

INDICE

7	LE FUNI	3
7.1	Caratteristiche generali	3
7.1.1	Composizione.....	4
7.2	Tipologie.....	7
7.2.1	Fune a trefoli.....	7
7.2.2	Funi spiroidali	10
7.2.3	Funi chiuse	11
7.2.4	Funi Ercole	11
7.2.5	Funi unificate	12
7.3	Parametri fondamentali	12
7.4	Difetti	16
7.4.1	Difetti di costruzione	16
7.4.2	Fattori accidentali di esercizio	16
7.4.3	Corrosione	17
7.4.4	Fatica.....	17
7.4.5	Usura	17
7.4.6	Riscaldamento.....	17
7.4.7	Esempi di deterioramento delle funi in acciaio.....	18
7.5	Messa in opera.....	21
7.6	Attacchi di estremità	22
7.6.1	Testa fusa.....	22
7.6.2	Tamburo d'ancoraggio	23
7.7	L'impalmatura	23
7.8	Controlli	25
7.8.1	Ispezione visiva	26
7.8.2	Metodo magneto-induttivo	26
7.8.3	Raggi X e raggi gamma.....	32
7.8.4	Periodicità controlli visivi	32
7.8.5	Periodicità controlli magneto-induttivi.....	33
7.9	Manutenzione: criteri e periodicità.....	33
7.9.1	Lubrificazione	33
7.9.2	Riparazione	34
7.9.3	Spostamento morsetti	35
7.9.4	Spostamento attacchi (bifune).....	35
7.9.5	Scorrimento portanti e controlli speciali	35

7.10	Criteri di dismissione delle funi.....	36
7.10.1	Funi portanti.....	36
7.10.2	Funi traenti, portanti-traenti e soccorso.....	37
7.10.3	Funi tenditrici	37
7.10.4	Funi telefoniche	37

7 LE FUNI

7.1 Caratteristiche generali

Le **funi di acciaio** sono componenti funiviari composti da fasci di fili metallici, avvolti in modo ordinato tra loro. La quantità di fili, il senso in cui sono avvolti tra loro e il tipo di materiale utilizzato conferiscono alla fune ottime prestazioni in termini di resistenza alla trazione, flessibilità e maneggevolezza, necessarie all'impiego in vari campi tra cui gli impianti funiviari.

Esistono due grandi categorie di funi: le funi a trefoli e le funi spiroidali.

Gli elementi primari di cui sono formate le **funi a trefoli** sono i **fili**, che avvolti tra loro in modo elicoidale, formano il secondo elemento, ovvero i **trefoli**. A loro volta i trefoli, avvolti tra loro su un **anima** centrale, formano la **fune**.

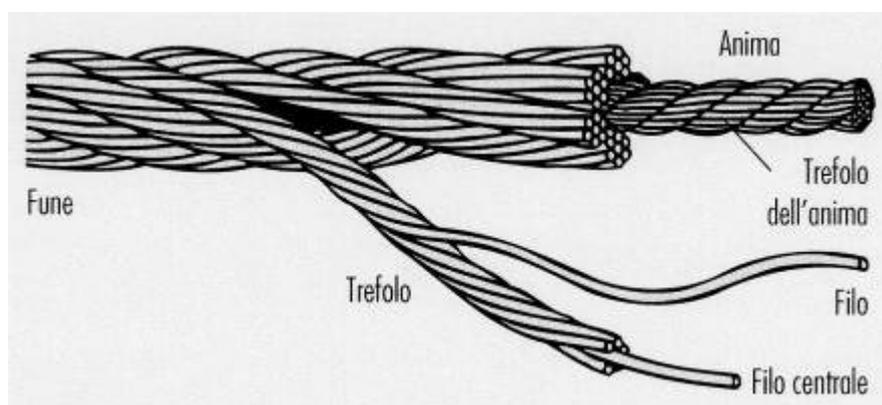


Figura 1 – Schema di fune a trefoli

Le **funi spiroidali** sono composte da strati sovrapposti di fili di diametro simile, avvolti tra loro in modo elicoidale, ma in senso opposto ad ogni strato per compensare la torsione.

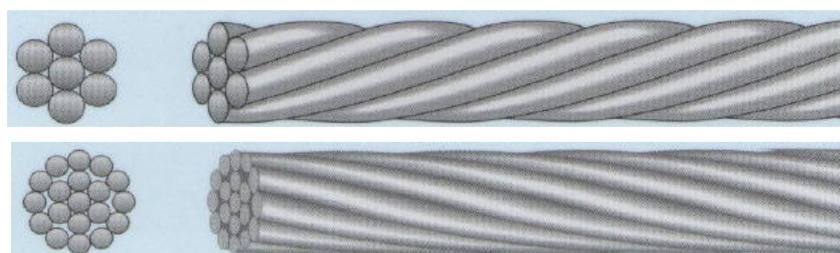


Figura 2 – Schema di due tipi di funi spiroidali

7.1.1 Composizione

Filo

E' l'elemento di base costitutivo della fune di acciaio ed è ricavato mediante **trafilatura** da una **vergella** (barra di acciaio semilavorato). Il materiale di base è generalmente acciaio con contenuto di carbonio di circa 0,8 % e alto grado di purezza.



Figura 3 – Vergelle

Attraverso varie operazioni la vergella di un determinato diametro si trasforma, per successive riduzioni, in fili di prestabilite caratteristiche dimensionali e meccaniche.

I fili sono avvolti su bobine da installare sulle macchine cordatrici per la realizzazione dei trefoli o manti nel caso di funi spiroidali. I fili possono essere di sezione circolare (fili tondi) o sagomati a Z. La sagomatura non permette di sottoporre i fili alle stesse tecniche di trafilatura dei fili tondi, per cui, rispetto a questi ultimi, i fili sagomati hanno una minore resistenza alla trazione. Tuttavia, grazie alla loro forma, vengono utilizzati per realizzare le cosiddette “funi chiuse” (vedi capitolo 7.2.3), aventi caratteristiche che li rendono adatti a realizzare funi portanti di funivie bifune.

Trefolo

E' l'insieme di più fili disposti ad elica attorno ad un filo centrale. Vengono assemblati sulla macchina cordatrice partendo dalle bobine di filo.



Figura 4 – Trefolatura

La fune è costituita dall'insieme di più trefoli avvolti attorno ad un'anima tessile o metallica mediante l'operazione di **cordatura**.



Figura 5 – Cordatura

Prima di questa operazione i trefoli sono sottoposti a **preformazione** con lo scopo di conferire loro la forma elicoidale che assumeranno nella formazione finale della fune.



Figura 6 – Preformazione

Con la preformazione si acquisiscono i seguenti vantaggi:

- quando la fune viene tagliata i trefoli non si svolgono e non servono saldature;
- migliora il comportamento a fatica della fune;
- i fili, in caso di rottura, mantengono la loro posizione.
- Dopo la messa in servizio della fune, il suo diametro rimane più stabile nel tempo e subisce minore torsione

Anima

E' la parte centrale della fune e può essere di natura metallica (nucleo spiroidale di fili in acciaio) o flessibile (tessile o plastico).

L'anima in una fune metallica ha il compito di:

- **sostenere** i trefoli nella loro corretta configurazione geometrica assegnata;
- fornire alla funi di movimento la **flessibilità** necessaria per l'avvolgimento e svolgimento sulle pulegge;
- mantenere all'interno della fune stessa il **lubrificante** necessario per ridurre lo strisciamento tra i fili.

L'anima può essere formata da :

- fibre **metalliche** (acciaio legato) o metallica con copertura plastica;
- fibre **naturali** (canapa, juta, cotone);
- fibre **sintetiche** (polietilene, polipropilene).

L'anima metallica ha il vantaggio di contribuire alla capacità di trazione della fune, per cui la sua sezione può essere inferiore rispetto a quella con anima in materiale plastico o tessile. Tuttavia, essendo poco flessibile, generalmente non viene utilizzata in funi che devono essere deviate da pulegge rotanti come le traenti o portanti-traenti.

L'anima plastica o tessile ha il vantaggio della maggiore flessibilità e capacità di distanziare i trefoli tra di loro, riducendo lo sfregamento e quindi il consumo delle parti metalliche. Inoltre può essere ingrassata in fase di costruzione, per cui il lubrificante viene rilasciato durante tutta la vita della fune, proteggendola dagli agenti atmosferici e riducendo la corrosione. Rispetto all'anima tessile, l'anima plastica ha durata molto più lunga ma è più costosa. Ha il vantaggio di modellarsi meglio tra i trefoli, riducendo così le vibrazioni

trasmesse sui rulli dell'impianto. Di conseguenza è preferibile usarla negli impianti ad alta velocità. L'anima tessile invece si impregna meglio di lubrificante, quindi è più usata nei luoghi dove la corrosione è più critica.

La lubrificazione della fune dunque avviene durante il processo di trefolatura e cordatura. Il lubrificante immagazzinato dalla fune nel processo produttivo resta al suo interno per tutta la durata della vita della fune. Alcuni produttori consigliano una rilubrificazione esterna durante l'utilizzo, per preservare le parti più esposte agli agenti atmosferici.

Per tutte queste considerazioni, generalmente si preferisce utilizzare funi con anima in fibre naturali o sintetiche come traenti e portanti-traenti di sciovie ed impianti ad ammorsamento fisso o temporaneo, e funi con anima metallica per funi portanti di funivie bifune.



Figura 7 – Funi ad anima tessile e ad anima plastica

7.2 Tipologie

7.2.1 Fune a trefoli

Le funi a trefoli sono le più diffuse e sono spesso usate come **portanti – traenti** o **traenti** negli impianti funiviarie, **tipicamente a 6 trefoli**, ma anche a 7 o 9 trefoli. Sono di differente tipologia in funzione delle dimensioni dei fili e della loro disposizione nei trefoli.

Seale

Queste funi hanno i trefoli con un ugual numero di fili per strato, per cui quelli esterni sono molto più grandi. In questo modo si cerca di contenere i vuoti tra i fili ed aumentare la capacità di trazione a parità di diametro rispetto ad altre tipologie di funi

I fili sono avvolti nello stesso senso, per cui i contatti tra i fili sono **lineari**, vale a dire che nei solchi dei fili più grandi sono posti i fili più piccoli. Un avvolgimento cosiddetto "crociato" comporterebbe contatti puntuali tra i fili e quindi pressioni localizzate tra i fili molto più alte, in particolare durante le flessioni e torsioni della fune sulle pulegge e in corrispondenza dei morsetti, con la conseguenza di avere molte più rotture.

La geometria di questa fune permette ad essa di avere una buona flessibilità, consentita dal diametro ridotto dei fili interni, e un'ottima resistenza ad usura conferita dal diametro maggiore dei fili esterni.

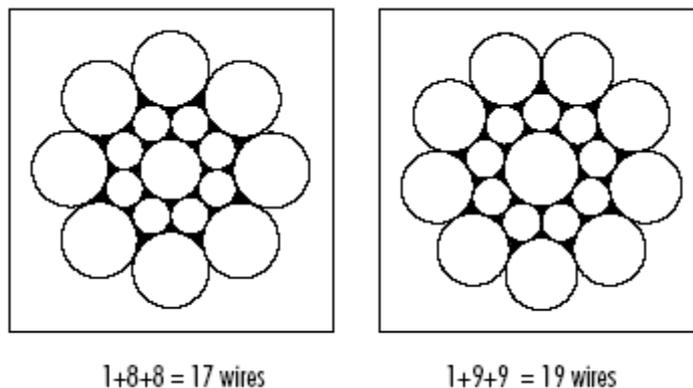


Figura 8 – Sezione di trefoli di fune Seale

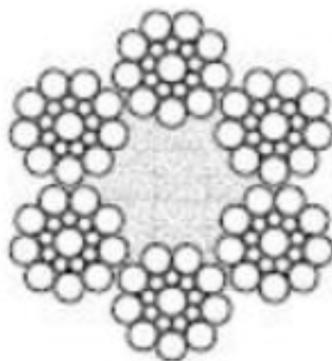


Figura 9 – Sezione completa di fune Seale

Warrington e Warrington-Seale

Nelle funi Warrington i fili interni dei trefoli hanno diametro uguale, mentre i fili esterni sono di due diametri diversi posti alternativamente.

Le Warrington-Seale hanno trefoli con la stessa geometria delle Warrington, ma con un ulteriore strato esterno di fili con diametro più grande di quelli interni.

Anche in questo caso i fili hanno contatti lineari (nei solchi).

Generalmente sono funi con grande sezione metallica.

