, l \, F_m^2} \quad (20)$$

oppure si ottiene il lavoro unitario $L_u = L/l$:

$$L_u = 1/2 X \, F_m^2 \quad (21)$$

Le relazioni (20) e (21), se si integra rispetto all'allungamento A , si trasformano rispettivamente in:

$$L = A_m^2 / 2Xl \quad (22)$$

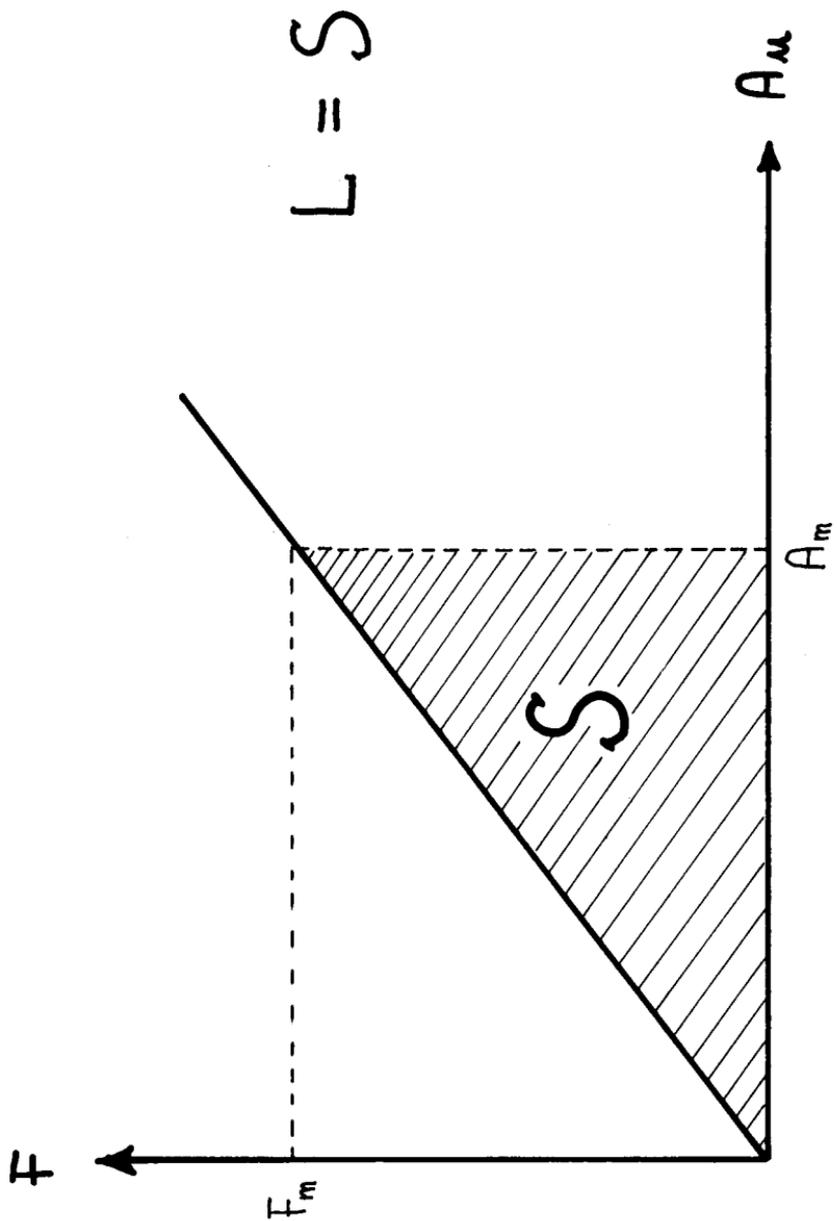
$$L_u = A_m^2 / 2X \quad (23)$$

Le relazioni (20), (21), (22), (23) costituiscono la base di ogni successiva considerazione.

Superficie sottesa alla curva di trazione e quantità di lavoro

Concludiamo questa parte "energetica" mettendo in evidenza una fondamentale correlazione fra quantità di lavoro in gioco in una data sollecitazione ed una componente del grafico rappresentativo della curva di trazione $F = f(A_u)$. Se per annullare detta sollecitazione occorre un allungamento massimo A_m ed una forza massima F_m si definisce la superficie S (fig. 5), compresa fra la curva di allungamento, l'asse orizzontale e l'ordinata massima sulla verticale di A_m . Questa superficie (tratteggiata nella figura) è un triangolo rettangolo la cui area, appunto S , è data dalla relazione:

$$S = 1/2 A_m F_m$$



che, in considerazione della relazione (18), si trasforma in:

$$S = 1/2 \times l \times F_m^2 \quad (24)$$

Pertanto, tenendo conto di quanto espresso dalla (20), si può affermare che:

$$L = S$$

e cioè che la superficie sottesa alla curva di trazione, delimitata a destra dall'ordinata massima (F_m), è equivalente alla quantità di lavoro (o energia) messa in gioco in una data sollecitazione.

Questa conclusione vale anche per le curve di trazione di elementi elastici reali (non ideali), dove l'andamento non è lineare.

Caduta di un corpo vincolato ad una fune con traiettoria lungo la retta verticale passante per il punto di ancoraggio.

Nell'ipotesi di una fune che si comporti come un elemento elastico ideale, supponiamo di sospendere una massa m di peso P lungo la retta verticale passante per il punto di ancoraggio della fune stessa, la quale a sua volta è solidale con il peso P (fig. 6 - fase 1^a). Per effetto della disposizione dei componenti l'esperienza, se improvvisamente il peso P cade, prima di mettere in tensione la fune di lunghezza l , esso precipita per una altezza h .

A questo punto inizia la fase 2^a (vedi fig. 6) in cui l'energia assorbita dalla massa cadente (energia potenziale trasformata in energia cinetica) si trasferisce in energia elastica della fune mediante un suo allungamento A_m .

Quando l'allungamento è massimo, come in precedenza si è sottolineato, si ha anche la forza massima F_m (detta anche forza-choc) applicata in ogni punto della fune.

Ed è proprio questa FORZA MASSIMA che ci interessa, in quanto tutto va bene finché essa non supera il carico di rottura della fune F_r , altrimenti

È intuitivo in prima analisi pensare che la F_m dipenda dall'altezza di caduta (tanto maggiore è h tanto maggiore è la quantità di energia da smaltire). Ma F_m non dipende solo da questo fattore, ma anche da altri come il coefficiente di elasticità X e la lunghezza l della corda, nonché il peso P del corpo che cade.

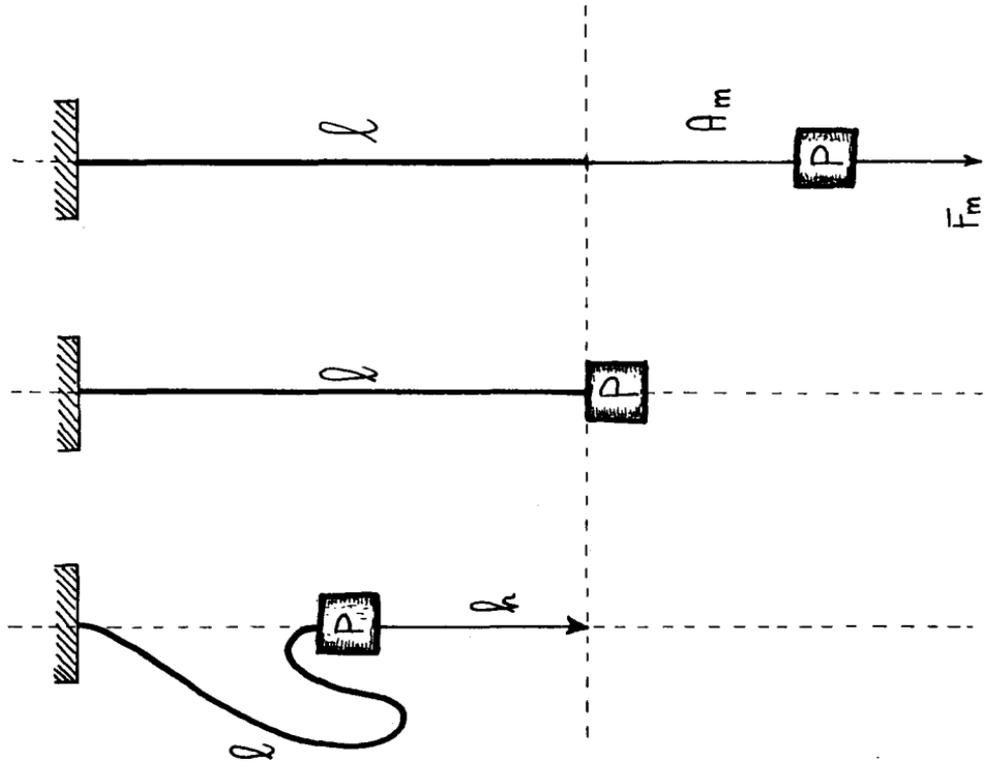
Il nostro interesse è ora di mettere in correlazione queste grandezze in modo da poter avere uno strumento adatto per una valutazione quantitativa rigorosa delle reciproche interazioni.

A tal scopo, riferendoci anche alla fig. 6, definiamo:

PROBLEM 1

PROBLEM 2

PROBLEM 3



$$F_m = P + \sqrt{P^2 + \frac{2Pl}{X}}$$

$$F_m = \sqrt{\frac{2Pl}{X}}$$

m massa che cade

P peso della massa m

A_m allungamento massimo

F_m forza massima (forza choc)

L lavoro di allungamento della fune al termine della sollecitazione

E_c energia cinetica acquisita dalla massa m all'inizio della fase 2^a

E_p energia potenziale che perde la massa m per effetto del solo allungamento massimo A_m .

Facendo il bilancio energetico al termine della fase 2^a si ha:

$$E_c + E_p = L \quad (25)$$

il che vuol dire che il lavoro di allungamento di una corda deve equilibrare esattamente l'energia prodottasi nella caduta sino all'attimo del suo arresto; e questa energia è la somma dell'energia cinetica, in relazione alla velocità di caduta manifestantesi alla fine della fase 1^a, con la perdita di energia potenziale, prodottasi per effetto dell'abbassamento in verticale della massa m durante la fase 2^a.

Siccome si ha da quanto detto in precedenza:

$$E_c = P h$$

$$E_p = P A_m = P \times l F_m$$

$$L = 1/2 \times l F_m^2$$

si ottiene, sostituendo nella (25) :

$$P h + P \times l F_m = 1/2 \times l F_m^2 \quad (26)$$

Risolviendo l'equazione di 2° grado rispetto ad F_m e tralasciando la soluzione non compatibile con la realtà fisica dei fatti:

$$F_m = P + \sqrt{P^2 + \frac{2 P h}{X l}} \quad (27)$$

Questa relazione è il modello matematico della caduta di un corpo vincolato ad una corda: in essa tutti i parametri sono correlati in modo rigoroso, tanto da permettere di valutare quantitativamente l'influenza di tutte le variabili (P , h , X , l) sulla forza massima.

Ma la relazione (27) non permette un facile esame della funzione $F_m = f(P, h, X, l)$: solo una analisi di un certo livello potrebbe evidenziare le sue peculiarità e ciò, tenendo presente i ben precisati fini didattici, è oltre i limiti di questo lavoro. Pertanto, sacrificando in parte la rigorosità delle conclusioni ma rendendo più comprensibili le considerazioni che seguiranno, agiamo nell'ipotesi che nella relazione (25) sia trascurabile E_p rispetto ad E_c . Ne segue che la relazione (27) si semplifica in:

$$F_m = \sqrt{\frac{2 P h}{X l}} \quad (28)$$

relazione molto più abordabile della precedente.

Da essa possiamo subito costatare che la forza massima, a parità delle altre condizioni, è tanto più grande quanto più è grande il peso che cade e l'altezza di caduta, mentre è tanto più piccola tanto più sono grandi il coefficiente di elasticità e la lunghezza della corda sollecitata. Ovviamente non è una proporzionalità diretta, data la presenza della radice quadrata.

Ma vediamo con maggiore attenzione queste dipendenze funzionali.

Studio della funzione $F_m = \sqrt{2Ph/Xl}$

a) Tenendo costanti X , l , h e variando dolo P (studio della funzione $P=f(F_m)$) ne risulta una analisi grafica come in **fig. 7** (porzione di parabola con vertice nell'origine degli assi, con curvatura tanto più accentuata quanto maggiore è il rapporto $Xl/2h$). Come si può vedere la F_m aumenta con P , ma non in modo lineare: l'influenza delle variazioni di P si risente maggiormente per bassi valori di P .

Facendo un esempio concreto in cui, fermi restando gli altri parametri, si registri la F_m prima in una sollecitazione con peso P_1 e poi in una seconda con peso $P_2 = 2 P_1$. Dato che:

$$F_{m2} = \sqrt{P_2/P_1 \cdot F_{m1}}$$

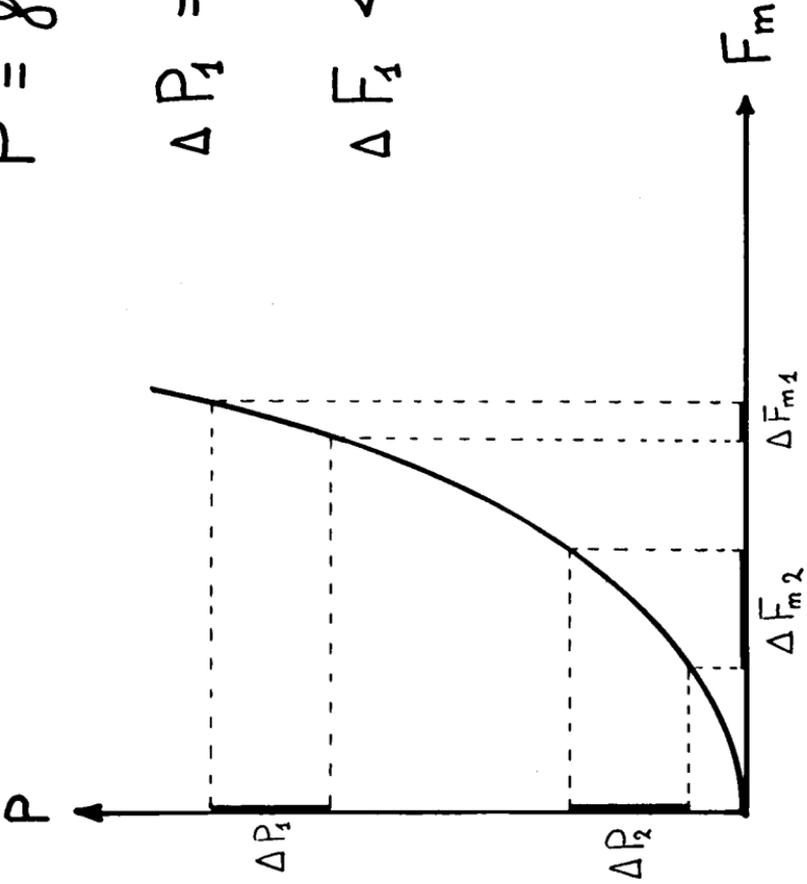
si ha di conseguenza:

$$F_{m2} = 1,4 F_{m1}$$

$$P = f(F_m)$$

$$\Delta P_1 = \Delta P_2$$

$$\Delta F_1 < \Delta F_2$$



Ciò vuol dire che raddoppiando il peso la forza massima aumenta di 1,4 volte.

Inoltre, rappresentando graficamente le tre diverse curve $P=f(F_m)$ risultanti da tre diversi coefficienti di elasticità $X_1 > X_2 > X_3$, si ottiene un risultato come in **fig. 8**, dove si rileva che un incremento di peso ΔP_0 ha maggiore effetto sulla forza massima con corde a minor elasticità.

b) Variando solo l'altezza h (studio della funzione $h=f(F_m)$) si ottengono risultati del tutto uguali a quelli del caso precedente.

c) Se si varia solo il coefficiente di elasticità X (studio della funzione $X=f(F_m)$) si ottiene un risultato grafico come riportato in **fig. 9**. Come ben si vede l'influenza di X sulla F_m è opposta a quella del P e della h : aumentando il coefficiente di elasticità, a parità di tutte le altre condizioni, diminuisce la forza massima, e questo sembrerebbe un buon motivo per utilizzare corde dinamiche.

Si deduce anche che a valori bassi di X le sue variazioni hanno maggiore effetto sulla F_m . È quindi di scarso effetto utilizzare corde eccessivamente elastiche.

Riportiamo ora un caso concreto in cui si dà la stessa sollecitazione su una fune con coefficiente di elasticità X_1 e su un'altra con coefficiente di elasticità $X_2 = 10 X_1$ si ottiene che $F_{m2} = 1/3,3 \cdot F_{m1}$. Cioè se si decuplica il coefficiente di elasticità la forza choc risulta 3,3 volte più piccola (ecco perché con le corde dinamiche ci si può permettere di fare delle cadute tipo alpinismo).

d) Con la variazione della sola lunghezza l della corda sollecitata (studio della funzione $l=f(F_m)$) si ottengono risultati uguali a quelli rilevati nel caso precedente. Vi è solo da osservare, in aggiunta, che la quantità di energia che può assorbire una corda è direttamente proporzionale alla sua lunghezza: una fune di 100 m può assorbire una quantità di energia 10 volte superiore ad una corda da 10 m. Si è più sicuri nelle grandi campate che nelle piccole! Da questa constatazione discende anche il fatto che una delle caratteristiche più salienti delle corde viene espressa con la loro capacità massima di assorbire energia per metro lineare.

Altra importante considerazione: gli incrementi della lunghezza l intorno a suoi bassi valori hanno maggiore influenza nel variare la forza choc (confronta in **fig. 9** sostituendo in ordinate l ad X). Attenzione dunque in prossimità dei frazionamenti: in caso di caduta dieci centimetri in più o in meno possono voler dire molto!

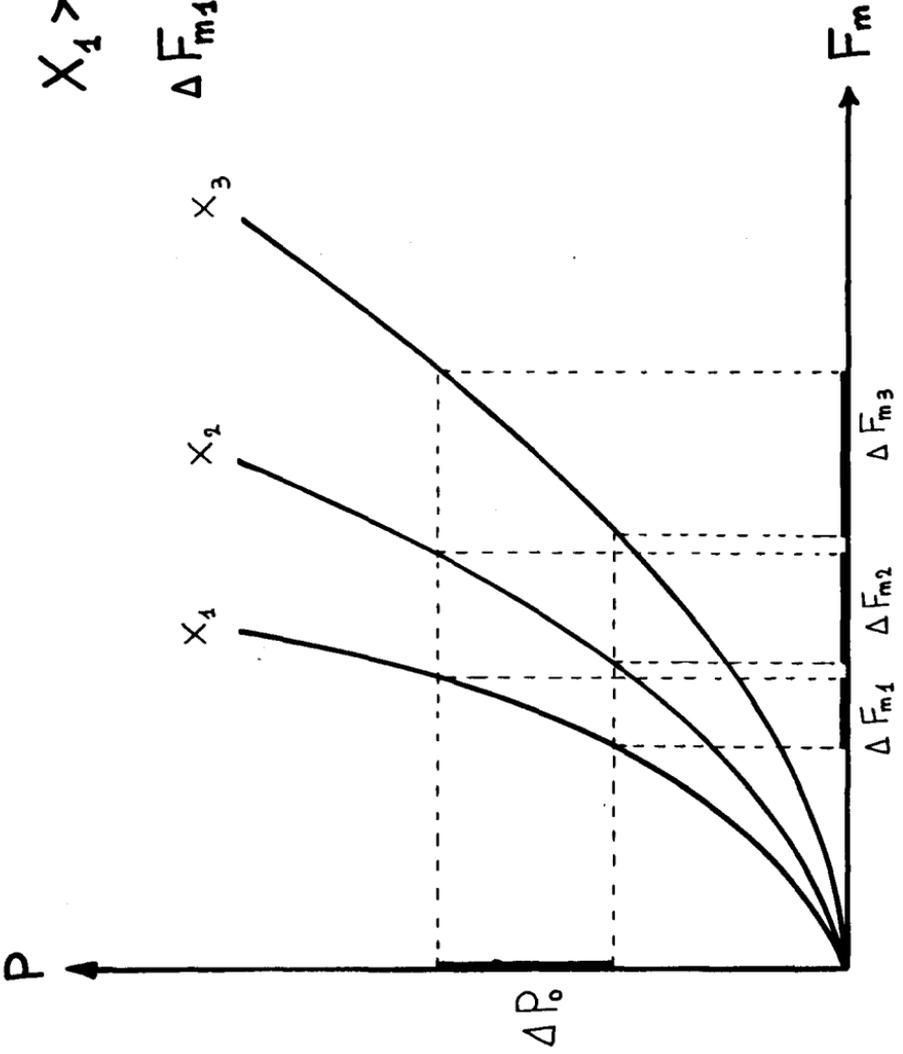
Fattore di caduta $F_c = h/l$

Dalla relazione (28) si ricava anche la forma:

$$F_m = \sqrt{2P/X} \cdot \sqrt{h/l} = \sqrt{2P/X} \cdot \sqrt{F_c} \quad (29)$$

$$X_1 > X_2 > X_3$$

$$\Delta F_{m1} < \Delta F_{m2} < \Delta F_{m3}$$



$$X = f(F_m)$$

$$\Delta X_1 = \Delta X_2$$

$$\Delta F_{m1} < \Delta F_{m2}$$

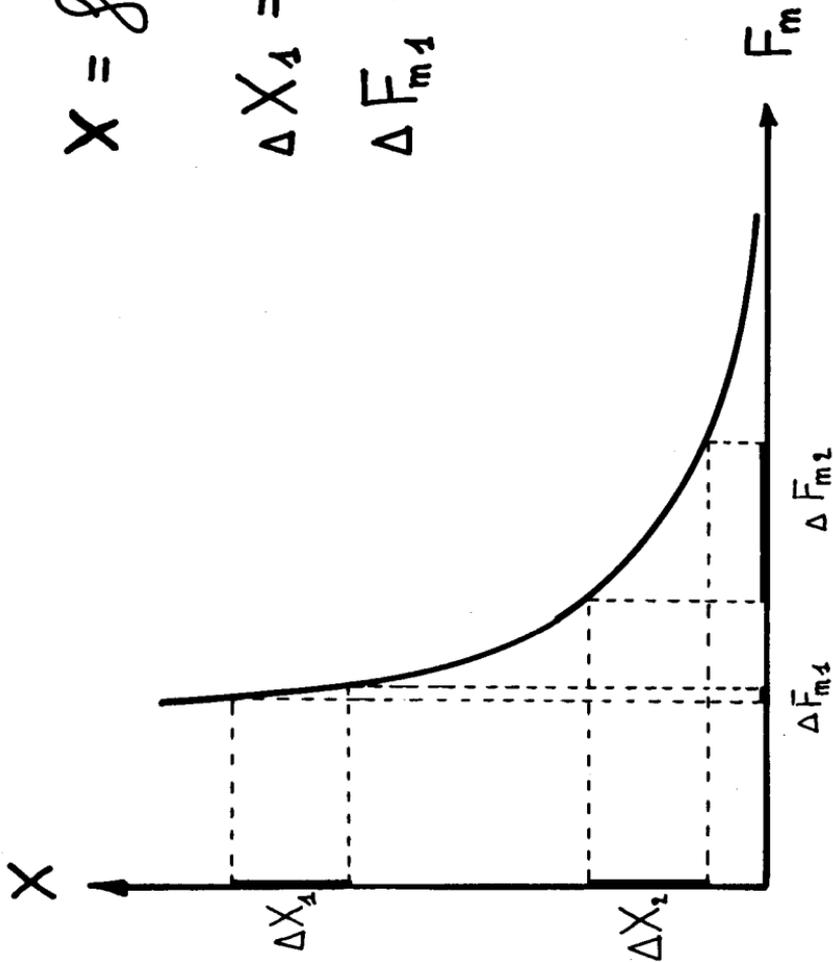


FIG. 9

dove si definisce:

$$h/l = \text{fattore di caduta} = F_c$$

Pertanto, essendo costanti P ed X , ciò che determina la forza choc è il fattore di caduta. Non importa la lunghezza della corda sollecitata ma il rapporto fra l'altezza h e la lunghezza l della corda sollecitata. Cadere da 1 m su una corda di 1 m produce la stessa forza choc che cadere da 100 m su una corda di 100 m:

$$F_c = 1/1 = 10/10 = 100/100 = 1$$

Questo modo di impostare le cose deriva dal fatto che la probabilità di variare la forza massima di una ipotetica caduta in grotta è in gran parte dovuta al rapporto h/l , visto che le corde utilizzate sono abbastanza standard ed il peso è quello che è. Tuttavia è abbastanza riduttivo vedere i problemi della progressione speleo solo in funzione del fattore di caduta; vi sono infatti ben altre considerazioni da fare e quanto verrà detto in seguito, in aggiunta a quanto affermato sinora, non potrà che confermare pienamente questa deduzione. Ma comunque vediamo di completare la questione fattore di caduta.

F_c non può assumere nella realtà che valori compresi fra 0 e 2, visto che la corda di vincolo non permette una libertà d'azione maggiore di due volte la sua lunghezza, con punto centrale l'ancoraggio. In **fig. 10** le varie situazioni sono ben messe in evidenza, senza bisogno di particolari commenti.

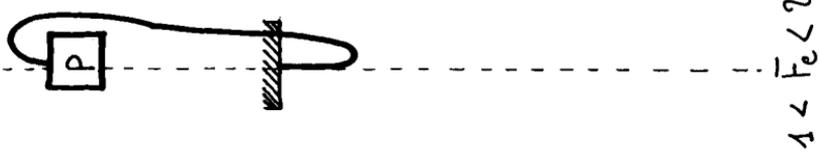
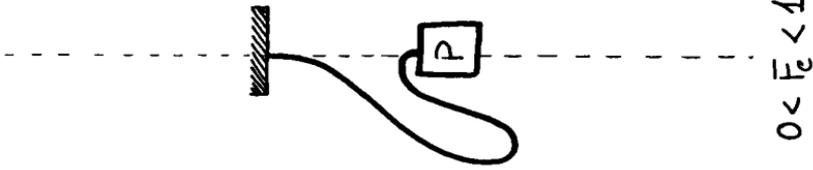
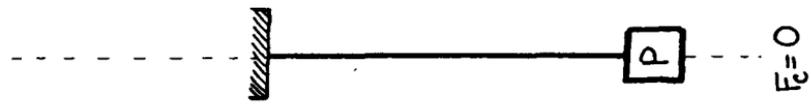
Caduta di un corpo vincolato ad una fune con traiettoria non coincidente con la retta verticale passante per il punto di ancoraggio.

Nella realtà dei fatti ben difficilmente accade che il peso, al momento dell'inizio della caduta, si trovi lungo la linea verticale che passa per il punto di ancoraggio. Si verifica piuttosto una situazione come rappresentata in **fig. 11**.

Per semplificare la trattazione supponiamo che il peso sia posto nel punto P' , ad una distanza d dall'ancoraggio S , solidale con la fune di lunghezza l . Se il peso cade segue la traiettoria $P'P$ per una altezza h ; ma giunto nel punto P la corda entra in tensione, imponendogli di seguire l'arco di circonferenza PT , di raggio l . L'angolo α dà l'inclinazione della corda, nell'istante che entra in tensione, rispetto alla retta orizzontale SP' .

Analizziamo ora la situazione nel punto P dove cambia la traiettoria di caduta. Qui il peso avrà una velocità v , che può essere scomposta vettorialmente nelle sue componenti v_a e v_o , rispettivamente lungo la direzione della corda in tensione SP e lungo la tangente alla circonferenza nel punto P .

$$0 \leq F_c \leq 2$$



$$F_m = \sqrt{\frac{2Ph}{x\ell}}$$

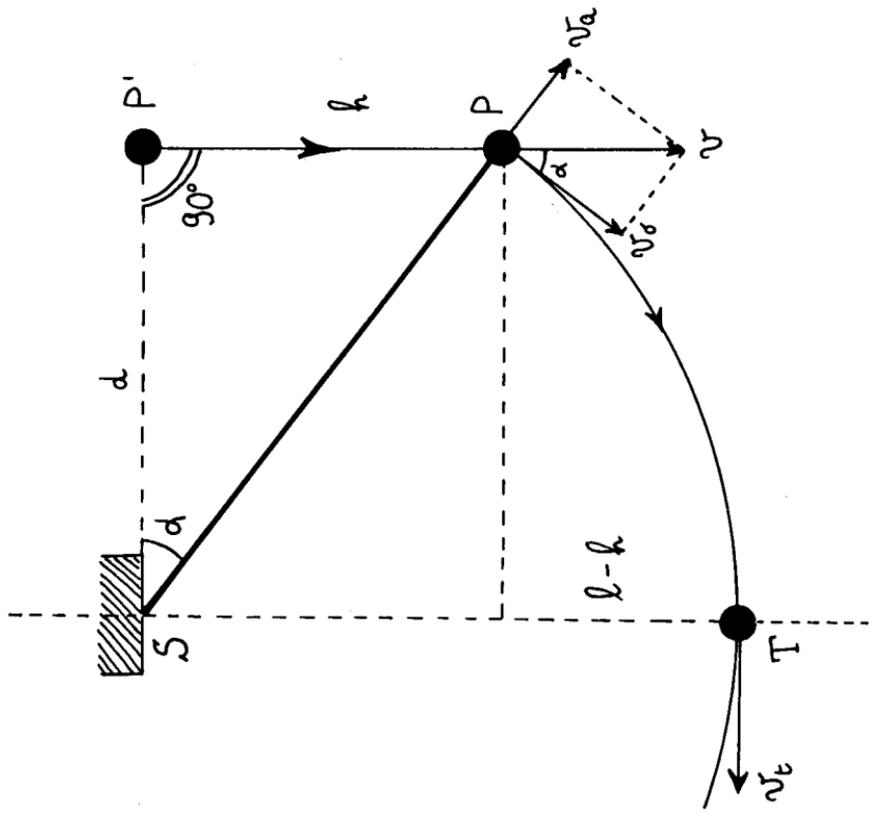
$$F_m = \sqrt{\frac{2P}{x}} \cdot \sqrt{F_c}$$

$$\frac{h}{\ell} = F_c$$

$$F_{ma} = \sin \alpha \sqrt{\frac{2Pl}{Xe}}$$

$$F_{mt} = 2(1 - \sin^3 \alpha)P$$

$$\sin \alpha = \frac{h}{l} = \frac{F_{cz}}{F_c}$$



α°	F_{ma}	F_{mt}	F_{mat}
0	0	2P	2P
90	$\sqrt{\frac{2Pl}{Xe}}$	0	$\sqrt{\frac{2Pl}{Xe}}$

FIG. 11

Quantitativamente si ricava:

$$v_a = v \sin \alpha \quad (30)$$

$$v_o = v \cos \alpha \quad (31)$$

e pertanto anche:

$$E_{ca} = 1/2 m v_a^2 = 1/2 m v^2 \sin^2 \alpha \quad (32)$$

$$E_{co} = 1/2 m v_o^2 = 1/2 m v^2 \cos^2 \alpha \quad (33)$$

dove:

E_{ca} energia cinetica che si sviluppa lungo la direzione SP della corda nell'istante che entra in tensione

E_{co} energia cinetica che si scarica lungo l'arco di circonferenza PT

Si ricordi che E_{ca} provoca l'allungamento della corda secondo modalità e relazioni già esaminate, mentre E_{co} provoca una accelerazione centripeta con la conseguente forza centrifuga. La velocità con la quale il corpo percorre l'arco PT aumenta progressivamente fino a raggiungere il valore massimo nel punto T. Ciò è dovuto al fatto che all'energia cinetica iniziale E_{co} si va aggiungendo l'energia equivalente alla perdita di energia potenziale dato che il corpo si abbassa dal punto P al punto T, cioè di (1-h).

La forza centrifuga è massima nel punto T.

A questo punto è evidente che la caduta di un corpo nelle condizioni indicate nella fig. 11 produce sulla corda due diversi tipi di sollecitazione: una agisce allungando la corda come se la caduta fosse avvenuta con traiettoria SP (immaginando che in questo senso si espliciti la forza di gravità) e quindi, visto che parte dell'energia si scarica lungo l'arco di circonferenza, è inferiore a quella analoga che si produrrebbe se la traiettoria di caduta fosse esattamente sulla verticale del punto di ancoraggio (vedi paragrafo precedente); l'altro tipo di sollecitazione viene imposta alla fune per effetto della forza centrifuga che ha il suo massimo nel punto T.

A voler conoscere con esattezza la sollecitazione massima che si produce nella corda come risultante delle due suddette diverse sollecitazioni bisognerebbe fare delle considerazioni sui tempi di realizzazione dell'allungamento massimo per effetto della prima e di percorso della traiettoria PT in conseguenza della seconda. La maggiore possibile sollecitazione globale si otterrebbe se l'allungamento massimo avvenisse esattamente nel punto

T, dove è massima anche la forza centrifuga. In tutti gli altri casi si avrebbero valori globali minori.

Ma la soluzione di un simile problema esce di gran lunga dai limiti prestabiliti a questo lavoro. Pertanto ci limiteremo a calcolare separatamente la relazione che dà la forza massima per effetto del primo tipo di sollecitazione, la relazione che quantizza la forza massima per effetto dell'accelerazione centripeta e la somma di queste due forze. Quest'ultimo dato per valutare l'effetto della caduta nella peggiore delle ipotesi.

Dalle relazioni (32) e (33), sapendo che:

$$P h = 1/2 m v^2$$

si ottiene:

$$E_{ca} = P h \text{ sen}^2 \alpha \quad (34)$$

$$E_{co} = P h \text{ cos}^2 \alpha \quad (35)$$

Separiamo ora i problemi, tralasciando per ora la relazione (35). Dalla (34) tenendo conto della (20), si ottiene:

$$P h \text{ sen}^2 \alpha = 1/2 X l F_{ma}^2 \quad (36)$$

dove:

X coefficiente di elasticità della corda di vincolo

F_{ma} forza massima che si riscontra, per effetto della quantità di energia E_{ca} , in direzione SP

Dalla (36) infine discende:

$$F_{ma} = \text{sen } \alpha \sqrt{\frac{2 P h}{X l}} \quad (37)$$

Questo risultato mostra come la forza massima di questo tipo dipenda strettamente dal valore dell'angolo (oltre naturalmente dai soliti parametri che già abbondantemente conosciamo):

se $\alpha = 90^\circ$ traiettoria di caduta passante per la verticale del punto di ancoraggio (come paragrafo precedente)

$$\text{sen } \alpha = 1 \quad F_{ma} = \sqrt{2 P h / X l}$$

come era giusto prevedere la F_{ma} coincide con i valori calcolati nelle condizioni di fig. 6 ed è l'unica agente sulla corda, non essendoci alcuna forza centrifuga che non sia il peso della massa stessa;

se $\alpha = 0^\circ$ traiettoria di caduta, con corda sempre tesa e inizialmente lungo il segmento SP, solo seguendo l'arco di circonferenza P'T.

$$\text{sen } \alpha = 0 \quad F_{ma} = 0$$

l'unica forza agente sulla corda è quella centrifuga in quanto il corpo non cade mai verticalmente;

se $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ traiettoria mista, prima verticale poi lungo l'arco di circonferenza

$$0 < \text{sen } \alpha < 1 \quad 0 < F_{ma} < \sqrt{2Ph/XI}$$

sulla corda agiscono, in un rapporto determinato dal valore dell'angolo α , entrambe le forze, la cui risultante sarà la responsabile dell'allungamento massimo globale.

In **fig. 12** è riportata la risoluzione grafica della relazione (37) in funzione dell'angolo .

Riprendiamo ora in considerazione la seconda parte del problema e la relazione (35): il corpo sta iniziando, a partire dal punto P, la sua traiettoria circolare. In quell'istante la sua energia tangenziale sarà pari a quella indicata dalla relazione (35). Ma, per il fatto che la massa si abbassa dal punto P al punto T, acquista una ulteriore quantità di energia pari alla perdita di energia potenziale P (l-h).

Quindi l'energia tangenziale che il corpo possiede una volta giunto nel punto T è:

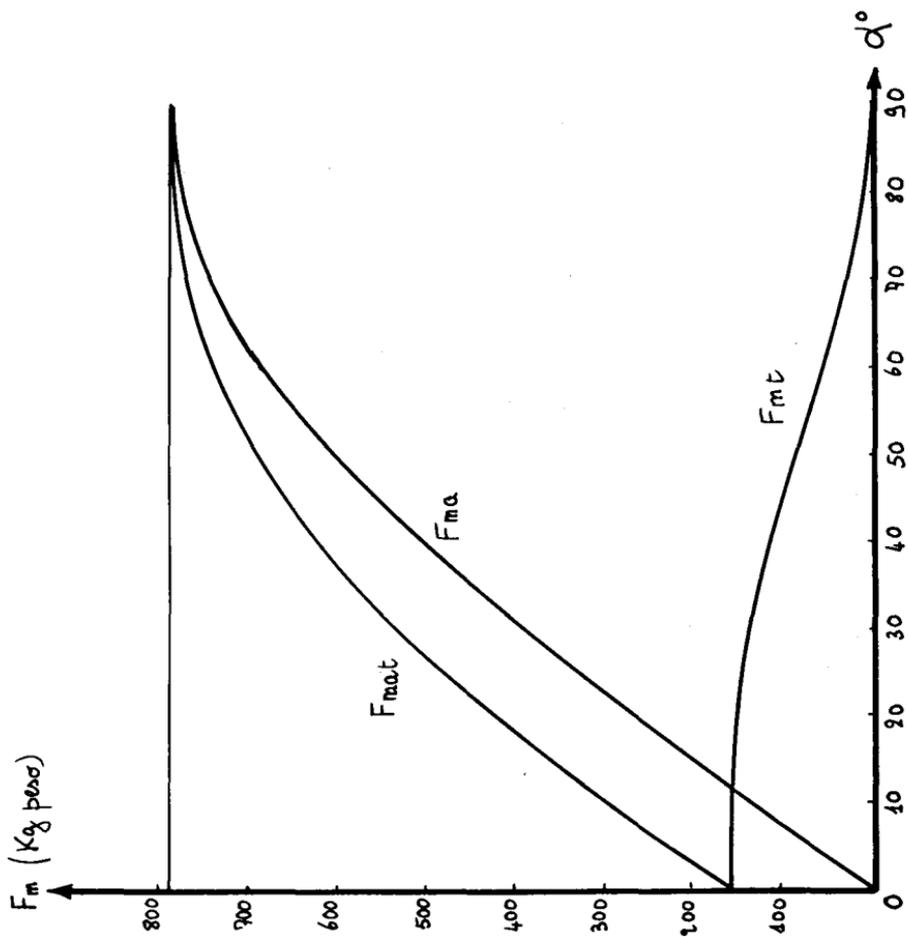
$$E_{ct} = P h \cos^2 \alpha + P (l-h) \quad (38)$$

Ma si ha pure:

$$E_{ct} = 1/2 m v_t^2 \quad (39)$$

dove:

v_t velocità massima del corpo nel punto T.



$$F_{mat} = F_{ma} + F_{mt}$$

$$F_{ma} = \sin \alpha \sqrt{\frac{2Ph}{Xl}}$$

$$F_{mt} = 2(1 - \sin^2 \alpha)P$$

$$P = 80 \text{ Kg peso}$$

$$h = 5 \text{ m}$$

$$l = 10 \text{ m}$$

$$X = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2 / \text{m Kg}$$

FIG 12

Per cui si ricava:

$$P h \cos^2 \alpha + P (1-h) = 1/2 m v_t^2 \quad (40)$$

e quindi:

$$v_t^2 = 2 g (h \cos^2 \alpha + 1 - h) \quad (41)$$

La forza massima per effetto della sola accelerazione centripeta F_{mt} si manifesta, come già detto, nel punto T dove maggiore è la velocità di rotazione ed è quantizzabile dalla relazione:

$$F_{mt} = \frac{m v_t^2}{l} \quad (42)$$

Sostituendo infine la (41) nella (42) si ha:

$$F_{mt} = \frac{2mg (h \cos^2 \alpha + 1 - h)}{l}$$

che semplificata opportunamente dà:

$$F_{mt} = 2 (1 - \sin^3 \alpha) P \quad (43)$$

Questa relazione definisce l'entità della forza massima, registrabile nel punto T, per il solo effetto dell'accelerazione centripeta.

$$\text{Se } \alpha = 90^\circ \text{ si ha } \sin \alpha = 1 \text{ e quindi } F_{mt} = 0 \quad (44)$$

il che è coerente con il fatto limite del corpo appeso staticamente alla corda immobile sulla verticale del punto di ancoraggio.

$$\text{Se } \alpha = 0^\circ \text{ si ha } \sin \alpha = 0 \text{ e quindi } F_{mt} = 2 P \quad (45)$$

se dà la forza massima per sola accelerazione centripeta, essendo l'unica traiettoria di caduta l'arco di circonferenza P'T (non vi è alcuna caduta verticale).

Per valori di α compresi fra 0° e 90° si avranno valori di F_{mt} compresi fra 0 e $2P$.

Da notare: nella caduta di un corpo unicamente lungo una traiettoria circolare di raggio l la F_{mt} è indipendente dalla lunghezza del raggio (cioè dalla corda vincolante) ed al massimo raggiunge una forza choc pari a due volte il peso. È questo il caso di una eventuale caduta durante una traversa-

ta in orizzontale con corda di sicurezza vincolata lateralmente (pendolo): se la corda di vincolo è di 100 m. oppure di 10 m la F_{mt} è sempre pari al doppio del peso (notare l'analogia con cadute a fattore di caduta costante).

A questo proposito è interessante notare che:

$$\text{sen } \alpha = h/l = F_{cr}$$

dove definiamo F_{cr} come "fattore di caduta ridotto" (le direzioni di h ed l non coincidono come per il calcolo di F_c). Ne segue che le relazioni (37) e (43) si trasformano rispettivamente in:

$$F_{ma} = \sqrt{\frac{2P}{X}} \cdot F_{cr}^3$$

$$F_{mt} = 2 (1 - F_{cr}^3) P$$

Ancora una volta si può quindi dedurre che la forza massima, a parità di ogni altra condizione, dipende dal rapporto fra h ed l , cioè dal fattore di caduta, che in questo caso "ridotto" deve essere inteso con le opportune modifiche.

Si prenda ora un caso definito in ogni componente come in fig. 11 e con i seguenti dati:

$$l = 10 \text{ m} \quad h = 5 \text{ m} \quad P = 80 \text{ Kg. peso} \quad X = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$$

e si studi il variare della F_{ma} , della F_{mt} e della $F_{mat} = F_{ma} + F_{mt}$ in funzione dell'angolo α . Si ottiene un risultato come quello riportato graficamente nella fig. 12, dove è stata tracciata anche la retta orizzontale in corrispondenza della $F_m = 792 \text{ Kg peso}$, che è la forza choc ottenibile nelle stesse condizioni ma con traiettoria di caduta unicamente lungo la verticale passante per il punto di ancoraggio (in assenza di oscillazioni).

Nel grafico risulta evidente che la curva relativa ad F_{mat} è sempre sottostante alla retta rappresentante il valore di 792 Kg peso (fa eccezione, ovviamente, il punto di ascissa 90°) e diminuisce progressivamente al diminuire dell'angolo: se l'ancoraggio della corda di vincolo è spostato orizzontalmente si è dunque più sicuri, sempre che il pendolamento non porti ad urtare contro qualche parete laterale!

Elementi elastici in serie

Nella realtà della progressione in grotta quasi sempre accade che essa

avvenga su una "catena" di elementi elastici, a diverso coefficiente di elasticità e di diversa lunghezza. Vediamo quindi come una situazione del genere possa essere valutata quantitativamente.

Supponiamo di trovarci di fronte ad un caso come quello rappresentato in **fig. 13**, dove tre diversi elementi elastici a, b, c sono concatenati. Un estremo dell'elemento a è vincolato all'ancoraggio S mentre nell'estremo T dell'elemento c è applicato il peso P.

Siano $X_a, l_a, X_b, l_b, X_c, l_c$ rispettivamente i coefficienti di elasticità e le lunghezze degli elementi a, b, c.

Se il peso P cade per una altezza h prima di mettere in tensione la catena di elementi si sa che ad essa viene trasferita una quantità di lavoro $L = P h$. Tenendo presente che:

1) istante per istante la forza applicata all'estremo T è riscontrabile esattamente in qualsiasi altro punto della catena di elementi;

2) l'energia P h che il sistema deve assorbire con la propria elasticità si ripartisce fra tutti gli elementi che lo compongono, in funzione dei parametri che contraddistinguono i diversi elementi.

Se L_a, L_b, L_c sono l'energie assorbite a seguito della sollecitazione rispettivamente da a, b, c, si avrà:

$$L = L_a + L_b + L_c \quad (46)$$

e quindi:

$$L = 1/2 X_a l_a F_m^2 + 1/2 X_b l_b F_m^2 + 1/2 X_c l_c F_m^2 \quad (47)$$

Ponendo ora:

$$X_a l_a = X'_a \quad X_b l_b = X'_b \quad X_c l_c = X'_c$$

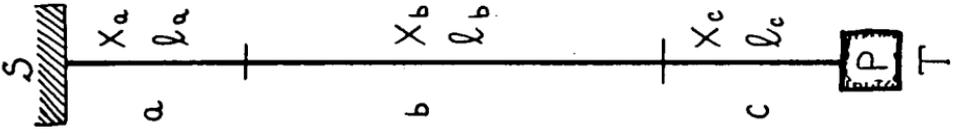
dove X'_a, X'_b, X'_c sono i *coefficienti relativi di elasticità* (sono una misura non solo dell'elasticità propria degli elementi ma anche dell'elasticità dovuta alla loro lunghezza), rispettivamente dell'elemento a, b, c, la (47) si trasforma in:

$$L = 1/2 X'_a F_m^2 + 1/2 X'_b F_m^2 + 1/2 X'_c F_m^2 \quad (48)$$

e quindi in:

$$L = 1/2 (X'_a + X'_b + X'_c) F_m^2 \quad (49)$$

Ponendo infine:



$$L = \frac{1}{2} (X'_a + X'_b + X'_c) F_m^2$$

$$X'_3 = X'_a + X'_b + X'_c$$

$$L = \frac{1}{2} X'_3 F_m^2$$

$$X'_3 = X \cdot l \quad \text{COEFICIENTE EL. RELATIVO}$$

FIG. 13

$$X'_s = X'_a + X'_b + X'_c \quad (50)$$

si ottiene la relazione:

$$L = 1/2 X'_s F_m^2 \quad (51)$$

Un sistema di elementi in serie dunque si comporta, al fine dell'assorbimento di energia e nel determinare il valore massimo di forza a seguito di una sollecitazione, come se fosse un unico elemento elastico con coefficiente di elasticità relativo X'_s uguale alla somma dei singoli coefficienti di elasticità relativi di tutti i componenti il sistema. È sbagliato, nella progressione in grotta, prendere in considerazione solo le caratteristiche di un singolo elemento (quasi sempre la corda); occorre piuttosto tenere presenti anche le caratteristiche degli elementi ad esso collegati, in quanto possono assorbire anche rilevanti quantità di energia (per esempio le imbracature e sistemi di ancoraggio dinamici).

Per contro quando alcuni elementi della catena sono estremamente rigidi (vedi moschettoni, piastrine, bulloni), il che nella realtà accade quasi sempre, è necessario fare molta attenzione ai dati caratterizzanti gli unici elementi elastici interposti. Ma facciamo un esempio preciso e dettagliato che rispecchia una situazione fra le più frequenti, spesso affrontata con superficialità.

Supponiamo di avere un sistema concatenato di elementi elastici ideali come riportato in **fig. 14** (spit-bullone-piastrina-moschettone-longe-peso). L'insieme può essere diviso in tre diversi elementi: il primo, costituito da spit-bullone-piastrina-moschettone con coefficiente relativo di elasticità X'_a estremamente piccolo, il secondo, composto dalla sola longe, con coefficiente di elasticità molto alto, il terzo, massa rigida cadente, ancora più rigido del primo.

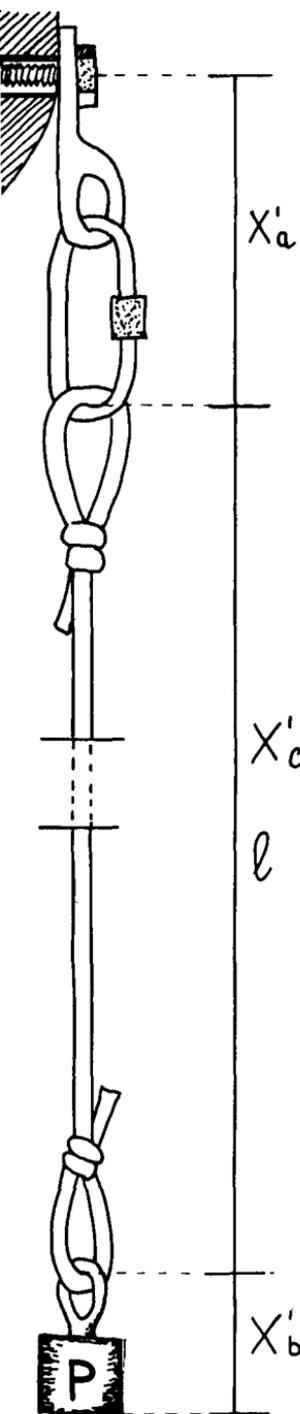
Ne deriva che il coefficiente X'_a ed il coefficiente X'_b , rispettivamente del primo e del terzo elemento, sono del tutto trascurabili rispetto a X'_c , il quale così assume il calore di coefficiente di elasticità relativo di tutto il sistema e la relazione (51) si trasforma in:

$$L = 1/2 X'_c F_m^2$$

Questo significa in altri termini che tutta l'energia di una eventuale sollecitazione viene a gravare sulle longe. Ciò comporta delle conseguenze che è bene tenere presenti e che possono essere meglio evidenziate con il seguente esempio.

