

# DECADIMENTO DA USURA NEI CORDINI IN ARAMIDE

Cristiano Zoppello CSMT CAI - SNaTSS CNSAS

## RIASSUNTO

L'impiego di cordini in aramide è diffuso nella pratica alpinistica in numerose situazioni. Il comportamento meccanico è stato ampiamente studiato e descritto; meno noto è il decadimento delle prestazioni in relazione all'utilizzo.

La letteratura scientifica evidenzia che le fibre aramidiche risentono di processi di decadimento diversi da quelle in nylon, riconducibili a fenomeni di fatica meccanica.

In questo testo si cerca una correlazione fra le evidenze emerse da prove di laboratorio e l'impiego di cordini in fibra aramidica durante la pratica di attività in ambiente alpino. Tramite analisi di campioni di cordino, di cui sono noti gli anni di utilizzo (alpinismo, speleologia, torrentismo), si evidenzia che il comportamento previsto dalle prove di laboratorio e dalla letteratura scientifica è coerente con quanto accade nella pratica.

## INTRODUZIONE

Le fibre aramidiche sono spesso note con il nome commerciale Kevlar®, ma ne esistono numerose varianti, e talvolta anche queste sono impiegate per la realizzazione di cordini alpinistici: Technora®, Twaron®, eccetera. Derivano da un materiale sviluppato negli anni '60 del secolo scorso, presso i laboratori Du Pont.

I cordini in aramide sono stati introdotti in alpinismo negli anni Novanta: per la realizzazione di soste, di nodi autobloccanti e vari altri utilizzi.

## CARATTERISTICHE DEI CORDINI IN ARAMIDE

Nell'ambito dell'alpinismo è presente una discreta letteratura in merito alle caratteristiche dei cordini in aramide; tuttavia, altre informazioni possono essere ricavate dalla letteratura scientifica più ampia, dal momento che l'aramide è un materiale largamente impiegato in vari campi di applicazione: questo fa sì che le caratteristiche salienti del materiale siano note molto bene.

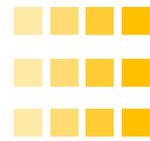
Le principali caratteristiche dei cordini in aramide sono:

- elevata resistenza meccanica
- elevata staticità
- elevata resistenza al taglio ed alle abrasioni

Il comportamento dei cordini in aramide è per molti versi conosciuto. A parità di diametro la resistenza meccanica è superiore al nylon, sono estremamente statici, ben resistenti al taglio e alle abrasioni; è anche noto il fatto che, pur essendo elementi della cda (catena di assicurazione), non sono preposti all'assorbimento di energia e che risentono di un importante decadimento delle prestazioni in presenza di nodi.

Numerose campagne di test sono state condotte sui cordini in aramide sin dagli anni novanta, finalizzate a mettere in luce il comportamento e le eventuali criticità. D'altro canto, il Kevlar® non trova impiego solo nelle funi ma in una gamma molto ampia di campi: automobilismo, attrezzature sportive o militari...

Ne consegue che la letteratura scientifica sul campo è molto vasta e completa.



## INVECCHIAMENTO A FATICA - IL LAVORO DI NICOLA PEROTTO

Nel 2017, Nicola Perotto ha condotto, nell'ambito della propria tesi di laurea in ingegneria dei materiali, in collaborazione col CSMT, uno studio finalizzato all'invecchiamento dei cordini in aramide. In particolare, sono stati presi in considerazione i seguenti fattori di invecchiamento:

