POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Civile

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

Soccorso nelle funivie a va e vieni: soluzioni tradizionali e proposta di un approccio integrato

Relatore
prof. Bruno Dalla Chiara
firma del relatore

Candidato
Stefano Caserza
firma del candidato

Luglio 2019

Non misurare mai l'altezza del monte

prima d'aver raggiunto la cima.

Allora vedrai quanto era basso.

(Dag Hammarskjöld)

Sommario

1 Introduzione 6
1.1 Inquadramento 6
1.2 Obiettivo 8
1.3 Normative di riferimento 10
1.4 Ingegneria di sistema 12
2 Concetto di sicurezza e analisi funzionale 14
2.1 Concetto di sicurezza intrinseca 14
2.2 Definizione di un impianto tipo 15
2.3 Elementi costitutivi sistema A 16
2.3.1 Funi 16
2.3.2 Sostegni e scarpe 17
2.3.3 Cavallotti di linea 20
2.3.4 Argano motore 21
2.3.5 Sistema Frenante 23
2.3.6 Sistemi di tensione fune traente 24
2.3.7 Veicolo 26
2.4 Elementi costitutivi il sistema B 31
2.4.1 Argano di soccorso 31
2.4.2 Contrappeso della fune di soccorso 31
2.4.3 Rulliere di linea 31
2.4.4 Veicolo di soccorso 31
2.4.5 Esempio di procedura di soccorso 32
2.5 Svantaggi del sistema di soccorso 34
2.5.1 Costi 34
2.5.2 Fune soccorso 36
2.5.3 Tempi evacuazione 37
2.5.4 Trasbordo utenti 37
3 Analisi dei rischi e individuazione degli eventi pericolosi 38
3.1 Casistica di incidenti nelle Funivie a va e vieni 48
4 Teoria dell'affidabilità 50
5 Analisi dei guasti, analisi quantitativa di affidabilità e disponibilità 56
5.1 Sistema A: Impianto principale 56
5.1.1 Puleggia deviazione 58
5.1.2 Puleggia motrice 64

5.1.3 Argano 71
5.1.4 Tensionamento 83
5.1.5 Rullo di linea 87
5.1.6 Sistema frenante 92
5.1.7 Fune 96
5.1.8 Carrello 100
5.1.9 Cavallotto 103
5.1.10 Freno del veicolo sulla portante 108
5.2 Sistema B: Impianto di soccorso 112
5.2.1 Puleggia deviazione 115
5.2.2 Puleggia motrice 116
5.2.3 Argano 117
5.2.4 Tensionamento 118
5.2.5 Rullo di linea 119
5.2.6 Sistema frenante 120
5.2.7 Fune 121
5.2.8 Carrello 122
5.2.9 Argano motorizzato 123
5.2.10 Veicolo 125
5.3 Sistema C “soccorso integrato” 128
5.3.1 Puleggia deviazione 129
5.3.2 Puleggia motrice 130
5.3.3 Argano 131
5.3.4 Tensionamento 132
5.3.5 Rullo di linea 133
5.3.6 Sistema frenante 134
5.3.7 Fune 135
5.3.8 Carrello 136
5.3.9 Cavallotto 138
5.4 Analisi sistema A e sistema B 139
5.4.1 Sistema A 139
5.4.2 Sistema B 140
5.4.3 Sistema A+B 141
5.5 Analisi sistema C 142
6 Soluzioni progettuali 144

6.1 Doppia rotazione della puleggia 144
6.2 Togliere il freno sulla portante 147
6.2.1 Misure per assicurare l'integrità dell'anello trattivo 147
6.2.2 Misure per evitare eventi pericolosi in servizio 148
6.2.3 Requisiti per il collegamento della fune traente al veicolo 149
6.3 Cavallotto con rulli ausiliari 150
6.4 Carrello con dispositivo anti-scarrucolante 152
6.5 Braccio per calata 154
6.6 Sistemi di controllo 157
6.6.1 Controllo dazio 157
6.7 Accavallamento fune traente 159
6.8 DirectDrive 160
7 Conclusioni 162
8 Bibliografia 164
9 Ringraziamenti 166

1 Introduzione

La presente tesi è il risultato delle attività di studio presso l'azienda Leitner spa (sede di Leini Via T.agudio 8).

L'obiettivo di questa trattazione è sostituire, in una funivia a va vieni, il soccorso in linea con una procedura di soccorso integrato che garantisce alle vetture il raggiungimento delle stazioni in modo sicuro anche in caso di avaria del sistema.

1.1 Inquadramento

Un impianto funiviario a va e vieni è un impianto aereo, costituito da una o due cabine che viaggiano avanti e indietro tra due stazioni, consentendo il trasporto di cose e persone sia in salita che in discesa. Le funivie trovano impiego come impianto di arroccamento, oppure dove la conformazione del terreno sottostante non permette la realizzazione di altre tipologie d'impianto.

I veicoli corrono lungo una o due funi portanti mossi normalmente da due semianelli di funi traenti unite per formare un anello in corrispondenza delle cabine. In una delle stazioni, solitamente quella a monte, è presente un argano di movimentazione, mentre nell'altra stazione è presente un contrappeso per mantenere la tensione necessaria sull'anello trattivo.

Trattandosi di un impianto a fune adibito al trasporto di persone è fondamentale garantire sempre la sicurezza dei passeggeri. In caso di guasto del sistema occorre evacuare i viaggiatori rimasti in linea portandoli in un luogo sicuro. Tali operazioni sono descritte in un piano (chiamato "piano di soccorso") che viene allegato al regolamento di esercizio.

La tematica del soccorso in letteratura è trattata in numerosi libri tra cui: *I trasporti a fune* di Adriano Recupito e *Ropeway technology* di Gottfried Hofmann.

Durante le operazioni di ricerca non sono state trovate informazioni riguardanti il soccorso integrato in nessun libro o articolo.

I metodi di evacuazione dipendono essenzialmente dalla tipologia di impianto, dalle caratteristiche della linea e del territorio.

Tra i sistemi più importanti troviamo la "calata a suolo", attuabile quando l'altezza delle vetture dal suolo non è superiore ai 50-60 metri, quando il terreno non è eccessivamente accidentato e può essere percorso agevolmente in ogni stagione dalle squadre di soccorso.

Per la calata a terra vengono impiegati degli arganelli autofrenanti, fissati a un punto della cabina o della sospensione che consentono la discesa di persone dentro a sacchi mediante apposita funicella.

Di solito viene eseguita una manovra a va e vieni, cioè, mentre un sacco carico scende, un sacco vuoto risale.

Le funivie dotate di grandi cabine hanno un impianto di soccorso costituito da una fune ausiliaria chiusa ad anello mediante impalmatura e dai relativi meccanismi per l'azionamento e il rinvio (*Figura 1*). Alla fune di soccorso possono venire collegate, a turno, mediante morsetti, delle vetturette aventi una capacità compresa fra 5 e 10 persone, accostate alle vetture principali. In tal modo è possibile effettuare il trasbordo graduale dei passeggeri sul veicolo di soccorso ed il loro recupero in stazione. Ovviamente l'operazione di salvataggio

richiede diverse ore. Si tenga conto, inoltre, che è quasi sempre necessario, prima dell'inizio delle operazioni, alleggerire il contrappeso della fune di soccorso, togliendo dei contrappesi addizionali, per ridurre la sottospinta che la fune stessa esercita sulle vetturette che viaggiano sulle funi portanti.

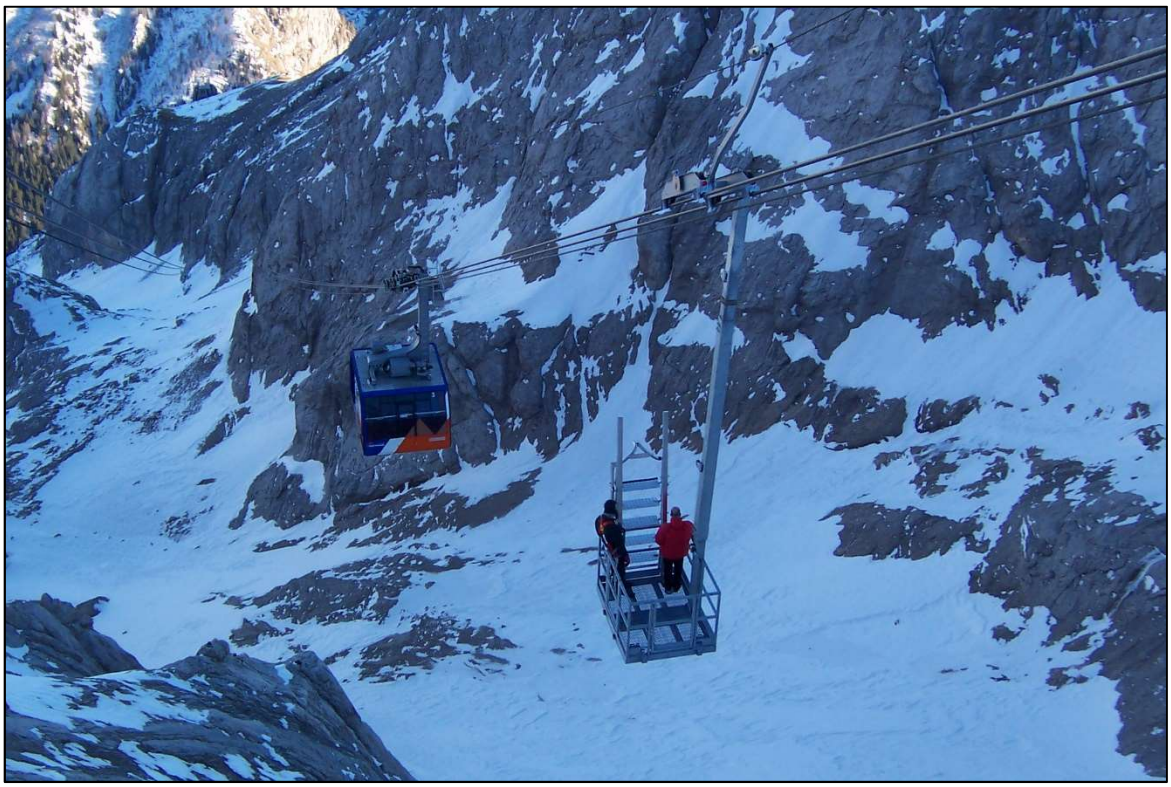


Figura 1 Soccorso in linea, funivia Marmolada

Alcune ditte hanno costruito vetturette automotrici basate su principi diversi. Alcune sfruttano l'effetto di cuneo delle ruote del carrello, opportunamente sagomati, sulla fune portante; altre adottano una catena chiusa ad anello e costituita da pinze costrette a serrarsi sulla fune per l'azione esercitata da guide esterne. Il motore di azionamento è termico la trasmissione del moto è idraulica.

Tali vetturette, per essere competitive con gli impianti tradizionali, devono risultare molto semplici e richiedere tempi di messa in opera e messa a punto assai ridotti.

Un altro sistema di soccorso, utilizzato principalmente negli impianti ad ammorsamento automatico con tre funi, prevede il rientro in stazione di tutte le cabine presenti in linea. Un apposito carro movimentato da un anello di soccorso completamente indipendente raggiunge i veicoli, li aggancia, li disammorsa dalla fune e li riporta in stazione. Il vantaggio di questo sistema è quello di poter recuperare persone in stazione e non lungo la linea, circostanza che le esporrebbe al pericolo.

Si può ovviare in questo modo a procedure di salvataggio a volte troppo complesse per progetti di impianti che vorrebbero essere sempre più ambiziosi.

L’evacuazione tramite elicottero rappresenta un’altra valida alternativa applicabile a qualsiasi tipo di impianto a fune. Il soccorso in elicottero è la procedura più efficiente, che può essere applicata solo le volte in cui le condizioni meteo lo permettono.

In questi ultimi anni con l'aumento dell'affidabilità e della disponibilità degli impianti di trasporto, in seguito ad una migliore progettazione e costruzione dei componenti, si è ipotizzata una nuova metodologia di salvataggio chiamata "soccorso integrato".

Con integrazione s'intende far entrare, incorporare un nuovo elemento in un insieme, in un tutto, così che ne diventi parte fondendosi in esso.

Negli impianti con il soccorso integrato l'impianto ordinario e quello di soccorso sono lo stesso sistema. Questa integrazione può funzionare a determinate condizioni: curando i componenti costruttivi; ridondando elementi d'azionamento e di alimentazione; prevenendo l'evacuazione lungo la linea; evitando i rischi ad esso connessi quali l'interferenza con l'impianto principale, la necessità dell'intervento umano e i rischi del trasbordo.

Recentemente il soccorso integrato è stato introdotto per gli impianti a fune ad ammorsamento automatico con 3 funi, due portanti e una traente, anche detti "3S".

Negli ultimi anni sono state costruite varie funivie a va e vieni che si avvicinano al concetto di soccorso integrato, ad esempio nel 2018 è stata ultimata la funivia di Besikdüzü in Turchia senza il veicolo di soccorso e nel rispetto delle Normative Europee.

In Italia, negli ultimi anni, il soccorso integrato sta acquisendo interesse; nel 2018 la Commissione per le Funicolari Aeree e Terrestri ha indetto un Comitato Relatore composto da nove ingegneri per valutare il progetto proposto da Doppelmayr per la realizzazione di un impianto di tipo "Funifor" ad unica via di corsa senza l'impianto di soccorso.

Negli ultimi mesi il progetto è stato approvato e la stessa commissione si è dichiarata disponibile a valutare procedure di soccorso integrato su altri impianti, come ad esempio le funivie a va vieni.

1.2 Obiettivo

L'obiettivo di questa trattazione è eliminare l'impianto di soccorso da una funivia a va e vieni per risolvere i problemi di costo e sicurezza che nascono con il soccorso in linea.

Il soccorso integrato, sostituto dal soccorso in linea, deve garantire alle vetture il raggiungimento delle stazioni in modo sicuro anche in caso di avaria del sistema. La chiave del soccorso integrato è la ridondanza. Molti componenti ritenuti di sicurezza vengono quindi duplicati e resi indipendenti l'uno dall'altro.

In Italia il soccorso integrato è una procedura non regolata dalla Normativa vigente, ogni veicolo deve avere il freno sulla portante. L'obbiettivo è dimostrare la sicurezza della procedura innovativa e regolamentarla a livello nazionale.

Nel rispetto della Normativa l'impianto con il soccorso integrato deve essere un sistema sicuro.

Essendo una soluzione tecnica innovativa, non conforme in ogni punto alla normativa di riferimento per la progettazione di una funivia a va e vieni, il soccorso integrato può essere accettato dalle norme Italiane se conforme a quanto segue:

Soluzioni tecniche diverse (art. 1.3 D.D. 337/2012)

"Sono ammissibili soluzioni tecniche diverse da quanto previsto dagli articoli del presente decreto, sentita eventualmente la Commissione per le Funicolari Aeree e Terrestri (CFAT), a condizione che il progettista dimostri che il livello di sicurezza offerto non sia inferiore a quello conseguibile con l'applicazione delle presenti norme."

Soluzioni tecniche innovative (art. 1.4 D.D. 337/2012)

"Soluzioni tecniche innovative potranno essere ammesse, sentita eventualmente la CFAT, purché il progettista dimostri che il livello di sicurezza offerto non sia inferiore a quello desumibile dall'applicazione delle presenti norme, fornendo anche, ove ritenuto necessario dal progettista stesso o dall'Autorità di Sorveglianza, i dati di una probante sperimentazione. Per soluzioni innovative già eventualmente realizzate all'estero, la già menzionata sperimentazione potrà avvalersi dell'acquisizione di tutte le esperienze e le informazioni relative all'esercizio già svolto."

Per rispettare quanto previsto dal *D.D 337/2012*, occorre effettuare un'analisi di sicurezza comparativa tra un impianto a "va e vieni" tradizionale e un impianto avente il soccorso integrato. Il riferimento dell'analisi è la funivia tradizionale (con Il veicolo di soccorso) poiché è un impianto conforme alla normativa vigente, in particolare ai decreti *D.D. 337/2012* e *D.lgs. 210/2003*.

Un'analisi di sicurezza di tipo comparativo è approfondita e codificata nel settore ferroviario dal *Regolamento di esecuzione UE 402/13*. Sebbene riferita ad un altro contesto la procedura è stata ritenuta applicabile dal Comitato Relatore indetto straordinariamente dalla Commissione per le Funicolari Aeree e Terrestri per l'esame del progetto: "Soccorso integrato per le funivie di tipo Funifor".

Il regolamento sopracitato istituisce un metodo comune di sicurezza rivisto per la determinazione e la valutazione dei rischi. Esso viene usato principalmente per la valutazione dell'impatto delle modifiche sui livelli di sicurezza e della conformità ai requisiti di sicurezza.

La procedura di gestione e accettabilità dei rischi proposta dal regolamento di esecuzione *UE 402/13* comprende:

a) Procedimento di valutazione dei rischi, finalizzato ad individuare gli eventi pericolosi, i rischi, le corrispondenti misure di sicurezza e i requisiti di sicurezza risultanti che il sistema da valutare deve soddisfare;
b) Dimostrazione della conformità del sistema ai requisiti di sicurezza individuati;
c) Gestione di tutti gli eventi pericolosi individuati e misure di sicurezza corrispondenti.

Il punto a) della procedura a sua volta si compone in 3 punti che si ripetono iterativamente:

1. La definizione del sistema;
2. L'analisi dei rischi compresa l'individuazione degli eventi pericolosi;
3. La determinazione dei rischi.

In seguito ad una valutazione del rischio, i rischi ritenuti globalmente non accettabili vengono accettati attraverso tre criteri proposti dalla procedura:

a) Applicazione dei codici di buona pratica;
b) Confronto con sistemi analoghi;
c) Stima accurata dei rischi.

Nel caso in analisi è stato scelto il metodo per confronto in ragione del fatto che l'esame riguarda una variazione rispetto ad uno standard noto e consolidato (la funivia tradizionale a va e vieni con impianto di soccorso). La determinazione dei rischi deve dimostrare che il sistema soggetto a valutazione presenta quanto meno lo stesso livello di sicurezza del sistema di riferimento, in tal caso i rischi sono considerati accettabili.

Se non è possibile dimostrare che il sistema raggiunge quanto meno lo stesso livello di sicurezza del sistema di riferimento, è necessario individuare ulteriori misure di sicurezza per gli elementi che si discostano, applicando uno degli altri due criteri di accettazione dei rischi.

1.3 Normative di riferimento

Appare subito chiaro come le normative influenzino la tematica analizzata, perciò è fondamentale in Italia distinguere tra la normativa per la costruzione degli impianti a fune del tipo "tradizionale" per gli impianti costruiti fino al 2005, mentre del tipo "certificato" per gli impianti costruiti in seguito.