Si supponga di sollecitare il sistema di **fig. 14** con i seguenti parametri:

$$P = 80 \text{ Kg. peso} \quad h = 0,4 \text{ m} \quad l = 0,4 \text{ m (lungh. longe)}$$



$$X'_c \gg X'_a + X'_b$$

$$L = \frac{1}{2} X'_c F_m^2$$

$$P = 80 \text{ Kg peso}$$

$$h = 0,4 \text{ m}$$

$$l = 0,4 \text{ m}$$

$$F_{T \text{ MOSEH.}} = 1500 \text{ kgf}$$

1ª PROVA

$\varnothing = 10 \text{ mm}$ NYLON

$$X'_c = 5,2 \cdot 10^{-6} \text{ sec}^2/\text{m kg}$$

$$F_T = 1700 \text{ Kg peso}$$

$$F_m = 1121 \text{ Kg peso}$$

2ª PROVA

$\varnothing 10 \text{ mm}$ KEVLAR

$$X'_c = 8 \cdot 10^{-7} \text{ sec}^2/\text{m kg}$$

$$F_T = 4900 \text{ Kg peso}$$

$$F_m = 2857 \text{ Kg peso}$$

Una prima prova la realizziamo con una longe di corda con le caratteristiche:

$$X'_c = 5,2 \cdot 10^{-6} \text{ sec}^2/\text{m Kg} \text{ (nylon } \varnothing 10 \text{ mm statica)}$$

$$F_r = 1700 \text{ Kg peso} = \text{forza rottura in presenza di nodi}$$

e con un moschettone il cui carico di rottura sia 1500 Kg peso.

La forza massima che si registrerà:

$$F_m = 1121 \text{ Kg peso}$$

non può produrre alcuna rottura, visto che l'anello più debole della catena, il *moschettone*, ha un carico di rottura superiore.

Una seconda prova la realizziamo sullo stesso sistema ma con una longe di corda con le caratteristiche:

$$X'_c = 8 \cdot 10^{-7} \text{ sec}^2/\text{m Kg} \text{ (kevlar } \varnothing 10 \text{ mm statica)}$$

$$F_r = 4900 \text{ Kg peso}$$

La forza massima che verrà misurata:

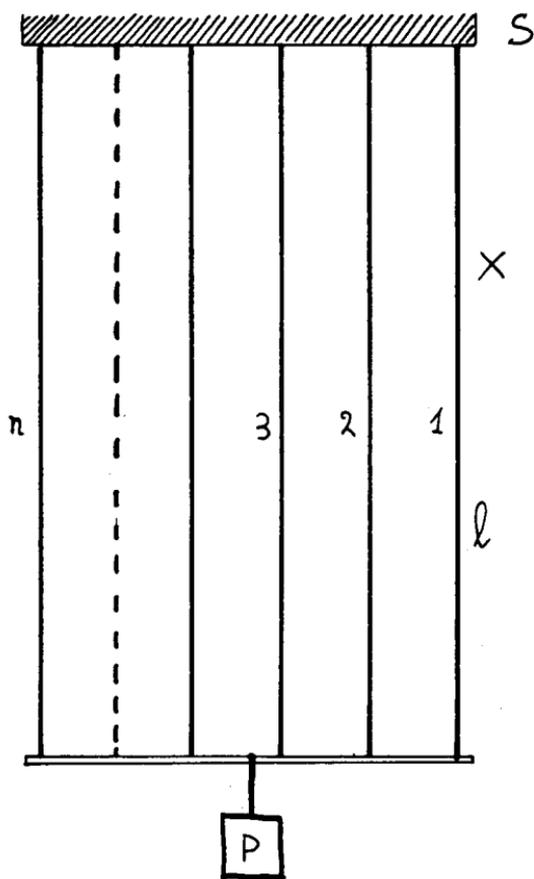
$$F_m = 2857 \text{ Kg peso}$$

è tale da essere ben al di sotto del carico di rottura della corda, ma, purtroppo, ben al di sopra del carico di rottura del moschettone. È ovvio pensare che si rompa il moschettone anche se la corda rimane intatta.

Si può concludere quindi che è necessario fare molta attenzione nell'inserire elementi elastici molto rigidi (fibre poco elastiche, cavi d'acciaio o corde di grande diametro), anche se apparentemente sembrano più sicuri per il loro alto grado di tenuta alla rottura. Infatti producono un irrigidimento di tutto il sistema che, a parità di tutte le altre condizioni, produce delle forze choc più elevate e porta quasi sempre alla rottura degli elementi più deboli. Un sistema di elementi in serie deve sempre essere riguardato come un tutt'uno e non come un insieme di componenti da analizzare separatamente.

Elementi elastici in parallelo

Supponiamo ora di avere un sistema ideale di n elementi elastici in parallelo come in **fig. 15**, tutti ancorati all'estremo S e sollecitati all'altra estremità da un peso P (con un particolare ipotetico strumento che permetta, ca-



endo P, di ripartire uniformemente la sollecitazione su tutti gli n elementi). Ogni elemento sia di lunghezza l e di coefficiente X.

Si faccia ora l'ipotesi che il sistema venga sollecitato per la caduta del peso P da una altezza h. L'energia totale da assorbire P h verrà ripartita equamente fra gli n elementi, per cui si può affermare:

$$L = n L_e \quad (52)$$

dove: L_e lavoro che svolge ciascun elemento

$$\text{Ma: } L_e = 1/2 X l F_{me}^2 \quad (53)$$

con:

F_{me} forza massima riscontrabile in ciascun elemento.

la forza massima F_m riscontrabile sull'ancoraggio S sul collegamento fra il sistema ed il peso P equivale a:

$$F_m = n F_{me} \quad (54)$$

da cui:

$$F_{me} = F_m/n \quad (55)$$

e pertanto:

$$L = 1/2 n \cdot X l F_m^2 \quad (56)$$

Infine, tenendo presente che $L = P h$, si ottiene:

$$F_m = \sqrt{n} \cdot \sqrt{\frac{2 P h}{X l}} \quad (57)$$

La (57), relazione conclusiva, mostra come la forza massima cresca, in rapporto con la forza massima registrabile nelle stesse condizioni ma con un solo elemento ($n=1$), in ragione diretta della radice quadrata di n.

Nella pratica che conclusioni possono essere tratte? Spesso si confezionano anelli di corda per vari usi, magari più volte ripiegati, che vanno a costituire di fatto dei sistemi di elementi elastici in parallelo a 2, a 4, a 6, a 8, elementi. Questo comporta - è vero - un aumento del carico di rottura in ragione diretta (a parte piccole perdite di carico) del numero degli elementi singoli, ma comporta anche un aumento della eventuale forza massima a

seguito di una sollecitazione.

Nel concreto, supponendo di avere una fune con le seguenti caratteristiche:

$$X = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg} \quad F_r = 1645 \text{ Kg peso}$$

e che con questa si confezionino dei sistemi elastici in parallelo a 2, a 4, a 6 elementi; si faccia una prova per ogni sistema con peso P di 80 Kg peso e $F_c = 1$. Tutti i sistemi di elementi sono ancorati a moschettoni con $F_r = 1500$ Kg peso. Si avranno i seguenti risultati:

$n = 1$	$F_m = 1121$ Kg peso	$F_r = 1645$ Kg peso
$n = 2$	$F_m = 1585$ Kg peso	$F_r = 3290$ Kg peso
$n = 4$	$F_m = 2242$ Kg peso	$F_r = 4935$ Kg peso
$n = 6$	$F_m = 2745$ Kg peso	$F_r = 6580$ Kg peso

Si può concludere quindi che già nel sistema a due elementi F_m è tale da rompere il moschettone di ancoraggio, anche se il carico di rottura del sistema è di ben 3290 kg.

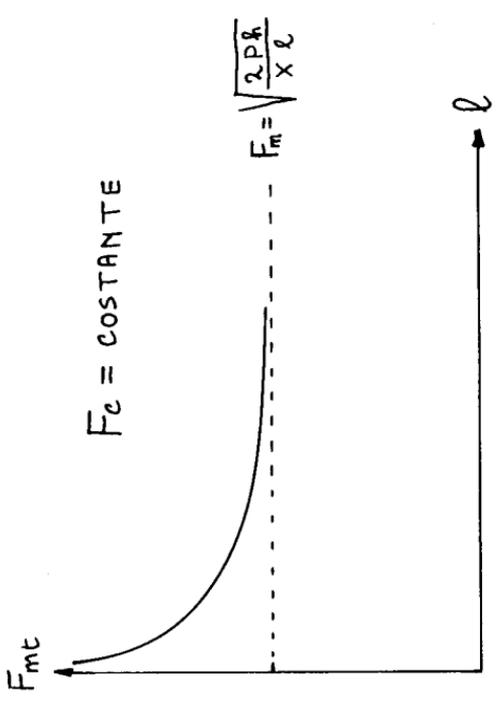
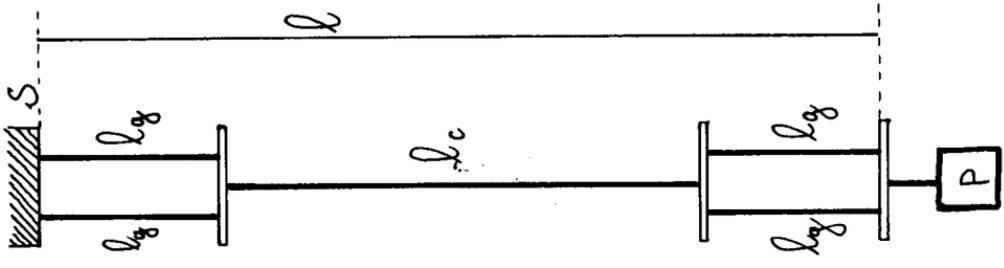
Elementi elastici in serie ed in parallelo.

Tutto questo lavoro è basato su una elaborazione quasi totalmente originale, ma in particolare questo paragrafo è il risultato di una analisi teorica che affronta per la prima volta problemi con grandi prospettive. Quanto verrà qui concluso non ha avuto ancora l'apporto di una base sperimentale sufficiente e pertanto è più che altro un punto di partenza che deve essere preso con le dovute riserve. Ma veniamo al dunque.

Nell'ipotesi di avere un sistema di elementi elastici come schematizzato in **fig. 16**, dove:

l	lunghezza complessiva del sistema
l_g	lunghezza di ogni singolo elemento in parallelo
l_c	lunghezza dell'elemento centrale
P	peso applicato
X	coefficiente di elasticità uguale per tutti gli elementi

$$F_{mt} = \sqrt{\frac{2 P h}{X (l - l_g)}}$$



si supponga, al solito, di far cadere il peso P da una altezza h, imponendo al sistema, nel suo complesso, di assorbire una quantità di lavoro P h. Questo lavoro verrà opportunamente ripartito fra tutti gli elementi secondo la relazione:

$$L = L_c + 4 L_g \quad (60)$$

dove:

L_c quantità di lavoro assorbita dall'elemento centrale

L_g quantità di lavoro assorbita da ogni singolo elemento in parallelo.

Inoltre si abbia:

F_{mt} forza massima calcolabile agli estremi del sistema ed in ogni punto dell'elemento centrale

F'_{mt} forza massima calcolabile in ogni punto degli elementi in parallelo

ne segue che:

$$F'_{mt} = F_{mt}/2 \quad (61)$$

e quindi:

$$L_c = 1/2 \times l_c F_{mt}^2 \quad (62)$$

$$L_g = 1/2 \times l_g F_{mt}^2 = 1/2 \times l_g \frac{F_{mt}^2}{4} \quad (63)$$

Dalla (60), (62) e (63) si ricava:

$$L = 1/2 \times l_c F_{mt}^2 + 1/2 \times l_g F_{mt}^2$$

che si semplifica in:

$$L = 1/2 \times (l_c + l_g) F_{mt}^2 \quad (64)$$

Con il solito procedimento si ricava facilmente:

$$F_{mt} = \sqrt{\frac{2 P h}{X (l_c + l_g)}} \quad (65)$$

Ma visto che:

$$l_c = 1 - 2 l_g \quad (66)$$

la (65) assume la forma:

$$F_{mt} = \sqrt{\frac{2 P h}{X (1 - l_g)}} \quad (67)$$

La (67) dà la forza massima calcolabile in un sistema elastico *teorico* con presenza di un raddoppio degli elementi elastici alle estremità e si discosta sostanzialmente dalla relazione (28) già vista in precedenza:

$$F_m = \sqrt{\frac{2 P h}{X l}} \quad (68)$$

che invece quantifica la forza massima di un sistema elastico composto da un unico elemento, senza alcuna disomogeneità alle estremità.

Ma è evidente che quest'ultimo caso è del tutto ideale rispetto al precedente, visto che nella progressione in grotta le corde vengono di solito annodate alle estremità (per esempio le longe,) riproducendo in grandi linee il sistema di fig. 16 con:

l_g lunghezza di una singola gassa (supposte identiche)

Se ora riportiamo in funzione di l l'andamento della (67) e della (28) nell'ipotesi che:

$$P = 80 \text{ Kg peso} \quad X = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m kg} \quad F_c = 1$$

$$l_g = 0,04 \text{ m}$$

si ottengono dei risultati come quelli trascritti in **fig. 17**.

Ne risulta che la F_m rimane costante al variare di l visto che il fattore di caduta F_c rimane costante. Non è così per la F_{mt} che si discosta da tale andamento, aumentando invece progressivamente il suo valore man mano che la lunghezza l diminuisce. Per valori di l compresi fra 0 e 2 m la F_{mt} è decisamente più alta della F_m ; per valori superiori a 2 m la F_{mt} praticamente coincide con la F_m (tanto più quanto più grande è il valore di l).

In altri termini tutto questo si giustifica con la presenza del raddoppio degli elementi elastici alle estremità del sistema che vi impone un dimezzamento del coefficiente di elasticità e quindi un aumento della forza massi

l_m (kg peso)

$$F_{mt} = \sqrt{\frac{2Ph}{x(l-l_g)}}$$

$$F_m = \sqrt{\frac{2Ph}{x l}}$$

$$F_{ms} = \sqrt{\frac{2Ph}{x(l-l_g+l_n)}}$$

$l_n > l_g$

l (m)

$P = 80 \text{ kg peso}$ EDELRID NUOVA
 $F_c = 1$ ($h = l$) $\varnothing 10 \text{ mm}$
 $l_g = 0,04 \text{ m}$ $X = 13 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m kg}$
 $l_n = 0,14 \text{ m}$ MODO: GUIDA CON FRIZIONE

$$R_f = \frac{1}{2} l_n = \frac{Ph}{x F_{ms}^2} - \frac{l-l_g}{2}$$

$$R_f = \frac{0,14}{2} = 0,07 \text{ m}$$

ma che investe il sistema nel suo complesso. E questo aumento, a parità di ogni altra condizione, è tanto più marcato quanto più piccole sono le dimensioni dell'elemento centrale e quindi di l .

Per meglio comprendere quest'ultima conclusione si fa presente che una diminuzione del coefficiente di elasticità è traducibile ed equivalente ad una diminuzione della lunghezza complessiva del sistema, diminuzione non reale ma effettiva. E la (67) ci dice che questa riduzione di lunghezza è pari alle dimensioni longitudinali l_g di una gassa. Ne deriva quindi che l'effetto di questa riduzione sulla forza massima è minimo fintanto che l_g è trascurabile rispetto ad l (in tal caso F_{mt} praticamente coincide con F_m); quando ciò non accade più (per valori inferiori ai 2 m in fig. 17) la F_{mt} aumenta decisamente rispetto alla F_m .

Questa conclusioni, se fossero corrispondenti alla realtà, ci porterebbero a dedurre che l'uso della "longe" (sistemi del tipo riportato in fig. 16 con lunghezze di 30-40 cm) è da suicidi, visto che anche piccole sollecitazioni potrebbero produrre forze choc tali da rompere moschettoni, attacchi e perfino corde. Ma fortunatamente tutto quanto è stato sinora detto in questo paragrafo corrisponde solo ad una realtà *teorica* (che però ci sarà molto utile in seguito per impostare analisi di un certo rilievo). In realtà l'andamento sperimentale della forza massima F_{ms} in funzione di l (fig. 17) è esattamente l'opposto di quello della F_{mt} .

Come si giustifica questo fatto? Il sistema in fig. 16, sulla base del quale è stata determinata F_{mt} , si distingue da un sistema analogo reale, costituito da una corda annodata agli estremi per formare due gasse di lunghezza identica l_g , in quanto sono presenti due nodi. E sono proprio questi nodi, con la propria capacità di assorbire energia, che capovolgono la situazione prevedibile dalla teoria.

I nodi che chiudono le due gasse hanno infatti la capacità di dissipare energia fra le proprie spire per attrito, per compressione, per torsione e per flessione. E questa loro capacità non solo annulla l'effetto dovuto all'aumento di rigidità alle estremità del sistema per la presenza delle gasse, ma addirittura produce, per valori compresi fra 0 e 2 m, una drastica riduzione della forza massima rispetto alla F_m .

Per meglio comprendere il tutto: la curva sperimentale F_{ms} è stata ottenuta effettuando delle prove con delle longe di diversa lunghezza nelle stesse condizioni operative che hanno portato a calcolare la F_m ed F_{mt} di fig. 17.

Dal fatto che la F_{mt} e la F_{ms} abbiano, sostanzialmente, un andamento opposto rispetto alla F_m ci fa intuire che l'andamento sperimentale della forza choc in funzione di l è definito con accettabile approssimazione dal modello matematico:

$$F_{ms} = \sqrt{\frac{2 P h}{X (l - l_g + l_n)}} \quad (68)$$

dove: l_n allungamento apparente del sistema per l'aumento di elasticità dovuto alla presenza dei due nodi (nel caso di fig. 17 $l_n > l_g$)

In altre parole, la capacità dei due nodi di assorbire energia è equivalente ad un aumento del coefficiente di elasticità dell'elemento centrale del sistema e quindi anche ad un aumento della lunghezza complessiva della "longe" pari a l_n . Infatti l'effetto nodo, trasponendo tutto in dimensioni longitudinali del sistema, annulla la riduzione di lunghezza l_g (dovuta all'irrigidimento delle estremità) ed incrementa ulteriormente la lunghezza l della quantità $l_n - l_g$ sempre nell'ipotesi di fig. 17 in cui $l_n > l_g$.

Stando così le conclusioni, risulta evidente che la quantità:

$$R_f = 1/2 l_n \quad (69)$$

è una misura della capacità di ogni singolo nodo di assorbire energia e, se ricavato in condizioni standard, è un indice della reattività dinamica dei vari tipi di nodi.

Il coefficiente R_f ha le dimensioni di una lunghezza ed è stato denominato: coefficiente di riduzione di forza.

A questo punto si impongono alcune considerazioni aggiuntive. Per primo vi è da dire che i risultati presentati in fig. 17 sono una conseguenza del fatto del tutto particolare in cui:

$$l_g = 0,04 \text{ m}$$

$$l_n - l_g = 0,10 \text{ m} > 0$$

$$l_n = 0,14 \text{ m}$$

ed è per questo che la curva F_{ms} ha un andamento opposto alla F_{mt} . Questa situazione particolare è strettamente legata al modo di tessere i nodi di chiusura delle gasse, che nel nostro caso sono delle "guide con frizione".

Ma è anche possibile, con un nodo inadatto ad assorbire energia (barcaiolo, per esempio), che:

$$l_n - l_g < 0$$

e pertanto la curva F_{ms} avrà un andamento simile alla F_{mt} di fig. 17, sia pur aderendo maggiormente alla curva F_m . Questo significa che l'effetto nodo non riesce a compensare completamente l'effetto dovuto all'irrigidimento delle estremità.

Se si verifica che:

$$l_n - l_g = 0$$

è evidente che l'effetto nodo compensa esattamente l'effetto irrigidimento e pertanto la F_{ms} coinciderà esattamente con la F_m .

Una seconda considerazione va fatta per distinguere il coefficiente R_f e l'effetto nodo qui menzionato da quanto verrà detto in seguito sull'effetto che i nodi producono sul carico di rottura di una corda (F_r). Con quanto detto precedentemente si vuole far riferimento alla capacità di ogni diverso nodo di assorbire energia a seguito di una caduta e quindi misurare una caratteristica "dinamica" (il movimento forzato delle spire a seguito di una improvvisa sollecitazione). Invece la riduzione del carico di rottura di una corda per la presenza di un ben determinato nodo è una indicizzazione di una caratteristica "statica" e cioè la disposizione delle pressioni sulle spire a seguito di una lenta trazione. Nell'uno e nell'altro caso è la reciproca disposizione delle spire del nodo a determinare sia la caratteristica "dinamica" che quella "statica", ma non è detto che portino ad una identica indicizzazione per le due caratteristiche (una certa disposizione delle spire potrebbe essere favorevole alla "dinamicità" ma sfavorevole alla "staticità"). È questo un problema completamente aperto.

Misura del coefficiente di riduzione di forza

Ogni nodo ha una sua disposizione delle spire e pertanto le reazioni alle sollecitazioni saranno in generale diverse. Ciò significa che il coefficiente R_f sarà diverso da nodo a nodo.

Il calcolo di R_f per un dato tipo di nodo si può effettuare tenendo presenti le relazioni (68) e (69), che, opportunamente sintetizzate e trasformate, danno:

$$R_f = \frac{P h}{X F_{ms}^2} - \frac{l - l_g}{2} \quad (70)$$

dalla quale discende che per il calcolo di R_f è sufficiente misurare la F_{ms} durante una sollecitazione con caratteristiche note, in tal caso infatti tutti i componenti del secondo membro dell'equazione sarebbero conosciuti.

Ma per ottenere dei valori di R_f il più attendibili possibile occorre seguire una metodologia più complessa. Devono essere confezionate delle longhe con il tipo di nodo in esame, con lunghezze variabili fra i 30 ed i 100 cm (in questo intervallo le differenziazioni della F_{ms} in funzione di l_n sono decisamente più apprezzabili). La lunghezza delle gasse alle due estremità deve essere nota ed uguale. I nodi debbono essere confezionati in modo corretto e ripetitivo, anche sottoponendoli ad una tensione di pretiraggio.

Non dimenticare che l'indicizzazione dei vari nodi con R_f può dipendere anche dalle caratteristiche geometriche della fune, in particolar modo del suo diametro.

Ciascuna delle longe deve essere sottoposta ad una sollecitazione con $F_c = 1$ (o comunque costante), registrando le conseguenti F_{ms} .

Sulla base della (70) ogni prova fornisce un valore di R_f per il nodo in esame; se la teoria è giusta e se le prove sono state condotte correttamente, si dovrebbe ottenere sempre lo stesso valore di R_f , che sarà quello da ritenere valido per il tipo di nodo studiato.

Per ottenere il coefficiente R_f per un altro tipo di nodo si utilizza lo stesso procedimento con longe le cui gasse siano chiuse dal nodo in questione.

ELEMENTI ELASTICI REALI (corde)

Una corda non si comporta come un elemento elastico ideale. Infatti le curve di allungamento che da esse si possono ricavare non sono ad andamento lineare, ma seguono piuttosto una curvatura parabolica, con concavità rivolta verso l'alto.

Questo significa ovviamente che il coefficiente di elasticità non è una costante al variare della forza applicata.

In secondo luogo le trasformazioni subite non sono completamente reversibili e le curve di trazione sono distinte dalle relative curve di scarico.

Curve di trazione o di allungamento

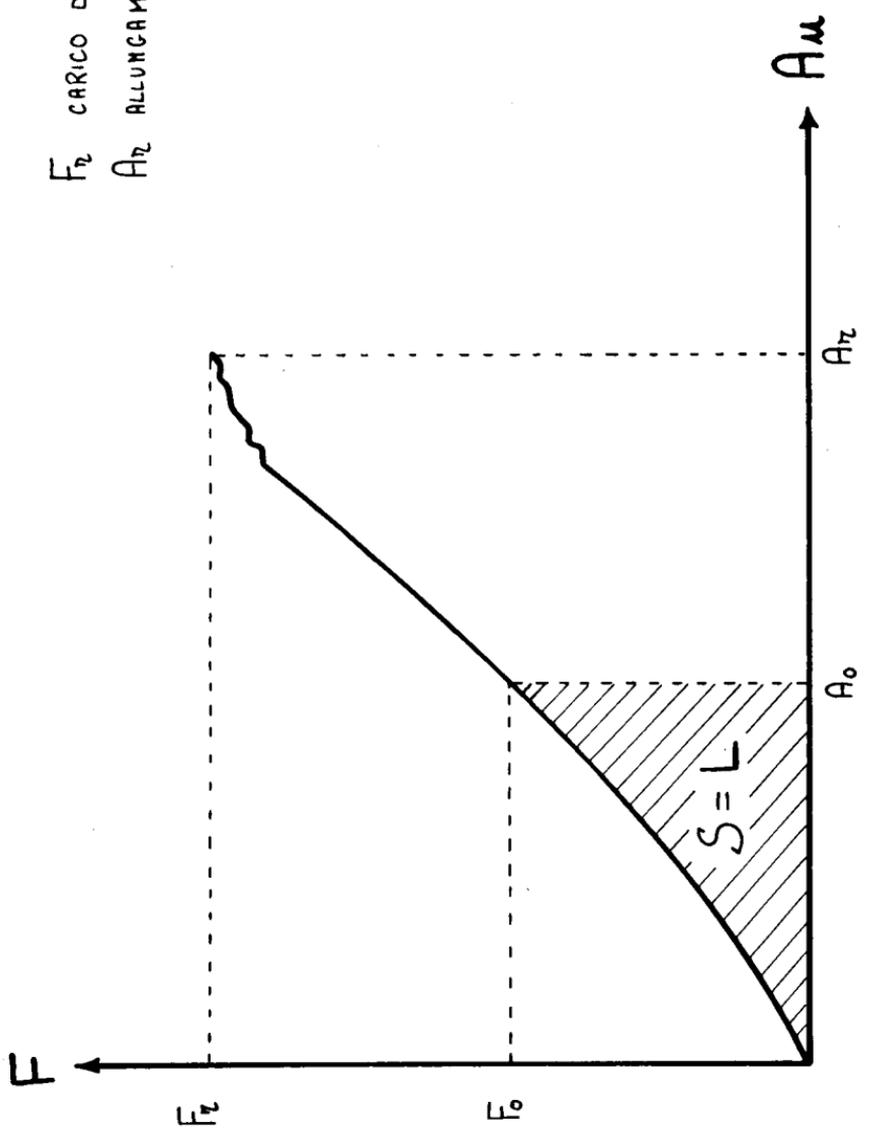
Se si riporta in un grafico la forza F in funzione dell'allungamento unitario A_u per una corda del tipo utilizzato in speleologia (ma anche in alpinismo) si ottiene il risultato indicato in **Fig. 18**.

La pendenza non è costante e tende gradualmente ad aumentare: ciò significa che il coefficiente di elasticità diminuisce al crescere dell'allungamento. Questo è dovuto al fatto che la corda non è un elemento omogeneo ed il suo coefficiente di elasticità X deriva sia dalle deformazioni che subisce la sua struttura (anima più calza) sia dall'elasticità propria del materiale che la compone. Per allungamenti relativamente piccoli agisce sia l'elasticità strutturale che quella propria delle fibre; quando la tensione diviene più elevata l'elasticità strutturale tende a scomparire (la corda riduce il diametro ed assume un aspetto più compatto ed omogeneo) e agisce soprattutto l'elasticità propria delle fibre.

Queste constatazioni sperimentali indicano un problema nella individuazione dei coefficienti di elasticità delle corde, tanto è vero che ad ogni coefficiente di elasticità si è costretti ad abbinare l'entità della forza sotto la

F_r CARICO DI ROTTURA

A_r ALLUNGAMENTO DI ROTTURA



cui azione è stato rilevato (in alcuni testi 80 Kg peso). In questo lavoro invece ci siamo riferiti a coefficienti X che risultassero dal valore medio rilevabile nell'intervallo di forze più generalmente applicato.

Tutto ciò comporta imprecisioni ma di entità tale da permettere di utilizzare con accettabile approssimazione le conclusioni tratte per gli elementi elastici ideali.

Se si continua a trazionare con forze sempre maggiori la corda di cui alla fig. 18, notiamo che ad un certo punto si allunga senza però che la forza corrispondente cresca, anzi in certi istanti addirittura diminuisce. Imprimendo un ulteriore incremento di forza la corda si rompe.

È quindi evidente che nella parte finale della trazione avvengono delle trasformazioni irreversibili, con decisi mutamenti strutturali, per poi giungere a superare quello che viene definito il carico di rottura F_r della corda, che è un dato caratteristico che distingue le funi una dall'altra (si ricordi quanto detto nei paragrafi precedenti).

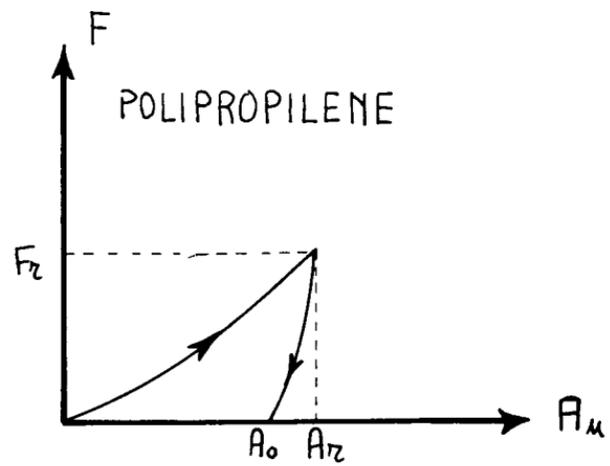
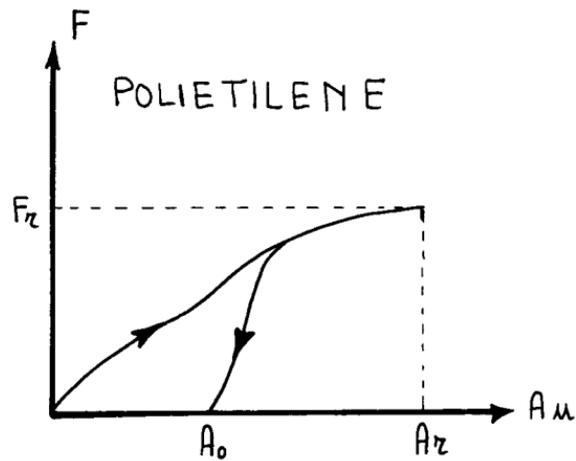
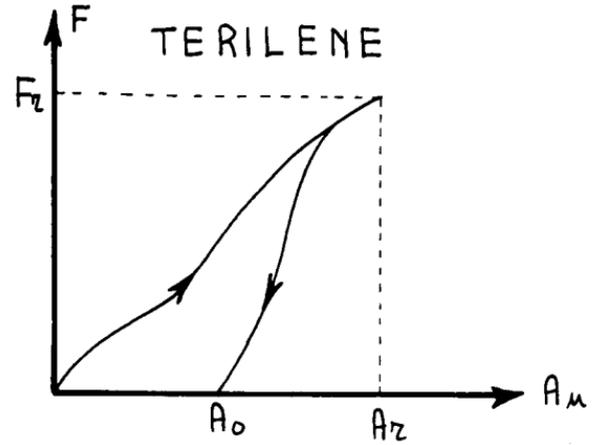
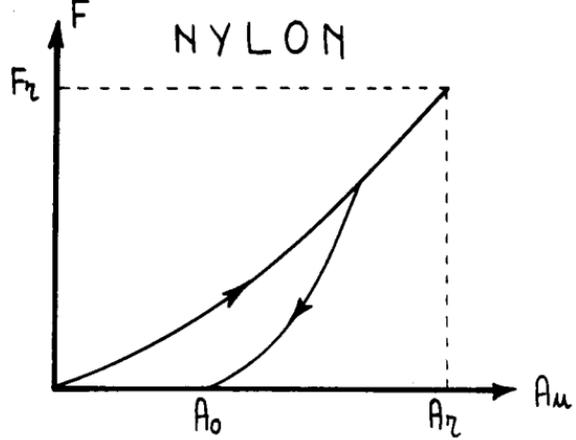
Il carico di rottura è sicuramente un dato interessante, che ha polarizzato l'attenzione degli speleologi per decenni, ma che alla luce delle tante considerazioni fatte passa in secondo ordine di fronte al fatto ben più rilevante dei fattori che influenzano la forza massima sotto una data sollecitazione. Abbiamo visto che una corda con F_r elevatissimo può essere anche un elemento di pericolosità se non abbina anche sufficienti caratteristiche di elasticità.

Si ricordi infine che anche nel caso delle corde *la superficie sottesa alla curva di trazione equivale al lavoro svolto.*

Curve di trazione e curve di scarico

Se si sottopongono a trazione con forze crescenti campioni di corde di uguali dimensioni ma di materiali diversi - senza comunque raggiungere i valori di forze che precedono la rottura - e quindi si registra anche la seguente curva di scarico (con forze gradualmente decrescenti) si ottengono dei risultati come quelli riportati in **fig. 19** (nei quattro grafici sono state utilizzate le stesse unità di misura).

Ben si rileva che le curve di trazione non coincidono che in minima parte o per nulla con le seguenti curve di scarico. Vuol dire che le deformazioni subite dalle corde a seguito dell'allungamento comportano anche delle modifiche strutturali irreversibili (trasformazioni plastiche). Anche scaricando completamente la corda da ogni trazione rimane comunque un allungamento residuo A_0 . Ogni sollecitazione, per quanto minima, produce una trasformazione irreversibile sia pur impercettibile, che si va a sommare a tutte le analoghe trasformazioni precedenti; il tutto porta all'invecchiamento della corda con diminuzione del carico di rottura, del coefficiente di elasticità e della capacità di assorbire energia.



Ma se a questo risultato ci si giunge lentamente con una successione di microchoc, è altrettanto vero che l'invecchiamento può essere raggiunto con un solo choc ma talmente intenso da portare la forza massima in prossimità del carico di rottura. Non vi è dubbio che dopo un fatto del genere la corda che l'ha subito non può più essere utilizzata.

Una valutazione quantitativa delle trasformazioni irreversibili o meglio della quantità di lavoro che le ha prodotte può essere ottenuta dalla estensione della superficie compresa fra curva di trazione e curva di scarico. Nei casi indicati in fig. 19 si vede che il nylon è la fibra che meglio delle altre mantiene una buona percentuale di elasticità reversibile.

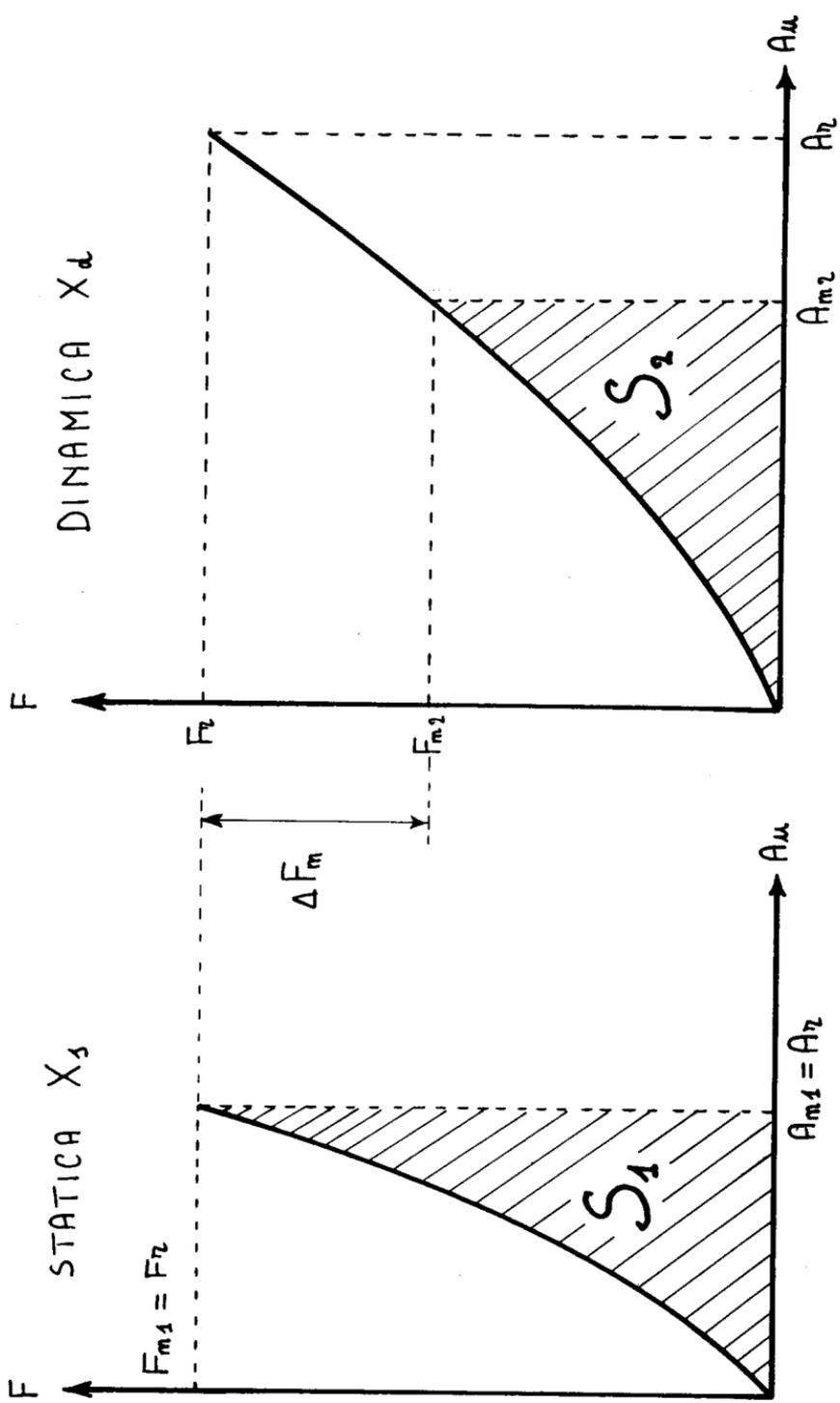
Nei grafici di fig. 19 è possibile anche dedurre che le corde in nylon sono quelle che più si avvicinano al comportamento ideale, mantenendo, fra l'altro, una certa costanza nel coefficiente di elasticità.

Arresto di caduta di un corpo con corde a diverso coefficiente di elasticità.

Nella fig. 20 sono riportati i grafici delle curve di trazione di due corde a diverso coefficiente di elasticità (a sinistra di una corda cosiddetta "statica" e a destra cosiddetta "dinamica"): il coefficiente X_s della statica è minore di quello X_d della dinamica (nell'ipotesi che i due coefficienti siano stati calcolati in identiche condizioni). È già noto dalle conclusioni tratte in precedenza (studio della funzione 28) che la differenza di X porta, dovendo le due corde sopportare un identico lavoro, a registrare una forza massima più elevata nella corda "statica". Ma vediamo la questione analizzando graficamente i risultati riportati in fig. 20.

In considerazione dell'equivalenza fra quantità di lavoro assorbita nell'allungamento e superficie sottesa alla curva di trazione, se alle due corde si impone di sottostare alla stessa sollecitazione, verificando di conseguenza che per la "statica" si ha una forza massima F_{m1} ed un allungamento unitario massimo A_{m1} mentre per la "dinamica" una forza massima F_{m2} ed un allungamento massimo A_{m2} , le superfici S_1 ed S_2 , definite come in fig. 20, debbono essere necessariamente equivalenti (stessa area). In conseguenza di ciò è facilmente intuibile (e verificabile) che, pur dovendo sopportare la stessa sollecitazione, l'andamento della curva di trazione della corda "statica" impone a questa di raggiungere una forza massima più alta che nel caso della "dinamica". La differenza ΔF è tanto più netta quanto maggiore è la differenza nei valori di X .

Nella fig. 20 in particolare è riportato il caso di una sollecitazione di una certa entità che porta le forze massime a dei valori prossimi al carico di rottura: nella "statica" la F_{m1} coincide con F_r e quindi la corda si rompe; nella "dinamica" la F_{m2} è più bassa di F_r e pertanto non si ha alcuna grave conseguenza. Si noti che F_r è identico nelle due corde.



$$S_1 = S_2$$

Sistemi ammortizzanti (nodi)

Esistono alcuni nodi (“guida” semplice, “farfalla”) che hanno la proprietà di scorrere quando siano sottoposti a delle forze superiori ad un certo valore. Questi nodi si definiscono “ammortizzanti” in quanto, se posti nei giusti punti di un armo, nell’eventualità di una sollecitazione per caduta riescono ad abbassare il valore della forza massima anche molto al di sotto del valore che la F_m raggiungerebbe senza la loro presenza nelle stesse condizioni.

Per meglio comprendere il problema supponiamo di seguire una esperienza come indicato in **fig. 21** e cioè di effettuare una prova di caduta su di una corda di lunghezza l con interposto fra l’ancoraggio S ed il peso P un nodo ammortizzante G , che forma una gassa di lunghezza l_1 (**fig. 21 - 1°**). Lasciando cadere il peso la corda si metterà in tensione (**fig. 21 - 2°**) per poi cominciare ad allungarsi, sia per effetto del vero e proprio allungamento della corda sia perché il nodo G scorre fino a ridurre la gassa alla lunghezza l_2 . Quando tutta l’energia in gioco sarà stata assorbita la corda si sarà allungata di:

$$A'_m = A''_m + l_1 - l_2$$

con forza massima F'_m (**fig. 21 - 3°**), dove:

A'_m allungamento massimo totale, dovuto anche allo scorrimento della corda nel nodo ammortizzante

A''_m allungamento massimo dovuto solo alla elasticità della corda.

Se si rappresenta il tutto per via grafica (**fig. 22**) risulta chiaro il motio per cui la presenza di un nodo ammortizzante riduce la F_m fino al valore F'_m . Per la sollecitazione di cui in **fig. 21**, in assenza del nodo ammortizzante, la curva di trazione seguirebbe l’andamento consueto $F=f(A_U)$ facendo registrare una forza massima F_m ed un allungamento A_m ; la superficie S , evidenziata dal tratteggio verticale, equivarrebbe al lavoro svolto.

Effettuando la stesa prova, ma in presenza del nodo ammortizzante proprio come in **fig. 21**, la curva di trazione $F'=f(A_U)$ segue dapprima l’andamento della $F=f(A_U)$ fino a raggiungere la forza F_s e l’allungamento A_s , rispettivamente forza ed allungamento oltre cui inizia lo scorrimento del nodo ammortizzante, per poi seguire l’andamento diversificato $F'=f(A_U)$ fino ad assorbire completamente l’energia in gioco, raggiungendo una forza massima F'_m ed un allungamento massimo A'_m . La superficie S' , evidenziata dai tratti orizzontali, equivale sempre al lavoro da svolgere e quindi si ha $S' = S$.

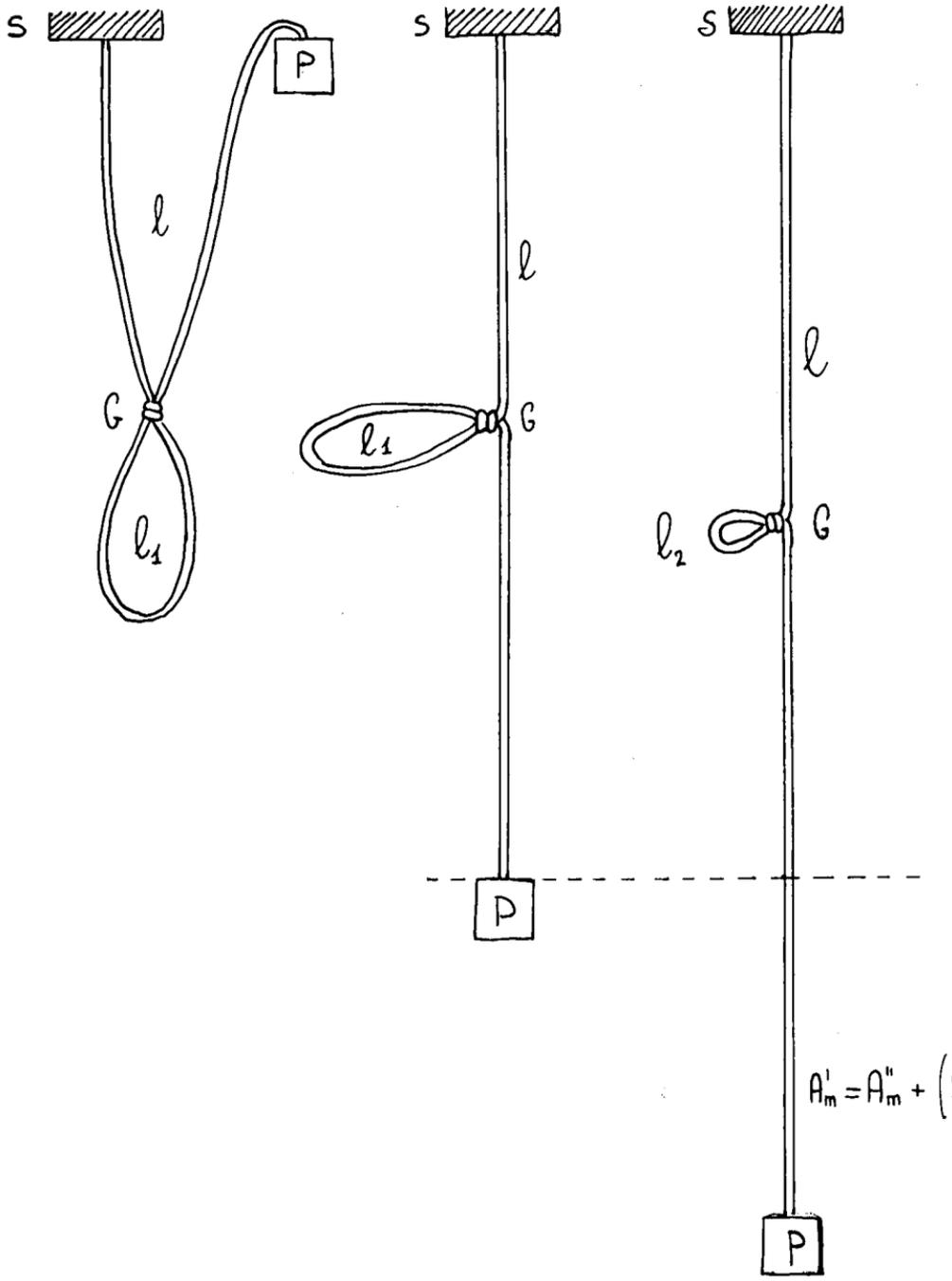
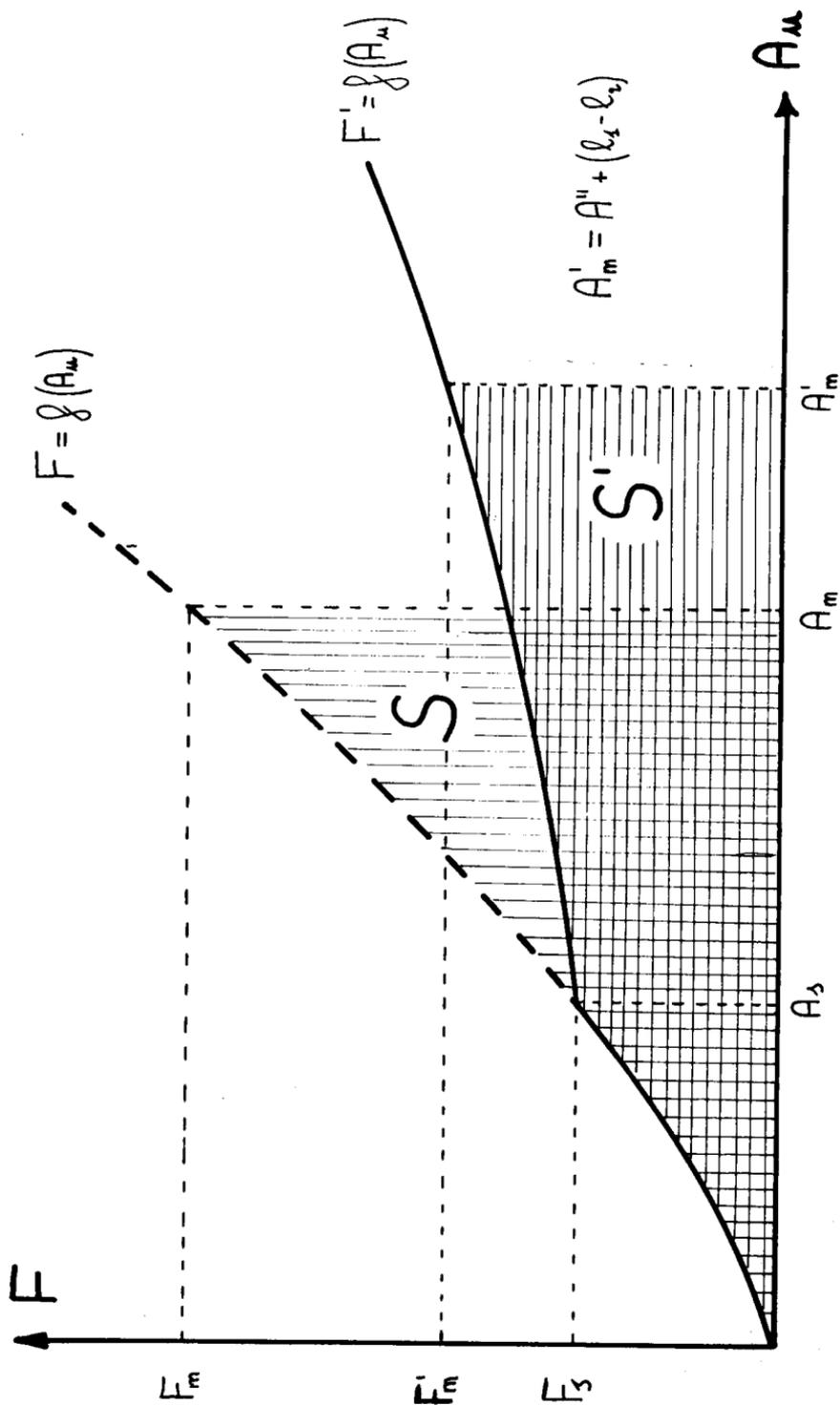


FIG 21



È più che evidente che F'_m è marcatamente minore di F_m ; questo può significare molto, specie in corde di piccolo diametro (per esempio 8 mm) dove il carico di rottura è relativamente piccolo.

