



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

Facoltà di Ingegneria  
Corso di Laurea in Ingegneria Industriale

**RILIEVO DANNI CAUSATI DA SCARICHE  
ELETTRICHE AD ELEVATA TENSIONE SU  
FUNI DI IMPIANTI FUNIVIARI**

Relatore

**Prof. Vigilio Fontanari**

Laureando

**Luca Moiola**

Anno Accademico 2006/2007

# INDICE

## TIPOLGIA

<b>1. TIPOLOGIA FUNI IN ACCIAIO IMPIEGATE NELLE FUNIVIE</b>	<b>10</b>
1.1 Sguardo generale sulle funi	11
1.2 Elementi costitutivi	12
1.3 Tipologia, campi d'impiego	15
1.4 Caratteristiche tecniche delle funi	23
1.5 Materiali	30
1.5.1 Caratteristiche degli acciai delle vergelle	30
1.5.2 Materiali utilizzati per le anime flessibili	31
1.6 Costruzione delle funi	32
1.6.1 La trafilatura	32
1.6.2 Le filiere	33
1.6.3 La lubrificazione in trafilatura	33
1.6.4 Trattamenti termici sul filo	33
1.6.5 La zincatura	34
1.6.6 Laminazione del filo sagomato (Z)	34
1.6.7 Trefolatura e zincatura	35

## ESAMI PERIODICI E DURATA

<b>2. ESAMI PERIODICI E DURATA IN SERVIZIO DELLE FUNI</b>	<b>36</b>
2.1 Gradi di sicurezza componenti funiviari	39

## IMPIANTI ELETTRICI

<b>3. IMPIANTI ELETTRICI</b>	<b>40</b>
3.1 Circuiti elettrici di sicurezza	41
3.2 Dispositivi di controllo per l'avvicinamento delle vetture in stazione (dazio)	42
3.3 Impianto di messa a terra elettrica	42

## DIFETTI E DANNI NELLE FUNI

<b>4.DIFETTI E DANNI FUNI:CAUSE E LORO MANIFESTAZIONI</b>	<b>43</b>
<b>4.1 Difetti di costruzione</b>	<b>45</b>
4.1.1 Difetti dovuti ai materiali	45
4.1.2 Difetti dovuti alla lavorazione	46
4.1.3 Difetti dovuti alla cordatura	46
<b>4.2 Danni causati dalle scariche atmosferiche</b>	<b>47</b>
4.2.1 Effetti delle scariche atmosferiche sulle funi	49
4.2.2 Provvedimenti per la difesa dalle scariche atmosferiche	50

## INTRODUZIONE AL PROBLEMA DELLA FULMINAZIONE

<b>5. INTRODUZIONE AL PROBLEMA DELLA FULMINAZIONE</b>	<b>51</b>
<b>5.1 Ipotesi di eventi possibili</b>	<b>53</b>
<b>5.2 Calcolo delle entità e durate di possibili correnti di corto circuito</b>	<b>56</b>
<b>5.3 Analisi di un caso reale: fulminazione funivia S.Valentino</b>	
(Altopiano Brentonico)	<b>58</b>

## TEST E RISULTATI

<b>6. TEST E RISULTATI</b>	<b>62</b>
<b>6.1 Indagini sperimentali e verifiche meccaniche a rottura</b>	<b>63</b>
<b>6.2 Svolgimento dei test</b>	<b>65</b>
<b>6.3 Risultati del rilievo visivo</b>	<b>67</b>
6.3.1 Prova 1 <i>dinamica</i> su fune chiusa $\Phi$ 55mm – Test n° 114091	67
6.3.2 Prova 2 <i>dinamica</i> su fune a trefoli $\Phi$ 40mm – Test n° 114095	68
<b>6.4 Prova di trazione</b>	<b>70</b>
6.4.1 Premessa	70
6.4.2 Fune chiusa $\Phi$ 55	71
6.4.3 Fune a trefoli $\Phi$ 40	74
6.4.4 Commento ai risultati delle prove di strappo – esame dei grafici	75

<b>6.5 Analisi microstrutturale e microdurezze</b>	<b>76</b>
6.5.1 Tondo trazione (funne Ø 40)	76
6.5.2 Z Trazione (funne Ø 55)	82
6.5.3 Tondo Fulminato+Trazione (funne Ø 40)	87
6.5.4 Z Fulminato+Trazione (funne Ø 55)	106
<b>6.6 Microanalisi dei campioni con microscopio a scansione elettronica</b>	<b>123</b>
6.6.1 Tondo trazione (funne Ø 40)	124
6.6.2 Tondo Fulminato+Trazione (funne Ø 40)	127
6.6.3 Z Trazione (funne Ø 55)	131
6.6.4 Z Fulminato+Trazione (funne Ø 55)	136