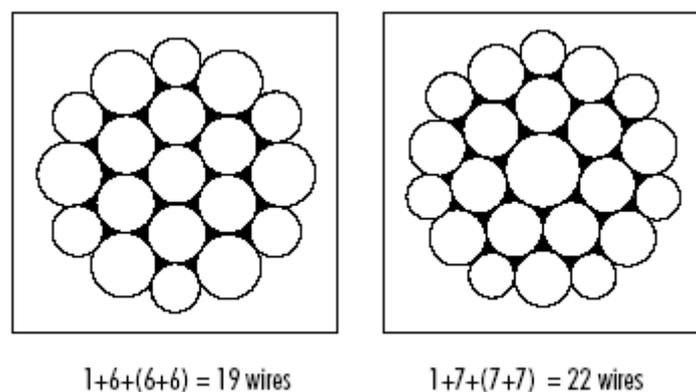


Figura 10 – Sezione di trefoli di fune Warrington

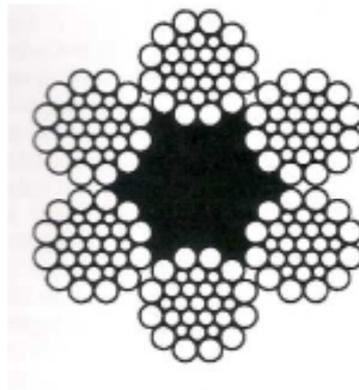
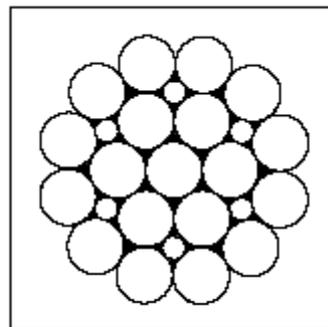


Figura 11 – Sezione completa di fune Warrington-Seale

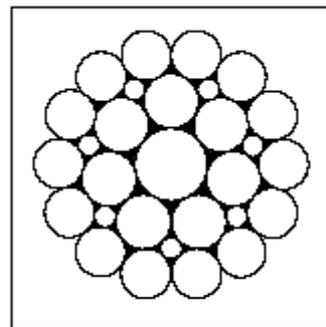
Filler

In queste funi i trefoli hanno fili di diametro uguali nei vari strati, ma nei solchi hanno fili di riempimento di minor diametro.

Anche in questo caso i fili hanno contatti lineari (nei solchi).



$$1+6+6F+12 = 25 \text{ wires}$$



$$1+7+7F+14 = 29 \text{ wires}$$

Figura 12 – Sezione di trefoli di fune Filler

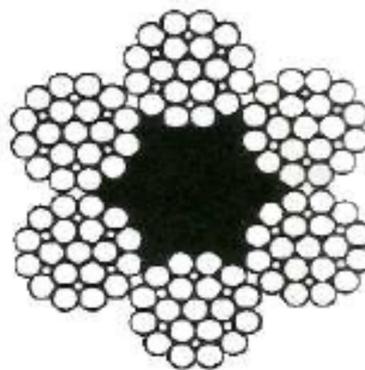


Figura 13 – Sezione completa di fune Filler

Funi Compattate

Le funi compattate sono funi delle categorie precedenti la cui superficie dei trefoli viene appiattita durante la fase di produzione. In questo modo la superficie di contatto tra i trefoli viene aumentata, aumentando così la sezione utile a parità di diametro complessivo e diminuendo le vibrazioni.

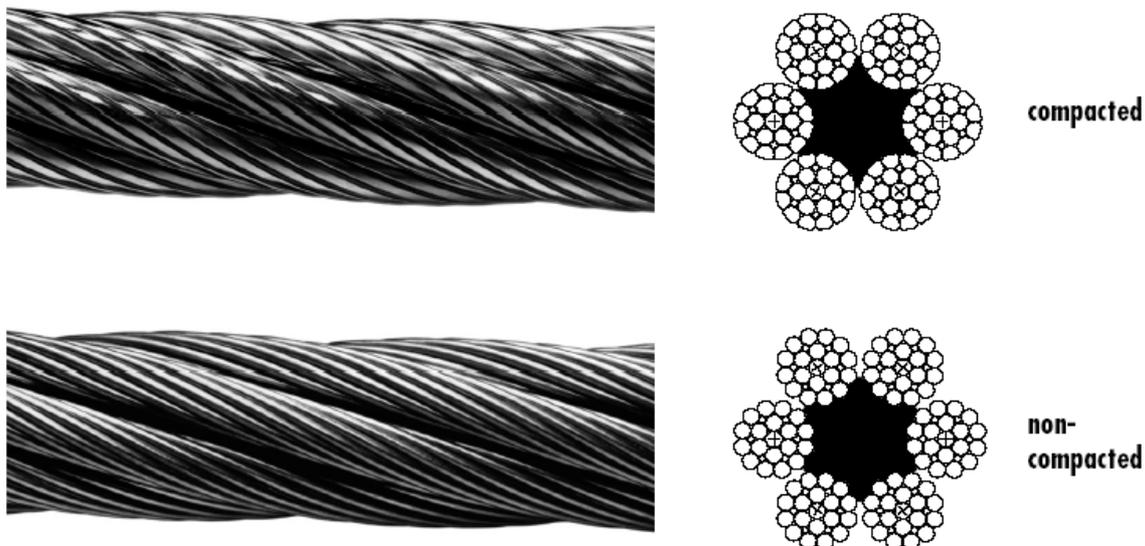


Figura 14 – Differenze tra fune compattata e non compattata

7.2.2 Funi spiroidali

Sono composte da strati sovrapposti di fili di diametro simile avvolti tra loro in modo elicoidale ma in senso opposto per ogni strato per compensare la torsione. Sono funi ad anima metallica.

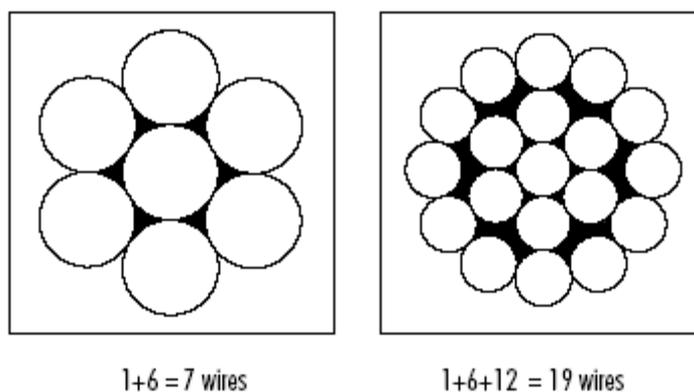


Figura 15 – Sezione di due tipi differenti di funi spiroidali

Una caratteristica particolare di queste funi è quella per cui un filo rotto esterno, non essendo avvolto in trefoli, si svolge indefinitamente.

Generalmente si usano per le funi tenditrici o telefoniche.

7.2.3 Funi chiuse

Le funi chiuse sono particolari funi spirodali, formate da strati interni a fili tondi, avvolti in senso opposto tra di loro come le comuni funi spirodali (vedi figura successiva) e da due o tre strati esterni a fili sagomati (la sagomatura più usata è quella a "Z") sempre avvolti in senso opposto, e ogni strato ha la superficie liscia.

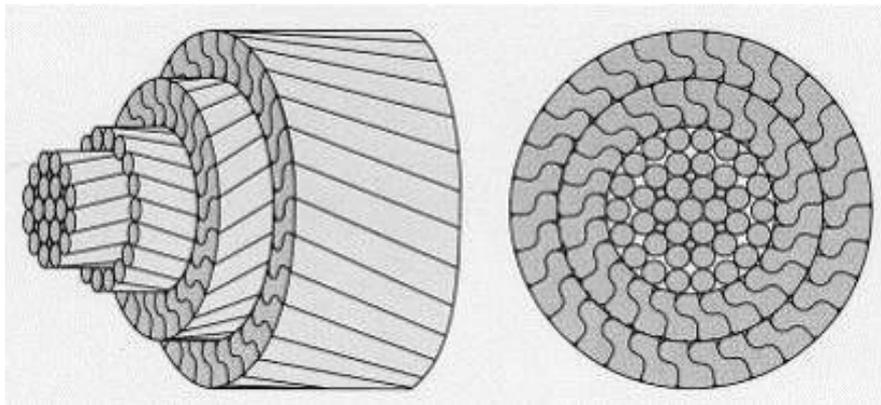


Figura 16 – Sezione di fune chiusa

Vengono usate come funi portanti di funivie bifune, in quanto questa configurazione ha i seguenti vantaggi:

- meno vibrazioni sul carrello del veicolo;
- meno infiltrazioni di acqua, cioè meno corrosioni all'interno;
- minore sezione necessaria a parità di resistenza a trazione richiesta;
- accumuli di neve della fune meno pericolosi.

7.2.4 Funi Ercole

In passato, al posto delle funi chiuse, erano utilizzate le cosiddette funi Ercole, composte da un nucleo centrale spirodale e un mantello esterno di 12 (o 18) trefoli, ciascuno dei quali formato da un filo centrale e 6 fili esterni.

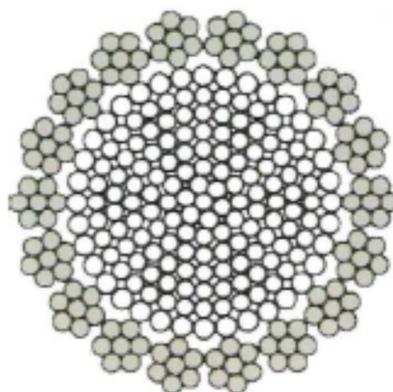


Figura 17 – Sezione di fune Ercole

A parità di area della sezione metallica, le funi Ercole hanno maggiore resistenza alla trazione, in quanto nella produzione dei fili sagomati di una fune portante chiusa non è possibile raggiungere gli stessi valori di resistenza unitaria ottenibili per i fili tondi, a motivo della diversa tecnica di trafilatura impiegata.

Nelle funi Ercole, il senso di avvolgimento dei singoli fili esterni sul filo centrale nei trefoli è contrario al senso di avvolgimento dei trefoli sul nucleo centrale della fune: in tal caso la fune è detta "crociata".

7.2.5 Funi unificate

In alcuni casi nella normativa si parla di funi unificate. Queste funi fanno parte delle stesse tipologie sopra descritte, ma sono trattate in una normativa apposita che ne regola esclusivamente le modalità di collaudo ed accettazione. Per ogni altra fase dell'esercizio degli impianti, le funi unificate sono trattate esattamente come le altre.

7.3 Parametri fondamentali

Diametro e tolleranze

Il **diametro normale** della fune è il diametro del cerchio circoscritto alla sezione della fune.

La misura del diametro si effettua in due punti distanti almeno un metro; in ciascun punto si misurano due diametri a 90° uno dall'altro; la media dei quattro valori rilevati si assume come diametro effettivo.

La misurazione viene fatta normalmente su un tratto di fune dritto.



Figura 18 – Metodo di misurazione del diametro delle funi

In stabilimento, per i rilievi particolarmente precisi, il diametro effettivo si misura sottoponendo la fune ad una trazione pari al 5% del carico di rottura minimo garantito.

Al momento della costruzione il diametro nominale può essere maggiore di circa il 4-5%, che si ridurrà con la messa in esercizio della fune stessa al 3% circa.

Viene indicato con il termine **diametro effettivo** il valore del diametro corrente nel corso della vita della fune. Sono ammesse tolleranze sul diametro definite dalla norma europea EN 12927 pari a variazioni del 10%.

Diminuzioni eccessive del diametro della fune possono verificarsi in corrispondenza del punto terminale dei codini accecati all'interno della fune in un'impalmatura (vedi paragrafo 7.7), i quali, a causa dell'assestamento della fune con il tempo, possono distanziarsi in maniera eccessiva dal capo dell'anima della fune ad essi adiacente.

Inoltre durante l'esercizio, può verificarsi lo sgretolamento dell'anima di tipo tessile, che, con il passare degli anni, perde la sua elasticità, in quanto le fibre che la compongono tendono a sfaldarsi e a perdere coesione tra di loro.

Formazione

Definisce la composizione della fune. Per le funi a trefoli si indica in successione:

- il numero dei trefoli componenti la fune;
- il numero dei fili componenti ciascun strato del trefolo;
- la composizione dell'anima.

Ad esempio una fune Seale da 114 fili, composta da 6 trefoli, ciascuno con filo centrale, primo strato e strato esterno da 9 fili con anima in materiale sintetico, viene indicata nel modo che segue: 6 x (1+9+9) + PPC.

Passo di cordatura

S'intende come **passo di cordatura**, o semplicemente **passo di avvolgimento della fune**, la lunghezza in mm, misurabile in direzione assiale, per la quale un trefolo compie un giro completo attorno alla fune.

Spesso il passo di cordatura viene anche indicato come multiplo del diametro del trefolo, ad es. 25 x D.

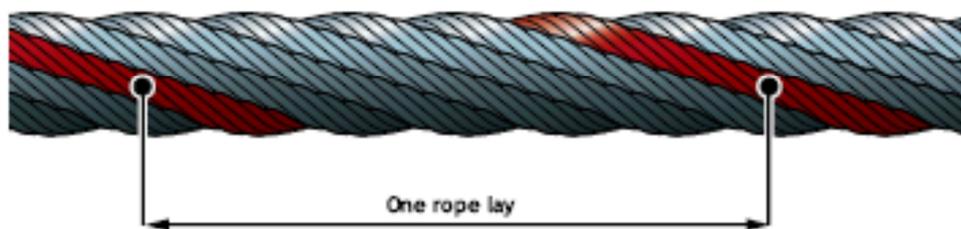


Figura 19 – Schema di passo di cordatura

Sono ammissibili variazioni del passo di avvolgimento pari a $\pm 15\%$.