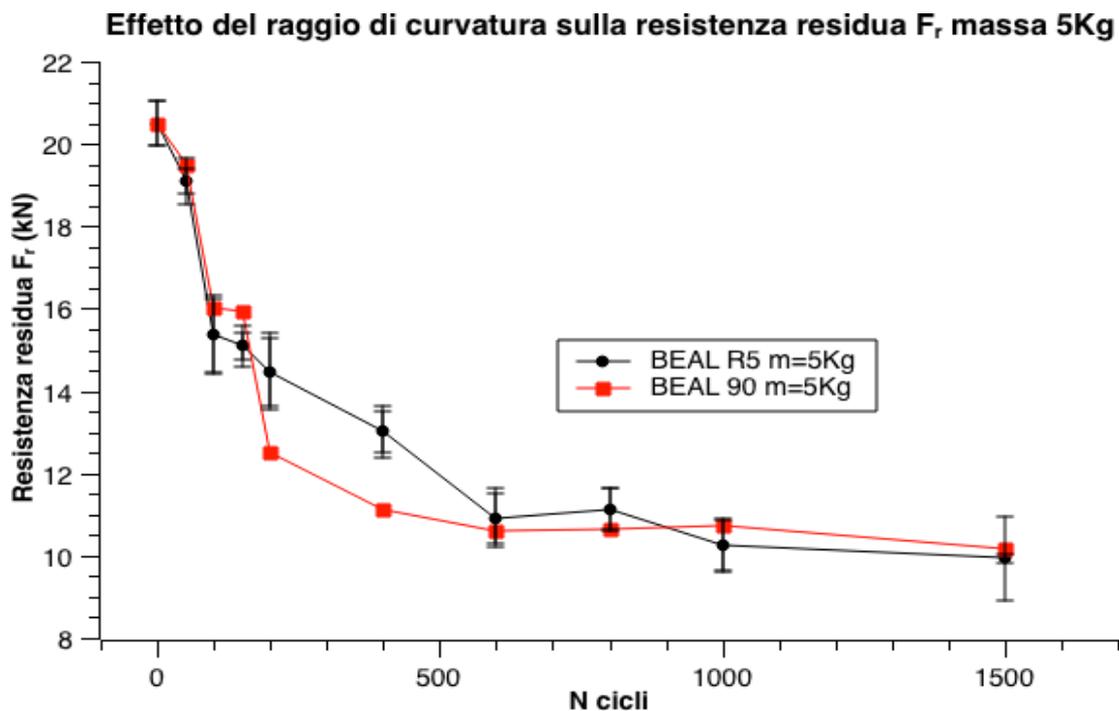
1. Fatica meccanica derivante da cicli ripetuti di flessione
2. Esposizione a raggi ultravioletti

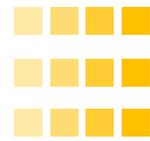
Il primo fattore è stato ampiamente analizzato mediante sessioni di prove al laboratorio del CSMT. Durante tali sessioni, un numero consistente di cordini in aramide nuovi è stato sottoposto a cicli di flessione su uno spigolo, mediante un apposito macchinario. Tali cicli sono stati ripetuti variando la tensione applicata al cordino durante i cicli ed il raggio dello spigolo attorno a cui è avvenuta la flessione.

Questo lavoro ha confermato ampiamente ciò che si riscontra in letteratura: la grande criticità delle fibre aramidiche risiede nel comportamento a compressione. Questa induce la formazione, a livello molecolare, di bande di piegamento inclinate di circa  $60^\circ$  rispetto all'asse longitudinale delle fibre; a sua volta il disallineamento determina l'indebolimento della fibra.

Si ha compressione nel cordino ogni qualvolta questo viene piegato: in un avvolgimento, in un nodo, eccetera: in corrispondenza della piega la parte esterna subisce distensione, mentre quella interna subisce compressione.

La tesi di Perotto ha prodotto il risultato confermativo che può essere riassunto dal seguente grafico





Sin dai primi cicli di flessione avviene un decadimento importante della resistenza residua. Per resistenza residua si intende la risposta del cordino ad un test di trazione lenta, senza nodo (di cui si parlerà più diffusamente in seguito), nel quale viene registrato il carico di rottura.

Il decadimento è molto rapido ma poi si assesta (intorno ai 500 cicli), raggiungendo un valore pari a circa il 45% del carico di rottura iniziale.

