



**CLUB ALPINO ITALIANO  
CORPO NAZIONALE  
SOCCORSO ALPINO  
SEZIONE SPELEOLOGICA**



# **RESISTENZA DEI MATERIALI SPELEO-ALPINISTICI**

A cura della **COMMISSIONE TECNICHE E MATERIALI** della Sezione Speleologica del **CNSA** e del **CENTRO NAZIONALE DI SPELEOLOGIA "M. CUCCO"**.



Alla Speleologia, nostra giovane antica passione, che si mantenga pura, allegra, vivace, critica, polemica, lontana dalle platee e dalle botteghe, tesa a ricercare e consolidare amicizie e amori, ingenuamente idealista e impegnata per la felicità di tutti.

La CTM



PROPRIETÀ LETTERARIA E ARTISTICA RISERVATA  
Tutti i diritti d'autore, di traduzione, elaborazione e riproduzione in  
qualsiasi forma, intera o parziale (anche di semplici brani o a mezzo di  
radiodiffusione) sono riservati per tutti i paesi del mondo.  
Qualsiasi contraffazione e riproduzione di parti verrà  
perseguita a termini di legge.

---

# **RESISTENZA DEI MATERIALI SPELEO-ALPINISTICI**

A cura della COMMISSIONE TECNICHE E MATERIALI della Sezione Speleologica del CNSA e del CENTRO NAZIONALE DI SPELEOLOGIA "M. CUCCO".



*La Sezione Speleologica del Corpo Nazionale Soccorso Alpino pubblica oggi i risultati di oltre quattro anni di intenso lavoro di ricerca e sperimentazione, frutto della collaborazione attiva di tecnici di soccorso speleologico delle diverse delegazioni regionali, coordinati in un pool di elevata professionalità quale si è dimostrata essere la Commissione Tecniche e Materiali (CTM).*

*È un grande successo che qualifica enormemente non solo il Soccorso Speleologico ma tutta la speleologia italiana che ha in questa opera la sua parte importante di presenza diretta e che, non dimentichiamo, fornisce alla nostra organizzazione il meglio del potenziale umano e tecnico.*

*È un grande successo per quelli che credono nella collaborazione, nel confronto critico e costruttivo, nella gestione più partecipata possibile di organizzazioni quali il Soccorso Speleologico che, fornendo un servizio di pubblico interesse, deve essere in grado di dare una elevata qualità di risposte.*

*Questo lavoro dà certamente un contributo determinante alla realizzazione degli obiettivi che il CNSA-Sez. Speleologica si è posto fin dalla sua fondazione e primo fra tutti quello della prevenzione degli incidenti in grotta.*

*A questo scopo il terreno più proprio di intervento è sempre stato quello dei corsi di speleologia in cui i tecnici del Soccorso Speleologico abitualmente partecipano contribuendo alla corretta preparazione di quanti si avvicinano a questa affascinante disciplina.*

*Da oggi disponiamo di un nuovo prezioso strumento che consentirà sicuramente di migliorare ulteriormente questa attività educativa.*

*Ma il più importante effetto educativo e quindi preventivo di questo lavoro è quello di essere stato in grado, con risultati indiscutibili, di intaccare «verità», «mode e leggerezze tecniche», imponendo una riflessione seria su materiali e tecniche di progressione che hanno prodotto una maturazione nella cultura tecnica della nostra speleologia tale da imporre l'immissione sul mercato di attrezzature più sicure. È sicuramente frutto di questo lavoro della CTM la maggiore attenzione degli speleologi nella scelta dei materiali, nel modo di usarli e conservarli.*

*Questa maturazione ha avuto evidenti riflessi anche nell'ambito del Soccorso Speleologico che anche in virtù di questi si è presentato di fronte alla realtà nazionale ed all'interno del CNSA con una immagine ed una operatività di tipo professionale. Il lavoro prefigurato dalla allora costituita CTM al Congresso di Trieste era considerevole ed è quindi lontano dall'esaurirsi: la scelta di indirizzare inizialmente tutte le energie sulla conoscenza delle attrezzature si è dimostrata giusta ed efficace.*

*La speleologia, al contrario dell'alpinismo, usava da tempo materiali non collaudati, con caratteristiche di resistenza e sicurezza sconosciute, spesso di costruzione artigianale od addirittura costruite in proprio nell'ambito dei magazzini di gruppo.*

*Oggi questo vuoto è stato colmato e di questo ne usufruisce anche il settore alpinistico in quanto tecniche e materiali speleologici trovano sempre più largo impiego nelle attività di montagna.*

*Questo interessa evidentemente anche l'ambito del Soccorso Alpino che ha saputo cogliere nelle tecniche e nei materiali speleologici elementi riproponibili con successo anche all'ambito del soccorso in montagna.*

*Tutto questo incoraggia ed incentiva le energie di quanti operano nel CNSA nella consapevolezza che ancora molto c'è da fare.*

*Questo lavoro rappresenta però una base di partenza considerevole che consentirà alla CTM la realizzazione di programmi ormai ben delineati.*

*Nel ringraziare quindi quanti hanno dedicato tempo ed energie per la realizzazione di questo importante lavoro che valorizza la nostra organizzazione, esprimo l'augurio che la speleologia italiana sappia trovare ulteriori elementi di crescita che coinvolgano con nuove tematiche il lavoro della CTM e della Sezione Speleologica del CNSA per una attività sempre più qualificata e sicura.*

*Giampaolo Bianucci  
Responsabile Nazionale della  
Sezione Speleologica del  
Corpo Nazionale Soccorso Alpino*

*Il fatto che la Commissione Centrale per la Speleologia (CCS) del C.A.I. abbia stanziato per le prove tecniche sui materiali ripetuti contributi finanziari, anche di una certa consistenza, diviene di secondaria importanza di fronte al sereno convincimento che proprio nella Speleologia CAI, già dalla fine degli anni 50, sia iniziato un processo evolutivo culminato con la costituzione di un nucleo di appassionati che aveva, e ancora ha, l'intendimento di accertare, verificandole direttamente, le caratteristiche dei materiali speleo-alpinistici disponibili sul mercato. Le loro specifiche esperienze esplorative, associate a quelle didattiche, hanno immediatamente dato alle ricerche un indirizzo mirato a risultati concreti dai quali scaturissero risposte esaurienti e certe alle tante domande che venivano dal variegato mondo speleologico; interrogativi che, solo parzialmente, risultavano soddisfatti dal più «professionale» mondo dell'alpinismo. È pertanto da tempo che la Speleologia CAI sta cercando di sviluppare ricerche pratiche che diano informazioni chiare e dati sicuri sulle caratteristiche della vasta gamma di attrezzature tecniche utilizzate per la progressione in grotta. E la Scuola Nazionale di Speleologia (SNS) del CAI è stato l'elemento trainante e divulgativo delle ricerche e dei risultati che man mano si andavano ottenendo. Due sono i motivi fondamentali che l'hanno spronata in questa direzione.*

*In primo luogo perché ogni insegnamento pratico, nel campo speleologico, deve mirare al massimo della sicurezza possibile e ciò si può ottenere soltanto conoscendo perfettamente pregi e difetti dei materiali per la progressione e le tecniche che a questi sono legate.*

*D'altra parte la didattica si avvantaggia enormemente, in efficace concretezza, quando l'evidenza sperimentale si associa all'esposizione teorica; dalle prove sui materiali, infatti, possono derivare un'infinità di esperienze concrete che lasciano un segno indelebile nella memoria sensitiva prima e culturale poi di chi ha la possibilità di verificarle.*

*Infine un'ultima importante considerazione: alcuni anni fa non sarebbe stato possibile realizzare questa enorme mole di lavoro a causa delle tante e profonde separazioni che frammentavano il mondo speleologico italiano. Oggi invece, in un clima più sereno e con un desiderio sincero di eliminare i passati contrasti e le velenose divisioni, tutte le diverse forze, che operano per migliorare la nostra Speleologia, si sono incontrate per produrre qualcosa di concreto e di utile. Da questa ritrovata armonia di intenti è nato il presente volume.*

*Esso dunque vale per i suoi contenuti tecnici e scientifici, ma è anche da apprezzare perché è il risultato di un lungo processo storico che ha portato di nuovo la Speleologia italiana a lavorare senza contrasti per offrire a chi la pratica sicuri momenti di soddisfazione e di piacere.*

*Antonio Rossi  
Presidente della Commissione  
Centrale C.A.I. per la Speleologia*



## SOMMARIO

Presentazione .....	Pag.	27
Scopi e impostazione delle ricerche .....	»	28
Strumenti di misura .....	»	30
Sicurezza, resistenza e affidabilità .....	»	31
Limite Inferiore di Resistenza .....	»	32
Minima Resistenza Iniziale .....	»	34
Criteri di esposizione dei risultati .....	»	40

## CAPITOLO PRIMO

### *PERCUSSIONE DI ELEMENTI ELASTICI (F. Salvatori)*

INTRODUZIONE .....	»	43
SOLLECITAZIONI DINAMICHE .....	»	43
PERCUSSIONE DI UN CORPO ELASTICO IDEALE .....	»	44
<i>Equazione di moto delle oscillazioni armoniche semplici</i> .....	»	44
<i>Oscillazioni indotte dalla caduta di un grave</i> .....	»	46
<i>Caduta di un grave con velocità iniziale nulla</i> .....	»	49
<i>Velocità di allungamento</i> .....	»	49
<i>Variazione di energia cinetica</i> .....	»	49
<i>Variazione di forza</i> .....	»	51
<i>Quantità di moto e superficie sottesa</i> .....	»	52
PERCUSSIONE DI UN CORPO ELASTICO REALE .....	»	53
<i>Oscillazioni a smorzamento lineare</i> .....	»	53
<i>Variazione della forza</i> .....	»	54
PERCUSSIONE DI UNA CORDA SPELEO-ALPINISTICA .....	»	56
<i>Confronto fra curve teoriche e sperimentali</i> .....	»	58
<i>Funzione <math>F=f(t)</math> per un corpo elastico ideale</i> .....	»	58
<i>Struttura e meccanismi di deformazione di una corda</i> .....	»	61
<i>Funzione <math>F=f(t)</math> per una corda</i> .....	»	63
<i>Energia dissipata per plasticità e attriti</i> .....	»	64
<i>Energia assorbita per elasticità</i> .....	»	65
<i>Energia dissipata per attriti</i> .....	»	66
<i>Calcolo del coefficiente di elasticità</i> .....	»	69
CONCLUSIONI .....	»	71

## CAPITOLO SECONDO

### *TASSELLI E ROCCIA*

INTRODUZIONE .....	»	73
METODOLOGIA SPERIMENTALE .....	»	75
RESISTENZA DEGLI ANCORAGGI IN ROCCIA .....	»	76
<i>Rocce fratturate o stratificate</i> .....	»	77
TASSELLI SPIT ROC MF8 .....	»	78
<i>Metodologia di analisi</i> .....	»	78

<i>Tipi di rottura</i> .....	»	79
<i>Spit Roc MF8 e roccia</i> .....	»	80
<i>Spit Roc MF8 e bulloni a diversa resistenza</i> .....	»	85
<i>Spit Roc MF8 e distanza di posa</i> .....	»	86
<i>Spit Roc MF8 e tecnica di perforazione</i> .....	»	90
<i>Spit Roc MF8 e svasatura del foro</i> .....	»	91
<i>Spit Roc MF8 e profondità del foro</i> .....	»	93
<i>Spit Roc MF8, Hilti HHS M8 e scambio di cunei</i> .....	»	96
<i>Spit Roc MF8 e inclinazione dell'asse del tassello</i> .....	»	97
<b>TASSELLI SPIT FIX M8 ACCIAIO NORMALE</b> .....	»	100
<i>Metodologia di analisi</i> .....	»	100
<i>Tipi di rottura</i> .....	»	101
<i>Spit Fix M8 e roccia</i> .....	»	101
<i>Spit Fix M8 e profondità di infissione</i> .....	»	103
<i>Spit Fix M8 e coppia di serraggio</i> .....	»	106
<i>Spit Fix M8 e distanza di posa</i> .....	»	107
<i>Spit Fix M8 e svasatura del foro</i> .....	»	109
<i>Spit Fix M8 e inclinazione dell'asse del tassello</i> .....	»	111
<i>Suggerimenti per la messa in posa</i> .....	»	112
<i>Limiti d'impiego</i> .....	»	113
<b>TASSELLI SPIT FIX M8 ACCIAIO INOX</b> .....	»	115
<i>Considerazioni</i> .....	»	116
<i>Suggerimenti per la messa in posa</i> .....	»	118
<b>CONFRONTO FRA TASSELLI</b> .....	»	118
<b>QUESTIONI PER IL FUTURO</b> .....	»	121

## CAPITOLO TERZO

### **BULLONI**

<b>INDICAZIONI GENERALI</b> .....	»	125
<b>BULLONI E COPPIA DI SERRAGGIO</b> .....	»	126

## CAPITOLO QUARTO

### **PLACCHETTE E ANELLI**

<b>INTRODUZIONE</b> .....	»	131
<b>ANCORAGGI SU PIASTRA D'ACCIAIO</b> .....	»	132
<i>Risultati</i> .....	»	134
<i>Rottura a fatica</i> .....	»	135
<i>Confronto grafico</i> .....	»	136
<b>ANCORAGGI SU ROCCIA</b> .....	»	138
<i>Placchetta Coeur Petzl</i> .....	»	139
<i>Anello asimmetrico Petzl</i> .....	»	140
<b>CONCLUSIONI</b> .....	»	141
<b>ANCORAGGI USATI</b> .....	»	143

CAPITOLO QUINTO  
MAGLIE RAPIDE E MOSCHETTONI

INTRODUZIONE .....	» 147
MAGLIE RAPIDE .....	» 148
<i>Tecnica di sperimentazione</i> .....	» 148
<i>Risultati</i> .....	» 149
<i>Conclusioni</i> .....	» 151
MOSCHETTONI USATI .....	» 152
<i>Simond «speleo» simmetrico in lega leggera con ghiera</i> .....	» 152
<i>Allain asimmetrico in lega leggera</i> .....	» 154
<i>Kong-Bonaiti simmetrico in lega leggera con ghiera Ø 11 mm</i> .....	» 154
<i>Kong-Bonaiti simmetrico in lega leggera con ghiera Ø 10 mm</i> .....	» 155
<i>Kong-Bonaiti simmetrico in lega leggera con ghiera Ø 11 mm</i> .....	» 155
<i>Kong-Bonaiti simmetrico Ø 10 mm in acciaio</i> .....	» 155
<i>Kong-Bonaiti asimmetrico in lega leggera UIAA con ghiera</i> .....	» 155
<i>Conclusioni</i> .....	» 156

CAPITOLO SESTO  
CARATTERISTICHE DELLE CORDE NUOVE

INTRODUZIONE .....	» 159
STRUTTURA CHIMICO-FISICA .....	» 159
DISOMOGENEITÀ TRASVERSALE .....	» 160
MODALITÀ DI EFFETTUAZIONE DEI TEST .....	» 161
RISULTATI DEI TEST .....	» 163
<i>Edelrid ss Ø 10</i> .....	» 164
<i>Edelrid ss Ø 9</i> .....	» 165
<i>Edelrid ss Ø 8</i> .....	» 166
<i>Edelrid s Ø 8</i> .....	» 167
<i>Beal Antipodes s Ø 10,2</i> .....	» 168
<i>Beal Antipodes s Ø 10</i> .....	» 169
<i>Beal Antipodes s Ø 9</i> .....	» 170
<i>Beal Antipodes s Ø 8</i> .....	» 171
<i>Joanny s Ø 11</i> .....	» 172
<i>Joanny s Ø 10,5</i> .....	» 173
<i>Joanny Super Retract s Ø 10,5</i> .....	» 174
<i>Joanny Antiabrasion s Ø 10,2</i> .....	» 175
<i>Joanny s Ø 9</i> .....	» 176
<i>TSA s Ø 10,2</i> .....	» 177
<i>TSA s Ø 8,3</i> .....	» 178
<i>Edelweiss s Ø 10</i> .....	» 179
<i>Edelweiss s Ø 9</i> .....	» 180
<i>Cassin s Ø 10</i> .....	» 181
<i>Kevlar Ø 6</i> .....	» 182
SINTESI DEI RISULTATI .....	» 183
CONSIDERAZIONI .....	» 184
CONCLUSIONI .....	» 185

## CAPITOLO SETTIMO

### *PROVE DI CADUTA*

INTRODUZIONE .....	»	189
FORZA MASSIMA E NODI DI ANCORAGGIO .....	»	190
EFFETTO LONGE .....	»	191
<i>Confronto grafico</i> .....	»	195
<i>Conclusioni</i> .....	»	195
CHOC RIPETUTI .....	»	196
<i>Choc ripetuti e forza massima</i> .....	»	196
<i>Choc ripetuti e carico di rottura con e senza nodo</i> .....	»	198
<i>Confronto grafico e conclusioni</i> .....	»	200
INTERAZIONE FRA ATTREZZI MECCANICI E CORDE .....	»	202
<i>Meccanismi di rottura</i> .....	»	205
<i>Conclusioni</i> .....	»	208
CADUTA DI UN CORPO UMANO .....	»	209
<i>Condizioni sperimentali</i> .....	»	210
<i>Risultati</i> .....	»	210
<i>Conclusioni</i> .....	»	215
FORZA MASSIMA E LUNGHEZZA DELLE ANSE NEI FRAZIONAMENTI .....	»	216
<i>Conclusioni</i> .....	»	220

## CAPITOLO OTTAVO

### *NODI*

INTRODUZIONE .....	»	223
FUNZIONAMENTO .....	»	224
DESCRIZIONE .....	»	225
ROTTURA DI UNA CORDA SENZA NODI .....	»	226
ROTTURA DI UNA CORDA CON NODI .....	»	227
NODI DI ANCORAGGIO .....	»	229
<i>Risultati</i> .....	»	232
<i>Conclusioni</i> .....	»	234
NODI DI GIUNZIONE FRA CORDE UGUALI .....	»	235
<i>Risultati</i> .....	»	237
<i>Conclusioni</i> .....	»	238
NODI DI GIUNZIONE FRA CORDE DIVERSE .....	»	238
<i>Risultati</i> .....	»	238
<i>Conclusioni</i> .....	»	240

## CAPITOLO NONO

### *USURA DELLE CORDE*

INTRODUZIONE .....	»	243
--------------------	---	-----

PRIMA INDAGINE: CORDA JOANNY S Ø 10,5	»	243
<i>Tecnica di sperimentazione</i>	»	243
<i>Metodo di analisi</i>	»	248
<i>Risultati</i>	»	249
Riduzione di lunghezza	»	249
Curve di carico-scarico e allungamento residuo	»	249
Carico di rottura, forza massima, coefficiente dinamico di elasticità e parametri energetici	»	252
Carico di rottura su tratti di corda utilizzati per nodi di attacco e corrimano	»	254
Choc ripetuti	»	254
SECONDA INDAGINE: CORDE VARIE	»	255
<i>Beal Antipodes s Ø 10,2 G.S. CAI-SAT Lavis</i>	»	256
<i>Edelrid ss Ø 10 G.S. CAI Perugia</i>	»	257
<i>Edelrid ss Ø 10 Stufe di San Calogero</i>	»	259
<i>Edelrid ss Ø 10 Abisso Gortani</i>	»	260
<i>Edelrid ss Ø 10 Buco Bucone</i>	»	261
<i>Edelrid ss Ø 10 di varia provenienza</i>	»	262
<i>Edelrid ss Ø 9 Abisso Gortani</i>	»	262
TERZA INDAGINE: EFFETTO NODO SU CORDE USATE	»	264
<i>Edelrid ss Ø 10 Stufe di San Calogero</i>	»	264
<i>Edelrid ss Ø 10 Buco Bucone</i>	»	265
<i>Edelrid ss Ø 10 di provenienza sconosciuta</i>	»	265
<i>Nodo bocca di lupo e corde usate varie</i>	»	266
CONCLUSIONI	»	267
<i>Decadimento per esposizione alla luce</i>	»	267
<i>Decadimento per usura in grotta</i>	»	268
<i>Allungamento residuo</i>	»	269
<i>Riduzione della lunghezza iniziale</i>	»	269
<i>Parametri energetici</i>	»	269
<i>Carichi di rottura di tratti di corda utilizzati per nodi di ancoraggio e corrimano</i>	»	270
<i>Decadimento e numero delle persone transitate</i>	»	270
<i>Decadimento in relazione ai tempi e ai modi di utilizzo</i>	»	270
<i>Edelrid ss Ø 10 Stufe di San Calogero</i>	»	271
<i>Invecchiamento da choc</i>	»	272
<i>Effetto nodo su corde usate</i>	»	273
<i>Caratteristiche di una corda usata e carico di rottura in presenza di nodi</i>	»	274

## CAPITOLO DECIMO

### CARATTERISTICHE DELLE FETTUCCIE

INTRODUZIONE	»	277
TECNICA DI SPERIMENTAZIONE	»	277
FETTUCCIA SINGOLA, ANELLO E LONGE DI FETTUCCIA	»	279
<i>Considerazioni</i>	»	280
CARICHI DI ROTTURA E GEOMETRIA DEI PUNTI DI APPOGGIO	»	281
<i>Interpretazione teorica dei risultati</i>	»	283
Misura della forza di trazione sull'ancoraggio	»	283
Diversificazione dei punti di rottura	»	285
Considerazioni	»	287
<i>Meccanismi di rottura</i>	»	287

Rottura sull'ancoraggio .....	»	287
Rottura fuori dall'ancoraggio .....	»	289
CONCLUSIONI .....	»	290

**CAPITOLO UNDICESIMO**  
***ASSICURAZIONE DINAMICA***

INTRODUZIONE .....	»	293
DISSIPATORI .....	»	294
<i>Tecnica di sperimentazione</i> .....	»	294
<i>Risultati</i> .....	»	297
<i>Conclusioni</i> .....	»	298
Confronto grafico .....	»	298
MOSCHETTONI DI RINVIO .....	»	300
APPENDICE .....	»	302
BIBLIOGRAFIA .....	»	305
ELENCO DELLE FIGURE .....	»	305
ELENCO DELLE FOTO INSERITE NEL TESTO .....	»	309
FINE .....	»	309

## SOMMAIRE

Présentation .....	Pag.	27
But et imposition des recherches.....	»	28
Securité, résistance et affidabilité.....	»	31
Limite Inferieure de Résistance .....	»	32
Résistance Minimale Initiale .....	»	34
Criteres d'exposition de résultats .....	»	40

### PREMIER CHAPITRE

#### *PERCUSSION D'ÉLEMENTS ÉLASTIQUES (F. Salvatori)*

INTRODUCTION .....	»	43
TENSIONS DYNAMIQUES .....	»	43
PERCUSSION D'UN CORPS ÉLASTIQUE IDÉAL: .....	»	44
<i>Equation du mouvement des oscillations harmoniques simples</i> .....	»	44
<i>Oscillations induites par la chute d'un corps</i> .....	»	46
<i>Chute d'un corp avec velocité initiale nulle</i> .....	»	49
<i>Velocité d'allongement</i> .....	»	49
<i>Variation d'énergie cinétique</i> .....	»	49
<i>Variation des forces</i> .....	»	51
<i>Quantité de mouvement et superficie sous-tendue</i> .....	»	52
PERCUSSION D'UN CORPS ÉLASTIQUE RÉEL: .....	»	53
<i>Oscillations à amortissement linéaire</i> .....	»	53
<i>Variation de la force</i> .....	»	54
PERCUSSION D'UNE CORDE SPÉLEO ET D'ALPINISME: .....	»	56
<i>Comparaison entre une courbe théorique et experimentale</i> .....	»	58
<i>Fonction <math>F=f(t)</math> pour un corps élastique ideal</i> .....	»	58
<i>Structure et mecanismes de déformation d'une corde</i> .....	»	61
<i>Fonction <math>F=f(t)</math> pour une corde</i> .....	»	63
<i>Energie dissipée par plasticité et friction</i> .....	»	64
<i>Energie absorbée par elasticité</i> .....	»	65
<i>Energie dissipée par friction</i> .....	»	66
<i>Calcul du coefficient d'elasticité</i> .....	»	69
CONCLUSION .....	»	71

### DEUXIÈME CHAPITRE

#### *CHEVILLES ET ROCHES*

INTRODUCTION .....	»	73
METODOLOGIE EXPERIMENTALE .....	»	75
RÉSISTANCE DES AMARRAGES SUR ROCHES: .....	»	76
<i>Roches fracturées ou stratifiées</i> .....	»	77
CHEVILLES SPIT ROC MF8: .....	»	78
<i>Metodologie des analyses</i> .....	»	78
<i>Types de ruptures</i> .....	»	79

<i>Spit Roc MF8 et roche</i> .....	»	80
<i>Spit Roc MF8 et vis avec différentes résistances</i> .....	»	85
<i>Spit Roc MF8 ed distance de mise en place</i> .....	»	86
<i>Spit Roc MF8 et technique de perforation</i> .....	»	90
<i>Spit Roc MF8 et evasement du trou</i> .....	»	91
<i>Spit Roc MF8 et profondeur du trou</i> .....	»	93
<i>Spit Roc MF8, Hilti HHS M8 et échange des cônes</i> .....	»	96
<i>Spit Roc MF8 et inclination de l'axe de la cheville</i> .....	»	92
<b>CHEVILLES SPIT FIX MF8 ACIER NORMAL:</b> .....	»	100
<i>Méthodologie des analyses</i> .....	»	100
<i>Type de ruptures</i> .....	»	101
<i>Spit Fix M8 et roche</i> .....	»	101
<i>Spit Fix M8 et profondeur d'enfoncement</i> .....	»	103
<i>Spit Fix M8 et couple de serrage</i> .....	»	106
<i>Spit Fix M8 et distance de la mise en place</i> .....	»	107
<i>Spit Fix M8 et évasement du trou</i> .....	»	109
<i>Spit Fix M8 et inclination de l'axe de la cheville</i> .....	»	111
<i>Conclusions</i> .....	»	112
<b>CHEVILLES SPIT FIX M8 ACIER INOX:</b> .....	»	115
<i>Considerations</i> .....	»	116
<i>Conclusions</i> .....	»	118
<b>COMPARAISON ENTRE LES CHEVILLES:</b> .....	»	118
<i>Notes</i> .....	»	118
<i>Conclusions</i> .....	»	118
<b>QUESTIONS POUR LE FUTUR</b> .....	»	121

## TROISIÈME CHAPITRE

### *VIS*

<b>INDICATIONS GENERALES</b> .....	»	125
<b>VIS ET COUPLE DE SERRAGE</b> .....	»	126

## QUATRIÈME CHAPITRE

### *PLAQUETTES ET ANNEAUX*

<b>INTRODUCTION</b> .....	»	131
<b>AMARRAGES SUR PLAQUETTES D'ACIER:</b> .....	»	132
<i>Précision</i> .....	»	134
<i>Conclusions</i> .....	»	135
<b>AMARRAGE SUR ROCHE:</b> .....	»	138
<i>Plaquette Coeur Petzi</i> .....	»	139
<i>Anneau asymétrique Petzl</i> .....	»	140
<b>CONCLUSION</b> .....	»	141
<b>AMARRAGES EMPLOYÉS</b> .....	»	143



CINQUIÈME CHAPITRE  
**MAILLONS RAPIDES ET MOUSQUETONS**

INTRODUCTION .....	» 147
MAILLONS RAPIDES: .....	» 148
<i>Technique d'expérimentation</i> .....	» 148
<i>Résultats et conclusions</i> .....	» 149
MOSQUETONS EMPLOYÉS: .....	» 152
<i>Simond «speleo» symétrique en alliage léger avec virole</i> .....	» 152
<i>Allain asymétrique en alliage léger</i> .....	» 154
<i>Bonaiti asymétrique Ø 11 en alliage léger avec virole</i> .....	» 154
<i>Bonaiti symétrique Ø 10 en alliage léger avec virole</i> .....	» 155
<i>Bonaiti symétrique Ø 11 en alliage léger avec virole</i> .....	» 155
<i>Bonaiti symétrique Ø 10 mm en acier</i> .....	» 155
<i>Bonaiti asymétrique en alliage léger UIAA avec virole</i> .....	» 155
<i>Conclusions</i> .....	» 156

SIXIEME CHAPITRE  
**CARATÉRISTIQUES DES CORDES NEUVES**

INTRODUCTION .....	» 159
STRUCTURE CHIMIQUE ET PHYSIQUE .....	» 159
MODALITÉ D'EFFECTUATION DES TEST .....	» 161
RESULTATS DES TEST: .....	» 163
<i>Edelrid ss Ø 10</i> .....	» 164
<i>Edelrid ss Ø 9</i> .....	» 165
<i>Edelrid ss Ø 8</i> .....	» 166
<i>Edelrid s Ø 8</i> .....	» 167
<i>Beal Antipodes s Ø 10,2</i> .....	» 168
<i>Beal Antipodes s Ø 10</i> .....	» 169
<i>Beal Antipodes s Ø 9</i> .....	» 170
<i>Beal Antipodes s Ø 8</i> .....	» 171
<i>Joanny s Ø 11</i> .....	» 172
<i>Joanny s Ø 10,5</i> .....	» 173
<i>Joanny Super Retract s Ø 10,5</i> .....	» 174
<i>Joanny Antiabrasion s Ø 10,2</i> .....	» 175
<i>Joanny s Ø 9</i> .....	» 176
<i>TSA s Ø 10,2</i> .....	» 177
<i>TSA s Ø 8,3</i> .....	» 178
<i>Edelweiss s Ø 10</i> .....	» 179
<i>Edelweiss s Ø 9</i> .....	» 180
<i>Cassin s Ø 10</i> .....	» 181
<i>Kevlar Ø 6</i> .....	» 182
SYNTÈSE DES RESULTATS .....	» 183
CONSIDÉRATIONS .....	» 184
CONCLUSIONS .....	» 185

## SEPTIÈME CHAPITRE

### ESSAIS DE CHUTE

INTRODUCTION .....	»	189
FORCE MAXIMALE ET NOEUDS D'ATTACHE .....	»	190
EFFET LONGE: .....	»	191
<i>Considérations</i> .....	»	195
<i>Conclusions</i> .....	»	195
CHOC REPETÉS: .....	»	196
<i>Choc repetés et force maximale</i> .....	»	196
<i>Choc repetés et force de rupture</i> .....	»	196
<i>Cocs repetés et force de rupture avec et sans noeuds</i> .....	»	198
<i>Conclusions</i> .....	»	200
INTERACTION ENTRE LES HARNAIS MÉCANIQUES ET LA CORDE: .....	»	202
<i>Considérations</i> .....	»	205
<i>Conclusions</i> .....	»	208
CHUTE D'UN CORPS HUMAIN: .....	»	209
<i>Conditions expérimentales</i> .....	»	210
<i>Résultats et conclusions</i> .....	»	210
FORCES MAXIMALES ET LONGUEUR DES BOUCLES DES FRACTIONNEMENTS: .....	»	216
<i>Conclusions</i> .....	»	220

## HUITIÈME CHAPITRE

### NOEUDS

INTRODUCTION .....	»	223
FONCTIONNEMENT DES NOEUDS .....	»	224
DESCRIPTION DES NOEUDS .....	»	225
RUPTURE D'UNE CORDE SANS NOEUDS .....	»	226
RUPTURE D'UNE CORDE AVEC NOEUDS .....	»	227
NOEUDS D'ATTACHE: .....	»	229
<i>Résultats</i> .....	»	232
<i>Conclusions</i> .....	»	234
NOEUDS DE JONCTION ENTRE LES MEMES CORDES: .....	»	235
<i>Resultats</i> .....	»	237
<i>Conclusions</i> .....	»	238
NOEUDS DE JONCTION ENTRE CORDES DIFFÉRENTES: .....	»	238
<i>Resultats</i> .....	»	238
<i>Conclusions</i> .....	»	240

## NEUVIÈME CHAPITRE

### USURE DES CORDES

INTRODUCTION .....	»	243
--------------------	---	-----

PREMIÈRE ENQUÊTE: CORDE JOANNY S Ø 10,5 .....	»	243
<i>Technique d'experimentation</i> .....	»	243
<i>Methode des analyses</i> .....	»	248
<i>Resultats:</i> .....	»	249
Réduction de la longueur .....	»	249
Courbe de charge-decharge et allongement résiduel .....	»	249
Force de rupture, force maximale, coefficient dynamique d'élasticite et paramètres énergeti- ques .....	»	252
Force de rupture sur bout de corde utilisé pour noeud d'attache et main-courante ...	»	254
Choc repetés .....	»	254
DEUXIÈME ENQUÊTE: CORDES DIFFÉRENTES: .....	»	255
<i>Beal Antipodes s Ø 10,2 G.S. CAI-SAT Lavis</i> .....	»	256
<i>Edelrid ss Ø 10 G.S. CAI Perugia</i> .....	»	257
<i>Edelrid ss Ø 10 Stufe di San Calogero</i> .....	»	259
<i>Edelrid ss Ø 10 Abisso Gortani</i> .....	»	260
<i>Edelrid ss Ø 10 Buco Bucone</i> .....	»	261
<i>Edelrid ss Ø 10 de provenances différentes</i> .....	»	262
<i>Edelrid ss Ø 9 Abisso Gortani</i> .....	»	262
TROISIÈME ENQUÊTE: EFFET DU NOEUD SUR CORDES USAGÉES .....	»	264
<i>Edelrid ss Ø 10 Stufe di San Calogero</i> .....	»	264
<i>Edelrid ss Ø 10 Buco Bucone</i> .....	»	265
<i>Edelrid ss Ø 10 de provenance inconnue</i> .....	»	265
<i>Noeud tête d'alouette et différentes cordes usagées</i> .....	»	266
CONCLUSIONS .....	»	267
<i>Détérioration par exposition à la lumiere</i> .....	»	267
<i>Détérioration par usage en grotte</i> .....	»	268
<i>Allongement résiduel</i> .....	»	269
<i>Réduction de la longueur initiale</i> .....	»	269
<i>Paramètres énergetiques</i> .....	»	269
<i>Force de rupture pour bout de corde utilisé pour noeuds d'attache et main- courante</i> .....	»	270
<i>Détérioration et nombres des personnes transitées</i> .....	»	270
<i>Détérioration en relation au temps et aux modes d'emploi</i> .....	»	270
<i>Edelrid ss Ø 10 Stufe di San Calogero</i> .....	»	271
<i>Vieillissement dû aux choc</i> .....	»	272
<i>Effet noeud sur corde usagée</i> .....	»	273
<i>Caractéristiques d'une corde usagés et force de rupture en présence d'un noeud</i> .....	»	274

## DIXIÈME CHAPITRE

### CARATERISTIQUES DES SANGLES

INTRODUCTION .....	»	277
TECHNIQUES D'EXPÉRIMENTATION .....	»	277
SANGLE SIMPLE, ANNEAU ET LONGE EN SANGLE: .....	»	279
<i>Considérations</i> .....	»	280
FORCE DE RUPUTURE ET GÉOMETRIE DES POINTS D'APPUI: .....	»	281
<i>Interprétation théorique des resultats</i> .....	»	283
CONCLUSIONS .....	»	290

ONZIÈME CHAPITRE  
*ASSURANCE DYNAMIQUE*

INTRODUCTION .....	»	293
DISSIPATEURS .....	»	294
<i>Techniques d'expérimentation</i> .....	»	294
<i>Résultats</i> .....	»	297
<i>Conclusions</i> .....	»	298
MOUSQUETONS DE RENVOI .....	»	300
APPENDICE .....	»	302
BIBLIOGRAPHIE .....	»	305
FIN .....	»	309

## INDEX

Presentation of the book .....	Pag.	27
Aims and methods of the researches .....	»	28
Security, strength, reliability .....	»	31
Lower Limit of the Strength .....	»	32
Minimal Initial Strenght .....	»	34
Adopted criterions for presentation of the results .....	»	40

### FIRST CHAPTER

#### *SHOCK OF ELASTIC ELEMENTS (F. Salvatori)*

INTRODUCTION .....	»	43
DYNAMIC LOADING .....	»	43
SHOCK ON AN IDEAL ELASTIC BODY .....	»	44
<i>Equation of simple harmonic oscillations</i> .....	»	44
<i>Oscillations due a body fall</i> .....	»	46
<i>Fall of a body with initial velocity equal zero</i> .....	»	49
<i>Velocity of strain</i> .....	»	49
<i>Variation of the cinetic energy</i> .....	»	49
<i>Variation of the load</i> .....	»	51
<i>Quantity of motion</i> .....	»	52
SHOCK ON A REAL ELASTIC BODY .....	»	53
<i>Linear damped oscillation</i> .....	»	53
<i>Variation of the load</i> .....	»	54
SHOCK ON THE SPELEO-ALPINE ROPE .....	»	56
<i>Comparision between experimental and theoretical curves</i> .....	»	58
<i>F=f(t) function for an ideal elastic body</i> .....	»	58
<i>Deformation structure and mechanisms for a rope</i> .....	»	61
<i>F=f(t) function for a rope</i> .....	»	63
<i>Dissipated energy per plasticity and internal friction</i> .....	»	64
<i>Absorded energy per elasticity</i> .....	»	65
<i>Dissipated energy per internal friction</i> .....	»	66
<i>Computation of the elasticity coefficient</i> .....	»	69
CONCLUSIONS .....	»	71

### SECOND CHAPTER

#### *ANCHORS AND ROCK*

INTRODUCTION .....	»	73
EXPERIMENTAL METHODS .....	»	75
STRENGTH OF THE ROCK ANCHORS .....	»	76
<i>Fractured and stratified rocks</i> .....	»	77
«SPIT-ROC MF8» BOLTS.....	»	78
<i>Experimental methods</i> .....	»	78
<i>Types of failure</i> .....	»	79

<i>Spit-Roc MF8 and rock</i> .....	»	80
<i>Spit-Roc MF8 and screws of different strenght</i> .....	»	85
<i>Spit-Roc MF8 and distance of placement</i> .....	»	86
<i>Spit-Roc MF8 and drilling technique</i> .....	»	90
<i>Spit-Roc MF8 and flare of the hole</i> .....	»	91
<i>Spit-Roc MF8 and depth of the hole</i> .....	»	93
<i>Spit-Roc MF8, Hilti HHS M8 and exchange of cones</i> .....	»	96
<i>Spit-Roc MF8 and inclination of the hole axe</i> .....	»	97
BOLTS SPIT-FIX M8 NORMAL STEEL .....	»	100
<i>Experiemental methods</i> .....	»	100
<i>Type of failure</i> .....	»	101
<i>Spit Fix M8 and rock</i> .....	»	101
<i>Spit Fix M8 and depth of the hole</i> .....	»	103
<i>Spit Fix M8 and the tightening force</i> .....	»	106
<i>Spit Fix M8 and distance of placement</i> .....	»	107
<i>Spit Fix M8 and flare of the hole</i> .....	»	109
<i>Spit Fix M8 and inclination of the hole axe</i> .....	»	111
<i>Conclusions</i> .....	»	112
STAINLESS STEEL SPIT-FIX M8 BOLTS .....	»	115
<i>Considerations</i> .....	»	116
<i>Conclusions</i> .....	»	118
COMPARISION OF THE SELF-DRILLING ANCHORS .....	»	118
<i>Note</i> .....	»	118
<i>Conclusions</i> .....	»	118
QUESTIONS FOR THE FUTURE .....	»	121

### THIRD CHAPTER

#### **BOLTS**

GENERAL INDICATIONS .....	»	125
BOLT AND TIGHTENING FORCE .....	»	126

### FOURTH CHAPTER

#### **HANGERS AND RINGS**

INTRODUCTION .....	»	131
ANCHORS ON IRON SLAB FOR EXPERIMENTAL TESTS .....	»	132
<i>Remark</i> .....	»	134
<i>Conclusions</i> .....	»	135
ANCHORS ON ROCKS .....	»	138
<i>Petzl Coeur hanger</i> .....	»	139
<i>Asymmetrical Petzl ring</i> .....	»	140
CONCLUSIONS .....	»	141
NOTE ON USED ANCHORS .....	»	143

## FIFTH CHAPTER

### *MAILLONS RAPIDES AND CARABINERS*

INTRODUCTION .....	» 147
MAILLONS RAPIDES .....	» 148
<i>Experimental methods</i> .....	» 148
<i>Results</i> .....	» 149
<i>Conclusions</i> .....	» 151
CARABINERS .....	» 152
<i>Oval alloy Simond «speleo» with screw-gate</i> .....	» 152
<i>Asymmetrical alloy Allain</i> .....	» 154
<i>Asymmetrical alloy Bonaiti with screw-gate <math>\varnothing</math> 11 mm</i> .....	» 154
<i>Oval alloy Bonaiti with screw-gate <math>\varnothing</math> 10 mm</i> .....	» 155
<i>Oval alloy Bonaiti with screw-gate <math>\varnothing</math> 11 mm</i> .....	» 155
<i>Oval steel Bonaiti <math>\varnothing</math> 10 mm</i> .....	» 155
<i>Asymmetric alloy Bonaiti with screw-gate UIAA</i> .....	» 155
<i>Conclusions</i> .....	» 156

## SIXTH CHAPTER

### *NEW ROPES*

INTRODUCTION .....	» 159
PHYSICAL-CHEMICAL STRUCTURE .....	» 159
EXPERIMENTAL METHODS .....	» 161
RESULTS OF THE TESTS .....	» 163
<i>Edelrid ss <math>\varnothing</math> 10 mm</i> .....	» 164
<i>Edelrid ss <math>\varnothing</math> 9 mm</i> .....	» 165
<i>Edelrid ss <math>\varnothing</math> 8 mm</i> .....	» 166
<i>Edelrid s <math>\varnothing</math> 8 mm</i> .....	» 167
<i>Beal Antipodes s <math>\varnothing</math> 10,2 mm</i> .....	» 168
<i>Beal Antipodes s <math>\varnothing</math> 10 mm</i> .....	» 169
<i>Beal Antipodes s <math>\varnothing</math> 9 mm</i> .....	» 170
<i>Beal Antipodes s <math>\varnothing</math> 8 mm</i> .....	» 171
<i>Joanny s <math>\varnothing</math> 11 mm</i> .....	» 172
<i>Joanny s <math>\varnothing</math> 10,5 mm</i> .....	» 173
<i>Joanny Super Retract s <math>\varnothing</math> 10,5 mm</i> .....	» 174
<i>Joanny Antiabrasion s <math>\varnothing</math> 10,2 mm</i> .....	» 175
<i>Joanny s <math>\varnothing</math> 9 mm</i> .....	» 176
<i>TSA s <math>\varnothing</math> 10,2 mm</i> .....	» 177
<i>TSA s <math>\varnothing</math> 8,3 mm</i> .....	» 178
<i>Edelweiss s <math>\varnothing</math> 10 mm</i> .....	» 179
<i>Edelweiss s <math>\varnothing</math> 9 mm</i> .....	» 180
<i>Cassin s <math>\varnothing</math> 10 mm</i> .....	» 181
<i>Kewlar <math>\varnothing</math> 6 mm</i> .....	» 182
SYNTHESIS OF THE RESULTS .....	» 183
CONSIDERATIONS .....	» 184
CONCLUSIONS .....	» 185

## SEVENTH CHAPTER

### *FALL TESTS*

INTRODUCTION .....	»	189
PEAK-FORCE AND ANCHORING KNOTS .....	»	190
COW'S-TAIL EFFECT .....	»	191
<i>Considerations</i> .....	»	195
<i>Conclusions</i> .....	»	195
REPEATED SHOCKS .....	»	196
<i>Repeated shocks and peak force</i> .....	»	196
<i>Repeated shocks and strength with and without knot</i> .....	»	198
<i>Conclusions</i> .....	»	200
INTERACTION BETWEEN DEVICES AND ROPES .....	»	202
<i>Considerations</i> .....	»	205
<i>Conclusions</i> .....	»	208
FALL OF A HUMAN BODY .....	»	209
<i>Experimental methods</i> .....	»	210
<i>Results</i> .....	»	210
<i>Conclusions</i> .....	»	215
PEAK-FORCE AND LENGTH OF THE SAG IN THE ROPE JUST PRIOR TO THE REBELAY .....	»	216
<i>Conclusions</i> .....	»	220

## EIGHTH CHAPTER

### *KNOTS*

INTRODUCTION .....	»	223
KNOTS WORKING .....	»	224
DESCRIPTION OF THE KNOTS .....	»	225
TEARING OF THE ROPE WITHOUT KNOTS .....	»	226
TEARING OF THE ROPE WITH KNOTS .....	»	227
ANCHOR KNOTS .....	»	229
<i>Results</i> .....	»	232
<i>Conclusions</i> .....	»	234
JOINTING END KNOTS BETWEEN EQUAL IN DIAMETER ROPES .....	»	235
<i>Results</i> .....	»	237
<i>Conclusions</i> .....	»	238
JOINTING ENDS KNOTS BETWEEN ROPES DIFFERENT IN DIAMETER .....	»	238
<i>Results</i> .....	»	238
<i>Conclusions</i> .....	»	240

## NINTH CHAPTER

### *WEARING OUT OF THE ROPES*

INTRODUCTION .....	»	243
--------------------	---	-----



FIRST TEST: JOANNY ROPE $\varnothing$ 10,5 mm	»	243
<i>Experimental methods</i>	»	243
<i>Analytical methods</i>	»	248
<i>Results</i>	»	249
Length reduction	»	249
Load-unload curves and residual lengthening	»	249
Ultimate strength, peak force, coefficient of dynamic elasticity and energetic parameters	»	252
Ultimate strength of the part of the rope used for anchor knots or traverses	»	254
Repeated shocks	»	254
SECOND TEST: DIFFERENT ROPES	»	255
<i>Beal Antipodes s <math>\varnothing</math> 10,2 used by G.S. CAI-SAT Lavis</i>	»	256
<i>Edelrid ss <math>\varnothing</math> 10 mm used by GS CAI PG</i>	»	257
<i>Edelrid ss <math>\varnothing</math> 10 mm used in the Stufe di S. Calogero</i>	»	259
<i>Edelrid ss <math>\varnothing</math> 10 mm used in Abisso Gortani</i>	»	260
<i>Edelrid ss <math>\varnothing</math> 10 mm used in Buco Bucone</i>	»	261
<i>Edelrid ss <math>\varnothing</math> 10 mm used in different caves</i>	»	262
<i>Edelrid ss <math>\varnothing</math> 9 mm used the Abisso Gortani</i>	»	262
THIRD TEST: KNOT EFFECT ON USED ROPES	»	264
<i>Edelrid ss <math>\varnothing</math> 10 mm used in the Stufe di S. Calogero</i>	»	264
<i>Edelrid ss <math>\varnothing</math> 10 mm used in Buco Bucone</i>	»	265
<i>Edelrid ss <math>\varnothing</math> 10 mm used in imlpw caves</i>	»	265
<i>Girth hitch and different used knots</i>	»	266
CONCLUSIONS	»	267
<i>Decay caused by exposure to sunlight</i>	»	267
<i>Decay due to use in the caves</i>	»	268
<i>Residual lengthening</i>	»	269
<i>Reduction of new original length</i>	»	269
<i>Energetic parameters</i>	»	269
<i>Ultimate strength for part of the rope used for anchor knots or traverse</i>	»	270
<i>Decay and number of people that used the rope</i>	»	270
<i>Decay and time of use and method of rappelling and prusiking</i>	»	270
<i>Edelrid ss <math>\varnothing</math> 10 mm used in the Stufe di S. Calogero</i>	»	271
<i>Angeing due to shocks</i>	»	272
<i>Knot effect on used ropes</i>	»	273
<i>Characteristics of a used rope and ultimate strenght with knots on the rope</i>	»	274

## TENTH CHAPTER

### THE TAPES

INTRODUCTION	»	277
EXPERIMENTAL METHODS	»	277
TAPE, RING TAPE AND TAPE COW'S-TAIL	»	279
<i>Considerations</i>	»	280
STRENGTH AND GEOMETRY OF THE ANCHOR	»	281
<i>Theoretical interpretation of the results</i>	»	283
<i>Conclusions</i>	»	290

## ELEVENTH CHAPTER

### *DYNAMIC BELAY*

INTRODUCTION .....	»	293
BELAY DEVICES .....	»	294
<i>Experimental methods</i> .....	»	294
<i>Results</i> .....	»	297
<i>Conclusions</i> .....	»	298
CARABINERS ON THE CLIMBING REBELAY .....	»	300
APPENDIX .....	»	302
BIBLIOGRAPHY .....	»	305
THE END .....	»	309

#### Sintetized glossary

$F_m$	= peak force in the shock tests;
$X_d$	= dynamic coefficient of elasticity eq. 45;
$\% \Delta E_e$	= per cent of energy adsorbed by elasticity eq. 43;
$\% \Delta E_p$	= per cento of energy adsorbed by plasticity eq. 40 e 44;
$\% \Delta E_a$	= per cent of energy adsorbed by internal friction eq. 44;
$F_{rd}$	= dynamic ultimate strength of the sheat by a handle ascender;
$F_{rs}$	= static ultimate strength of the sheat by a handle ascender;
$F_r$	= ultimate strength of the rope without knots;
$F_{rn}$	= ultimate strength of the rope anchors with Figure Eight knotse with the bight in the short radii

## PRESENTAZIONE

In questo lavoro sono riportati i risultati di un insieme di ricerche che la Commissione Tecniche e Materiali della Sezione Speleologica del Corpo Nazionale Soccorso Alpino (CTM) ha programmato immediatamente dopo la sua costituzione (Trieste, novembre 1984). Era un programma ambizioso ma ora i risultati sono qui davanti a noi.

La maggior parte del lavoro (circa 230 sedute) è stato svolto da alcuni membri della Commissione:

Giovanni Guerriero	CAI Napoli
Sergio Celesti	CAI Perugia
Franco Lambri	CAI Lecco
Paolo Nanetti	CAI Bologna
Marco Menichetti	CAI Gubbio
Stefano Sconfienza	CAI Torino
Alessandro Continenza	Roma
Francesco Salvatori	CAI Perugia (Coordinatore)

più volte aiutati da volontari della Squadra di Soccorso Speleologico di Perugia e da Luigi Nava di Ponte Lambro.

Le strumentazioni utilizzate sono tutte di proprietà del Centro Nazionale di Speleologia (CNS), acquistate con fondi della Regione dell'Umbria, della Provincia di Perugia, della Commissione Centrale per la Speleologia CAI, della Squadra di Soccorso Speleologico di Perugia e dello stesso CNS.

Contributi finanziari per l'acquisto di materiali da sottoporre a prove sono stati dati dalla Sezione Speleologica della CNSA e dalla Società Speleologica Italiana.

Un elemento fondamentale per la buona riuscita delle ricerche è risultato il contributo in attrezzature dato da numerosi produttori e importatori:

Petzl	Francia
Rivory Joanny	Francia
TSA Expé	Francia
Rag. Mario Zanella	Trento
Kong Bonaiti	Monte Marenzo
Camp	Premana
Vaude Italia	Bressanone
Amorini	Perugia
Elton	Perugia
C.A.M.I. Paviglianiti	Trezzano S/N
Speleomarket	Trieste
Galber	Torino
Erich Weitzmann	Cernusco S/N

Le prove di usura delle corde hanno impegnato per l'intera durata di un anno alcune associazioni speleo:

Gruppo Speleologico CAI	Perugia
IX Gruppo SS CNSA	Lombardia
Gruppo Speleologico CAI	Cagliari

Gruppo Speleologico Faentino	Faenza
Gruppo Speleologico CAI	Firenze
Gruppo Speleologico	Gualdo Tadino
Associazione Speleologica	Iglesias
Gruppo Speleologico CAI	Imperia
Gruppo Speleologico CAI	Padova
Gruppo Speleologico CAI UGET	Torino
Gruppo Speleologico CAI SAT	Lavis

Un calorosissimo ringraziamento alla Ditta Simonetti di Villa Scirca (Sigillo-PG) per aver provveduto gratuitamente alla parte di lavoro più massacrante: il taglio a misura di oltre 350 blocchetti di roccia per le prove sui tasselli.

Vi è infine da precisare che le prove sulla «assicurazione dinamica» sono state impostate da Andrea Gulli (INA) e Marco Geri (INA) della Scuola di Alpinismo del CAI di Roma. Gli stessi più altri membri del CAI di Roma hanno eseguito materialmente le prove, contribuendo anche a realizzare la nuova palestra-laboratorio della Rocchetta (Gualdo Tadino, PG). Per i test sulla assicurazione dinamica il materiale è stato fornito dalla rivista ALP.

## SCOPI E IMPOSTAZIONE DELLE RICERCHE

La CTM ha avuto subito un problema fondamentale da risolvere: prendere in esame con rigore e ampiezza tutti i vari materiali usati nella progressione speleo oppure, dando per scontato che le conoscenze sui suddetti materiali fossero sufficienti, puntare ad un lavoro di ricerca avanzata e progettazione di nuovi materiali e di tecniche d'avanguardia.

Nel primo caso non si sarebbero prese per buone le girandole di dati, spesso contrastanti, diffusi da manuali, bollettini, riviste, costruttori, importatori, istruttori, praticoni, veggenti. E si sarebbe ricominciato da zero.

Nel secondo caso invece si sarebbe dato per acquisito positivamente un bagaglio di conoscenze provenienti soprattutto dalla pratica diretta degli speleologi, nell'ipotesi che la saggezza, il buon senso e l'esperienza avessero potuto sublimare le risposte corrette ad ogni fondamentale quesito. Che vi fosse o no un sostegno teorico-sperimentale rigoroso non avrebbe avuto alcuna importanza. In fondo anche le statistiche sugli incidenti in grotta parlano chiaro: sono praticamente inesistenti i casi dovuti al cedimento dei materiali più comunemente utilizzati in grotta. Ciò significa che la catena di sicurezza normalmente utilizzata è un buon insieme di attrezzature, ben dimensionata, senza anelli deboli. Significa anche che i produttori di materiali speleo sono seriamente impegnati a fornire ottimi attrezzi, sicuri ed affidabili.

Tuttavia la CTM ha ritenuto opportuno affrontare le ricerche partendo da zero, mettendo sotto esame di nuovo tutta l'attrezzatura fondamentale, dalle corde ai bulloni, dai bloccanti ai dissipatori, dai tasselli ai moschettoni. Non tanto per sfiducia nei confronti dei molti individui, gruppi e aziende che hanno ricavato misure sulla resistenza dei materiali (sicuramente ciascuno ha dato il meglio di sé in totale buona fede), quanto per poter finalmente avere un insieme di dati e conclusioni ottenuti con criteri omogenei, potendo anche contare su una adeguata strumentazione di ricerca.

Si trattava di dare una risposta definitiva o quasi all'annoso problema di vedere raccolte in un unico testo le caratteristiche di resistenza di tutti i materiali da grotta, nessuno escluso, ricavate nell'ambito di un lavoro organicamente progettato e realizzato, avendo come riferimento degli standard univoci e facilmente riproducibili.

Con questa impostazione delle ricerche si sarebbero anche colmate quelle lacune che emergevano nel gran carosello delle prove sui materiali esistenti. Tanti dati erano a disposizione su alcuni tipi di attrezzature, ma su altre il mistero era totale e fitto. In altri casi le prove risultavano fortemente incomplete e in altri ancora mancava una adeguata standardizzazione.

Perciò la CTM ha deciso di tagliare la testa al toro e ricominciare tutto daccapo, senza tralasciare alcun aspetto della ricerca di base, anche a costo di sembrare ripetitiva.

Questa decisione, ora che il programma di ricerche è terminato, si è rivelata come la più giusta, anzi l'unica che in fin dei conti poteva essere praticata con successo. Ogni altra via avrebbe portato a costruire su basi incerte e traballanti, col rischio di giungere a conclusioni quantomeno improprie se non addirittura errate.

Speriamo che la strada seguita e le conclusioni tratte servano anche a creare i presupposti per un nuovo e più organico progetto didattico nell'insegnamento della tecnica di progressione in grotta. Molte difformità, qualche superficialità e una buona dose di immaginazione hanno sinora frenato la costruzione di un corretto discorso educativo; ma ora crediamo che sia possibile dare una forte impronta di omogeneità alle varie iniziative didattiche, in particolare modo ai Corsi di Introduzione alla Speleologia.

Parimenti alle ricerche sperimentali, la CTM ha ritenuto opportuno sviluppare una esauriente premessa teorica per interpretare i fenomeni che governano le deformazioni delle attrezzature speleo-alpinistiche. Questo è stato puntualmente fatto ed i risultati sono riportati nel Capitolo Primo.

Altre elaborazioni teoriche sono state inserite nel contesto di successive argomentazioni come premessa di specifici fatti.

Comunque, il lettore che ricerca soprattutto gli aspetti pratici non si spaventi: può anche saltare a piè pari queste «zone» teoriche e puntare decisamente, senza remore, sulle conclusioni spicciole riportate nel contesto e al termine di ogni paragrafo e capitolo «sperimentale». Si spera solamente che, dovendo sfogliare tante pagine di spiegazioni, l'occhio e la curiosità gli cadano inavvertitamente su qualche spunto speculativo e sia istintivamente attratto, suo malgrado, a scoprire il sottile piacere che emana la conoscenza dei perché.

Infine, anche se è vero che il programma di ricerche è stato puntato quasi esclusivamente su materiali tipicamente speleologici, è altrettanto vero che tutte le considerazioni possono essere interpolate ed estrapolate per le attrezzature alpinistiche in genere. Se differenze ci sono non sono certo sostanziali ma unicamente quantitative: coefficienti di elasticità più elevati per le corde (cosiddette «dinamiche») e maggiori probabilità che si verifichino cadute con fattore superiore ad uno. Nulla di più!

## STRUMENTI DI MISURA

Le sedute di sperimentazione si sono avvalse di numerosi strumenti, utensili e dispositivi, la maggior parte dei quali di uso comune che non meritano una descrizione particolare. Tutt'al più, nel corso delle varie trattazioni, si farà menzione di quei strumenti che più di altri denotano delle specificità.

È invece necessario descrivere dettagliatamente i due strumenti fondamentali utilizzati dalla CTM: la palestra-laboratorio per le prove di caduta e il dinamometro da banco per prove a trazione lenta, entrambi di proprietà del Centro Nazionale di Speleologia M. Cucco.

### PALESTRA-LABORATORIO PER PROVE DI CADUTA

Nelle Gole della Rocchetta (Gualdo Tadino) è stata attrezzata una parete di Calcere Massiccio strapiombante alta circa 15 m.

Una mensola di grosse dimensioni è stata ancorata solidamente sulla parete per creare un adeguato punto di attacco alla cella dinamometrica (vedi fig. 83). Questo attacco è posto 8 m sopra la base della parete.

Tre metri sopra la mensola di ancoraggio del dinamometro ne è stata posta una seconda, più piccola, allo scopo di sostenere una carrucola dove far passare il cavo di sollevamento dei pesi.

Alla base della parete è stato sistemato l'argano a mano che, utilizzando la carrucola suddetta, posiziona i pesi dell'altezza voluta (la traiettoria di caduta è praticamente coincidente con la retta verticale passante per il punto di ancoraggio della cella dinamometrica). Una scala a pioli è posta nelle immediate vicinanze della linea di caduta per permettere la più ampia manovrabilità ad ogni altezza dal suolo.

Infine, in una cavità posta immediatamente sotto la mensola di ancoraggio della cella sono stati sistemati gli strumenti per la registrazione delle sollecitazioni (amplificatore, computer, registratore a carta).

La massa cadente è costituita da una gabbia in acciaio dove possono essere inseriti degli anelli, sempre in acciaio, fino a formare il peso voluto. La gabbia ha un diametro di 32 cm.

Lo sganciamento rapido del peso si ottiene mediante un dispositivo utilizzato nelle barche a vela per mollare lo spinnaker (è sufficiente stratonare un cordino ed estrarre un piccolo perno).

L'attrezzatura da sottoporre a prova vincola la cella di carico alla massa cadente.

Come già accennato la misurazione e la registrazione delle forze avviene mediante una cella di carico che trasforma le variazioni di forza in variazioni di intensità di corrente. I segnali provenienti dalla cella vengono amplificati opportunamente e quindi immessi in un computer che ha il compito di campionare le forze ad intervalli di tempo stabiliti, a seconda della durata della sollecitazione.

Variando quindi la base dei tempi nel computer (in genere ampliandola), i segnali campionati sono inviati al registratore a carta per la riproduzione della curva  $F = f(t)$  relativa alla sollecitazione esaminata (vedi fig. 8-56-57-58-59-60-61-85). La velocità di scorrimento della carta è un ulteriore elemento di modificazione della curva  $F = f(t)$ . L'interposizione di un computer che amplifica la base dei tempi è stata indispensabile per superare il problema legato all'inerzia dei meccanismi del registratore a carta, incompatibile con eventi impulsivi che si concludono nel giro di poche centinaia di millisecondi.

Con fondo scala 2000 Kgp, la precisione è  $\pm 5 \text{ ‰}$ .

Per una più approfondita descrizione della strumentazione si veda il riferimento bibliografico n. 2.

L'interpretazione teorico-sperimentale delle curve  $F = f(t)$  è riportata nel Capitolo Primo.

## **DINAMOMETRO DA BANCO PER PROVE A TRAZIONE LENTA**

Il secondo fondamentale strumento di misura utilizzato dalla CTM è il dinamometro a trazione orizzontale, con portata massima di 5000 Kgp. (foto 4).

La sua struttura permette allungamenti fino a 2000 mm fuori tutto.

La velocità di trazione può essere variata in modo continuo con massimo di 250 mm/minuto. Non è possibile eseguire prove a compressione.

La centralina oleopneumatica permette anche il controllo della pressione, con possibilità di blocco manuale ai valori desiderati.

Il sistema di misura si avvale di una cella di carico che misura le forze in funzione delle variazioni dell'intensità di corrente (come nel dinamometro per le prove di caduta) e di un apparato computerizzato per la lettura digitale in continuo.

Tale apparato permette anche la registrazione automatica dei valori di picco e il blocco della trazione in corrispondenza del raggiungimento di forze predeterminate.

Non è possibile modificare il fondo scala.

La precisione è  $\pm 2 \text{ ‰}$ .

Le attrezzature in prova sono vincolate ai punti di trazione mediante specifici dispositivi. L'ancoraggio di quest'ultimi sulla cella di carico e sul braccio del pistone si realizza mediante avvitamento su barra filettata 30 MA.

## **SICUREZZA, RESISTENZA E AFFIDABILITÀ**

La progressione in grotta è sicura nella misura in cui le caratteristiche psico-fisiche dell'operatore e quelle meccaniche dei materiali utilizzati sono, contestualmente, al di sopra di certi livelli. In questa sede non ci interessa il problema OPERATORE ma puntiamo invece la nostra attenzione unicamente sulla questione MATERIALI.

Su di questi svolgiamo i nostri ragionamenti per cercare di definire il loro grado di sicurezza.

Il concetto di SICUREZZA è abbastanza intricato ed è bene approfondirlo un po'.

Perché un attrezzo speleo-alpinistico sia sicuro deve rispondere ad un preciso criterio: la sua RESISTENZA e la sua AFFIDABILITÀ devono risultare, contemporaneamente, al di sopra di un certo livello di riferimento. Se una delle due caratteristiche scende al di sotto, compromette anche l'altra.

Per spiegarsi meglio si tenga presente che per RESISTENZA di un attrezzo si intende la sua capacità di sopportare sollecitazioni esterne (forze) gradualmente crescenti. Queste forze (da noi prodotte artificialmente in laboratorio o in palestra esterna) possono essere applicate nell'arco di pochi millisecondi (sollecitazioni dinamiche, a caduta, choc, istantanee, impulsive) o con una progressione in aumento che si protrae per tempi decisamente lunghi, da qualche minuto ad alcuni anni (trazione lenta, sollecitazioni statiche).

Per AFFIDABILITÀ noi intendiamo quell'insieme di caratteristiche d'uso dell'attrezzo che governano il suo funzionamento. Tanto più uno strumento è affidabile, tanto più è facile e lineare il suo corretto utilizzo e tanto minore è la probabilità di commettere errori di manovra. Sempre in tema di affidabilità non si dimentichi che l'ambiente-grotta e la montagna sono generalmente difficili se non addirittura ostili. Spesso si agisce in condizioni di grande stanchezza, di assenza di riflessi, di paura; l'errore di manovra è sempre in agguato. Del resto le statistiche sulle cause degli incidenti parlano chiaro: non sono quasi mai i materiali a cedere, sono soprattutto gli speleo o egli alpinisti a sbagliare. L'errore umano è il fattore determinante di quasi tutti gli incidenti.

Perciò avere strumenti affidabili, che impediscano di fatto gli errori d'uso, significa aumentare le condizioni di sicurezza.

Ma alcuni esempi possono dare una maggiore chiarezza. La Maniglia Petzl è un mezzo estremamente affidabile dove è «matematicamente» escluso l'utilizzo scorretto: se si inserisce sulla corda nel verso sbagliato non c'è modo di salire di un centimetro; quindi non c'è possibilità di cadere e farsi male. Ma la Maniglia Petzl, se esaminata unicamente per la resistenza, ha limitate capacità di sopportare le sollecitazioni esterne, tanto che a circa 550 Kgp produce lo scalzamento della corda, se non addirittura la sua rottura.

All'opposto della maniglia c'è il cavo d'acciaio: è estremamente resistente (più di 7000 Kgp per un diametro  $\varnothing$  di 10 mm), ma questo non gli impedisce di essere estremamente inaffidabile per l'infinità di manovre che richiede, con una elevatissima probabilità di commettere errori. Si pensi poi a quali sofisticati attrezzi bisognerebbe far ricorso per poter progredire su un cavo d'acciaio, la cui estrema rigidità sarebbe sempre in agguato per trasformare il più piccolo «voletto» in una tragedia (anche per cadute di qualche decina di centimetri si produrrebbero forze massime di migliaia di Kgp).

Ecco dunque scaturire più chiaramente il concetto di sicurezza: un attrezzo estremamente resistente ma molto complesso nell'uso è tanto insicuro quanto quello facile e lineare ma scarsamente resistente. Occorre invece che ci sia una equilibrata convivenza fra affidabilità e resistenza, con una leggera prevalenza della prima sulla seconda.

I due fatti comunque non possono venir scissi.

## **LIMITE INFERIORE DI RESISTENZA**

Dunque non è possibile scindere il concetto di resistenza da quello di affidabilità. Ne è possibile dimenticare che il grado ultimo di sicurezza dipende anche dalle capacità e dall'esperienza dell'operatore.

L'analisi di queste due ultime componenti, come già detto, non è di competenza della CTM, la quale al massimo può invitare le Associazioni e il Soccorso e promuovere una campagna di maggiore diffusione delle conoscenze tecniche e delle esperienze acquisite.



È invece di competenza della Commissione l'approfondimento e, se possibile, la codificazione dei temi legati all'affidabilità e alla resistenza.

La questione «affidabilità» è piuttosto soggettiva ed è difficile definirvi degli standard. Ma d'altro canto non ci si può sottrarre dall'esprimere giudizi, molto ponderati e mediati, su questo fondamentale aspetto della caratterizzazione dei materiali. Nel testo di questo lavoro sono inseriti numerosi giudizi di affidabilità, caso per caso.

Su ben altro versante si colloca il problema «resistenza». Su di essa vi sono numerosi elementi teorico-sperimentali che possono permettere una prima adeguata codificazione. Ben ci rendiamo conto che questo è un terreno vergine e molto accidentato, dove non è facile muoversi correttamente. Ma non per questo la CTM deve sottrarsi dal dovere di incominciare a mettere dei punti fermi e stabilire delle chiare regole da suggerire.

Tutto ciò non significa scolpire nella roccia delle leggi immutabili; evolvendosi le tecniche, migliorando la qualità dei materiali, aumentando le conoscenze, tutto può essere modificato e aggiunto.

Per ora è fondamentale gettare le basi di un progetto che difficilmente giungerà a compimento in breve tempo, ma ugualmente servirà a creare i presupposti etici, comportamentali e tecnico-scientifici per una regolamentazione della progettazione, della produzione e dell'uso delle attrezzature da grotta.

Su questa direzione, come primo passo è necessario definire, nella sostanza e nella misura, un nuovo parametro che guidi nella scelta e nella preparazione dei materiali da grotta: il Limite Inferiore di Resistenza (LIR). *Questo indice corrisponde al massimo valore di forza, espresso in Kgp, registrabile nell'ambito di un dato tipo di progressione.*

Per meglio chiarire il concetto riportiamo alcuni esempi, prendendo spunto da situazioni tecniche consolidate dall'uso, sia attualmente che nel passato.

Nell'arrampicata alpinistica il fatto più «energetico» è il volo sulla corda di sicurezza. Il LIR sarà dunque da individuare sulla base:

- a) di un Fattore di Caduta ( $F_c$ ) massimo pari a due
- b) di una corda dinamica con  $X_d = 5 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$  (vedi capitolo primo).

In una arrampicata in roccia con sicura dall'alto, supponendo che questo sia un fatto di ampio uso, il LIR cambierebbe radicalmente.

Cambierebbe anche se interponessimo nella catena di sicurezza un dissipatore.

È ovvio che se si dovesse individuare il LIR per la progressione alpinistica (e per fortuna non è nostro compito) l'unica soluzione possibile, vista l'ecletticità dei protagonisti di questa attività, sarebbe di individuare un Limite Inferiore di Resistenza sulla base delle peggiori condizioni di caduta, escludendo però il problema delle vie ferrate (Fattore di Caduta massimo anche superiore a due) dove si dovrebbe adottare tassativamente il dissipatore per rientrare nei limiti di resistenza degli elementi che costituiscono la catena di sicurezza. In questo caso non potrebbero valere soluzioni di compromesso.

Nella progressione speleologica vi sono solo due possibili alternative: l'avanzamento in corda oppure su scala con corda fissa posta accanto alla campata.

In questo secondo caso la catena di sicurezza è la corda con annessi e connessi. La via di progressione in risalita è la campata delle scale; in discesa è la stessa corda.

Il LIR dovrebbe essere determinato sulla base:

- a) di un Fattore di Caduta estremamente basso (intorno a 0,3);
- b) di una corda statica con  $X_d = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$ .

Nella progressione su sola corda la situazione è tale per cui la via di avanzamento coincide con la catena di sicurezza. La corda è la stessa del caso precedente ma il Fattore di Caduta massimo è ben più elevato. Il LIR dovrà essere adeguato al caso specifico.

Di esempi se ne potrebbero fare a decine, ma la cosa avrebbe un valore unicamente teorico e in più confonderebbe le idee. Quello che conta è convincersi che la progressione speleo è tanto monotona da poterci ricavare delle indicizzazioni delle caratteristiche dei materiali. In effetti è molto evidente che la progressione su corda ha una metodologia oramai consolidata, diffusa, radicata, che ben difficilmente cambierà nei prossimi anni. È plausibile quindi inserire delle standardizzazioni, una delle quali è appunto questo Limite Inferiore di Resistenza.

Procedendo su questa impostazione, per individuare con correttezza la massima possibile sollecitazione nella progressione su corda, ovviamente escludendo i casi eccezionali dovuti a comportamenti e fatti eccezionali, si deve tener presente che:

- 1) il massimo possibile Fattore di Caduta è uguale a uno;
- 2) il peso di uno speleologo, con attrezzatura personale e sacco, è di 90 Kgp;
- 3) le corde statiche hanno un  $X_d = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$ ;
- 4) in una caduta parte dell'energia in gioco viene dissipata dal corpo umano e la  $F_m$  (forza massima) si riduce di circa il 20%;
- 5) tutto quanto è contenuto nei punti precedenti è stato definito per eccesso.

In conclusione, facendo semplici calcoli teorici, analizzando i risultati sperimentali emersi nelle ricerche della CTM e riportati in questo lavoro, utilizzando il buon senso e le tante esperienze accumulate, ci sembra giusto proporre per la progressione su corda un limite Inferiore di Resistenza pari a:

$$\text{LIR} = 1100 \text{ Kgp}$$

Non si pensi che questo valore sia la soluzione di una ben precisa equazione; è piuttosto il risultato di una interazione fra evidenze sperimentali e analisi soggettiva delle esperienze vissute collettivamente e individualmente nell'attività in grotta.

Si faccia però attenzione: la risalita in grotta, in artificiale o in roccia, deve essere considerata alla stregua della normale progressione alpinistica, che necessita degli specifici accorgimenti e delle opportune attrezzature. Non si commetta l'errore di ritenere l'indice precedentemente indicato di 1100 Kgp commisurato ad un alpinismo praticato in grotta.

## MINIMA RESISTENZA INIZIALE

Il problema ora è di dimensione all'indice LIR le caratteristiche dei vari elementi che compongono l'armo. Il che sarebbe relativamente facile se non subentrasse, a complicare non poco la questione, una fondamentale caratteristica dei materiali in genere e di quelli speleologici in particolare: l'USURA PER INVECCHIAMENTO NATURALE E USO. In grotta infatti la catena di sicurezza e anche quella di progressione e lo speleologo è un po' come quel boscaiolo che taglia il ramo su cui è seduto.

Non è **quindi assolutamente corretto** e sicuro dimensionare gli attrezzi in modo che, semplicemente, resistano appena poco più dell'indice LIR (1100 Kgp). *Occorre invece che vengano progettati per avere in partenza una resistenza che garantisca per un certo lasso di tempo una tenuta sempre superiore al LIR, nonostante l'usura che incalza più o meno velocemente in dipendenza del tipo di attrezzo e del materiale con il quale è costruito.*

Ecco dunque che nasce la necessità di definire, attrezzo per attrezzo, un'ulteriore entità di standardizzazione che sia di riferimento per la progettazione, il collaudo e la revisione dei materiali: la Minima Resistenza Iniziale (MIR).

Questo nuovo indice è di fatto un valore di forza (in Kgp) che fa da limite inferiore al carico di rottura iniziale di un dato attrezzo. *Il MIR è sempre superiore al LIR di una quantità tale da garantire per un minimo di DUE ANNI, nonostante l'usura, una tenuta superiore o uguale agli stabiliti 1100 kgp.*

Perché proprio due anni? Così ha dettato il buon senso e la mediazione di diverse posizioni personali all'interno della CTM. Inoltre l'esperienza mostra che dopo due anni le componenti fondamentali della progressione (segnatamente le corde) debbono essere sostituite. Ci è sembrato giusto legare ogni altra osservazione a questa conclusione centrale.

*Pregiudiziale alla definizione dei diversi indici MIR è la conoscenza delle velocità di decadimento dei materiali speleologici (è ovvio infatti che, a parità di condizioni, il nylon decade più rapidamente dell'acciaio).* La qual cosa è stata in gran parte raggiunta sulla scorta delle molte esperienze acquisite in seno alla CTM. Le lacune di conoscenza sono state colmate con interpolazioni e estrapolazioni.

Ora non resta che passare alla parte più interessante e propositiva, elencando, qui di seguito, le conclusioni teorico-sperimentali che sono alla base della definizione dei singoli valori della Minima Resistenza Iniziale.

- 1) Gran parte di quanto riportato nei punti successivi trova riscontro nei capitoli che seguono.
- 2) Gli attrezzi debbono essere distinti in due categorie:
  - a) materiali che assorbono l'energia di caduta per elasticità e/o plasticità (roccia, tasselli, bulloni, placchette, anelli, moschettoni, maglie rapide, corde, fettucce, imbracature, corpo umano);
  - b) materiali che dissipano l'energia di caduta per attrito e/o rotture parziali (discensori, bloccanti).
- 3) Per la prima categoria del punto precedente è presto detto: tutti gli attrezzi debbono avere un carico di rottura  $F_r$  superiore ai 1100 Kgp, anche quando l'usura possa averne fatto decadere parzialmente le capacità di tenuta.
- 4) Per i discensori vi è ben poco da dire in quanto la loro progettazione è tale da mettere in atto tanto una più che adeguata resistenza strutturale (ben oltre i 1100 Kgp) quanto una dissipazione di energia per attrito che abbassa fortemente le forze massime  $F_m$ .
- 5) Per i bloccanti è necessario precisare che, sotto l'azione di una sollecitazione per caduta di un peso, possono reagire in tre diverse maniere:
  - a) tranciare di netto la corda con valori di  $F_r$  intorno ai 400-600 Kgp;
  - b) distaccarsi dalla corda (che rimane pressoché intatta) per il ribaltamento del cricchetto con  $F_r$  comprese fra 350 e 450 Kgp;
  - c) lacerare la sola calza con  $F_m$  intorno ai 550 Kgp per poi dissipare l'energia restante con gli attriti e l'eventuale rottura di alcuni trefoli dell'anima; in questo caso il peso viene trattenuto.

- 6) Da quanto detto nel punto precedente potrebbe erroneamente risaltare che la struttura di un bloccante non è adeguatamente resistente. Il che non è vero in quanto questi versatili e affidabilissimi attrezzi, se ben dimensionati e con un minimo garantito di resistenza, producono unicamente la rottura della calza e poi l'arresto del peso (meccanismo c del punto precedente).
- 7) È stato chiaramente evidenziato per via sperimentale che un bloccante per essere ritenuto adeguatamente resistente, alla pari di ogni altro elemento della catena di sicurezza, deve possedere un  $F_r = 550 \pm 30$  Kgp e un sistema che impedisca al cricchetto di strozzare la corda oltre un certo limite.
- 8) La resistenza di un attrezzo è una caratteristica che decresce nel tempo in modo più o meno veloce a seconda del materiale che lo costituisce e dell'uso che se ne fa.
- 9) Gli attrezzi in acciaio sono quelli che più di altri mantengono inalterata nel tempo la propria struttura portante (a meno di eventi veramente straordinari), tanto che possiamo ritenerli di fatto inalterabili nell'arco della vita media dell'attrezzatura di uno speleologo (quindi ben più dei due anni precedentemente indicati).
- 10) L'attrezzatura in lega leggera, che è una delle componenti fondamentali della tecnica di progressione in grotta, perde la sua resistenza per usura ma in modo abbastanza contenuto. Nell'arco di due-tre anni il decadimento può essere ritenuto trascurabile, a meno che non avvengano fatti anomali che accelerano il processo di invecchiamento (corrosione, ripetute sollecitazioni di grande intensità, riscaldamento eccessivo).
- 11) Le corde diminuiscono la propria coesione molto rapidamente, non tanto per il naturale invecchiamento delle fibre sintetiche (depolimerizzazione) quanto per l'uso. In due anni le corde in nylon perdono circa il 30% della propria resistenza.
- 12) Le corde, diminuendo la propria coesione per uso, acquistano una maggiore deformabilità (soprattutto per plasticità) e quindi tendono ad abbassare la  $F_m$  a parità di ogni altra condizione. È questo un fatto migliorativo che non verrà considerato ai fini dell'individuazione dei vari MIR.
- 13) Le fettucce, non essendo martoriate da bloccanti e discensori, hanno una velocità di deterioramento molto lenta (meno del 5% ogni anno).
- 14) Le imbracature sono sovradimensionate, dovendo rispettare innanzitutto i principi della comodità, e si presentano con una resistenza tale da assorbire anche l'uso più sconsiderato per ben più di due anni. Pertanto non verranno neanche inserite nella tabella di sintesi che chiuderà questo paragrafo.
- 15) Una corda, specie se usata, non può sopportare più di uno choc senza compromettere tanto la sua deformabilità quanto la resistenza. È tassativo dunque che una corda speleo choccata debba essere messa fuori gioco, perlomeno per la parte che ha subito il trauma.
- 16) L'uso prolungato in armi fissi (la cosa oramai è abbastanza dilagante) produce una accelerazione dell'invecchiamento dei materiali, più marcato soprattutto nelle componenti in lega leggera.
- 17) La presenza di un nodo, nella migliore delle ipotesi, diminuisce del 30% la  $F_r$  di una corda.
- 18) Se la  $F_r$  dimostrata da un attrezzo è decisamente superiore al proprio indice MIR vuol dire che più lunga potrà essere l'utilizzazione garantita dell'attrezzo. Attenzione però che questo fatto non comporti un eccessivo ingombro o peso, tutti e due elementi di potenziale diminuzione di affidabilità.
- 19) Se il carico di rottura di un attrezzo risulta inferiore al proprio MIR ma superiore al LIR, significa che l'attrezzo potrà essere utilizzato per un arco di tempo inferiore ai due

anni: più  $F_r$  sarà vicino al LIR più breve risulterà il periodo di «garanzia».

20) Risultando  $F_r$  anche inferiore al LIR l'attrezzo è da ritenersi come un potenziale elemento di insicurezza, che può venire usato ma essendo consapevoli che un errore di manovra, anche minimo, può portare alla rottura.

21) Le leggi del decadimento delle caratteristiche dei materiali speleo sono note in grandi linee. Ma si conoscono soprattutto a partire da attrezzi nuovi. Ne deriva che l'indice MIR e quanto a lui collegato hanno una validità soprattutto nel caso di materiali mai usati. Per quelli vecchi il discorso è ancora in evoluzione, aperto a diverse interpretazioni, e pertanto affiancarli nelle varie considerazioni a prodotti appena usciti dalla fabbrica richiede perlomeno una certa capacità interpretativa. Comunque meglio diffidare del mercato dell'usato quando si tratti di elementi della catena di sicurezza.

22) L'indice MIR richiede che su ogni attrezzo sia marcato l'anno di entrata in uso e, se possibile, di fabbricazione.

Dopo tutta questa complessa serie di premesse, precisazioni, conclusioni, collegamenti non resta che procedere a definire, attrezzo per attrezzo, gli indici di Minima Resistenza Iniziale, mettendo in evidenza eventuali eccezioni con le relative anomale standardizzazioni. Nella tabella che segue sono riportate le conclusioni sintetiche di quanto via via enunciato in questi due ultimi paragrafi.

Per una migliore lettura dei dati si tenga presente che:

- a) i valori riportati si intendono calcolati nelle reali condizioni di messa in opera in grotta, avendo rispettato le fondamentali regole di utilizzo che garantiscono il miglior rendimento e la più elevata resistenza;
- b) si suppone che gli attrezzi siano stati utilizzati con modalità e intensità tipiche di una Associazione speleologica con buon livello di partecipazione e di attività;
- c) nella tabella sono inclusi solo quegli attrezzi che hanno un ampio corredo di dati sperimentali e di osservazioni comportamentali in grotta; ovviamente sono anche quelli universalmente accettati;
- d) nella seconda colonna da sinistra è indicato il tipo di materiale che costituisce l'attrezzo;
- e) nella quarta colonna è indicato il numero di anni, oltre i due prestabiliti, in cui l'attrezzo mantiene caratteristiche di tenuta superiori al LIR; se questo numero è negativo significa che l'attrezzo ha una «garanzia» pari ai due anni predetti meno quanto indicato nella suddetta colonna.

TAB. 1

TIPO DI ATTREZZO	MATERIALE	MIR	PERIODO DI ULTERIORE UTILIZZO (IN ANNI)	NOTE
Tasselli su calcare microcristallino	ACCIAIO	1300	+5	<i>Hanno una notevole longevità e mantengono inalterate nel tempo le caratteristiche di tenuta</i>
Tasselli su calcare marmoso	ACCIAIO	1300	0	<i>In rapporto alla percentuale di marna presentano una maggiore o minore tendenza alla stabilità del foro. In certi casi limite il tassello può muoversi anche dopo poche normali sollecitazioni</i>
Tasselli su concrezione	ACCIAIO	1300	0	<i>Scarsa stabilità nel foro, anche dopo poche sollecitazioni di minima entità</i>
Tasselli su granito	ACCIAIO	1300	+5	<i>Come su calcare microcristallino</i>
Bulloni	ACCIAIO	1300	+5	<i>Occorre che siano marcati almeno 8.8</i>
Placchette	ACCIAIO INOX	1300	+10	<i>Dati estrapolati teoricamente</i>
Placchette	LEGA LEGGERA	1400	0	
Moschettoni d'armo	ACCIAIO	1300	+5	
Moschettoni d'armo	LEGA LEGGERA	1600	0	<i>Rispetto alle placchette in lega leggera, i moschettoni subiscono maggiormente l'usura a fatica a seguito di ripetute deformazioni reversibili</i>
Moschettoni collegamento discensore	LEGA LEGGERA	3000	0	<i>L'elevato indice MIR è dovuto alla necessità di avere una resistenza alla trazione trasversale di 1600 Kgp</i>

Segue Tab. 1

TIPO DI ATTREZZO	MATERIALE	MIR	PERIODO DI ULTERIORE UTILIZZO (IN ANNI)	NOTE
Maglie rapide	ACCIAIO	2500	+5	<i>L'elevato indice MIR è dovuto alla grande variabilità dei carichi di rottura, essendo di produzione industriale.</i>
Maglie rapide	LEGA LEGGERA	3000	0	<i>Il problema della variabilità dei carichi di rottura è ancora più marcato che nelle maglie rapide in acciaio</i>
Corda statica Ø 10 mm	NYLON 6.6	2400	0	
Corda statica Ø 9 mm	NYLON 6.6	2500	-1	<i>Non esiste alcun tipo di corda di questo diametro che abbia un carico di rottura iniziale superiore a 2400 Kgp.</i>
Corda statica Ø 8 mm	NYLON 6.6	2700	-2	<i>È utilizzabile solo in casi eccezionali e avendo una particolare cura nell'armo. Potrebbe essere interpretato come materiale «usa e getta».</i>
Fettucce	NYLON 6.6	1800	0	<i>Decadono solo per invecchiamento naturale</i>
Bloccanti Petzl	LEGA LEGGERA + ACCIAIO	1400	0	<i>L'indice MIR riportato si riferisce alla sola struttura portante. Per il resto vale quanto puntualizzato precedentemente.</i>
Discensore Petzl	LEGA LEGGERA	1400	0	<i>Con corde Ø 8 mm il MIR deve essere aumentato fino a 2000 Kgp</i>
Carrucole	LEGA LEGGERA	1400	+3	<i>Possono venire problemi dal grippaggio della puleggia.</i>

## CRITERI DI ESPOSIZIONE DEI RISULTATI

Questo lavoro sarà di fatto la sovrapposizione di due testi aventi finalità diverse.

Un primo testo è diretto a tutti coloro che desiderano non solo conoscere le conclusioni spicciole ma anche comprendere le motivazioni.

Il secondo va incontro a quelli che senza mezzi termini vogliono unicamente sapere come comportarsi correttamente nella pratica.

Pertanto ogni capitolo conterrà le indicazioni sulle metodologie sperimentali impiegate, i risultati con le dovute sottolineature e i necessari commenti, la discussione critica e infine le conclusioni concrete.

È bene comunque avvertire che, vista la complessità dei fenomeni e l'elevatissimo numero di parametri in gioco, le «conclusioni» tratte dalla CTM hanno un valore soggettivo, mediato in una realtà complessa e spesso inestricabile. Fidarsi ciecamente, applicando in modo acritico le risoluzioni indicate, potrebbe portare, in situazioni anomale, a comportamenti errati. È bene quindi che ogni operazione in grotta sia guidata tanto da una buona manualità come da una conoscenza teorica. E il volume vuol anche essere un invito, gratificante, ad approfondire questa affascinante materia interdisciplinare che è il comportamento dei materiali. È sempre vero il fatto che: «Salva più vite la testa che le gambe».

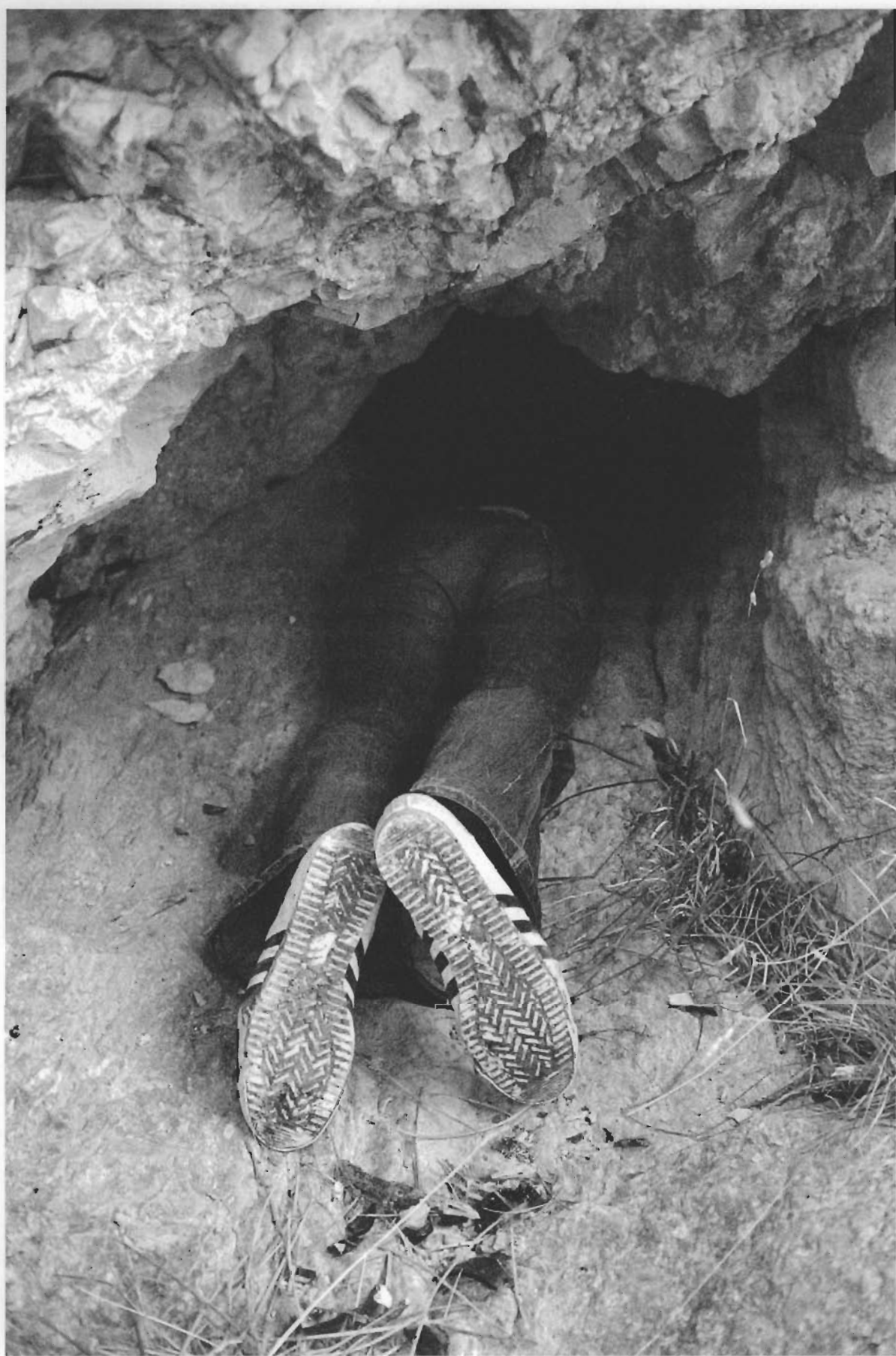
Dopo il Capitolo Primo, che affronta il problema dell'elaborazione di un modello matematico al fine di rappresentare compiutamente e rigorosamente le relazioni fra forze esterne e deformazioni, i successivi capitoli analizzano separatamente i vari pezzi della catena di sicurezza della progressione speleologica. Si inizia dalla roccia, supporto base di ogni ancoraggio, per giungere alle imbracature e quindi al corpo umano, senza tralasciare alcun elemento e dettaglio.

Nell'ultimo capitolo vengono infine trattati i problemi relativi ai vari sistemi di sicurezza dinamica, non solo per approfondire un tema sempre più in uso nelle grotte ma anche per fare una breve sortita nel campo alpinistico, dando un sornione contributo ai nostri cugini ricchi.

Avvertenza: salvo diversa indicazione ci si riferisce sempre ad attrezzature mai usate in precedenza e possibilmente fresche di fabbrica.







## CAPITOLO PRIMO

# *PERCUSSIONE DI ELEMENTI ELASTICI*

## INTRODUZIONE

In precedenti lavori (vedi bibliografia n. 1 e 2) abbiamo esaminato il problema delle sollecitazioni impulsive sulle attrezzature per la progressione in grotta, riferendoci in modo particolare alle corde. Ma in questi lavori le questioni sono state affrontate con un'impostazione decisamente didattica e divulgativa, tralasciando quindi quelle elaborazioni teoriche che avrebbero dato sicuramente maggiori garanzie per una corretta interpretazione dei fenomeni, ma anche molta complessità concettuale e di calcolo.

È stata questa una scelta precisa tesa ad ampliare il più possibile la cultura di base nel campo della fisica delle sollecitazioni e, al tempo stesso, a mettere in evidenza il grande valore didattico delle dimostrazioni sperimentali.

Ma attualmente è necessario approdare ad una trattazione esauriente ed approfondita, senza tralasciare alcun aspetto.

Prioritariamente lo scopo è di elaborare un modello matematico che interpreti in modo compiuto la dinamica delle sollecitazioni impulsive, tale quindi da permettere l'interpretazione approfondita dei risultati sperimentali, anche i più complessi.

Per i concetti fondamentali e per la simbologia si rimanda a quanto riportato nel lavoro n. 1.

## SOLLECITAZIONI DINAMICHE

Di fatto nella progressione in grotta, sia in condizioni normali che eccezionali, è la corda che funge da elemento votato all'assorbimento di tutta l'energia in gioco. Gli altri elementi concatenati o sono praticamente rigidi o sono da noi considerati tanto poco deformabili da poter trascurare il loro contributo nel processo di dissipazione dell'energia.

In questo capitolo trascuriamo quanto concerne l'elasticità delle imbracature e dello stesso corpo umano.

La corda, nella realtà speleo, è composta da una parte intermedia omogenea e da una o due estremità dove la presenza di nodi introduce ulteriori elementi di complessità e fattori aggiuntivi di assorbimento di energia. Si tenga comunque presente che la «questione nodi» è stata già valutata nel volume (1) ed il calcolo del fattore di riduzione di forza  $R_f$  potrebbe essere una adeguata via di analisi.

In questo lavoro agiremo, salvo diversa indicazione, nell'ipotesi che la corda sia l'unico elemento deformabile della catena e che alle sue estremità vi siano degli ancoraggi «ideali» che non prevedano l'uso di nodi o di altri sistemi che portino a delle disomogeneità.

Posto il problema in questi termini non resta che valutare cosa accade quando una certa massa  $m$  sollecita, cadendo, la corda cui è vincolata, con l'altra estremità ancorata ad un punto fisso (come detto, senza la presenza di nodi).

Si agisce inoltre nell'ipotesi che la traiettoria di caduta coincida con la retta verticale passante per il punto di ancoraggio. Se ciò non accadesse sarebbe necessario far riferimento a quanto descritto nel lavoro di cui al riferimento bibliografico n. 1.

Sotto queste condizioni la sollecitazione impulsiva in una corda, dove si verificano forze rapidamente variabili in intensità e senso, è da considerare come un urto o percussione su un corpo deformabile, anche per elasticità, con asse di allungamento posto verticalmente.

Rimane ora da analizzare e quantificare le differenti reazioni a seconda che la corda sia considerata un elemento elastico ideale oppure un corpo deformabile in modo reversibile e irreversibile. Proprio queste analisi e quantizzazioni sono lo scopo del presente capitolo.

## PERCUSSIONE DI UN CORPO ELASTICO IDEALE

È bene ricordare che un elemento elastico viene ritenuto ideale quando non produce dissipazione di energia in attriti e/o in deformazioni permanenti e al tempo stesso presenta proporzionalità diretta fra allungamenti e forze applicate:

$$A_u = X \cdot F \quad (1)$$

dove:

$A_u = A/l$	allungamento unitario
$A$	allungamento assoluto
$X$	coefficiente di elasticità (costante)
$F$	forza applicata
$l$	lunghezza dell'elemento elastico a riposo

### *EQUAZIONE DI MOTO DELLE OSCILLAZIONI ARMONICHE SEMPLICI*

Fatta questa premessa, per risalire al modello matematico che definisce il fenomeno della percussione di un corpo elastico ideale è necessario rifarsi all'emblematico caso di un corpo di massa  $m$  appeso ad una molla di lunghezza  $l$  e di coefficiente di elasticità  $X$  (fig. 1).

Se si applica staticamente la massa  $m$  di peso  $P$  alla molla, questa si allungherà fino a stabilizzarsi al livello  $R'$ , allungandosi di:

$$\Delta l = XIP \quad (2)$$

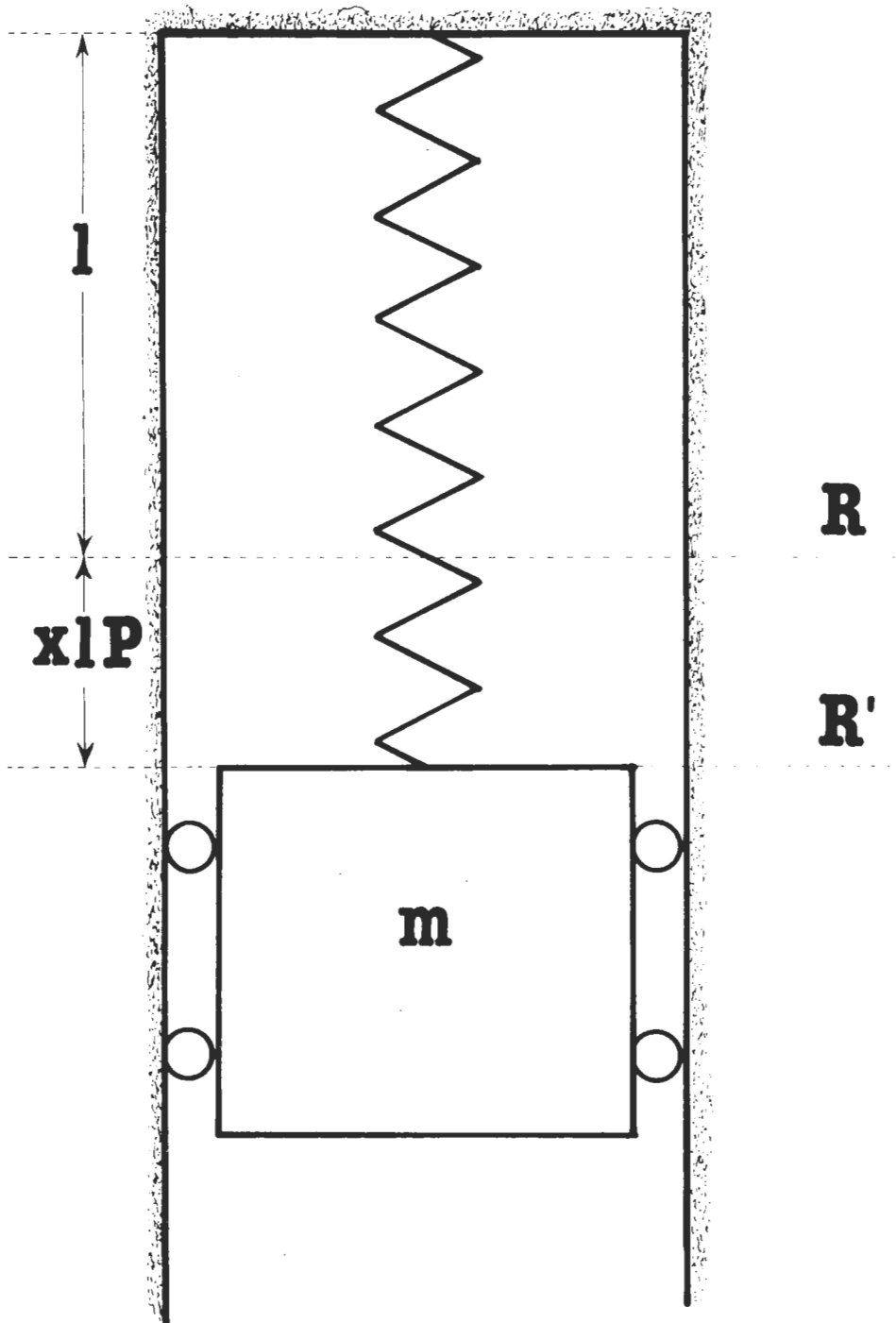
dove:

$$P = m \cdot g$$

$g$  accelerazione di gravità

Se in qualche maniera trasferiamo una certa quantità di moto alla massa  $m$ , questa si metterà ad oscillare intorno al livello  $R'$  con spostamenti che si ripeteranno verso l'alto e verso il

Fig. 1



basso in modo armonico e indefinitamente (si ricordi che non vi sono attriti e deformazioni plastiche).

La massa  $m$  ritornerà nella posizione e condizione iniziale dopo un certo tempo  $T$ , detto periodo, il quale è legato alla frequenza  $\nu$  (numero di oscillazioni complete nell'unità di tempo) e alla pulsazione  $\omega$  (numero di oscillazioni in  $2\pi$  secondi) dalle relazioni:

$$T = 1/\nu \quad (3)$$

$$T = 2\pi/\omega \quad (4)$$

Tenendo presente che il sistema ha un solo grado di libertà, l'equazione di moto del corpo oscillante rispetto al livello  $R$  (fig. 1, estremità inferiore della molla in posizione di riposo senza alcuna massa appesa) è ricavabile utilizzando il Principio di D'Alembert. Questo principio consiste nell'applicare ad un sistema in moto accelerato le relazioni della statica a condizioni che alle forze esterne si aggiunga la forza d'inerzia uguale al prodotto della massa per l'accelerazione e con verso opposto a quest'ultima.

Si ha allora:

$$A = Xl \left( -m \frac{d^2 A}{dt^2} + mg \right) \quad (6)$$

e quindi:

$$\frac{d^2 A}{dt^2} + \frac{1}{Xlm} A = g \quad (7)$$

che risolta dà:

$$A = A'_m \text{ sen } (\omega t + \varphi) + X l m g \quad (8)$$

dove la pulsazione è uguale a:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{Xlm}} \quad (9)$$

Pertanto possiamo scrivere:

$$A = A'_m \text{ sen } \left( \frac{1}{\sqrt{Xlm}} t + \varphi \right) + X l m g \quad (10)$$

essendo  $A'_m$  (ampiezza) e  $\varphi$  (fase) costanti arbitrarie dipendenti dalle condizioni iniziali di moto.

La relazione (10) è l'equazione di moto delle oscillazioni armoniche semplici, graficamente rappresentabile con una senoide.

## ***OSCILLAZIONI INDOTTE DALLA CADUTA DI UN GRAVE***

Per determinare  $A'_m$  e  $\varphi$  nella (10) si fa riferimento alle condizioni iniziali, nell'ipotesi che esse risultino per effetto della caduta di una massa  $m$  da un'altezza  $h$  rispetto al livello  $R$ . Ne segue, fra l'altro, che la massa raggiunge il livello  $R$  con una velocità:

$$v_0 = \sqrt{2gh}$$

Inoltre si avrà:

$$t=0 \quad A=0 \quad A'(0)=v_0$$

Inserendo tali valori nella (8) si ottiene il sistema:

$$\begin{cases} A'_m \operatorname{sen} \varphi = -XIP \\ A'_m \operatorname{cos} \varphi = v_0/\omega \end{cases} \quad (11)$$

che ha per soluzione:

$$A'_m = \sqrt{\frac{v_0^2}{\omega^2} + X^2 l^2 P^2} \quad (12)$$

$$\operatorname{sen} \varphi = - \frac{XIP}{\sqrt{\frac{v_0^2}{\omega^2} + X^2 l^2 P^2}} \quad (13)$$

Quindi possiamo scrivere:

$$A = \sqrt{\frac{v_0^2}{\omega^2} + X^2 l^2 P^2} \operatorname{sen} (\omega t + \varphi) + XIP \quad (14)$$

Se infine teniamo conto che il corpo di massa  $m$  raggiunge il livello  $R$  con la velocità  $v_0$  per effetto di una caduta libera di altezza  $h$ , rispetto al livello  $R$ , si ottiene dalla (13) e dalla (14):

$$\begin{cases} A = Xl \sqrt{P^2 + \frac{2hP}{Xl}} \operatorname{sen} (\omega t + \varphi) + XIP \\ \operatorname{sen} \varphi = - \frac{P}{\sqrt{P^2 + \frac{2hP}{Xl}}} \end{cases} \quad (15)$$

$$(16)$$

La relazione (15), integrata dalla (16), è il modello matematico cercato. Esso mette in relazione l'allungamento in funzione del tempo, avendo come parametri tutte le condizioni iniziali e le caratteristiche dell'elemento elastico. In fig. 2 è riportata la rappresentazione grafica della funzione (15).