La giustificazione di questo benefico effetto di riduzione della forza massima sta nel fatto che la corda, una volta raggiunto l'allungamento A_S , comincia ad allungarsi anche e soprattutto in conseguenza dello scorrimento della corda nel nodo ammortizzante. Il che comporta due effetti aggiuntivi diversi: il primo è collegato al fatto che il lavoro si scarica su una corda la cui lunghezza non è più l (fig. 21 - 1°) ma $l + l_1 - l_2$ e quindi come se avesse un coefficiente di elasticità più elevato (pendenza della curva di trazione meno accentuata); il secondo effetto si manifesta in conseguenza degli attriti - interni ed esterni alla corda - che si verificano nelle spire del nodo ammortizzante durante lo scorrimento, attriti che dissipano una certa quantità di energia in calore e deformazioni strutturali della corda. Anche quest'ultimo effetto può essere traducibile in una ulteriore riduzione del coefficiente di elasticità, per cui, in ultima analisi, la curva di trazione diminuisce ancora di più la pendenza fino a raggiungere l'andamento $F'=f(A_U)$.

Bisogna però fare attenzione nell'uso dei nodi ammortizzanti, innanzitutto perché possono essere del tutto superflui e poi perché una volta entrati in azione danneggiano irrimediabilmente le corde (fusione della calza e parte dell'anima). Ammortizzare con un nodo una corda dal diametro di 10 mm è una operazione corretta solo in caso di armi molto particolari che possono dar luogo a cadute con $F_C > 1$ oppure con corde vecchie o malandate. Con corde del diametro di 8 mm bisogna tenere sempre presente che uno choc con $F_C=1$ porta in genere al cedimento della corda, visto che il carico di rottura reale in presenza di "nodi a nove" è di circa 1100 Kg peso (per ottenere una forza massima di questa entità con un peso di 80 Kg peso ed un coefficiente di elasticità di $1,3 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$, tipico di una corda speleo, è sufficiente un fattore di caduta pari a 0,96). Da ciò si deduce che con corde "da 8" è bene utilizzare sempre i nodi ammortizzanti.

SOLLECITAZIONI STATICHE

Sebbene i problemi legati a sollecitazioni statiche siano di importanza non rilevante è bene fare delle considerazioni su alcuni aspetti legati a situazioni molto particolari che si verificano con una certa frequenza nelle operazioni in grotta.

Queste situazioni non comportano corpi ed elementi elastici in rapido movimento, anzi vi si può supporre che ogni componente abbia raggiunto il suo punto di equilibrio e tutto il sistema è immobile. Si pensi ad esempio a certe fasi della progressione come traversate con corde fisse o a particolari tecniche di armo come gli attacchi doppi, per non parlare di alcune tecniche

di soccorso come le teleferiche ed il contrappeso.

Carichi sospesi su una fune tesa orizzontalmente

Può verificarsi il caso di una corda ancorata a due attacchi posti sulla stessa linea orizzontale e con un peso che sollecita la sua parte centrale. I tratti di corda uscenti dal punto sollecitato dal peso P formeranno un angolo tanto vicino a 180° quanto più la corda sarà tesa. Il carico sospeso agirà equamente su i due tratti di corda, suddividendovi la forza agente. Su ogni tratto di corda sarà dunque presente una forza F, diversa dalla forza peso P, la cui entità è in funzione dell'angolo α :

$$F = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \quad (71)$$

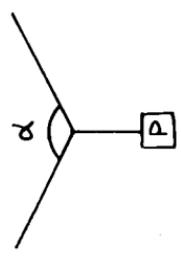
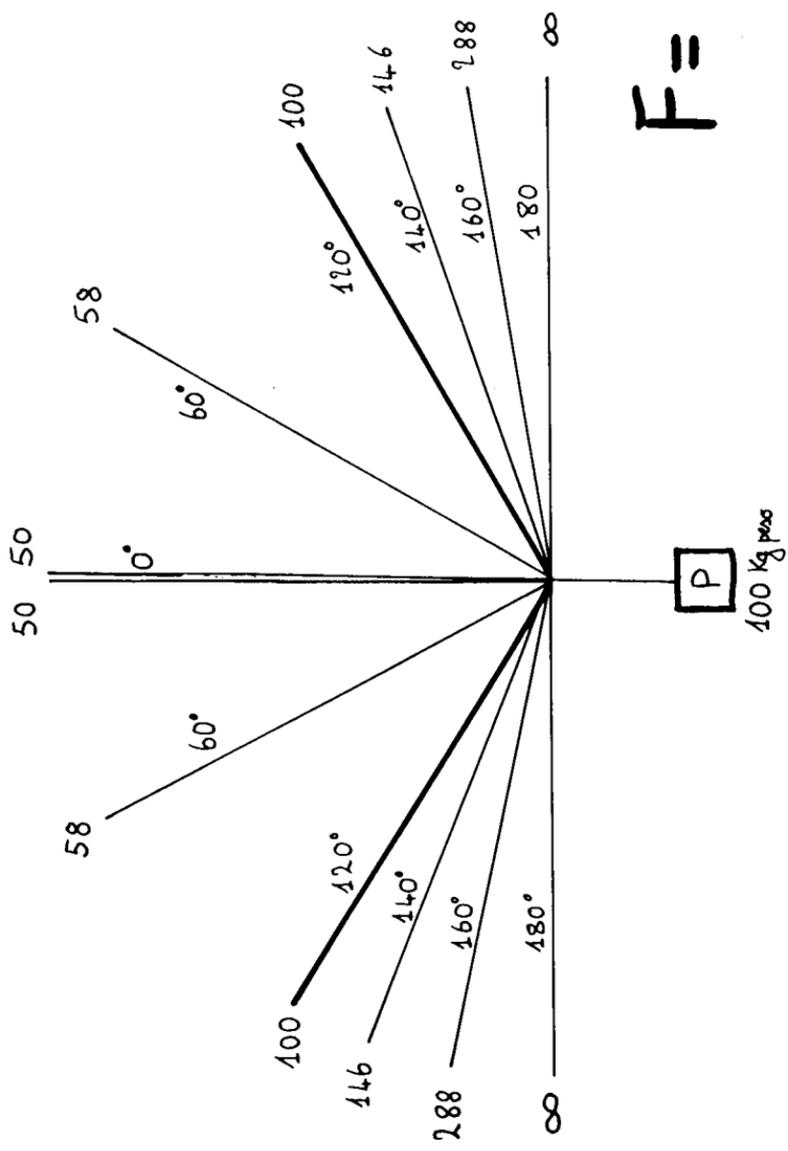
relazione dalla quale discende quanto riportato in **fig. 23**, con $P = 100$ Kg peso (i gradi si riferiscono all'angolo α ed i valori di forza indicati sono quelli agenti su ogni tratto di corda).

Se ne conclude che per angoli α non superiori a 120° la forza agente su ogni tratto di corda è inferiore o uguale al peso applicato. Mentre per valori di α superiori a 120° accade esattamente il contrario. È questo il motivo, piuttosto serio per cui è necessario che le corde di traversata e le teleferiche non siano eccessivamente tese, come pure gli ancoraggi doppi.

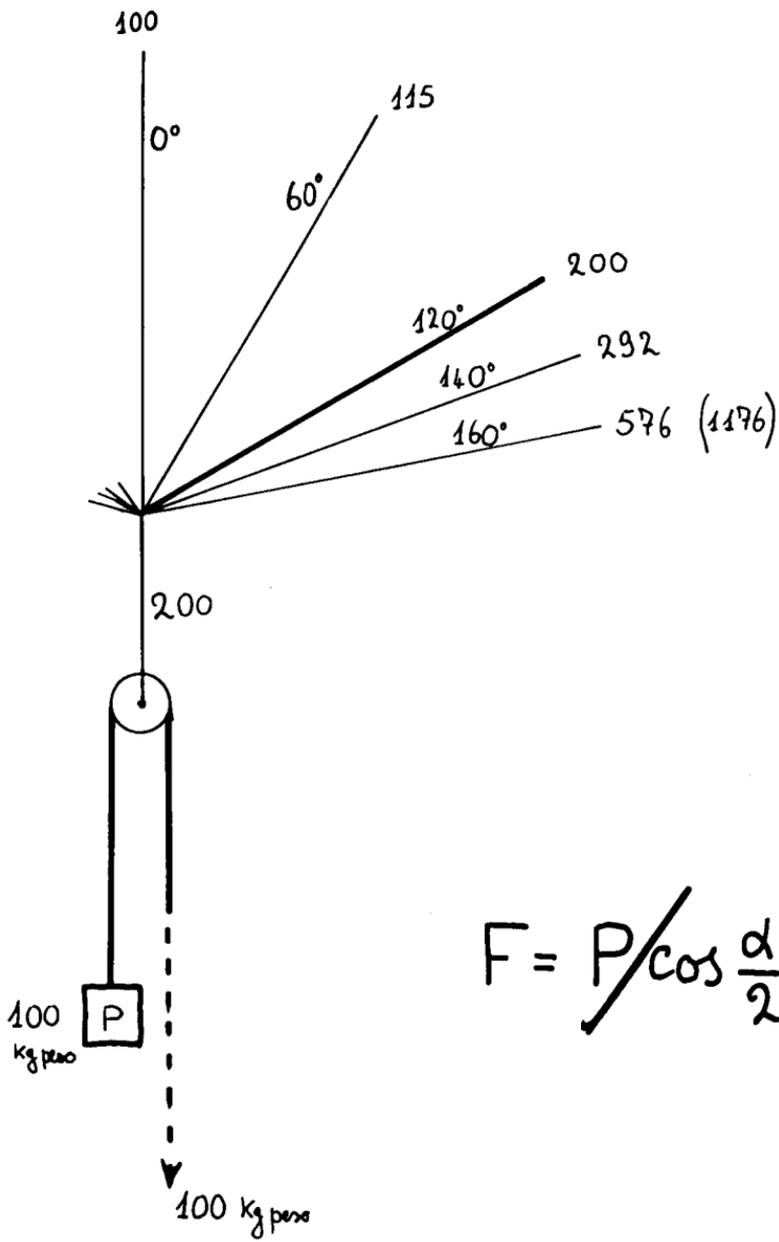
Un caso analogo, che si verifica soprattutto durante le operazioni di soccorso (contrappeso), è quello illustrato in **fig. 24**. Rispetto al caso precedente c'è solo da notare che il carico di 100 Kg peso è applicato mediante una puleggia C. Se si tira il capo T della corda il carico si solleva e sul sistema gravano non 100 ma 200 Kg peso. Per il resto è tutto analogo alla situazione precedentemente esaminata (il valore fra parentesi rappresenta la forza massima registrata su quel capo di corda per una sollecitazione di entità veramente piccola; questo deve far riflettere sull'opportunità di ben curare gli ancoraggi durante i recuperi in contrappeso).

CARATTERISTICHE CORDE

Le caratteristiche di una corda dipendono dal materiale utilizzato, dalla struttura della tessitura e dalla composizione dei fili elementari e dei tre fili, dalle dimensioni e dalla forma della sua sezione trasversale. Ebbene in questo capitolo si cercherà di mettere in risalto proprio questi aspetti, facendo fede soprattutto sui risultati sperimentali ottenuti da vari Autori (Marbach, Courbis, Castellani).



$$F = \frac{1}{2} \frac{P}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$



$$F = \frac{P}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

Carico di rottura e tipo di fibra (tab. 1)

Le fibre che vanno a comporre le corde non hanno tutte la stessa resistenza alla rottura, come mostra la tab. 1 relativa a prove di carico di rottura (trazione lenta) su campioni di corda del diametro di 13 mm. I risultati sono riportati in Kg peso.

Tempo di rottura e tipo di fibra (tab. 2)

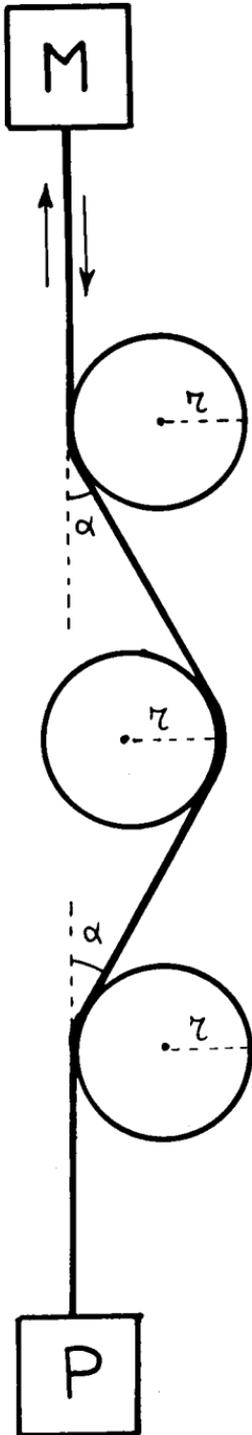
Se ad una corda si sospende (staticamente) un peso abbastanza prossimo al suo carico di rottura questa si romperà dopo un tempo più o meno lungo, pur non avendo subito alcuna sollecitazione aggiuntiva. I diversi tipi di fibra reagiscono a questa prova in maniera diversa, anche in funzione dell'entità del carico sospeso. Nella tab. 2 sono riportati i tempi intercorsi fra l'inizio della prova e la rottura (quando c'è stata) in rapporto sia al tipo di fibra che al carico utilizzato (espresso in percentuale rispetto ai carichi di rottura).

Resistenza alla flessione (tab. 3)

A tal scopo è stata realizzata una esperienza come indicata in **fig. 25**, che tenta di riprodurre l'azione del discensore. Una corda, alla quale è appeso un carico P, è costretta a passare fra tre pulegge girevoli; una macchina

Tab. 1 - Corda Ø 13 mm.

Tipo di fibra	Carico di rottura (Kg peso)
NYLON	3000
TERILENE	2250
POLIETILENE	1360
POLIPROPILENE	1970



\varnothing CORDA 45mm

$P = 250 \text{ Kg peso}$

$\alpha = 30^\circ$

$r = 15 \text{ cm}$

Tab. 2

Tipo di fibra	Tempi di resistenza alla rottura			
POLIETILENE	3-6 giorni	2-4 settimane	—	
POLIPROPILENE	(10 giorni)	(—)	—	
MANILA	5 minuti	3-5 ore	—	
	75%	50%	25%	Carico sospeso in percentuale rispetto a F_R

Tab. 3

Tipo di fibra	Numero di cicli per produrre la rottura	
	Corde asciutte	Corde bagnate
NYLON	150.000	82.068
TERILENE	98.468	101.256
POLIETILENE	700	3.744
POLIPROPILENE	3.000 - 8.000	3.000 - 8.000
MANILA	2.046	5.758
SISAL	2.820	6.100

M muove la corda (e quindi anche il peso P) alternativamente verso l'alto e verso il basso, con oscillazioni ritmiche. Se le misure dei componenti lo strumento di prova sono quelle riportate in fig. 25 si hanno i risultati di tab. 3, indicanti il numero di cicli completi necessari per raggiungere la rottura dei campioni di corda. Notare la differenza fra corde asciutte e bagnate.

Resistenza alla abrasione (tab. 4)

Con la stessa macchina M dell'esperienza precedente si fa oscillare ritmicamente una corda alla quale è appeso un carico P. Questa corda appoggia come in fig. 26 sullo spigolo di un blocco calcareo. Per $P = 75$ Kg peso si hanno i risultati di tab. 4 nella quale si sono riportati, per ogni tipo di fibra, il numero di cicli completi intercorsi fra l'inizio della prova e la rottura della corda (del diametro di 10 mm).

Il nylon, da quanto si è potuto vedere sino a questo punto, è la fibra più rispondente ai nostri scopi; e questa constatazione si va ad aggiungere ad altre precedenti, tutte concordanti in questa conclusione.

Caratteristiche corde (secondo Marbach) (tab. 5).

Nella tab. 5 sono contenute diverse interessanti osservazioni sperimentali su diversi tipi di corda. Particolarmente indicativo è il dato che si riferisce alla capacità massima di assorbimento di energia per unità di lunghezza (Jaule/metro); se alla corda perviene una quantità di energia superiore al prodotto di detta capacità per la lunghezza della corda, questa si rompe. L'ultima colonna è un dato dal valore soggettivo (F_c massimo ammissibile), che è la risultante di quanto contenuto nella terz'ultima e penultima colonna.

Caratteristiche corde (secondo Courbis) (tab. 6)

In questa nuova tabella sono riportate molte notizie su numerose corde. Il loro significato è anche qui in gran parte soggettivo, anche se alcuni risultati sperimentali sono incontrovertibili e di un certo valore dal punto di vista pratico (per esempio la capacità di trattenere acqua).

Tab. 4

Tipo di fibra	Numero di cicli per produrre la rottura	
	Corde asciutte	Corde bagnate
NYLON	380	234
TERILENE	280	149
TERIL.-PROLIPR.	33	155
POLIPROPILENE	55	140

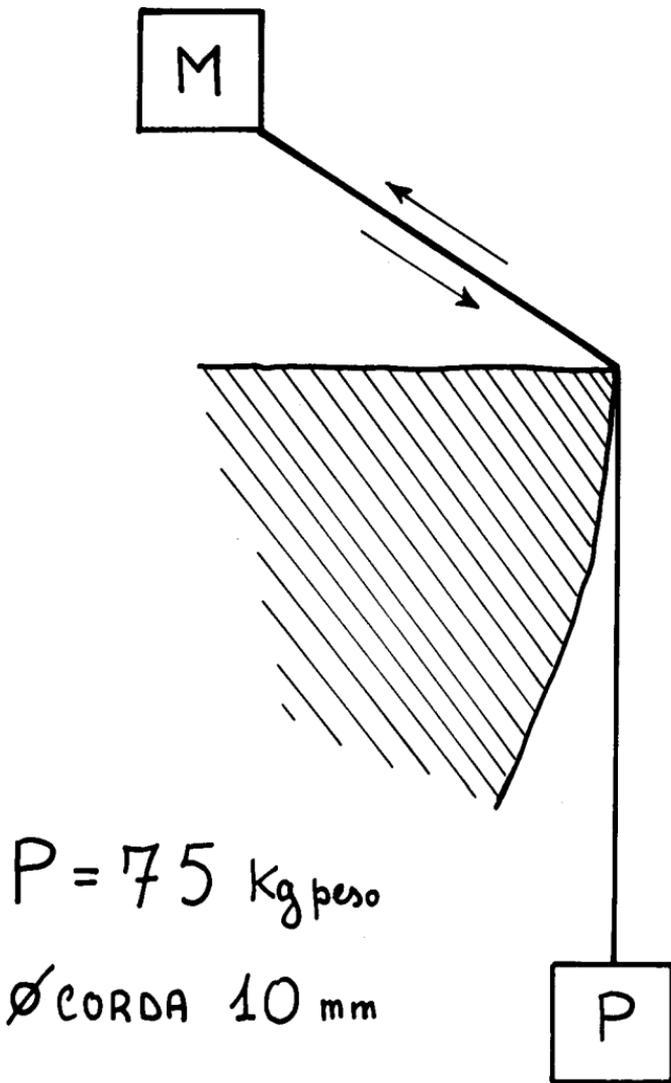


FIG 26

Tipo di corda	Condiz.	F_r carico di rottura (Kg peso)	F_m forza massima (Kg peso) per $F_c=0,3$	Capacità di assorbimento energia (Jaule/m)	Fattore cadut massim ammissi
RGAL Ø 10 mm ATICA	nuova	1800	700	300	0,35
RGAL Ø 10 mm ATICA	usata	980	630	150	0,17
LON Ø 10 mm ATICA	nuova	2590	500	800	0,85
LON Ø 11 mm AMICA	nuova	2630	425	2150	2,05
/LAR Ø 10 mm ATICA	nuova	4910	1400	450	0,54

FATTORI CHE DETERMINANO LA VARIAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELLE CORDE.

Tutto quanto sinora è stato detto sulle corde, tranne alcuni spunti, non tiene conto dei modi d'uso concreti delle corde e dei fattori ambientali in cui esse operano. I nodi d'attacco, l'invecchiamento, gli choc subiti, la presenza o meno di acqua e di ghiaccio sono tutti fattori che tendono a diminuire la tenuta di una corda, sia per sollecitazioni dinamiche che statiche.

Tab. 6

Tipo di corda	Anno fabbricaz.	Peso bagnata g/m	Assorbimento acqua g/m	Ritenzione seccata g/m	Duttilità	Tenuta allo choc	Osservazioni
INTERAP Ø 10	1980	69	18	8	Morbida	Insufficiente	Pericolosa
T.S.A. Ø 9,5	1980	62	15	3	Morbida	Insufficiente	Pericolosa
BLUE WATER Ø 9	1980	66,5	16,5	5,5	Morbida	Insufficiente	Pericolosa
BEAL STATIC Ø 10	1980	90	21	11	Poco morbida	Insufficiente	Pericolosa
T.S.A. Ø 10,5	1980	87	25	10	Morbida	Insufficiente	Pericolosa
EDELRID Ø 10	1980	73,5	13,5	4,5	Poco morbida	Sufficiente	Uso generale per choc < 2 m
MAMMUT Ø 10,5	1980	95	25,5	12	Diventa rigida	Sufficiente	Utilizzazione statica
BEAL DYNASTAR Ø 10,7	1980	97	28	12	Morbida	Sufficiente	Uso generale statico
EDELWEISS Ø 10,5	1980	84	17,5	7,5	Poco morbida	Buona	Uso generale
JOANNY 5100 Ø 10,5 impermeabile	1980	77,5	5,5	1,3	Rigida	Buona	Uso generale

Questo significa che le conclusioni sinora raggiunte devono essere viste anche alla luce di queste nuove considerazioni, e non sono questioni da poco!

Effetto nodo

Abbiamo visto che i nodi sono la causa di una diminuzione della forza choc in quanto riescono ad assorbire una certa quantità di energia (coefficiente R_f). Ma questo effetto "positivo" scompare con corde con lunghezza superiore ai 2-3 m ed il suo valore si limita alla questione "longe" ed al calcolo di R_f . Nella pratica comune invece ben altra incidenza ha il fatto che ogni corda, per poter essere utilizzata, deve avere dei nodi almeno ad una estremità.

È infatti oramai assodato che la presenza di un nodo riduce il carico di rottura F_r di una corda, sempre e comunque. Per cui è perfettamente errato valutare le caratteristiche alla tenuta di una fune se non si indica anche di quanto la presenza di un ben determinato nodo le riduce.

Ancora una volta si invita a non dimenticare la differenza esistente fra l'effetto nodo sul coefficiente R_f - indice che valuta la capacità di un dato nodo ad assorbire energia e quindi a ridurre la forza massima - e l'altro effetto nodo sulla diminuzione del carico di rottura (indice della distribuzione delle pressioni sulle spire di un nodo sotto trazione lenta). Non è detto che fra le due azioni non vi sia correlazione, ma è questo un campo tutto da valutare.

Altro fatto da ricordare: una corda trazionata, tranne eccezioni rarissime, si rompe sempre in corrispondenza del nodo. Questo significa che le pressioni prima accennate sono le responsabili del tranciamento della fune, che avviene tanto più facilmente quanto maggiore è la concentrazione delle forze in una superficie ristretta.

La riduzione di F_r per effetto nodo varia a seconda del tipo di nodo; vi sono dei nodi che riducono di più ed altri di meno; comunque le riduzioni variano dal 30% al 57% della F_r nominale (quella dichiarata dal costruttore).

Altro aspetto da non sottovalutare: un nodo confezionato male comporta o lo scorrimento o una riduzione di F_r aggiuntiva (è sufficiente accavallare male un doppiino per incrementare del 10% la riduzione di F_r). Ecco un motivo in più per fare attenzione nell'esecuzione dell'armo. La superficialità e la fretta sono nemici della sicurezza.

Per meglio valutare quanto detto riportiamo in **tab. 7** i dati ricavati da Marbach, tenendo presente che per le prove è stato utilizzata una corda asciutta di nylon "statica" $X=1,3 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$) del diametro di 10 mm con F_r nominale di 2350 Kg peso.

Invecchiamento

L'invecchiamento di una corda porta, guarda caso, alla sua sclerosi ed

Tab. 7

	Tipo di nodo	F_R carico di rottura (Kg peso)	Resistenza residua %	Osservazioni in corso di trazione
NODI DI ANCORAGGIO	A nove	1640	70	
	Guida con frizione	1290	55	
	Nodo bulino doppio	1245	53	
	Farfalla	1205	51	
	Guida	1175	50	
	Pescatore	1175	50	
	Cravatta	1160	49	
	Bocca di Lupo	1070	46	Scorrimento poi blocco
	Inglese	1010	43	
	Barcaiolo	—	—	Scorre a 440 Kg.
	Bulino	1215	52	
NODI DI GIUNZIONE	Inglese doppio	1320	56	
	Guida con frizione inseguito	1120	48	
	A rete	1055	45	Scorre a 400 Kg peso occorre chiave chius.
	“Fettuccia”	1035	44	
	Inglese (capi della stessa parte)	970	41	Scorre con fusione della calza a 970 Kgp.
	Inglese (capi dalla parte opposta)	925	39	Scorre poi si blocca
	Piano	220	—	Si disfa a 220 Kg peso
Corde asciutte F_R nominale = 2350 Kg peso				

al tempo stesso alla sua cedevolezza. Tutto tende a rendere la fune più rigida, quindi a diminuirne il coefficiente di elasticità e la capacità di assorbire energia. Ma non solo: anche il carico di rottura regredisce sensibilmente con il passare del tempo e con l'uso in grotta.

Alle volte una corda usata sembra più elastica di una corda nuova, perché a parità di forza si hanno allungamenti maggiori. Ma bisogna fare attenzione e non essere tratti in inganno perché parte di questi allungamenti possono essere dovuti a cedimenti irreversibili per carenza di tenuta, che hanno scarsa efficacia nell'assorbire energia in caso di sollecitazione.

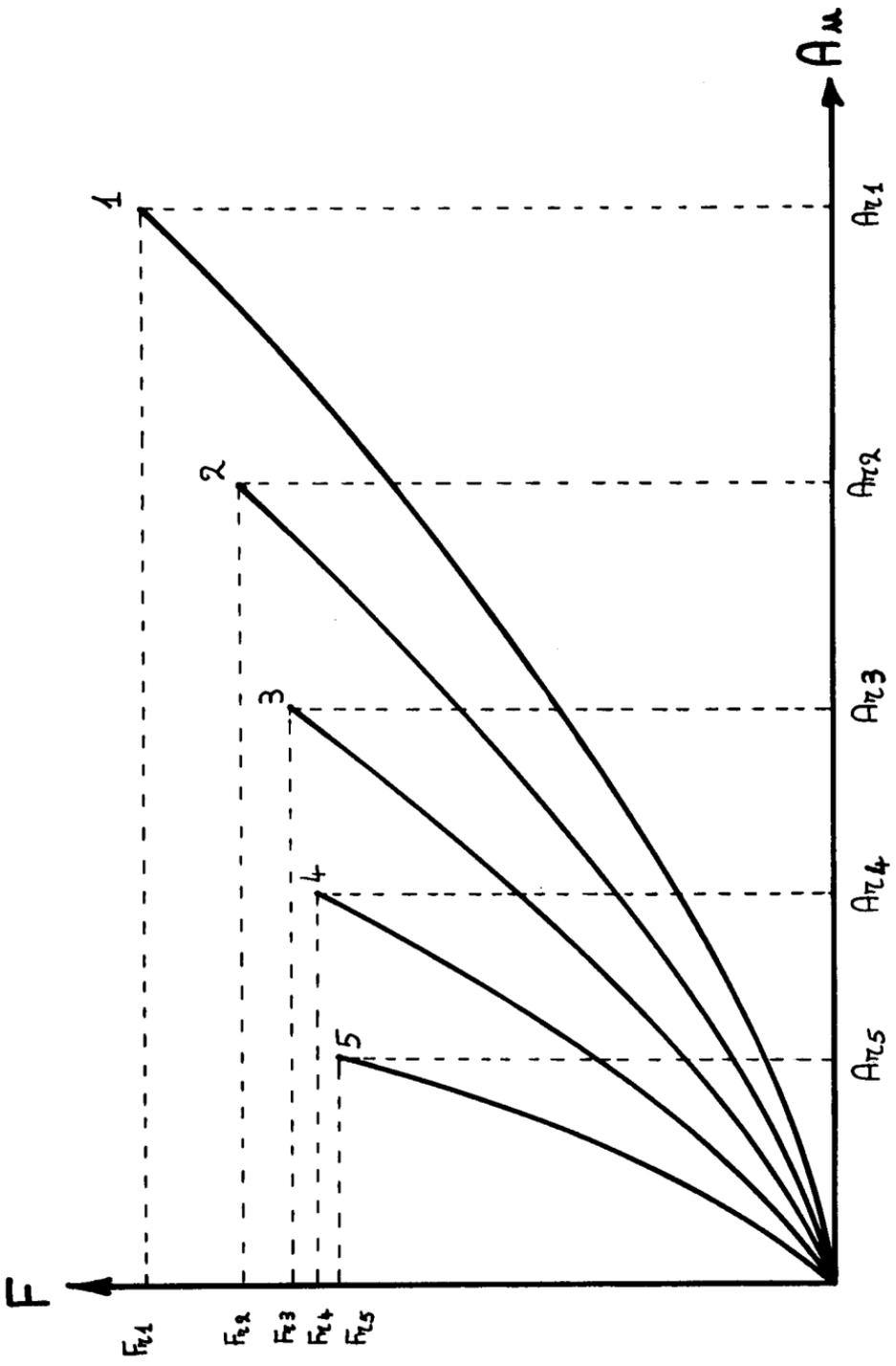
L'invecchiamento (termine che in questo caso è utilizzato in senso lato per indicare l'insieme degli effetti che portano al decadimento di una corda, uno dei quali è il puro e semplice passare del tempo) ha come cause molteplici fattori. Primo fra tutti è l'uso, ma non bisogna neanche trascurare le sollecitazioni violente ed il decadimento chimico delle fibre.

Riportando in grafico le curve di trazione di una medesima corda eseguite ad intervalli di tempo regolari (ad esempio ogni sei mesi) a partire dal momento iniziale della fabbricazione, otteniamo un risultato come in **fig. 27** dove è ben evidente la perdita di elasticità e la riduzione del carico di rottura a partire dalla curva 1 (corda nuova di fabbricazione) per giungere alla curva 5 (dopo un certo numero di anni o dopo un uso prolungato ed intenso). È altresì evidente che la superficie sottesa alle curve si riduce drasticamente: la capacità massima di assorbimento di energia della corda nello stato 5 è ridotta al lumicino e basterebbe il minimo choc per far saltare il tutto. Attenzione dunque a non esagerare nell'insistere ad utilizzare una vecchia corda (dopo due anni di uso normale è meglio disfarsene).

L'inclinazione dell'insieme di curve di **fig. 27** è in funzione, come si è detto in precedenza, sia del tempo, che comunque passa, sia dell'uso. Anche una corda mai usata subisce un invecchiamento, che sarà accelerato dall'uso o da altri fattori che incrementano il decadimento chimico delle fibre.

Può accadere che una corda subisca tante piccole lesioni da diminuire di fatto la sezione trasversale e quindi aumentare apparentemente il suo coefficiente di elasticità; il che non è assolutamente vero in quanto è solo diminuita la sezione di tenuta (vedi **figg. 32 e 33**).

In conclusione si può affermare che alcune cause portano ad un irrigidimento della struttura della corda ma lasciano inalterato il carico di rottura, altre invece tendono ad aumentare di fatto il coefficiente di elasticità (per diminuzione della sezione di tenuta) ma al tempo stesso portano inevitabilmente ad una consistente riduzione del carico di rottura. Nel primo caso si ha una tendenza ad aumentare l'intensità delle forze massime, nel secondo ciò non avviene ma si ha una maggiore probabilità di rottura. Se poi accade che i due effetti si manifestano contemporaneamente, come in genere avviene, la corda è in condizioni tali da non garantire alcuna sicurezza.



La questione comunque non è ancora chiara e occorrerà molta sperimentazione standardizzata per capirci di più.

Ma vediamo in dettaglio i problemi legati ai fattori che determinano l'invecchiamento.

a) *Decadimento chimico* - Le corde sono costituite da fibre sintetiche, le quali a loro volta sono composte da "polimeri", cioè catene di molecole fortemente concatenate le une alle altre che si sviluppano soprattutto in senso longitudinale. Le molecole-base possono essere di diversi tipi, come pure possono essere diverse le condizioni chimiche che portano alla polimerizzazione. Questo significa che esistono molteplici tipi di fibre sintetiche, sia perché si utilizzano molecole-base diverse sia perché le stesse molecole-base possono polimerizzare con risultati differenti a seconda delle condizioni imposte alla sintesi. Come abbiamo visto il "nylon" è la fibra sintetica che maggiormente risponde alle nostre richieste di sicurezza ed affidabilità. Esso deriva dalla condensazione alternata di una molecola di acido adipico con una di diamminoesano (**fig. 28**) fino a formare delle catene che tanto più lunghe sono (intensa polimerizzazione) tanto più danno caratteristiche di tenuta alla fibra. L'intensità della polimerizzazione incide anche sull'elasticità.

Ogni fattore che tende a depolimerizzare, cioè a rompere in qualche modo queste catene di molecole, diminuisce la resistenza alla rottura e la capacità di assorbire energia per elasticità. Per il nylon gli agenti depolimerizzanti più efficaci sono le sostanze acide ed i raggi ultravioletti (UV). Quindi attenzione ai detersivi ed alle esposizioni prolungate alla luce violenta, specie il sole, per non parlare di sostanze acide nel vero senso della parola (acido solforico, cloridrico, etc.). Inoltre, visto che le molecole base sono di natura organica, bisogna fare attenzione a non danneggiare le corde con solventi organici come nafta, acetone, tetraidrofurano, etc.

Ma a proposito del decadimento chimico delle corde Courbis ritiene di poter affermare, da prove effettuate, che i raggi UV non hanno assolutamente alcun effetto. Egli ritiene piuttosto che la perdita di elasticità e di tenuta sia dovuta a cause del tutto aleatorie, difficilmente riscontrabili sperimentalmente per ora, come ad esempio l'azione di microorganismi!

b) *Successione di microsollecitazioni in senso longitudinale e trasversale* - L'uso di una corda in grotta comporta un continuo susseguirsi di allungamenti (sia pur di ridotta entità), di torsioni, di flessioni e di compressioni (si pensi alle ritmiche sollecitazioni durante una risalita, all'azione del discensore, alle ripetute pressioni dei bloccanti). È quest'insieme di fatti che porta inevitabilmente e continuativamente ad un progressivo stato di invecchiamento (si ricordi la differenziazione esistente fra curve di trazione e di scarico: anche per le microsollecitazioni si hanno delle microtrasformazioni irreversibili).

c) *Penetrazione di corpi estranei* - L'argilla, per quanto possa sembrare impalpabile, contiene dei microcristalli a spigoli vivi che possono penetrare oltre la calza della corda e nella calza stessa fino a formare un tutt'uno con la struttura della corda, fra filo elementare e filo elementare.

L'acqua calcarea, della cui provenienza in grotta non vi è da discutere, una volta evaporata deposita nella corda dei microcristalli di calcite, che si vanno ad aggiungere ai precedenti. Anche piccole particelle di selce vanno a fare la stessa fine.

Pertanto si va accumulando nella corda, soprattutto nell'anima che come ben si sa è facilmente intasabile per intrusione esterna, una massa di elementi taglienti che tendono a recidere i fili elementari, con le conseguenze che facilmente si possono immaginare. Se poi si aggiunge la ripetuta azione dei denti dei bloccanti il quadro diventa abbastanza completo.

Sull'azione dei bloccanti non si può far nulla (se non sperare che i costruttori realizzino delle attrezzature sempre meno dannose), ma per contro si può tentare di limitare i danni provocati dai microcristalli, lavando molto bene le corde con molta acqua corrente subito dopo l'uso, possibilmente anche con l'aiuto di opportuni agenti decalcificanti.

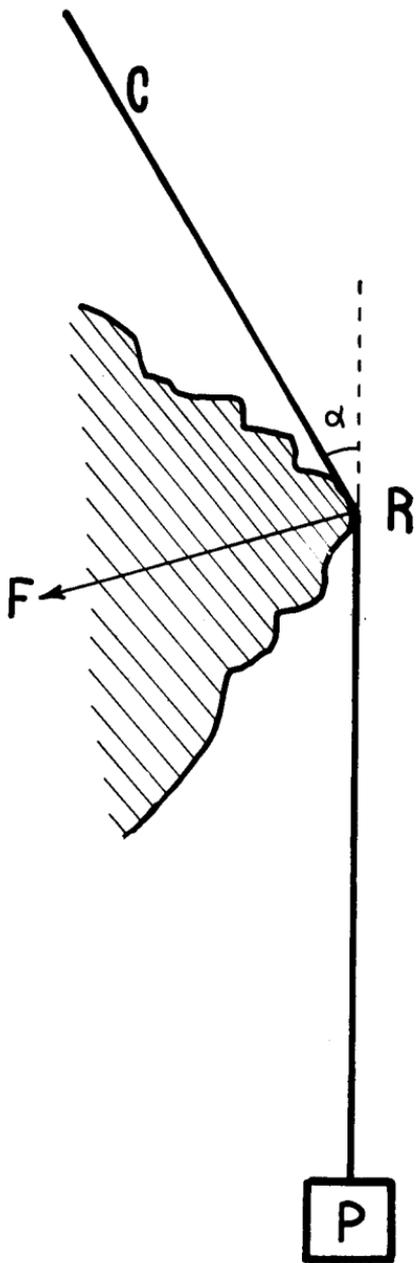
d) *Abrasione* - Questo fenomeno interessa quasi esclusivamente la calza di una corda (se anche l'anima ne viene coinvolta vuol dire che la calza è già completamente rotta e la situazione sta sfociando nel tragico). Però non bisogna dimenticare che la calza, benché venga definita "di protezione", partecipa per circa un terzo alle caratteristiche complessive della corda.

Una corda viene utilizzata ovviamente in grotta ed in grotta può accadere che si verifichi un contatto fra roccia e corda, specie nei pozzi. Se la corda non è caricata di alcun peso questo contatto non le comporta alcun danno. Ma anche se la corda è caricata di un peso però non ha alcun movimento oscillatorio rispetto alla roccia i danni sono del tutto trascurabili.

Il problema grave sorge quando al tempo stesso una corda è gravata di un peso ed è costretta ad oscillare a contatto con una asperità della roccia (si pensi ad una risalita con corda non opportunamente frazionata). In questo caso si ha una situazione come in **fig. 29** dove la corda C, gravata del peso P, tocca la roccia nel punto R, formando un angolo α con la verticale. Nel punto R la corda preme sulla roccia con una certa forza F che è in funzione del peso e dell'angolo α . Ne risulta che la pressione B sulla superficie S di contatto roccia-corda è uguale a:

$$B = \frac{2 P \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}}{S} \quad (72)$$

È facile prevedere, in linea di massima, che il danneggiamento della corda per le sue oscillazioni intorno al punto R saranno tanto maggiori



$$B = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{S}$$

FIG 29

quanto maggiore sarà la pressione B . Ne segue che, a parità di ogni altra condizione, la corda rimarrà tanto più lesionata quanto maggiore sarà il peso P e l'ampiezza dell'angolo α , mentre il valore della superficie di contatto S agirà esattamente in senso opposto.

Quindi si può concludere che è bene, nel caso che non sia possibile fare altrimenti, agire in modo che l'angolo α sia il più piccolo possibile (per $\alpha = 0$ $B = 0$) e che la superficie di contatto invece sia la più estesa possibile.

Ma se questa ultima conclusione deve essere tenuta in considerazione assolutamente come impostazione di base della soluzione del problema dell'abrasione, si deve anche tener presente un insieme di altri aspetti del fenomeno, che hanno una grande influenza - in certi casi fino ad annullare completamente quanto detto prima - e non sono facilmente spiegabili.

Per valutare appieno il fenomeno-abrasione dobbiamo tener in conto almeno altri tre fattori: ampiezza delle oscillazioni, natura fisica della superficie della roccia a contatto con la corda, tessitura della calza di protezione.

Si direbbe che tanto più ampie sono le oscillazioni, cioè tanto maggiore è la porzione di corda interessata all'abrasione, tanto minore dovrebbe essere il danneggiamento: il danno si distribuisce su una più estesa superficie e non si concentra quindi in una piccola zona (in termini energetici potremmo dire che la "macchina" roccia, nel caso di più ampie oscillazioni della corda, ha una potenza ridotta, in quanto lo stesso lavoro si "diluisce" in una superficie più estesa, insistendo per tempi più piccoli su ogni singola unità di superficie). Ma questo sarebbe assolutamente vero se la roccia e, soprattutto, la corda fossero delle strutture fisicamente omogenee, senza alcuna discontinuità superficiale.

Non essendo questo vero (la calza di una corda è costituita da una tessitura di fili elementari sulla cui discontinuità non vi è certo da discutere, mentre la roccia ben difficilmente non presenta delle asperità sia pur microscopiche), la rottura di una corda (della calza in genere) inizia quando il primo filo elementare si aggancia e si rompe su una microsporgenza e continua ogni volta che questo evento si ripete. Il problema dell'abrasione ha dunque una base probabilistica legata all'eventualità o meno che una microsporgenza agisca su un filo elementare; tanto maggiore è la possibilità che l'evento si verifichi tanto maggiore risulterà il danneggiamento.

Questa possibilità aumenta con il crescere del numero delle microasperità superficiali, della superficie di contatto roccia-corda, del tipo di tessitura della calza, del diametro dei fili elementari e dell'ampiezza delle oscillazioni.

Ma l'ampiezza delle oscillazioni è decisamente l'elemento più caratterizzante delle varie situazioni ed a lei devono essere fatte risalire le maggiori responsabilità della rottura di una corda, visto che gli altri fattori sono ormai piuttosto standardizzati e che sulla stessa superficie rocciosa - è questo un dato ripetutamente accertato - ampie oscillazioni producono dei gravi

danneggiamenti, cosa che più difficilmente si verificano con oscillazioni ridotte.

In conclusione, tenuto conto di tutto quanto è stato affermato sull'abrasione, la pressione B è sicuramente un fattore importante, soprattutto quando risulti molto elevata in conseguenza di una superficie di contatto S estremamente ridotta (lame), ma non è certamente determinante nella stragrande maggioranza dei casi, dove invece giocano un ruolo fondamentale la rugosità e l'estensione della superficie rocciosa di contatto, nonché la lunghezza delle oscillazioni.

Un fatto aggiuntivo: comunque si produca una microlesione alla corda essa diventa un punto di microdiscontinuità della calza dove preferenzialmente vanno a sommarsi i successivi danneggiamenti (fatto questo ampiamente constatato da tutti).

E a questo punto, inevitabilmente, viene fuori il problema dell'uso delle corde dinamiche in grotta, le quali, in rapporto alle statiche, imprimono delle oscillazioni decisamente più ampie (anche di 10 volte). È quindi evidente la motivazione (oltre ad altre considerazioni che investono piuttosto la comodità della progressione) che ha portato a scegliere per la progressione in grotta le corde statiche. Una infinità di casi "veri" avvalorano senza alcun dubbio la constatazione dell'estrema fragilità delle corde dinamiche, fragilità non certo costituzionale ma conseguenza dell'alto coefficiente di elasticità.

È meglio dunque utilizzare corde con elasticità minore - comunque più che sufficiente a ritenere gli eventuali choc prevedibili nella progressione in grotta (ad esclusione di risalite in arrampicata) - e ridurre di conseguenza l'ampiezza delle oscillazioni (il che non disturba certo nella risalita, specie in grandi campate e nel superamento dei frazionamenti).

Effetto choc ripetuti

Se una corda subisce uno choc la sua struttura si modifica in modo irreversibile (si ricordi ancora una volta la differenziazione esistente fra curve di trazione di scarico). Se lo choc è stato molto violento non bisogna esitare a mettere fuori uso la corda.

Ma esaminiamo il fenomeno dell'invecchiamento per choc sulla base della seguente esperienza: si prenda un campione di una corda nuova (nylon, diametro 10 mm, $F_T = 2350$ Kg peso, $X = 1,3 \cdot 10^{-5}$ sec²/m Kg) e la si sottoponga ad una successione di choc ripetuti, tutti della stessa entità ($F_C = 1$, $P = 80$ Kg peso, nodo a nove). Se ne ricava un grafico come in **fig. 30**.

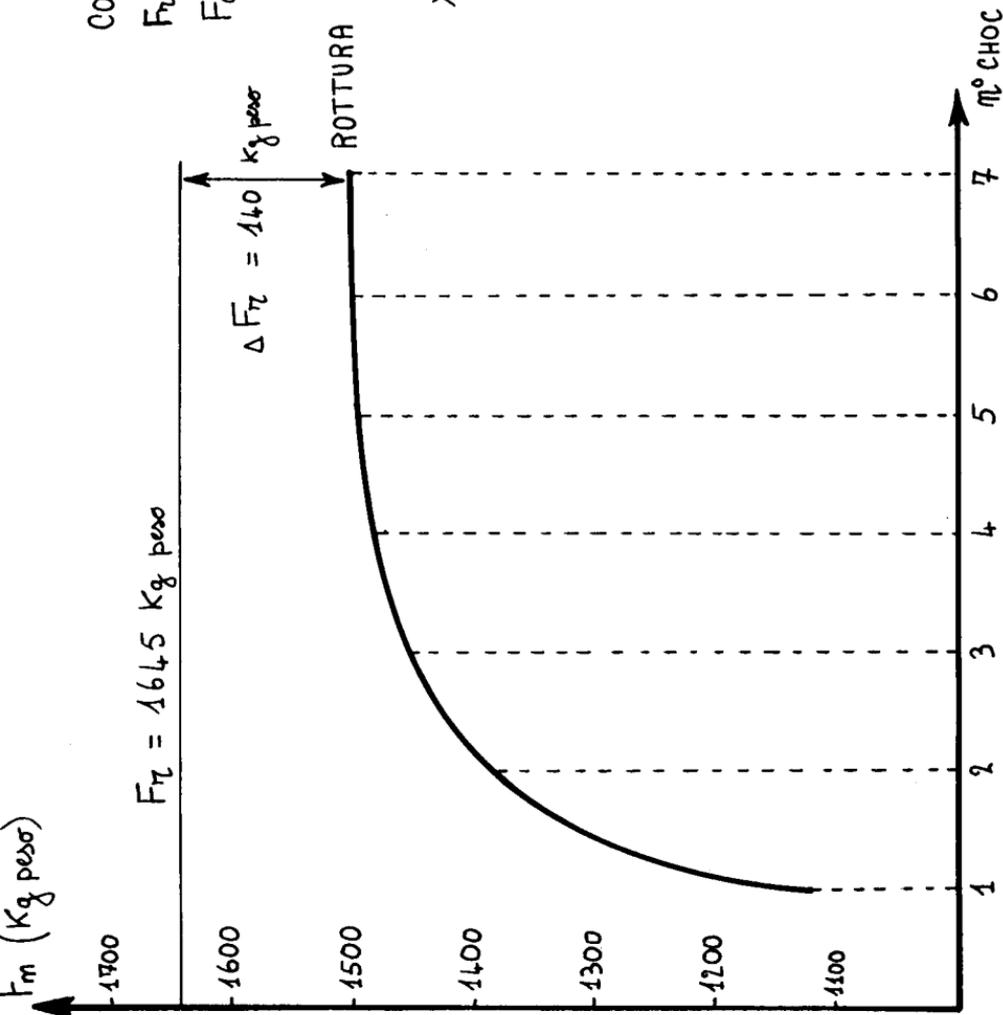
Si evidenzia molto bene che con il progredire del numero degli choc la F_m aumenta rapidamente per poi crescere molto lentamente: il coefficiente di elasticità subisce un rapido decremento per i primi choc poi si stabilizza; addirittura per effetto del primo choc X si dimezza.