Ondulazione

Si misura solo sulle funi a trefoli e non sulle funi chiuse. Va misurata, in caso di dissesti, su una lunghezza di riferimento pari a 3 passi di avvolgimento della fune. I valori limite sono pari a $0,05 d + 0,5 \text{ mm}$ e $0,06 d$ in corrispondenza dell'impalmatura.

Senso di avvolgimento

Il senso di avvolgimento è riferito ai fili rispetto ai trefoli e ai trefoli rispetto alla fune, ed è composto da due lettere:

- la prima, minuscola, indica il senso di trefolatura dei fili esterni nei trefoli;
- la seconda, maiuscola, indica il senso di cordatura dei trefoli nella fune.

Le due lettere possono essere:

Z : indica il senso di avvolgimento **destro**,

S : indica il senso di avvolgimento **sinistro**.

L'avvolgimento si definisce **incrociato** se il senso di avvolgimento dei trefoli nella fune e dei fili nei trefoli sono contrari. Si definisce **parallelo** se i due sensi di avvolgimento sono uguali.

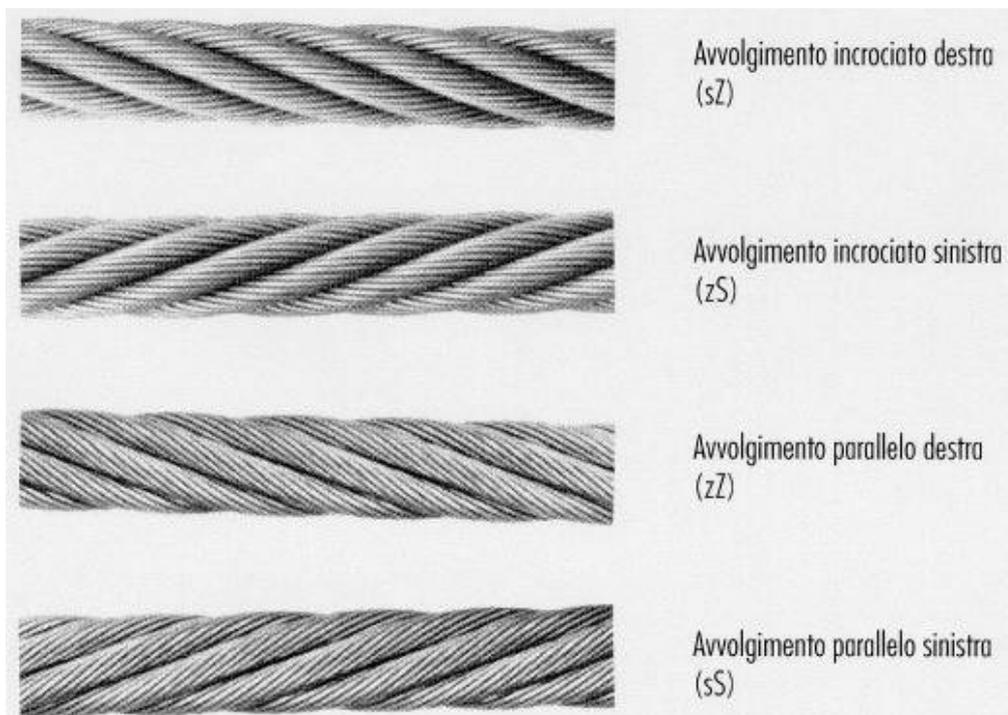


Figura 20 – Foto dei diversi sensi di cordatura

Angolo di avvolgimento

È definito come l'angolo formato tra l'asse della fune e l'asse del trefolo (angolo di avvolgimento del trefolo nella fune) o come l'angolo formato tra l'asse del filo e quello del trefolo (angolo di avvolgimento del filo nel trefolo).

Massa/Peso unitario

È la massa/peso di un metro lineare di fune. Si misura in kg/m o N/m.

Carico di rottura

Il carico di rottura corrisponde alla forza di trazione che applicata alla fune, ne provoca la rottura. Esso dipende dalla resistenza di trazione dei singoli fili, che, per le funi utilizzate negli impianti funiviarie, vale approssimativamente tra i 160 e i 220 kg/mm².

Nella pratica esistono tre diverse definizioni del carico di rottura a seconda del metodo di misurazione utilizzato:

- **carico di rottura minimo garantito:** è quello indicato sul catalogo in corrispondenza ad ogni fune;
- **carico di rottura effettivo:** è il carico che si ottiene nella prova di rottura a trazione e deve essere sempre superiore a quello minimo garantito;
- **carico somma prima della cordatura:** è la somma del carico di rottura dei singoli fili prima della cordatura. È un valore puramente teorico sempre superiore (dal 10 al 20%) ai precedenti carichi.

Coefficiente o grado di sicurezza

Il grado di sicurezza delle funi secondo le PTS è valutato convenzionalmente come rapporto tra il carico somma della fune e lo sforzo di trazione assiale a regime nel tratto più sollecitato.

Ad esempio per le funi traenti e zavorra il fattore di sicurezza deve essere non minore di 5, mentre per le funi portanti e telefoniche non minore di 3,5. Il fattore di sicurezza ha anche un limite massimo pari a 20 oltre il quale non è garantita la tenuta delle impalmature perché la fune risulta troppo poco tesa.

Coefficiente di cordatura

È definito come il rapporto tra il carico di rottura effettivo e il carico somma della fune, per cui è sempre minore dell'unità. Il valore è di circa 0,8 per funi a trefoli con anima tessile e 0,88 per funi chiuse.

Rappresenta la perdita di prestazione tra la fune costruita e il fascio di fili di partenza.

È un valore fortemente influenzato da vari fattori quali:

- configurazione della fune (trefoli, chiusa, spiroidale, ecc...);
- distribuzione non omogenea del carico sui vari fili e trefoli, per effetto di non corretta progettazione;
- errori costruttivi.

Sezione metallica e sezione lorda

La sezione metallica è data dalla somma delle sezioni trasversali di tutti i fili componenti la fune, misurata in mm^2 ed è detta anche **sezione resistente**.

Gli elementi per il calcolo della sezione metallica vengono forniti dal produttore di funi stesso.

La **sezione lorda** è invece rappresentata dall'area del cerchio circoscritto alla sezione della fune.

Nella figura seguente la sezione lorda è quella indicata dal diametro "d", mentre la sezione resistente è la somma delle sezioni dei fili di diametro "δ"

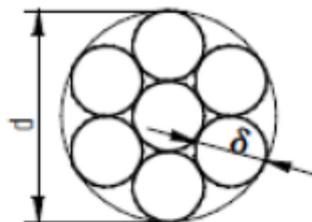


Figura 21 – sezione lorda e sezione resistente

Allungamento e modulo elastico

Ogni fune, sottoposta ad uno sforzo di trazione, subisce due tipi di allungamento:

- **l'allungamento elastico**, dovuto appunto all'elasticità dell'acciaio costituente i fili;
- **l'allungamento permanente**, dovuto all'assestamento di tutti gli elementi che compongono la fune (fili, trefoli, anima).

Quest'ultimo assestamento è permanente e definitivo e si manifesta più o meno rapidamente in funzione dell'intensità del carico di lavoro, della composizione e formazione della fune, con una leggera diminuzione di diametro ed un allungamento del passo di cordatura, e quindi della fune, dell'ordine dello $0,2 \div 0,5\%$. Funi sottoposte a valori molto gravosi si possono allungare anche dello $0,8\%$ durante la loro vita.

L'allungamento elastico dell'acciaio, per i tassi di lavoro ammessi, è invece proporzionale al carico e si annulla quando il carico viene meno.

Il **modulo elastico** è un parametro intrinseco della fune e viene determinato sperimentalmente. È dato dal rapporto tra la forza applicata alla fune e il suo allungamento, per cui si può dedurre che funi con modulo elastico basso, cioè che si allungano molto in rapporto alla forza applicata, assorbono meglio gli strappi dovuti a condizioni di lavoro gravose, in quanto il maggior allungamento elastico consente l'assorbimento del lavoro di deformazione.

Si possono dare solo valori indicativi del modulo elastico perché in pratica può risultare assai diverso secondo le modalità costruttive della fune.

Allungamento termico

La dilatazione termica degli acciai è solitamente dell'ordine di 11-12 mm per chilometro per ogni grado °C di temperatura.

L'allungamento termico nelle funi diventa rilevante per definire i sistemi di tensione, soprattutto per funi non ancorate, o nella verifica delle variazioni di tensione nelle funi ancorate.

Solitamente negli impianti a fune si considera un salto di temperatura di 50 °C per gli impianti ad ammassamento e di 60 °C per le funivie bifuni.

7.4 Difetti

Le funi metalliche durante il loro utilizzo subiscono il degrado della propria struttura. La velocità di danneggiamento è maggiore nel primo periodo di utilizzo (fase di assestamento), si stabilizza per un periodo intermedio e accelera nel periodo finale della vita della fune.

7.4.1 Difetti di costruzione

Sono quelle anomalie causate dalla presenza di scorie nelle materie prime, imperfezioni generate da errate operazioni dovute ai trattamenti chimici cui vengono sottoposti i fili metallici (decapaggio) o dall'errato processo di cordatura.

Di rilievo sono anche eventuali difetti provocati da trattamenti termici preliminari (patentamento) che, se mal eseguiti, possono ridurre le caratteristiche meccaniche del materiale.

7.4.2 Fattori accidentali di esercizio

Sono tutti quei danni che la fune subisce durante il montaggio o l'errata movimentazione. L'errato srotolamento delle funi dalle bobine di trasporto o la poca accuratezza durante il montaggio possono generare asole nella fune. Quando si applica il carico alla fune, le asole, sottoposte a trazione, producono deformazioni permanenti che riducono la resistenza della fune.

Altri danni possono verificarsi nella messa in tensione della fune. Strisciamenti a terra, allentamento dei morsetti di aggancio, passaggio nelle pulegge, scarruolamenti, impuntamenti dei morsetti d'aggancio con altri elementi possono rovinare o portare fuori posizione i fili della fune.

Da non trascurare sono anche i danni accidentali scaturiti da agenti atmosferici. Scariche elettriche atmosferiche (fulmini) possono generare surriscaldamenti localizzati nelle funi provocati dall'effetto arco. Gli effetti di questo riscaldamento possono essere la fusione del metallo, la modifica della struttura metallografica e l'alterazione della sezione o della superficie della fune.

I danni prodotti da questo fenomeno (soprattutto in ambito funiviario) sono talmente gravi che normative in materia prevedono che le funi siano direttamente collegate a terra. I dispersori, conduttori a terra e giunzioni devono soddisfare le disposizioni CEI.

Ulteriori danni possono essere prodotti da un eccessivo serraggio dei morsetti sulla fune (per gli impianti ad ammassamento permanente) e nel caso in cui non vengano eseguiti i prescritti scorrimenti periodici degli

stessi. In questi casi, al passaggio sulle pulegge, i ripetuti cicli di flessione in corrispondenza dei morsetti possono generare rotture.

7.4.3 Corrosione

La struttura di una fune prevede numerosi spazi tra i fili e i trefoli. Queste cavità spesso vengono occupate da **impurità, umidità o acqua**. Queste sono le condizioni ideali per la generazione di effetti corrosivi. Il fenomeno è accelerato dalla presenza di sali o prodotti acidi.

L'unica difesa a questo fenomeno è l'utilizzo di opportuni lubrificanti inseriti in ogni strato della fune, accompagnati da una lubrificazione esterna periodica nel tempo.

Anche le anime tessili di origine vegetale, con il passare del tempo, perdono il grasso (espulso dalle azioni trasversali dei trefoli) e necessitano di lubrificazione periodica per evitare che l'anima si secchi, accelerando la corrosione nella zona di contatto con i trefoli.

Altri fenomeni che rientrano nella categoria di danni da corrosione sono:

- **tensocorrosione**: accentuazione dell'effetto corrosivo per effetto delle forze di trazione a cui i fili sono sottoposti;
- **fretting corrosion o corrosione secca**, generata dallo strisciamento relativo tra i fili sottoposti ad elevate pressioni superficiali. In questo caso il ferro si trasforma in ossido, producendo scorie abrasive che alimentano il fenomeno.

7.4.4 Fatica

Gli effetti affaticanti sulla fune sono causati da tutte quelle azioni, diverse dalla trazione, a cui è sottoposta durante il normale esercizio. Il continuo passaggio su pulegge e rulli, la flessione ciclica sulle carrelliere ed il variare del carico a cui la fune è sottoposta sono tutte cause di principi affaticanti per i fili metallici.