Vi si può notare che le oscillazioni avvengono intorno al livello  $R'$ , distante dall'asse dei tempi di un segmento  $RR'$ , pari a:

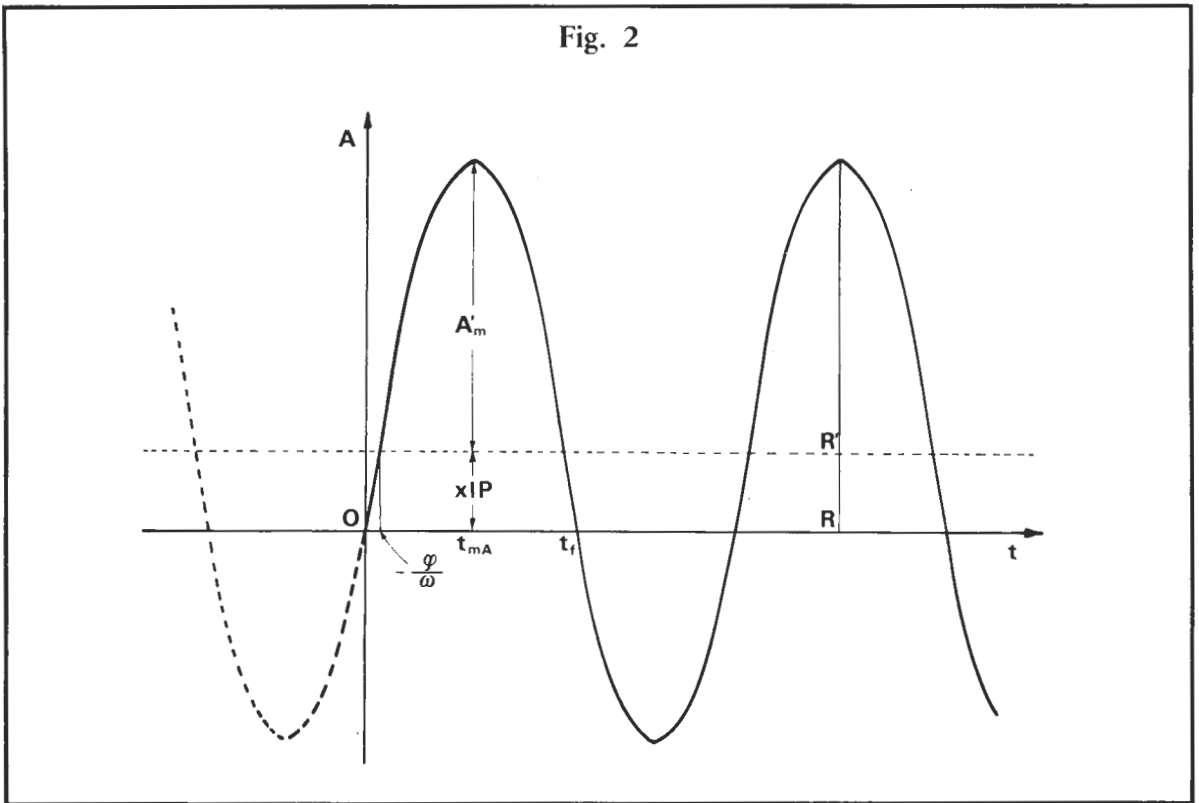
$$\overline{RR'} = XIP$$

che è poi l'allungamento della molla per la sola applicazione statica della massa  $m$ . Questo comporta che l'ampiezza  $A'_m$  delle oscillazioni non corrisponde all'allungamento massimo che si ottiene invece sommando come segue:

$$A_m = A'_m + XIP$$

e quindi:

$$A_m = XI \sqrt{P^2 + \frac{2hP}{XI}} + XIP \quad (17)$$



Da notare che quanto indicato nella relazione (17) corrisponde con ciò che è stato calcolato per l'allungamento massimo attraverso considerazioni puramente energetiche (vedi lavoro n. 1 bibliografia). Altro fatto da rilevare: il tempo  $t_{mA}$  necessario per raggiungere il massimo allungamento non corrisponde a  $T/4$ . Infatti, tenendo conto che l'ampiezza massima si ha quando:

$$\text{sen} (\omega t_{mA} + \varphi) = 1 \quad (18)$$

e cioè, limitatamente a quanto avviene nel primo periodo di oscillazione, quando avviene:

$$\omega t_{mA} + \varphi = \frac{\pi}{2}$$

Si ha pertanto:

$$t_{mA} = \frac{1}{\omega} \left( \frac{\pi}{2} - \varphi \right) = \sqrt{XI} m \left( \frac{\pi}{2} - \varphi \right) \quad (19)$$



## CADUTA DI UN GRAVE CON VELOCITÀ INIZIALE NULLA

Un'interessante considerazione può essere fatta quando si supponga che la velocità iniziale di caduta  $v_0$  sia nulla. Questo implica che la massa  $m$  inizi la sua caduta partendo dal livello  $R$ , con molla né allungata né contratta.

Se:

$$v_0 = 0$$

segue che:

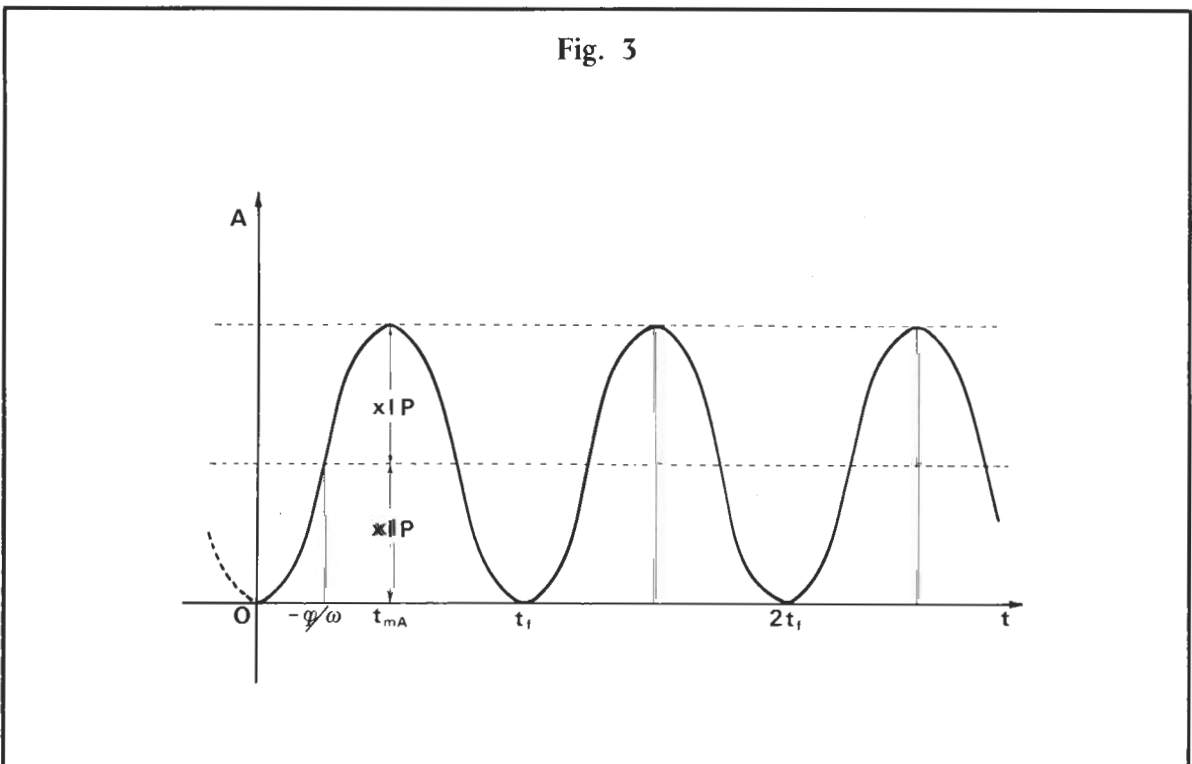
$$h = 0$$

e quindi la (17) diviene:

$$A_m = 2XIP \quad (20)$$

Ciò vuol dire che lasciando libera la massa  $m$  con molla tesa ma non ancora allungata, l'allungamento massimo che si riscontra è il doppio di quello che si ottiene con l'applicazione statica della stessa massa  $m$ .

Il grafico relativo è quello in fig. 3.



## VELOCITÀ DI ALLUNGAMENTO

Avendo come base la relazione (15) si ottiene che la velocità di allungamento  $v_A$  è data dalla relazione:

$$v_A = \frac{dA}{dt} = Xl \sqrt{P^2 + \frac{2hP}{Xl}} \cdot \left[ \cos(\omega t + \varphi) \right] \cdot \omega$$

da cui semplificando:

$$v_A = \sqrt{v_0^2 + XIPg} \cdot \cos(\omega t + \varphi) \quad (21)$$

dove:

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{2h}{XIP + 2h}} \quad (22)$$

La massima velocità di allungamento  $v_{Am}$  si verifica al tempo:

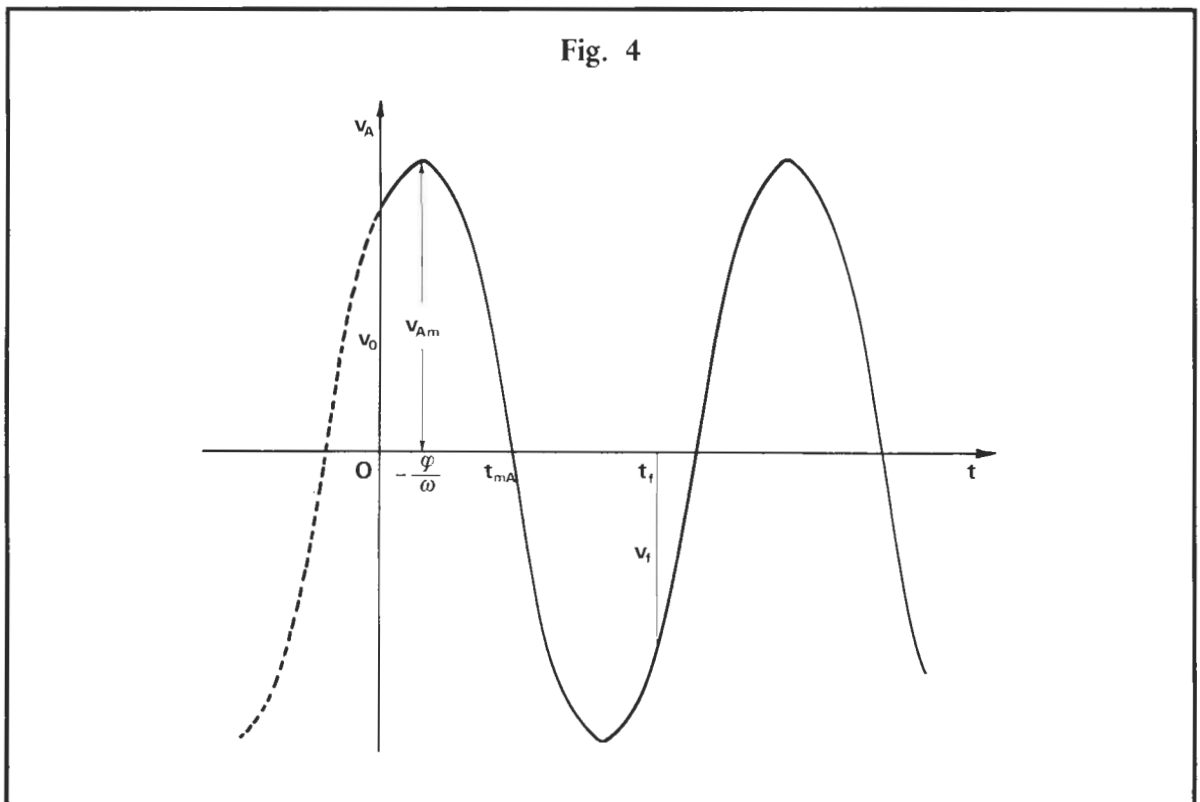
$$t_{mv} = - \frac{\varphi}{\omega}$$

il che concorda con il fatto che la curva  $A = f(t)$  ha un flesso in corrispondenza di questo tempo. La massima velocità di allungamento si ha dunque quando questo è pari a  $XIP$ , valore caratteristico definito in precedenza.

Il fatto che la velocità di allungamento dapprima aumenti per poi decrescere dopo il tempo  $t_{mv}$  si giustifica in quanto inizialmente la perdita di energia potenziale influenza l'aumento di velocità più di quanto la possa inibire l'aumento dell'energia elastica; nel punto  $t_{mv}$  i due effetti si compensano esattamente. Oltre prevale l'assorbimento di energia per elasticità che va man mano annullando l'energia ancora in gioco finché la massa  $m$  si arresta al tempo:

$$t_{vo} = \frac{1}{\omega} \left( \frac{\pi}{2} - \varphi \right)$$

Il tutto è visualizzato nel diagramma di fig. 4.



## VARIAZIONI DI ENERGIA CINETICA

Dalla relazione (21), tenendo presente che l'energia cinetica  $E_c$  è data dalla relazione:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

si ottiene:

$$E_c = \left( \frac{1}{2} m v_0^2 + \frac{1}{2} X I P^2 \right) \cos^2 (\omega t + \varphi) \quad (23)$$

dove si nota che l'energia cinetica massima non è quella riscontrabile all'inizio dell'allungamento:

$$E_{c0} = \frac{1}{2} m v_0^2$$

ma piuttosto questa più il lavoro necessario per allungare l'elemento elastico sotto l'azione della massa  $m$  applicatavi statisticamente.

## VARIAZIONE DI FORZA

Quanto considerato in questo paragrafo ha un rilievo del tutto particolare visto che i risultati sperimentali portano, generalmente, alla registrazione di funzioni del tipo:

$$F = f(t)$$

Tenendo presente che:

$$A = X I F$$

e nell'ipotesi che il coefficiente di elasticità  $X$  sia una costante, si ottiene facilmente:

$$\begin{cases} F = \sqrt{P^2 + \frac{2hP}{Xl}} \operatorname{sen} (\omega t + \varphi) + P \\ \operatorname{sen} \varphi = - \frac{P}{\sqrt{P^2 + \frac{2hP}{Xl}}} \end{cases} \quad (24)$$

Da notare che la forza massima  $F_m$  si registra quando:

$$\operatorname{sen} (\omega t_{mF} + \varphi) = 1$$

e cioè nell'istante in cui si verifica:

$$\omega t_{mF} + \varphi = \frac{\pi}{2}$$

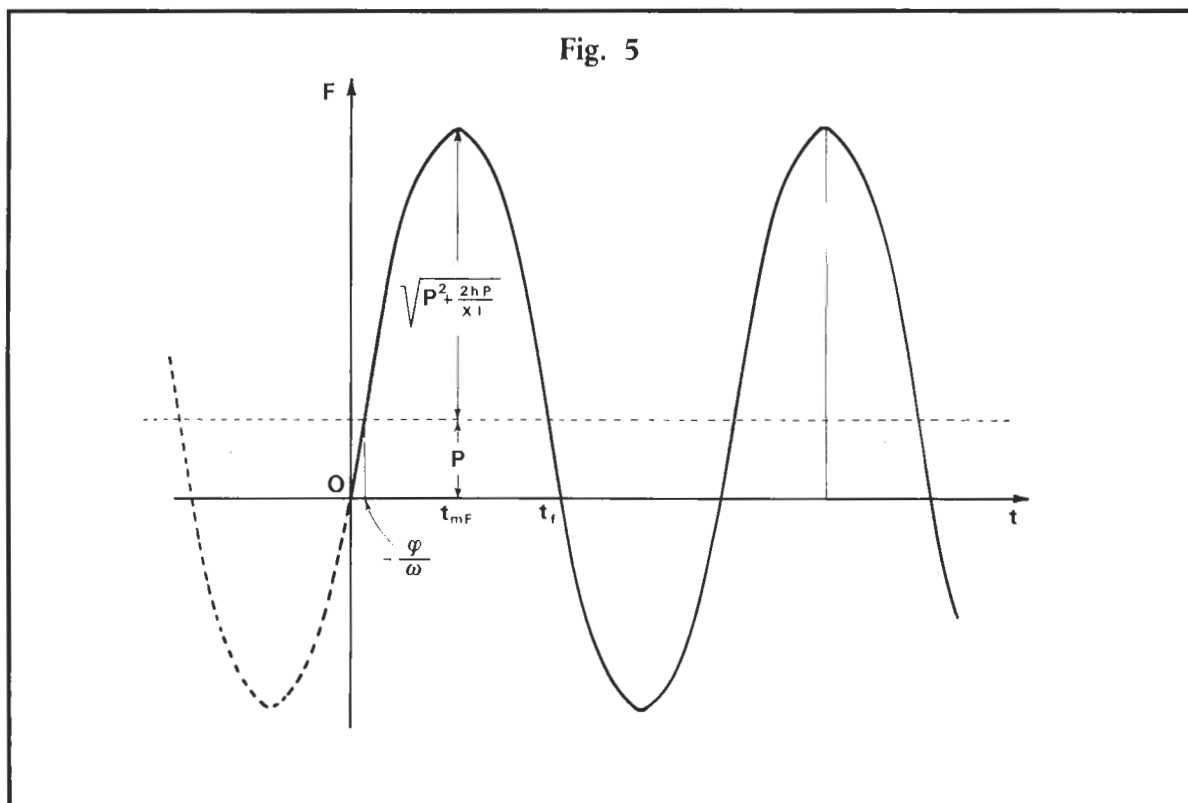
Da cui:

$$t_{mF} = \frac{1}{\omega} \left( \frac{\pi}{2} - \varphi \right) \quad (25)$$

Al tempo  $t_{mF}$  si ha il massimo valore della forza (Forza Massima, Forza Choc, Forza d'Arresto):

$$F_m = \sqrt{P^2 + \frac{2hP}{Xl}} + P \quad (26)$$

che è identico a quello ricavato con considerazioni energetiche nel volume (1).  
Il grafico della funzione (24), del tutto analogo a quello già descritto dalla funzione (15), è rappresentato in fig. 5.



### **QUANTITÀ DI MOTO E SUPERFICIE SOTTESA**

Facendo riferimento alla fig. 5, la superficie sottesa alla curva è equivalente all'impulso impresso nell'intervallo di tempo considerato.

Pertanto, nell'ipotesi che l'intervallo di tempo sia  $t_1-t_2$ , si avrà:

$$S_{t_1 t_2} = \int_{t_1}^{t_2} F dt = \int_{t_1}^{t_2} \left[ \sqrt{P^2 + \frac{2hP}{Xl}} \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi) + P \right] dt$$

dove:

$S_{t_1 t_2}$  = superficie sottesa alla curva  $F=f(t)$  nell'intervallo compreso tra i tempi  $t_1$  e  $t_2$ .

Risolvendo l'integrale per diversi successivi intervalli si ha:

$$S_A = \int_0^{t_{mF}} F dt = mv_0 + P t_{mF}$$

$$S_C = \int_{t_{mF}}^{t_f} F dt = mv_0 + P(t_f - t_{mF})$$

$$S^* = S_A + S_C = 2mv_0 + Pt_f \quad (27)$$

$t_f$  = tempo in cui si esaurisce la sollecitazione iniziale della molla nel senso della trazione ed inizia la compressione.

Pertanto la superficie  $S^*$ , sottesa alla curva nell'intervallo compreso fra l'inizio della sollecitazione ( $t=0$ ) e il termine della prima fase di allungamento ( $t=t_f$ ), rappresenta l'impulso totale che l'elemento elastico produce per arrestare la caduta della massa  $m$ .

Si noti che questo impulso totale non è equivalente alla sola quantità di moto iniziale.

## PERCUSSIONE DI UN CORPO ELASTICO REALE

Quando durante l'allungamento e la contrazione dell'elemento elastico si manifestano degli attriti interni (quelli esterni nei casi di nostro interesse sono del tutto trascurabili), parte dell'energia in gioco viene dissipata in modo irreversibile sotto forma di deformazioni permanenti e calore.

Pertanto questa parte di energia non viene restituita alla massa in moto, la quale tenderà ad oscillare con ampiezze sempre più ridotte. Si producono comunque delle oscillazioni armoniche, con pulsazioni e periodi invariati rispetto ai casi precedenti; siamo ancora in un caso «ideale», ma il fatto che le oscillazioni decrescono in ampiezza avvicina la situazione al caso di un elemento elastico molto simile ad una corda speleo-alpinistica.

Esaminiamo il problema dal punto di vista delle forze in gioco:

si può ritenere che la massa  $m$ , una volta percossa, si muova nelle condizioni di sempre, ma con in più una forza di attrito interno  $F_{ai}$  che si oppone tanto all'allungamento quanto alla contrazione. *Questa forza varia in relazione alla velocità di allungamento: tanto maggiore è la velocità tanto più elevato è l'attrito e la forza ad esso relativa.*

È come se l'energia totale in gioco variasse istante per istante. La definizione della dipendenza funzionale fra la velocità di allungamento  $v_A$  e  $F_{ai}$  è estremamente difficoltosa e incerta.

## OSCILLAZIONI E SMORZAMENTO LINEARE

Un caso che rientra in quanto precedentemente affermato, ma con possibilità di quantizzare il fenomeno, fa riferimento ad una esperienza impostata come descritto in fig. 1, ma con l'ipotesi aggiuntive che:

- a) sia trascurabile la quota di energia potenziale messa in gioco nella fase di allungamento;
- b) la forza di attrito interno  $F_{ai}$  sia proporzionale alla velocità di allungamento  $v_A$  (il che in prima approssimazione è abbastanza vero) in modo tale che (bibliografia n. 5):

$$F_{ai} = \alpha \cdot v_A \quad (28)$$

dove:

$\alpha$  = costante di proporzionalità,

si ottiene che le oscillazioni armoniche semplici a smorzamento lineare hanno la seguente equazione:

$$A = A_m \cdot e^{-nt} \cdot \text{sen } \omega t \quad (29)$$

con:

$$n = \frac{\alpha}{2m} \quad (30)$$

Se a quanto detto si aggiunge che il moto si ha in conseguenza della caduta di massa  $m$  da un'altezza  $h$  rispetto al livello di riposo  $R$  (fig. 1), la relazione (29) diventa:

$$A = Xl \sqrt{\frac{2hP}{Xl}} \cdot e^{-nt} \cdot \text{sen } \omega t \quad (31)$$

## VARIAZIONE DELLA FORZA

Nell'ipotesi fatte in precedenza vale la proporzionalità diretta fra allungamenti e forze applicate, avendo come costante di proporzionalità il prodotto fra il coefficiente di elasticità  $X$  e la lunghezza  $l$  dell'elemento elastico ideale.

In questo caso «non ideale» detta proporzionalità si mantiene in considerazione del fatto che nell'equazione di moto le variazioni dovute alla presenza dell'attrito sono rappresentate dal fattore  $e^{-nt}$ .

Pertanto si può ricavare dalla relazione (31):

$$F = F_m \cdot e^{-nt} \cdot \text{sen } \omega t \quad (32)$$

con:

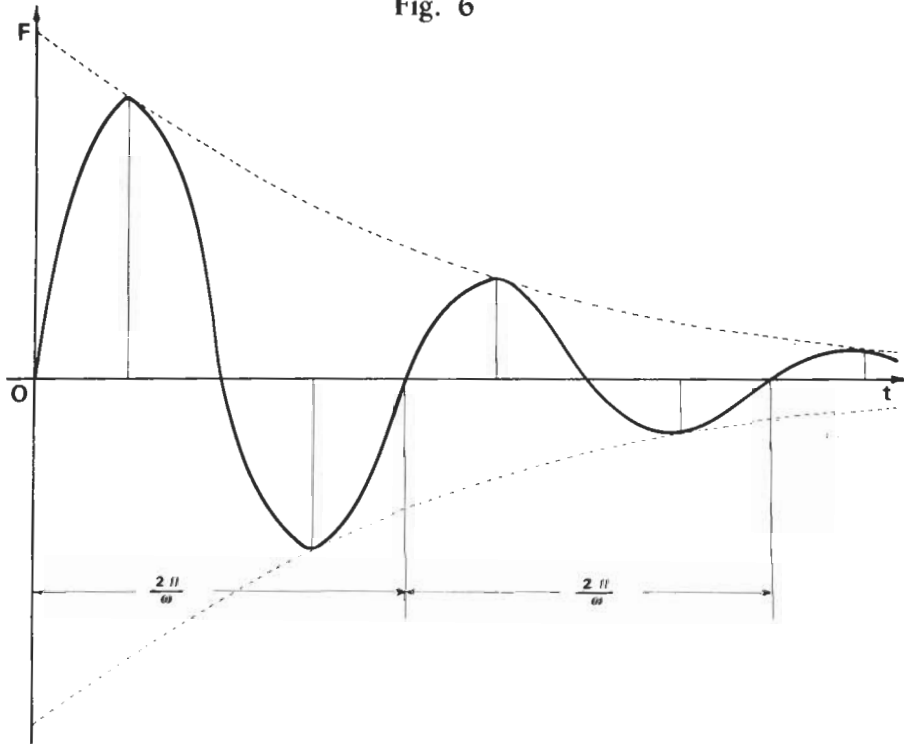
$$F_m = \sqrt{\frac{2hP}{Xl}}$$

In fig. 6 è riportato il risultato grafico dell'effetto di smorzamento.

Si tenga comunque presente che quanto espresso in questo paragrafo è di scarsa utilità pratica viste le difficoltà di correlazione fra le varie grandezze in gioco (l'attrito in questione è difficilmente collegabile alle diverse componenti che determinano lo smorzamento).

La trattazione ha avuto comunque il compito di presentare un caso intermedio fra gli elementi elastici ideali, sinora presi in considerazione, e le corde speleo-alpinistiche, le quali hanno un comportamento ben diverso. In esse gioca l'elasticità reversibile ma anche le deformazioni plastiche e gli attriti interni di varia natura.

Fig. 6

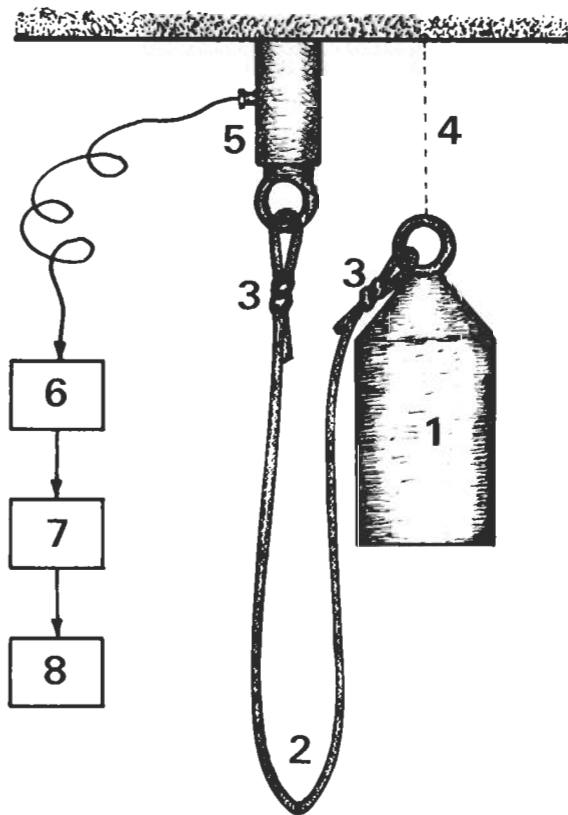


## PERCUSSIONE DI UNA CORDA SPELEO-ALPINISTICA

Entriamo qui nel vivo delle questioni reali-operative, ma con tutti i problemi che ciò comporta, primo fra tutti quello di effettuare le giuste necessarie approssimazioni.

Una cosiddetta «prova di caduta» consiste nel far precipitare un certo peso rigido da una data altezza e arrestarne la caduta con una corda solidale mediante dei nodi al peso stesso e ad una cella dinamometrica (vedi fig. 7).

Fig. 7

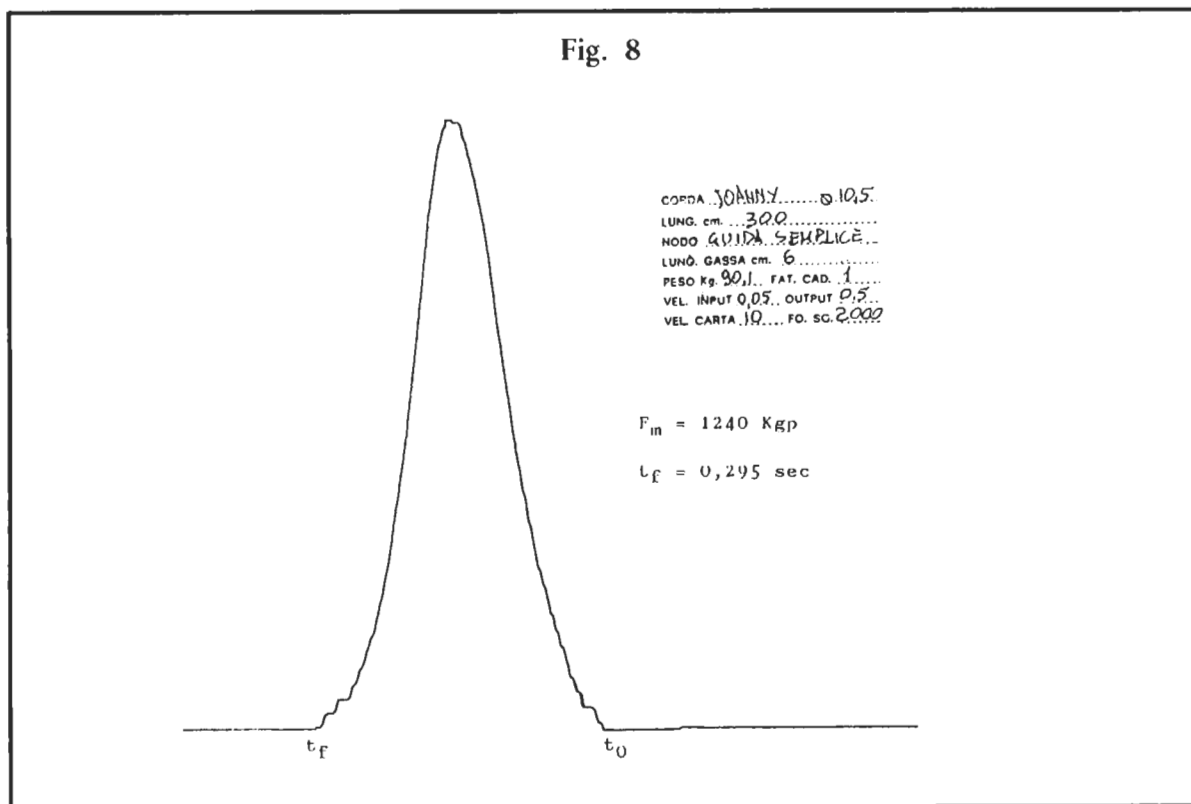


- 1 PESO
- 2 CAMPIONE DI CORDA
- 3 NODI
- 4 SGANCIAMENTO
- 5 CELLA DI CARICO
- 6 AMPLIFICATORE
- 7 MEMORIA
- 8 REGISTRATORE



In tal modo si produce la percussione di un corpo «elastico», che porta, come è facile prevedere, ad un risultato perfettamente coerente con l'equazione (24) relativa alla variazione della forza nelle oscillazioni armoniche semplici.

Il grafico che si ricava da tale esperienza è del tipo indicato in fig. 8 (\*).



In questo grafico sono riportati in ascisse i tempi (1 mm = 0,005 sec) e in ordinate le forze (1 mm = 10Kgp). Il grafico si sviluppa da destra ( $t_0$ ) a sinistra ( $t_f$ ).

Da un confronto con la curva di fig. 5 risulta che il grafico di fig. 8 altro non è se non la parte con coordinate positive del primo periodo di oscillazione previsto dalla relazione (24). Infatti durante la prova dinamometrica di caduta non è possibile registrare la parte di curva con ordinate negative, in quanto la corda non è un elemento comprimibile (alla cella di carico non viene data alcuna sollecitazione durante il «rimbalzo» del peso).

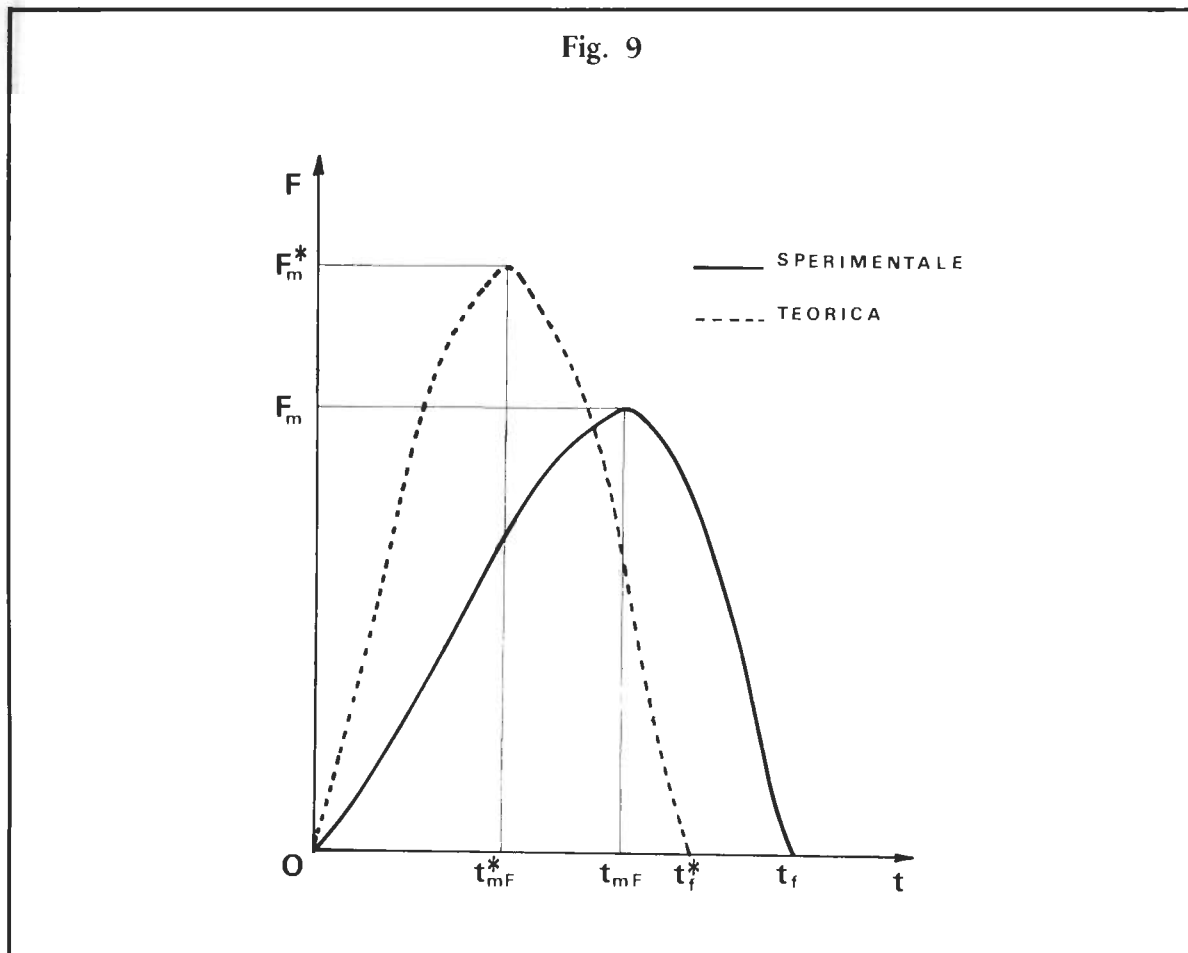
Non è possibile registrare neppure le parti di curva con coordinate positive dei periodi di oscillazione successivi al primo, in quanto la memoria del dinamometro in dotazione al CNS è impostata in modo tale da escludere ogni segnale che non provenga dalla sollecitazione iniziale. Ma la curva di fig. 5 ed il grafico di fig. 8 non possono certo corrispondere fino ad essere sovrapponibili, visto che la prima si riferisce ad un elemento elastico ideale mentre il secondo è il prodotto della percussione di una corda, cioè di un corpo certamente elastico ma comunque tale da non poter essere considerato ideale (coefficiente di elasticità variabile, deformazioni plastiche, attriti interni e esterni, effetto nodo);

Tuttavia è proprio dal confronto di curve come queste, teorica l'una sperimentale l'altra, che ci si propone di raggiungere i risultati più interessanti, sia ai fini immediatamente pratici che a quelli di stampo più teorico.

(\*) Ottenuto presso il Laboratorio Prove Materiali del Centro Nazionale di Speleologia «M. Cucco» (Costacciaro, PG) durante la seduta del 13-14/4/85.

## CONFRONTO FRA CURVE TEORICHE E SPERIMENTALI

In fig. 9 viene riportato un confronto fra il grafico di fig. 8, ottenuto sperimentalmente, e l'ipotetica equivalente curva teorica ottenibile nelle stesse condizioni con un elemento elastico ideale.

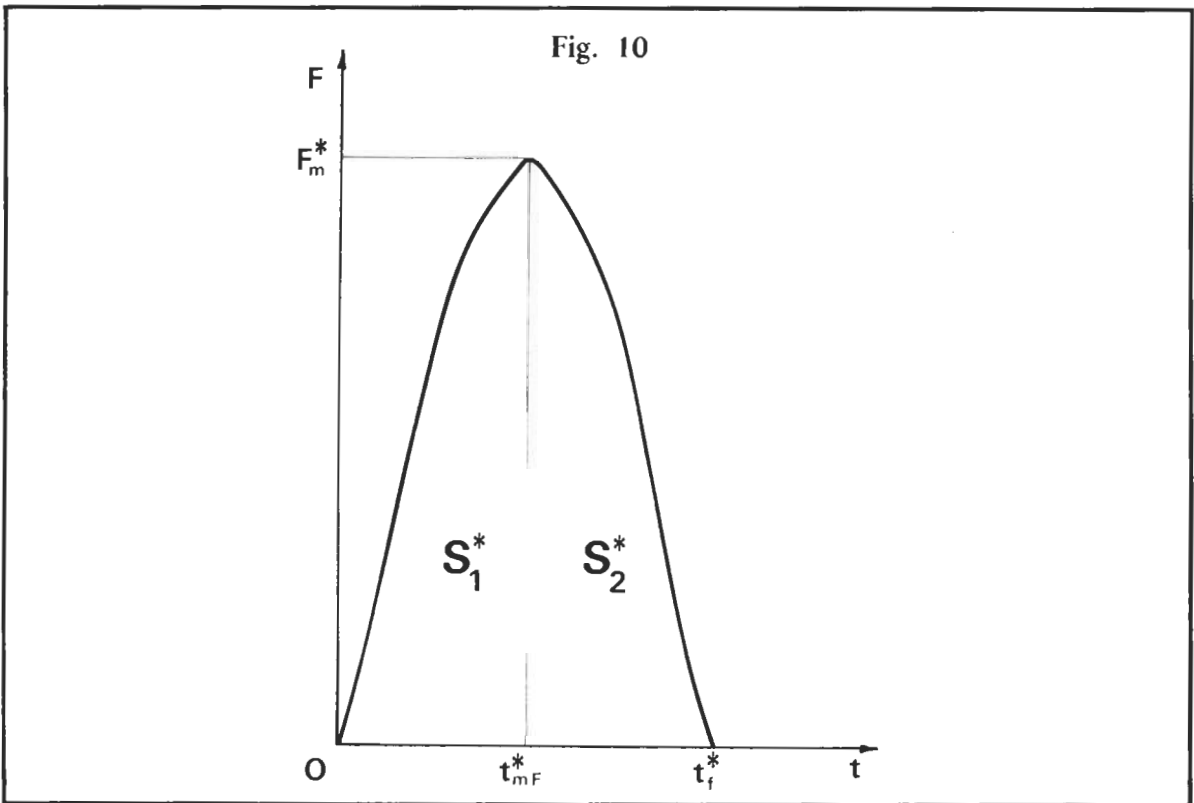


Le differenze sono subito evidenti:

- a) la curva teorica è simmetrica rispetto all'ordinata massima  $F_m^*$ , mentre non lo è la curva sperimentale rispetto a  $F_m$ ;
- b) la superficie sottesa alla curva sperimentale posta a sinistra di  $F_m$  è più estesa di quella posta a destra;
- c) il tempo  $t_f^*$  è minore rispetto a  $t_f$ ;
- d) la  $F_m^*$  è maggiore di  $F_m$ .

### **FUNZIONE $F=f(t)$ PER UN CORPO ELASTICO IDEALE**

In fig. 10 è riportato il grafico schematico della variazione della forza a seguito della percussione di un elemento elastico ideale, limitatamente alla parte con coordinate positive del primo periodo di oscillazione.



Da quanto ricavato in precedenza sappiamo:

$$F = \sqrt{P^2 + \frac{2hP}{Xl}} \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi) + P$$

dove:

$$\text{sen} \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + \frac{2hP}{Xl}}}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{Xlm}}$$

Inoltre per le considerazioni fatte in precedenza valgono anche le limitazioni:

$$0 \leq t \leq t_f^* = \frac{1}{\omega} (\pi - 2\varphi) \quad (33)$$

È noto che la superficie sottesa alla curva equivale all'impulso totale impresso alla massa  $m$  nell'intervallo di tempo considerato:

$$S_{t_1 t_2}^* = \int_{t_1}^{t_2} F \cdot dt$$

e conseguentemente, essendo  $v_0$  la velocità iniziale di allungamento (che è poi anche la velocità finale della caduta della massa), si ha:

$$\begin{aligned} S_1^* &= m v_0 + P t_{mF}^* \\ S_2^* &= m v_0 + P (t_f^* - t_{mF}^*) \\ S_1^* &= S_2^* \end{aligned}$$

Inoltre, in una oscillazione armonica che si ripete indefinitamente senza attriti e deformazioni permanenti, risulta:

$$V_0 = V_f^* \quad (34)$$

dove:

$V_f^*$  = velocità di allungamento al tempo  $t_f^*$  che è poi anche la velocità con cui la massa viene spinta verso l'alto all'inizio della compressione del corpo elastico.

Si tenga presente che delle sopraindicate velocità si tiene conto solo del valore assoluto. E così sarà anche in seguito salvo diversa indicazione.

Infine si ottengono le relazioni:

$$\begin{aligned} S_1^* &= m v_0 + P t_{mF}^* \\ S_2^* &= m v_f^* + P (t_f^* - t_{mF}^*) \end{aligned} \quad (35)$$

Generalizzando, si può affermare che ogni curva del tipo riportato in fig. 10 sottende due superfici suddivise dall'ordinata massima  $F_m$ . Per quella definita nell'intervallo di tempo compreso fra 0 e  $t_{mF}$  vale la relazione:

$$S_1 = m v_0 + P t_{mF} \quad (36)$$

mentre per l'altra contigua compresa nell'intervallo di tempo  $t_{mF} - t_f$  vale l'analogha relazione:

$$S_2 = m v_f + P (t_f - t_{mF}) \quad (37)$$

e ciò è valido anche se:

$$\begin{aligned} v_0 &\neq v_f \\ t_{mF} &\neq t_f - t_{mF} \end{aligned}$$

Quanto detto per le relazioni (36) e (37) significa, in altre parole, che le due porzioni di curva che sottendono le superfici  $S_1$  e  $S_2$  possono anche avere storie separate e diverse. Significa anche che ogni porzione di curva può essere considerata separatamente dall'altra, prendendo come fatti caratteristici la velocità iniziale o finale e l'intervallo di tempo in cui si sviluppa.

Resta però che la legge funzionale che collega le variabili  $F$  e  $t$  è sempre quella tipica delle oscillazioni armoniche semplici.

Non bisogna dimenticare che quest'ultima affermazione risulta non completamente vera se  $X$  è variabile. Ma tenuto anche conto dell'entità delle variazioni di questo coefficiente possiamo ritenere che gli errori nel calcolo siano trascurabili in relazione al tipo di risultati che ci si prefigge di raggiungere.

Infine un'ultima considerazione, sempre in rapporto alla situazione di elasticità ideale, al fine di individuare una rapida via di calcolo del coefficiente di elasticità  $X$ .

Ci si basa sulla relazione già nota (26):

$$F_m = \sqrt{P^2 + \frac{2hP}{Xl}} + P$$

dalla quale si ricava:

$$X = \frac{2P}{F_m (F_m - 2P)} \cdot F_c \quad (38)$$

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

Ciò significa che il calcolo di  $X$  rimanda, in questo caso, alla determinazione della forza massima in una data percussione dell'elemento elastico in esame, della quale siano note le condizioni iniziali.

## ***STRUTTURA E MECCANISMI DI DEFORMAZIONE DI UNA CORDA***

Nel caso che il corpo deformabile sottoposto a percussione sia una corda di tipo speleo-alpinistico occorre tener presente quando segue:

- a) la corda è un manufatto a struttura complessa, con disomogeneità tanto in senso longitudinale che trasversale;
- b) il suo coefficiente di elasticità varia in funzione dell'allungamento;
- c) durante l'allungamento, in dipendenza anche della sua entità e velocità, si producono trasformazioni irreversibili (plastiche) capaci di assorbire una certa quantità di energia;
- d) considerata la complessa trama nella disposizione delle fibre elementari, dei trefoli, della maglia della calza di protezione esterna è inevitabile che, in concomitanza con gli allungamenti e le conseguenti contrazioni, si producano degli attriti che dissipano una certa quota di energia sotto forma di calore; l'entità di questi attriti (si manifestano nel complesso come una forza che si oppone al movimento) dipende dalla struttura più o meno complessa della corda e dalla velocità di allungamento o contrazione;
- e) la necessaria presenza dei nodi di ancoraggio comporta un ulteriore fattore di dissipazione dell'energia in gioco nella percussione, sia sotto forma di deformazioni plastiche che di attrito;
- f) l'uso, gli choc subiti, l'invecchiamento naturale, la presenza di materiale rigido intruso nella struttura della corda influenzano tutti i fattori precedentemente accennati; in che modo è difficile da precisare.

Ma veniamo ad un'analisi più dettagliata dei fenomeni legati all'assorbimento di energia in una corda.

Si può affermare che l'assorbimento di energia, tanto in una prova di caduta quando in una trazione lenta (\*), avviene secondo i seguenti meccanismi:

- 1) elasticità (reversibile)
- 2) plasticità (irreversibile)
- 3) attrito (irreversibile).

*L'elasticità* è a sua volta da suddividere in:

- a) propria delle fibre elementari
- b) strutturale (calza più trefoli)
- c) di compressione dei nodi.

Con questo tipo di meccanismo si ha l'integrale restituzione dell'energia assorbita.

*La plasticità* è un meccanismo non reversibile che porta alla deformazione permanente degli elementi che compongono una corda. Essa è dovuta a:

- a) snervamento delle fibre elementari per superamento del loro limite di elasticità
- b) rottura delle fibre elementari
- c) scorrimento delle fibre elementari nei trefoli e nella maglia della calza
- d) deformazione della struttura in senso trasversale e longitudinale
- e) strizione dei nodi
- f) scorrimento della corda sull'ancoraggio in corrispondenza di alcuni nodi.

Tutti questi fattori assorbono energia senza restituirla in alcun modo.

*L'attrito* può essere di due tipi:

- a) interno
- b) esterno.

Il primo è quello che si verifica nello scorrimento di una fibra sull'altra, di un trefolo in relazione agli altri, della calza sui trefoli, dei materiali intrusi nella corda rispetto a tutti gli elementi che la compongono.

Il secondo è quello che si verifica nello scorrimento di tutta la corda rispetto ad una superficie sulla quale eserciti una pressione.

Entrambi i tipi producono calore e possono portare alla fusione delle fibre elementari. Comunque anche l'attrito determina la dissipazione di energia in modo irreversibile. Non è infatti possibile utilizzare il calore prodotto per conferire nuovi impulsi alle masse in movimento o immobili.

(\*) Le due esperienze si equivalgono nella sostanza, mentre si differenziano solo per la velocità di esecuzione, che è elevatissima nella percussione per caduta di una massa mentre è estremamente bassa nella trazione; il che comporta solo una variazione nell'entità dei vari effetti di dissipazione dell'energia, i quali restano in ogni caso pienamente operanti.

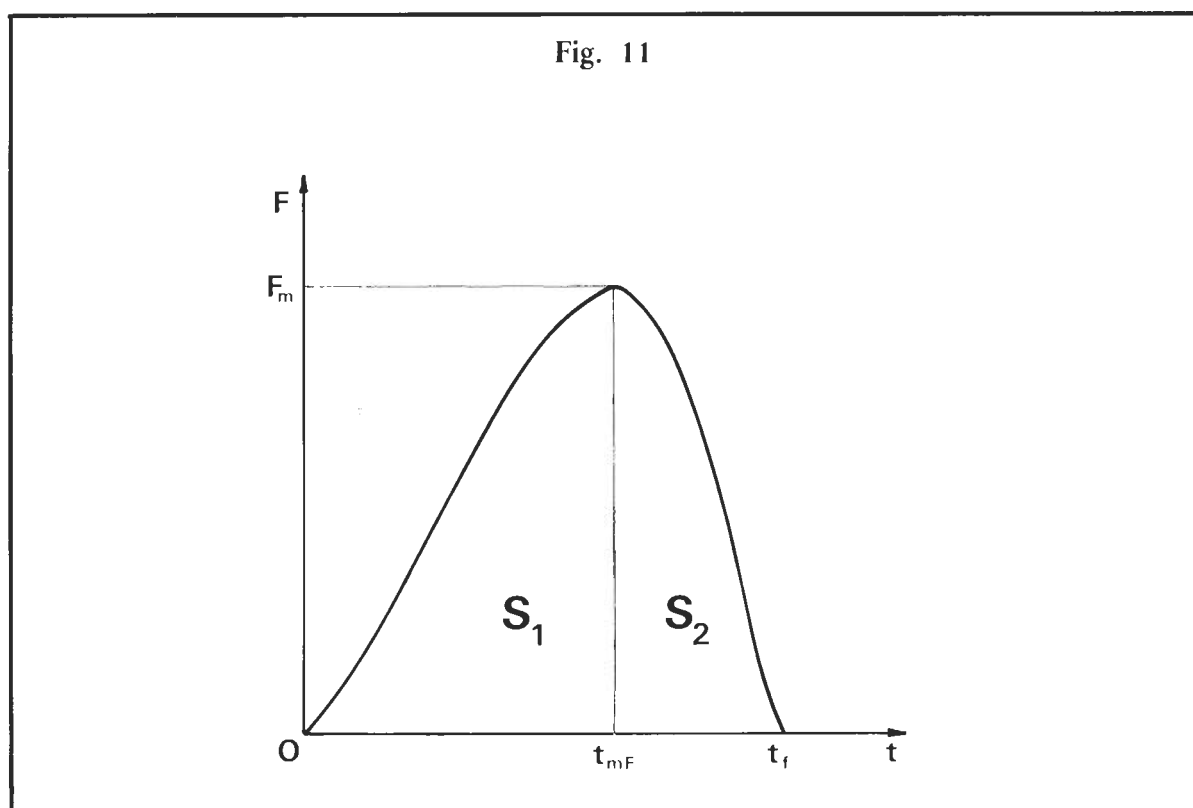
Il *nodo*, con i suoi molteplici effetti concomitanti in tutte e tre i meccanismi di dissipazione di energia, costituisce un problema di difficile soluzione se si vuole analizzare, separatamente, le varie componenti d'azione. Si preferisce trattare il problema nel suo insieme definendo il complesso della sua azione come «effetto nodo».

Quest'effetto è tanto maggiore quanto maggiore è la complessità del nodo e quanto minore è la lunghezza del campione di corda in esame. In tratti di corda sufficientemente lunghi l'effetto nodo diventa trascurabile.

In considerazione del fatto che il nodo dissipa energia soprattutto per plasticità e attriti, le trasformazioni che subisce non sono reversibili e non si ha alcuna restituzione di impulsi.

### **FUNZIONE $F=f(t)$ PER UNA CORDA**

Dopo le necessarie chiarificazioni del paragrafo precedente è ora possibile esaminare la curva che si registra per mezzo del dinamometro a seguito di una prova di caduta con un determinato campione di corda (vedi fig. 11).



Risalta immediatamente (vedi anche fig. 8) la sua asimmetria rispetto all'ordinata massima  $F_m$ . Questo è dovuto al fatto che nell'intervallo compreso fra l'istante iniziale della trazione e  $t_{mF}$  la corda si allunga (con assorbimento di energia per elasticità, plasticità e attriti), subendo delle deformazioni permanenti che di fatto aumentano il coefficiente di elasticità e quindi allungano i tempi di esecuzione della trazione.

Per contro la presenza di attriti produce un irrigidimento della corda e quindi spinge il sistema a concludere la trazione in tempi più brevi.

Comunque nel complesso i tempi si allungano perché prevale l'effetto plastico.

C'è da tener presente inoltre che nella fase di allungamento della corda entra in gioco anche la rilevante azione di strizione dei nodi, la quale fondamentalmente risulta una deformazione plastica che va ad incrementare la deformabilità del campione di corda.

Nella successiva fase di contrazione della corda, essendo stata già dissipata in modo irreversibile una certa quantità di energia, è la sola elasticità a restituire l'energia immagazzinata, dovendo anche superare l'opposizione che l'attrito interno esercita.

È inevitabile quindi che questa seconda fase, compresa nell'intervallo di tempo  $t_{mF}-t_f$ , si esaurisca in un tempo inferiore a  $t_{mF}$ .

### **ENERGIA DISSIPATA PER PLASTICITÀ E ATTRITI**

Abbiamo visto che nella fase di allungamento di una prova di caduta entrano in gioco forme di assorbimento di energia non reversibili. Questo comporta che la velocità con cui la massa cadente inizia la trazione della corda ( $v_0$  al tempo  $t=0$ ) sia superiore, in valore assoluto, alla velocità con cui la stessa massa termina la fase di contrazione ( $v_f$  al tempo  $t_f$ ).

Il tutto può essere interpretato come se la massa cadente operasse un sondaggio sulle capacità della corda di assorbire energia: tanto più ne restituisce tanto più il lavoro svolto è elastico e minori sono le deformazioni plastiche e la dissipazione per attrito; e viceversa.

È chiaro a questo punto che la misurazione della quantità di energia assorbita per plasticità e attriti ( $\Delta E_{pa}$ ) durante una prova di caduta riveste un significato di grande importanza per stabilire la bontà o meno di una corda speleo-alpinistica: la migliore risulterà quella che ha più elevate capacità di assorbire energia senza subire gravi deformazioni permanenti.

Proprio allo scopo di misurare  $\Delta E_{pa}$  viene impostato lo schema di calcolo che segue, utilizzando grandezze e relazioni precedentemente definite.

Si inizia facendo riferimento alla fig. 11 ed alle relazioni (36) e (37):

$$S_1 = mv_0 + Pt_{mF}$$

$$S_2 = mv_f + P(t_f - t_{mF})$$

Se  $S$  è la superficie sottesa alla curva sperimentale nell'intero intervallo compreso fra il tempo zero e  $t_f$ , si ha:

$$S = S_1 + S_2 = mv_0 + mv_f + Pt_f$$

e quindi, ricordando che  $P = mg$ :

$$\begin{aligned} v_0 + v_f &= \frac{S}{m} - g t_f \\ v_f &= \frac{S}{m} - (v_0 + g t_f) \end{aligned} \tag{39}$$

Per quanto riguarda le energie cinetiche in gioco all'inizio ( $E_0$ ) e alla fine ( $E_f$ ) della percussione si ricava:

$$\begin{aligned} E_0 &= \frac{1}{2} m v_0^2 \\ E_f &= \frac{1}{2} m v_f^2 \end{aligned}$$

e quindi:



$$\Delta E_{pa} = \frac{1}{2} m (v_0^2 - v_f^2)$$

dove  $\Delta E_{pa}$  è la quantità di energia non restituita e quindi dissipata in deformazioni plastiche e attriti.

Procedendo nello sviluppo:

$$\Delta E_{pa} = \frac{1}{2} m (v_0 - v_f)(v_0 + v_f)$$

si ottiene al fine, sulla base delle relazioni (39):

$$\Delta E_{pa} = v_0 (S - Pt_f) - \frac{(S - Pt_f)^2}{2m}$$

Ponendo:

$$q = S - Pt_f$$

si ottiene la relazione cercata:

$$\Delta E_{pa} = v_0 q - \frac{q^2}{2m} \quad (40)$$

Quest'ultima relazione permette infatti di calcolare la quantità di energia dissipata in deformazioni plastiche e attriti (compreso quanto concerne l'effetto nodo) in una data prova di caduta, utilizzando valori noti ( $P$ ,  $m$ ), altri ricavabili dalle condizioni sperimentali imposte:

$$v_0 = \sqrt{2 h g} \quad (41)$$

altri ancora ( $S$ ,  $t_f$ ) da misurazioni sul grafico ottenuto per mezzo del dinamometro.

Un'ultima considerazione a proposito di  $\Delta E_{pa}$ . Questa quantità di energia congloba, come è stato più volte detto, tanto la quantità di energia assorbita per plasticità quanto quella dissipata in attriti, compreso l'effetto nodo che incide su entrambi i meccanismi. E ciò si verifica tanto nella fase di allungamento ( $0 - t_{mF}$ ) quanto in quella di contrazione ( $t_{mF} - t_f$ ). *Ma se si tiene conto che nella fase di contrazione viene dissipata solo la trascurabile quantità di energia che scaturisce dall'attrito interno, se ne deduce che  $\Delta E_{pa}$  è praticamente una misura che caratterizza solo la fase di allungamento.* E non poteva essere altrimenti visto che proprio in questa fase avvengono le più significative trasformazioni irreversibili.

## ***ENERGIA ASSORBITA PER ELASTICITÀ***

La quantità totale di energia in gioco in una data prova di caduta è:

$$\Delta E_{TOT} = P(h + A_m) \quad (42)$$

dove  $A_m$  è l'allungamento massimo che si registra quando la forza raggiunge il suo massimo valore  $F_m$ .

L'allungamento massimo  $A_m$  si può ricavare facilmente dalla curva di trazione di un campione di corda identico a quello sottoposto alla prova di caduta.

Proseguendo nei calcoli, tenendo presente la ovvia relazione:

$$\Delta E_{TOT} = \Delta E_e + \Delta E_{pa}$$

dove:

$\Delta E_e$  quantità di energia assorbita per elasticità

si ottiene infine:

$$\Delta E_e = P(h + A_m) - \Delta E_{pa} \quad (43)$$

Ora non resta che elaborare un modo adeguato per distinguere  $\Delta E_p$  da  $\Delta E_a$ .

### ***ENERGIA DISSIPATA PER ATTRITI***

A tal fine ci si basa su fatto che tanto più è lenta la trazione tanto minore è l'effetto di attrito (vedi relazione n. 28).

Se poi il campione di corda viene trazonato con una velocità di allungamento di qualche millimetro al secondo, si può affermare in prima approssimazione che la prova è stata eseguita in assenza di attriti (\*).

È necessario inoltre far riferimento ad una seconda ipotesi: la curva di trazione  $A = f(F)$  che si può ottenere da un dato campione di corda non dipenda dalla sua velocità di allungamento.

Ciò è sostanzialmente vero, visto che la differenza fra trazioni lente e veloci sta tutta nel diverso tasso di dissipazione di energia per attriti (ai nostri fini sono del tutto trascurabili i problemi relativi alla trasmissione impulsiva delle forze). Quindi possiamo immaginare che, istante per istante, alla forza di trazione  $F$  si debba sottrarre una forza  $F_a$ , di direzione uguale ma di senso opposto, risultante di tutte le forze di attrito, applicata come  $F$  ad una delle estremità del campione di corda (l'altra estremità viene ancorata alla cella di carico). Questo significa che la funzione:

$$A = f(F)$$

si trasforma in:

$$A = f(F - F_a)$$

Ciò non comporta alcuna modifica alla forma della relativa curva.

Di fatto la presenza di attriti nella corda crea come una «inerzia» verso l'allungamento, senza però modificare la natura del fenomeno, che è sottoposta sempre alla medesima correlazione fra allungamenti e forze applicate, anche se queste risultano da diverse componenti.

Si ricorda infine che la quantità di energia  $\Delta E_{pa}$ , come specificato in precedenza, può essere ritenuta una caratteristica della sola fase di trazione di una prova di caduta.

(\*) In realtà l'attrito si manifesta anche a velocità di trazione estremamente basse. Lo testimonia il riscaldamento che la corda subisce in ogni caso. Ma ciò non toglie che possa essere trascurata la quantità di energia dissipata per attriti nelle trazioni lente che vengono eseguite nel laboratorio del CNS (velocità di allungamento dell'ordine di 1 mm/s).

Da quanto detto il calcolo della quantità di energia  $\Delta E_a$  può essere impostato come segue.

a) Si effettua una prova di caduta su un dato campione di corda ancorato tramite nodi alla cella di carico e al peso.

Viene registrato  $F_m$ ,  $t_f$  e  $S$ ; si calcola  $\Delta E_{pa}$  nei modi previsti.

b) Si costruisce, raggiungendo valori di forza superiori a  $F_m$ , una curva di carico a trazione lenta di un campione di corda identico, per lunghezza e composizione dei nodi, a quello utilizzato nella prova di caduta (l'ancoraggio alla macchina traente deve avvenire tramite i nodi).

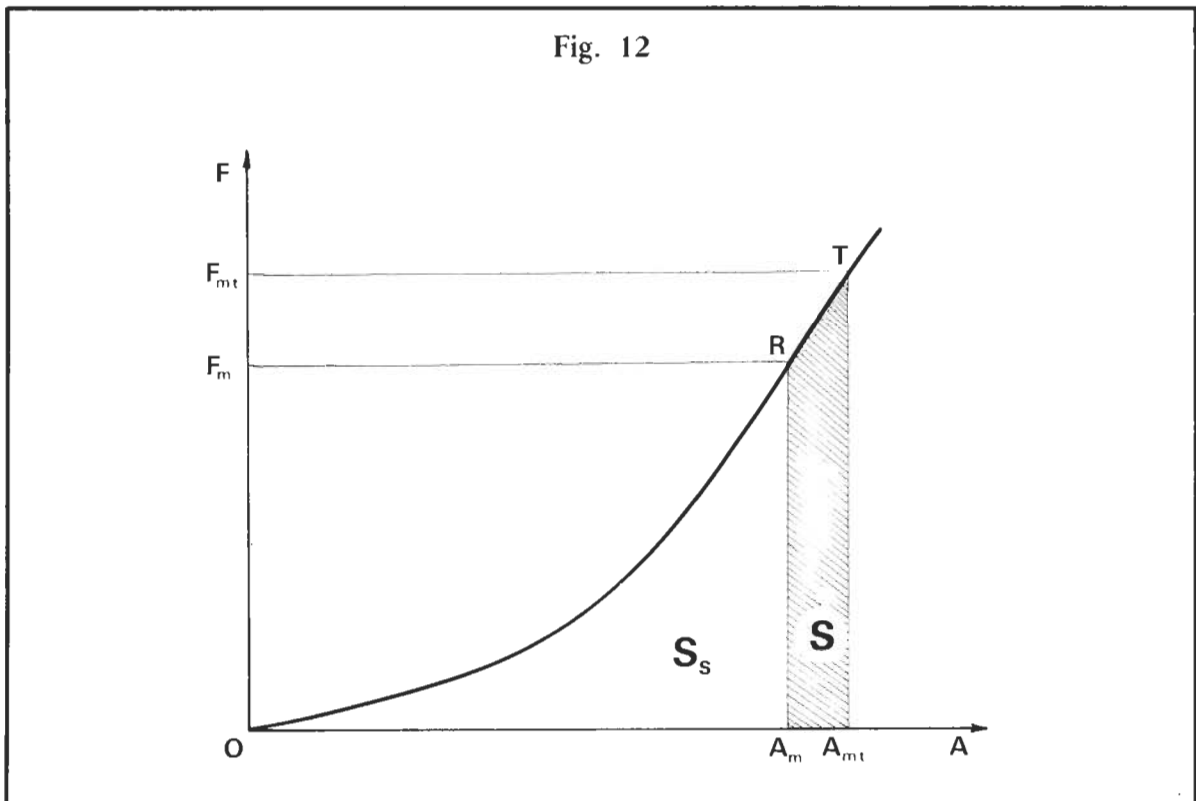
Da rilevare che la costruzione di un simile diagramma (vedi fig. 12) non comporta necessariamente l'uso di campioni di lunghezza pari a quella dei campioni utilizzati nella prova di caduta. Infatti è sufficiente sottoporre alla trazione un campione di corda di lunghezza ridotta (circa 60 cm nel complesso), ma sempre con i nodi presenti alle due estremità, e misurare per ogni forza applicata sia l'allungamento specifico dei nodi che quello relativo al tratto di corda fra essi interposto. È sufficiente poi applicare la dovuta proporzionalità agli allungamenti del tratto di corda libero dai nodi per ottenere la curva di carico di un qualsivoglia campione.

d) Nel diagramma di fig. 12 si individua l'ordinata pari a  $F_m$ , definendo in tal modo la superficie  $S_s$ .

e) Si misura l'estensione della superficie  $S_s$ , esprimendo poi il risultato in unità di lavoro. Questa superficie, visto che la trazione è avvenuta a bassa velocità, rappresenta quantitativamente l'energia assorbita dal campione di corda sotto forma di elasticità e plasticità per raggiungere la forza di trazione  $F_m$ .

Pertanto, tenendo presente la relazione (42), è possibile calcolare la quantità di energia dissipata per attrito nella prova di caduta in base alla seguente relazione:

$$\Delta E_a = P(h + A_m) - S_s \quad (44)$$



Per meglio comprendere questa conclusione si ponga attenzione sul fatto che, in assenza di attriti, nella prova di caduta si sarebbe raggiunta la forza di arresto  $F_{mt}$  con un allungamento relativo di  $A_{mt}$  (vedi fig. 12). L'area sottesa alla curva nell'intervallo  $0-A_{mt}$  equivale alla quantità totale di energia in gioco nella prova di caduta  $E_{tot} = P(h + A_{mt})$ .

Invece il processo di allungamento si è arrestato nel punto R, proprio per l'opposizione della forza di attrito e per la trasformazione dell'energia cinetica in calore.

La superficie S (tratteggiata) di fig. 12 è dunque equivalente alla quantità di energia dissipata per attriti nella prova di caduta.

Tutto ciò giustifica la relazione (44).

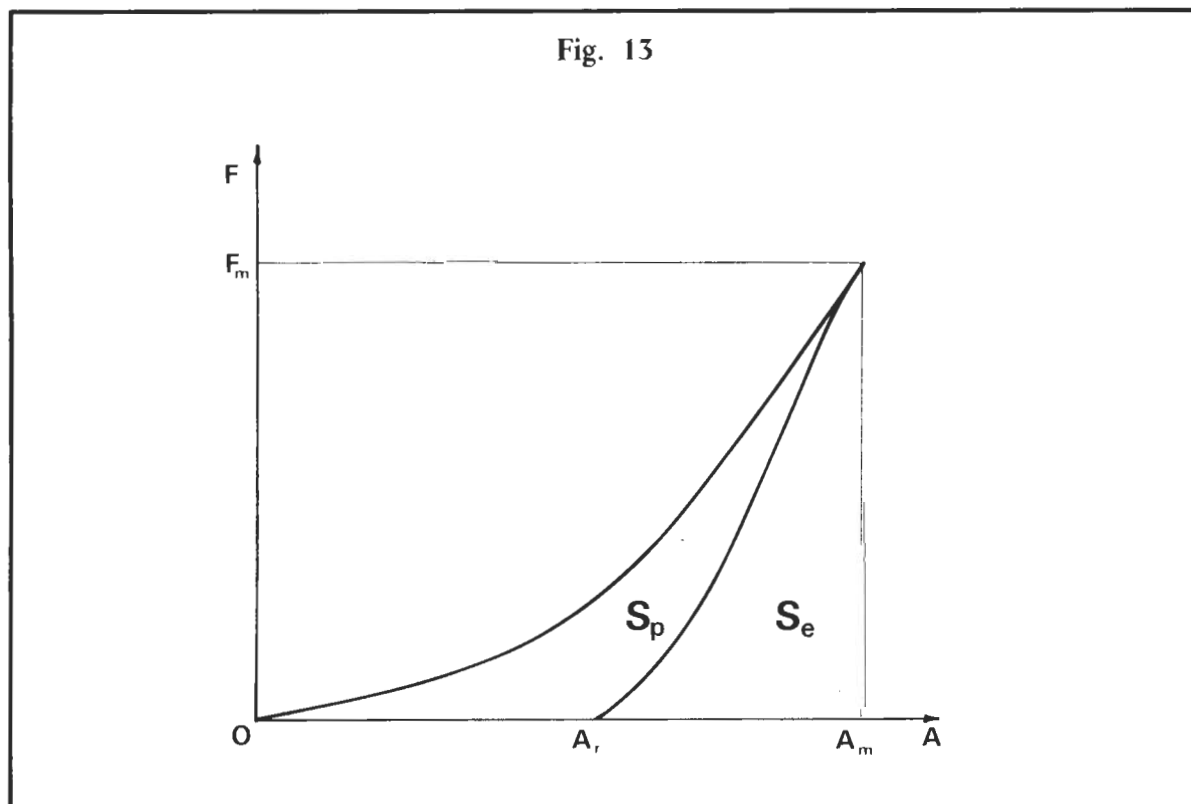
Per completare questo tipo di analisi energetica è necessario precisare che la misurazione di  $\Delta E_e$  e  $\Delta E_a$  per un dato campione di corda in una data prova di caduta può essere effettuata anche in modo diverso.

Della prova di caduta si registra la forza di arresto  $F_m$ . Quindi si costruisce una curva di carico con un identico campione di corda, raggiungendo esattamente una forza di trazione massima pari a  $F_m$ .

Da questa situazione si regredisce progressivamente registrando gli allungamenti al diminuire della forza di trazione, fino a raggiungere  $F=0$  in corrispondenza di  $A_r$ . Questo è l'*allungamento residuo* dovuto alle trasformazioni irreversibili avvenute nel campione durante la trazione. In tal modo viene definito un diagramma come in fig. 13 (curva di carico/scarico) in cui si individuano le superfici  $S_p$  ed  $S_e$ , le quali, trasformate opportunamente in unità di lavoro, equivalgono a:

$$S_e = \Delta E_e$$

$$S_p = \Delta E_p$$



## CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI ELASTICITÀ

Si è visto in precedenza come sia possibile calcolare il coefficiente di elasticità  $X$  di un mezzo elastico ideale a seguito di una prova di caduta. Infatti la relazione (38) stabilisce:

$$X = \frac{2P}{F_m(F_m - 2P)} \cdot F_c$$

Ma essa presuppone che  $X$  sia una costante.

Nelle corde speleo-alpinistiche  $X$  varia in funzione dell'allungamento, diminuendo man mano che aumenta la forza di trazione (variando  $F$  da 0 a 1600 Kgp, il coefficiente di elasticità può diminuire da 3 a 5 volte, a seconda del tipo di corda). Ciò spiega perché le curve di trazione non hanno un andamento lineare.

Si è già accennato che i diversi meccanismi di dissipazione e assorbimento di energia comportano di fatto una modificazione del valore di  $X$ :

- a) la plasticità, che si mostra soprattutto con forze di trazione elevate, tende a farlo aumentare
- b) l'attrito, che si mostra con bassi valori di forza e alte velocità di allungamento, lo fa apparentemente diminuire
- c) c'è poi in gioco la deformazione strutturale in senso trasversale, più marcata nella prima fase della trazione, che comporta un aumento di elasticità
- d) ci sono infine i nodi i quali con la strizione contribuiscono fortemente all'aumento di  $X$ , soprattutto nelle fase iniziale della trazione.

Tutti questi fattori portano, chi prima chi dopo, chi più chi meno, ad una variazione di  $X$ . In certe fasi alcuni di essi si compensano vicendevolmente.

Comunque come linea di tendenza generale, dopo aver esaminato numerose curve di trazione relative a campioni di corda speleo-alpinistica, si può affermare quanto segue:

- a) la trazione fino a circa 400 Kgp si svolge con un coefficiente di elasticità più elevato; ciò è dovuto quasi esclusivamente alle deformazioni strutturali in senso trasversale (la corda infatti si riduce di diametro e si compatta, divenendo sempre più rigida) e alla strizione dei nodi;
- b) nello stesso intervallo di forze del punto a) la quantità di energia dissipata o assorbita è circa il 15% di quella totale in gioco in una prova di caduta standard della CTM;
- c) a partire da circa 400 Kgp la curva di trazione assume un andamento quasi rettilineo; oltre i 1800 Kgp ciò non è più vero, probabilmente perché inizia la fase di snervamento, con apparente aumento del coefficiente  $X$ ;
- d) nell'intervallo di forze 400 Kgp - 1800 Kgp il diametro della corda varia di poco;
- e) nello stesso intervallo del punto d) si dissipa e si assorbe la quasi totalità dell'energia in gioco in una prova di caduta standard CNS;
- f) la maggiore variazione di  $X$  avviene nell'intervallo di forze 300 Kgp - 500 Kgp; in questa fase può diminuire dell'80% rispetto alla variazione totale fra forza zero e 1800 Kgp.

Sommando e integrando il significato di tutte queste osservazioni, sembra possibile concludere che una corda speleo-alpinistica reagisce alla trazione come se fosse caratterizzata da due

diversi coefficienti di elasticità: il più elevato agisce nell'intervallo di forze 0 - 400 Kgp; il secondo, con un valore circa tre volte inferiore al primo, determina l'andamento della curva nell'intervallo 400 Kgp - 1800 Kgp. In questi intervalli, X si mantiene sufficientemente costante, specie nel secondo.

Un'altra conclusione può essere tratta se si considera che i meccanismi di arresto di una caduta standard utilizzano soprattutto intervalli di forza compresi fra 400 Kgp e 1400 Kgp. Il grosso del lavoro la corda lo svolge con il coefficiente di elasticità tipico dell'intervallo 400 Kgp - 1800 Kgp. Ciò farebbe ritenere più corretto utilizzare nei calcoli questo secondo valore di X, magari aumentato di poco per tener conto anche di quanto accade nell'intervallo 0 - 400 Kgp.

È assolutamente da escludere che si possa utilizzare il valore medio di X, ricavato sulla base dei singoli valori di X calcolati a intervalli regolari di forza (per esempio ogni 100 Kgp di trazione). Come è da ritenere senza alcun significato caratterizzare una data corda fornendo l'allungamento con 80 Kgp di trazione.

C'è da riportare un'ultima considerazione che può dare un grosso contributo a far uscire il problema da una approssimazione che rasenta l'opinione personale.

Nelle molteplici sedute di prova presso il CNS sono stati calcolati i coefficienti di elasticità relativi alle prove di caduta mediante la relazione (38), la quale, come ben si sa, è valida in assoluto solo se il mezzo elastico è ideale. Ebbene questi valori di X sono sempre molto vicini ai valori di X tipici dell'intervallo di forze 400 Kgp - 1800 Kgp. In genere sono leggermente più elevati.

Sembrerebbe quasi che il calcolo di X per via dinamica (prova di caduta) venga incontro a tutte le considerazioni precedentemente elencate, dando inoltre un sostegno teorico alla sua misurazione, sia pur con limiti e forti approssimazioni. È comunque evidente che il valore di X così ricavato contiene tutta la «storia» della sollecitazione, storia che per ora non è possibile decifrare in modo rigoroso, se non nel suo stato finale.

Per tutto questo insieme di motivi si ritiene giusto tenere in considerazione il valore  $X_d$  (coefficiente di elasticità dinamico), elemento caratterizzante lo stato di elasticità di una data corda, definito dalla relazione:

$$X_d = \frac{2P}{F_m (F_m - 2P)} F_c \quad (45)$$

E ciò va incontro anche ad altre esigenze, che sono poi quelle che ci spingono a portare avanti le ricerche sui materiali di progressione in grotta. Infatti la scelta di  $X_d$  rispetto ad altri possibili valori è una scelta verso la massima sicurezza possibile.

Essendo pari ai più bassi valori ricavabili per altre vie, ne deriva che  $X_d$  presenta le corde in modo più rigido di quello che in realtà sono. Ciò, non c'è dubbio, significa orientarsi verso parametri di sicurezza più severi.

Ricavando la misura di  $X_d$  a seguito di una prova di caduta, la quale solitamente riproduce una situazione standard di pericolo, ci si pone nella condizione di valutare l'elasticità di una corda nella realtà oggettiva delle operazioni in grotta nell'ipotesi di un errore che porti a far precipitare un corpo vincolato ad una corda.

Del resto quando sarà possibile valutare in modo rigoroso la dipendenza di X dall'entità dell'allungamento, magari per via empirica, vorrà dire che verranno apportate le eventuali correzioni, che sicuramente saranno tali da rendere meno restrittive le norme di sicurezza.

## CONCLUSIONI

Questo capitolo mostra lacune e l'assenza di alcuni necessari approfondimenti.

È soprattutto evidente l'incertezza nel calare i modelli teorici nelle situazioni reali. Questo dipende tanto da una non sufficiente elaborazione teorica quanto, soprattutto, dalla mancata realizzazione di un piano organico di ricerche sperimentali, mirate a risolvere alcuni punti «caldi» come la dipendenza delle forze di attrito dalla velocità di allungamento e la variazione o meno delle curve di carico/scarico in funzione della velocità di trazione al dinamometro. Comunque tali ricerche sperimentali sarebbero state ben difficilmente alla portata della CTM visti i costi delle attrezzature necessarie e l'inaccessibilità di certi laboratori adeguatamente attrezzati.

Una ricerca teorico-sperimentale poteva essere realizzata sulla dipendenza del coefficiente di elasticità dall'allungamento e non avrebbe comportato neanche un grande impegno finanziario. Non è stata fatta solo per mancanza di tempo e sarà sicuramente uno dei nostri prossimi obiettivi. Per ora ci accontentiamo di calcolare il Coefficiente Dinamico di Elasticità, anche con la convinzione che i valori ricavati siano adeguati al livello di approssimazione utilizzato nel presente volume.



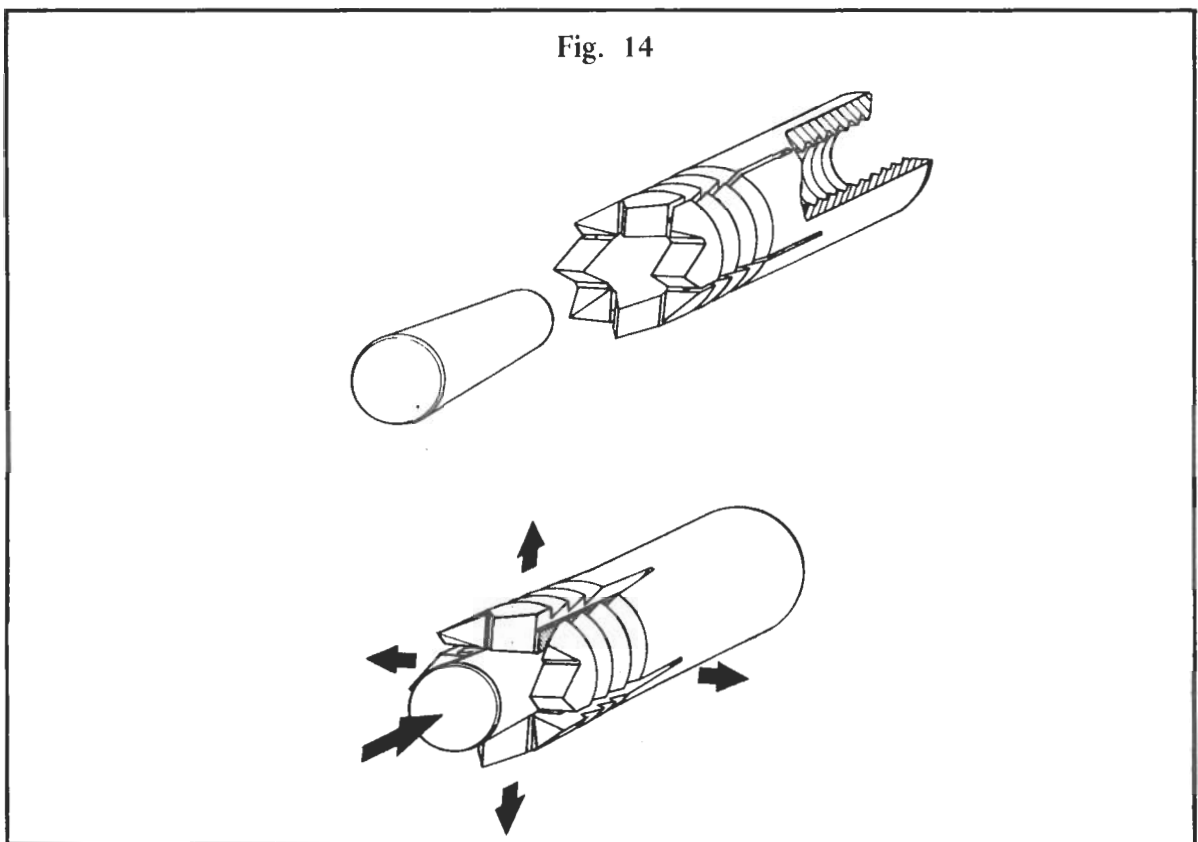


## CAPITOLO SECONDO

# TASSELLI E ROCCIA

## INTRODUZIONE

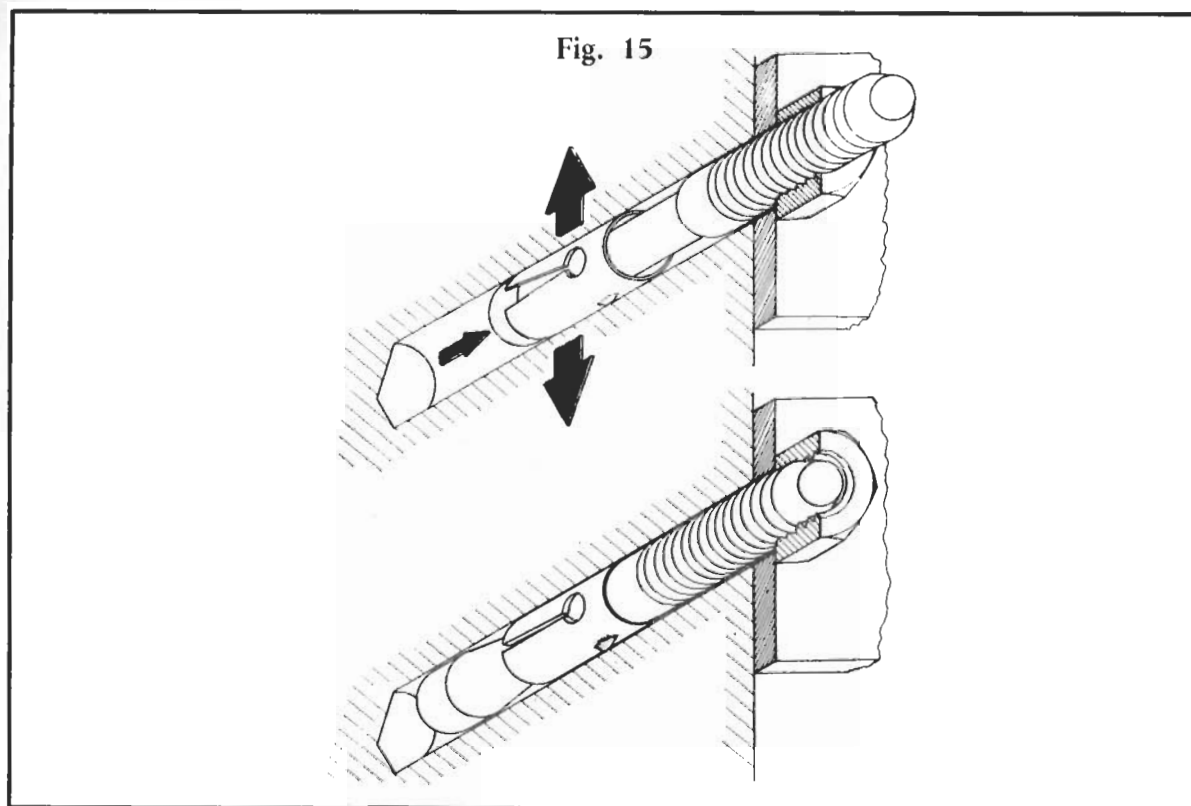
Da quasi vent'anni si è affermato in grotta l'uso sistematico di tasselli (caviglie) autopercoranti SPIT ROC MF8 (fig. 14).



Su come utilizzare questo attrezzo, che ha rivoluzionato la tecnica speleologica, non c'è alcun bisogno di soffermarsi, essendo la cosa universalmente nota (o almeno così dovrebbe essere). Ricordiamo solo che il foro deve essere profondo 30 mm, con diametro di 12 mm e piatto nella parte terminale (l'uso del trapano non porta a questo risultato).

Si tenga comunque presente che di tasselli simili agli Spit Roc MF8 (autopercoranti e non) se ne producono diversi tipi e molti di questi sono utilizzati in grotta. In questo capitolo faremo anche i necessari confronti.

In questi ultimi anni, con l'avvento dei trapani ad accumulatori, si è andato affermando anche l'uso di tasselli non autoperforanti del tipo SPIT FIX M8, i quali richiedono un foro di soli 8 mm di diametro e profondo non meno di un certo valore (fig. 15). Anche di tasselli modello Fix se ne costruiscono vari tipi, il che impone un ulteriore confronto.



Le conoscenze su questi fondamentali attrezzi della progressione speleologica (in certi settori anche alpinistica) sono state sinora dedotte dai manuali forniti dai costruttori stessi, tutti pensati in funzione dell'infissione in calcestruzzo (le caviglie sono tutte di produzione industriale e largamente usate in lavori di carpenteria). Poche prove sono state fatte in altri tipi di supporto, e questo si spiega con la difficoltà di eseguire in parete test che richiedono un gran lavoro di messa in opera e di misurazione, sapendo fin dall'inizio che la riproducibilità delle condizioni sperimentali è una vera e propria chimera.

Del tutto inesistenti erano le conoscenze sull'affidabilità dei tasselli. Non erano infatti note le variazioni della loro tenuta in funzione delle fluttuazioni di parametri come la profondità di infissione, l'inclinazione del foro rispetto alla superficie, la natura della roccia, la coppia di serraggio dei bulloni e così via.

Di fronte all'importanza del problema la CTM ha impegnato in questa specifica ricerca gran parte delle sue risorse, sia in termini di materiali che di tempo, puntando all'elaborazione ex novo di una metodologia sperimentale che eliminasse il problema di eseguire test in parete e permettesse invece di svolgere le prove in laboratorio con il maneggevole dinamometro da banco. Nessuno in precedenza aveva avviato questo sistematico lavoro; si trattava di inventare tutto.

Il nocciolo della questione era come riprodurre le condizioni di infissione proprie della parete su un blocchetto di roccia campione che non poteva superare le dimensioni di  $200 \times 200 \times 200$  mm. Dimensioni più elevate sono incompatibili con lo spazio disponibile nel banco dinamometrico e sicuramente tali da creare non pochi problemi di prelievo, trasporto, manipolazione

e costo. Si prevedeva, cosa che poi si è rivelata puntualmente vera, l'esecuzione di almeno 300 prove.

Un secondo fondamentale problema era l'individuazione di un substrato di infissione facilmente reperibile nel mercato che garantisse una omogeneità tridimensionale e quindi la riproducibilità dei dati. Il reperimento di questo substrato avrebbe permesso l'esecuzione della tante indispensabili prove comparative.

## METODOLOGIA SPERIMENTALE

Con la convinzione che i problemi elencati potessero essere superati, la CTM ha operato non tanto con tentativi di risoluzione teorica ma piuttosto puntando tutto sul confronto sperimentale fra dati ottenuti in palestra e dati ricavati in laboratorio su campioni di roccia opportunamente prelevati dalla palestra stessa. Questi confronti sono stati eseguiti per quasi tutti i tipi di rocce carsificabili dell'Appennino centro-settentrionale, variando le condizioni di contenimento dei blocchetti di roccia nel dinamometro da banco, in laboratorio (foto 1). Quando è risultato possibile riprodurre esattamente in laboratorio i risultati ottenuti in parete non vi è stato più alcun dubbio su come impostare le metodologie di ricerca.

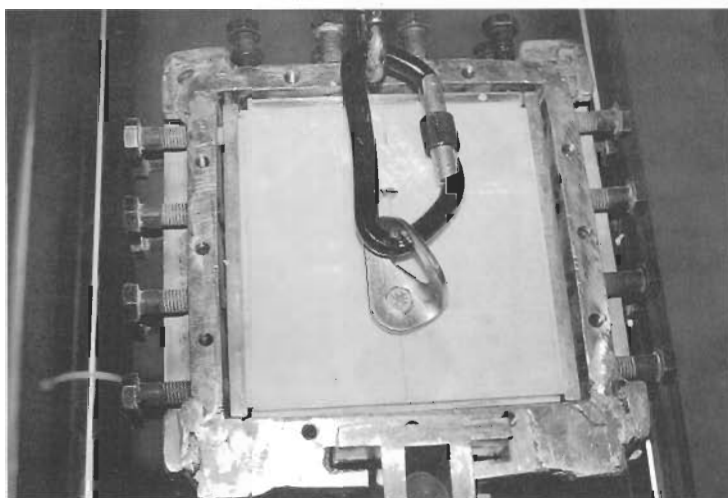


Foto 1

*Si era riusciti a mettere a punto una prassi sperimentale che riproduceva esattamente le condizioni della roccia in posto, tanto in falesia quanto in grotta, e, contrariamente a quanto era stato dichiarato da quelli che ci avevano preceduto in questo tipo di ricerche, si sarebbe potuto fare con tranquillità in laboratorio quello che altrimenti avrebbe dovuto essere realizzato macchinosamente in parete. Con ciò si erano aperte le porte ad una ricerca rigorosa e sistematica sui vari tipi di tasselli.*

Anche il secondo problema è stato risolto, utilizzando come substrato standard per le prove di confronto blocchetti di Marmo Bianco Carrara, una roccia altamente isotropa, reperibile facilmente, di costo non troppo elevato, di semplice modellazione. Questa scelta del resto è confortata dal fatto che il Marmo Bianco Carrara è universalmente accettato nei laboratori di tutto il mondo per tarare le macchine dinamometriche nelle ricerche di gomeccanica (vedi bibliografia n. 8).

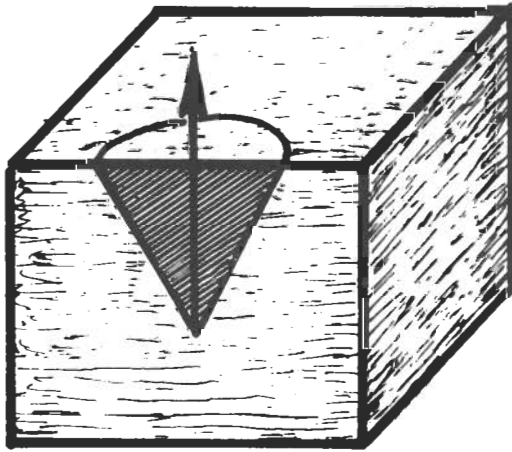
Per di più questo substrato ha caratteristiche tali da essere un buon compromesso fra i vari tipi di roccia calcarea e non guasta neanche il fatto che questa famosa roccia metamorfica sia l'elemento costituente fondamentale delle Alpi Apuane, sicuramente l'area carsica più interessante d'Italia.

## RESISTENZA DEGLI ANCORAGGI IN ROCCIA

La resistenza di un ancoraggio su qualsiasi tipo di roccia dipende dalle caratteristiche meccaniche del materiale e in particolare della resistenza al taglio nella zona di contatto tra la parte dove agisce la forza di compressione prodotta dall'ancoraggio e la parte della roccia non interessata da questo sforzo.

La resistenza all'estrazione è funzione della resistenza della roccia a taglio  $\tau$  la quale, nelle rocce compatte, è circa 1/12 della resistenza alla compressione. In rocce isotrope, l'ancoraggio influenza la roccia circostante secondo un cono con angolo apicale di circa  $90^\circ$  e con asse coincidente con l'asse dell'ancoraggio (fig. a).

Fig. a



Sempre a estrazione, la profondità sufficiente  $h_i$  per un ancoraggio che debba resistere ad una forza  $F_r$  è data dalla relazione (bibliografia n. 10):

$$h_i = \sqrt{\frac{mK \cdot F_r}{\tau \pi \sqrt{2}}}$$

dove:

$F_r$  carico di rottura dell'ancoraggio

$\tau$  resistenza al taglio della roccia

$mk$  fattore di sicurezza per l'estrazione dell'ancoraggio (varia da 2,0 a 4,0)

In alcuni esperimenti eseguiti sembra che la formazione di fratture non è dipendente dalla profondità di ancoraggio.

## ROCCE FRATTURATE O STRATIFICATE

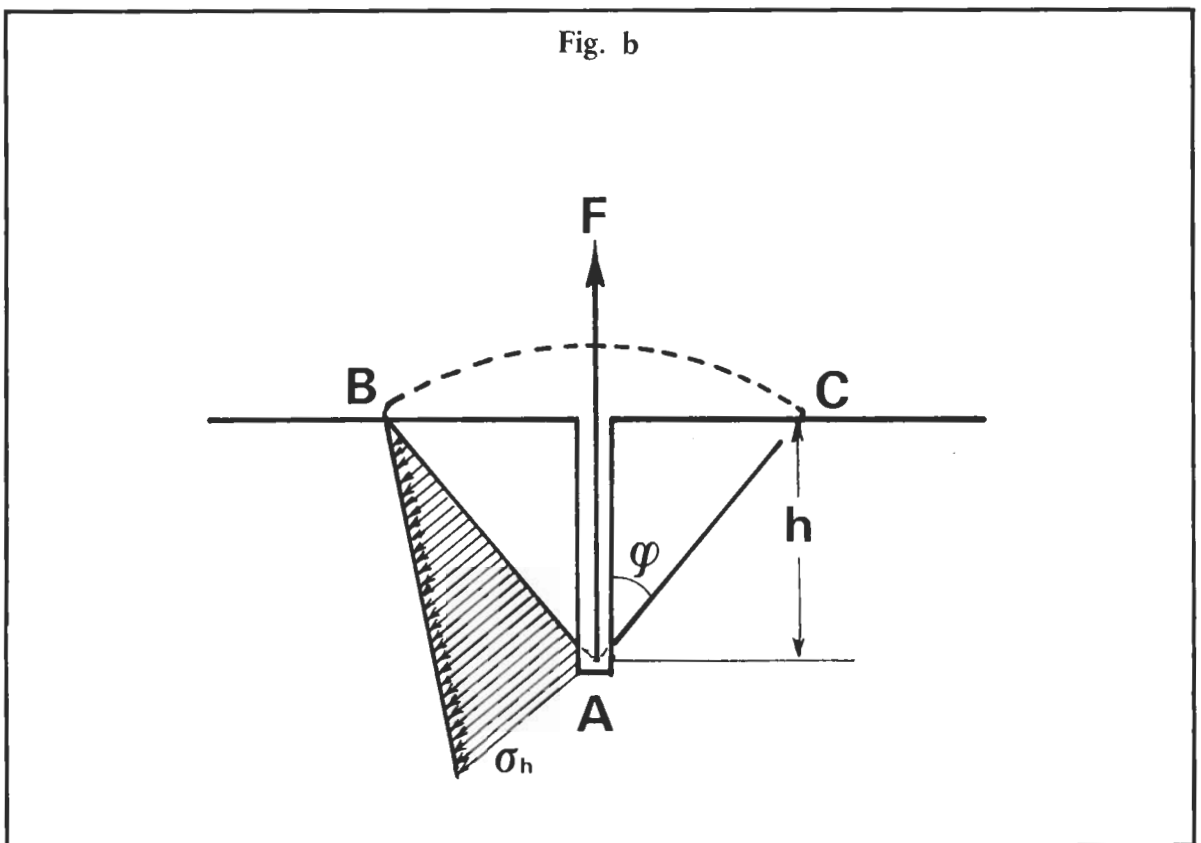
La resistenza a taglio di questo tipo di rocce è sempre ridotta da piani di discontinuità e dipende dall'orientazione di questi piani rispetto alla direzione della forza traente.

La resistenza all'estrazione dipende, in varie proporzioni, dalla resistenza frizionale, dalla resistenza allo spostamento angolare e dalla resistenza al taglio della roccia inalterata.

In formazioni rocciose nelle quali lo strato è perpendicolare all'ancoraggio, si realizzano le condizioni più favorevoli in quanto lo sforzo di taglio sviluppa una superficie più o meno conica simile a quella che si produce nelle rocce isotrope. Problemi maggiori si hanno per gli ancoraggi nelle rocce con superfici di discontinuità parallele all'ancoraggio stesso.

In rocce non omogenee, con molte discontinuità, può essere utilizzata la relazione di L. Hobst. Questa assume che l'attrito sulle facce laterali del corpo geometrico della roccia (cono, prisma), sul quale viene trasferito lo sforzo, agisca a contrastare l'estrazione. L'angolo apicale di questo corpo geometrico è circa due volte l'angolo di attrito del materiale.

In fig. b è riportata schematicamente la situazione degli sforzi e delle pressioni quando un tassello, infisso nella roccia per una profondità  $h$ , viene traziionato ad estrazione da una forza  $F$ .



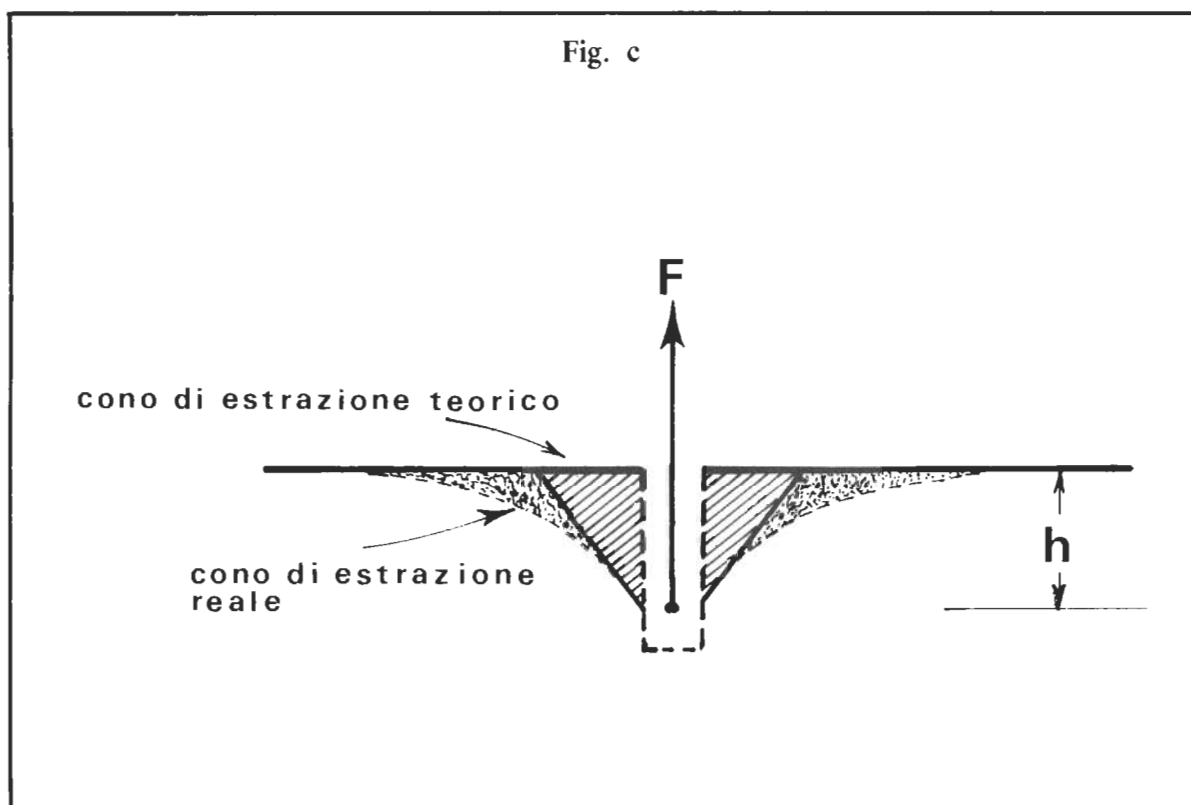
Sul lato AB del cono di roccia sottoposto a tensione è indicato lo schema dei vettori  $\sigma$ : alla radice A la pressione è massima ( $\sigma_h$ ), in superficie (punto B) è uguale a zero.

Per questa situazione si ricava che la profondità necessaria per ancorare un singolo tassello nella roccia è data dalla relazione:

$$h = \sqrt{\frac{3mk \cdot F_r}{\pi \cdot \sigma_v \cdot \text{tg}^2 \varphi}}$$

La forma che assume il cono di estrazione non è esattamente conica ma, in prossimità della superficie tende ad avere un andamento esponenziale, come indicato in fig. c. Tale andamento è dato dalla rapida propagazione del fronte della frattura che tende a dissipare energia all'interno dell'ammasso roccioso, senza uscire all'esterno. Infatti la risultante delle tre componenti della propagazione si sviluppa tangenzialmente ad una curva asintotica rispetto alla superficie esterna.

Tutto questo è assimilabile alle strutture pennate osservabile sulle fratture naturali o sulle superfici dei joints.



## TASSELLI SPIT ROC MF8

Sul perché si sia scelto questo tipo di caviglia come riferimento fondamentale riteniamo superflua ogni spiegazione.

### *METODOLOGIA DI ANALISI*

Si tratta ora di valutare sperimentalmente la tenuta degli Spit Roc MF8 al variare di alcuni parametri, tenendo presente che il tassello è stato messo in opera nelle migliori condizioni di tenuta (salvo diversa specifica indicazione) e cioè:

- foro a sezione longitudinale rettangolare (senza trapano);
- profondità del foro 30 mm esatti;
- diametro del foro 12 mm esatti;
- ortogonalità esatta fra asse del foro e superficie della parete di infissione;

- assenza di svasamenti nel bordo superiore del foro;
- massima pressione possibile del cuneo dopo la percussione (il tassello non sporge dalla parete);
- assenza nei campioni di roccia di piani di discontinuità sedimentaria e tettonica.

Le prove sono state effettuate tanto a taglio quanto a estrazione (in alcuni limitati casi sono state fatte prove con angolazioni diverse).

Nel primo caso si ricava  $F_r$  (taglio) e cioè la forza, in Kgp, necessaria per produrre la rottura dell'ancoraggio con direzione di trazione perpendicolare all'asse di infissione del tassello. Nel secondo si ottiene  $F_r$  (estrazione) che è la forza, sempre in Kgp, necessaria per produrre il cedimento dell'ancoraggio con direzione coincidente con l'asse di infissione. Tale simbologia verrà utilizzata in tutto il testo, salvo diversa indicazione.

Le placchette o gli anelli sono state fissate ai tasselli con bulloni serrati con coppia ( $C_s$ ) compresa fra 1 e 2 Kgm. Tale scelta è giustificata da quanto riportato nel Capitolo Terzo.

La velocità di trazione al banco dinamometrico è stata di 250 mm al minuto.

Ogni test è stato ripetuto almeno tre volte e i risultati riportati sono la media dei valori ottenuti. In certi casi, quando deviazioni particolarmente nette potevano essere collegate con anomalie sperimentali evidenti, i test sono stati ripetuti completamente.

## **TIPI DI ROTTURA**

Le modalità di cedimento di un ancoraggio con Spit Roc MF8 (d'ora in poi li indicheremo semplicemente con il termine Roc) sono più d'una. Qui di seguito riportiamo i vari casi da noi verificati, individuandoli con un numero progressivo. I risultati che verranno in seguito riportati nel testo saranno affiancati da uno di questi numeri per collegare il valore di forza con le modalità di cedimento. Questo modo di operare varrà anche per quanto riportato nei capitoli successivi.

- 1) Rottura a taglio, in quanto la flessione del corpo del Roc ha prodotto la frantumazione della roccia nel bordo superiore del foro in corrispondenza della zona dove maggiormente si è appoggiato il tassello sotto l'azione della forza traente. Il cedimento dell'appoggio roccioso ha permesso a sua volta la flessione ulteriore del corpo del Roc fino alla sua rottura in corrispondenza del piano trasversale posto al limite della filettatura interna. La parte più in profondità incastrata nel cuneo rimane in posto nel foro senza dare segni di allentamento.
- 2) Rottura a taglio, analoga alla precedente ma con cedimento della camicia del tassello lungo un piano longitudinale. Viene così asportata solo la metà del Roc e precisamente quella impegnata direttamente a contrastare la flessione del bullone.
- 3) Rottura a taglio del bullone in corrispondenza del piano trasversale posto immediatamente sotto la testa del bullone stesso. In questo caso si riscontra anche un principio di cedimento della roccia nella parte del bordo superiore del foro che più direttamente contrasta la flessione del bullone. Non si evidenzia alcun cedimento nel corpo del Roc.
- 4) Rottura come nel caso precedente ma con cedimento contemporaneo dei due bulloni dell'attacco doppio.
- 5) Rottura della placchetta o dell'anello di ancoraggio.
- 6) Rottura a estrazione (o a taglio con tasselli non ortogonali rispetto alla superficie di

infissione) con cedimento del corpo del Roc lungo piani di fratturazione che attraversano il tassello per tutta la sua lunghezza. In questo caso fuoriesce il bullone e una porzione della camicia filettata. Nel foro rimane incastrato il cuneo e una parte del Roc che lo circonda.

- 7) Rottura a estrazione con asportazione di un cono di roccia alto 25 mm e con diametro di base di circa 130 mm (varia di poco a seconda del tipo di roccia). Il vertice del cono corrisponde con il fondo del foro. In questo caso il corpo del Roc rimane intatto, come del resto il bullone. Il cuneo resta incastrato nel tassello.
- 8) Fuoriuscita a estrazione di tutto il Roc, intatto, con il cuneo ancora ben incastrato nel tassello, senza alcuna asportazione di roccia (evidentemente la parte finale del Roc non si è sufficientemente espansa o il foro era troppo largo).
- 9) A estrazione con attacco doppio, asportazione di una porzione di roccia avente base ellittica e massima altezza in corrispondenza del fondo dei due fori. L'asse maggiore ha una lunghezza superiore di circa 130 mm alla distanza fra gli assi dei due fori.
- 10) A estrazione, fuoriuscita per 3/4 del tassello e poi asportazione di un cono di roccia del diametro di circa 90 mm e alto 10 mm.

### ***SPIT ROC MF8 E ROCCIA***

Sono stati valutati i carichi di rottura, a taglio e a estrazione, in relazione ai vari tipi di calcari delle serie Umbro-Marchigiana e di rocce provenienti da altre zone. Di questi sono stati predisposti dei campioni con dimensioni compatibili alla scatola di fissaggio del banco dinamometrico.

Tutti i blocchetti utilizzati non presentavano evidenti piani di discontinuità ne superfici con piani di frattura di origine tettonica. I valori delle caratteristiche fisiche delle rocce sottoelencate vanno intesi come del tutto generali e costituiscono i valori standard (bibliografia n. 8), rappresentando la media di numerosi test eseguiti sulle stesse rocce.

A parte il marmo e il granito, che per le loro caratteristiche possono essere considerate delle rocce omogenee dal punto di vista geomeccanico, i calcari, i calcari marnosi e il travertino presentano caratteristiche meccaniche variabili in funzione delle facies sedimentarie presenti. Nella scelta dei campioni si è cercato quindi di prendere quelli maggiormente rappresentativi.

#### **Marmo Bianco Carrara (MBC)**

Roccia calcarea metamorfica, microgranulare ( $\varnothing$  medio dei grani 200 micron), a struttura granoblastica. I campioni utilizzati non presentano particolari inclusioni. In alcuni blocchetti sono avvenute delle rotture su superfici parallele alla direzione di trazione, presumibilmente imputabili alla presenza di un piano di scistosità non evidente a scala del campione.

Principali caratteristiche geomeccaniche:

$F_r$ a flessione	140 Kgp/cm <sup>2</sup>
$F_r$ a trazione	80 Kgp/cm <sup>2</sup>
$F_r$ a compressione	1800 Kgp/cm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità	$7 \cdot 10^5$ Kgp/cm
Peso specifico	2,7 t/m <sup>3</sup>



### **Travertino (TR)**

Materiale proveniente dalle cave di Titignano (Orvieto). Roccia estremamente porosa (porosità media 15-20%), costituita prevalentemente da deposito carbonatico. Nei test eseguiti non sembra che i pori abbiano influenzato le superfici di rottura (la cosa si conferma anche creando artificialmente dei fori in prossimità dei tasselli trazionati, come si vedrà nei paragrafi seguenti).

$F_r$ a flessione	60 Kgp/cm <sup>2</sup>
$F_r$ a trazione	30 Kgp/cm <sup>2</sup>
$F_r$ a compressione	500 Kgp/cm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità	$2 \cdot 10^5$ Kgp/cm
Peso specifico	2,4 t/m <sup>3</sup>

### **Scaglia Rossa (SR)**

Materiale proveniente dalle Gole del Furlo (PS).