CORDA NYLON \varnothing 10 mm

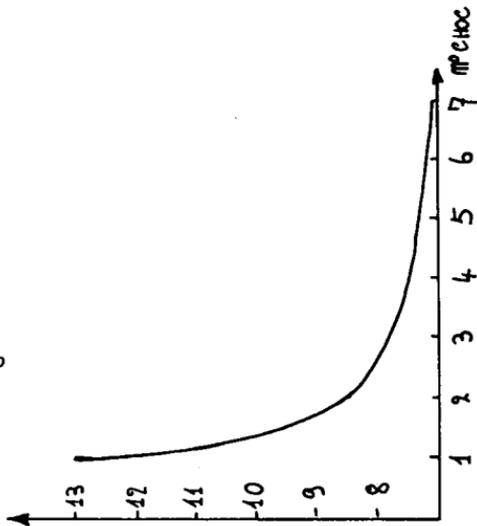
F_L (NOMINALE) = 2350 Kg peso

$F_c = 1$ P = 80 Kg peso

NODO A MOVE



$X \cdot 10^{-6}$ sec²/m Kg



È altrettanto chiaro che la F_r diminuisce tanto che al 7° choc è sufficiente una forza massima di 1510 Kg peso per raggiungere la rottura della corda, contro i 1645 Kg peso iniziali.

Globalmente possiamo affermare che l'effetto choc influenza soprattutto l'elasticità della corda e non il suo carico di rottura. Ma è più che sufficiente questa constatazione per indicarci che cosa fare di una corda che abbia subito anche un solo choc con $F_c = 1$.

Ma da questa prova possiamo anche concludere con sollievo che una normale corda speleo si contrappone a ben 6 choc con un fattore di caduta non tanto facilmente verificabile in grotta.

Effetto acqua (tab. 8)

In grotta è ben raro non trovare un ambiente umido che in poco tempo faccia assorbire, fino alla saturazione, acqua alle corde. Ebbene che effetto ha questo fenomeno sul loro comportamento?

La tab. 8, per una corda identica a quella dell'esperienza precedente (dedotta da Marbach) è chiara a questo proposito: le corde bagnate (per immersione totale per 24 ore) hanno una resistenza alla rottura inferiore a quella delle analoghe corde asciutte. Il che non è facile da spiegare.

Si potrebbe pensare che il "cuscinetto" d'acqua inserito nella struttura della corda agisca come ulteriore mezzo capace di assorbire energia; ma come collegare questa ipotesi con la diminuzione di F_r , che è invece una caratteristica legata alle distribuzioni delle pressioni nelle spire del nodo?

La presenza di acqua sulle corde comunque è benefica se non altro perché impedisce surriscaldamenti per l'uso improprio del discensore, il che è molto più importante della limitata riduzione di F_r .

Effetto ghiaccio (tab. 9).

È sempre più frequente l'esplorazione speleo invernale, durante la quale non è poi tanto raro trovare le corde dei primi pozzi completamente ghiacciate.

Anche in questo caso è estremamente complesso analizzare le cause che portano a delle variazioni delle caratteristiche delle corde. L'unica via possibile è quella sperimentale, i cui risultati (dedotti da Marbach) sono riportati in tab. 9, per una corda come quella delle esperienze precedenti e con nodo il "guida con frizione".

Bene a sapersi che una corda ghiacciata ha una tenuta alla rottura superiore a quella di una corda "bagnata".

Da tener presente comunque che l'uso del discensore e dei bloccanti può presentare qualche inconveniente per l'eccessiva tendenza allo scivolamento.

Tab. 8

Tipo di nodo	Carico di rottura (Kg peso)		resistenza residua %
	secco	bagnato	
GUIDA	secco	1175	50
	bagnato	1010	43
GUIDA CON FRIZIONE	secco	1290	55
	bagnato	1230	52
A NOVE	secco	1745	74
	bagnato	1580	67

Tab. 9

Condizione corda	Carico di rottura (Kg peso)
BAGNATA	1230
GHIACCIATA -30° C	1500

Effetto fettuccia

Di recente sono stati introdotti nella progressione in grotta degli attacchi costituiti unicamente da un bullone con piastrina ricurva, al quale si ancora un anello di fettuccia o di cordino.

Nel caso del cordino non vi è nulla da aggiungere a quanto detto precedentemente nel paragrafo relativo ai sistemi elastici con elementi in parallelo.

Per la fettuccia invece è necessario fare alcune importanti considerazioni, valide non solo per le situazioni relative agli attacchi suddetti ma per ogni tipo di attacco con anello di fettuccia. Tralasciando la questione "elasticità" (le fettucce sono elementi decisamente rigidi), puntiamo invece la nostra attenzione sul carico di rottura.

Un anello di fettuccia dovrebbe avere, nominalmente, un carico di rottura doppio della fettuccia stessa. Ma essa, da esperienze fatte, ha un comportamento del tutto imprevedibile, visto che in alcuni casi si è prodotta la sua rottura anche per sollecitazioni minime che comportano una forza massima di 200 Kg peso (molto, molto al di sotto del carico di rottura dichiarato).

Questo comportamento aleatorio è probabilmente dovuto al fatto che la striscia di fettuccia (sia tubolare che a corpo unico) spesso non si dispone in modo uniforme sopra la superficie di appoggio (specie se è un semplice bullone e con una piastrina che la spinge contro la parete), ma piuttosto si accavalla, determinando una pressione eccezionalmente elevata su alcuni suoi lembi di piccola superficie. Ciò può portare ad una facile incipiente rottura che poi può trasmettersi trasversalmente a tutta la fettuccia. È un po' come tirare uniformemente un foglio di carta ai lati opposti: se il foglio è integro la rottura si ottiene con una certa difficoltà, ma se esso presenta anche una piccola lacerazione, dovuta ad altri motivi, sarà sufficiente una forza molto più ridotta per produrre trasversalmente la sua totale rottura.

In un anello di corda ciò non accade perché in ogni caso esso si dispone in modo tale da presentare sempre una simmetria nella distribuzione degli sforzi.

Non vi è dubbio quindi che gli anelli di cordino sono da preferire agli anelli di fettuccia: i primi infatti mantengono sempre il carico di rottura pari a circa il 180% della F_T nominale (il 20% che manca è la conseguenza della presenza del nodo di giunzione), le fettucce hanno un comportamento alquanto imprevedibile. E non si può neanche dire di disporle in modo uniforme sull'appoggio perché di appoggi che si prestino ad una simile attenzione ve ne sono ben pochi.

Resta comunque il fatto che le fettucce sono estremamente comode nell'armo.

SPERIMENTAZIONE

Scopi

Non è possibile effettuare ricerche senza che la teoria venga convalidata da adeguate prove sperimentali. In aggiunta: l'elaborazione teorica non può che avvantaggiarsi delle indicazioni provenienti dai risultati sperimentali (non sempre la teoria precede l'esperienza, anzi è frequente il caso in

cui le osservazioni nella realtà dei fatti aprono nuove strade alle proiezioni teoriche). Nel campo delle conoscenze sulla tecnica speleo vi è quasi tutto da fare.

Ma la sperimentazione persegue anche un altro importantissimo fine: la trasmissione delle conoscenze. Infatti nessun metodo didattico in campo scientifico può fare a meno delle dimostrazioni sperimentali, che sono strumenti fra i più efficaci per far comprendere l'essenza dei fenomeni e la loro influenza sulla pratica.

Ed è per questi due motivi che si è voluto inserire il presente capitolo, nella speranza che si comprenda la necessità di una paziente, meticolosa indagine sperimentale ed al tempo stesso per facilitare chi voglia finalmente inserire nei corsi di speleologia delle chiarificatrici dimostrazioni sperimentali.

Strumenti di misura ed attrezzature

Le indagini sulle sollecitazioni dinamiche possono essere anche molto sofisticate, ed allora richiedono una strumentazione e delle attrezzature di supporto che solo grossi complessi industriali o istituti universitari possono avere.

Ma per ottenere delle buone misure, specie se a scopo dimostrativo, è sufficiente un insieme di attrezzature che sono alla portata di molti gruppi o raggruppamenti di gruppi (non parliamo delle organizzazioni a livello nazionale!). Ed è proprio di quest'insieme di attrezzature che parleremo.

a) *Dinamometri* - Lo strumento che misura le forze si chiama "dinamometro" ed è costituito da un corpo centrale metallico che ha la proprietà di allungarsi (o comprimersi) in rapporto diretto con la intensità della forza applicata, senza per questo produrre delle trasformazioni irreversibili (elemento elastico ideale). Tutto l'apparato che circonda questo corpo serve all'ancoraggio, ad evidenziare e registrare gli allungamenti e quindi le forze che li hanno prodotti (in certi casi vi sono degli apparati elettronici che trasferiscono la curva di trazione direttamente in un registratore magnetico o a carta; in certi altri casi con dinamometri a molla vi è un cursore collegato con la estremità mobile della molla che si arresta nel punto di massima escursione e registra quindi solo la forza massima).

Ma vediamo di fare un po' di teoria sui dinamometri per valutare le loro possibilità ed i loro limiti. Supponiamo di trovarci nella situazione più generale possibile - indicata in **fig. 31** - in cui la corda RP in esame sia appesa al punto R della sbarra anelastica ST. Questa sbarra, che funge da sistema di leva, è infulcrata in S e sostenuta in T dal dinamometro TS', il quale a sua volta è ancorato in S'. Supponiamo inoltre che si abbiano i seguenti dati:

X coefficiente di elasticità della corda RP

$$\frac{1}{S} = 2$$

$$F_m = F'_m \sqrt{1 + \frac{X' \ell'}{X \ell} r^2}$$

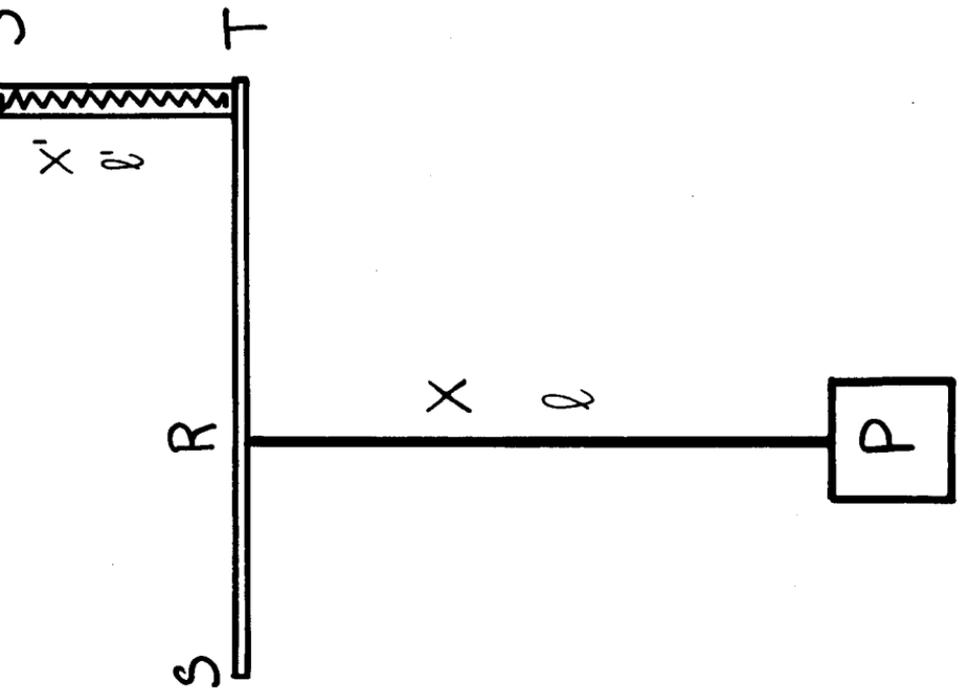


FIG. 31

- l lunghezza della corda RP
- X' coefficiente di elasticità del dinamometro TS'
- l' lunghezza del dinamometro TS'

Sia infine:

$$r = \frac{\overline{SR}}{\overline{ST}} \text{ rapporto di riduzione di forza della leva ST}$$

Se il sistema indicato in fig. 31 riceve una sollecitazione si può ben comprendere che parte dell'energia viene assorbita dallo stesso dinamometro ed i dati che si possono registrare sono inferiori a quelli che si potrebbero ottenere in assenza del dinamometro.

Ma si può facilmente dimostrare (in fondo siamo in presenza di un sistema di due elementi elastici in serie) che:

$$F_m = F'_m \sqrt{1 + \frac{X' l'}{X l} r^2} \quad (73)$$

dove:

F_m forza massima che si registrerebbe senza l'inserimento del dinamometro (valore che a noi interessa ricavare)

F'_m forza massima che si ottiene con il dinamometro interposto

È evidente dalla (73) che un dinamometro dà misure tanto più attendibili tanto più è piccolo il rapporto r di riduzione di leva ed il prodotto X'l': se la quantità $X'l'r^2/Xl$ tende a zero la relazione (73) tende a divenire:

$$F_m = F'_m$$

Questo significa che i migliori dinamometri sono quelli di ridotte dimensioni e con coefficiente di elasticità molto piccolo. Non certo quelli a molla dove misure esatte possono essere ricavate solo apportando le dovute correzioni.

A questo proposito rimandiamo alla **tab. 10** dove sono riportati i fattori di correzione del dinamometro a molla della Squadra di Soccorso Speleologico CNSA di Perugia ($X'=3,6 \cdot 10^{-5} \text{sec}^2/\text{m Kg}$; $l'=0,34 \text{ m}$) per misure

Tab. 10

Lunghezza campione corda l_m	$r=1$	$r=1/2$	$r=1/3$	NOTE
0,5	1,68	1,21	1,09	
1,0	1,39	1,11	1,05	
1,5	1,27	1,07	1,03	$F_m = F'_m \sqrt{1 + \frac{l' X'}{l X} r^2}$
2,0	1,21	1,05	1,02	
2,5	1,17	1,05	1,02	$l' = 0,34 \text{ m}$
3,0	1,14	1,04	1,01	
3,5	1,12	1,03	1,01	$X' = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$
4,0	1,11	1,03	1,01	
4,5	1,09	1,02	1,01	$X = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$
5,0	1,09	1,02	1,01	
5,5	1,08	1,02	1,01	CORDA EDELRID Ø 10 mm NUOVA STATICA
6,0	1,07	1,02	1,01	
6,5	1,07	1,01	1,00	
7,0	1,06	1,01	1,00	
7,5	1,06	1,01	1,00	
8,0	1,05	1,01	1,00	
8,5	1,05	1,01	1,00	
9,0	1,05	1,01	1,00	
9,5	1,05	1,01	1,00	
10,0	1,04	1,01	1,00	

su una corda con $X = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$ (Edelrid Ø 10 mm speleo). I fattori correttivi sono riportati in funzione di varie lunghezze l della corda in esame e per rapporti di leva $r = 1$; $r = 1/2$; $r = 1/3$.

Si fa notare solamente che per una corda di mezzo metro di lunghezza con $r = 1$ si ha un errore in meno del 68%. Con $r = 1/3$ le cose vanno decisamente meglio.

b) *Mezzi traenti* - Per misure di sollecitazione statica occorre utilizzare uno strumento che riesca a sollevare almeno 500 Kg peso. Per ottenere forze più elevate basta far uso di carrucole mobili o paranchi.

c) *Pesi* - Avere un unico peso di circa 80 Kg peso (pressapoco il peso di uno speleologo) non è sufficiente. Occorre invece una gabbia portapesi nella quale possano essere inseriti a volontà più pesi, ciascuno di circa 10 Kg peso. Con ciò si hanno una serie di possibilità estremamente utili ai fini didattici.

d) *Altre attrezzature di supporto* - È impossibile definire quantitativamente e qualitativamente tutto quanto è necessario per portare a buon fine una dimostrazione sperimentale o, peggio ancora, una ricerca. Bisogna senza dubbio affidarsi alla fantasia ed all'inventiva, specie se si deve inserire un sistema di leve. Ma a degli speleologi non mancherà certo il modo di predisporre opportuni e resistenti ancoraggi, sia per gli strumenti che per gli adetti alle operazioni di misura.

Comunque non si devono dimenticare: grilli, moschettoni, braghe d'acciaio, cordella metrica, livella, cordino sottile (Ø 1 mm) per appendere i pesi, taglierina, pennarelli indelebili, carrucole, sistema di sollevamento dei pesi, campioni di corde diverse.

Alcuni esempi di dimostrazioni sperimentali

1) Costruzione di curve di trazione e di scarico (calcolo coefficiente di elasticità ed allungamento residuo).

2) Variazione della forza massima al variare del peso (X ed F_c costanti).

3) Variazione della forza massima in funzione dell'altezza di caduta (l , P , X costanti).

4) Variazione della forza massima in funzione del coefficiente di elasticità (P , F_c costanti).

5) Variazione della forza massima al variare della lunghezza della corda (h , X , P costanti).

6) Variazione della forza massima, con fattore di caduta costante, ma con lunghezza della corda variabile (P , X costanti) (calcolo del coefficiente R_f per i vari nodi e verifica della costanza di F_m con F_c costante).

- 7) Diminuzione della forza massima in presenza di nodi ammortizzanti.
- 8) Variazione della forza massima e del coefficiente di elasticità in funzione del numero di choc subiti.
- 9) Variazione della forza massima per traiettorie di caduta non coincidenti con la verticale passante per il punto di ancoraggio.

Risultati di alcune dimostrazioni sperimentali (effettuate durante il Corso di perfezionamento tecnico della S.N.S. C.A.I. - Costacciaro 1982).

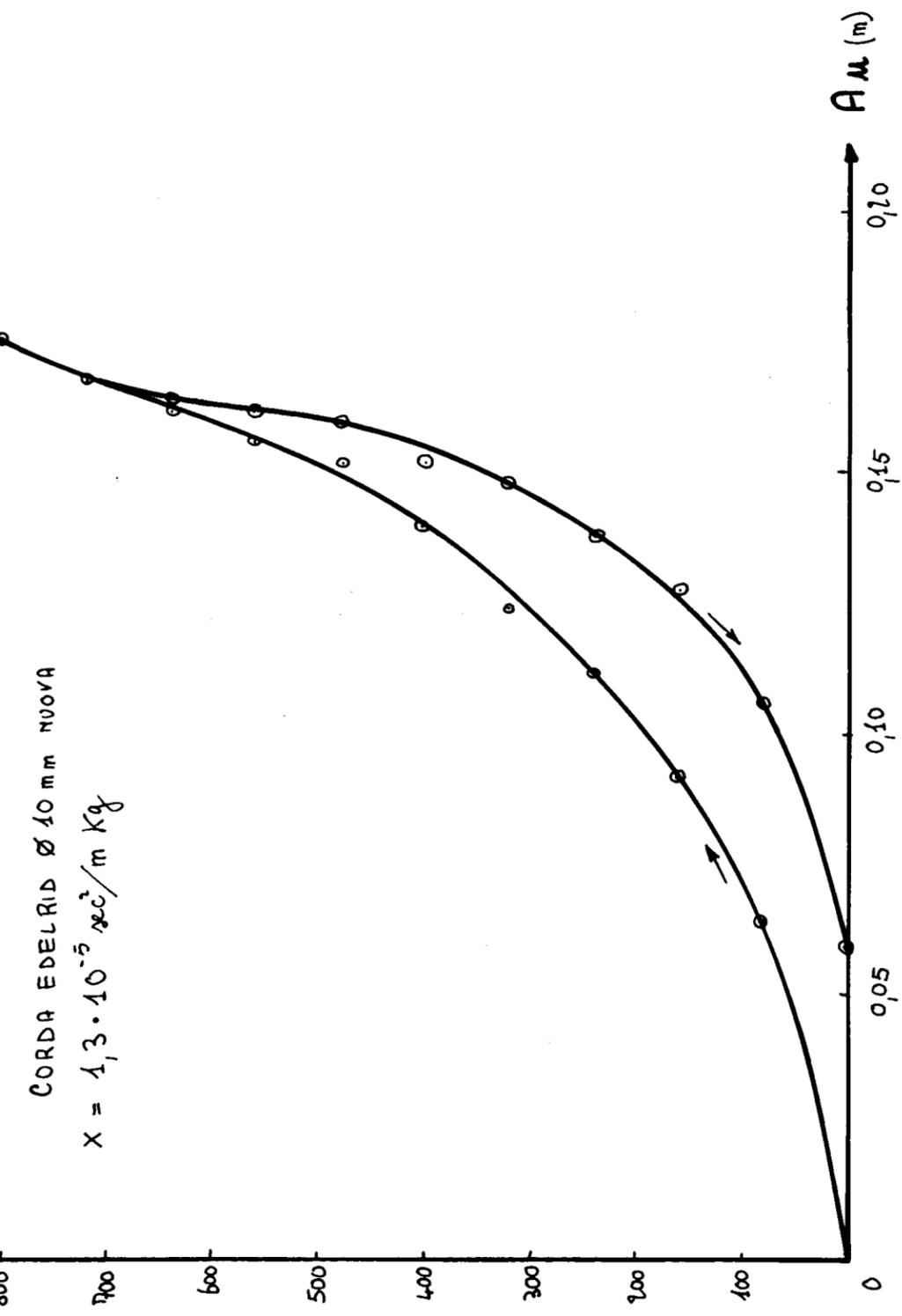
I risultati di queste esperienze, riportati nelle figg. 32-33-34-35-36-37-38-39-40, hanno un valore quasi esclusivamente didattico, soprattutto perché non sono stati opportunamente corretti in base alla relazione (73). Comunque, tenuto conto che le corde non hanno un comportamento ideale in quanto X non rimane eccessivamente costante (in genere diminuisce con l'aumentare dell'allungamento), possiamo affermare che la teoria è stata sostanzialmente confermata.

Questi dati, che sono stati rilevati nell'arco di due intense giornate di prove, costituiscono un utile sussidio per meglio assimilare quanto detto in precedenza e la loro lettura potrebbe essere molto chiarificatrice.

E se posso concludere questo lavoro con una indicazione operativa, non vi è alcun dubbio che il problema fondamentale per portare avanti in questo campo una ricerca scientifica rigorosa è la standardizzazione delle metodologie d'analisi, che non potrà mai esserci se non quando un organismo rappresentativo di tutti gli speleo italiani si prenderà a cuore fattivamente la questione.

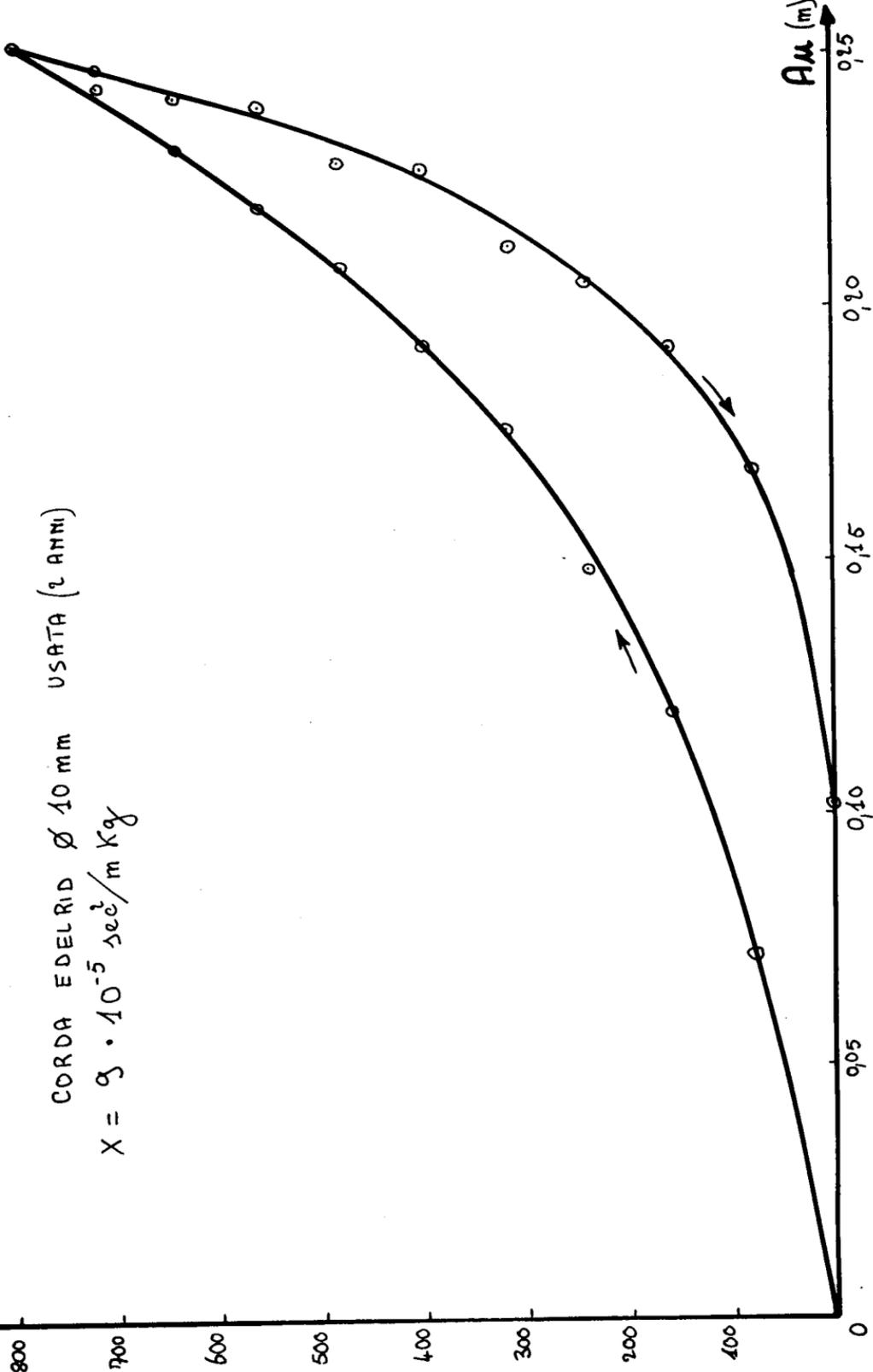
Perugia 5 aprile 1983

CORDA EDELRID Ø 10 mm NUOVA
 $X = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$

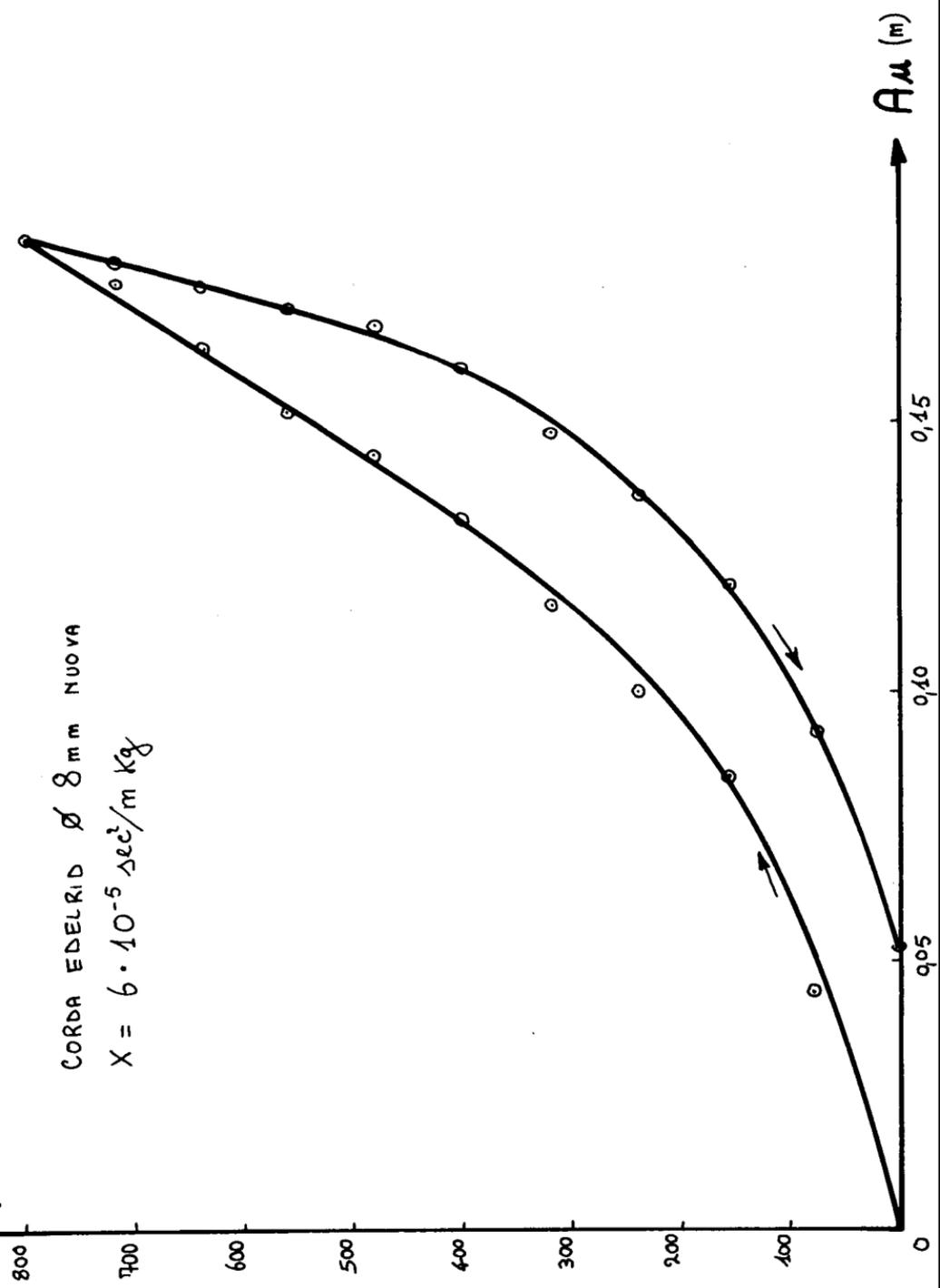


CORDA EDELRID Ø 10 mm USATA (2 ANNI)

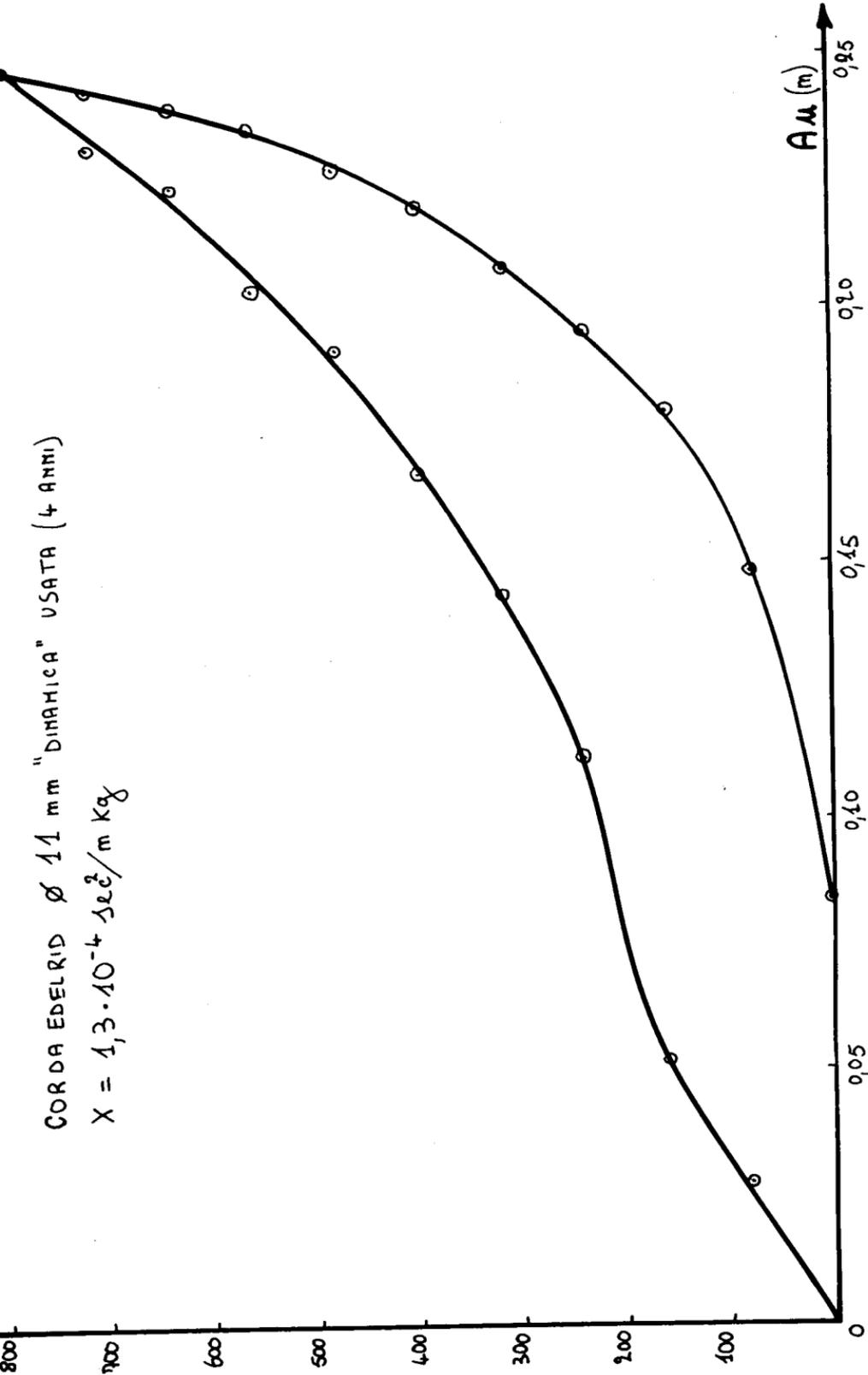
$$X = 9 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$$



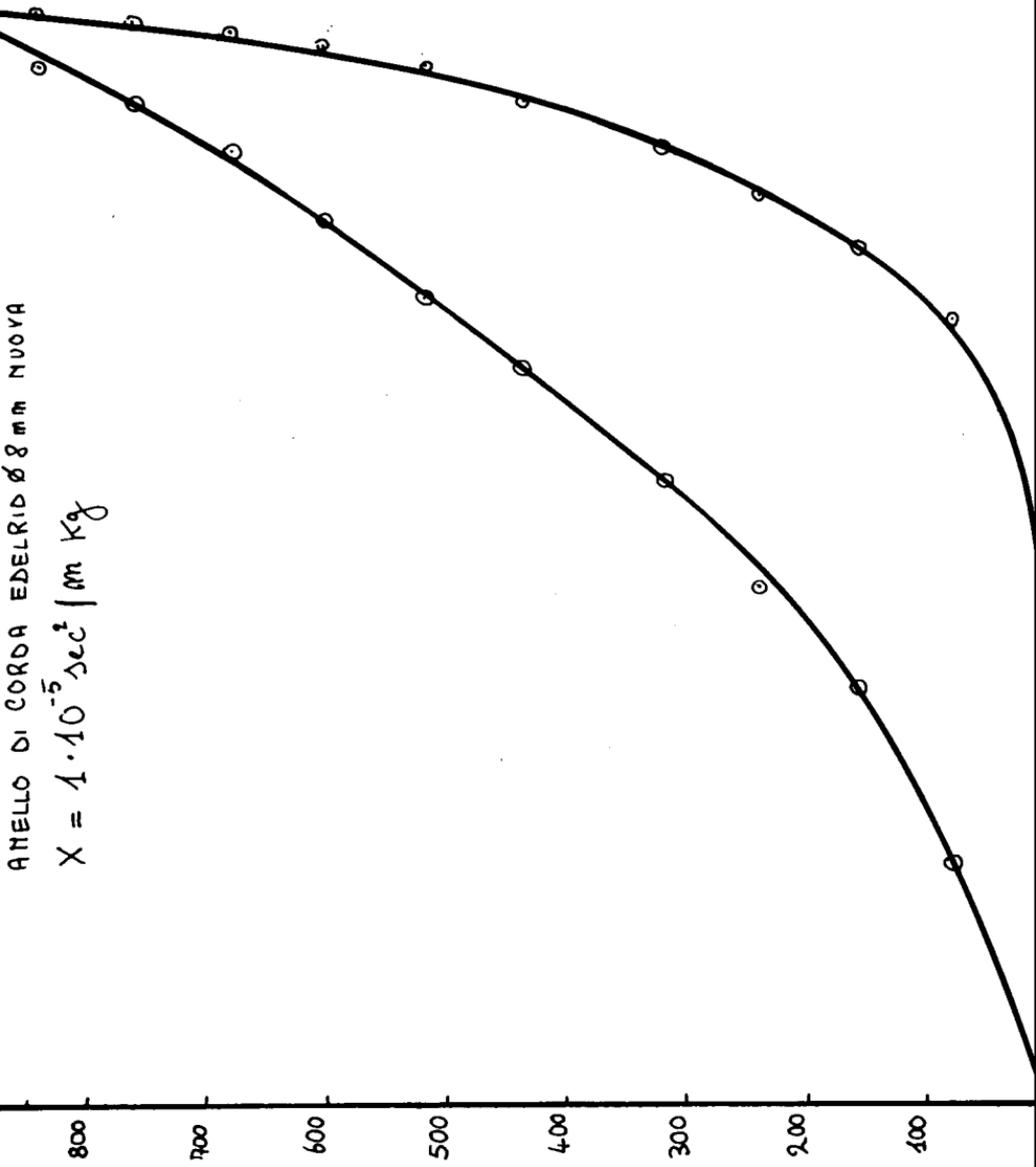
CORDA EDELRID \varnothing 8 mm NUOVA
 $X = 6 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$



CORDA EDELRID \varnothing 11 mm "DINAMICA" USATA (4 ANNI)
 $X = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$



ANELLO DI CORDA EDELRID Ø 8 mm NUOVA
 $X = 1 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2 / \text{mm Kg}$



CORDA EDELRID \varnothing 10 mm NUOVA

$$F_e = 1 \quad \ell = 2,5 \text{ m}$$

$$X = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$$

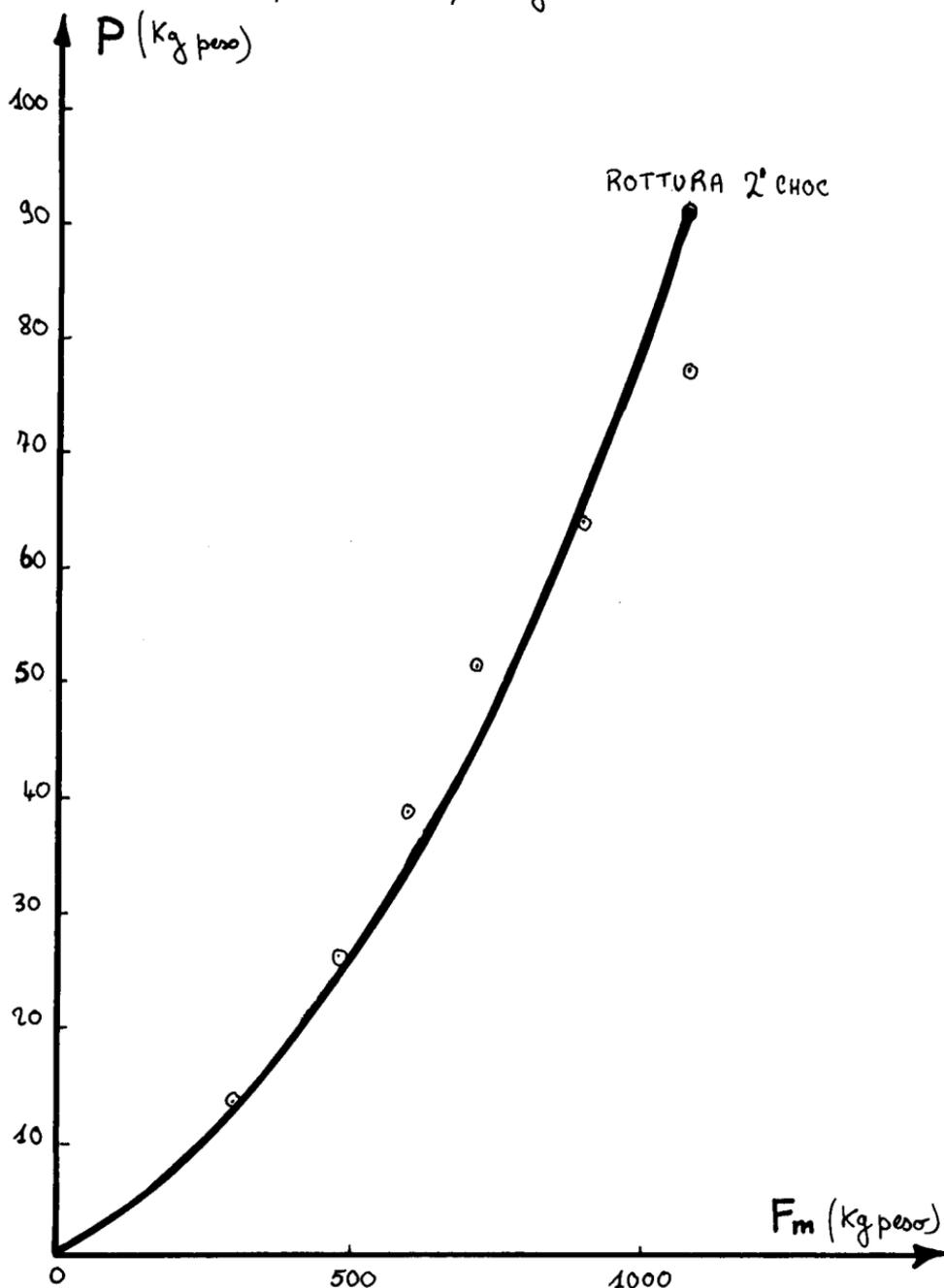


FIG 37

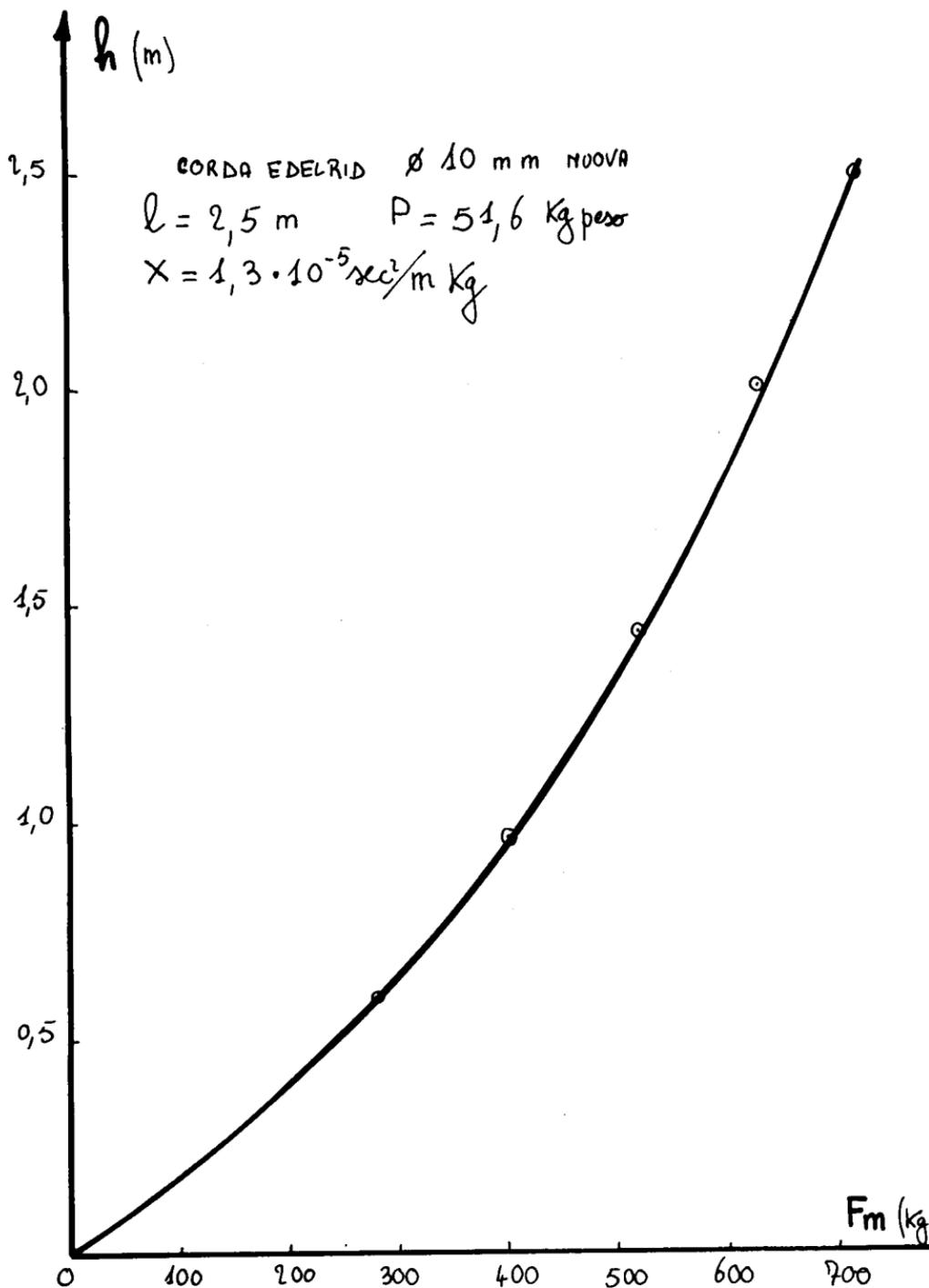


FIG 38

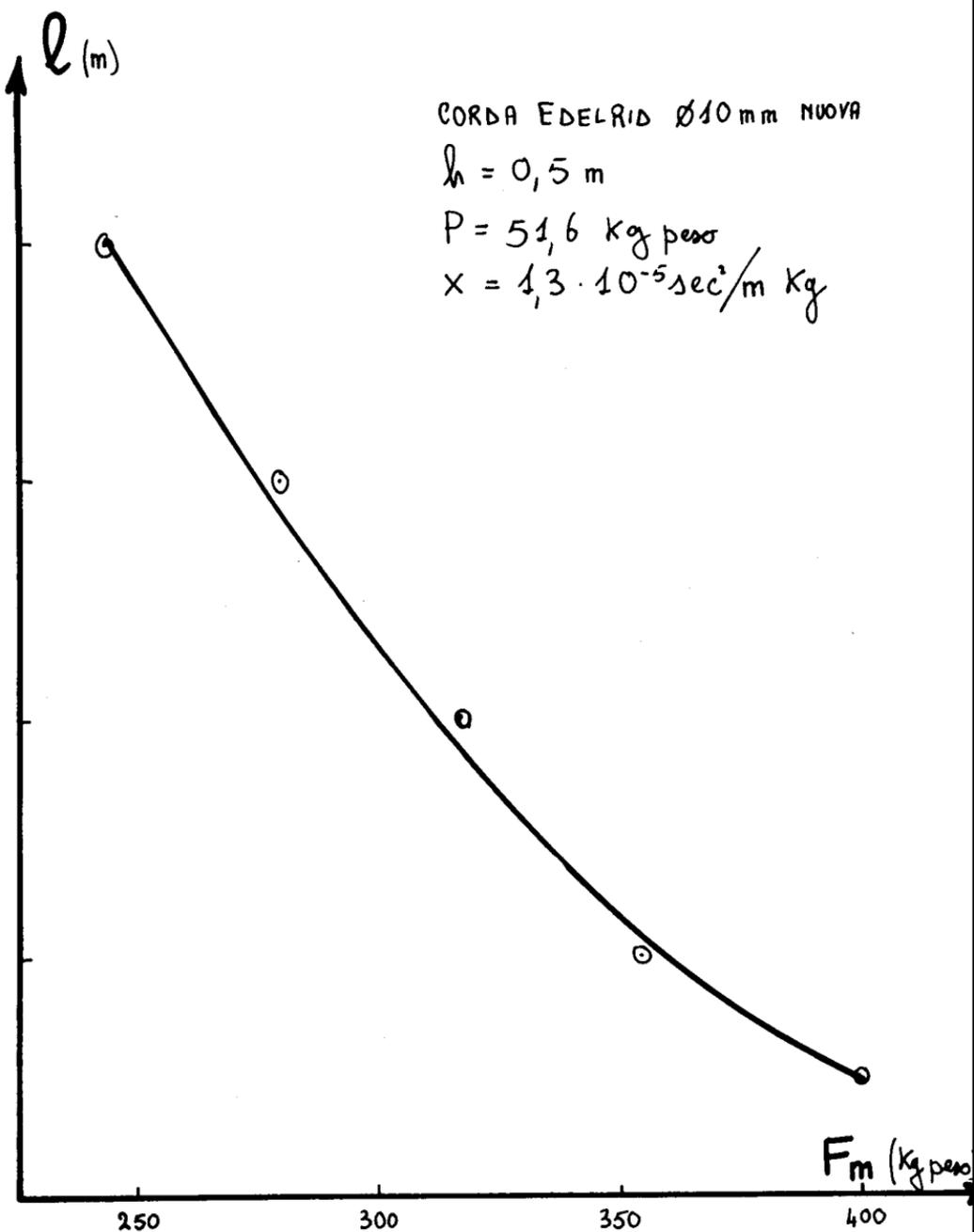


FIG 39

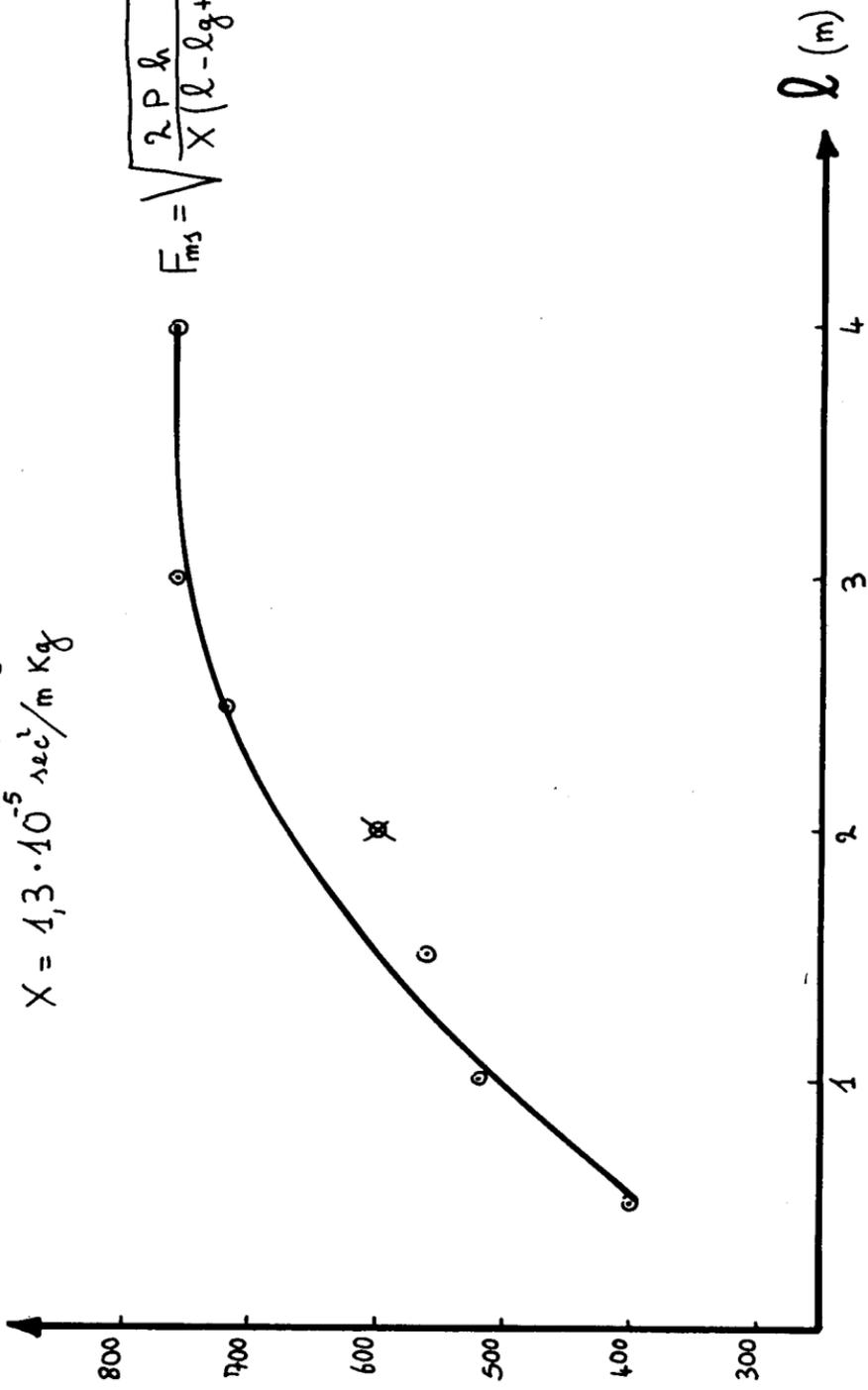
CORDA EDELRID Ø 10 mm NUOVA

$F_c = 1$ $P = 51,6$ Kg peso

$X = 13 \cdot 10^{-5}$ sec²/m Kg

$$F_{ms} = \sqrt{\frac{2 P h}{X (l - l_g + l_m)}}$$

F_m (Kg peso)



Capitolo II

PROVE SPERIMENTALI SU CORDE (°)

(G. Guerriero)

Test 1 - Prova di trazione su molla elicoidale.