Prima della certificazione, tutte le parti dell'impianto venivano progettate e realizzate secondo la normativa tecnica di settore. Ogni tipologia d'impianto a fune era caratterizzata da una Prescrizione Tecnica Speciale (PTS), norme che definivano nel dettaglio quali dovevano essere i requisiti da rispettare per la costruzione e l'esercizio dell'impianto.

Con la *direttiva CE 2000/9*, ed il suo recepimento nazionale con il *D.lgs. n.210/2003*, si è deciso di standardizzare alcuni componenti degli impianti a fune e di certificarli come rispondenti ai requisiti essenziali della Direttiva.

L'esperienza acquisita con l'attuazione della *direttiva CE 2000/9* ha rilevato la necessità di modificare alcune sue disposizioni ed è subentrato il *Regolamento UE 2016/424*. Il suddetto regolamento è valido per tutti gli stati membri dell'Unione Europea, in Italia però non è ancora stato recepito con un decreto legislativo.

I componenti certificati appartengono ai sottosistemi di impianto, mentre i componenti che non sono certificati fanno parte della cosiddetta "infrastruttura".

Sono di solito certificate le seguenti parti d'impianto:

- Fune e attacchi di fune;
- Argani e freni;
- Meccanismi di stazione, di linea e di tensione;
- Veicoli;
- Sistema di azionamento e controllo;
- Sistema di soccorso in linea.

Fanno parte dell'infrastruttura:

- Fondazioni e parti in elevazione di strutture portanti di stazione;
- Fondazioni e sostegni di linea;
- Ogni altro componente non certificato.

Le parti certificate seguono la normativa europea e sono verificate da un organismo notificato che garantisce che il progetto dei componenti sia conforme alle disposizioni della Direttiva. Il costruttore dichiara poi la conformità del componente al progetto.

Le Normative vigenti in Italia che fanno riferimento ad una funivia a va e vieni sono le seguenti:

- *Regolamento UE 2016/424* "relativo gli impianti a fune che abroga la *direttiva 2000/9/CE*"
- *D.Lgs. 12/06/2003 n. 210* "Attuazione della direttiva *2000/9/CE* in materia di impianti a fune adibiti al trasporto di persone e relativo sistema sanzionatorio";
- *D.M. 337 16/11/2012* "Dispositivi e prescrizioni per infrastrutture";
- *D.M. 177 11/05/2017* "Decreto esercizio";
- *EN 12929-1* Dispositions générales – Partie 1 : Prescriptions applicables à toutes les installations.

1.4 Ingegneria di sistema

L’approccio dell’ingegneria di sistema ben si applica all’argomento trattato in cui è fondamentale definire un obbiettivo e raggiungerlo ottimizzando le funzioni del sistema in analisi.

Un sistema ingegneristico si definisce come una combinazione di componenti che lavorano in sinergia per svolgere una funzione.

In tutti i vari processi di progettazione il progettista parte da alcuni requisiti d’utente da soddisfare li trasforma in funzioni che il sistema deve assolvere e poi associa le funzioni ad oggetti, quindi ad una struttura fisica del sistema stesso.

L’ingegneria di sistema si occupa di processi di lavoro, metodi di ottimizzazione e strumenti di gestione del rischio. Si sovrappone a discipline tecniche incentrare sull’uomo come: ingegneria industriale, ingegneria meccanica, ingegneria manifatturiera, ingegneria di controllo, ingegneria del software, ingegneria elettrica, cibernetica, studi organizzativi, l'ingegneria e la gestione dei progetti.

L'ingegneria dei sistemi garantisce che tutti gli aspetti probabili di un progetto o di un sistema siano considerati e integrati in un insieme.

Il processo di ingegneria dei sistemi è un processo di scoperta molto diverso da un processo di produzione. Un processo di produzione è focalizzato su attività ripetitive che ottengono risultati di alta qualità con costi e tempi minimi. Il processo di ingegneria dei sistemi deve iniziare individuando i problemi reali che devono essere risolti e identificando i guasti di impatto più probabili o più elevati che possono verificarsi. L'ingegneria dei sistemi comporta la ricerca di soluzioni a questi problemi.

Il tradizionale scopo dell’ingegneria abbraccia la concezione, la progettazione, lo sviluppo, la produzione e il funzionamento dei sistemi fisici. L'ingegneria dei sistemi, come originariamente concepita, rientra in questo ambito e si riferisce alla costruzione di concetti ingegneristici

La necessità dell’ingegneria dei sistemi è nata con l'aumento della complessità di sistemi e progetti. La complessità incorpora non solo l’ingegneria dei sistemi, ma anche l'organizzazione logica umana dei dati. Allo stesso tempo, un sistema può diventare più complesso a causa di un aumento delle dimensioni, nonché con un aumento della quantità di dati, variabili o il numero di campi coinvolti nella progettazione. La Stazione Spaziale Internazionale è un esempio di tale sistema.

Un approccio generale all'ingegneria dei sistemi consiste in:

- Identificazione e misurazione degli scopi del sistema
- Impostazione di progetti alternativi di sistema
- Valutazione delle alternative
- La scelta e l'implementazione della migliore alternativa
- Verifica della corretta integrazione
- Valutare se il sistema soddisfa gli obiettivi richiesti

La sequenza di attività dell’Ingegneria di sistema è:

- Comprendere il problema, identificare e stimare gli obiettivi
- Studiare soluzioni alternative;
- Scelta e implementazione della migliore soluzione di progetto, modellazione del sistema
- Integrazione del sistema;
- Avvio del sistema e configurazione dell'interfaccia
- Valutazione delle prestazioni del sistema, preparazione dei test e supporto del sistema
- Rivalutazione, specifica dello stato di avanzamento relativi ai piani iniziali

Un Ingegnere di Sistemi deve integrare gli step elencati sopra al fine di evitare i conflitti tra di loro e ottenere un sistema coerente in cui un sottosistema prevalga.

In questo senso, qualsiasi ingegnere agisce come un ingegnere di sistema quando è responsabile per la progettazione e l'implementazione di un sistema totale.

La differenza con "l'ingegneria tradizionale" risiede principalmente nella maggiore enfasi sulla definizione degli obiettivi, nella generazione creativa di progetti alternativi, nella valutazione di progetti alternativi e nel coordinamento e controllo dei diversi compiti che sono necessario per creare un sistema complesso.

Un ingegnere di sistemi è un Manager che utilizza un processo di consegna del valore strutturato

Alla fine, possiamo dire che l'ingegneria di sistema è un modo importante per gestire problemi complessi, essenziali per aumentare la produttività e ridurre i tempi e i costi di produzione e manutenzione.

In questo senso, l'ingegnere di sistema deve essere in grado di sviluppare un sistema che soddisfi le aspettative sia in termini di qualità tecnica che di business.

2 Concetto di sicurezza e analisi funzionale

Il concetto di sicurezza si lega agli impianti a fune fin dalla loro progettazione. La sicurezza ed i sistemi con cui la si garantisce devono soddisfare vari criteri. Si parla infatti di sicurezza:

- Funi e attacchi funi SS 1 (SS: sottosistema, definito nella Normativa Europea)
- Argani e freni SS 2
- Dispositivi meccanici SS 3
- Veicoli SS 4
- Dispositivi elettronici SS 5
- Dispositivi di soccorso SS 6

Molti sono i sottosistemi di un impianto che occorre rendere sicuri e monitorare in modo periodico e continuativo.

La sicurezza dell'esercizio degli impianti a fune è il risultato della giusta applicazione delle norme di progettazione in tutte le parti che compongono il sistema.

La corretta progettazione dell'impianto è elemento essenziale per la sicurezza, ma non è il solo aspetto che contribuisce a raggiungerla e mantenerla. Infatti, essa deve essere completata da corretti piani di manutenzione, da norme regolamentari e da un buon addestramento del personale addetto all'esercizio (movimento e manutenzione).

L'impianto deve essere progettato secondo la logica della sicurezza intrinseca, cioè sicuro in caso di guasto, seppure funzionante in modo parziale o con prestazioni ridotte. La tecnica "fail-safe" garantisce che l'evoluzione di un guasto ad un componente del sistema si traduca in una situazione di servizio degradato, ma sempre in sicurezza. Se le condizioni di sicurezza venissero meno, l'impianto verrebbe fermato. I singoli componenti del sottosistema devono essere di estremamente affidabili e di alta qualità. Sarà poi cura del personale mantenere questo elevato standard per tutta la vita dell'impianto, seguendo precisi e programmati interventi manutentivi.

Anche gli apparati predisposti alla sicurezza dell'impianto sono stati, fino ad oggi, solitamente progettati secondo la logica "fail-safe", ma già da anni sono subentrate tecnologie dove la sicurezza è affidata al software e l'affidabilità alla ridondanza ed ai sistemi di diagnostica in tempo reale, che diminuiscono la possibilità dei guasti segnalandoli preventivamente.

Il continuo aumento dell'uso delle tecnologie elettroniche sta portando una diversa impostazione del concetto di sicurezza, anche se per alcuni impianti che concorrono alla sicurezza globale del sistema trasporto, l'utilizzo del concetto "fail-safe" continua a rappresentare un elemento essenziale nella loro progettazione.

2.1 Concetto di sicurezza intrinseca

Il concetto di sicurezza intrinseca si traduce nella previsione che il guasto porti da una situazione più restrittiva. L'evoluzione di uno stato di guasto deve condurre, secondo tale metodologia, ad una situazione di servizio degradato, ma comunque in sicurezza e, se le condizioni lo richiedono, all'arresto dell'impianto.

Il sistema deve essere quindi strutturato in maniera tale che al verificarsi del guasto (fail) esso raggiunga una “configurazione” sicura (safe) anche con prestazione degradate.

Gli schemi dei circuiti elettrici che riguardano la sicurezza devono sottostare a precise e rigide regole di progettazione; tutti gli impianti devono essere sottoposti ad accurati collaudi con l’effettuazione anche di prove negative, che consistono nel simulare una serie di guasti possibili e nel verificare il comportamento conseguente del sistema.

Non sempre è possibile, dato il verificarsi di un guasto, continuare l’esercizio in sicurezza. La tecnica del “fail-safe” prescrive l’arresto al verificarsi di guasti non evitabili, anche se si può escludere sempre la conseguenza di guasti pericolosi. Per questo motivo nei sistemi di trasporto a fune si cura, oltre all’aspetto della sicurezza, anche quello della affidabilità, al fine di aumentare la disponibilità del sistema stesso.

2.2 Definizione di un impianto tipo

Secondo l’analisi dei rischi definita nel *Regolamento Europeo 402/2013* il primo passo è una scomposizione dettagliata di un impianto a fune per definirne il sistema. Attraverso un’analisi funzionale si suddivide l’impianto in una serie di sottosistemi che lo compongono, a loro volta i sottoinsiemi vengono scomposti in componenti.

Si premette che lo scopo di questa analisi di un impianto tipo è quello di definire, attraverso un’analisi induttiva, i sottosistemi responsabili di quei guasti che, durante l’esercizio, causano il blocco permanente dell’impianto.

La sicurezza nei sistemi di trasporto non è assoluta, infatti essa si considera realizzata quando la probabilità degli incidenti è estremamente limitata. Gli incidenti normalmente sono determinati dalla somma di più guasti difficilmente riscontrabili.

Tramite un’elevata affidabilità dei componenti del sistema, si ottiene che la probabilità con cui si manifesta il guasto si riduce ad un livello molto basso, quindi aumentando l’affidabilità dei singoli elementi si riduce la probabilità che si manifestino guasti pericolosi. È necessario mantenere questo alto livello di affidabilità per tutta la durata dell’impianto seguendo precisi e programmati interventi manutentivi.

I componenti dell’impianto hanno varie correlazioni tra di loro e se accade che un elemento si guasti, l’inconveniente si ripercuote sull’intero sistema. Dunque si rende necessaria un’analisi di tutti gli elementi dell’impianto, della probabilità che si guastino e dei possibili rischi per la sicurezza.

L’impianto tipo analizzato è una classica funivia a va e vieni dotato di impianto di soccorso; essendo quest’ultimo a tutti gli effetti un sistema a sé stante, dotato di una fune, un argano e un contrappeso, si suddivide l’analisi nei seguenti due punti:

- Sistema A composto impianto principale
- Sistema B composto impianto di soccorso

Il sistema A costituisce l’impianto principale; in normale esercizio è caratterizzato da una certa velocità e portata oraria. Il secondo sistema analizzato è l’impianto di soccorso utilizzato nel caso in cui vi sia un’impossibilità di muovere l’impianto principale nemmeno con l’utilizzo del motore di recupero.

Il sistema B dispone di un anello di fune dotato di un veicolo, detto “di soccorso”, che viene movimentato da un argano indipendente. L’uso del sistema B è consentito solo per il salvataggio dei passeggeri in linea.

2.3 Elementi costitutivi sistema A

2.3.1 Funi

Le funi portanti (*Figura 2*) hanno la funzione di sostenere il veicolo in linea, generalmente sono ancorate in una stazione mediante avvolgimento su tamburi. I tamburi sono composti di calcestruzzo rivestiti da doghe in legno.

Le funi portanti sono ormai sistematicamente del tipo a formazione chiusa.

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

Con questa configurazione la fune ha i seguenti vantaggi:

- Meno vibrazioni sul carrello del veicolo;
- Meno infiltrazioni d’acqua, cioè meno corrosione all’interno;
- Minore sezione necessaria a parità di resistenza a trazione richiesta;
- Accumuli di neve sulla fune meno pericolosi.

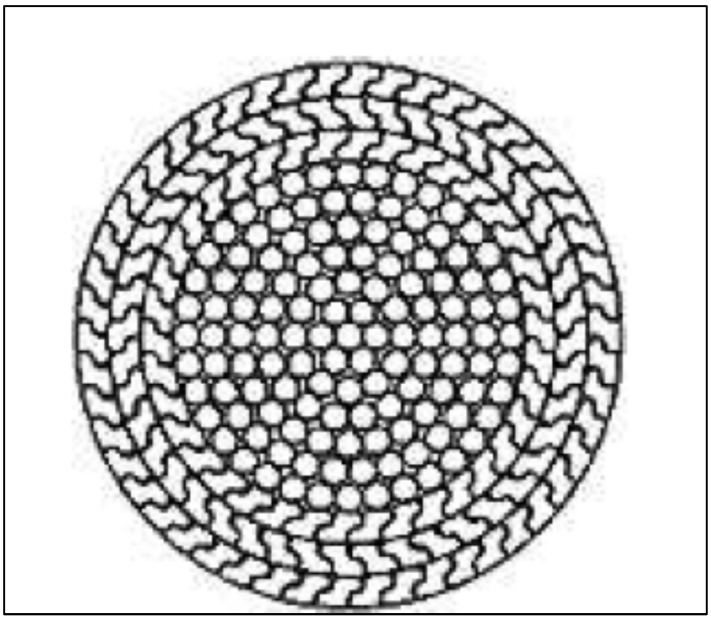


Figura 2 Fune "chiusa"

Le funi traenti (*Figura 3*) hanno la funzione di movimentare i veicoli in linea e costituiscono due semianelli di fune (superiore ed inferiore), entrambi vincolati alle due vetture mediante tamburelli ad attrito, con interposizione di una scarpa di deviazione che segnala l’allentamento della fune facendo intervenire il freno di sicurezza sulla portante.

Le funi traenti sono composte normalmente da trefoli, tipicamente 6, ma possono essere anche 7 o 9. Ne esistono di varie tipologie in funzione delle dimensioni dei fili e della loro disposizione nei trefoli.

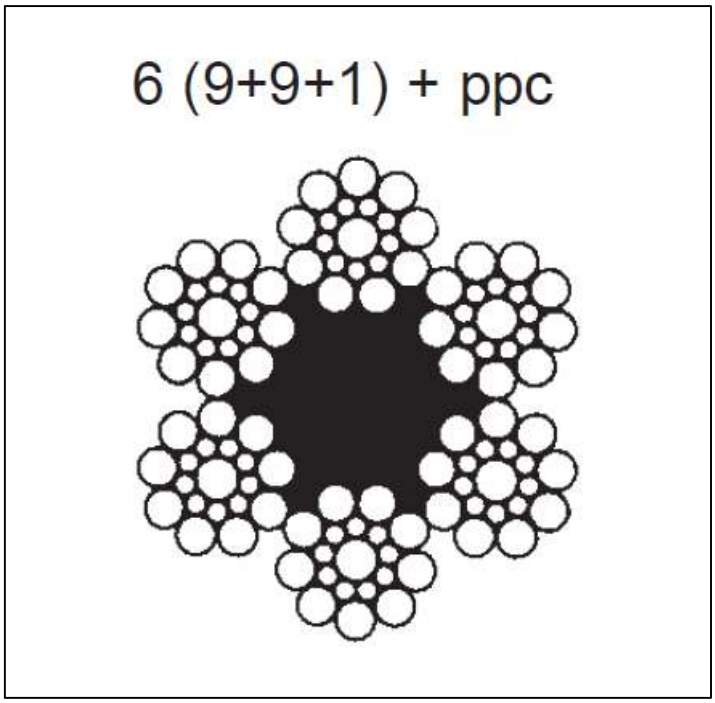


Figura 3 Sezione fune-Seale

Le funi in linea normalmente sono supportate da rulli posti sui sostegni in carpenteria metallica e su cavallotti in caso di doppia portante. Sulla sommità del sostegno vi sono le scarpe di appoggio delle funi portanti, in acciaio laminato e forgiato. La fune portante alloggia nella gola del regolo che è guarnita di materiale a basso coefficiente d'attrito. In mezzo alla scarpa di ciascuna coppia di portanti sono sistemati i rulli di deviazione delle funi di trazione, con gola guarnita in gomma, montati su cuscinetti (a rulli) isolati elettricamente.

In presenza di funi ancorate, le norme prescrivono l'installazione di dispositivi per il controllo continuo della tensione della fune.

Per le funi portanti si prevede l'installazione di celle di carico integrate con la carpenteria delle scarpe di stazione sia alla stazione di monte sia alla stazione di valle; così facendo si ha la possibilità di monitorare le tensioni delle singole funi portanti.

Durante la corsa il segnale fornito dalle celle di carico viene trasferito alle apparecchiature di controllo e paragonato con la tensione minima e massima prevista in funzione delle condizioni di esercizio (variazioni di temperatura, posizione del veicolo e condizioni di carico).

La misura della tensione della fune traente può essere fatta con doppia cella di carico solidale al supporto della puleggia di deviazione presente alla stazione di monte. Il segnale delle celle sarà rielaborato per tenere conto dell'angolo di deviazione della fune e del peso proprio della puleggia stessa.