Si tratta di calcari e calcari marnosi con contenuto di carbonato di calcio dal 70% fino al 90%. Hanno una struttura microcristallina con dimensioni dei grani inferiori ai 100 micron.

$F_r$ a flessione	120 Kgp/cm <sup>2</sup>
$F_r$ a trazione	70 Kgp/cm <sup>2</sup>
$F_r$ a compressione	1700 Kgp/cm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità	$4,5 \cdot 10^5$ Kgp/cm
Peso specifico	2,6 t/m <sup>3</sup>

### **Scaglia Bianca (SB)**

Materiale proveniente dalle Gole del Furlo (PS).

Caratteristiche analoghe alla Scaglia Rossa.

### **Grigio Ammonitico (GA)**

Materiale proveniente dal Monte Nerone (PS).

È una roccia calcarea abbastanza pura con contenuto di carbonato di calcio superiore al 90%. La struttura è microcristallina ed estremamente compatta. È utilizzato come materiale da pavimentazione per esterno.

$F_r$ a flessione	130 Kgp/cm <sup>2</sup>
$F_r$ a trazione	70 Kgp/cm <sup>2</sup>
$F_r$ a compressione	1900 Kgp/cm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità	$4,5 \cdot 10^5$ Kgp/cm
Peso specifico	2,6 t/m <sup>3</sup>

### **Calcere Massiccio M. Cucco (CMC)**

Materiale proveniente dalla località Pignola di M. Cucco (Costacciaro).

Presenta un'alta porosità singenetica (di poco inferiore al 15%) e poco cemento microcristallino. Le caratteristiche meccaniche sono leggermente inferiori a quelle dei calcari massicci

sottoriportati ed in particolare il carico di rottura a compressione può raggiungere il valore di 1000 Kgp/cm<sup>2</sup>.

Non vengono riportate le principali caratteristiche geomeccaniche in quanto è un calcare di consistenza estremamente variabile, anche a scala di centimetri.

I campioni prelevati sono stati scelti negli orizzonti che apparivano più compatti.

### **Calcare Massiccio della Rocchetta (CMR)**

Materiale proveniente dalle Gole della Rocchetta (Gualdo Tadino).

Roccia carbonatica pura (CaCO<sub>3</sub> circa 98%) a struttura microcristallina (diametro medio dei grani inferiore ai 100 micron). La facies prevalente nei campioni utilizzati è «grainstone» e «packstone».

La porosità è sempre inferiore al 5%. Sono presenti delle vene di calcite, dello spessore inferiore al mm, che non hanno condizionato lo sviluppo delle superfici di rottura.

F <sub>r</sub> a flessione	120 Kgp/cm <sup>2</sup>
F <sub>r</sub> a trazione	60 Kgp/cm <sup>2</sup>
F <sub>r</sub> a compressione	1600 Kgp/cm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità	4·10 <sup>5</sup> Kgp/cm
Peso specifico	2,6 t/m <sup>3</sup>

### **Calcare Massiccio della Puglia (CMP)**

Materiale proveniente da cave pugliesi. Roccia calcarea simile al Calcare Massiccio della Rocchetta, ma con matrice organogena più evidente. Porosità inferiore al 10%.

F <sub>r</sub> a flessione	160 Kgp/cm <sup>2</sup>
F <sub>r</sub> a trazione	30 Kgp/cm <sup>2</sup>
F <sub>r</sub> a compressione	1500 Kgp/cm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità	3·10 <sup>5</sup> Kgp/cm
Peso specifico	2,5 t/m <sup>3</sup>

### **Marmo Bianco Val Venosta (MBV)**

Materiale proveniente dalla Van Venosta (BZ). Presenta caratteristiche simili al Marmo Bianco Carrara ma con granulometria leggermente maggiore (diametro medio dei grani circa 250 micron).

F <sub>r</sub> a flessione	100 Kgp/cm <sup>2</sup>
F <sub>r</sub> a trazione	30 Kgp/cm <sup>2</sup>
F <sub>r</sub> a compressione	800 Kgp/cm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità	6·10 <sup>5</sup> Kgp/cm
Peso specifico	2,6 t/m <sup>3</sup>

### **Granito (GR)**

Proveniente dal Sud Africa. Roccia silicea, molto ricca in quarzo e feldspato potassico, a struttura granoblastica. Grandi analogie con le rocce granitiche delle Alpi Occidentali.

Tutti i blocchi utilizzati sono molto compatti e non presentano superfici di discontinuità.

$F_r$ a flessione	200 Kgp/cm <sup>2</sup>
$F_r$ a trazione	90 Kgp/cm <sup>2</sup>
$F_r$ a compressione	2000 Kgp/cm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità	$5 \cdot 10^5$ Kgp/cm
Peso specifico	2,8 t/m <sup>3</sup>

**Condizioni sperimentali:**

Bullone acciaio 12.9

Placchetta Coeur Petzl (acciaio inox) a taglio (foto 2)

Anello acciaio inox a estrazione (foto 3).



Foto 2



Foto 3

I risultati sono riportati nella tabella 2.

Da questa prima serie di dati emergono conclusioni piuttosto chiare e utili anche se non altrettanto evidenti sono le cause che hanno portato a tali risultati.

a) Tutte le rocce esaminate mostrano una buona tenuta, tanto a taglio quanto a estrazione. Hanno dato una risposta soddisfacente anche rocce molto marmose, come la Scaglia Rossa, ed eccezionalmente porose (come il Travertino e il Calcare Massiccio della Puglia).

b) Il risultato più scadente si riscontra nel Calcare Massiccio del M. Cucco, forse per la sua matrice preminentemente organica (macrofossili con poco cemento calcareo molto friabile). Il tutto è ben collegabile con una più che evidente facilità di perforazione.

c) Desta una certa sorpresa constatare che il Granito ha un comportamento meno buono di quello delle rocce microcristalline calcaree.

d) Se la roccia è compatta e poco marnosa la tenuta a estrazione è superiore o pari a  $F_r$  (taglio). Attenzione però perché a estrazione si devono usare solo anelli di marca o comunque ben costruiti. Molta attenzione anche all'infissione: il minimo errore riduce il carico di rottura anche del 50%.

TAB. 2

TIPO ROCCIA	$F_r$ TAGLIO	$F_r$ ESTRAZIONE
Marmo Bianco Carrara (MBC)	2506 <sup>1</sup>	3101 <sup>7</sup>
Travertino (TR)	2373 <sup>1</sup>	2088 <sup>6</sup>
Scaglia Rossa (SR)	2630 <sup>1</sup>	1720 <sup>6</sup>
Scaglia Bianca (SB)	2664 <sup>1</sup>	2240 <sup>7</sup>
Grigio Ammonitico (GA)	2611 <sup>1</sup>	2746 <sup>6</sup>
Calcere Massiccio M. Cucco (CMC)	1589 <sup>2</sup>	1600 <sup>6</sup>
Calcere Massiccio Rocchetta (CMR)	2203 <sup>2</sup>	2380 <sup>6</sup>
Calcere Massiccio Puglia (CMP)	2666 <sup>1</sup>	1642 <sup>6</sup>
Marmo Bianco Val Vemosta (MBV)	2050 <sup>2</sup>	2320 <sup>7</sup>
Granito (GR)	2664 <sup>1</sup>	2454 <sup>6</sup>

e) Dai dati risulta che le rocce marnose o particolarmente porose hanno un comportamento opposto: la loro tenuta è superiore a taglio. Questo vale per il Calcere Massiccio della Puglia, la Scaglia Rossa e il Travertino.

f) L'influenza del tempo e dell'uso nell'interazione fra rocce e Spit Roc MF8 è un argomento non facilmente abordabile. Si può solamente dire:

- tasselli messi in opera nel 1973 sono ancora oggi utilizzati e non mostrano cedimenti di sorta;
- gli stessi tasselli di cui sopra non mostrano segni di corrosione e la difficoltà di avvita-mento dei bulloni è una conseguenza del fango che si infiltra accidentalmente nel foro;
- Roc infissi nella Scaglia Rossa e su colate calcitiche, dopo un numero limitato di solle-

citazioni per normale discesa e risalita, tendono ad ampliare il foro dove sono alloggiati, verosimilmente per il cedimento sotto pressione del connettivo argilloso e quindi per disgregamento dei nuclei calcarei. Questo porta ad una sempre maggiore mobilità del tassello che a lungo andare fuoriesce dal foro. In tali tipi di rocce è consigliabile utilizzare tasselli ad espansione regolabile, meglio se doppia;

- rimane comunque fermo il fatto che è del tutto aleatorio e pericoloso l'uso di tasselli infissi su concrezione, non tanto per le motivazioni prima accennate, quando perché non è possibile conoscere a priori le caratteristiche geomeccaniche di una formazione litogenetica con stratigrafia diversa da caso a caso.

Conclusione finale — Tanto più la roccia permette, per sua natura, lo sgretolarsi della parte superiore del foro tanto maggiore è la diminuzione del carico di rottura del Roc. Infatti tale cedimento parziale della roccia rende possibile una flessione del corpo del tassello, il quale, essendo tanto fragile quanto rigido, si rompe anche sotto l'azione di forze di relativa bassa intensità. Ma su questo argomento ritorneremo in seguito con considerazioni anche quantitative.

### ***SPIT ROC MF8 E BULLONI A DIVERSA RESISTENZA***

Questa serie di prove ha messo in risalto il variare della tenuta di un Roc in relazioni alle caratteristiche dell'acciaio del bullone di collegamento, fermo restando ogni altro parametro.

#### **Condizioni sperimentali:**

Marmo Bianco Carrara

Placchetta Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a trazione.

Foto 4



I risultati (in Kgp) sono contenuti nella tabella che segue:

TAB. 3

TIPO DEI BULLONI	$F_r$ TAGLIO	$F_r$ ESTRAZIONE
8.8	2250 <sup>3</sup>	3101 <sup>7</sup>
12.9	2506 <sup>1</sup>	3095 <sup>7</sup>

Le conclusioni sono lineari.

a) Con bulloni 8.8 a taglio l'anello debole dell'ancoraggio a proprio il bullone. Il valore di 2250 Kgp è tipico del bullone e non del complesso tassello-roccia.

b) I bulloni 12.9 invece si flettono leggermente ma resistono. La rottura a taglio avviene per cedimento della roccia (nella parte superiore del foro) con conseguente rottura del corpo del Roc.

c) A estrazione l'uso di bulloni 8.8 o 12.9 porta allo stesso risultato: è sempre la roccia a cedere. Il carico di rottura è molto elevato, nettamente superiore di quello a taglio.

d) Dunque non vi è alcuna necessità di utilizzare bulloni ad altissima resistenza (difficili da trovare). Vanno più che bene quelli marcati 8.8, tanto più che vi sono ben altri elementi **più deboli nella** catena di sicurezza.

e) Bulloni di qualità non precisata (non marcati) devono essere tassativamente eliminati (il carico di rottura si riduce anche del 60%).

f) La tenuta di un bullone è tanto più elevata, a parità di ogni altra condizione, quanto meno si trova in condizione di subire una flessione. È questa una regola d'oro che deve sempre guidare chi prepara gli armi per la progressione.

### ***SPIT ROC MF8 E DISTANZA DI POSA***

Si tende a far risaltare ciò che accade quando due tasselli vengono contemporaneamente sottoposti a trazioni, avendo come riferimento variabile la distanza  $d$  fra gli assi dei tasselli stessi. Verrà esaminata tanto la trazione a taglio (fig. 16) quanto a estrazione (fig. 17).

Fig. 16

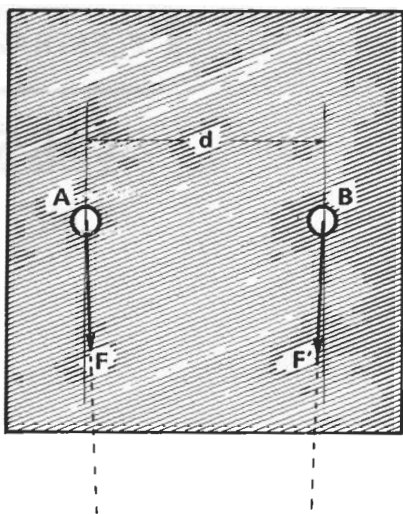
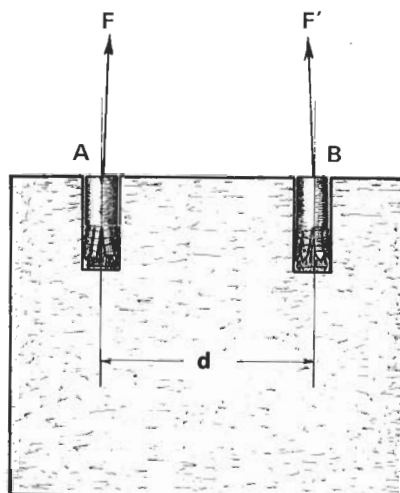


Fig. 17



**Condizioni sperimentali:**

Marmo Bianco Carrara

Bulloni 8.8

Placchette Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione

Trazione contemporanea sui tasselli A e B

Forze  $F$  e  $F'$  di uguale intensità

Direzione e senso delle forze  $F$  e  $F'$  come indicato in fig. 16 e 17

Angolo di convergenza  $\alpha = 3^\circ$ .

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella 4 ( $d$  è la distanza in mm fra gli assi dei tasselli A e B):

In conclusione si ha quanto segue.

a) Tanto a taglio quanto a estrazione si determina il cedimento contemporaneo dei due tasselli con  $F_r$  che rappresenta la forza necessaria per produrre la doppia rottura.

b) Risalta innanzitutto che a *taglio* non esiste una reciproca influenza; infatti la  $F_r$  misurata è praticamente costante al variare della distanza  $d$ . Si noti che la rottura avviene a circa 4450 Kgp che è il doppio di quanto riscontrato nel cedimento di un solo bullone 8.8 (2250 Kgp). Non poteva essere altrimenti visto che in ambedue i casi sono sempre e solamente i bulloni a cedere.

TAB. 4

<b>d</b>	<b>F<sub>r</sub> TAGLIO</b>	<b>F<sub>r</sub> ESTRAZIONE</b>
40	4447 <sup>3</sup>	4285 <sup>9</sup>
60	4323 <sup>3</sup>	4290 <sup>9</sup>
80	4456 <sup>3</sup>	4393 <sup>9</sup>
100	4498 <sup>3</sup>	4698 <sup>9</sup>

c) *A estrazione* invece i risultati mostrano che la distanza *d* influenza il carico di rottura complessivo *F<sub>r</sub>*. Infatti trazionando contemporaneamente i due tasselli (come indicato in fig. 17) all'aumento della distanza *d* cresce anche la *F<sub>r</sub>* risultante (fig. 18).

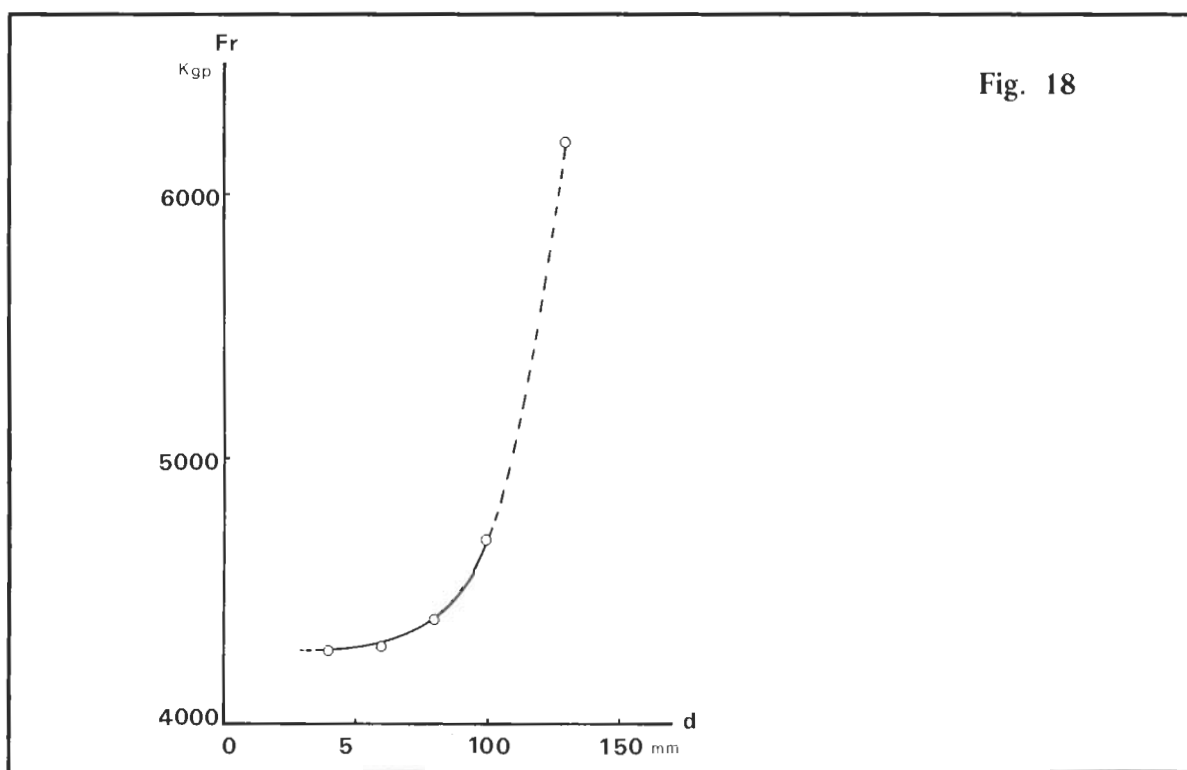


Fig. 18

Per meglio comprendere questi dati si ricordi innanzitutto che in caso di trazione di un solo Roc, all'estrazione, fuoriesce un cono di roccia alto 25 mm e del diametro di base di 130 mm, come indicato nel meccanismo di cedimento n. 7 (fig. 19).

Anche con trazione contemporanea di due tasselli il meccanismo di cedimento è lo stesso, solo che in quest'ultimo caso la porzione di roccia asportata è il risultato di due rotture contemporanee: se *d* è maggiore di 130 mm i due coni non si sovrappongono, se invece è minore si ha la sovrapposizione (fig. 20) con cedimenti secondo il meccanismo n. 9.



Fig. 19

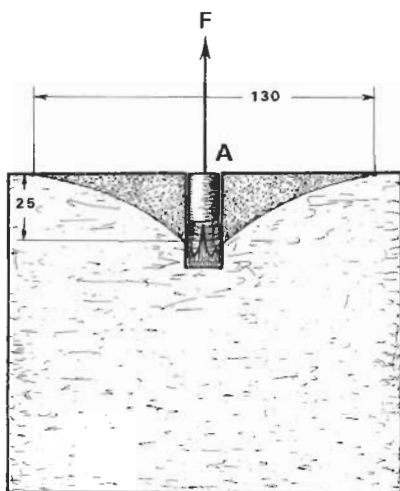
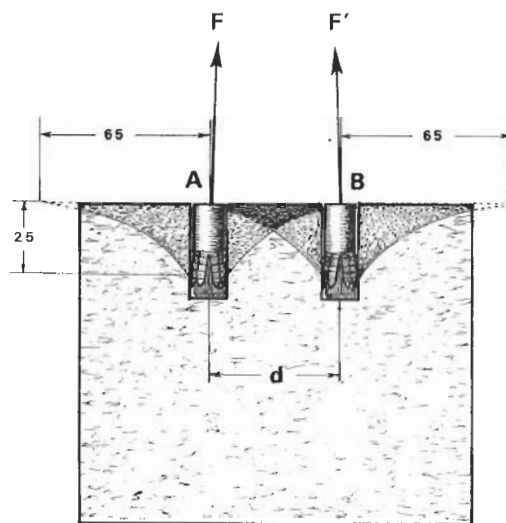


Fig. 20



Questa «interferenza» a estrazione, guidata dalla distanza  $d$ , è spiegabile con il fatto che la tenuta della roccia è direttamente proporzionale alla superficie che definisce la separazione fra roccia distaccata e roccia rimasta in posto, che poi sarebbe la superficie della porzione di roccia distaccata detratta della superficie originariamente esterna (base del cono o dei coni di estrazione). Questo è intuibile visto che l'omogeneità della roccia fa sì che la forza di coesione risultante per una data superficie di distacco sia la sommatoria delle forze elementari, tutte uguali, che si oppongono al cedimento.

Da semplici considerazioni di geometria si può verificare che la superficie  $S$  della figura ottenuta dalla sovrapposizione dei due coni di estrazione, senza base, è massima quando  $d$  è tale da non determinare alcuna sovrapposizione (più di 130 mm nel nostro caso), mentre è minima quando si ha la sovrapposizione totale ( $d=0$ ). Nei casi intermedi  $S$  sarà tanto più piccola quanto minore sarà la distanza  $d$ . Quanto detto per  $S$  vale anche per la forza di coesione globale  $F_r$ , essendoci fra le due una proporzionalità diretta.

Nel grafico di fig. 18 sono riportati i risultati dei test ad estrazione al variare della distanza  $d$  (le parti tratteggiate sono estrapolazioni teoriche). È ben evidente la marcata interazione fra i due tasselli sottoposti a contemporanea trazione estrattiva:

- se la distanza  $d$  è pari o superiore a 130 mm la  $F_r$  risultante è di circa 6200 Kgp (questo valore, doppio di quanto ottenuto per estrazione di un singolo tassello, è stato ricavato solo per via teorica in quanto le dimensioni dei blocchetti di roccia non hanno permesso test con  $d$  superiori a 100 mm);
- per valori di  $d$  inferiori a 130 mm la  $F_r$  decresce bruscamente, fino a stabilizzarsi intorno ai 4300 Kgp (si risente l'effetto della sovrapposizione dei coni di estrazione);
- non sono stati eseguiti test per  $d$  inferiore a 40 mm, innanzitutto per la difficoltà di praticare fori così ravvicinati senza danneggiare in modo anomalo la roccia incassante, ma anche perché non si comprende come sia possibile, nella pratica in grotta, realizzare un doppio attacco così ingiustificabile.

*Le conclusioni spicchiole sono presto tratte.*

A taglio non c'è dipendenza fra distanza dei Roc e carico di rottura.

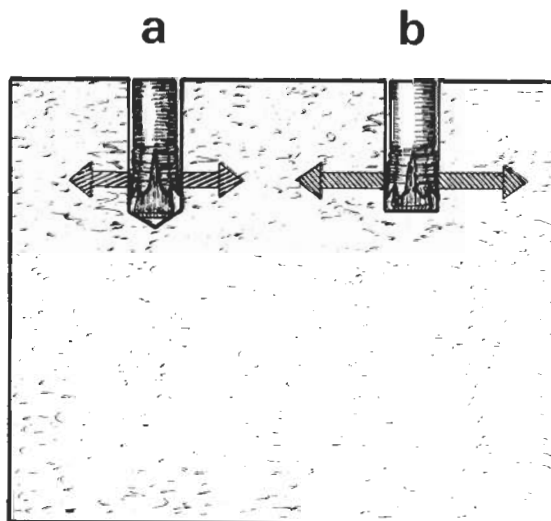
A estrazione la massima tenuta si ha con tasselli posti ad almeno 13 cm di distanza; per distanze inferiori il carico di rottura decresce, ma è sempre maggiore della tenuta di un singolo Roc.

Resta **comunque** affidato al buon senso di chi arma stabilire la misura *d*, anche in funzione del fatto che fori troppo ravvicinati possano produrre un anomalo indebolimento della roccia **lungo potenziali** linee di fratturazione non visibili ad occhio nudo (non sempre si ha a che fare con rocce omogenee come il MBC).

Per tagliare la testa al toro, un palmo di distanza fra un Roc e l'altro va più che bene!

*Ultima questione:* la presenza di un tassello non trazonato o di un foro senza alcun tassello in prossimità di un Roc sotto trazione non ha alcuna influenza sulla normale tenuta di quest'ultimo. Ciò è stato reso evidente con una serie di prove con fori del diametro di 12 mm praticati fino a 30 mm di distanza minima dal tassello sollecitato.

Fig. 21



### ***SPIT ROC MF8 E TECNICA DI PERFORAZIONE***

Con l'avvento dei trapani ad accumulatori i fori per i Roc vengono praticati con punte elicoidali e non con lo stesso tassello mediante percussione a mano.

Questo comporta che il fondo del foro realizzato con trapano non sia piatto come appunto accade nel caso di perforazione a mano. Ne segue che al momento della percussione finale, con cono inserito nella testa del Roc, la penetrazione del cuneo non risulta completa. In fig. 21 si riportano le due situazioni: *a* è il caso di perforazione con trapano, *b* si riferisce all'autoperforazione.

Nel caso *a* la pressione esercitata sulla parte finale del tassello è inferiore a quella riscontrabile nel caso *b*.

Per meglio valutare le eventuali differenze di tenuta sono stati eseguiti dei test sotto le seguenti **condizioni sperimentali**:

Marmo Bianco Carrara

Bullone 8.8

Placchetta Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione

Trapano Accu Bosch.

I risultati sono contenuti nella tabella che segue.

TAB. 5

MODO DI FORATURA	$F_r$ TAGLIO	$F_r$ ESTRAZIONE
Perforazione a mano	2250 <sup>3</sup>	3101 <sup>7</sup>
Trapano Bosch	2258 <sup>3</sup>	2296 <sup>⑦</sup>

Le modalità di cedimento ⑦ relative al valore 2296 Kgp sono del tutto simili a quelle contrassegnate con il n. 7, solo che la porzione di roccia asportata è di volume inferiore alla norma e con geometria irregolare.

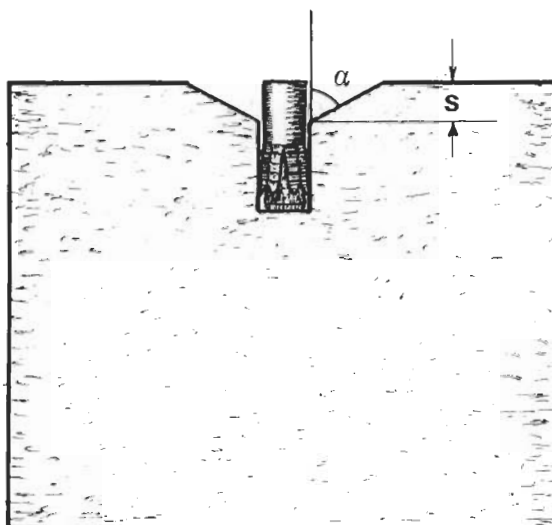
Si riscontra inoltre che, nel caso di messa in opera con trapano, il cuneo viene inserito nel corpo del tassello per una lunghezza inferiore di 1,5 mm rispetto a quanto accade con l'autoperforazione.

La sintesi è presto fatta: *a taglio non vi è alcuna differenza di tenuta; a estrazione  $F_r$  diminuisce del 26% (più di 800 Kgp) rispetto al valore ottenuto con messa in opera corretta.* Che conclusioni trarre? È presto detto: usate il trapano per fare il grosso del foro e poi rifinite il tutto con l'autoperforazione. Si avrà così il vantaggio della «meccanizzazione» senza però perdere la sicurezza dell'esecuzione «artigianale».

### **SPIT ROC MF8 E SVASATURA DEL FORO**

Spesso nella pratica, tanto con trapano quanto con autoperforazione, si verifica che il foro per il Roc ha una svasatura nella parte superiore (fig. 22).

Fig. 22



Per valutare l'effetto di questa anomalia sulla tenuta del Roc sono state fatte delle prove producendo artificialmente delle svasature di profondità  $s$  variabile. L'angolo  $\alpha$  è di  $60^\circ$ .

**Condizioni sperimentali:**

Marmo Bianco Carrara

Bullone 8.8

Placchetta Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione.

Nella tabella 6 sono elencate le forze di rottura  $F_r$  ottenute al variare di  $s$  (in mm).

A estrazione, visto che il cono di coesione (o di estrazione) non è minimamente influenzato dalla presenza della svasatura,  $F_r$  si mantiene costante.

A taglio invece gli effetti negativi ci sono e abbastanza consistenti. Questo è dovuto all'evidente braccio di leva che si crea fra punto di applicazione della forza di trazione e il fondo della svasatura: tanto maggiore è questo braccio  $s$  tanto più il tassello potrà flettersi. Stessa sorte per il bullone e quindi abbassamento netto di  $F_r$ .

Attenzione dunque alla fase iniziale della perforazione. Con il trapano operare senza percussione fino a che il foro non è profondo almeno due o tre mm. Con il tampone a mano agire inizialmente con colpi di martello leggeri.

TAB. 6

S	$F_r$ TAGLIO	$F_r$ ESTRAZIONE
0	2250 <sup>3</sup>	3101 <sup>7</sup>
2	2097 <sup>1</sup>	3083 <sup>7</sup>
4	1140 <sup>1</sup>	2933 <sup>7</sup>
6	1077 <sup>2</sup>	3102 <sup>7</sup>

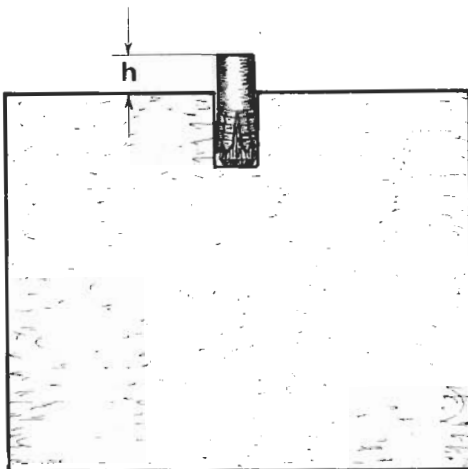
Non si dimentichi tuttavia che, anche per i più maldestri e sprovveduti, è ben difficile creare svasature con profondità superiore ai 2 mm. E si può rimediare a questo piccolo inconveniente approfondendo il foro ancora per un millimetro; in tal modo il bullone e il corpo del tassello hanno meno possibilità di flettersi, riportando il carico di rottura ai valori più alti possibili. Ma di questo parleremo nel paragrafo che segue.

### *SPIT ROC MF8 E PROFONDITÀ DEL FORO*

È molto frequente costatare che i fori praticati per infiggere i Roc sono poco profondi o troppo profondi e il tassello sporge o è infossato di qualche millimetro.

Nella fig. 23 è riportata schematicamente la situazione, con  $h$  che indica la lunghezza della parte sporgente del Roc rispetto alla superficie della parete di infissione. Valori negativi di  $h$  stanno a significare che il tassello è infossato, quindi con foro più lungo del necessario.

Fig. 23



Ciò che si vuol mettere in risalto è il variare di  $F_r$  in funzione di  $h$ .

**Condizioni sperimentali:**

Marmo Bianco Carrara

Bullone 8.8

Placchetta Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione.

I valori ottenuti sono riportati nella tabella che segue.

TAB. 7

<b>b</b>	<b><math>F_r</math> TAGLIO</b>	<b><math>F_r</math> ESTRAZIONE</b>
6	510 <sup>2</sup>	2124 <sup>⑦</sup>
4	1393 <sup>2</sup>	2771 <sup>⑦</sup>
2	1584 <sup>2</sup>	2805 <sup>⑦</sup>
1	2275 <sup>3</sup>	2887 <sup>⑦</sup>
0	2250 <sup>3</sup>	3101 <sup>7</sup>
-2	2319 <sup>3</sup>	3036 <sup>6</sup>
-4	2020 <sup>3</sup>	2953 <sup>6</sup>

A estrazione la rottura avviene sempre con il meccanismo n. 7, tenendo però presente che i cedimenti relativi ai valori contrassegnati con l'indicazione ⑦ hanno prodotto coni di estrazioni di dimensioni ridotte rispetto alla norma.

Che conclusioni possono essere tratte? Come al solito occorre distinguere fra trazione a taglio e a estrazione.

A taglio:

- lo sporgere fuori è causa di un abbassamento di  $F_r$ , anche abbastanza consistente per elevati valori di  $h$ ; comunque, essendo poco probabile che si possa agire così maldestramente da far sporgere il tassello per più di 2 mm, la tenuta è sempre contenuta nei limiti di sicurezza;
- 1 mm di sporgenza permette di ottenere una  $F_r$  identica a quella misurata nel caso ottimale;
- i tasselli infossati di 2 mm hanno addirittura una tenuta superiore allo standard.

A estrazione:

- il variare di  $h$  produce modifiche molto contenute di  $F_r$ , che non scende mai sotto i 2000 Kgp.

Nel complesso un errore nella profondità del foro è un peccato veniale, che non compromette la sicurezza più di tanto. Naturalmente ci si riferisce ad un errore umano (fra  $-1$  mm e  $+1$  mm) e non diabolico.

Per meglio visualizzare il tutto, i dati sono riportati nel grafico di fig. 24, dove la linea continua si riferisce alla trazione a taglio e quella tratteggiata all'estrazione.

*Salta subito agli occhi che è meglio eseguire fori più profondi che lasciar sporgere il Roc.*

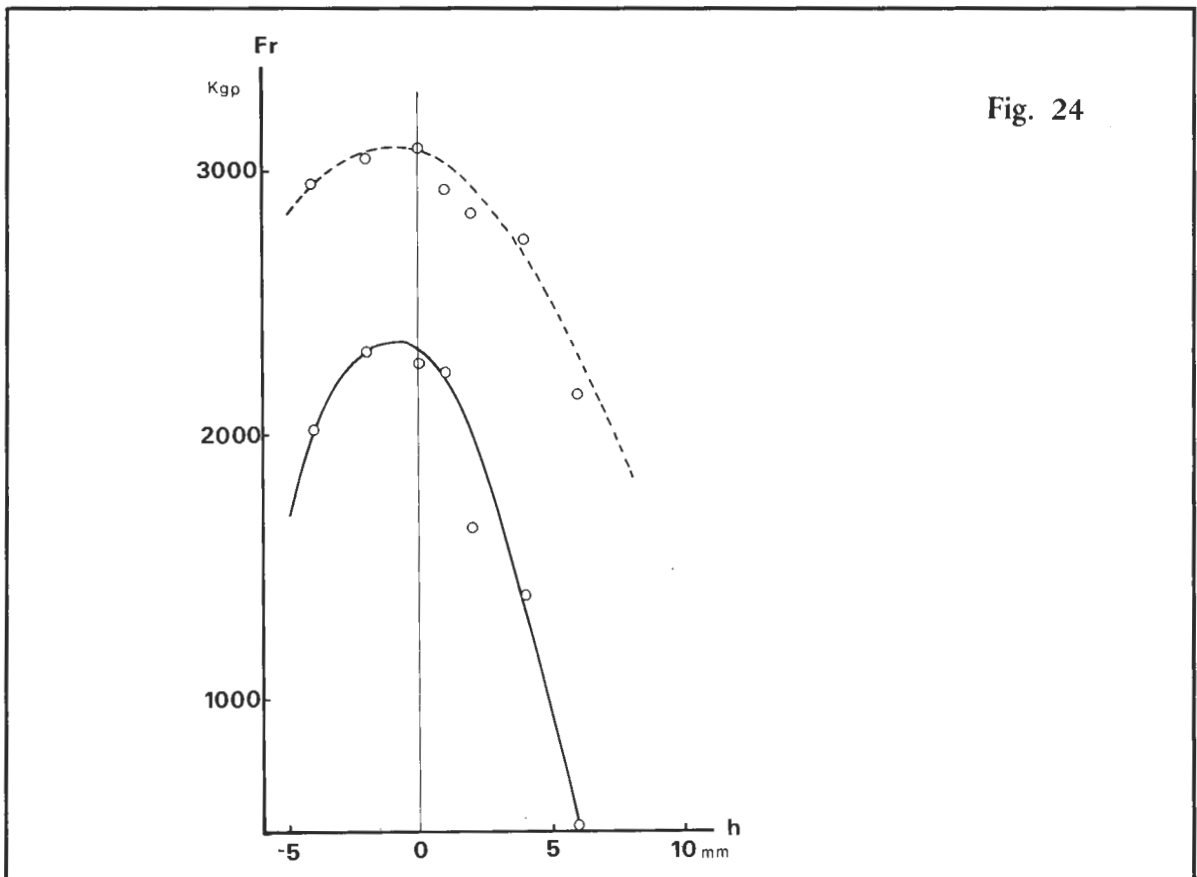


Fig. 24

## SPIT ROC MF8 — HILTI HHS M8 E SCAMBIO DI CUNEI

Con l'entrata in commercio di altre marche di tasselli autoproforanti, diverse dalla Spit, si sono create potenziali situazioni di pericolo, dovute soprattutto al fatto che le dimensioni dei cunei e dei tasselli sono diverse da marca a marca. Questo non permette l'intercambiabilità dei componenti, pena drastiche riduzioni del carico di rottura.

Qui si mette a confronto i tasselli Spit Roc MF8 e Hilti HHS M8, con i relativi cunei, per evidenziare la variazione di  $F_r$  di fronte alle diverse combinazioni tassello/cuneo.

### Condizioni sperimentali:

Marmo Bianco Carrara

Bulloni 8.8

Placchette Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione.

I risultati sono riportati qui di seguito:

TAB. 8

TASSELLO	CUNEO	$F_r$ TAGLIO	$F_r$ ESTRAZIONE
Spit	SPIT	2250 <sup>3</sup>	3101 <sup>7</sup>
Spit	HILTI	1499 <sup>2</sup>	404 <sup>9</sup>
Hilti	HILTI	2172 <sup>3</sup>	1464 <sup>10</sup>
Hilti	SPIT	2234 <sup>3</sup>	3033 <sup>7</sup>

Tre i fatti da rimarcare:

- se per errore o ignoranza viene utilizzato un cuneo Hilti su un tassello Spit si hanno effetti molto negativi: a taglio risulta una netta riduzione di  $F_r$  (del 33%, che non è poco!); a estrazione le conseguenze dell'abbaglio possono essere tragiche visto che per raggiungere 404 Kgp è sufficiente una brusca frenata sul discensore;



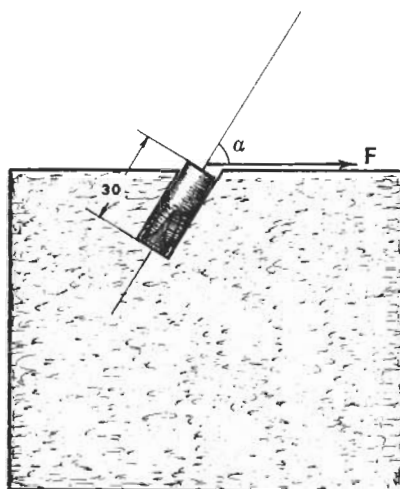
- anche utilizzando tasselli Hilti con cunei Hilti, a estrazione si ha una riduzione di  $F_T$ ; evidentemente, tenendo presente che il meccanismo di rottura n. 10 comporta la fuoriuscita del tassello per circa 3/4 della sua lunghezza, il cuneo Hilti è sottodimensionato e non riesce a conferire la necessaria pressione sulle pareti del foro;
- utilizzando invece tasselli Hilti con cunei Spit si ha una tenuta pari a quella tasselli Spit/cunei Spit, cioè il massimo possibile.

Attenzione dunque a non utilizzare cunei Hilti!

### ***SPIT ROC MF8 E INCLINAZIONE DELL'ASSE DEL TASSELLO***

Non sempre si riesce a realizzare i fori con asse perpendicolare alla parete d'infissione. Che succede se viene a mancare questa ortogonalità, sempre indicata come elemento fondamentale di tenuta? Come varia il carico di rottura al variare dell'angolo formato dall'asse del tassello con la superficie della parete?

**Fig. 25**



Per rispondere a queste domande sono state effettuate delle prove, mettendo in posa i tasselli con diverse angolazioni come schematizzato in fig. 25. La forza  $F$  è quella di trazione a taglio,  $\alpha$  è l'angolo variabile e la profondità del foro, calcolata rispetto al punto C, è di 30 mm.

#### **Condizioni sperimentali;**

Marmo Bianco Carrara

Bullone 8.8

Placchetta Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione.

I risultati sono contenuti nella tabella che segue:

TAB. 9

$\alpha$	$F_r$ TAGLIO	$F_r$ ESTRAZIONE
75°	2109 <sup>6</sup>	1135 <sup>⑦</sup>
80°	2704 <sup>3</sup>	1699 <sup>⑦</sup>
85°	2387 <sup>3</sup>	1943 <sup>⑦</sup>
90°	2250 <sup>3</sup>	3101 <sup>7</sup>
95°	1897 <sup>3</sup>	1943 <sup>⑦</sup>
100°	1496 <sup>6</sup>	1699 <sup>⑦</sup>
105°	927 <sup>6</sup>	1135 <sup>⑦</sup>

Come al solito l'indicizzazione ⑦ sta a significare che il cedimento avviene con modalità analoghe al meccanismo n. 7, solo che la roccia asportata è di volume inferiore alla norma.

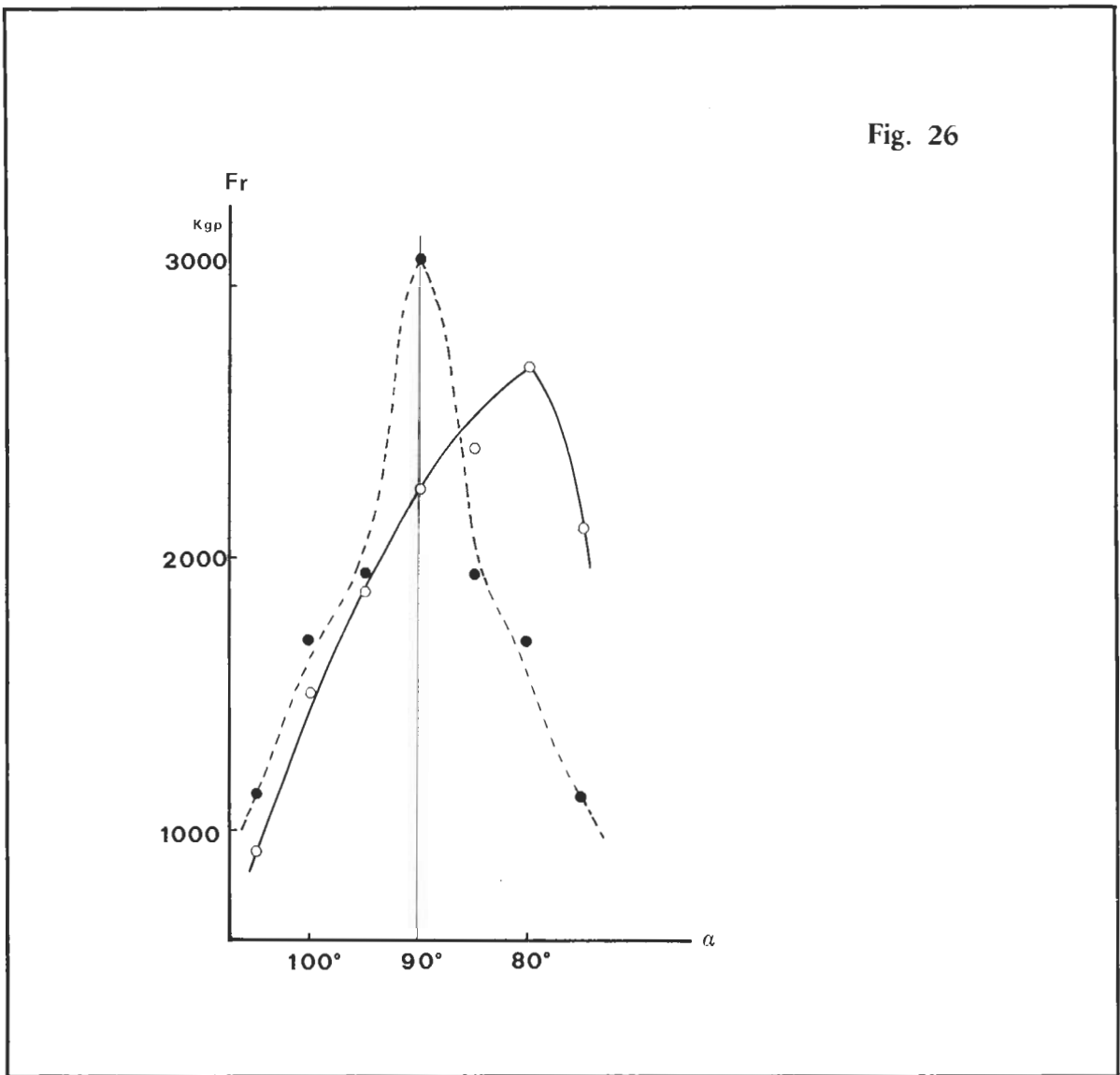
Per meglio valutare quanto ottenuto dalle prove si esamini il grafico di fig. 26, dove sono riportate le variazioni di  $F_r$  in funzione dell'angolo  $\alpha$  (linea continua=taglio; linea tratteggiata = estrazione).

*Si può notare che ad estrazione il massimo di tenuta si ha in condizioni di perfetta perpendicolarità. Variazioni di pochi gradi comportano bruschi abbassamenti del carico di rottura (la curva è ovviamente simmetrica rispetto all'ordinata 90° e sono stati calcolati i valori relativi ad un solo versante della curva).*

*A taglio si verifica un fatto inaspettato: la massima tenuta si ha quando l'asse del tassello è inclinato di 80° rispetto alla direzione di trazione. Per angolazioni inferiori la  $F_r$  diminuisce rapidamente.*

Questa apparente anomalia di comportamento è verosimilmente dovuta al fatto che per valori di  $\alpha$  inferiori a 90° la flessione del bullone è ridotta, in quanto una componente della forza di trazione si esplica a estrazione. Per valori di  $\alpha$  inferiori a 80°, anche se il bullone resiste, è la roccia a rompersi anticipatamente.

Fig. 26



Tutto ciò porta a concludere che deviazioni di qualche grado dell'asse del tassello rispetto alla perpendicolarità non comportano diminuzioni tali da compromettere la sicurezza. Tuttavia, se si deve sbagliare, è meglio infiggere il tassello con l'asse leggermente piegato verso la direzione di trazione (non più di  $10^\circ$ ).

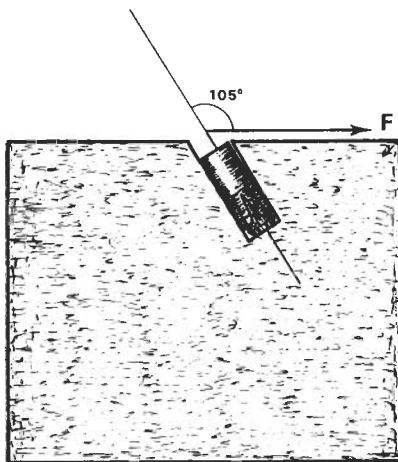
Questo è un fatto sperimentale che conforta quanto, inavvertitamente, accade nelle risalite in artificiale, dove solitamente si tende a mettere in posa tasselli con l'asse inclinato leggermente verso il basso.

Sulla falsariga di quanto sperimentato in questo paragrafo, è stato realizzato un test sulla base di quanto indicato in fig. 27.

Come media di tre prove si è ottenuto per  $F_r$  il valore di 1523 Kgp, superiore di ben 596 Kgp rispetto al valore di  $F_r$  ottenuto con la stessa angolazione ma con messa in posa come in fig. 25.

Da quest'ultima considerazione si può quindi affermare che, dovendo necessariamente infiggere un Roc con una angolazione  $\alpha$  superiore ai  $90^\circ$ , è meglio approfondire il foro di qualche millimetro e raggiungere una posizione come in fig. 27. Il fatto che il corpo del tassello appoggi interamente sulla parete del foro impedisce che il cedimento avvenga a valori inferiori ai 1500 Kgp. È già un risultato!

Fig. 27



## TASSELLI SPIT FIX M8 ACCIAIO NORMALE

Rispetto ai Roc, la scelta degli Spite Fix M8 acciaio normale come standard di riferimento è meno documentabile. Si è agito un po' d'istinto e un po' condizionati dalla notorietà della marca. Ma i risultati hanno poi confermato la bontà della scelta.

### *METODOLOGIA DI ANALISI*

Anche in questo caso si tratta di valutare sperimentalmente la tenuta del tassello, che d'ora in poi chiameremo sinteticamente Fix, al variare di alcuni parametri fondamentali, sulla falsariga di quanto già fatto con i Roc.

Però, contrariamente a quanto è accaduto per i Roc, non sono assolutamente scontate le condizioni che rendono ottimale la tenuta di un Fix. Anzi è proprio la definizione delle sue migliori condizioni d'uso uno degli scopi di questa ricerca.

Comunque per ora, se non vi è alcuna contraria indicazione, si intende che i Fix da provare siano stati messi in posa nelle condizioni ottimali. In seguito, dopo aver acquisito i necessari dati sperimentali, specificheremo punto per punto i termini della questione.

Resta fermo il fatto che sono elementi indiscutibili di ottimizzazione della messa in posa:

- l'assenza nei campioni di roccia di piani di rottura preesistenti;
- l'esecuzione di fori del diametro esatto di 8 mm;
- la perpendicolarità dell'asse del foro rispetto alla superficie della parete;
- l'assenza di svasamenti nella parte superiore del foro.

La velocità di trazione al banco dinamometrico è, al solito, 250 mm al minuto.

Ogni test è stato ripetuto almeno tre volte e i risultati riportati sono la media dei valori ottenuti. Le prove sono state realizzate tanto a taglio quanto a estrazione ( $F_r$  taglio e  $F_r$  estrazione hanno lo stesso significato dei paragrafi precedenti).

## **TIPI DI ROTTURA**

Anche con i Fix le modalità di rottura sono diverse. Per l'esauriente comprensione dei risultati i valori di  $F_r$  saranno sempre indicizzati con una lettera che si riferisce al tipo di rottura. Questa caratterizzazione ha valore anche per i capitoli seguenti.

- a) Rottura a taglio (o a estrazione) lungo una sezione trasversale della parte filettata del tassello.
- b) Rottura a taglio (o a estrazione) lungo la sezione trasversale, della parte non filettata, corrispondente al punto di minor diametro del tassello (inizio parte cuneiforme).
- c) Cedimento a estrazione con fuoriuscita del tassello intero (manicotto mobile di espansione compresso sulla parte cuneiforme terminale).
- d) Rottura a estrazione con fuoriuscita del tassello senza manicotto mobile e con parte cuneiforme strizzata.
- e) Cedimento a estrazione con rottura in corrispondenza della sezione trasversale a diametro minore (inizio parte cuneiforme).
- f) Cedimento a estrazione con più o meno scorrimento del tassello nel foro, quindi blocco e asportazione di un cono di roccia alto circa 25 mm e del diametro di circa 110 mm.
- g) Come nel caso precedente ma senza scorrimento; il cono di roccia asportato ha dimensioni minori, commisurate alla profondità di messa in opera del Fix.
- h) Cedimento a estrazione per asportazione della filettatura ad opera del dado.
- i) Cedimento a estrazione per rottura a flessione del gambo filettato sottoposto a trazione non coassiale con il tassello (trazione con placchetta Coeur).
- l) Cedimento a taglio di un doppio attacco per rottura contemporanea della parte filettata dei tasselli.
- m) Cedimento a estrazione di un doppio attacco per scorrimento dei tasselli nei fori e quindi, dopo il blocco che comunque avviene, per il distacco di una porzione di roccia a base ellittica e alta circa 20 mm.

## **SPIT FIX M8 E ROCCIA**

Anche per i Fix sono state valutate le variazioni di  $F_r$  in relazione ai vari tipi di roccia, le stesse utilizzate per i Roc (vedi schede precedentemente riportate).

### **Condizioni sperimentali:**

Placchette Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione.

Nella tabella 10 è riportata la sintesi dei risultati.

Come primo fatto vi è da precisare che a estrazione, nella stragrande maggioranza dei casi, si ha prima lo scorrimento del tassello nel foro. Dopo di ciò la rottura definitiva può prendere vie diverse, così come specificato dalle varie lettere di caratterizzazione.

TAB. 10

TIPO ROCCIA	$F_r$ TAGLIO	$F_r$ ESTRAZIONE
Marmo Bianco Carrara (MBC)	1453 <sup>a</sup>	1813 <sup>f</sup>
Travertino (TR)	1497 <sup>a</sup>	1715 <sup>e</sup>
Scaglia Rossa (SR)	1469 <sup>a</sup>	2021 <sup>a</sup>
Scaglia Bianca (SB)	1363 <sup>a</sup>	1864 <sup>c</sup>
Grigio Ammonitico (GA)	1356 <sup>a</sup>	2126 <sup>e</sup>
Calcere Massiccio M. Cucco (CMC)	1218 <sup>a</sup>	1143 <sup>f</sup>
Calcere Massiccio Rocchetta (CMR)	1415 <sup>a</sup>	2130 <sup>f</sup>
Calcere Massiccio Puglia (CMP)	1465 <sup>a</sup>	2184 <sup>e</sup>
Marmo Bianco Valè Venosta (MBV)	1372 <sup>a</sup>	1572 <sup>f</sup>
Granito (GR)	1337 <sup>a</sup>	1974 <sup>e</sup>

Nelle prove a taglio salta immediatamente agli occhi la costanza dei valori e delle modalità di rottura. Evidentemente ciò è dovuto alle caratteristiche metallurgiche del Fix, che sono tali da non permettere di raggiungere forze così elevate da rompere la roccia. I Fix sono costituiti di acciaio di qualità inferiore rispetto a quello dei bulloni 8.8 usati per i Roc.

Le leggere differenze di  $F_r$  a taglio sono unicamente dovute alla maggiore o minore capacità della roccia di resistere alla frantumazione del bordo superiore per effetto della flessione del gambo filettato: se la roccia è fragile si ha una maggiore flessione e quindi una  $F_r$  minore, in caso contrario la  $F_r$  sarà più elevata.

Una tale interpretazione dei risultati è coerente con le caratteristiche geomeccaniche delle varie rocce campione.

A estrazione si ha una netta fluttuazione dei risultati e un'ampia casistica dei modi di rottura. Tuttavia c'è una costante: il carico di rottura è sempre più elevato del corrispondente valore a taglio. Fa eccezione il CMC la cui matrice organogena malcementata gli gioca dei brutti scherzi, proprio come per i Roc.

*Nell'insieme i risultati mostrano che anche i Fix hanno una loro legittima collocazione fra l'insieme degli strumenti che garantiscono una sicura progressione in grotta. I risultati ottenuti, vista anche la facilità e l'affidabilità nel mettere in opera questi nuovi tasselli (di questi problemi specifici se ne parlerà diffusamente nei prossimi paragrafi), sono soddisfacenti e tali da suggerirne un uso oculato tanto nella normale progressione quanto nelle operazioni di soccorso.*

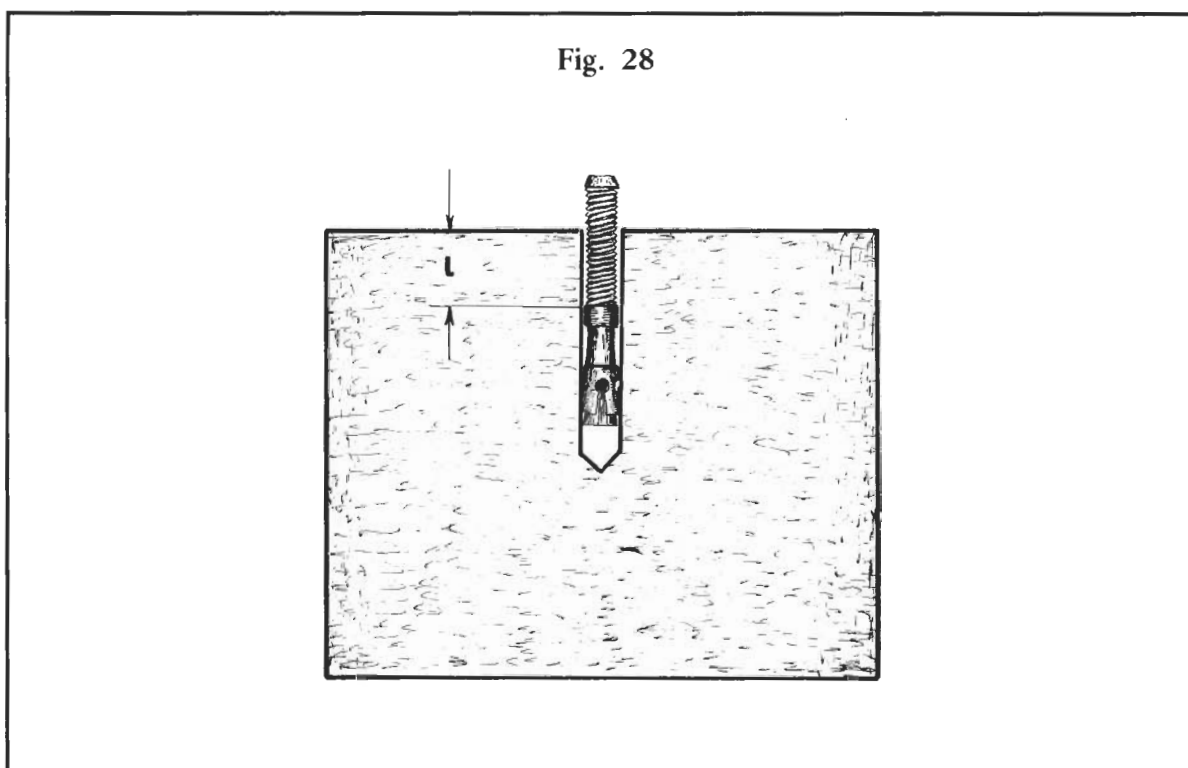
I Fix restano comunque insostituibili nelle risalite in artificiale.

### **SPIT FIX M8 E PROFONDITÀ DI INFISSIONE**

Un Fix è costituito da una parte non filettata di lunghezza fissa (27 mm) e da una parte filettata di lunghezza variabile da tipo a tipo. Una più o meno lunga filettatura è in funzione dello spessore di ciò che si vuol fissare.

Ma nel caso della progressione speleo, essendo lo spessore da fissare pari a quello di una placchetta o al massimo di un anello, la maggiore o minore lunghezza della parte filettata può essere utilizzata per infiggere più o meno profondamente nel foro, il quale non deve essere di una lunghezza esattamente prestabilita come per il Roc. Con i Fix con parte filettata più lunga basterà fare dei fori più profondi per avere una maggiore profondità di infissione. È evidente che in tal caso una parte della filettatura resterà immersa nel foro anche dopo aver serrato il dato e fissato il tassello.

Nei test descritti in questo paragrafo si cerca appunto di mettere in evidenza le variazioni di  $F_r$  in funzione della lunghezza  $l$  (fig. 28) espressa in mm.



Si tenga presente:

- $l$  è calcolato dopo il serraggio della placchetta o anello alla giusta coppia di serraggio;
- valori negativi di  $l$  stanno ad indicare che il Fix sporge dalla roccia con la sua parte non filettata per una lunghezza pari al valore assoluto di  $l$ .

**Condizioni sperimentali:**

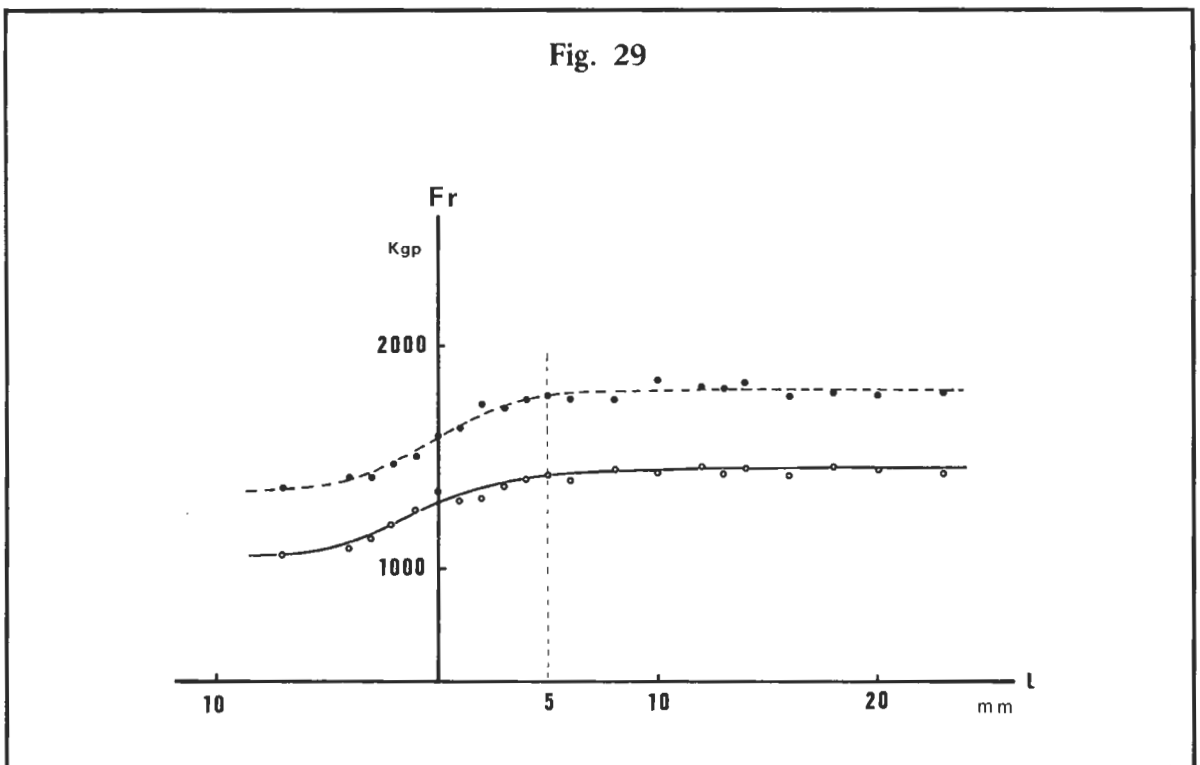
Marmo Bianco Carrara

Placchetta Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione.

I risultati sono contenuti nella tabella 11.

*A taglio* i Fix non risentono granché delle variazioni di  $l$  (fig. 29, linea continua). Solo quanto la parte non filettata sporge dal foro si verifica una netta diminuzione nella capacità di tenuta. Ma è molto improbabile che si possa operare in modo così scorretto.



*A estrazione* il comportamento è pressoché uguale (fig. 29, linea tratteggiata) ma su valori di circa 350 Kgp più elevati rispetto alle corrispondenti misure a taglio. Questo era previsto, sempre in considerazione del fatto che la resistenza di una barra filettata, bullone o gambo che sia, viene intaccata negativamente quando interviene una flessione.

*In entrambi i casi si può comunque affermare che se il Fix ha almeno 5 mm di filettatura all'interno del foro la sua resistenza è massima.*



TAB. 11

<b>l</b>	<b>F<sub>r</sub> TAGLIO</b>	<b>F<sub>r</sub> ESTRAZIONE</b>
23	1436 <sup>a</sup>	1806 <sup>d</sup>
20	1466 <sup>a</sup>	1781 <sup>c</sup>
18	1483 <sup>a</sup>	1802 <sup>d</sup>
16	1420 <sup>a</sup>	1785 <sup>d</sup>
14	1466 <sup>a</sup>	1849 <sup>d</sup>
13	1423 <sup>a</sup>	1821 <sup>f</sup>
12	1480 <sup>a</sup>	1834 <sup>f</sup>
10	1437 <sup>a</sup>	1878 <sup>f</sup>
8	1466 <sup>a</sup>	1765 <sup>d</sup>
6	1391 <sup>a</sup>	1783 <sup>c</sup>
5	1425 <sup>a</sup>	1791 <sup>c</sup>
4	1418 <sup>a</sup>	1782 <sup>d</sup>
3	1382 <sup>b</sup>	1740 <sup>c</sup>
2	1323 <sup>b</sup>	1765 <sup>c</sup>
1	1312 <sup>b</sup>	1631 <sup>g</sup>
0	1388	1609 <sup>g</sup>
-1	1279 <sup>b</sup>	1513 <sup>g</sup>
-2	1215 <sup>b</sup>	1483 <sup>g</sup>
-3	1149 <sup>b</sup>	1415 <sup>g</sup>
-4	1102 <sup>b</sup>	1427 <sup>g</sup>
-7	938 <sup>b</sup>	1381 <sup>g</sup>

## SPIT FIX M8 E COPPIA DI SERRAGGIO

È più che legittimo supporre che la tenuta alla rottura di un Fix dipenda anche dalla coppia di serraggio ( $C_s$ ) impressa al dado.

A tal fine sono stati fatti dei test, a taglio e a estrazione, variando la coppia di serraggio e lasciando inalterato ogni altro parametro.

### Condizioni sperimentali:

Marmo Bianco Carrara

Placchetta Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione

lunghezza  $l=6$  mm.

I risultati sono riportati nella tabella che segue.

TAB. 12

COPPIA DI SERRAGGIO	$F_r$ TAGLIO	$F_r$ ESTRAZIONE
1,5	1451 <sup>a</sup>	1782 <sup>e</sup>
2,0	1417 <sup>a</sup>	1771 <sup>d</sup>
2,5	1404 <sup>a</sup>	1737 <sup>d</sup>
3,0	1488 <sup>a</sup>	2172 <sup>e</sup>
3,5	1471 <sup>a</sup>	1991 <sup>e</sup>
4,0	ROTTURA DURANTE SERRAGGIO	ROTTURA DURANTE SERRAGGIO

Come si può vedere la  $C_s$  (che è espressa in Kgm) non determina variazioni nel carico di rottura, tanto che si può arrivare al valore massimo (3,5 Kgm) ottenendo risultati coerenti con la media se non addirittura superiori.

Si tenga comunque presente che solo superando i 2 Kgm di coppia si ottiene il fissaggio definitivo del Fix. Altrimenti, per valori inferiori di  $C_s$ , sono sufficienti le tipiche sollecitazioni della normale progressione su corda per rendere ballerino il tassello (nel quale caso bisogna provvedere ad un nuovo serraggio con coppia più elevata).

### **SPIT FIX M8 E DISTANZA DI POSA**

Come per l'equivalente paragrafo dei Roc si tende a far risaltare le eventuali influenze della distanza di posa  $d$  sulla tenuta di due Fix sollecitati contemporaneamente ed in ugual maniera, tanto a taglio che a estrazione. Per meglio comprendere le modalità di sperimentazione si faccia riferimento alle figure 16 e 17, avendo l'accortezza di sostituire in A e B i Fix al posto dei Roc.

#### **Condizioni sperimentali:**

Marmo Bianco Carrara

Placchetta Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione

Lunghezza  $l = 6$  mm

Trazione contemporanea sui tasselli A e B

Forze  $F$  di ugual intensità

Direzione e senso delle suddette forze come indicato in fig. 16 e 17.

I risultati sono riportati nella tabella 13 ( $d$  in mm).

Tanto a taglio quanto a estrazione il cedimento dei tasselli è contemporaneo. La  $F_r$  riportata è la forza complessiva necessaria a produrre la rottura del doppio attacco.

Anche con i Fix risulta chiaramente che, quando la trazione è a taglio, la distanza di posa non ha influenze su  $F_r$ . Il carico di rottura risultante non è altro che il doppio della tenuta ottimale del singolo Fix.

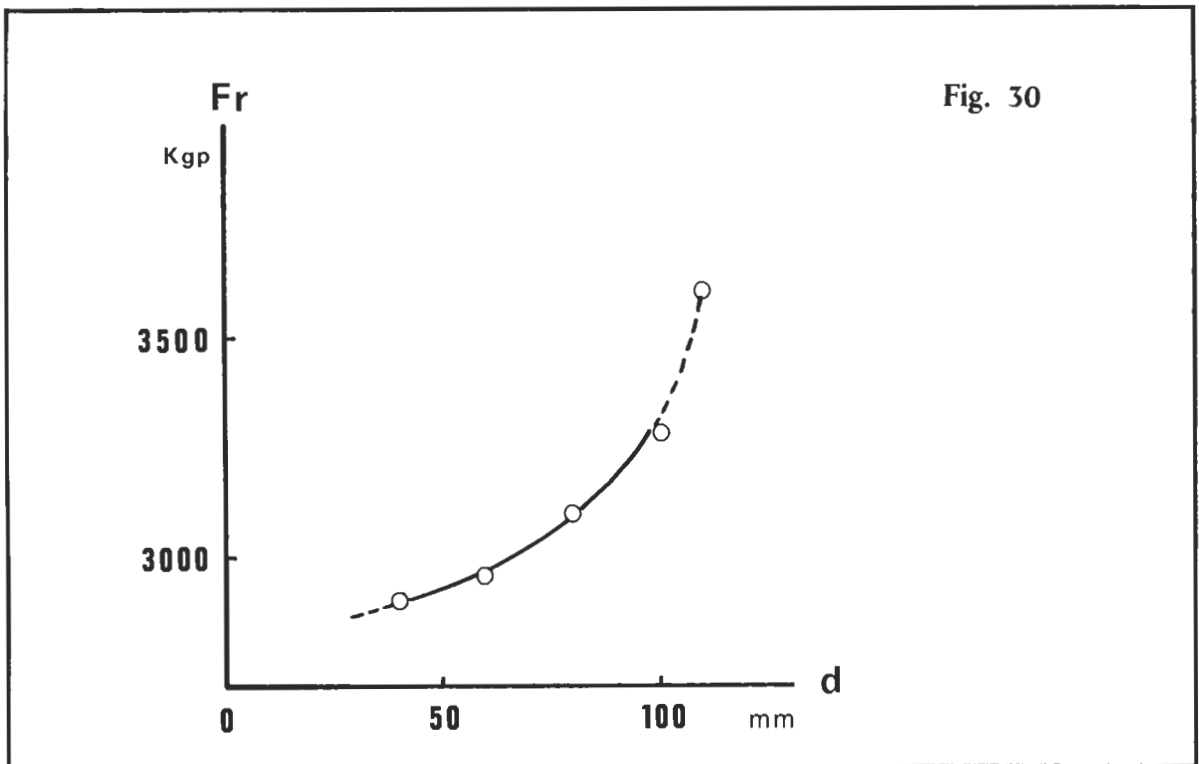
Quindi realizzare un attacco doppio con due Fix che «lavorano» contemporaneamente è un ancoraggio di elevate qualità, superiori a quelle di un singolo Roc.

A estrazione la tenuta è influenzata dalla distanza  $d$  come ben si evidenzia nel grafico di fig. 30. La parte di curva tratteggiata si riferisce ad una estrapolazione nell'ipotesi, del tutto verosimile ma non accertata per le ridotte dimensioni del blocchetto campione, che per  $d = 110$  mm si abbia una tenuta di 3600 Kgp, che è il doppio di quanto sopporta un singolo Fix messo nelle condizioni migliori.

Tale ipotesi è ulteriormente avvalorata dalla constatazione sperimentale che un Fix, a estrazione, asporta un cono di roccia alto 25 mm e del diametro di circa 110 mm (fig. 31).

TAB. 13

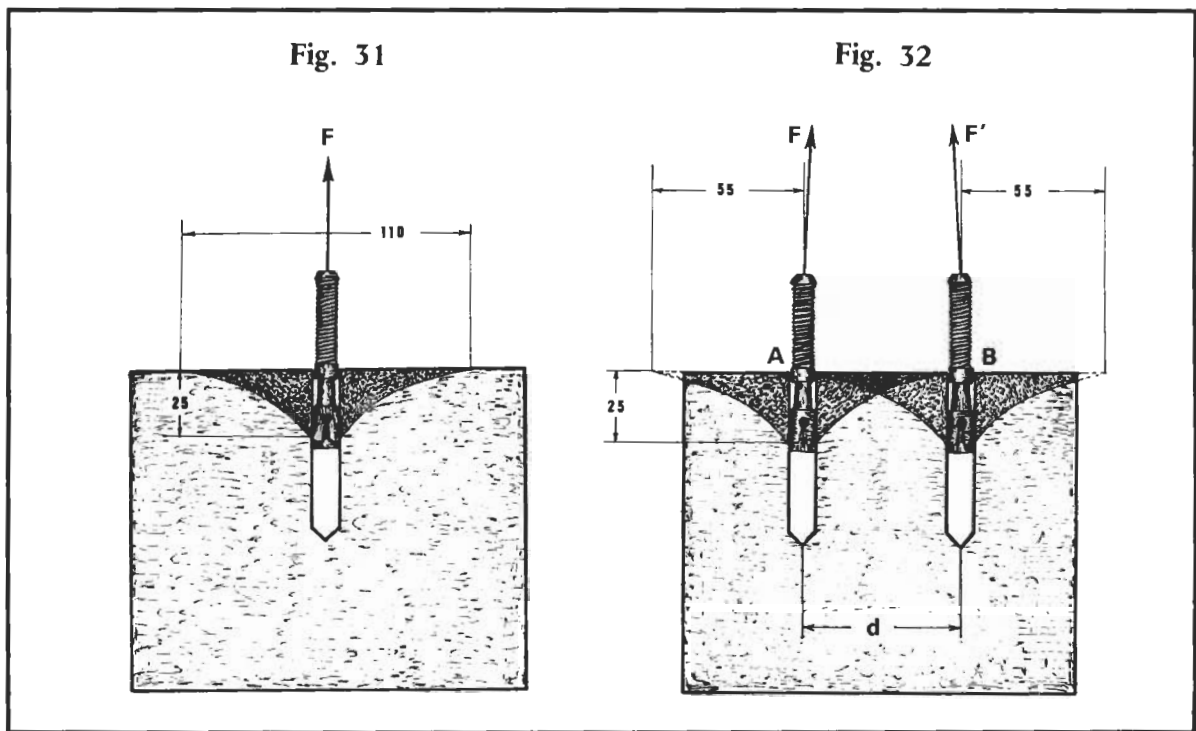
<b>d</b>	<b>F<sub>R</sub> TAGLIO</b>	<b>F<sub>R</sub> ESTRAZIONE</b>
40	2938 <sup>l</sup>	2898 <sup>m</sup>
60	2971 <sup>l</sup>	2951 <sup>m</sup>
80	2837 <sup>l</sup>	3104 <sup>m</sup>
100	3005 <sup>l</sup>	3253 <sup>m</sup>



Questo (fig. 32) porta a considerazioni del tutto equivalenti a quelle elaborate per un doppio attacco con Roc: tanto minore è la distanza  $d$  tanto maggiore è la sovrapposizione dei due coni di distacco e, quindi, tanto minore è la superficie di coesione che si oppone con le forze di «attrito» all'estrazione.

Con  $d$  maggiore o uguale a 110 mm si ha la maggior tenuta possibile a estrazione.

Risalta immediatamente il fatto che anche a estrazione, come era già stato verificato a taglio, una coppia di Fix ha un carico di rottura superiore a quello di un Roc. E questo è vero anche se i tasselli sono stati messi uno accanto all'altro (e non si vede proprio il motivo di agire in questa diabolica maniera).



Come considerazione collaterale si fa presente che alcune prove sono state eseguite per mostrare una eventuale influenza, a taglio e a estrazione, di un foro posto nelle immediate vicinanze del tassello sottoposto a trazione. A tal fine sono stati praticati nella roccia dei fori del diametro di 8 mm, profondi 30 mm, a distanza variabile dal Fix sollecitato. Si è potuto constatare che una tale anomalia nella superficie rocciosa (nella pratica potrebbe essere un foro sbagliato) non determina in alcun modo una variazione nella tenuta del tassello, tanto a taglio quanto a estrazione. A estrazione il cono di roccia asportato non modifica la sua forma per la presenza del foro. A conclusioni del tutto analoghe si giunge con fori occupati da tasselli non sollecitati ma «in pressione» con  $C_s = 2$  Kgm.

### **SPIT FIX M8 E SVASATURA DEL FORO**

In fig. 33 è schematizzata la situazione, del tutto simile a quella dei Roc di fig. 22. L'esperienza vuole mostrare l'influenza della lunghezza  $s$  sul carico di rottura del tassello.

#### **Condizioni sperimentali:**

Marmo Bianco Carrara

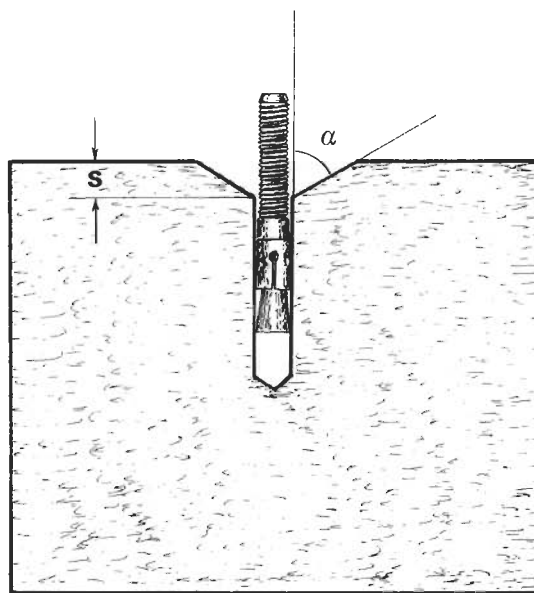
Placchetta Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione

Lunghezza  $l = 6$  mm

angolo  $\alpha = 60^\circ$

Fig. 33



Risultano i seguenti dati:

TAB. 14

S	$F_r$ TAGLIO	$F_r$ ESTRAZIONE
0	1453 <sup>a</sup>	1813 <sup>f</sup>
2	1341 <sup>a</sup>	1791 <sup>f</sup>
4	786 <sup>a</sup>	1777 <sup>f</sup>
6	638 <sup>a</sup>	1843 <sup>f</sup>

L'andamento del fenomeno era del tutto prevedibile:

- *a estrazione* la svasatura, per quanto profonda, non comporta variazioni di  $F_r$  (la superficie di coesione che definisce il cono di distacco non varia al variare di  $s$ );
- *a taglio* le cose vanno diversamente e si evidenzia un netto abbassamento di  $F_r$  all'aumentare di  $s$ , tanto che già a 4 mm la tenuta è quasi dimezzata.

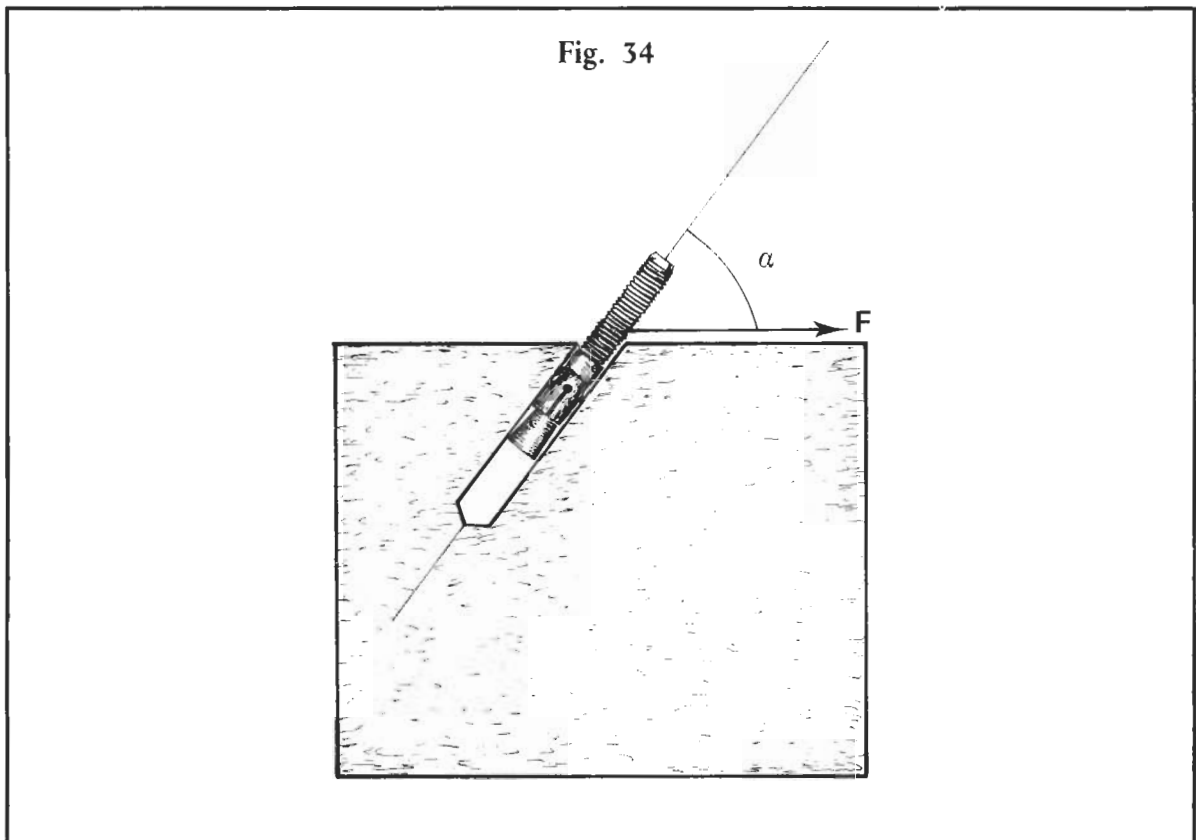
Questi risultati confermano quanto emerso con i Roc e i bulloni: *il lavoro a flessione, sempre conseguente alla presenza di bracci di leva per errata disposizione degli attrezzi nei confronti della forza traente, produce marcati abbassamenti della forza di rottura.* Quindi si ripropone il problema di porre una adeguata attenzione nella fase iniziale della perforazione, magari anche eliminando temporaneamente la percussione del trapano.

Da prove fatte risulta abbastanza facile ottenere fori con  $s$  minore o uguale a 1 mm. Solo operatori inesperti o in stato confusionale riescono a produrre svasature di entità maggiore.

### **SPIT FIS M8 E INCLINAZIONE DELL'ASSE DEL TASSELLO**

Nel caso di non perpendicolarità fra superficie della roccia e asse del tassello (fig. 34), tanto a taglio quanto a estrazione, si determina una situazione anomala, abbastanza frequente nella pratica.

Il problema è stabilire la variazione di  $F_r$  in relazione all'angolo  $\alpha$ .



#### **Condizioni sperimentali:**

Marmo Bianco Carrara

Placchetta Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione

Lunghezza  $l = 6$  mm.

I dati ottenuti sono i seguenti:

TAB. 15

$\alpha$	$F_r$ TAGLIO	$F_r$ ESTRAZIONE
75°	1405 <sup>a</sup>	1904 <sup>e</sup>
80°	1337 <sup>a</sup>	1812 <sup>h</sup>
85°	1671 <sup>a</sup>	1925 <sup>e</sup>
90°	1453 <sup>a</sup>	1813 <sup>f</sup>
95°	1317 <sup>a</sup>	1925 <sup>e</sup>
100°	1433 <sup>a</sup>	1812 <sup>h</sup>
105°	1379 <sup>a</sup>	1904 <sup>e</sup>

Non c'è una evidente influenza di  $\alpha$  sulla tenuta del tassello, tanto a taglio quanto a estrazione. Per contro risulta una marcata fluttuazione dei dati dovuta alla variabilità delle caratteristiche metallurgiche, tipica di una produzione industriale su vasta scala. È probabile che un effetto simile a quello riscontrato con i Roc (fig. 26) si verifichi anche con i Fix ma con una entità tale da essere occultata dalle fluttuazioni sperimentali.

Comunque un fatto, forse accidentale, si mette in evidenza: una leggera inclinazione (85°) verso la direzione di trazione produce un aumento di  $F_r$  (taglio). La cosa è tutta da verificare. *Resta fermo che errori di qualche grado nella direzione di infissione non comportano significativi abbassamenti del carico di rottura ottimale.*

### **SUGGERIMENTI PER LA MESSA IN POSA**

Occorre innanzitutto sgombrare il campo da una convinzione errata sull'uso dei Fix. Si ritiene che con questi tasselli si possano realizzare degli ancoraggi sicuri anche su pareti rocciose con scarsa consistenza superficiale (per esempio, coperte di latte di monte o di formazioni litogenetiche). Si pensa infatti che, utilizzando Fix a gambo filettato molto lungo, si possa andare a «pescare» la roccia buona in profondità e risolvere così ogni problema. Questo è vero solo in parte e per comprendere come stanno realmente le cose si faccia riferimento a quanto accade nel caso di un foro con svasatura di profondità  $s$ , precedentemente esaminato (la scarsa consistenza della parte superficiale della parete può essere assimilata alla presen-



za di una svasatura profonda quanto è profondo lo strato «morbido»).

Si ricorda che in quel caso la tenuta a estrazione non veniva influenzata dalla presenza della svasatura, per quanto profonda fosse. A taglio invece, determinandosi un momento di leva tanto maggiore quanto più profonda era la svasatura, il carico di rottura diminuiva nettamente all'aumentare di  $s$  (per  $s=6$  mm,  $F_r$  taglio = 638 Kgp).

Pertanto, se si deve necessariamente creare un ancoraggio su parere superficialmente inconsistente, si cerchi di far lavorare il tassello a estrazione, perché a taglio sarebbe un attacco di ridottissime capacità di tenuta, veramente pericoloso.

Chiarito questo aspetto, ricordando che comunque la regola d'oro per gli attacchi artificiali è «una buona roccia per un buon tassello», si consiglia di utilizzare Spit Fix M8-10, i quali hanno un gambo filettato lungo 20 mm (quel 10 in sigla sta a significare lo spessore massimo fissabile) e permettono la creazione di ancoraggi con placchette e anelli con la massima tenuta possibile. Fix con gambo filettato più lungo possono essere utilizzati su attacchi di grande spessore o, come già precedentemente chiarito, su pareti a scarsa consistenza superficiale per realizzare ancoraggi che lavorino esclusivamente a estrazione.

*Utilizzando Spit Fix M8-10, si ottiene la massima tenuta quando si operi nel modo che segue.*

- 1) Battere con il martello alla ricerca di una porzione di roccia che «canti» bene, pianeggiante e ben versata in funzione della direzione di trazione (comportamento del tutto uguale a quello seguito per la corretta infissione dei Roc).
- 2) Eseguire un foro del diametro di 8 mm e profondo non meno di 50 mm (non è così importante pulire dalla polvere).
- 3) Inserire nel tassello una rondella (la Spit le mette in commercio appositamente) ed quindi il dado, avvitandolo fintanto che non sporge 1 mm della testa.
- 4) Immergere il tassello nel foro fino a comprimere la rondella fra dado e roccia.
- 5) Serrare fortemente con la chiave da 13 ( $C_s=2$  Kgm o poco più). Dal foro usciranno altri 7 mm di barra filettata.
- 6) Svitare il dado e togliere la rondella (è servita unicamente a non far incidere la roccia in conseguenza dell'avvitamento del dado).
- 7) Inserire nella barra filettata sporgente l'anello o la placchetta e fissarli mediante il dado. Riportare il tutto alla coppia di serraggio indicata al punto 5.

In tal modo avremo ottenuto che il dado è completamente inserito nella parte filettata e in più la lunghezza  $l$  è di circa 8 mm. Con la prima accortezza si ha la massima tenuta a estrazione. Con la seconda si realizzano condizioni di posa tali da garantire la massima tenuta in generale.

## **LIMITI D'IMPIEGO**

Questa seconda serie di indicazioni si riferisce a questioni generali, nel presupposto che siano state rispettate le regole canoniche d'infissione così come sono state elencate in precedenza.

- 1) I Fix sono di recente «scoperta» e quindi non è possibile trarre indicazioni sulla loro eventuale tendenza a corrodarsi. Supponiamo che non sia dissimile da quella dei Roc.
- 2) Di solito è l'uso prolungato a sublimare i giusti comportamenti. È difficile poter trarre

conclusioni sul modo migliore di riutilizzare i Fix. Intuitivamente viene da suggerire di abbandonare i Fix (in grotta o in parete) almeno con il dado serrato.

- 3) È impossibile per ora avere dati sulla capacità dei Fix di non modificare, con l'uso prolungato e ripetuto, il foro dove sono alloggiati, specie se la roccia è marnosa o di origine concrezionale. Comunque è meglio evitare di infiggere Fix sulle concrezioni.
- 4) Tutte le rocce esaminate danno buoni risultati, sempre superiori ai 1300 Kgp a taglio e i 1500 Kgp a estrazione. Fa eccezione il Calcare Massiccio del M. Cucco con il quale la  $F_r$  si abbassa nettamente.
- 5) I Fix hanno una tenuta inferiore ai Roc, con diminuzioni di  $F_r$  che vanno dal 20% al 40% a seconda del tipo di roccia e di trazione.
- 6) A estrazione un Fix ha una tenuta superiore che a taglio.
- 7) La profondità di infissione determina la tenuta: è bene tenersi al di sopra dei 5 mm di filettatura immersa nel foro.
- 8) È tassativamente necessario utilizzare placchette a taglio e anelli a estrazione, altrimenti  $F_r$  scende a valori preoccupanti se non addirittura tragici.
- 9) Nelle risalite in artificiale utilizzare sempre anelli.
- 10) La distanza fra gli assi di infissione deve essere al minimo 110 mm.
- 11) Un doppio attacco con Fix è decisamente più resistente di un solo tassello, anche se la distanza fra di loro è appena di qualche centimetro.
- 12) La presenza di un foro o di un tassello non sollecitato nelle vicinanze del Fix non comporta variazioni negative della sua tenuta.
- 13) È bene evitare svasature troppo profonde nella parte superiore del foro. Queste anomalie determinano infatti una caduta del carico di rottura a taglio.
- 14) La perpendicolarità del tassello rispetto alla superficie della parete è garanzia per una ottima tenuta. Comunque una inclinazione di circa  $5^\circ$  verso la direzione di trazione produce, a taglio, il massimo rendimento.
- 15) Praticare fori poco profondi diminuisce  $l$  e quindi la tenuta del tassello. Per contro una profondità eccessiva non ha alcuna utilità e in compenso fa sprecare energia.
- 16) Il foro deve avere il diametro giusto altrimenti il manicotto del tassello non fa presa sulla roccia e non si riesce ad ottenere l'espansione (tutto il tassello ruota con il dado).

*In sintesi*, lo Spit Fix M8 è un attrezzo molto affidabile e molto pratico, con carichi di rottura leggermente superiori alla Minima Resistenza Iniziale. È quindi un buon attacco in ogni caso, a patto che, per ora, venga considerato come un attrezzo del tipo «usa e getta». Infatti il Fix è «giovane» nella speleologia e non si hanno ancora notizie di effetti, positivi o negativi, dovuto all'uso prolungato e ripetuto. Sarà sicuramente la grotta a dare una risposta definitiva.

Per ora, fra l'altro, non si vede come questo tassello possa sostituire gli Spit Roc negli armi fissi o semifissi, anche perché c'è da risolvere il problema di come abbandonare i tasselli in grotta una volta tolte le placchette e gli anelli.

Resta fermo il fatto che i Fix sono insostituibili nelle risalite in artificiale, dove però sarebbe bene ogni tanto inserire qualcosa di più solido per sicurezza.

Un discorso a parte vale per le operazioni di soccorso dove la rapidità di infissione dei Fix può essere un prezioso elemento di velocizzazione del recupero. Ma se si vuole manovrare in tutta sicurezza sarà bene realizzare sempre doppi attacchi, con tasselli sollecitati contemporaneamente e con la stessa intensità.



## **TASSELLI SPIT FIX M8 ACCIAIO INOX**

In commercio si trovano, ad un prezzo più elevato, dei tasselli Spit Fix M8 inox, del tutto uguali ai precedenti nelle dimensioni ma di materiale diverso: acciaio inox.

Questi tasselli sono stati sottoposti a delle prove con lo scopo di mettere in evidenza:

- le condizioni migliori di infissione;
- il confronto con i Fix non inox.

Un'esperienza ha individuato la dipendenza di  $F_r$  dalla lunghezza  $l$  (già definita in precedenza in fig. 29).

### **Condizioni sperimentali:**

Marmo Bianco Carrara

Placchetta Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione.

I risultati sono riportati nella tabella 16 dove la lunghezza  $l$  è espressa in mm.

TAB. 16

l	$F_r$ TAGLIO	$F_r$ ESTRAZIONE
20	2082 <sup>a</sup>	2165 <sup>d</sup>
17	2020 <sup>a</sup>	2168 <sup>d</sup>
15	2086 <sup>a</sup>	2161 <sup>d</sup>
13	2058 <sup>a</sup>	2170 <sup>d</sup>
10	1893 <sup>b</sup>	2174 <sup>d</sup>
7	1772 <sup>b</sup>	2171 <sup>d</sup>
3	1584 <sup>b</sup>	1712 <sup>d</sup>
0	1530 <sup>b</sup>	1453 <sup>f</sup>

A completamento di queste misure riportiamo anche alcuni dati, ottenuti a estrazione, del tutto anomali tanto per il valore al di sopra della media che per il meccanismo particolare di rottura:

l = 15 mm

l = 13 mm

l = 7 mm

$F_r = 2631$  Kgp

$F_r = 2449$  Kgp

$F_r = 2622$  Kgp

modalità b

modalità 7 (come Roc)

modalità b.

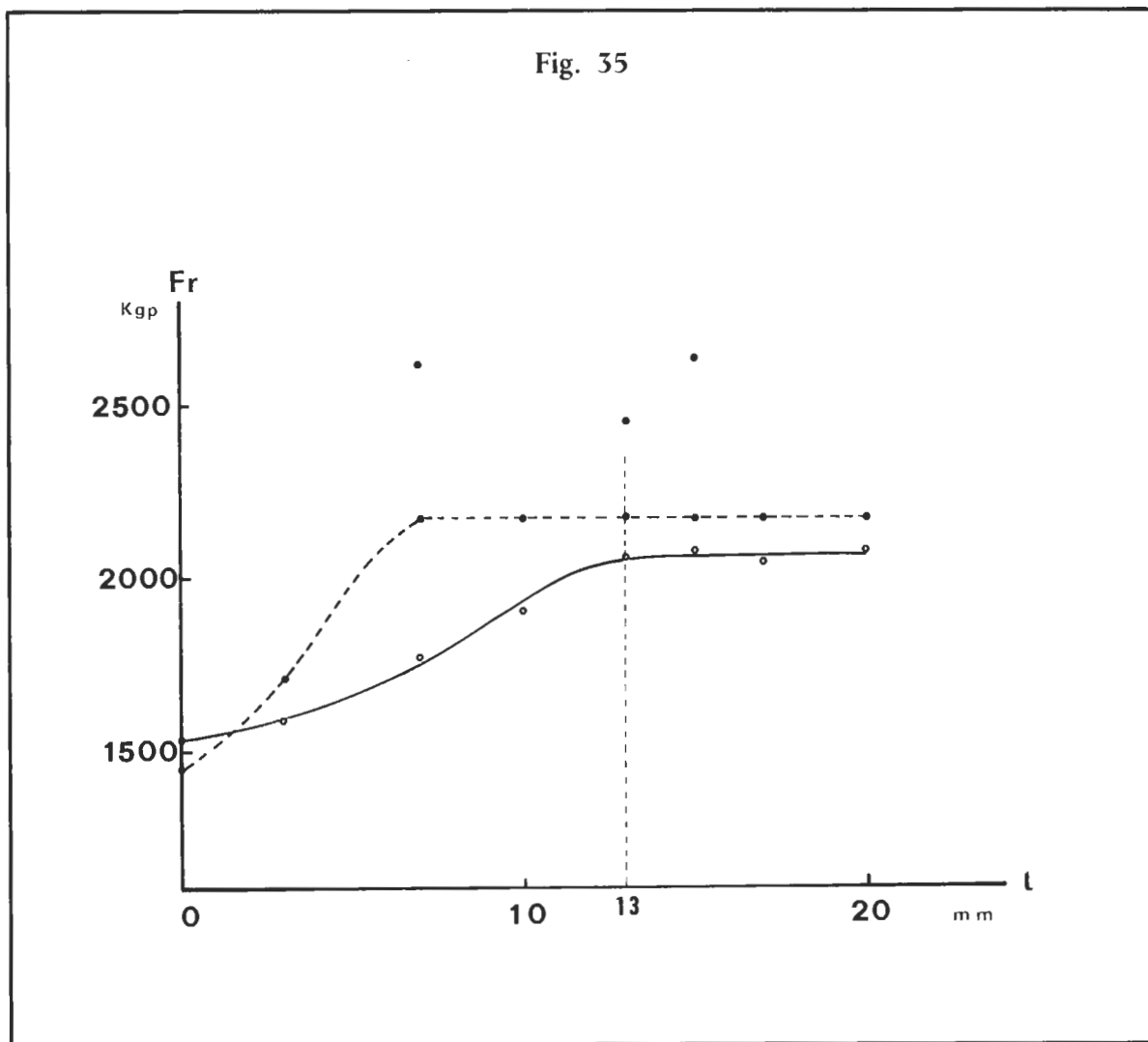
### CONSIDERAZIONI

I Fix inox sono costituiti da un acciaio di qualità migliore e più omogenea rispetto agli equivalenti tasselli normali. Lo attestano le  $F_r$  (a taglio e a estrazione) più elevate (2061 Kgp e 2168 Kgp), ma soprattutto la attesta la maggiore riproducibilità dei dati.

I Fix inox determinano un contatto cuneo-manicotto-roccia tale da creare più attrito e quindi una maggiore tenuta all'estrazione. Solo se  $l=0$  si ha la rottura con valore di forza e meccanismo uguali a quelli dei Fix normali.

A estrazione, eccezionalmente, possono verificarsi condizioni di coesione tassello-roccia tanto elevate da produrre carichi di rottura quasi paragonabili a quelli degli Spit Roc. In tal caso è ancora più evidente la miglior qualità dell'acciaio (si rompe il gambo non filettato a circa 2600 Kgp).

Per quanto riguarda la variazione di carico di rottura rispetto alla lunghezza  $l$  si faccia riferimento al grafico di fig. 35.



A *taglio* si ottengono le migliori condizioni di posa per  $l$  maggiore o uguale a 13 mm. Sotto questa misura  $F_r$  decresce fino ad arrivare a 1500 Kgp per  $l=0$ . Comunque anche questo valore più basso è superiore a quelli riscontrabili per i Fix normali.

A *estrazione* si ha il massimo rendimento per  $l$  superiore o uguale a 7 mm. Al di sotto di questa lunghezza la  $F_r$  decresce bruscamente fino a raggiungere valori comparabili a quelli dei Fix normali per trazione a taglio. Il che è tutto dire!

## SUGGERIMENTI PER LA MESSA IN POSA

Sulle modalità di messa in opera la successione è la stessa di quella suggerita per i Fix normali, con alcune varianti dovute al fatto che  $l$  deve essere maggiore o uguale a 13 mm per ottenere la massima possibile capacità di tenuta. Comunque vediamo i particolari.

- 1) Utilizzare tasselli con gambo filettato lungo 30 mm (Spit Fix M8-20 inox).
- 2) Praticare un foro profondo almeno 70 mm con diametro esatto di 8 mm (attenti a non allargarlo con movimenti impropri della punta del trapano).
- 3) Inserire nel foro il tassello con piccole percussioni dopo averlo dotato di rondella e di un dado avvitato fino a far sporgere completamente la testa non filettata. Al termine di questa operazione la rondella deve essere stretta fra roccia e dado.
- 4) Serrare fortemente con chiave da 13 ( $C_s = 2$  Kgm). Dal foro usciranno altri 6 mm di barra filettata.
- 5) Svitare il dado e togliere la rondella.
- 6) Inserire nella barra filettata l'anello o la placchetta e fissarli con il dado, di nuovo avvitato, alla coppia di serraggio indicata nel punto 4. In questa fase spesso può accadere che il tassello «balli» nel foro e questo nonostante che sia stato già precedentemente serrato; un nuovo adeguato avvitamento del dado riporta tutto alla normalità.

Operando come puntualizzato, la lunghezza  $l$  risulta di circa 15 mm.

Utilizzando invece degli Spit Fix M8-10 inox (barra filettata lunga 20 mm) si otterrebbe nel migliore dei casi  $l = 7$  mm. Questa profondità di infissione determina, rispetto agli equivalenti Fix con barra filettata più lunga, una diminuzione di  $F_r$  a taglio (da 2050 Kgp a 1750 Kgp) mentre viene mantenuto il carico di rottura a estrazione (2160 Kgp).

*Come conclusione finale ci sembra giusto sottolineare che i Fix inox, date le loro caratteristiche di resistere a intense sollecitazioni e alla corrosione, sembrano adatti a sostituire gli Spit Roc in ogni tipo di armo.*

Ma ancora una volta non possiamo dimenticare che è tutta da verificare la loro capacità di sopportare l'uso e l'abuso che si fa normalmente degli ancoraggi artificiali in grotte molto frequentate. Ci ritorneremo sopra nelle conclusioni finali del capitolo.

## CONFRONTO FRA TASSELLI

Con queste prove, anche abbastanza laboriose e complesse, la CTM ha voluto mettere a confronto la resistenza a taglio e a estrazione di tutti i tasselli di cui si è avuta notizia e che in qualche modo è stato possibile reperire.

Il confronto è avvenuto mettendoli in opera nelle migliori condizioni, sulla base dei risultati di precedenti prove orientative o seguendo le indicazioni della casa costruttrice.

I risultati non sono stati corredati di altre particolari osservazioni (per esempio, modalità di rottura) salvo in quei casi dove lo hanno imposto necessità didattiche e esplicative particolari.

**Condizioni sperimentali:**

Marmo Bianco Carrara

Placchetta Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione

Bulloni 8.8 (quando richiesti)

I risultati sono indicati nella tabella 17.

**Note**

- 1) Nel primo raggruppamento sono elencati i tasselli autoperforanti classici. Tutti gli altri richiedono la perforazione mediante trapano o altro sistema a parte.
- 2) Nel secondo raggruppamento sono posti i tasselli con bulloni propri che attraversano l'intero corpo del tassello per raggiungere il cuneo con foro filettato. Fanno eccezione il Long Life (senza bullone), il Simbi (necessità di bullone a parte) e l'Hilti (necessità di bullone a parte).
- 3) Lo Spit Maxi (di fatto una semplice asta filettata) viene reso solidale con la roccia mediante un collante chimico a due componenti.
- 4) L'ultimo raggruppamento contiene i tasselli che richiedono un foro con diametro uguale a quello della barra filettata, sulla cui parte sporgente viene ancorato un attacco (anello o placchetta) mediante un dado.
- 5) L'Hilti HHS M8 a estrazione scorre per circa 3/4 della sua lunghezza e poi asporta un cono di roccia alto 7 mm e del diametro di 90 mm circa.
- 6) Il Long Life della Petzl è stato sollecitato a estrazione utilizzando la sua stessa placchetta (del tutto uguale al Coeur). Questo ha determinato un lavoro a flessione di una certa entità e quindi un abbassamento della  $F_r$  rispetto al valore che si sarebbe potuto ottenere se la trazione fosse avvenuta su anello simmetrico (come nelle prove standard).
- 7) Con tutti i tasselli UPAT esaminati non è stato possibile stringere i dadi oltre un certo valore di coppia di serraggio (intorno a 1 Kgm).
- 8) Nei tasselli Spit Fix M6, Spit Fix M6 inox, Hilti HSA M6 si rompe il gambo filettato, tanto a taglio quanto a estrazione.
- 9) Il valore 1203 Kgp ottenuto a taglio per l'Hilti HSA M8 è la media di cinque valori abbastanza «dispersi»: 1638-1083-1138-1259-877. Si è ottenuto, sempre a taglio, il valore 2331 Kgp ma lo abbiamo escluso in quanto, per un errore nella messa in opera, sporgeva dalla parete addirittura con la sua parte non filettata (molto più lunga di quella dei Fix) per circa 5 mm. Ciò ha prodotto la rottura nella parte del gambo a sezione maggiore. Il risultato di questo «incidente» sembra indicare che la massima tenuta a taglio per questo tassello si ottiene con una sua cattiva messa in posa!
- 10) Nel caso di cedimento della filettatura, per i tasselli Spit Fix M8 la  $F_r$  a estrazione risulta sempre intorno ai 1700 Kgp.

TAB. 17

TIPI DI TASSELLI	<b>F<sub>r</sub></b> TAGLIO	<b>F<sub>r</sub></b> ESTRAZIONE
Spit Roc MF8	2250	3101
Hilti HHS M8	2172	1464
Spit Roc MF10	3346	4131
Hilti HHS M10	3194	3630
Long Life Petzl	2695	2456
Doppia Espans. Petzl	3612	2147
Simbi M8	2256	2368
Fischer Bullone $\varnothing$ 8	1435	2023
Spit Bolt $\varnothing$ 8	1512	1335
Spit Bolt $\varnothing$ 10	2092	2428
Hilti HKD M8	827	948
Spit Maxi M8	1484	2314
Spit Fix M8	1453	1813
Spit Fix M8 Inox	2061	2168
Hilti HSA M8	1203	2514
Upat M8	1284	1488
Spit Fix M10	1724	2482
Spit Fix M6	654	1047
Spit Fix M6 Inox	885	1408
Hilti Hsa M6	544	1560
Upat M6      l = 45mm	561	836
Upat M6      l = 70mm	1153	850



## Conclusioni

- a) Risalta innanzitutto la «stella» Spit Roc MF8, tanto nei confronti dei tasselli della stessa categoria quanto rispetto a tutti gli altri.
- b) Utilizzare tasselli Spit Roc MF10 significa aumentare di molto la tenuta. Ma questi risultati sono sovradimensionati rispetto alle esigenze della normale progressione in grotta. Il loro impiego deve essere circoscritto a situazioni molto speciali di carpenteria metallica (punti di sosta, vie ferrate, etc.). L'equivalente tassello Hilti ha una tenuta inferiore.
- c) Il Long Life della Petzl è un ottimo strumento di ancoraggio, forse il migliore per realizzare armi fissi in grotte o pareti molto frequentate. Il fatto che sia di acciaio inox e inamovibile completa un quadro già molto interessante. Se le squadre di soccorso provvedessero ad armare correttamente le principali grotte con tali tasselli si sarebbe svolta una concreta azione di prevenzione degli incidenti.
- d) Il tassello doppia espansione della Petzl è un altro strumento di ancoraggio veramente ben fatto. Risolve nel migliore dei modi il problema della tenuta in rocce particolarmente marnose e friabili come la Scaglia Rossa (più volte in precedenza ricordata per i Roc ballerini dopo poche minime sollecitazioni).
- e) Nel secondo raggruppamento, a parte i tasselli già menzionati in precedenza, solo il Simbi M8 mostra caratteristiche accettabili. Tutti gli altri non sono da prendere in considerazione, anzi l'Hilti HKD M8, a quanto si dice molto usato in certe grotte apuane, ha una tenuta decisamente sotto le norme di sicurezza ed è da dichiarare pericoloso.
- f) Potrebbe essere di un certo interesse il tassello Spit Maxi M8, soprattutto in rocce molto fratturate. Ma la sua messa in posa richiede un lavoro e una manualità non indifferenti.
- g) Nella categoria «fix» con diametro da 8 mm lo Spit Fix M8 inox brilla in evidenza per la sua resistenza di fronte a ogni tipo di sollecitazione. E per di più si presuppone che non sia soggetto alla corrosione.  
Lo segue ad una certa distanza lo Spit Fix M8 «normale».  
Anche l'Hilti HSA M8 non è male, soprattutto in considerazione di quel suo elevato valore di  $F_r$  a estrazione.  
L'UPAT M8 non dà troppo affidamento per quella sua difficoltà nel serrare sufficientemente il dado (il tassello gira a vuoto nel foro).
- h) I «fix» con diametro da 6 mm hanno un capofila nell'UPAT M6 lungo 70 mm. Ma se si deve realizzare un foro di 75 mm di profondità tanto vale utilizzare un Fix da 8 mm di diametro, con risultati decisamente più «tranquilli».  
Detto questo, rimane evidente che lo Spit Fix M6 inox è il miglior tassello per chi voglia salire molto rapidamente in alto «ballando sulle punte» (non sono ammessi errori e ogni tanto ricordarsi di far passar la corda di sicura su qualcosa di più solido).