Norme specifiche in materia fissano i raggi di curvatura minima da rispettare per le pulegge, i rulli e gli altri elementi su cui la fune potrebbe avvolgersi. Altre indicazioni limitano i carichi trasversali massimi da applicare alla fune per ridurre la flessione / deformazione localizzata.

7.4.5 Usura

Tutte le funi in esercizio sono soggette a usura. Le cause sono molteplici e sono quasi sempre provocate dal moto relativo tra la fune e altri elementi (rulli, pulegge, carrelli, ecc.). Fenomeni di usura superficiale spesso nascono da cause accidentali.

Un'eccessiva torsione della fune all'atto della sua messa in opera può generare una coppia tale da vincere il momento generato dalle forze d'attrito nelle ganasce dei morsetti, provocando una vera e propria fresatura dei fili.

7.4.6 Riscaldamento

Il riscaldamento delle funi causato dallo sviluppo di un incendio provoca una diminuzione sensibile della resistenza a trazione dei fili, che può provocarne la rottura. Per mitigare tale rischio, le normative funiviarie richiedono un'attenta valutazione del rischio incendio ed uno studio delle contromisure più opportune da adottare (trattamento con vernici ignifughe per le strutture in legno, utilizzo di materiali in classe 0, disponibilità di estintori, sensori di rilevamento fumo ecc...).

7.4.7 Esempi di deterioramento delle funi in acciaio



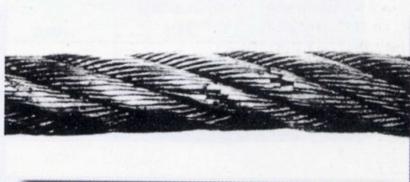
Notevole numero di fili rotti, unitamente ad una grave usura, in una fune ad avvolgimento crociato. (Sostituire immediatamente la fune).



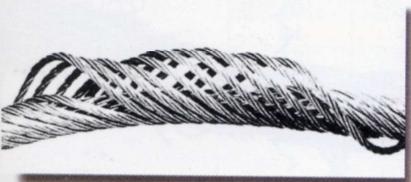
Fili rotti in un trefolo unitamente ad una lieve usura, in una fune ad avvolgimento parallelo (Tenere la fune sotto controllo, togliere i fili spezzati in modo che le estremità siano a raso del profilo esterno).



Fili rotti in numerosi trefoli, vicino ad una puleggia di rinvio. (Sostituire immediatamente la fune).



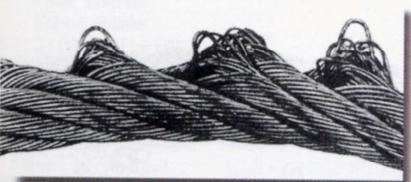
Fili rotti in due trefoli, vicino ad una puleggia di compensazione e associati ad una grave usura locale causata da un blocco della puleggia. (Sostituire la fune).



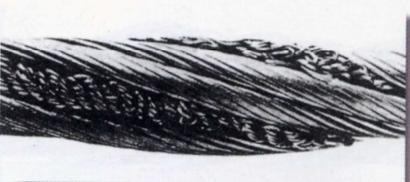
Deformazione a canestro di una fune multitrefoli. (Sostituire immediatamente la fune).



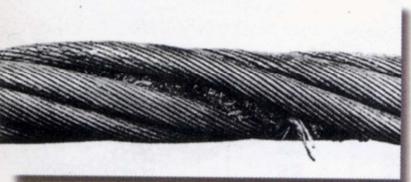
Espulsione dell'anima metallica, generalmente associata ad una deformazione a canestro nella zona adiacente. (Sostituire immediatamente la fune).



Espulsione dei fili dei trefoli dovuti a ripetuti "Strappi". (Sostituire immediatamente la fune)



Fuoriuscita dell'anima metallica dovuta ad una distorsione derivante da un carico improvviso. (Sostituzione immediata della fune).



Aumento del diametro della fune dovuto alla fuoriuscita dell'anima tessile. (Sostituire la fune).



Grave attorcigliamento della fune che provoca la fuoriuscita dell'anima tessile. (Sostituire immediatamente la fune).

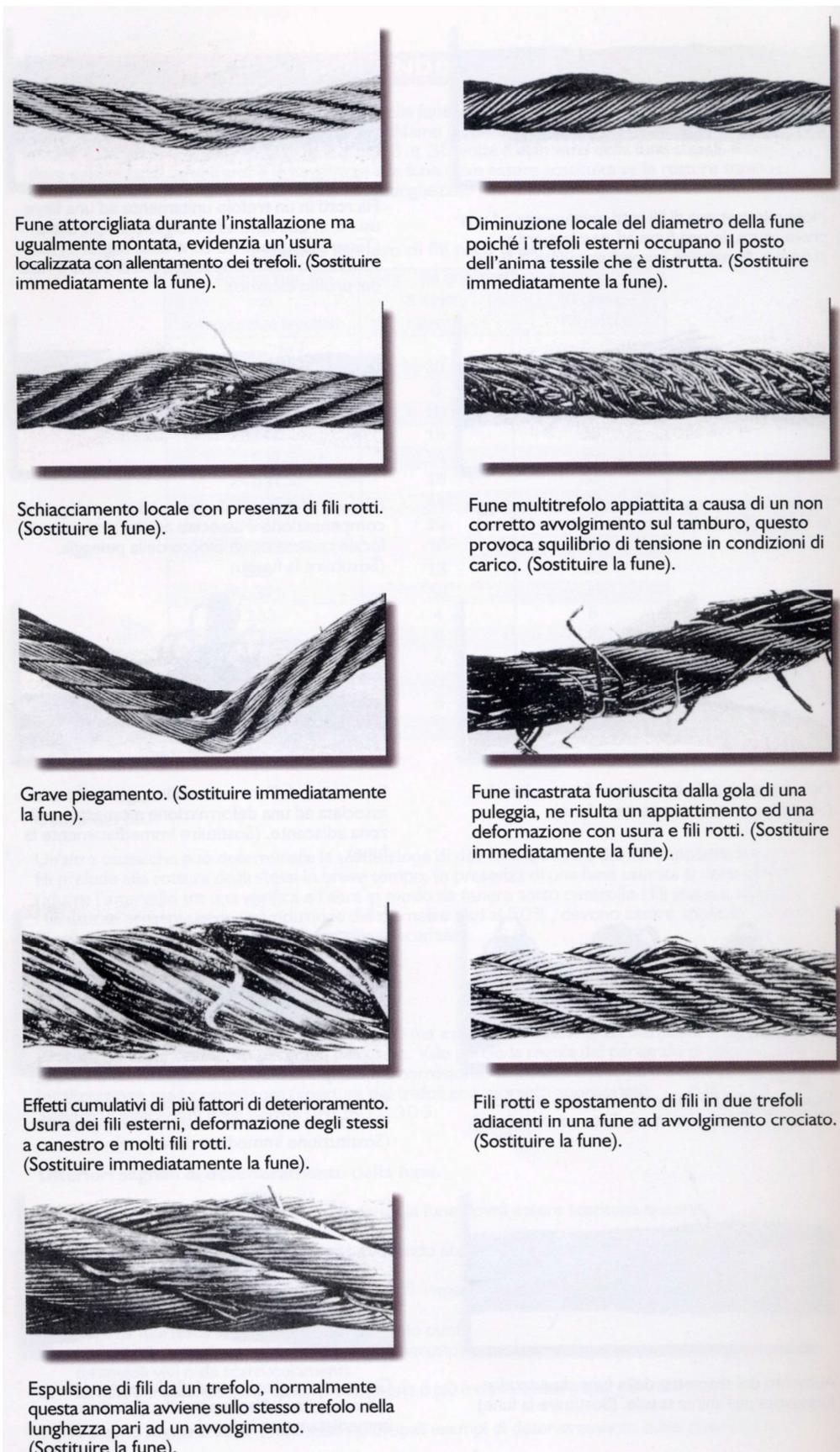


Figura 22 - Esempi di deterioramento sulle funi

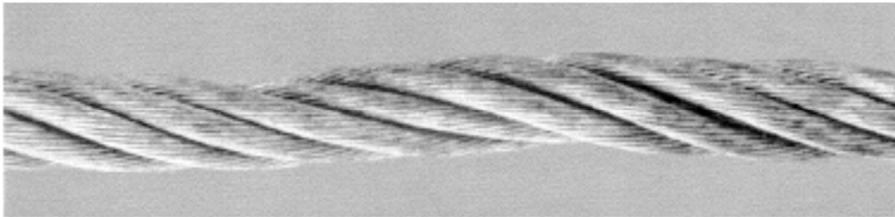


Figura 23 - Riduzione della sezione



Figura 24 - Modifica del passo (visibile dal confronto tra le due funi)



Figura 25 - Deformazione meccanica



Figura 26 - Surriscaldamento per fulminazione

7.5 Messa in opera

Una volta uscita dalla produzione, la fune viene messa in opera seguendo le seguenti fasi:

Prove (in fabbrica):

- misure dimensionali sui fili;
- prove meccaniche sui fili (carico rottura a trazione, numero piegamenti alternati, numero giri di torsione);
- prove sugli spezzoni (carico rottura a trazione).

Le funi non certificate, oggi quasi fuori produzione perché sostituite dalle funi CE, prima del trasporto presso l'impianto per la sua successiva installazione, vengono riconosciute e punzonate dall'Autorità di sorveglianza. In particolare, uno spezzone punzonato della fune viene inviato ai laboratori qualificati per le prove di strappo e piegamento previste dalla normativa nazionale. Il Direttore dell'esercizio o il Direttore dei lavori, nel caso di un impianto nuovo, provvedeva a riconoscere la fune (verificando le caratteristiche della fune e il punzonamento eseguito dall'Autorità di sorveglianza), esaminando l'esito del certificato di collaudo della fune e autorizzandone l'installazione sull'impianto.

Le funi CE invece sono collaudate in fabbrica e vengono marcate CE dal fabbricante. Nel caso di un impianto nuovo il Direttore dei lavori produce la documentazione di certificazione della fune.

Stendimento

La fune viene confezionata in fabbrica e avvolta su bobine. Le funi avvolte su bobine dovrebbero essere normalmente svolte su cavalletti adatti, mantenendo la fune costantemente in tensione onde evitare eventuali attorcigliamenti.

La figura seguente mostra come svolgere correttamente una fune generica, ma nei suoi principi è valida anche per le funi degli impianti.



Figura 27 – Metodi di svolgimento fune

Seguono quindi le fasi di **realizzazione degli attacchi di estremità** (testa fusa, ancoraggi) nel caso di funivie bifune, e dell'**impalmatura, per quanto riguarda** le funi portanti-traenti di seggiovie, cabinovie, sciovie, traenti di bifune ecc..., per le quali si rimanda ai paragrafi successivi.

7.6 Attacchi di estremità

Le funi sono normalmente dotate di attacchi alle loro estremità per il collegamento a tamburi, contrappesi o vetture. In particolare, per gli impianti funiviari, i sistemi di ancoraggio più frequenti sono le **teste fuse** e l'avvolgimento su **tamburi**.

7.6.1 Testa fusa

Consiste in una colata con leghe in metallo a basso punto di fusione o con speciali resine a freddo.

Viene utilizzata per ancorare il carrello delle vetture delle funivie bifune ai capi dei semianelli della fune traente oppure per ancorare le funi portanti o tenditrici ai contrappesi.

Viene realizzata utilizzando appositi stampi, dentro cui viene posto un capo della fune con i fili svolti singolarmente e ripiegati per evitare scivolamenti all'interno della colata. La colata avvolge i fili in maniera uniforme e forma una struttura unica con essi.

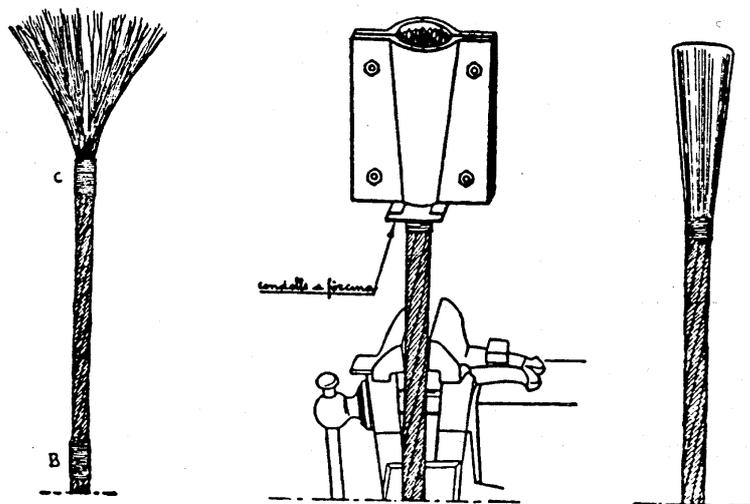


Figura 28 Schema di realizzazione di una testa fusa

Siccome il punto di giunzione tra la fune e la testa fusa è un punto critico ed è soggetto a forze concentrate, la normativa italiana prevede il rifacimento delle teste fuse ogni cinque anni, con conseguente taglio della fune e accorciamento della stessa.