2.3.2 Sostegni e scarpe

I **sostegni di linea** (*Figura 5*) di funivia sono costituiti da una fondazione in calcestruzzo armato sulla quale poggia il fusto che, in genere, è formato da tralicci metallici. Il traliccio metallico è ancorato alla fondazione mediante tirafondi metallici annegati nel calcestruzzo tramite apposite maschere.

Alla sommità del fusto sono fissate le **scarpe di deviazione** (*Figura 4*)delle funi.

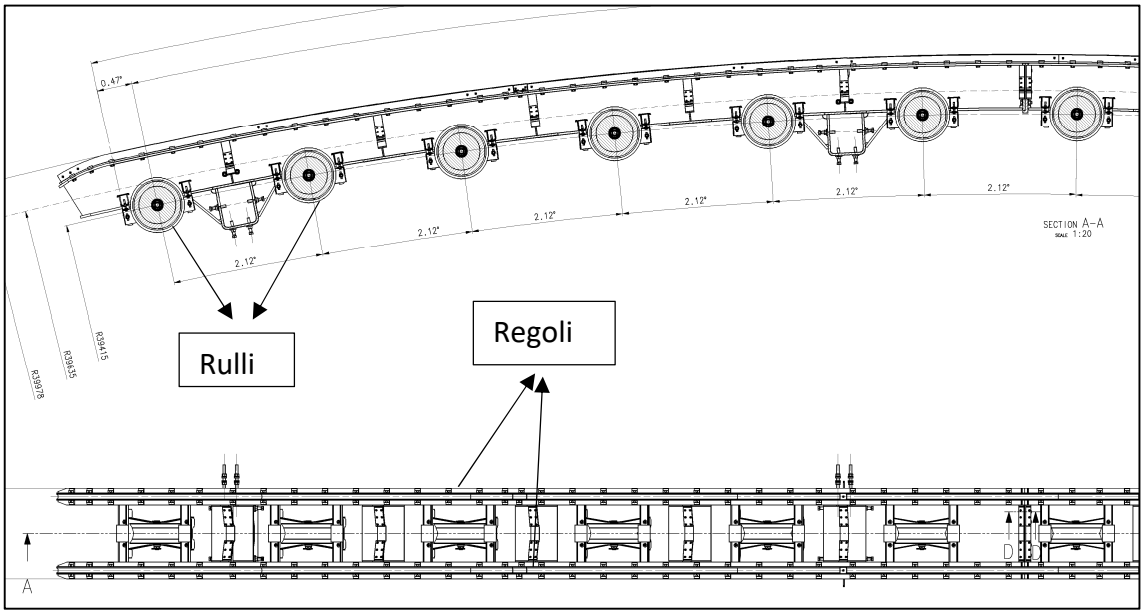


Figura 4 Particolare scarpa di funivia a doppia portante

I sostegni guidano e supportano le funi portanti, traenti e di soccorso (la fune solitamente posta più in alto); sono inoltre dotati di guide per i veicoli che stabilizzano le vetture al momento del passaggio sul palo nel caso in cui le stesse siano soggette ad oscillazioni trasversali.

La scarpa di deviazione delle funi è una trave appoggiata, costituita da lamiere verticali saldate su una lamiera di base. La sommità è profilata con raggio di curvatura variabile e sulla stessa è fissata la scarpa per l'appoggio, la deviazione e la guida delle funi portanti. Nel caso di funivia a doppia portante, tra le due lamiere verticali sono installati i rulli di deviazione della fune traente, mentre nel caso di portante singola i rulli sono generalmente posizionati sotto il regolo.

La scarpa è dotata di dispositivi per il sollevamento delle funi (**falcone**) in caso di manutenzione.

Le scarpe devono essere costantemente lubrificate per permettere che lo scorrimento delle funi portanti avvenga in maniera regolare.

La scarpa può essere dotata di elementi antideragliamento ("briden") per le funi portanti, composte da due piastre sagomate a profilo della fune. Esse abbracciano la fune permettendo il passaggio del veicolo, e tengono le funi sulla scarpa in caso di scarrucolamento.

Figura 5 Sostegno in linea, funivia Marmolada

2.3.3 Cavallotti di linea

Lungo la linea di un impianto a doppia fune portante sono presenti i cavallotti, con funzione di supporto dell'anello trattivo e di distanziamento delle portanti (*Figura 6*). Esistono rari casi in cui il cavallotto è montato su un impianto a singola fune portante.

I cavallotti sono costituiti da un telaio d'acciaio vincolato tramite 4 o più morsetti alle due funi portanti di ciascuna via di corsa; tale telaio costituisce il supporto di un rullo centrale posizionato nel piano verticale con il suo asse trasversale centrato sulla via di corsa.

La conformazione del cavallotto è tale da impedire che la fune traente eventualmente scarrucolata vi s'impigli.

I rulli di appoggio della traente sono identici o simili a quelli montati sulle scarpe. Al passaggio della vettura sul cavallotto la fune traente viene sollevata e poi riappoggiata sul rullo in maniera sicura grazie ad appositi inviti presenti su entrambi i lati.

Il sistema costruttivo dei cavallotti è tale da consentire alle funi portanti di avere scorrimenti leggermente diversi; questo viene ottenuto con un apposito cursore che in fase di installazione viene posizionato al centro dell'asta di scorrimento.

L'interdistanza media fra i cavallotti è di circa 250 m; l'interdistanza effettiva è maggiore nella parte alta della linea, dove la tensione della fune traente è maggiore.

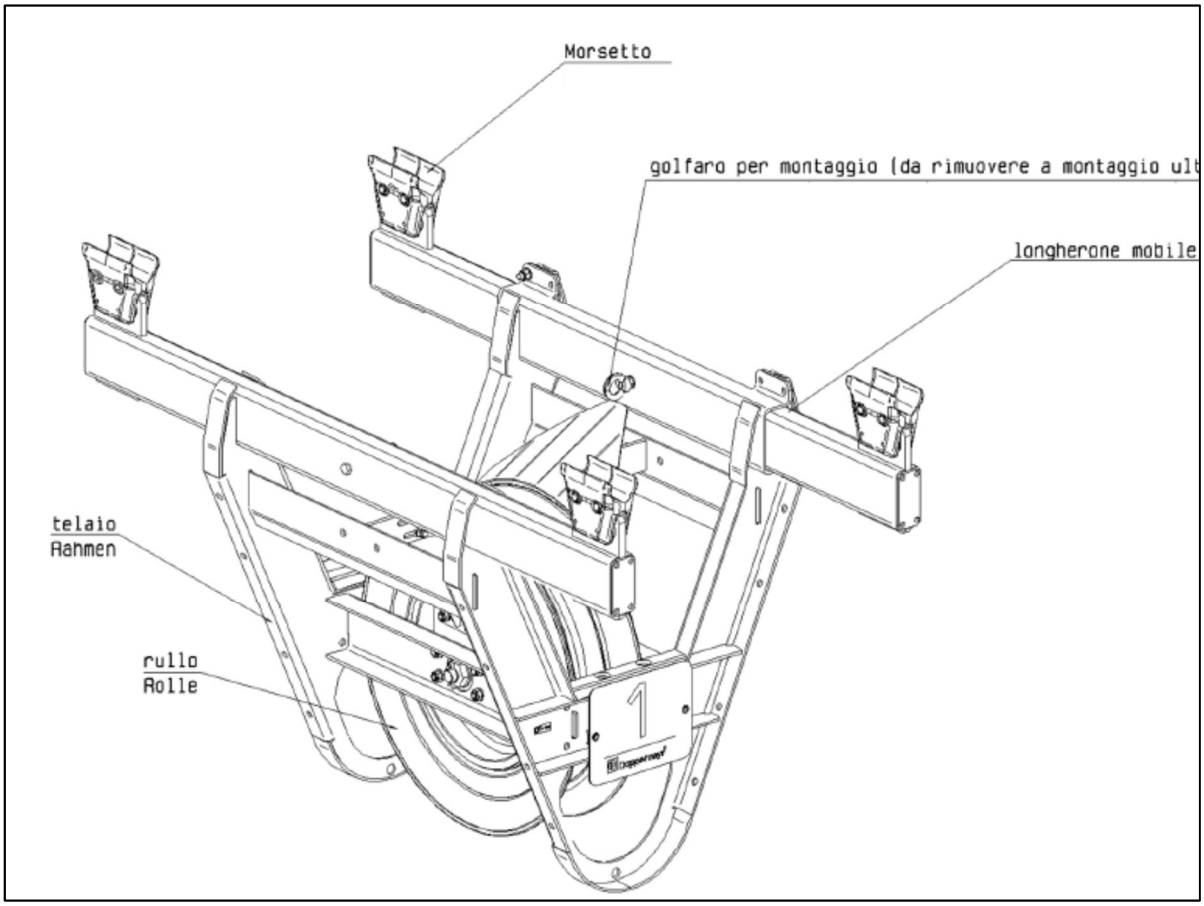


Figura 6 Cavallotto di linea

2.3.4 Argano motore

Le funivie sono dotate di un argano principale e di un argano di recupero. Con l'argano principale è possibile avviare l'impianto, senza brusche variazioni di accelerazione, in tutte le condizioni di carico previste in esercizio, e movimentare l'impianto in entrambe le direzioni: queste funzioni sono proprie anche dell'argano di recupero.

L'argano di recupero è indipendente dall'argano principale. In tale circostanza, la puleggia motrice deve poter essere disaccoppiata in modo semplice dall'argano principale e collegata all'argano di recupero.

L'argano principale è dimensionato per il servizio continuativo nelle condizioni più sfavorevoli di carico e per la velocità di marcia massima consentita. La necessità di installare, oltre all'argano principale e all'argano di recupero, anche un argano di riserva è valutata in base alle esigenze di trasporto che l'impianto a fune deve soddisfare.

L'azionamento di riserva garantisce almeno metà della velocità dell'azionamento principale.

L'azionamento principale è composto normalmente da un motore elettrico che è collegato tramite un giunto veloce ad un riduttore di velocità. L'albero lento del riduttore è collegato, mediante apposito giunto, all'albero motore, che a sua volta è vincolato tramite calettatori alla puleggia motrice (*Figura 8*).

Se nell'impianto è presente, l'azionamento di riserva è posto in parallelo all'azionamento principale (*Figura 7*), a sua volta è composto da un motore elettrico e da un riduttore. Tale disposizione indipendente consente di poter movimentare la puleggia anche con un solo gruppo motore/riduttore in caso di guasto dell'altro. Il gruppo guasto può essere in tal caso disinnestato dalla puleggia agendo sul giunto lento trascinato, che può essere a pioli o a denti.

L'Impianto inoltre viene dotato di un gruppo elettrogeno che in caso di mancanza della rete elettrica è in grado di alimentare i motori elettrici.

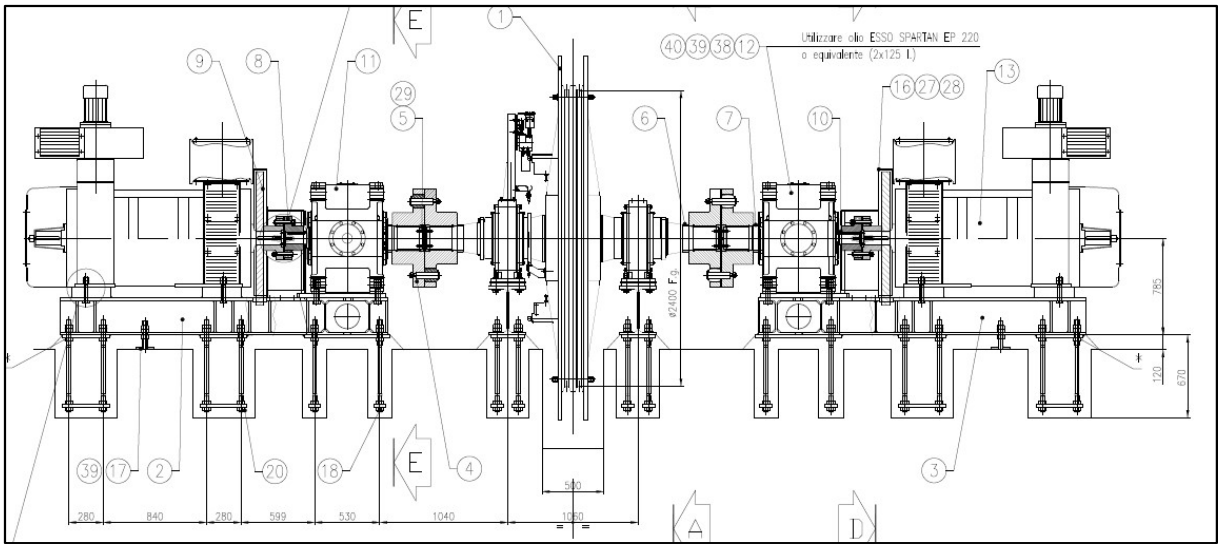


Figura 7 Puleggia motrice con azionamento principale e di riserva in parallelo

L'azionamento di recupero viene usato solo in caso di guasto di quello principale (e di riserva ove presente). È generalmente realizzato con una trasmissione idrostatica; questa si compone di un motore diesel che aziona una pompa idraulica, che a sua volta movimenta un motore idraulico, il quale fa ruotare la puleggia motrice attraverso un pignone ed una corona dentata. L'azionamento di recupero imprime all'impianto una velocità ridotta, di norma non superiore a 1 m/s.

Sulla puleggia motrice agisce il freno di emergenza, su un'apposita fascia freno e talvolta anche il freno di esercizio.

Sulla puleggia motrice sono presenti anche eventuali dispositivi centrifughi che realizzano la protezione di sovravelocità meccanica del 120%. Nelle funivie moderne l'azionamento di riserva può non essere presente secondo le Norme Europee; inoltre, grazie al "dazio continuo" non si usano più i centrifughi meccanici.

Una puleggia di deviazione può essere dotata di encoder per il rilevamento della velocità della fune traente. Tali segnali vengono confrontati con le dinamo tachimetriche installate sul o sui motori elettrici principale ed eventualmente di riserva per garantire l'integrità della catena cinematica e la corretta trasmissione del moto.

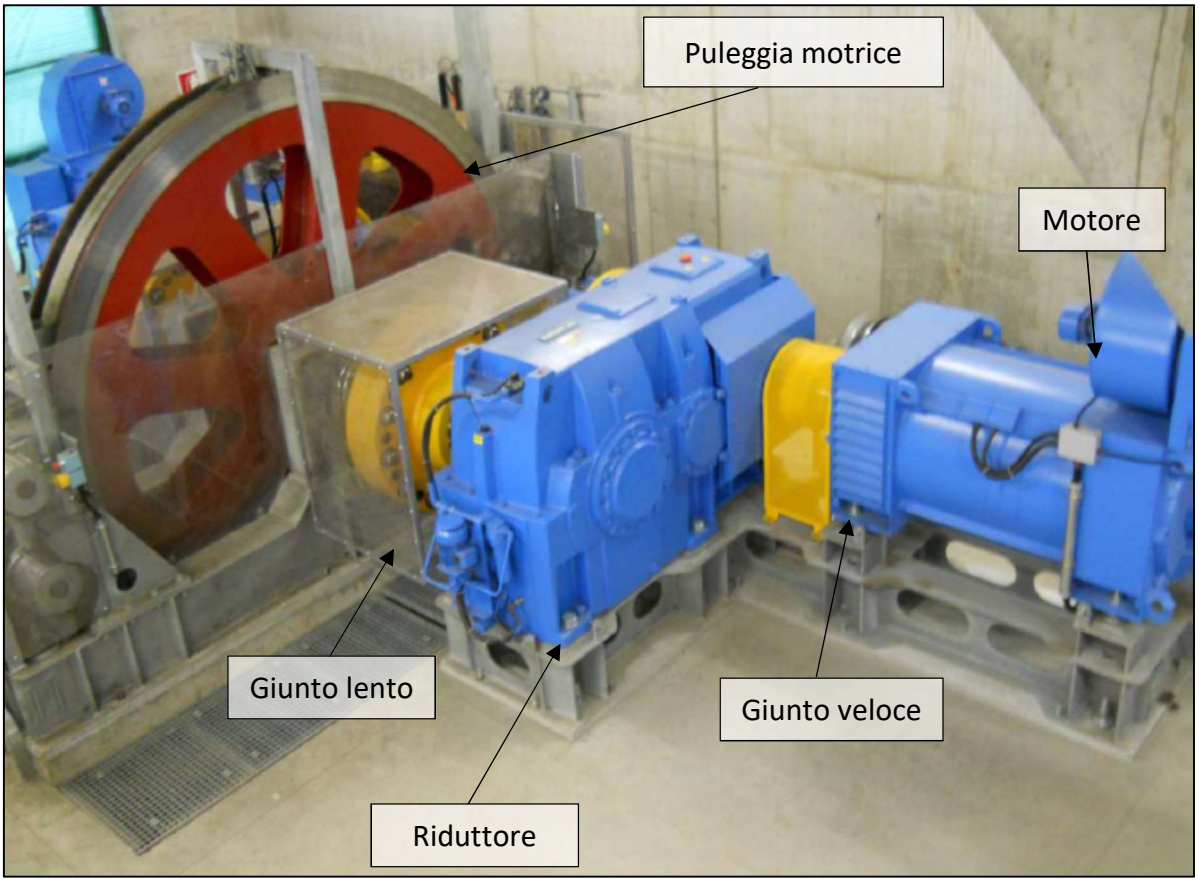


Figura 8 Argano

2.3.5 Sistema Frenante

L'impianto frenante di una funivia è costituito normalmente da due sistemi distinti di frenatura: freno di servizio e freno di emergenza. Si tratta di freni meccanici ad attrito, l'ultimo dei quali agisce sulla puleggia motrice (*Figura 9*).

Ciascuno è in grado, da solo, di arrestare l'impianto; in caso di avaria o inefficacia durante il funzionamento di uno dei due freni, l'altro è in grado di intervenire sopperendo alla mancanza verificatasi.

Freno di servizio e freno di emergenza agiscono in maniera indipendente su due fasce di freno distinte. Le due unità frenanti sono ad azione negativa, ad accumulo di energia. La chiusura del freno è garantita normalmente dallo sforzo di molle a tazza, mentre l'apertura avviene in genere a pressione idraulica.

In dettaglio l'unità frenante ad azione negativa è caratterizzata da un cilindro oleodinamico che contrasta l'azione di un pacco di molle a tazza, le quali esercitano sul pattino freno la loro forza elastica, premendo lo stesso contro la fascia freno; contemporaneamente sul lato opposto il secondo pattino, inserito in un corpo fisso, si porta a contatto della fascia freno, frenando il sistema in rotazione.