## QUESTIONI PER IL FUTURO

In chiusura di questo capitolo prendiamo in esame una questione che si impone sempre più pressantemente: gli Spit Roc saranno sostituiti dagli Spit Fix? Andremo in grotta a spittare o a fixare? Che materiale, che regole si dovranno adottare andando in una grotta già armata con Fix? Se i Fix prendono piede nell'armo normale, quali accorgimenti si dovrebbero adottare per mantenerli funzionanti nel susseguirsi di armi e disarmi?

Non è facile dare delle risposte a tali quesiti; ancora è troppo breve la vita dei Fix, troppe poche esperienze sistematiche sono state fatte. Il tempo si prenderà la cura di sciogliere le incognite e suggerire comportamenti corretti per superare l'apparente non affidabilità nell'uso ripetuto di armi con Fix.

Per ora la CTM prende atto della situazione e non dà alcuna risposta. O meglio una ne dà: dal punto di vista della tenuta gli Spit Fix inox possono anche sostituire gli Spit Roc, ma il problema è se i Fix possono essere ritenuti tanto affidabili quanto i Roc.

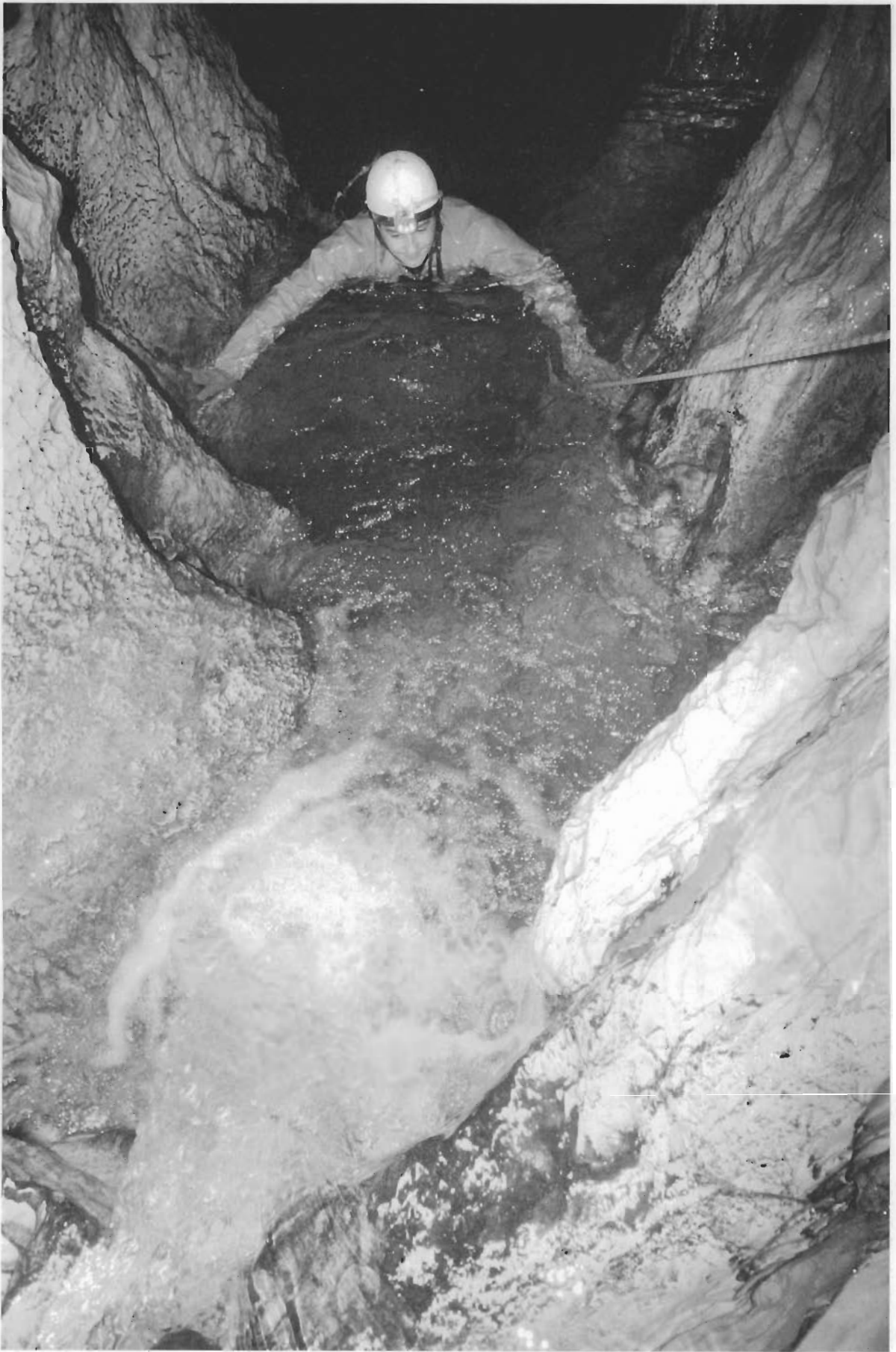
La CTM può anche dare un suggerimento, basato su considerazioni puramente aprioristiche: se pensate di dover riutilizzare l'armo più volte, lasciate preferenzialmente i Fix con la placchetta (o l'anello) inserita e il dado serrato al massimo; se questo non è possibile, dopo aver tolto l'attacco, riavvitate il dado nella testa filettata del tassello e serrate senza forzare troppo.

Questo modo di operare è dettato dalla constatazione che in alcuni casi il Fix ha perso gran parte della sua tenuta, soprattutto a estrazione, quando il foro è stato accidentalmente ampliato con manovre non proprie. Sono sufficienti pochi decimi di millimetri di diametro in più. E per produrre una modifica di così lieve entità basta molto poco, soprattutto quando il tassello viene lasciato libero di muoversi nel foro dove è alloggiato.

Si tengano anche presenti i danni che possono essere apportati, anche inavvertitamente, alla filettatura del Fix se non viene adeguatamente protetta.







## CAPITOLO TERZO

# *BULLONI*

I bulloni utilizzati nei tasselli Spit Roc MF8 sono in acciaio 8.8. Essi costituiscono un elemento fondamentale nella catena di progressione e di sicurezza. Necessitano quindi di una approfondita ricerca per valutare le loro caratteristiche al variare di certi parametri.

### **INDICAZIONI GENERALI**

È noto innanzitutto il fatto, più volte menzionato e misurato, che la tenuta a taglio di un bullone (o di una barra filettata) diminuisce se si crea un momento flettente in conseguenza di un braccio di leva. Tanto maggiore è il braccio, a parità di ogni altra condizione, tanto più netta è la flessione e la conseguente riduzione di  $F_r$ .

Comunque non ritorneremo su questo argomento e rimandiamo a quanto già evidenziato in paragrafi precedenti.

Indirettamente, anche il problema del giusto dimensionamento della lunghezza del bullone porta a collegamenti con il più o meno intenso momento flettente. Infatti se il bullone è troppo lungo e la placchetta non aderisce alla parete rocciosa si può determinare un momento flettente nel bullone stesso e quindi la sua rottura a valori di forza molto bassi.

Per contro se il bullone è corto si può verificare un abbassamento del suo carico di tenuta, con ogni tipo di sollecitazione, per una insufficiente estensione della superficie di contrasto nella filettatura. A tal proposito c'è una regola da rispettare per ottenere la massima tenuta possibile dal sistema bullone-sede filettata: il bullone deve essere immerso nella sede filettata per una profondità almeno pari al diametro effettivo del bullone stesso. Nel caso dei bulloni utilizzati per gli Spit Roc MF8 il diametro effettivo (quindi misurando a partire dal fondo della filettatura) è di circa 6,5 mm. Dunque la maggiore tenuta si ottiene avvitando il bullone per almeno cinque giri completi.

A seconda che si utilizzi una placchetta o un anello il bullone varia di lunghezza. Nel primo caso si abbinano bulloni con gambo filettato di 15 mm che permettono di introdurre il bullone nel foro per 10 mm e fanno aderire la placchetta alla superficie della parete. Se il foro non fosse perfettamente agibile (sporchie varie, filettatura del tassello danneggiata, parete non pianeggiante) ci sono sempre 3 mm di tolleranza, ma è necessario porre attenzione a far aderire comunque la placchetta alla roccia (per esempio con delle rondelle) per evitare momenti flettenti. Comunque la cosa non è tanto grave se si gioca su differenze di uno o due millimetri.

Operando con anelli i bulloni devono avere un gambo filettato lungo 20 mm. In questo

caso infatti lo spessore dell'attacco è maggiore di 5 mm rispetto alla placchetta. Anche qui valgono le considerazioni fatte sulle placchette, ma, in più, bisogna tener presente che l'anello ha una truttura studiata per trazioni non a taglio. Difatti il suo maggior rendimento si ottiene a estrazione o perlomeno in situazioni che riescano a ridurre il braccio di leva.

Esistono in commercio bulloni in acciaio 12.9 (qualità superiore all'8.8). Ma questi bulloni, molto difficili da trovare, conferiscono agli attacchi con Roc un modesto incremento di tenuta a taglio (circa 250 Kgp) e nessun aumento a estrazione. Pertanto la spesa non vale l'impresa e conviene sicuramente utilizzare i classici bulloni 8.8.

Bulloni a testa esagonale o a brugola? Il tempo si è preoccupato di risolvere il problema: nella stragrande maggioranza dei casi si utilizzano i bulloni a testa esagonale. Perché? Risposta: nessun motivo tecnico, solo una questione di costume guidata soprattutto da alcune case costruttrici che hanno immesso nel mercato placchette e anelli già dotati di bullone a testa esagonale (probabilmente perché costano meno). Beh, anche noi speleo dovremo essere condizionati in qualche cosa dal mercato?! Con ciò ci sentiamo sicuramente più moderni e europei.

## **BULLONI E COPPIA DI SERRAGGIO**

Per diversi anni quasi tutti gli speleologi italiani hanno saputo che non si dovevano stringere troppo i bulloni degli ancoraggi. Questo perché, si diceva, ciò che viene dato come tensione di avvitarmento si sottrae alla tenuta complessiva del bullone, tanto a taglio quanto a estrazione; lo dimostra il fatto che, continuando a stringere, il bullone prima o poi cede.

Per mettere in evidenza questo effetto, che ha le sue più che giustificate radici teoriche, è stata realizzata un'esperienza utilizzando come piano d'appoggio dell'attacco (placchetta o anello) una lastra d'acciaio inox con al centro un foro passante di 8 mm di diametro. Il tutto è stato reso solidale al banco dinamometrico per realizzare un insieme di prove di rottura del bullone in funzione della coppia di serraggio  $C_s$  (espressa in Kgm).

### **Condizioni sperimentali:**

Bulloni 8.8

Superficie d'appoggio di acciaio inox con foro passante  $\varnothing$  8 mm

Placchetta Coeur Petzl a taglio

Anello acciaio inox a estrazione

Velocità di trazione 250 mm/minuto.

I risultati sono nella tabella 18.

La rottura è sempre avvenuta per il cedimento della sezione trasversale posta immediatamente sotto la testa del bullone (nella parte non filettata).

TAB. 18

$C_s$	$F_r$ TAGLIO	$F_r$ ESTRAZIONE
0	3014	3333
1	2947	3300
2	2895	3358
3	2820	3279
4	2809	3256
5	2734	3193
6	2710	3011
7	2713	2956
8	ROTTURA BULLONE	ROTTURA BULLONE

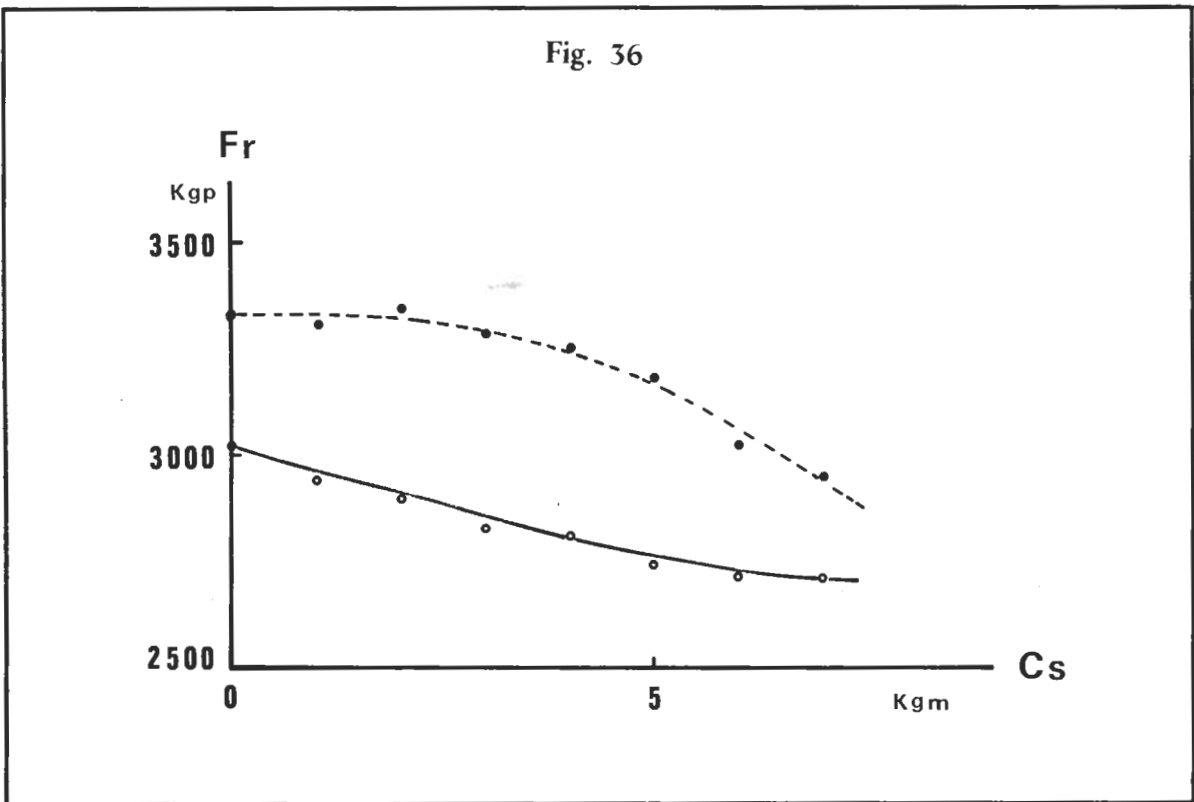
I dati ricavati sono meglio evidenti nel grafico di fig. 36.

A *taglio* (linea continua) è evidente la diminuzione di  $F_r$  con l'aumento di  $C_s$ , ma in modo abbastanza contenuto (nel complesso circa 300 Kgp che rappresentano il 10% del valore massimo registrato).

A *estrazione* (linea tratteggiata) si nota un andamento diverso ma pur sempre tale da ridurre la  $F_r$  con l'aumento di  $C_s$ . Nel complesso si ha un decremento di circa 350 Kgp che rappresenta sempre il 10% del valore massimo registrato.

A conclusione di questa serie di prove, non avendo questo nostro lavoro lo scopo di riportare trattazioni teoriche già note (l'argomento è definito con ampiezza e rigosità in moltissimi testi, per esempio vedi bibliografia n. 5), ci è sufficiente constatare che i risultati sperimentali sono coerenti con la teoria.

Fig. 36



Come indicazione finale, a carattere puramente operativo, si può affermare che il serraggio dei bulloni, nei limiti delle possibilità date dalle chiavi utilizzate in grotta, ha un'influenza del tutto trascurabile sulla tenuta del bullone stesso. Bisogna raggiungere coppie di serraggio superiori ai 4 Kgm per produrre una diminuzione significativa nel carico di rottura e con le attrezzature tipiche dell'armo speleologico la cosa presenta notevoli difficoltà. Quindi il consiglio è di stringere i bulloni o i dadi con la dovuta decisione, ma senza strafare. Si ricordi che i Fix richiedono coppie di serraggio non inferiori a 2 Kgm.

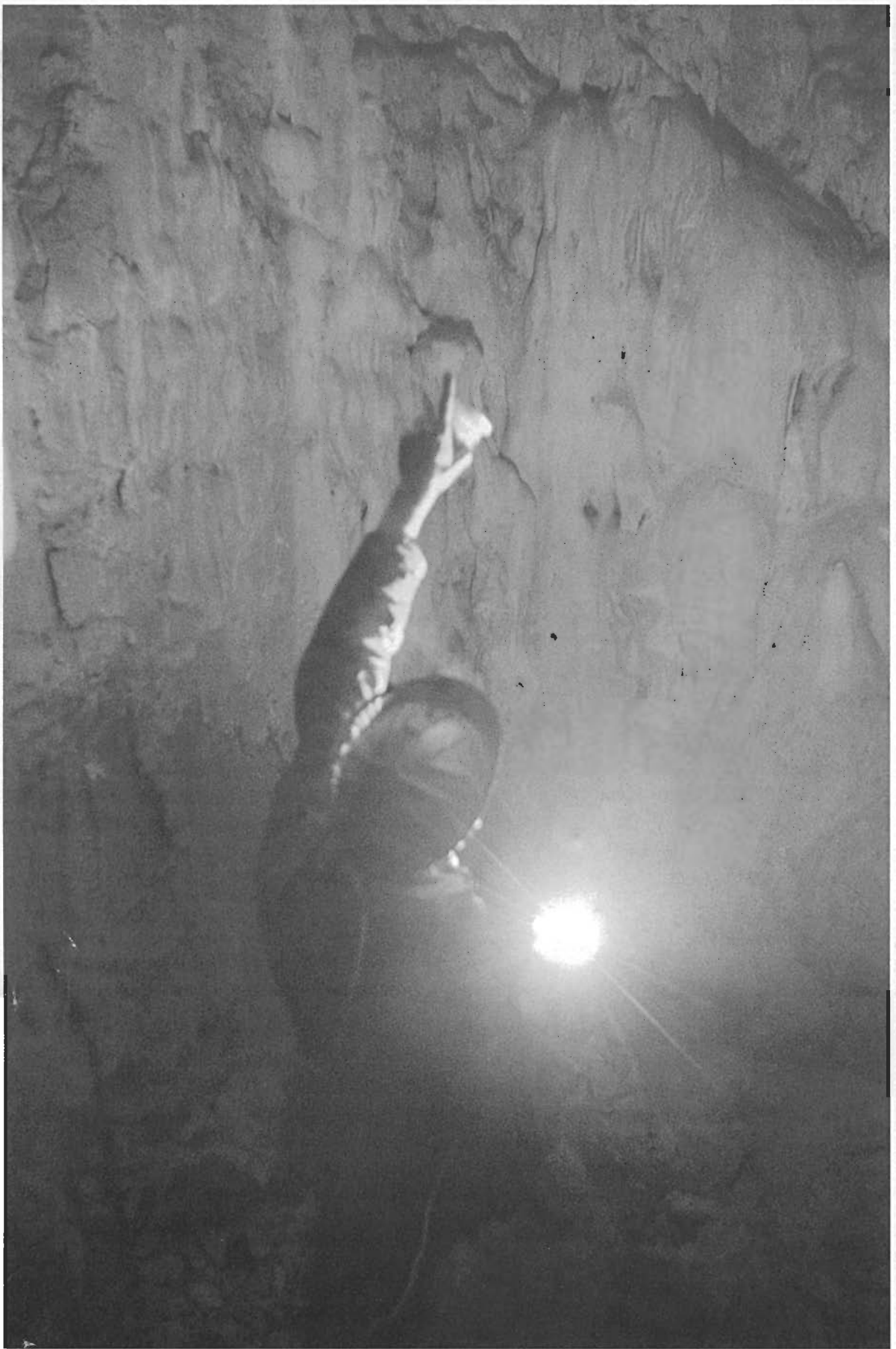


100

1

1

1



## CAPITOLO QUARTO

# PLACCHETTE E ANELLI

## INTRODUZIONE

Anelli e placchette, di varia forma e di diverso materiale, sono elementi fondamentali della catena di sicurezza (e di progressione). Su questi attrezzi non esiste solo un problema di pura e semplice resistenza strutturale ma anche una questione di utilizzo appropriato. *Difatti la tenuta del sistema «roccia-tassello-bullone-attacco» dipende dalla geometria assunta dall'insieme di questi elementi rispetto alla direzione e al senso della forza di trazione.*

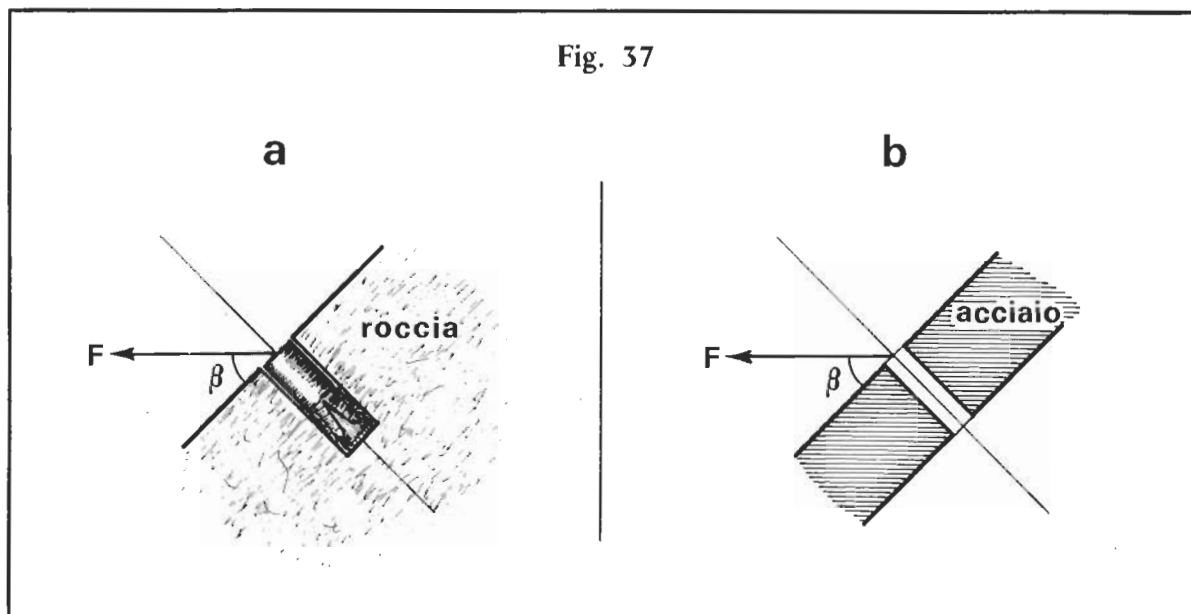
Per mettere in evidenza il variare di  $F_T$  nei diversi sistemi di attacco sono state realizzate tre serie di test.

Nella prima si è utilizzato per appoggio una lastra di acciaio inox con al centro un foro passante non filettato di 8 mm di diametro.

Nella **seconda** serie il piano d'appoggio era la superficie rocciosa di un blocchetto di Marmo Bianco Carrara con infisso, nelle migliori condizioni di posa, uno Spit Roc MF8.

Nella **terza** e ultima serie di prove si è operato sempre su una superficie di Marmo Bianco Carrara ma con infisso, nel miglior modo possibile, uno Spit Fix M8.

In tutti i casi l'angolo  $\beta$  fra la superficie d'appoggio e la forza di trazione  $F$  (fig. 37) è stato fatto variare fra  $0^\circ$  (taglio) e  $90^\circ$  (estrazione).



Questa impostazione della ricerca è una conseguenza della constatazione che nella realtà operativa ben difficilmente gli attacchi lavorano in modo «puro». Il più delle volte invece si verificano trazioni con componenti tanto a taglio quanto a estrazione.

## ANCORAGGI SU PIASTRA D'ACCIAIO

In commercio esistono molti tipi di attacchi (anelli e placchette) di varia forma e di diversi materiali.

Per ognuno di essi, in qualche modo conosciuto dalla CTM, è stata misurata la  $F_T$  in funzione dell'angolo  $\beta$ , al quale sono stati dati i seguenti valori:  $0^\circ$ - $10^\circ$ - $20^\circ$ - $30^\circ$ - $45^\circ$ - $90^\circ$ .

Nella foto 5 è mostrato il dispositivo impiegato nelle prove.

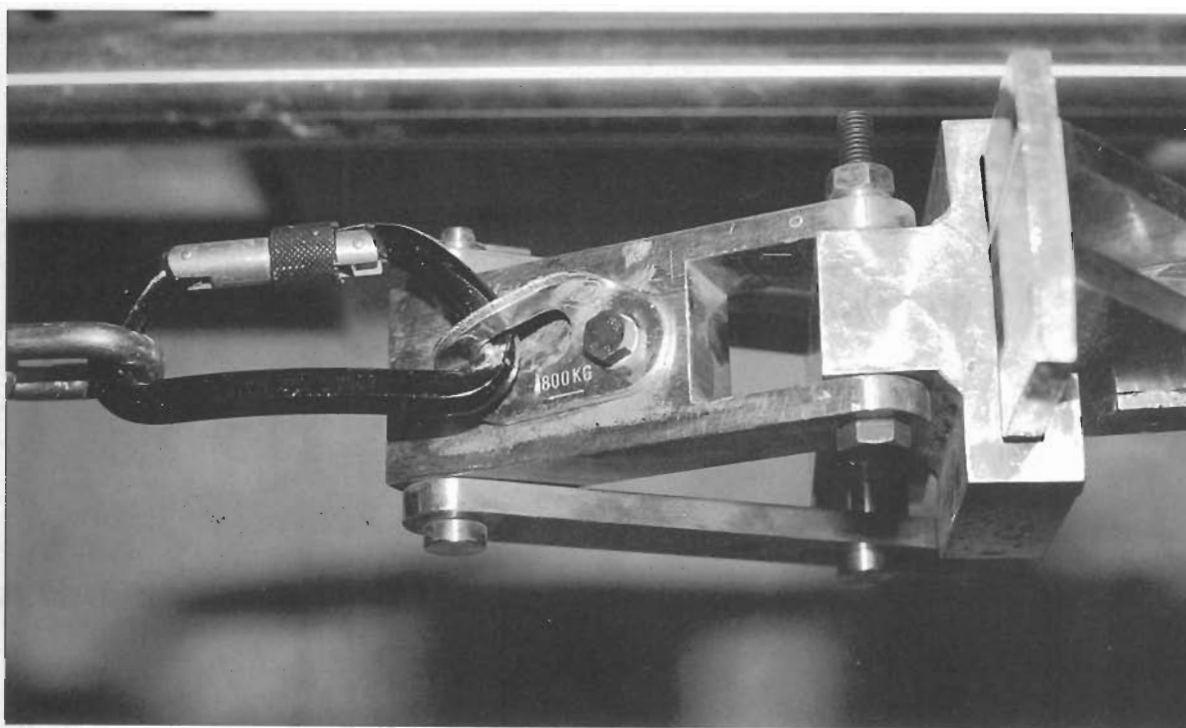


Foto 5

### Condizioni sperimentali:

Superficie d'appoggio su piastra di acciaio inox con foro passante non filettato  $\varnothing$  8 mm (fig. 37 b)

Bullone 8.8

Velocità di trazione 250 mm/minuto

Gli ancoraggi presi in esame sono contenuti nella foto 6 (tranne la placchetta ritorta al tungsteno, quella ricavata dal profilato a T in acciaio dolce, quella ritorta in lega leggera della Kong Bonaiti e il CAT della TSA, nonché la Coeur Petzl e l'Anello Simmetrico G.S. CAI P'G già rappresentati nelle foto 2 e 3).



Foto 6.a



Foto 6.b



Foto 6.c



Foto 6.d



Foto 6.e



Foto 6.f



Foto 6.g



Foto 6.h



Foto 6.i

Foto 6 — Vari tipi di ancoraggio presi in esame: *a)* placchetta lega ritorta Petzl nuovo modello; *b)* placchetta lega ritorta Camp; *c)* placchetta lega ritorta Petzl vecchio modello; *d)* placchetta acciaio ritorta Camp; *e)* placchetta lega coudée Petzl nuovo modello; *f)* placchetta lega coudée Camp; *g)* placchetta lega piegata Petzl vecchio modello; *h)* anello simmetrico Camp; *i)* lega Clown Petzl.

## RISULTATI

Le prove hanno fornito i valori riportati (in Kgp) nella tabella che segue.

TAB. 19

TIPO DI ANCORAGGIO	0°	10°	20°	30°	45°	90°
Placchette Petzl Lega: Ritorta vecchio mod.	1545	1520	1561	1503	1478	310
Piegata vecchio mod.	1778	1846	1965	1530	1250	677
Clown	2600	2597	2663	2623	2587	1307
Ritorta nuovo mod.	1814	1755	1708	1725	1663	1156
Coudée nuovo mod.	1572	1648	1864	1730	1611	1230
Placchetta couer petzl acciaio	3175*	3027*	2928	2910	2973	2934
Anello asimmetrico petzl	2345	2400	2482	2640	2709	2780
Placchetta lega camp: Ritorta	1756	1768	1869	1806	1560	729
Coudée	1810	1872	1905	1991	1771	652
Placchetta ritorta Camp acciaio	1862	1999	2517	2858	2600	2088*
Anello asimmetrico Camp	2260*	2158*	2134*	2104*	2147*	3301*
Placchetta ritorta Kong lega	2352					
Anello simmetrico G.S.CAI PG	2719*	2758*	2897*	3161*	3329*	3375*
Placchetta ritorta tungsteno	1486					
Placchetta a T acciaio	2212*					
Bullone + cordino CAT TSA	1158	1253	1309	1340	1468	497

## Note

- 1) In tutti i test la rottura è avvenuta nel foro dove era inserito il moschettone di trazione (questo vale anche per gli anelli).  
Fanno eccezione i valori asteriscati che si riferiscono a quei casi dove invece si è verificata la rottura del bullone.
- 2) Le placchette Camp in lega (ritorte e coudée), per  $\beta=90^\circ$ , si sono rotte in corrispondenza del foro del bullone.
- 3) Con anello asimmetrico Petzl, per  $\beta=90^\circ$ , si è avuta una rottura a 2245 Kgp a seguito del cedimento della saldatura. Questo valore, evidentemente anomalo, non è stato preso in considerazione.
- 4) Di alcuni modelli di ancoraggio non è stato possibile reperire un numero sufficiente di campioni (almeno 20 esemplari per tipo). In tal caso ci si è limitati a valutare la  $F_r$  per  $\beta=0^\circ$ .
- 5) Le placchette Petzl ritorte e piegate, modello vecchio, sono state acquistate nel 1980. Il loro uso è stato intenso e continuativo.
- 6) La placchetta ritorta in acciaio al tungsteno era costituita da un lamierino dello spessore di 2,3 mm.
- 7) La placchetta ricavata da un profilato a T in acciaio aveva uno spessore di 5 mm ed era molto vecchia (circa 15 anni) e lasciata per molti mesi in grotta.
- 8) La placchetta Camp ritorta in acciaio era costituita da un lamierino piegato e tranciato dello spessore di 3,0 mm.
- 9) L'anello G.S. CAI PG è costituito da un tondino in acciaio inox del diametro di 7 mm.
- 10) L'attacco TSA Bullone+cordino (Cat) era costituito da un anello di corda nylon del diametro di 8 mm chiuso con nodo inglese ricoperto da una guaina protettiva di plastica.

## **ROTTURA A FATICA**

Prima di passare al confronto fra risultati è assolutamente necessario fare alcune precisazioni. Le prove effettuate valutano solamente la resistenza alla trazione nel dinamometro da banco. Si raggiunge come unico risultato la forza necessaria per provocare la rottura dei vari attacchi. Sia chiaro quindi che non si tiene conto della resistenza a fatica (capacità di sopportare delle deformazioni periodiche per ripetute ritmiche sollecitazioni, anche di piccola entità).

Invece è necessario tener presente questo secondo tipo di resistenza nel caso di placchette in lega leggera, le quali sono particolarmente soggette a perdere coesione lungo ben precise linee di piegamento per effetto di ripetute flessioni (ciò accade, per esempio, nella fase di risalita su corda con il ritmico «pedalare»).

Pertanto non ci si lasci ingannare da certi «buoni» risultati con placchette in lega trazionate quasi a estrazione: quei valori si riferiscono ad un'unica sollecitazione applicata sull'ancoraggio nuovo, mai trazionato in precedenza. Se si ripetesse l'esperienza dopo aver più volte piegato la placchetta, anche per effetto di una modesta sollecitazione, il carico di rottura risulterebbe sicuramente più basso. E tanto più è elevato il numero delle deformazioni e maggiore la loro ampiezza, tanto più bassa risulterà  $F_r$ .

Può anche verificarsi che sotto la blanda azione di una ennesima piegatura si arrivi perfino alla totale rottura.

La CTM non ha eseguito alcuna prova in tal senso perché troppo impegnative finanziariamente e tecnicamente. Ma il futuro dei test sui materiali speleologici è proprio in questa

direzione visto che in grotta la catena di sicurezza è anche quella di progressione, con le conseguenze che si possono immaginare.

Quanto detto, ovviamente, non vale per gli ancoraggi di sicurezza, non sollecitati durante la normale progressione.

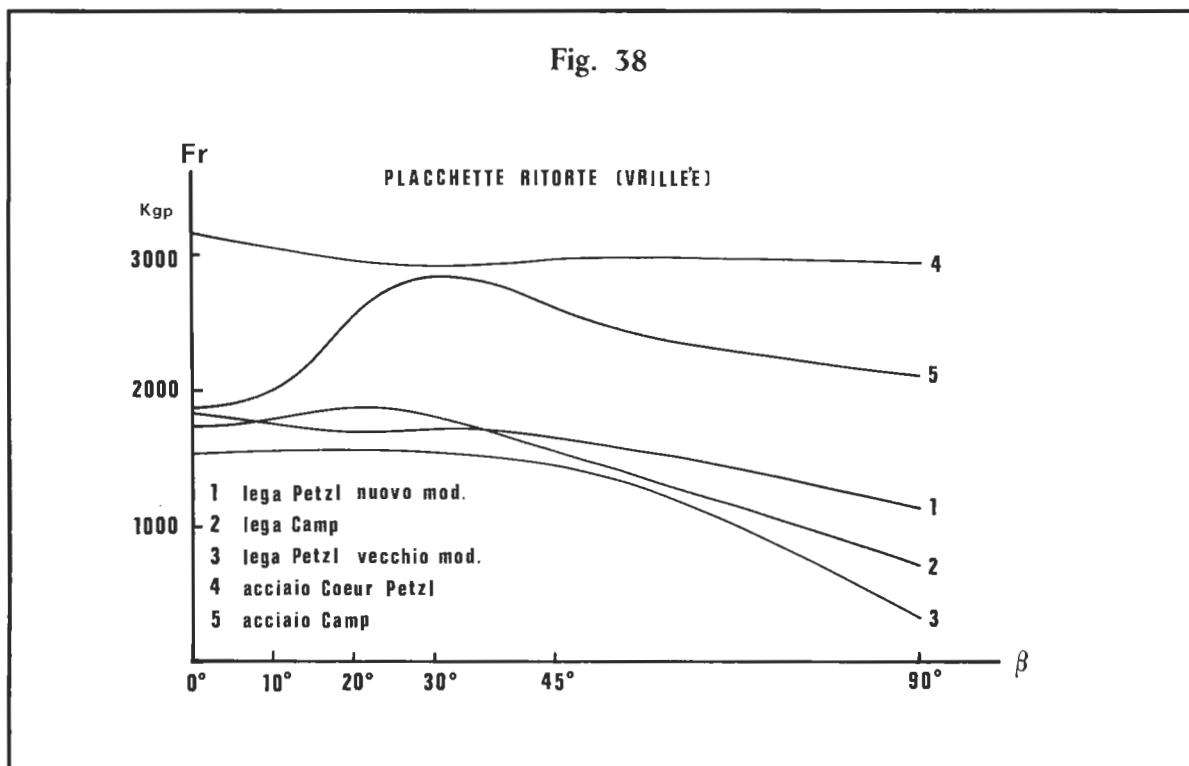
L'usura a fatica, quando le sollecitazioni ritmiche sono quelle tipiche della progressione su corda, ha una incidenza trascurabile nel caso di attrezzi in acciaio.

Un'ultima precisazione è indispensabile: occorre ricordare che i risultanti si riferiscono a prove su piastra d'acciaio, cioè nelle migliori condizioni possibili.

Per avere dati più realistici occorrerà far riferimento anche ai risultati dei test riportati nel proseguo di questo capitolo, dove sono esaminate situazioni più vicine alla pratica della progressione in grotta (appoggio su parete rocciosa con tassello).

### CONFRONTO GRAFICO

a) Le tre placchette in lega ritorte (vrillée) hanno un comportamento fra loro uguale (fig. 38), anche nel caso della vecchia piastrina Petzl elicoidale.



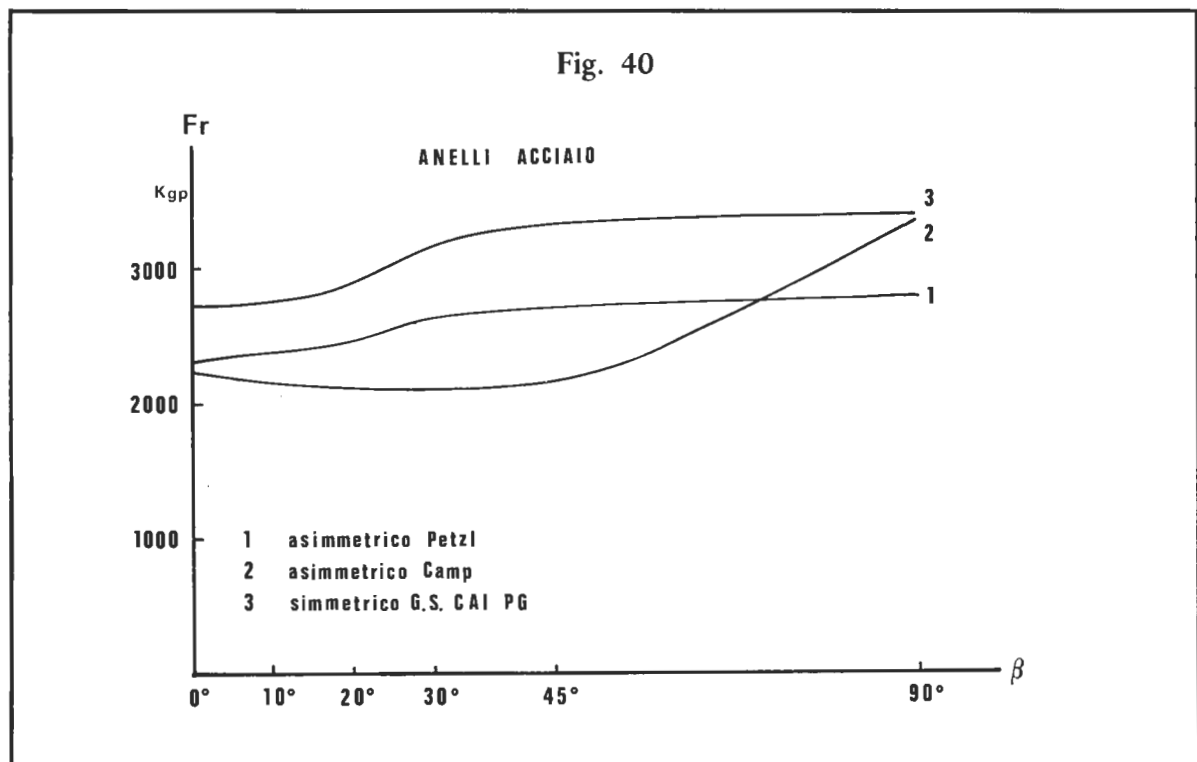
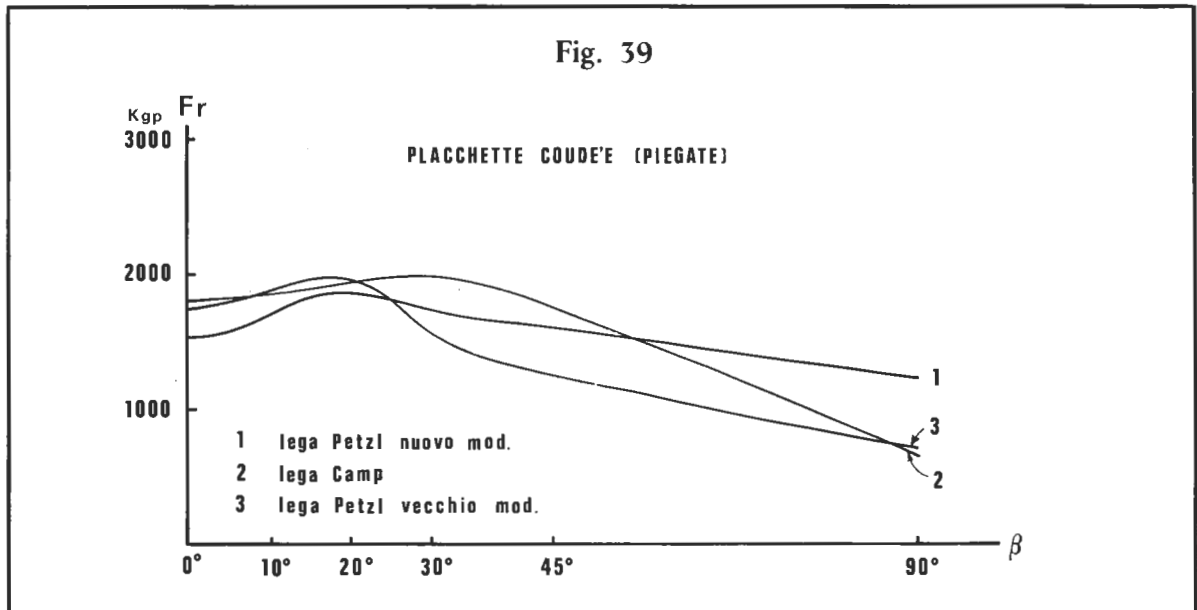
La loro tenuta è nei limiti di sicurezza fino ad angoli di 30°; oltre la resistenza decade rapidamente, specie per la vrillée vecchio modello. Sono strumenti per lavorare a taglio; a estrazione perdono gran parte della loro tenuta e diventano veramente pericolosi (la casistica parla chiaro!).

b) Le placchette ritorte in acciaio danno sfoggio di un alto grado di resistenza, specie la Coeur Petzl. Si noti l'andamento della curva relativa alla placchetta in acciaio della Camp: cresce fino a raggiungere un massimo di corrispondenza di 30°, per poi decrescere lentamen-



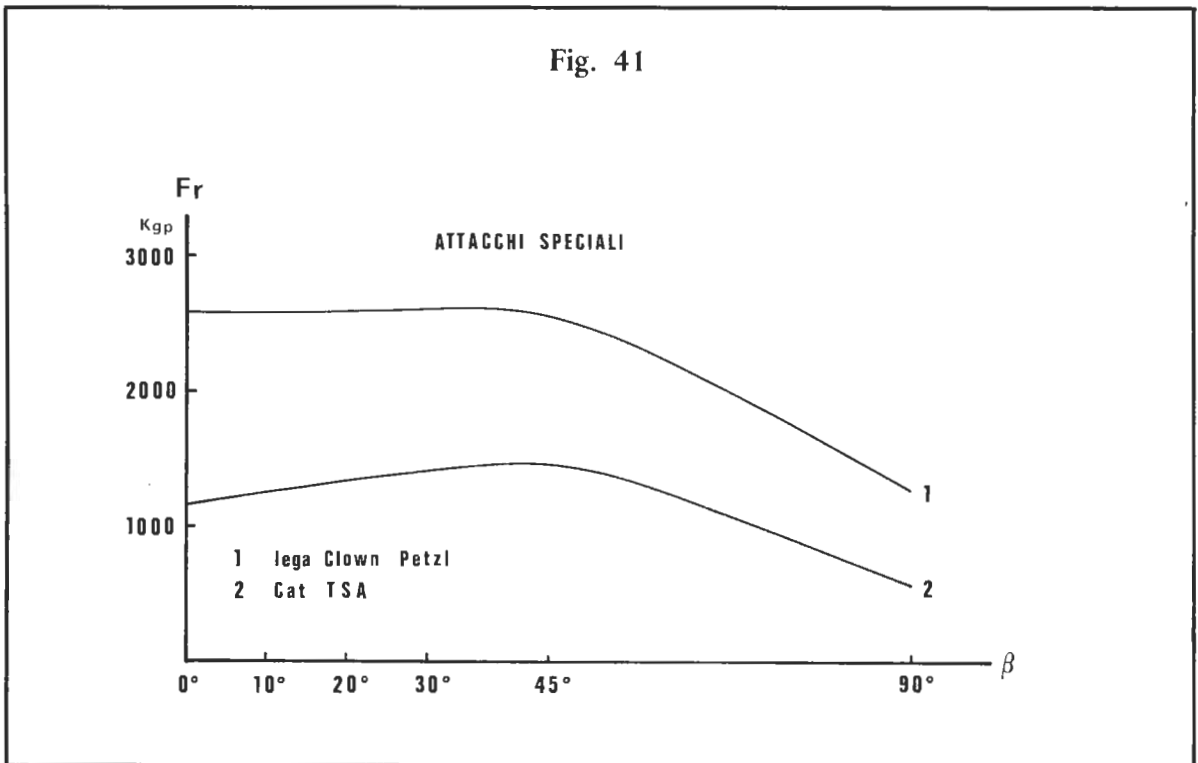
te. Questo fenomeno è riscontrabile anche in altri tipi di ancoraggio, come, ad esempio, in quelli riportati in fig. 39.

c) Anche le tre placchette coudée, tutte in lega leggera, hanno un comportamento fra loro simile (fig. 39): dopo aver raggiunto un massimo intorno ai 20°-30°, decrescono rapidamente fino a valori di  $F_r$  intorno ai 600 Kgp. Troppo poco! Quindi attenzione alla direzione di trazione.



d) Gli anelli in acciaio (fig. 40) sono ancoraggi ad alta e costante resistenza. Sotto ogni angolazione hanno delle  $F_r$  mai inferiori ai 2000 Kgp. Consigliabili decisamente!

e) I Clown hanno dimostrato (fig. 41) una capacità di tenuta impreveduta, mai inferiore ai 2500 Kgp fino a 45° di angolazione. Anche a estrazione mantengono una certa resistenza (circa 1300 Kgp). Nell'insieme sono dei buoni ancoraggi, che hanno anche il pregio di far risparmiare moschettoni.



f) L'ancoraggio Cat (bullone + anello di cordino) della TSA (fig. 41) è da prendere per quello che è: poco resistente (se non addirittura pericoloso) e di scarsa praticità (crea qualche difficoltà nell'inserimento del moschettone della longe).

g) Facendo riferimento alle curve di fig. 40 e a quella della Coeur di fig. 38, risalta un fatto di un certo interesse. Ancoraggi estremamente rigidi come l'anello asimmetrico Camp (non si è minimamente deformato neanche con trazioni superiori ai 3000 Kgp) non permettono al sistema «superficie d'appoggio-bullone-ancoraggio» di adattarsi in una geometria complessiva tale da ridurre, per quanto possibile, la flessione del bullone. Con questi ancoraggi non si manifesta alcun aumento di  $F_r$  per angoli intorno ai 20°-30°, anzi si nota l'effetto opposto.

Invece con anelli asimmetrici Petzl, molto deformabili sotto trazione, l'adattamento del sistema avviene e la  $F_r$  aumenta in corrispondenza dell'intervallo 15°-40°.

Per l'anello simmetrico G.S. CAI PG vale un identico discorso. La placchetta Coeur Petzl potrebbe essere definita come un caso intermedio: la sua forma e scarsa duttilità non producono né aumenti né diminuzioni di resistenza. Forse le due cose si compensano.

## ANCORAGGI SU ROCCIA

Questo paragrafo è la continuazione logica di quanto elaborato con la sperimentazione su piastra d'acciaio al fine di avere ulteriori dati sul comportamento reale degli ancoraggi, leggermente falsato dalla «perfezione» dell'appoggio sinora utilizzato. Da una sintesi fra le due serie di risultati si potrà avere un più corretto dimensionamento del problema.

In questo caso non abbiamo preso in esame tutti i possibili ancoraggi, ma ci siamo limitati ad analizzare i due che emblematicamente rappresentano le categorie più in uso.

Per ancorare gli attacchi alla roccia sono stati impiegati sia i Roc che i Fix, tutti con diametro di 8 mm e messi in posa nelle migliori condizioni. I Fix non erano inox.

Sono stati rilevati i carichi di rottura ai seguenti valori di  $\beta$ : 0°-5°-10°-15°-20°-25°-30°-45°-70°-90° (fig. 37a).

**Condizioni sperimentali:**

Marmo Bianco Carrara

Bullone 8.8 (solo per Roc)

Velocità di trazione 250 mm/minuto.

### ***PLACCHETTA COEUR PETZL***

Nella tabella che segue sono riportate (in Kgp) le misure ottenute.

**TAB. 20**

<b>TIPO DI TASSELLO</b>	<b>0°</b>	<b>5°</b>	<b>10°</b>	<b>15°</b>	<b>20°</b>	<b>25°</b>	<b>30°</b>	<b>45°</b>	<b>70°</b>	<b>90°</b>
<b>Spit Roc MF8</b>	2250	2408	2543	2390	2320	2298	2306	2261	2209	2217
<b>Spit Fix M8</b>	1453	1562	1343	1140	1035	989	830	703	550	516

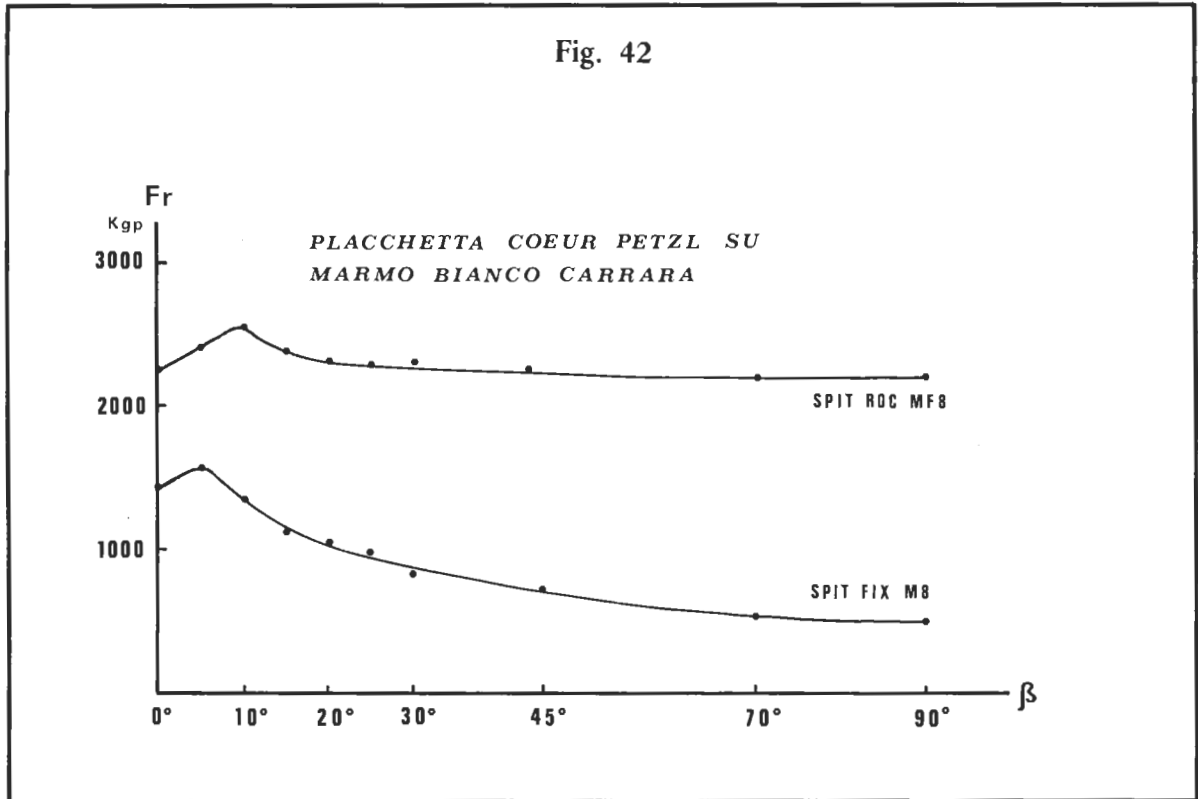
**Note**

- 1) I Roc hanno ceduto sempre con meccanismo n. 3 e i Fix con meccanismo a.
- 2) In fig. 42 sono riportati graficamente gli andamenti di  $F_r$  (linea continua Spit Roc e tratteggiata Spit Fix).

**Considerazioni**

- 1) Con i Roc la placchetta Coeur ha sempre una elevata resistenza, con il solito aumento intorno ai 10° (vedi anche fig. 26). La Coeur risulta ineccepibilmente un attacco molto affidabile con i Roc.
- 2) Con i Fix si riscontra una situazione diametralmente opposta: attenzione al posizionamento rispetto al senso di trazione, altrimenti si rischia grosso. La Coeur ha la migliore tenuta intorno ai 5° (motivazioni analoghe a quelle relative ai Roc ma con l'aggiunta di una maggiore flessibilità della barra filettata). *Immediatamente dopo la resistenza scende vertiginosamente.*

te fino a 516 Kgp, veramente poco. Evidentemente non c'è troppa compatibilità fra Fix e Coeur. L'insieme dei due è poco affidabile, specie nelle risalite in artificiale dove spesso si lavora con forte componente a estrazione.



### ANELLO ASIMMETRICO PETZL

I dati ricavati per questo ancoraggio sono indicati nel prospetto che segue.

**TAB. 21**

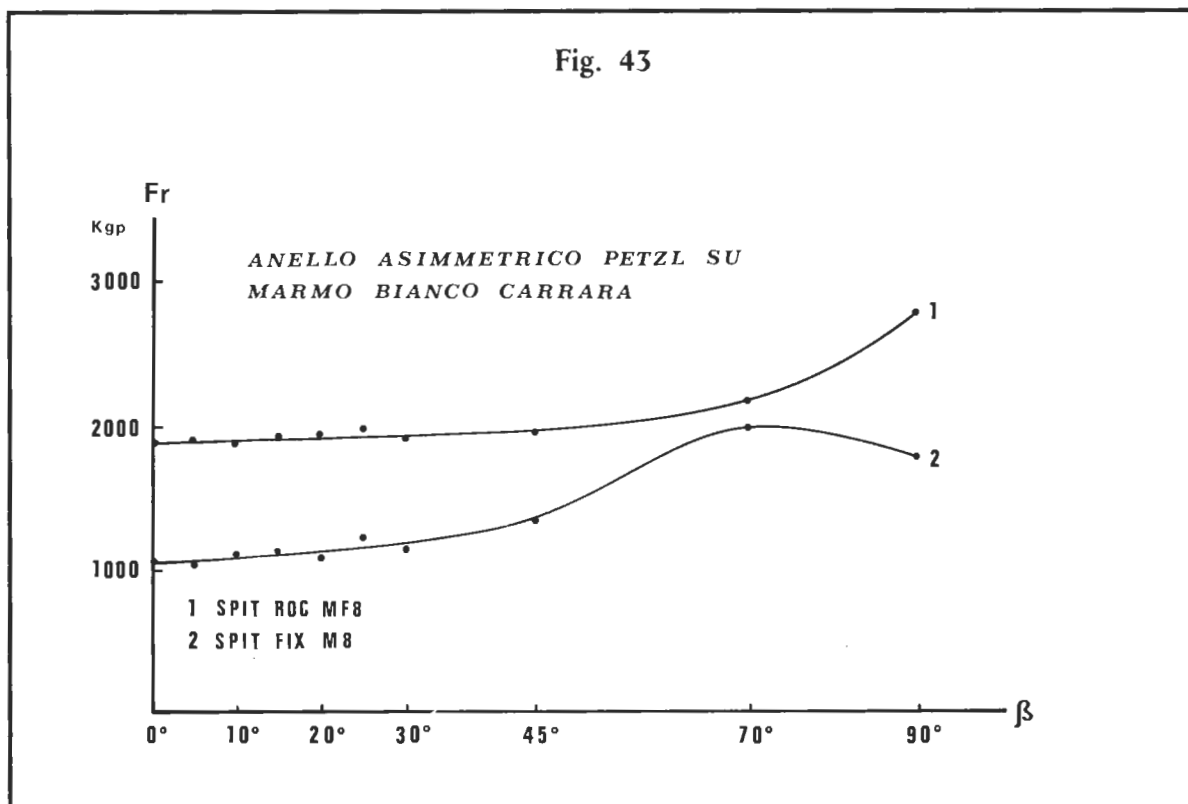
TIPO DI TASSELLO	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	45°	70°	90°
Spit Roc MF8	1882	1907	1871	1905	1941	1974	1918	1986	2168	2781*
Spit Fix M8	1052	1031	1101	1137	1089	1231	1143	1348	1997*	1793*

#### Note

1) Per i Roc, il valore 2781 asteriscato si riferisce al cedimento dell'anello. In tutti gli altri casi si è rotto il bullone.

2) Per i Fix, i valori 1997 e 1793, contrariamente agli altri che si riferiscono al cedimento a flessione della barra filettata, sono conseguenti all'estrazione del tassello, prima per scorrimento poi con blocco e asportazione di un cono di roccia (meccanismo f).

3) Nel grafico di fig. 43 è riportato il variare di  $F_r$  con l'angolo  $\beta$  (linea continua Spit Roc, linea tratteggiata Spit Fix).



### Considerazioni

1) L'insieme anello asimmetrico - Spit Roc è un ancoraggio ad alta resistenza (leggermente inferiore all'insieme Coeur - Roc). A 90° (estrazione) dà il meglio di se, raggiungendo un carico di rottura di quasi 2800 Kgp (la differenza dal dato di 3101 Kgp, ricavato in precedenza in una serie di analoghe esperienze, è dovuta al fatto che allora sono stati utilizzati anelli simmetrici). È affidabile.

2) Con i Fix la questione è più delicata e bisogna fare attenzione. Vista la non troppo elevata qualità dell'acciaio che costituisce questo tipo di tassello, si ottiene facilmente la rottura della barra filettata, specie se sottoposta a flessione (come già visto più volte in precedenza). A conferma di ciò si rileva che con angoli  $\beta$  compresi fra 0° a 45°, con momento flettente di una certa entità, il carico di rottura si abbassa fino a 1000 Kgp. Occorre superare i 60° per eliminare significativamente la flessione e ottenere carichi di rottura superiori ai 1500 Kgp.

## CONCLUSIONI

Risalta in modo nettissimo che i risultati su piastra d'acciaio hanno un valore di confronto, ma che non rispecchiano le reali caratteristiche di tenuta su roccia e tasselli.

Con la *placchetta Coeur* si possono puntualizzare le seguenti considerazioni:

a) la tenuta su roccia + Roc si abbassa, rispetto alla piastra d'acciaio, del 30% circa (da

3000 Kgp a 2100 Kgp), con una certa costanza del fenomeno lungo tutto l'arco delle angolazioni (è un modesta eccezione un picco intorno ai 10°).

- b) l'analogo abbassamento di resistenza su Fix è molto più marcato: per angoli superiori ai 20° è in media del 78% (da 3000 Kgp a 650 Kgp), mentre per valori compresi fra 0° e 20° è del 60%.

Con *anello asimmetrico Petzl* emergono altri significativi fatti, più rassicuranti dei precedenti:

- a) il sistema roccia-Roc ha una tenuta del 20% inferiore (da 2600 Kgp a 2100 Kgp) rispetto alla piastra d'acciaio; a estrazione i due ancoraggi danno lo stesso elevatissimo risultato;
- b) stessa cosa con il sistema roccia-Fix: il decremento è del 54% (da 2600 Kgp a 1200 Kgp) nell'intervallo 0°-45° e del 30% con angolazioni superiori ai 45° (da 2600 Kgp a 1800 Kgp); intorno ai 70° si ha una tranquillizzante situazione di picco.

Dopo queste ultime informazioni, tenendo presente quanto accaduto ai vari tipi di ancoraggio su piastra d'acciaio (carichi di rottura e modalità di rottura), integrando i diversi risultati anche attraverso opportune interpolazioni, è possibile esprimere una serie di giudizi su tutti gli attacchi presi in esame, anche in relazione alla loro tenuta su Spit Roc MF8 e Spit Fix M8. Le conclusioni tratte vengono riportate qui di seguito.

- a) Placchetta lega Petzl ritorta (vrillée) nuovo modello — Con Roc la tenuta è buona (circa 1700 Kgp) in quasi tutto l'arco delle angolazioni. Perfino a estrazione si hanno valori superiori ai 1100 Kgp.  
Con Fix il discorso cambia: questo ancoraggio deve essere tassativamente utilizzato solo a taglio.
- b) Placchetta lega Camp ritorta — Stesse conclusioni del caso precedente ma con una ancora più drastica esclusione del lavoro a estrazione.
- c) Placchetta lega Petzl ritorta vecchio modello (elicoidale) — Nonostante la vecchiaia ha un comportamento del tutto analogo ai due precedenti ancoraggi, sia pur con il 12% in meno di tenuta, in media per tutto l'arco delle angolazioni.
- d) Placchetta acciaio Coeur Petzl — Tranquilla, sicura e sempre affidabile con Roc, lungo tutto l'arco delle angolazioni di trazione. Non altrettanto si può dire con Fix, dove può essere utilizzata solo nel ristretto intervallo 0°-10° (taglio). Per valori di  $\beta$  superiori ai 10° si mette a repentaglio la sicurezza.
- e) Placchetta acciaio Camp ritorta — Nell'insieme una tenuta sicura e affidabile, con Roc sempre superiore ai 2100 Kgp.  
Con Fix risalta ancora la pericolosità di sottoporre l'ancoraggio ad un lavoro ad estrazione.
- f) Placchetta lega Petzl coudée nuovo modello — Con Roc l'attrezzo è affidabile e sicuro. Perfino a estrazione ha una sufficiente tenuta.  
Con Fix la situazione è, al solito, molto diversa: occhio perché oltre i 20° di angolazione l'ancoraggio diventa pericoloso.
- g) Placchetta lega Petzl piegata vecchio modello — Con Roc, nell'arco 0°-45°, ha una resistenza di poco inferiore ai 1200 Kgp. Non è un gran dato ma è pur sempre sufficiente. Con Fix la situazione è analoga a quella riscontrata con l'ancoraggio trattato nel punto precedente, ma con in più una maggiore tendenza a diminuire il carico di rottura sotto tutte le angolazioni.
- h) Placchetta lega Camp coudée — Con Roc ha un buon comportamento superiore a quello dei due attacchi precedenti se si escludono i valori relativi ad angolazioni di trazione superiori ai 50°. Con Fix, se si esce dal breve intervallo 0°-10°, la tenuta è fortemente compromessa.

- i) Anello asimmetrico Petzl — Su Roc nessun dubbio: l'attacco è sempre affidabile e tenace. Con Fix, pur non verificandosi il pericoloso drastico abbassamento di resistenza proprio delle Coeur, si produce comunque un decremento che porta il carico di rottura intorno ai livelli di guardia (circa 1000 Kgp). Questo è vero soprattutto per sollecitazioni a taglio, mentre a estrazione la situazione diviene più sicura. Tutto sottolinea, fra l'altro, come l'anello asimmetrico Petzl sia uno degli ancoraggi più propri nelle risalite in artificiale con Fix.
- l) Anello asimmetrico Camp — Si ottengono, tanto per i Roc quanto per i Fix, conclusioni del tutto analoghe a quelle tratte per l'anello asimmetrico Petzl.
- m) Anello simmetrico G.S. CAI PG inox — Vale quanto affermato per l'anello asimmetrico Petzl e Camp, con l'unica distinzione legata alla forma e al materiale dell'attrezzo. Infatti le curve relative a questo caso, se risultanti da una prova reale su Roc e Fix, dovrebbero mostrare un decremento significativo nell'intervallo 0°-70° dovuto appunto alla rigidità dell'anello e al più elevato (rispetto alla superficie d'appoggio) punto di applicazione della forza traente (maggior braccio di leva, maggior flessione, più netta diminuzione del carico di rottura). Con i Fix questa estrapolazione teorica ha ancor più valore.
- n) Placchetta lega Clown Petzl — Con Roc la curva su roccia può essere interpolata sulla base delle seguenti considerazioni. Data l'estrema duttilità del sistema verso la forza traente, tenuto conto che la rottura su piastra d'acciaio è sempre avvenuta per cedimento della placchetta nel foro del bullone, i valori di  $F_r$  per i due sistemi di appoggio (piastra d'acciaio e roccia-tassello) non possono essere molto diversi. Tuttavia è verosimile preventivare un abbassamento di  $F_r$  di circa 100 Kgp nell'intervallo 0°-45° a causa del probabile cedimento della roccia intorno ai 2300-2500 Kgp (c'è da mettere in conto anche un maggior braccio di leva rispetto alle placchette normali). Pertanto il Clown è un buon attacco, resistente e affidabile su ogni angolazione, anche se non bisogna dimenticare che un lavoro a estrazione potrebbe portare non tanto al cedimento dell'attacco quanto alla lesione della corda della gassa di ancoraggio, complici le ritmiche ripetute sollecitazioni proprie della progressione con discensore e bloccanti. Le prove fatte si riferiscono a gasse confezionate con corda Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm. Ipotizziamo che corde a minor diametro non producano grossi cambiamenti nella tenuta, a parte l'eventuale incidenza negativa dovuta all'abbassamento del carico di rottura per «effetto nodo» su una corda a diametro ridotto. Per spirito di inventario facciamo presente che il Clown non può essere usato con i Fix, a meno di non manomettere la struttura dell'ancoraggio (e non se ne vede il motivo).
- o) Bullone + anello di corda  $\varnothing$  8 mm Cat TSA — La curva di resistenza, tanto con Roc che con Fix è verosimilmente quella n. 2 di fig. 41. È dunque un attacco insicuro del quale non si sentirebbe la mancanza.

Da quest'esame, ancoraggio per ancoraggio, emerge una loro chiara collocazione in termini di resistenza e affidabilità, quindi di sicurezza. *Ma emerge anche, ancora una volta, la conclusione sulla poca affidabilità degli Spit Fix, i quali richiedono ancoraggi appositi per ogni diverso tipo di trazione.* Con questi tasselli non si deve sbagliare ancoraggio, pena una drastica riduzione del carico di rottura dell'insieme.

*Ancor più indirettamente, ma ampiamente giustificata, emerge un'altra chiara indicazione: se Spit Fix devono essere utilizzati che siano almeno Spit Fix inox.*

## ANCORAGGI USATI

È questa una nota aggiuntiva riportata più a titolo di curiosità che altro, anche se nessuno

disconosce il problema dell'invecchiamento dei materiali e la necessità di porre in essere, in futuro, delle sperimentazioni che diano qualche lume in più.

Si riportano i dati ricavati su anelli e placchette usati a lungo in grotta (Buco Bucone). La mancanza di altro materiale con datazione sicura ha impedito una ricerca più organica.

**Condizioni sperimentali:**

Superficie d'appoggio su piastra d'acciaio inox con foro passante non filettato  $\varnothing$  8 mm (fig. 37 b)

Bullone 8.8

$\beta = 0^\circ$

Velocità di trazione 250 mm/minuto

I risultati ottenuti (in Kgp) sono riportati nella tabella che segue, mettendoli a confronto con i relativi carichi di rottura degli ancoraggi nuovi (quando conosciuti).

**TAB. 22**

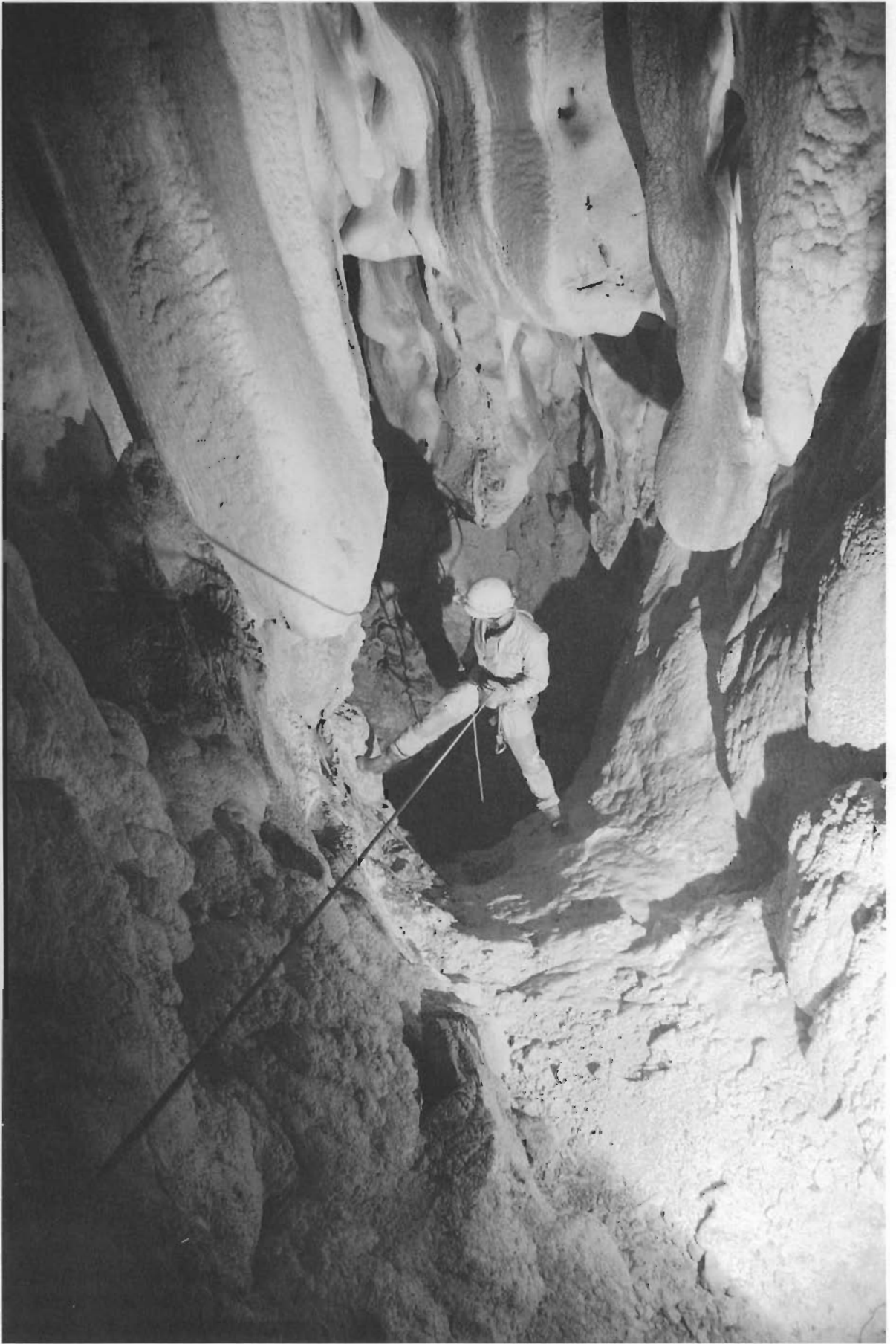
<b>TIPO DI ANCORAGGIO</b>	<b>ANNI DI PERMANENZA IN GROTTA</b>	<b>Fr USATO</b>	<b>Fr NUOVO</b>
Placchett lega Petzl ritorta vecchio modello	6	1476	1545
Placchetta lega Petzl piegata vecchio modello	6	1767	1778
Anello simmetrico Petzl	6	2532	—
Anello asimmetrico Petzl	4	2281	2345
Placchetta lega Clown Petzl	4	2593	2600

Il valore 2532 Kgp ottenuto per l'anello simmetrico Petzl è da affiancare in realtà ad un altro valore di 854 Kgp, che però è stato escluso in quanto ottenuto per rottura della saldatura dell'anello, verosimilmente una conseguenza di una improprietà originaria e non del decadimento per usura.



## **Conclusioni**

- 1) Un lungo periodo di uso e permanenza in grotta (molto frequentata) sembra che non determini alcuna variazione nei carichi di rottura, anche nel caso di attacchi in lega leggera.
- 2) Sembra ugualmente evidente che in caso di ancoraggi ben posizionati, che limitano al massimo l'usura a fatica, il carico di rottura di placchette a anelli rimane inalterato nel tempo.
- 3) Evidentemente la ditta produttrice degli ancoraggi in esame ha mantenuto inalterate le caratteristiche dei propri prodotti.



## CAPITOLO QUINTO

# MAGLIE RAPIDE E MOSCHETTONI

## INTRODUZIONE

I due attrezzi hanno scopi pressoché analoghi, sia pur con modalità differenti. Ma la loro diversità non sta tanto in questa differenza di praticità d'uso quanto nei risultati che emergono dalle prove di tenuta a trazione.

Infatti, esaminando materiali nuovi, si evidenzia che per i moschettoni i test danno valori molto ravvicinati, senza fluttuazioni, tutti superiori al carico di rottura dichiarato.

*Per le maglie rapide la situazione è molto diversa: la  $F_r$  varia, anche di molto, da pezzo a pezzo, con punte negative lontane centinaia di Kgp dai valori più elevati.* La dispersione dei dati è nettissima e il comportamento sotto trazione risulta abbastanza aleatorio. Per di più sulle maglie rapide non è quasi mai possibile conoscere alcun dato fornito dalla casa costruttrice.

Un secondo problema emerge quando si vada a testare moschettoni in lega usati. Anche in questo caso i risultati sono abbastanza sorprendenti e di difficile interpretazione. Una cosa è comunque certa: *i moschettoni in lega leggera, contrariamente a quelli in acciaio, perdono resistenza con il passare degli anni fino a raggiungere, in certi casi, valori di poche centinaia di Kgp.* Evidentemente i materiali in lega leggera, non solo i moschettoni quindi, subiscono un processo di graduale decadimento con il passare del tempo e in funzione dell'uso. Il fatto è preoccupante tanto per la sua aleatorietà quanto per l'entità della diminuzione di  $F_r$ .

Sulle cause di questo fenomeno di «invecchiamento» delle leghe leggere ritorneremo in seguito. Per ora elenchiamo alcune osservazioni fatte su moschettoni (e altri attrezzi in lega) dopo lunghi periodi di utilizzazione:

- 1) la superficie è spesso crivellata da microscopici «buchi» campaniformi (parte più stretta verso l'esterno);
- 2) sono spesso maculati con zone nerastre che è difficile rimuovere;
- 3) sono ricoperti da una polvere bianca;
- 4) in ambienti particolarmente umidi (ma non sempre) possono parzialmente ricoprirsi di una sostanza gelatinosa biancastra.

A complicare la situazione si aggiunge l'osservazione sperimentale per cui alcuni moschettoni in lega ad alta resistenza (3700 Kgp di carico di rottura da nuovi) si sono rotti a valori di forza relativamente bassi (circa 1400 Kgp) dopo essere stati sottoposti a una serie di 20-25 trazioni fino a 2500 Kgp.

Sono queste le premesse che hanno portato a definire il programma di ricerca sui «maillon», nuovi e usati, e sui moschettoni (dei quali si dà per scontata una resistenza iniziale almeno pari a quella dichiarata dal costruttore). Il problema maggiore è stato il reperimento del materiale usato, non tanto perché mancasse nei magazzini dei gruppi grotte quanto perché è difficilmente correlabile con tempi e modi di utilizzo. Comunque si è potuto contare sulla collaborazione di associazioni speleo che hanno particolarmente cura del proprio materiale e molti test attendibili sono stati eseguiti, con buoni risultati.

## MAGLIE RAPIDE

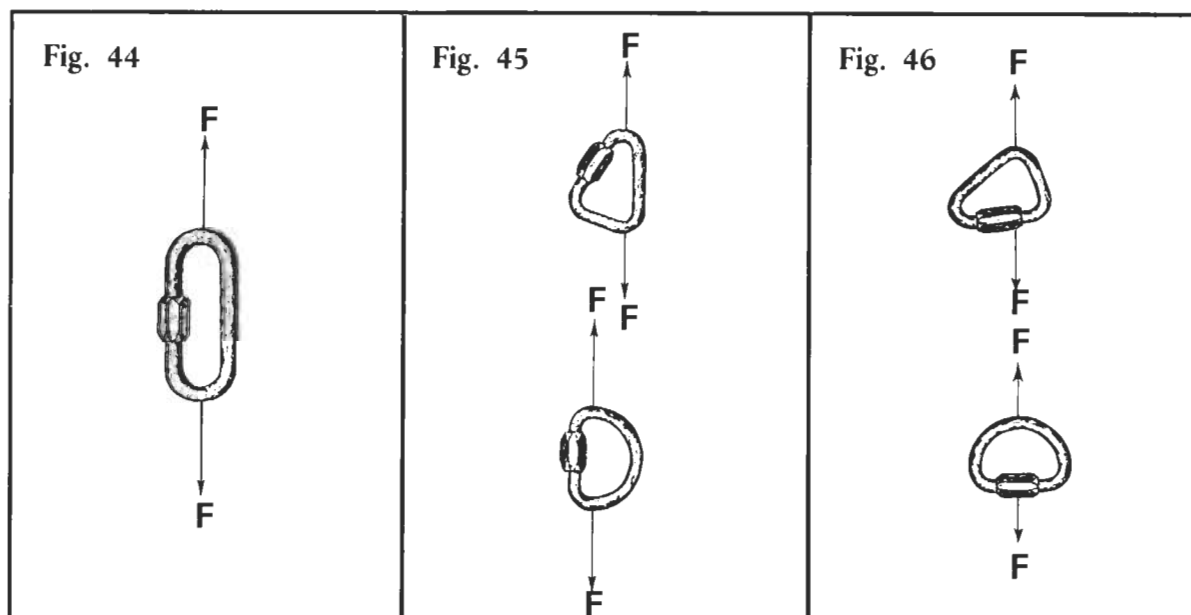
### TECNICA DI SPERIMENTAZIONE

Sono stati eseguiti test, con velocità di trazione di 250 mm/minuto, sul seguente materiale:

- a) maglie semicircolari  $\varnothing$  10 mm acciaio
- b) maglie semicircolari  $\varnothing$  10 mm lega leggera
- c) maglie a delta  $\varnothing$  10 mm acciaio
- d) maglie a delta  $\varnothing$  10 mm lega leggera
- e) maglie a delta  $\varnothing$  8 mm acciaio
- f) maglie a delta  $\varnothing$  5 mm acciaio
- g) maglie simmetriche  $\varnothing$  10-9-8-7-6-5-4 mm acciaio.

Inoltre vi è da precisare quanto segue.

- 1) Per le maglie simmetriche la trazione è stata applicata lungo l'asse longitudinale (fig. 44).
- 2) Per quelle asimmetriche  $\varnothing$  10 mm la trazione si è sviluppata sia lungo l'asse longitudinale (fig. 45) che quello trasversale (fig. 46).



- 3) Per le maglie a delta  $\varnothing$  8 mm e  $\varnothing$  5 mm la trazione è stata solo longitudinale (fig. 45).  
 4) La trazione trasversale è stata ottenuta applicando la forza sulla ghiera mediante una fettuccia larga 28 mm.

## RISULTATI

I risultati ottenuti sono riportati (in Kgp) qui di seguito, elencando tutti i valori ricavati per mettere in evidenza le nette fluttuazioni, con punte negative da brivido.

### a) Semicircolare $\varnothing$ 10 mm acciaio

Trazione longitudinale	$F_r > 5000$ (3 prove)
Trazione trasversale	$F_r =$ 1138 1741 1505 1487 1070 1001 1390 1402 1213 1183

$F_r$ media = 1314
--------------------

### b) Semicircolari $\varnothing$ 10 mm lega leggera

Trazione longitudinale	$F_r =$ 2585 3810 2588 2541 2759 2282 2710 1856 2631 1999
------------------------	---

$F_r$ media = 2576
--------------------

Trazione trasversale	$F_r =$ 1003 477 1435 1296 1327 1271 1051 383 1383 1388 1314 1496 415 1446 1350
----------------------	--

$F_r$ media = 1136
--------------------

### c) Delta $\varnothing$ 10 mm acciaio

Trazione longitudinale	$F_r > 5000$ (3 prove)
Trazione trasversale	$F_r =$ 2961 3855 3025 3694 3283 3478 3691 3031 3032 3753

$F_r$ media = 3113
--------------------

### d) Delta $\varnothing$ 10 mm lega leggera

Trazione longitudinale	$F_r =$ 2865 2302 2823 2754 2408 2593 2491 2688 2596 2759
------------------------	---

$F_r$ media = 2627
--------------------

Trazione trasversale

$F_r =$  1572 1471 1815 1750  
1751 1583 1797 1493  
1581 1703

$F_r$  media = 1652

e) *Delta*  $\varnothing$  8 mm acciaio

Trazione longitudinale

$F_r =$  3032 3623 3518 3413  
2998 3451 3298 3561  
3430 3289

$F_r$  media = 3361

f) *Delta*  $\varnothing$  5 mm acciaio

Trazione longitudinale

$F_r =$  1532 979 891 1470  
1602 1492 1007 939  
1037 1101

$F_r$  media = 1205

g) *Simmetriche* acciaio (solo trazione longitudinale)

$\varnothing$  10 mm  $F_r >$  5000 (3 prove)

$\varnothing$  9 mm  $F_r >$  5000 (3 prove)

$\varnothing$  8 mm  $F_r =$  3961 4380 4125 4360  
4023 3982 4301 4277  
4017 4091

$F_r$  media = 4152

$\varnothing$  7 mm  $F_r =$  3709 2669 3543 3217  
2503 2991 3722 3011  
3127 3083

$F_r$  media = 3157

$\varnothing$  6 mm  $F_r =$  2968 2281 2478 2491  
2456 2376 2501 2732  
1971 2821

$F_r$  media = 2507

∅ 5 mm	F <sub>r</sub>	=	2159	1450	1270	2101
			2117	485	671	1970
			1018	1182		

F <sub>r</sub> media = 1442
-----------------------------

∅ 4 mm	F <sub>r</sub>	=	1280	953	1333	1327
			923	680	1368	487
			1421	1308		

F <sub>r</sub> media = 1108
-----------------------------

## CONCLUSIONI

1) I risultati sono molto dispersi e questa ampia fluttuazione è ancora più evidente nelle maglie in lega leggera. In certi casi si hanno dei picchi negativi di poche centinaia di Kgp, al limite della tenuta anche senza strappi anomali.

2) La F<sub>r</sub> relativa alla trazione trasversale (molto simile a quella che si verifica in grotta con un imbracatura lenta e malindossata o in un soccorso uomo a uomo) è decisamente più bassa rispetto a quella longitudinale.

3) Sia come tenuta che come minor fluttuazione dei risultati le maglie in acciaio danno risultati più accettabili.

4) Alla trazione trasversale (che è poi la più realistica) le maglie semicircolari ∅ 10 mm in acciaio sono in media appena al di sopra dei limiti di sicurezza. Ma non si dimentichi che vi sono punte negative con valori inferiori ai 1100 Kgp.

5) Le maglie semicircolari in lega leggera ∅ 10 mm con la trazione trasversale (ripetiamo, molto realistica in più casi!) hanno punte minime da brivido (383 Kgp) per la rottura completa della ghiera. Come unica scusante, se così si può pensare, c'è il fatto che il campione relativo a tanta scarsità di tenuta aveva un anno di vita. Con ghiera non completamente chiusa (è sufficiente non avvitare due filetti) la tenuta media si abbassa ancora, molto al di sotto dei 1000 Kgp.

Si consiglia molta attenzione nell'uso di questo attrezzo, decisamente inaffidabile.

6) Le maglie a delta danno risultati migliori di quelle semicircolari, tanto in acciaio quanto in lega leggera. Anche le fluttuazioni dei valori misurati sono meno ampie.

In acciaio non danno problemi di tenuta, risultando sempre al di sopra dei minimi di garanzia. Se in lega leggera, considerata la ridotta dispersione dei risultati, la tenuta è accettabile anche se non tutte le apprensioni vengono fuggate.

7) Per le maglie asimmetriche in acciaio con diametro inferiore ai 10 mm i risultati sono più che accettabili, purché il loro uso sia ristretto ai casi per i quali sono previsti nella tecnica di progressione (per esempio il delta ∅ 5 mm si usa solo per collegare l'imbracatura pettorale al bloccante ventrale).

8) Le maglie simmetriche in acciaio mostrano una notevole fluttuazione dei valori; tale fenomeno è tanto più accentuato quanto è più ridotto il diametro del tondino. Scendere a diametri inferiori ai 6 mm può significare imbattersi in campioni con tenuta inferiore ai 500 Kgp.

9) Le maglie d'acciaio non sembra che risentano del tempo e dell'uso, al contrario di quelle in lega leggera che invece mostrano chiari segni di «stanchezza» dopo un uso prolungato.

10) *Un consiglio! Se da qualche parte avete dimenticato una maglia semicircolare in acciaio tiratela fuori, lucidatela, oliatela e usatela al posto di quella in lega leggera: i pozzi vi sembreranno più belli e potrete vedere tante cose in più.*

È vero che vi darà qualche piccolo fastidio in più nell'avvitamento e svitamento, ma sono fastidi che sono ben compensti dalla maggiore tenuta sotto ogni tipo di trazione.

Si ricordi che la maglia di chiusura dell'imbracatura non deve avere punti deboli e deve essere totalmente affidabile. Non è pensabile che ad ogni frazionamento si debba controllare la posizione che assume.

## **MOSCHETTONI USATI**

Come già precedentemente indicato le ricerche della CTM su questi fondamentali strumenti della progressione hanno escluso i materiali nuovi.

Questo perché risulta chiaramente da numerose prove indirette e da esperienze accumulate nel corso degli anni che i costruttori mettono molta cura nella progettazione, nella produzione e nel collaudo, esemplare per esemplare, dei moschettoni per alpinismo e speleologia. È impensabile di poter trovare dei moschettoni nuovi il cui carico di rottura sia inferiore a quello dichiarato.

Tutt'altro significato e ben altra importanza riveste il problema del decadimento delle capacità di tenuta di un moschettone, fenomeno questo che si manifesta tanto per il solo passare del tempo (le reazioni chimiche e le trasformazioni fisiche avvengono sempre, anche se apparentemente sembra tutto immobile) quanto per l'uso nella normale progressione in grotta. Il decadimento è nettamente più accelerato nei moschettoni in lega leggera.

Per affrontare sperimentalmente la questione, visto che per via teorica il problema era di fatto irrisolvibile per le tante variabili da inserire, la CTM si è procurata diverse decine di moschettoni usati, soprattutto in lega. Di questi moschettoni sono noti la data di entrata in uso (non quella di nascita) e alcuni fatti salienti sull'intensità e modalità di impiego. Gli esemplari disponibili sono stati provati a rottura (velocità di trazione 250 mm/minuto).

I risultati ottenuti sono elencati in Kgp qui di seguito.

### ***SIMOND «SPELEO» SIMMETRICO IN LEGA LEGGERA CON GHIERA***

Questo diffusissimo modello ha fornito indicazioni precise e molto interessanti, come è possibile rilevare dalla tabella 23.

#### **Note**

1) Nella colonna « $F_r$  sperimentale» sono riportati tutti i test effettuati, per mettere maggiormente in evidenza la grande diversità di comportamento, esemplare per esemplare.

2) I valori asteriscati si riferiscono ai carichi di rottura di moschettoni che, fra l'altro, sono stati impiegati in grotta per almeno due anni continuativi: la serie del 1977 ha fatto parte dell'armo della Grotta di Monte Cucco dal 1985 al 1987; la serie del 1978 è rimasta nella Grotta della Valcella dal 1986 al 1989.

3) La colonna «% riduzione  $F_r$ » riporta la riduzione percentuale fra  $F_r$  media e  $F_r$  dichiarata.



4) L'ultima colonna a destra dà la riduzione percentuale, di cui al punto precedente, divisa per il numero di anni di uso.

TAB. 23

∅ mm TONDINO	Fr DICHIARATA	ANNO DI ENTRATA IN USO	Fr SPERIMENTALE	Fr MEDIA	% RIDUZIONE Fr	% RIDUZ. Fr N° ANNI USO
10	1500	1974	905-617-742-554-700-837	726	52	3,4
10	1500	1975	1293-879-1109-1234-1260- 952-1179-1089-1308-1414- 1184-1347-1561-1334	1224	18	1,3
10	1500	1976	1102-1081-1081-949-1092- 1045-1087-1198-1608-1040-900- 981-747	1070	29	2,2
10	1500	1977	667*-682*-601*-788*-704*-705*- 640*-653*-820*-658*-706*	693	54	4,5
10	1600	1978	773*-602*-581*-678*-617*-728*- 631*	658	59	5,3
10	1600	1979	1182-1764-1619-1299-646- 1163-741-893-1274	1176	27	2,6
11	1600	1980	1493-1062-883-1101-1209- 1003-841-1571	1145	28	3,2
11	1600	1983	1508-1491-1593-1471-1386-1609	1510	6	0,9
11	1600	1984	1438-1411-1614-1421-1183-971- 1538-1341	1365	15	2,9

## Considerazioni

a) Se è vero che da nuovi i moschettoni in lega leggera hanno un carico di rottura  $F_r$  sempre superiore al limite dichiarato e con fluttuazioni di scarsa entità, è altrettanto certo che il semplice uso o anche il solo passare del tempo determinano la diminuzione delle loro capacità di tenuta e l'aumento della dispersione dei dati. Questa è di fatto una diminuzione di affidabilità!

b) L'entità della diminuzione della tenuta di un moschettone è un fatto di non facile definizione sia come tempi che come modalità: varia di caso in caso in modo apparentemente capriccioso. Ma questa difficoltà di interpretazione è quasi sicuramente dovuta alla carenza di dati precisi in merito all'uso degli attrezzi. Solo attraverso la programmazione di esperienze mirate si potranno avere delle risposte molto più certe e dettagliate.

c) Nell'ambito di una serie di dati omogenei si manifestano uno o più valori anche molto al di sotto del Limite Inferiore di Resistenza. Il che è abbastanza preoccupante anche in considerazione del fatto che non è facile individuare a priori, sia pur approssimativamente, le cause di un così drastico abbassamento di tenuta. Infatti ad una analisi macroscopica esteriore i vari campioni di uno stesso tipo e di una stessa età risultano pressoché identici.

d) Dai risultati sembra di intuire che i moschettoni risentono in modo ridotto dell'invecchiamento naturale. Quelli del '74 hanno valori pressoché uguali a quelli del '77 e del '78; analogamente quelli del '75 e del '76 sono simili a quelli entrati in uso nel '79 e nell'80.

e) I moschettoni entrati in uso nell'83 e nell'84 evidenziano i carichi di rottura più elevati, con riduzioni minime di  $F_r$ .

f) I campioni datati '77 e '78, tutti utilizzati anche in armi che sono rimasti in grotta per almeno due anni, sono quelli che hanno dato le  $F_r$  più basse, e di molto.

g) Gli esemplari datati '75 sono stati particolarmente curati nella manutenzione e non hanno mai dovuto sopportare prolungate permanenze in grotta. Sembrerebbe dunque che questi due elementi possano determinare una minor velocità di decadimento, tanto che dopo 14 anni il carico di rottura medio è superiore a quello dei moschettoni acquistati nel 1980.

## ***ALLAIN ASIMMETRICO IN LEGA LEGGERA***

$F_r$ dichiarata	1600
$F_r$ sperimentale	anno 1974: 1565 1627

## ***KONG BONAITI ASIMMETRICO***

### ***Ø 11 mm IN LEGA LEGGERA CON GHIERA***

$F_r$ dichiarata	2500
$F_r$ sperimentale	anno 1975: 2868
	anno 1979: 3291 2957
	anno 1984: 1630*

Il valore asteriscato (1630 Kgp) è il 65% del carico di rottura dichiarato e si riferisce ad un esemplare che è rimasto continuativamente in grotta per cinque anni. La grotta in questione (Buco Bucone) è particolarmente «secca», quasi priva di correnti d'aria e con temperatura di circa 9° C.

**KONG BONAITI SIMMETRICO**  
**Ø 10 mm IN LEGA LEGGERA CON GHIERA**

F <sub>r</sub> dichiarata	1500			
F <sub>r</sub> sperimentale	anno 1975:	1292	1308	

**KONG BONAITI SIMMETRICO**  
**Ø 11 mm IN LEGA LEGGERA CON GHIERA**

F <sub>r</sub> dichiarata	2250			
F <sub>r</sub> sperimentale	anno 1984:	2255		
	anno 1987:	2240	2359	
	anno 1988:	2267*		

Il valore asteriscato (2267 Kgp) si riferisce ad un moschettone che aveva una profonda incisione (2 mm) al centro di uno dei due tratti ricurvi (era stato impropriamente utilizzato come moschettone di rimando per il discensore e la corda aveva «limato» una gola). Si noti che l'anomalia non ha influenzato minimamente il valore di F<sub>r</sub> e la rottura è avvenuta dalla parte opposta.

**KONG BONAITI SIMMETRICO Ø 10 mm IN ACCIAIO**

F <sub>r</sub> dichiarata	2200			
F <sub>r</sub> sperimentale	anno 1973:	2198	2031	2280
	anno 1974:	1117*	1381*	2353
	anno 1978:	1913	1757	2253
	anno 1981:	2287	2407	
	anno 1983:	2449	932 *	1914
	anno 1985:	2432	2298	1325*
	anno 1987:	2358	2407	2287

I valori asteriscati sono relativi alla rottura di moschettoni molto corrosi per una prolungata permanenza in grotta (Monte Cucco e Antro del Corchia). Gli altri esemplari hanno avuto invece una manutenzione periodica (lavaggio e lubrificazione).

**KONG BONAITI ASIMMETRICO UIAA**  
**IN LEGA LEGGERA CON GHIERA**

F <sub>r</sub> dichiarata	3700			
---------------------------	------	--	--	--

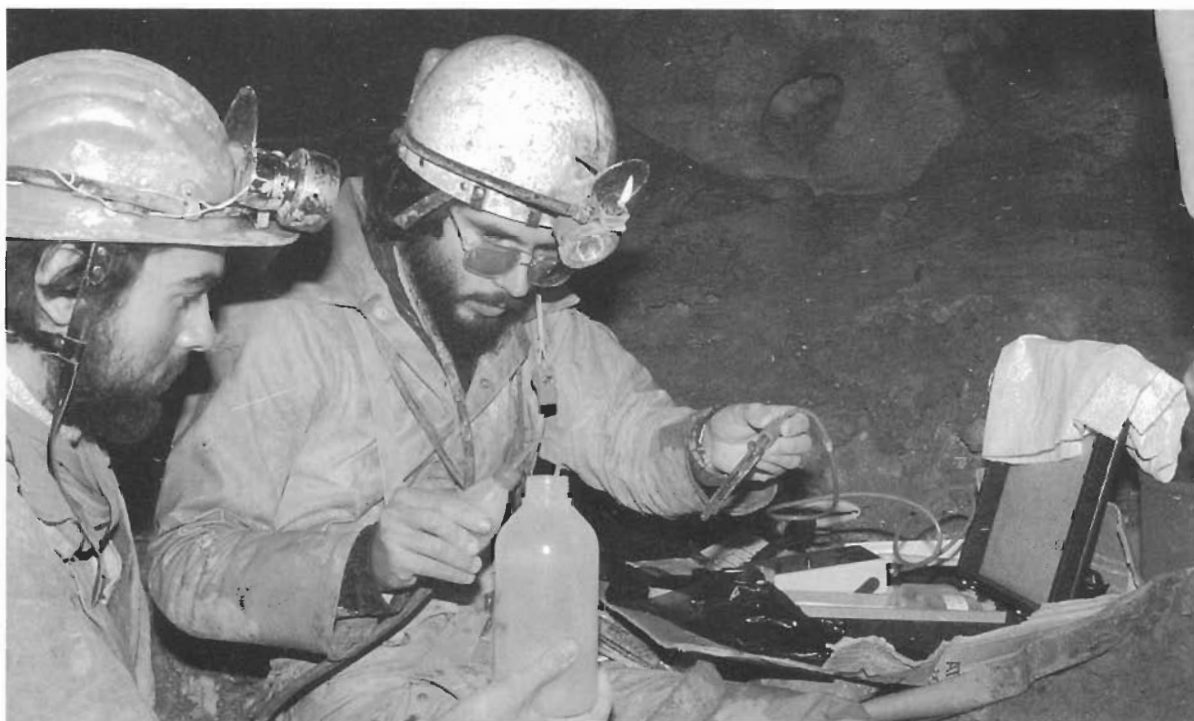
Ciascuno dei cinque esemplari disponibili è stato sottoposto a circa 25 trazioni fino a 2500 Kgp. Dopo di che, per effetto di una ennesima trazione, si sono rotti con i seguenti carichi:

F <sub>r</sub> sperimentale	1488	1401	1438	1387	1598
F <sub>r</sub> sperimentale media	1462				

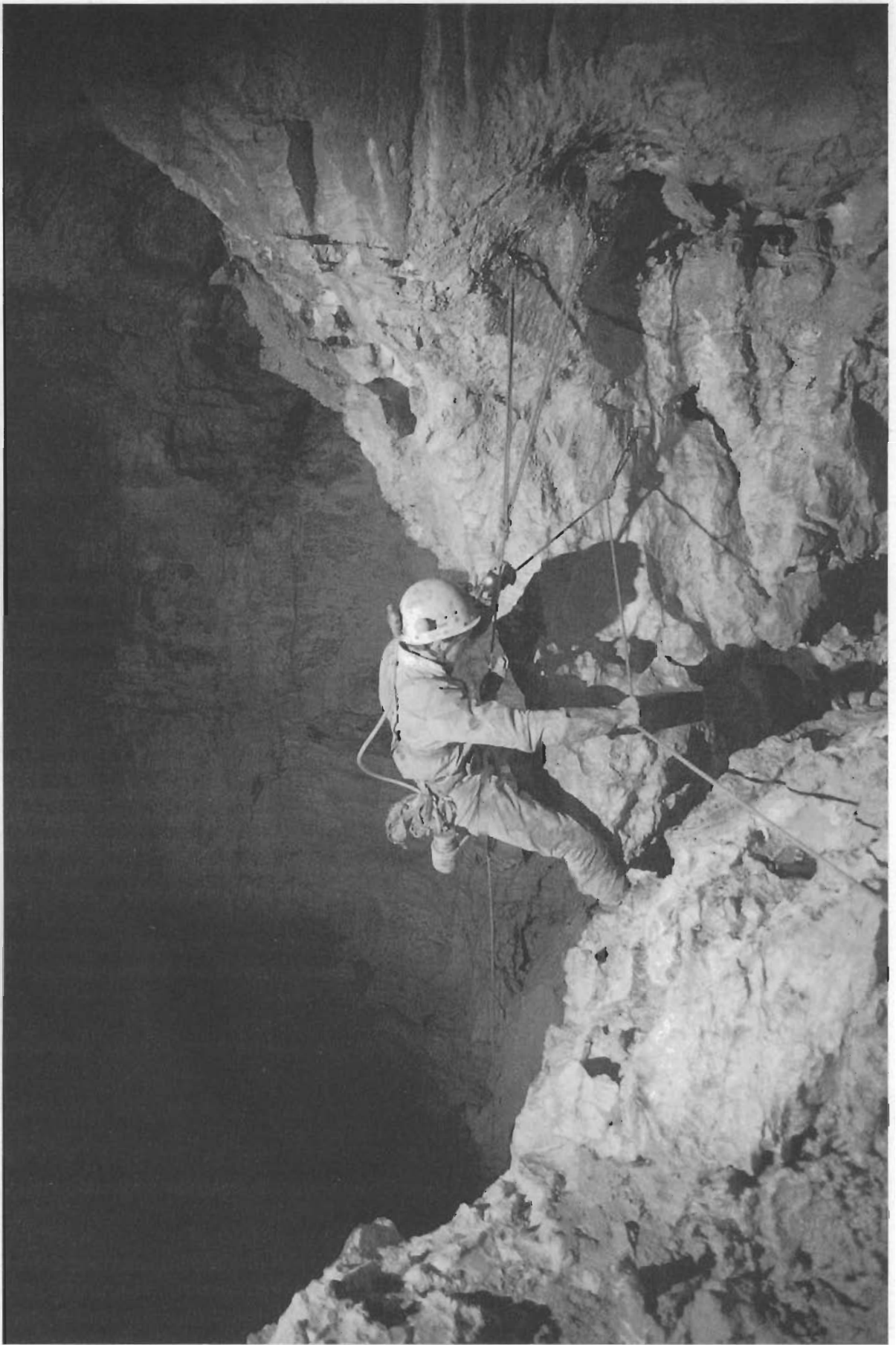
Il che significa una riduzione della tenuta del 61%.  
I campioni esaminati erano nuovi e senza alcuna apparente imperfezione.

## CONCLUSIONI

- 1) È evidente che il decadimento dei moschettoni in lega leggera è un dato reale ed anche molto preoccupante. In alcuni casi si arriva al dimezzamento della tenuta solo dopo cinque anni di uso.
- 2) Sempre nei moschettoni in lega, a seguito di prolungati periodi di permanenza in grotta, il carico di rottura si riduce ancora più marcatamente. *Attenzione dunque alla manutenzione degli armi fissi.*
- 3) Anche nei moschettoni in acciaio si produce una riduzione delle capacità di tenuta, ma solo a seguito di una prolungata permanenza in grotte particolarmente umide e areate. Questa riduzione è meno marcata che nei moschettoni in lega.
- 4) Dai risultati emerge un dato di notevole interesse che conferma la bontà della vecchia saggezza istintiva: una frequente, accurata manutenzione riduce drasticamente il decadimento, tanto nei moschettoni in acciaio che in lega leggera. Per manutenzione dei materiali si intende: lavare bene, asciugare rapidamente, lubrificare con qualche goccia d'olio le parti mobili.
- 5) Le trazioni ripetute di ridotta entità (100-300 Kgp), tipiche della normale progressione su corda, determinano nei moschettoni in lega un decadimento a fatica di minima entità: il 5% in cinque anni e il 20% in tredici anni. In questa riduzione percentuale c'è da comprendere anche l'effetto dovuto al naturale «invecchiamento» delle leghe, che è di modesta entità ma pur sempre presente.
- 6) Per contro poche trazioni di grande intensità (2500 Kgp) producono una rapida e drastica caduta del carico di rottura (anche del 61%). Quest'ultimo dato ha un valore più che altro teorico.
- 7) Nel complesso viene da suggerire di dare delle frequenti occhiate amorevoli a tutti gli attrezzi in lega; di curarli con sentimento e simpatia; di affidarsi a loro con tranquillità. Le grotte che sono armate da anni con lo stesso materiale, senza alcuna cura o manutenzione, devono essere affrontate con molta circospezione.







## CAPITOLO SESTO

# CARATTERISTICHE DELLE CORDE NUOVE

## INTRODUZIONE

Sulla base di quanto contenuto nel Capitolo Primo e in particolare nella parte dedicata alla «Percussione di una corda speleo-alpinistica», la CTM ha portato a termine una analisi sperimentale sul comportamento di tutte le corde speleo (e non) delle quali è venuta in possesso.

Queste corde sono (ss=superstatica; s=statica; Ø = diametro in mm):

Edelrid	ss	Ø 10
Edelrid	ss	Ø 9
Edelrid	ss	Ø 8
Edelrid	s	Ø 8
Beal Antipodes	s	Ø 10,2
Beal Antipodes	s	Ø 10
Beal Antipodes	s	Ø 9
Beal Antipodes	s	Ø 8
Joanny	s	Ø 11
Joanny	s	Ø 10,5
Joanny Super Retract	s	Ø 10,5
Joanny Antiabrasion	s	Ø 10,2
Joanny	s	Ø 9
TSA	s	Ø 10,2
TSA	s	Ø 8,3
Edelweiss	s	Ø 10
Edelweiss	s	Ø 9
Cassin	s	Ø 10
Kewlar		Ø 6

## STRUTTURA CHIMICO-FISICA

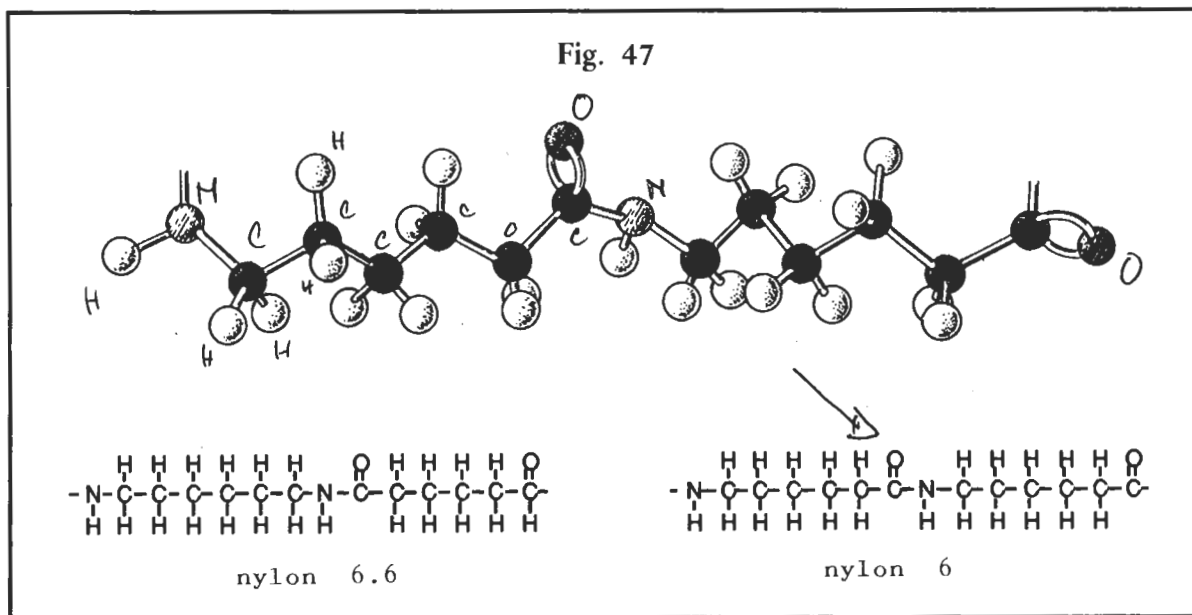
Solo pochissimi costruttori danno notizie esaurienti sulle corde da loro prodotte. Anche chi commercializza questi articoli non ha alcun interesse a chiarire la situazione.