Questo comportamento è assimilabile alla fatica meccanica.

Spezzoni di Nylon® sottoposti alle medesime prove (cicli di flessione) non presentano alcun decadimento: questo mostra che il fenomeno è una peculiarità della fibra aramidica, di cui è strettamente necessario tenere conto per caratterizzare il materiale.

Per ulteriori approfondimenti si rimanda al testo completo della tesi di Perotto, disponibile al seguente [link](#).

## LA CAMPAGNA DI TEST

Date per acquisite le evidenze di Perotto, il CSMT si è posto il seguente quesito: come correlare con la normale pratica in montagna? In termini pratici, come si legano i cicli di flessione all'utilizzo concreto dei cordini in aramide?

Ci si aspetta che non esista un criterio diretto per associare a priori l'utilizzo ad un certo numero di cicli. Pertanto, si è provato a percorrere un'altra strada, con un metodo "a posteriori".

Tramite la collaborazione con la Scuola Nazionale Tecnici di Soccorso Speleologico del CNSAS sono stati raccolti oltre 60 campioni di cordino in aramide.

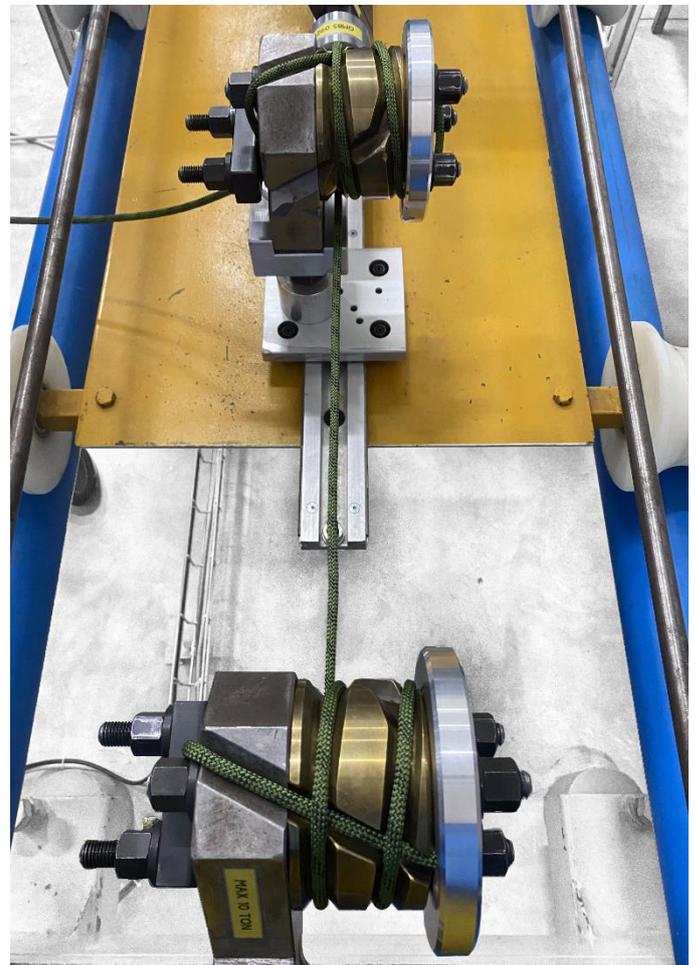
Di ciascun campione sono noti gli anni di utilizzo (da 1 a 10); il tipo di utilizzo non è stato preso in considerazione, per avere una popolazione il più possibile eterogenea; l'obiettivo non è stato di individuare quale utilizzo (nodi autobloccanti, soste, spezzoni di svincolo, eccetera...) produce il decadimento maggiore; al contrario si è voluto proseguire nella generalità dei casi di impiego per attività in montagna.

Sono stati presi in considerazione esclusivamente campioni delle marche Beal e Kong-Tendon.