Una centralina idraulica permette di controllare il sistema frenante, per entrambi i freni si può infatti adottare la decelerazione controllata o frenatura modulata. Per sicurezza resta possibile la chiamata del freno di emergenza mediante il sistema on/off urgenza con elettrovalvola o dispositivi manuali.

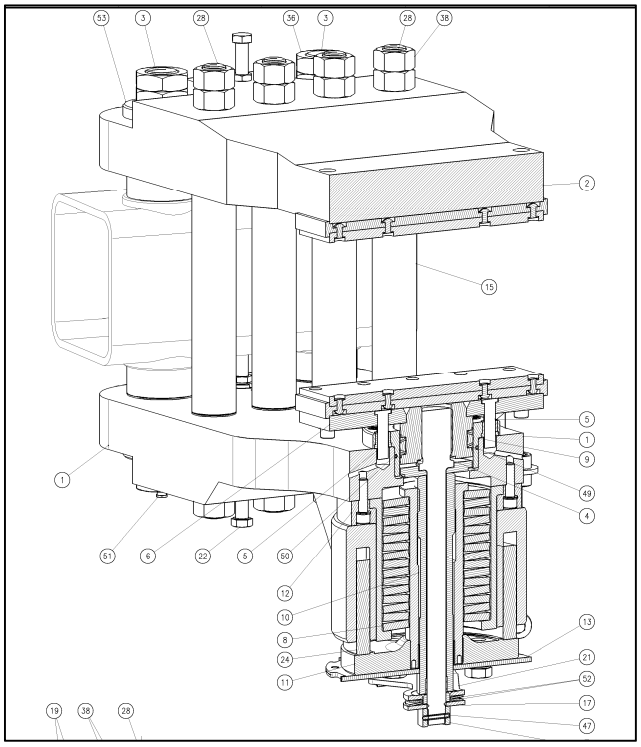


Figura 9 Freno emergenza della puleggia motrice

Ogni pinza è munita di microinterruttori per il controllo dello stato dei freni (chiuso/aperto) e per l'usura. Un terzo microinterruttore può essere utilizzato per il funzionamento con il motore di recupero, sostituendo il funzionamento dei primi due.

2.3.6 Sistemi di tensione fune traente

Il tensionamento della fune avviene generalmente mediante contrappesi a gravità nelle stazioni di rinvio, solitamente quella a valle, dopo che la fune viene deviata verso il basso con le pulegge di deviazione. I contrappesi sono di solito costituiti da zavorre in calcestruzzo armato e sono dotati di rotaie di guida che permettono di mantenerli in asse durante i loro movimenti (*Figura 10*).

I dati tecnici di un contrappeso sono la sua massa e la corsa disponibile. La via di corsa limitata del contrappeso è composta da una soglia inferiore e una superiore che sono controllate mediante astine e microinterruttori che segnalano acusticamente il raggiungimento del limite. I contrappesi inoltre possono essere dotati di un sistema di arresto dell'impianto in caso di raggiungimento di un ulteriore finecorsa che sorveglia la massima escursione ammessa. La fossa dei contrappesi è accessibile per operazioni di ispezione e manutenzione.

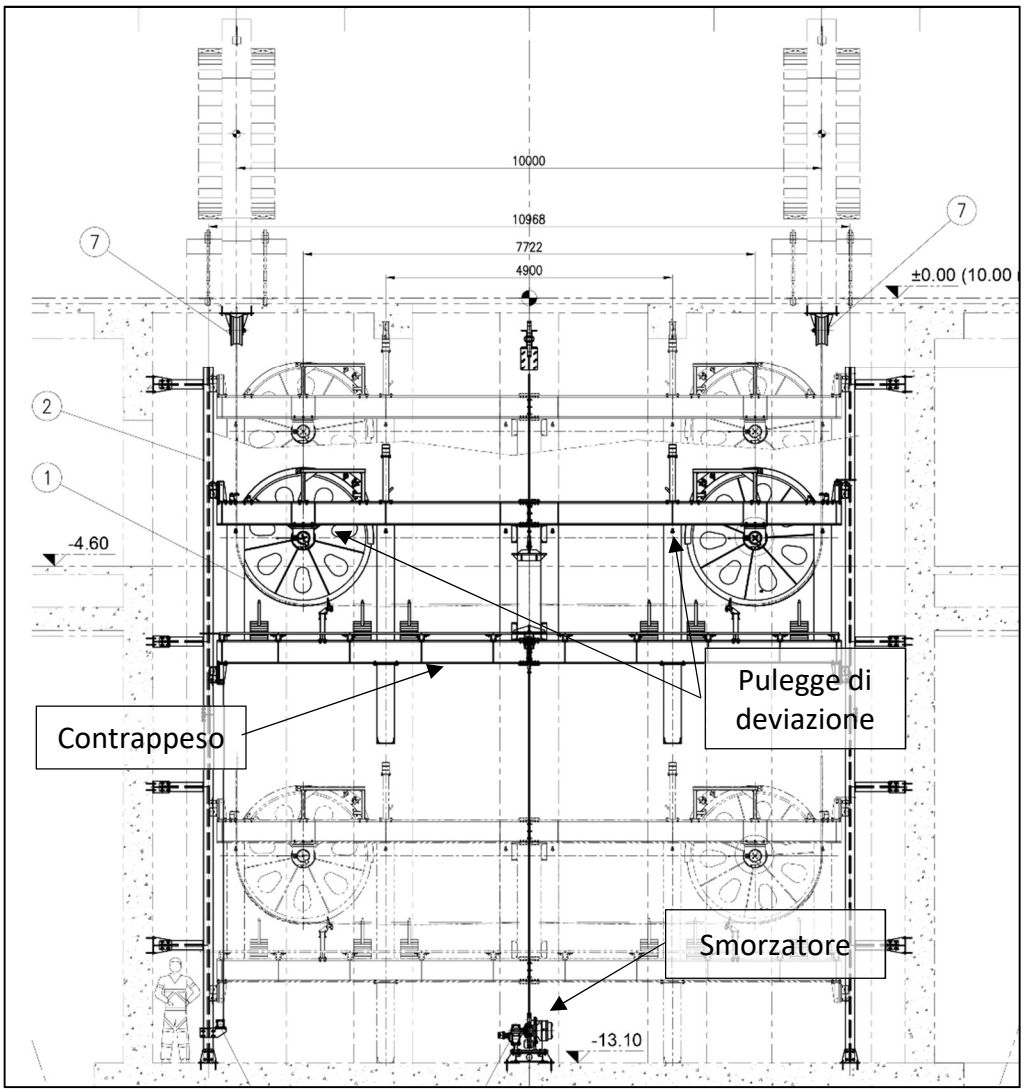


Figura 10 Contrappeso

Per limitare le oscillazioni del contrappeso durante l'esercizio dell'impianto in alcuni casi è utilizzato uno smorzatore idraulico che dissipa energia attraverso uno o più anelli di fune (*Figura 11*).

Il concetto funzionale su cui si basa lo smorzatore è quello della trasmissione idrostatica in un circuito chiuso, ove l'energia necessaria alla circolazione dell'olio attraverso una strozzatura viene prelevata dal movimento del contrappeso.

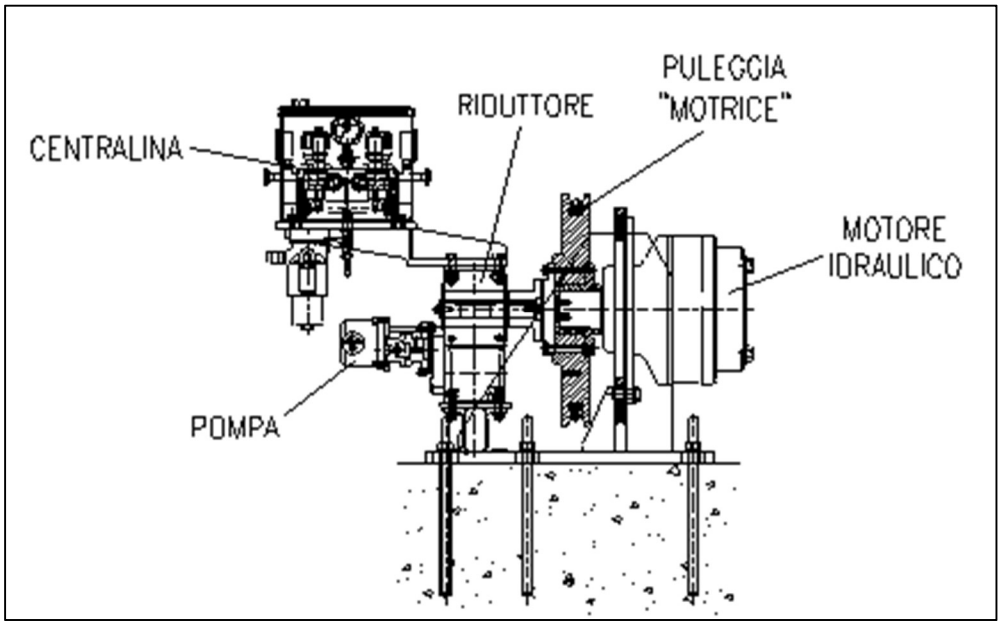


Figura 11 Smorzatore idraulico

Nella stazione di rinvio, le funi portanti provenienti dalla linea saranno deviate da apposite scarpe, avvolte a due tamburi e ancorate a morsetti per supportare la tensione residua.

2.3.7 Veicolo

Il veicolo che si caratterizza principalmente per la capienza ed il carico utile trasportabile è costituito da tre componenti principali illustrati in *Figura 12*: carrello; sospensione; cabina.

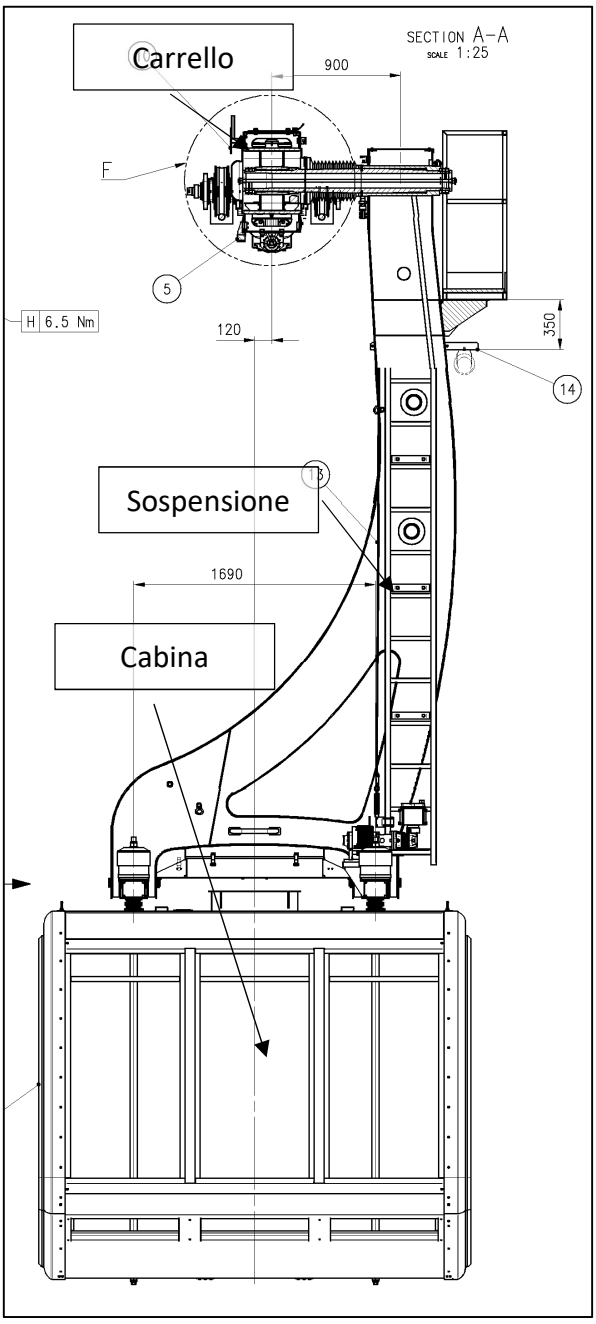


Figura 12 Veicolo funivia: 1) Carrello 2) Sospensione 3) Cabina

Carrello

Il carrello ha la funzione di sostenere la cabina, scorrere sulle funi portanti trainato dalla fune traente, ammorsare il veicolo alla fune traente superiore ed inferiore, frenare la vettura sulla fune portante con il freno apposito e mantenere la stabilità della vettura in caso di frenatura e di forte vento.

La struttura portante del carrello presenta un foro per alloggiare il perno di sospensione.

Alla struttura portante sono attaccati i bilancieri che portano i rulli di scorrimento del carrello sulle funi portanti.

Sul carrello inoltre è installato il freno meccanico agente sulla fune portante, composto da una parte meccanica e da una parte idraulica.

Sul carrello infine sono vincolate le funi traente superiore e traente inferiore, chiudendo così l'anello trattivo. I dispositivi di vincolo possono essere di vario tipo: teste fuse, tamburelli, morse, ecc.

Nel caso di tamburello la fune si avvolge con più spire sul tamburo e poi viene morsettata (*Figura 13*). Prima di avvolgersi però la fune viene guidata da scarpe d'imbocco dotate di una fodera in materiale cedevole, con la funzione di assorbire le oscillazioni della fune e garantire un determinata angolo d'imbocco sul tamburo.

Tra ogni scarpa d'imbocco e il tamburello è poi presente una scarpetta sensibile, che costituisce il dispositivo di scatto del freno su fune portante.

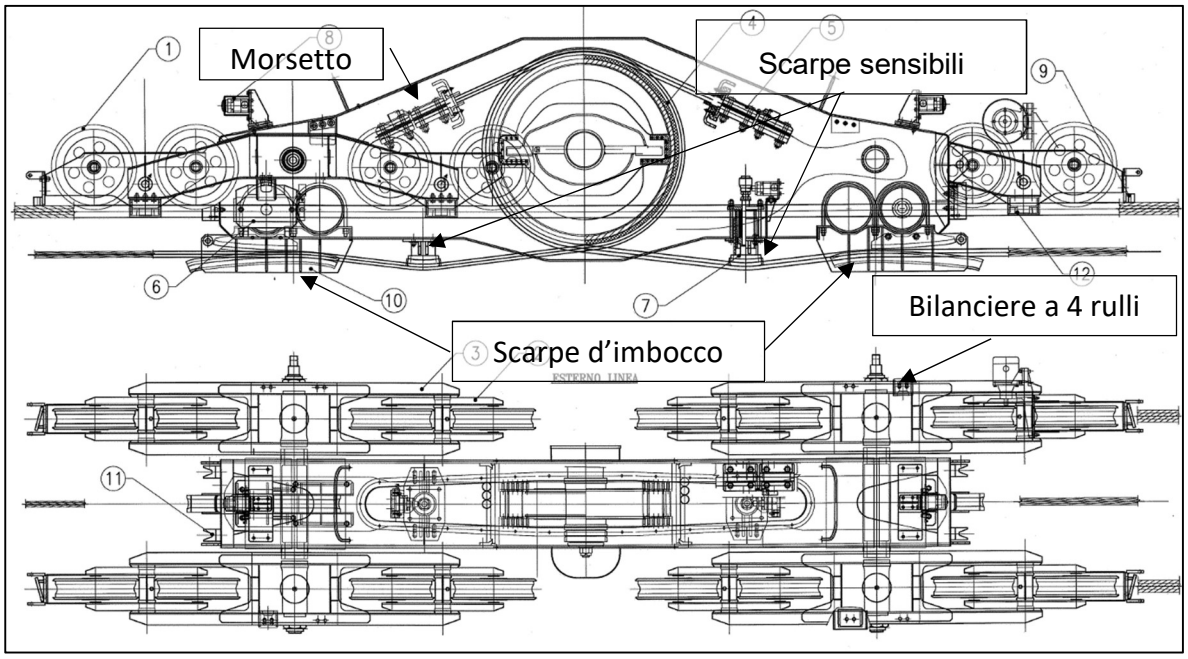


Figura 13 Carrello a 16 rulli

Freno sulla portante

Il freno agente sulla fune portante è di principio del tipo a chiusura meccanica mediante molle a tazza e ad apertura idraulica (*Figura 15*). Esso può essere a spinta diretta oppure a pinza. Alle ganasce sono collegati i pattini realizzati in rame o in lega speciale ampcoloy (in cui il rame è legato al cromo), in modo che la fune portante non sia danneggiata in caso di scatto del freno.

Lo sforzo frenante di ciascun ceppo di freni può essere provato chiudendo il freno e tirando la vettura con l'argano (prova amperometrica). La coppia motrice necessaria per muovere la vettura indica la capacità frenante del freno.

Il freno sulla fune portante deve intervenire nel caso in cui ci sia una rottura o un allentamento anomalo della fune traente, in caso di extracorsa in stazione, oppure nel caso di azionamento manuale dalla cabina.

Il dispositivo di scatto che comanda l'intervento del freno sulla portante per rottura della fune traente è composto, nel caso di ancoraggio a tamburello, da una scarpetta mobile *(Figura 14*) che preme sulla fune contrastata da un pacco di molle a tazza. La deviazione della fune crea sul pistone una forza di valore proporzionale alla tensione nella fune. In condizioni di tensione normale nella fune, la scarpa è a fine corsa in quanto la pressione dovuta alla fune è molto maggiore della resistenza delle molle. Quando la tensione cala oltre un minimo prestabilito (in caso di rottura della fune o di altri componenti guidafune) la scarpetta è libera di spostarsi, spinta dalle molle, liberando l'asta che comanda una valvola di scarico del circuito idraulico del freno oppure un cinematismo meccanico di scatto. Nel caso di testa fusa, l'allentamento della fune provoca uno spostamento della testa fusa, che è contrastata da molle o da pressione idraulica. Tale spostamento attiva un microinterruttore e scarica il circuito idraulico del freno mediante valvola.

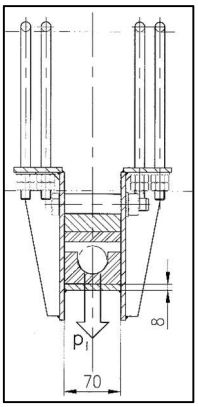


Figura 14 Scarpetta di deviazione della fune traente

L'efficienza del meccanismo di intervento del freno sulla portante in seguito alla rottura della fune può essere testata mediante la prova di "finto taglio". Il test simula la rottura della fune traente togliendo il carico da quest'ultima nel tratto interessato dal dispositivo. Attraverso l'applicazione intermedia di un misuratore di tensione è possibile verificare a quale tensione residua nella fune avviene lo scatto del freno. Tale tensione residua deve essere maggiore, per convenzione, della componente peso della fune traente.