7.6.2 Tamburo d'ancoraggio

Viene utilizzato in due casi:

- 1- al posto della testa fusa per ancorare le cabine delle funivie alla fune traente. In tal caso si parla comunemente di "tamburello", il cui vantaggio è di poter spostare la fune periodicamente in modo da diminuire il cosiddetto "cemento ciclico". La normativa (EN 12927-7) prevede in particolare lo spostamento della fune ogni due anni.

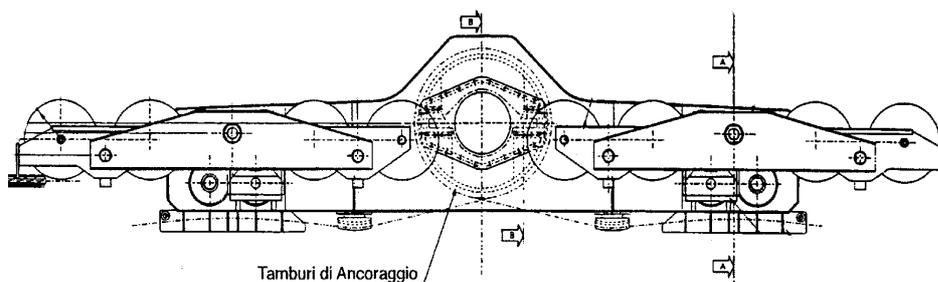


Figura 29 Schema di posizionamento di un tamburo di ancoraggio

- 2- Per ancorare le funi portanti alle strutture di stazione o al contrappeso, quando il tamburo è integrato nel contrappeso stesso.

7.7 L'impalmatura

L'**impalmatura** è un procedimento mediante il quale è possibile unire i due capi di una stessa fune senza impiego di morsetti o altri dispositivi di presa. Se tale operazione viene realizzata a regola d'arte, la fune risulta perfettamente omogenea, il carico di rottura invariato e il punto di unione poco visibile.

E' un procedimento utilizzato per creare un anello di fune, ma viene anche applicato nel caso sia necessario sostituire un tratto di fune traente o portante-traente, perché presenta fili rotti o danneggiati, oppure perché si è reso necessario l'accorciamento della fune stessa.

In termini semplificati, l'operazione viene eseguita affiancando due capi della fune per una lunghezza stabilita dalle norme specifiche, e riportata di seguito:

- sciovie: almeno 1.300 volte il diametro della fune;
- seggiovie: almeno 1500 volte il diametro della fune;
- funivie bifune: almeno 1200 volte il diametro della fune.

Questa dimensione definisce anche la lunghezza minima dell'impalmatura.

Di seguito viene riportato lo schema di principio per la realizzazione dell'impalmatura per una sciovia.

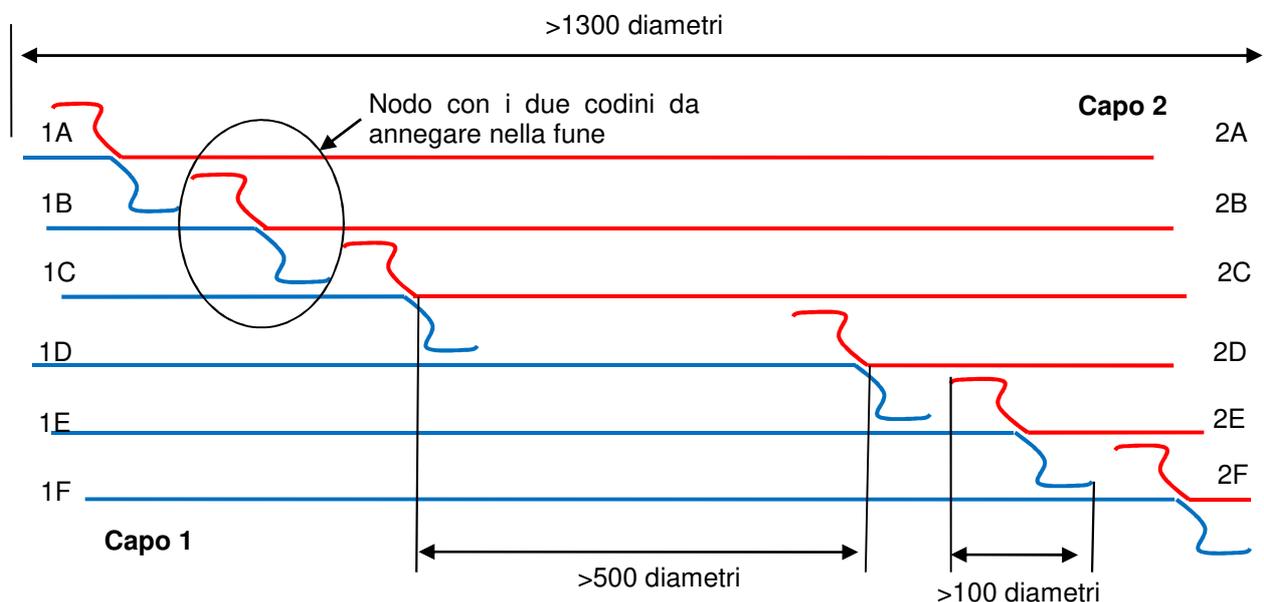


Figura 30 Schema di principio di un'impalmatura

Facendo riferimento allo schema della figura precedente, supponendo una fune a sei trefoli, per ogni capo vengono svolti e tagliati tre trefoli (1A, 1B, 1C, 2D, 2E, 2F). I tre trefoli non tagliati (1D, 1E, 1F, 2A, 2B, 2C) vengono avvolti attorno all'altro capo della fune, al posto dei tre trefoli tagliati. Le sostituzioni dei trefoli vengono terminate a distanze differenti e imposte dalla norma (vedi elenco seguente). Si ottengono in tal modo sei coppie di trefoli che si congiungono in sei punti detti "nodi". In questi punti i trefoli vengono fatti annegare nella fune al posto di tratti dell'anima tessile che sono stati precedentemente tolti dall'interno della fune. Il tratto annegato (spesso si parla anche di tratto accecato), è detto "codino".

Di seguito sono elencate le caratteristiche delle impalmatura imposte dalle **norme PTS** per i vari tipi di impianto.

Per tutti:

- lunghezza tratto centrale, compreso fra i due nodi interni: pari ad almeno 500 diametri;
- lunghezza dei trefoli accecati: pari ad almeno 100 diametri; i trefoli accecati possono essere allungati fino a portarli a contatto tra loro;
- diametro massimo in corrispondenza dei nodi: non deve superare del 10% il diametro nominale della fune;
- caratteristiche geometriche diverse possono costituire oggetto di deroga, previa presentazione di valide giustificazioni;

- la distanza fra due eventuali impalmature continue deve essere comunque tale da assicurare, fra gli estremi di esse, un tratto integro di lunghezza non inferiore a 3000 volte il diametro nominale della fune.

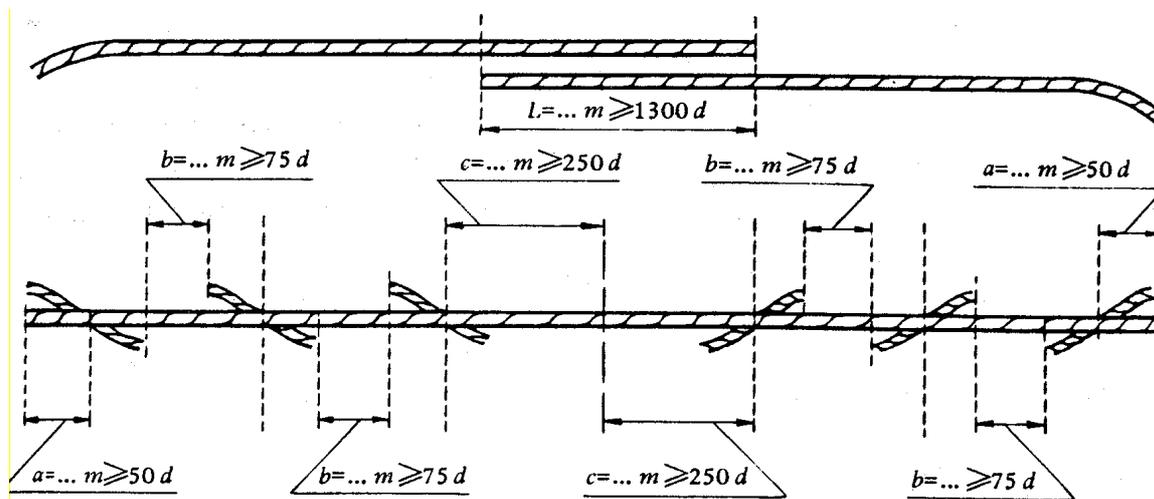


Figura 31 Distanze tra i nodi di un'impalmatura

Per le funi certificate, si deve eseguire l'impalmatura secondo quanto previsto dalla norma EN 12927-3. In tal caso, la lunghezza dell'impalmatura deve sempre essere almeno 1200 volte il diametro della fune. La lunghezza dei codini deve essere almeno 60 volte il diametro della fune.

Sulla stessa fune sono ammesse al massimo 5 impalmature compresa quella iniziale, ma per le funi messe in opera prima del 31/12/1999 il numero massimo di impalmature è 3. Si considerano impalmature anche quelle relative ad un trefolo sostituito.

Il diametro misurato della fune su una nuova impalmatura con l'impianto in tensione, deve essere compreso tra 1,1 e 0,9 volte il diametro della fune. Per gli impianti ad ammassamento fisso il valore massimo è elevato a 1.15. Le ondulazioni ammesse non devono essere maggiori del 6% del diametro nominale della fune.

7.8 Controlli

Le funi degli impianti a fune sono sottoposte a controlli periodici, strumentali e visivi, in base a scadenze dettate dalla normativa vigente, volti ad accertarne il corretto funzionamento ed il permanere delle condizioni di sicurezza.

In particolare, i controlli servono a rilevare:

- irregolarità evidenti di cordatura, fili allentati, corrosioni, abrasioni, rapido progredire delle rotture, evidenziabili in particolare attraverso l'esame visivo;
- eccessive riduzioni di diametro, anche in relazione al limite inferiore al di sotto del quale non è garantita la corsa libera degli elementi di serraggio della morsa;
- irregolarità dell'impalmatura quali il diametro anomalo dei nodi, lo scorrimento dei codini, la fuoriuscita dell'anima, le deformazioni dei trefoli in corrispondenza dei nodi e l'allentamento dei fili in corrispondenza dei nodi;
- rotture interne, attraverso l'esame magneto-induttivo, che, sommate a quelle esterne, facciano raggiungere il limite di resistenza indicato dalla normativa.

Le verifiche delle funi portanti-traenti, portanti, traenti, zavorra e soccorso vengono effettuate tipicamente durante il periodo di interruzione del servizio degli impianti di risalita.

La valutazione di riduzione di resistenza iniziale della fune viene effettuata sulla base della riduzione convenzionale della sezione metallica, differenziata tra quella generata da fili rotti, riduzione del diametro, abrasioni.

Devono essere eseguiti controlli straordinari sulle parti riparate della fune e in caso di eventi che possano averla danneggiata (ad esempio: accavallamento, scarrucolamento, scorrimento dei morsetti di attacco dei veicoli e dei traini) o a seguito di eventi eccezionali (ad esempio formazione di ghiaccio, tempesta, fulmini). La frequenza e la tipologia dei controlli straordinari sono definite dal Direttore o dal Responsabile dell'esercizio.

Per verificare lo stato delle funi possono essere usati diversi esami non distruttivi, più o meno efficaci in funzione del tipo di fune e della natura del difetto che si intende indagare. Nel seguito vengono illustrati i metodi più utilizzati.

7.8.1 Ispezione visiva

L'ispezione visiva viene eseguita periodicamente, movimentando la fune a bassa velocità, soprattutto per esaminare i punti singolari (zone di danneggiamento già rilevate, impalmatura, attacchi di estremità). L'ispezione visiva di tutta la fune, prevista dalle normative, non è di facile esecuzione; attualmente però esistono strumenti che digitalizzano l'immagine della fune, permettendo un esame visivo "a posteriori" più comodo e completo, in particolar modo per quanto riguarda la regolarità del passo e del diametro..

Gli aspetti essenziali da controllare sono:

- lo stato di lubrificazione;
- il grado di corrosione;
- l'eventuale danneggiamento dei fili causato da pressione e usura;
- la presenza di fili rotti.

7.8.2 Metodo magneto-induttivo

Il metodo di prova magneto-induttivo delle funi d'acciaio è definito comunemente come un metodo di controllo sia interno che esterno delle funi.

Principio di funzionamento

Il metodo si basa sul principio di magnetizzazione della fune, grazie all'impiego di campi magnetici continui o alternati a cui fanno riscontro, in corrispondenza di discontinuità o variazioni delle caratteristiche magnetiche della fune, distorsioni del campo e del flusso di intensità sufficiente per essere rilevate.