Ciascuno spezzone è stato sottoposto a prova di trazione lenta a rottura senza nodo, e per ciascuna prova è stato registrato il carico di rottura.

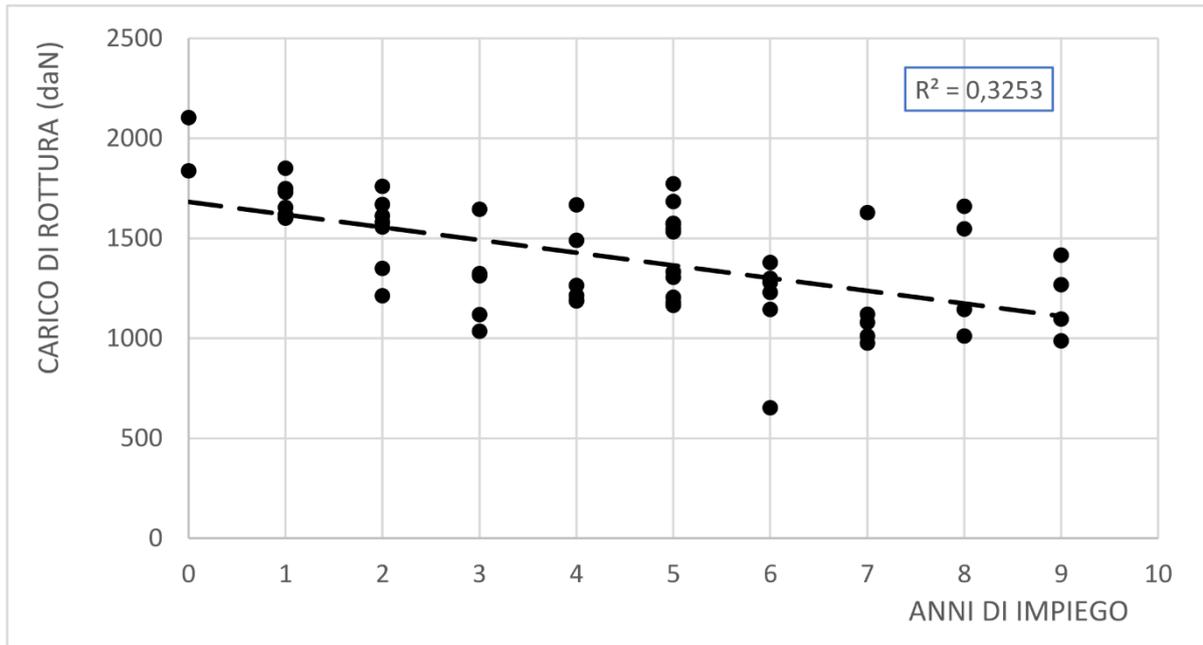
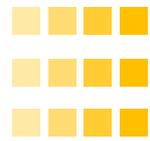
Il CSMT dispone di strumentazione specifica per questo tipo di prova.

Si tratta di una macchina a trazione lenta nella quale le due estremità sono date da due tamburi che permettono di fissare il cordino con avvolgimenti senza nodi. Il vantaggio di questo tipo di prova è che l'effetto di riduzione del nodo viene eliminato: si creano così le condizioni per rendere ottimale (perché non inficiata da altri fattori come possono essere i nodi) la comparazione degli spezzoni.



## I RISULTATI

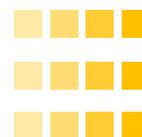
I dati sono stati raccolti ed organizzati. Una prima analisi, che prova a correlare gli anni di utilizzo con il decadimento, viene fornita dal seguente grafico



Questo primo sguardo permette di osservare alcuni fatti:

1. c'è una tendenza orientata al decadimento con il passare del tempo ma molto blanda.
2. Tutti i valori riscontrati sono superiori o attorno ai 1000 daN ad eccezione di uno; lo spezzone incriminato (682 daN) è quello della seguente foto