È possibile azionare manualmente il freno sulla portante dal pulpito di comando in cabina.

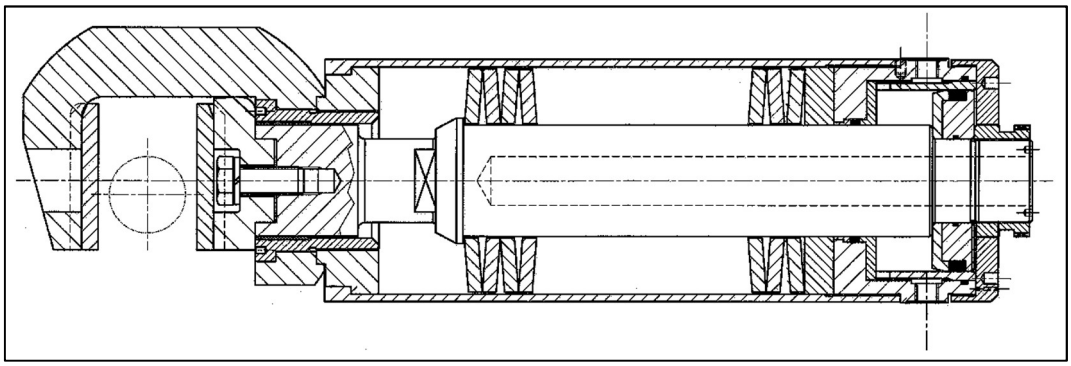


Figura 15 Freno sulla portante

Sospensione

La sospensione collega il carrello alla cabina. Il perno di sospensione, che collega il carrello con il telaio della sospensione, è concepito in modo da non trasmettere al carrello le eventuali oscillazioni longitudinali e trasversali della cabina (*Figura 16*).

Per smorzare le oscillazioni longitudinali determinate dal passaggio dei veicoli sui sostegni o a seguito di un arresto, le vetture sono dotate di smorzatori. In genere questi sono realizzati con sistema a dischi frenanti sul perno della sospensione, oppure con dissipatori idraulici collegati a cilindri verticali.

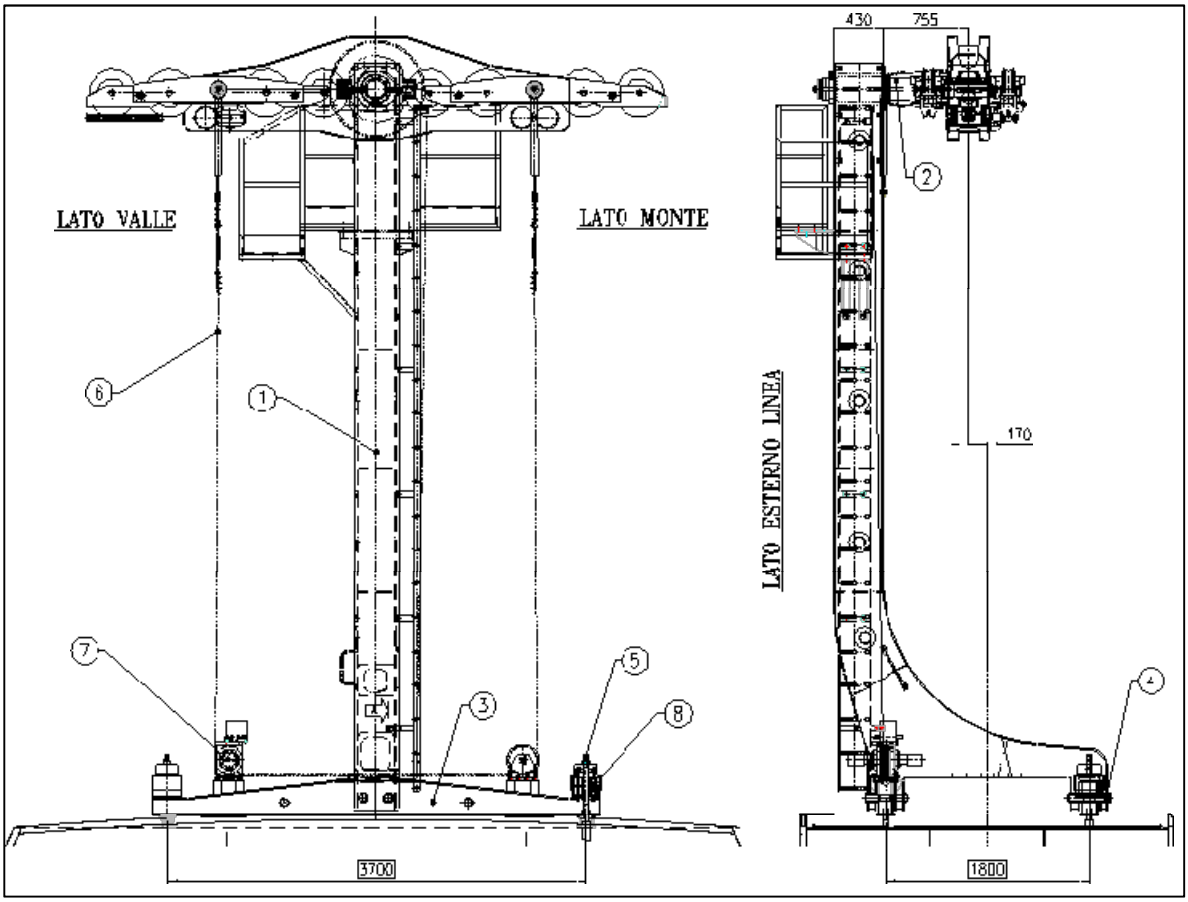


Figura 16 Sospensione

Cabina

La cabina, illustrata in *Figura 17* è costituita da una parte strutturale e da una parte di rivestimento. Dotata di finestrature, deve presentare caratteristiche antincendio adeguate ed essere attrezzata con il materiale per la calata dei passeggeri in caso di soccorso. Essa ospita il pulpito per comandare l'impianto da vettura.

La cabina è dotata di batterie per l'alimentazione dei circuiti di comando e di sicurezza, per l'illuminazione interna ed esterna e per il comando delle porte automatiche. Quando le vetture sono in stazione, gli accumulatori in cabina vengono caricati a tampone, mediante gli appositi contatti sul carrello.

Le dimensioni della cabina influiscono sui tempi di evacuazione della linea. Alle origini delle funivie i veicoli contenevamo un numero ridotto di persone, oggi possono trasportare centinaia di passeggeri. Il soccorso in linea è stato originariamente pensato per soccorrere 10-30 persone. Aumentando il numero di passeggeri da evacuare le procedure sono più complicate e lunghe. Difficilmente, in futuro, si potrà evacuare i passeggeri lungo la linea, rispettando il tempo di evacuazione massimo di 3 ore, se la capacità della cabina aumenterà ulteriormente.

Figura 17 Cabina

2.4 Elementi costitutivi il sistema B

2.4.1 Argano di soccorso

L'argano è costituito da una puleggia motrice dotata di due sistemi frenanti uno di servizio ed uno di emergenza. L'anello trattivo è generalmente messo in movimento da un motore indipendente di tipo elettrico o termico ed un azionamento idraulico.

2.4.2 Contrappeso della fune di soccorso

Il contrappeso è alloggiato generalmente nella stessa fossa del contrappeso della fune traente e può essere dotato di una massa addizionale.

In caso di esercizio dell'impianto principale (sistema A) la fune soccorso si configura al di sopra delle funi portanti e le funi traenti dell'anello trattivo principale, mentre in caso di esercizio dell'impianto di soccorso il contrappeso addizionale viene tolto e la configurazione della fune si abbassa.

Il tensionamento della fune di soccorso può essere anche idraulico, tramite l'utilizzo di un pistone che movimenta una slitta sopra cui è fissata la puleggia che mette in tensione la fune. Anche in questo caso la variazione di configurazione avviene variando la pressione del cilindro.

2.4.3 Rulliere di linea

Le rulliere sono installate sui sostegni normalmente ad una quota più elevata rispetto alle scarpe che deviano le funi portanti. Servono per sostenere la fune di soccorso e permettono il passaggio del morsetto del carrello di soccorso.

2.4.4 Veicolo di soccorso

Il veicolo è di tipo aperto, collegato tramite una sospensione ad un carrello che poggia sulle funi portanti (*Figura 18*). Il veicolo è dotato di un sistema di attacco del carrello alla fune di soccorso mediante un morsetto, in alcuni casi montato all'estremità di un'asta collegata al carrello con uno snodo sferico. Il veicolo viene ricoverato in stazione e montato in caso di necessità, sollevandolo con dei paranchi. Lo stesso veicolo può essere dotato di sospensione telescopica qualora la posizione della vettura in linea e le condizioni di carico generino una grande differenza di quota tra veicolo di soccorso e vettura principale.

Il veicolo di soccorso compie diversi tragitti dalla stazione più vicina alla cabina ferma, fino al completamento dell'evacuazione. L'accostamento alla può avvenire in modi differenti, ad esempio dal tetto della cabina o rimuovendo uno sportello frontale mobile della cabina.

Il veicolo di soccorso risiede normalmente in stazione (di solito su un lato di una delle due vie di corsa oppure in una delle due fosse), per la sua movimentazione viene solitamente previsto un arganello motorizzato, che consente di portare il veicolo prima sul piano imbarco per regolare il sistema telescopico in funzione della posizione della cabina lungo la linea, quindi di sollevarlo ed appoggiarlo sulle funi portanti. Il veicolo viene quindi ammorsato alla fune di soccorso, ed è allora pronto per iniziare le operazioni di evacuazione della linea, che possono essere precedute da una movimentazione di prova del veicolo vuoto con successivo controllo del corretto ammorsamento.

Figura 18 Carrello di soccorso funivia Staffal-Sant'anna

2.4.5 Esempio di procedura di soccorso

Una volta accertata l'impossibilità di recuperare il veicolo fermo in linea in zona non idonea alla calata, comunicata la situazione agli immediati superiori, raggiunto un numero sufficiente di agenti soccorritori, il macchinista o responsabile dell'impianto, stabilisce innanzi tutto la lunghezza da assegnare alla sospensione del veicolo di soccorso (*Figura 19*).

Questa è stabilita da una tabella predisposta in funzione della posizione del veicolo in linea. Due agenti provvedono a posizionare il carrello di soccorso sulle funi portanti, mediante l'apposito paranco.

Successivamente un agente provvede a fissare alla fune di soccorso il morsetto del veicolo di soccorso e a regolare la sospensione sulla lunghezza richiesta; contemporaneamente l'altro agente provvede ad avviare e scaldare l'argano diesel – idraulico e a ridurre la tensione dell'anello di soccorso fino a portarla ai valori stabiliti che

corrispondono ad una configurazione in linea circa pari alla fune portante. Questa operazione è resa possibile sollevando il contrappeso addizionale tramite l'apposito paranco.

Quando tutto è pronto un agente sale sul veicolo di soccorso mentre un macchinista provvede alla manovra; per tutto il viaggio l'agente sul veicolo sarà in contatto radio con il macchinista presso l'argano di soccorso.

Il viaggio di avvicinamento al veicolo viene percorso alla velocità massima consentita.

Contemporaneamente il vetturino smonta il portellone frontale e posiziona delle barre di sicurezza provvisorie, da rimuovere dopo l'avvicinamento del veicolo di soccorso.

Quando il veicolo di soccorso è a circa 2 m dal veicolo principale la passerella estraibile viene ribaltata fino al piano di calpestio del veicolo principale e i due veicoli vengono collegati con le braghe di sicurezza disponibili sul veicolo di soccorso.

A questo punto inizia il trasbordo dei passeggeri; una volta completato il trasbordo fino alla massima capienza del veicolo di soccorso, viene sollevata la passerella estraibile ed il veicolo di soccorso inizia il viaggio di ritorno.

Una volta arrivati alla stazione di valle i passeggeri scendono dal veicolo di soccorso utilizzando passerelle e rampe mobili eventualmente disponibili presso la stazione; il veicolo inizia quindi un nuovo viaggio verso il veicolo principale.

La procedura si ripete fino a completare l'evacuazione del veicolo.

Terminato l'ultimo viaggio il veicolo di soccorso viene sganciato dalla fune di soccorso.

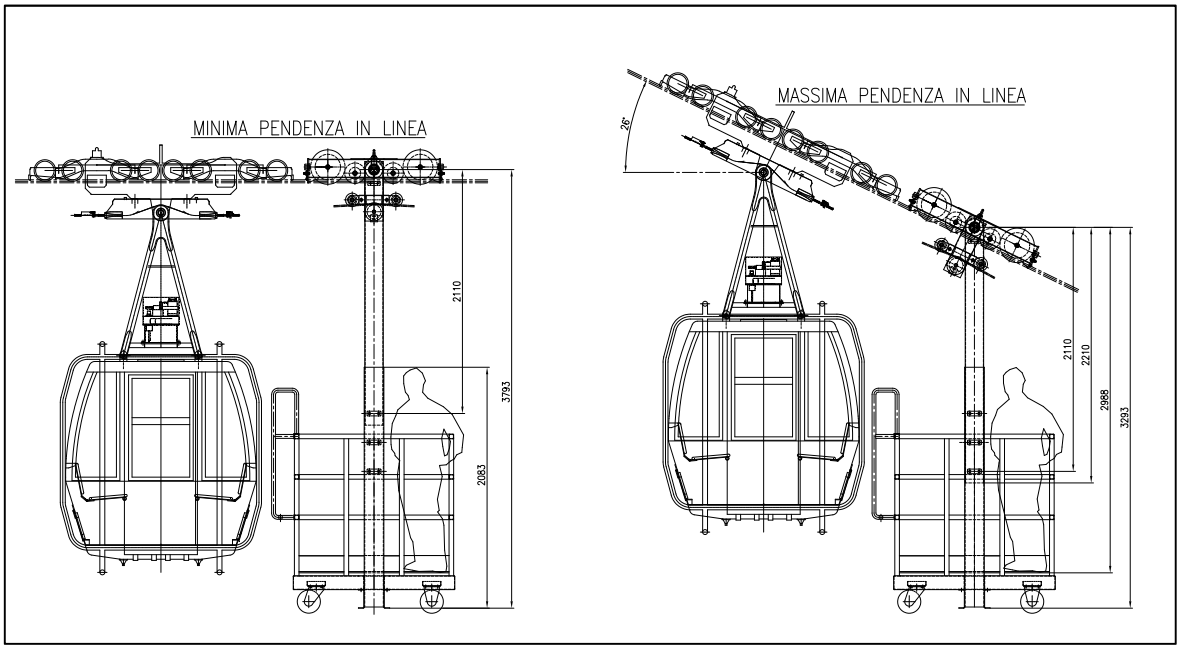


Figura 19 Procedura di soccorso

2.5 Svantaggi del sistema di soccorso

2.5.1 Costi

Il sistema di soccorso lungo la fune portante di fatto rappresenta un impianto supplementare che comprende una fune traente, un argano di recupero un sistema di tensionamento, un veicolo e alle apparecchiature elettriche di gestione.

Il progetto, l'acquisto, il trasporto e il montaggio degli elementi precedentemente elencati si traduce in un significativo aumento dei costi dell'impianto. Il sistema inoltre avrà delle spese di manutenzione e di verifica del corretto funzionamento che possono essere giornaliere, mensili o annuali in base ai Manuali di Uso e Manutenzione (M.U.M.) del costruttore.

Elemento	**Costo unitario dell'elemento**		**Quantità**	**Costo totale per elemento**	
	Unità di misura	**Valore**		**Unità di misura**	**Valore**
COSTI PER LA REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO DI SOCCORSO					
Struttura e attrezzamento dell'impianto	€	50000	1	€	50000
Argano di soccorso	€	100000	1	€	100000
Trasporto in sito e scarico del sistema (trasporto della fune escluso)	€	20000	1	€	20000
Elicottero per la costruzione	€	15000	1	€	15000
Rulli	€	900	30	€	27000
Fune di soccorso	€/m	25.34	1400	€	35476
Trasporto della fune	€/ton	150	13	€	1950
Installazione della fune	€	25000	1	€	25000
Impalmatura della fune	€	4600	1	€	4600
Veicoli soccorso	€	5000	2	€	10000
Assemblaggio/montaggio del sistema	€	80000	1		80000
Assistenza al montaggio del sistema	€/ (giorni-uomo)	650	90		58500
SUBTOTALE 1 (ST1")				€	427526
Spese generali	€	12.5% di ST1		€	53440.75
SUBTOTALE 2				€	480966.75
Profitto	€	8% di ST2		€	38477.34
SUBTOTALE 3				€	519444.09
Costi vari, eventuali o imprevisti	€	4% di ST3		€	20777.76
TOTALE COSTO DI REALIZZAZIONE				€	540221.85
IVA	€	22% di ST4		€	118848.80
COSTO TOTALE FINALE				€	659070.66

Elemento	Costo unitario dell'elemento		Quantità	Costo totale per elemento	
	Unità di misura	Valore		Unità di misura	Valore
COSTI PER LA REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO PRINCIPALE					
Struttura e attrezzamento dell'impianto	€	300000	1	€	300000
Stazione valle	€	575000	1	€	575000
Stazione monte	€	350000	1	€	350000
Argano	€	300000	1	€	300000
Pilone	€	20000	1	€	20000
Trasporto in sito e scarico del sistema (trasporto della fune escluso)	€	20000	1	€	20000
Elicottero per la costruzione	€	15000	1	€	15000
Cavallotti	€	1000	10	€	10000
Rulli	€	900	48	€	43200
Fune portante	€/m	26	4x1400	€	145600
Fune traente	€/m	25.34	1400	€	35476
Trasporto della fune	€/ton	150	65	€	9750
Installazione della fune	€	25000	5	€	125000
Veicoli	€	100000	2	€	200000
Assemblaggio/montaggio del sistema	€	80000	1	€	80000
Assistenza al montaggio del sistema	€/ (giorni-uomo)	650	120	€	78000
Costi di avviamento dell'attività	€	10000	2	€	20000
Fornitura di energia elettrica	€	70000	2	€	140000
Trasformatore	€	22500	2	€	45000
Cabina di trasformazione	€	72000	2	€	144000
SUBTOTALE 1 (ST1")				€	2656026
Spese generali	€	12.5% di ST1		€	332003.25
SUBTOTALE 2				€	2988029.25
Profitto	€	8% di ST2		€	239042.34
SUBTOTALE 3				€	3227071.59
Costi vari, eventuali o imprevisti	€	4% di ST3		€	129082.86
TOTALE COSTO DI REALIZZAZIONE				€	3356154.45
COSTI INVARIABILI					
Sicurezza	€	90000	1	€	90000
Progettazione	€	80000	1	€	80000

Elemento	Costo unitario dell'elemento		Quantità	Costo totale per elemento	
	Unità di misura	Valore		Unità di misura	Valore
Consulenza geologica	€	6000	1	€	6000
Acquisizione delle aree	€	7500	1	€	7500
Progettazione per la Valutazione dell'Impatto Ambientale ("VIA")	€	30000	1	€	30000
Prove, contabilità, coordinamento della sicurezza, conferenze di servizio	€	400000	1	€	400000
Consigli, comitati	€	7000	1	€	7000
Pubblicità	€	20000	1	€	20000
TOTALE COSTI INVARIABILI				€	640500
SUBTOTALE 4				€	3996654.45
IVA	€	22% di ST4		€	879263.97
COSTO TOTALE FINALE				€	4875918.43

L'analisi dei costi evidenzia che il costo di un impianto principale è 8 volte un impianto di soccorso.