Lo schema di prova è riportato in fig. 41. Il dinamometro di misura, di tipo meccanico, è solidale ad una struttura rigida, nel caso particolare una costruzione in muratura opportunamente rinforzata con tiranti.

All'altro suo capo è collegata la molla in esame. La trazione è effettuata da un martinetto inserito tramite un paranco per moltiplicare lo sforzo.

Questi accorgimenti trovano la loro giustificazione nel fatto che la stessa configurazione - con piccole modifiche - la si trova nelle prove sulle corde.

Misurando la forza e l'allungamento si potrà calcolare il coefficiente di elasticità secondo la relazione:

$$X = A_r/F \quad l = A_u/F$$

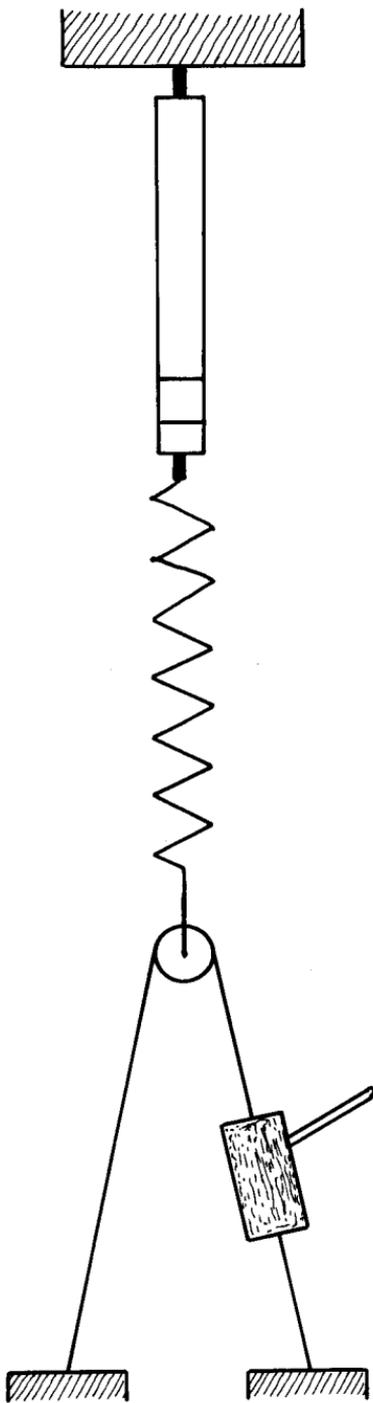
dove:

X	coefficiente di elasticità
A_r	allungamento relativo
F	forza applicata
l	lunghezza iniziale della molla
A_u	allungamento unitario.

È nota:

$$l = 0,90 \text{ m}$$

(°) Effettuate nell'ambito del "Corso Speciale sulle sollecitazioni statiche e dinamiche nelle attrezzature speleologiche". Costacciaro - CNS - 30 aprile 1983.



DINAMOMETRO

MOLLA ELICOIDALE
IN PROVA

PULEGGIA

MARTINETTO
CON PARANCO

Sono misurati:

F in Kgp e A_r

Sono calcolati, in corrispondenza di questi:

F in N , A_u , X

e se ne ricava la tabella seguente:

F (Kgp)	F (N)	A_r (m)	A_u	X ($\text{sec}^2/\text{m Kg}$)
20	196	1,14	1,27	$6,48 \cdot 10^{-3}$
40	392	1,52	1,69	$4,31 \cdot 10^{-3}$
60	588	2,00	2,22	$3,77 \cdot 10^{-3}$
80	784	2,71	3,01	$3,84 \cdot 10^{-3}$

che riportata graficamente dà quanto esposto in fig. 42.

Test 2 - Prova di trazione su una corda con forza applicata crescente e decrescente.

Rispetto al test 1 lo schema di prova (fig. 43) è provvisto anche di una leva di riduzione della forza, che permette la misura di carichi maggiori della portata dello strumento. Essa è collegata per un estremo al dinamometro ed è fulcrata all'altro estremo su un ancoraggio fisso, presentando nel contempo due attacchi intermedi, per i campioni in prova, ad $1/2$ ed $1/3$ della sua lunghezza.

Anche in questo caso si applicherà la relazione:

$$X = A_r/F = A_u/F$$

Sono note:

corda Joanny 9 mm \varnothing nuova
nodi guida (alle due estremità)
l = 2,00 m (fra due indici di riferimento)

Sono misurati:

F in Kgp e A_r

TEST 1 - PROVA DI TRAZIONE SU UNA MOLLA ELICOIDALE

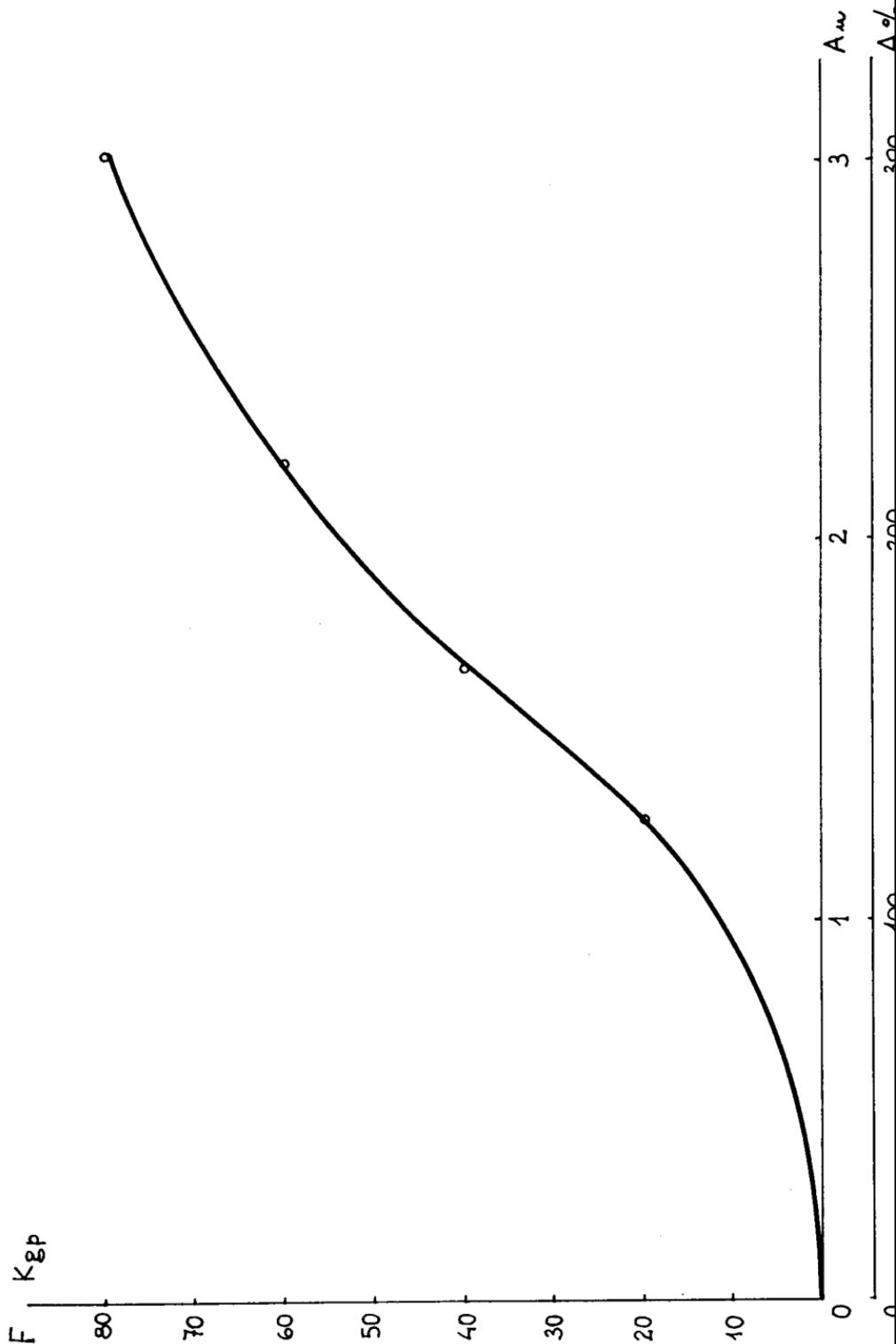
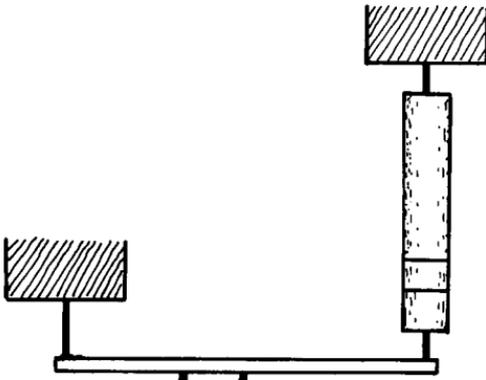
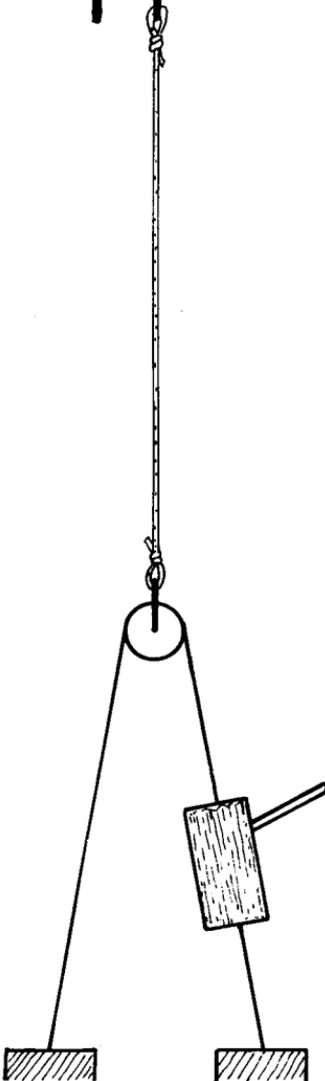


FIG 42



DINAMOMETRO
CON LEVERAGGIO

CORDA IN
PROVA



MARTINETTO
CON PARANCO

FIG 43

Sono calcolati, in corrispondenza di questi:

F in N , A_u , X

F (Kg p)	F (N)	A_r (m)	A_u	X ($\text{sec}^2/\text{m Kg}$)
200	1.960	0,33	0,165	$8,4 \cdot 10^{-5}$
400	3.920	0,45	0,225	$5,7 \cdot 10^{-5}$
600	5.880	0,52	0,260	$4,4 \cdot 10^{-5}$
800	7.840	0,58	0,290	$3,7 \cdot 10^{-5}$
1000	9.800	0,62	0,310	$3,2 \cdot 10^{-5}$
800	7.840	0,61	0,305	$3,9 \cdot 10^{-5}$
600	5.880	0,58	0,290	$4,9 \cdot 10^{-5}$
400	3.920	0,54	0,270	$6,9 \cdot 10^{-5}$
200	1.960	0,48	0,240	$12,2 \cdot 10^{-5}$
0	0	0,23	0,115	-

ricavando anche in questo caso il grafico corrispondente (fig. 44).

Test 3 - Prova di caduta choc di un peso su una corda statica.

Lo schema di prova (fig. 45) comprende, oltre all'apparato dinamometrico, un peso costituito da una gabbia contenente grossi dischi di metallo e un paranco che permette di variare l'altezza del peso stesso e quindi il fattore di caduta.

La corda viene fissata tra la leva di riduzione della forza ed il peso che, sganciato repentinamente, le trasmette una sollecitazione choc.

Quest'ultima, oltre che misurata sperimentalmente, potrà essere calcolata teoricamente con la relazione:

$$F_m = \sqrt{2Ph/Xl} = \sqrt{2PF_c/X}$$

in cui:

- F_m forza massima
- P peso
- X coefficiente di elasticità
- h altezza di caduta
- l lunghezza della corda
- F_c fattore di caduta

TEST 2 - PROVA DI TRAZIONE SU UNA CORDA CON FORZA
APPLICATA CRESCENTE E DECRESCENTE

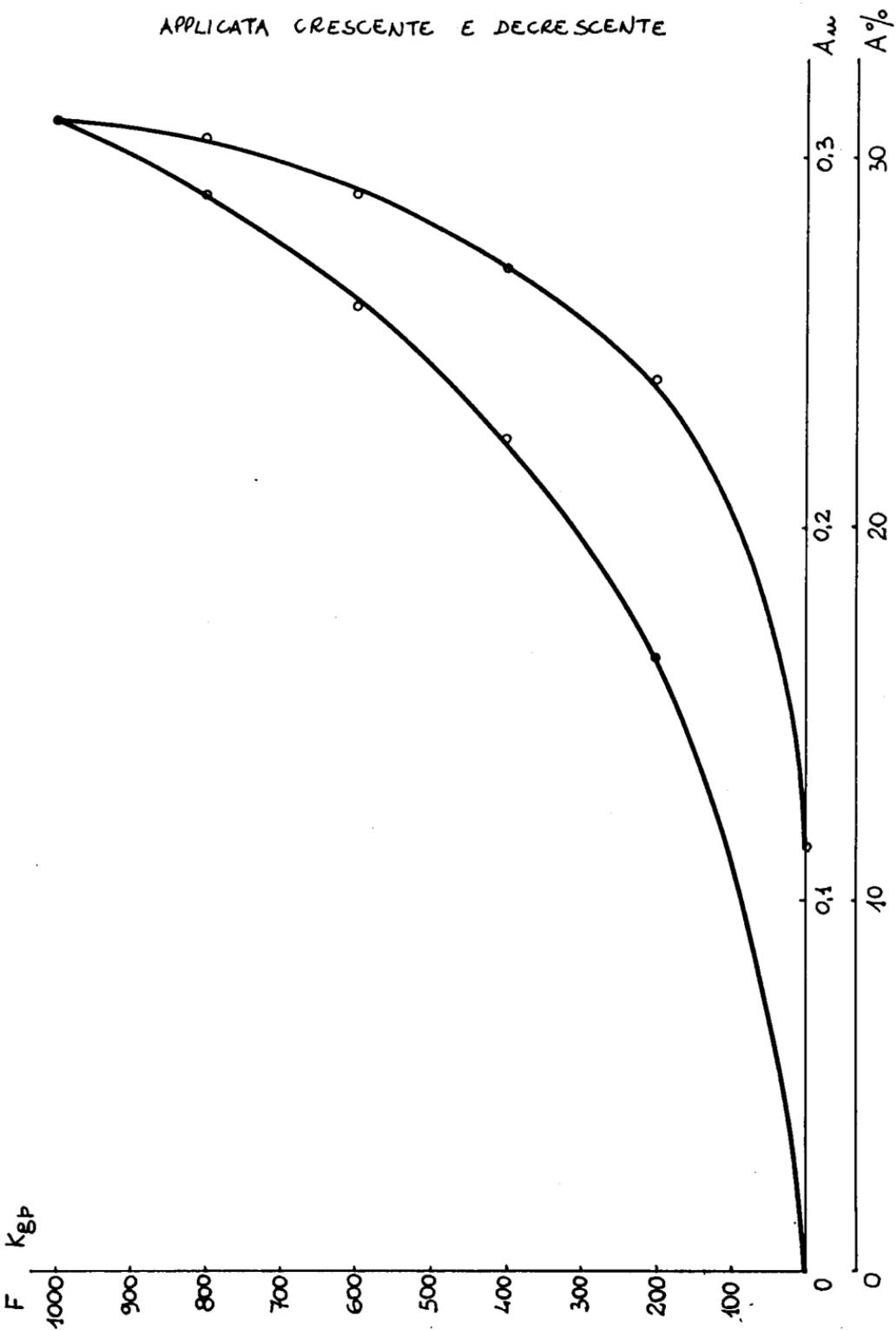
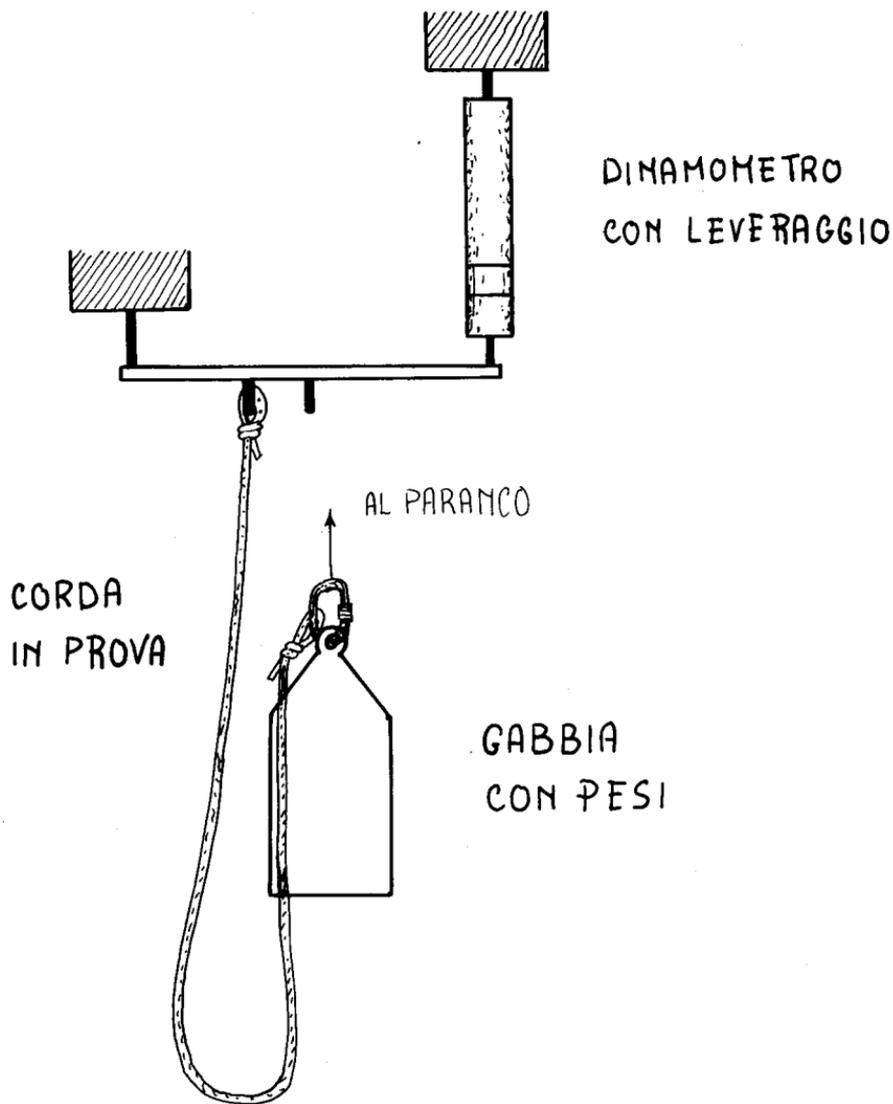


FIG 44



Sono noti:

$$P = 77,3 \text{ Kgp}$$

corda Edelrid statica nuova \varnothing 10 mm

nodi guida alle estremità

$$X = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg (a 100 Kgp)}$$

$$l = 2,50 \text{ m fuori tutto}$$

Ad ogni prova viene cambiato il campione di corda.

Sono misurati:

$$F_m \text{ ed } h$$

Sono calcolati in corrispondenza:

$$F_m \text{ e } F_c = h/l$$

F_m speriment. (Kgp)	F_m teorica (Kgp)	h (m)	F_c
600	496	0,97	0,4 (0,39)
780	610	1,47	0,6 (0,59)
975	710	2,00	0,8
1125	794	2,50	1

Il grafico relativo è riportato in fig. 46.

Test 4 - Prova di caduta choc di un peso su una corda dinamica.

La prova è identica al test 3 (fig. 45). Anche in questo caso si applica la relazione:

$$F_m = \sqrt{2 P h / X l} = \sqrt{2 \cdot P F_c / X}$$

Sono noti:

$$P = 77,3 \text{ Kgp}$$

corda Edelrid dinamica nuova \varnothing 9 mm

nodi guida alle estremità

$$X = 1 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^2/\text{m Kg (a 80 Kgp)}$$

$$l = 2,50 \text{ m fuori tutto.}$$

TEST 3 - PROVA DI CADUTA SHOCK DI UN PESO SU UNA
CORDA STATICA

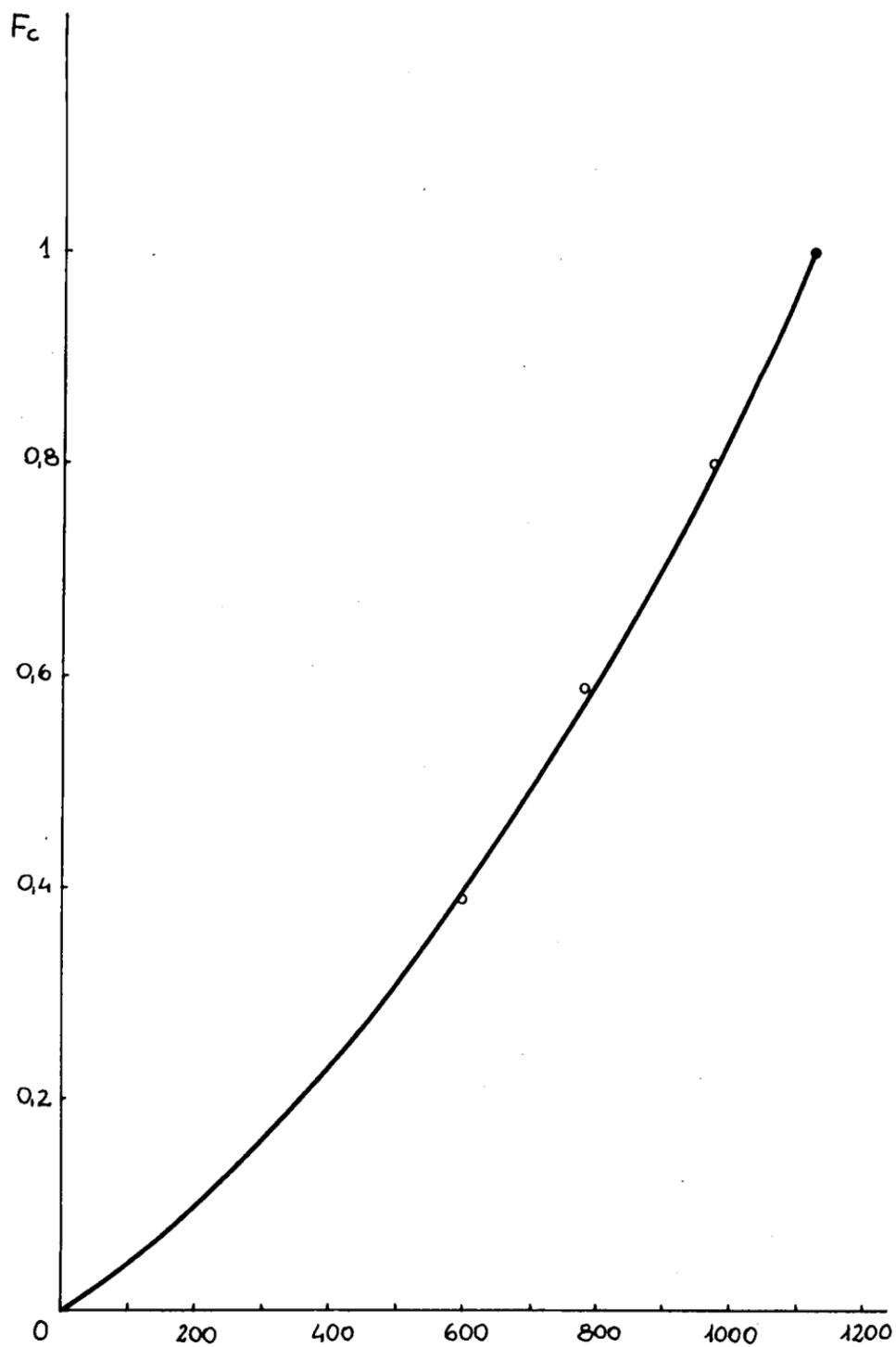


FIG 46

Ad ogni prova viene cambiato il campione di corda.

Sono misurati:

$$F_m \text{ ed } h$$

Sono calcolati in corrispondenza:

$$F_m \text{ e } F_c = h/l$$

Fm sperim. (Kgp)	Fm teorica (Kgp)	h (m)	Fc
360	402	1,00	0,4
480	500	1,55	0,6 (0,62)
570	568	2,00	0,8
630	635	2,50	1

Il grafico relativo è riportato nella fig. 47.

Test 5 - Prova di caduta choc di un peso su una corda statica con e senza nodi ammortizzanti.

Modalità di prova e configurazione di misura come al test 3 (fig. 45). A metà corda circa è ricavato un nodo ammortizzante (nodo guida), che dovrebbe avere la funzione, disfacendosi sotto carico, di assorbire una certa aliquota di energia, riducendo così la sollecitazione massima che si produce.

Purtroppo le prove effettuate e riportate nel seguito sono discordanti fra loro e con altre dello stesso tipo, sconsigliando quindi per ora l'impiego di tali sistemi.

Sono noti:

$$P = 90,1 \text{ Kgp}$$

nodi guida alle due estremità

caratteristiche corde:

— Ø 8 mm Edelrid statica nuova (in una prova è stata impiegata una corda usata)

$$X = 5 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$$

TEST 4 - PROVA DI CADUTA SHOCK DI UN PESO SU UNA
CORDA DINAMICA

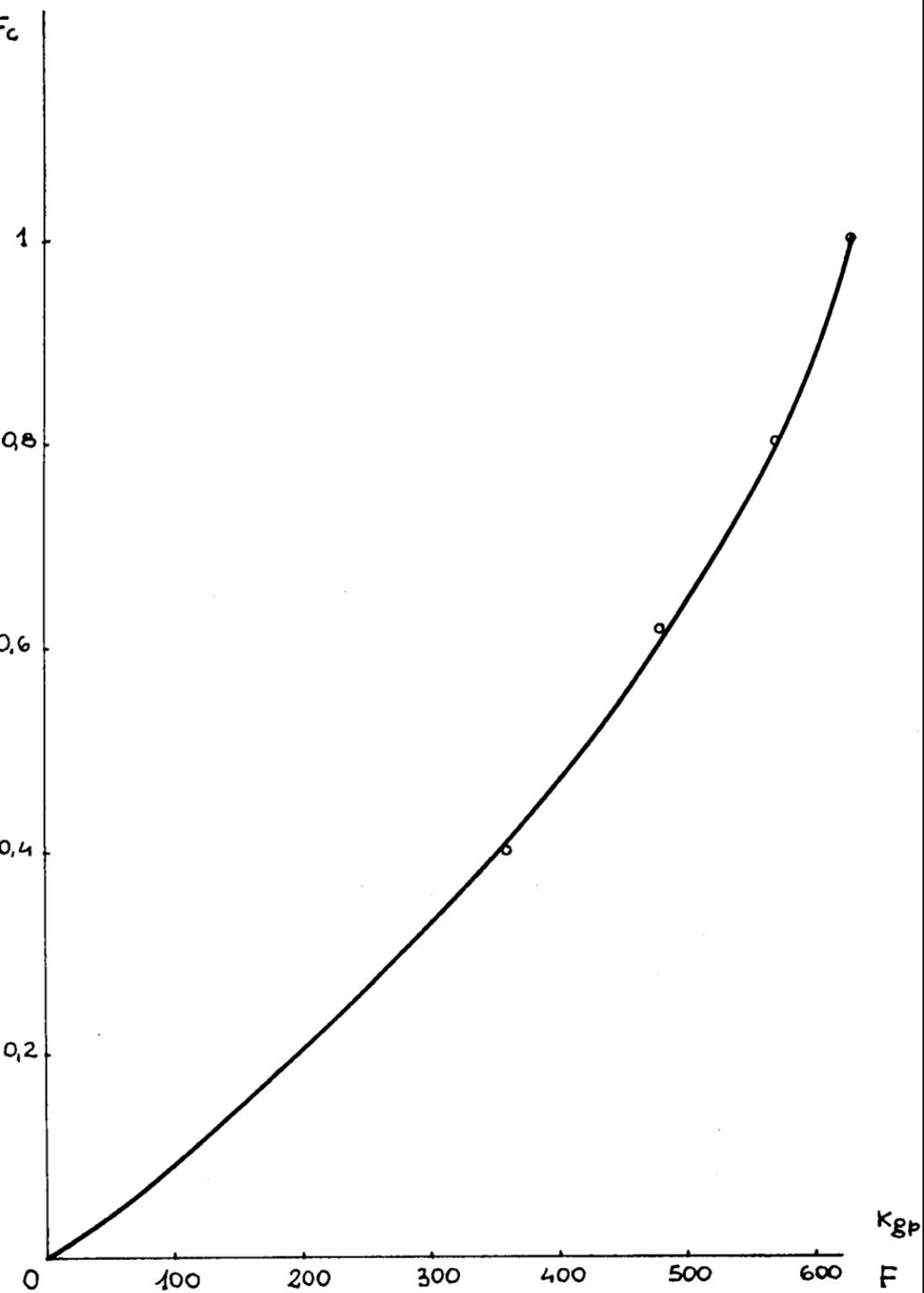


FIG 47

– Ø 10 mm Edelrid statica nuova

$$X = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{Kg m}$$

Sono misurati:

F_m in Kgp, F_c , l_c (lunghezza del campione), l_g (lunghezza della gassa determinata dal nodo ammortizzante) secondo lo schema di fig. 48.

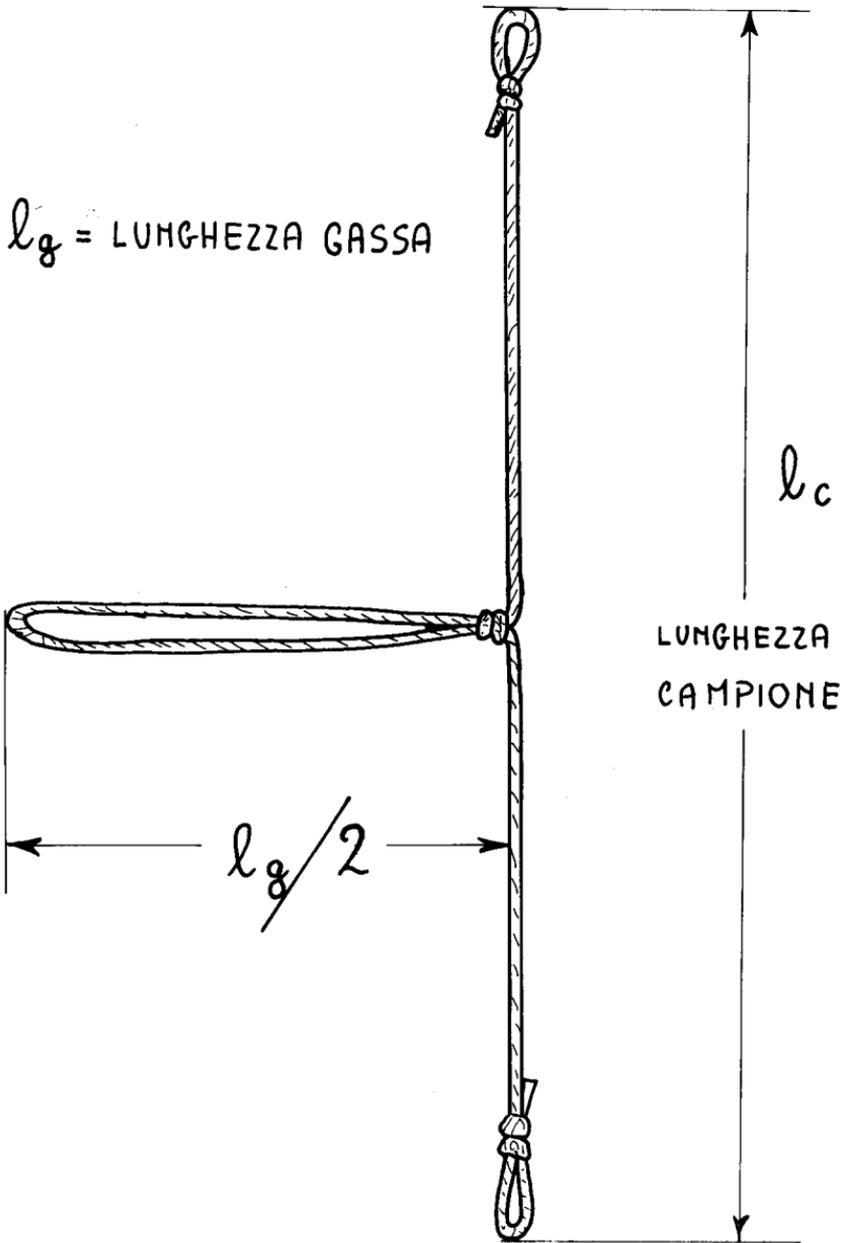
Si ricava la seguente tabella:

	F_m (Kgp)	F_c	campioni di corda	l_c (m)	l_g (m)	note
SENZA NODO	630	0,4	Ø 8 n. 1	-	-	OK
	1050	1	Ø 8 n. 2	-	-	OK
	840	1	Ø 8 n. 2	-	-	rottura
CON NODO	150	1	Ø 8 n. 3	2,50	2,00	rottura
	210	1	Ø 8 n. 4	1,70	0,90	rottura
	720	1	Ø 8 n. 5	1,40	-	corda usata scalzata sul nodo
	870	1	Ø 10 n. 1	2,00	0,70	OK
	750	1	Ø 10 n. 1	gassa ridotta 0,50		OK
	510	1	Ø 10 n. 1	gassa ridotta 0,06		OK
	660	1	Ø 10 n. 1	nodo disfatto calza lesionata		OK
	120	1	Ø 8 n. 6	2,00	0,50	rottura
SENZA NODO	600	1	Ø 8 n. 7	dissipatore per corde da Ø 10		scorre la corda
	150	1	Ø 8 n. 8	dissipatore per corde da Ø 8		rottura

Test 6 - Prova di caduta choc di un peso su insieme corda statica-moschettone e cavo d'acciaio-moschettone.

Modalità di esecuzione ancora come in fig. 45. La corda in prova e, suc-

$l_g =$ LUNGHEZZA GASSA



cessivamente, il cavo d'acciaio sono inseriti tramite un moschettone in lega leggera con limitato carico di rottura.

L'esperienza tende a dimostrare (e ci si riesce dopo qualche incertezza iniziale dovuta forse alla vetustà dei moschettoni usati) che in una catena di sicurezza l'inserzione di elementi poco elastici (p. es. cavo d'acciaio), anche se con elevato carico di rottura, produce sollecitazioni rette bene da questi ultimi, ma non sopportate da quelle strutture che costituiscono gli anelli più deboli della catena stessa (p. es. moschettone).

Sono noti:

$$P = 90,1 \text{ Kgp}$$

$$F_c = 1$$

corda Edelrid statica nuova \varnothing 10 mm

nodi guida alle estremità

$$X = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$$

cavo \varnothing 12 mm Teci AER 2

$$X_{\text{cavo}} \ll X_{\text{corda}}$$

I risultati, misurati e calcolati nel modo già noto, sono riportati nella seguente tabella:

	F_m (Kgp)	Moschettoni	note
CON CORDA	225	Simond parallelo in lega $F_r = 1500$ Kgp	rottura moschettone
	175	Bonaiti parallelo in lega $F_r = 1500$ Kgp	rottura moschettone
	1320	Simond parallelo in lega $F_r = 1500$ Kgp	OK
CON CAVO	420	Simond parallelo in lega $F_r = 1500$ Kgp	rottura moschettone

Test 7 - Prova di caduta choc di un peso su una corda dinamica, ripetuta fino alla rottura.

Modalità di esecuzione come al test 3 (fig. 45). La prova consiste nel sottoporre una corda ad una serie di choc causati dalla caduta di un peso, allo scopo di produrle un "affaticamento" che la porta prematuramente alla rottura.

Sono noti:

$$P = 90,1 \text{ Kgp}$$

$$F_c = 1$$

corda Edelrid dinamica nuova \varnothing 11 mm

nodi guida alle estremità

$$X = 7,4 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$$

$$l = 2,5 \text{ m fuori tutto}$$

È misurata: F_m in Kgp.

Si ottengono i seguenti risultati:

n. choc	F_m (Kgp)	note
1	780	OK
2	900	OK
3	1020	OK
4	1080	OK
5	1110	OK
6	1140	OK
7	1150	OK

che riportati in grafico danno la fig. 49.

TEST 7 - PROVA DI CADUTA SHOCK DI UN PESO SU UNA
CORDA DINAMICA RIPETUTA FINO A ROTTURA

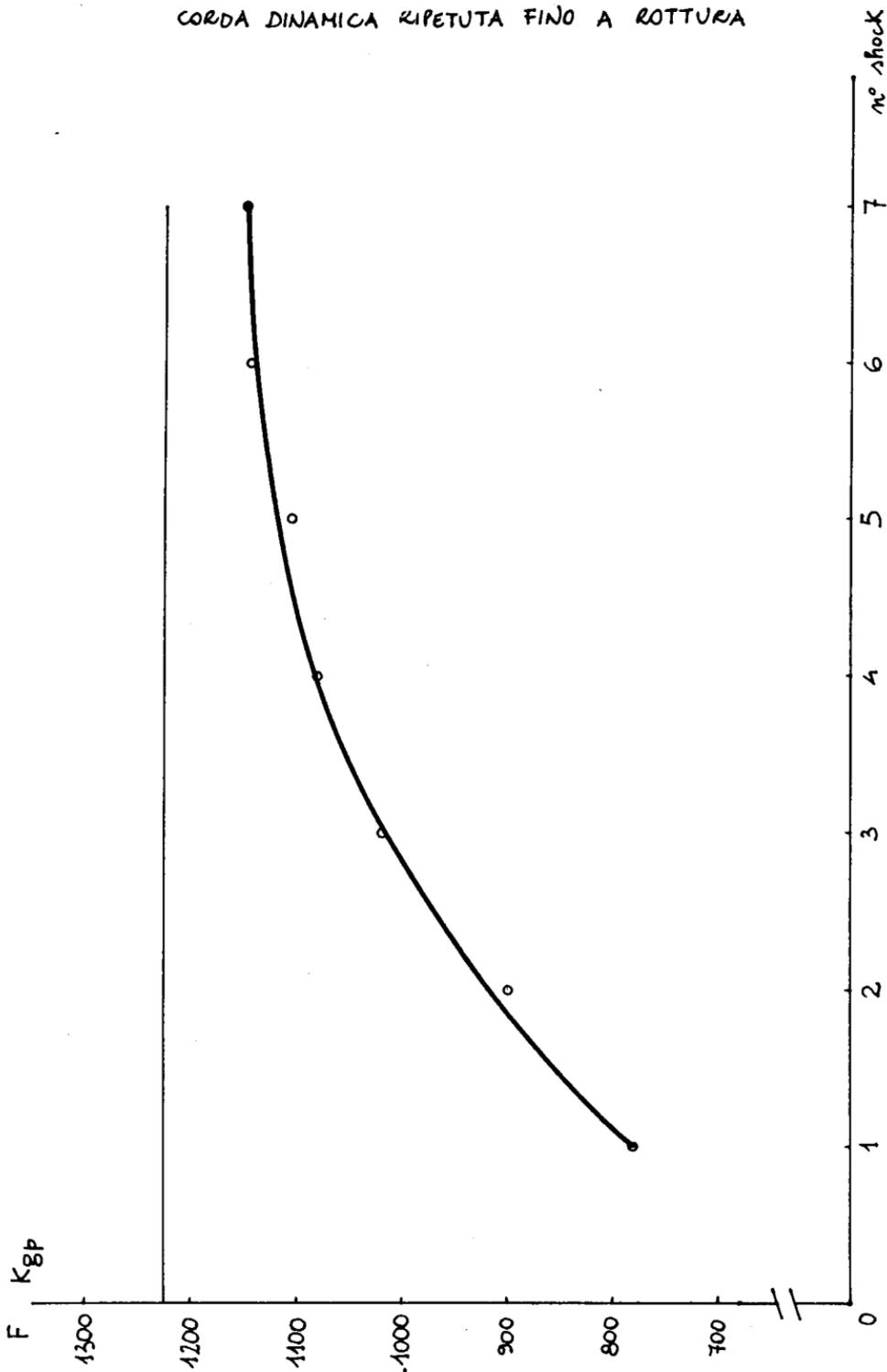


FIG 49

Capitolo III
PROVE SPERIMENTALI SU CORDE DI DIAMETRO
RIDOTTO (°)
(F. Salvatori)

Test 1 - Prove di caduta choc di un peso su corda statica diametro 8 mm

Restando invariata la simbologia precedentemente adottata e facendo riferimento alla fig. 45, l'esperienza viene effettuata nelle seguenti condizioni:

Peso 79,8 Kgp 1 = 2 m nodi = guida con frizione
diametro = 8 mm Corda Edelrid S. Statica nuova.

L'esperienza consiste nel sollecitare lo stesso campione di corda a fattori di caduta crescenti e quindi nel ripetere gli choc a fattore di caduta 1 fino alla rottura.

Si sono avuti i seguenti risultati:

F_c	F_m (Kgp)
0,60	660
0,71	750
0,84	870
1	930
1	1170
1	1500 rottura della corda

(°) Effettuate durante Pantaspeleo 83
Costacciaro - CNS - 3 novembre 1983

Test 2 - Prove di caduta choc di un peso su una corda statica diametro 9 mm

Tutto si svolge come nell'esperienza precedente e sotto le seguenti condizioni:

Peso = 79,8 Kgp 1 = 2 m nodi = guida con frizione
diametro = 9 mm Corda Joanny Statica nuova

Si ha per risultato:

F_c	F_m (Kgp)
0,53	540
0,66	600
0,79	750
1	780
1	990
1	1080
1	1110
1	1140
1	1140
1	1155 la corda non si è rotta

Test 3 - Prove di caduta choc di un peso su una corda statica diametro 8 mm con nodo ammortizzante

Anche questa esperienza viene svolta come le precedenti, solo che nel campione di corda è inserito un nodo delle guide con una gassa di 74,5 cm. Corda Edelrid S. Statica diametro 8 mm, nuova.

Sotto l'azione di una sollecitazione a $F_c = 1$ si registra una $F_m = 630$ Kgp, senza rottura della corda e riduzione della gassa di 14,5 cm.

Sul nodo ammortizzante la calza è stata asportata per circa 15 cm.

Ad un successivo choc con $F_c = 1$ la corda si è rotta sul nodo ammortizzante.

Capitolo IV

PROVE SPERIMENTALI SU ATTREZZATURE MECCANICHE DI PROGRESSIONE IN GROTTA (°) (G. Guerriero)

PREMESSA

Se non diversamente indicato nei singoli test, le modalità delle prove sono state le seguenti:

- schema di prova
comprende - come nelle prove precedenti - un dinamometro di tipo meccanico solidale con una costruzione in muratura opportunamente rinforzata con tiranti e collegato con una leva di riduzione della forza per la misura di sollecitazioni maggiori della portata dello strumento.
Completa lo schema una gabbia di pesi e un paranco per variare il fattore di caduta (fig. 50).
- corda
Edelrid statica Ø 10 mm nuova
l = 2,00 m fuori tutto
lunghezza del bando lasciato sotto l'attrezzo cm 100/200 il campione di il campione di corda viene cambiato ad ogni misura
- nodi
guida per la congiunzione al dinamometro
guida con frizione per il frazionamento simulato
- $P = 76,6 \text{ Kgp}$

(°) Effettuate nell'ambito del "Corso Speciale di analisi teorico-sperimentale sulla tecnologia delle attrezzature di progressione in grotta, con particolare riferimento alle caratteristiche dei bloccanti e dei discensori".