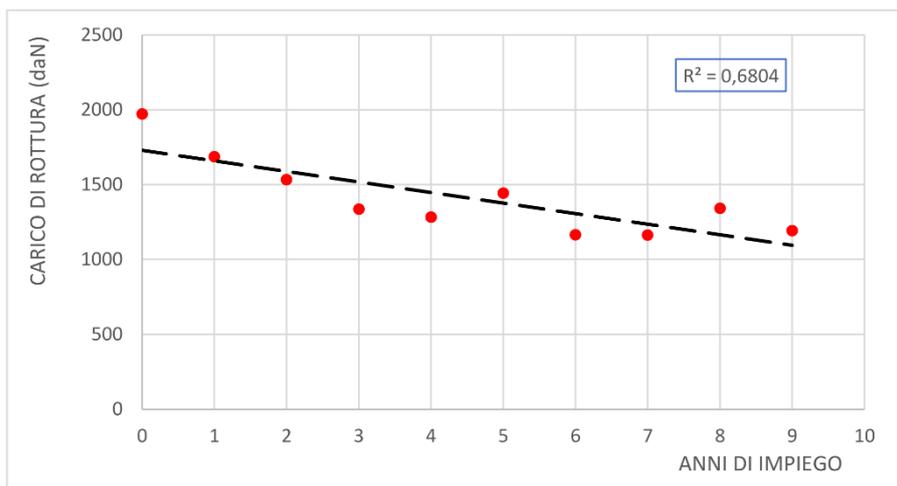


L'ispezione visiva, a parte tradire ad un occhio esperto una certa età del cordino, non presenta segni particolari. Tuttavia, l'ispezione al tatto (esperienza non riproducibile in un testo scritto...), mostra un cordino che ha completamente perduto nervo.

La verifica migliore che si può fare su un cordino in aramide è quella al tatto: il cordino deve avere ancora consistenza, una volta maneggiato lungo tutta la sua lunghezza.

Per affinare l'analisi si è considerato il valore medio del carico di rottura, ottenendo i seguenti dati

I dati in grafico si presentano come segue

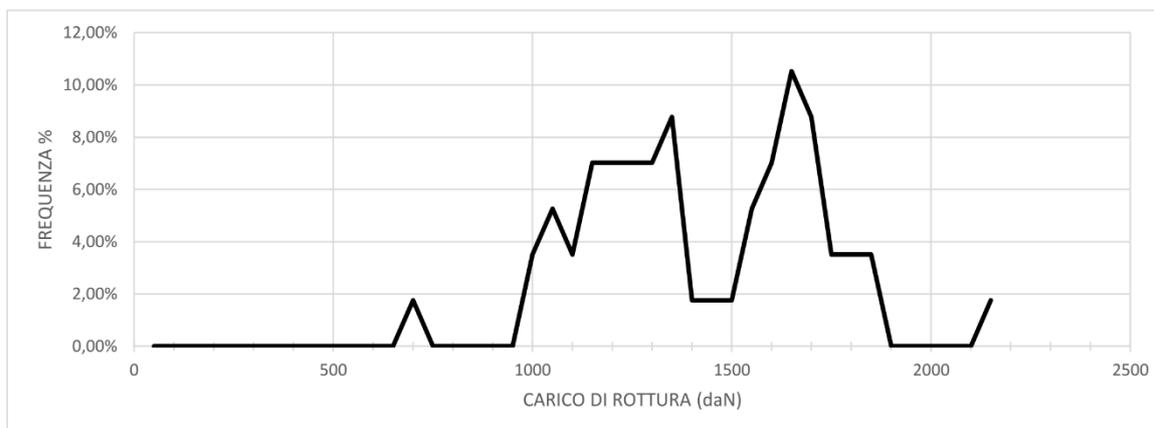


Anni di im- piego	Carico di rottura medio (daN)
0	1971
1	1686
2	1534
3	1336
4	1283
5	1443
6	1165
7	1163
8	1342
9	1192

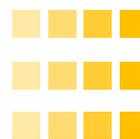
La correlazione è più chiara perché è stata eliminata la dispersione dei dati per ogni singolo anno, anche se rimane ancora alquanto bassa e non permette di definire in maniera chiara una soglia di anni di utilizzo. Non ci si aspetta che incrementando la popolazione dei cordini si riesca a modificare il risultato.