Particolarmente lacunose sono le informazioni sul materiale che costituisce questi fondamen-

tali strumenti di progressione e di sicurezza. Comunque dalle informazioni raccolte, anche se non è stata eseguita alcuna analisi merceologica, si può affermare con una certa sicurezza che le corde elencate in precedenza sono tutte in nylon.

Resta da vedere se il nylon è del tipo 6.6 oppure semplicemente 6. Quest'ultimo è noto anche sotto il nome di Perlon.

La struttura chimica dei due tipi di nylon è riportata in fig. 47 (in nero gli atomi di carbonio, tratteggiati quelli di ossigeno, bianchi quelli di idrogeno).



È ben messa in risalto la composizione tipica del polimero, con molecole che si sviluppano lungo una direzione preferenziale.

Il nylon 6.6 fonde a  $260^{\circ}\text{C}$ , mentre il tipo 6 ha il punto di fusione fra i  $215^{\circ}\text{C}$  e i  $220^{\circ}\text{C}$ . Questa diversità nel punto di fusione può essere facilmente sfruttata per distinguere i due tipi di polimero (la strumentazione necessaria è facilmente abbordabile sia come uso che come costo).

In relazione a queste caratteristiche fisiche sta la questione del meccanismo di rottura di una corda annodata, la quale rottura è una conseguenza della fusione delle fibre elementari surriscaldate per attrito. Ci si può aspettare che il nylon 6.6 sia meno sensibile a ridurre il carico di rottura per effetto della presenza di un nodo.

Altra considerazione: un più elevato punto di fusione favorisce anche il mantenimento delle qualità della corda dopo un uso scorretto con il discensore (discese troppo veloci su corda asciutta).

## DISOMOGENEITÀ TRASVERSALE

Le corde speleo-alpinistiche, come ben si sa, sono costituite da una calza e da un'anima. La calza sta all'esterno, avendo una funzione protettiva e di contenimento. Viene tessuta a maglie più o meno larghe con piccoli fasci di fili elementari o minuscoli trefoli di fibre intrecciate. Il suo spessore, con corda a riposo, varia da 1 mm a 2 mm e concorre per circa 1/3 al carico di rottura.



Sotto trazione tende a ruotare in senso antiorario (generalmente).

L'anima è contenuta nella calza ed è costituita da un certo numero di trefoli, non sempre delle stesse dimensioni.

I trefoli, a loro volta, sono realizzati intrecciando un certo numero di fasci elementari (in genere tre). Sotto trazione tendono a ruotare nel senso opposto a quello dell'intrecciamento. Ogni trefolo ha un carico di rottura che si aggira sui 130 Kgp. La corda, una volta composta di tutti i suoi elementi, non deve far ruotare il carico sospeso. Per tale motivo le corde di buona fattura contengono un certo numero di trefoli ritorti metà in un senso e metà nel senso opposto, più uno intrecciato in modo tale da compensare la potenziale torsione della calza. Ecco perché i trefoli sono quasi sempre in numero dispari.

Da tutto ciò si può ben capire come la struttura complessiva di una corda possa essere considerata omogenea solo in senso longitudinale. Trasversalmente le sue caratteristiche variano in modo netto, creando una disomogeneità che impedisce di riportare per unità di superficie trasversale i risultati delle prove e i coefficienti distintivi.

Ai fini sperimentali, dunque, una corda deve essere considerata come una struttura senza dimensione trasversale, con tutte le «qualità» concentrate lungo l'asse longitudinale (la stessa cosa varrà anche per le fettucce).

Il diametro, che verrà sempre indicato, è un elemento distintivo ma non costituisce un base di calcolo per unità di superficie trasversale. Infatti le componenti legate alle dimensioni del diametro vengono conglobate nelle caratteristiche proprie della «qualità», della «quantità» e della struttura della corda.

Tutto questo, fra l'altro, è un invito a non dare troppo peso ai diametri dichiarati dal costruttore: spesso accade che la disomogeneità trasversale vari da caso a caso e a diametri apparentemente maggiori corrispondano caratteristiche di tenuta inferiori e coefficienti di elasticità più elevati. In questo caso la corda è solo un po' «gonfiata».

Infine, a titolo di esempio, riportiamo alcune considerazioni sul coefficiente di elasticità di una corda.

Si è detto e si dirà spesso che le corde dello stesso tipo sono tanto più elastiche (nel senso di deformabilità complessiva, tanto reversibile che irreversibile) quanto minore è il loro diametro. Questa affermazione è esatta dal punto di vista pratico-sperimentale, ma non lo è nella sostanza in quanto la maggiore deformabilità delle corde più piccole non è dovuta ad una caratteristica propria del materiale (il nylon è sempre nylon e tutt'al più si possono avere modifiche in funzione delle variazioni di struttura) ma piuttosto al fatto che la forza traente, che supponiamo costante da caso a caso, si distribuisce su una sezione trasversale minore (del resto è noto dalla fisica classica che a Sforzi più elevati corrispondono Allungamenti maggiori). Entra in gioco proprio quella parte del coefficiente di elasticità legata alle caratteristiche trasversali.

## MODALITÀ DI EFFETTUAZIONE DEI TEST

Delle corde precedentemente elencate, tutte in nylon tranne l'ultima di kevlar, è stata esaminata la struttura e la tessitura per ricavare:

$P_m$	peso al metro in grammi
D	duttilità e morbidezza
$C_a$	tipo di calza
$N_t$	numero di trefoli nell'anima
T	tipo di trefoli dell'anima

Inoltre ogni corda è stata sottoposta alle prove che sono qui di seguito indicate.

a) Due sollecitazioni per caduta (fig. 7) con:

$l$	300 cm
$l_g$	6 cm
$P$	90 Kgp
$F_c$	1
Nodo	guida con doppiino sotto (vedi capitolo «Nodi»)

Dove:

$l$	lunghezza fuori tutto del campione di corda meno il doppio del diametro
$l_g$	lunghezza delle gasse di ancoraggio
$P$	peso della massa cadente
$F_c$	fattore di caduta

Da ogni caduta choc si ottiene la curva  $F = f(t)$  della corda (fig. 8) e quindi si ricava:

$F_m$	forza massima (d'arresto) in Kgp
$X_d$	coefficiente dinamico di elasticità ( $10^{-5} \cdot \text{sec}^2/\text{m Kg}$ ) sulla base della relazione 45
$\% \Delta E_e$	percentuale di energia assorbita per elasticità (relazione 43)
$\% \Delta E_p$	percentuale di energia assorbita per plasticità (relazione 40 e 44)
$\% \Delta E_a$	percentuale di energia assorbita per attriti interni (relazione 44).

Per calcolare le sopraindicate percentuali di energia assorbita (parametri energetici) occorre far riferimento anche a quanto risulta dalla successiva prova f.

b) Due prove di caduta nelle stesse condizioni del test precedente, ma con peso ancorato sulla corda mediante Maniglia Petzl.

In tal modo si ottiene:

$F_{rd}$ calza	forza di rottura dinamica, in Kgp, necessaria per lacerare completamente la calza ad opera della maniglia.
----------------	--

c) Due prove a trazione lenta (250 mm/minuto) per ottenere (in Kgp):

$F_r$	carico di rottura della corda in assenza di nodi (foto 7).
-------	--

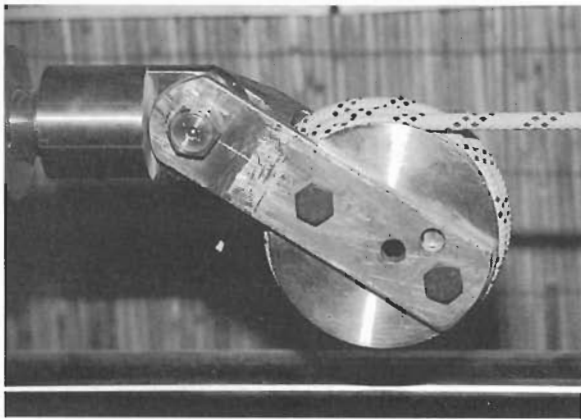


Foto 7.a

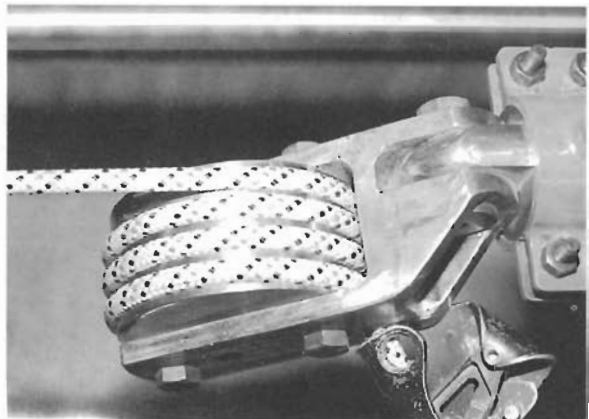


Foto 7.b

d) Due test a trazione lenta (250 mm/minuto) con un capo della corda ancorato su una Maniglia Petzl per ricavare;

$F_{rs}$  calza

forza di rottura statica, in Kgp, necessaria per lacerare completamente la calza ad opera della maniglia.

e) Due prove a trazione lenta (250 mm/minuto) per ottenere (in Kgp):

$F_{rn}$

forza di rottura con corda ancorata tramite nodi guida con frizione doppino sotto.

f) Costruzione della «curva di carico-scarico»  $F = f(A_u)$ , avendo come limite superiore 1600 Kgp.

Per corde di diametro minore ai 9 mm o comunque di scarsa tenuta il limite superiore è stato fissato a 1200 Kgp.

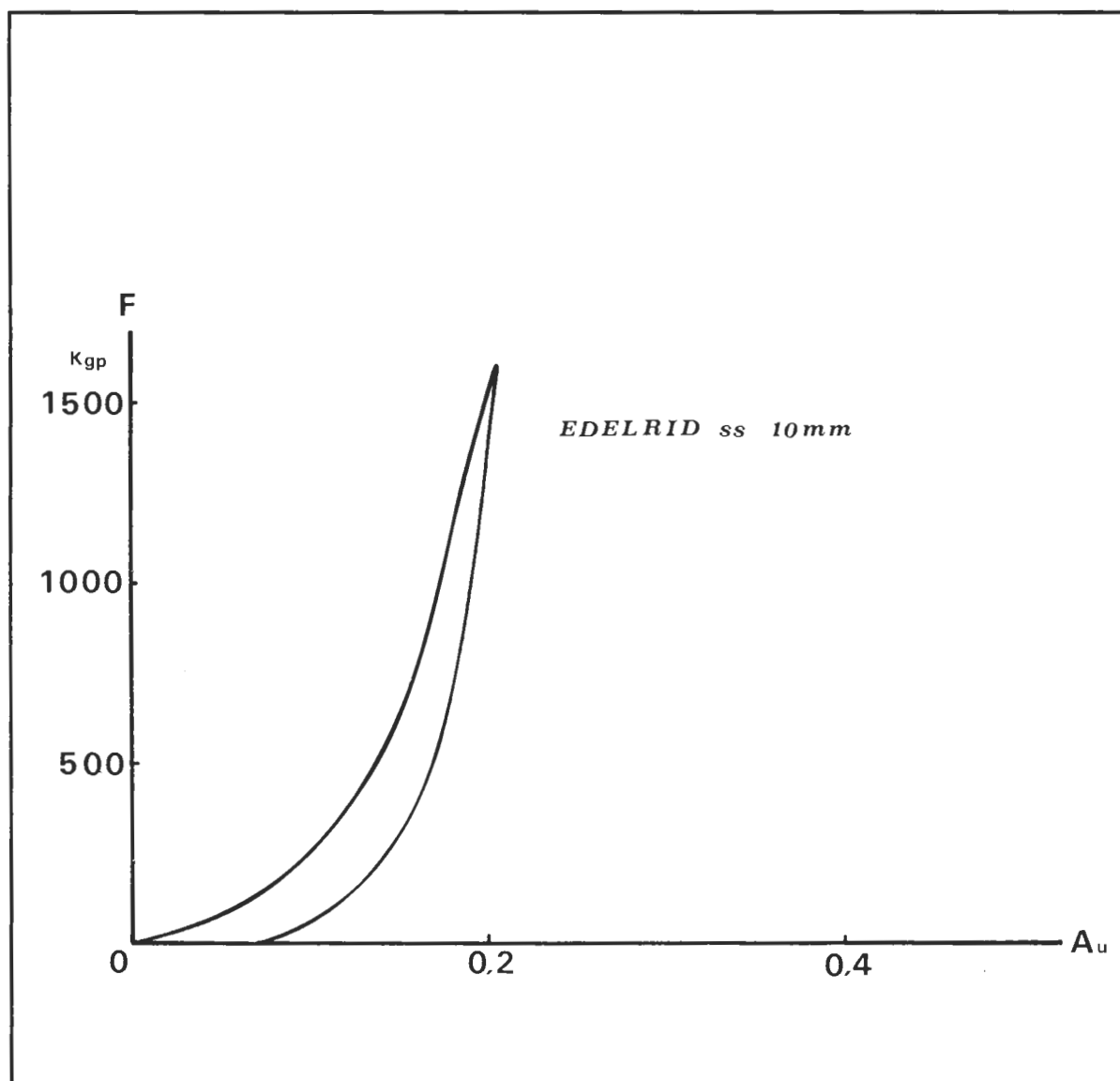
I campioni di corda erano della lunghezza di 50 cm, salvo diversa indicazione.

## RISULTATI DEI TEST

I risultati dell'analisi, corda per corda, sono puntualizzati qui di seguito. Fra parentesi e precedute dal segno meno sono le riduzioni percentuali di  $F_r$  in presenza del nodo guida con frizione doppino sotto.

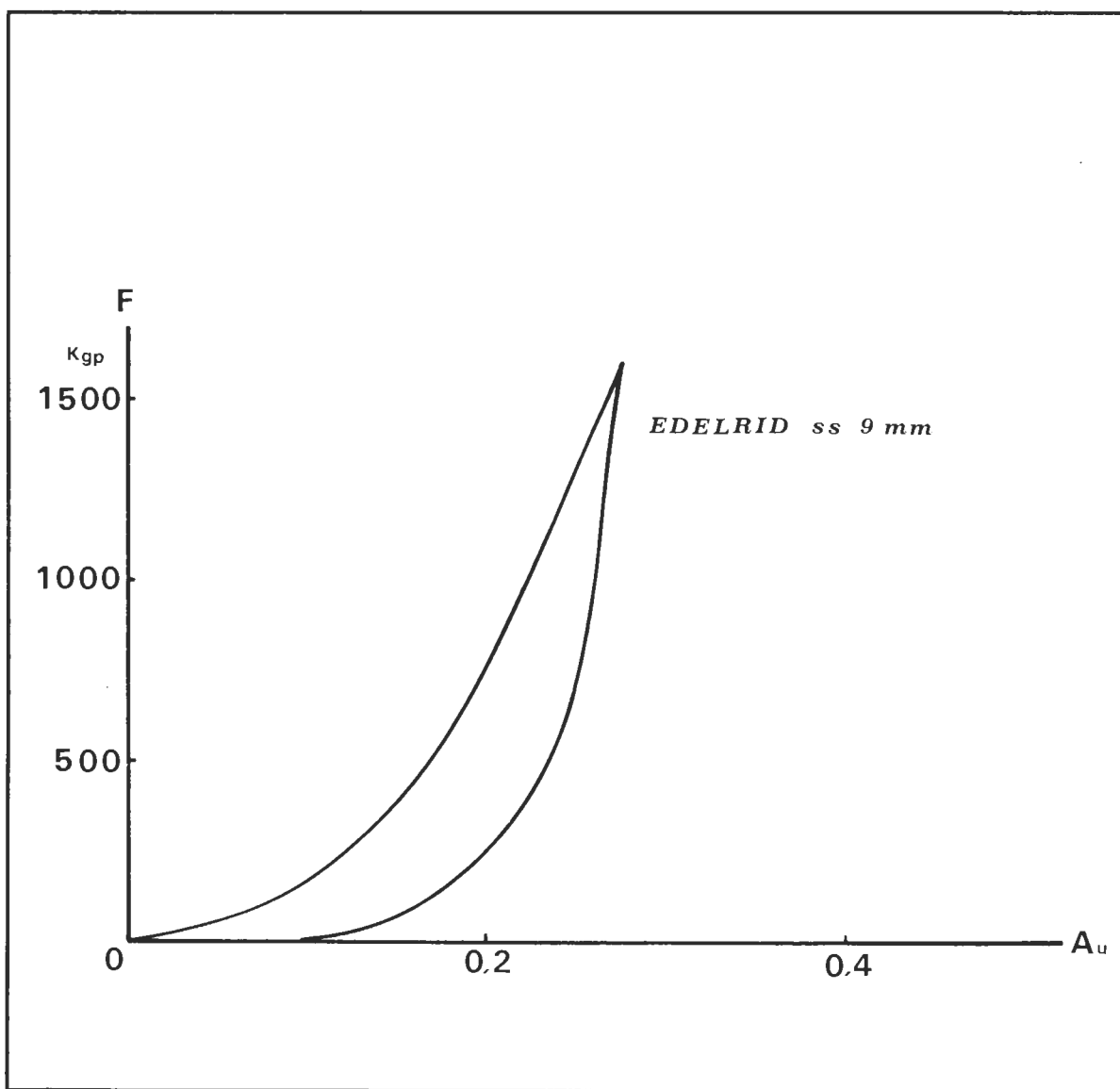
**EDELRID ss  $\varnothing$  10**

$P_m$	66	
D	scarsa	
$C_a$	maglia con fasci di fili elementari paralleli	
$N_t$	13	
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
$F_r$	2715	
$F_{rn}$	1986	(-27%)
$F_{rs}$ calza	610	
$F_{rd}$ calza	530	tranciati 3 trefoli
$F_m$	1380	
$X_d$	1,1	
$\% \Delta E_e$	59	
$\% \Delta E_p$	7	
$\% \Delta E_a$	34	



**EDELRID ss  $\varnothing$  9**

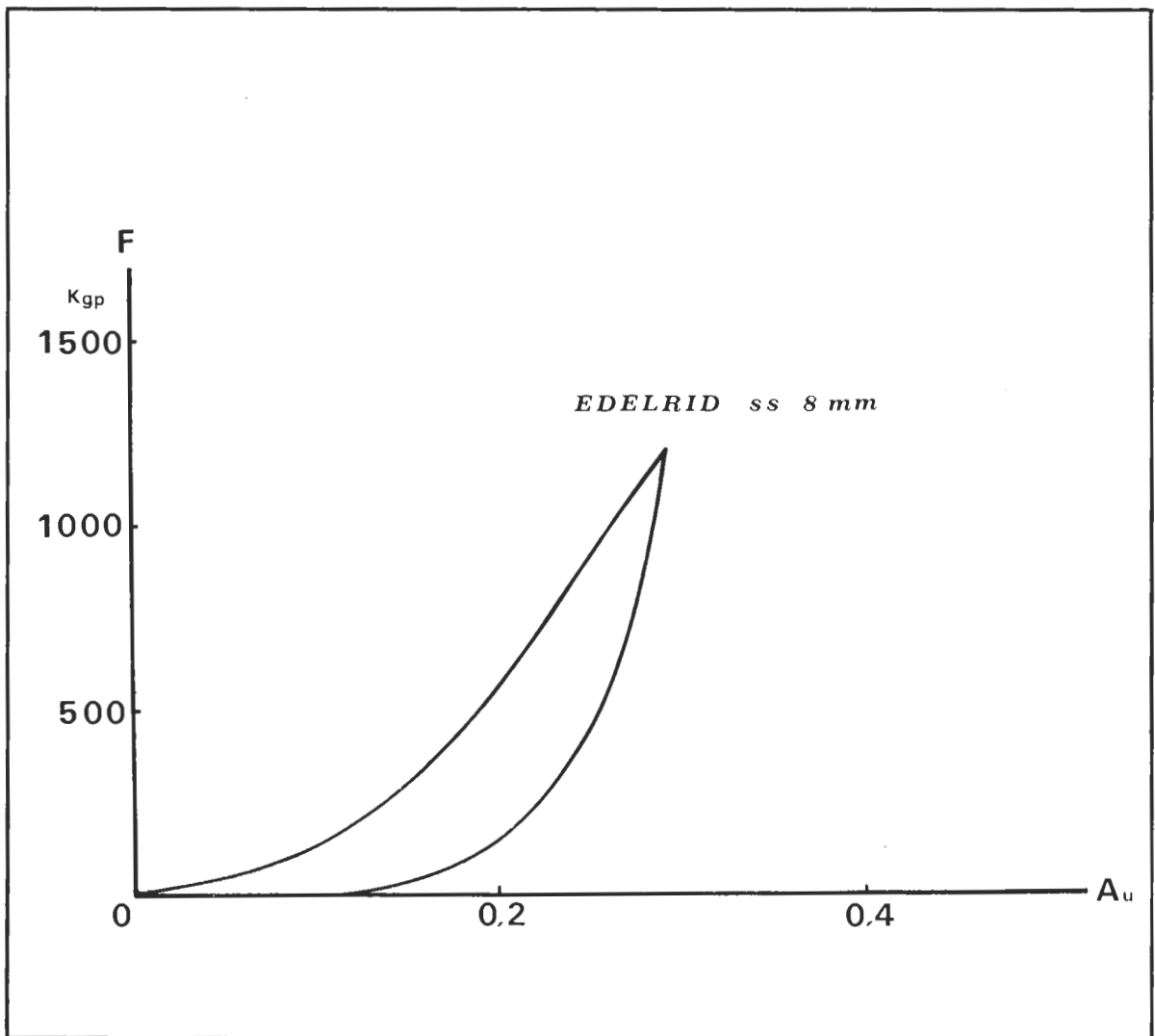
$P_m$	56	
D	scarsa	
$C_a$	maglia con fasci di fili elementari paralleli	
$N_t$	10	
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
$F_r$	2400	
$F_{rn}$	1590	(-34%)
$F_{rs}$ calza	543	
$F_{rd}$ calza	450	tranciata corda
$F_m$	1250	
$X_d$	1,3	
$\% \Delta E_c$	63	
$\% \Delta E_p$	18	
$\% \Delta E_a$	19	



**EDELRID ss  $\varnothing$  8**

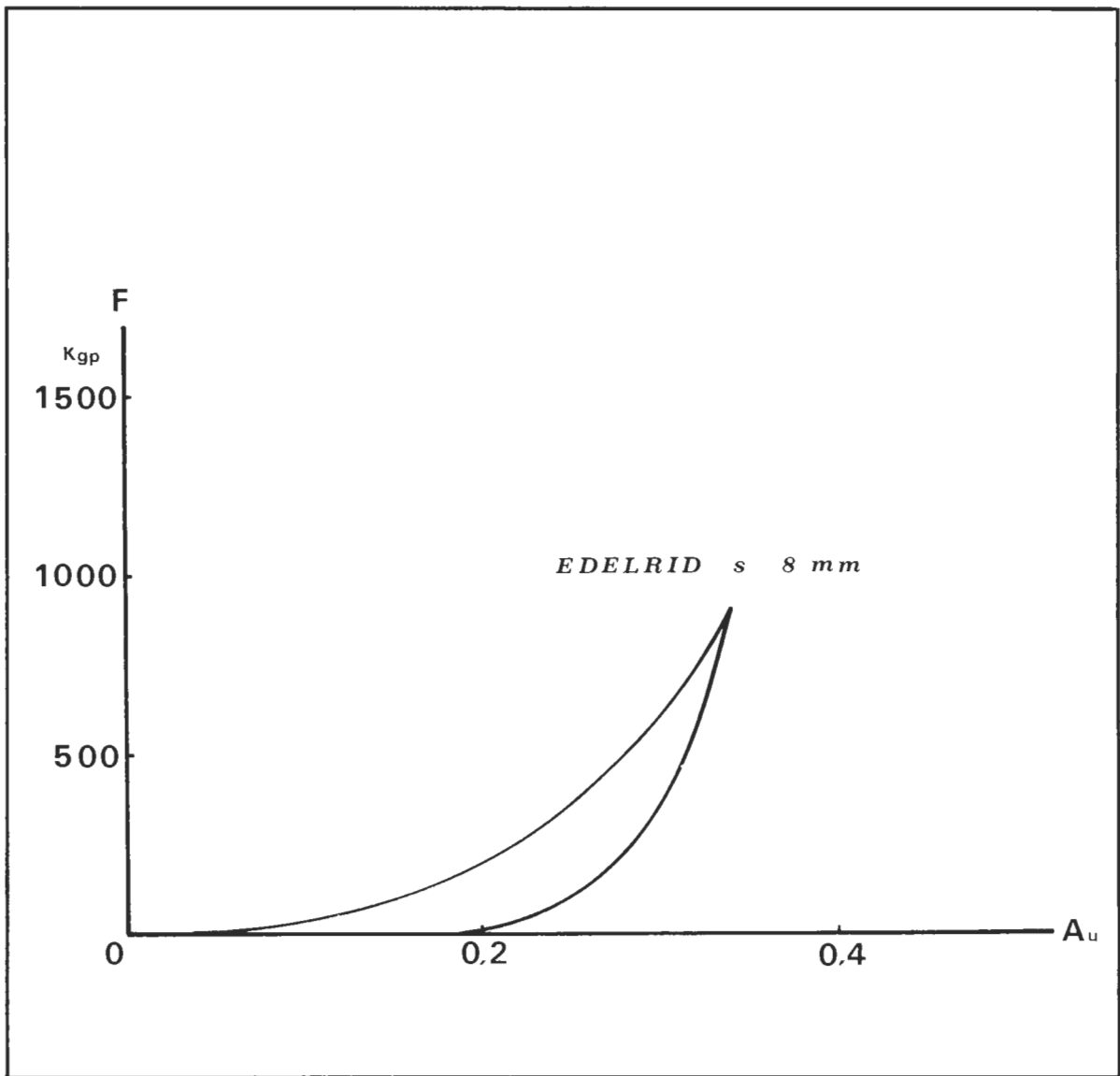
$P_m$	47	
D	scarsa	
$C_a$	maglia con fasci di fili elementari paralleli	
$N_t$	7	
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
$F_r$	1673	
$F_{rn}$	1094	(-35%)
$F_{rs}$ calza	436	
$F_{rd}$ calza	360	tranciata corda
$F_m$	(950)	
$X_d$	(2,1)	
$\% \Delta E_c$	(49)	
$\% \Delta E_p$	(29)	
$\% \Delta E_a$	(22)	

N.B. Con  $P = 90$  Kgp la corda si è sempre rotta al primo choc. I valori riportati fra parentesi sono stati calcolati sulla base di un test a caduta con  $P = 77$  Kgp.



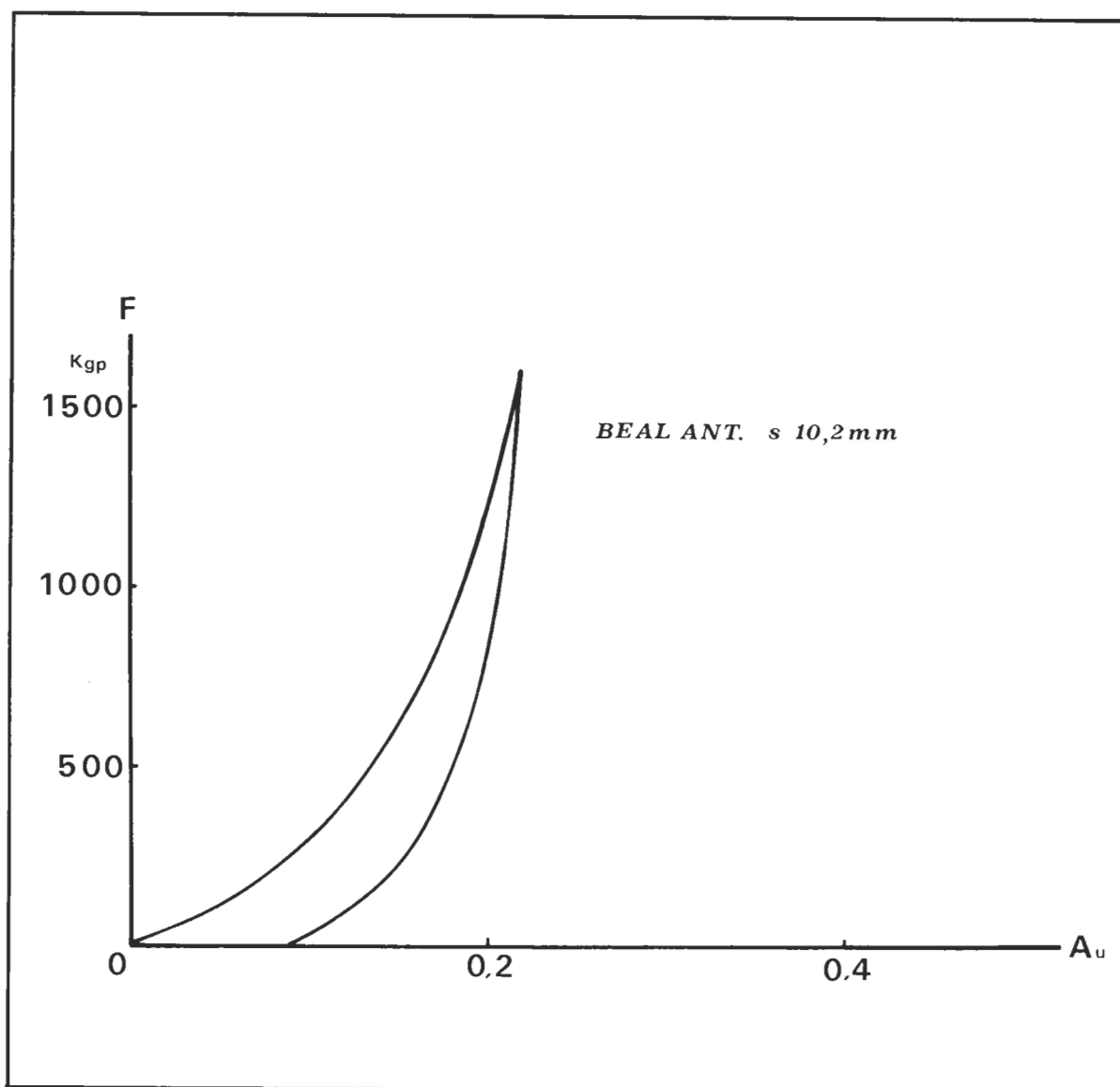
**EDELRID s  $\varnothing$  8**

$P_m$	45
D	buona
$C_a$	maglia con fasci di fili elementari paralleli
$N_t$	6
T	ritorti a 2 fasci di fili elementari
$F_r$	1400
$F_{rn}$	935 (-33%)
$F_{rs}$ calza	418
$F_{rd}$ calza	370 tranciata corda
$F_m$	820
$X_d$	3,5
$\sigma_0 \Delta E_e$	70
$\sigma_0 \Delta E_p$	22
$\sigma_0 \Delta E_a$	8



**BEAL ANTIPODES s  $\varnothing$  10,2**

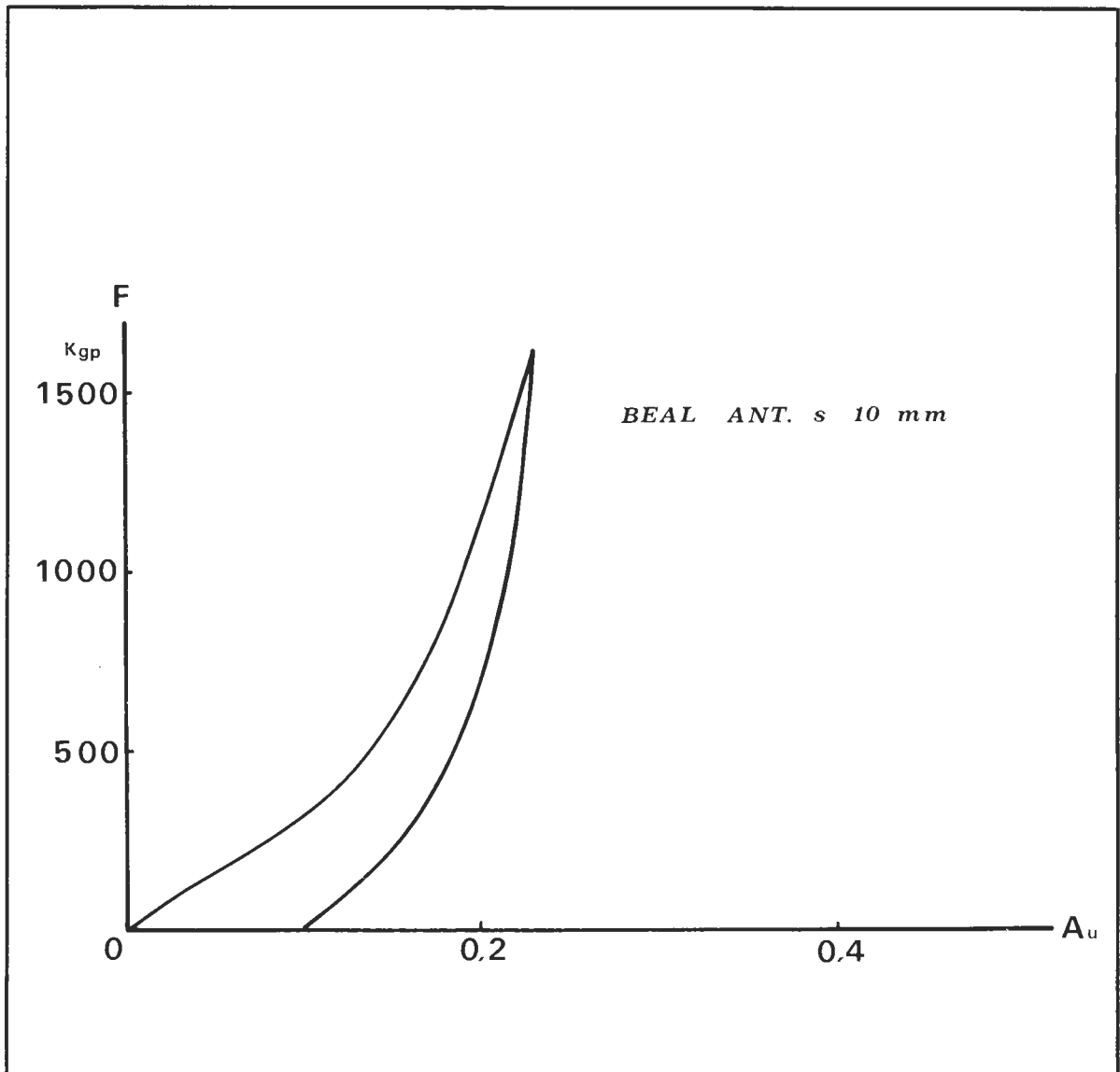
P <sub>m</sub>	74	
D	buona	
C <sub>a</sub>	maglia con fasci di 2 trefoli ritorti	
N <sub>t</sub>	14	
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
F <sub>r</sub>	2655	
F <sub>rn</sub>	1481	(-44%)
F <sub>rs calza</sub>	708	
F <sub>rd calza</sub>	680	tranciati 2 trefoli
F <sub>m</sub>	1320	
X <sub>d</sub>	1,2	
% $\Delta E_e$	49	
% $\Delta E_p$	18	
% $\Delta E_a$	33	





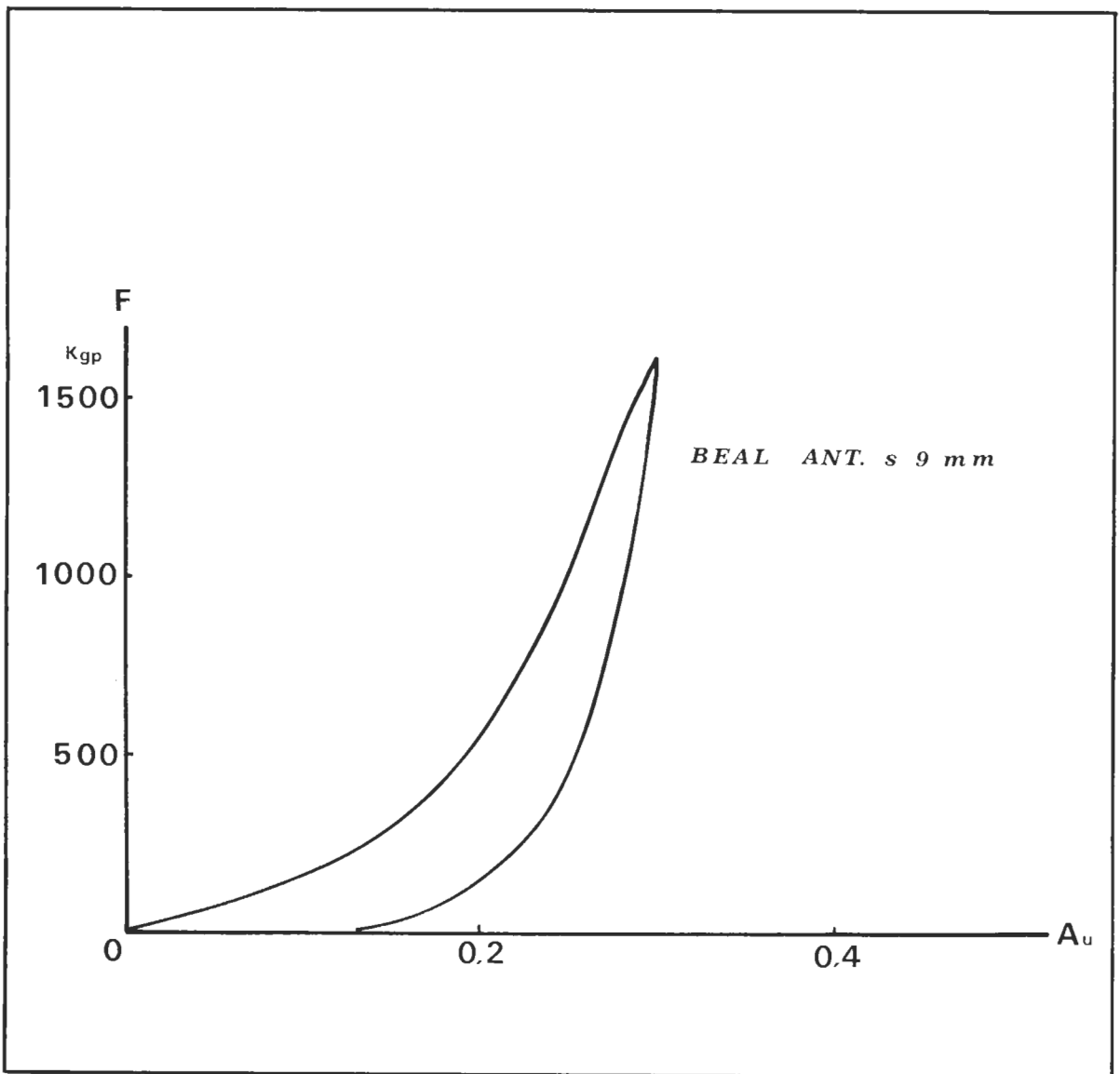
**BEAL ANTIPODES s  $\varnothing$  10**

$P_m$	66	
D	buona	
$C_a$	maglia con fasci di 2 trefoli ritorti	
$N_t$	11	
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
$F_r$	2395	
$F_{rn}$	1317	(-45%)
$F_{rs}$ calza	693	
$F_{rd}$ calza	650	tranciati 4 trefoli
$F_m$	1300	
$X_d$	1,2	
$\% \Delta E_e$	51	
$\% \Delta E_p$	19	
$\% \Delta E_a$	30	



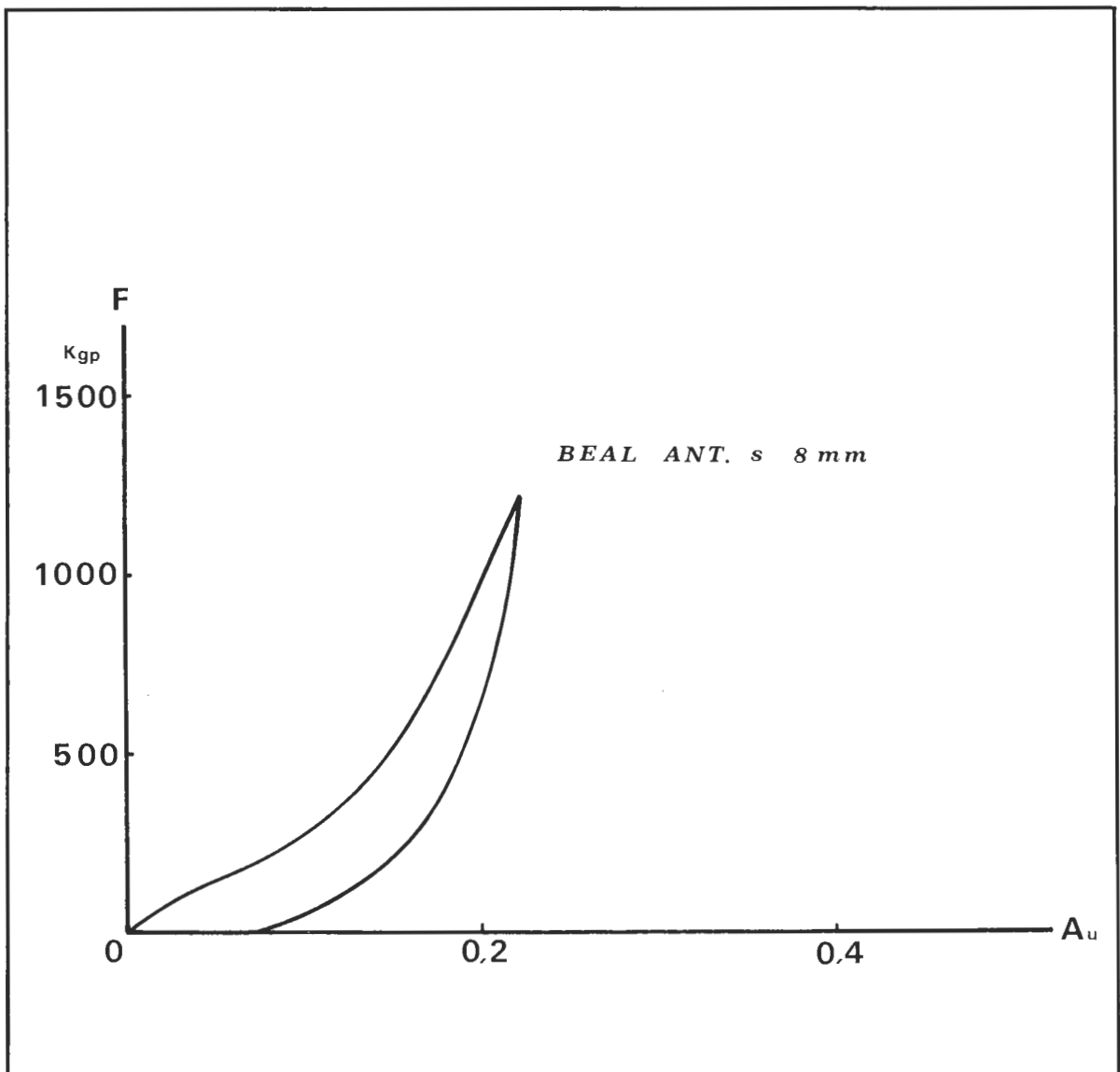
**BEAL ANTIPODES s  $\emptyset$  9**

P <sub>m</sub>	62	
D	buona	
C <sub>a</sub>	maglia con fasci di 2 trefoli ritorti	
N <sub>t</sub>	10	
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
F <sub>r</sub>	1857	
F <sub>rn</sub>	1103	(-41%)
F <sub>rs</sub> calza	561	
F <sub>rd</sub> calza	460	tranciati 8 trefoli
F <sub>m</sub>	1280	
X <sub>d</sub>	1,3	
% $\Delta E_e$	42	
% $\Delta E_p$	34	
% $\Delta E_a$	24	



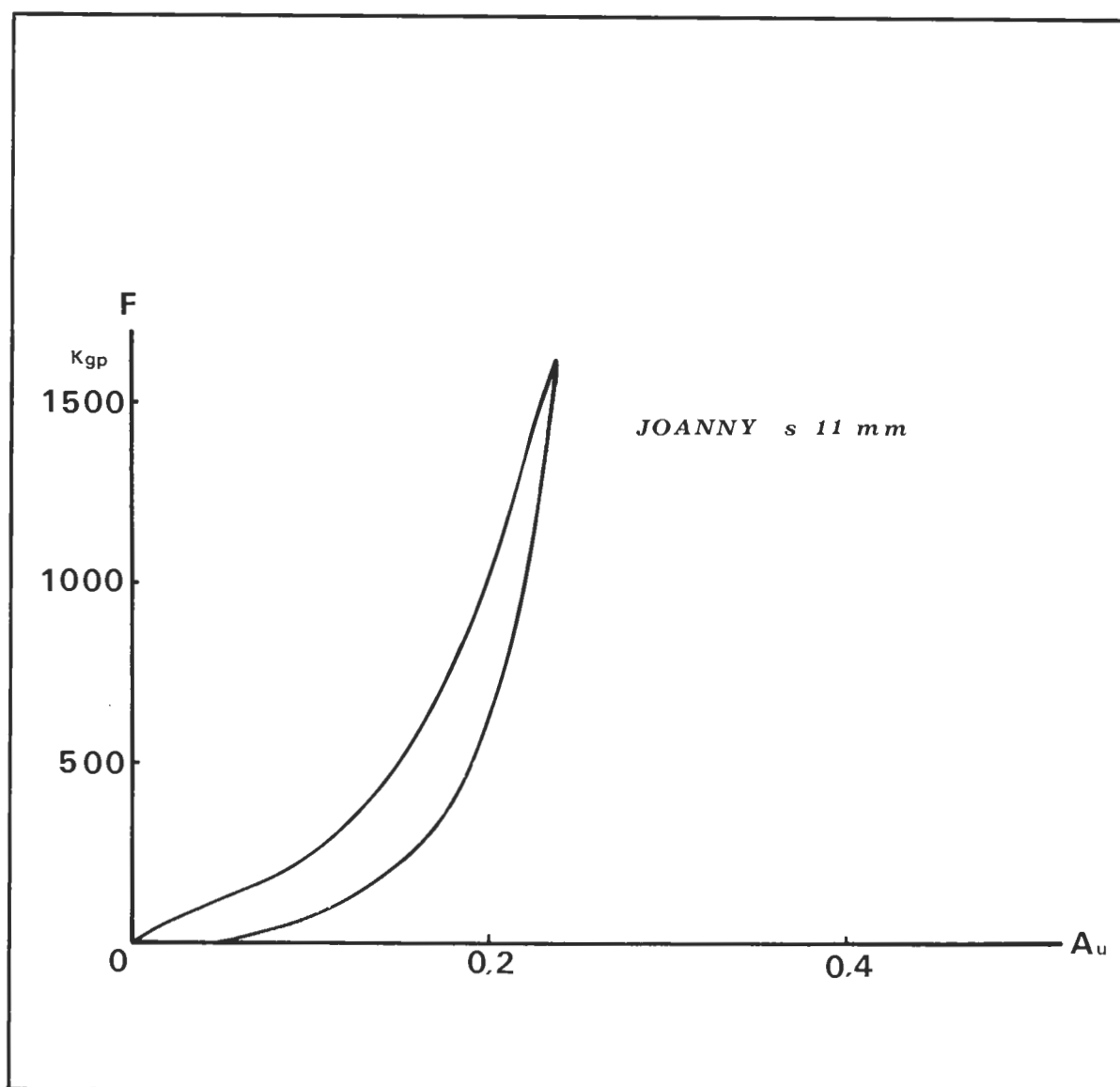
**BEAL ANTIPODES s  $\varnothing$  8**

$P_m$	49	
D	buona	
$C_a$	maglia con fasci di 2 trefoli ritorti	
$N_t$	8	
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
$F_r$	1752	
$F_{rn}$	1032	(-41%)
$F_{rs}$ calza	538	
$F_{rd}$ calza	490	tranciata corda
$F_m$	1010	
$X_d$	2,1	
$\% \Delta E_c$	73	
$\% \Delta E_p$	20	
$\% \Delta E_a$	7	



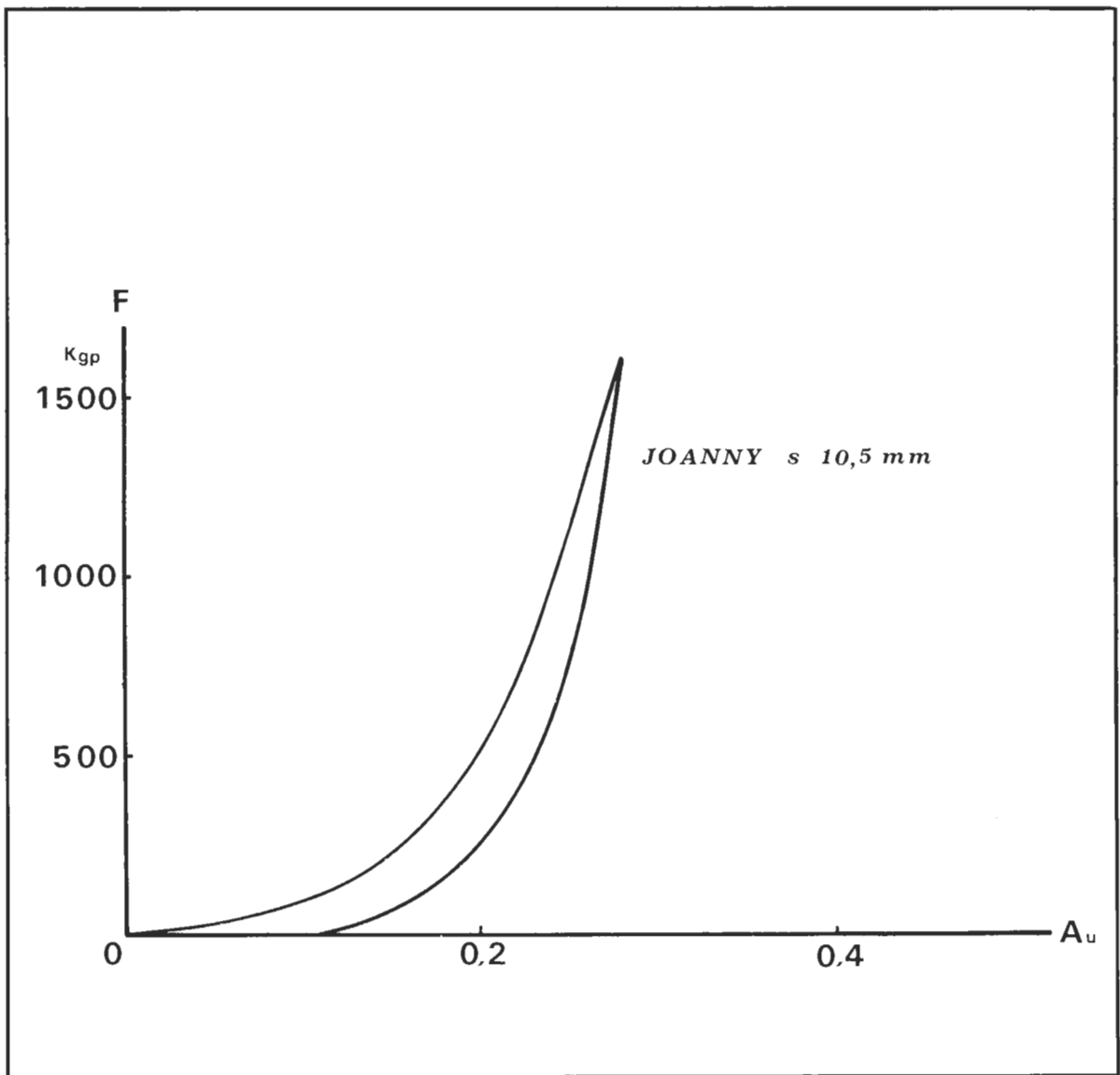
*JOANNY s Ø 11*

$P_m$	79	
D	buona	
$C_a$	maglia con fasci di 2 trefoli ritorti	
$N_t$	16	
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
$F_r$	3218	
$F_{rn}$	2360	(-27%)
$F_{rs}$ calza	663	
$F_{rd}$ calza	580	tranciati 12 trefoli
$F_m$	1210	
$X_d$	1,5	
$\% \Delta E_e$	51	
$\% \Delta E_p$	11	
$\% \Delta E_a$	38	



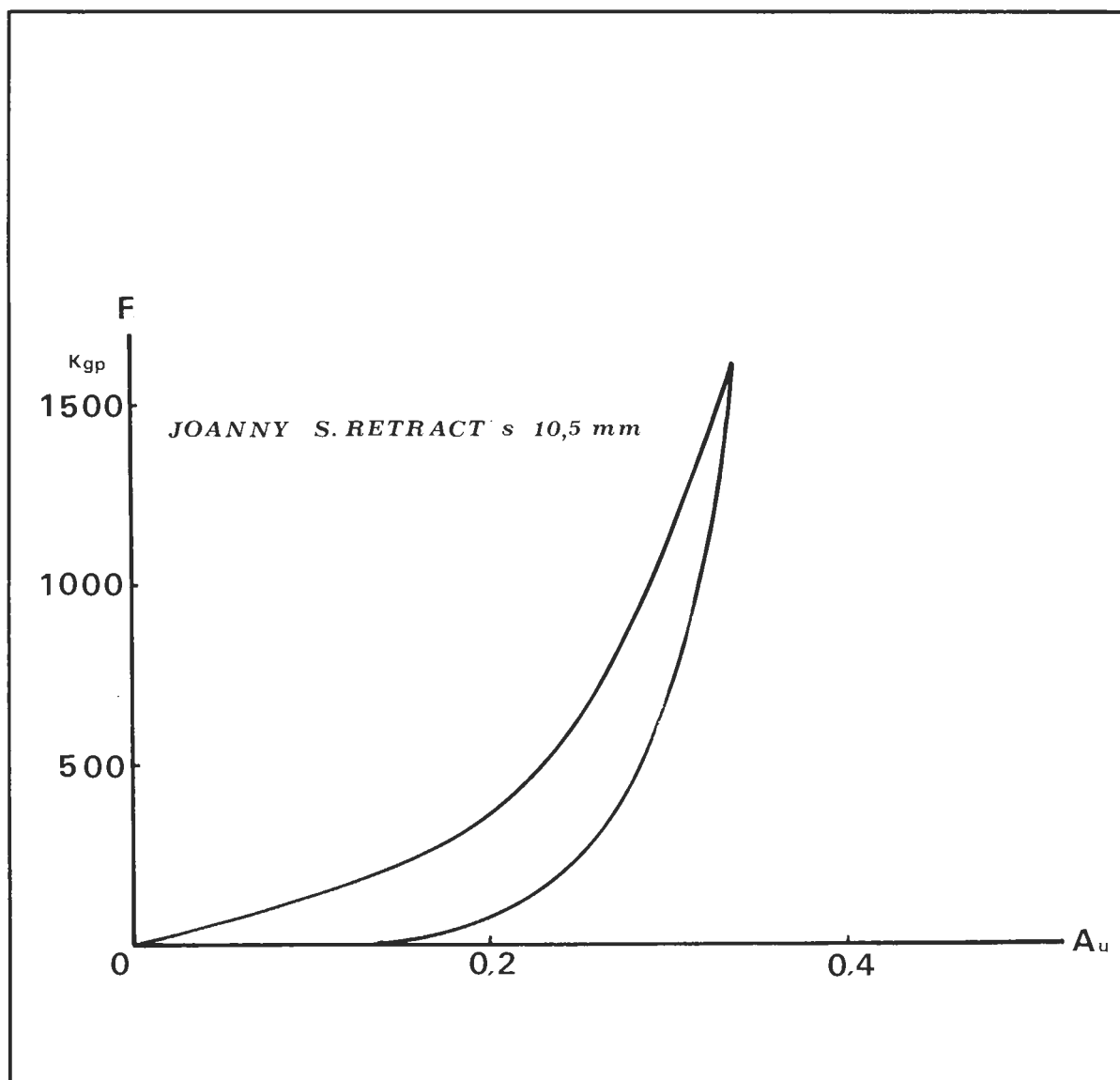
*JOANNY s*  $\varnothing$  10,5

$P_m$	76	
D	scarsa	
$C_a$	maglia con fasci di fili elementari paralleli	
$N_t$	13	
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
$F_r$	3078	
$F_{rn}$	1950	(-37%)
$F_{rs}$ calza	708	
$F_{rd}$ calza	640	tranciati 4 trefoli
$F_m$	1240	
$X_d$	1,4	
$\% \Delta E_c$	59	
$\% \Delta E_p$	11	
$\% \Delta E_a$	30	



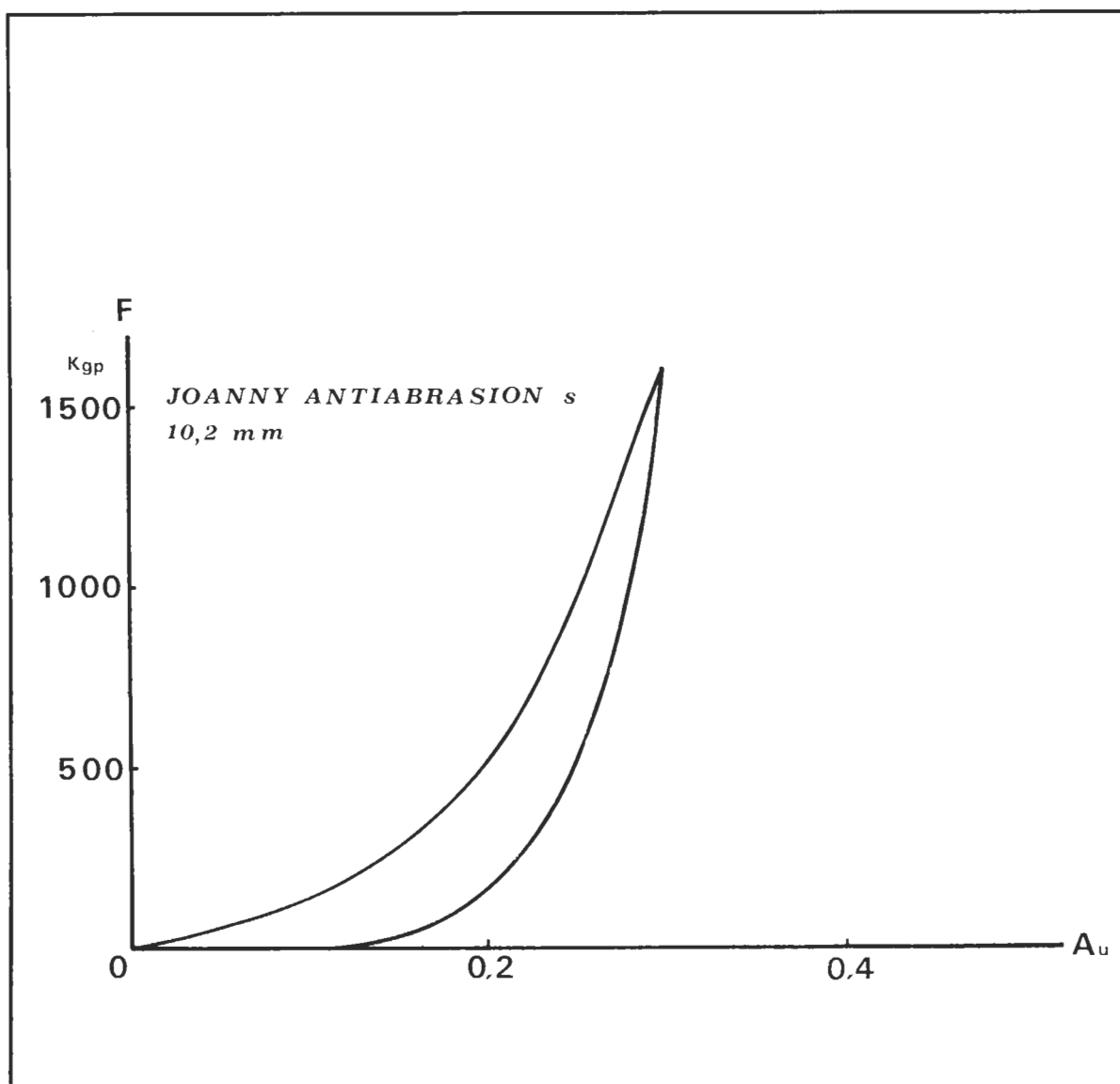
**JOANNY SUPER RETRACT s  $\varnothing$  10,5**

P <sub>m</sub>	76	
D	buona	
C <sub>a</sub>	maglia con fasci di 3 trefoli ritorti	
N <sub>t</sub>	13	
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
F <sub>r</sub>	2808	
F <sub>rn</sub>	1926	(-31%)
F <sub>rs calza</sub>	548	
F <sub>rd calza</sub>	490	tranciati 7 trefoli
F <sub>m</sub>	1140	
X <sub>d</sub>	1,7	
% $\Delta E_e$	42	
% $\Delta E_p$	21	
% $\Delta E_a$	37	



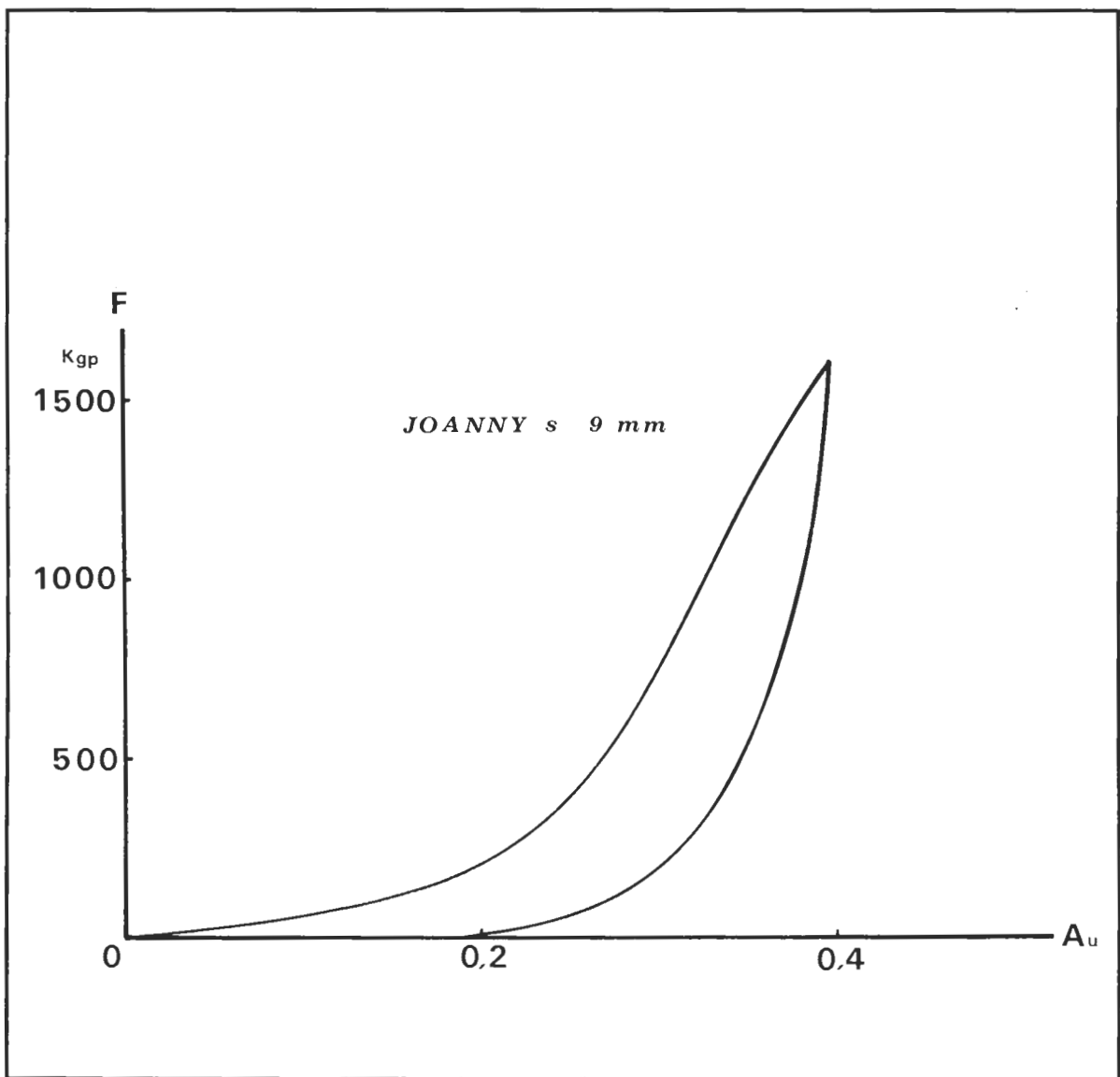
# JOANNY ANTIABRASION s $\varnothing$ 10,2

$P_m$	78	
D	sufficiente	
$C_a$	maglia con fasci di fili elementari paralleli	
$N_t$	12	
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
$F_r$	2699	
$F_{rn}$	1585	(-41%)
$F_{rs}$ calza	501	
$F_{rd}$ calza	440	tranciata corda
$F_m$	1230	
$X_d$	1,4	
$\% \Delta E_c$	64	
$\% \Delta E_p$	13	
$\% \Delta E_a$	23	



*JOANNY s* Ø 9

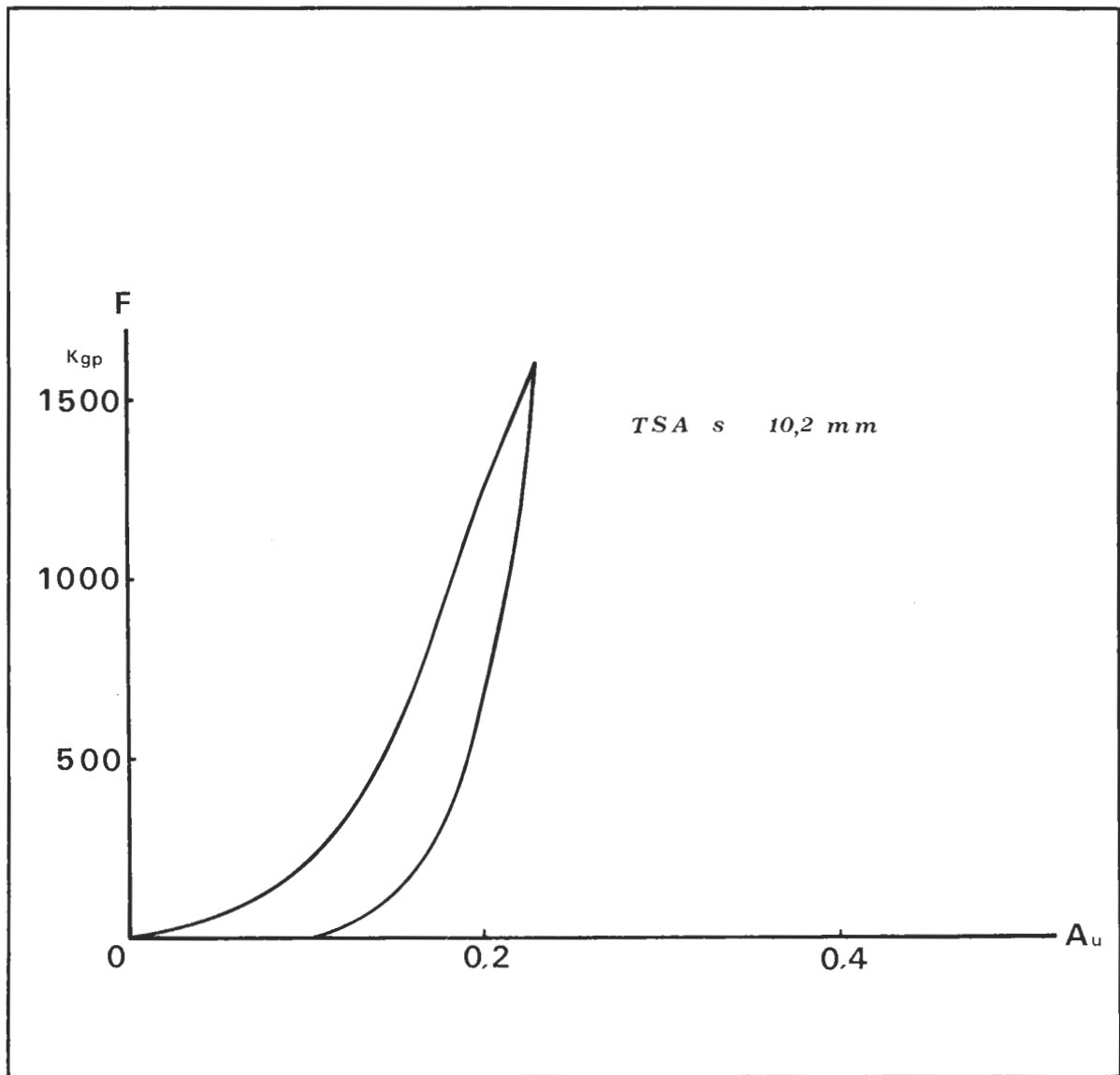
$P_m$	58	
$D$	scarsa	
$C_a$	maglia con fasci di fili elementari paralleli	
$N_t$	10	
$T$	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
$F_r$	2260	
$F_{rn}$	1486	(-34%)
$F_{rs}$ calza	499	
$F_{rd}$ calza	430	tranciata corda
$F_m$	1090	
$X_d$	1,9	
$\% \Delta E_e$	52	
$\% \Delta E_p$	21	
$\% \Delta E_a$	27	





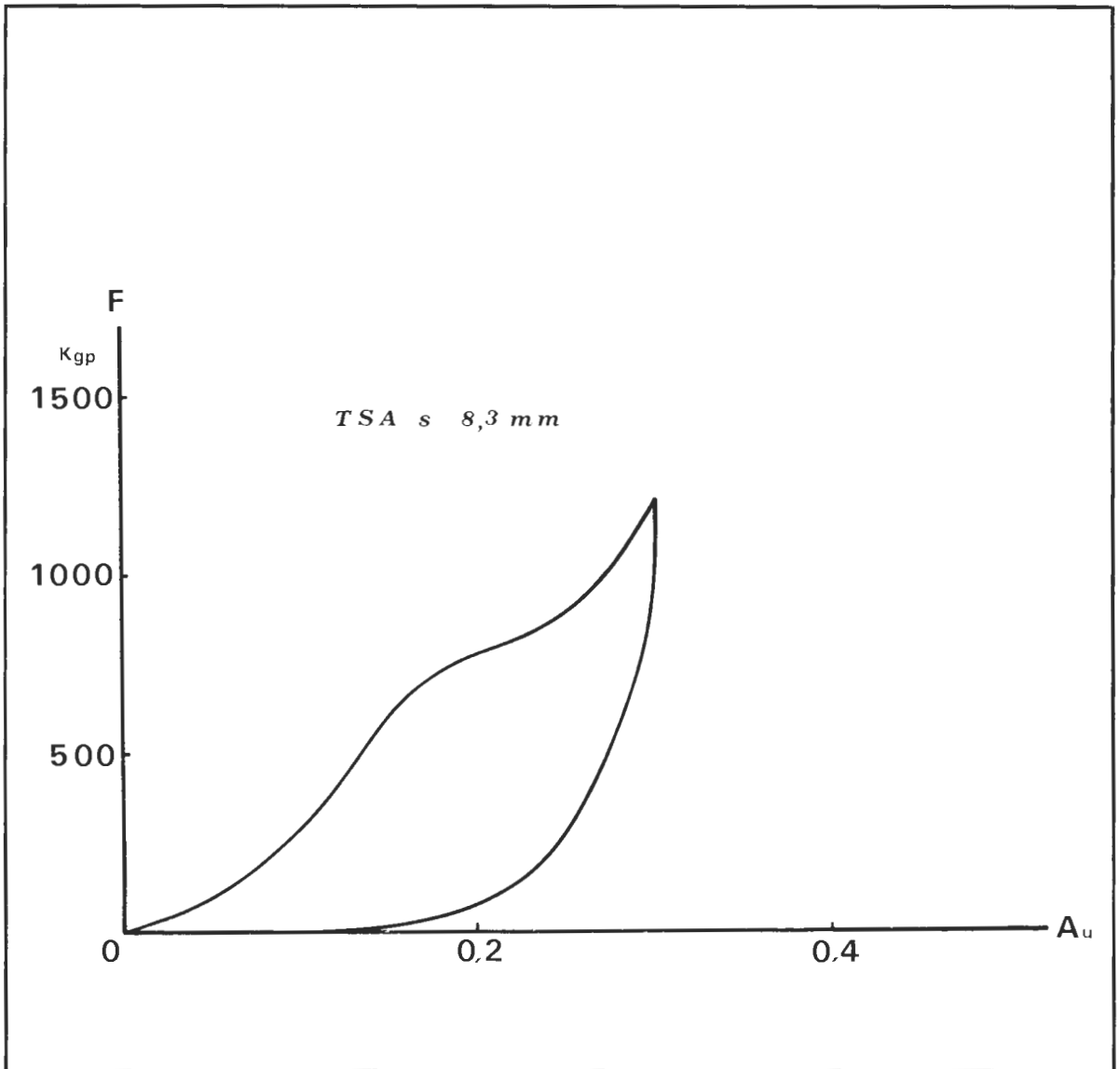
TSA s  $\varnothing$  10,2

$P_m$	71
D	buona
$C_a$	maglia con fasci di 3 trefoli ritorti
$N_t$	16 di cui 2 con $\varnothing$ ridotto
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari
$F_r$	2250
$F_{rn}$	1614 (-28%)
$F_{rs}$ calza	707
$F_{rd}$ calza	640 tranciati 7 trefoli
$F_m$	1390
$X_d$	1,1
$\% \Delta E_c$	53
$\% \Delta E_p$	25
$\% \Delta E_a$	22



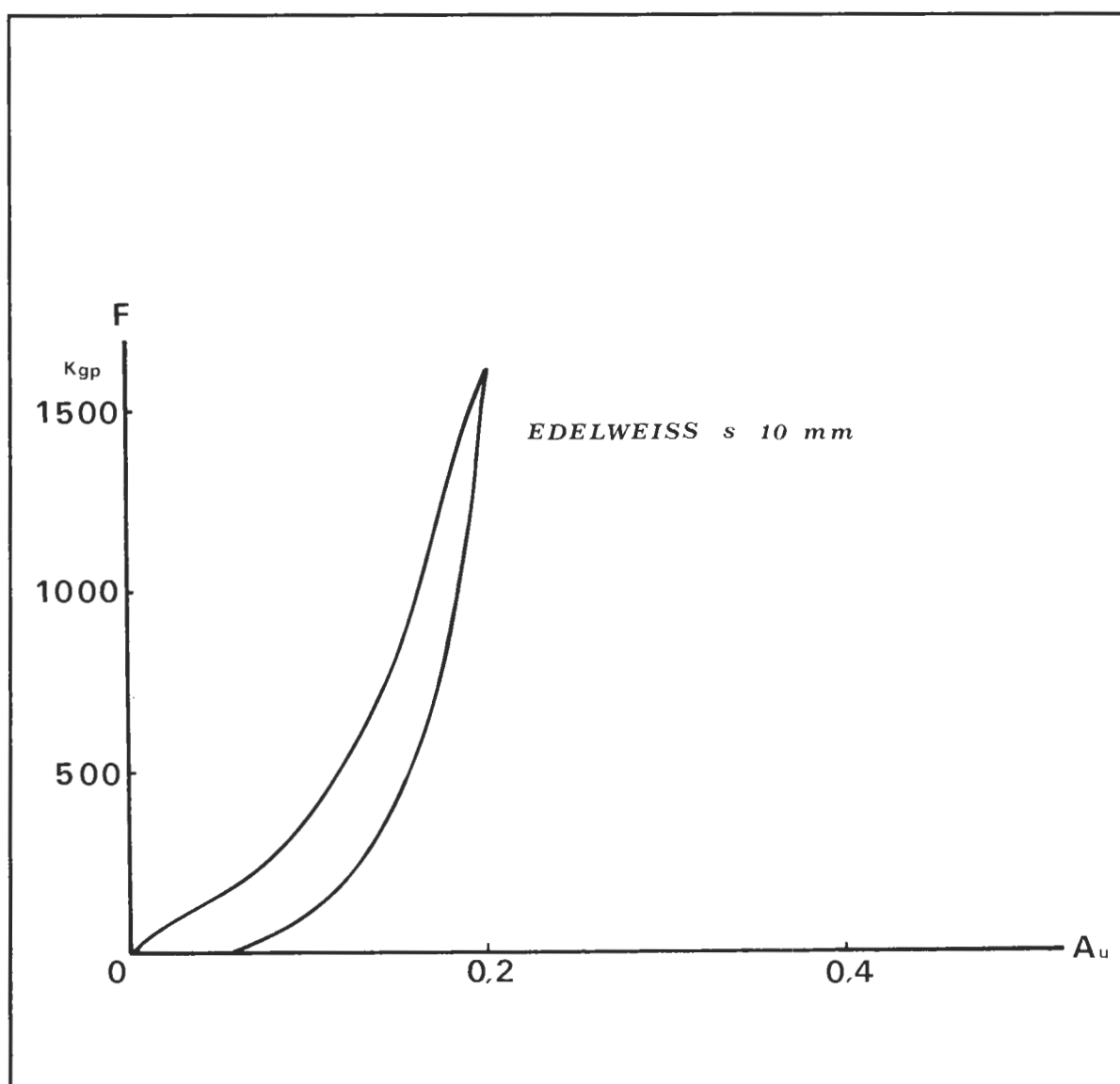
TSA s  $\varnothing$  8,3

$P_m$	56	
D	buona	
$C_a$	maglia con fasci di 2 trefoli ritorti	
$N_t$	14 di cui 5 con $\varnothing$ ridotto	
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
$F_r$	1667	
$F_{rn}$	1172	(-30%)
$F_{rs}$ calza	456	
$F_{rd}$ calza	400	tranciata corda
$F_m$	804	
$X_d$	3,4	
$\% \Delta E_e$	26	
$\% \Delta E_p$	43	
$\% \Delta E_a$	31	



*EDELWEISS s*  $\varnothing$  10

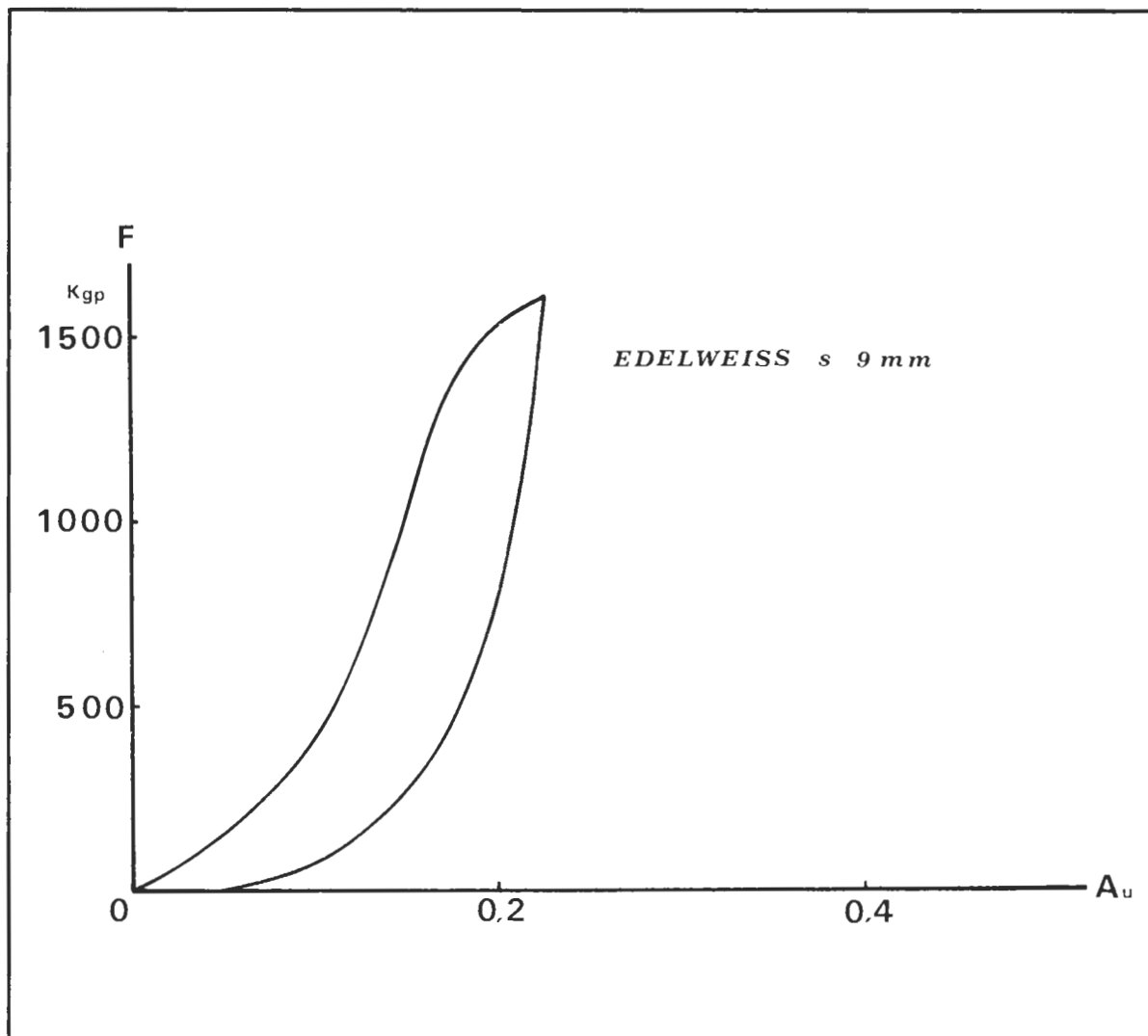
$P_m$	67
D	sufficiente
$C_a$	maglia con fasci di 2 trefoli ritorti
$N_t$	15
T	fasci di fili elementari intrecciati
$F_r$	2588
$F_{rn}$	2135 (-17%)
$F_{rs}$ calza	587
$F_{rd}$ calza	520 tranciati 4 trefoli
$F_m$	1390
$X_d$	1,1
$\% \Delta E_c$	56
$\% \Delta E_p$	12
$\% \Delta E_a$	32



**EDELWEISS s  $\varnothing$  9**

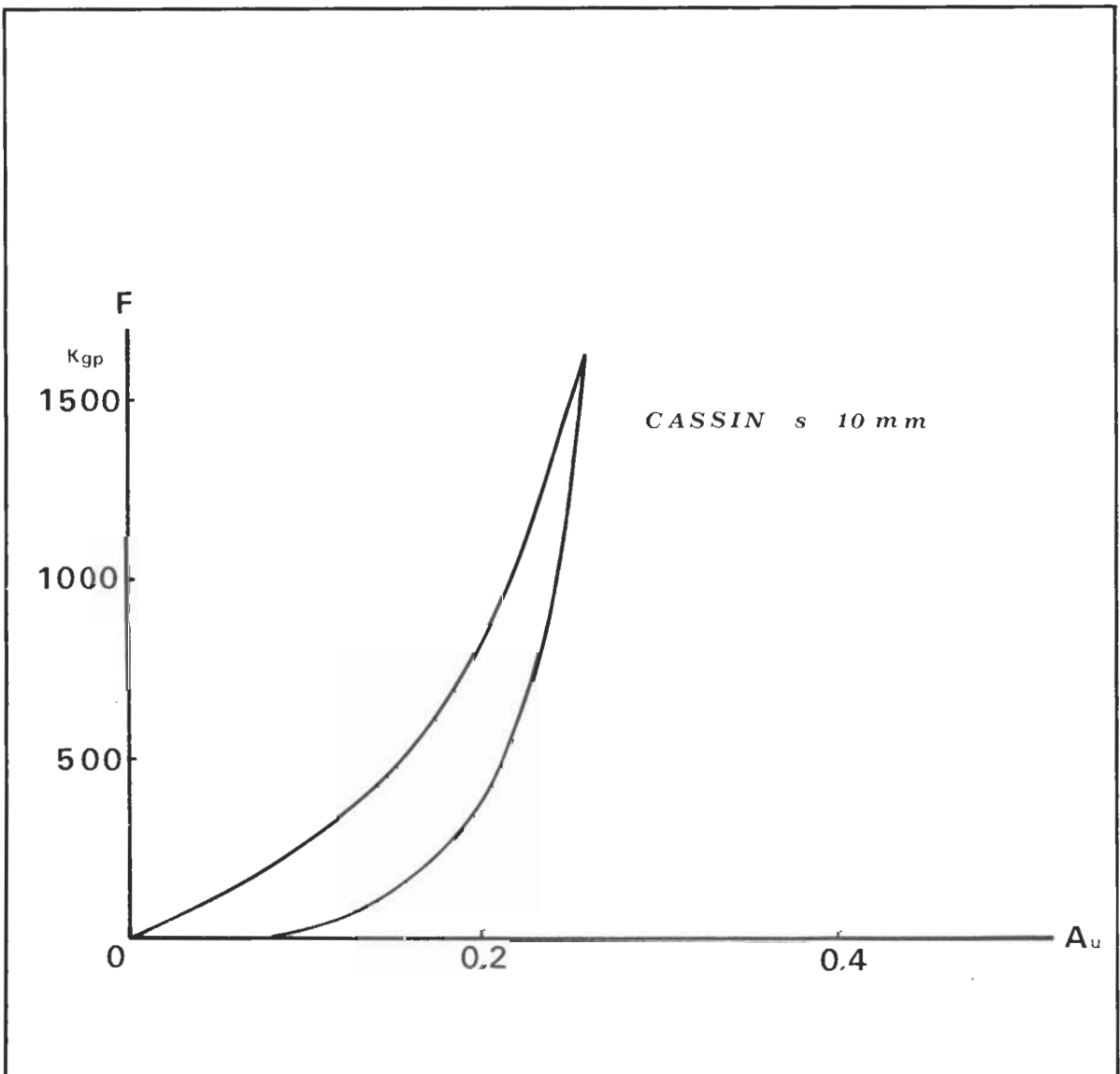
$P_m$	64	
D	sufficiente	
$C_a$	maglia con fasci di 2 trefoli ritorti	
$N_t$	11	
T	fasci di fili elementari intrecciati	
$F_r$	(2008)	
$F_{rn}$	1838	(-8%)
$F_{rs}$ calza	580	
$F_{rd}$ calza	380	tranciata corda
$F_m$	1120	
$X_d$	1,8	
$\% \Delta E_e$	46	
$\% \Delta E_p$	33	
$\% \Delta E_a$	21	

N.B. Il valore di  $F_r$  è posto fra parentesi in quanto si riferisce alla sola rottura dell'anima (la calza si allunga senza coesione con l'anima). Per ottenere anche la rottura della calza occorre trazionare ulteriormente: a 890 Kgp si rompe anche la calza.



**CASSIN s  $\varnothing$  10**

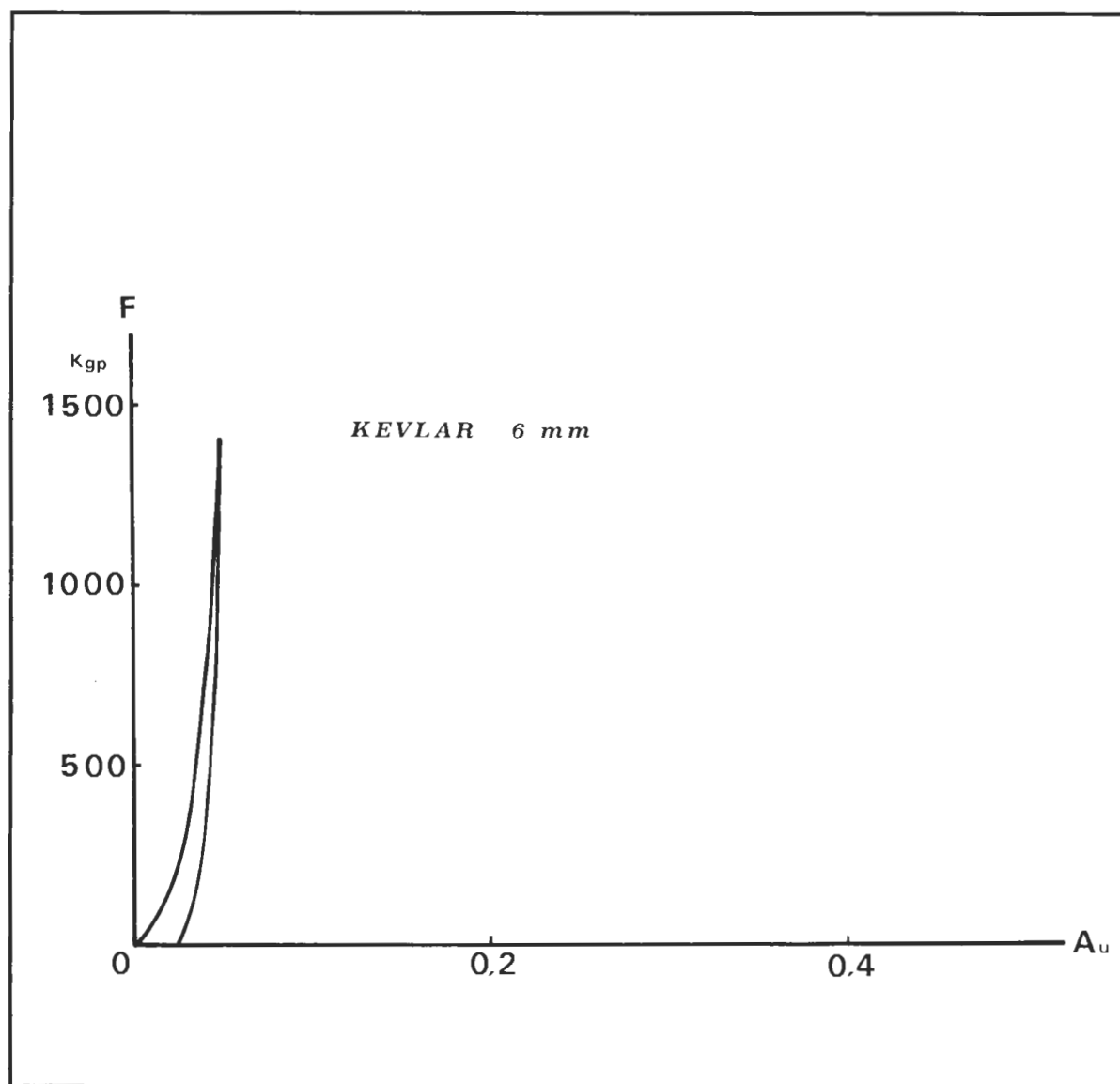
$P_m$	84	
D	buona	
$C_a$	maglia con fasci di 2 trefoli ritorti	
$N_t$	14	
T	ritorti a 3 fasci di fili elementari	
$F_r$	2608	
$F_{rn}$	1476	(-43%)
$F_{rs}$ calza	604	
$F_{rd}$ calza	530	tranciati 7 trefoli
$F_m$	1200	
$X_d$	1,5	
$\% \Delta E_e$	45	
$\% \Delta E_p$	17	
$\% \Delta E_a$	38	



## KEVLAR s Ø 6

$P_m$	23
D	buona
$C_a$	maglia in nylon con fasci di fili elementari paralleli
$N_t$	8 a formare una treccia
T	fasci di fili elementari
$F_r$	1724
$F_{rn}$	1030 (-40%)
$F_{rs}$ calza	139
$F_{rd}$ calza	100 tranciata corda
$F_m$	(740) rottura della corda sul nodo (a nove)

N.B. L'impossibilità di ottenere un valore per  $F_m$  impedisce anche di valutare i valori dei parametri energetici e del coefficiente di elasticità dinamico  $X_d$ . Per quest'ultimo, dal grafico sottostante, si ricava che il coefficiente X varia da 0,3 a 1,0.



# SINTESI DEI RISULTATI

Nella tabella che segue è riportata una sintesi dei dati ottenuti per le varie corde.

TAB. 24

TIPO DI CORDA	Ø mm	PESO g/m	Fr Kgp	Fm Kgp	Fr-Fm —%	Frs Calza Kgp	Frd Calza Kgp	Fm kgp	Fm-Fm Kgp	Xd Sec <sup>2</sup> /m Kg·10 <sup>-5</sup>	% ΔE <sub>c</sub>	% ΔE <sub>p</sub>	% ΔE <sub>a</sub>
Edelrid ss	10	66	2715	1986	27	610	530	1380	606	1,1	59	7	54
Edelrid ss	9	56	2400	1590	34	543	450*	1250	334	1,3	63	18	19
Edelrid ss	8	47	1675	1094	35	436	360*	(950)	—	(2,1)	(49)	(29)	(22)
Edelrid s	8	45	1400	955	33	418	370*	820	115	3,5	70	22	8
Beal Antip. s	10,2	74	2655	1481	44	708	680	1320	161	1,2	49	18	33
Beal Antip. s	10	66	2395	1317	45	693	650	1300	17	1,2	51	19	30
Beal Antip. s	9	62	1857	1103	41	561	460	1280	-177	1,3	42	34	24
Beal Antip. s	8	49	1752	1032	41	538	490*	1010	12	2,1	73	20	7
Joanny s	11	79	3218	2360	27	665	580	1210	1150	1,5	51	11	38
Joanny s	10,5	76	3078	1950	37	708	640	1240	710	1,4	59	11	30
Joanny Super Retract s	10,5	76	2808	1926	31	548	490	1140	786	1,7	42	21	37
Joanny Anti Abrasion s	10,2	78	2699	1585	41	501	440*	1230	355	1,4	64	13	25
Joanny s	9	58	2260	1486	34	499	430*	1090	396	1,9	52	21	27
Tsa s	10,2	71	2250	1614	28	707	640	1390	224	1,1	53	25	22
Tsa s	8,3	56	1667	1172	30	456	400*	840	332	3,4	26	43	31
Edelweiss s	10	67	2588	2135	17	587	520	1390	745	1,1	56	12	32
Edelweiss s	9	64	2008	1838	8	580	380*	1120	718	1,8	46	33	21
Cassin s	10	84	2608	1476	43	604	530	1200	276	1,5	45	17	38
Kevlar	6	25	1724	1030	40	139	100*	—	—	—	—	—	—

## Note

- 1) I valori asteriscati, relativi a  $F_{rd}$ calza, si riferiscono ai casi nei quali la maniglia ha tranciato completamente la corda.
- 2) I valori fra parentesi relativi alla corda Edelrid ss  $\varnothing$  8 si riferiscono ad una caduta con  $P=77$  Kgp. Con  $P=90$  Kgp la corda si è sempre rotta, completamente.
- 3) La corda Edelweiss  $\varnothing$  9, sottoposta a trazione lenta fino a rottura, ha un comportamento anomalo: a 2008 Kgp si rompe l'anima ma non la calza, che rimane fortemente allungata. Solo dopo un'ulteriore allungamento si rompe anche la calza a 890 Kgp.
- 4) Sempre per la corda Edelweiss s  $\varnothing$  9 vi è da notare che la ridottissima riduzione di  $F_r$  ( $-8\%$ ) in presenza del nodo è dovuta non tanto ad una sua particolare qualità di sopportare l'effetto nodo quanto al fatto che 2008 Kgp non rappresenta la resistenza dell'intera corda ma solo quella dell'anima. Trazionando la corda annodata, questa si comporta come un tutt'uno per l'azione di coesione che il nodo esplica e quindi con  $F_r$  ipotetico decisamente superiore ai 2008 Kgp (verosimilmente intorno ai 2350 Kgp).
- 5) La corda Kevlar  $\varnothing$  6 nelle prove di caduta si è sempre rotta con  $P=90$  Kgp. La forza di rottura risultante è indicata fra parentesi. In conseguenza di ciò non è stato possibile neanche valutare i parametri energetici e il coefficiente di elasticità, che comunque dovrebbe variare fra 0,3 e  $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$ .
- 6) La colonna « $F_r \rightarrow F_{rn} - \%$ » riporta le riduzioni percentuali del carico di rottura per effetto della presenza del nodo.
- 7) Valori negativi nella colonna  $F_{rn} - F_m$  stanno a significare che  $F_m$  supera  $F_{rn}$  della quantità indicata. Si tenga comunque presente che  $F_{rn}$  è relativo ad un nodo guida con frizione doppiino sotto, mentre  $F_m$  si riferisce a campioni annodati con guida doppiino sotto. Il che rende non propriamente omogeneo il confronto.

## CONSIDERAZIONI

- a) Non sempre ad un  $P_m$  maggiore corrisponde una maggiore  $F_r$ , anzi sono molti i casi in cui avviene il contrario. Questo può essere spiegato con:
  - una migliore tessitura del manufatto che dà maggiore coesione ai vari elementi costitutivi (fili elementari, trefoli, calza);
  - non tutti i fili elementari sono costituiti dallo stesso materiale.
- b) Man mano che diminuisce il diametro di una corda decresce anche la riduzione del carico di rottura per effetto nodo. Questa correlazione, si badi bene, non è generalizzabile, anzi ci sono parecchie eccezioni. Evidentemente la struttura di una corda ha più modi di influenzare lo stesso fenomeno.
- c) Altra sensazione: una corda «tenera» subisce maggiormente la riduzione di  $F_r$  per effetto nodo.
- d) Notevole è il comportamento della Edelweiss s  $\varnothing$  10 annodata la quale detiene nettamente il primato di riduzione di  $F_r$  con solo il 17%.
- e)  $F_{rs}$ calza è sempre più elevata della corrispondente  $F_{rd}$  calza. Come vedremo meglio in seguito nel capitolo «Nodi» questo fatto è presumibilmente dovuto alla più elevata velocità



di allungamento nelle prove di caduta che conduce a sviluppare più attrito e più calore nell'unità di tempo: occorre una forza minore per raggiungere la fusione delle fibre della calza.

f) Il fatto che la corda, per effetto della caduta di un peso con bloccante (prova b) tranci completamente la corda oppure recida solo la calza e alcuni trefoli dipende da fattori difficilmente valutabili. Sta di fatto che alcune corde riescono a superare la prova di caduta altre no. In ogni modo le corde che hanno una maggiore probabilità di sostenere il peso sono quelle a diametro maggiore.

g) L'entità di  $F_m$  dà una misura della capacità di una corda di dissipare energia, sia attraverso allungamenti reversibili (elastici) e irreversibili (plastici) sia per attrito interno al manufatto. Il coefficiente  $X_d$  stabilisce quantitativamente il risultato e c'è una corrispondenza precisa con  $F_m$  (relazione 45).

Come tendenza generale si ha che sono maggiormente «elastiche» le corde a diametro minore.

h) Nella colonna « $F_{rn} - F_m$ » si mette in evidenza la resistenza residua di una corda sottoposta a prova di caduta nelle condizioni note.

Il fatto che la Beal Antipodes s  $\varnothing$  9 abbia un valore negativo ( $-177$  Kgp) sta a significare che la prova di caduta porta la sollecitazione oltre il limite di resistenza teorica della corda. Il che di norma provoca la rottura. Se tale cedimento non avviene lo si deve a fatti contingenti di difficile interpretazione. Comunque la situazione è veramente precaria e aleatoria. Nel caso della Edelrid ss  $\varnothing$  8 la  $F_m$  ha superato la  $F_{rn}$  e questo ha determinato la rottura del campione.

i) Sui cosiddetti parametri energetici ( $\% \Delta E_e$ ,  $\% \Delta E_p$ ,  $\% \Delta E_a$ ) è molto difficile individuare correlazioni. Resta comunque il fatto che in una corda, a parità di ogni altra condizione, più è alta la percentuale di assorbimento per elasticità più si mantengono le sue caratteristiche di assorbire choc.

Una elevata dissipazione di energia per plasticità produce un più rapido decadimento di una corda.

Anche l'assorbimento di energia per attriti interni ha risvolti negativi: la produzione di calore tende a modificare la struttura molecolare e fisica delle fibre sintetiche.

Da notare l'elevata plasticità della TSA s  $\varnothing$  8,3 (43%) che concorda con quanto mostrato nella relativa curva di carico e scarico.

l) Le curve di carico-scarico a corredo delle schede sono una parte fondamentale per l'identificazione e classificazione delle varie corde. Si ricorda che le superfici sottese alle curve equivalgono a lavori di allungamento. La superficie compresa fra le due curve equivale, nelle trazioni lente in assenza di attriti interni, alla quantità di lavoro persa in deformazioni plastiche (irreversibili).

## CONCLUSIONI

1) Solo le migliori corde con  $\varnothing$  superiore o pari a 10 mm danno affidabilità prolungata nel tempo.

2) Le corde con  $\varnothing$  9 mm o meno possono essere utilizzate solo se messe in opera nelle migliori condizioni e per periodi limitati.

Devono essere esclusi errori.

In questa classe di corde solo una (Edelrid ss  $\varnothing$  9 mm) dà una sufficiente garanzia per un uso prolungato e costante, pari ad una corda di diametro maggiore.

- 3) La duttilità e la manovrabilità, anche da usate, è un fattore di sicurezza perché si riversa sull'affidabilità. Corde di diametro troppo elevato danno più svantaggi che vantaggi.
- 4) Una relativamente elevata elasticità diviene elemento di maggior sicurezza solo se è accompagnata da una sufficiente tenuta a trazione in presenza di nodi. Di solito accade proprio il contrario: un elevato coefficiente di elasticità coabita con basse caratteristiche di tenuta e scarsa capacità della calza di resistere alle sollecitazioni esterne.
- 5) Alcune curve di carico-scarico presentano dei tratti, appena evidenti, che tendono verso l'orizzontale (situazioni localizzate nella parte alta del grafico, in corrispondenza delle forze di trazione più elevate). Questo è indice di una limitata capacità di sopportare immunemente intense sollecitazioni.
- 6) Nei casi dove si verifica quanto detto nel punto precedente, la superficie compresa fra la curva di carico e quella di scarico è percentualmente maggiore. È chiaro quindi che la corda dissipa preferenzialmente energia con modificazioni irreversibili e non è certo una buona cosa.
- 7) I cedimenti di cui al punto 5) sono dei veri e propri snervamenti della corda. Meglio evitare che avvengano.
- 8) Una buona corda è quella che ha:
- una curva di carico-scarico senza cedimenti;
  - una superficie compresa fra curva di carico e curva di scarico di dimensioni ridotte;
  - minor allungamento residuo.







## CAPITOLO SETTIMO

# *PROVE DI CADUTA*

## INTRODUZIONE

In questo capitolo si punterà a mettere in risalto le reazioni di una corda quando viene sollecitata ad allungarsi istantaneamente da un peso che cade (fig. 7).

Questi problemi «dinamici» sono stati già in parte affrontati nel capitolo precedente. Ma in quel caso i test sono stati indirizzati a valutare le diverse corde disponibili per avere un quadro completo su ciò che offre il mercato e non al fine di far emergere i comportamenti generali dello strumento «corda».

In quest'ottica, non sembrando né realistico né utile riprodurre tutti i test su tutte le corde note, la CTM ha individuato alcuni tipi di corda in rappresentanza delle più affermate categorie.

Queste sono:

- corde di diverso diametro, molto statiche, compatte, non troppo morbide, con calza tessuta con fasci di fili elementari paralleli

Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm

Edelrid ss  $\varnothing$  9 mm

Edelrid ss  $\varnothing$  8 mm

- corde di diverso diametro, mediamente statiche, duttili e morbide, con calza tessuta con fasci di trefoli ritorti

Beal Antipodes s  $\varnothing$  10,2 mm

Beal Antipodes s  $\varnothing$  9

- Corda di grosso diametro, ad alta resistenza, mediamente statica, compatta e rigida, con calza tessuta con fasci di fili elementari paralleli

Joanny s  $\varnothing$  10,5 mm

— Corda dinamica omologata UIAA

Joanny Class  $\varnothing$  11 mm

— Corda dinamica omologata UIAA

Edelrid Hotiline —M  $\varnothing$  11 mm.

## FORZA MASSIMA E NODI DI ANGORAGGIO

Il nodo è un elemento deformabile sotto trazione e pertanto assorbe energia durante una caduta (bibliografia 1). Ogni nodo reagisce in modo differente e assorbe energia a seconda della sua struttura e di come viene confezionato.

Per valutare quest'effetto nei principali tipi di nodi è stata scelta una corda statica e poco duttile:

Joanny s  $\varnothing$  10,5 mm

le cui caratteristiche sono estesamente riportate nel precedente capitolo.

La rigidità esaspera la funzione ammortizzante del nodo (spire troppo tenere esauriscono presto il loro effetto di molla). La poca elasticità rende percentualmente più importante l'assorbimento di energia nel nodo (vedi anche paragrafo seguente).

### Condizioni sperimentali

l	300 cm
$l_g$	6 cm
P	77 kgp
$f_c$	1

Si misura la forma massima  $F_m$  variando i nodi di ancoraggio. I risultati sono riportati qui di seguito:

Guida con frizione doppino sotto	1115 Kgp
Guida con frizione doppino sotto pretirato a 250 Kgp	1125 Kgp
Guida doppino sotto	1180 Kgp

Guida  
doppino sotto  
pretirato a 250 Kgp

1100 Kgp

Contro tutte le previsioni si verifica che il nodo più portato ad assorbire energia è il «guida» pretirato a 250 Kgp, anche se il «guida con frizione» ha caratteristiche poco diverse (l'uso sistematico di quest'ultimo nodo nell'armo in grotta è dovuto soprattutto alla relativa facilità con cui si può disfarlo).

Invece il «guida» non pretirato è il nodo che ha minor vocazione ad assorbire energia ed anche per tale motivo è stato prescelto come nodo di ancoraggio nelle prove di caduta. Infatti in tali test ciò che deve risaltare è il comportamento della corda e il nodo, che è una necessità di ancoraggio assolutamente inevitabile, va scelto in modo tale da non creare eccessive interferenze nelle misure. Se si dimensiona bene la lunghezza del campione di corda (più è lungo più aumenta la sua elasticità complessiva), scegliendo in modo opportuno il nodo di ancoraggio, i risultati vengono influenzati in maniera trascurabile dalle discontinuità del campione di corda. La questione comunque verrà meglio esaminata nel seguente paragrafo.

Il nodo «guida» è stato prescelto anche perché è di facile e riproducibile confezionamento. Il che evita che ci siano variazioni apprezzabili da prova a prova per effetto di una non uniforme presenza del nodo di ancoraggio.