Costacciaro - CNS - 7 aprile 1984

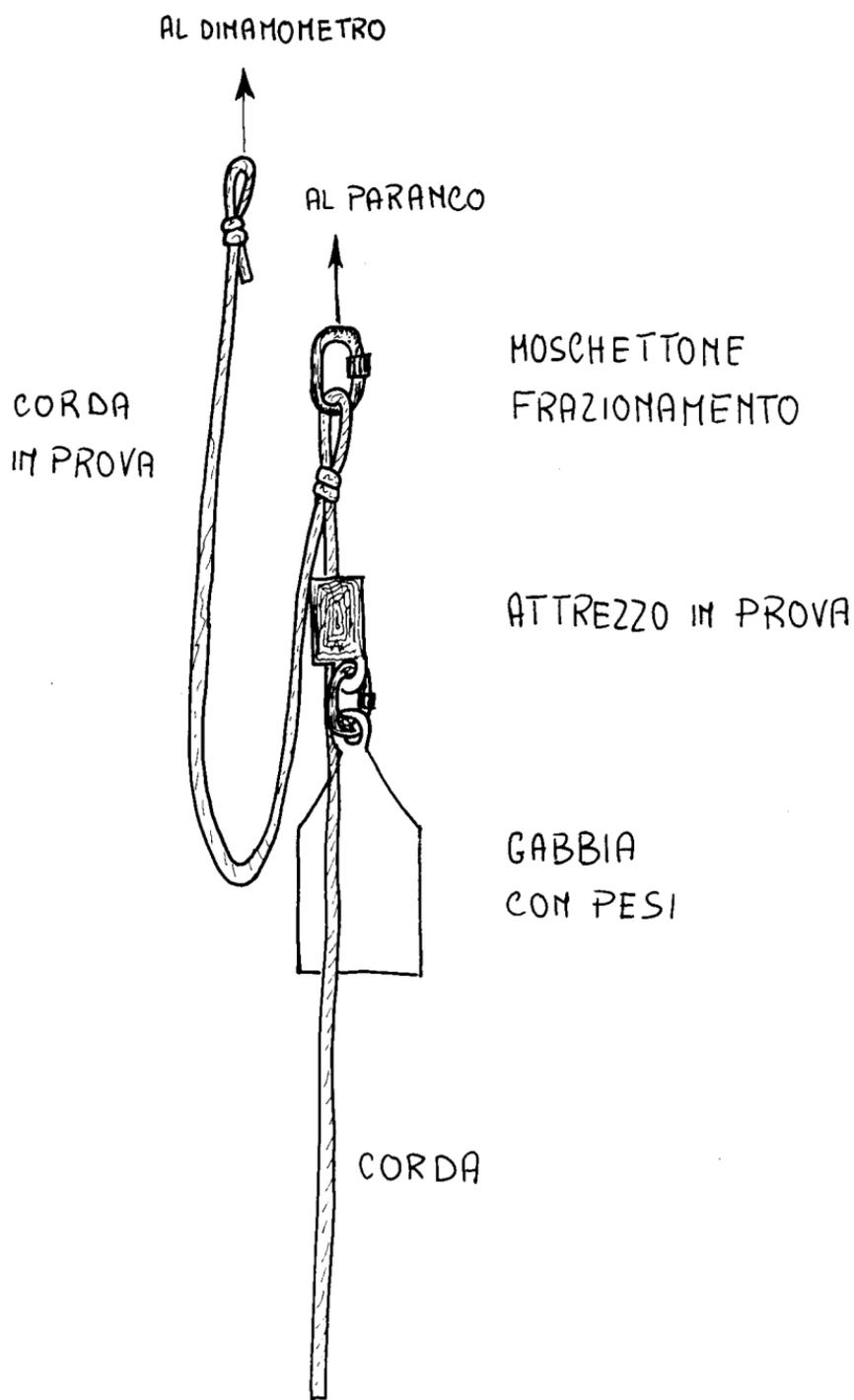


FIG 50

– attrezzo

Sono stati usati pezzi nuovi e numerati. Alcuni di essi sono stati utilizzati in più di una prova.

Sono stati collocati circa 10 cm sotto il nodo del frazionamento presunto, nel quale - per una realistica simulazione - è stato inserito un moschetto-ne Simond parallelo in lega.

Le notizie ed i dati fra parentesi non sono certi o sono di dubbia interpretazione.

Test 1 - Croll

F_c	F_m	
0,2	300	Croll 1 Attrezzo in buone condizioni. Si apre, (non è scorso). Corda intatta. Strizione del nodo di frazionamento.
0,6	480	Croll 1 Attrezzo in buone condizioni. Si apre. (È risalito di qualche cm). Piccolo taglio alla calza. (Strizione del nodo di frazionamento). La prova è invalidata per errata manovra.
0,6	570	Croll 1 Attrezzo in buone condizioni. Si apre. (Non è scorso). Piccolo taglio sulla calza. Strizione del nodo di frazionamento.
1	615	Croll 1 Calza tranciata per cm 115. Tranciato anche 1 trefolo su 13. Attrezzo in buone condizioni. È scorso per 115 cm. Si apre. (Strizione del nodo di frazionamento).

Test 1 bis - Croll

F_c	F_m	
0,6	480	Croll 2 Calza tranciata per 90 cm. Attrezzo in buone condizioni. Gola leggermente allargata (1 mm). È scorso per 90 cm. Si apre. Nodo di frazionamento intatto.

Test 1 tris - Croll

F_c	F_m	
0,6	480	Croll 3 Calza tranciata per 40 cm. Attrezzo in buone condizioni. Gola leggermente allargata (1 mm). Scorre per 40 cm. Si apre. Strizione del nodo di frazionamento.

Test 2 - Maniglia Dressler

F_c	F_m	
0,2	330	Maniglia 1 Attrezzo in buone condizioni. Non è scivolato. Si apre. Corda intatta. Strizione del nodo di frazionamento.
0,6	600	Maniglia 1 Attrezzo in buone condizioni. Gola leggermente allargata (1 mm). Non è scorso. Si apre. Corda leggermente fusa sotto il nodo di frazionamento. Strizione completa del nodo di frazionamento.
1	840	Maniglia 1 Attrezzo in buone condizioni. È scorso per 64 cm. Si apre. Calza tranciata per 64 cm. Strizione del nodo di frazionamento.

Test 3 - Bloccante Dressler

F_c	F_m	
0,2	315	Bloccante 1 Attrezzo in buone condizioni. Non è scorso. Si apre. Corda intatta. (Strizione del nodo di frazionamento).
0,6	600	Bloccante 1 Attrezzo in buone condizioni. Non è scorso. Si apre. Corda schiacciata con calza leggermente lesionata. Strizione completa del nodo di frazionamento.
1	480	Bloccante 1 Attrezzo in buone condizioni. È scorso per 70 cm. Si apre. Calza tranciata per 70 cm. Tranciati 5 trefoli su 13. Strizione completa del nodo di frazionamento.

Test 4 - Shunt (con una sola corda inserita)

F_c	F_m	
0,2	300	Shunt 1 Attrezzo leggermente deformato. È scivolato di 7 cm. Corda intatta. Strizione del nodo.
0,6	315	Shunt 1 Leggera deformazione dell'attrezzo. È scivolato di 76 cm. Corda intatta. Strizione del nodo di frazionamento.
1	300	Shunt 1 Attrezzo leggermente deformato. È scivolato di 148 cm. Corda

intatta. Strizione del nodo di frazionamento.

Test 5 - Maniglia Bonaiti

F_c	F_m	
0,2	315	Maniglia 1 Attrezzo intatto. Non è scorso. Corda leggermente schiacciata. Si apre. Strizione del nodo di frazionamento.
0,6	525	Maniglia 1 Attrezzo deformato. Gola allargata (3 mm). Guance non più parallele e disassate. Non si sblocca. Clicchetto girato verso l'alto. È scorsa di 2 cm. Corda danneggiata in corrispondenza del clicchetto. Strizione completa del nodo di frazionamento.
1	420	Maniglia 2 Attrezzato deformato. Gola allargata (3 mm). Guance non più parallele e disassate. Non si sblocca. Clicchetto girato verso l'alto. È scorsa di 80 cm. Calza tranciata per 80 cm. Tranciati 2 trefoli su 13. Strizione completa del nodo.

Test 6 - Maniglia Jumar (l'attrezzo, usato, è del 1964)

F_c	F_m	
0,2	300	Maniglia 1 Attrezzo intatto. È risalito di 3 cm. Corda intatta. Strizione del nodo di frazionamento.
0,6	555	Maniglia 1 Attrezzo intatto. Non è scorso. Corda leggermente schiacciata. Strizione del nodo di frazionamento.
1	840	Maniglia 1 Attrezzo intatto. È scorso di 125 cm. Calza tranciata per 125 cm. Tranciato anche 1 trefolo su 13. Strizione del nodo.

Test 7 - Maniglia Dressler con longhe

In questa prova, restando ferma ogni altra modalità, il peso viene collegato all'attrezzo mediante una longhe in corda dinamica Edelrid Ø 9 mm lunga 60 cm (fig. 51).

F_c	F_m	
1	660	Maniglia 2 Il peso non è trattenuto! Corda danneggiata dal clicchetto che è completamente girato verso l'alto. Calza tranciata. L'attrezzo

AL DINAMO METRO

AL PARANCO

ATTREZZO IN PROVA

LONGE

GABBIA
CON PESI

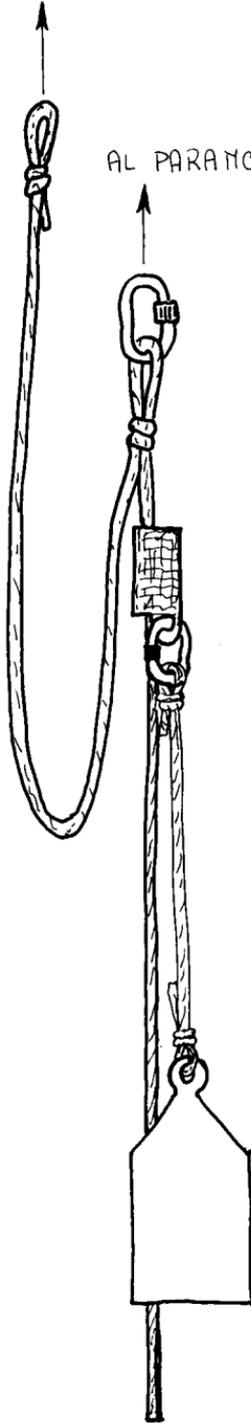


FIG 51

presenta la gola allargata, con le guance non più parallele e disassate.

È probabile che nel volo la maniglia si sia disposta in una posizione anomala (obliqua rispetto alla verticale).

Test 7 bis - Maniglia Dressler con longe

Ripetizione della prova 7 con attrezzature e corde nuove. Longe lunga 70 cm.

F_c F_m

1 360 Maniglia 3

Il peso tocca terra circa 3 m più in basso. Calza tranciata. Maniglia un po' deformata. Si apre. È scorsa di 141 cm. Strizione del nodo di frazionamento.

Test 8 - Croll e maniglia Dressler con longe.

In questa prova il peso viene collegato al croll e quest'ultimo alla maniglia mediante una longe in corda dinamica Edelrid Ø 9 mm lunga 50 cm non lasca, ma anche non tesa completamente (fig. 52).

F_c F_m

1 600 Croll 4 - Maniglia 4

Il peso viene trattenuto. Calza tranciata dal croll. Tranciato anche 1 trefolo su 13. (La maniglia è scorsa sull'anima scoperta). Il croll risulta leggermente deformato. Si apre. È scorso di 20 cm. La maniglia è intatta. Si apre. È scorsa di 12 cm. Strizione del nodo di frazionamento.

Test 9 - Croll e maniglia Dressler con longe

In questa prova il peso viene collegato al croll e quest'ultimo alla maniglia mediante una longe in corda dinamica Edelrid Ø 9 mm lunga 50 cm. A differenza della prova precedente, croll e maniglia sono posizionati sulla corda in modo da essere ravvicinati al massimo (fig. 53).

F_c F_m

1 540 Croll 4 - Maniglia 4

Il peso viene trattenuto. Calza tranciata dal croll. Tranciato anche 1 trefolo su 13. Croll intatto. Si apre. È scorso di 81 cm. Maniglia intatta. Si apre. È scorsa di 25 cm. Strizione completa del nodo di frazionamento.

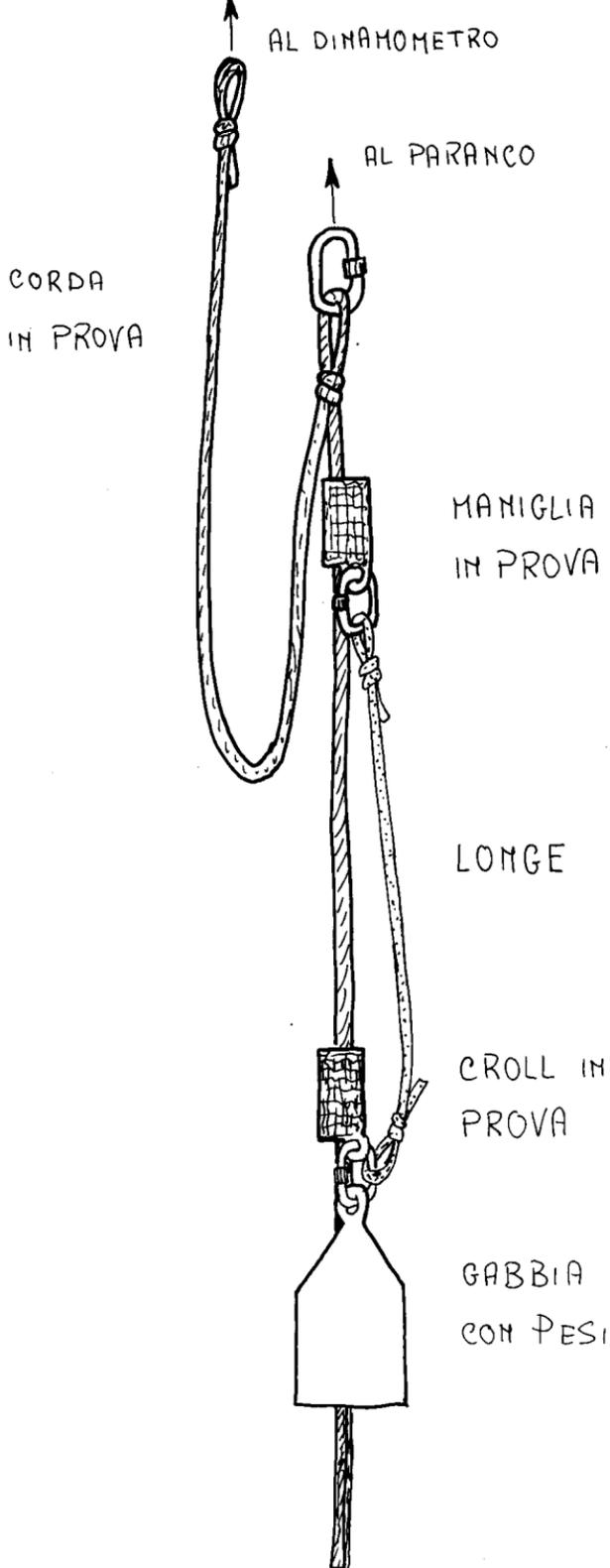


FIG 52

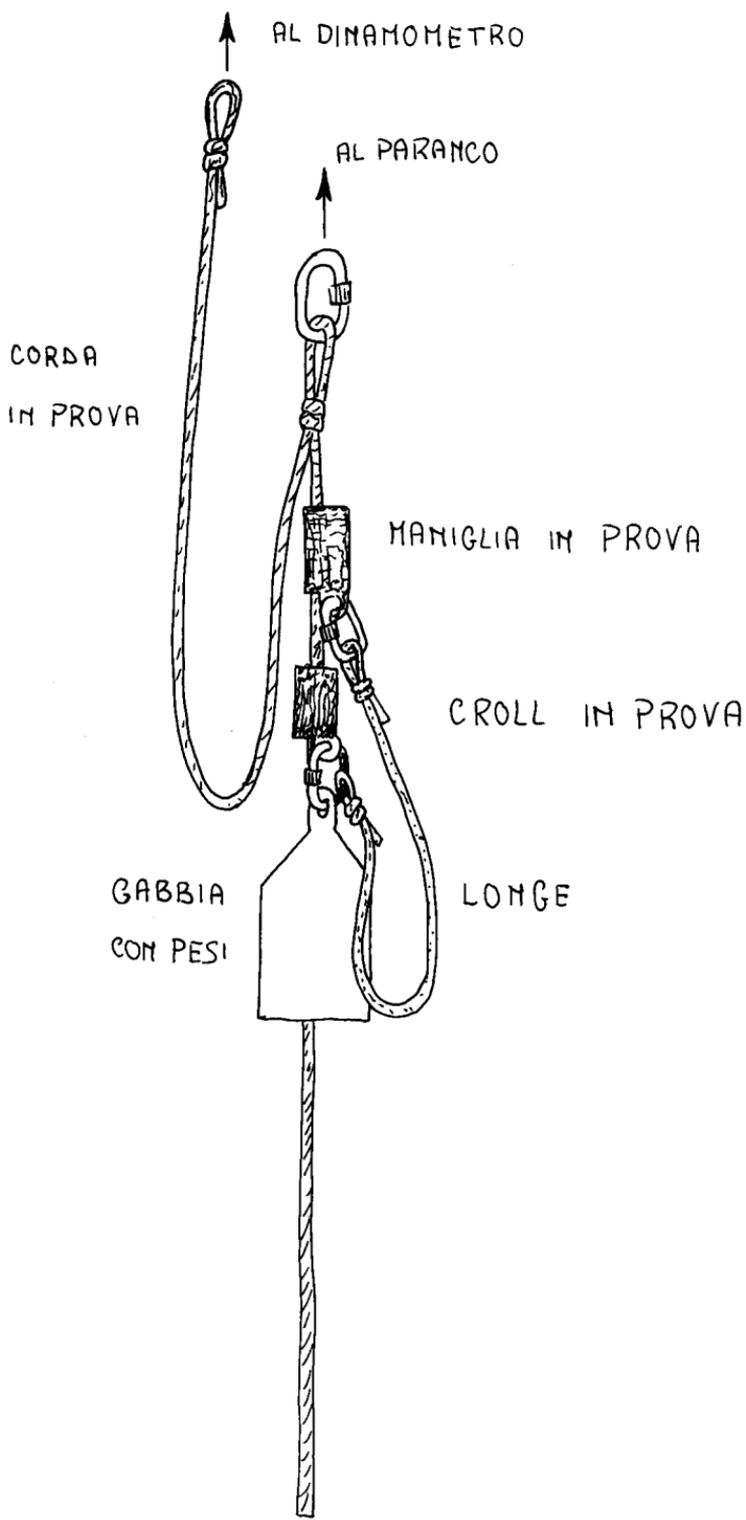


FIG 53

Test 10 - Maniglia Dressler con longe MAO

La prova è analoga alla 7. Il peso viene collegato alla maniglia mediante una longe in corda statica Edelrid Ø 9 mm, passata in una carrucolina e fermata con un nodo cappuccino secondo le modalità del metodo MAO. La distanza fra nodo cappuccino e gassa di ancoraggio al peso è di 75 cm (fig. 54).

F_c F_m

1 420 Maniglia 5

Il peso è trattenuto. Calza tranciata. Maniglia leggermente deformata. Carrucolino intatto. Nodo cappuccino leggermente fuso. L'attrezzo è scorso di 17 cm. Strizione completa del nodo di frazionamento.

Test 11 - Croll e maniglia Dressler con longe MAO

Questa prova analoga alla 8, non è stata effettuata. Lo schema di prova (fig. 55) avrebbe dovuto disporre i due attrezzi, collegati, nella posizione che li prevede il più lontano possibile l'uno dall'altro.

Test 12 - Croll e maniglia Dressler con longe MAO

La prova è analoga alla 9. Il peso viene collegato al croll e quest'ultimo alla maniglia mediante una longe in corda statica Edelrid Ø 9 mm, passata in una carrucolina e fermata con un nodo cappuccino secondo le modalità del metodo MAO. La distanza fra nodo cappuccino e gassa di ancoraggio al peso è di 75 cm (fig. 56).

F_c F_m

1 - Croll 5 - Maniglia 5

Il peso viene trattenuto. Calza tranciata. Croll leggermente deformato. (Si apre). Scorso di 73 cm. (Maniglia deformata). Si apre. Non è scorsa. (Strizione del nodo).

Test 13 - -Discensore autobloccante Petzl (Stop).

Il peso è collegato direttamente al discensore con un moschettoni.

F_c F_m

0,2 330 Discensore 1

Attrezzo intatto. È scivolato di 1 cm. Corda intatta. Strizione del nodo di frazionamento.

0,6 600 Discensore 1

Attrezzo intatto. È scivolato di 3 cm. Corda intatta. Strizione dal nodo di frazionamento.

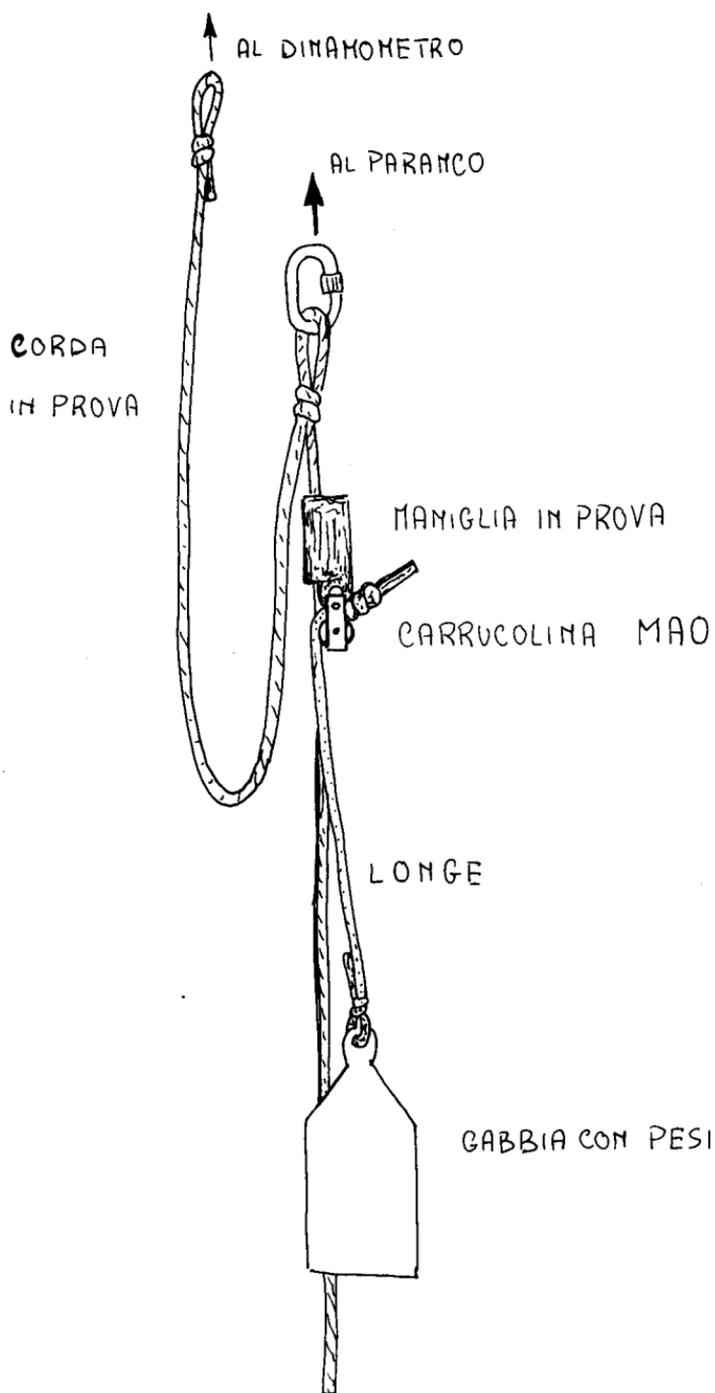


FIG 54

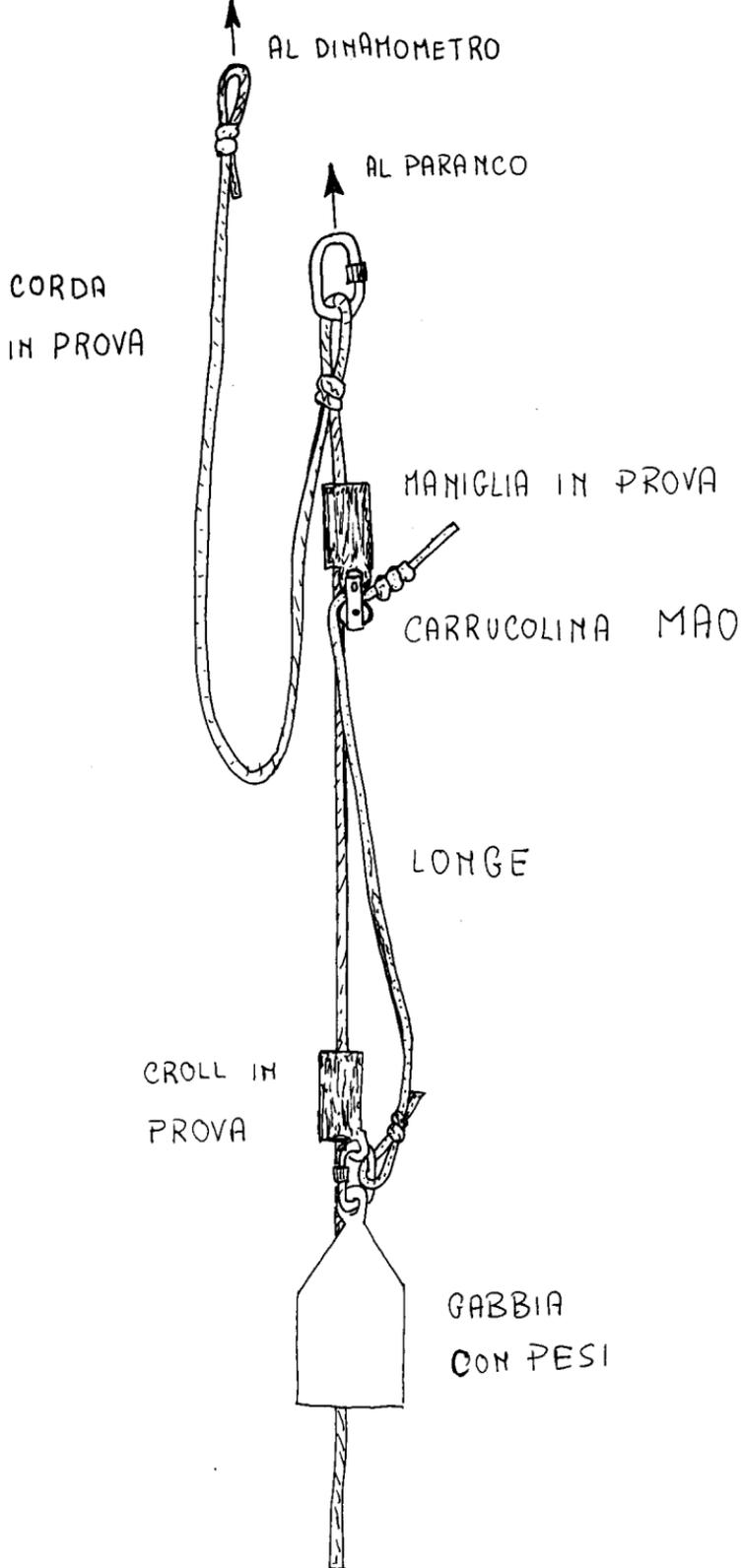


FIG 55

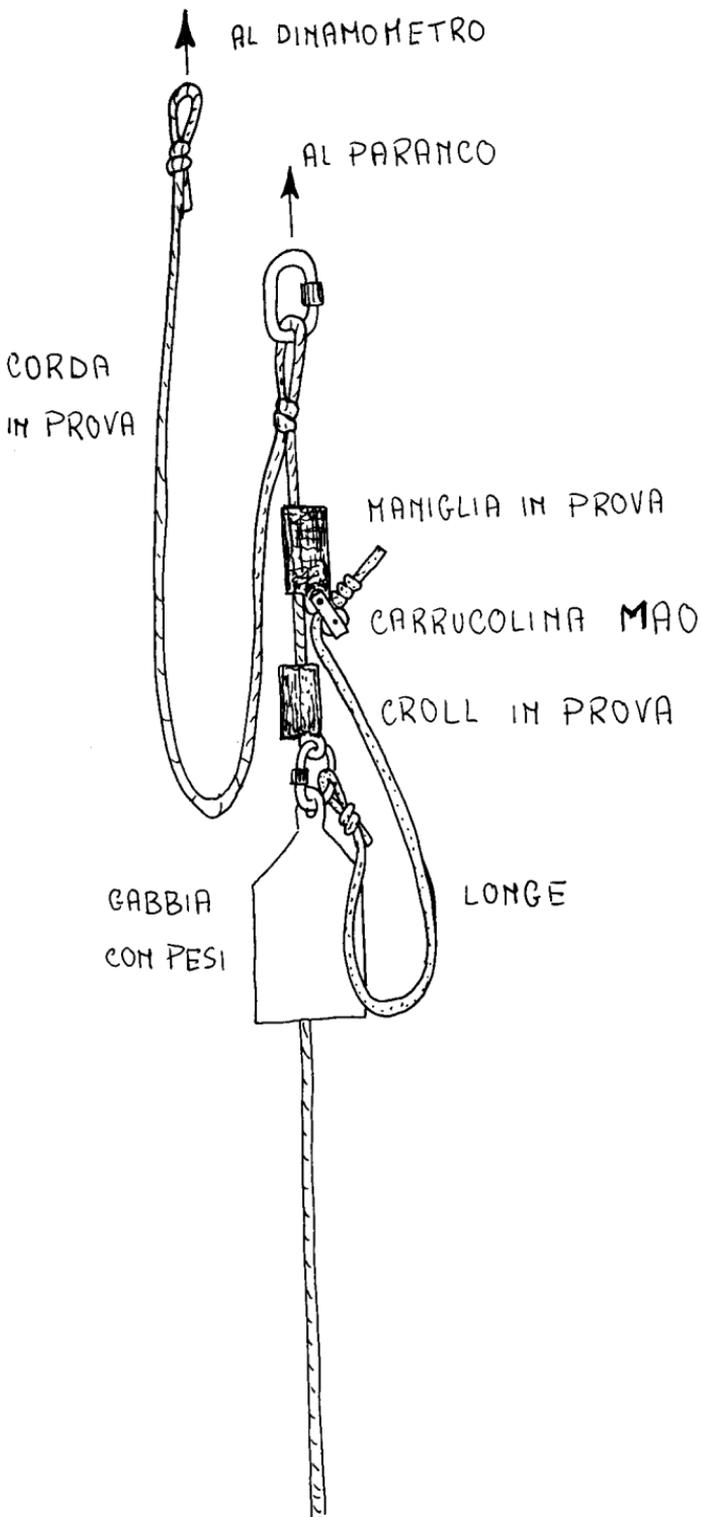


FIG 56

- 1 630 Discensore 1
Attrezzo intatto. È scorso di 3 cm. Corda intatta. Strizione completa del nodo di frazionamento.

Test 14 - Discensore semplice Petzl

L'attrezzo è bloccato sulla corda con una chiave di Meredith.

- | F_c | F_m | |
|-------|-------|---|
| 0,2 | 360 | Discensore 1
Attrezzo intatto. Corda intatta. (Strizione del nodo di frazionamento). |
| 0,6 | 540 | Discensore 1
Attrezzo intatto. Corda intatta. (Strizione del nodo di frazionamento). |
| 1 | 780 | Discensore 1
Attrezzo intatto. Scivola di qualche centimetro. Corda intatta. (Strizione del nodo). |

Test 15 - Discensore autobloccante Petzl (Stop).

Prova eseguita su corda statica Edelrid Ø 9 mm. nuova.

- | F_c | F_m | |
|-------|-------|--|
| 1 | 480 | Discensore 1
Attrezzo intatto. Scivola di 48 cm. Calza leggermente bruciata. (Strizione del nodi di frazionamento). |

Test 16 - Croll

Prova eseguita su corda statica Edelrid Ø 9 mm. nuova.

- | F_c | F_m | |
|-------|-------|--|
| 1 | 540 | Croll (1)
Attrezzo deformato. È scorso di 106 cm. Calza tranciata. Tranciati anche 6 trefoli su 9. Strizione del nodo di frazionamento. |

Test 17 - Discensore autobloccante Petzl (Stop).

Prova eseguita su corda statica Edelrid Ø 8 mm, nuova.

- | F_c | F_m | |
|-------|-------|--|
| 1 | 300 | Discensore 1
L'attrezzo scivola fino a che il peso tocca terra. |

Test 18 - Croll

Prova eseguita su corda statica Edelrid Ø 8 mm.

F_c F_m

1 300 Croll (2)

Il peso non è trattenuto! Corda tranciata.

Test 19 - Croll

In seguito al risultato dubbio della prova 7, nella quale probabilmente la maniglia si è disposta in posizione inclinata rispetto alla corda, causando con ciò il tranciamento della corda stessa con il bordo superiore del clicchetto, si è ritenuto opportuno ripetere la prova con il croll (che è l'attrezzo con maggiori probabilità di posizionarsi in modo anomalo rispetto alla corda, p. es. nei frazionamenti spostati), ponendolo di proposito in posizione inclinata con l'aiuto di due maglie rapide.

È stata utilizzata una corda statica Edelrid Ø 10 mm, nuova.

F_c F_m

1 - Croll (3)

Il peso non è trattenuto. La corda si è lesionata (tranciata a metà in un punto). (Il clicchetto si è girato verso l'alto).

Capitolo V

IL DINAMOMETRO ELETTRONICO: DESCRIZIONE E POSSIBILITÀ DI UTILIZZAZIONE (S. Celesti)

La nostra esperienza sulle prove dinamiche applicata ai materiali speleologici è cominciata alcuni anni fa con l'uso di un dinamometro a molla.

Le prove effettuate con questo strumento avevano il grosso limite di fornirci solo la forza massima raggiunta.

Tra l'altro, l'inserimento di un elemento elastico qual'è il dinamometro a molla in un sistema concatenato di elementi elastici rendeva abbastanza problematica l'interpretazione dei risultati, anche se con opportune tabelle di correzione era possibile "purificare" i dati registrati.

Da considerare, in aggiunta, che il sistema di misura aveva un elevato valore di massa, che influenzava negativamente le letture, in quanto determinava un notevole aumento dei tempi di risposta (ciò impediva, ad esempio, una sperimentazione dinamica dei carichi di rottura).

Inoltre non era in alcun modo possibile registrare la "storia" delle variazioni della forza applicata al campione in prova, da zero alla F_m e quindi di nuovo a zero.

Il dinamometro elettronico

Il sistema che ora usiamo è composto da una cella di carico, un amplificatore in d.c. ad alta sensibilità, un convertitore analogico/digitale con memoria RAM, un registratore a carta.

Esaminiamo ora a grosse linee la composizione ed il funzionamento di tutto il sistema.

La cella di carico o ponte potenziometrico è costituita da un cilindretto metallico (acciaio) in cui sono supportati 4 filetti metallici collegati a Ponte di Wheatstone. Ha la caratteristica fondamentale di non offrire elasticità al sistema, se non in misura del tutto trascurabile (il cilindretto di acciaio ha un coefficiente di elasticità dell'ordine di $5 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{Kgp}$, quindi circa 20 volte più piccolo di quello delle corde speleostatiche), e di avere una massa tal-

mente limitata da essere praticamente ininfluyente sui tempi di risposta (si può affermare che esiste contemporaneità fra sollecitazione e deformazione lineare del cilindretto di acciaio).

La cella quindi agisce sui filetti estensimetrici (variano la loro resistenza al variare dell'allungamento), determinando uno squilibrio del Ponte di Wheatstone e quindi una variazione di tensione lineare alla forza applicata agli estremi. Questa variazione di tensione di pochissimi millivolt viene opportunamente elevata da un amplificatore lineare ad alta sensibilità fino a portarla a valori di alcune centinaia di millivolt, sufficienti per poterli registrare (**disegno 1**).

Il tempo caratteristico della durata di una sollecitazione dinamica del tipo in esame è intorno ai 300/400 millisecondi, con punte minime di 20/30 millisecondi; tempi questi abbastanza ridotti per un registratore a carta non troppo sofisticato e quindi non troppo costoso. È perciò che abbiamo affidato la registrazione dei segnali raccolti dall'estensimetro a uno "SCOPE MEMORY VK 12-2" della VUKO tedesca. È un convertitore analogico/digitale con una memoria RAM di 2 K bytes, capace di immagazzinare il segnale analogico presente in ingresso in un segnale digitale (a rampa) da poter restituire ad un qualsiasi monitor con una base di tempi che può variare da 1 ms a 50 s (scansione di tutta la memoria RAM).

Per la lettura del segnale presente in memoria si può utilizzare sia un oscilloscopio monotraccia che un plotter grafico o registratore a carta.

Il registratore da noi usato è della J.J. INSTRUMENTS inglese, modello CR 500. Non possiede una velocità molto elevata (impiega 1 secondo da zero a fondoscala; molto di più della durata di una nostra misura!), ma questo limite è più che compensato dalle prestazioni dello "SCOPE MEMORY" e giustificato dal relativo basso costo di acquisto. Scrive con un normalissimo pennarello su carta da 200 mm di altezza, a rotolo o "Z fold", ha una sensibilità in ingresso che va da 10 millivolt a 100 volt calibrati, una velocità della carta da 1 mm/min a 10 mm/secondo (**disegno 2**).

Possibilità di analisi.

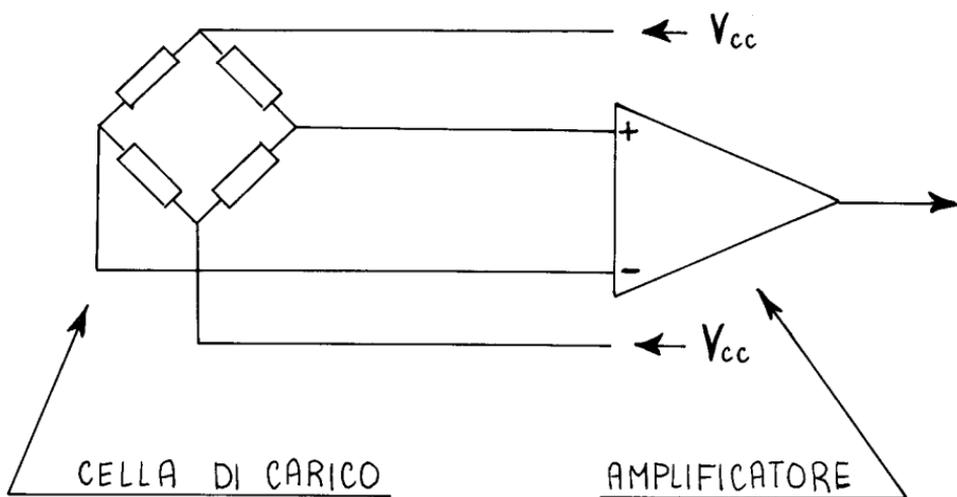
I grafici che si ottengono dal dinamometro elettronico sono delle curve della funzione.

$$F = f(t)$$

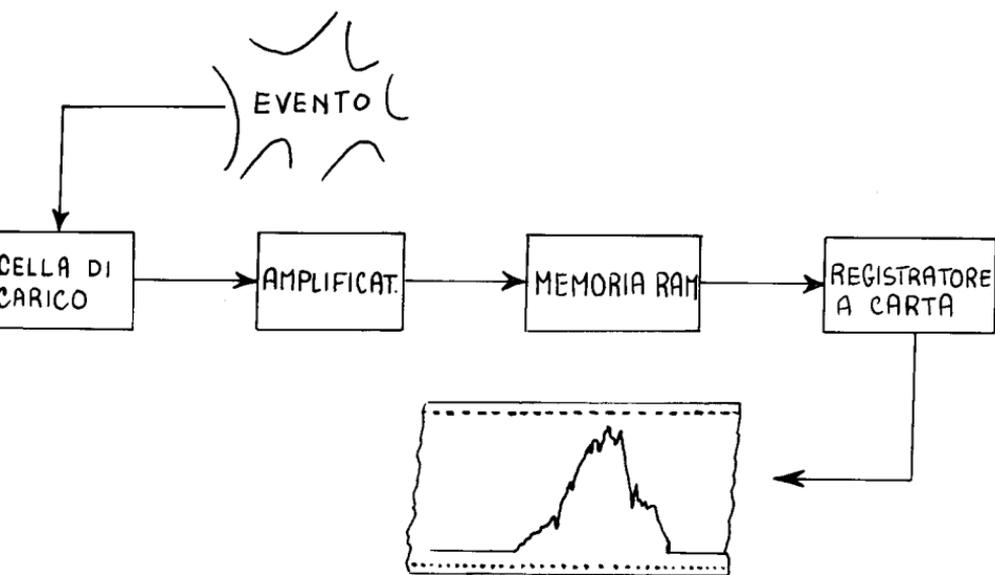
cioè le forze applicate ai campioni in prova in dipendenza dei tempi. Da ciò discende che è possibile avere indicazioni quantitative e qualitative sull'impulso totale:

$$p = \int F dt = m v = m \sqrt{2 gh}$$

DISEGNO 1



DISEGNO 2



che è uguale alla quantità di moto in gioco nella esperienza.

Inoltre è possibile valutare la velocità di allungamento e le sue variazioni

$$V_{au} = Xl \, dF/dt$$

parametro questo di grande interesse, che determina la variazione di parecchie fondamentali caratteristiche delle attrezzature speleo.

Ovviamente possono essere calcolati con estrema facilità i tempi di realizzazione degli choc.

È chiaro dunque che di ogni evento viene registrata la "storia", istante per istante, millisecondo per millisecondo. È una storia fatta di cedimenti e di tensioni, di inversioni e tenute, di collassi parziali e totali, di scorrimenti, di dissipazioni di energia per attrito o per elasticità: ognuna di queste componenti (e altre ancora) lascia il suo segno nella curva ottenuta da una sollecitazione. Dopo di ciò è solo una questione di paziente decifrazione e di separazione di effetti.

Capitolo VI

GRAFICI DI PROVE SPERIMENTALI SU CORDE E ATTREZZATURE SPELEOLOGICHE CON DINAMOMETRO ELETTRONICO (°) (G. Guerriero - S. Celesti)

Prove di caduta choc di un peso collegato ad una corda tramite diversi attrezzi meccanici di progressione in grotta

Queste esperienze sono state fatte come indicato nelle figg. 50-51-52-53-54-55-56 del capitolo precedente. Il sistema di registrazione viene effettuato con il dinamometro elettronico, corredato di computer e scrivente.

Ogni curva è stata contrassegnata con un numero progressivo (che rispecchia anche l'ordine in cui sono state effettuate cronologicamente).

Accanto ad ogni picco è stato contrassegnato il valore di F_m raggiunto. Salvo diversa indicazione in ordinate, dove sono riportate le forze, ogni "millimetro" corrisponde a 10 Kgp (1 mm = lato quadrato elementare). In ascisse sono riportati i tempi; pertanto la distanza che intercorre fra l'inizio e la fine della curva è una misura della durata della sollecitazione impulsiva (choc). Comunque la proporzionalità fra la suddetta distanza ed il tempo reale è una funzione delle basi dei tempi in entrata ed in uscita del computer, nonché della velocità di scorrimento della carta nella scrivente. Questa velocità, salvo diversa indicazione, è di 10 mm/s.

In ogni grafico è specificata la scala dei tempi.

In corrispondenza di ogni curva sono indicate tutte le altre condizioni sperimentali, tranne che il peso P che è sempre 77,2 Kgp.

Si tenga presente che la superficie sottesa alle curve equivale all'impulso totale e quindi alla quantità di moto totale in gioco nell'esperienza.

Salvo diversa indicazione si intende che la corda sia nuova e che vengano sostituiti i campioni di essa ad ogni prova. Gli attrezzi utilizzati sono nuovi.

(°) Effettuate nell'ambito del XIV Corso Nazionale di Perfezionamento Tecnico. Costacciaro - CNS - 21 luglio 1984.