Omettere il soccorso in linea significa risparmiare più del 12% sul totale.

2.5.2 Fune soccorso

La fune soccorso è in genere una fune di dimensioni ridotte rispetto alle altre presenti nell'impianto a causa delle minori sollecitazioni cui è sottoposta. Essa è normalmente sospesa in alto sui sostegni e tesa tramite un contrappeso a doppia sezione per impedirne l'interferenza con le funi portanti. Nevicate e gelate possono aumentare la massa a metro lineare della fune soccorso e aumentare il rischio di accavallamento.

Essendo la fune posta più in alto, è quella più esposta a scariche atmosferiche, che danno luogo ad una serie di manifestazioni termiche localizzate con conseguenti fusioni parziali del metallo, creano modificazioni della struttura metallografica, alterazioni della superficie e della sezione della fune, tali da pregiudicarne l'impiego.

La fune di soccorso svolge funzione di "fune di guardia", è considerata "sacrificale" rispetto alle sottostanti e spesso soggetta a riparazioni con inserimento di spezzoni.

La fune di soccorso è usata raramente, se non in caso di emergenza o in caso di prova di evacuazione, per le ragioni in precedenza elencate risulta un elemento critico.

L'elevata tensione della fune soccorso, che non viene praticamente mai messa in movimento, crea problemi di carico statico sui rulli di soccorso. La fune sollecita per lunghi periodi la stessa sezione del rullo deformando permanentemente il rivestimento.

L'elevata tensione può inoltre causare il sollevamento del carrello del veicolo di soccorso dalla fune portante con successivo scarrucolamento. La tensione viene ridotta togliendo il

contrappeso addizionale, ma il rischio di scarrucolamento può persistere per cause che possono alterare la tensione dell'anello di trazione.

2.5.3 Tempi evacuazione

Il *Decreto infrastruttura 337/2012* prescrive che la procedura di evacuazione di veicoli chiusi non superi le 3 ore, il calcolo del tempo decorre dall'immobilizzazione dell'impianto all'arrivo in un luogo sicuro dell'ultimo passeggero.

I tempi prescritti da normativa vanno rispettati nelle prove di evacuazione che si effettuano annualmente. Le prove solitamente sono effettuate in estate con sovrabbondanza del personale, di conseguenza in condizioni climatiche avverse i tempi di evacuazione si dilatano.

Le difficoltà principali che si riscontrano nell'impiego del sistema di soccorso sono nella preparazione del veicolo di soccorso; vi è infatti la possibilità di sbagliare la regolazione della sospensione telescopica. In tal caso è necessario ricominciare l'intera procedura.

Risulta inoltre possibile che durante le operazioni di soccorso vada ulteriormente regolato il braccio telescopico perché a causa dell'alleggerimento del veicolo principale, conseguente all'evacuazione graduale delle persone, la cabina si sosta verso l'alto. Siccome la regolazione della sospensione telescopica può essere effettuata con il paranco solo quando il veicolo di soccorso è stato smontato dalla fune portante e appoggiato a terra.

Tra le altre operazioni che complicano il soccorso c'è l'avvicinamento dei due veicoli in linea, le comunicazioni secondo la normativa possono avvenire tramite radiotelefoni. L'operatore a bordo del veicolo di soccorso deve quindi comunicare la propria posizione alla stazione motrice per indicare il rallentamento e l'arresto nella posizione desiderata. Quest'operazione e d'obbligo a causa dell'assenza dei comandi sulla vettura di soccorso.

Questo tipo di comunicazione può essere complicato da una conformazione del terreno accidentata e da condizioni climatiche non ottimali. Bisogna effettuare l'operazione di affiancamento dei veicoli in sicurezza e lentamente.

2.5.4 Trasbordo utenti

In caso di veicolo principale affollato, risulta complicato per il vetturino smontare il pannello frontale e riporlo lateralmente per consentire una corretta evacuazione. Il passaggio sulla passerella in caso di vento forte può rallentare le operazioni di salvataggio a causa dell'oscillazione delle vetture che rendono difficile la fase di avvicinamento e non agevole il trasbordo. Se la vettura principale si ferma nel punto della linea in cui il franco verticale dal suolo è massimo, le operazioni di trasbordo rallenterebbero ulteriormente a causa di alcuni passeggeri che possono soffrire di acrofobia.

Se a bordo del veicolo sono presenti persone disabili o con difficoltà motorie non è sempre possibile tramite la passerella trasportarle in sicurezza sul veicolo di soccorso.

3 Analisi dei rischi e individuazione degli eventi pericolosi

Si procede ora a redigere l'inventario dei rischi e delle situazioni pericolose. Normalmente l'analisi di sicurezza dell'impianto serve a determinare l'elenco dei componenti di sicurezza.

Le norme *CEI EN 50126* e *CEI EN 50129* forniscono i criteri per la valutazione del rischio, che viene calcolato in funzione della probabilità di accadimento, dei pericoli e delle conseguenze a seguito dell'evento.

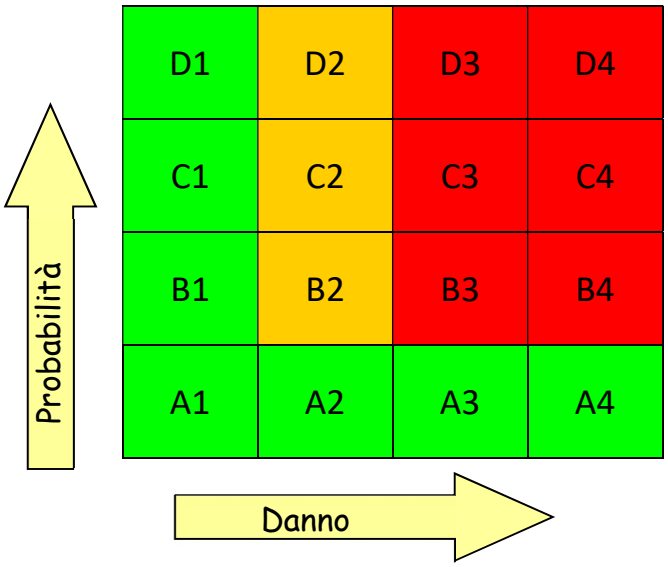
L'analisi riguarda i rischi che potrebbero manifestarsi in corso di funzionamento valutandone l'entità nel quadro delle fasi di progettazione, costruzione e messa in servizio, con particolare attenzione agli addetti all'impianto e ad ogni altra figura che si interfacci con l'impianto nel suo complesso.

La stima dell'entità del rischio viene valutata in termini semi qualitativi in funzione della probabilità P e dell'entità del danno D causato dalla mancanza rilevata.

PROBABILITÀ CHE SI VERIFICHI L'INFORTUNIO **P**		
Valore	*Livello*	*Definizioni/criteri*
D	*Altamente probabile*	Esiste una correlazione diretta tra la mancanza rilevata e il verificarsi del danno ipotizzato. Si sono già verificati danni per la stessa mancanza rilevata nella stessa Azienda o in Azienda simile o in situazioni operative simili. Il verificarsi del danno conseguente la mancanza rilevata non susciterebbe alcun stupore in Azienda.
C	*Probabile*	La mancanza rilevata può provocare un danno, anche se non in modo automatico o diretto. È noto qualche episodio in cui alla mancanza ha fatto seguito il danno. Il verificarsi del danno ipotizzato susciterebbe una moderata sorpresa in Azienda.
B	*Poco Probabile*	La mancanza rilevata può provocare un danno solo in circostanze sfortunate di eventi. Sono noti rarissimi episodi già verificatisi. Il verificarsi del danno ipotizzato susciterebbe grande sorpresa in Azienda.
A	*Improbabile*	La mancanza rilevata può provocare un danno per la concomitanza di più eventi poco probabili indipendenti. Non sono noti episodi già verificatisi. Il verificarsi del danno susciterebbe incredulità in Azienda.

ENTITÀ DEL DANNO **D**		
Valore	*Livello*	*Definizioni/criteri*
4	*Gravissimo*	Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti letali o invalidità totale. Esposizione cronica con effetti letali e/o totalmente invalidanti.
3	*Grave*	Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti di invalidità parziale. Esposizione cronica con effetti irreversibili e/o parzialmente invalidanti.
2	*Medio*	Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità reversibile. Esposizione cronica con effetti reversibili.
1	*Lieve*	Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità rapidamente reversibile. Esposizione cronica con effetti rapidamente reversibili.

R = P x D



In sostanza, il *rischio* R (espresso come prodotto R = P x D) viene definito come la probabilità che sia raggiunto il livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego e/o di esposizione, nonché le dimensioni possibili del danno stesso.

Premesso che non esiste alcuna lavorazione, pratica, procedura operativa a rischio zero (0), si definisce *rischio residuo* il permanere di una lieve probabilità di danno (o per entità o per probabilità o per una loro combinazione) anche dopo aver messo in atto tutti gli accorgimenti tecnici e le procedure che lo stato dell'arte e delle conoscenze abbia permesso.

Il rischio residuo può essere gestito tramite cartelli monitori e/o la formazione e l'informazione degli addetti.

Determinare i criteri di scelta dei componenti di sicurezza è un procedimento effettuato in funzione della valutazione progettuale della magnitudo del rischio definito come sopra.

In sostanza, si è determinato che quando il soggetto coinvolto fa parte di un sottosistema e la magnitudo del rischio originario è compreso fra B3 e D4 (B3, C3, D3, B4, C4, D4, nonché la zona rossa), lo stesso/a viene definito/a "componente di sicurezza".

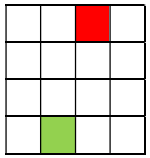
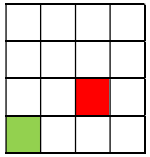
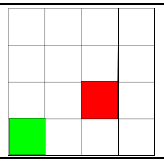
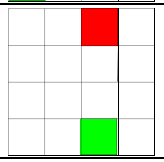
Le schede di rischio nel loro complesso individuano lo scenario totale dei rischi possibili e permettono di individuare in maniera chiara ed intuitiva quale sia il rischio effettivo.

Le colonne della scheda di rischio vengono suddivise nel seguente modo:

- Causa scatenante o evento pericoloso.
- Misure di prevenzione e protezione. In questa colonna vengono descritti i provvedimenti con cui affrontare i singoli eventi pericolosi. Ciò non significa necessariamente la completa eliminazione del rischio: in presenza di pericoli non completamente eliminabili, infatti, la direttiva 2000/9 CE prevede all'Allegato 2 comma 2.2 che vengano adottate adeguate misure di protezione o precauzioni apposite.
- Valutazione del rischio. In questa colonna si ripropone la matrice di rischio, indicando il rischio originario ☐ ed il rischio residuo ☐ a seguito dell'adozione delle misure di prevenzione e protezione.
- Soggetto coinvolto. Vengono identificati per ogni evento pericoloso i soggetti coinvolti così come definiti all'inizio del *capitolo 2*.
- Documentazione tecnica a corredo. Per ogni evento pericoloso in oggetto di analisi vale il riferimento alla relazione di dimensionamento dell'impianto e ai disegni di assieme; qualora la misura preventiva richieda un'analisi accurata e approfondita delle componenti coinvolte, il riferimento al documento contenente le verifiche dimensionali può essere specifico.

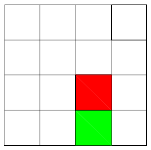
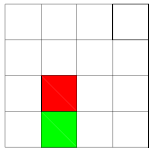
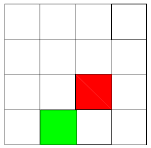
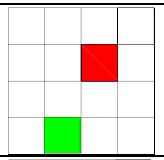
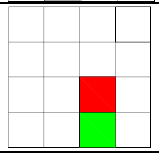
SCHEDA DI RISCHIO

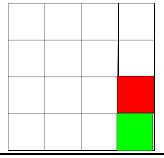
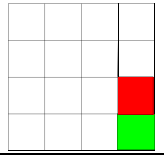
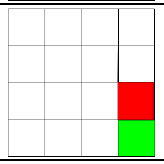
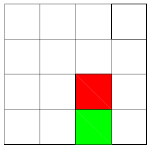
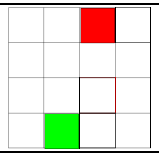
URTO fra veicoli e ostacoli in linea

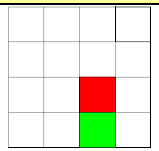
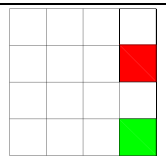
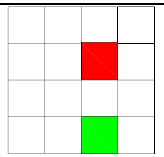
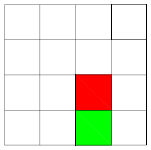
Evento pericoloso	Misure di prevenzione e protezione	Valutazione del rischio R = PxD	Soggetto coinvolto	Documentazione tecnica a corredo
Insufficienti caratteristiche prestazionali del sistema elastico della morsa	• Calcolo strutturale dettagliato; corretta determinazione progettuale della resistenza allo scorrimento sulla fune della morsa • Dispositivo di sorveglianza dello sforzo in stazione • Prova periodica di scorrimento della morsa • Verifica periodica al banco delle caratteristiche prestazionali della morsa • Dispositivo di sorveglianza della posizione veicolo		*SS 3* *SS 4* *SS 5*	• Verifica della linea • Relazione di calcolo dedicata – Morsa • Manuale di uso e manutenzione – indicazione su periodo e modalità di controllo delle morse
Sovraccarico del veicolo	• Rispetto dei limiti di impiego dei veicoli riguardo la massima capacità di carico ammessa		*SS 4*	• Relazione di calcolo dedicata – Veicolo
Impigliamento del veicolo sulla struttura dei sostegni di linea	• Verifica del libero transito sui sostegni di linea • Sorveglianza elettrica del vento		*SS 3* *SS 5*	• Verifica della linea • Elaborati grafici di passaggio veicolo
Mancato controllo della traslazione del veicolo in fossa	• Controllo del corretto posizionamento del veicolo in stazione per mezzo di sensori di prossimità (proximity) • Sorveglianza del corretto avanzamento del veicolo lungo tutta la stazione		*SS 3* *SS 5*	• Relazione tecnica generale • Elaborati grafici dei layout generali • Sorveglianze elettriche di stazione

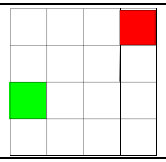
SCHEDA DI RISCHIO

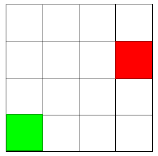
CADUTA DALL'ALTO

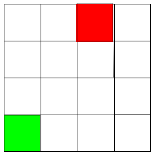
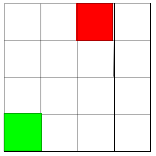
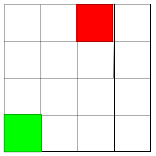
Evento pericoloso	Misure di prevenzione e protezione	Valutazione del rischio R = PxD	Soggetto coinvolto	Documentazione tecnica a corredo
Rottura albero motore, cedimento strutturale dei supporti, cedimento strutturale della puleggia	• Calcolo strutturale dettagliato; valutazione resistenza statica e a fatica (ove necessario) • Controlli e verifiche periodiche; manutenzione del sistema		*SS 2*	• Relazione di calcolo dedicata – Argano
Supporti volventi dispositivo argano danneggiati	• Controlli e verifiche periodiche; manutenzione del sistema • Calcolo strutturale dettagliato; valutazione resistenza statica e a fatica (ove necessario)		*SS 2*	• Relazione di calcolo dedicata – Argano • Manuale di uso e manutenzione – indicazione su periodi e modalità di verifiche e correzioni {indicare dopo quante ore sostituire i cuscinetti}
Brusco cedimento del sistema di tensione	• Sistema di tensionamento delle funi dimensionato, progettato e realizzato in modo da resistere con una sicurezza sufficiente alle sollecitazioni corrispondenti a tutte le condizioni prevedibili. • Sistema di rilevazione del tiro dell'anello trattivo (cella dinamomentrica) • Sorveglianze elettriche del sistema di tensionamento		*SS 3* *SS 5*	• Relazione tecnica generale
Malfunzionamento sistema di controllo o trasmissione velocità	• Manutenzione periodica, test e verifiche periodiche • Presenza di gruppo centrifugo d'argano		*SS 3* *SS 5*	
Perdita di assetto delle funi	• Calcolo strutturale dettagliato; valutazione resistenza statica e a fatica (ove necessario) • Controlli e verifiche periodiche; manutenzione del sistema		*SS 1* *SS 2*	• Relazione di calcolo dedicata – Argano

SCHEDA DI RISCHIO				**CADUTA DALL'ALTO**
Rottura fune	• Controlli e verifiche periodiche dell'integrità delle funi traenti • Rispetto dei limiti di impiego dichiarati		*SS 1*	• Manuale di uso e manutenzione – indicazione periodo e modalità di controllo delle funi
Apertura dell'impalmatura della fune traente	• Corretta esecuzione dell'impalmatura		*SS 1*	
Cedimento o allentamento degli ancoraggi delle funi portanti	• Adozione di adeguati rapporti di avvolgimento sui tamburi di ancoraggio • Adozione di morsetti per il tiro residuo • Adozione di morsetti di guardia		*SS 1*	• Verifica della linea • Relazione tecnica generale
Perdita di controllo dell'anello trattivo	• Calcolo strutturale dettagliato di pulegge e freni di emergenza • Controlli e verifiche periodiche; manutenzione del sistema		*SS 1* *SS 2*	• Relazione di calcolo dedicata – Argano • Manuale di uso e manutenzione – indicazione periodo e modalità di controllo dei freni di emergenza sulla puleggia motrice, nonché dello stato di usura delle guarnizioni delle gole delle pulegge
Scarrucolamento della fune traente dai rulli e dalle guide di stazione	• Geometria dei rulli adeguata • Dispositivi meccanici antisvio • Dispositivo di sorveglianza elettrico degli scambi di stazione		*SS 3* *SS 5*	• Relazione tecnica generale • Verifica della linea