## EFFETTO LONGE

La teoria dice che cadute con lo stesso  $F_c$  producono la stessa forza massima  $F_m$ , indipendentemente dalla lunghezza di corda sollecitata.

La relazione 26 infatti stabilisce:

$$F_m = P + \sqrt{P^2 + \frac{2hP}{Xl}}$$

dove:

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

e quindi:

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

Si conferma quindi che, utilizzando sempre la stessa corda ( $X = \text{costante}$ ) e lo stesso peso  $P$ , la  $F_m$  dipende unicamente dal fattore di caduta  $F_c$ . Se questo è costante anche  $F_m$  deve essere costante e il grafico  $F_m = f(l)$  deve risultare una retta orizzontale distante proprio  $F_m$  dall'asse delle ascisse.

In conclusione, stando a valutazioni puramente teoriche, se si varia la lunghezza  $l$  del campione di corda ma di pari passo si varia l'altezza di caduta  $h$  di modo che il loro rapporto rimanga immutato, il fattore di caduta non cambia e non dovrebbe cambiare neanche la  $F_m$ .

Ma in pratica questo avviene solo parzialmente in quanto l'inserimento dei nodi di ancoraggio crea una elasticità addizionale che tende ad abbassare la  $F_m$  rispetto ad un ipotetico campione di uguale lunghezza ma ancorato senza nodi. L'effetto percentuale di assorbimento

addizionale di energia da parte dei due nodi di ancoraggio, a parità di ogni altra condizione, è tanto minore quanto maggiore è l'elasticità complessiva del campione. In effetti se aumenta l'elasticità totale del campione mentre quella dei nodi rimane costante, è chiaro che quest'ultima perde sempre più di importanza nel determinare la  $F_m$ .

Una maggiore elasticità del campione si può ottenere in tre diversi modi:

- a) aumentando l'elasticità del materiale costituente la corda o tessendola in una struttura più «dinamica»;
- b) diminuendo il diametro della corda;
- c) aumentando la lunghezza del campione senza aumentare la lunghezza delle gasse dei nodi di ancoraggio.

Per mettere in evidenza questo fenomeno di assorbimento addizionale di energia da parte dei nodi, anche per definire la lunghezza del campione oltre la quale tale fatto diviene trascurabile, sono stati eseguiti dei test a caduta con diversi tipi di corda, a diverso diametro, variando, per ciascuno di essi, la lunghezza  $l$  del campione.

Condizioni sperimentali	
$l_g$	6 cm
P	90 Kgp
$F_c$	1

I risultati (in Kgp) sono contenuti nella tabella che segue.

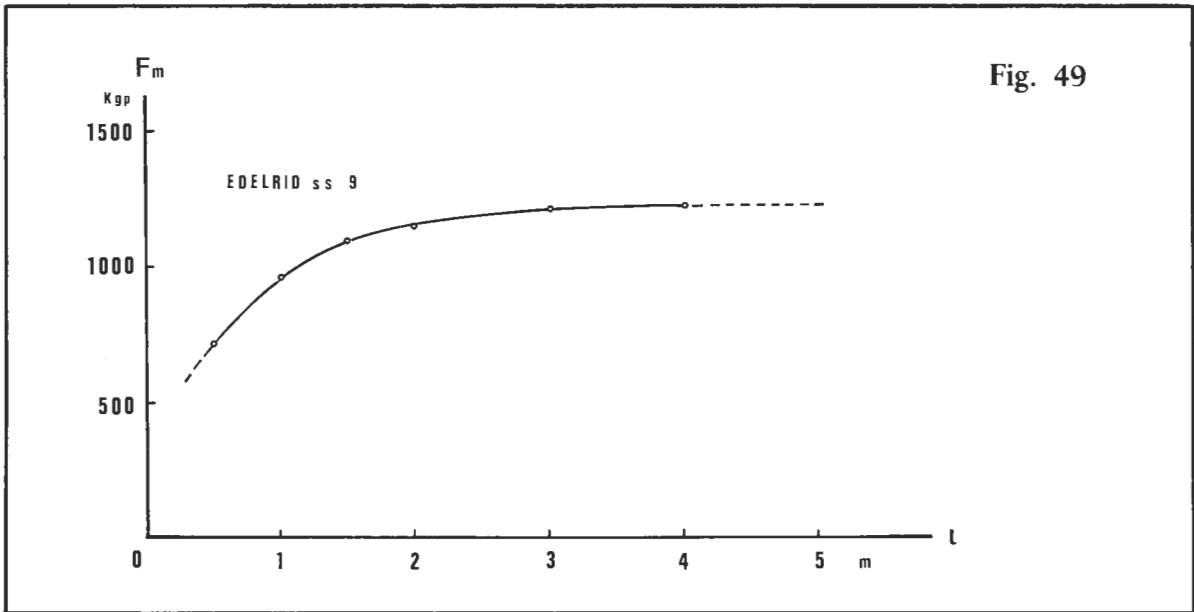
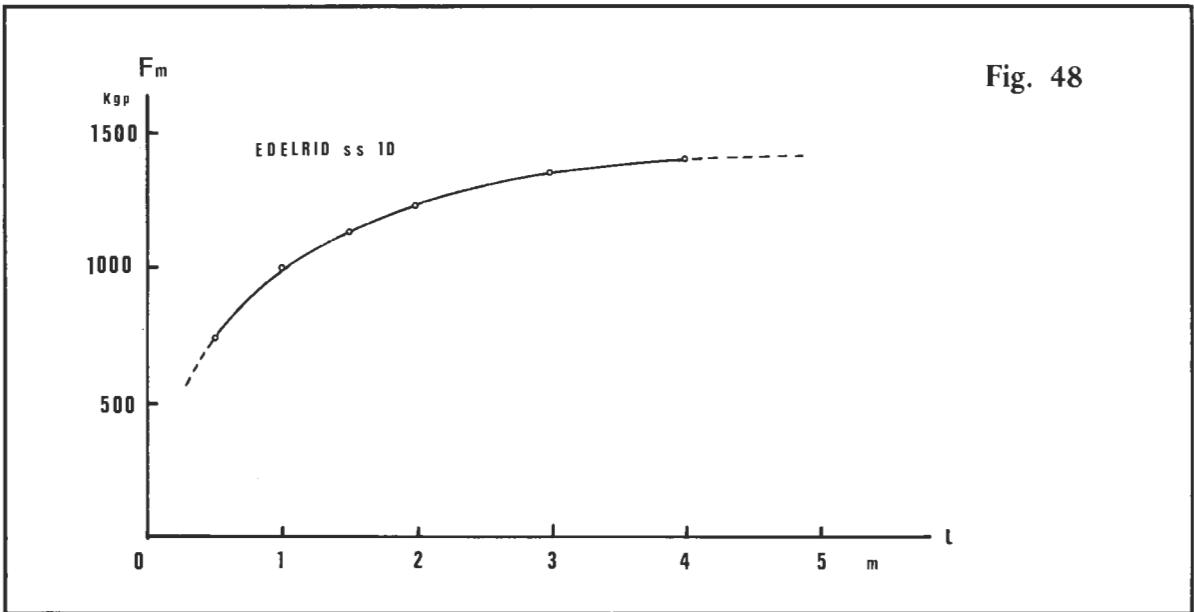
TAB. 25

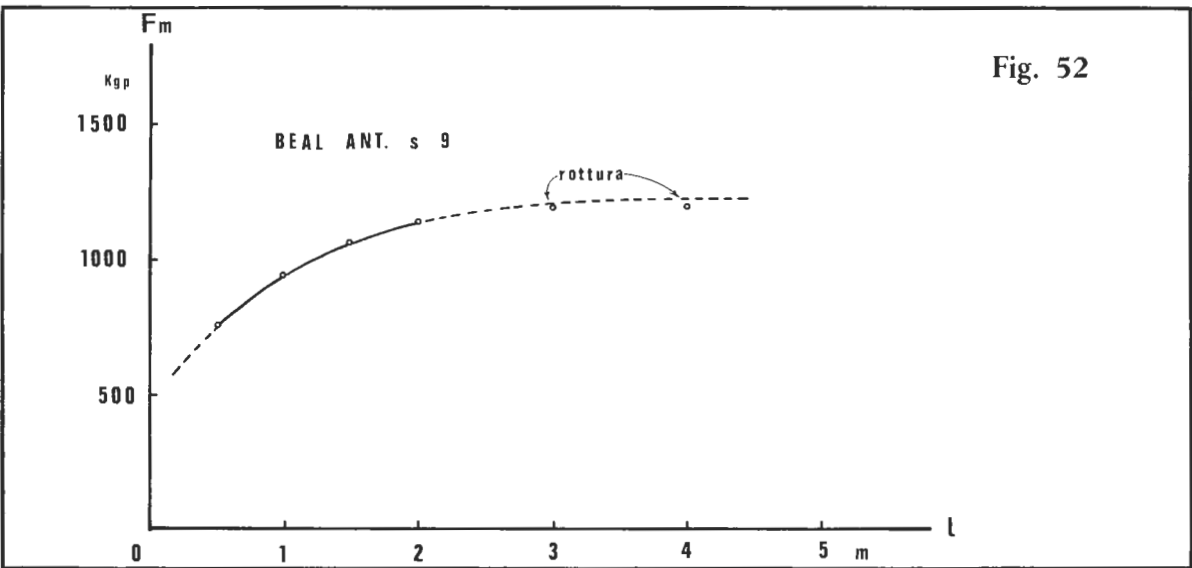
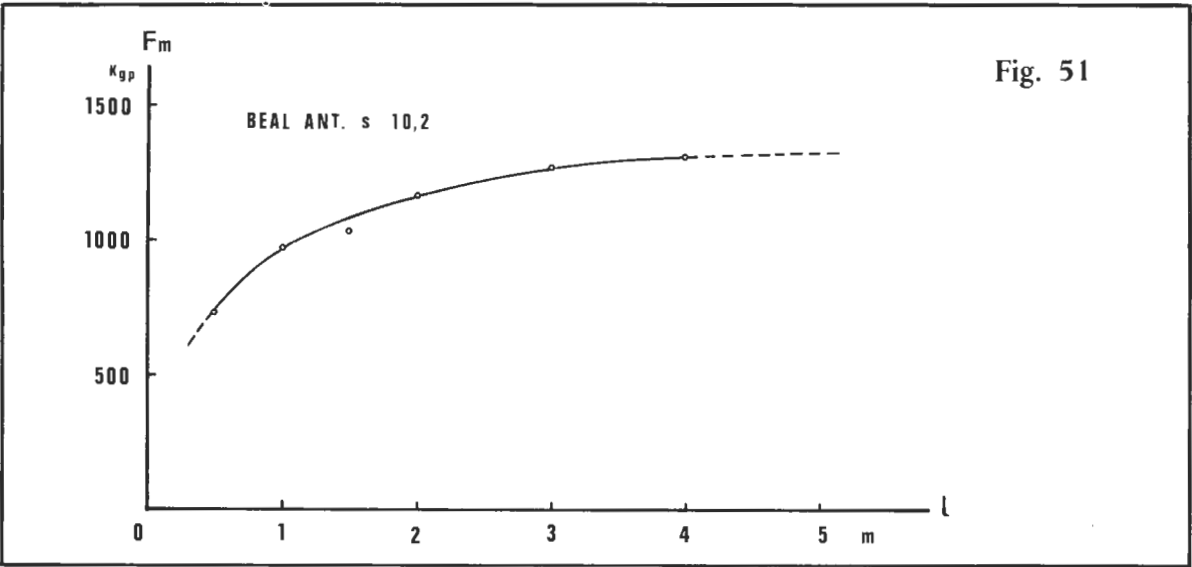
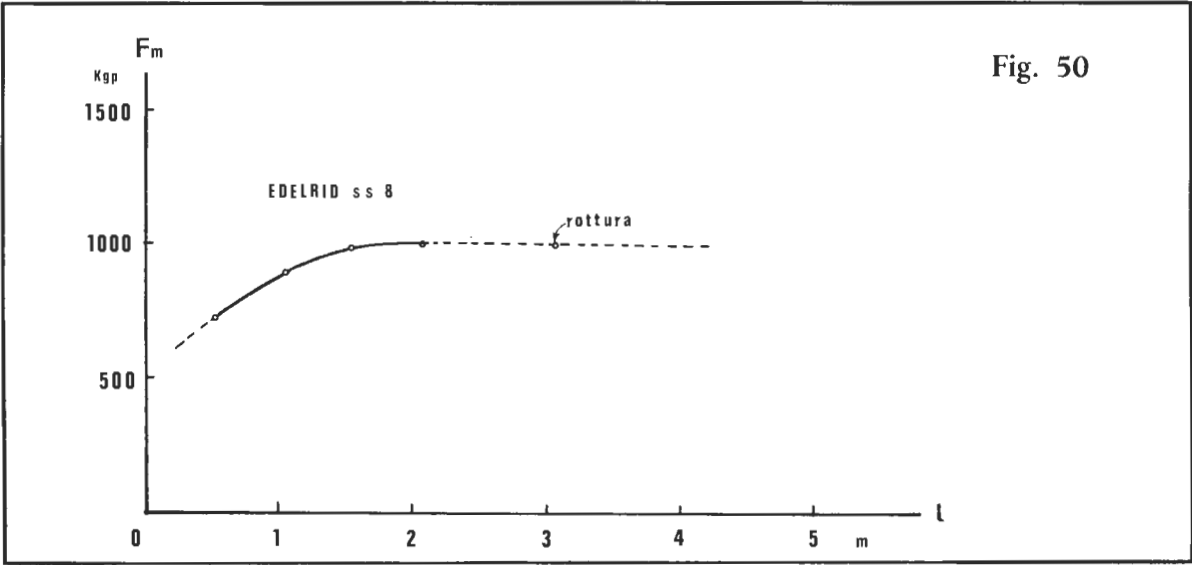
TIPO DI CORDA	LUNGHEZZA CAMPIONE (m)					
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
Edelrid ss $\varnothing$ 10	740	1000	1130	1230	1350	1400
Edelrid ss $\varnothing$ 9	720	960	1090	1140	1220	1230
Edelrid ss $\varnothing$ 8	720	880	970	990	990*	—
Beal Antip. s $\varnothing$ 10,2	730	970	1020	1160	1270	1310
Beal Antip. s $\varnothing$ 9	760	950	1070	1140	1190*	1190*



**Note**

- 1) I valori asteriscati si riferiscono a prove che hanno prodotto la rottura del campione. Pertanto le misure riportate si riferiscono alla forza di rottura e non a quella d'arresto del peso.
- 2) Per meglio visualizzare i risultati si vedano i grafici di fig. 48-49-50-51-52, che riportano, corda per corda, la variazione di  $F_m$  in funzione della lunghezza  $l$  dei campioni.





## CONFRONTO GRAFICO

- 1) È chiarissimo in tutti i grafici che la curva ha un tratto iniziale in forte ascesa con variazione rapida della percentuale di elasticità propria dei nodi (rispetto a quella totale del campione).
- 2) Man mano che  $l$  aumenta l'elasticità dei nodi diviene via via meno significativa e oltre un certo limite anche trascurabile. La curva allora si piega sempre di più fino a raggiungere un andamento orizzontale su valori di  $F_m$  molto vicini a quelli che è possibile calcolare teoricamente.
- 3) Diminuendo il diametro della corda, l'andamento orizzontale con forza massima costante viene raggiunto con valori di  $l$  più piccoli. Infatti, come più volte detto, l'elasticità di una corda, restando ferme le altre caratteristiche, aumenta con il diminuire del diametro e ne serve di meno per raggiungere l'annullamento dell'effetto nodo.
- 4) La corda Beal, a parità di diametro, è di poco più «dinamica» della Edelrid. Ciò comporta, per esempio, che il grafico di fig. 51 raggiunga l'andamento orizzontale ad un valore di  $l$  inferiore a quello che produce l'identico risultato nel grafico di fig. 48.

## CONCLUSIONI

- 1) Il cosiddetto «effetto longe» è dunque positivo: con  $l$  inferiori al metro la forza massima si riduce nettamente.
- 2) L'andamento orizzontale e costante viene raggiunto a valori di  $l$  diversi da corda a corda:

Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm	4 m
Edelrid ss $\varnothing$ 9 mm	3 m
Edelrid ss $\varnothing$ 8 mm	2 m
Beal Antipodes s $\varnothing$ 10,2 mm	4 m
Beal Antipodes s $\varnothing$ 9	3 m

La CTM ha ritenuto quindi corretto utilizzare campioni di corda della lunghezza standard di 3 m. L'eventuale scelta di una lunghezza standard maggiore non avrebbe dato nulla in più dal punto di vista sperimentale, ma in compenso avrebbe creato dei grossi problemi tecnici, logistici ed economici.

E a proposito della lunghezza dei campioni nelle prove di caduta e quindi, di conseguenza, dell'altezza delle palestre relative vi sono alcune considerazioni da fare.

Da quanto risulta con evidenza in queste esperienze e in quelle riportate nel Capitolo Undicesimo «Assicurazione dinamica», le palestre che permettono cadute con campioni di corda lunghi decine di metri sono spettacolari ma di fatto del tutto inutili. I piccoli vantaggi sperimentali che se ne ricavano sono insignificanti rispetto all'enormità dei problemi che insorgono nel gestire palestre di quelle dimensioni. Tutto quello che si può rilevare con campioni di corda lunghi decine di metri si può misurare correttamente anche in cadute con  $l=3$  m. Il voler insistere sulla creazione di palestre di notevoli dimensioni è in realtà un alibi per non operare.

## CHOC RIPETUTI

L'argomento non è tale da investire nel concreto la progressione speleologica. Difatti ben difficilmente accade che in grotta una corda possa subire uno choc di tipo alpinistico. Comunque, anche se la questione ha risvolti essenzialmente teorici per la speleologia, è pur sempre vero che i test con choc ripetuti mettono a nudo le caratteristiche più riposte delle corde. E poi, a parlar di queste cose, facciamo un piacere ai nostri cugini ricchi che bazzicano «epidermicamente» le montagne.

### CHOC RIPETUTI E FORZA MASSIMA

Alcuni campioni di corde sono stati sottoposti ad una successione di choc per caduta di un peso allo scopo di misurare  $F_m$  e  $X_d$ .

Condizioni sperimentali:	
$l$	300 cm
$l_g$	6 cm
$P$	90 Kgp
$F_c$	1
nodo	guida doppino sotto

La lunghezza  $l$  del campione è quella iniziale. Nei successivi choc, restando il campione lo stesso, questa lunghezza aumenterà per la strizione dei nodi e per l'allungamento residuo prodotti.

I risultati (in Kgp) sono riportati nella tabella 26, indicando con «choc 0» i risultati relativi alla corda nuova, con «choc 1» i risultati ottenuti su campioni choccati una sola volta, con «choc 2» i risultati ottenuti su campioni choccati due volte, e così via. Quindi, per esempio, i valori che si leggono in corrispondenza della colonna «choc 3» sono quelli relativi al 4° choc.

Il coefficiente di elasticità dinamico  $X_d$  è riportato in  $\text{sec}^2/\text{m Kg} \cdot 10^{-5}$ .

#### Note

1) I valori con un asterisco si riferiscono a prove che hanno prodotto la rottura del campione e la misura riportata non è dunque la  $F_m$  ma la forza alla quale si è verificato il cedimento della corda (sempre nel punto di uscita delle spire del nodo).

2) Il valore con il doppio asterisco è relativo tanto ad una serie di choc che non ha prodotto la rottura alla quarta caduta, quanto ad un'altra identica serie di choc che invece, alla quarta caduta, ha determinato il cedimento del campione. In entrambi i casi si è ottenuto il valore di 1750 Kgp.

TAB. 26

TIPO DI CORDA	CHOC 0		CHOC 1		CHOC 2		CHOC 3		CHOC 4	
	F <sub>m</sub>	X <sub>d</sub>	F <sub>m</sub>	X <sub>d</sub>	F <sub>m</sub>	X <sub>d</sub>	F <sub>m</sub>	X <sub>d</sub>	F <sub>m</sub>	X <sub>d</sub>
<i>Dinamiche</i>										
Joanny Class Ø 11	850	3,2	1063	1,9	1145	1,7	1200	1,5	1240	1,4
<i>Statiche</i>										
Edelrid ss Ø 10	1380	1,1	1590	0,8	1680	0,7	1750**	0,7		
Edelrid ss Ø 9	1250	1,4	1130*							
Edelrid ss Ø 8	970*									
Beal Antipodes Ø 10,2	1320	1,2	1520*							
Beal Antipodes Ø 9	1280	1,3	1050*							

3) Le conclusioni sono tratte complessivamente al termine del paragrafo.

### **CHOC RIPETUTI E CARICO DI ROTTURA CON E SENZA NODO**

Su campioni di Joanny Class  $\varnothing$  11 mm e Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm provenienti da test con ripetizione di choc sono state eseguite dalle ulteriori prove per valutarne il carico di rottura tanto in assenza quanto in presenza di nodo (ovviamente, guida con doppino sotto).

<b>Condizioni sperimentali:</b>	
l	300 cm
$l_g$	6 cm
P	90 Kgp
$F_c$	1
nodo	guida doppino sotto

I risultati sono indicati (in Kgp) nella tabella 27, dove valgono i criteri di lettura precedentemente indicati.

#### **Note**

1) I valori relativi a «choc 5» per la Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm non sono riportati in quanto questo tipo di corda si è rotto al quarto choc.

2) È bene, per una migliore comprensione dei risultati, anticipare (vedi Capitolo Ottavo) i seguenti carichi di rottura  $F_{rn}$  relativi al nodo «guida doppino sotto»:

1956 Kgp	Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm
1502 Kgp	Edelrid ss $\varnothing$ 9 mm
1067 Kgp	Edelrid ss $\varnothing$ 8 mm
1461 Kgp	Beal Antipodes s $\varnothing$ 10,2 mm
1075 Kgp	Beal Antipodes s $\varnothing$ 9 mm

3) Anche in questo caso le conclusioni verranno integrate in quelle finali del paragrafo.

TAB. 27

TIPO DI CORDA	CHOC 0		CHOC 1		CHOC 2		CHOC 3		CHOC 4		CHOC 5	
	Fr	Fr <sub>rn</sub>	Fr	Fr <sub>rn</sub>	Fr	Fr <sub>rn</sub>	Fr	Fr <sub>rn</sub>	Fr	Fr <sub>rn</sub>	Fr	Fr <sub>rn</sub>
Joanny Class Ø 11	3003	2101	2971	2086	2981	2077	3024	2023	2966	1961	2939	1895
Edelrid ss Ø 10	2828	2036	2839	2003	2820	1949	2841	1861	2650	1702	—	—

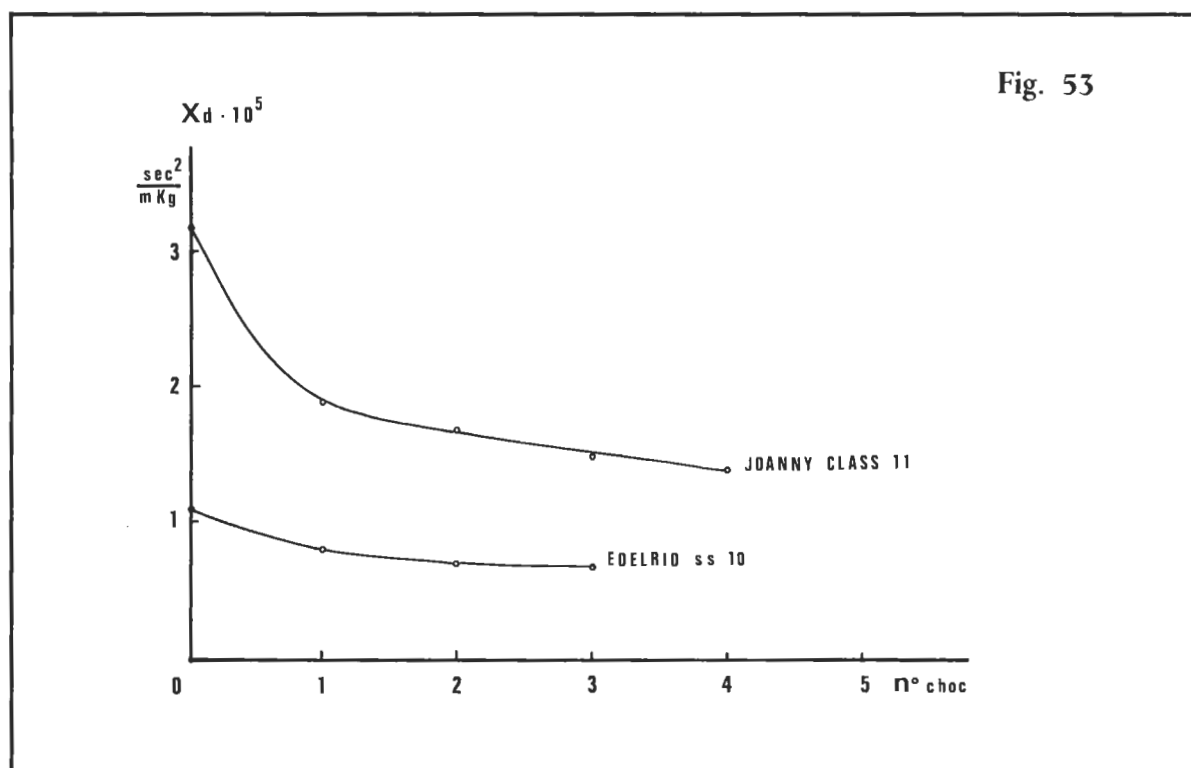
## CONFRONTO GRAFICO E CONCLUSIONI

Per una migliore comprensione della situazione, piuttosto complessa, i dati delle due precedenti tabelle sono stati elaborati graficamente nel modo seguente:

- fig. 53                      variazione  $X_d$  in funzione del numero di choc subiti
- fig. 54                      variazione  $F_r$  (carico di rottura in assenza di nodi),  $F_m$  (carico di rottura in presenza di un nodo «guida doppino sotto») e  $F_m$  (forza massima d'arresto) in funzione del numero di choc subiti nella Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm
- fig. 55                      come in fig. 54 ma per la corda Joanny Class  $\varnothing$  11 mm.

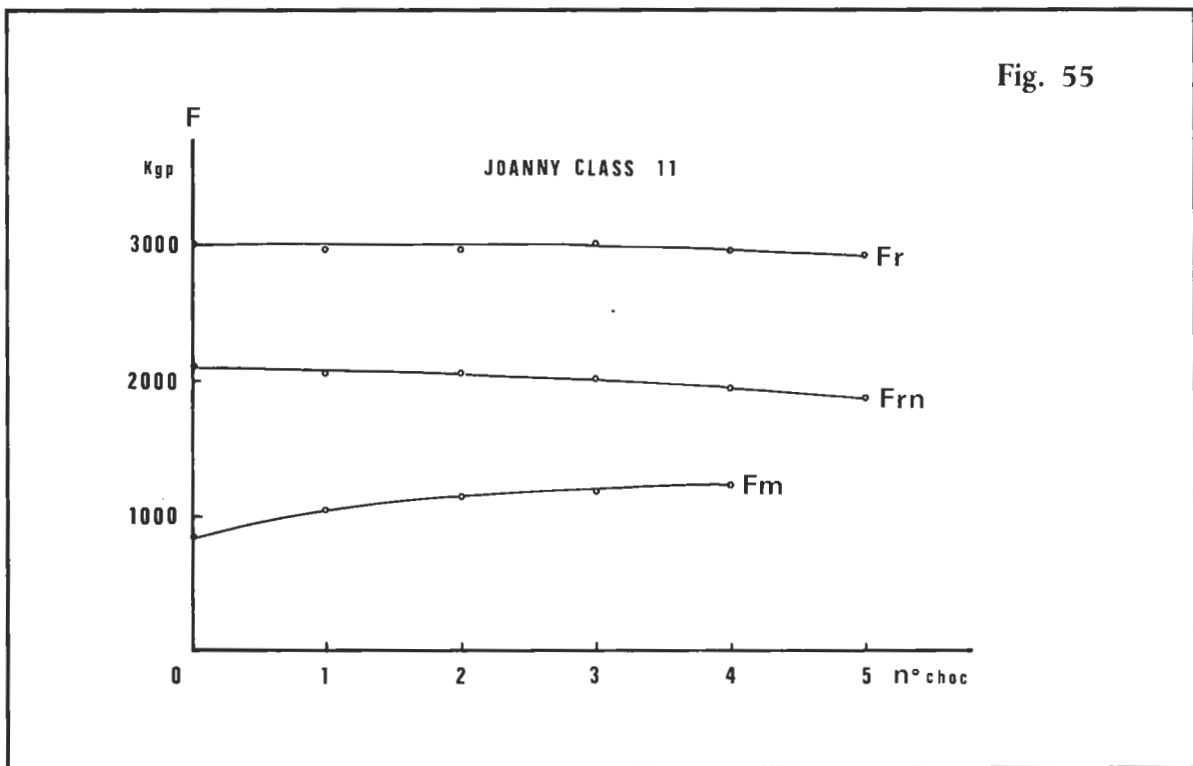
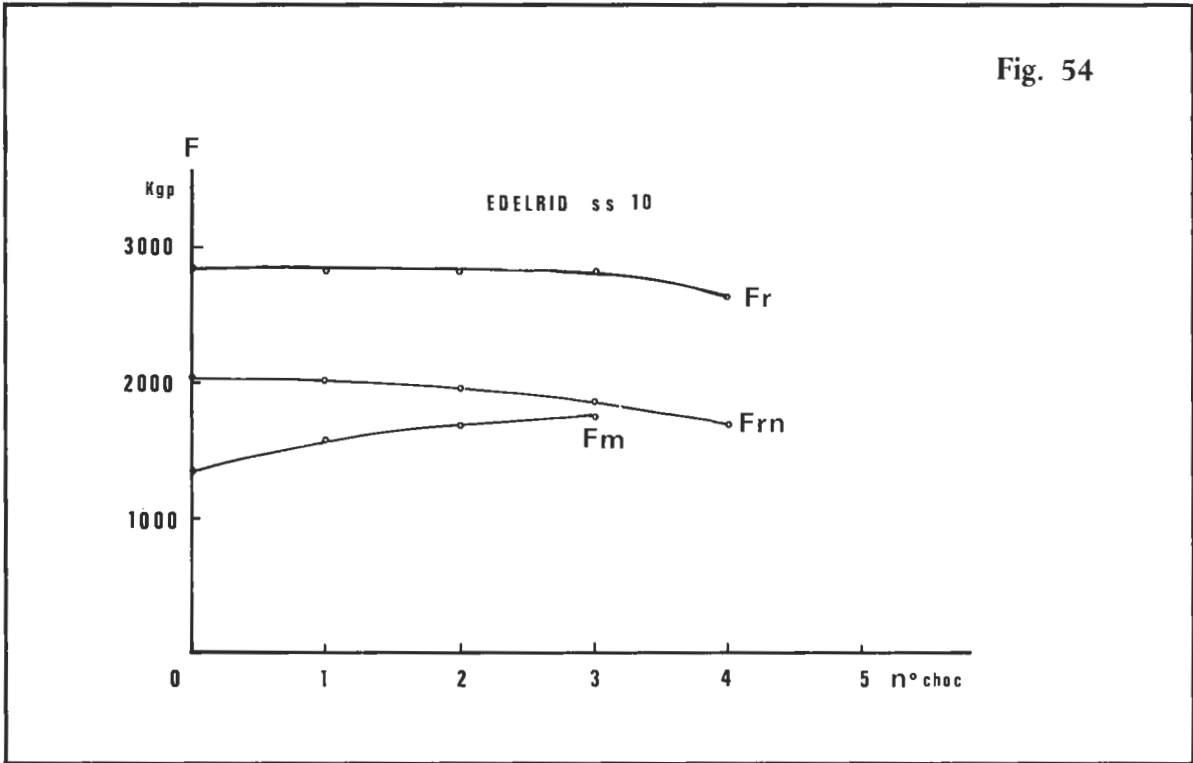
Ma ora puntualizziamo come al solito le considerazioni finali.

- 1) La forza massima, come era prevedibile, aumenta al succedersi delle cadute. Di conseguenza il coefficiente  $X_d$  diminuisce, attestando un aumento di rigidità del campione (fig. 53).
- 2) Il numero di choc che una corda riesce a sopportare prima di rompersi dipende da:
  - a) intensità degli choc somministrati (se di piccola intensità portano alla rottura solo dopo un elevatissimo numero di eventi);
  - b) valore iniziale di  $X_d$  e la sua variazione al succedersi delle cadute (fig. 53);





c) valore di  $F_r$  e di  $F_{rn}$  iniziali e loro variazione in funzione del numero degli choc subiti (fig. 54 e fig. 55).



3) La Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm mostra una variazione di  $F_{rn}$  e  $F_m$  che tende a far avvicinare le due curve dopo il 3° choc. A quel punto la differenza è minima e la probabilità di rottura al 4° choc è molto elevata, ma non certa al 100%. Difatti due serie identiche di choc, benché abbiano portato alla stessa forza al 4° choc (1750 Kgp), in un caso si è avuto l'arresto del peso e nell'altro il cedimento della corda. Tutto si gioca sul filo di pochi Kgp.

4) Per la corda dinamica Joanny Class  $\varnothing$  11 mm si ha una situazione molto diversa in quanto:

- a)  $F_m$  parte da valori molto bassi e la diminuzione di  $X_d$  è contenuta;
- b) l'abbassamento di  $F_r$  è impercettibile anche dopo il 5° choc; non è dunque questo il fattore che può portare al cedimento della corda;
- c) la diminuzione di  $F_{rn}$  è più evidente, ma mai tale da produrre un pericoloso avvicinamento alla  $F_m$ .

5) Interessante notare che la  $F_r$  della Joanny non varia al succedersi degli choc. Il raggiungimento della rottura può avvenire, verosimilmente, per l'aumento della  $F_m$  dovuta alla progressiva perdita di plasticità della corda e per la diminuzione di tenuta nelle spire del nodo. Ma con solo 5 cadute non è dato di vedere la conclusione del processo di «invecchiamento».

6) *Il decadimento per choc successivi è più rapido per le corde statiche che per le dinamiche.*

7) Già al primo choc la Edelrid perde più del 70% della sua plasticità iniziale; nella Joanny si perde non più del 50%.

8) Per le corde di diametro inferiore ai 10 mm si ha la seguente situazione;

- a) quelle con  $\varnothing$  9 mm riescono a malapena a superare il primo choc;
- b) se il diametro scende a 8 mm il primo choc è fatale.

Ma ciò non toglie che un loro uso molto oculato e una manutenzione rigorosa possano permettere una progressione sicura.

*Resta comunque fermo che solo le corde con  $\varnothing$  maggiore o uguale ai 10 mm siano strumenti affidabili.*

9) L'invecchiamento per choc successivi è di natura decisamente diversa da quello per uso o per decadimento naturale nel tempo. Ma questo sarà proprio l'argomento del capitolo che segue «Usura delle corde».

## **INTERAZIONE FRA ATTREZZI MECCANICI E CORDE**

Non è del tutto fuori luogo prevedere cedimenti della via di progressione, tanto in discesa con discensore quanto in salita con bloccanti. In tal caso il «volo» che ne segue procura una sollecitazione alla corda, al sistema di ancoraggio e all'attrezzo che in qualche maniera deve sostenere il peso del corpo.

In questo paragrafo puntiamo la nostra attenzione su quanto accade nell'attrezzo, qualunque esso sia, e sul tratto di corda ad esso collegato. Infatti fra attrezzo e corda si manifesta una complessa serie di fenomeni che tendono ad assorbire l'energia in gioco nella caduta. *Lo svolgersi di questi fenomeni e la loro intensità dipendono strettamente dalle caratteristiche dell'insieme corda-attrezzo e non da quelle, prese singolarmente, della corda e dell'attrezzo.*

Per svolgere una esperienza che in qualche modo chiarisse gli aspetti più interessanti del problema sono state scelte le seguenti corde:

- Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm
- Edelrid ss  $\varnothing$  9 mm
- Edelrid ss  $\varnothing$  8 mm
- Beal Antipodes s  $\varnothing$  10,2 mm
- Beal Antipodes s  $\varnothing$  9 mm

ed i seguenti attrezzi:

- Maniglia Petzl
- Croll Petzl
- Maniglia Jumar
- Maniglia Kong Bonaiti
- Discensore Petzl
- Discensore Stop Petzl.

Le attrezzature sopraelencate, tutte ultimo modello, erano nuove e al meglio delle loro condizioni.

Il test è stato impostato in modo da dare indicazioni sperimentali concrete su quanto accade nel sistema attrezzo-corda a seguito di una caduta choc nelle solite condizioni standard.

<b>Condizioni sperimentali;</b>	
l	300 cm
l <sub>g</sub>	6 cm
P	90 Kgp
F <sub>c</sub>	1
nodo	guida doppino sotto

I risultati sono riportati nella tabella 28. I valori indicati nelle varie colonne rappresentano le forze (in Kgp) alle quali è avvenuto o il cedimento completo della corda (F<sub>r</sub>) o lo scalzamento, magari accompagnato dalla rottura di alcuni trefoli dell'anima. In quest'ultimo caso il corpo è rimasto appeso e la forza registrata è F<sub>m</sub> (forza massima d'arresto). A corredo dei valori di forza sono state inserite delle notizie sulle modalità di interazione fra attrezzo e corda.

I valori mancanti si riferiscono a prove non eseguite.

TAB. 28

TIPO DI ATTREZZO	EDELRID ss Ø 10	EDELRID ss Ø 9	EDELRID ss Ø 8	BEAL ANTIPODES Ø 10,2	BEAL ANTIPODES Ø 9
<b>Maniglia Petzl</b>	<b>530</b> —Rotta calza + 4 trefoli —Arresto peso —Maniglia funzionante	<b>450</b> —Rotta corda —Caduta peso —Maniglia funzionante	<b>360</b> —Rotta corda —Caduta peso —Maniglia funzionante	<b>680</b> —Rotta calza + 2 trefoli —Arresto peso —Maniglia funzionante	<b>460</b> —Rotta calza + 8 trefoli —Arresto peso —Maniglia funzionante
<b>Croll Petzl</b>	<b>420</b> —Rotta corda —Caduta peso —Croll funzionante	<b>410</b> —Rotta corda —Caduta peso —Croll funzionante	<b>420</b> —Rotta corda —Caduta peso —Croll funzionante	<b>470</b> —Rotta calza + 5 trefoli —Arresto peso —Croll funzionante	<b>400</b> —Rotta corda —Caduta peso —Croll funzionante
<b>Maniglia Jumar</b>	<b>600</b> —Rotta corda —Caduta peso —Maniglia funzionante	<b>540</b> —Rotta corda —Caduta peso —Maniglia funzionante	<b>450</b> —Rotta corda —Caduta peso —Maniglia funzionante	<b>660</b> —Rotta calza + 3 trefoli —Arresto peso —Maniglia funzionante	<b>550</b> —Rotta calza + 2 trefoli —Arresto peso —Maniglia funzionante
<b>Maniglia Kong Bonaiti</b>	<b>375</b> —Rotta corda —Caduta peso —Maniglia deformata	<b>420</b> —Rotta corda —Caduta peso —Maniglia funzionante.	—	<b>450</b> —Rotta calza + 8 trefoli —Arresto peso —Maniglia distrutta	<b>360</b> —Rotta calza + 5 trefoli —Arresto peso —Maniglia distrutta
<b>Discensore Petzl + chiave di blocco</b>	<b>1050</b> —16 cm di scorrimento della corda —Attrezzo non deformato	<b>990</b> —16 cm di scorrimento della corda —Attrezzo leggermente deformato	<b>860</b> —55 cm di scorrimento della corda —Corda fusa in due punti —Attrezzo distrutto	—	—
<b>Discensore Petzl Stop</b>	<b>795</b> —65 cm di scorrimento della corda —Attrezzo non deformato	<b>520</b> —109 cm di scorrimento della corda —Attrezzo non deformato	<b>270</b> —300 cm di scorrimento —Il peso ha toccato terra —Attrezzo non deformato	—	—

## MECCANISMI DI ROTTURA

1) Quando un bloccante (Maniglia Petzl, Croll Petzl, Maniglia Jumar, Maniglia Kong Bonaiti) riesce ad arrestare la caduta di un peso il meccanismo di dissipazione dell'energia è sempre uguale nella sostanza. In fig. 56 è riportata, a titolo di esempio, la curva  $F=f(t)$  della prova di caduta con Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm e Maniglia Petzl.

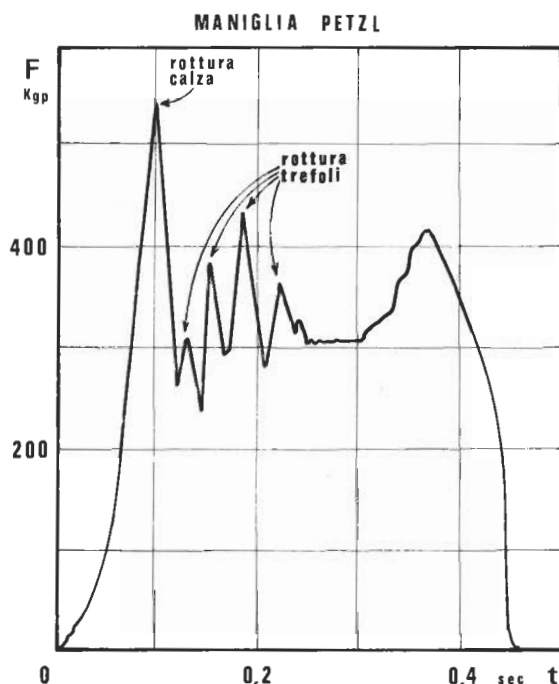


Fig. 56

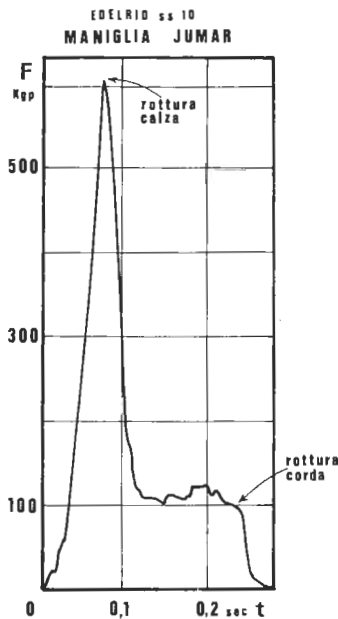
In una prima fase la corda, sollecitata dal peso che cade, si allunga in modo standard e la forza cresce secondo la legge della percussione di un corpo elastico (oscillazioni armoniche). Ma a 530  $Kgp$  la calza viene interamente lacerata dal bloccante e ancora vi è una notevole quantità di energia da dissipare.

Nella fase successiva il cricchetto del bloccante preme sui trefoli dell'anima, oramai messa a nudo, con il fermo che impedisce al cricchetto di esercitare una pressione troppo elevata sulla corda. Il bloccante quindi trascina la calza sull'anima e lacera solo alcuni trefoli (quattro, nell'esempio, in relazione ai quattro picchi secondari che si notano nella curva di fig. 56). Il tutto si aggroviglia sempre di più sotto il cricchetto e determina una forza di attrito, all'apparenza variabile casualmente, che si oppone alla caduta e annulla l'energia ancora in gioco. Il peso si arresta. La caduta è stata evitata perché un certo numero di trefoli è rimasto intatto. La maniglia può essere tolta dalla corda con poca difficoltà. È leggermente deformata ma funzionante.

Questo è il caso con la migliore soluzione: la rottura della calza e di alcuni trefoli è provvidenziale perché innesca un meccanismo di dissipazione dell'energia per attrito che ha il duplice effetto di smaltire l'energia sprigionata dalla caduta e di impedire alla forza di superare un certo livello, oltre il quale la maniglia comunque cedrebbe.

Quello che si determina è un equilibrio dinamico molto delicato alla cui definizione concorrono la giusta tenacità della corda, la commisurata resistenza dei trefoli e della struttura portante della maniglia, l'adeguata pressione del cricchetto sulla corda, modulata dal corretto posizionamento del suo fermo.

2) Se ad esempio prendiamo la caduta del peso, sempre con corda Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm, su Maniglia Jumar (fig. 57), si mette in evidenza un secondo meccanismo di interazione fra corda e attrezzo.

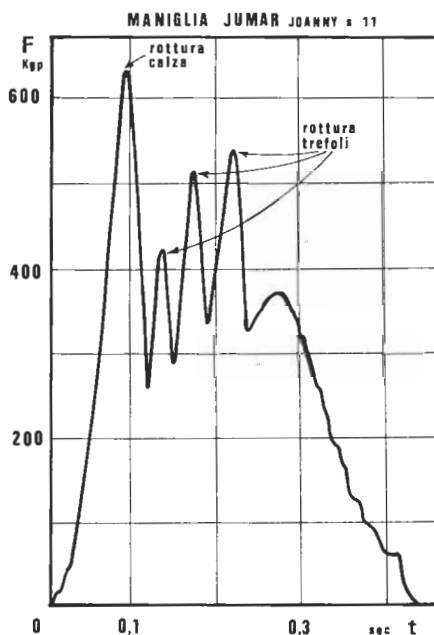


La prima fase è analoga alla precedente con Maniglia Petzl, ma la calza si lacera a 600 Kgp anziché a 530 Kgp.

Anche la seconda fase inizia allo stesso modo della precedente ma si conclude rapidamente con il tranciamento di tutti i trefoli e la caduta del peso. Dal grafico di fig. 57 sembrerebbe che l'attrito che si è sviluppato dopo la rottura della calza sia ben poca cosa. Forse si è manifestata quasi subito un'azione di tranciamento dei trefoli per una eccessiva pressione del cricchetto sulla corda (nella Jumar non c'è fermo).

La maniglia comunque non viene deformata e risulta funzionante.

3) In fig. 58 si mostra un bel grafico dell'arresto del peso con Maniglia Jumar ma su corda Joanny s  $\varnothing$  10,5 mm. In questo caso la particolare tenacità della corda ( $F_r = 3078$  Kgp) ha fatto sì che l'energia venisse dissipata con la rottura di soli 4 trefoli e lo scorrimento forzato della calza sull'anima.



Anche qui la maniglia è risultata funzionante ed è stata tolta dalla corda senza difficoltà.

4) In fig. 59 è mostrato un quarto meccanismo con Maniglia Kong Bonaiti:

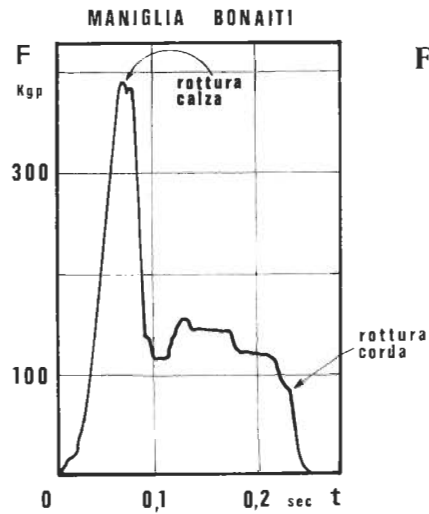


Fig. 59

che si rompa o no la corda, che il peso cada o venga trattenuto, l'attrezzo diviene in ogni caso inutilizzabile per le deformazioni che subisce, soprattutto nel sistema di leve.

5) Il Discensore Petzl, bloccato sulla corda con chiave di chiusura, ha una reazione diversa a seconda del diametro della corda: tanto più è piccolo tanto più si deforma, fintanto che con  $\varnothing = 8$  mm la caduta provoca l'accartocciamento dell'attrezzo (fig. 60).

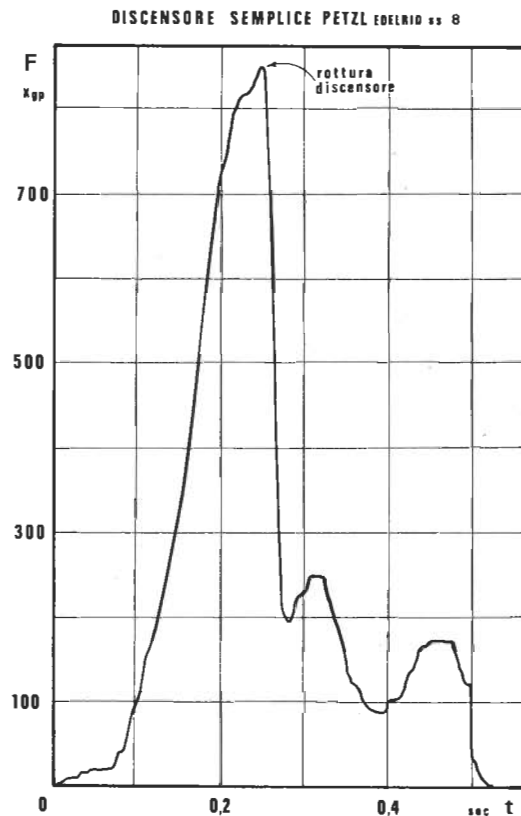
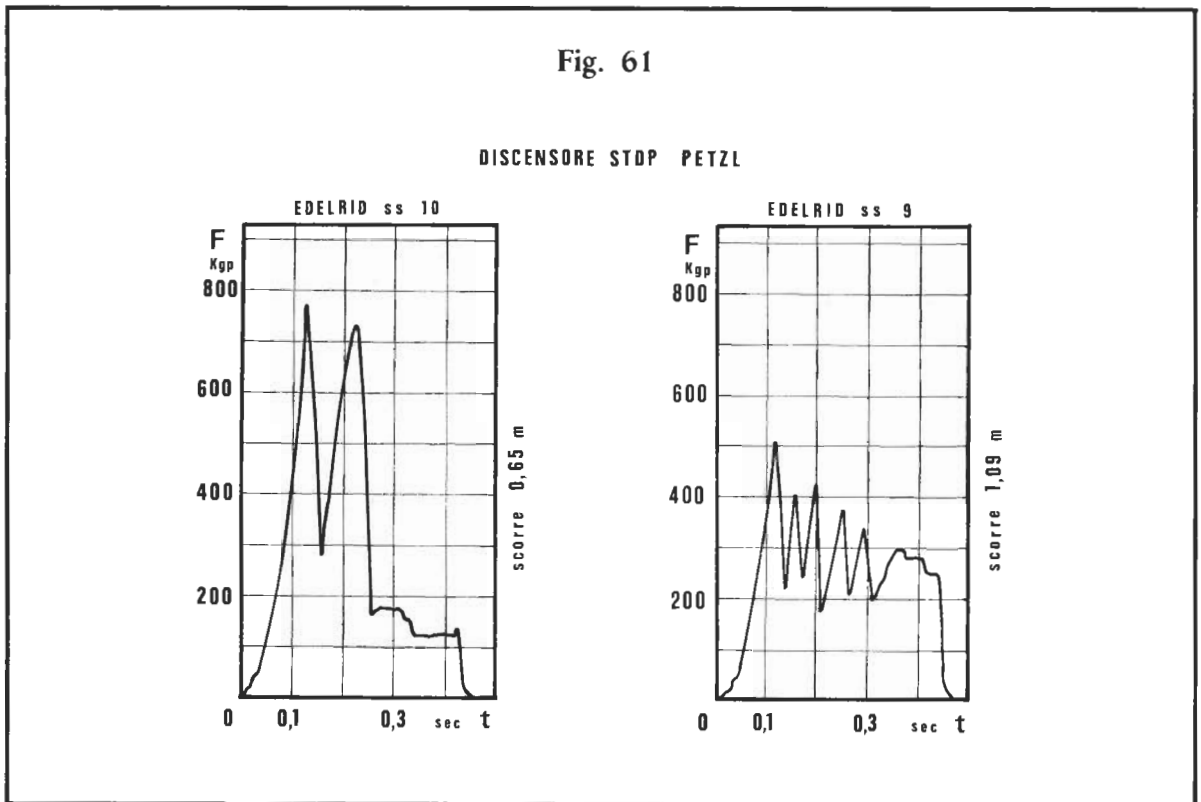


Fig. 60

6) In ultimo il Discensore Stop Petzl, il quale mostra di essere uno strumento decisamente adatto ad ammortizzare gli choc da caduta (c'è comunque da esprimere qualche riserva sulla sua affidabilità e didatticità).

In fig. 61 sono riportati i grafici con Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm e con Edelrid ss  $\varnothing$  9 mm.



Quando il peso entra in azione l'attrezzo blocca automaticamente fino a raggiungere un dato valore di forza. Poi si ha l'inizio dello scorrimento con attrito, fra parti meccaniche e corda, che si oppone alla caduta del peso e dissipa l'energia ancora in gioco. Il peso di arresta dolcemente, senza strappi, e resta solo una leggera patina di fusione sulla calza interessata dal passaggio nell'attrezzo. L'azione di freno è tanto più evidente quanto più grande è il diametro della corda. Con corda  $\varnothing$  8 mm l'attrito è di così scarsa entità che la forza massima risultante è di appena 270 Kgp e lo scorrimento superiore ai 300 cm.

Comunque, se si va ad esaminare con attenzione i grafici di fig. 61 si osserva che lo scorrimento è una successione di azioni di blocco e di sblocco (l'andamento dentellato ne è una palese dimostrazione).

## CONCLUSIONI

- 1) L'interazione bloccanti-corda è un fenomeno che può avere molti comportamenti diversi. È sufficiente la piccola variazione di un parametro per capovolgere un risultato.
- 2) Con cadute su bloccanti è meglio che la calza della corda non sia eccessivamente resistente. Questo potrebbe compromettere la tenuta del bloccante stesso, che non è mai troppo elevata (intorno ai 500-600 Kgp).
- 3) Le modalità di cedimento di un bloccante sono di due tipi:



- a) la gola dove alloggia la corda si allarga e il cricchetto riesce a scavalcare il fermo, liberando così la corda (Maniglia Petzl, Croll Petzl);
- b) la struttura stessa del bloccante si deforma a tal punto da renderne impossibile ogni successivo utilizzo (Maniglia Kong Bonaiti).
- 4) È meglio che il bloccante possieda un sistema di fermo del movimento del cricchetto per impedire che questo eserciti una troppo elevata pressione sui trefoli. Al tempo stesso il fermo permette di rendere più resistente la struttura di quel tanto (e non di più) che produce la rottura della calza prima che possa verificarsi il rovesciamento del cricchetto. *Un bloccante troppo resistente è controproducente perché tende a tranciare di netto la corda.*
- 5) Man mano che diminuisce il diametro della corda la rottura diventa più probabile. Le prove di caduta sono sempre state micidiali per le corde da 8 mm di diametro.
- 6) Corde morbide hanno una maggiore probabilità di sostenere il peso (vedi Beal con Maniglia Jumar).
- 7) Il Croll rispetto alla Maniglia Petzl ha una minor capacità di tenuta. Da che dipenda è ben difficile dirlo visto che i due attrezzi sono sostanzialmente uguali.
- 8) Ad eccezione della Maniglia Kong Bonaiti, tutti gli altri attrezzi rimangono funzionanti anche dopo lo choc.
- 9) I bloccanti, specie se considerati in coppia (come in effetti succede nella normale progressione), sono strumenti affidabili e sicuri, nonostante il loro apparentemente basso carico di rottura.
- 10) Il Discensore Petzl non dà problemi, a meno che la corda non sia con diametro da 8 mm.
- 11) Il Discensore Stop Petzl è decisamente un buon dissipatore. Con corda da 8 mm l'attrito è minimo e occorre un lungo tratto di scorrimento per poter frenare la caduta. C'è il rischio che si vada comunque ad urtare su qualche ostacolo.

## CADUTA DI UN CORPO UMANO

È più che consueto inserire alla fine di ogni ragionamento sulla caduta di un peso: «Ma poi c'è il corpo umano che assorbe una grossa fetta di energia!», volendo con questo assolvere, in definitiva, il comportamento incerto, al limite del pericoloso, di qualche manovra o attrezzo.

Ma poi c'è sempre qualcuno che di riflesso ribadisce: «Attenzione però perché il corpo umano non sopporta sollecitazioni sopra una certa entità per più di un certo tempo. La NASA ha fatto delle prove...».

Questo modo di mettere le cose ha una sua verità, perché un fatto è far cadere un peso rigido e ben altro arrestare la caduta di un corpo umano, per mille motivi deformabile. Il problema vero è di capire come si esplica questo assorbimento addizionale di energia, di che entità è, per quanto tempo il corpo umano lo deve sopportare.

Su questi argomenti si avevano notizie frammentarie, confuse, contraddittorie, nessuna comunque suffragata da una base sperimentale soddisfacente. Soprattutto non vi era alcuna possibilità di confronto per la mancanza di una standardizzazione nei metodi sperimentali. Era anche abbastanza difficile trovare dei luoghi dove poter far cadere un uomo senza alcun pericolo. Altrettanto problematico era (ed è) trovare la «cavia» disponibile a fare dei «voli» anche con fattore di caduta elevato, magari più volte nella stessa seduta di prove.

La CTM ha superato tutto questo allestendo la palestra-laboratorio delle Gole della Rocchetta dove è possibile realizzare dei «voli» di 8 m completamente nel vuoto. Per ultimo: Felice La Rocca del G.S. CAI PG si è reso disponibile a «volare».

La prova è stata impostata sul confronto fra cadute con peso rigido e con corpo umano, sia con corda statica che dinamica, variando il fattore di caduta da 0,2 a 1.

<b>Condizioni sperimentali</b>	
P rigido	70 Kgp
P uomo	70 Kgp (compreso abbigliamento e attrezzatura)
Uomo	Felice la Rocca con sottotuta Bury, tuta non impe TSA, stivali, casco.
l	300 cm
l <sub>g</sub>	6 cm
nodo	guida doppino sotto
imbracatura	Croll Petzl
corde	Edelrid ss Ø 10 mm (statica) Joanny Class Ø 11 mm (dinamica)

## ***RISULTATI***

I valori ottenuti sono riportati nella tabella 29, dove:

$F_m$	forza massima in Kgp
$t_f$	durata della sollecitazione in millesecondi
$X_d$	coefficiente dinamico di elasticità in $\text{sec}^2/\text{m Kg}\cdot 10^{-5}$

Per «variazione percentuale» si intende l'aumento o la diminuzione in percento dei valori ricavati ( $F_m$ ,  $t_f$  e  $X_d$ ) per le cadute con corpo umano in rapporto ai corrispondenti valori ottenuti per cadute con corpo rigido.

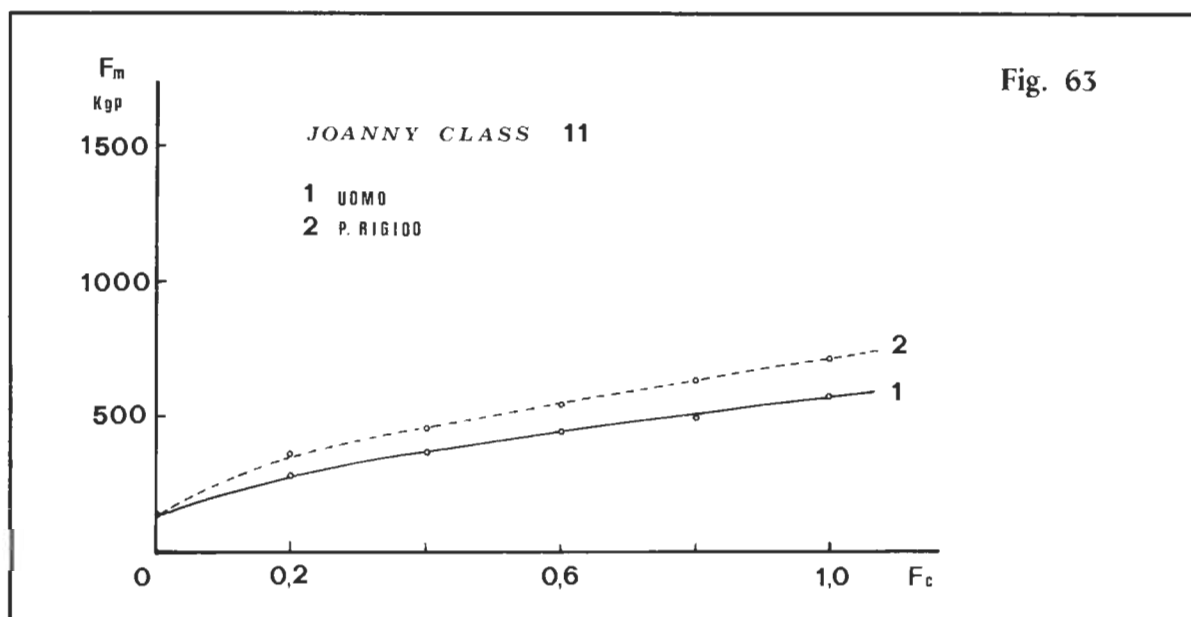
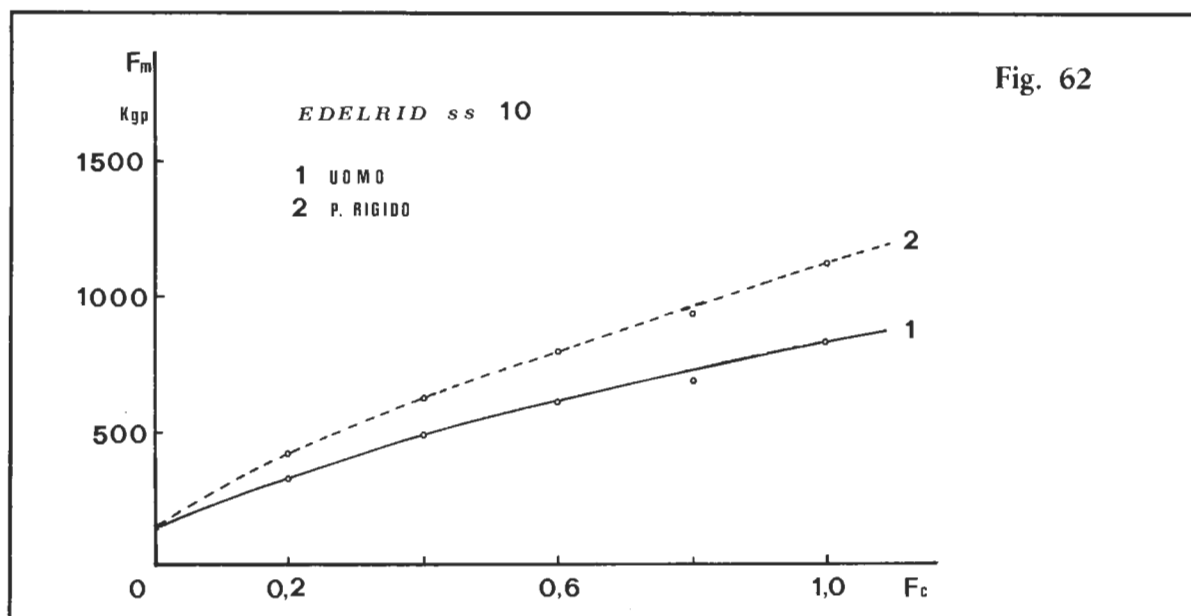
TAB. 29

TIPO DI CORDA	TIPO DI PESO	Fc=0,2		Fc=0,4		Fc=0,6		Fc=0,8		Fc=1,0						
		Fm	tf	Xd	Fm	tf	Xd	Fm	tf	Xd	Fm	tf	Xd			
Edelrid ss Ø 10	RIGIDO	410	270	2,5	615	270	1,9	790	240	1,7	910	230	1,6	1110	220	1,3
Edelrid ss Ø 10	UOMO	320	380	4,9	475	370	3,5	600	360	3,1	680	330	3,1	820	300	2,6
<b>VARIAZIONE PERCENTUALE</b>		78	141	196	77	137	184	76	150	182	75	143	194	74	136	200
Joanny Class Ø 11	RIGIDO	360	410	3,6	455	400	3,9	550	390	3,8	610	380	3,9	705	360	3,6
Joanny Class Ø 11	UOMO	280	510	7,3	360	510	7,2	445	510	6,3	495	500	6,5	575	450	5,7
<b>VARIAZIONE PERCENTUALE</b>		78	124	202	79	127	185	81	131	166	81	132	166	82	125	158

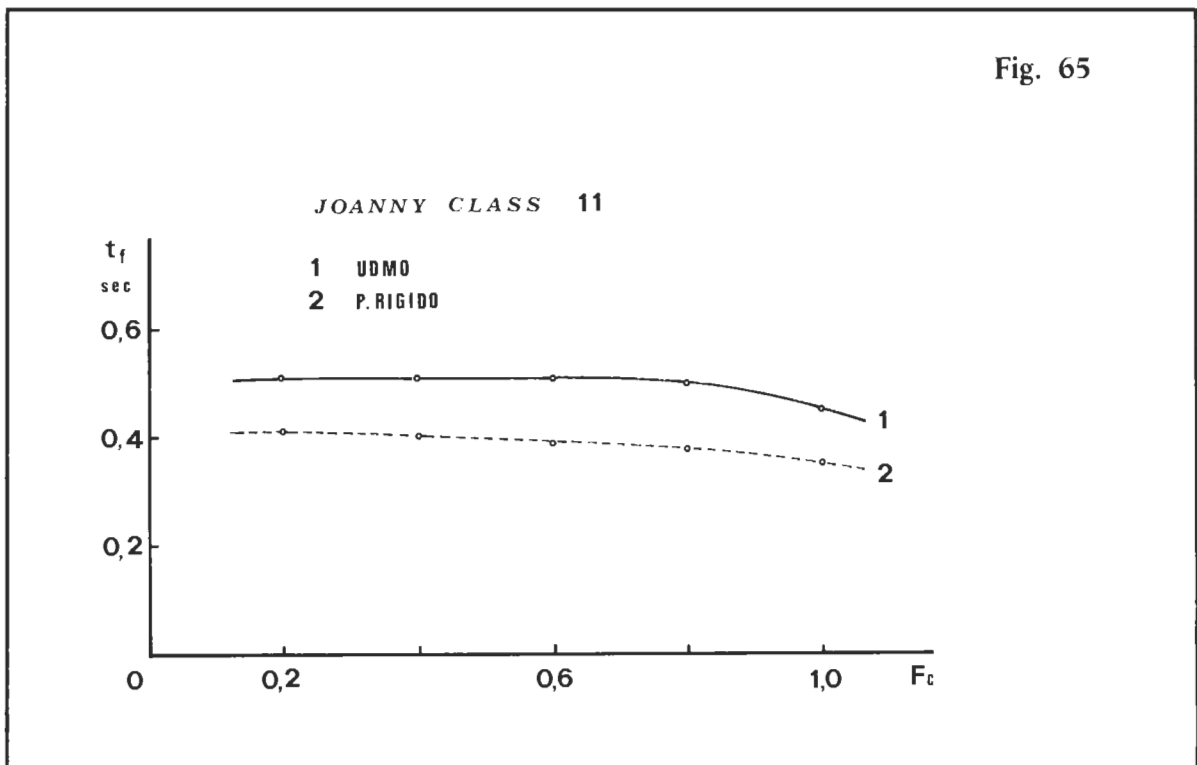
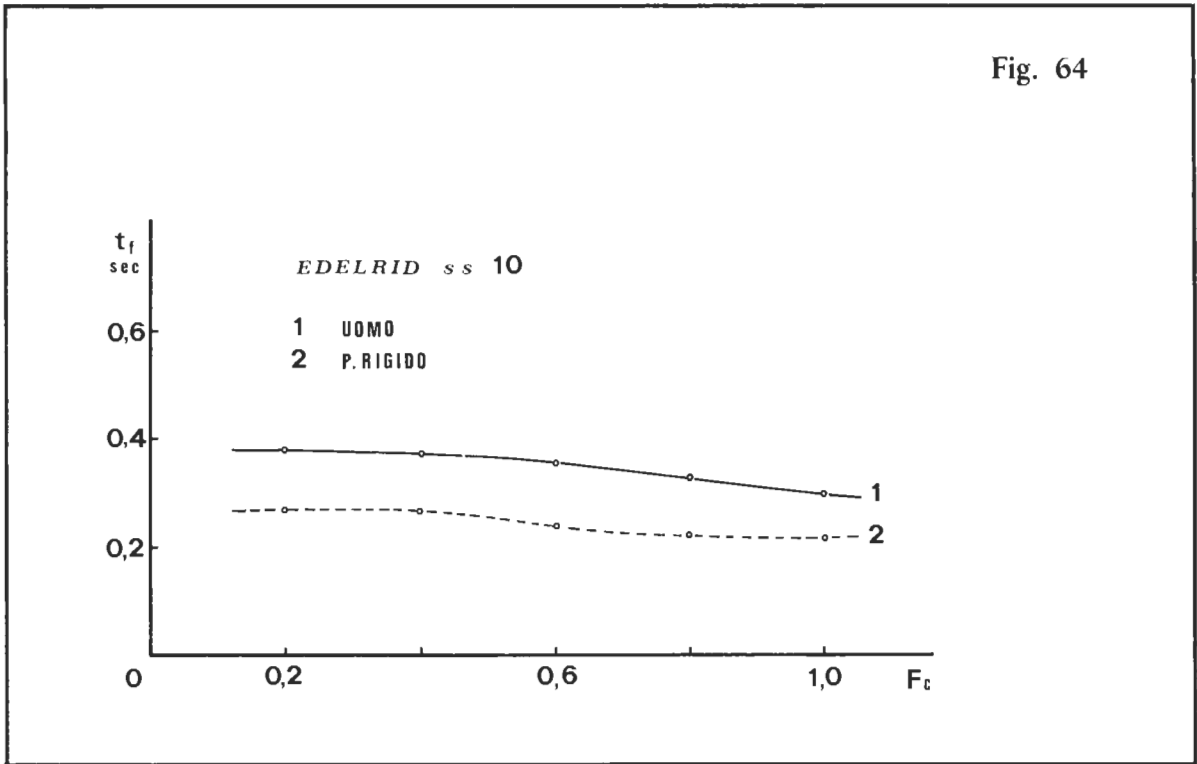
## Note

1) Da quest'insieme di risultati, per altro abbastanza complessi e articolati, è possibile ricavare molte informazioni che vanno ben oltre il puro e semplice problema dell'assorbimento di energia da parte del corpo umano.

2) In fig. 62 e 63 sono riportati i grafici della variazione di  $F_m$  in funzione del fattore di caduta  $F_c$ . Si ricorda che per fattore di caduta zero, sulla base della relazione 26, la forza massima è il doppio del peso (nel nostro caso 140 Kgp).



3) Nelle fig. 64 e 65 si riporta la variazione di  $t_f$  in funzione di  $F_c$ .



4) Le fig. 66 e 67 contengono i grafici relativi alle variazioni del coefficiente di elasticità dinamica  $X_d$ .

Fig. 66

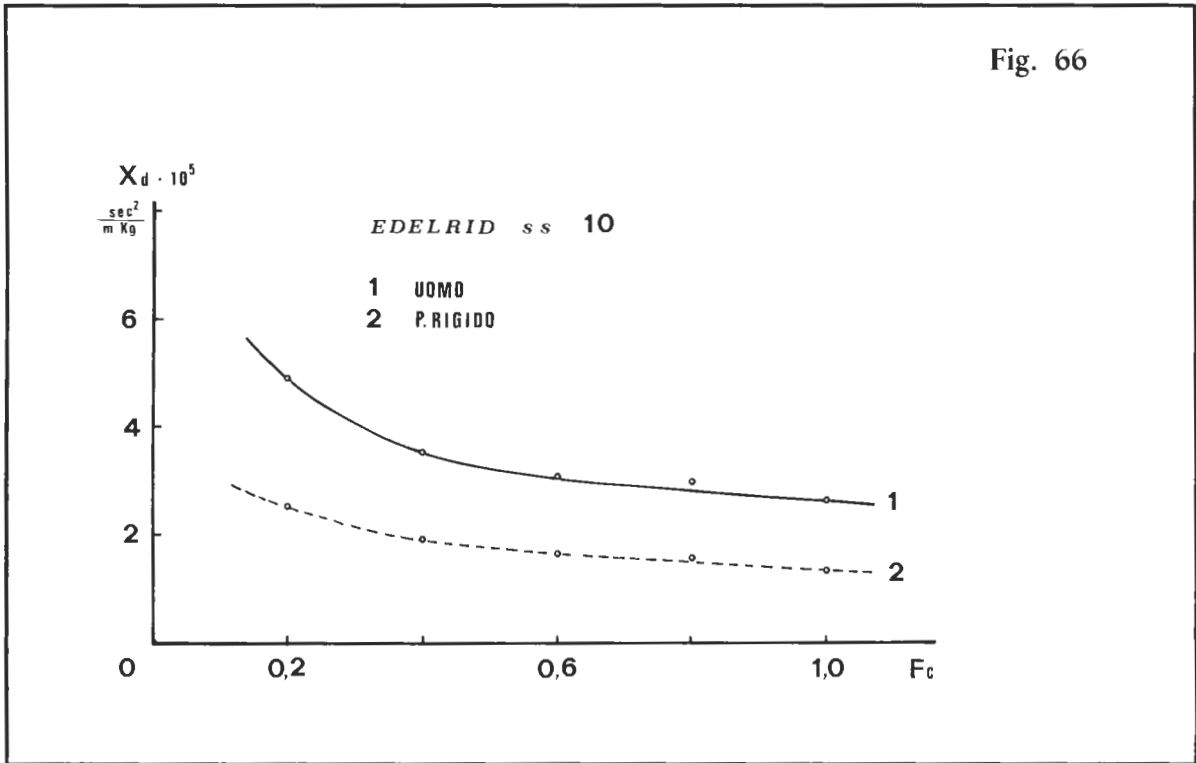
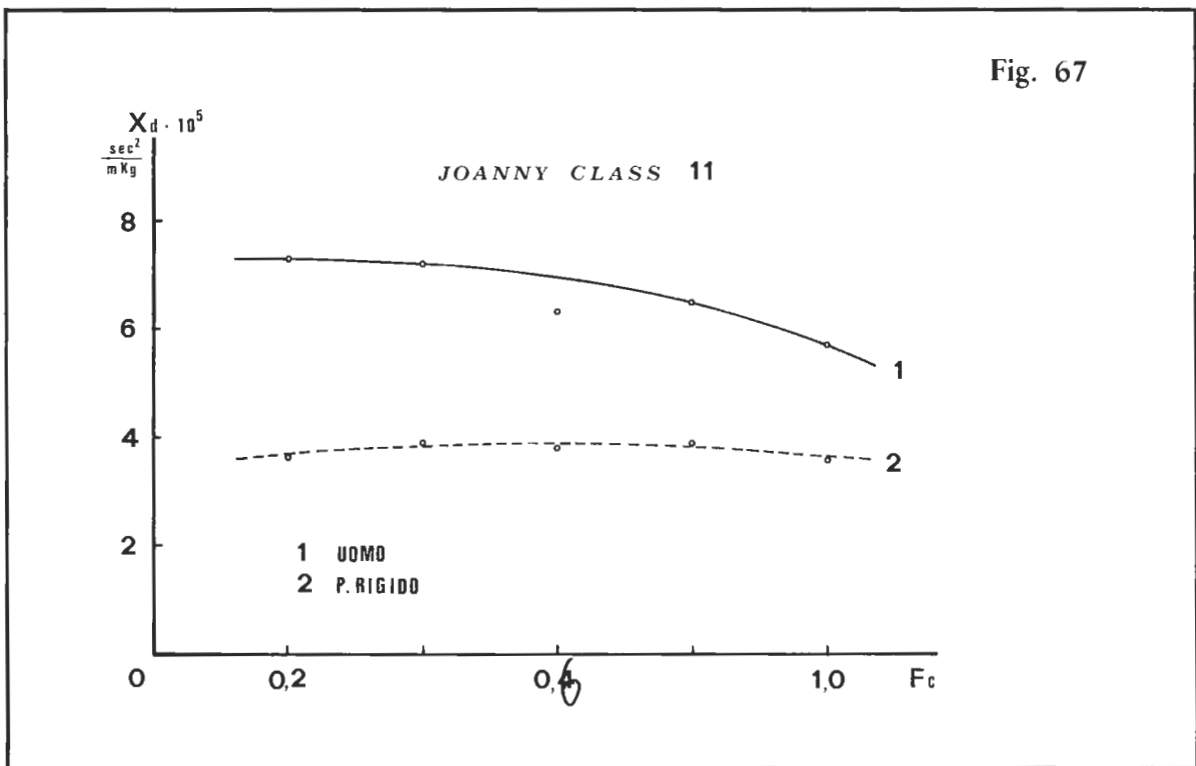
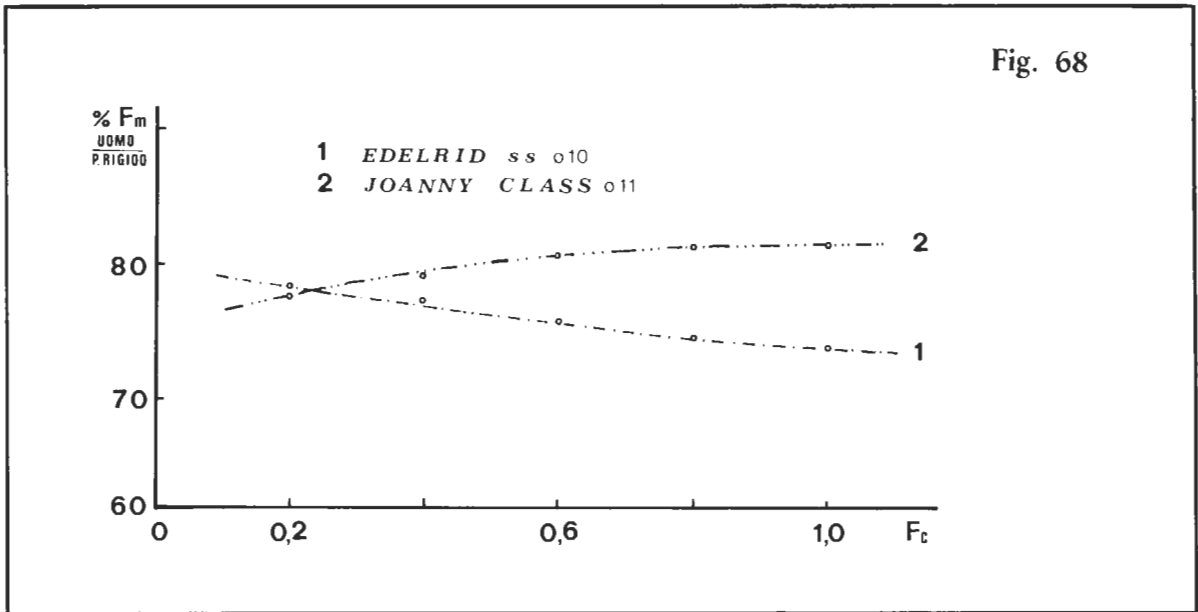


Fig. 67



5) Le variazioni in termini percentuali di  $F_m$  con corpo umano rispetto a  $F_m$  con peso rigido sono riportate in fig. 68.



## CONCLUSIONI

1) La deformabilità propria dell'imbracatura ha scarso rilievo nell'assorbimento dell'energia di caduta. Pertanto le variazioni rispetto alla caduta con peso rigido sono quasi esclusivamente dovute alla capacità di deformarsi del corpo umano.

2) L'energia assorbita dal corpo umano abbassa la forza massima, mediamente, del 22% rispetto a quanto accade nelle equivalenti cadute con peso rigido.

Tale valore cambia (di poco) in relazione al fattore di caduta e al tipo di corda:

- a) con Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm la riduzione di forza massima aumenta con il crescere di  $F_c$  (fino al 26% per  $F_c=1$ );
- b) con Joanny Class  $\varnothing$  11 mm la riduzione di  $F_m$  diminuisce con l'aumento di  $F_c$  (fino al 18% per  $F_c=1$ ).

Evidentemente l'assorbimento di energia da parte del corpo umano ha più rilievo con corda statica che con corda dinamica.

In altre parole:

- a) l'elasticità (se così si può dire) del corpo umano, in rapporto a quella propria della corda statica, assume maggior peso con l'aumentare di  $F_c$ ;
- b) con corda dinamica è vero esattamente il contrario.

3) Le curve di fig. 66 e 67 mostrano un andamento, per lo stesso tipo di corda, pressoché uguale. È evidente quindi che il contributo in elasticità del corpo umano, per quanto rilevante possa essere, non è mai tale da modificare il comportamento generale del sistema assorbente, governato soprattutto dalle variazioni di elasticità della sola corda.

4) Dall'analisi delle curve di fig. 62 e 63 non emerge nessun fatto particolarmente significativo, tranne che la curva Edelrid + corpo umano è molto simile alla curva Joanny + peso rigido. È una constatazione questa che può essere di qualche utilità pratica: *una corda statica con un corpo umano si comporta come una dinamica con un peso rigido!*

5) Dal grafico di fig. 67 si rileva che la curva Joanny + peso rigido ha un coefficiente di elasticità dinamico pressoché costante. Anche questo è un elemento di conoscenza sperimentale che può risultare utile nell'impostazione di alcune prove dove si richiede una costanza di  $X_d$ .

6) Il tempo  $t_f$  necessario per esaurire le sollecitazioni varia soprattutto in funzione dell'elasticità complessiva: aumentando questa aumenta anche  $t_f$  (fig. 64 e 65).

Risultano infatti i seguenti valori medi di  $t_f$ :

— Joanny Class	∅ 11 mm + corpo umano	$t_f = 500$ ms
— Joanny Class	∅ 11 mm + peso rigido	$t_f = 400$ ms
— Edelrid ss	∅ 10 mm + corpo umano	$t_f = 350$ ms
— Edelrid ss	∅ 10 mm + peso rigido	$t_f = 250$ ms.

Inoltre  $t_f$  tende leggermente a diminuire con il crescere di  $F_c$ . Questo è una diretta conseguenza del fatto che le corde aumentano la propria rigidità con l'aumentare dell'allungamento.

7) I valori di  $t_f$  riportati misurano, come già detto, l'intero arco di una sollecitazione per caduta, con forza che varia da zero al massimo per tornare di nuovo a zero. È evidente dunque che il permanere di forze con valore vicino a quello massimo è limitato ad una piccola frazione di  $t_f$  (qualche millisecondo). Sulla base di questa considerazione, tenendo presente che anche ai fattori di caduta più elevati le forze massime con corpo umano non hanno mai superato gli 850 Kgp, si può affermare che ben difficilmente le sollecitazioni per caduta in grotta possono produrre danni gravi all'organismo. Ciò è ampiamente confermato dalle osservazioni soggettive di chi si è sottoposto alle prove di caduta della CTM (dopo 16 voli a vari fattori di caduta, è stato riscontrato solo un leggero indolenzimento in corrispondenza dei punti di appoggio dell'imbracatura).

## FORZA MASSIMA E LUNGHEZZA DELLE ANSE DEI FRAZIONAMENTI

Nell'ipotesi del distacco di un frazionamento della corda d'armo, per individuare le variazioni di  $F_m$  in funzione della lunghezza delle anse, vengono qui di seguito riportate alcune serie di dati, tutti ricavati sulla base di calcoli teorici e adattati alla luce di risultanze sperimentali.

Si suppone di essere nelle condizioni indicate in fig. 69, dove A e B sono punti di frazionamento.

La corda che unisce A con B è di lunghezza  $l$ . La lunghezza dell'ansa  $BB'$  è pari a  $l_a$ .

Se in B è posizionato un peso, nel caso di cedimento del frazionamento, l'altezza di caduta  $h$  è pari alla lunghezza dell'ansa  $l_a$ . Pertanto la relazione da utilizzare è la seguente:

$$F_m = P + \sqrt{P^2 + \frac{2P}{X} \cdot \frac{l_a}{l}} \quad (46)$$

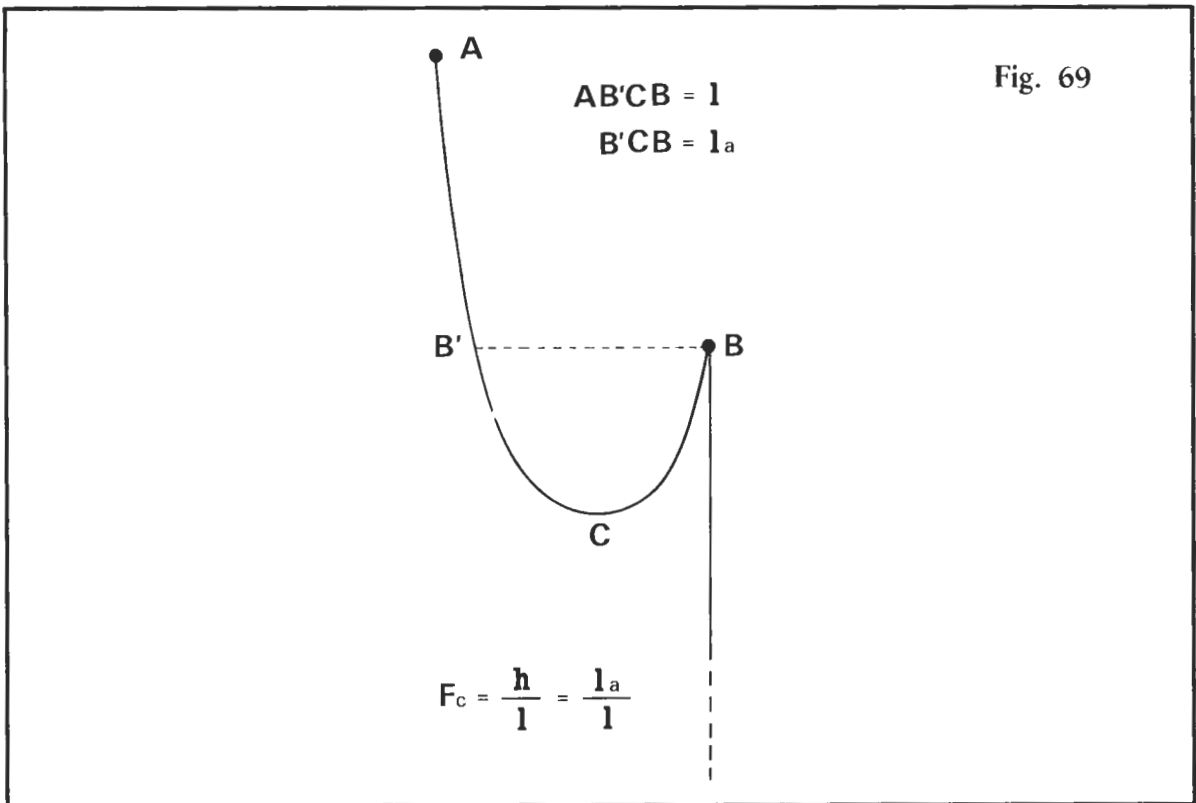


Si supponga inoltre che:

P 90 Kgp

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

(il coefficiente di elasticità è quello della Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm che è una delle corde meno elastiche fra le statiche).



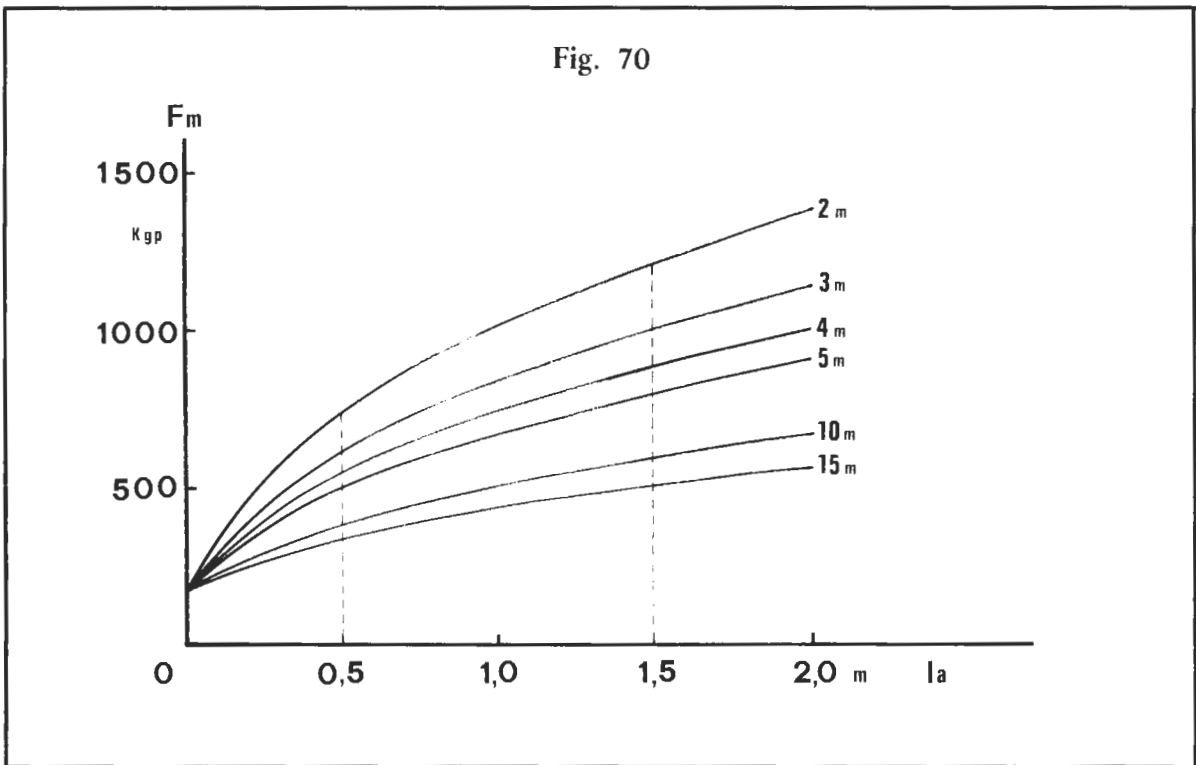
Sulla base unicamente della relazione 46 si ottiene per varie lunghezze del tratto di corda AB:

TAB. 30

$l = 15 \text{ m}$		$l = 10 \text{ m}$		$l = 5 \text{ m}$	
$l_a$	$F_m$	$l_a$	$F_m$	$l_a$	$F_m$
0	180	0	180	0	180
0,5	342	0,5	392	0,5	508
1,0	435	1,0	508	1,0	675
1,5	508	1,5	598	1,5	803
2,0	570	2,0	675	2,0	912

l=4 m		l=3 m		l=2 m	
l <sub>a</sub>	F <sub>m</sub>	l <sub>a</sub>	F <sub>m</sub>	l <sub>a</sub>	F <sub>m</sub>
0	180	0	180	0	180
0,5	556	0,5	625	0,5	742
1,0	742	1,0	841	1,0	1008
1,5	886	1,5	1008	1,5	1213
2,0	1008	2,0	1149	2,0	1385

Questi risultati numerici sono riportati graficamente in fig. 70.



#### Note

1) La lunghezza l<sub>a</sub> è stata limitata al massimo di 2 m in quanto è poco realistico prevedere anse di dimensioni maggiori.

2) La lunghezza l è stata limitata al massimo di 15 m, tenendo presente che valori di l superiori diminuiscono ulteriormente la F<sub>m</sub> e quindi instaurano condizioni di sicurezza ancora più marcate.

3) La lunghezza  $l$  è stata anche contenuta al di sopra del minimo di 2 m. Con tale valore e per  $l_a=2,0$  m si ha l'allineamento sulla stessa quota dei frazionamenti A e B, e  $F_c$  risulta uguale a uno. Questo ci pare un limite che ben difficilmente potrà essere peggiorato, anche dal più sprovveduto degli operatori.

4) Altrettanto realistico ci sembra porre la nostra particolare attenzione sulla differenza:

$$\Delta F_m = F_m(1,5) - F_m(0,5)$$

al variare della lunghezza  $l$ .

Per  $F_m(1,5)$  e  $F_m(0,5)$  si intende, rispettivamente, la forza massima calcolata per  $l_a=1,5$  m e  $l_a=0,5$  m.

Questa speciale attenzione è dovuta alla constatazione che nella prassi consueta di armo ben difficilmente le anse dei frazionamenti sono inferiori a 0,5 m e superiori a 1,5 m (uscire da questo intervallo denota una quasi totale ignoranza delle tecniche di progressione).

5) Variazioni migliorative provengono dal cosiddetto «effetto longe» (fig. 48): nella realtà le curve di fig. 70 relative a  $l=2$  m e  $l=3$  m devono essere modificate sulla base del fatto che, in corrispondenza dell'ascissa  $l_a=2$  m, la forza massima è minore rispettivamente dell'11% e del 14%.

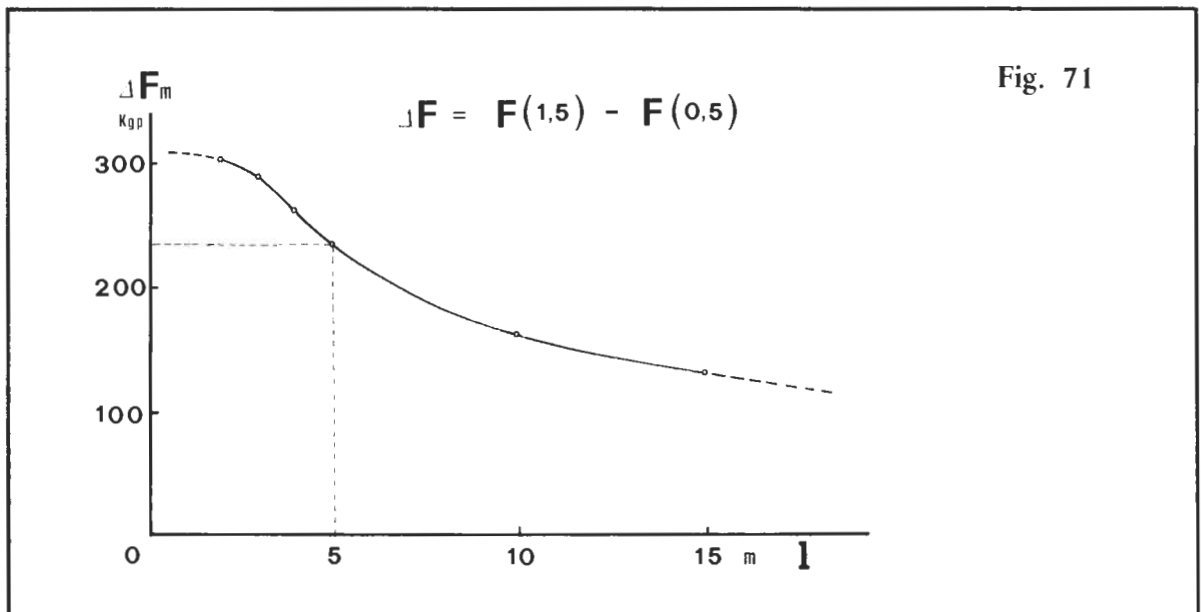
6) In aggiunta, il corpo umano assorbe una discreta quantità di energia, con abbassamento medio del 20% di  $F_m$  (fig. 68). Il miglioramento è dunque importante.

7) Da quanto detto nelle note precedenti, il problema, in termini reali, sta tutto nel valutare la variazione di

$$\Delta F_m = F_m(1,5) - F_m(0,5)$$

in funzione di  $l$ .

Questo è stato fatto, tenendo conto di ogni componente, e i risultati sono riportati graficamente in fig. 71.



## CONCLUSIONI

1) *Anche per i frazionamenti vale la regola che la resistenza si deve accoppiare alla affidabilità.* Ma affidabilità in un frazionamento vuol dire facilità e comodità d'uso. Pertanto la lunghezza dell'ansa dovrà essere tale da permettere un facile superamento, tanto in discesa quanto in risalita, e al tempo stesso da ridurre al minimo le sollecitazioni in caso di cedimento dell'attacco B (fig. 69).

2) Si può ragionevolmente giocare fra 0,5 m e 1,5 m per la lunghezza dell'ansa. Nel primo caso il frazionamento presenterà alcune difficoltà che comunque possono essere superate con opportuni accorgimenti tecnici (doppia longe, passaggio del bloccante mobile prima di quello ventrale); niente di strabiliante, solo dei fastidi e qualche sforzo in più.

Nel secondo caso l'ansa risulterà più lunga del necessario e quindi, pur creando una situazione estremamente comoda e lineare, l'armo potrebbe determinare, in caso di cedimento del frazionamento B, delle sollecitazioni eccessive sull'ancoraggio A.

Creare delle anse che abbiano una lunghezza intermedia (circa 1,2 m con corda a riposo) sembra essere la soluzione migliore, che va incontro sia all'una quanto all'altra esigenza.

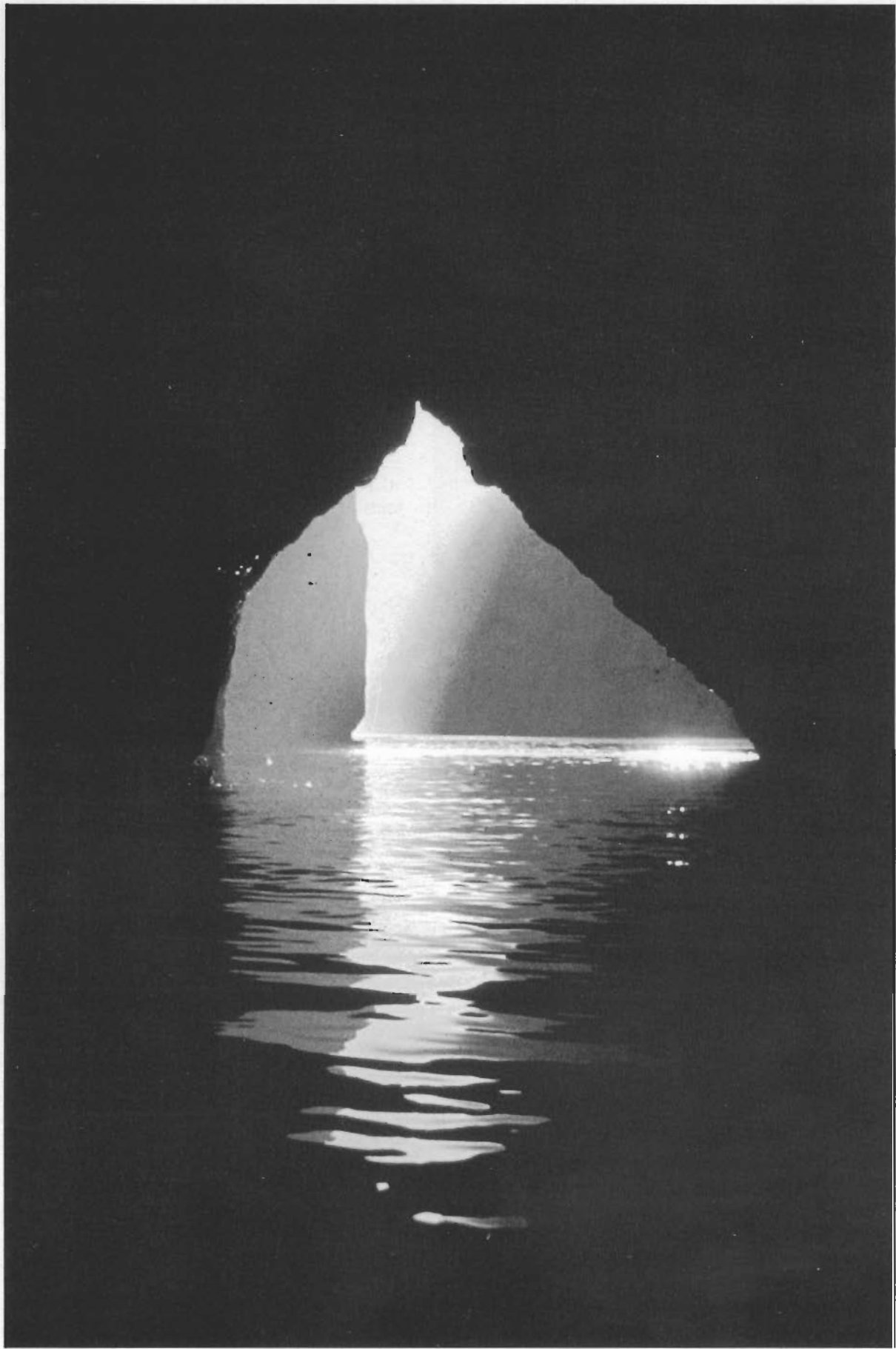
3) Ma è poi tanto pericoloso abbondare in lasco di corda per facilitare il passaggio?

La risposta, tenuto conto che ben difficilmente la distanza fra un frazionamento e il successivo è inferiore ai 4 m, è decisamente «no» (con qualche piccola riserva nel caso di armi «diabolici» con frazionamenti ogni quattro metri).

Infatti la variazione della lunghezza delle anse da 0,5 m a 1,5 m, anche nelle condizioni più sfavorevoli, aumenta la forza massima da 400 Kgp a 635 Kgp. Non vale proprio la pena fare tante acrobazie per evitare questi 200 Kgp in più. E poi per far fronte ad un evento (il distacco di un frazionamento posto appena quattro metri sotto il soprastante) tra i più improbabili, tanto per il fatto in sé quanto per le condizioni supposte.

*Voler esasperare il problema della lunghezza delle anse, fino a farlo divenire un elemento di discriminazione, è un puro e semplice pretesto!* Con anse cortissime o tanto lunghe da risultare comode siamo sempre abbondantemente entro il Limite Inferiore di Resistenza, anche con corde da 9 mm di diametro molto usate (come vedremo nel Capitolo Nono). Però la comodità è presupposto di affidabilità, che a sua volta è uno dei cardini della sicurezza. Si traggano le ovvie conclusioni.





## CAPITOLO OTTAVO

### *NODI*

#### INTRODUZIONE

La corda è un attrezzo che attua la sua fondamentale funzione solo se riesce a vincolare un peso ad un ancoraggio. Perché ciò avvenga è indispensabile realizzare un «quid» che permetta un collegamento fra corda e punti di vincolo.

Questi collegamenti possono essere preparati in tre modi diversi:

- a) con «dissipatori» tipo Kisa e Autobrake (vedi Capitolo Undicesimo), Discensore Stop Petzl (vedi Capitolo Settimo) oppure addirittura con tamburo come nelle prove di rottura delle corde senza nodo (Capitolo Sesto, foto 7);
- b) con bloccanti tipo Croll, Maniglia Jumar, Maniglia Petzl, Maniglia Kong Bonaiti (Capitolo Settimo);
- c) con nodi.

Nel caso (a) (dissipatori) si ottiene un ancoraggio che per sua natura tende a far scorrere la corda sulla superficie d'appoggio a seguito di trazioni, anche di piccola entità. Ne deriva un attacco poco stabile ma estremamente affidabile visto che, attraverso la dissipazione di energia per attrito, abbatte nettamente le forze massime. Un altro vantaggio è legato al fatto che in questi ancoraggi, non determinandosi punti preferenziali di aggancio, la corda non subisce lesioni e mantiene quasi inalterato il suo carico di rottura.

Nel caso (b) (bloccanti) l'ancoraggio è fortemente rigido dove la corda non può scorrere se non a prezzo di lacerazioni e rotture. Per cui la fissità della corda sull'attacco viene pagata che un drastico abbassamento del carico di rottura dell'insieme (la corda o il bloccante cedono a poche centinaia di Kgp).

Nel caso (c) (nodi) si ottiene una situazione intermedia fra dissipatori e bloccanti. Infatti i nodi, sottoposti a trazione, dapprima si strizzano a seguito dello scorrimento, della torsione e del piegamento della corda nelle spire, dissipando una certa quantità di energia; poi determinano una concentrazione di forze su ristrette porzioni di superficie della calza dove si creano un insieme di forze di attrito che si oppongono allo scioglimento del nodo. Se il nodo non si scioglie vuol dire che le forze di attrito hanno raggiunto un'intensità complessiva pari alla forza di trazione. Quindi nei nodi si manifesta tanto una dissipazione di energia per attrito quanto un fissaggio abbastanza rigido con minimo spostamento della corda rispetto alla superficie di appoggio dell'attacco. Inevitabilmente, la quasi fissità dell'ancoraggio produce una perdita di tenuta da parte della corda (è noto infatti che la presenza di un nodo

diminuisce il carico di rottura; ma di questo ne riparleremo proprio nel seguito di questo capitolo).

In sintesi si può definire uno dei principi fondamentali delle caratteristiche delle corde: *tanto più è rigido il loro collegamento con l'ancoraggio tanto maggiore è la riduzione del carico di rottura dell'insieme ancoraggio-corda.*

Nella progressione speleologica vengono utilizzati quasi tutti i tipi di attacco precedentemente elencati, ma non certo in modo indiscriminato. Infatti i dissipatori sono utilizzati quando ci sia preferenzialmente da attutire eventuali cadute di tipo alpinistico; i bloccanti nella risalita dove è indispensabile un aggancio rapido e rigido; il discensore per creare un attacco mobile a scorrimento controllato. I nodi infine quando ci sia la necessità di creare una via di progressione in tratti verticali della cavità o in corrimano.

In quest'ultimo caso comunque l'esecutore dell'armo deve rispettare alcune condizioni fondamentali:

- a) rapidità di esecuzione
- b) contenimento del numero e dell'ingombro delle attrezzature
- c) contenimento del costo delle attrezzature
- d) maggiore fissità possibile degli attacchi
- e) utilizzo di attrezzature e disposizione delle stesse in modo da creare i presupposti per una dissipazione per attrito delle sollecitazioni.

Ovviamente c'è contrasto fra punto e punto (come si dice, non si può avere la botte piena e la moglie ubriaca!) e bisogna trovare una via di compromesso. Attualmente può essere solo una: il NODO.

I nodi in effetti funzionano sia pur di poco da dissipatori, garantiscono una elevata fissità, sono di facilissima esecuzione, non ingombrano e non costano nulla. Per contro diminuiscono di circa un terzo il carico di rottura della corda; ma questo è un prezzo, neanche troppo elevato, che comunque bisogna pagare.

I nodi sono di una semplicità e affidabilità insuperabili e per il momento non si vede all'orizzonte che cosa possa far cadere il loro uso e la loro simpatica filosofia.

## FUNZIONAMENTO

Nell'introduzione già abbiamo in parte esaminato questo problema. Ma ora vediamo di approfondire l'argomento.

Ad una estremità di una corda o in un altro qualsiasi suo punto si confeziona un nodo, costringendo alcune parti della corda stessa, una volta sollecitata a trazione, a comprimersi una sull'altra e a generare delle forze di attrito. Queste, come già detto, si oppongono alla trazione e, se di adeguata intensità, allo scioglimento del nodo.

Il nodo è un «autobloccante» tutto speciale: se non ha subito strizioni è facilissimo sfilare una spira dall'altra, altrimenti la pressione esercitata al suo interno «frena» fino a bloccare lo scorrimento. In genere tanto più intensa è la trazione tanto maggiore è la strizione, la pressione, l'attrito e il bloccaggio.