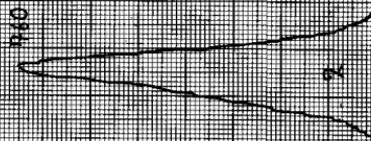
REG. 50ms
OUT 05.5

$F_c = 0.3$



REG. 50ms
OUT 05.5

$F_c = 0.6$



500ms

REG. 50ms
OUT 03.9
 $F_c = 1$



TEST 1 - PROVA DI CARICATA CROCE DI UN PESO SU UNA CORDA STETICA
RISULTATO A 10 mm CON F_c CRESCENTE. NODI GUIDA CON
FRIZIONE $\mu = 2$ m

SPERID. DIAMETRO 3 mm

GUIDA CON FRIZIONE

$l = 2$ m $F_0 = 1$

REG. 50 ms

CUT 0,5 s

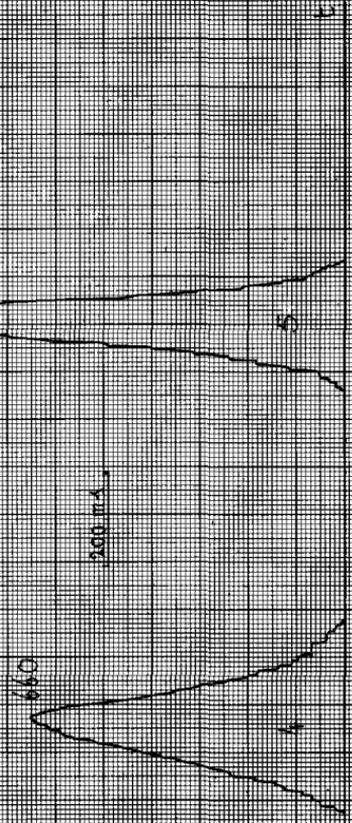
SPERID. DIAMETRO 3 mm

GUIDA CON FRIZIONE

$l = 2$ m $F_0 = 1$

REG. 50 ms

CUT 0,5 s



TEST 2 - PRIMA DI CADUTA CROCI DI UN PESO SU CORDA

DINAMICA E STATICA

F

ESPERIO STATICA USATA
GUIDA CON FREZIONE
REG 50 ms
OUT 0,5 V

$l = 2 \text{ m}$ $F_0 = 4$



TEST 3 - FROVA DI CADUTE CHOC DI UN PESO SU UNA CORDA STATICA USATA
RIPETUTO VARE VOLTE SULLO STESSO CAMPIONE

$\lambda = 3 \text{ m}$ $F_2 = 3$ QUINCE CON FRICCIÓN

NEG. 510 m

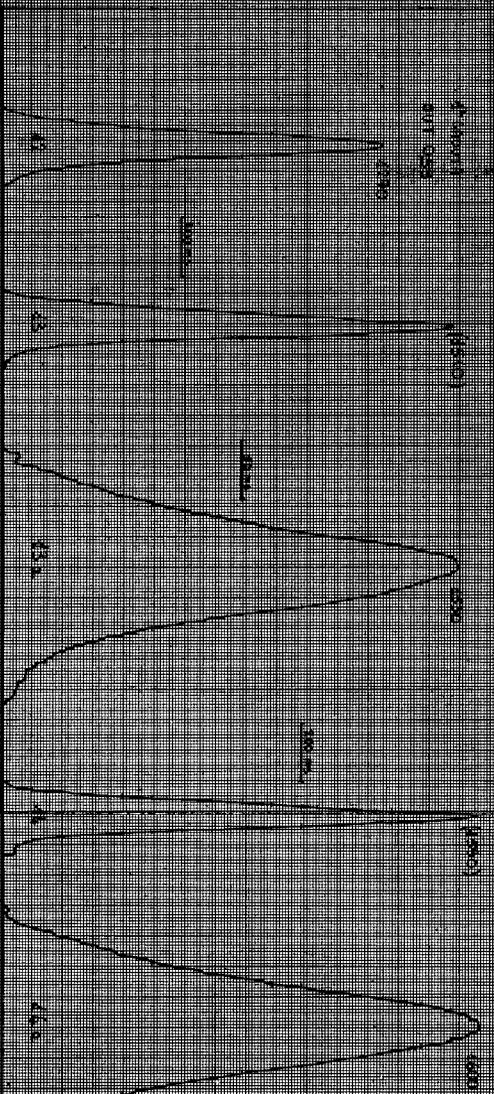
PRIMEROS
CON 0.5%

SEGUNDOS
CON 1%

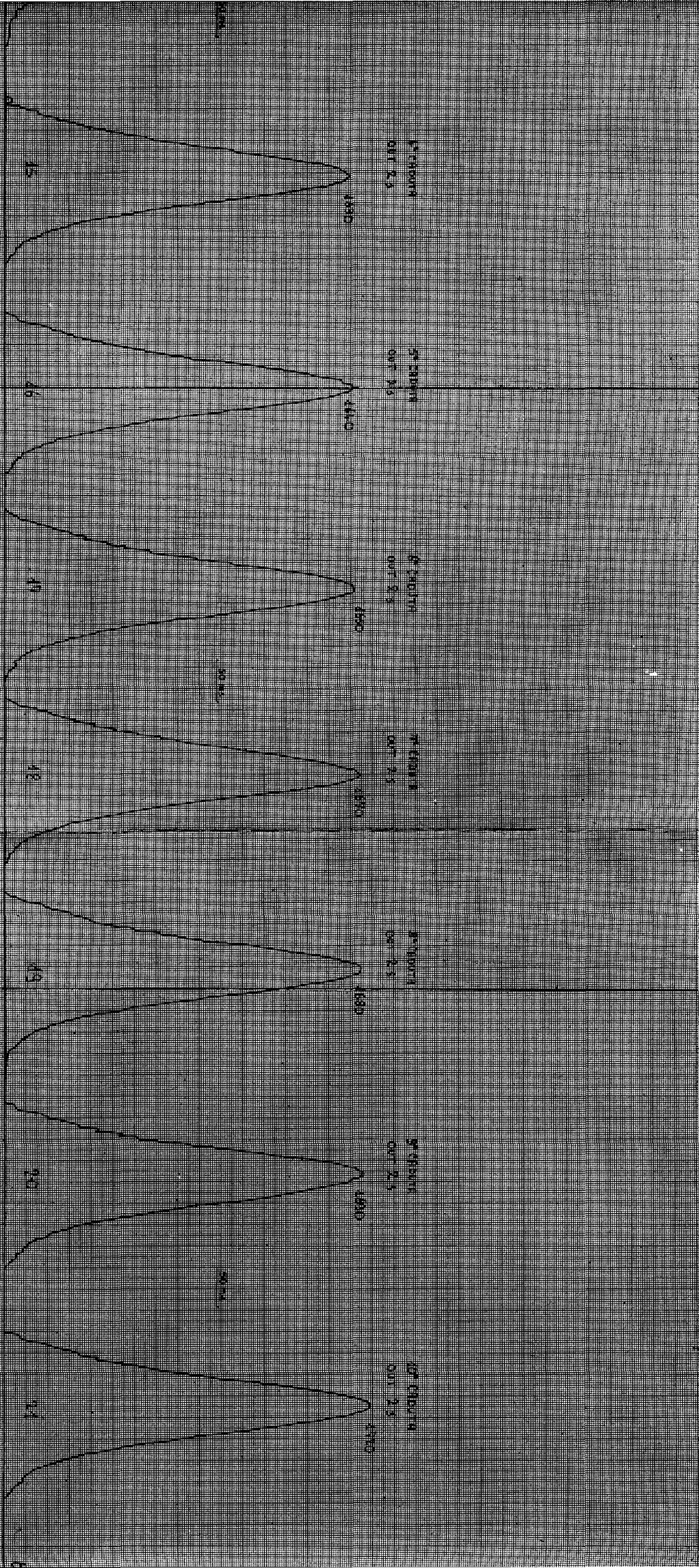
TERCEROS
CON 0.5%

CUARTOS
CON 1.5%

TEST 2 - PROVA DE CAPTA DE AGUA A UN PISO SU VINA CORRA SINTICA EDETRUD ϕ 40 mm



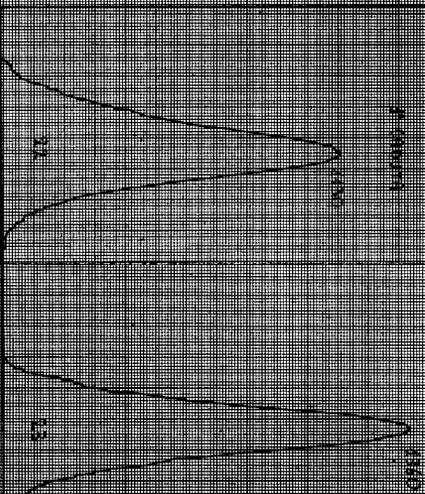
STRESS (KSI) VS. TIME (MIN) (IMPACT)



$R = 3 \text{ m}$ $R_0 = 1$ OUTLINE COM

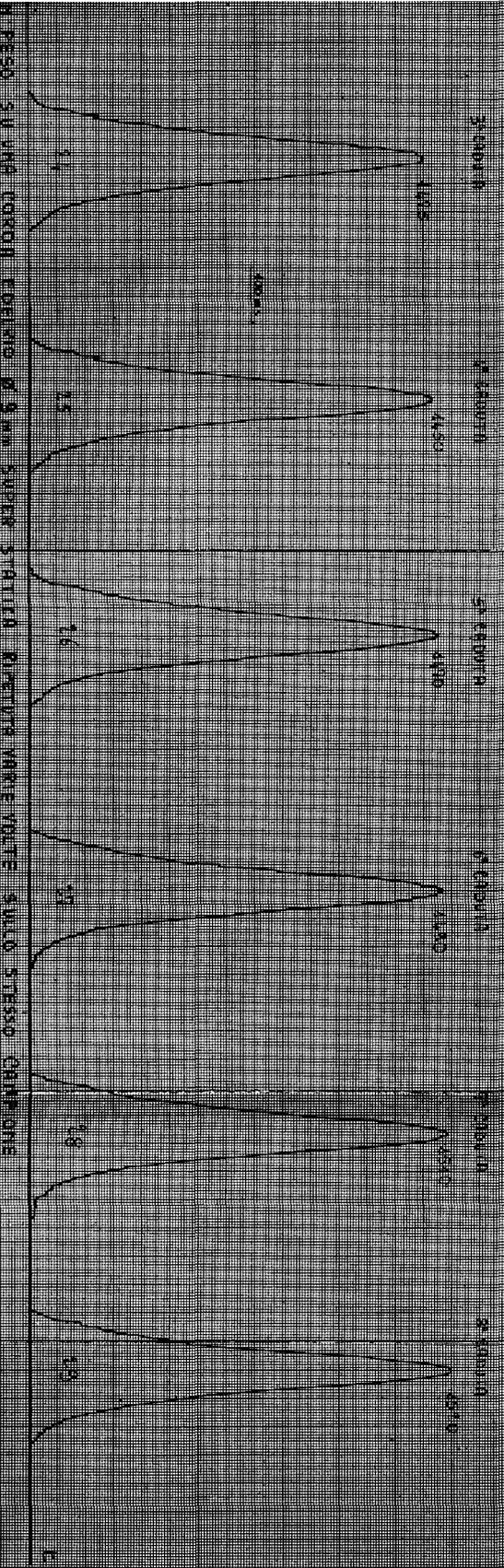
REQ. 50 m/s OUT 4.5

2.000000



TEST 6 - PROVA DI ENERGHIA SHOCK DI

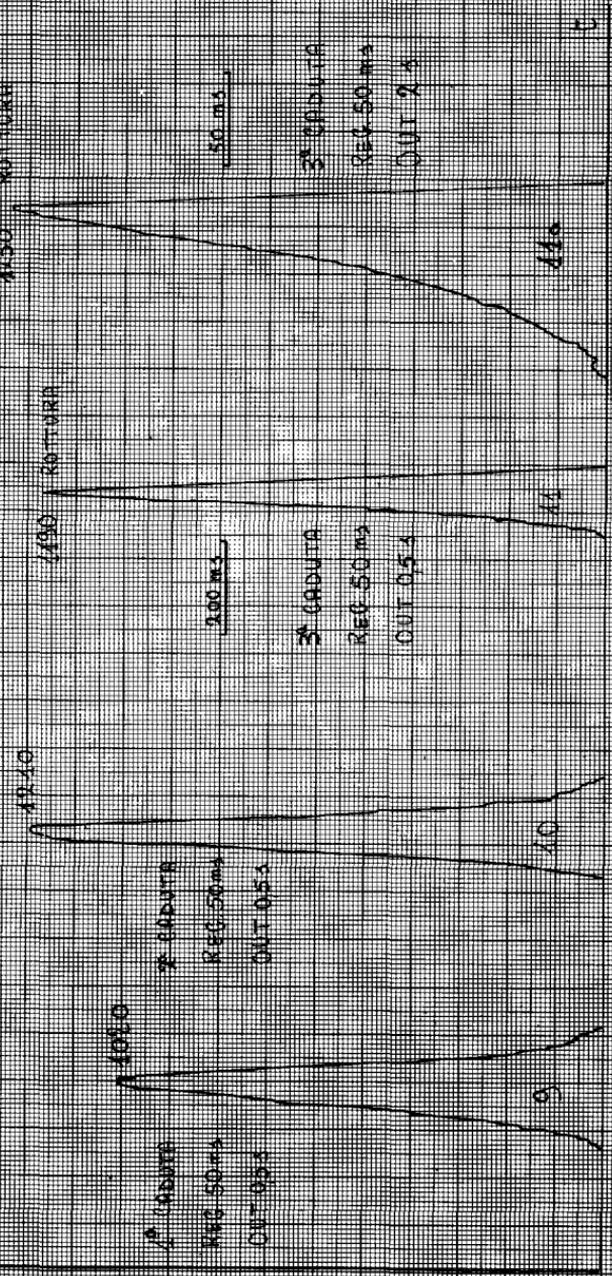
CONDIZIONE



PESSO SU UNA TORRELLA FORNITA DI 3 MM SUPER SATIEN DIRETTIVA WHITE-VOLTE SULLO STRESSO CONDIZIONE

FORNITORE: SIME S.p.A. - 8 mm NUOVA
 MOD. 610A - CON FRIZIONE

$l = 2$ m $F_c = 1$



TEST 4 - PROVA DI CARICA CHECC. DI UN PESO SU UNA CORDA STATICA NUOVA ϕ 8 mm
 RIPETITA FINO ALLA ROTTURA DELLA CORDA

F

ESCURSO SUPER STATICA $\varnothing 8 \text{ mm}$

REG. 50 ms

$l_g = 3 \text{ m}$

$F_c = 1$

$l_g = 68 \text{ cm}$

1^a CADUTA

OUT 1 s

$l_g = 68 \rightarrow 12 \text{ cm}$

560

30

100 ms

2^a CADUTA (STESSO CAMPIONE)

OUT 2 s

DEBO
ROTTURA
CORDA

A

C

B

31

50 ms

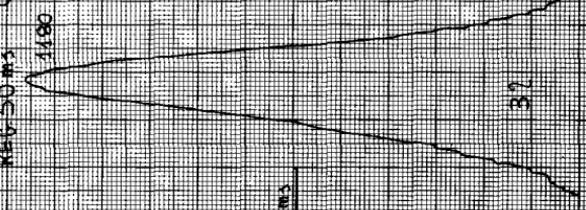
E

TEST 1 - PROVA DI CADUTA C/OC DI UN PESO SU CORDA $\varnothing 8 \text{ mm}$ STATICA

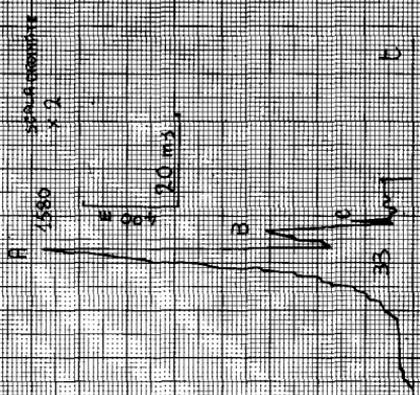
CON NODO AMORTIZZANTE (GUIDA)

$l = 2 \text{ m}$ $F_c = 1$ GUIDA CON FRIZIONE SIMOND PARALLELO $F_c = 1500 \text{ kgf}$

EQUILIBRIO STATICA $\phi = 40 \text{ mm}$
 REG-50 ms OUT 13



STACATA $2 \text{ ms}/5$
 REG-10 ms OUT 53
 CAVO TEC. AERR. $\phi = 12 \text{ mm}$

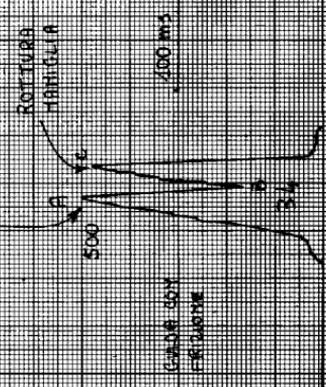


TEST B - PROVA DI CAPUTA CHOC DI UN PESO SU INSIEMI
 CORDA STATICA - MOSCHETTONE E CAVO D'ACCIAIO - MOSCHETTONE

F

BIELLA MANIGLIA E CROCI. PISTILL
 $R = 2m$
 $l = 4,5m$
 $F_c = 1$
 LUNGE 50 CM
 $\phi = 8mm$
 CORDA LESIONATA
 IN DUE PUNTI
 REG. 50 ms
 OUT 1 s
 AFFERZI MEFERIBILI

ROTURA CROCI

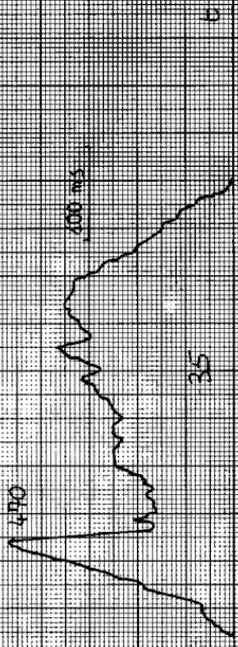


TEST 3 - PROVA DI CROCI SU CORDA STATICA
 $\phi = 10mm$ CON MANIGLIA E CROCI

F

BIELLES MANIGLIA PISTILL CON MRO
 PEDALE $\phi = 8mm$
 $l = 2m$
 $F_c = 1$
 CORDA TRONCATA
 REG. 50 ms
 OUT 1 s
 TAGLIATI 3 TRONC. SU 13

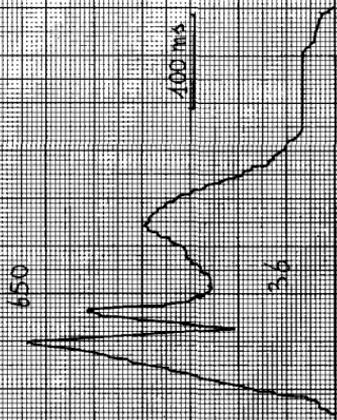
CORDA CON FREAGHIE
 CAPPEGGIATO



TEST 10 - PROVA DI CADUTA CROCI DI UN PESO SU
 CORDA STATICA $\phi = 10mm$ CON MANIGLIA MRO

F
 EBERID Ø 10 mm $\lambda = 2$ $F_c = 1$
 GUIDA CON FRIZIONE

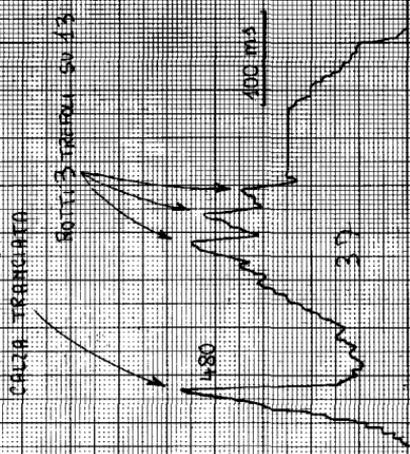
REG. 50 ms
 CORSA E ARRETRIC
 MANTI
 OUT 1 5



TEST 11 - PROVA DI CADUTA CARIC DI UN PESO
 SU CORDA STATICA CON DISSENSARE
 AUTOBLOCCANTE STOP PETZL

F
 EBERID Ø 10 mm $\lambda = 2$ $F_c = 1$
 GUIDA CON FRIZIONE

REG. 50 ms
 OUT 1 5



TEST 12 - PROVA DI CADUTA SHOCK DI UN
 PESO SU CORDA STATICA CON
 MANICOLA BONAT

ESERCIZIO SUIBASTAZIONE $\phi = 9 \text{ mm}$

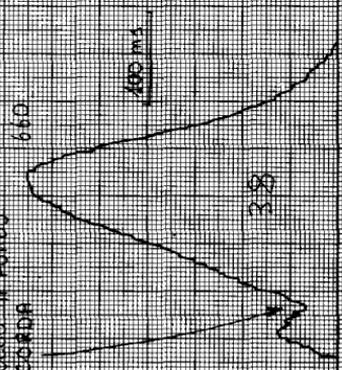
$l = 2 \text{ m}$ $F_c = 1$ GUIDA CENTRIFUGHE

REG. 50 ms

OUT 1-5

CORONA E ATTREZZO
INTRAFFI

IN DISPARAZIONE MA
RAGGIUNTO IL MODAL
DI BILANCIO IN FONDO
ALLA CORDA



ESERCIZIO DINAMICA $\phi = 9 \text{ mm}$

$l = 1$ $F_c = 1$

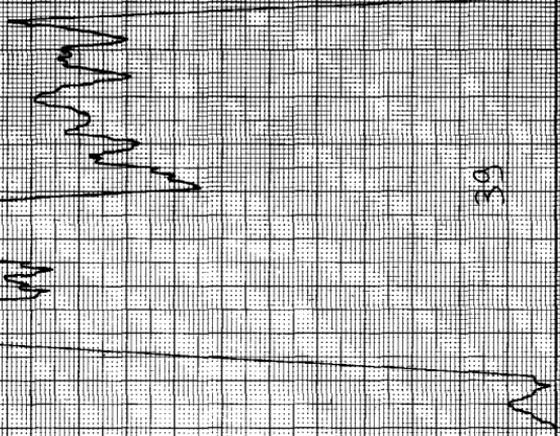
157

REG. 50 ms

OUT 1-5

SEALIA ORDINATE $\times 10^{-4}$

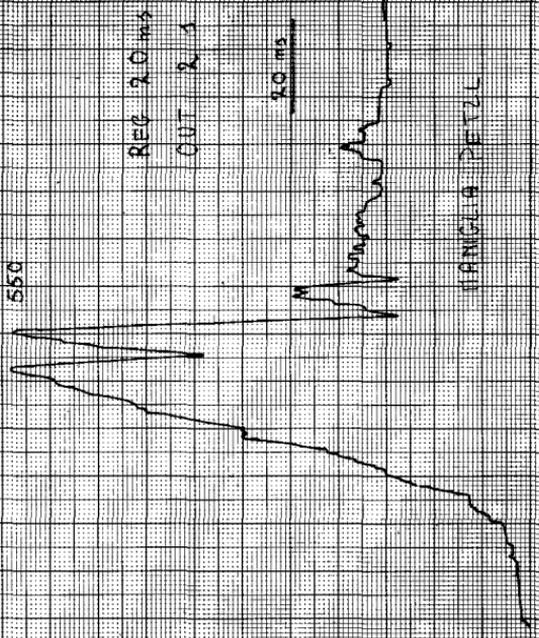
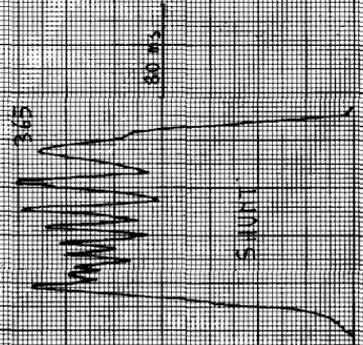
ATTREZZO E CORDA
INTRAFFI



TEST 13 - PROVA DI CADUTA CHOC DI UN PESO SU CORDA STATICA E DINAMICA CON

F
 SENSORE STATICA Ø 10 mm CARICHILO
 Uscita 10 mV/s
 L = 190 m $F_c = 1$ P = 64,6 kgf

500 kgf
 REG 2.0 ms
 OUT 0.5 V



TEST 14 - PROVA DI CADUTA CHOC DI IMPRESO SU SHUNT EMANGLIA PETIZI (PHTASPELBO 84)

F

CAVO ACCIAIO TESS. ABR 3
Ø 6 mm

S. MOHO PARALLELO M. LERA
 $F_0 = 1500 \text{ kgf}$

- 1000 kgf

$l = 0,40 \text{ m}$

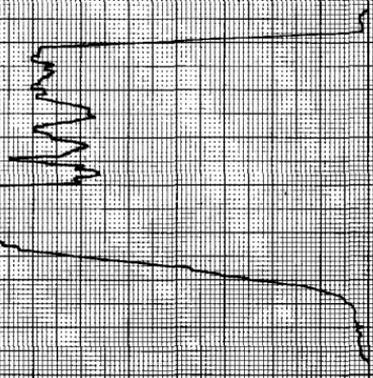
$F_c = 1$

$P = 64,6 \text{ kgf}$

REG 20 ms

OUT 5 s

1140



TEST 15 - PROVA DI CADUTA (HOC) DI UN PESO SU UN INSIEME CAVO
SPECIALE - MOCOMETONE (PARAFIPEL 84)

6

Capitolo VII

CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLE PROVE SPERIMENTALI EFFETTUATE

(G. Guerriero)

PREMESSA

Queste note sono stilate a continuazione e integrazione di quanto esposto da F. Salvatori nel Capitolo I, a cui si rimanda per la spiegazione dei simboli e dei presupposti.

Ad esse premettiamo alcune osservazioni generali che riguardano le prove nel complesso e che si riferiscono a questioni particolari non ancora perfettamente a punto.

a) È sentita la mancanza di uno standard per le prove, che impedisce di fare comparazioni, a volte addirittura fra esperienze dello stesso Autore.

b) In spezzoni di corda così corti (circa 2 m) è di notevole importanza la quantità di energia assorbita dalla strizione dei due nodi di estremità. Dovrebbero essere pretirati: in che modo? Si rientra nel problema della standardizzazione.

c) Il dinamometro, in quanto elemento elastico, introduce un certo ritardo nel sistema; ha cioè una velocità di risposta finita che dipende dal coefficiente di elasticità (maggiore rigidità, minor tempo di risposta) e dalla massa (minore massa, minore tempo di risposta).

Per questo motivo, in caso di rottura del campione in prova, l'apparecchiatura a molla è riuscita a registrare soltanto una parte della forza choc. Molto meglio si è comportata la barra d'acciaio e il trasduttore del dinamometro elettronico, proprio per la maggiore rigidità e la minore massa in gioco.

Anticipiamo inoltre le conclusioni emerse da queste prove: esse riguardano naturalmente gli ancoraggi e gli attrezzi di progressione. Per ambedue appare errata la tendenza ad aumentare, semplicemente, la tenuta ad ogni costo a scapito di altri parametri (ad esempio la elasticità, nell'emblematico caso delle nuove corde in kevlar).

Ci pare più saggio creare nell'uno e nell'altro caso artificiose dissipazio-

ni di energia che riducano lo sforzo massimo: a tale scopo sembrano indicati dissipatori dinamici e attrezzi che scivolano sulla corda, come apparirà evidente in seguito e sui quali ci pare ragionevole continuare la sperimentazione.

Il commento che segue si articola in tre sezioni, corrispondenti ai tre gruppi di prove presi in esame.

Prove sperimentali su corde (vedi cap. II)

Le esperienze di questo primo gruppo sono analizzate sotto l'aspetto di prove meccaniche del tipo che si effettua sui materiali e sui manufatti per valutarne determinate caratteristiche di resistenza alle sollecitazioni.

Tali prove comprendono le prove statiche (di cui la più importante è la prova di trazione), le prove dinamiche, le prove di fatica.

La prova statica di trazione (test 1 e 2) consiste nel sottoporre a trazione lenta l'oggetto in esame, valutando le deformazioni (in particolare gli allungamenti) in corrispondenza delle forze applicate.

Riportando in un diagramma, in ascisse gli allungamenti unitari (riferiti cioè all'unità di lunghezza, per questioni di omogeneità di confronto) e in ordinate le sollecitazioni unitarie (riferite cioè all'unità di sezione trasversale, per lo stesso motivo), si costruisce la curva carichi/deformazioni che generalmente ha l'andamento della figura 57. In essa si definiscono:

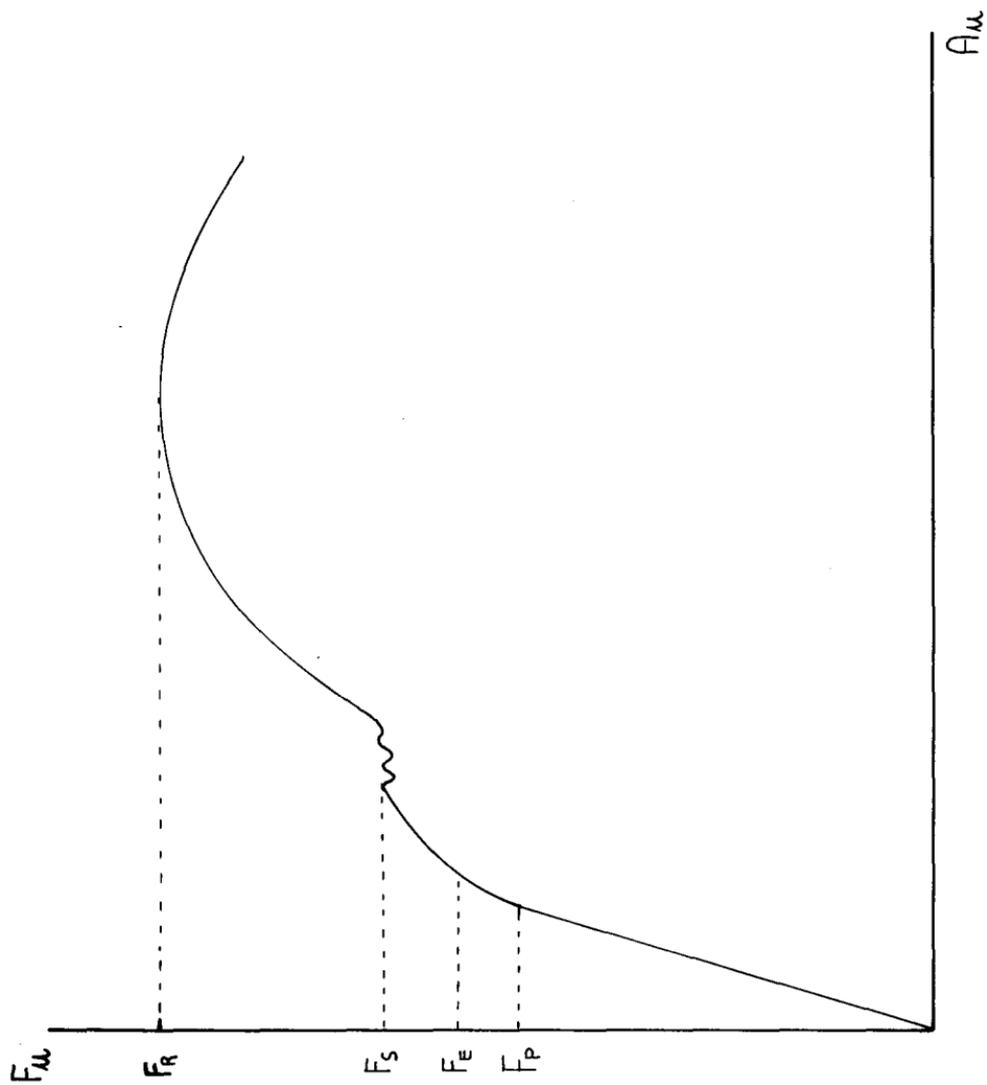
a) un carico al limite di proporzionalità F_p che rappresenta la forza fino alla quale gli allungamenti crescono proporzionalmente agli sforzi applicati, secondo la nota legge di Hooke (*ut tensio sic vis*). In questo tratto il diagramma è rettilineo e le deformazioni sono elastiche, cioè temporanee; il che vuol dire: cessata l'azione del carico, l'allungamento scompare. Si definisce quindi il coefficiente di elasticità X come rapporto tra allungamento unitario A_u e sollecitazione unitaria F_u .

$$X = A_u / F_u = A S / F l ,$$

dove S è l'area della sezione trasversale, e il suo inverso, il modulo di elasticità (più correttamente dovrebbe dirsi il modulo di rigidità) o modulo di Young E

$$E = F_u / A_u .$$

b) un carico al limite di elasticità F_e che delimita il tratto in cui le deformazioni aumentano in proporzione maggiore dei carichi corrispondenti per l'insorgere di modificazioni plastiche, cioè permanenti, che tuttavia risultano essere tanto piccole da essere trascurate nella pratica. In questo tratto il diagramma è incurvato verso destra e le deformazioni sono considerate ancora elastiche.



c) un carico al limite di snervamento F_S che corrisponde al passaggio brusco dalle piccole alle grandi deformazioni plastiche. La struttura del materiale subisce a questo punto degli scorrimenti localizzati che si estendono man mano, conferendo alla curva un andamento ondulato piuttosto incerto, dovuto ad aumenti della resistenza del materiale seguito da cedimenti.

d) un carico al limite di rottura F_R che rappresenta la massima resistenza alla trazione oltre cui avviene la rottura del campione. A questo punto i materiali duttili continuano ad allungarsi a causa di una diminuzione locale della sezione trasversale del pezzo (strizione) nella quale si accumula ogni ulteriore deformazione. In tali materiali da questo momento non si verificano ulteriori aumenti di carico specifico (riferito cioè all'unità di sezione trasversale), anzi si nota una sua apparente diminuzione dovuta proprio alla contrazione di tale zona.

Nei materiali in cui la rottura avviene senza restringimento della sezione, invece, il carico massimo e il carico di rottura coincidono.

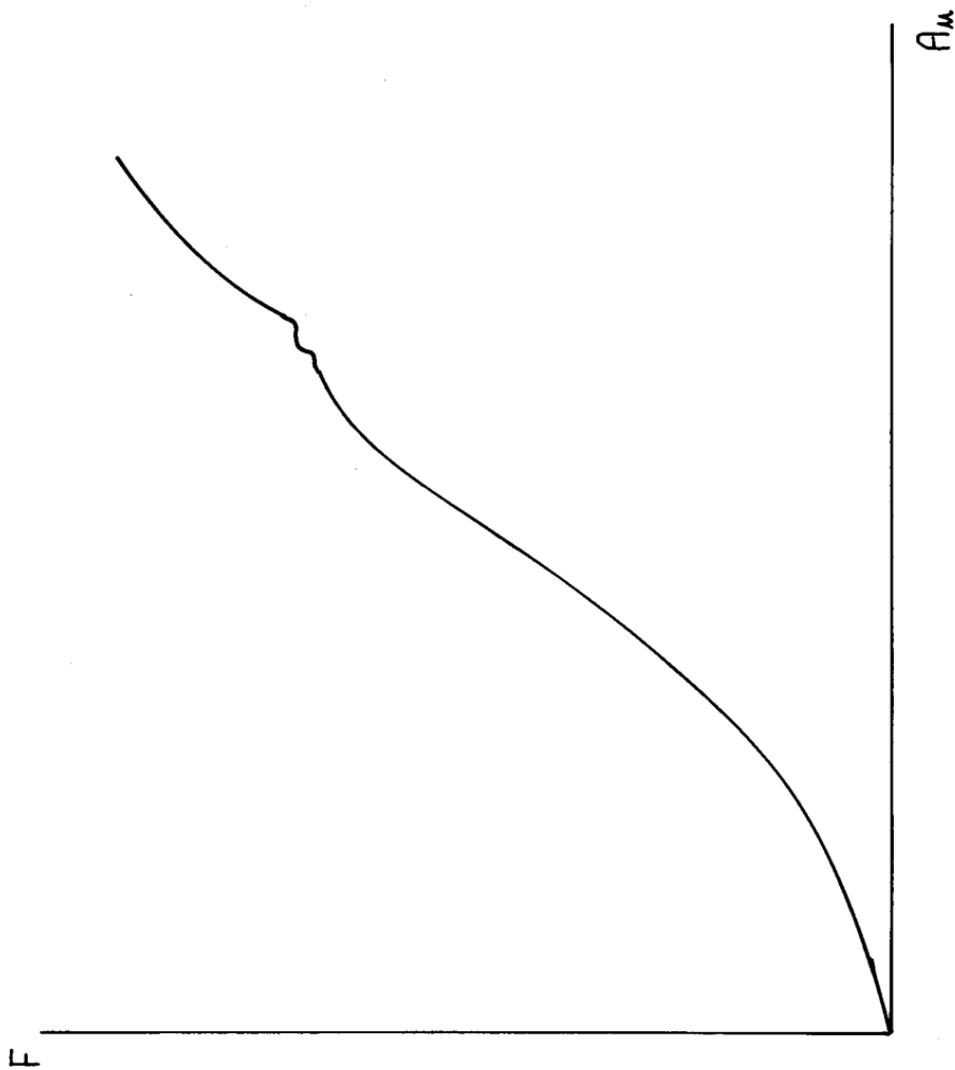
Queste considerazioni, generalmente valide per parecchi materiali omogenei, devono essere opportunamente corrette per i manufatti (come le molle e le corde) che sono strutture complesse.

Facendo riferimento al diagramma in fig. 58:

a) è necessario precisare che per strutture complesse come le corde, nella pratica, ci si riferisce di solito alla resistenza del manufatto e non alla resistenza unitaria del materiale che lo costituisce. Per questo motivo, nel tracciare la curva carichi/allungamenti, vengono riportate in ordinate x le sollecitazioni assolute, che riguardano quindi una ben determinata corda;

b) si nota poi che il primo tratto della curva, che dovrebbe rappresentare il legame di proporzionalità, non è lineare, ma presenta un'inclinazione sull'asse delle ascisse (pendenza) dapprima piccola (corrispondente a grande elasticità), successivamente grande (piccola elasticità). La spiegazione del fenomeno risiede nel fatto che in questi casi il coefficiente di elasticità è una combinazione non lineare della elasticità della struttura e della elasticità del materiale. In pratica per piccoli carichi agiscono insieme l'elasticità strutturale, derivandone una deformazione dell'oggetto (una corda riduce il diametro e si compatta), e l'elasticità del materiale (in una corda l'elasticità propria delle fibre), che già da sola peraltro non è lineare. Per carichi maggiori predomina il secondo tipo di elasticità, esaurendosi la capacità del manufatto di variare la sua geometria.

La non linearità di questo tratto della curva comporta la variabilità del coefficiente di elasticità, per la definizione del quale bisogna far riferimento al carico corrispondente (in genere 80 Kgp). Poiché gli sforzi sopportati da una corda sono dell'ordine delle centinaia e non delle decine di Kgp è interessato un tratto della curva carichi/allungamenti completamente diverso



da quello in cui è stato definito il valore del coefficiente di elasticità, valore quindi che risulta insufficiente o che addirittura induce in errore nella valutazione dell'elasticità di una corda rispetto ad un'altra, come è possibile rilevare in fig. 59.

È questo uno dei motivi per i quali le corde dovrebbero essere corredate di tale curva o perlomeno della media dei valori che il coefficiente di elasticità assume nell'intervallo di forze solitamente considerato.

Una determinazione quantitativa del coefficiente di elasticità può essere ricavata, ricordando che esso è funzione del materiale utilizzato (e all'interno di una determinata categoria dipende dalla formula chimica e dalla marca), dalla struttura della corda (torsione delle fibre, trecciatura della calza) e della sezione, per cui si può scrivere:

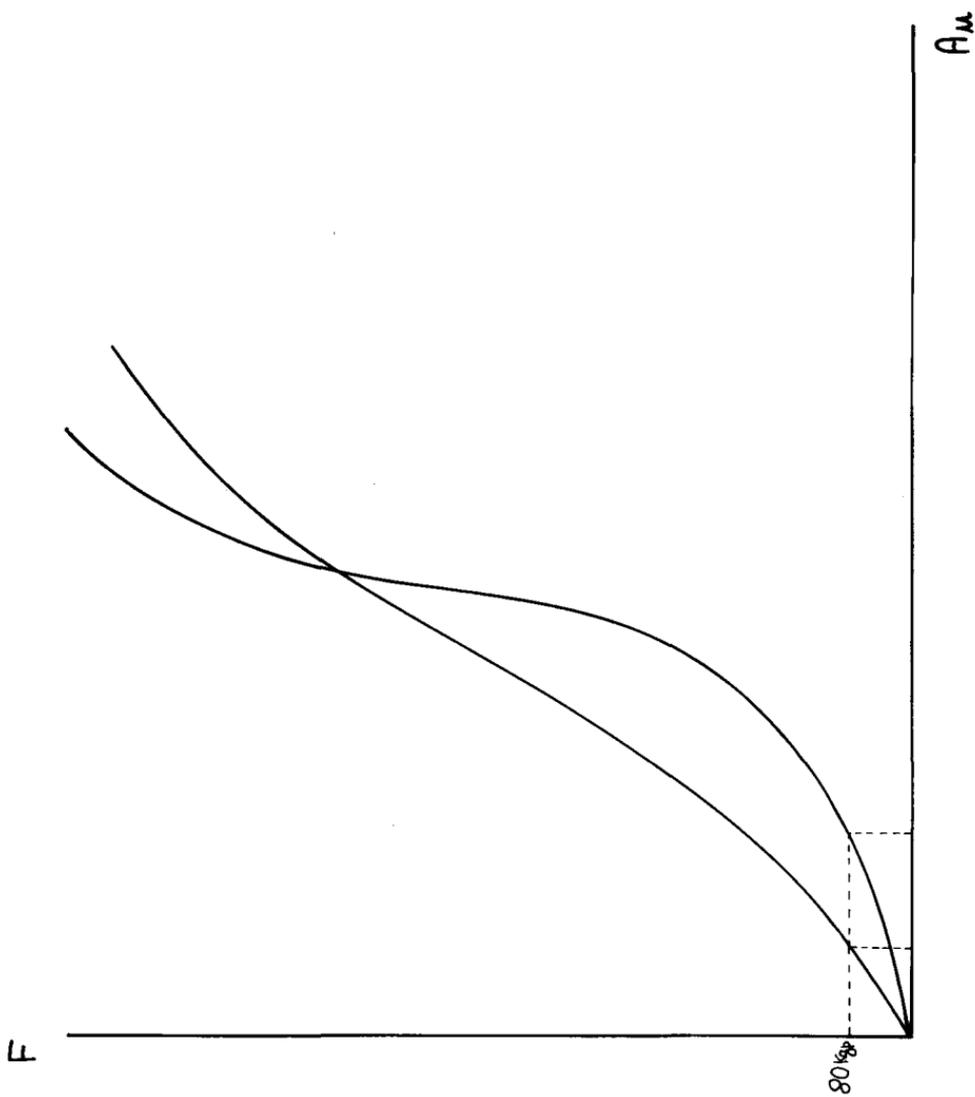
$$X = E_M (A_U) \cdot E_S (A_U) / \pi r^2$$

indicando con $E_M (A_U)$ un parametro dipendente dal materiale e con $E_S (A_U)$ un parametro dipendente dalla struttura.

Per una corda i due tratti del diagramma considerati in precedenza (grande e piccola elasticità) sono in genere separati abbastanza nettamente e delimitano la zona delle deformazioni reversibili da quella delle deformazioni irreversibili. Dal diagramma ottenuto caricando e successivamente scaricando la corda al di là di questo limite (test 2), si nota infatti la non coincidenza delle due curve, a testimonianza delle modificazioni plastiche avvenute in essa. Questo perché, a differenza dei materiali omogenei, in una corda le modificazioni che avvengono in questo secondo tratto già non sono più tanto piccole da essere trascurate nella pratica, a causa della componente strutturale dell'elasticità. Il fenomeno poi si amplifica ulteriormente nel tratto di curva piegato verso destra, analogo a quello che definisce il carico al limite di elasticità esaminato in principio. ◊

Poiché tali modificazioni influiscono sul carico di rottura e sulla elasticità della corda, peggiorandone le prestazioni, bisognerebbe limitare l'uso di quest'ultima alla prima zona, della quale si può stabilire il limite, ricordando che in assenza di choc da caduta (che sono situazioni ben peggiori) le sollecitazioni in gioco sono dell'ordine di qualche centinaio di Kgp (200/300 Kgp). È questo un altro dei motivi per i quali nella scelta di una corda dovrebbe essere tenuta presente la curva carichi/allungamenti o almeno anche il carico di deformazione permanente, oltre i parametri considerati in precedenza.

Al di là del limite di elasticità si entra anche per le corde nel vero e proprio snervamento, del quale, nella maggior parte dei casi, non si hanno testimonianze macroscopiche esteriori. Per tale motivo una corda che regge uno choc da caduta di una certa entità deve essere inesorabilmente scartata, dal momento che si è trovata a sopportare una sollecitazione tale da portarla



a lavorare nel campo delle deformazioni irreversibili.

Il carico di rottura F_r ci permette infine di definire il corrispondente allungamento a rottura che è l'indice di maggiore efficacia per esprimere la deformabilità del materiale e quindi la sua capacità di assorbire le sollecitazioni. D'altra parte carico di rottura (più generalmente sollecitazione applicata) e allungamento a rottura (più generalmente allungamento percentuale) definiscono il lavoro di deformazione che una corda è in grado di effettuare.

Poiché si può scrivere:

$$L = \int_0^{F_r} F(A_u) dA_u$$

tale lavoro è rappresentato dall'area sottesa dalla curva carichi/allungamenti.

È questo un ulteriore motivo per corredare di tale curva le corde, dal momento che, a parità dei valori massimi di sollecitazione e allungamento, il lavoro può essere abbastanza differente (fig. 61).

Anche in questo caso vogliamo ricordare che il carico di rottura in linea generale dipende dal materiale utilizzato, dalla struttura della corda e dalla sezione, per cui si può scrivere, con evidente significato dei simboli:

$$F_r = R_M \cdot R_S \pi \cdot r^2$$

Le prove dinamiche sono caratterizzate da una applicazione impulsiva della sollecitazione, in modo da conferirle i caratteri dell'urto.

La prova dinamica più importante effettuata nella tecnica è la prova a flessione per urto.

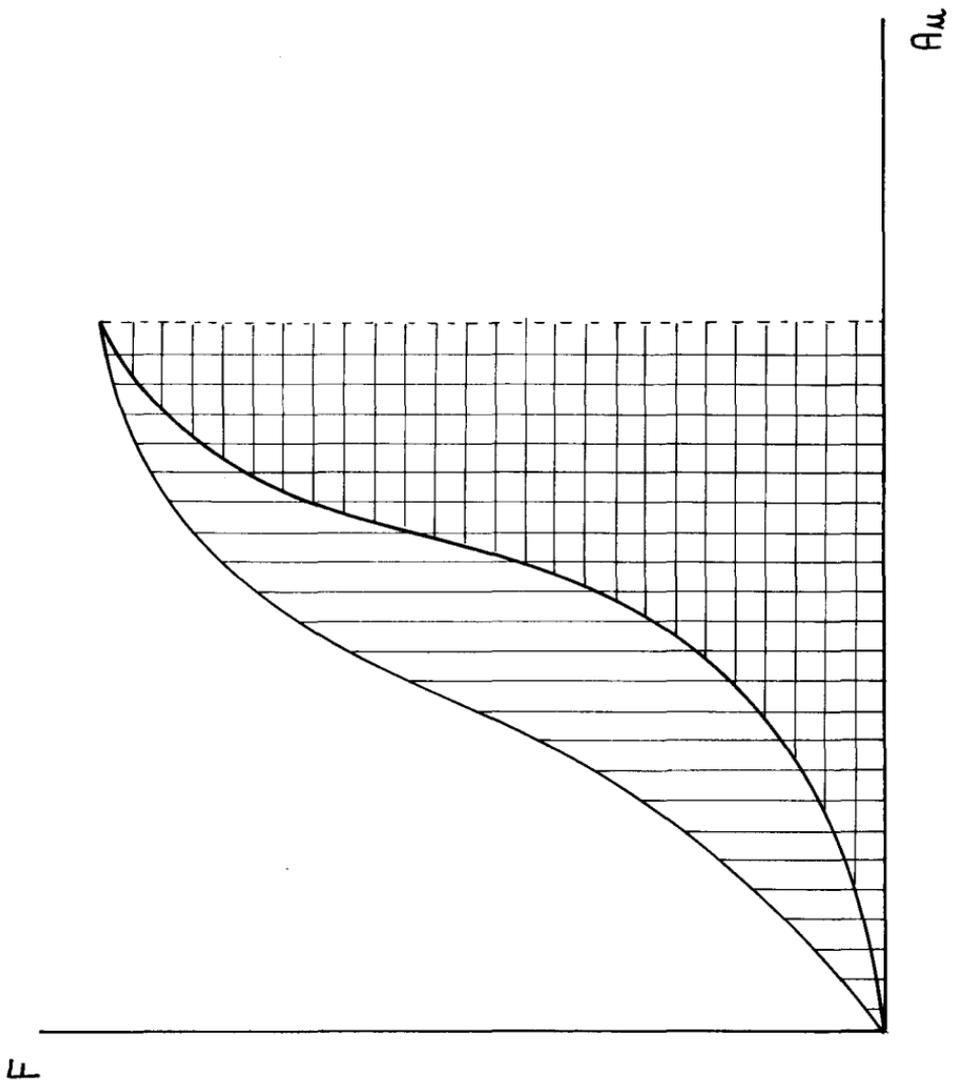
Una corda ovviamente viene sottoposta alla prova di trazione: basta collegarla ad un peso che poi viene lasciato cadere, simulando fra l'altro quelle condizioni estreme in cui potrebbe trovarsi a lavorare durante l'uso in grotta.

L'energia potenziale posseduta dal peso viene trasferita alla corda, che reagisce allungandosi, e trasformata in lavoro di deformazione di quest'ultima.

Riferendosi alla curva carichi/allungamenti, si può scrivere per il lavoro unitario:

$$L_u = \int_0^{A_{um}} F(A_u) dA_u$$

che rappresenta l'area sottesa dalla curva.



Se si considera lineare la curva in questione, assimilabile cioè ad una retta di equazione (fig. 62)

$$F = A_u/X$$

si ricava:

$$L_u = \int_0^{A_{um}} A_u/X \cdot dA_u = 1/X \left[\frac{A_u^2}{2} \right]_0^{A_{um}} = A_{um}^2/2X = XF_m^2/2$$

e quindi eguagliando lavoro di deformazione totale (ottenuto moltiplicando il lavoro unitario per la lunghezza della corda) ed energia potenziale (trascurando l'allungamento)

$$1/2 \cdot X l F_m^2 = P h$$

lo sforzo massimo risulta (nella sua forma approssimata):

$$F_m = \sqrt{2Ph/Xl}$$

Si è visto però che la curva non è lineare e i test 3 e 4 ci confermano che non si riscontra una buona concordanza fra previsione teorica e risultati sperimentali.

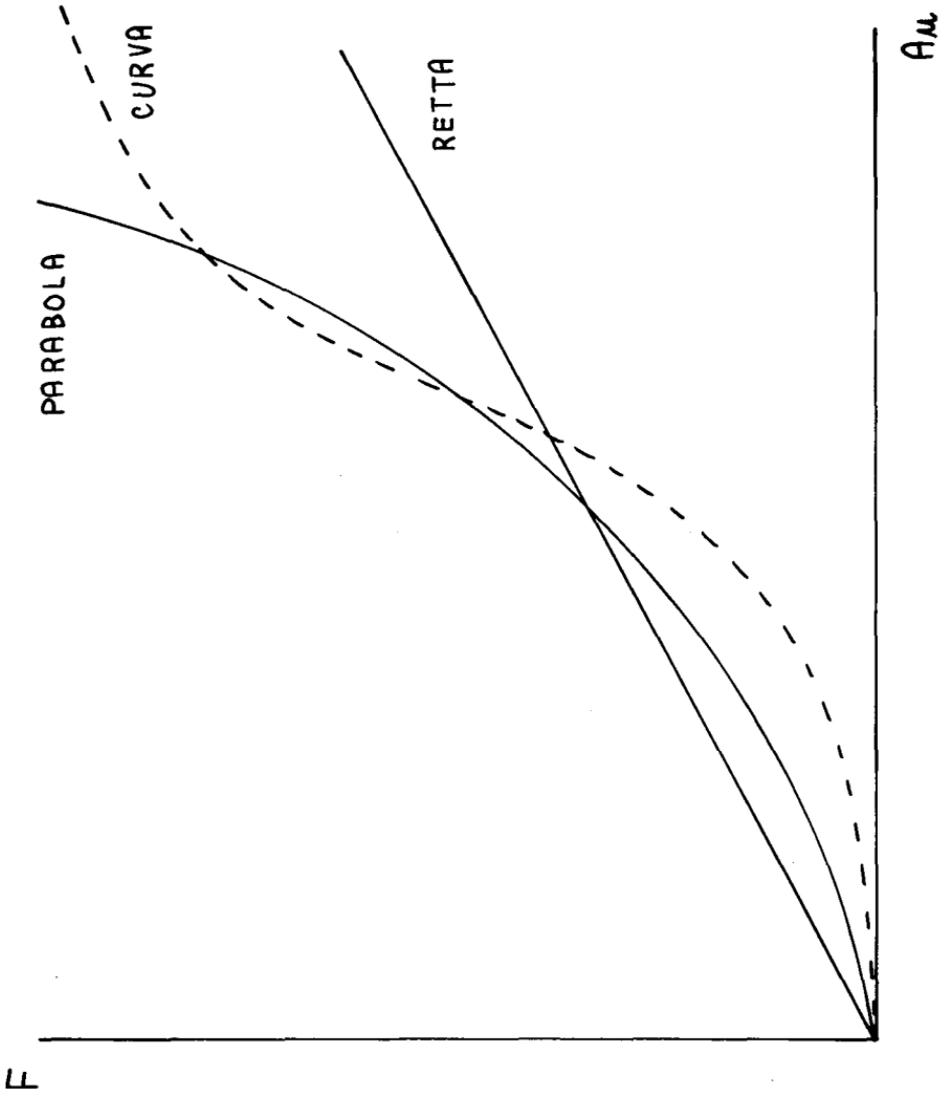
Più correttamente si può approssimare la curva ad una parabola di equazione

$$F = A_u^2/X_p$$

intendendo con X_p il coefficiente di elasticità parabolico in contrapposizione a X coefficiente di elasticità lineare.

Si avrà allora:

$$\begin{aligned} L_u &= \int_0^{A_{um}} A_u^2/X_p \cdot dA_u = 1/X_p \left[\frac{A_u^3}{3} \right]_0^{A_{um}} = \\ &= A_{um}^3/3X_p = 1/3 \sqrt{F_m^3 X_p} \end{aligned}$$



Uguagliando anche in tal caso lavoro di deformazione totale ed energia potenziale in gioco si ha

$$1/3 \sqrt{F_m^3 X_p} = Ph$$

e quindi la relazione:

$$F_m = \sqrt[3]{\frac{9 P^2 h^2}{X_p l^2}}$$

Il valore di X_p lo si può ricavare considerando graficamente la parabola che meglio approssima la curva carichi/allungamenti.

