



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

Facoltà di Ingegneria  
Corso di Laurea in Ingegneria Meccatronica

Analisi numerico – sperimentale per lo studio della  
resistenza al fuoco di funi metalliche

Relatore  
Prof. Vigilio Fontanari

Laureando  
Franco Zucal

Correlatori  
Ing. Bernardo Monelli  
Ing. Fabio Degasperi  
Ing. Agostino Dallago

Anno Accademico 2006/2007

## **Introduzione**

L'utilizzo di funi metalliche si è notevolmente espanso negli ultimi anni inserendosi con maggior forza oltre che nel campo funiviario, in quello strutturale e delle macchine di sollevamento di pesi. Grazie ai progressi nella tecnologia produttiva e ad un controllo più attento nella composizione chimica si sono raggiunti elevati standard di produzione che ne hanno decretato un successo commerciale molto importante.

Visto il campo delicato di utilizzo (trasporto persone, tensostrutture) le normative impongono controlli in fase di produzione, margini di sicurezza molto elevati, verifiche sulla resistenza delle funi che vanno in opera e manutenzioni periodiche accurate. Questo garantisce un'affidabilità ed una sicurezza eccezionale per questo elemento strutturale. Si deve sottolineare che questo però vale solamente per le condizioni normali di lavoro, cioè a temperatura ambiente, in quanto non si è ritenuto che la fune possa trovarsi ad operare in altre condizioni.

A seguito di alcuni incidenti (es. funicolare Kaprun 2000 e funivia Zugspitze 2001) e all'uso sempre più comune nel campo tensostrutturale si è iniziato a prendere coscienza del fatto che il campo di indagine debba essere ampliato anche a situazioni differenti, ponendo particolare attenzione al comportamento della fune in caso di incendio.

Si deve notare come ancora oggi non vi sia una normativa dedicata per gli impianti funiviari e risulta quindi necessario far riferimento alle regolamentazioni esistenti per le strutture in acciaio nel campo delle costruzioni civili (Eurocodice 3). Tale normativa prevede prove sperimentali nelle quali la struttura in acciaio viene caricata alle condizioni nominali di esercizio e tramite l'utilizzo di appositi forni viene imposta una determinata curva tempo – temperatura (ISO 834) misurando il tempo necessario per arrivare al collasso, esso viene definito come tempo di resistenza al fuoco.

La Provincia Autonoma di Trento, visto l'elevato numero di impianti funiviari presenti nel proprio territorio, è stata da subito interessata e tramite il Laboratorio Tecnologico Impianti a Fune (La.T.I.F) ha intrapreso un'attività di ricerca di tipo sperimentale volta anche a colmare il vuoto normativo. Non è stato tuttavia possibile

estendere la campagna di sperimentazione a tutte le funi presenti nel territorio trentino a causa dell'elevato costo delle prove in termini di denaro e tempi di preparazione. Oltre a questo si deve aggiungere che a seguito del collasso della fune viene messa in pericolo l'integrità delle apparecchiature e pertanto è stato stabilito di focalizzare l'attenzione solo sui tipi più rappresentativi di fune.

Per sopperire a tali difficoltà si è deciso, in collaborazione con la Facoltà di Ingegneria di Trento, di verificare l'opportunità di estendere tale lo studio mediante un'analisi numerica agli elementi finiti e proprio in questo ambito si inserisce questo lavoro di tesi, il cui obiettivo è appunto quello di determinare il tempo di resistenza al fuoco di funi metalliche e descriverne il relativo comportamento di collasso.

Si deve sottolineare che questo studio risulta molto innovativo nel suo genere, dato che questo argomento non è mai stato affrontato fino ad ora. Da un'accurata ricerca in letteratura è emerso che le uniche indagini di tipo numerico riguardano esclusivamente funi di piccole dimensioni (funicelle a 7 fili: un filo centrale e 6 avvolti) sottoposte a trazione, oppure studi focalizzati sul problema dei contratti tra 2-3 fili. Il problema, poi, della trasmissione del calore all'interno di una fune metallica e dei suoi effetti sul relativo comportamento meccanico non è stato mai affrontato. Per comprendere le difficoltà di questo lavoro sia dal punto di vista di modellazione che dal punto di vista computazionale basti pensare che si è esaminata una fune di uso assai comune, del diametro di 60mm con ben 104 fili, sia in condizioni nominali di lavoro, ma soprattutto quando soggetta a carico termico da incendio.

Questa tesi è sostanzialmente suddivisa in due parti: nella prima si descrivono le caratteristiche principali della fune, le varie tipologie esistenti, i materiali e il processo tecnologico di produzione; successivamente vengono discussi i principali fenomeni di danneggiamento ponendo particolare attenzione a quello dovuto alle alte temperature. Nella seconda parte viene presentata l'analisi numerica per la determinazione della resistenza al fuoco della fune. La modellazione del comportamento di una fune metallica è stata condotta in due step successivi. Nel primo è stato esaminato il comportamento a freddo del flessibile in funzione del tiro applicato; si tratta di una modellazione preliminare ma indispensabile al fine di garantire l'affidabilità del modello (correttezza dal punto di vista geometrico, della maglia e dei contatti mutui tra i fili) in vista della modellazione successiva. La validazione è stata condotta comparando i risultati ottenuti con quelli di una prova di trazione eseguita

presso i laboratori La.T.I.F. Nel secondo step, invece, è stato preso in considerazione il comportamento della fune soggetta ad un carico termico di incendio. A tale scopo è stato necessario costruire due modelli: il primo, di tipo termico, mirato a stabilire l'evoluzione della temperatura in ogni punto del flessibile; il secondo, termostrutturale ha consentito di analizzare il comportamento della fune in funzione della storia termica, permettendo così di stabilire il tempo di resistenza al fuoco.

In considerazione dell'ottima corrispondenza, in termini di risultati, tra l'approccio numerico e quello sperimentale, possono essere dedotte alcune importanti considerazioni: la prima riguarda la messa a punto di una procedura di tipo numerico estremamente affidabile, vista l'estrema bontà dei risultati, in grado di determinare la resistenza al fuoco di una fune senza ricorrere al costoso e laborioso approccio sperimentale, questo permette di dare risposta alla domanda che la Provincia Autonoma di Trento ha posto all'Università. Si deve infine sottolineare che questa procedura può essere anche utilizzata come potente strumento per una corretta progettazione della fune, sia nelle condizioni nominali di esercizio che a caldo. Quest'ultimo aspetto potrebbe risultare particolarmente prezioso in un prossimo futuro, visto che allo stato attuale non vi sono norme che prevedono una progettazione che tenga conto della resistenza al fuoco, ma è auspicabile che ciò possa avvenire a breve.