Vale, come già accennato, un'altra fondamentale regola: per contrapporsi alla trazione è necessario produrre nel nodo un'equivalente opposta forza di attrito.

Ciò può essere ottenuto, schematicamente, in due modi diversi:



- a) una grande pressione su una piccola superficie;
- b) una piccola pressione su una grande superficie.

In entrambi i casi si avrà la stessa forza di attrito che ipotizziamo sufficiente a bloccare le spire nel nodo.

Ma precisiamo un po' meglio.

Nel primo caso le forze di attrito hanno dei punti di applicazione contenuti in un'area ristretta della calza; nel secondo sono più ampiamente distribuiti.

Nel primo caso le forze di attrito elementari sono di intensità maggiore che nel secondo. Nel primo caso siamo più vicini al fissaggio con bloccanti, nel secondo c'è più analogia con i dissipatori.

Nel primo caso il carico di rottura si abbassa nettamente (perlomeno per quanto riguarda la calza), nel secondo si rimane su riduzioni percentuali più accettabili.

Comunque il fatto iniziale del cedimento sarà la lacerazione della calza proprio nella zona di massima concentrazione dei punti di applicazione delle forze di attrito elementare.

Il cedimento avverrà a forze di trazione tanto più basse quanto più elevata sarà l'intensità delle forze di attrito elementari.

*Il nodo migliore, a parte la facilità o meno di farlo e disfarlo, è quello che meglio distribuisce i punti di applicazione delle forze di attrito. In tal caso il blocco della corda avviene con la minima riduzione del carico di rottura.*

## DESCRIZIONE

I nodi si dividono in due categorie:

- di ancoraggio (vedi foto 12 nel paragrafo relativo)
- di giunzione (vedi foto 13 nel paragrafo relativo).

I primi servono per fissare la corda ad un qualsiasi attacco (naturale o artificiale). I secondi



Foto 8



Foto 9



Foto 10

per congiungere due spezzoni di corda, uguale o diversa.

In entrambi i casi un nodo è generalmente composto dalla combinazione fra occhielli (foto 8) e doppini (foto 9), diversamente intrecciati e ripetuti. Ne è un chiaro esempio il nodo bolina (foto 10) che è la combinazione più semplice fra un occhiello e un doppino.

*I nodi di ancoraggio* generano, in un tratto qualsiasi della corda, una gassa cioè un anello di corda più o meno grande chiuso dal nodo stesso. La gassa è il punto di ancoraggio. Alcuni nodi di ancoraggio hanno una struttura anomala:

- soccorso e bolina doppio: generano due gasse;
- barcaiolo e bocca di lungo semplice: le forze di attrito si distribuiscono anche sulla superficie di ancoraggio.

*I nodi di giunzione*, salvo alcuni casi anomali, non generano gasse ma solo zone di attrito sulla superficie delle corde interessate. Tale attrito impedisce lo scorrimento relativo di due spezzoni di corda e il loro distacco.

Possono essere suddivisi, con una certa forzatura, in due categorie:

- di giunzione con corde dello stesso diametro;
- di giunzione con corde di diametro diverso.

Grosse differenze, come vedremo, non esistono e la distinzione è più che altro dovuta ad una schematizzazione erroneamente introdotta in lavori e prese di posizione precedenti.

## **ROTTURA DI UNA CORDA SENZA NODI**

Il meccanismo di rottura di una corda priva di nodi (come ad esempio nelle prove al banco dinamometrico con tamburi di ancoraggio) è legato al cedimento, *non per fusione*, di uno o più fili elementari portati oltre il limite di snervamento. Da questo impercettibile fatto ha inizio, come in una reazione a catena, una vera e propria esplosione di cedimenti.

Infatti il cedimento di una parte, sia pur minima, della corda fa concentrare la forza di trazione su una sezione trasversale più piccola e questo comporta un ulteriore localizzato allungamento addizionale (maggior «sforzo» comporta maggior «allungamento»). In queste condizioni altre fibre elementari superano il limite di snervamento e si rompono. E così via fino al completo cedimento della corda intera. Il tutto avviene istantaneamente ed è probabile che alla rottura contribuisca anche la fusione di alcuni fili elementari surriscaldati dal calore prodotto per attrito. Infatti il rapido movimento dei componenti della corda al momento della rottura potrebbe anche generare uno sfregamento con relativa istantanea produzione di calore.

Dunque l'evento scatenante il cedimento è del tutto casuale e legato ad un impercettibile «difetto» di costruzione, non rilevabile se non a elevate forze di trazione.

Lo dimostrano due fatti sperimentali:

- a) se si appoggia appena una lama ben affilata sopra una corda messa in trazione con una forza di poco inferiore al carico di rottura, immediatamente dopo il taglio di alcuni fili elementari, si verifica il completo cedimento della corda intera;
- b) se sui tamburi di ancoraggio (foto 7) del banco dinamometrico è presente anche la più impercettibile disomogeneità (è sufficiente una minima quantità di ruggine) il carico di rottura della corda si abbassa anche di qualche centinaia di chili.

## ROTTURA DI UNA CORDA CON NODI

Ci sono delle profonde analogie con il meccanismo di rottura di una corda senza nodi, ma in questo caso è ben diversa la causa dell'innescio e del proseguimento della rottura. Altrimenti non si comprenderebbe come la stessa corda possa rompersi a due carichi nettamente diversi a seconda che vi sia o non vi sia il nodo.

Nella *corda senza nodi* è l'eccessivo allungamento che porta allo snervamento e quindi alla rottura delle fibre sintetiche. Solo marginalmente può incidere la rottura per fusione per attrito nei fili elementari.

Nella *corda con nodi* la rottura avviene sempre in corrispondenza dei tratti interessati dalle spire del nodo; l'innescio e il completamento della rottura è una conseguenza della funzione per attrito delle fibre. È marginale il contributo dato dalla rottura per snervamento dei fili elementari e tutt'al più completa un'opera già ben avviata.

Ma vediamo di trattare la cosa in modo più sistematico e approfondito.

Dopo la rottura di una corda con nodi si osserva:

- a) la corda si recide sempre in corrispondenza del tratto avvolto nel nodo;
- b) nella stragrande maggioranza dei casi la rottura avviene nella zona immediatamente precedente il punto di uscita dal nodo (foto 11);

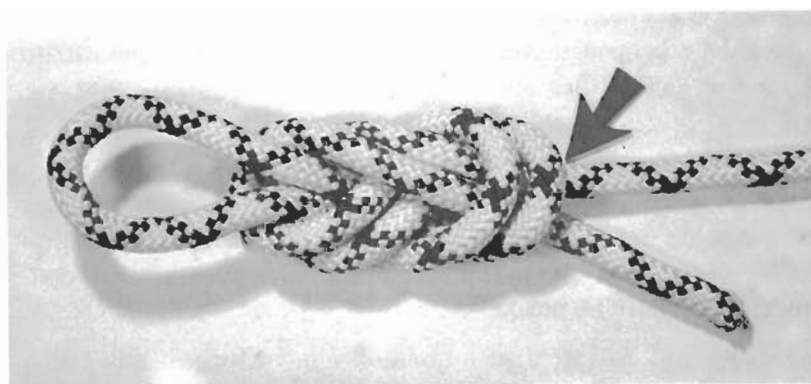


Foto 11

- c) nella zona di rottura appaiono i segni della fusione del materiale sintetico, con calza irrigidita su superfici più o meno ampie;
- d) esaminando la rottura al microscopio, i fili elementari, che costituiscono i trefoli dell'anima e i fasci della calza, mostrano quasi sempre sulla recisione una «bolla» di materiale prima fuso e poi risolidificato;
- e) immediatamente dopo una rottura la temperatura del tratto di corda interessato dal nodo è superiore di alcune decine di gradi a quella ambiente;
- f) negli ancoraggi, in corrispondenza dei punti di appoggio, se non si ha scorrimento della corda su questi non si notano segni di fusione delle fibre sintetiche;
- g) nelle identiche condizioni del punto precedente, ma con scorrimento della corda sulla superficie d'appoggio dell'ancoraggio, risultano evidenti i segni di una fusione della calza.

Quest'insieme di dati sperimentali porta a concludere che la rottura di una corda in presenza di un nodo avviene con le seguenti modalità:

- 1) man mano che aumenta la forza di trazione le spire di corda del nodo scrono l'una sull'altra, determinando attrito e quindi una concentrazione di produzione di calore e un aumento localizzato della temperatura;
- 2) avvicinandosi la forza traente a quella di rottura, lo scorrimento relativo delle spire di corda è minimo ma la pressione è tanto elevata da produrre comunque un ulteriore aumento dell'attrito e quindi della temperatura; il fenomeno è particolarmente accentuato nel tratto di corda che corrisponde alla zona di massima pressione (in genere in prossimità del punto di uscita della corda dal nodo);
- 3) in quest'ultima zona, sia pur in aree puntiformi, la temperatura raggiunge quella di fusione delle fibre sintetiche e produce la rottura di alcuni fili elementari della calza;
- 4) si è così creato un punto preferenziale di aggressione che porta ad una nuova fase di spostamento relativo delle spire di corda, non più dovuto alla sola strizione del nodo ma piuttosto all'inizio del cedimento della corda;
- 5) il processo, una volta innescato, prosegue con un crescendo esplosivo, in quanto la velocità di scorrimento relativo delle spire aumenta man mano che cedono i fili elementari della calza e poi i trefoli dell'anima; in queste condizioni l'attrito è intenso e produce una grande quantità di calore in un intervallo di tempo ristretto (qualche millisecondo), determinando un ben localizzato aumento della temperatura e il totale cedimento della corda in seguito alla fusione di tutti i suoi componenti.

Pertanto si può concludere come segue.

- a) La rottura di una corda annodata è una conseguenza della produzione di calore per attrito ed è quindi un processo di fusione delle fibre sintetiche.
- b) La temperatura di fusione della fibra sintetica (nylon nel nostro caso) viene raggiunta tanto più facilmente quanto più è elevato l'accumulo di calore in porzioni ristrette di materia, specie in quelle poste vicino alle superfici di contatto.  
A tal fine è necessario dissipare energia per attrito in un intervallo di tempo molto limitato, agendo su superfici di piccole dimensioni e contando su una relativamente bassa conducibilità termica dei materiali costituenti la corda.
- c) Volendo ancor più definire i meccanismi e i fattori che portano alla rottura di una corda annodata, si tenga presente che nel gioco della produzione di calore per attrito fra le spire del nodo entrano le seguenti componenti:

$F$	forza di trazione applicativa alla corda annodata
$F_0 = kF$	componente della forza di trazione $F$ che agisce perpendicolarmente alle superficie di contatto nelle spire (solo in primissima approssimazione la possiamo ritenere costantemente distribuita sulla superficie di contatto)
$k$	costante di proporzionalità, dipendente dalle caratteristiche strutturali della corda
$s$	superficie di contatto nelle spire, dipendente dal tipo di nodo
$\mu$	coefficiente di attrito, dipendente dalle caratteristiche dei materiali a contatto nelle spire e dalle condizioni ambientali
$C$	conducibilità termica del materiale proprio e intruso della corda, considerati come un tutt'uno
$v_n$	velocità di spostamento relativo delle superficie di contatto nelle spire

$F_{rn}$  carico di rottura della corda in presenza del nodo.

- d) Per ottenere un rapido innalzamento di temperatura in zone ristrette del nodo occorre che aumenti  $v_n$ ,  $\mu$ ,  $k$  ed  $F$ , mentre deve diminuire  $s$  e  $C$ . In tal modo, in una trazione a velocità costante verrà raggiunta molto rapidamente la temperatura di fusione delle fibre, le quali saranno recise a una forza  $F_{rn}$  relativamente bassa. Ovviamente in condizioni opposte valgono le conclusioni opposte. Tutti i casi intermedi si lasciano all'interpretazione del lettore come esercizio «per casa».
- e) Se la velocità di trazione è molto elevata, per esempio a seguito di una caduta choc,  $v_n$  aumenta di conseguenza e il carico di rottura  $F_{rn}$  risulta, a parità di ogni altra condizione, ancora più ridotto (sono fatti sperimentali provati, come vedremo in seguito).
- f) Restando ferme le altre condizioni, tanto più è elevato il punto di fusione delle fibre tanto maggiore è il carico di rottura  $F_{rn}$ . Questo è il motivo per preferire il nylon 6.6.
- g) Se i punti di applicazione delle forze di attrito, per la particolare morfologia del nodo, si distribuiscono su una superficie più ampia, risulterà più difficoltoso concentrare la produzione di calore in zone ristrette. Pertanto la  $F_{rn}$  si innalza. Ecco il motivo della diversità fra nodo e nodo nei relativi carichi di rottura.
- h) Le corde usate fanno variare tanto  $k$  quanto  $\mu$  e  $C$ . È quindi giusto prevedere un comportamento diverso da quello delle corde nuove (vedi Capitolo Nono «Usura delle corde»).
- i) Se  $v_n$  è nulla non si manifesta attrito né accumulo di calore. Ecco perché la corda a contatto con gli ancoraggi (per esempio l'interno di una gassa che appoggia su un moschettoni) mantiene quasi inalterate le proprie caratteristiche: non si riscalda né tantomeno si rompe.
- l) La rottura di una corda annodata avviene esclusivamente in corrispondenza del punto di uscita dal nodo (foto 11). Sembra dunque evidente che è proprio quella la zona di massima concentrazione del calore, verosimilmente perché è la parte del nodo dove maggiore risulta la velocità  $v_n$  e la densità dei punti di applicazione delle forze di attrito più intense.

## NODI DI ANCORAGGIO

Ciò che si vuole mostrare sono le variazioni di  $F_{rn}$  in relazione al tipo di nodo e al tipo di corda. A tal fine sono stati sottoposti a trazione nel banco dinamometrico dei campioni di corda con alle estremità delle gasse chiuse con il tipo di nodo in esame.

### Condizioni sperimentali:

trazione lenta (250 mm/minuto) fino a rottura del campione  
appoggio delle gasse su moschettoni con tondino di 12 mm di diametro  
nodi confezionati senza pretiraggio e sempre dallo stesso operatore  
per ogni tipo di nodo sono state eseguite due prove.

Le corde sottoposte ad esame sono (fra parentesi la sigla che verrà utilizzata in seguito):

Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm (E10)

Edelrid ss  $\varnothing$  9 mm (E9)

Edelrid ss  $\varnothing$  8 mm (E8)

Beal Antipodes s  $\varnothing$  10,2 mm (B10,2)

Beal Antipodes s  $\varnothing$  9 mm (B9)

I nodi presi in considerazione sono quelli che hanno almeno un qualche utilizzo nella progressione in grotta e in montagna.

Per meglio individuarli si faccia riferimento anche all'elenco riportato qui di seguito, dove accanto al nome viene indicato, fra parentesi, il numero di localizzazione nella foto 12.

Guida doppino sotto (1)

Guida doppino sopra (2)

Guida con frizione doppino sotto (3)

Nove doppino sotto (4)

Bolina capo interno alla gassa (5)

Bolina capo esterno alla gassa (6)

Inglese combaciante (7)

Inglese non combaciante (8)

Cravatta doppino sotto (9)

Farfalla (10)

Barcaiolo su moschettone (11)

Bocca di lupo con guida con frizione (12)

Bocca di lupo **su** moschettone (13)

Soccorso **doppino sotto** (14)

Bolina **doppio doppino sotto** (15)



Foto 12.1



Foto 12.2



Foto 12.3



Foto 12.4



Foto 12.5



Foto 12.6



Foto 12.7



Foto 12.8



Foto 12.9



Foto 12.10



Foto 12.11

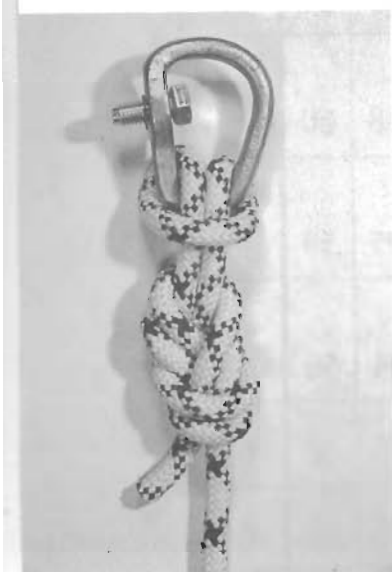


Foto 12.12



Foto 12.13



Foto 12.14



Foto 12.15

## RISULTATI

Nella tabella che segue sono riportati i valori medi di  $F_{rn}$  (in Kgp) e il rapporto percentuale  $F_{rn}/F_r$  (quest'ultimo ricordiamo che è il carico di rottura della corda senza nodi).

TAB. 31

TIPO DI NODO	E 10		E 9		E 8		B 10,2		B 9		MEDIA %
	$F_{rn}$	%	$F_{rn}$	%	$F_{rn}$	%	$F_{rn}$	%	$F_{rn}$	%	
Senza nodi	2715	100	2400	100	1673	100	2655	100	1857	100	100
Guida d. sot.	1956	72	1502	63	1067	64	1461	55	1075	58	62
Guida d. sop.	2079	77	1498	62	1023	61	1355	51	990	53	61
Guida con frizione d. sot.	1986	73	1590	66	1094	65	1481	56	1103	59	64
Guida con frizione d. sop.	1913	70	1414	59	1156	69	1396	53	1062	57	62
Guida con frizione cattiva esecuzione	2023	74	1542	64	1164	70	1462	55	1069	58	64
Nove d. sot.	2239	82	1811	75	1196	71	1859	70	1232	66	73
Nove di sop.	2421	89	1648	69	1207	72	2025	76	1170	63	74
Bolina capo interno	1949	72	1643	68	1138	68	1711	64	1126	61	67
Bolina capo esterno	1913	70	1598	67	1145	68	1504	57	1118	60	64
Inglese combaciante	1900	70	1333	55	1027	61	1395	52	1105	59	59
Inglese non combaciante	1769	66	1440	60	940	56	1403	53	1044	56	58
Cravatta d. sot.	1923	71	1466	61	1048	62	1415	53	1075	58	61
Cravatta d. sop.	1923	71	1496	62	1196	71	1453	55	1148	62	64



Segue Tab. 31

TIPO DI NODO	E 10		E 9		E 8		B 10,2		B 9		MEDIA %
	F <sub>rn</sub>	%	F <sub>rn</sub>	%	F <sub>rn</sub>	%	F <sub>rn</sub>	%	F <sub>rn</sub>	%	
<b>Farfalla</b>	1814	67	1496	62	985	59	1363	51	1028	55	59
<b>Barcaiolo</b> su moschettone Ø 12 mm	1418 <sup>c</sup>	52	1347 <sup>c</sup>	56	993 <sup>c</sup>	59	1375	52	1048	56	55
<b>Barcaiolo</b> su anello camp.	1160 <sup>c</sup>	43	1034 <sup>c</sup>	43	793 <sup>a</sup>	(47)	1100	41	848	46	43
<b>Bocca di lupo+</b> guida con frizione su moschettone Ø 12 mm	1977 <sup>b</sup>	73	1619 <sup>b</sup>	67	1094 <sup>b</sup>	66	1578 <sup>b</sup>	59	1048 <sup>b</sup>	56	64
<b>Bocca di lupo+</b> guida con frizione su anello camp.	1871 <sup>b</sup>	69	1605 <sup>b</sup>	67	1085 <sup>b</sup>	65	1546 <sup>b</sup>	58	1163 <sup>b</sup>	63	64
<b>Bocca di lupo</b> su moschettone Ø 12 mm	1048 <sup>a</sup>	(39)	1101 <sup>c</sup>	46	713 <sup>a</sup>	(43)	1291	49	1095	59	51
<b>Bocca di lupo</b> su anello camp	1396 <sup>c</sup>	51	1124 <sup>c</sup>	47	874 <sup>c</sup>	52	1161	44	929	50	49
<b>Soccorso d. sot.</b> trazione su due gasse	2086	77	1444	60	1070	64	1437	54	1024	55	62
<b>Soccorso d. sop.</b> trazione su due gasse	1960	72	1579	66	1094	65	1425	54	995	54	62
<b>Soccorso d. sot.</b> tradizione su una gassa	1747	64	1306	54	1101	66	1523	57	1019	55	59
<b>Soccorso d. sop.</b> trazione su una gassa	2094	77	1324	55	1107	66	1348	51	1055	57	61
<b>Bolina doppio</b> d. sot.	2012	74	1576	66	1050	63	1585	60	1129	61	65
<b>Bolina doppio</b> d. sop.	1715	63	1267	53	1071	64	1513	57	1120	60	59
<b>Valori medi</b>	1890	70	1454	61	1069	64	1468	55	1070	58	

Con «d.sot.» e «d.sop.» si intende rispettivamente «doppino sotto» e «doppino sopra». Gli indici che contraddistinguono alcuni valori stanno a specificare un meccanismo di rottura particolare e precisamente:

- a) scorrimento senza blocco e quindi senza produrre alcuna rottura della corda; il valore riportato corrisponde alla massima forza registrata durante la trazione;
- b) rottura del nodo guida con frizione;
- c) scorrimento della corda per alcuni centimetri, quindi blocco e infine rottura nel tratto che esce dalle spire del nodo in direzione del punto di trazione.

## CONCLUSIONI

1) La posizione del doppino sottoposto a trazione diretta è tale da modificare  $F_{rn}$  solo in maniera trascurabile e variabile da corda a corda. Quindi non vale la pena di prestarci troppa attenzione se non dal punto di vista dello scioglimento del nodo, che con il doppino sotto è in genere più facile.

2) La tenuta di un nodo varia a seconda del tipo di corda e del suo diametro. Da questo punto di vista ci sono corde migliori e peggiori, sia pur di poco. Nella riga posta in fondo alla tabella è possibile avere una indicazione quantitativa valutando i valori medi della percentuale di riduzione di  $F_r$  (sorprende il buon valore della E 8).

3) Fra nodo e nodo c'è differenza di tenuta e un indice di questa caratteristica è riportato nell'ultima colonna «media %». Risalta il nodo a nove, seguito a una certa distanza da bolina, cravatta, guida con frizione, guida, soccorso, bolina doppio d.sot., tutti più o meno equivalenti come tenuta.

4) Il nodo a nove è sicuramente il migliore come tenuta, ma è altrettanto vero che è ingombrante e difficile da sciogliere.

5) Tolto il nodo a nove, gli altri nodi elencati nel precedente punto 3 sono più o meno equivalenti come tenuta, anche se il guida con frizione sopravanza leggermente tutti. La scelta fra questi deve basarsi soprattutto sulla facilità o meno di scioglierli e sul loro ingombro. Soppesata ogni cosa viene fuori quello che già l'esperienza di anni aveva sublimato: *il guida con frizione doppino sotto non ha rivali!*

6) È interessante e di una certa soddisfazione mettere in evidenza che il bolina, comunque confezionato, ha una buona tenuta, migliore di tanti altri che vanno per la maggiore. Risalta anche il fatto che non sono assolutamente vere le notizie che davano per pericolosissimo il bolina con il capo uscente all'esterno della gassa. Il bolina è un nodo decisamente da rivalutare anche in considerazione della sua estrema facilità di scioglimento e della emblematica struttura con forti connotazioni didattiche.

7) Il bocca di lupo confezionato a partire da una gassa chiusa da un guida con frizione è un ottimo attacco e fa risparmiare moschettoni. È anche una chiara dimostrazione di quanto affermato a proposito dei meccanismi che governano la rottura della corda sul nodo. Infatti la parte di gassa che appoggia sull'ancoraggio (anello o moschettone che sia) a formare il bocca di lupo non subisce alcuna lesione ne tantomeno si rompe. Si recide invece la corda uscente dal guida con frizione, dove ci sono spostamenti relativi delle spire e produzione di calore per attrito. Sul bocca di lupo non c'è movimento ma solo pressione, che da sola non basta a scatenare la fusione e quindi la rottura.

8) Il nodo del soccorso ha buone caratteristiche e quindi se ne conferma l'uso negli attacchi doppi dove la sua adattabilità lo rende insuperato.

9) Il bolina doppio è un ottimo nodo quando l'attacco, naturale, presenta asperità ed è quindi necessario distribuire le eventuali sollecitazioni su una superficie d'appoggio più vasta.

10) L'inglese è di difficile confezionamento nei tratti intermedi della corda; pertanto, considerato anche il basso indice di tenuta, non conviene insistere nel suo uso come nodo di ancoraggio.

11) In ultimo una parola a favore di due nodi molti bistrattati: il barcaiolo e il bocca di lupo (semplice).

Il barcaiolo ha una tenuta che varia con la sezione dell'appoggio (tanto più è piccola tanto maggiore è la riduzione del carico di rottura), ma su un normale moschettone non è poi così tragica. Non è un invito a usarlo sistematicamente (una volta trazonato, si scioglie con estrema difficoltà), ma questo non toglie che si possa utilizzare in particolari casi senza alcuna apprensione. Da evitare con corde di diametro ridotto.

Il bocca di lupo ha un comportamento variabile in funzione del tipo e del diametro delle corde (verosimilmente anche del loro stato d'uso). Ha dalla sua che può comportarsi, sotto trazione, da dissipatore e non è cosa da poco conto. Resta però che il suo indice di tenuta è estremamente basso. Su questo nodo ritorneremo in seguito (Usura delle corde) perché in certi casi ha un comportamento veramente strabiliante, su cui è necessario riflettere.

## NODI DI GIUNZIONE FRA CORDE UGUALI

Le prove di rottura sono state **condotte** come con i nodi di ancoraggio, con l'unica **differenza** che il campione da trazionare era **costituito da due** spezzoni della stessa corda, **congiunti con il tipo** di nodo in esame. Gli estremi del campione sono stati ancorati nei tamburi del **banco dinamometrico (foto 7)**, lasciando il nodo al centro.

I nodi sperimentati sono **(fra parentesi il numero corrispondente alla localizzazione nella foto 13)**:

Inglese combaciante (1)

Inglese non combaciante (2)

Inglese doppio combaciante (3)

Inglese doppio non combaciante

Guida inseguito d.sot. (4)

Guida con frizione inseguito d.sot.

Novo inseguito d.sot.

Bandiera capi dalla stessa parte (5)

Bandiera capi dalla parte opposta (6)

Guida con frizione + bandiera (7)

Guida con frizione + bandiera doppio (8).

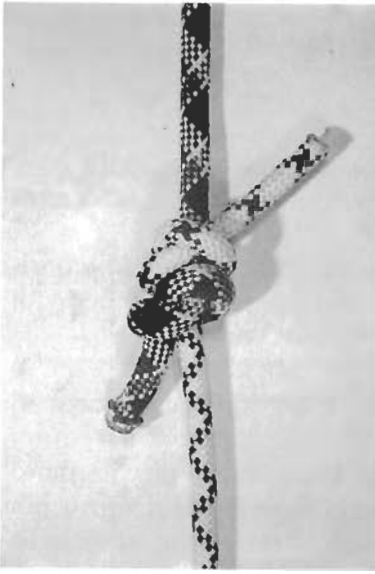


Foto 13.1



Foto 13.2

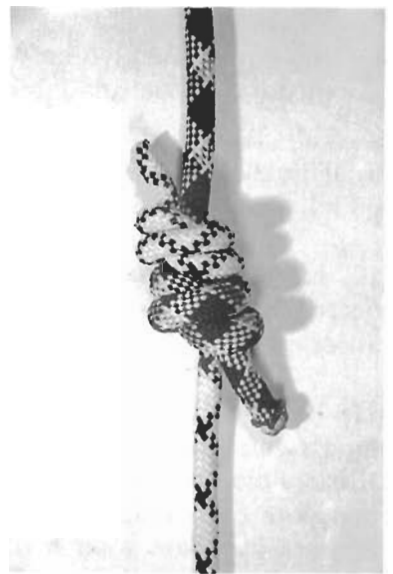


Foto 13.3

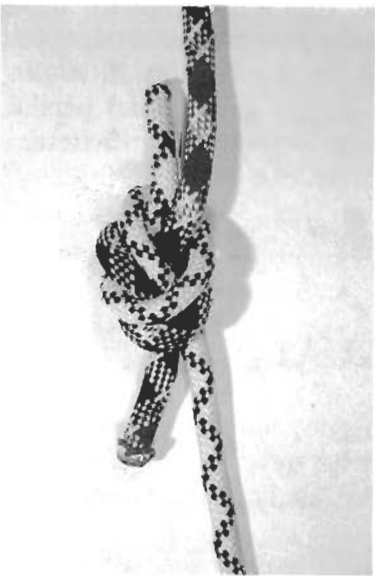


Foto 13.4



Foto 13.5

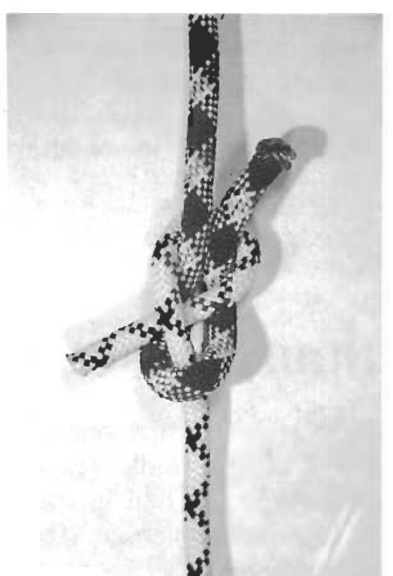


Foto 13.6

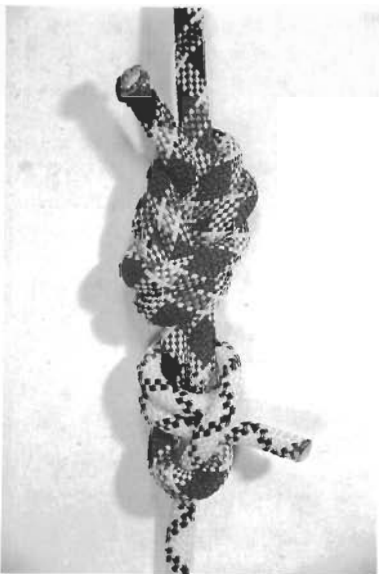


Foto 13.7

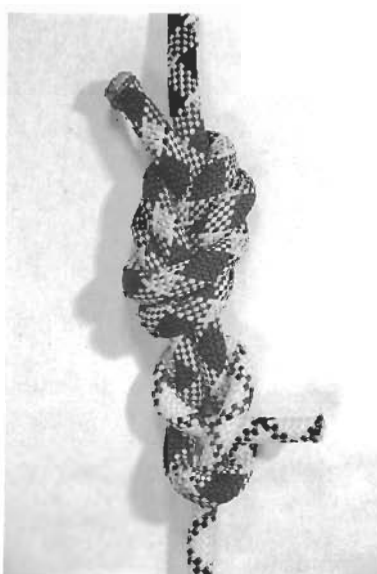


Foto 13.8

## RISULTATI

La sintesi dei risultati è riportata nel prospetto che segue dove valgono le modalità della tabella precedente.

TAB. 32

TIPO DI NODO	E 10		E 9		E 8		B 10,2		B 9		MEDIA %
	F <sub>rn</sub>	%	F <sub>rn</sub>	%	F <sub>rn</sub>	%	F <sub>rn</sub>	%	F <sub>rn</sub>	%	
Senza nodi	2715	100	2400	100	1673	100	2655	100	1857	100	100
Inglese combaciante	1071 <sup>a</sup>	(39)	1088 <sup>a</sup>	(45)	866	52	1374	52	1066	57	54
Inglese non combaciante	1074 <sup>a</sup>	(39)	1071 <sup>a</sup>	(45)	801 <sup>a</sup>	(48)	1273	48	1032	56	52
Inglese doppio combaciante	2059	76	1500	62	1070	64	1967	74	1614	87	73
Inglese doppio non combaciante	2017	74	1555	65	1165	70	1870	70	1376	74	71
Guida inseguito d. sot.	1812	68	966 <sup>a</sup>	(40)	615 <sup>a</sup>	(37)	1331	50	1041	56	58
Guida con frizione inseguito d. sot.	1586	58	1261	52	907	54	1270	48	1073	58	54
Novo inseguito d. sot.	1841	67	1449	60	877	52	1295	49	1044	56	57
Bandiera capi stessa parte	682 <sup>a</sup>	(25)	857 <sup>a</sup>	(36)	666 <sup>a</sup>	(40)	1236	46	962	52	49
Bandiera capi parte opposta	680 <sup>a</sup>	(25)	836 <sup>a</sup>	(35)	587 <sup>a</sup>	(35)	1213	46	941	51	48
Guida con frizione + bandiera	1148 <sup>a</sup>	(42)	1102 <sup>a</sup>	(46)	783 <sup>a</sup>	(45)	1312 <sup>b</sup>	49	1048 <sup>b</sup>	56	52
Guida con frizione + bandiera doppio	1309 <sup>b</sup>	48	1322 <sup>b</sup>	55	931 <sup>b</sup>	56	1434 <sup>b</sup>	54	1128 <sup>b</sup>	61	55
Valori medi	1771	65	1417	59	969	58	1416	53	1120	60	

Gli indici che contraddistinguono alcuni valori si riferiscono a meccanismi di rottura diversi dallo standard:

- a) scorre senza rompersi; il valore riportato è la massima forza registrata durante la trazione;
- b) rottura della corda nel tratto che forma gli occhielli avvolgenti la gassa del guida con frizione.

## **CONCLUSIONI**

1) Il nodo più «tenace» è l'inglese doppio combaciante (cosa che già era stata intuita dal sesto senso degli speleologi), il quale fra l'altro è di minimo ingombro e di facile superamento, tanto in discesa che in risalita. Per contro crea qualche difficoltà nel discioglierlo. Gli altri nodi di giunzione seguono ad una notevole distanza (si faccia riferimento all'ultima colonna a destra con la media delle percentuali).

2) In relazione al tipo di corda, i risultati migliori si ottengono con la Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm. Seguono nell'ordine B 9, E 9, E8, B 10,2 (si veda l'ultima riga in fondo dove sono riportati i valori medi delle percentuali).

3) Al diminuire del diametro e della compattezza della corda l'effetto nodo aumenta e porta a una maggiore riduzione del carico di rottura. È soprattutto questa constatazione che porta a sottolineare l'uso parsimonioso e oculato delle corde a minor diametro in armi complessi su grandi campate.

4) È da evitare l'uso del nodo bandiera.

5) Di una certa pericolosità sono anche l'inglese semplice e il guida inseguito.

## **NODI DI GIUNZIONE FRA CORDE DIVERSE**

La prova è stata condotta nello stesso modo del caso precedente, ma con spezzoni di corde diverse, tanto per tipo che per diametro.

## **RISULTATI**

I risultati sono inseriti nella tabella che segue, dove la prima colonna a sinistra elenca i nodi esaminati, mentre le altre sette accanto contengono le misure di forza ottenute per le varie combinazioni di corde. Ognuna di quest'ultime è a sua volta suddivisa in tre parti: la prima indica la  $F_{rn}$  (in Kgp), la seconda è la sua variazione percentuale (positiva o negativa) rispetto alla forza di rottura della corda a diametro maggiore in presenza dello stesso nodo, la terza come la seconda ma rispetto al carico di rottura della corda a minor diametro, sempre in presenza dello stesso nodo (vedi tabella precedente). L'ultima colonna di sinistra e la riga in fondo sono gli indici medi, relativi, rispettivamente, alla tenuta del tipo di nodo e alla rispondenza del tipo di combinazione.

Gli indici posti su alcuni valori riportano a modi di rottura particolari:

- a) scorre senza rompersi; il valore riportato è la massima forza registrata durante la trazione;
- b) rottura della corda a diametro maggiore.

TAB. 33

TIPO DI NODO	E10-E9			E10-E8			E9-E8			B10,2-B9			B10,2-E8			B10,2-E10			E10-B9			MEDIA F <sub>rn</sub>
	F <sub>rn</sub>	E10 Δ%	E9 Δ%	F <sub>rn</sub>	E8 Δ%	E9 Δ%	F <sub>rn</sub>	E8 Δ%	E9 Δ%	F <sub>rn</sub>	B10,2 Δ%	B9 Δ%	F <sub>rn</sub>	B10,2 Δ%	E8 Δ%	F <sub>rn</sub>	B10,2 Δ%	E10 Δ%	F <sub>rn</sub>	E10 Δ%	B9 Δ%	
Inglese combaciante	1249	+17	+15	890	+3	-8	884	+2	+2	1146	-17	+7	888	-35	+2	1297 <sup>b</sup>	-6	+21	1044 <sup>a</sup>	(-3)	(-2)	1057
Inglese non combaciante	1140	+6	+6	848	+6	-18	876	+9	+9	1249	-2	+21	826	-35	+3	1219 <sup>b</sup>	+1	+20	1028 <sup>a</sup>	(-4)	(0)	1057
Inglese doppio combaciante	1585	-23	+6	1152	+8	-22	1173	+10	+10	1664	-15	+3	1083	-45	+1	1720 <sup>b</sup>	-13	-17	1419	-31	-12	1599
Inglese doppio non combaciante	1644	-19	+6	1239	+6	-25	1168	0	0	1350	-28	-2	1188	-37	+2	1532 <sup>b</sup>	-12	-24	1228	-39	-11	1336
Guida inseguito d. sot.	1415	-22	+46	1116	+81	+3	997	+62	+62	1148	-14	+10	1032	-23	+68	1364 <sup>b</sup>	+2	-25	1289	-31	+24	1194
Guida con frizione inseguito d. sot.	1289	-18	+2	1052	+16	-20	1013	+12	+12	1039	-18	-5	962	-24	+6	1229 <sup>b</sup>	-3	-23	980	-38	-9	1080
Nove inseguito d. sot.	1306	-29	-10	1105	+26	-33	966	+10	+10	1113	-16	+7	1073	-17	+22	1545 <sup>b</sup>	+19	-16	984	-47	-6	1156
Bandiera con doppiino su corda Ø maggiore	960	+41	+12	1024	+54	-6	803	+20	+20	987	-20	+3	1062 <sup>b</sup>	-14	+59	1229 <sup>b</sup>	-1	+80	985	+44	+2	1007
Bandiera con doppiino su corda Ø minore	823 <sup>a</sup>	(+21)	(-4)	683 <sup>a</sup>	(0)	(-18)	699 <sup>a</sup>	(+5)	(+5)	917 <sup>a</sup>	(-26)	(-5)	722 <sup>a</sup>	(-42)	(+8)	1110 <sup>b</sup>	-10	+62	930 <sup>b</sup>	+36	-3	841
Valori medi	1268	-3	+9	1012	+20	-16	953	+14	+14	1179	-17	+4	982	-30	+19	1369	-3	+9	1099	-13	-3	

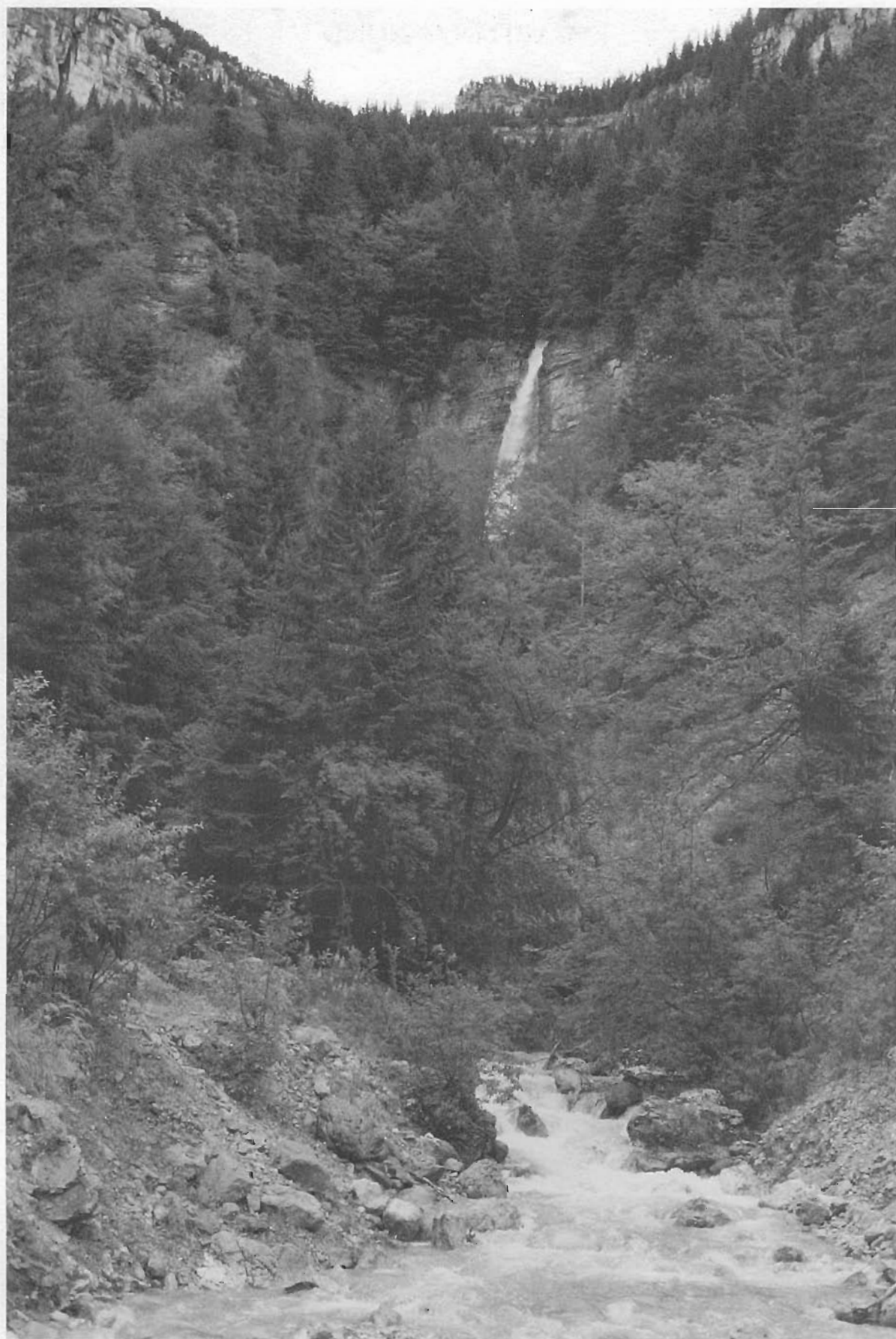
In tutti gli altri casi si rompe la corda a diametro minore secondo il consueto meccanismo. Si tenga infine presente che il nodo bandiera è confezionato con i capi uscenti dalla stessa parte.

## **CONCLUSIONI**

- 1) Nella giunzione di corde eterogenee la  $F_{rn}$  si pone, generalmente, su valori compresi fra le analoghe  $F_{rn}$  della corda a diametro maggiore e della corda a diametro minore. Vi sono alcune sporadiche eccezioni.
- 2) È dunque evidente che la giunzione fra corde diverse per tipo e diametro non pregiudica la tenuta del sistema, in quanto il suo anello debole rimane il tratto di corda a minor diametro. *Nel nodo di giunzione la situazione è migliore!*
- 3) Il nodo migliore risulta ancora una volta il nodo inglese doppio, anche se è quello che meno degli altri aumenta la tenuta rispetto alla corda con  $\emptyset$  minore. Seguono nell'ordine il nove inseguito, il guida inseguito, il guida con frizione inseguito.
- 4) Il bandiera, con il doppino sulla corda a diametro minore è potenzialmente pericoloso: si discioglie sotto trazione, anche con carichi ridotti.
- 5) La miglior combinazione di corda è la B 10,2 - E 10. Interessante la E 10 - E 8 che produce un netto incremento di  $F_{rn}$  rispetto a quella della E 8 (si intende, con lo stesso tipo di nodo).
- 6) Nella combinazione B 10,2 - E 10 è la corda a diametro superiore a rompersi, contrariamente a quanto accade di solito. È vero anche, sempre per la stessa combinazione, che sono parecchi i casi in cui le variazioni percentuali hanno un andamento invertito rispetto a quanto si verifica nelle altre combinazioni di corde. Tutto questo dimostra che la misura del diametro non sempre è in relazione con le caratteristiche di tenuta della corda. Nella combinazione in questione è la B 10,2 a mostrarsi meno forte.







## CAPITOLO NONO

# *USURA DELLE CORDE*

### INTRODUZIONE

La CTM, anche sulla scorta di richieste da parte di Gruppi Grotte, ritiene di fondamentale importanza determinare le variazioni delle caratteristiche delle corde per effetto dell'uso e del decadimento chimico-fisico proprio delle fibre sintetiche. Quanto è stato fatto in precedenza su questo tema non è tale da dare un quadro esauriente e univoco.

Era dunque necessario realizzare una prima serie di ricerche organiche sull'invecchiamento delle corde, magari quantizzando con buona approssimazione il fenomeno.

In più la CTM ha avuto sotto mano tantissimo materiale usato, inviato dalle varie associazioni speleo. Purtroppo un gran parte di queste attrezzature non è stata utilizzata per la ricerca perché mancante di esaurienti relazioni sulle condizioni iniziali e sui tempi e modalità di uso (in grotta o palestra).

Sulla base di questa situazione, sono state realizzate due serie distinte di prove, una strutturata appositamente dalla CTM e avente come riferimento la corda Joanny s  $\varnothing$  10,5 mm, un'altra realizzata sui campioni di corde usate forniti dai Gruppi Grotte.

Su parte di quest'ultimi campioni è stata fatta una terza ricerca sperimentale per poter valutare l'effetto nodo sulle corde usate.

### PRIMA INDAGINE: CORDA JOANNY s $\varnothing$ 10,5

Le ditte Rivory Joanny e Amorini hanno gratuitamente fornito nel marzo 1985 seicento metri di corda statica del diametro di 10,5 mm (vedi scheda nel Capitolo Sesto), confezionata nel febbraio 1985.

### TECNICA DI SPERIMENTAZIONE

Della suddetta corda sono stati fatti 14 campioni della lunghezza esatta di 30 m. L'utilizzazione è stata la seguente:

- un campione è stato immediatamente sottoposto alle prove di riferimento iniziale;
- un secondo campione è stato chiuso in un involucro impermeabile alla luce e all'aria e quindi sistemato in un luogo fresco e scarsamente illuminato;

- un terzo campione è stato abbandonato, non ammatassato, sul tetto di una casa della città di Perugia;
- gli altri 11 campioni sono stati inviati a altrettanti Gruppi Grotte italiani, i quali li hanno sistemati in tratti verticali di varie cavità e in pareti esterne, a volte con permanenza nello stesso luogo per tutto il periodo di osservazione oppure utilizzandoli in grotte o palestre diverse. Su ogni campione è stata comunque redatta una particolareggiata relazione di attività.

La prova ha avuto la durata di un anno, con inizio nel periodo aprile-maggio del 1985.

Nel maggio 1986 la CTM ha raccolto il campione conservato al buio, quello lasciato sul tetto e altri 9 campioni provenienti dai Gruppi Grotte che li avevano avuti un anno prima. Gli spezzoni di corda sono stati catalogati con la seguente numerazione (si intende che la denominazione del Gruppo sta ad indicare l'associazione alla quale è stato affidato il campione in prova):

NUOVA (campione di riferimento)	n. 1
ISOLATA AL BUIO	n. 2
LASCIATA SUL TETTO	n. 3
G.S. GUALDO TADINO	n. 4
G.S. PIEMONTESE CAI UGET	n. 5
A.S. IGLESIENTE	n. 6
G.S. IMPERIESE CAI	n. 7
G.S. FAENTINO	n. 8
G.S. CAGLIARITANO CAI	n. 9
G.S. CAI FIRENZE	n. 10
IX GRUPPO SS CNSA LOMBARDIA	n. 11
G.S. PADOVANO CAI	n. 12

Sono state quindi raccolte e sintetizzate le seguenti relazioni sullo «stato di servizio» degli spezzoni di corda.

### **Campione n. 1**

Corda nuova, confezionata nel mese di febbraio 85. È stato sottoposto a prove nel giugno 85 al fine di fornire il quadro di riferimento iniziale.

### **Campione n. 2**

Corda nuova racchiusa il 10 aprile 1985 in un duplice involucro plastico che ha isolato il campione tanto dalla luce quanto dagli scambi gassosi.

Il tutto è stato sistemato in un locale pochissimo illuminato, con temperatura abbastanza costante (media intorno ai 15° C).

La corda è stata tolta dall'involucro il 19 giugno 1986 ed è stata immediatamente sottoposta alle prove programmate.

### **Campione n. 3**

Corda nuova lasciata non ammatassata sul tetto di una casa di Perugia (q. 480 m slm) nel periodo 10 aprile 1985 - 18 giugno 1986.

Le condizioni climatiche generali sono state le seguenti (dai dati forniti dalla Stazione Meteorologica dell'Istituto di Ecologia Agraria di Perugia, distante circa 800 m dal punto di deposizione della corda in esame):

Esposizione EST

Temperatura media annua 12° C

Precipitazioni complessive 750 mm

Neve 40 cm

Ore di insolazione diretta 1100 circa

Ore di insolazione indiretta 1200 circa

Umidità relativa media 65%

#### **Campione n. 4 - Gruppo Speleologico Gualdo Tadino (PG)**

Cavità utilizzata: Buco Bucone q. 1100 m slm

Periodo attività: 10 maggio 85 - 13 aprile 86

Descrizione pozzo: Pozzo PO (26 m), con corrimano iniziale, doppio attacco sulla verticale, deviatore a circa metà del salto.

Tipo di roccia: Calcere Majolica con frequenti intercalazione di selce

Regime idrico: secco, salvo temporanei sporadici stillicidi

Temperatura aria: 8° C

Tipo di sedimenti: sabbie silicee e poca argilla

Numero speleo transitati: in discesa 80  
in risalita 75

Attrezzi utilizzati: Discensore Stop Petzl  
Discensore semplice Petzl  
Maniglia Petzl  
Croll Petzl

#### **Campione n. 5 - Gruppo Speleologico Piemontese CAI UGET**

Cavità utilizzata: Fighiera, Corchia, F 5, Orso di Pamparato, Piaggia Bella, Donna Selvaggia, Buca del Tunnel

Periodo attività: maggio 85 - maggio 86

Descrizione pozzi: P.25, P.15, P.25, P.15, Nevaio ingresso Piaggia Bella, P.15, P.12

Tipo di roccia: calcari non meglio individuati

Regime idrico: con scarso stillicidio

Tipo di sedimenti: argille e sabbie silicee

Numero speleo transitati: in discesa 102  
in risalita 102

Attrezzi utilizzati: Discensore semplice Petzl  
Maniglia Petzl  
Croll Petzl  
Maniglia Jumar

### **Campione n. 6 - Associazione Speleologica Iglesiente**

Cavità utilizzata: varie dei rilievi dell'Iglesiente

Periodo attività: 29 settembre 85 - 3 maggio 86

Descrizione pozzi: di varie forme, quasi sempre ampi, con profondità variabile dai 15 ai 30 m

Tipo di roccia: calcari non meglio identificati

Regime idrico: secco o con leggero scorrimento d'acqua a rivoli

Tipo di sedimenti: terra polverosa, argilla, microcristalli di aragonite

Numero speleo transitati: in discesa 94  
in risalita 94

Attrezzi utilizzati: Discensore semplice Petzl  
Maniglia Petzl  
Croll Petzl

### **Campione n. 7 - Gruppo Speleologico Imperiese CAI**

Cavità utilizzata: Grotta Labassa q. 1884 m slm

Periodo attività: maggio 85 - maggio 86

Descrizione pozzo: parete esterna (accesso) con esposizione nord

Tipo di roccia: calcare non meglio identificato

Regime idrico: pioggia, neve, ghiaccio, grandine, insolazione diretta (scarsa), insolazione indiretta

Temperatura aria: da  $-10^{\circ}$  C a  $+10^{\circ}$  C

Numero speleo transitati: in risalita 86  
in discesa 86

Attrezzi utilizzati: Discensore semplice Petzl  
Maniglia Petzl  
Croll Petzl  
Maniglia Jumar

### **Campione n. 8 - Gruppo Speleologico Faentino**

Cavità utilizzata: Abisso G.B. Morning

Periodo attività: 1 maggio 85 - 3 maggio 86

Descrizione pozzo: ampio, profondo 25 m, corrimano iniziale, doppio attacco sulla verticale, nessun frazionamento anche se la corda, non sottoposta a trazione, si adagiava sulla parete

Tipo di roccia: gessi del messiniano

Regime idrico: secco in estate, cascatella nel mese di febbraio e marzo, stillicidio nei mesi restanti

Temperatura aria: max  $12^{\circ}$  C  
min  $8^{\circ}$  C

Temperatura acqua:  $10^{\circ}$  C.

Tipo di sedimenti: argilla mista e frammenti di cristalli di gesso

Numero speleo transitati: in discesa 40  
in risalita 0

Attrezzi utilizzati: Discensore semplice Petzl  
Discensore Stop Petzl  
Altri discensori

### **Campione n. 9 - Gruppo Speleologico Cagliariano CAI**

Cavità utilizzata: grotte diverse (8) e palestra esterna (10)

Periodo attività: 30 giugno 85 - 26 aprile 86

Descrizione pozzi: salti di varia forma e profondità e pareti a picco sul mare

Tipo di roccia: calcari non meglio identificati

Regime idrico: secco o stillicidio appena accennato

Tipo di sedimenti: ridottissime quantità di argilla e terra polverosa

Numero speleo transitati: in discesa 81  
in risalita 52

Attrezzi utilizzati: Discensore Stop Petzl (69)  
Discensore semplice Petzl (5)  
Discensore Diablo (4)  
Discensore Rakle Petzl (1)  
Nodo «mezzo barcaiole» (2)  
Maniglia Petzl  
Croll Petzl

### **Campione n. 10 - Gruppo Speleologico CAI Firenze**

Cavità utilizzata: Antro del Corchia (Ramo dei Fiorentini)

Periodo attività: 23 luglio 85 -10 luglio 86

Descrizione pozzo: Primo Tiro del Pozzo della Fangaia (50 m), ambiente ampio con cascata di notevole portata

Tipo di roccia: calcari metamorfici (marmo)

Regime idrico: forte stillicidio, ma tutto è condizionato dalla presenza della grande cascata che rende ancora più «umido» l'ambiente sotterraneo

Temperatura aria: 7° C

Temperatura acqua: 4° C

Tipo di sedimenti: argille (in grande quantità), sabbia silicea, sabbia di degradazione del marmo, ghiaia

Numero speleo transitati: in risalita 40  
in discesa 40

Attrezzi utilizzati: Maniglia Petzl  
Croll Petzl  
Discensore semplice Petzl

## Campione n. 11 - IX Gruppo Sez. Speleologica CNSA Lombardia

## Campione n. 12 - Gruppo Speleologico CAI Padova

Cavità utilizzata: Buso del Dinosaurio q. 960 m slm

Periodo attività: 19 aprile 85 - 19 aprile 86

Descrizione pozzo: 3° Pozzo profondo 23 m

Tipo di roccia: calcare non meglio identificato

Regime idrico: stillicidio

Temperatura aria: 9° C

Tipo di sedimenti: piccole quantità di argilla

Numero speleo transitati: in discesa 88

in risalita 88

Attrezzi utilizzati: Discensore semplice Petzl

Discensore Stop Petzl

Maniglia Petzl

Croll Petzl

## **METODO DI ANALISI**

Su ognuno dei suddetti 12 campioni (alcuni gruppi grotte non li hanno rinviati oppure sono arrivati in ritardo) sono state effettuate le seguenti prove (per il campione n. 1 all'inizio dell'anno di prova).

a) Due test di sollecitazione per caduta nelle seguenti condizioni:

l	300 cm
l <sub>g</sub>	6 cm
P	90 Kgp
F <sub>c</sub>	1
nodo	guida d.sot.

Sono state registrate le curve  $F=f(t)$  come in fig. 8.

b) Due prove a trazione lenta (250 mm/minuto) per determinare il carico di rottura in assenza di nodi ( $F_r$ ).

c) Costruzione della curva di carico-scarico (fig. 13) fino a 1600 Kgp di trazione.

A completamento di queste prove sono stati effettuati dei test per:

- 1) misurare il carico di rottura  $F_r$  di tratti delle corde in esame utilizzati per confezionare nodi di attacco e corrimano;
- 2) prove a caduta con choc ripetuti.

Le prove sperimentali sono state effettuate nel periodo 20/6-27/9/86.



## RISULTATI

Qui di seguito riportiamo, settore per settore, i risultati raggiunti.

### Riduzione di lunghezza

Tutti i campioni di corda erano lunghi all'origine 30 m esatti. Dopo l'uso in grotta o all'esterno sono stati di nuovo misurati e hanno dato i seguenti risultati in metri:

TAB. 34

N. CAMPIONE	LUNGHEZZA	
4	26,80	
5	25,50	
6	25,60	
8	26,70	
9	24,90	
10	26,80	
11	26,10	
MEDIA	26,1	-13%

I campioni n. 7 e n. 12 non sono stati misurati per la presenza di nodi che sono stati trazionati.

*In conclusione si ha una riduzione media di lunghezza di 3,9 m (13%).*

### Curve di carico-scarico e allungamento residuo

Le variazioni nella capacità di deformarsi (plasticità), unitamente alla determinazione dell'allungamento residuo  $A_r$  (fig. 13), sono indicate nelle fig. 72-73-74-75.

Da queste curve si ricava che la deformazione permanente  $A_r$  per metro lineare varia da campione a campione. Nella tabella 35 è sintetizzata la situazione.

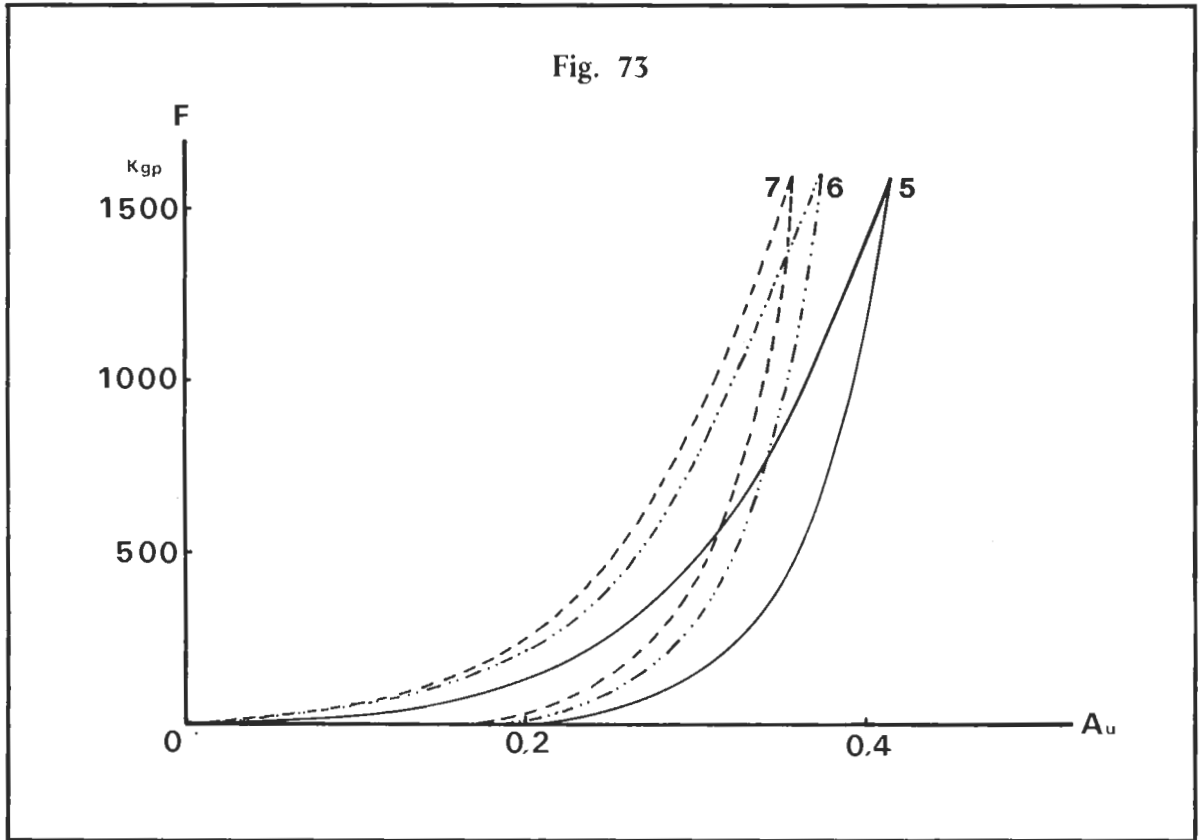
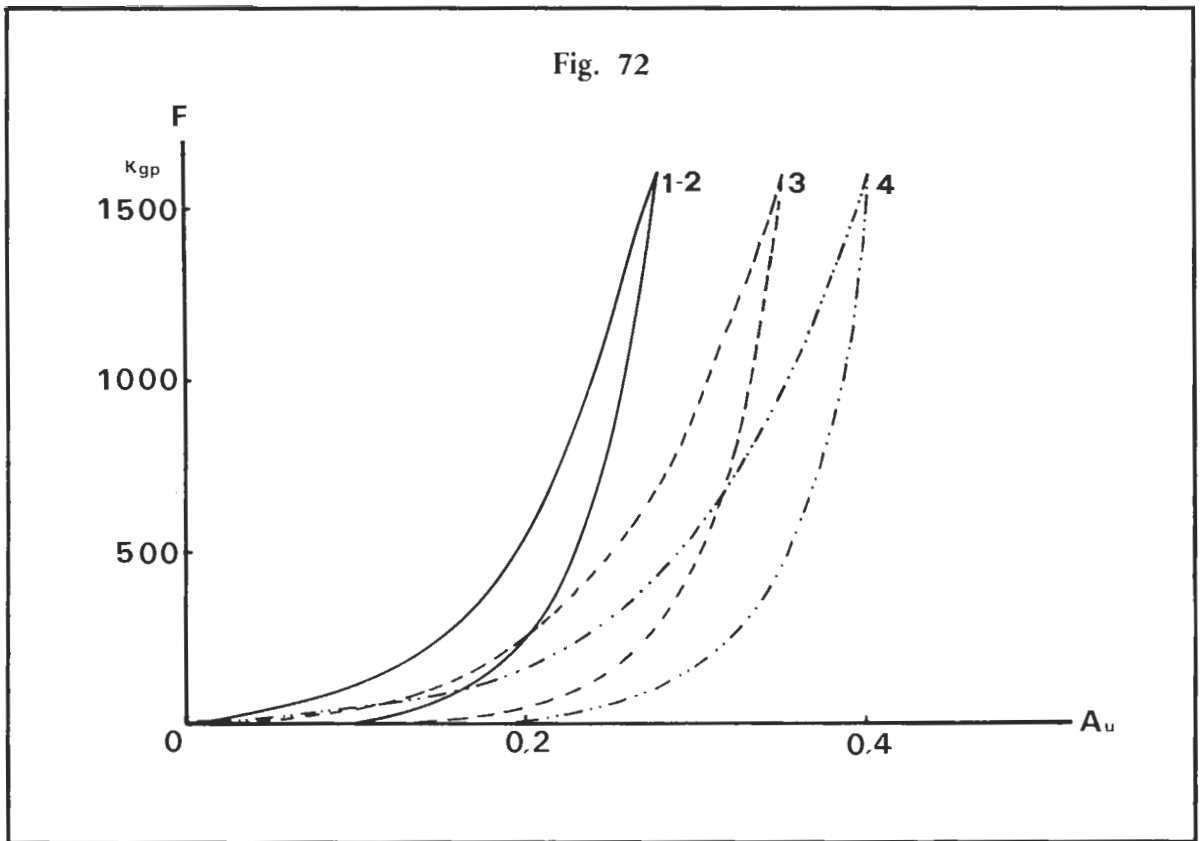


Fig. 74

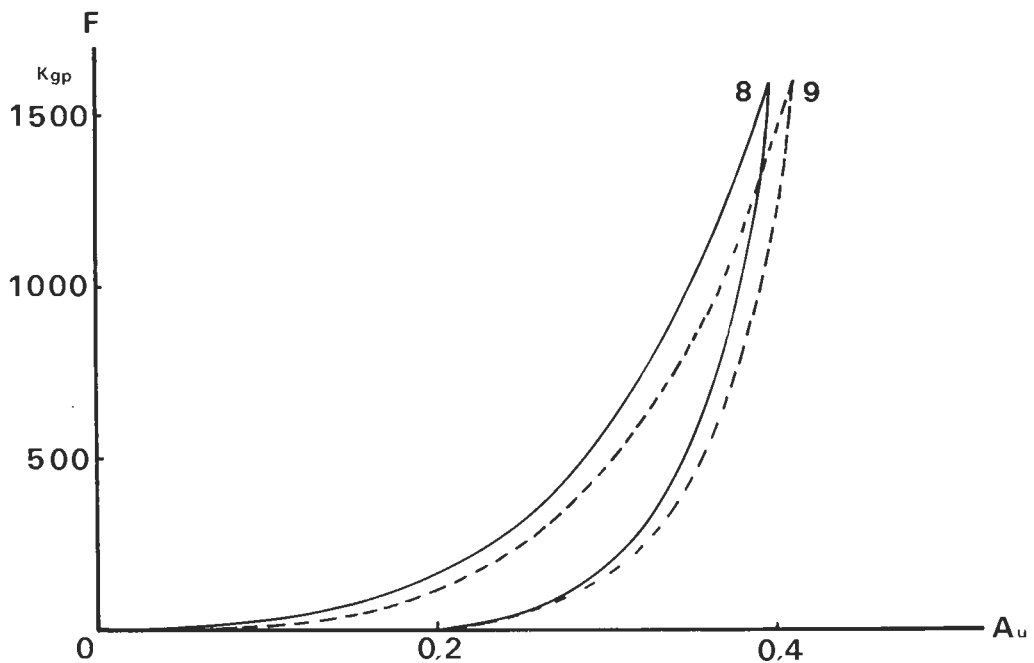
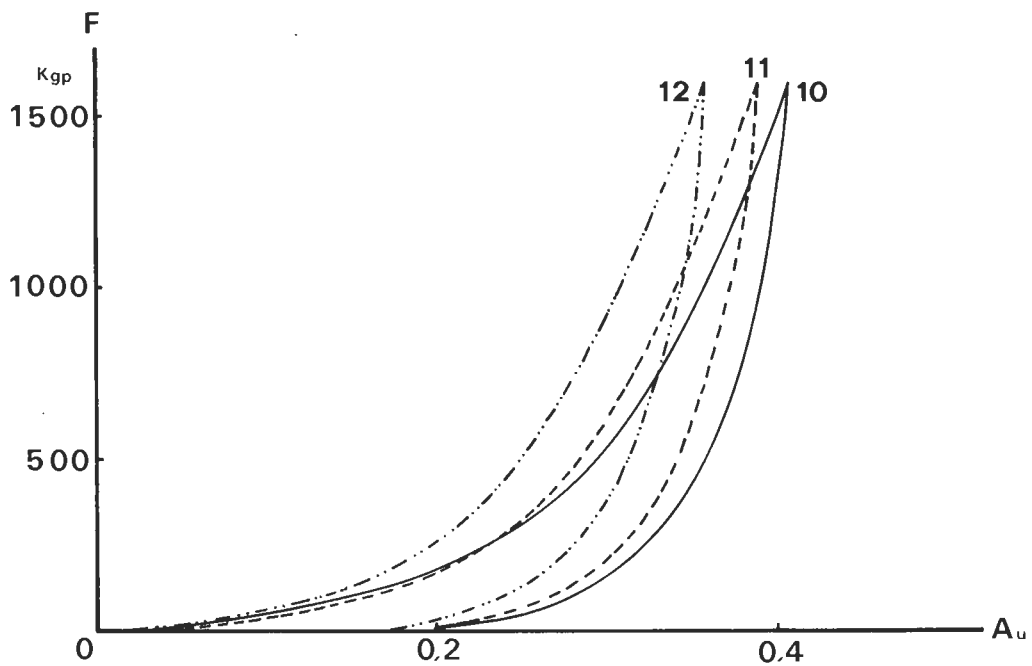


Fig. 75



TAB. 35

N° CAMPIONE	$A_r$
1	0,089
2	0,089
3	0,137
4	0,188
5	0,195
6	0,163
7	0,182
8	0,195
9	0,182
10	0,176
11	0,176
12	0,165

C'è da annotare che:

- 1) il campione n. 1 (standard iniziale di riferimento) e il campione n. 2 (oscurato e anaerobico) danno lo stesso risultato;
- 2) il campione n. 3 (tetto che scotta) ha un allungamento residuo del 54% più elevato rispetto allo standard iniziale;
- 3) per i campioni utilizzati in grotta (o palestra)  $A_r$  è del 101% maggiore di quello dello standard iniziale.

### **Carico di rottura, forza massima, coefficiente dinamico di elasticità e parametri energetici**

Sulla base dei test effettuati, con metodologia analoga a quella utilizzata nel Capitolo Sesto «Caratteristiche corde nuove», sono stati ricavati gli elementi caratterizzanti la qualità di una corda, e cioè il carico di rottura  $F_r$ , la forza massima  $F_m$  nelle condizioni di una caduta choc standard (prova a), il conseguente coefficiente dinamico di elasticità  $X_d$ , nonché i parametri energetici  $\% \Delta E_c$ ,  $\% \Delta E_p$ ,  $\% \Delta E_a$ .

Nella tabella 36 è riportata la sintesi di quanto calcolato (le forze sono espresse in Kgp,  $X_d$  in  $10^{-5} \text{ sec}^2/\text{m Kg}$ ).

Si tenga inoltre presente che:

- $\%F_r$ ,  $\%F_m$ ,  $\%X_d$  rappresentano le variazioni percentuali rispetto ai corrispondenti dati dello standard di riferimento (campione n. 1);
- $\%\Delta E_e$ ,  $\%\Delta E_p$ ,  $\%\Delta E_a$  sono le percentuali di energia assorbita, rispettivamente, per elasticità, plasticità e attrito interno nella prova di caduta standard (test a, uguale a quello utilizzato per ricavare le caratteristiche delle corde nuove nel Capitolo Sesto);
- la penultima riga «valori medi» è in relazione ai soli campioni usati in grotta (dal n. 4 al n. 12);
- l'ultima riga si riferisce alle variazioni percentuali dei tre parametri energetici (valori medi) rispetto agli equivalenti parametri della corda nuova.

TAB. 36

N.° CAM-PIONE	$F_r$	$\%F_r$	$F_m$	$\%F_m$	$X_d$	$\%X_d$	$\%\Delta E_e$	$\%\Delta E_p$	$\%\Delta E_a$
1	3078	0	1240	0	1,4	0	59	11	30
2	3072	- 0,2	1240	0	1,4	0	61	9	30
3	2934	- 4,6	1190	- 4	1,5	+ 7	57	18	25
4	2313	-24,8	1125	- 9	1,7	+21	61	21	17
5	2366	-23,1	1105	-11	1,8	+29	59	15	26
6	2592	-15,8	1115	-10	1,8	+29	52	26	22
7	2472	-19,7	1100	-11	1,8	+29	58	14	28
8	2460	-20,1	1120	-10	1,7	+21	59	17	24
9	2299	-25,3	1060	-14	2,0	+43	56	15	29
10	2302	-25,2	1010	-18	2,2	+57	49	23	28
11	2640	-14,2	1140	- 8	1,7	+21	57	19	24
12	2324	-24,5	1065	-14	1,9	+36	52	21	27
Valori medi	2419	-21,4	1093	-12	1,8	32	56	19	25
Variazione parametri energetici medi rispetto alla corda nuova							-5%	+73%	-17%

## Carico di rottura su tratti di corda utilizzati per nodi di attacco e corrimano

I test hanno interessato alcuni tratti di quei campioni di corda che sono stati posti in armi fissi mai modificati durante tutto l'anno di prova (n. 4-7-8-12).

I tratti di corda esaminati erano stati utilizzati per confezionare nodi di attacco (guida con frizione e soccorso) e corrimano.

Lo scopo è di mettere in evidenza eventuali differenze con i tratti delle stesse corde che hanno subito l'azione delle attrezzature di discesa e di risalita, il tutto avendo come riferimento lo standard iniziale.

I risultati (in Kgp) sono contenuti nella tabella che segue, dove % $F_r$ , è la riduzione percentuale rispetto alla corda nuova. I valori medi sono stati calcolati, ovviamente, escludendo il campione n. 1.

TAB. 37

N° CAMPIONE	$F_r$	% $F_r$
1	3078	0
4	2818	- 8,4
7	2946	- 4,3
8	2491	-19,1
12	2563	-16,7
Valori Medi	2704	-12,1

C'è da annotare che:

- 1) la riduzione media di  $F_r$  nei tratti di corda usati con discensori e bloccanti, così come risulta nella tabella precedente, è del 21,4% rispetto alla corda nuova;
- 2) i valori esposti sono i risultati medi, campione per campione, senza distinzione fra tratti con nodi e con corrimano.
- 3) il campione n. 7 è stato esposto in parete esterna poco soleggiata a 1880 m s.l.m., tutti gli altri hanno avuto la loro collocazione in grotta.

### Choc ripetuti

L'usura delle corde usate per la normale progressione in grotta (quindi niente choc di particolare intensità) porta ad un aumento della loro capacità di deformarsi per effetto di una sollecitazione.  $X_d$  infatti aumenta del 32% rispetto alla corda nuova.

Da ciò è derivata la necessità di approfondire quest'aspetto dell'invecchiamento delle corde, ponendolo a confronto con il diverso modo di decadimento dovuto allo choc da caduta.

A tal fine sono stati sottoposti ad una seconda identica sollecitazione a caduta alcuni tratti di corda già sottoposti alla prova a.

I risultati sono sintetizzati nella tabella che segue, tenendo presente che:

- la colonna «choc 0» si riferisce ai dati ottenuti con le corde, nuove o usate, ma comunque mai sottoposte a precedenti choc;
- la colonna «choc 1» fa invece riferimento ai valori ricavati da una seconda prova di caduta, identica alla precedente;
- le colonne %F<sub>m</sub> e %X<sub>d</sub> contengono le variazioni percentuali, campione per campione, rispetto ai valori ottenuti nella prima prova di caduta;
- la riga «valori medi» si riferisce unicamente ai campioni n. 7 e n. 9.

TAB. 38

N° CAMPIONE	CHOC 0		CHOC 1		%F <sub>m</sub>	%X <sub>d</sub>
	F <sub>m</sub>	X <sub>d</sub>	F <sub>m</sub>	X <sub>d</sub>		
1	1240	1,4	1420	1,0	+15	-29
7	1160	1,8	1360	1,1	+17	-39
9	1060	2,0	1360	1,1	+28	-45
Valori Medi	1110	1,9	1360	1,1	+23	-42

È chiara l'inversione di tendenza: con l'usura da normale progressione e da decadimento chimico-fisico si ha un aumento di X<sub>d</sub>; con le cadute choc l'invecchiamento procede in senso inverso con diminuzione di X<sub>d</sub> rispetto alla corda già choccata (in media del 42%). Di conseguenza la F<sub>m</sub> aumenta del 23%.

## SECONDA INDAGINE: CORDE VARIE

Diversi Gruppi Grotte hanno collaborato con la CTM, mettendo a disposizione spezzoni di corda dei quali si conoscevano le caratteristiche iniziali, data di acquisto e, alcune volte, la storia del loro uso.

Su questi campioni sono state fatte delle prove per cercare di avere altre informazioni e ampliare il quadro di conoscenze, piuttosto complesso, sull'usura delle corde.

Qui di seguito riportiamo i risultati di questi test, anche nella convinzione che possano in qualche modo servire per dare altri elementi di giudizio e nuovi spunti per impostare eventuali successive ricerche sperimentali e teoriche.

### **BEAL ANTIPODES s $\varnothing$ 10,2 mm G.S. CAI-SAT LAVIS**

La Ditta Zanella di Trento ha fornito gratuitamente nel giugno 1985 alcune decine di metri di corda Beal Antipodes s  $\varnothing$  10,2 mm. Si presuppone che la corda fosse di recente fabbricazione e sicuramente nuova.

Da questa corda sono stati prelevati due campioni. Il primo è stato sottoposto alle prove *a*, *b* e *c*, di cui ai paragrafi precedenti, nel periodo giugno-luglio 1985. Il secondo è stato utilizzato dal Gruppo Speleologico CAI SAT di Lavis per una prova di usura in grotta secondo le seguenti condizioni:

Cavità utilizzata: Grotta C. Battisti (M. Paganella)

Periodo d'attività: 27 giugno 85 - 29 giugno 86

Descrizione pozzo: P. Carmen

Tipo di roccia: calcare dolomitico

Regime idrico: stillicidio, anche intenso

Tipo di sedimenti: argilla

Numero speleo transitati: in discesa 22  
in risalita 36

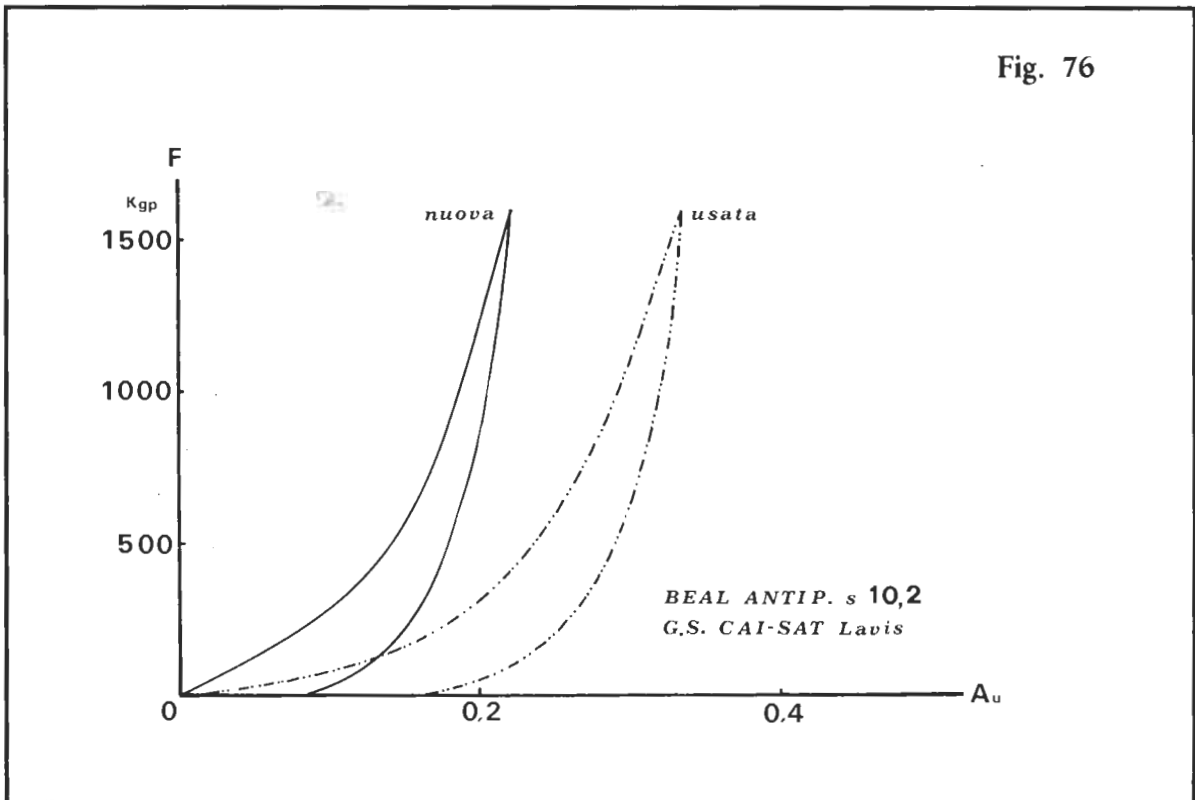
Attrezzi utilizzati:	Discensore Stop Petzl	10
	Discensore doppio Petzl	3
	Discensore semplice Petzl	7
	Discensore Kong-Bonaiti	1
	Discensore Diabolo	1
	Maniglia Petzl	32
	Croll Petzl	30
	Maniglia Jumar	6
	Bloccante Petzl	2
	Maniglia Kong Bonaiti	2

Il secondo campione, quello utilizzato in grotta, è stato inviato alla CTM nel luglio 86. Immediatamente dopo è stato sottoposto alla consueta prassi sperimentale (prove *a*, *b* e *c*).

I risultati sono riportati nel grafico di fig. 76 e nella tabella che segue, dove la simbologia è quella oramai nota (il riferimento è sempre la corda nuova, le forze sono espresse in Kgp e il coefficiente dinamico di elasticità in  $10^{-5} \cdot \text{sec}^2/\text{m Kg}$ ).



Fig. 76

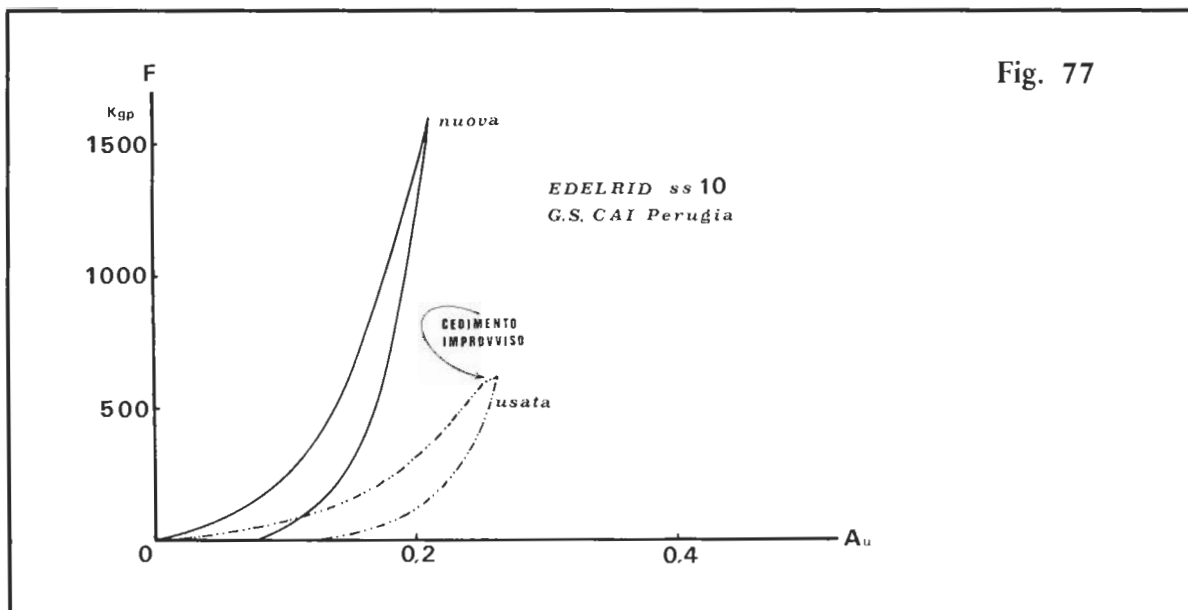


TAB. 39

STATO DELLA CORDA	$F_r$	$F_m$	$X_d$	$\% \Delta E_e$	$\% \Delta E_p$	$\% \Delta E_a$
Nuova	2655	1320	1,2	49	18	33
Usata	2482	1015	2,2	46	19	35
Variazioni percentuali nuova/usata	-6,5	-23	+83	-6	+5	+6

**EDELRID ss  $\varnothing$  10 mm G.S. CAI PERUGIA**

Questa corda è stata acquistata nell'agosto del 1979 e da allora ha subito una costante ma normale attività fino alla primavera del 1984, quando è stata messa nella Grotta di Monte Cucco (P.27 del Baratro) dove è rimasta intierrottamente fino all'autunno dell'85. Questa corda ha dunque sopportato centinaia di discese e risalite.



Per avere delle indicazioni anche su questo caso limite la corda è stata sottoposta alle consuete prove *a*, *b*, *c*. Anche qui l'elemento di paragone è la corda nuova.

I dati ottenuti (in Kgp) sono riportati nel grafico di fig. 77 e nella tabella che segue.

TAB. 40

STATO DELLA CORDA	$F_r$	$\%F_r$	$F_m$
Nuova	2715	0	1380
Usata 1° Campione	845	-69	1020*
Usata 2° Campione	1305	-52	990*
Valori medi	1075	-61	1005

Ci sono da annotare diverse questioni per una buona comprensione dei risultati.

- 1) Non è stato possibile calcolare tutti i consueti parametri in quanto i campioni, sottoposti alla sollecitazione per caduta standard, si sono sempre rotti in corrispondenza dei nodi di ancoraggio (guida d.sot.) ad una forza nettamente inferiore alla  $F_m$  che si registra con una Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm nuova (1380 Kgp).

- 2) La curva di carico-scarico non ha potuto superare i 600 Kgp di trazione per l'incipiente cedimento del campione (verosimilmente si era raggiunta la fase di snervamento che precede la rottura).
- 3) Nella prova di trazione lenta la corda ha mostrato una discontinuità nel modo di allungarsi, con frequenti sussulti e piccole esplosioni polverose.
- 4) Nella tabella, i valori asteriscati si riferiscono a prove di caduta che hanno determinato il cedimento del campione. Pertanto la misura non è una forza massima d'arresto ma un carico di rottura.
- 5) con  $\%F_r$  si intende, al solito, la variazione percentuale rispetto alla corda nuova (campione n. 1).
- 6) La riga «valori medi» ha come riferimento solo i campioni di corda usata.
- 7) La curva di carico-scarico della corda usata (fig. 77) è nettamente spostata a destra; la deformabilità acquisita per l'uso è la più marcata fra quelle sinora riscontrate.

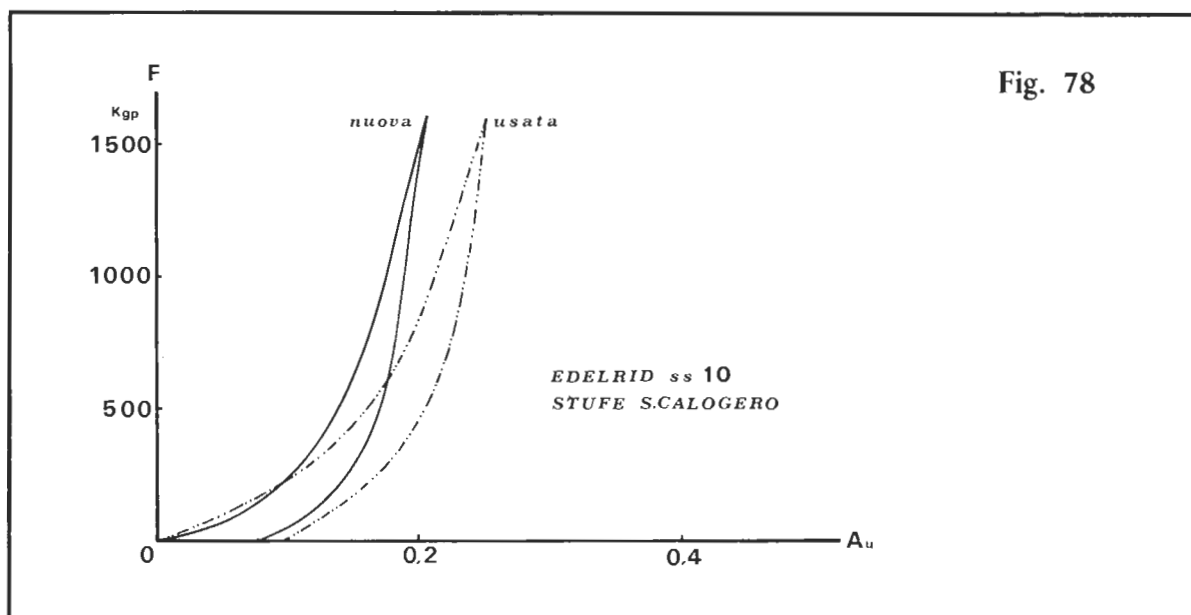
### **EDELRID ss $\varnothing$ 10 mm STUFE DI SAN CALOGERO**

La corda è stata fornita dalla Commissione Grotte «E. Boegan» della SAG di Trieste dopo che era rimasta nel P.110 delle Stufe di San Calogero (Schiacca) per quasi due anni, sollecitata staticamente da un peso di circa 100 Kgp.

La famosa grotta ha una temperatura che varia dai 30° C ai 40° C, con umidità relativa del 100% e una forte presenza di idrogeno solforato (H<sub>2</sub>S) e altri gas di natura endogena. La corda non era mai stata utilizzata in precedenza e durante le operazioni nelle Stufe aveva subito la progressione di pochissimi operatori (uno o due).

La corda, suddivisa in campioni, è stata sottoposta alle consuete prove, *a*, *b*, *c*. Le caratteristiche iniziali sono arcinote.

I risultati sono nel grafico di fig. 78 e nella tabella 41. La simbologia è quella oramai consueta. Le forze sono in Kgp e il coefficiente dinamico di elasticità in  $10^{-5} \cdot \text{sec}^2/\text{m Kg}$ . L'ultima riga contiene le variazioni percentuali dei vari parametri rispetto alla corda nuova.



TAB. 41

STATO DELLA CORDA	$F_r$	$F_m$	$X_d$	$\% \Delta E_e$	$\% \Delta E_p$	$\% \Delta E_a$
Nuova	2715	1380	1,1	59	7	34
Usata	2045	1210	1,5	58	10	32
Variazioni percentuali nuova/usata	-25	-12	+36	-2	+43	-6

**EDELRID ss  $\varnothing$  10 mm ABISSO GORTANI**

Anche questa corda è stata fornita dalla Commissione Grotte «E. Boegan» della SAG di Trieste. Appena acquistata nel 1983 è stata messa nel P.80 dell'Abisso Gortani (M. Canin) dove è rimasta fissa per due anni (il pozzo è percorso periodicamente da una cascata, anche violenta, che proviene da un ramo posto circa 20 m sopra l'inizio dell'armo). Dopo di che è stata tolta e insaccata, rimanendo, sempre nell'Abisso, per altri due anni ancora. La temperatura della grotta varia dai 4° C ai 5° C.

Come nelle corde precedentemente esaminate, anche questa è stata suddivisa in campioni e sottoposta alle prove standard *a*, *b*, *c*.

Nel grafico di fig. 79 e nella tabella 42 sono riportati i risultati ottenuti, con le consuete modalità.

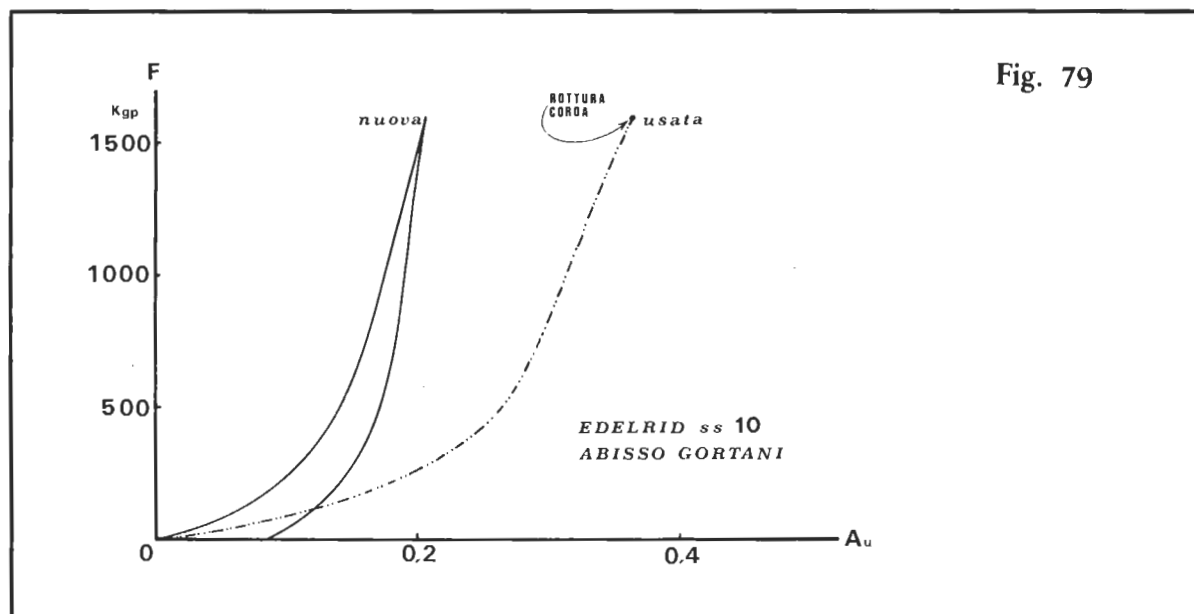


Fig. 79

Da annotare: il campione sottoposto a trazione per ricavare la curva di carico-scarico ha ceduto ad una forza di 1580 Kgp ed è per questo che manca la curva di scarico.

TAB. 42

STATO DELLA CORDA	$F_r$	$F_m$	$X_d$	$\% \Delta E_e$	$\% \Delta E_p$	$\% \Delta E_a$
Nuova	2715	1380	1,1	59	7	34
Usata	1641	1100	1,8	58	12	30
Variazioni percentuali nuova/usata	-40	-20	+64	-2	+71	-12

### *EDELRID ss $\varnothing$ 10 mm BUCO BUCONE*

Il Gruppo Speleologico Gualdo Tadino alla fine del 1988 ha disarmato totalmente la Grotta Buco Bucone (M. Serrasanta, Gualdo Tadino).

Le corde recuperate hanno costituito un arco fisso, alcune a partire dall'83, altre dall'84, altre ancora dall'85. Anno d'acquisto: 1982. La grotta è stata molto frequentata (circa 50 discese all'anno), è praticamente fossile, il calcare è selcifero, la temperatura intorno agli 8° C.

Di queste corde si è ricavato il solo carico di rottura in assenza di nodi  $F_r$  mediante trazione lenta (250 mm/minuto).

Su un tratto di una di queste corde è stato misurato anche il carico di rottura in presenza di un nodo guida con frizione doppiato sotto ( $F_{rn}$ ). Ma di questo test se ne riparlerà nel paragrafo successivo relativo alla riduzione di  $F_r$  per «effetto nodo» nelle corde usate.

Nella tabella che segue sono contenuti i risultati delle prove. Le misure (in Kgp) sono riportate in funzione degli anni di permanenza in grotta. Sono elencati tutti i valori ottenuti, campione per campione, per meglio evidenziare la non trascurabile fluttuazione dei dati, non certo dovuta a errori di impostazione sperimentale o di misura. L'ultima colonna a destra riporta, al solito, la riduzione del carico di rottura rispetto alla corda nuova.

TAB. 43

ANNI DI PERMANENZA IN GROTTA	$F_r$	MEDIA $F_r$	% $F_r$
6	1167	1167	-57
5	1302-1450-1571	1441	-47
4	967-1374-1956 1685-1371-1750 1873-1679-1727 1620-1632-1322 1811-1563-1588 2205-1764	1640	-40

#### *EDELRID ss $\varnothing$ 10 mm DI VARIA PROVENIENZA*

In alcune sedute dimostrative e per l'invio di materiali usati da provare, la CTM ha acquisito diversi dati su corde di varia natura e condizione. Purtroppo di questi si è potuto utilizzare solo quelli relativi alla Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm: di questa abbiamo un chiarissimo quadro iniziale, delle altre no!

L'insieme dei risultati è nella tabella 44. L'impostazione e la simbologia è quella solita. Se mancano alcuni dati lo si deve al fatto che certi campioni non sono corredati di tutte le opportune notizie. Per «passaggio completo» si intende tanto la discesa con discensore quanto la risalita con blocanti. L'ultima riga in basso è una sintesi che dà i valori medi della  $F_r$  e la variazione percentuale rispetto al carico di rottura della corda nuova.

#### *EDELRID ss $\varnothing$ 9 mm ABISSO GORTANI*

La Commissione Grotte della SAG di Trieste ha inviato alla CTM una corda Edelrid ss  $\varnothing$  9 mm che aveva un anno di vita, tutto passato nel P. 80 dell'Abisso Gortani (già descritto in precedenza), sopportando una cinquantina di percorsi completi.

È stata tolta dopo un incidente che aveva costretto la corda a sostenere staticamente un peso di circa 260 Kgp per una settimana, sotto una cascata di grosse dimensioni.

Abbiamo ritenuto giusto riportare questi pochi dati non tanto perché siano estremamente significativi ma perché sono anche gli unici relativi ad una corda di piccolo diametro.

Per inciso, in futuro sarà necessario organizzarsi per avere più campioni di corde di piccolo diametro da esaminare, possibilmente corredati da una dettagliata storia sui modi e sui tempi di utilizzazione.

TAB. 44

ANNI DI ATTIVITÀ COMPLESSIVA	MESI DI PERMANENZA CONTINUATIVA IN GROTTA	Fr	%Fr	NOTE
3	36	1624	-40	CAVITÀ MOLTO FANGOSA
2	24	1842	-32	100 PASSAGGI COMPLETI
3	2	1533	-43	120 PASSAGGI COMPLETI
3	2	1993	-27	120 PASSAGGI COMPLETI
3	36	1212	-55	CAVITÀ MOLTO FANGOSA
4	24	1328	-51	—
8	—	1252	-54	—
2,5	6	1567	-42	—
5	—	1694	-38	200 USCITE IN GROTTA
2	24	1828	-33	—
<b>Valori medi</b>		<b>1587</b>	<b>-42</b>	

Nel prospetto che segue sono riportate, con le consuete modalità, le misure ottenute.

TAB. 45

STATO DELLA CORDA	Fr
Nuova	2400
Usata	1766
% Fr	-26

## TERZA INDAGINE: EFFETTO NODO SU CORDE USATE

Quest'insieme di test ha valore soprattutto come fonte di spunti e informazioni per programmare una più approfondita e organica ricerca sull'effetto nodo nelle corde usate. E ciò che emerge, sia pur a livello embrionale, sembra essere di grande interesse.

### EDELRID ss $\varnothing$ 10 mm STUFE DI SAN CALOGERO

Le caratteristiche di questa corda usata sono note (vedi paragrafo precedente). Su alcuni tratti sono stati fatti dei test per misurarne il carico di rottura in presenza di alcuni nodi (non provenienti dall'armo originale, ma confezionati appositamente su tratti liberi). Il confronto ha avuto come riferimento analoghe situazioni con la corda nuova.

Nella tabella che segue sono riportati (in Kgp) i risultati, con la consueta simbologia. Le colonne «%» contengono le percentuali di carico restante rispetto alla corda senza nodi, tanto nuova che usata. Nell'ultima colonna a destra si riporta l'indice di variazione delle percentuali fra corda usata e nuova.

TAB. 46

TIPO DI NODO	CORDA NUOVA		CORDA USATA		VARIAZIONE % NUOVA/USATA
	F <sub>rn</sub>	%	F <sub>rn</sub>	%	
SENZA NODI	2715	100	2045	100	0
GUIDA d. sot.	1956	72	1501	74	+3
GUIDA con friz. d. sot.	1986	73	1649	81	+11
NOVE d. sot.	2239	82	1645	80	-2
BOLINA capo interno	1949	72	1017	50	-25
BOCCA DI LUPO su moschettone $\varnothing$ 12 mm	1048 <sup>a</sup>	—	1189	58	—
BOCCA DI LUPO su anello Camp	1396 <sup>c</sup>	51	1030	50	-2

È un tentativo di quantizzare la tendenza della corda usata a migliorare o peggiorare la situazione per effetto del nodo. Resta sempre il fatto, da ricordare assolutamente, che una



corda usata parte sempre da una posizione di svantaggio rispetto alla corda nuova: se un nodo migliora la situazione di tenuta questo non significa che la corda usata può raggiungere valori di  $F_{rn}$  superiori agli analoghi valori con corda nuova. Infine da annotare che tutti i campioni si sono rotti sul nodo nella solita maniera. I valori contrassegnati da un indice si riferiscono a prove che hanno dato cedimenti anomali:

- a) scorre senza rompersi; il valore indicato è la massima forza registrata durante la trazione;
- c) scorre per alcuni centimetri, poi la corda si blocca e si rompe al valore di forza indicato.

### **EDELRID ss $\varnothing$ 10 mm BUCO BUCONE**

Di questa corda sono state precedentemente riportate le caratteristiche, fra cui il carico di rottura in assenza di nodi ( $F_r = 1786$  Kgp, sulla base di cinque valori).

In questo caso i campioni sono stati trazionati in presenza di un nodo guida con frizione d. sot. alla velocità di 250 mm/minuto.

I dati ottenuti sono (in Kgp):

$$F_{rn}: 1503-1713-1554-1528-1861$$

da cui si ricava:

$F_{rn}$ media = 1632
-----------------------

Nella tabella che segue, sempre in rapporto a quanto accade in una corda nuova, sono inseriti i valori ricavati. Le modalità di esposizione sono le consuete.

**TAB. 47**

TIPO DI NODO	CORDA NUOVA		CORDA USATA		VARIAZIONE % NUOVA/USATA
	$F_{rn}$	%	$F_{rn}$	%	
SENZA NODI	2715	100	1786	100	0
GUIDA con friz. d. sot.	1986	73	1632	91	+25

### **EDELRID ss $\varnothing$ 10 mm DI PROVENIENZA SCONOSCIUTA**

Su questa corda, apparentemente molto logora e non meglio identificata, sono stati fatti gli stessi test del paragrafo precedente.

Il tutto è riportato qui di seguito nel consueto prospetto.

TAB. 48

TIPO DI NODO	CORDA NUOVA		CORDA USATA		VARIAZIONE % NUOVA/USATA
	Frn	%	Frn	%	
SENZA NODI	2715	100	1439	100	0
GUIDA con friz. d. sot.	1986	73	1252	87	+19

### *NODO BOCCA DI LUPO E CORDE USATE VARIE*

È quasi una curiosità, ma certi risultati possono far riflettere su come imboccare la strada per future evoluzioni della tecnica di armo.

TAB. 49

TIPO DI CORDA	Fr	Frn	%
EDELRID ss Ø 10 G.S. CAI PG 8 anni molto usata	1540	1198	78
EDELRID ss Ø 10 G.S. CAI PG 8 anni poco usata	1698	1199	71
EDELRID ss Ø 10 G.S. CAI SCHIO 4 anni molto usata	1603	1100	67
Marca sconosciuta G.S. CAI IMOLA 12 anni Ø 10,5	1631	988	61
CASSIN DINAMICA Ø 9 STRONCONE 16 anni molto usata	880	709	81
Marca sconosciuta STRONCONE 13 anni molto usata	757	714	94
EDELRID ss Ø 10 STRONCONE 9 anni uso normale	938	925	97
Valori medi	1292	976	75

Le prove sono state fatte nel banco dinamometrico (velocità di trazione 250 mm/minuto) per misurare la tenuta di alcune corde usate tanto in assenza di nodi che in presenza di un nodo bocca di lupo appoggiato su un moschettone con barra di 12 mm di diametro. Si fa presente che il nodo bocca di lupo è il nodo che ha minor superficie di contatto nelle spire e che meglio di altri può dissipare calore per la relativamente alta conducibilità termica del metallo del moschettone.

I risultati (in Kgp) sono riportati nella tabella 49, dove:

- 1) accanto al tipo di corda sono indicate alcune notizie sullo stato d'uso;
- 2) nell'ultima colonna a destra vi è un raffronto, in percentuale, fra carichi di rottura con e senza nodo;
- 3) per analoghe corde nuove il nodo bocca di lupo (sempre su moschettone  $\varnothing$  12 mm) ha dato percentuali di carico restante pari al 51%;
- 4) nelle corde nuove generalmente il nodo bocca di lupo prima scorre e poi tende a bloccare la corda e quindi a romperla; nelle corde usate si ha sempre un blocco istantaneo, appena inizia la trazione.

## CONCLUSIONI

In questo paragrafo conclusivo, contrariamente a quanto è accaduto nei capitoli precedenti, l'esposizione non avverrà in modo schematico attraverso la puntualizzazione di fatti, ma piuttosto con un insieme articolato di considerazioni che vanno a coprire un ampio arco di argomenti e risultati sperimentali. Si tenta in poche parole di disegnare un quadro, il più chiaro possibile, sulle caratteristiche delle corde, partendo non solo da quanto ricavato su quelle usate o comunque invecchiate, ma anche dalle conclusioni tratte nei precedenti capitoli.

### *DECADIMENTO PER ESPOSIZIONE ALLA LUCE*

In questo caso (vedi campione n. 3 della Prima Indagine) si hanno le seguenti variazioni di caratteristiche rispetto alla corda nuova:

Carico di rottura $F_r$	— 5%
Coefficiente di elasticità $X_d$	+ 7%
Possibilità di deformazioni plastiche $\% \Delta E_p$	+ 64%

L'aumento di  $\% \Delta E_p$  sta a significare che la corda esposta alla luce ha una maggiore capacità di assorbire energia attraverso deformazioni irreversibili. Anche  $X_d$  se ne avvantaggia con una apparente maggiore elasticità del mezzo.

In realtà la corda è stata sottoposta ad una martellante azione di sfianamento con raggi ultravioletti e altri agenti atmosferici (non ultimi gli acidificanti contenuti nell'inquinamento), i quali hanno determinato la rottura di una certa percentuale dei polimeri che costituiscono la fibra sintetica. Questa depolimerizzazione è favorita da un ambiente acido.

Quindi con il bombardamento UV diminuiscono le capacità di coesione dei fili elementari e la corda acquista maggiore deformabilità.

Il decadimento per insolazione può essere facilmente bloccato. Infatti le corde, se vengono protette dalla luce e dagli agenti atmosferici, mantengono inalterate le proprie caratteristiche iniziali.

Per quanto? È difficile rispondere. Si hanno solo vaghe notizie, trapelate dalle case produttrici, per cui il nylon comincia comunque a perdere le sue caratteristiche originarie dopo circa 10 anni di stoccaggio. E sembra pure che a quel punto la velocità di decadimento sia molto elevata.

## **DECADIMENTO PER USURA IN GROTTA**

È molto simile al decadimento per insolazione, ma porta a risultati quantitativamente maggiori (vedi campioni dal n. 4 al n. 12 della Prima Indagine):

Carico di rottura $F_r$	—21%
Coefficiente di elasticità $X_d$	+31%
Possibilità di deformazioni plastiche $\% \Delta E_p$	+73%

In aggiunta, si tenga presente che anche i risultati della Seconda Indagine (E 10 Stufe di San Calogero, E 10 Abisso Gortani, B 10,2) portano a conclusioni sostanzialmente identiche.

Le cause sono:

- a) flessione e torsione nel discensore;
- b) penetrazione dei denti dei bloccanti e conseguente azione di lacerazione;
- c) azione di microcristalli e altri possibili corpuscoli intrusi all'interno della corda (queste particelle, di solito a spigoli vivi e taglienti, possono inserirsi nell'anima della corda anche per la sola evaporazione dell'acqua calcarea, che deposita fra trefolo e trefolo microcristalli di calcite); questa componente agisce soprattutto se combinata con quella di cui al precedente punto a);
- d) riscaldamento eccessivo con discensore, in genere su corda asciutta (anche questo fattore porta alla depolimerizzazione con perdita di qualità del materiale sintetico);
- e) abrasione della calza esterna per sfregamento sulle pareti;
- f) snervamento dovuto alle microsollecitazioni impresse durante la normale progressione, tanto in discesa che in risalita;
- g) a meno casi particolari, insolazione come già descritta nel caso precedente.