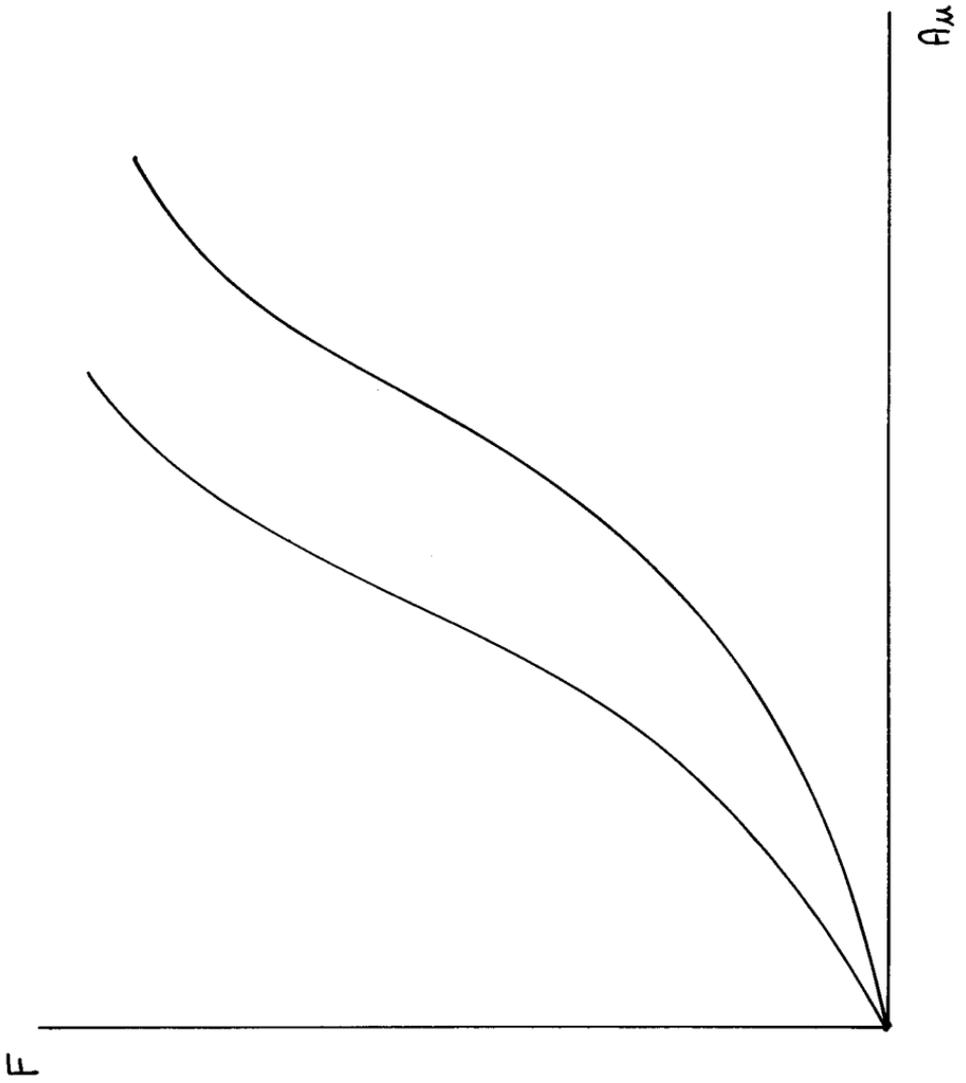
Purtroppo ulteriori complicazioni nascono dal comportamento della corda alle sollecitazioni veloci, durante le quali quest'ultima diviene più rigida; ciò è dovuto probabilmente al fatto che, essendo la corda - ripetiamo - un manufatto complesso che possiede elementi trecciati (calza) ed elementi ritorti (anima), le fibre in una configurazione del genere non riescono ad allungarsi alla stessa velocità della sollecitazione. Questo si traduce in una impennata della curva carichi/allungamenti, che si avvicina all'asse delle ordinate.

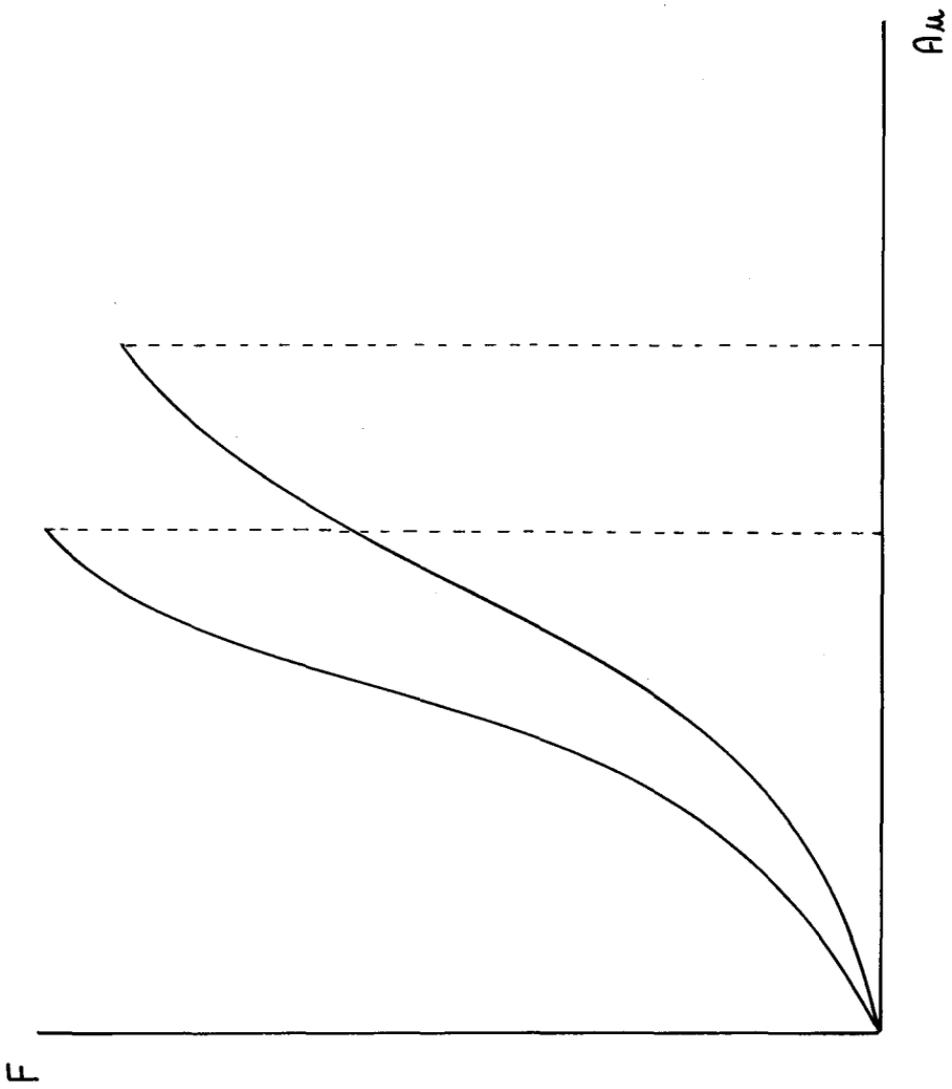
Con riferimento alla fig. 63 si ha come conseguenza un minor coefficiente di elasticità, che può diventare anche metà di quello calcolato in condizioni statiche; il che significa che la corda deve sopportare sforzi massimi più elevati. Minore sarà corrispondentemente l'allungamento.

Per motivi analoghi, invece, il carico di rottura, che per manufatti di altro tipo in prove dinamiche risulta minore, in una corda cresce del 20-30%. Questo si spiega pensando che in una prova statica le fibre hanno il tempo di "slegarsi" una dall'altra, in particolare modo quelle ritorte. Si sa infatti che la torsione lega insieme i filamenti elementari (anche quelli continui come nel caso delle fibre sintetiche), rendendo il trefolo e le sue parti più attenti a resistere agli sforzi.

Se invece tali filamenti fossero lasciati slegati e rettilinei, dovrebbero essere estremamente regolari ed ugualmente tesi per rompersi in uno stesso momento ed in uno stesso punto: poiché è difficile tecnicamente raggiungere questi risultati, si ovvia all'inconveniente della rottura frazionata, che si tradurrebbe in debolezza del manufatto, con la torsione.

Nulla si può dire per il lavoro di deformazione alla rottura, dipendente da allungamento e carico di rottura: probabilmente non si hanno grosse variazioni rispetto a quello calcolato staticamente, compensandosi a vicenda le variazioni dell'uno e dell'altro (fig. 64).





Ricordiamo esplicitamente che la velocità di allungamento unitario, da non confondersi con la velocità di caduta, dipende dal fattore di caduta e dalla lunghezza della corda sollecitata, essendo grande per piccole cadute e viceversa. Per questo motivo volare su poca corda può generare sforzi massimi maggiori di quelli generati da grossi voli (a parità di fattore di caduta).

In formule, ricordando che la corda comincia ad estendersi con la velocità di caduta del peso nel momento in cui entra in tensione la corda:

$$dA/dt = \sqrt{2 g h}$$

la velocità di allungamento unitario risulta:

$$V_{Au} = \frac{1}{l} \frac{dA}{dt} = \frac{\sqrt{2 g h}}{l} = \sqrt{\frac{2 g}{l} F_c}$$

Nel grafico di fig. 65 è riportata appunto V_{Au} in funzione di l al variare di F_c .

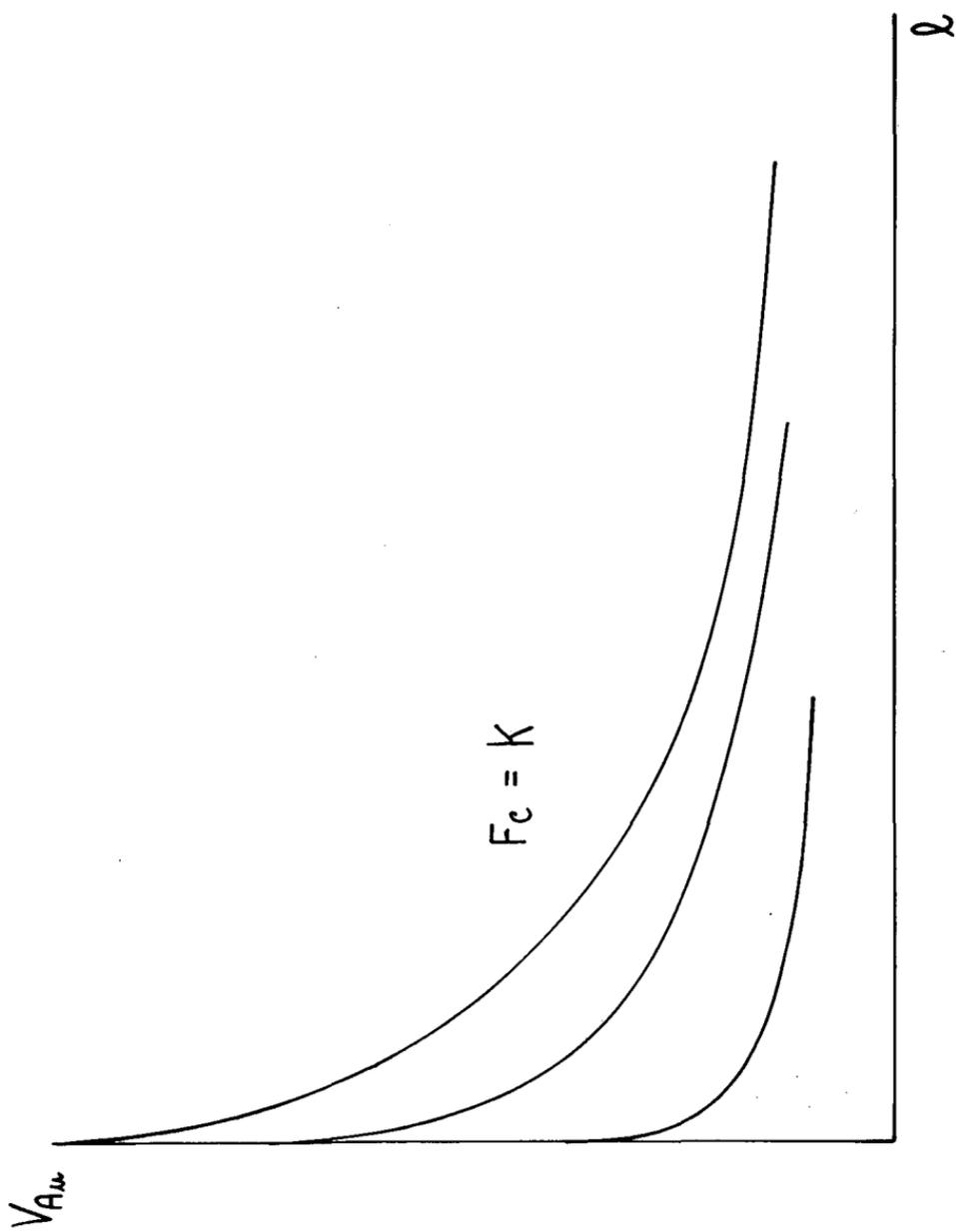
Tutto ciò vuol anche significare che volare da grande altezza significa prolungare la durata della sollecitazione: aumenta cioè il tempo di arresto perché diminuisce la velocità di allungamento unitario (a parità di fattore di caduta) e perché aumenta l'allungamento che, per le variazioni di rigidità della corda dovute alla velocità di applicazione della forza, è più grande in cadute da grande altezza che in cadute da piccola altezza (fig. 66).

Queste osservazioni hanno come corollario la constatazione che l'area sottesa dalla curva corrispondente all'altezza h_1 del grafico in fig. 66 è minore di quella corrispondente all'altezza $h_2 > h_1$, dal momento che tale area rappresenta l'impulso totale

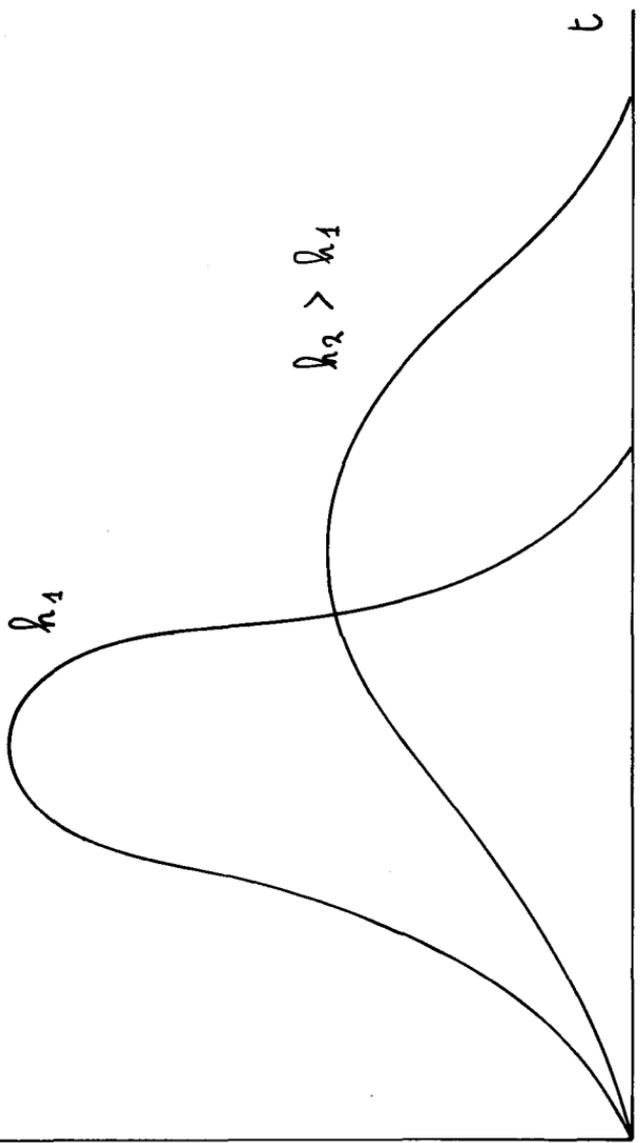
$$\int_0^{F_m} F dt$$

e cioè la quantità di moto $p = m v$, che naturalmente aumenta all'aumentare dell'altezza di caduta del peso.

Le prove di fatica misurano la resistenza del materiale alle sollecitazioni ripetute. Si è constatato infatti nella tecnica che in genere gli organi meccanici, sollecitati con sforzi variabili e ripetuti un gran numero di volte, anche se di intensità limitata, si rompono bruscamente sotto carichi notevolmente inferiori al carico di rottura statico. L'applicazione ripetuta del carico produce un progressivo indebolimento del materiale che si presenta quindi come "affaticato".



F



Ciò è dovuto a disgregazioni locali della struttura cristallina che, generandosi in punti particolari (impurità, imperfezioni), crescono per la concentrazione del carico dovuta alla diminuzione della sezione resistente, estendendosi poi a tutto il pezzo.

Con riferimento al diagramma di fig. 67 (curva di Wohler), ottenuta riportando in ordinate i valori della sollecitazione che porta alla rottura in funzione del numero dei cicli corrispondenti, nelle prove di fatica si definiscono:

a) resistenza a fatica la sollecitazione che provoca la rottura del campione dopo un numero prestabilito di cicli;

b) limite di fatica il valore del carico al di sotto del quale il campione sopporta un numero indefinito di cicli;

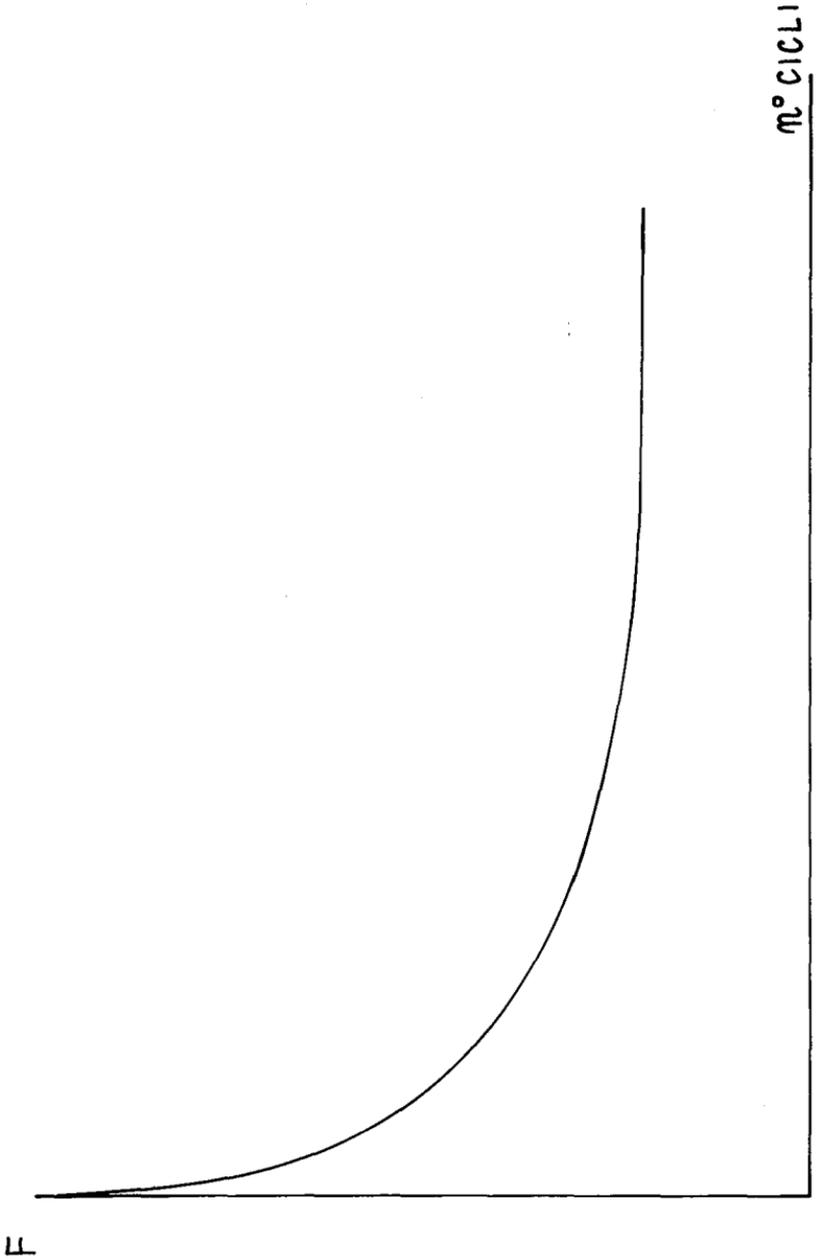
ragion per cui la curva all'aumentare di n tende a diventare parallela all'asse delle ascisse.

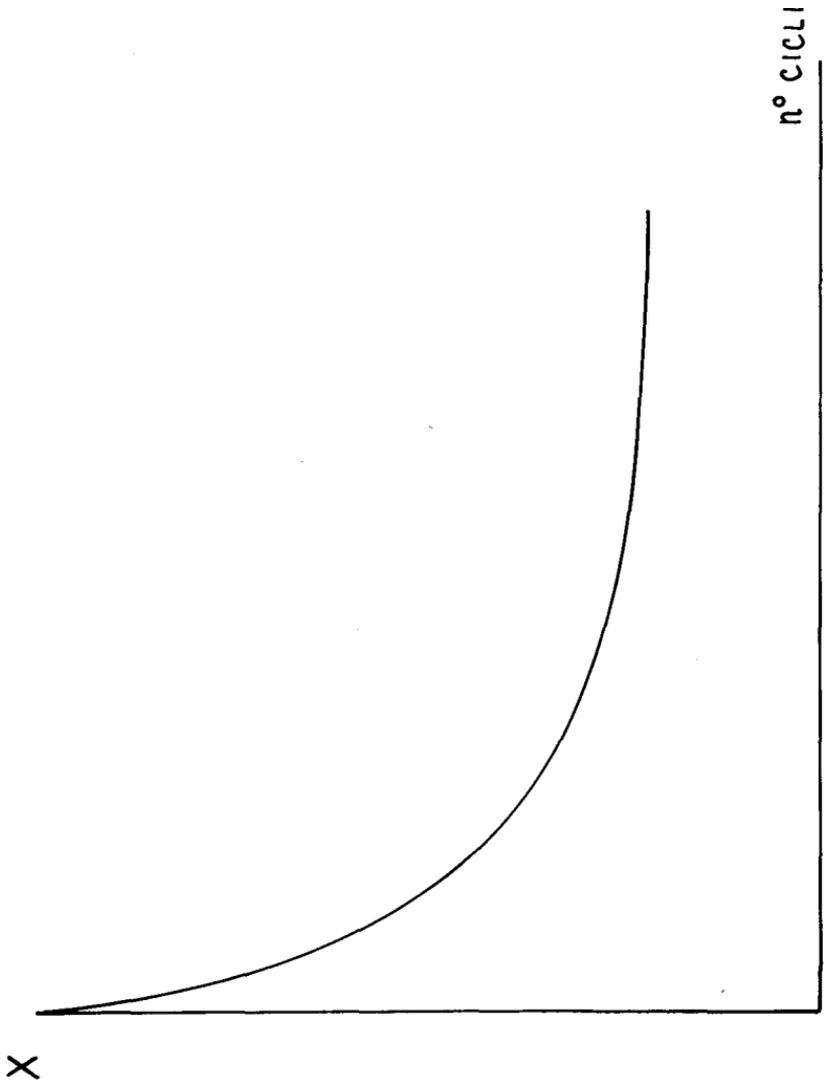
Da esperienze fatte in passato pare che anche per le corde il carico di rottura diminuisca con la fatica anche se non in misura notevole come per i pezzi meccanici. Non possono essere tratte, tuttavia, conclusioni valide in quanto tali esperienze sono state arrestate dopo qualche centinaio di cicli, mentre per gli organi di macchine si parla di centinaia di migliaia di cicli e per le corde di migliaia di cicli per metro durante una vita media di cinque anni.

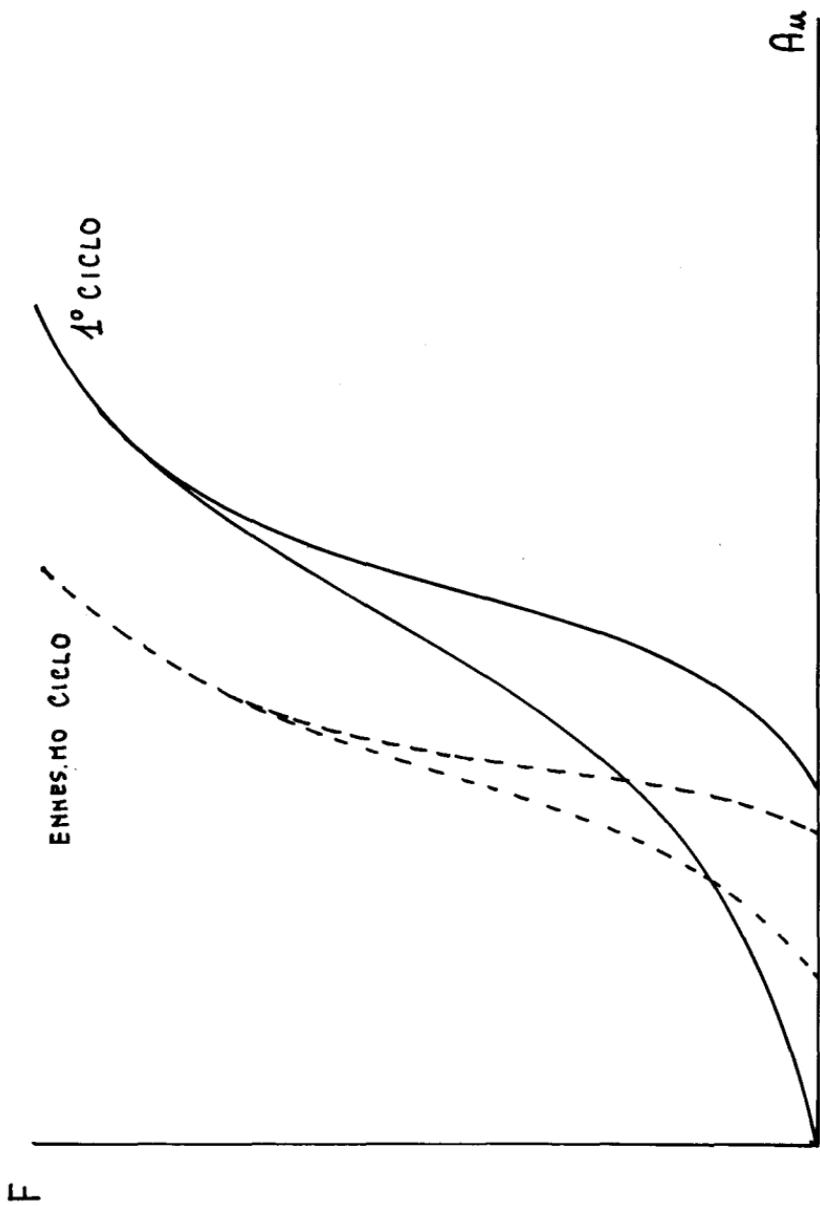
Oltre il carico di rottura, nello studio della resistenza a fatica delle corde, interessa l'elasticità ed il lavoro di deformazione (fig. 68).

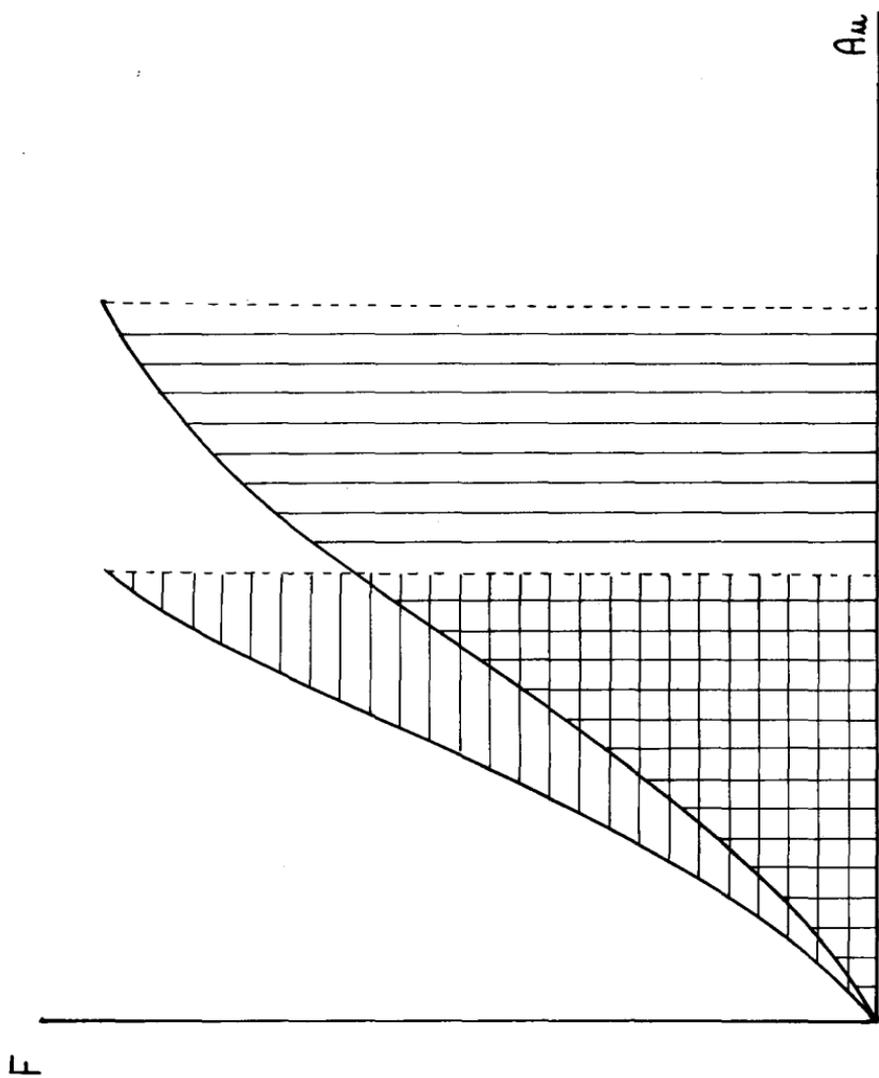
Il coefficiente di elasticità diminuisce con la fatica e lo si può dimostrare sia con prove analoghe al test 7 (da cui deriva il diagramma di fig. 68), sia sottoponendo la corda ad un certo numero di cicli di carico e scarico, ricavando la curva carichi/allungamenti al primo ed all'ennesimo ciclo. In effetti costruendo la curva subito dopo l'ultimo ciclo si nota addirittura un falso aumento di elasticità dovuto agli stiramenti conseguenti all'aver superato il limite di deformazione, se non addirittura il limite di snervamento. Costruendo invece la curva dopo aver lasciato riposare la corda un certo tempo, per permettere un certo accorciamento, si ottiene un risultato analogo a quello del diagramma in fig. 69, in cui si evidenzia appunto un aumento di rigidità.

Se poi si considera che la corda sottoposta ad un simile trattamento, una volta scaricata, conserva allungamenti irreversibili - percentualmente tutt'altro che trascurabili rispetto alla sua lunghezza iniziale - e si costruisce la curva carichi/allungamenti, calcolando A_U con la nuova lunghezza della corda, si evidenzia che il lavoro di deformazione diminuisce (a parità di carico di rottura) e che tale diminuzione può essere anche di notevole entità (fig. 70).









Prove sperimentali su attrezzature meccaniche (Vedi Cap. IV)

È difficile fornire un'interpretazione quantitativa dei risultati delle prove sulle attrezzature meccaniche, a causa della difficoltà di costruire un modello matematico capace di spiegarne il comportamento e applicabile nella generalità dei casi.

Limitandosi ad un esame qualitativo, notiamo innanzitutto che le forze in gioco sono minori (a volte sensibilmente) di quelle registrate con le sole corde: avviene cioè una dissipazione di energia che solo in parte è dovuta alle deformazioni degli attrezzi. La rimanente parte è dissipata in due modi differenti e quindi si possono suddividere gli attrezzi stessi in due categorie: attrezzi che dissipano energia sotto forma di lavoro di rottura di parti della corda e attrezzi che dissipano energia sotto forma di calore, scivolando sulla corda.

Appartengono alla prima categoria il Croll, la Maniglia Dressler, il Bloccante Dressler, la Maniglia Bonaiti e la maniglia Jumar, che risultano quindi i più pericolosi, ma che nella maggior parte dei casi - bisogna ammetterlo - si sono limitati a rompere la calza e al più qualche trefolo (questa affermazione è tanto meno vera quanto più piccolo è il diametro della corda).

Nella seconda categoria comprendiamo da un lato i discensori auto-bloccanti e lo shunt, che da un certo punto di vista si possono considerare come i dissipatori usati in roccia per assicurazione dinamica, dall'altro i discensori semplici con "chiave" di blocco sulla corda, assimilabili in genere ad un buon nodo (per i discensori semplici senza "chiave" di blocco e con corda uscente non in pressione il discorso è completamente diverso, visto che l'intensità di dissipazione dell'energia è talmente ridotta nell'unità di tempo che si fa in tempo a farsi male in fondo al pozzo prima che tutta l'energia in gioco venga annullata).

Traspare quindi una prima indicazione: per moderare lo sforzo massimo, rimanendo quindi al di sotto delle sollecitazioni pericolose non solo per gli attrezzi ma anche per i rimanenti elementi della catena di sicurezza, pare più ragionevole seguire la via "soft" della dissipazione dell'energia per attrito. Da questo punto di vista i discensori pare non presentino problemi; per i bloccanti sarebbe auspicabile la messa a punto di un attrezzo che, conservando le caratteristiche positive dello shunt, ne eliminasse gli svantaggi (tenuta su fango, impugnatura, robustezza, scomodità per la presenza della leva, difficoltà per l'inserimento nella corda).

Una seconda indicazione è fornita dai test 7 e 18 nei quali la maniglia prima e il croll poi, disponendosi durante il volo in posizione trasversa rispetto alla corda, si sono aperti, causando la caduta del peso ed il danneggiamento grave della corda. Probabilmente diversi altri attrezzi si comporterebbero allo stesso modo, inficiando dunque tutte le loro caratteristiche positive.

Per diversi motivi però il problema è particolarmente importante per il croll, che fra l'altro costituisce il bloccante principale:

a) al croll si è sospesi per la maggior parte del tempo di risalita;

b) per il fatto di essere collegato in due punti e di essere situato nelle vicinanze del baricentro corporeo ha probabilità senz'altro superiori della maniglia di disporsi in posizione anomala;

c) a causa dell'esequità della guancia di lamiera in corrispondenza del clicchetto, in una simile posizione la corda può addirittura uscire dall'attrezzo;

d) per lo stesso motivo aumentano le probabilità che la corda si disponga sul bordo tagliente del clicchetto.

D'altra parte una diversa indicazione si ottiene dall'osservazione dell'insieme croll/maniglia sottoposti a strappo, osservazione per il momento non ancora bene a fuoco. Pare comunque che in alcuni casi, quando il croll lacera la calza, la maniglia posta superiormente scorra sull'anima della corda, essendo il clicchetto incapace di arrestare l'attrezzo sui trefoli rimasti intatti.

Un attrezzo tipo shunt, magari con il clicchetto a profilo ovalizzato, probabilmente ci riuscirebbe anche in quel caso.

Bisogna tuttavia ricordare che dopo un certo scorrimento si produce un rigonfiamento della calza, dovuta alla presenza del nodo alla base della corda o, più realisticamente, all'attrito fra calza e anima in una corda usata e quindi assestata, che ferma in ogni caso l'attrezzo.

Infine un'ultima indicazione ci è fornita dalle prove sulle corde con diametro 8 mm e 9 mm. Ancora poco si può dire. È certo comunque che gli attrezzi sono dimensionati per corde dal diametro di 10 mm e quindi è un adattamento più o meno corretto farli lavorare su corde di diametro inferiore. Il loro funzionamento, in alcuni casi già critico normalmente, diventa addirittura incerto. Caratteristica questa che si amplifica, ovviamente, passando dal diametro 9 mm. al diametro 8 mm.

PROVE SPERIMENTALI SU CORDE E ATTREZZATURE SPELEOLOGICHE CON DINAMOMETRO ELETTRONICO (VEDI CAP. V E VI).

Le prove seguenti sono la conferma di quanto già esposto a proposito dei due gruppi precedenti di test: le commenteremo brevemente.

Test 1 - Prova di caduta choc di un peso su una corda statica con fattore di caduta crescente.

I valori di sforzo massimo sono perfettamente corrispondenti a quelli del test 3 del Cap. II, confermando fra l'altro la bontà delle misure dinamiche

con dinamometro meccanico (almeno in una gamma di valori del suo coefficiente di elasticità).

Test 2 - Prova di caduta choc di un peso su una corda statica e su una corda dinamica.

Anche in questo caso si hanno valori corrispondenti a quelli dei test precedenti. Si fa solo notare esplicitamente che, essendo uguali nei due casi le energie cinetiche accumulate dal peso e le sue velocità di caduta e poiché si può scrivere:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} v m v = \frac{1}{2} v \int_0^{F_m} F dt$$

devono essere necessariamente uguali le aree sottese dalla due curve.

Ovviamente dal momento che gli sforzi massimi sono differenti, diverse saranno anche le durate delle sollecitazioni: in una corda dinamica (cioè più elastica) la frenata sarà più lunga, quindi più dolce, analogamente a quanto accade in un veicolo: spazio di frenata corto per frenate violente, lungo per frenate dolci.

Test 3 - Prova di caduta choc di un peso su corda statica vecchia e usata.

Valori di F_m di difficile interpretazione in quanto bassi (curve 6 e 7) per una corda vecchia e statica, che dovrebbe presentare una rigidità maggiore di un analogo campione nuovo. Probabilmente la corda (peraltro non bene definita) possedeva un coefficiente di elasticità tale da farla classificare a metà strada fra una statica ed una dinamica.

Test 4 - Prova di caduta choc di un peso su una corda statica diametro 8 mm. ripetuta varie volte.

Test 5 - Prova di caduta choc di un peso su una corda statica diametro 10 mm. ripetuta varie volte..

Test 6 - Prova di caduta choc di un peso su una corda statica diametro 9 mm. ripetuta varie volte.

Le considerazioni sotto riportate sono valide per l'insieme dei tre test. Si osserva molto bene il progressivo aumento dello sforzo massimo per l'irrigidirsi della corda che d'altra parte regge parecchie cadute: peccato che si superi molto presto (la corda da 10 mm. lo supera subito) il limite dei 1200 Kgp stabilito dall'UIAA per le corde di alpinismo e che rappresenta orientativamente la massima sollecitazione sopportabile senza gravi conseguenze dal corpo umano.

A parziale consolazione ricorderemo che l'elasticità dell'imbrago e del-

lo stesso corpo umano può riuscire a ridurre anche di 1/4 tale choc.

Test 7 - Prova di caduta choc di un peso su una corda statica con nodo ammortizzante.

Il grafico illustra bene il principio di funzionamento dei nodi ammortizzanti (quando funzionano!) simile a quello delle piastrene per assicurazione dinamica (confrontare con la curva 39): i picchi di minimo e massimo rappresentano lo scorrimento della corda, caratterizzato da un susseguirsi di arresti e cedimenti. In particolare nella curva 31 si nota chiaramente che i 6 cm. di gassa rimasti dallo strappo precedente cominciano a scorrere nel punto A, annullando la gassa stessa in B, ma non il nodo che si scioglie in seguito ad un nuovo aumento di forza in C. Da questo punto la rimanente aliquota di energia cinetica del peso viene dissipata dalla corda come è mostrato dall'ultima impennata della curva.

Test 8 - Prova di caduta choc di un peso su insiemii corda statica-moschettone e cavo d'acciaio-moschettone.

Sollecitazione assai rapida nella prova con cavo d'acciaio, come si nota dai valori dei tempi di registrazione, di restituzione e di velocità della carta. Tale comportamento è dovuto, come si è visto, alla notevole rigidità del cavo di acciaio (confrontare con l'andamento e i dati della curva 32). Dal grafico si nota che il moschettone, superato il limite di deformazione in A, si apre rompendo il pernetto della barretta e divaricandosi, senza tuttavia rompersi. La rottura avviene poi in due tempi, in B principalmente e successivamente in C, come è confermato dall'analisi dello stesso moschettone.

Test 9 - Prova di caduta choc di un peso su una corda statica con maniglia dressler e croll collegati da longe.

È interessante notare in questa curva i due picchi corrispondenti agli interventi successivi del croll e della maniglia collegati fra loro da una longe. La forza aumenta fino al punto A in cui il croll non riesce più a sostenere il carico e fuoriesce dalla corda (danneggiandola in un punto ben preciso). La curva crolla in B fino a che non interviene la maniglia che tenta di trattenere il peso, facendo aumentare la forza fino a C. Ma anche questo attrezzo cede e fuoriesce dalla corda e precipita a terra. È probabile che ambedue gli attrezzi abbiano assunto una posizione traversa rispetto alla corda di tenuta.

Test 10 e Test 12 - Prova di caduta choc di un peso su una corda statica con maniglia dressler con longe MAO e maniglia Bonaiti.

I due grafici sono simili perché simili nella sostanza i due attrezzi (maniglia dressler e maniglia Bonaiti). Essi sono caratterizzati di due parti: un piccolo corrispondente all'aumento di forza oltre la sommità del quale l'attrezzo danneggia la calza e comincia a scivolare; un andamento irregolare che rap-

presenta lo scorrere dell'attrezzo sull'anima della corda rimasta allo scoperto, nonché la rottura da parte del clicchetto di alcuni trefoli. Ricordiamo che questo processo dissipa energia e impedisce l'elevarsi dello sforzo massimo oltre un certo limite. Se a ciò si aggiunge il fatto che la sollecitazione massima dichiarata sul corpo dell'attrezzo corrisponde in realtà al carico sotto il quale l'attrezzo comincia a deformarsi e non al carico di rottura come in genere si crede, si ha un quadro della situazione senz'altro meno nero.

IL DISCENSORE AUTOBLOCCANTE È UN TIPICO ATTREZZO DAL COMPORTAMENTO DINAMICO POICHÉ OLTRE UN CERTO CARICO SCIVOLA SULLA CORDA COME UN DISSIPATORE.

Test 11 - Prova di caduta choc di un peso su corda statica con discensore autobloccante.

A questo proposito è curioso notare come la curva 36 sia molto simile alla "componente continua" della curva 39 sulla quale è "modulato" lo scorrimento; l'analogia è ancora più spinta se si considera la differenza di ampiezza delle due scale che attenua ulteriormente questo "rumore" rappresentato dalla "componente alternata".

Test 13 - Prova di caduta choc di un peso su una corda statica e su una corda dinamica con dissipatore Bonaiti (Kisa).

È da notare la notevole riduzione dello sforzo massimo operato dal dissipatore: nel caso della curva 39 la F_m è di appena 160 Kgp.

Si possono apprezzare le qualità del dissipatore osservando inoltre la curva 38: il primo picco, corrispondente come valore al picco A della curva 39 per la diversità di scala, rappresenta lo scorrimento della corda nei fori della piastrina. Tale scorrimento viene poi arrestato - per insufficiente lunghezza di corda a disposizione della piastrina stessa - in corrispondenza del nodo finale, il cui impatto sull'attrezzo produce il secondo picco di valore ben maggiore e di natura uguale alle curve ottenute con le sole corde.

Settembre 1984

Bibliografia

- CASTELLANI V., 1974 - *La resistenza e l'utilizzazione dei materiali*. Notiziario SSI n. 3-4.
- CASTELLANI V., 1975 - *Considerazioni preliminari sulla fatica ed usura delle corde*. Notiziario SSI n. 5.
- CASTELLANI V., 1977 - *Ancoraggi, vincoli e reazioni vincolari nell'attività speleologica*. Notiziario SSI n. 2.
- FEODOSEV V.I., 1977 - *Resistenza dei materiali*. Editori Riuniti.
- VANIN A., 1979 - *La sicurezza nell'uso delle corde statiche*. Bollettino CNSA SS n. 8.
- NOVELLI G., PALMISANO P., 1979 - *Prove di sollecitazione su fune con l'impiego di attrezzi meccanici di discesa e di risalita*. Bollettino CNSA SS n. 8.
- MARBACH G., ROCOURT J.L., 1980 - *Techniques de la spéléologie alpine*. TSA Editeur.
- SCUOLA NAZIONALE DI SPELEOLOGIA CAI, 1981 - *Risultati prove dinamiche e statiche su materiali speleologici* (XI Corso Nazionale di Tecnica - CNS - 25 giugno 1981). Circolare ai Gruppi Grotte CAI del 18/9/1981.
- SERRA S., 1981 - *Le fantastiche prove sulle corde da 8 mm*. Progressione n. 7, Commissione Grotte SAG, Trieste.

ELENCO GRUPPI GROTTI DELL'UMBRIA

Gruppo Speleologico C.A.I. Perugia

Via Cesarei, 4 - 06100 Perugia

Gruppo Speleologico C.A.I. Spoleto

Vicolo Pianciani, 4 - Spoleto (PG)

Gruppo Speleologico C.A.I. Pipistrelli

Casella Postale, 60 - Terni

Gruppo Speleologico "Terre Arnolfe"

Via Angelo Cesi - Cesi (TR)

Gruppo Speleologico Folignate

Via Piermarini, 3 - Foligno (PG)

Gruppo Speleologico Gualdo Tadino

Via Feliziani, 15 - Gualdo Tadino

Gruppo Speleologico UTEC Narni

Via del Campanile, 10 - Narni

Gruppo Speleologico Stroncone

Vico S. Angelo, 8 - Stroncone (TR)

Gruppo Speleologico ARCI Todi

Corso Cavour, 32 - Todi (PG)

Sezione Speleologica Città di Castello

Via Giovagnoli, 16 - Città di Castello (PG)

Speleo Club Gubbio

Via Ubaldini, 22 - Gubbio (PG)

Speleo Club Orvieto

Casella Postale, 107 - Orvieto (TR)

ORGANIZZAZIONI SPELEOLOGICHE REGIONALI

Catasto Speleologico dell'Umbria

Via Cesarei, 4 - Perugia

Centro Nazionale di Speleologia "M. Cucco"

Corso Mazzini, 9 - Costacciaro (PG)

Squadra Soccorso Speleologico di Perugia

Via Cesarei, 4 - Perugia

Squadra Soccorso Speleologico di Terni

Casella Postale, 60 - Terni

Errata corrige a pag. 188

Test 11 - Prova di caduta choc di un peso su corda statica con discensore autobloccante.

Il Discensore autobloccante é un tipico attrezzo dal comportamento dinamico poichè oltre un certo carico scivola sulla corda come un dissipatore.

A questo proposito è curioso notare come la curva 36 sia molto simile alla « componente continua » della curva 39 sulla quale è « modulato » lo scorrimento; l'analogia è ancora più spinta se si considera la differenza di ampiezza delle due scale che attenua ulteriormente questo « rumore » rappresentato dalla « componente alternata ».



**CENTRO NAZIONALE
DI SPELEOLOGIA
"MONTE CUCCO"
Costacciaro (Perugia)**

**UNA PROPOSTA PER IL TEMPO LIBERO: ESCURSIONI -
ESPLORAZIONI RICERCHE - CORSI IN UNA DELLE PIÙ BELLE
MONTAGNE CARSICHE UMBRE**

50 POSTI LETTO - SOGGIORNO - SALA CONVEGNI - DEPOSITO MATERIALI - SERVIZI IGIENICI CO
DOCCE - AMBIENTI RISCALDATI - ACQUA CALDA - USO CUCINA (per gruppi max. 20 persone).

Il C.N.S. è posto nel nucleo storico del paese di Costacciaro (q. 480 m s.l.m.), lungo l
S.S. n. 3 Flaminia, al confine fra l'Umbria e le Marche, in prossimità della linea ferro
viaria Roma-Ancona (stazione di Fossato di Vico a 8 Km con servizio di pullman).

Il Centro è una base ideale per ricerche ed escursioni nella:

- Grotta di M. Cucco (lung. 26,136 Km prof. 922 m)
- Grotta delle Tassare (lung. 2,5 Km prof. 438 m)
- Grotta del Mezzogiorno/Grotta di Frasassi (traversata lungh. 1,5 Km prof. 203 m)
- Buco Cattivo (lungh. oltre 8 Km)
- Grotta Grande del Vento/Grotta del Fiume (lungh. oltre 9 Km)
- Grotta di Caprelle (prof. 110 m)
- Grotta del Chicchio (prof. 514 m).

In prossimità del Centro sono state attrezzate alcune palestre speleologiche (Fondarca
Fossa Secca, La Rocchetta) e si trovano diverse fra le più interessanti zone alpinistiche
appenniniche (Gola della Rossa, Gola di Frasassi, Corno di Catria, Monte Cucco).

Nel periodo invernale il Centro promuove escursioni sciistiche (fondo) e tiene aperta l
pista per sci nordico di Pian delle Macinare; sono previsti anche «centri di addestramen
to» giovanili in collaborazione con il CUM.

Particolari agevolazioni e concreta collaborazione verranno date all'escursionismo
scolastico.

Dal Centro è possibile raggiungere facilmente i più famosi borghi e centri medievali ur
bri, come Gubbio (14 Km), Gualdo Tadino (15 Km), Nocera Umbra (25 Km), Assisi (40 Km)
Città di Castello (45 Km), Perugia (58 Km), Spoleto (72 Km).

Per informazioni scrivere o telefonare a:

CENTRO NAZIONALE DI SPELEOLOGIA
Gruppo Speleologico C.A.I. Perugia
Via Cesarei 4 - 06100 Perugia - Tel. 075/28613 (sede amministrativa)
Corso Mazzini 9 - 06021 Costacciaro - Tel. 075/9170236 (sede operativa)

SPELEOLOGIA UMBRA - Numero Speciale - Ottobre 1984