La possibilità di indurre un flusso magnetico nella fune in prova è consentito dalle proprietà ferromagnetiche proprie del materiale della fune stessa.

La caratteristica dei materiali ferromagnetici è quella di lasciarsi magnetizzare. La particolarità di questi materiali è il possedere numerose zone al proprio interno in cui i campi magnetici dei singoli atomi risultano essere allineati.

In un materiale smagnetizzato l'orientamento di ogni zona è puramente casuale, fino a quando, mediante la presenza di una corrente elettrica o di un campo magnetico esterno, i campi magnetici di queste zone si allineano tutti, generando una magnetizzazione macroscopica del materiale.

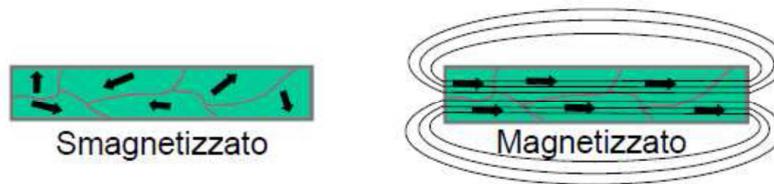


Figura 32 Il flusso magnetico nei materiali ferromagnetici

I test magneto-induttivi utilizzati attualmente sono di due tipi, permettono di misurare il flusso magnetico e prendono il nome di :

- **analisi del campo disperso** (Localized-Flaw inspection) : LF ;
- **misura della sezione persa** (Loss of Metallic cross sectional Area) : LMA

Analisi del campo disperso (LF)

È la tecnica più diffusa e si basa sulla rilevazione di una variazione delle linee del campo magnetico indotto nella fune, detto appunto **campo disperso**, dovuta ad una rottura dei fili della fune, cioè ad una discontinuità del materiale.

La tecnica consiste nel magnetizzare, con un apposito strumento, il tratto di fune che interessa esaminare, generando un campo avente direzione parallela all'asse della fune medesima. Le linee del flusso magnetico si manterranno rettilinee e parallele nei tratti in cui il materiale non presenta alterazioni.

Qualora invece siano presenti delle discontinuità, come una rottura di fili, le linee di flusso tenderanno a ricongiungersi al di fuori della discontinuità, assumeranno cioè densità diversa a monte e a valle della rottura, e non saranno più parallele né, tanto meno, rettilinee.

Da notare che, se la discontinuità è parallela al campo magnetico, questa può non essere rilevata.

Questo metodo può fornire un'informazione qualitativa del difetto come ad esempio: rottura singola, multipla, corrosione di un tratto, fatica, usura ecc.. Per contro, non permette di quantificare il danneggiamento.

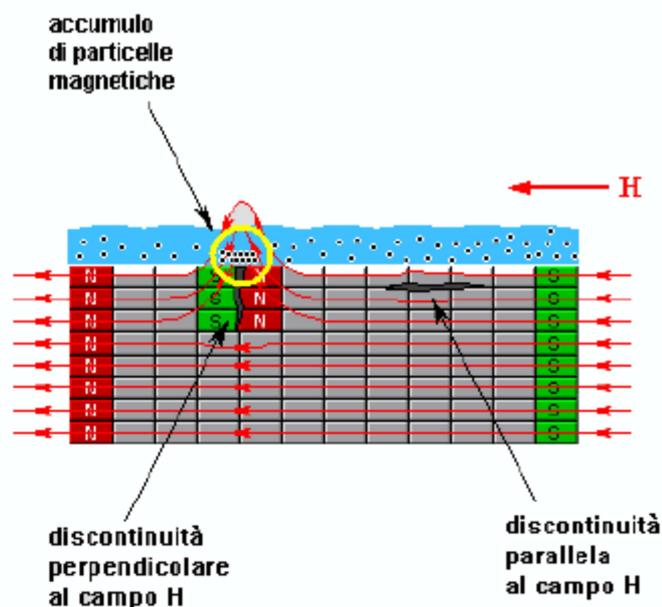


Figura 33 Deviazione del flusso magnetico

Misura della sezione (LMA)

Questo metodo consiste nel misurare il flusso magnetico che viene indotto nella fune da un apposito strumento, ottenendo un valore proporzionale alla sezione metallica in quel punto.

Ogni tipo di danno che comporta una “variazione di sezione”, viene rilevato dallo strumento come una variazione del campo magnetico.

Tale metodo fornisce solamente una indicazione quantitativa del danno rilevato e non qualitativa. Perciò la variazione di sezione rilevata (esempio diminuzione) può corrispondere a un qualsiasi tipo di difetto tipico delle funi. Perciò il metodo non è appropriato per determinare con certezza la tipologia di danno e non può fornire informazioni sulla possibile continuità di esercizio o necessità di sostituzione della fune stessa.

Fornisce comunque un'indicazione della resistenza meccanica residua della fune e perciò gli apparecchi moderni di controllo sono dotati anche di questa tipologia di misura oltre alla ormai consolidata misura LF.

L'apparecchio di prova

Lo strumento che viene utilizzato nel metodo magneto-induttivo è suddiviso in due parti:

- il **detector**: è l'elemento che viene installato direttamente sulla fune da esaminare;
- l'apparecchio **registratore di segnali**.

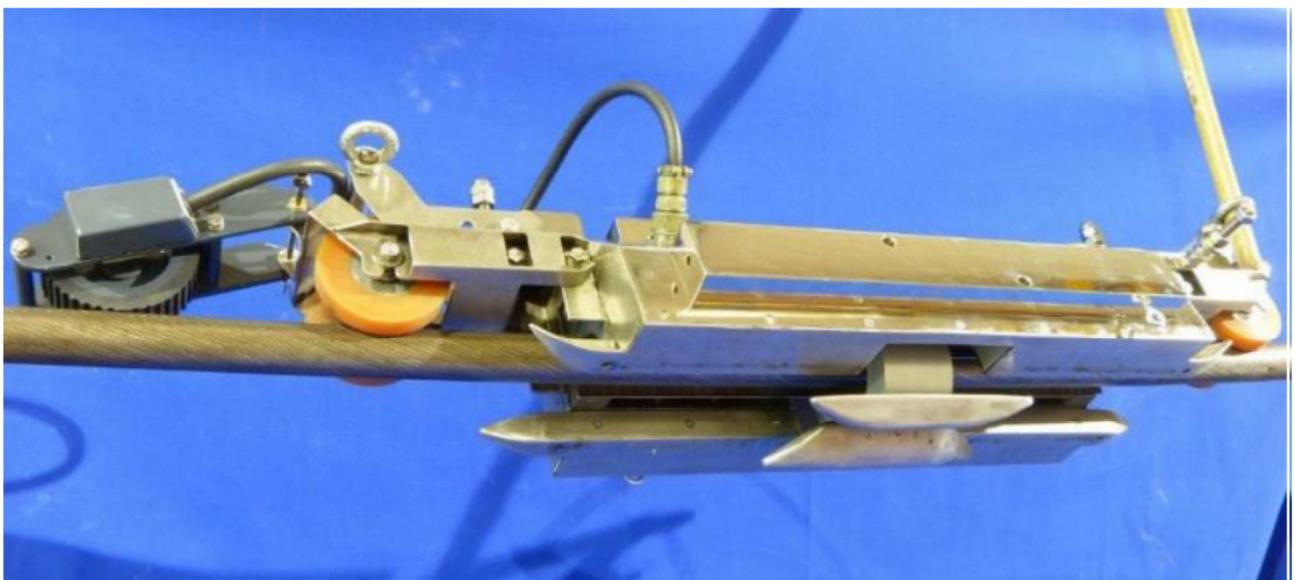


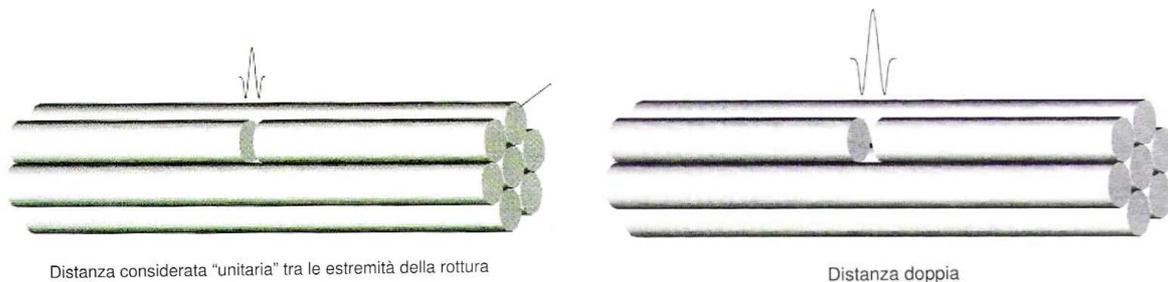
Figura 34 Detector e rilevatore di segnali

Un componente non direttamente collegato all'apparecchiatura ma fondamentale per il funzionamento della stessa è il **filo test**. È solitamente realizzato mediante una porzione di fune di 400/500 mm di filo tondo con diametro simile a quello esterno della fune da misurare. Viene realizzato in laboratorio, inserendo al suo interno un difetto noto in una posizione ben prestabilita della sezione. Essendo il difetto noto su questi fili "prova", l'operatore conosce la forma del segnale corrispondente e, facendolo passare nel detector, capisce immediatamente se l'apparecchiatura fornisce un segnale corretto. Infatti prima di esaminare la fune, l'esaminatore introduce nell'apparecchiatura uno spezzone di filo test e controlla che il segnale indicato su display o carta corrisponda all'anomalia. Se così è, la prova può iniziare.

Rilevazione delle rotture

Quando il difetto è causato dalla singola rottura di uno dei fili appartenenti alla fune, il segnale rilevato è caratterizzato da un picco del segnale del display.

L'ampiezza del segnale è in funzione della distanza presente tra i due estremi della rottura. Maggiore è la distanza, più l'ampiezza del segnale sarà accentuata.



Se la distanza tra gli estremi della rottura è elevata, questa viene rilevata con due picchi, come nelle figure seguenti, dando l'illusione che si tratti di due rotture distinte:

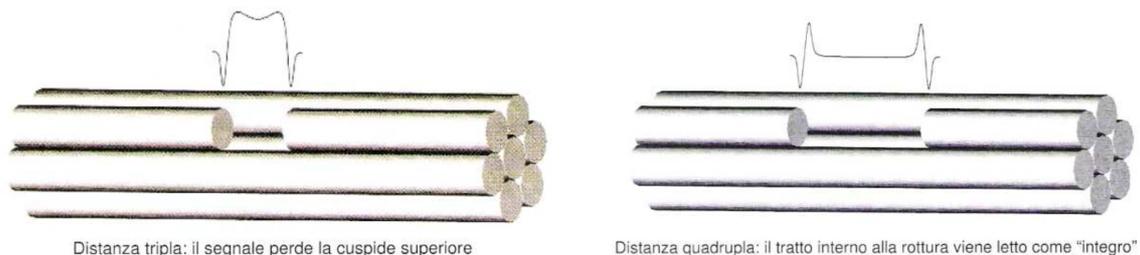


Figura 35 Tipo di danno e segnale corrispondente del rilevatore

Esempi di grafici

Di seguito sono riportati due esempi di grafici che visualizzano delle anomalie in spezzoni di funi metalliche.

Il primo mostra la mancanza di un filo per alcune decine di centimetri (due picchi nel grafico LF), con diminuzione di sezione metallica dell'1% (picco nel grafico LMA).