Nel complesso le componenti sopraelencate portano ad una trasformazione della struttura longitudinale e trasversale della corda, agendo fra componente e componente (fili elementari, trefoli, calza), variando i relativi coefficienti di attrito, recidendo addirittura una parte dei fili elementari dell'anima e della calza, modificando la conducibilità termica della corda presa come un tutt'uno fra materiale proprio e intruso.

Tutto ciò produce minor compattezza e coesione. La corda reagisce alle sollecitazioni con più marcate deformazioni permanenti e minor capacità di tenuta a trazione.

L'invecchiamento per uso in grotta non è un fenomeno che si distribuisce omogeneamente lungo la corda. Fra punto e punto, anche molto ravvicinati, si possono riscontrare forti differenze di caratteristiche. È impossibile infatti utilizzare in modo uniforme l'intera lunghezza di corda.

## **ALLUNGAMENTO RESIDUO**

Nell'ottica di quanto sinora detto ben si comprendono le variazioni dell'allungamento residuo  $A_r$  a seguito di una trazione (lenta o impulsiva che sia). Sempre facendo riferimento ai campioni che vanno dal n. 1 al n. 12 della Prima Indagine, trazionati al banco dinamometrico, si ha la seguente situazione:

Corda nuova	0,089	0
Corda esposta alla luce	0,137	+ 54%
Corda usurata in grotta	0,180	+ 101%

A destra gli aumenti percentuali rispetto alla corda nuova.

Questi dati sono un'ulteriore conferma che l'invecchiamento da insolazione e per uso in grotta aumentano la plasticità della corda. A tal proposito è emblematica la fig. 72 dove sono messe in risalto queste variazioni.

## **RIDUZIONE DELLA LUNGHEZZA INIZIALE**

Sulla base di quanto ricavato nella Prima Indagine (campioni dal n. 4 al n. 12) la corda nuova riduce la sua lunghezza del 10-15% in un anno di uso in grotta.

Benché non ci siano dati certi si ha motivo di credere che la contrazione si manifesti interamente o quasi nel primo periodo d'uso (sono sufficienti poche uscite). Dopo, la lunghezza della corda rimane pressoché immutata.

Sarebbe molto interessante poter correlare il fenomeno della diminuzione della lunghezza delle corde usate con la loro maggiore plasticità di fronte alle sollecitazioni. Potrebbe risultare che questo aumento non sia altro che la restituzione della lunghezza iniziale. Ma la cosa è molto discutibile.

## **PARAMETRI ENERGETICI**

Le variazioni dei parametri energetici danno ulteriori importanti informazioni.

Facendo sempre riferimento a quanto rilevato nella Prima Indagine, oltre alla questione dell'aumento della plasticità già precedentemente esaminata, gli altri parametri danno questi risultati (campioni dal n. 4 al n. 12):

Possibilità di deformazioni elastiche $\% \Delta E_e$	— 5%
Possibilità di dissipazione di energia per attrito interno $\% \Delta E_a$	— 17%

Questo sta a significare che la corda usata è meno pronta a dissipare energia con trasformazioni reversibili e a una minor vocazione a sviluppare attriti. Un comportamento del genere è una conseguenza dello sfiancamento che la corda ha subito in grotta.

Anche nella Seconda Indagine sono stati ricavati alcuni parametri energetici (non in tutti i casi perché non sempre la corda ha sopportato la sollecitazione data con la prova di caduta) per la E 10 Stufe di San Calogero, E 10 Abisso Gortani e B 10,2.

Nei primi due tipi di corda si ha una conferma di quanto ottenuto con la Joanny s  $\emptyset$  10,5 mm nella Prima Indagine. Nel caso della Beal i risultati sono molto differenti (sempre rispetto alla corda nuova):

Possibilità di deformazioni elastiche $\% \Delta E_e$	—6%
Possibilità di deformazioni plastiche $\% \Delta E_p$	+5%
Possibilità di dissipazione di energia per attrito interno $\% \Delta E_a$	+6%

Il fatto che  $\% \Delta E_a$  aumenti in combinazione con un incremento appena accennato di  $\% \Delta E_p$  sta a significare che l'uso ha determinato un aumento della compattezza, con maggior pressione fra componente e componente. In effetti la Beal Antipodes s  $\varnothing$  10,2 mm è una corda molto morbida che tende a divenire più compatta con l'uso. Da nuova la calza non è solidale con l'anima quanto sarebbe necessario.

### ***CARICHI DI ROTTURA DI TRATTI DI CORDA UTILIZZATI PER NODI DI ANCORAGGIO E CORRIMANO***

In queste condizioni i valori di  $F_r$  sono stati superiori a quelli emersi per i tratti della medesima corda percorsi con le attrezzature di progressione (discensori, bloccanti). Facendo ancora una volta riferimento alla corda Joanny s  $\varnothing$  10,5 mm (Prima Indagine), si sono avuti i seguenti risultati medi rispetto alle corde nuove:

Variazione percentuale del carico di rottura della corda utilizzata per nodi e corrimano	—12%
Variazione percentuale del carico di rottura della corda utilizzata per la progressione	—21%

È dunque evidente che l'elemento che maggiormente incide sul decadimento di una corda è la progressione con attrezzi meccanici e non il confezionamento di un nodo, anche se ancorato su un maillon rapid  $\varnothing$  7 mm. Attenzione comunque nell'ancorare le corde su maillon con  $\varnothing$  inferiore ai 5 mm perché subentrano fenomeni di abrasione che possono portare la corda alla rottura.

### ***DECADIMENTO E NUMERO DELLE PERSONE TRANSITATE***

L'uso in grotta porta sempre ad un decadimento delle corde, ma questo non dipende quantitativamente dal numero di persone transitate su di esse con attrezzi meccanici. Da quanto emerge dalla Prima Indagine (e da altri frammenti delle successive) alcune corde poco transitate hanno dato risultati quasi uguali a quelli ricavati per corde molto più utilizzate. Da notare che una corda poco usata e per di più solo in discesa ha dato risultati uguali se non peggiori di quelli di una corda transitatissima, sia in discesa che in risalita. Evidentemente le torsioni e le flessioni prodotte dai discensori hanno un'influenza non indifferente sul processo di decadimento.

### ***DECADIMENTO IN RELAZIONE AI TEMPI E AI MODI DI UTILIZZO***

Ci si basa su quanto ricavato in alcuni test della Seconda Indagine. I risultati sono da prendere con riserva visto che la sperimentazione è molto incompleta.

Con la *E 10 G.S. CAI Perugia* (la cui attività è stata lunga e tormentata) si è messo in evidenza un decadimento di entità tale da non permettere l'arresto del peso nella prova di caduta standard. Addirittura un campione ha sopportato al massimo una trazione lenta di appena 850 Kgp.

Caratteristiche così scadenti sono verosimilmente da collegare all'uso intenso e prolungato della corda nella sua lunga vita, ma soprattutto al suo «abbandono» per oltre 18 mesi in un pozzo di una grotta frequentatissima.

*Attenzione: ancora una volta (si ricordi il capitolo dei moschettoni) risalta chiaramente la pericolosità di armi fissi abbandonati a se stessi, senza periodici controlli e manutenzioni.*

Con la *E 10 Abisso Gortani* si hanno conclusioni simili ma meno drammatiche. L'uso intenso e la lunga permanenza in una grotta frequentata hanno determinato una specie di spappolamento della corda. Il carico di rottura è risultato molto basso (inferiore ai 1600 Kgp) e l'aumento di plasticità è nettissimo. È una corda al limite della sopportazione.

Per l'*E 10 Buco Bucone* le indicazioni che si possono trarre sono tali da dare qualche lume, sia pur modesto, sul legame che esiste fra numero di anni di uso e grado di decadimento. Rispetto alla corda nuova il carico di rottura diminuisce nel modo seguente (in percentuale):

6 anni d'uso	—57%
5 anni d'uso	—47%
4 anni d'uso	—40%

Appena uno sguardo alla corda *E 9 Abisso Gortani*. Questa corda ha mantenuto un buon carico di rottura (1766 Kgp, cioè il 74% dell'equivalente valore da nuova). È questa una capacità di tenuta addirittura superiore a quella riscontrata in alcune *E 10*, ma non bisogna dimenticare che è in relazione ad un uso contenuto per un tempo limitato.

*Una considerazione d'obbligo: una corda E 9 non troppo «vecchia» e ben tenuta può essere migliore di tante corde da 10 mm logorate da un uso smodato o abbandonate per anni in armi fissi che nessuno si prende la briga di cambiare o eliminare. Non lasciatevi ingannare dalle apparenze!*

### **EDELRID ss $\varnothing$ 10 mm STUFE DI SAN CALOGERO**

È un caso speciale e come tale va trattato.

Particolarissime condizioni climatiche (alta temperatura, elevata pressione parziale di H<sub>2</sub>S) e il permanere di una sollecitazione statica di 100 Kgp hanno determinato una contenuta modificazione delle caratteristiche di questa corda, lasciata per più di un anno nel P. 110 della famosa cavità siciliana.

Il coefficiente  $X_d$  della corda usata è superiore del 36% a quello della corda nuova (si ricordi che per l'*E 10 Abisso Gortani* l'analogo aumento era del 64%).

Il Parametro  $\% \Delta E_p$  è pari a +43 (per la *E 10 Abisso Gortani* risulta uguale a +71).

Questi dati mostrano che:

- è soprattutto l'azione dei discensori e dei bloccanti a determinare la perdita di caratteristiche;
- le componenti climatiche interne, specie se portano a condizioni acide (e quindi depolime-

rizzazione), hanno un'influenza negativa che non può essere certo trascurata, ma neanche enfatizzata;

- resta da valutare l'effetto dovuto alla sollecitazione statica, che rappresenta il 4% del carico di rottura della corda nuova (è da porlo in relazione con il basso valore di  $\% \Delta E_p$ );
- nel complesso si sono viste situazioni decisamente peggiori in corde usate in modo del tutto normale ma intensamente e per lungo tempo.

## INVECCHIAMENTO DA CHOC

Le trasformazioni che subisce una corda nuova per effetto di una caduta choc sono di segno opposto a quelle riscontrabili nel decadimento per normale uso in grotta. Nel primo caso si ha una diminuzione di elasticità mentre rimane costante il carico di rottura. Nel secondo aumenta il coefficiente  $X_d$ , soprattutto per la maggiore vocazione alle deformazioni plastiche, ma diminuisce  $F_r$ .

Ma che cosa accade in una corda usata se viene sottoposta a una sollecitazione impulsiva? Da quanto ricavato nel Capitolo Settimo «Prove di caduta» e nel paragrafo «Choc ripetuti» del presente capitolo, si conclude che una sollecitazione dinamica (choc) produce lo stesso effetto tanto nelle corde nuove che usate. In entrambi i casi diminuisce  $X_d$  per perdita di elasticità e plasticità.

Uno choc quindi annulla l'effetto relativamente positivo dovuto allo «sfiancamento» operato dalla progressione con gli attrezzi meccanici. La corda viene trascinata nella peggiore delle situazioni, con contemporanea diminuzione di  $F_r$  e  $X_d$ .

Una corda usata e choccata è proprio da buttar via!

Per meglio valutare quanto accade di negativo in una corda usata che arresta la caduta di un peso si presti attenzione ai risultati di una prova «choc ripetuti» sulle seguenti corde:

- Joanny s  $\varnothing$  10,5 mm nuova (campione n. 1 Prima Indagine)
- Joanny s  $\varnothing$  10,5 mm usata (campione n. 7 e n. 9 Prima Indagine)
- Joanny Class dinamica  $\varnothing$  11 mm nuova.

Prendendo in considerazione solo le variazioni di  $X_d$  che si manifestano fra il 1° e il 2° choc, si ha:

Joanny s $\varnothing$ 10,5 mm nuova	—28%
Joanny s $\varnothing$ 10,5 mm usata	—44%
Joanny Class dinamica $\varnothing$ 11 mm nuova	—41%

Dunque la corda usata ha un'attitudine a ridurre la propria deformabilità maggiore della corda dinamica nuovo. Rispetto all'equivalente corda statica nuova questa caratteristica è quasi raddoppiata e simile a quella della corda dinamica.

Un comportamento così anomalo dà la misura di quanto la corda statica usata sia ridotta al lumicino: è sufficiente un'ulteriore piccola sollecitazione per produrre il cedimento definitivo. Del resto non si può cavare il sangue dalle rape, come dimostra ampiamente la corda Edelrid ss  $\varnothing$  10 G.S. CAI Perugia del 1979. Questa corda infatti non ha sopportato neanche il primo choc e ha ceduto al dinamometro da banco con appena 600 Kgp, dopo che in precedenza si erano avuti degli improvvisi piccoli allungamenti. Si ricordi però il particolare stato di servizio di questa corda.



## EFFETTO NODO SU CORDE USATE

La presenza di un nodo su una corda è sinonimo di riduzione di carico di rottura.  $F_{rn}$  (carico di rottura in presenza di nodi) è sempre minore del corrispondente  $F_r$  (carico di rottura in assenza di nodi).

Nelle corde usate questa situazione si ripete negli stessi termini, ma la riduzione di carico di rottura, a parità di ogni altra condizione, è minore che nelle corde nuove. Questo è un fatto interessante da interpretare (anche positivo, se si vuole).

A tal fine riportiamo alcuni esempi sperimentali.

a) *Guida con frizione doppino sotto* — Avendo come riferimento la corda Edelrid ss  $\varnothing$  10 mm si ha la seguente situazione rispetto al rapporto percentuale fra  $F_{rn}$  e  $F_r$ :

Corda nuova	73%
«Stufe di San Calogero»	81%
«Buco Bucone»	91%
«Provenienza sconosciuta»	87%

b) *Bocca di lupo su moschettone  $\varnothing$  12 mm* — In questa simpatica serie di prove sono stati ottenuti i seguenti risultati per il rapporto percentuale  $F_{rn}/F_r$  (accanto all'indicazione del tipo di corda vengono specificate anche le condizioni d'uso e gli anni di attività):

Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm nuova	51%
Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm molto usata; 8 anni	78%
Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm poco usata; 4 anni	71%
Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm molto usata; 4 anni	67%
Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm mediamente usata; 9 anni	97%
Cassin dinamica $\varnothing$ 9 mm molto usata; 16 anni	81%
Marca sconosciuta $\varnothing$ 11 mm molto usata; 13 anni	94%

In entrambi i casi è chiaro che l'effetto nodo nelle corde usate ha una minore incidenza nel ridurre il carico di rottura. Risalta anche il fatto, del tutto impreveduto, che il «bocca di lupo» è un nodo molto compatibile con le corde logore, dove riduce solo di qualche punto il carico di rottura.

Sia comunque altrettanto chiaro che questi risultati sperimentali non devono essere interpretati come un invito a usare corde molto malandate perché riducono meno il carico di rottura per effetto nodo! Sarebbe infatti da suicida utilizzare una corda tanto malconcia da reggere solo 100 Kgp senza nodi e 99 Kgp con nodi: si avrebbe sì un rapporto  $F_{rn}/F_r$  altissimo (99%) ma la tenuta in valore assoluto del tutto ridicola.

## ***CARATTERISTICHE DI UNA CORDA USATA E CARICO DI ROTTURA IN PRESENZA DI NODI***

Dopo quanto detto nel Capitolo Ottavo «Nodi» sui meccanismi che portano al cedimento di una corda nuova annodata, per quelle usate occorre solo fare delle modeste precisazioni, che comunque non cambiano la sostanza delle conclusioni tratte, anzi le confermano pienamente.

- 1) Le modalità di rottura sono le stesse delle corde nuove, solo che la strizione del nodo avviene in modo discontinuo, con scatti e piccole esplosioni polverose.
- 2) Eccetto la Beal Antipodes  $\varnothing$  10,2 mm, tutte le altre corde esaminate diminuiscono con l'uso il parametro  $\% \Delta E_a$ . Le corde usate hanno infatti una minor capacità di dissipare energia per attrito interno, in quanto, verosimilmente, le loro caratteristiche macrostrutturali e le situazioni all'interfaccia fra componente e componente riducono il coefficiente d'attrito e la pressione.
- 3) A proposito della pressione vi è da aggiungere che la maggior rigidità della corda si oppone ai piegamenti e alle torsioni. Questo determina, a parità di forza traente, una minor pressione nelle superfici a contatto nelle spire del nodo.
- 4) La presenza di corpuscoli estranei nella corda usata (cristalli di calcite, frammenti di silicati, argilla disseccata) portano a una variazione dell'attrito interno e della conducibilità termica. È difficile stabilire l'entità e il segno di queste variazioni, che comunque influenzano in maniera non marginale la tenuta di una corda annodata.

In conclusione possiamo affermare che nelle corde usate il minor effetto di riduzione di carico di rottura per la presenza di un nodo è dovuto essenzialmente a:

- un minor attrito interno
- una maggiore rigidità strutturale
- una più elevata conducibilità termica

In futuro le ricerche potrebbero tendere a individuare la miglior combinazione fra nodo e corda usata, non dimenticando che il tanto vituperato bocca di lupo si accoppia molto bene con le corde particolarmente malconcie.





## CAPITOLO DECIMO

# *CARATTERISTICHE DELLE FETTUCCE*

## INTRODUZIONE

Benché non di uso corrente, le fettucce hanno pur sempre un certo campo di impiego in speleologia, tanto nell'attrezzatura individuale che collettiva. Resta poi immutato il fatto che il lavoro della CTM, per quanto possibile, si rivolge anche al mondo alpinistico, dove le fettucce trovano diversi e frequenti campi di impiego.

Inoltre le fettucce erano degli oggetti dal comportamento misterioso su cui è facilissimo alimentare false verità, pregiudizi e conoscenze distorte.

Si imponeva dunque una ricerca che in qualche modo chiarisse la situazione.

Pertanto la CTM ha realizzato un'indagine su vari tipi di fettucce nuove, puntando a far emergere tanto aspetti da utilizzare nella ricerca teorica quanto risultati da spendere subito nella progressione in grotta e in montagna.

## TECNICA DI SPERIMENTAZIONE

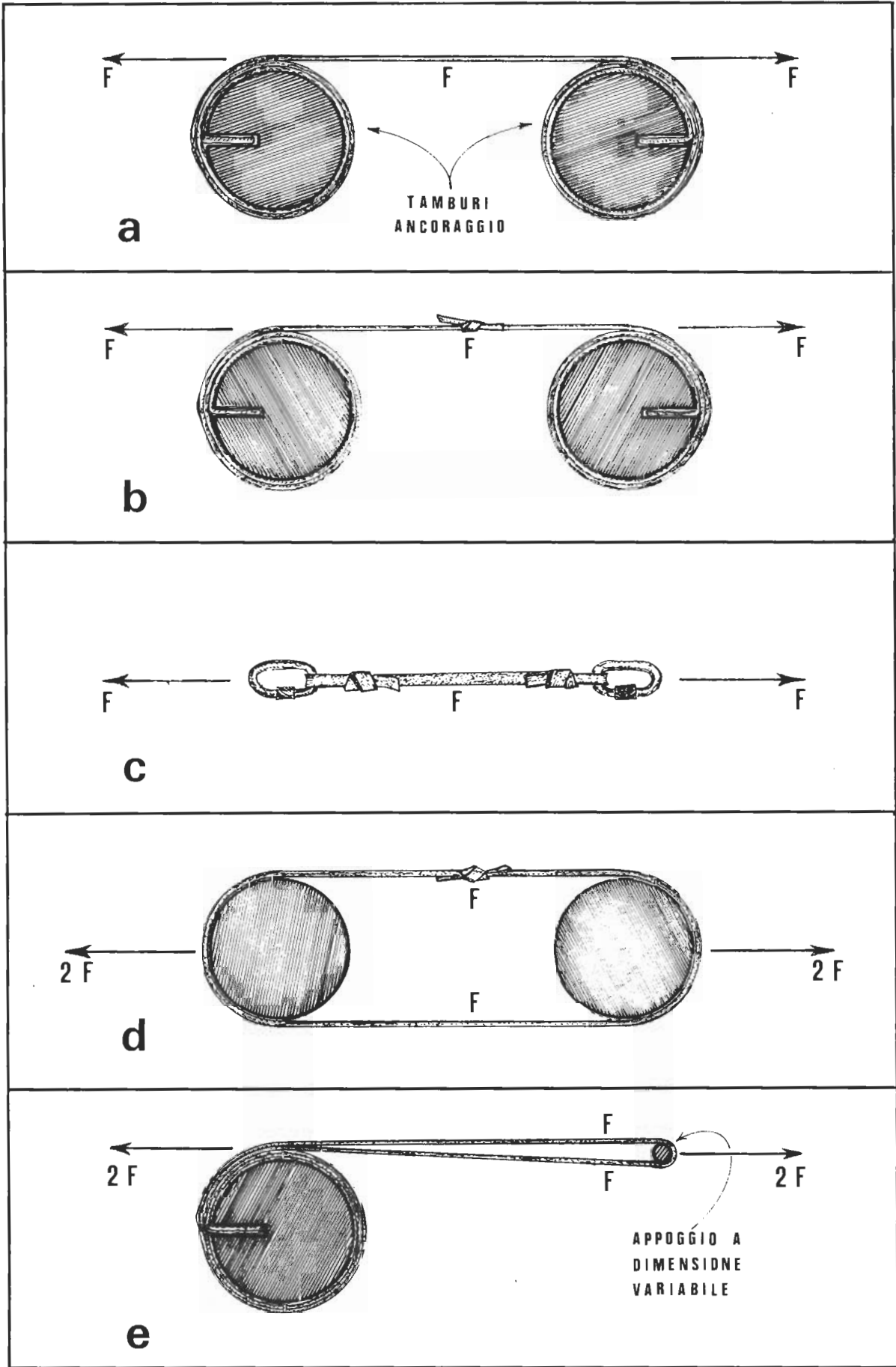
Sono state prese in considerazione le seguenti fettucce della Ditta CAMP (fornite gratuitamente):

- tubolare larghezza 28 mm  
bianca con linee rosse e blu
- tubolare larghezza 25 mm  
arcobaleno
- tubolare larghezza 20 mm  
bianca con linee rosse e blu

Ognuna di esse è stata sottoposta, mediante trazione lenta (250 mm/minuto) nel banco dinamometrico, alle prove qui di seguito indicate.

- 1) Per ricavare  $F_r$ , trazione fino a rottura della fettuccia singola ancorata fra due tamburi lisci del diametro di 110 mm (fig. 80 a). È strettissima l'analogia con quanto realizzato per le corde non annodate.
- 2) Per misurare  $F_{rn}$ , sollecitazione in lenta e graduale intensificazione su un campione (fig. 80 b) composto da due spezzoni congiunti con nodo fettuccia (la situazione è analoga alla giunzione di due corde con nodo guida inseguito). Il campione è stato ancorato su tamburi come nella prova precedente, lasciando al centro il nodo di giunzione.

Fig. 80



- 3) Per ottenere  $F_{r1}$ , la trazione è stata applicata ad un campione lungo 50 cm (fig. 80 c) che alle estremità aveva due nodi fettuccia (guida con esatta sovrapposizione della fettuccia nelle spire del nodo), utilizzati come ancoraggi su moschettoni con barra di 12 mm di diametro.
- 4) Per ricavare  $F_r(\text{an})$ , sono stati preparati degli anelli, lunghi 100 cm, chiusi con nodo fettuccia. La trazione è stata applicata come in fig. 80 d mediante ancoraggio sui tamburi di cui alle prove precedenti.
- 5) Per misurare  $F_r(\text{ap})$ , la metà di uno spezzone di fettuccia è stata ripiegata sull'altra metà. La parte con i due capi sovrapposti è stata ancorata su uno dei soliti tamburi, mentre l'anello che si è formato in tal modo è stato inserito su un attacco (appoggio) dalla geometria variabile (fig. 80 e). Gli attacchi-appoggio utilizzati nelle prove sono:
  - tondino d'acciaio del diametro di 40 mm, posto ortogonalmente alla linea di trazione, su cui la fettuccia è stata adagiata con cura, evitando grinze o altre disomogeneità;
  - gancio di acciaio verniciato, a sezione trasversale trapezoidale con bordi arrotondati e base maggiore di 14 mm posta all'interno del gancio stesso; la fettuccia è stata adagiata in modo uniforme senza accavallamenti;
  - moschettone asimmetrico con barra del diametro di 12 mm, leggermente appiattita lateralmente; la fettuccia per effetto della trazione tende a comprimersi in una zona ristretta della piegatura del moschettone (zona di appoggio), formando grinze sotto la spinta di forze trasversali;
  - maillon rapid simmetrico in acciaio con tondino di 8 mm di diametro; la fettuccia è stata posizionata nella maniera più uniforme e simmetrica possibile rispetto all'asse maggiore del maillon; ma anche in questo caso, sotto trazione, tende a contrarsi trasversalmente per effetto della piegatura della zona di appoggio nell'ancoraggio;
  - come nel caso precedente, ma ponendo una particolare attenzione a disporre la fettuccia in modo *scorretto* (ripiegata, attorcigliata, sovrapposta, aggrinzita, etc.);
  - anello asimmetrico Petzl, con appoggio della fettuccia nella zona a più stretta curvatura;
  - placchetta Coeur Petzl, passando la fettuccia direttamente nel foro, dove è stata costretta, sotto trazione, a comprimersi, piegarsi e sovrapporsi; il lamierino dal quale è stata tranciata la placchetta è dello spessore di 4 mm; il foro ha spigoli vivi.

Nel complesso sono 11 test, ognuno dei quali è stato ripetuto almeno tre volte per ogni tipo di fettuccia. Nelle tabelle riassuntive sono riportati i valori medi.

## FETTUCCIA SINGOLA, ANELLO E LONGE DI FETTUCCIA

Una prima serie di misure, emerse sulla base delle prove n. 1-2-3-4, vengono riportate nella tabella 50, dove le percentuali sono calcolate in rapporto al valore di  $F_r$  (carico di rottura della fettuccia singola senza nodi) e l'ultima riga contiene i valori medi delle percentuali. Questi possono essere presi come misura delle capacità di tenuta dei vari sistemi.

Per le modalità di rottura si faccia riferimento alla presenza o meno di indici in corrispondenza dei valori riportati. Se non vi sono, la rottura è avvenuta in un tratto di fettuccia interposto fra gli ancoraggi e senza disomogeneità di sorta (nodi o fatti simili).

Se invece il dato è contrassegnato in alto con una lettera si hanno le seguenti corrispondenze:

- a) rottura della fettuccia in corrispondenza del nodo, con modalità identiche e quelle riscontrate per le corde;
- b) rottura della fettuccia in corrispondenza dell'appoggio a dimensione variabile, come indicato nella prova n. 5.

TAB. 50

TIPO DI FETTUCCIA	$F_r$	$F_r$ (an)	% $F_r$ (an) / $F_r$	$F_{rn}$	% $F_{rn}/F_r$	$F_{rl}$	% $F_{rl}/F_r$
28 <sub>mm</sub>	1530	2087 <sup>a</sup>	136	1050 <sup>a</sup>	69	1060 <sup>a</sup>	69
25 <sub>mm</sub>	1563	2107 <sup>a</sup>	135	1016 <sup>a</sup>	65	976 <sup>a</sup>	62
20 <sub>mm</sub>	1273	1983 <sup>a</sup>	156	970 <sup>a</sup>	76	888 <sup>a</sup>	69
Valori medi %			142		70		67

### CONSIDERAZIONI

1) Come per le corde anche per le fettucce la misura di  $F_r$  (carico di rottura in assenza di nodi e con ancoraggio su appoggio liscio, arrotondato e di grande diametro) ha un valore puramente teorico, utile come livello di riferimento.

Comunque è pur sempre un indice che misura la qualità e la quantità del materiale impiegato per la confezione della fettuccia. Ne è un esempio quanto emerge per le fettucce da 28 mm e da 25 mm: pur essendo la prima di dimensioni più grandi, in realtà le due hanno una «qualità» complessiva uguale.

2) Contrariamente a quanto accade nelle corde, dove i nodi di giunzione hanno un notevole impiego, nelle fettucce la prova n. 2 (fig. 80 b) dà risultati di scarsa utilità operativa. Per contro la conoscenza di  $F_{rn}$  per le fettucce ha un notevole significato teorico, anche di riferimento rispetto alle diverse situazioni reali.

3) Per confermare quanto riportato nel punto precedente, si noti che i valori di  $F_r$ (an) (carico di rottura di un anello chiuso con un nodo fettuccia) sono quasi esattamente il doppio di  $F_{rn}$ . Questo è facilmente comprensibile in quanto il sistema ad anello cederà quando la sua parte più debole, il nodo, avrà raggiunto il suo carico di rottura (si esclude che il punto debole sia sull'appoggio per le grandi dimensioni del tamburo). A quel punto la forza registrata nel banco dinamometrico sarà il doppio di  $F_{rn}$  in quanto il sistema comporta la trazione contemporanea su due bracci uguali e paralleli, dove la forza complessiva si suddivide in modo equivalente (fig. 80 d).

4) Quando si trazona un campione con due nodi fettuccia all'estremità (fig. 80 c) il carico di rottura  $F_{rl}$  è pressoché uguale a  $F_{rn}$  (forse leggermente inferiore).

Questo era del tutto prevedibile visto che è in gioco, in entrambi i casi, la tenuta di nodi uguali. Ciò che varia è il modo di applicare la forza (nel caso di  $F_{rl}$  il nodo viene sollecitato da entrambi i bracci della gassa) e sembra che tale modifica comporti o una diminuzione



di superfici a contatto o un aumento della velocità di scorrimento relativo fra le diverse componenti del nodo o una diminuzione dei coefficiente d'attrito (poco probabile). Sono queste delle considerazioni del tutto simili a quelle indicate per una corda, nella convinzione che la diversa geometria che contraddistingue il manufatto-fettuccia dal manufatto-corda sia, entro i limiti di questo campo d'indagine, del tutto trascurabile.

## CARICHI DI ROTTURA E GEOMETRIA DEI PUNTI DI APPOGGIO

I risultati della prova n. 5 sono contenuti (in Kgp) nella tabella 51 in funzione del tipo di fettuccia e di appoggio. Nelle colonne dei % si indicano le variazioni percentuali rispetto ad  $F_r$ . Nell'ultima riga vengono indicate le medie delle percentuali. Per le modalità di rottura si tenga presente che l'indice b sta a significare il cedimento della fettuccia nel tratto messo a contatto con l'ancoraggio-appoggio. I valori senza indici si riferiscono alla rottura in punti senza particolari riferimenti, comunque diversi da quelli a contatto con l'appoggio. La colonna «Maillon rapid simmetr.  $\varnothing$  8 mm» con asterisco si riferisce a valori ricavati con fettuccia disposta nell'ancoraggio nelle peggiori condizioni possibili (attorcigliata, piegata, accavallata, pinzata, aggrinzita, etc.).

### Note

- 1) È evidente che il carico di rottura  $F_r(\text{ap})$  dipende dalla geometria del punto di ancoraggio.
- 2) Su tondino  $\varnothing$  40 mm  $F_r(\text{ap})$  è di fatto il doppio di  $F_r$ . Il che dimostra la non influenza di questo tipo di appoggio sul carico di rottura.



TAB. 51

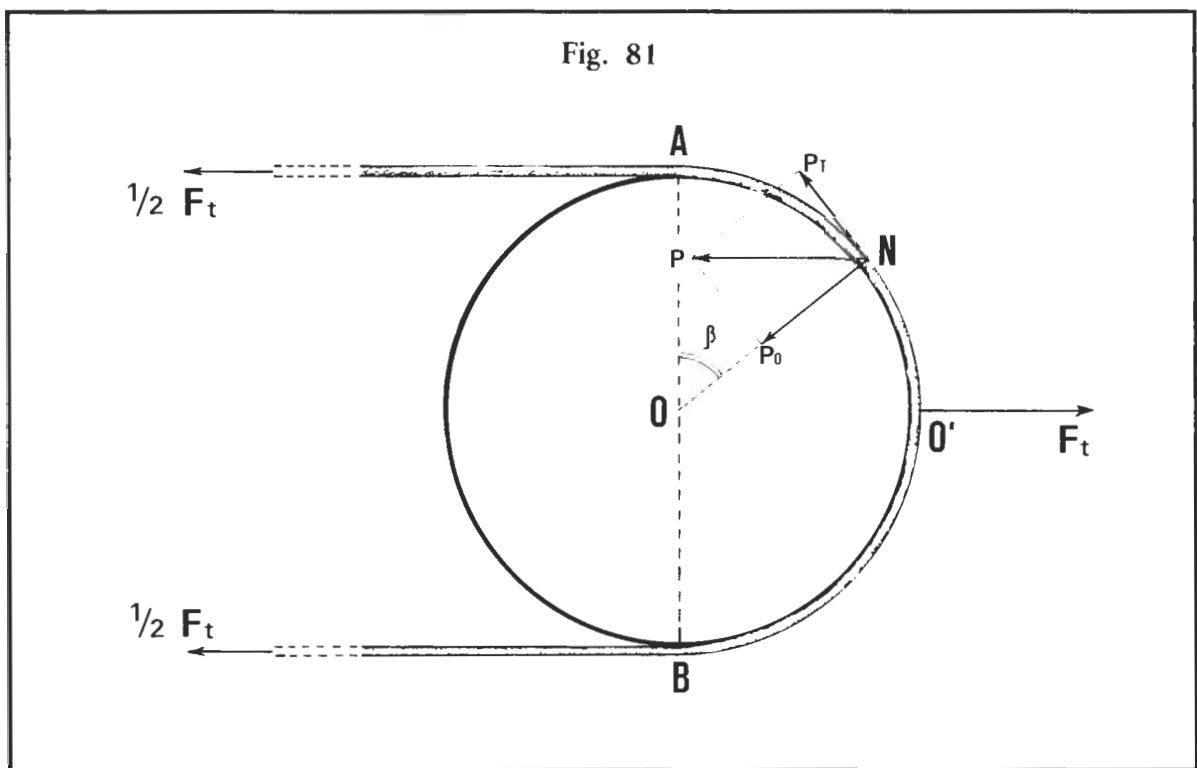
TIPO DI FETTUCCIA	Fr	TONDINO LEVIGATO Ø40mm	%	GANCIO A SEZIONE IRREGOLARE	%	MOSCHET- TONE Ø 12mm	%	* MAILLON RAPID SIMMETR. Ø 8mm	%	MAILLON RAPID SIMMETR. Ø 8mm*	%	* ANELLO ASIMMETRI- CO PETZL Ø 6mm	%	PLACCHET- TA COEUR INOX PETZL	%
28mm	1530	3122	203	2214 <sup>b</sup>	145	2382 <sup>b</sup>	156	2226 <sup>b</sup>	145	1270 <sup>b</sup>	83	1680 <sup>b</sup>	110	1230 <sup>b</sup>	80
25mm	1563	3167	203	2374 <sup>b</sup>	152	2218 <sup>b</sup>	142	2100 <sup>b</sup>	134	2162 <sup>b</sup>	138	1655 <sup>b</sup>	106	1684 <sup>b</sup>	107
20mm	1273	2413	190	1607 <sup>b</sup>	126	1592 <sup>b</sup>	125	1541 <sup>b</sup>	121	1501 <sup>b</sup>	118	1214 <sup>b</sup>	95	1069 <sup>b</sup>	84
Valori medi			197		141		141		133		113		104		90

Misura della forza di trazione sull'ancoraggio

È dunque evidente che il carico di rottura  $F_r(ap)$  di un anello di fettuccia senza nodi dipende dalla geometria dell'ancoraggio-appoggio nei termini posti dalle due note precedenti.

In un primo tentativo di interpretazione teorica idealizziamo la situazione come in fig. 81, dove il cerchio di diametro  $AB=2r$  rappresenta la sezione trasversale di un ipotetico ancoraggio-appoggio sul quale la fettuccia si avvolge omogeneamente, senza pieghe, ricoprendo l'arco  $AO'B$ . La forza di trazione  $F_t$ , con direzione e senso come indicato in fig. 81, si applica nel punto  $O$ . La situazione è tale per cui il tamburo viene traslato ma non ruota.

L'anello di fettuccia lascia l'appoggio in  $A$  e  $B$ , generando due forze uguali che si oppongono alla trazione. Ognuna di esse, nell'ipotesi che la trazione avvenga con una successione di stati di equilibrio, vale la metà di  $F_t$ .



In uno qualsiasi di questi stati di equilibrio, quando la trazione non è ancora sufficiente a produrre la rottura, la fettuccia è sottoposta a delle forze (longitudinali o tangenziali) che tendono a reciderla lungo una sua sezione trasversale e che variano di intensità in relazione al fatto di essere o no a contatto con l'appoggio e in funzione del coefficiente di attrito  $\mu$  caratteristico del contatto appoggio-fettuccia.

Come questo possa accadere lo si spiega pensando che la forza  $F_t/2$  applicata in  $A$ , man mano che si trasferisce lungo la superficie d'appoggio, diminuisce di intensità a causa delle forze di attrito che si oppongono allo scorrimento della fettuccia nel senso  $B \rightarrow A$ . Stessa cosa per la forza  $F_t/2$  applicata in  $B$  ma con forze di attrito contrarie allo scorrimento nel senso  $A \rightarrow B$ . Pertanto su un punto qualsiasi  $N$  della semicirconferenza  $AO'B$  la fettuccia non è sottoposta ad una forza di trazione di intensità

$$F_t = F_t/2 + F_t/2$$

(ciò sarebbe vero se il contatto non generasse alcun attrito), ma di intensità

$$F_n = F_t - F_a$$

dove  $F_a$  rappresenta la sommatoria di tutte le forze di attrito che si oppongono alla trazione. Il calcolo di  $F_a$  può essere eseguito nel modo seguente.

Nella superficie elementare  $ds$  circostante il punto N di fig. 81 agisce una forza di attrito

$$F_{an} = \mu ds P_o$$

dove

$$P_o = P \sin \beta \quad \text{componente centripeta della pressione } P$$

$$P = \frac{F_r}{2rl_f}$$

$$ds = l_f \cdot dl$$

$$l_f = \text{larghezza della fettuccia.}$$

Ne segue che

$$F_{an} = \frac{\mu F_t}{2r} \sin \beta dl$$

e quindi la forza di attrito che complessivamente agisce sulla fettuccia a contatto con l'arco AN risulta

$$F_a (AN) = \frac{\mu F_t}{2r} \int_0^\beta \sin \beta dl$$

Ma

$$dl = r d\beta$$

e pertanto

$$F_a (AN) = \frac{\mu F_t}{2} \int_0^\beta \sin \beta d\beta$$

Con considerazioni del tutto uguali si calcola anche la forza di attrito che agisce complessivamente sulla fettuccia a contatto con l'arco NB

$$F_a (NB) = \frac{\mu F_t}{2} \int_\beta^\pi \sin \beta d\beta$$

Su tutto l'arco AO'B agirà dunque la forza di attrito complessiva

$$F_a = F_a (AN) + F_a (NB) = \frac{\mu F_t}{2} \int_0^\pi \sin \beta d\beta$$

Ne segue in conclusione

$$F_a = \mu F_t$$

il che è in accordo con la teoria che vuole le forze d'attrito svincolate dall'estensione della superficie e dipendenti solo dal coefficiente di attrito e dalla forza che determina il contatto.

In ultima analisi si ha che la forza di trazione agente nel punto N è pari a

$$F_n = F_t (1-\mu)$$

che rappresenta il massimo valore che agisce sulla fettuccia a contatto con l'appoggio.

## Diversificazione dei punti di rottura

Per proseguire nell'analisi della situazione aumentiamo la forza traente fino a produrre la rottura dell'anello di fettuccia, cedimento che può avvenire in tre diversi modi.

1) Se l'appoggio sviluppa una ridotta quantità di attrito con

$$0 < \mu < 0,5$$

la rottura avviene sull'ancoraggio e si ha

$$\begin{aligned} F_n &= F_r \\ F_t &= F_r (\text{ap}) \end{aligned}$$

da cui

$$F_r (\text{ap}) = \frac{F_r}{1 - \mu}$$

Si ricorda che  $F_r$  è il carico di rottura della fettuccia singola in assenza di nodi e ne rappresenta una costante dipendente dalla qualità e dalla quantità delle fibre utilizzate, nonché dal tipo di tessitura.

$F_r(\text{ap})$  è invece il carico di rottura di un anello di fettuccia senza nodi; varia in funzione della geometria dell'ancoraggio-appoggio.

2) Se l'attrito sviluppato sull'appoggio è più elevato

$$0,5 < \mu$$

la rottura dell'anello di fettuccia si verifica in un tratto non a contatto con l'appoggio ad un valore pari a

$$F_r(\text{ap}) = 2 F_r$$

Anche queste sono le condizioni per valutare il carico di rottura di una fettuccia singola in assenza di nodi.

3) Nel caso limite in cui

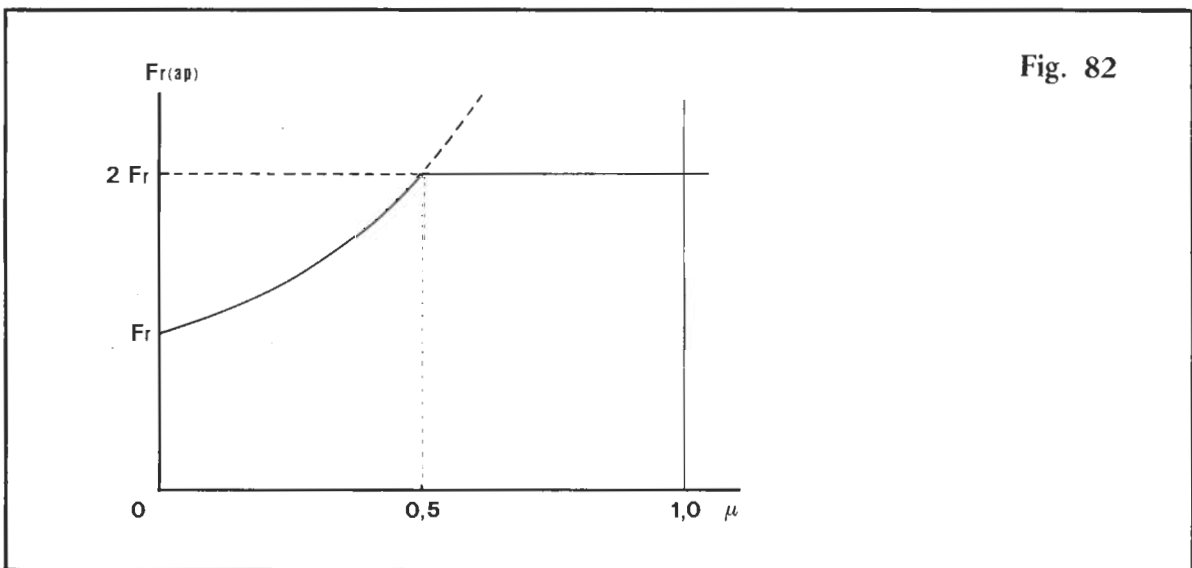
$$\mu = 0,5$$

si ha ancora

$$F_r(\text{ap}) = 2 F_r$$

ma la rottura può avvenire in un punto qualsiasi dell'anello di fettuccia, tanto sull'appoggio quanto nei tratti liberi.

Integrando i tre casi ne risulta il grafico di fig. 82, dove la linea continua dà la correlazione fra  $\mu$  e  $F_r(\text{ap})$ .



Dunque, da quanto sinora elaborato, *una prima fondamentale conclusione può essere tratta:  $F_r(\text{ap})$  non dipende dalla geometria dell'ancoraggio, ma è in funzione unicamente del coefficiente  $\mu$ , il quale è una misura della rugosità della superficie di contatto ed è una costante a temperatura costante.*

Inoltre, da una particolareggiata analisi del grafico di fig. 82, si evidenzia che:

a) per  $\mu = 0$  la situazione è del tutto teorica, visto che la realtà non contempla contatti senza alcun attrito; comunque in tal caso si avrebbe:

$$F_r(\text{ap}) = F_r$$

b) per  $0 < \mu < 0,5$  l'appoggio produce un attrito di entità tale da ridurre solo parzialmente la forza di trazione  $F_t$  e la rottura (sull'ancoraggio) avviene con carico contenuto fra:

$$F_r < F_r(\text{ap}) < 2 F_r$$

c) per  $\mu = 0,5$  l'intensità dell'attrito è tale da compensare esattamente metà della forza di trazione e l'anello di fettuccia si può rompere tanto sull'appoggio che altrove con una forza:

$$F_r (\text{ap}) = 2 F_r$$

d) per  $\mu > 0,5$  la forza di attrito complessiva è superiore alla metà della forza di trazione, ma questo eccesso di riduzione di  $F_t$  non ha alcun effetto in quanto il livello superiore di rottura è stabilito dalla costante  $F_r$  e quindi si ha ancora

$$F_r (\text{ap}) = 2 F_r$$

È questo il caso di tamburi di ancoraggio adatti per prove di rottura di fettucce (e di corde) in assenza di nodi, test dove gli attacchi al banco dinamometrico non devono interferire nella misura dei carichi di rottura.

## Considerazioni

Dunque, da tutto quanto è stato detto, la forma degli ancoraggi-appoggio non dovrebbe influenzare  $F_r (\text{ap})$ .

E allora come giustificare i risultati della tabella del paragrafo precedente dove risalta ben evidente l'influenza della geometria degli appoggi sul valore di  $F_r (\text{ap})$ ? Non possiamo neanche pensare che  $\mu$  sia tanto diverso da attacco ad attacco, visto che in fondo si tratta sempre di un contatto fra metallo (acciaio o lega leggera) e nylon.

Eppure con tondino  $\varnothing 40$  mm si raggiunge una situazione come ipotizzata con

$$\mu \geq 0,5$$

mentre con gancio, moschettone  $\varnothing 12$  mm, maillon rapid  $\varnothing 8$  mm, anello asimmetrico Petzl  $\varnothing 6$  mm, placchetta Coeur Petzl i risultati sperimentali sono tali da far pensare a

$$\mu < 0,5$$

e per di più variabile da pezzo a pezzo.

Evidentemente, al momento della rottura con carichi compresi fra

$$F_r < F_r (\text{ap}) < 2 F_r$$

subentrano dei fenomeni sinora non presi in considerazione che fanno variare il coefficiente di attrito. Oppure interviene un meccanismo di incentivazione alla rottura che non prevede variazioni di  $\mu$  ma agisce sul carico di rottura  $F_r$ , variando l'estensione della sezione trasversale su cui interagisce la forza di trazione.

Non è da escludere che possano concorrere entrambi i fatti.

## MECCANISMI DI ROTTURA

### Rottura sull'ancoraggio

Quanto ricavato nel precedente paragrafo si basa sull'ipotesi che la rottura avvenga dopo un susseguirsi di stati di equilibrio ed escludendo qualsiasi tipo di considerazione sul lavoro svolto dalla forza di trazione. È questa una impostazione che non dà una visione esauriente della realtà.

Infatti per le fettucce sull'ancoraggio-appoggio, come per le corde nei nodi, la rottura comporta lo sviluppo di calore per attrito a seguito dell'allungamento della fettuccia stessa lungo la superficie di contatto. Sono piccoli movimenti fra nylon e metallo ma sotto l'azione di forze elevate che comportano la produzione di una quantità notevole di calore. Questo calore determina ovviamente un innalzamento di temperatura del sistema e quindi anche del nylon. Gli effetti sono due, uno conseguenziale e l'altro possibile:

- 1) la superficie di contatto metallo-nylon diminuisce il suo coefficiente di attrito con l'aumento della temperatura  $T$ ;
- 2) l'innalzamento di  $T$  può essere tale, *se non interviene prima la rottura dovuta alla diminuzione di  $\mu$* , da produrre la fusione delle fibre elementari e quindi il cedimento della fettuccia per riduzione del carico di rottura  $F_r$ .

I due effetti sono tanto più marcati quanto maggiore è lo sviluppo di calore per unità di tempo e di superficie di contatto. Concorre all'aumento localizzato della temperatura anche una bassa conducibilità termica e le piccole dimensioni dell'ancoraggio metallico.

A questo punto ci sono tutti gli elementi per tirare le conclusioni finali.

a) Siccome

$$F_r(\text{ap}) = \frac{F_r}{1 - \mu}$$

se diminuisce  $\mu$  per l'aumento di  $T$  nella superficie di attrito,  $F_r(\text{ap})$  assume valori più piccoli.

b) Essendo

$$\left. \begin{array}{l} F_a = \mu F_t \\ P = F_t/s \end{array} \right\} F_a = \mu s P$$

dove  $P$  è la pressione esercitata sulla superficie di attrito  $s$ , l'aumento localizzato della temperatura è tanto più elevato quanto minore è la superficie  $s$ . Infatti il lavoro totale è lo stesso ma viene dissipato su un'area più ristretta.

- c) Le piccole dimensioni di un ancoraggio-appoggio non favoriscono la diffusione del calore e quindi, per contro, incrementano la crescita della temperatura.
- d) Le ridotte dimensioni di un ancoraggio-appoggio portano, di solito, alla compressione della fettuccia lungo direttrici trasversali (si pensi ad esempio a quanto accade nella parte curva di un maillon rapid con fettuccia larga 28 mm); si creano delle pieghe che determinano una difforme distribuzione della forza  $F_t$  e quindi la concentrazione di pressioni più elevate su aree di minor estensione. Con ciò si ricade in quanto detto nel precedente punto b).
- e) Il piegamento forzato della fettuccia attorno ad un ancoraggio di piccole dimensioni e magari con geometria irregolare produce spostamenti relativi fra le masse che costituiscono la fettuccia stessa. Ne deriva un'ulteriore produzione di calore per attrito interno al manufatto che si va a sommare a quello prodotto nel contatto nylon metallo.



In sintesi dunque le piccole dimensioni di un ancoraggio-appoggio, la sua eventuale irregolare geometria, determinano un abbassamento di  $\mu$  (aumento della temperatura) e di  $F_r$  (fusione delle fibre, compressione trasversale della fettuccia). Questo porta alla rottura l'anello di fettuccia senza nodi con valori

$$F_r(\text{ap}) < 2 F_r$$

E tanto più modeste sono queste dimensioni tanto più netto è l'abbassamento del carico di rottura.

Da notare che con placchetta Coeur Petzl si ha addirittura:

$$F_r(\text{ap}) < F_r$$

Un risultato del genere mostra quanto possa essere determinante nel cedimento di una fettuccia il ruolo della diminuzione di  $F_r$ : con il solo abbassamento di  $\mu$  si può giustificare al massimo una riduzione di  $F_r(\text{ap})$  fino a valori di poco superiori a  $F_r$ ; per raggiungere valori inferiori è necessario che intervenga un meccanismo di fiancheggiamento di un certo rilievo.

## Rottura fuori dall'ancoraggio

Sinora l'oggetto principale delle nostre considerazioni è stato il cedimento di un anello di fettuccia senza nodi con

$$F_r(\text{ap}) < 2 F_r$$

quindi con ancoraggi-appoggio di piccole dimensioni e rottura su questi.

Ma se gli ancoraggi sono:

- a sezione circolare di elevato diametro (ad esempio 40 mm e più),
- di forma regolare, avvolti uniformemente e senza pieghe dalla fettuccia,
- con superficie metallica ben levigata,

risulta sempre

$$F_r(\text{ap}) = 2 F_r$$

La situazione è sostanzialmente la stessa quando si trazona una fettuccia singola ancorata su tamburi di grande diametro: in questo caso risulta sempre lo stesso carico di rottura  $F_r$ , caratteristico per ogni tipo di fettuccia.

Il cedimento si attua in entrambi i casi con lo stesso meccanismo e sempre dove la fettuccia non è a contatto con i tamburi o l'ancoraggio-appoggio. La rottura **non** viene innescata dalla fusione; essa ha inizio **quando** alcune fibre elementari, sottoposte ad una trazione crescente, superano il proprio **limite** di snervamento e cedono.

Da questo fatto iniziale si **sviluppa**, rapidissimo (pochi millesecodi), un processo identico a quello che porta alla rottura una corda in assenza di nodi e sul quale non ritorniamo se non per ricordare che:

- la recisione di una parte, anche minima, della corda porta a concentrare la forza di trazione  $F_t$  su una sezione trasversale  $s$  più piccola, creando sforzi  $F_t/s$  più intensi,
- a sforzi maggiori corrispondono maggiori allungamenti,

- aumentare l'allungamento significa creare le condizioni per far superare il limite di snervamento ad altre fibre e quindi produrne la rottura,
- il processo di cedimento, una volta innescato, si sviluppa autonomamente e non richiede ulteriori aumenti di  $F_t$ .

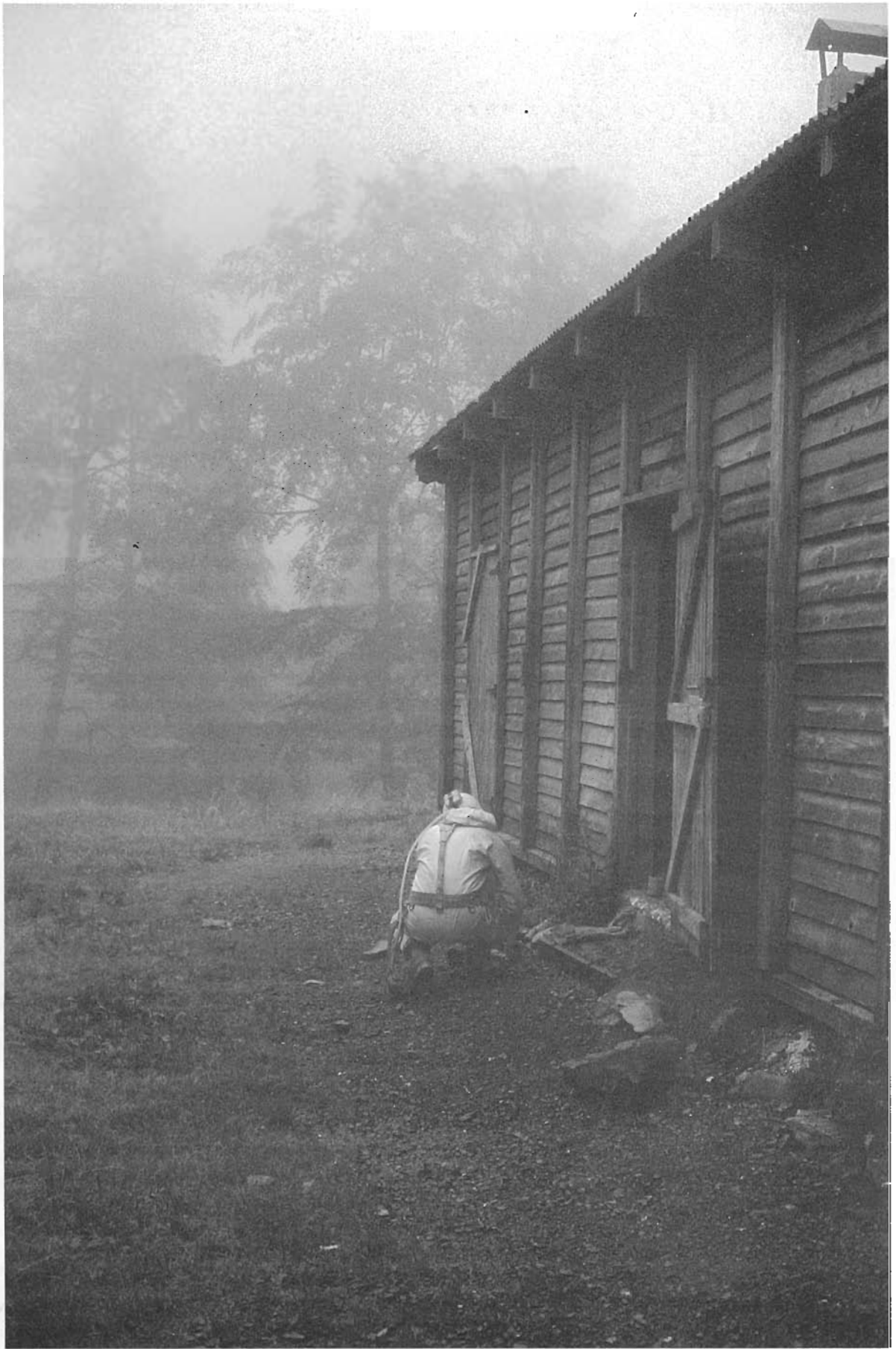
Anche in questo caso si ha la fusione di alcune fibre per il calore prodotto al momento del distacco ad alta velocità di alcune parti della fettuccia. Ma è un fenomeno collaterale che si produce quando oramai la rottura è in atto; ne è una conseguenza e non la causa scatenante.

Ultima considerazione, sempre in relazione al cedimento di un anello di fettuccia senza nodi con  $\mu \geq 0,5$  e senza diminuzione di  $F_r$ . La compressione laterale, quindi la presenza di pieghe e la non uniforme distribuzione della forza di trazione, portano a concentrare le sollecitazioni su zone ristrette della superficie della fettuccia. Questo può essere causa di una prematura rottura di alcune fibre elementari per eccessivo allungamento; ne può seguire il cedimento totale della fettuccia a valori estremamente bassi, in certi casi anche di poche centinaia di Kgp. In queste condizioni la rottura è molto simile a uno strappo che inizia in corrispondenza dei bordi della fettuccia.

## CONCLUSIONI

- 1) Le variazioni di larghezza delle fettucce, quando siano di pochi millimetri, hanno una scarsa influenza sulla tenuta. Ancora una volta risalta l'importanza della quantità e della qualità dei materiali utilizzati a parità delle altre condizioni. È un po' lo stesso discorso delle corde di marca diversa e con diametri che differiscono per pochi decimi di millimetro.
- 2) L'elemento costituito da un anello di fettuccia è quello che presenta la maggior tenuta. Anche con le più strette (20 mm di larghezza) il carico di rottura  $F_r$  (an) è buono, al livello delle migliori componenti della catena di sicurezza.
- 3) La giunzione di due spezzoni di fettuccia è qualcosa di molto improbabile nella tecnica di progressione. Comunque è bene ricordarsi il basso carico di rottura che ne deriva.
- 4) Una longe di fettuccia è costituzionalmente non troppo resistente (un po' al di sotto del Limite Inferiore di Resistenza). Ma soprattutto non si capisce perché dovrebbe essere utilizzata quando un attrezzo uguale può essere confezionato con un ben più resistente anello di fettuccia che comporta unicamente un modestissimo aumento di peso e ingombro.
- 5) Sulla questione  $F_r$  (ap) l'indicazione è chiara: si può arrivare a utilizzare anelli asimmetrici Petzl  $\varnothing$  6 mm. Ma attenzione all'effetto aggiuntivo di taglio che si mostra appena con la placchetta Coeur Petzl (si sono verificati per via sperimentale dei casi di appoggi particolarmente taglienti in cui la  $F_r$  (ap) è risultata di poco superiore ai 300 Kgp!). Sugli appoggi a spigoli vivi c'è anche il problema dell'usura per sfregamento: un anello di fettuccia passato direttamente nel foro di una placchetta non può costituire un ancoraggio per un arma fisso.
- 6) È bene posizionare nel modo più uniforme possibile la fettuccia nell'appoggio. Comunque, se l'ancoraggio non ha dimensioni inferiori a quelle di un maillon  $\varnothing$  8 mm, anche con una cattiva sistemazione il carico di rottura è sempre superiore ai limiti di sicurezza.
- 7) In relazione al solo problema «appoggio» la fettuccia arcobaleno da 25 mm di larghezza risulta decisamente la migliore.





## CAPITOLO UNDICESIMO

# ASSICURAZIONE DINAMICA

## INTRODUZIONE

L'interesse della CTM per questo argomento di contenuti tipicamente alpinistici è motivato da un insieme di fatti.

*a)* la CTM è un organismo del CAI che non può lavorare in un'ottica esclusivamente di settore, anzi il suo contributo, mantenendo intatte le peculiarità dell'esperienza speleologica, deve essere dato ai problemi generali di chi pratica, per un verso o per l'altro, il mondo e gli ideali della montagna.

*b)* Purtroppo non è operante in Italia alcun organismo di ricerca sperimentale che si occupi dei problemi dell'alpinismo, ne si può fare affidamento su questo o quell'altro istituto universitario che si dedicano ai nostri problemi solo saltuariamente nel tempo libero. I tempi e la rapida evoluzione della tecnica richiedono organismi pronti a impostare e risolvere in modo organico e tempestivo il lavoro di ricerca, non disdegnando poi di pubblicizzare i dati raccolti.

*c)* L'analisi dei sistemi di assicurazione dinamica ha delle connotazioni tali da risultare estremamente «didattico» per la comprensione del fenomeno della dissipazione di energia in una caduta. Per esempio il meccanismo «dissipazione-blocco» dei nodi viene mostrato emblematicamente con un attrezzo per l'assicurazione dinamica, il quale riesce a scandire con estrema chiarezza le varie fasi.

A questa prerogativa di evidenza didattica contribuisce anche il tipo di attrezzature che la CTM utilizza. Infatti la palestra-laboratorio del Centro Nazionale di Speleologia è tale da mettere in rigorosa evidenza la variazione della forza durante lo sviluppo della sollecitazione impulsiva, qualunque essa sia.

*d)* Non bisogna dimenticare che con l'avvento del trapano ad accumulatori e i Fix le grotte possono essere percorse anche in risalita. Nel qual caso l'assicurazione dinamica, con corde dinamiche, è di fondamentale importanza.

*e)* E poi un buon speleologo deve essere in sintonia con tutto l'ambiente montano, tanto per motivi di esperienza tecnica quanto per godere degli infiniti angosti dell'alta quota in contrasto con gli angosti infiniti del mondo sotterraneo.

Ma veniamo ai problemi tecnici e alla metodologia sperimentale.

In questo capitolo ci interesseremo dei principali mezzi per dissipare l'energia messa in gioco a seguito della caduta di un peso vincolato ad una corda, distinguendo fra quanto accade negli attrezzi posti nella «sosta» (dissipatori) e i gli eventuali soprastanti ancoraggi di frazionamento del tiro di corda (moschettoni di rinvio).

## DISSIPATORI

Questa serie di esperienze è stata pensata e preparata da Andrea Gulli (INA), Marco Geri (INA) e Pierangelo Bellotti della Scuola del Sud (CAI Roma). Il materiale è stato fornito dalla rivista ALP. Le prove sono state realizzate nella palestra-laboratorio del CNS nelle Gole della Rocchetta.

### TECNICA DI SPERIMENTAZIONE

Sono stati analizzati i seguenti metodi di assicurazione dinamica.

1) *Mezzo Barcaiolo* — È un nodo molto conosciuto che viene confezionato intorno ad un moschettone. È di rapida esecuzione e fa fronte a diversi tipi di problemi (assicurazione, discensore di emergenza, operazioni di soccorso).

È tassativo che un operatore tenga con estrema decisione ed energia la corda entrante nel nodo e freni la caduta facendo scorrere la corda nella mano. Si consigliano i guanti per evitare bruciature ed escoriazioni. L'operatore alla «sosta» non deve distrarsi.

Da prove fatte con trazione lenta è risultato che la forza di «attrito» esercitata da una sola mano che stringe la corda è dell'ordine di 30 Kgp. Non è stata presa in considerazione l'ipotesi di trattenere il volo con due mani in quanto la cosa è ritenuta poco realistica nella progressione in montagna (e comunque la forza di attrito sarebbe aumentata di ben poco).

2) *Discensore a Otto* — Questo notissimo attrezzo non ha bisogno di presentazioni. C'è solo da specificare che può essere utilizzato in due modi diversi:

- a) in maniera tradizionale con la corda che scorre unicamente sul corpo del discensore;
- b) alternativamente, con la corda che, dopo essere passata con un doppiino nel foro a diametro maggiore, viene inserita nel moschettone di ancoraggio.

Anche in questo caso vale quanto detto per il Mezzo Barcaiolo: occorre tenere saldamente con la mano, meglio se guantata, e non distrarsi.

3) *Piastrina Sticht* — È un attrezzo di uso semplicissimo, per niente ingombrante. Richiede sempre l'intervento, attento, dell'operatore alla sosta, il quale deve trattenere con la mano la corda entrante.

È necessario che il tratto di corda entrante e quello uscente formino un angolo di 180°, altrimenti il sistema non funziona al massimo e può anche diventare pericoloso.

4) *Kisa* — L'attrezzo (foto 14 a) è molto conosciuto anche da chi non pratica un vero e proprio alpinismo (per esempio le vie ferrate).

Non è di uso immediato, ma ha il grande vantaggio di non richiedere l'intervento di un operatore, entrando in funzione in modo automatico non appena la corda supera una certa forza di trazione.

5) *Autobrake* — È un mezzo (foto 14 b) di recente immissione nel mercato, ma dalle prove fatte ha mostrato molta affidabilità ed efficienza. Non richiede particolari accorgimenti né l'attenzione di un operatore: funziona in ogni caso, attivandosi automaticamente quando la corda entra in tensione.



Foto 14.a

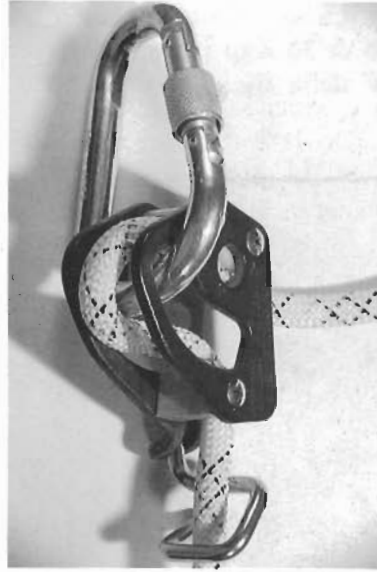


Foto 14.b

Le prove di caduta sono state fatte sotto le seguenti condizioni:

l	300 cm
l <sub>g</sub>	6 cm
P	80 Kgp (standard alpinistico)
F <sub>c</sub>	0,5 - 1,0 - 2,0
nodo	guida d. sot.

La corda utilizzata è una Edelrid Hotline-M Ø 11 mm il cui coefficiente di elasticità dinamico decresce da 5,3 a 4,1 · 10<sup>-5</sup> sec<sup>2</sup>/m Kg con l'aumentare di F<sub>c</sub> (fig. 83). Il comportamento è quantitativamente simile a quello della Joanny Class Ø 11 mm.

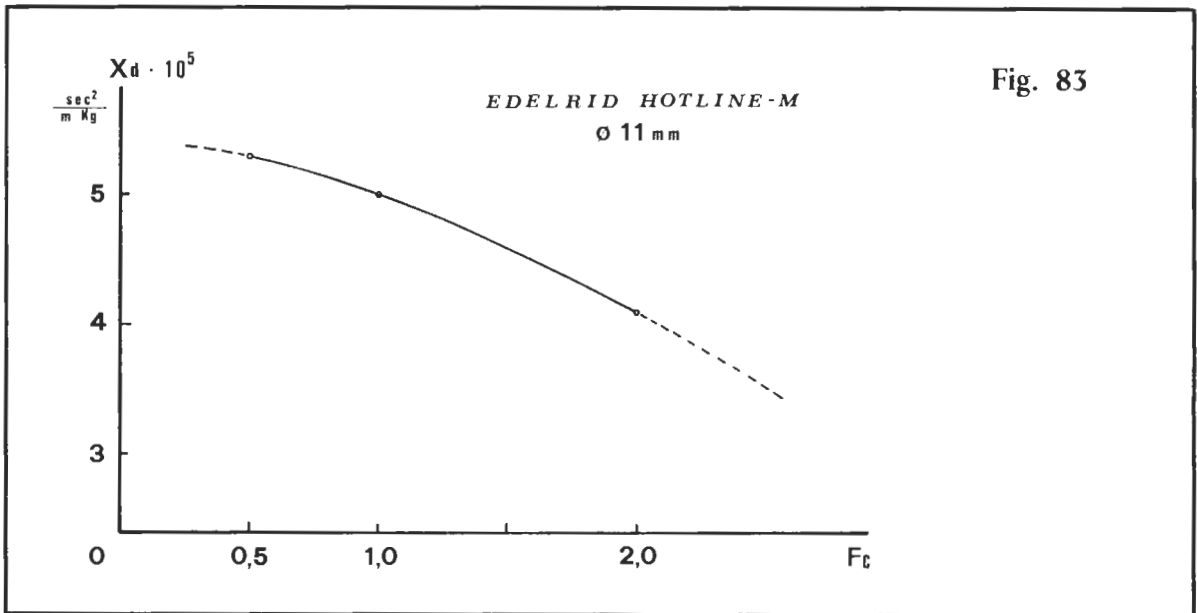
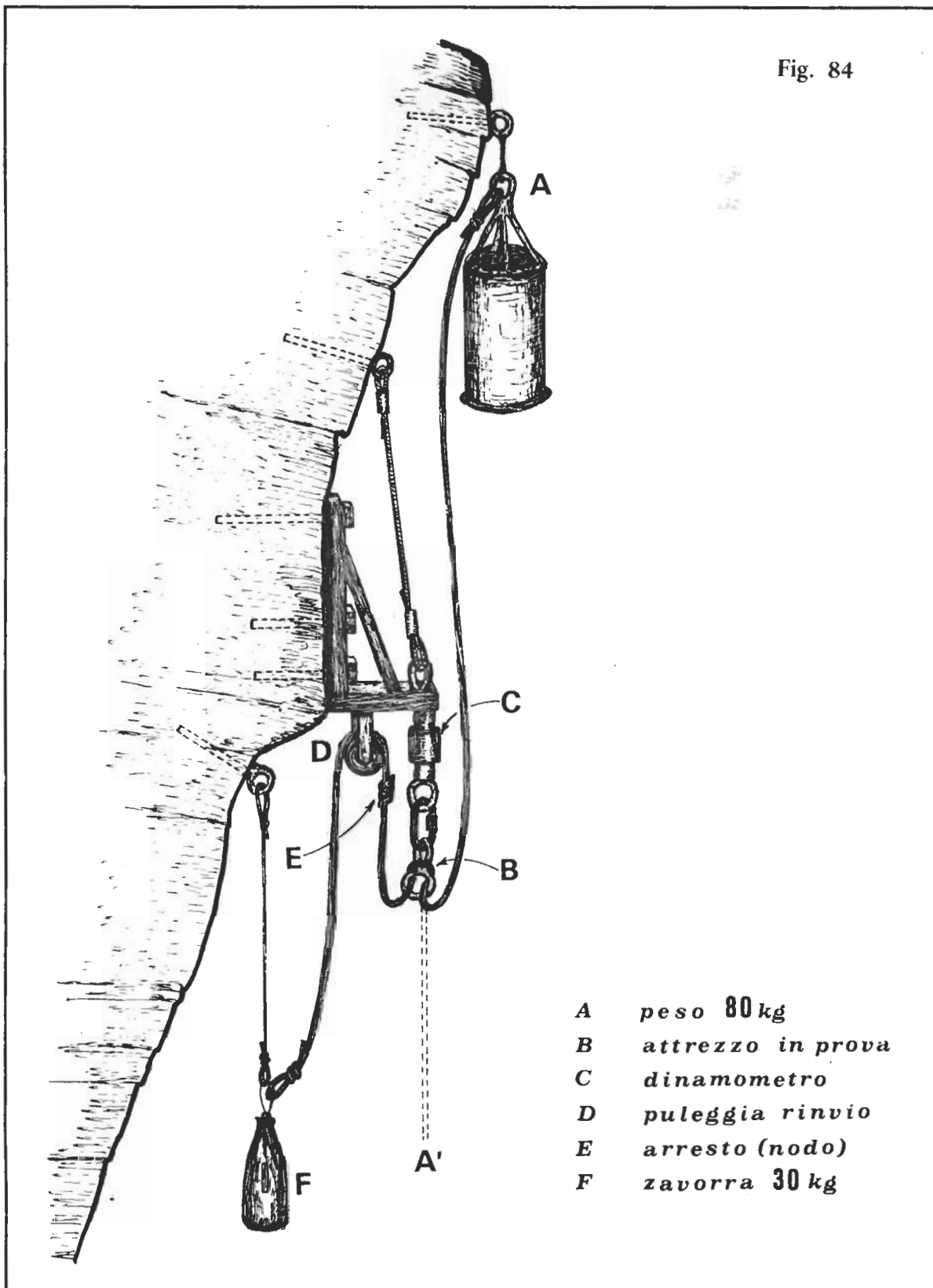


Fig. 83

Tranne che per il Kisa e l'Autobrake, in tutti gli altri test è stato applicato alla corda entrante un peso statico di 30 Kgp per simulare l'azione di trattenuta della mano dell'operatore alla sosta (punto F della fig. 84).

Fig. 84





Le cadute sono state realizzate sganciando il peso A e simulando un «volo» senza rinvii, cioè nelle peggiori condizioni.

Il dissipatore è stato ancorato al dinamometro C in modo da risultare più basso rispetto al punto dove è stata posta la «mano» che tratteneva l'impatto (puleggia rinvio D). È questo un fatto migliorativo in quanto, sotto queste condizioni, il peso della zavorra di 30 Kgp (più la sua inerzia) si sottrae alla forza prodotta dalla sollecitazione impulsiva. Sul dinamometro si registrerà la differenza fra la forza procurata dalla caduta sul tratto di corda BA' e la forza peso della zavorra F, agente nel tratto BD.

Si ritiene che tale effetto sia comunque trascurabile.

Infine, per avere un livello di riferimento, le prove con i dissipatori sono state precedute da test nelle stesse condizioni ma con corda ancorata direttamente al dinamometro con nodo guida d. sot.

Di rilievo è il fatto che la forza massima  $F_m$  registrata con  $F_c=2$  (980 Kgp) è identica a quella indicata dalla casa per una caduta nelle stesse condizioni.

## RISULTATI

Nella tabella 52 sono riportate (in Kgp) le misure ottenute. La seconda colonna da sinistra contiene i valori di  $F_m$  con ancoraggio fisso (test di riferimento). Le colonne delle percentuali si riferiscono al rapporto fra la  $F_m$  ottenuta con il dissipatore e la  $F_m$  che risulta dalla caduta sull'ancoraggio fisso.

L'ultima riga in fondo riporta le medie delle percentuali relative ai vari metodi di assicurazione dinamica. Questi valori sono un indice dell'efficienza o meno del sistema: tanto più sono bassi tanto più elevate sono le qualità dell'attrezzo.

TAB. 52

FATTORE DI CADUTA	GUIDA d. sot.	MEZZO BARCAIOLO		OTTO SUL CORPO		OTTO SUL MOSCHETT.		STICHT		KISA		AUTOBRAKE	
	$F_m$	$F_m$	%	$F_m$	%	$F_m$	%	$F_m$	%	$F_m$	%	$F_m$	%
0,5	480	350	73	280	58	280	58	280	58	280	59	205	42
1,0	655	365	56	320	49	295	45	315	49	450	69	255	39
2,0	980	790	81	730	75	730	75	685	70	450	46	320	33
Valori medi			70		61		59		59		58		38

Tutte le prove sono state eseguite secondo lo schema di fig. 84, tranne che per il Kisa e l'Autobrake con i quali la corda BD è stata lasciata pendere senza alcun peso attaccato.

Come già ricordato, la caduta sotto le condizioni di fig. 84 (con zavorra che simula la mano che trattiene la corda) porta a risultati leggermente migliori rispetto alle condizioni reali di volo, dove magari la mano dell'operatore è posta sotto il dissipatore e quindi la forza esercitata dalla mano che trattiene si va a sommare a quella propria della caduta.

## CONCLUSIONI

1) È molto evidente che il *Mezzo Barcaiole* è il peggiore di tutti i sistemi esaminati, e di gran lunga. A fattore di caduta 2 (tutt'altro che improbabile in alpinismo) si comporta come un buon nodo di ancoraggio, assorbendo solo il 19% della  $F_m$  statica (cioè con corda direttamente ancorata al dinamometro). Tanto vale fare un nodo a nove!

Forse la sua fama di dissipatore efficace gli viene dal fatto che nelle poche prove effettuate in precedenza (non si sa da chi; si tramanda oralmente la cosa) l'elemento assorbente non era il solo nodo ma la potente mano guantata di un robusto operatore, il quale, innaturalmente prontissimo, ha reagito energeticamente alla caduta annunciata. La mano (o le mani?) ricoperte di guanti hanno assorbito il grosso dell'energia; il mezzo barcaiole ha solo agito da attenuatore. Del resto è ben noto che un solo moschettone di rinvio riduce la sollecitazione del 40% (come vedremo meglio in seguito).

Come unico attenuante c'è da precisare che le prove fatte dalla CTM (zavorra al posto della mano guantata) falsano un po' la situazione rispetto alla realtà. Infatti la presenza del contrappeso di 30 Kgp determina fra la corda e il moschettone di appoggio del mezzo barcaiole una pressione anomala e quindi una forza di attrito aggiuntiva che si oppone a eventuali scorrimenti. Questo fa sì che, al momento della caduta, la corda trovi una certa resistenza iniziale e scorra con maggiore difficoltà. In tali condizioni la  $F_m$  viene ad essere incrementata, di poco visto quanto c'è nel complesso da compensare.

Se al posto della zavorra ci fosse una mano guantata la pressione fra corda e moschettone sarebbe modulata in funzione dell'energia con cui la mano stringe la corda. È certo, anche per una questione di tempi di reazione fisiologici, che la pressione all'inizio sarebbe minima per poi aumentare gradualmente. Questo porta a ridurre il valore di  $F_m$ . Ma a questo punto c'è da domandarsi se il «dissipatore» è il mezzo barcaiole o la mano guantata con la relativa capacità di chi la comanda?!

2) Il Discensore a Otto (nei due diversi modi di utilizzo) e la Sticht hanno comportamenti analoghi al mezzo barcaiole, anche se quantitativamente migliori. Resta sempre il fatto che è l'operatore, con il suo deciso e robusto intervento, a determinare la curva  $F=f(t)$  nella forma e nei suoi valori massimi.

*Si noti che anche con questi attrezzi la percentuale di forza massima restante aumenta con il fattore di caduta. Questo comportamento è proprio l'opposto di quello che deve mostrare un buon dissipatore.*

3) Il Kisa è un vero e proprio dissipatore e svolge le sue funzioni egregiamente tant'è vero che abbatte la forza massima statica del 46% a  $F_c=2$ . Si ricorda che non richiede l'intervento di alcun operatore.

4) L'Autobrake è sicuramente il migliore attrezzo per assicurazione dinamica fra quelli esaminati. Ha un comportamento quasi didattico:

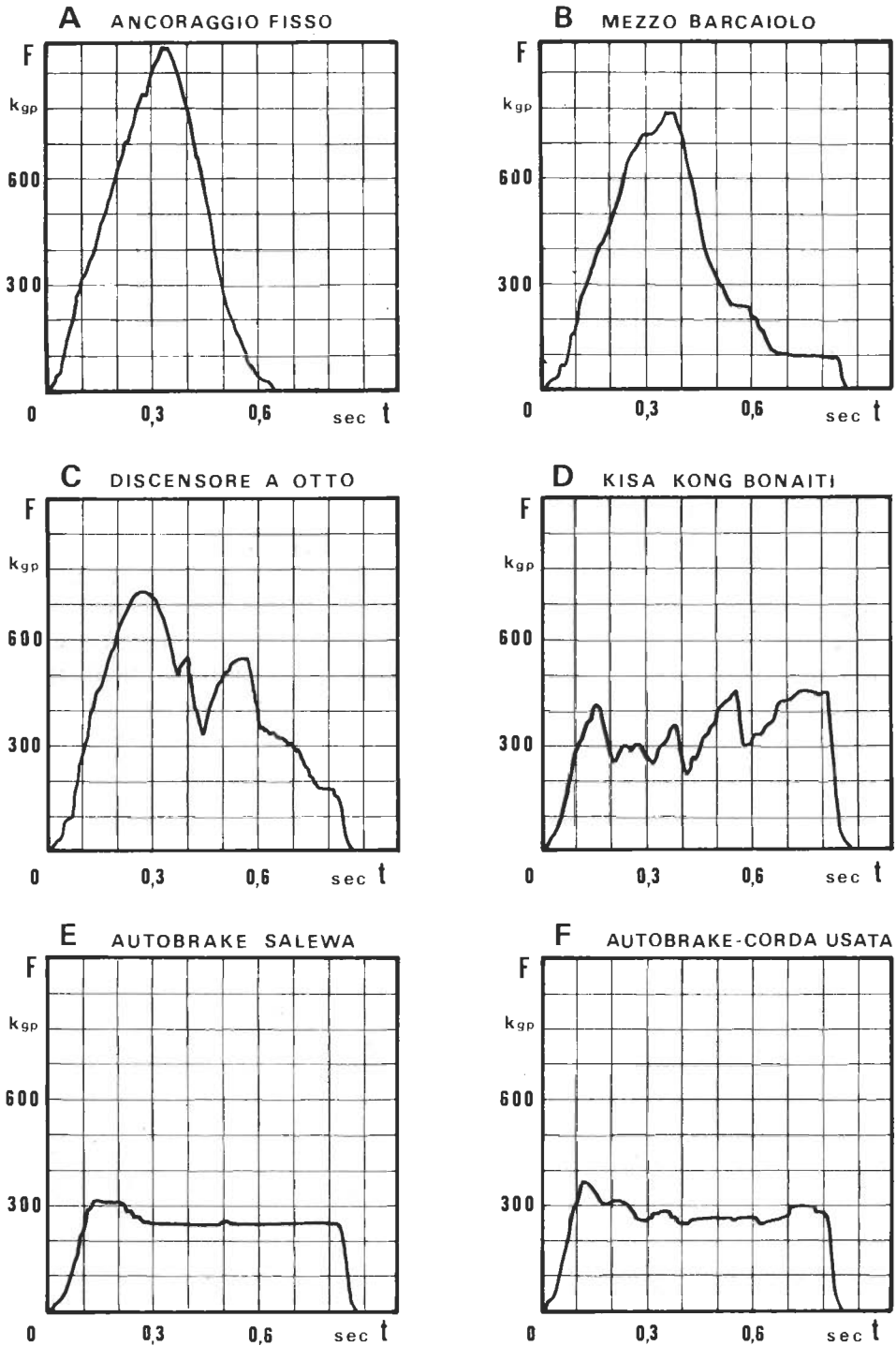
a) abbatte la  $F_m$  statica del 67% a  $F_c=2$  e non le fa mai superare i 320 Kgp;

b) dissipa energia per attrito con un meccanismo autoregolante che è estremamente sensibile ed efficace.

## Confronto grafico

Per meglio mettere in risalto le differenze di comportamento fra i vari sistemi di assicurazione dinamica, prendiamo in esame i grafici relativi ai test con  $F_c=2$ . In fig. 85 sono riportate le curve  $F=f(t)$  dell'ancoraggio statico (a), del mezzo barcaiole (b), del Discensore a Otto (c), del Kisa (d) e dell'Autobrake (e).

Fig. 85



Si evidenzia quanto segue.

1) Non c'è grossa differenza fra ancoraggio statico e mezzo barcaiolo; solo un leggero abbassamento di  $F_m$ . Non essendo evidente il secondo picco dovuto al nodo di fine corsa, si conclude che lo scorrimento della corda è stato presto bloccato dal mezzo barcaiolo sotto l'azione dell'imparziale zavorra piuttosto che dell'effimera mano.

2) Con il discensore a otto le cose vanno in un modo diverso e il nodo di blocco arriva a fine corsa, rendendo evidente il secondo picco di allungamento della corda. È questo un sistema più controllabile e con maggiori attitudini alla dissipazione per attrito. La  $F_m$  risulta sempre troppo elevata.

3) Con il Kisa le cose vanno decisamente meglio e, tanto per cominciare, la  $F_m$  è abbattuta fino a 450 Kgp, anche con i fattori di caduta più elevati.

Interessante è la forma del grafico (fig. 85 d) con le varie fasi di dissipazione dell'energia. All'inizio si produce l'allungamento della corda (tratto in ascesa) con dissipazione per elasticità e plasticità; la curva è simile a quella con ancoraggio fisso.

A 410 Kgp la corda comincia a scorrere nei fori dell'attrezzo, vincendo le forze di attrito che si creano fra corda e metallo. La dissipazione di energia avviene soprattutto per attrito e ciò impedisce ulteriori allungamenti della corda e la forza non sale oltre un certo limite. Dato l'andamento dentato di questo tratto è evidente che le forze di attrito non rimangono costanti nel tempo; si verificano anche dei blocchi, con conseguente successivo allungamento della corda ed aumento della forza, seguiti immediatamente da cedimenti (la corda scorre di nuovo) e abbassamento della tensione.

Il processo di dissipazione per attrito continua fintanto che c'è sufficiente energia in gioco. Dopo di che la corda riprende l'energia concessa per elasticità (tratto discendente finale). Da notare: una maggior quantità di energia in gioco (peso maggiore, altezze di caduta maggiori) non mutano la sostanza del processo di assorbimento di energia, il quale si adatta alla nuova situazione aumentando di pochissimo la forza massima iniziale (soglia di attivazione dello scorrimento) e allungando di quanto basta il tratto centrale di dissipazione per attrito. Sul Kisa il contatto corda metallo non è dei migliori, tant'è vero che la dissipazione per attrito avviene in modo non troppo uniforme. L'azione di blocco e sblocco è verosimilmente dovuta a un succedersi di strizioni e rilassamenti della corda attorno all'attrezzo, con marcate variazioni di pressione (l'attrito è una funzione di questa variabile). Fra l'altro una curva di questo tipo è molto simile a quella che si registra nella caduta su un bloccante con la lacerazione della calza e scorrimento sull'anima.

4) Con l'Autobrake si rasenta la perfezione! Si noti la prima fase di blocco con dissipazione per allungamento della corda, quindi il picco di forza (appena accennato) che attiva lo scorrimento.

La fase di dissipazione per attrito è così ben autoregolata (pressione praticamente costante) da far mantenere la forza rigorosamente costante (sembra un sistema di frenaggio ABS, con regolamentazione elettronica).

5) Di notevole interesse, soprattutto teorico, è il grafico di fig. 85 f, dove è messo in risalto il comportamento, in un secondo test di caduta standard, della corda già utilizzata nella prova che ha prodotto il grafico di fig. 85 e. È evidente che la corda non è più la stessa e il contatto fra corda e attrezzo crea forze di attrito variabili, sia pur di poco. La forza che attiva lo scorrimento è leggermente più elevata.

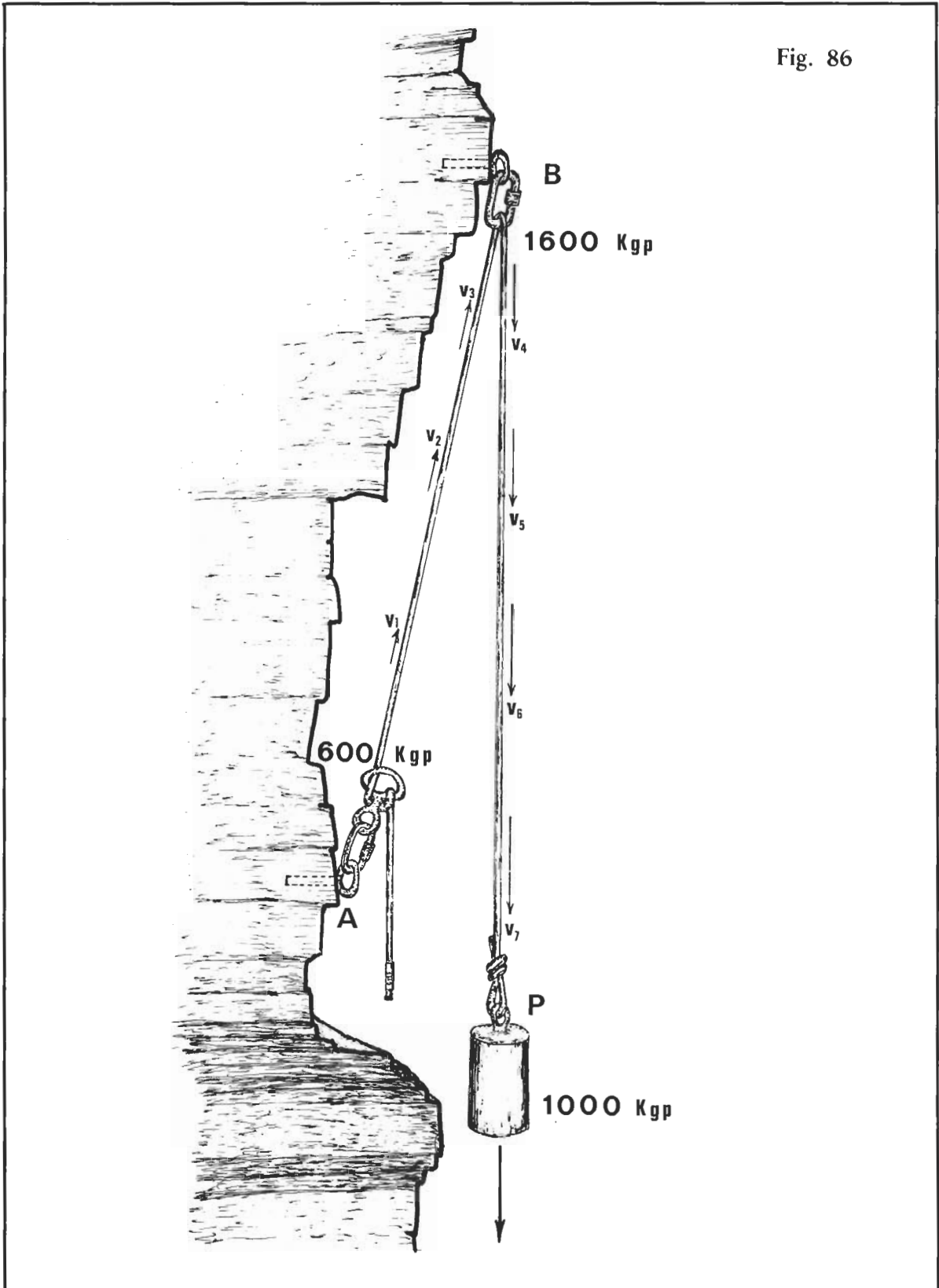
## MOSCHETTONI DI RINVIO

La presenza di un rinvio su moschettone, posto fra la «sosta» e il primo di cordata, è un evento molto probabile nella progressione alpinistica.

Il problema è di comprendere che effetto di riduzione di forza può avere questo rinvio nel caso di una caduta del primo di cordata.

Dopo una lunga serie di prove, sia a trazione lenta che per effetto di una sollecitazione

impulsiva, si è potuto concludere che questa riduzione di forza sulla «sosta» è del 40% circa, indipendentemente dal fattore di caduta e dalla velocità di scorrimento della corda sul rinio (fig. 86).



Questo effetto è dovuto al fatto che la corda, allungandosi o scorrendo nel senso  $A \rightarrow B \rightarrow P$ , determina sul moschettone una forza di attrito che va a sottrarsi alla trazione operata dal peso  $P$  che cade. Come si vede è un effetto non certo di poco conto, che migliora decisamente la situazione e forse spiega perché l'operatore alla sosta riesce a tenere il volo del compagno, anche usando attrezzi di assicurazione dinamica non certo efficienti.

*Inoltre vi è da aggiungere che il rinvio è sempre un fatto che riduce il fattore di caduta.*

Infine non si può fare a meno di sottolineare che sull'ancoraggio del rinvio si sommano le forze agenti nei due tratti di corda  $AB$  e  $BP$  (nell'esempio di fig. 86,  $1000 + 600 = 1600$  Kgp).

## APPENDICE

In quest'ultima parte riportiamo alcuni dati, di interesse relativo, in merito al carico di rottura di vari attrezzi. Questi dati di resistenza si riferiscono unicamente alla struttura rispetto ai diversi possibili punti di ancoraggio. Quindi non vi è alcuna relazione con l'interazione attrezzo-corda.

I risultati (in Kgp) sono riportati nella tabella che segue.

TAB. 53

TIPO DI ATTREZZO	$F_r$	NOTE
Maniglia Petzl	1720	rottura foro superiore
Croll	1415	rottura foro inferiore
Maniglia Jumar	2262	rottura struttura portante
Dressler	2264	rottura foro inferiore
Maniglia Kong Bonaiti	957	rottura leveraggio inferiore
Discensore Petzl	1859	rottura attacco moschettone
Discensore Stop Petzl	1972	rottura attacco moschettone

TAB. 53

TIPO DI ATTREZZO	Fr	NOTE
<b>Carrucole:</b> Petzl fissa vecchio mod. Petzl fissa nuovo mod. Petzl mobile Jugoslave	3541 2210 1956 3938	rottura attacco moschettone rottura attacco moschettone rottura perno puleggia rottura attacco moschettone
<b>Carrucolino mao</b>	1842	rottura bullone fori sup.
<b>Carrucolino mao +cordino Ø 8mm nodo cappuccino</b>	830	rottura su nodo

I risultati non hanno bisogno di alcun particolare commento, salvo constatare ancora una volta che la stragrande maggioranza delle attrezzature in commercio ha una resistenza strutturale al di sopra di quanto richiederebbe il rispetto delle norme minime di sicurezza. Evidentemente i costruttori di materiali speleo-alpinistico hanno una professionalità che li porta ad affrontare il loro impegno commerciale con un senso di responsabilità che sa di antico.





## BIBLIOGRAFIA

- 1) Celesti S., Guerriero G., Salvatori F. - Sollecitazioni dinamiche e statiche nelle attrezzature speleologiche. Teoria e sperimentazione. Speleologia Umbra, Perugia 1984.
- 2) Celesti S., Salvatori F. - Prove sperimentali con dinamometro elettronico su attrezzature per la progressione in grotta. Atti IV Conv. Naz. SS CNSA, Trieste 1984.
- 3) Società Speleologica Italiana - Bibliografia tecnica speleologica. Castellana Grotte 1982.
- 4) Salvatori F. - Teoria delle percussioni elastiche applicata alle sollecitazioni impulsive sulle attrezzature speleo-alpinistiche. Effetti della caduta di un peso vincolato all'estremità di una corda. Alcuni casi di applicazioni sperimentali. Bollettino C.A.I. n. 89, Milano 1988.
- 5) Feodosev V. I. - Resistenza dei materiali. Editori Riuniti, Roma 1977.
- 6) Montgomery N. R. - Single rope techniques, Kakes Printers, Wyong (Australia) 1982.
- 7) Padgett A., Smith B. - On Rope. National Speleological Society, Huntsville (U.S.A.) 1988.
- 8) Carmichael R. S. - Handbook of physical properties of rocks. CRC, Press Inc., Boca Raton Florida, vol. I-II-III, 1985.
- 9) Gioda G. - Meccanica delle rocce. Clup, Milano 1981.
- 10) Hobst L., Zajic J. - Anchoring in rock and soil. Elsevier, Amsterdam 1983.
- 11) Marbach G., Rocourt J. L. - Techniques de la spéléologie alpine. Ed. TSA, Chorance, 1980.
- 12) Mérédith M. - La spéléologie verticale. Ed. Amorini, Perugia, 1980.

## ELENCO DELLE FIGURE

1) Caduta di un peso su un corpo elastico ideale (molla)	Pag.	45
2) Curva allungamento/tempo per le oscillazioni armoniche semplice dovute alla caduta di un corpo con velocità iniziale non nulla	»	48
3) Curva allungamento/tempo per oscillazioni armoniche semplici dovute alla caduta di un corpo con velocità iniziale nulla	»	49
4) Curva velocità di allungamento/tempo	»	50
5) Curva forza/tempo	»	52
6) Curva forza/tempo per oscillazioni a smorzamento lineare	»	55
7) Caduta di un peso vincolato ad una corda speleo-alpinistica e schema dei componenti il sistema di registrazione delle forze	»	56
8) Esempio di curva forza/tempo ottenuta sperimentalmente	»	57
9) Curva forza/tempo teorica e sperimentalmente	»	58
10) Superfici sottese alla curva forza/tempo teorica	»	59
11) Superfici sottese alla curva forza/tempo sperimentalmente	»	63
12) Curva forza/allungamento (carico) e superfici sottese	»	67

13) Curva forza/allungamento (carico e scarico) e superfici sottese	»	68
14) Tassello Spit Roc	»	73
15) Tassello Spit Fix	»	74
a) Cono di estrazione teorico per ancoraggi su roccia omogenea	»	76
b) Distribuzione delle forze nel cono di estrazione teorico e altezza utile di infissione	»	77
c) Cono di estrazione teorico e sperimentale	»	78
16) Trazione a taglio di due Spit Roc	»	87
17) Trazione a estrazione di due Spit Roc	»	87
18) Curva sperimentale carico di rottura/distanza di posa di due tasselli Spit Roc MF8	»	88
19) Cono di estrazione sperimentale per Spit Roc MF8	»	89
20) Porzione di roccia asportata a estrazione con due Spit Roc MF8	»	89
21) Differenze di pressione nella messa in posa di Spit Roc con perforazione a mano e con trapano	»	90
22) Spit Roc e svasatura del foro	»	92
23) Spit Roc e profondità di infissione	»	93
24) Curve sperimentali carico di rottura/profondità di infissione a taglio e a estrazione per Spit Roc MF8	»	95
25) Spit Roc e inclinazione dell'asse di infissione	»	97
26) Curve sperimentali carico di rottura/inclinazione dell'asse di infissione a taglio e a estrazione con Spit Roc MF8	»	99
27) Spit Roc con inclinazione dell'asse di infissione e profondità di messa in opera	»	100
28) Spit Fix e profondità di infissione	»	103
29) Curve sperimentali carico di rottura/profondità di infissione a taglio e a estrazione per Spit Fix M8	»	104
30) Curva sperimentale carico di rottura/distanza di posa di due Spit Fix M8	»	108
31) Cono di estrazione sperimentale per Spit Fix M8	»	109
32) Porzione di roccia asportata a estrazione con due Spit Fix M8	»	109
33) Spit Fix e svasatura del foro	»	110
34) Spit Fix e inclinazione dell'asse di infissione	»	111
35) Curve sperimentali carico di rottura/profondità di infissione a taglio e a estrazione per Spit Fix M8	»	117
36) Curve sperimentali carico di rottura/coppia di serraggio dei bulloni a taglio e a estrazione	»	128
37) Sistemi di ancoraggio su roccia e su piastra di acciaio	»	131
38) Curve sperimentali carico di rottura/angolo di trazione per placchette ritor-te (vrillée)	»	136
39) Curve sperimentali carico di rottura/angolo di trazione per placchette cou-		

dée (piegate)	»	137
40) Curve sperimentali carico di rottura/angolo di trazione per anelli in acciaio	»	137
41) Curve sperimentali carico di rottura/angolo di trazione per attacchi speciali	»	138
42) Curve sperimentali carico di rottura/angolo di trazione per Placchetta Coeur Petzl su Marmo Bianco Carrara per Spit Roc MF8 e Spit Fix M8	»	140
43) Curve sperimentali carico di rottura/angolo di trazione per Anello Asimmetrico Petzl su Marmo Bianco Carrara per Spit Roc MF8 e Spit Fix M8	»	141
44) Direzione di trazione su maillon rapid simmetrici	»	148
45) Direzione di trazione longitudinale su maillon rapid asimmetrici (delta e semicircolari)	»	148
46) Direzione di trazione trasversale su maillon rapid asimmetrici	»	148
47) Struttura molecolare del nylon 6 e del nylon 6.6	»	160
48) Curva sperimentale forza massima/lunghezza del campione per corda Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm	»	193
49) Curva sperimentale forza massima/lunghezza del campione per Edelrid ss $\varnothing$ 9 mm	»	193
50) Curva sperimentale forza massima/lunghezza del campione per Edelrid ss $\varnothing$ 8 mm	»	194
51) Curva sperimentale forza massima/lunghezza del campione per Beal Antipodes s $\varnothing$ 10,2 mm	»	194
52) Curva sperimentale forza massima/lunghezza del campione per Beal Antipodes $\varnothing$ 9 mm	»	194
53) Curve sperimentali coefficiente di elasticità dinamico/numero di choc per Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm e Joanny Class $\varnothing$ 11 mm	»	200
54) Curve sperimentali carico di rottura senza nodi – carico di rottura con nodi – forza massima/numero di choc per Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm	»	201
55) Curve sperimentali carico di rottura senza nodi-carico di rottura con nodi-forza massima/numero di choc per Joanny Class $\varnothing$ 11 mm	»	201
56) Curva sperimentale forza/tempo per caduta su Maniglia Petzl e Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm	»	205
57) Curva sperimentale forza/tempo per caduta su Maniglia Jumar e Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm	»	206
58) Curva sperimentale forza/tempo per caduta su Maniglia Jumar e Joanny s $\varnothing$ 10,5 mm	»	206
59) Curva sperimentale forza/tempo per caduta su Maniglia Bonaiti e Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm	»	207
60) Curva sperimentale forza/tempo per caduta su Discensore Petzl	»	207
61) Curve sperimentali forza/tempo per caduta su Discensore Stop Petzl e corde Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm e Edelrid ss $\varnothing$ 9 mm	»	208
62) Curve sperimentali forza massima/fattore di caduta per Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm con corpo umano e peso rigido	»	212

63) Curve sperimentali forza massima/fattore di caduta per Joanny Class $\varnothing$ 11 mm con corpo umano e peso rigido	»	212
64) Curve sperimentali tempo di realizzazione/fattore di caduta per Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm con corpo umano e peso rigido	»	213
65) Curve sperimentali tempo di realizzazione/fattore di caduta per Joanny Class $\varnothing$ 11 mm con corpo umano e peso rigido	»	213
66) Curve sperimentali coefficiente di elasticità dinamico/fattore di caduta per Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm con corpo umano e peso rigido	»	214
67) Curve sperimentali coefficiente di elasticità dinamico/fattore di caduta per Joanny Class $\varnothing$ 11mm con corpo umano e peso rigido	»	214
68) Curve sperimentali riduzione percentuale forza massima/fattore di caduta per Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm e Joanny Class $\varnothing$ 11 mm	»	215
69) Lunghezza delle anse nei frazionamenti	»	217
70) Curve teoriche forza massima/lunghezza ansa per varie lunghezze di corda libera	»	218
71) Curva teorico-sperimentale incremento forza massima/lunghezza corda libera	»	219
72) Curve di carico/scarico (forza/allungamento) per campioni n. 1-2-3-4 nella prova di usura con Joanny s $\varnothing$ 10,5 mm	»	250
73) Curve di carico/scarico per campioni n. 5-6-7 nella prova di usura con Joanny s $\varnothing$ 10,5 mm	»	250
74) Curve di carico/scarico per campioni n. 8-9 nella prova di usura con Joanny s $\varnothing$ 10,5 mm	»	251
75) Curve di carico/scarico per campioni n. 10-11-12 nella prova di usura con Joanny $\varnothing$ 10,5 mm	»	251
76) Curve di carico/scarico nella prova di usura con Beal Antipodes s $\varnothing$ 10,2 mm G.S. CAI-SAT Lavis	»	257
77) Curve di carico/scarico nella prova di usura con Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm G.S. CAI Perugia	»	258
78) Curve di carico/scarico nella prova di usura con Edelrid ss $\varnothing$ mm Stufe di S. Calogero	»	259
79) Curve di carico/scarico nella prova di usura con Edelrid ss $\varnothing$ 10 mm Abisso Gortani	»	260
80) Metodi di trazione con fettucce	»	278
81) Forza di attrito con fettucce (o corde) su appoggio a sezione circolare	»	283
82) Curva teorica della variazione del carico di rottura di un anello di corda senza nodi $F_r$ (ap) in funzione del coefficiente di attrito $\mu$	»	286
83) Curva sperimentale coefficiente di elasticità dinamico/fattore di caduta per corda Edelrid Hotline-M $\varnothing$ 11 mm	»	295
84) Caduta di un peso vincolato ad una corda ancorata su un dissipatore	»	296
85) Curva sperimentale forza/tempo per caduta di un peso ancorato ad una corda su: a) ancoraggio fisso, b) mezzo barcaiolo, c) discensore a otto, d) Kisa, e) Autobrake su corda nuova, f) Autobrake su corda usata	»	299

86) Caduta di un peso ancorato ad una corda passante per un moschettone di rinvio » 301

N.B. Nel Capitolo Sesto «Caratteristiche delle corde nuove» sono inserite le schede tecniche di 19 tipi di corde speleo, ognuna delle quali contiene la relativa curva di carico/scarico.

## ELENCO DELLE FOTO INSERITE NEL TESTO

1) Scatola di fissaggio di campioni di roccia per prove con tasselli sul banco dinamometrico	Pag.	75
2) Placchetta Coeur Petzl	»	83
3) Anello acciaio inox G.S. CAI Perugia	»	83
4) Banco dinamometrico	»	85
5) Piastra d'acciaio per trazione con placchette e anelli	»	132
6) Vari tipi di ancoraggi sottoposti a trazione	»	133
7) Tamburo per ancoraggio delle corde sul banco dinamometrico	»	163
8) Occhiello di corda	»	225
9) Doppino di corda	»	225
10) Nodo bolina	»	225
11) Nodo guida con frizione e punto di rottura	»	227
12) Vari tipi di nodi di ancoraggio sottoposti a trazione	»	230
13) Vari tipi di nodi di giunzione sottoposti a trazione	»	236
14) Dissipatore Kisa e Autobrake	»	295

Le foto fuori testo sono di:

Fausto Guzzetti, Guido Lemmi, Cleofe Leoni, Marco Menichetti, Riccardo Rondoni, Enrico Rosati, Francesco Salvatori, Giancarlo Viviani.

## FINE

E così si è concluso questo primo capitolo della storia della Commissione Tecniche e Materiali della Sezione Speleologica del Corpo Nazionale Soccorso Alpino CAI.

L'impegno è stato lungo e complesso, ma alla fine quello che ci eravamo proposti è stato raggiunto. Forse si è fatto anche un po' di più.

E il futuro? Che cosa ci riserverà? Ci sarà ancora l'apporto di quel gruppo che ha trascinato tutto il lavoro?

Se così non fosse, ci saranno altri che con pari entusiasmo e capacità giocheranno «alle prove sui materiali» con la professionalità di un manager?

Crediamo proprio di sì, perché i «vecchi» non molleranno, perché nuovi sorrisi verranno a scoprire, ancora e prima di tutto, dell'amicizia. E di quanto noi speleo, unici fra tanti, siamo vicini agli Dei.

Costacciaro, 27 giugno 1989





Finito di stampare nel  
mese di ottobre 1989  
a cura della Commissione  
Tecniche e Materiali  
della Sezione Speleologica  
del Corpo Nazionale  
Soccorso Alpino e del  
Centro Nazionale di  
Speleologia M. Cucco