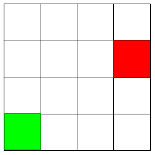
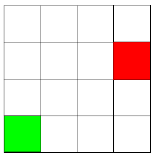
SCHEDA DI RISCHIO				CADUTA DALL'ALTO
Scarrucolamento della fune traente dalle pulegge di stazione	• Calcolo strutturale dettagliato di pulegge motrici e di pulegge folli • Controlli e verifiche periodiche; manutenzione del sistema		*SS 1* *SS 2*	• Relazione di calcolo dedicata – Argano • Manuale di uso e manutenzione – indicazione periodo e modalità di controllo delle pulegge
Perdita del veicolo	• Controlli e verifiche periodiche; manutenzione del sistema • Calcolo strutturale dettagliato; valutazione resistenza a scorrimento dispositivi di ancoraggio		*SS 4*	• Relazione di calcolo dedicata – Veicolo • Manuale di uso e manutenzione – indicazione su periodi e modalità di verifiche e correzioni
Caduta di materiale da un veicolo	• Controlli e verifiche periodiche; manutenzione del cassone e dell'argano del veicolo		*SS 4*	• Manuale di uso e manutenzione – indicazione su periodi e modalità di verifiche
Inefficienza dei sistemi frenanti	• Scelta delle forze frenanti nel rispetto delle decelerazioni min e max adeguate alla tipologia dell'impianto • Dimensionamento, progettazione e realizzazione dei sistemi frenanti meccanici in modo da resistere con una sicurezza sufficiente alle sollecitazioni corrispondenti a tutte le condizioni prevedibili, anche fuori esercizio, tenendo conto in particolare delle azioni esterne, degli effetti dinamici e dei fenomeni di fatica, conformemente allo stato dell'arte, in particolare per la scelta dei materiali		*SS 2* *SS 5*	• Relazione di calcolo dedicata – Argano • Manuale di uso e manutenzione – indicazione periodo e modalità di controllo dei freni di emergenza sulla puleggia motrice

SCHEDA DI RISCHIO		CESOIAMENTO / SCHIACCIAMENTO		
Evento pericoloso	**Misure di prevenzione e protezione**	**Valutazione del rischio** **R = PxD**	**Soggetto coinvolto**	**Documentazione tecnica a corredo**
Organi in movimento	• Protezione di tutti gli organi in movimento		*SS 2* *SS 3*	• Elaborati grafici specifici

FATTORE AMBIENTALE		Varie: scariche atmosferiche, elettrodotti, gasdotti, condutture idriche, navigazione aerea		
Evento pericoloso	**Misure di prevenzione e protezione**	**Valutazione del rischio** **R = PxD**	**Soggetto coinvolto**	**Documentazione tecnica a corredo**
Sovratensione da scariche atmosferiche od altro	• Messa a terra efficace delle funi e del materiale metallico di linea e di stazione • Evitare, per mezzo di opportune apparecchiature, pericolose tensioni di passo e di contatto • Messa in opera di sistemi di protezione contro i fulmini		*SS 5* *SS 4*	• Impianto di messa a terra • Sistema di protezione fulmini

FATTORE AMBIENTALE				**Vento**
Evento pericoloso	**Misure di prevenzione e protezione**	**Valutazione del rischio** **R = PxD**	**Soggetto coinvolto**	**Documentazione tecnica a corredo**
Effetti indesiderati/pericolosi sull'esercizio dell'impianto dovuti al vento	• Sorveglianza dell'intensità e direzione del vento in linea • Installazione di anemometri come trasduttori per il fermo impianto in caso di vento eccessivo		*SS5*	• Verifica della linea • Elaborato grafico del profilo longitudinale
Urto veicolo sbandato su strutture fisse e mobili appartenenti all'impianto	• Verifica libero transito sui sostegni di linea • Verifica libero transito sulle scarpe		*SS 4*	• Verifica della linea • Elaborato grafico del profilo longitudinale • Elaborati grafici di passaggio del veicolo
Scarrucolamento del carrello del veicolo dalle funi portanti	• Verifica della stabilità del veicolo in movimento lungo la linea • Installazione di anemometri come trasduttori per il fermo impianto in caso di vento eccessivo		*SS 4* *SS 5*	• Elaborati grafici dei layout generali • Relazione di calcolo dedicata alla stabilità del veicolo e alla resistenza del carrello

FATTORE AMBIENTALE ⚠ **Incendio**

Evento pericoloso	Misure di prevenzione e protezione	Valutazione del rischio R = PxD	Soggetto coinvolto	Documentazione tecnica a corredo
Rottura di una o più funi dell'impianto	• Adozione di materiali con classe di reazione al fuoco adeguata per quanto riguarda le coperture/protezioni delle stazioni, oli dei circuiti idraulici • Eliminazione delle possibili fonti di innesco • Eliminazione dell'accumulo di sostanze infiammabili a ridosso della fune • Rispetto dei requisiti per le attività soggette al rilascio del certificato di prevenzione incendi • Monitoraggio (almeno visivo) del terreno sottostante la linea in caso di sorvolo di zone a possibile rischio di incendio estivo • Piano di evacuazione		*SS 1* *SS 2* *SS 3* *SS 4*	• Rilascio dei certificati dei materiali • Per le attività soggette: rilascio del certificato di prevenzione incendi • Valutazione di rischio incendio • Disposizioni interne del Tecnico responsabile
Collasso delle strutture metalliche di stazione e di linea	• Adozione di materiali con classe di reazione al fuoco adeguata per quanto riguarda i veicoli, le coperture/protezioni delle stazioni, oli dei circuiti idraulici • Realizzazione conforme alla normativa vigente di tutte le attività soggette alla prevenzione incendi • Regolamentazione dell'utilizzo di fiamme libere • Adozione e mantenimento in efficienza di tutti i presidi antincendio • Divieto di fumo nelle cabine di comando • Regolamentazione dello stoccaggio di materiale infiammabile di manutenzione o di alimentazione motori termici • Piano di evacuazione		*SS 1* *SS 2* *SS 3* *SS 4*	• Valutazione di rischio incendio • Rilascio dei certificati dei materiali e/o relative dichiarazioni • Per le attività soggette: rilascio del certificato di prevenzione incendi • Disposizioni interne del Tecnico responsabile

Un impianto tradizionale a “va e vieni” per garantire condizioni di esercizio normali occorre:

a) Garantire il movimento della fune traente
b) Mantenere la tensione della traente
c) Assicurare il libero passaggio del veicolo

Quando questi tre punti non vengono soddisfatti deve intervenire il carrello di soccorso; le possibili cause che lo richiedono possono essere le seguenti:

1) Mancata riapertura del freno sulla portante chiusosi per il malfunzionamento o per intervento intempestivo e rottura dell’anello trattivo
2) Accavallamenti delle funi di manovra
3) Scarrucolamenti, impiglio delle funi di manovra
4) Rottura dei componenti strutturali delle pulegge, siano esse di deviazione o motrici
5) Bloccaggio rullo dei sostegni o dei cavallotti in linea
6) Influenze esterne (cadute di alberi; impatto di aerei; impiglio di paracadute, parapendii, deltaplani e incendi nelle stazioni)

Lo scopo di tale analisi è riuscire a implementare delle misure di sicurezza in modo da non dover ricorrere in nessun caso all’utilizzo del veicolo di soccorso.

3.1 Casistica di incidenti nelle Funivie a va e vieni

In questo paragrafo vengono elencati tutti gli incidenti mortali riguardanti le funivie a va e vieni, molti di questi incidenti hanno manifestato un non funzionamento del freno sulla portante.

Anche i dati confermano quanto sia delicato il sistema freno del veicolo, il corretto funzionamento del dispositivo può essere testato, però il comportamento reale del dispositivo è di fatto diverso da quello atteso. In tabella sono stati evidenziati in giallo i casi in cui il freno sulla portante non ha fermato il veicolo.

Togliere il freno sulla portante può significare solo diminuire la complessità dell’impianto.

Anno	Descrizione incidente	Morti	Località	Nazione
1956	Guasto della connessione tra fune e carrello. I freni sulla portante non hanno funzionato. Il veicolo cade al suolo	1	Buisson, Chamois	Italia
19.08.1959	Il veicolo cade sl suolo per un cedimento strutturale del carrello	31	Santos	Brasile
03.06.1961	Il veicolo cade al suolo prima dell'inaugurazione dell'impianto per cause che non sono note	4 o 5	Saddle Mountain	Messico
25.12.1965	Il muro della cabina si rompe a causa di un'interruzione improvvisa di alimentazione elettrica	7	Puy de Sancy	Francia

Anno	Descrizione incidente	Morti	Località	Nazione
13.07.1972	Guasto alla fune traente. L'intervento dei freni sulla portante non è stato immediato, la fune traente era contaminata. I freni non hanno bloccato il carrello. Il veicolo si è scontrato con la stazione a valle. In un altro report i freni non si sono chiusi attorno alla fune	13	Betten	Svizzera
09.07.1974	Guasto alla fune traente. I freni sulla portante non funzionavano. Il veicolo cade al suolo dal sostegno di linea	4	Ulriken, Bergen	Norvegia
10.03.1976	Rottura della fune portante, segata dallo scorrimento della traente. Il guasto correttamente segnalato viene bypassato.	42	Cavalese	Italia
15.04.1978	Scavallamento della fune portante dalla scarpa. La fune portante urta il tetto della cabina e la divide in due	4	Squaw Valley	USA
23.06.1984	Parte del respingente di monte cade sulla cabina., attraversa il tetto e colpisce i passeggeri	1	Palm Springs	USA
13.01.1989	Il veicolo perde contatto con il carrello. Il veicolo cade a suolo.	8	Vaujany	Francia
01.06.1990	Guasto alla fune traente. Il freno sulla portante non ha funzionato. La vettura cade al suolo.	15	Tiflis	Georgia
03.02.1998	Un aereo militare trancia le funi portanti. Il veicolo cade al suolo	20	Cavalese	Italia
01.07.1999	Si sfila il “Chapeau-de-Gendarme” della fune traente. Il veicolo cade al suolo	20	Pic de Bure	Francia

4 Teoria dell'affidabilità

Tutti gli eventi pericolosi individuati in precedenza sono adeguatamente disciplinati in un impianto a va e vieni tradizionale, che può essere adottato come sistema di riferimento.

Essendo l'analisi fatta per verificare la sicurezza di un impianto a fune va e vieni con il soccorso integrato, utilizzando il *Regolamento di esecuzione UE 402/2013* e usando un criterio di accettazione del rischio basato sul confronto con sistemi analoghi, si considerano i rischi di una funivia a va e vieni classica globalmente accettabili.

I rischi dell'impianto senza il veicolo di soccorso devono essere comparabili ai rischi della funivia classica per ritenere la sicurezza del soccorso integrato globalmente accettabile.

Il confronto tra i due sistemi è svolto attraverso un'analisi di affidabilità. I due impianti si definiscono così confrontabili se hanno la stessa affidabilità.

L'obbiettivo di questa analisi è quello di dimostrare analiticamente che con la ridondanza di certi elementi e con l'utilizzo di nuove tecnologie si possa ottenere la stessa sicurezza di un impianto tradizionale omettendo l'impianto di soccorso.

L'origine del concetto di affidabilità risale al periodo tra la prima e la Seconda guerra mondiale con la comparsa dei primi aerei a più motori per i quali si doveva decidere quale fosse la migliore configurazione per il sistema di propulsione; inoltre il non funzionamento anche solo di alcune parti dello stesso potevano pregiudicare la missione, e spesso la sicurezza del volo.

La teoria dell'affidabilità è stata sviluppata con lo scopo di fornire metodi per valutare se un prodotto o un servizio sarà funzionante per la durata richiesta dall'utilizzatore.

L'affidabilità non è una grandezza deterministica ma una probabilità che, come una variabile aleatoria, può essere determinata con formule analitiche e il cui valore può essere previsto solo attraverso considerazioni di tipo probabilistico; essa non fornisce quindi la certezza che un guasto si verifichi o meno, ma applicata in modo sistematico, ci dà risultati di notevole utilità sui quali è possibile basare importanti decisioni sulle modalità di funzionamento di un impianto.

Nelle definizioni di affidabilità e nelle applicazioni di tale disciplina si fa spesso ricorso alla logica binaria che è indicata per lo studio di apparati o sistemi che possono assumere principalmente due configurazioni: sistema funzionante e sistema non funzionante. Nella realtà si possono presentare delle difficoltà nella applicazione di tali logiche a base due (sistema numerico binario) quando alcuni apparati, in determinati casi, degradano le loro caratteristiche ma non degradano la loro missione: in questo caso lo stato del sistema non è più definibile in modo immediato. Per questo motivo è necessario definire puntualmente, specialmente nel caso di sistemi complessi, il concetto di "corretto funzionamento" o sistema funzionante. Lo stato di guasto verrà definito mediante l'individuazione di un limite ammissibile nelle prestazioni dell'elemento o sistema: oltrepassato il limite prestazionale predefinito l'apparecchiatura in esame viene considerata in stato di guasto. Si possono ad esempio identificare diversi livelli di affidabilità, catalogando i guasti a seconda delle conseguenze che essi determinano nell'ambiente in cui operano.

Una funzione correlata all'affidabilità è la disponibilità, essa tiene conto sia dell'affidabilità del sistema sia degli aspetti manutentivi. Affidabilità e disponibilità rappresentano due grandezze mediante le quali si può ottenere una valutazione quantitativa della continuità con cui un elemento o un sistema può garantire il raggiungimento della missione per la quale è stato progettato e costruito; esse vengono garantite, ove possibile, attraverso adeguate politiche manutentive che contribuiscono ad un funzionamento globale, regolare e continuativo, rappresentando un onere economico spesso non indifferente, intervenendo in sede di gestione d'impianto e nella progettazione o riprogettazione di parti o insiemi di macchine o nell'installazione di unità di riserva come nel caso dei sistemi ridondanti.

L'affidabilità dell'intero impianto viene determinata in modo sia qualitativo che quantitativo attraverso un insieme di informazioni che descrivono le possibili avarie degli impianti presenti nel sistema. In particolare, per ciascun impianto di cui sopra e per ciascun componente dell'impianto (il cui guasto può causare il malfunzionamento o il blocco dell'impianto stesso) vengono considerate le informazioni di seguito riportate:

1. *Codice assegnato al componente soggetto a guasto.*
2. *Descrizione del componente soggetto a guasto.*
3. *Funzione del componente soggetto a guasto.*
4. *Quantità di componenti del tipo considerato nell'impianto.*
5. *Descrizione della tipologia o delle tipologie di guasto.*
6. *Descrizione delle possibili cause di guasto.*
7. *Descrizione dei possibili sintomi di guasto.*
8. *Stima della probabilità di occorrenza del guasto.*
9. *Fonte della stima.*
10. *Descrizione delle conseguenze del guasto sul funzionamento del sottosistema.*
11. *Descrizione dei possibili interventi atti a ripristinare il corretto funzionamento del componente.*
12. *Stima del tempo di ripristino del corretto funzionamento del sottosistema.*
13. *Manutenzione programmata del componente.*
14. *Osservazioni.*

Al punto 1 viene specificato un codice necessario per identificare il componente all'interno dell'impianto.

Ai punti 2 e 3 vengono rispettivamente fornite una breve descrizione del componente soggetto a guasto e la sua funzione all'interno dell'impianto.

Il punto 4 specifica quanti componenti, del tipo in esame, sono presenti nell'impianto; nel caso vi sia più di un componente, è possibile specificare in questo punto come devono essere considerati tali componenti (in serie, in parallelo, o in altro modo non standard).

Al punto 5 vengono elencate le possibili tipologie di guasto che possono rendere malfunzionante il componente in esame, mentre ai punti 6 e 7 vengono rispettivamente riportate le possibili cause di guasto e i possibili sintomi che hanno permesso di individuare tale guasto.

Per quanto riguarda il punto 8, è possibile considerare un unico parametro λ che rappresenterà il tasso di guasto costante proprio del periodo di vita utile della cosiddetta *bath tube curve*, cioè della curva del tasso di guasto istantaneo λ(t); in questa analisi si potrà

utilizzare per il componente soggetto a guasto un modello di affidabilità esponenziale. Nel caso in cui si voglia utilizzare un modello più preciso che tenga conto di ciascuno dei tre periodi propri della *bath tube curve* (periodo iniziale, periodo di vita utile e periodo di invecchiamento), ad esempio il modello di Weibull, è possibile considerare il parametro γ che rappresenterà la vita minima (periodo minimo entro il quale non capitano guasti) e α che rappresenterà la vita caratteristica. In alternativa alle due precedenti possibilità, se non sono disponibili i parametri di cui sopra, è possibile considerare il maggior numero di elementi a disposizione relativi alla probabilità di occorrenza del guasto, ovvero il tempo di vita secondo il quale viene garantito il corretto funzionamento dell'impianto.

Il punto 9 elenca la provenienza del tasso di guasto, un numero in genere dettato dall'esperienza o fornito dai cataloghi e dai fornitori dei singoli componenti.

Il punto 10 fornisce la principale conseguenza (o le principali conseguenze) sul funzionamento del sottosistema a causa del verificarsi di un guasto; inoltre, per ciascuna conseguenza, può essere specificato un valore percentuale che indica la gravità della conseguenza stessa: a titolo di esempio, il valore 100% significa il blocco totale dell'impianto mentre il valore 50% significa che l'impianto continua a funzionare ma con prestazioni dimezzate rispetto al suo funzionamento nominale. Al punto 11 vengono specificati gli interventi necessari a ripristinare il corretto funzionamento del componente (e quindi, in alcuni casi, dell'intero sistema).

Per quanto riguarda il punto 12, è possibile considerare un unico parametro μ che rappresenterà il tasso di riparazione costante proprio della curva del tasso di riparazione istantaneo μ (t); in questo caso si potrà utilizzare per il componente soggetto a guasto un modello di affidabilità esponenziale. In alternativa, se non è disponibile il parametro di cui sopra, è necessario considerare il maggior numero di elementi a disposizione relativi al tempo di ripristino del componente in questione.

Al punto 13 è possibile specificare l'eventuale manutenzione programmata del componente soggetto a guasto.

Infine, al punto 14, è possibile fornire alcune informazioni aggiuntive sul comportamento del componente soggetto a guasto.

L'analisi quantitativa di affidabilità e disponibilità dell'impianto viene realizzata utilizzando la stima della probabilità di occorrenza del guasto e la stima del tempo di ripristino del corretto funzionamento del sottosistema.