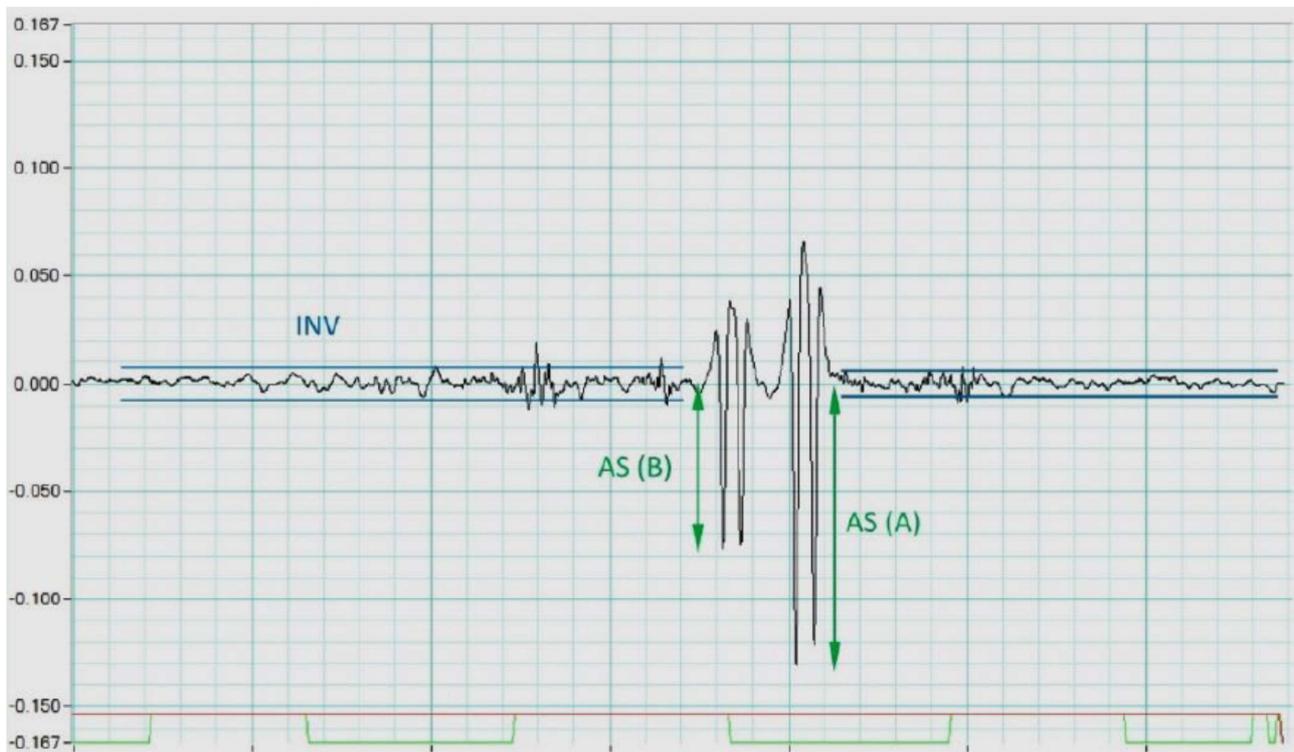
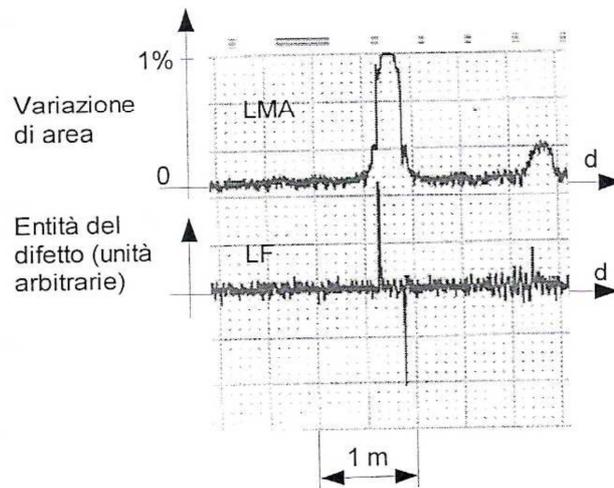


Figura 36 Grafici di fili mancanti

Il secondo mostra una diminuzione di sezione (grafico LMA) in un tratto di alcune decine di metri a causa di corrosione e probabili rotture di fili (aumento del rumore di fondo e picchi localizzati del grafico LF)

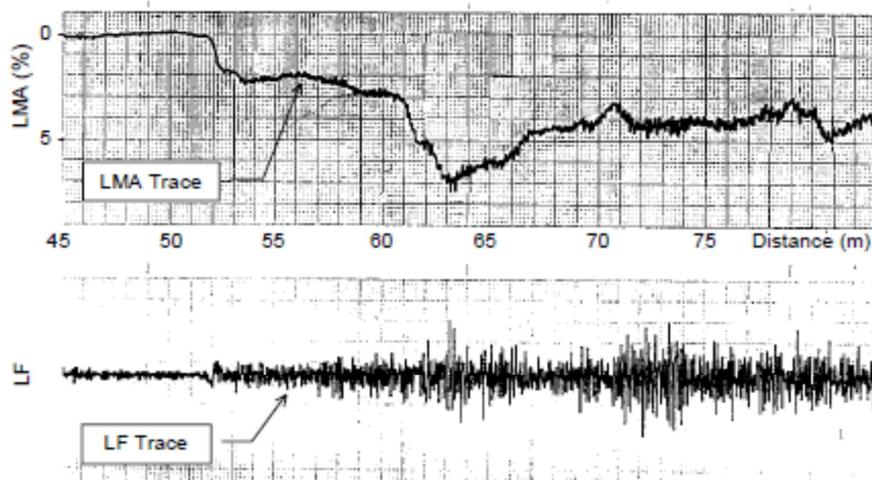
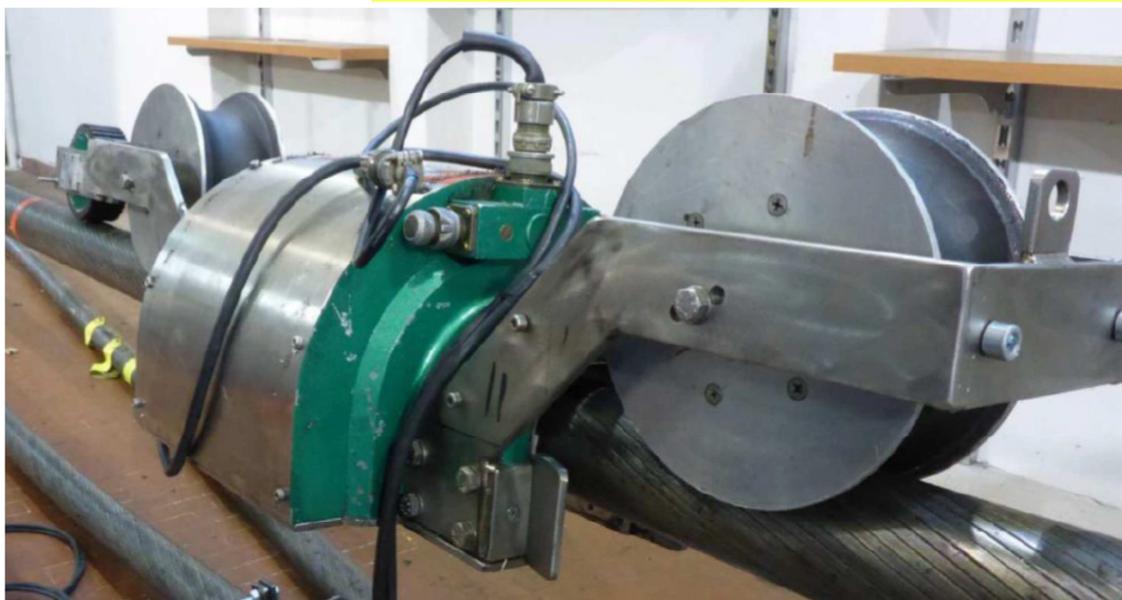
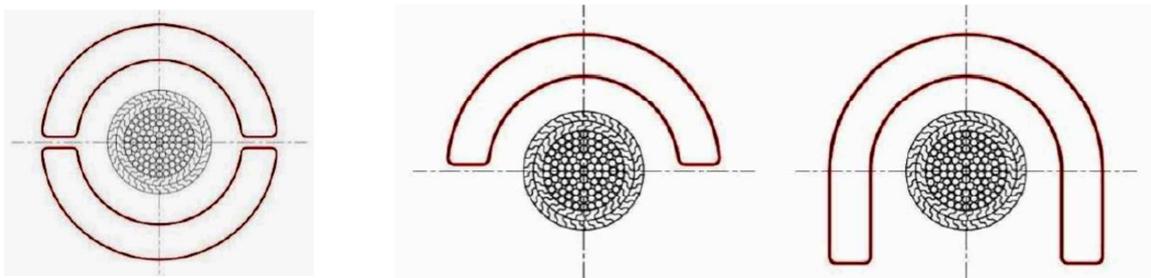


Figura 37 Grafico per corrosione

Negli ultimi anni sono stati sperimentati nuovi apparecchi in grado di esaminare anche i tratti di fune portante che si trovano sulle scarpe di stazione delle funivie o sulle scarpe dei sostegni. Tali apparecchi sono del tipo “aperto” in quanto i sensori che rilevano il campo magnetico indotto non avvolgono completamente la fune, ma sono in grado di rilevare indicazioni di fili rotti in qualunque posizione essi si trovino. Nella seguente figura sono indicate le posizioni dei sensori nel caso di apparecchio chiuso e nel caso di apparecchi aperti. La foto mostra un apparecchio di tipo aperto.



7.8.3 Raggi X e raggi gamma

È un tipo di controllo adatto all'analisi di tutte quelle zone in cui l'esame magneto-induttivo, per il suo principio di funzionamento, non è in grado di rilevare l'entità del danno o dove, per la geometria degli elementi, il detector non può essere fatto scorrere sulla fune (sostegni di funi portanti).

L'esame radiografico permette di rilevare fili rotti internamente alla fune a condizione che la superficie di frattura abbia un andamento perpendicolare rispetto all'asse dei fili. Questo avviene nelle rotture a fatica che si possono verificare in corrispondenza ai due imbrocchi delle carrelliere ed in minor misura sulle estremità delle scarpe di stazione e sostegno.

Per contro l'esame radiografico non è in grado di rilevare fili rotti con superficie di frattura trasversale rispetto all'asse dei fili. Questo tipo di rottura può verificarsi in campata o in punti particolari come conseguenza dei fenomeni di tensocorrosione.

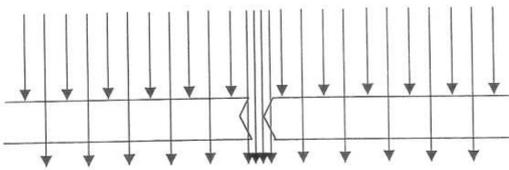


Grafico 38 Filo rotto per fatica su carrelliera

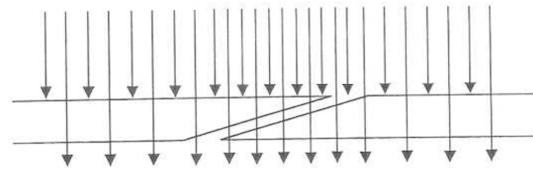


Grafico 39 Filo rotto per tensocorrosione

L'interpretazione dai dati ottenuti con questo metodo può essere resa più agevole se il personale addetto possiede una buona conoscenza delle caratteristiche della fune e buona padronanza nell'utilizzo delle apparecchiature necessarie.

I sistemi basati sui raggi X richiedono fonti di energia elettrica per funzionare. Nei casi in cui sia particolarmente difficile far arrivare l'elettricità fino al punto di misura, si preferisce usare i sistemi che si basano sui raggi gamma, i quali vengono generati da particolari materiali radioattivi, per cui non richiedono fonti di energia esterna.

Tuttavia questi controlli non consentono di modulare l'intensità della radiazione, per cui sono di più difficile lettura. Inoltre presentano una più alta emissione di raggi penetranti, quindi potenzialmente pericolosi se non trattati adeguatamente.

7.8.4 Periodicità controlli visivi

Le periodicità dei controlli a vista sono indicate sul D.D. 144 del 2016.

Seggiovie e telecabine, sciovie

Le funi portanti-traenti devono essere controllate a vista ogni mese in corrispondenza delle impalmature e delle zone danneggiate e con riparazioni, ed ogni anno su tutta la fune quando non è prevista l'esecuzione dell'esame interno. Tale controllo può essere effettuato dal capo servizio.

Le funi tenditrici devono essere controllate a vista ogni 3 mesi in corrispondenza degli attacchi di estremità, delle deviazioni, delle zone danneggiate ed altri punti critici ed ogni anno su tutta la fune.

Le funi telefoniche devono essere controllate a vista ogni anno in corrispondenza degli attacchi, dei sostegni, delle deviazioni e altri punti critici.

Funivie

Le funi portanti devono essere controllate a vista ogni mese in corrispondenza delle riparazioni e delle zone danneggiate, ogni 3 mesi in corrispondenza degli attacchi di estremità ed ogni anno su tutta la fune quando non è prevista l'esecuzione dell'esame interno.

Le funi traenti e zavorra devono essere controllate a vista ogni mese in corrispondenza delle impalmature e delle zone danneggiate e con riparazioni, ogni 3 mesi in corrispondenza degli attacchi di estremità ed ogni anno su tutta la fune quando non è prevista l'esecuzione dell'esame interno.

Le funi di soccorso devono essere controllate a vista ogni 3 mesi in corrispondenza delle impalmature e delle zone danneggiate e con riparazioni, ed ogni anno su tutta la fune quando non è prevista l'esecuzione dell'esame interno.

Nella seguente tabella sono riassunti i controlli visivi sui diversi tipi di fune.

Controlli visivi sulle funi		Ogni mese	Ogni 3 mesi	Ogni anno (se non è da fare controllo interno)
Seggiovie, telecabine e sciovie	Fune portante traente	Impalmatura e rotture		Tutta la fune
	Fune tenditrice		Attacchi, deviazioni e rotture	Tutta la fune
	Fune telefonica			Attacchi, deviazioni e rotture
Funivie	Fune portante	Riparazioni e rotture	Attacchi	Tutta la fune
	Fune traente e zavorra	Impalmatura e rotture	Attacchi	Tutta la fune
	Fune soccorso		Impalmatura e rotture	Tutta la fune

Oltre a queste indicazioni normative devono essere seguite le indicazioni dei manuali di uso e manutenzione emanati dal costruttore della fune.