<b>CONCLUSIONI</b>
--------------------

<b>7. CONCLUSIONI</b>	<b>141</b>
-----------------------	------------

<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>146</b>
---------------------	------------

# LISTA DELLE TABELLE

<b><u>Tab. 1</u></b> Distanze di rispetto minime previste dall'art. 2.1.06 del Regolamento1	<b>52</b>
<b><u>Tab. 2</u></b> Sovrappassi linee aeree — impianti a fune nella Regione Val D Aosta e nella Provincia di Trento	<b>54</b>
<b><u>Tab. 3</u></b> Moduli [kA] delle correnti subtransitorie di corto circuito (a 50 Hz) nelle fasi 1, 2, 3 ottenuti nell'attraversamento # 2 tramite gli algoritmi multiconduttore	<b>54</b>
<b><u>Tab. 4</u></b> Tipi di Prove di corto circuito eseguite sulle funi	<b>62</b>
<b><u>Tab. 5</u></b> Coefficienti di riduzione del carico di rottura per le funi sottoposte a corto circuito	<b>68</b>
<b><u>Tab. 6</u></b> Microdurezze del provino “Tondo Trazione” nei vari punti di campionamento	<b>74</b>
<b><u>Tab. 7</u></b> Microdurezze del provino “Z Trazione” nei vari punti di campionamento	<b>80</b>
<b><u>Tab. 8</u></b> Microdurezze del provino “Tondo Fulminato+Trazione” nei vari punti di campionamento	<b>86</b>
<b><u>Tab. 9</u></b> Microdurezze del provino “Z Fulminato+Trazione” nei vari punti di campionamento	<b>105</b>

## *Premessa*

Considerata la mancanza totale di riferimenti in letteratura tecnica, tale studio può essere considerato un primo piccolo contributo verso la comprensione dei fenomeni elettro-termici e metallurgici provocati dai corto circuiti tra linea aerea sovrappassante e fune funiviaria.

Lo stage svolto presso i Servizi Impianti a Fune della Provincia Autonoma di Trento, Laboratorio Tecnologico LA.T.I.F. mi ha permesso di entrare a contatto con una realtà territoriale molto importante. Questa relazione tecnica verterà principalmente, dopo opportuna esposizione, sull'analisi e il commento delle caratteristiche di rottura per trazione di due funi metalliche d'impianti funiviari nei due casi in cui siano state precedentemente sottoposte a fulminazione e non. Quindi il successivo passo è quello di indagare mediante analisi microscopica se la fulminazione abbia generato, nelle zona "scottata", un cambiamento locale nella microstruttura, in particolare si pensa ad una trasformazione perlitica-martensitica, che possa aver indebolito le proprietà di resistenza delle fune.

## *Impostazione del lavoro*

L'argomento è il rilievo dei danni causati da scariche elettriche di elevata potenza su funi funiviarie di diverso diametro e formazione, con prove di trazione e analisi microscopica.

**Ed è sul controllo delle funi che questo lavoro è incentrato, in particolare sull'analisi del cambiamento delle proprietà resistenziali e microstrutturali dopo fulminazione, sfruttando i dati forniti da prove di trazione ed analisi microscopica.**

Per fulminazione, si intende quella generata dal cortocircuito dovuto ad abbassamento del conduttore di fase di un elettrodotto fino ad appoggiarsi sull'impianto funiviario sottostante. Non si considera quella scaturita da scariche atmosferiche, perché di intensità elevata ma di durata molto breve.

All'argomento centrale si arriva con una panoramica sulle tipologie delle funi, materiali, costruzioni delle stesse, montaggio e manutenzioni, difetti e danni: tale premessa è necessaria per inquadrare cosa si va a controllare, come si lavora, le tipologie dei danni che una fune può subire e che si vanno a ricercare con i vari metodi di indagine.

Si inizia lo studio con un'analisi visiva dei danni provocati dalla fulminazione, affiancata poi da prove di trazione sui campioni in esame per valutare l'effetto indebolente indotto dalla scarica elettrica, quindi si passa ad un'analisi microscopica per scoprire se il calo della resistenza è stato provocato da una tempra termica in aria che ha indotto un cambiamento microstrutturale locale.

Dopo un accenno alle normative sul settore, si espongono le metodologie di prova, riportando i vari risultati.

Si conclude con considerazioni che sintetizzano i risultati ottenuti, facendo il punto delle condizioni in cui lavora una fune fulminata, per cercare di stabilire se possa continuare il proprio lavoro almeno per il tempo necessario a portare a terra eventuali passeggeri presenti sull'impianto al momento dell'incidente.