Tuttavia, è possibile approfondire lo studio con un diverso approccio. Si considerano ora le classi di frequenza per il carico di rottura. L'intervallo per le classi di frequenza scelto è di 50 daN; la scelta deriva dal numero di campioni della popolazione (circa 60 spezzoni) in relazione alla scala di valori di rottura esplorata (da 0 a 2000 daN).

Il grafico che si ottiene è il seguente



La distribuzione si presenta come bimodale: ciò significa che la massima parte dei carichi di rottura si addensa attorno a due cuspidi, la prima attorno a 1200 daN e la seconda attorno a 1700 daN.



Come interpretare questi segni?

L'evidenza più grande è che complessivamente i cordini in aramide seguono un ciclo di vita molto canonico: sin dai primi momenti avviene un decadimento delle caratteristiche intorno al 30% (il picco più a destra, più pronunciato), per poi attestarsi, alquanto rapidamente ma stabilmente, attorno al 55% (il picco a sinistra, meno pronunciato). In altri termini, la popolazione di spezzoni presa in esame ha mostrato un comportamento molto coerente con le aspettative: i cordini in aramide, dopo un decadimento iniziale, si comportano in maniera estremamente regolare nel corso del tempo.

## CONCLUSIONI

I fabbricanti forniscono un limite superiore di 10 anni di utilizzo per i cordini, fatta salva l'ispezione sistematica che può determinare la dismissione.

In generale l'utilizzo di un cordino in ramo singolo, anziché ad anello (dove le forze sono ripartite fra i rami) impone una valutazione molto attenta dello stato del cordino e delle forze che potrebbero generarsi durante l'impiego.

In particolare, per i cordini deve essere controllata la presenza di lesioni sulla calza (*birdcaging*), se il grado di morbidezza del cordino presenta irregolarità, se si presenta snervato (il fenomeno è abbastanza chiaro se si considera la consistenza di un cordino in aramide nuovo). Si raccomanda di effettuare con regolarità questo tipo di controllo, che appare quello più significativo, per capire se lo spezzone può essere ancora impiegato.

Invece la determinazione del numero di anni di utilizzo sarebbe del tutto arbitraria: cordini con molti anni di vita possono d'altro canto essere uno strumento ancora affidabile.

## PROSPETTIVE

L'approccio scelto in questo studio potrebbe essere impiegato anche per una valutazione più specifica degli spezzoni in base al tipo di utilizzo. Ad esempio, si potrebbe limitare lo studio ai cordini impiegati nelle soste, oppure nei nodi autobloccanti.

Tuttavia, la raccolta e la catalogazione dei campioni è un'operazione lunga e laboriosa. Inoltre, il presente studio ha un grande carattere di generalità, che lascia pensare di poter trarre conclusioni valide indipendentemente dall'utilizzo che viene fatto del cordino.

## RINGRAZIAMENTI

Il lavoro è stato possibile grazie al contributo di diversi che qui ringraziamo:

Giuliano Bressan, Luigi Costa e Massimo Polato del Centro Studi Materiali e Tecniche del CAI per il supporto concettuale e pratico durante le prove.

Sandro Bavaresco per il supporto pratico durante le prove.

La Scuola Nazionale Tecnici di Soccorso Speleologico per aver sostenuto il progetto e fornito supporto materiale alle prove, in particolare Andrea Sbisà ed Andrea Giura Longo.

Massimiliano Zortea (Scuola Nazionale Tecnici di Soccorso Alpino) e Nicola Tondini (AGAI) per la revisione del lavoro.