7.8.5 Periodicità controlli magneto-induttivi

Le periodicità dei controlli magneto-induttivi sono indicate sul D.D. 144 del 2016.

Le funi portanti, portanti-traenti, traenti e zavorra e soccorso devono essere controllate, oltre al momento della messa in servizio, ogni 2 anni fino al 10° anno e poi ogni anno.

7.9 Manutenzione: criteri e periodicità

7.9.1 Lubrificazione

La lubrificazione della fune facilita lo scorrimento reciproco dei fili ed inibisce la formazione di ossido.

La scelta del lubrificante da utilizzare, sempre del tipo senza contenuto di solventi, deve essere fatta in accordo con quanto indicato dalla ditta produttrice della fune nel manuale di uso e manutenzione, e deve essere compatibile con il lubrificante originale e con la tipologia di rivestimento di rulli e pulegge.

La lubrificazione viene generalmente eseguita con frequenza annuale, ma alcune funi non richiedono lubrificazione in quanto mantengono la lubrificazione d'origine nel tempo.

È importante che la superficie da lubrificare sia preventivamente pulita meccanicamente o chimicamente, e che la lubrificazione venga eseguita in assenza di umidità, per evitare la penetrazione di vapore d'acqua all'interno della fune.

Il grasso in eccedenza deve essere asportato meccanicamente mediante una spazzola od un mezzo analogo.

Ulteriori indicazioni specifiche sono indicate sui manuali di uso e manutenzione.

7.9.2 Riparazione

Non sono ammesse saldature in caso di fili rotti.

Le norme EN 12927-3 e 12927-7 prevedono la riparazione delle funi secondo i seguenti criteri:

Fune a trefoli

- se non si applicano i criteri di dismissione e dalla fune sporgono fili rotti, tutte le estremità dei fili devono essere rimosse;
- se si applicano i criteri di dismissione, la corrispondente sezione della fune o del trefolo può essere sostituita secondo i criteri stabiliti per le impalmature;
- è ammessa la **sostituzione di non più di due trefoli** nella stessa sezione della fune;
- **non sono ammesse più di cinque impalmature** in un'unica fune.

Fune chiusa

Se non si eccedono i criteri di dismissione e se gli spazi tra le due estremità dello stesso filo non sono maggiori di un diametro della fune, lo spazio deve essere riempito con materiale bloccante. Se lo spazio è maggiore di un diametro della fune, deve essere ristabilita la continuità del filo

Secondo i criteri di dismissione non sono ammessi due fili rotti adiacenti. Tale difetto locale può essere riparato attenendosi ai seguenti requisiti:

- la **lunghezza minima di ciascun filo sagomato** sostituito in una fune deve essere **almeno pari a 100 volte** il diametro della fune;
- **non è ammessa la sostituzione di più di tre fili adiacenti** nella stessa sezione longitudinale di una fune attraversata dalla vettura;
- la **distanza di collegamento dei fili deve essere pari almeno due volte** la lunghezza di avvolgimento del trefolo.

Impalmatura

Riparazione **su un'impalmatura**

- nella zona dell'impalmatura sono ammessi al massimo **due nodi aggiuntivi** quando occorre riparare uno o più trefoli all'interno dell'impalmatura;
- la distanza tra un nodo esistente e un nodo aggiuntivo, o tra due nodi aggiuntivi, deve essere **almeno 200 volte** il diametro nominale della fune;
- la geometria dell'impalmatura deve rimanere nei limiti ammessi dalla norma (capitolo 7.7);
- se il diametro della fune in corrispondenza dei codini è **minore dell'85%** del diametro nominale, questa zona deve essere riparata.
-

Riparazione **al di fuori di un'impalmatura**

- la **distanza tra due nodi aggiuntivi** al di fuori di un'impalmatura deve essere **almeno 200 volte** il diametro nominale della fune;
- la **lunghezza dei codini di** un trefolo sostituito deve essere **almeno 100 volte** il diametro nominale della fune.

Accorciamento

I requisiti di cui sopra valgono anche per l'accorciamento delle funi.

7.9.3 Spostamento morsetti

Per evitare danneggiamenti locali della fune, con conseguente possibile rottura dei fili metallici, in corrispondenza dei morsetti di attacco dei veicoli, è necessario che questi vengano periodicamente spostati lungo la fune con una frequenza determinata in base alla seguente relazione:

$$\text{Numero ore} = L \times K / v$$

dove:

- L = lunghezza fune [m];
- K = 0.8 (funi parallele) – 0.5 (funi crociate);
- v = velocità di esercizio [m/sec];

e comunque, durante il periodo di esercizio, almeno ogni 2 mesi.

7.9.4 Spostamento attacchi (bifune)

Le norme prevedono, come già indicato, le seguenti periodicità:

- spostamento sui tamburi delle funi traenti ogni 2 anni
- rifacimento teste fuse: ogni 5 anni.

7.9.5 Scorrimento portanti e controlli speciali

All'atto della costruzione dell'impianto, o in occasione della sostituzione di funi portanti, deve essere prevista una riserva di fune avente lunghezza almeno tale da consentire l'effettuazione di un congruo numero di scorrimenti.

Secondo le norme, le funi portanti ancorate o tese mediante tenditrice e le funi portanti direttamente contrappesate, quando per le carrelliere è rispettato il rapporto di curvatura $R/D > 150$, dove R è il raggio di curvatura della carrelliera e D è il diametro della fune, devono essere sottoposte a scorrimento almeno **ogni 12 anni**.

Qualora non sia rispettato il rapporto di cui sopra per la carrelliera, lo scorrimento deve avvenire:

- almeno ogni **7 anni** se il rapporto di curvatura R/D è compreso tra **120 e 150**;
- almeno ogni **5 anni** se il rapporto di curvatura R/D è compreso tra **90 e 120**.

L'entità dello scorrimento deve essere almeno pari alla maggiore delle seguenti lunghezze, opportunamente maggiorata per poter effettuare il controllo magneto-induttivo sul tratto di fune spostato:

- lunghezza del tratto interessato dalla carrelliera o dagli analoghi dispositivi di rinvio al contrappeso;
- lunghezza dei tratti interessati dalle eventuali scarpe di appoggio di stazione e/o di linea, avendo cura che il tratto precedentemente interessato dalla scarpa di stazione non venga successivamente posizionato sulla carrelliera e che i tratti interessati dalle scarpe di linea vengano disposti in campata aperta.

Per quanto attiene ai cavallotti sulle funi portanti deve essere previsto il loro spostamento con le periodicità e modalità previste dal costruttore ma comunque almeno ogni anno.

Dopo ogni scorrimento e nell'intervallo di tempo intercorrente tra due scorrimenti consecutivi, i tratti di fune portante soggetti a flessione ciclica, in corrispondenza delle estremità delle carrelliere o di dispositivi analoghi per il rinvio diretto al contrappeso, nonché in corrispondenza di scarpe di appoggio nelle stazioni e in linea, devono essere sottoposti ad accurati controlli non distruttivi interni. I controlli devono essere individuati, come tipologia e periodicità, dal direttore di esercizio sentito eventualmente il costruttore della fune. I tratti da controllare, le modalità e **le periodicità di controllo devono essere riportati nel manuale d'uso e manutenzione dell'impianto**.

Ove non fosse possibile eseguire l'esame magneto-induttivo, dovrà essere specificato un altro metodo introspettivo di esame equivalente, oppure, in alternativa ai metodi introspettivi, dovrà essere aumentata opportunamente, da parte del direttore di esercizio, la frequenza degli scorrimenti.

I controlli specifici nell'intervallo intercorrente tra due scorrimenti vanno eseguiti secondo la seguente tabella:

Periodicità dello scorrimento	Periodicità dei controlli
Ogni 5 anni	Almeno al terzo anno
Ogni 7 anni	Almeno al quarto anno
Ogni 12 anni	Almeno al quarto e ottavo anno

Tabella 1 – Periodicità di effettuazione dei controlli speciali

7.10 Criteri di dismissione delle funi

In generale la durata in servizio delle funi è funzione della riduzione della resistenza alla trazione della fune rispetto al suo valore iniziale. La riduzione della resistenza iniziale si valuta convenzionalmente in base alla riduzione della sezione metallica.

La misura della perdita dell'area metallica viene effettuata sommando l'area dei fili rotti rilevati sulla lunghezza di riferimento considerata.

Per determinare i criteri di dismissione delle funi, sono stati adottati i seguenti principi:

- lo stesso filo, rotto in più punti all'interno della lunghezza di riferimento della fune, deve essere considerato come un unico filo rotto;
- fili allentati, fortemente deteriorati o fili riparati mediante saldatura, brasatura o incollatura devono essere considerati fili rotti;
- le funi devono essere dismesse se le loro condizioni non possono essere più valutate con i metodi di controllo attuali;
- dopo un evento esterno (fulmine, scarrucolamento, ecc.) i criteri di dismissione devono essere verificati dal Direttore dell'esercizio prima dell'ulteriore utilizzo.

7.10.1 Funi portanti

Le funi devono essere dismesse se si verifica una delle seguenti condizioni:

- Più del 5% di riduzione della sezione metallica su una lunghezza di fune pari a 6 volte il diametro della fune;
- Più del 8% di riduzione della sezione metallica su una lunghezza di fune pari a 30 volte il diametro della fune;
- Più del 10% di riduzione della sezione metallica su una lunghezza di fune pari a 200 volte il diametro della fune;

Le funi portanti vanno inoltre dismesse se ci sono due fili esterni adiacenti rotti o due fili rotti separati da un unico filo integro, nel caso in cui la distanza tra i punti di rottura è minore della lunghezza di un passo del filo esterno della fune. In alternativa i difetti si possono riparare.

Per la prima e la seconda spira di avvolgimento di fune portante sul tamburo di ancoraggio, intendendosi come prima quella rivolta verso la linea, si applicano gli stessi criteri di dismissione applicati per la fune libera. A partire dal terzo avvolgimento fino all'attacco compreso, la perdita massima ammissibile di area metallica non deve superare il doppio dei valori indicati sopra.

7.10.2 Funi traenti, portanti-traenti e soccorso

Le funi devono essere dismesse se si verifica una delle seguenti condizioni:

- Più del 6% di riduzione della sezione metallica su una lunghezza di fune pari a 6 volte il diametro della fune;
- Più del 10% di riduzione della sezione metallica su una lunghezza di fune pari a 30 volte il diametro della fune;
- Più del 25% di riduzione della sezione metallica su una lunghezza di fune pari a 500 volte il diametro della fune;

Le funi traenti, portanti-traenti e soccorso vanno inoltre dismesse se si verificano i seguenti deterioramenti locali:

- più del 50% dei fili esterni di un trefolo sono rotti in una lunghezza di avvolgimento della fune;
- il diametro misurato della fune nella zona dell'impalmatura è minore del 90% del diametro nominale della fune stessa, con l'impianto a fune in tensione;
- se la fune traente è collegata a mezzo di testa fusa, la presenza di un filo rotto o di segni di corrosione entro un passo del trefolo dall'attacco.

7.10.3 Funi tenditrici

Le funi tenditrici devono essere dismesse se si verifica una delle seguenti condizioni:

- Più del 3% di riduzione della sezione metallica su una lunghezza di fune pari a 6 volte il diametro della fune;
- Più del 5% di riduzione della sezione metallica su una lunghezza di fune pari a 30 volte il diametro della fune;
- Più del 12.5% di riduzione della sezione metallica su una lunghezza di fune pari a 500 volte il diametro della fune.

Indipendentemente dalla riduzione della sezione, le funi tenditrici devono essere tolte dall'opera:

- dopo la scadenza del 12° anno di età della fune o 18'000 ore di esercizio;
- quando presentino degradazioni tali da compromettere l'efficienza della fune;

7.10.4 Funi telefoniche

Per le funi telefoniche i criteri di dismissione in funzione della riduzione di sezione metallica sono indicati nella tabella seguente.

Classe della fune	Lunghezza di riferimento			
	Avvolgimento crociato		Avvolgimento parallelo	
	6xd	30xd	6xd	30xd
6x7	2	4	2	3
6x19	3	6	3	4
6x36	7	14	4	7
8x19	5	10	3	5
8x36	12	24		

Tabella 2 - Numero massimo di rotture visibili dei fili esterni

Le funi telefoniche hanno una vita massima di 20 anni. Si prescinde dall'età massima nel caso in cui siano controllate le funi, alla data di scadenza e successivamente ogni cinque anni e siano rispettati i limiti di cui alla tabella sopra, per tutta la loro lunghezza.

Indipendentemente dalla riduzione della sezione, le funi tenditrici devono essere tolte dall'opera quando presentano degradazioni tali da compromettere l'efficienza della fune.