È fondamentale osservare come i sistemi ed i componenti presi in considerazione non siano verificabili in quanto manca il prerequisito di testabilità: attitudine di sistemi e di componenti a essere sottoposti a verifiche volte a determinare la corretta funzionalità, ovvero a fornire informazioni sulla presenza di eventuali anomalie di funzionamento. Per questo motivo si utilizzerà un approccio soggettivista dove la probabilità di occorrenza del guasto viene definita come il grado di confidenza soggettiva che un individuo ha nel verificarsi di un evento, in base alle proprie conoscenze e convinzioni del momento. In questo caso, le informazioni che verranno utilizzate per l'analisi quantitativa sono due: il grado di confidenza soggettiva in relazione al tempo di vita del sistema o del componente (informazioni presenti alla voce 9) e la stima del tempo di ripristino del corretto funzionamento del sottosistema (informazioni presenti alla voce 12).

Per la determinazione dell'affidabilità e della disponibilità del sistema viene utilizzato un modello esponenziale. Verranno quindi fornite, per ciascun componente, le seguenti informazioni:

- disponibilità;
- affidabilità;
- tasso di guasto istantaneo.

Siano A_i, $R_i(t)$ e λ_i rispettivamente la disponibilità, l'affidabilità e il tasso di guasto istantaneo del generico i-esimo componente. Tali valori vengono calcolati, partendo dalla probabilità assegnata al grado di confidenza soggettiva (ovvero probabilità di occorrenza del guasto) p_{ogi} , dal tempo di vita del componente t_{vi} e dal tempo medio di ripristino del corretto funzionamento del sottosistema (ovvero mean time to repair – MTTR) $MTTR_i$, nel seguente modo:

Disponibilità:

$$A_i = \frac{\frac{t_{vi} - MTTR_i}{t_{vi}} + \left(\frac{1}{p_{ogi}} - 1\right)}{\frac{1}{p_{ogi}}} =$$

$$= \frac{\frac{t_{vi} - MTTR_i}{t_{vi}} + \left(\frac{1 - p_{ogi}}{p_{ogi}}\right)}{\frac{1}{p_{ogi}}} =$$

$$= \frac{\frac{t_{vi} \cdot p_{ogi} - MTTR_i \cdot p_{ogi} + t_{vi} - t_{vi} \cdot p_{ogi}}{t_{vi} \cdot p_{ogi}}}{\frac{1}{p_{ogi}}} =$$

$$= \frac{t_{vi} + MTTR_i \cdot p_{ogi}}{t_{vi}}$$

Affidabilità:

$$R_i(t) = e^{-\frac{t}{MTTF_i}}$$

Dove:

$$MTTF_i = MTTR_i \cdot \frac{A_i}{1 - A_i}$$

Essendo la disponibilità esprimibile come:

$$A_i = \frac{MTTF_i}{MTTF_i + MTTR_i}$$

Tasso di guasto istantaneo:

$$\lambda_i = \frac{1}{MTTF_i}$$

Nell'analisi dei guasti viene inoltre indicata l'affidabilità del componente rispetto al tempo di vita del componente stesso. Infine, nel caso in cui siano presenti componenti o sistemi in serie o in parallelo verranno utilizzate apposite formule per la determinazione dei parametri di affidabilità e di disponibilità complessivi. Tali formule si basano su alcune assunzioni che sono state fatte relativamente al sistema in analisi. Esse vengono riassunte nei seguenti punti:

- Tutti i sistemi, sottosistemi e componenti vengono considerati come componenti riparabili ovvero come sistemi, sottosistemi e componenti che, dopo il verificarsi di un guasto, vengono rimessi in funzione mediante un intervento (anche automatico) di manutenzione correttiva (ripristino) sulla parte guasta.
- *As-good-as-new*: dopo la riparazione, i sistemi, sottosistemi e componenti riparati sono funzionanti come se fossero nuovi (completo rinnovo). Inoltre, le caratteristiche di affidabilità degli elementi presi in considerazione non sono influenzate dal numero di guasti che gli sono occorsi.
- La disponibilità e l'affidabilità dei sistemi, sottosistemi e componenti sono approsimative in quanto viene fatta l'ipotesi di non avere ritardi logistici o errori umani durante la riparazione.
- La disponibilità dei sistemi, sottosistemi e componenti è assunta stazionaria (media o di regime) in quanto tutti i componenti sono stati considerati riparabili.

5 Analisi dei guasti, analisi quantitativa di affidabilità e disponibilità

5.1 Sistema A: Impianto principale

Figura 20 Funivia a va e vieni tradizionale (Pic de Bure)

Le funivie a va e vieni sono impianti speciali (*Figura 20*). Ogni sistema ha caratteristiche uniche che lo differenziano da altri impianti. Per l'analisi è stato ipotizzato un impianto con caratteristiche verosimili.

Per ogni componente del sistema A sono state inserite le tabelle descrittive contenenti le informazioni dei singoli componenti e le valutazioni qualitative e quantitative delle possibili avarie. Per gli altri sistemi analizzati (B e C) le tabelle sono analoghe e ripetitive (i componenti principali sono identici), pertanto sono state inserite le tabelle dei componenti che si sono ritenuti rilevanti.

Per tutti i sottosistemi dei tre impianti sono stati riportati i valori della disponibilità, dell'affidabilità e del tasso di guasto. I tre valori sono il risultato dell'analisi dei singoli componenti del sistema. Per ogni voce sono state aggiunte la funzione strutturale, il complemento di tale funzione e il diagramma elementare a blocchi, al fine di comprendere meglio lo schema logico con cui sono stati analizzati i sottosistemi.

Gli elementi qui riportatiti non sono tutti i componenti dell'impianto a fune: sono stati selezionati solo quelli utili a comparare le due tipologie di impianto in analisi.

Le caratteristiche generali dell'impianto ipotizzato sono:

Stazione motrice		Monte.
Stazione di rinvio		Valle
Lunghezza	[m]	1400
Ancoraggio portanti		monte / valle
Vetture	n.	2
Capienza vettura	pers.	60 + 1
Ruote dei carrelli di ciascuna vettura	n.	16
Velocità di regime	[m/s]	10
Velocità con azionamento di riserva	[m/s]	5
Velocità con motore di recupero	[m/s]	1
Tempo di viaggio (minimo)	s.	190
Tempo di fermata in stazione	s.	50
Tempo di ciclo (minimo)	s.	240
Cicli all'ora	n.	15
Potenzialità di trasporto (max)	ca. p/h	1050
Diametro funi portanti (tipo chiuso)	[mm]	4 x 50
Potenza motori elettrici principali	[kW]	2 x 420
Potenza azionamento recupero	[kW]	110
Diametro fune traente	[mm]	30
Sostegni in linea	n.	1
Rulli in linea	n.	48
Cavallotti in linea	n.	10
Puleggia motrice	n.	1
Puleggia di deviazione	n.	6
Ancoraggio delle funi portanti ad entrambe le estremità		

5.1.1 Puleggia deviazione

La puleggia di deviazione, come tutte le pulegge dell'impianto, possiede il meccanismo di doppia rotazione, in caso di guasto del cuscinetto la puleggia è in grado di ruotare su delle boccole per un periodo di tempo limitato e a velocità ridotta. Questo meccanismo è fondamentale per il soccorso integrato, ma è già impiegato nelle funivie tradizionali per aumentare l'affidabilità del sottoinsieme.

Il sistema di doppia rotazione è descritto in dettaglio nel *capitolo 6.1.*

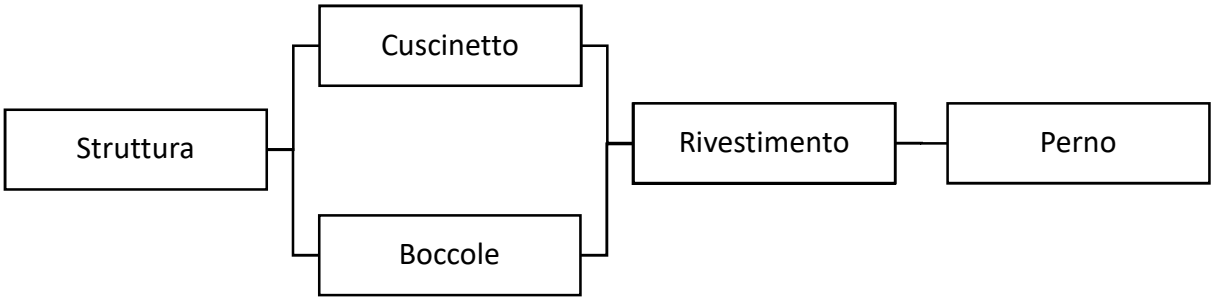
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{A1}^{c1} \cap X_{A1}^{c2} \cap X_{A1}^{c4} \cap X_{A1}^{c5}) \cup (X_{A1}^{c1} \cap X_{A1}^{c3} \cap X_{A1}^{c4} \cap X_{A1}^{c5})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{A1}^{c1}} \cup \overline{X_{A1}^{c2}} \cup \overline{X_{A1}^{c4}} \cup \overline{X_{A1}^{c5}}) \cap (\overline{X_{A1}^{c1}} \cup \overline{X_{A1}^{c3}} \cup \overline{X_{A1}^{c4}} \cup \overline{X_{A1}^{c5}})$$

Diagramma elementare a blocchi puleggia di deviazione:



DISPONIBILITA' A_{A1}	$(A^{C2} + A^{C3} - A^{C2}A^{C3})A^{C1}A^{C4}A^{C5} =$	0.999850006
AFFIDABILITA' R_{A1} (t)	$(R^{C2} + R^{C3} - R^{C2}R^{C3})R^{C1}R^{C4}R^{C5} =$	$e^{-\left(\frac{t}{90908}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{A1}	$\frac{\lambda^{C2}\cdot\lambda^{C3}\cdot(\lambda^{C2}+\lambda^{C3})}{(\lambda^{C2}+\lambda^{C3})^2-\lambda^{C2}\cdot\lambda^{C3}}+\lambda^{C1}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5} =$	0.000011499517
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	90908.22

A1	Puleggia di deviazione

C1	Struttura puleggia deviazione
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C1
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Struttura metallica della puleggia di deviazione
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Guida della fune traente
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	6
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura, formazione di cricche
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione o montaggio
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Disallineamento della puleggia
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	4% sulla vita utile impianto (60000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Sateco
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura causa il blocco dell'anello trattivo, 100%
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Riparazione, sostituzione del componente
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli non distruttivi periodici
	OSSERVAZIONI
14	La presenza di cricche e rotture può essere segnalata attraverso il controllo assetto.

A1	Puleggia di deviazione

C2	Cuscinetto
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C2
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Cuscinetto radiale orientabile a rulli
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Rotazione della puleggia intorno al perno
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	12
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura del cuscinetto o rottura di un rullo
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione o mortalità infantile del componente
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Bloccaggio della puleggia, rotazione intorno al perno impedita
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	3% sulla vita utile di (25000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Catalogo SKF
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura causa il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione del componente
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Lubrificazione, controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	Il dispositivo di antirotazione segnala la rottura del cuscinetto. La rottura può inoltre causare un disallineamento della puleggia monitorato attraverso il controllo assetto.

A1	Puleggia di deviazione

C3	Boccole
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C3
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Boccole, originariamente composte in bronzo, ora composte in materiale sintetico autolubrificante
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Rotazione della puleggia per consentire il recupero delle persone
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	6
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione o montaggio
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Disallineamento della puleggia
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	0.5% sulla vita utile impianto (60000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura causa il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Lubrificazione
	OSSERVAZIONI
14	Le boccole garantiscono la eventuale rotazione della puleggia solo per riportare i passeggeri in stazione a basse velocità. Non è possibile effettuare l'esercizio dell'impianto

A1	Puleggia di deviazione

C4	Rivestimento
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C4
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Rivestimento della gola della puleggia in materiale plastico
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Guida della fune traente
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	6
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Usura, rottura del tacco inseguito ad una eccessiva usura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Controlli non effettuati con periodicità
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Danneggiamento della fune
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	1% sulla vita utile di (10000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura può causare la rottura della fune portante
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	5 h
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	L'usura è un fenomeno con un'evoluzione costante nel tempo, se ne conosce l'andamento e si può prevedere con facilità la vita utile.

A1	Puleggia di deviazione

C5	Perno
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C5
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Perno
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Permette la rotazione della puleggia
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 6
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura, disallineamento
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione, costruzione, montaggio o usura
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Disallineamento della puleggia
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 1% sulla vita utile impianto (60000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA La rottura e disallineamento causano il blocco dell'anello trattivo
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Sostituzione
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 1 giorno
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Controlli non distruttivi periodici
14	OSSERVAZIONI La presenza di cricche e rotture può essere segnalata attraverso il controllo assetto. La rotazione della puleggia rispetto al perno è segnalata dal dispositivo antirotazione

5.1.2 Puleggia motrice

La puleggia motrice è di fatto strutturalmente simile alla puleggia di deviazione, la differenza è che la puleggia di deviazione ruota intorno ad un perno mentre la motrice è messa in rotazione da un albero.

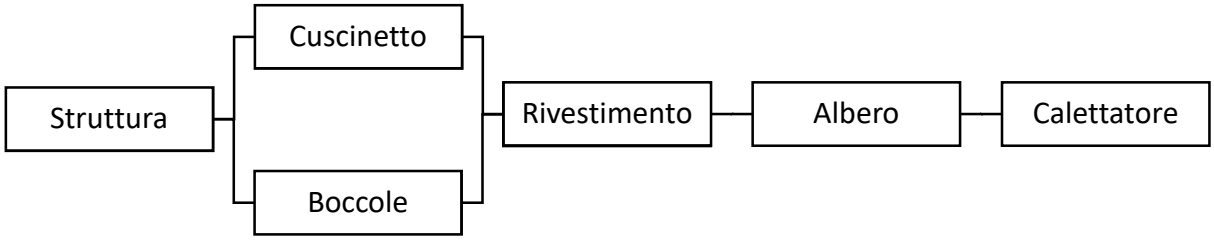
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{A2}^{c1} \cap X_{A2}^{c2} \cap X_{A2}^{c4} \cap X_{A2}^{c5} \cap X_{A2}^{c6}) \cup (X_{A2}^{c1} \cap X_{A2}^{c3} \cap X_{A2}^{c4} \cap X_{A2}^{c5} \cap X_{A2}^{c6})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{A2}^{c1}} \cup \overline{X_{A2}^{c2}} \cup \overline{X_{A2}^{c4}} \cup \overline{X_{A2}^{c5}} \cup \overline{X_{A2}^{c6}}) \cap (\overline{X_{A2}^{c1}} \cup \overline{X_{A2}^{c3}} \cup \overline{X_{A2}^{c4}} \cup \overline{X_{A2}^{c5}} \cup \overline{X_{A2}^{c6}})$$

Diagramma a blocchi puleggia motrice:



DISPONIBILITA' A_{A2}	$(A^{C2} + A^{C3} - A^{C2}A^{C3})A^{C1}A^{C4}A^{C5} =$	0.9999746
AFFIDABILITA' R_{A2} (t)	$(R^{C2} + R^{C3} - R^{C2}R^{C3})R^{C1}R^{C4}R^{C5} =$	$e^{-\left(\frac{t}{3243214}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{A2}	$\frac{\lambda^{C2}\cdot\lambda^{C3}\cdot(\lambda^{C2}+\lambda^{C3})}{(\lambda^{C2}+\lambda^{C3})^2-\lambda^{C2}\cdot\lambda^{C3}}+\lambda^{C1}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5} =$	0.000001933253
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	3243214.25

A2	Puleggia motrice

C1	Struttura puleggia
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C1
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Struttura metallica della puleggia
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Guida della fune traente e trasmissione del moto all'anello trattivo
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 1
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura, formazione di cricche
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione, costruzione o montaggio
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Disallineamento della puleggia
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 4% sulla vita utile impianto (60000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Sateco
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA La rottura causa il blocco dell'anello trattivo
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Riparazione, sostituzione del componente
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 1 giorno
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Controlli non distruttivi periodici
14	OSSERVAZIONI La presenza di cricche e rotture può essere segnalata attraverso il controllo assetto.

A2	Puleggia motrice

C2	Cuscinetto
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C2
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Cuscinetto radiale orientabile a rulli
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Rotazione della puleggia intorno al perno
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	2
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura del cuscinetto o rottura di un rullo
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione o mortalità infantile del componente
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Bloccaggio della puleggia, rotazione intorno al perno impedita
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	3% sulla vita utile di (25000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Catalogo SKF
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura causa il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione del componente
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Lubrificazione, controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	Il dispositivo di antirotazione segnala la rottura del cuscinetto. La rottura può inoltre causare un disallineamento della puleggia monitorato attraverso il controllo assetto.

A2	Puleggia motrice

C3	Boccole
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C3
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Boccole, originariamente composte in bronzo, ora composte in materiale sintetico autolubrificante
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Rotazione della puleggia per consentire il recupero delle persone
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	1
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione o montaggio
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Disallineamento della puleggia
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	0.5% sulla vita utile impianto (60000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura causa il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Lubrificazione
	OSSERVAZIONI
14	Le boccole garantiscono la eventuale rotazione della puleggia solo per riportare i passeggeri in stazione a basse velocità. Non è possibile effettuare l'esercizio dell'impianto

A2	Puleggia motrice

C4	Rivestimento
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C4
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Rivestimento della gola della puleggia in materiale plastico
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Guida della fune traente e trasferimento del moto all'anello trattivo
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	1
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Usura, rottura del tacco inseguito ad una eccessiva usura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Controlli non effettuati con periodicità
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Danneggiamento della fune
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	1% sulla vita utile di (10000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura può causare la rottura della fune portante
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	5 h
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	L'usura è un fenomeno costante nel tempo, se ne conosce l'andamento e si può prevedere con facilità la vita utile.

A2	Puleggia motrice

C5	Albero
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C5
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Albero
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Fa ruotare il mozzo e la puleggia
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 1
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura, disallineamento
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione, costruzione o montaggio
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Disallineamento della puleggia
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 1% sulla vita utile impianto (60000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA La rottura e disallineamento causano il blocco dell'anello trattivo
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Sostituzione del componente
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 1 giorno
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Controlli non distruttivi periodici
14	OSSERVAZIONI La presenza di cricche e rotture può essere segnalata attraverso il controllo assetto. La rotazione della puleggia rispetto all'albero è segnalata dal dispositivo di antirotazione.

A2	Puleggia motrice

C6	Calettatore
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C1
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Calettatore ad anello che blocca l'albero al mozzo della puleggia
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Permette il bloccaggio tra albero e il mozzo, garantendone il movimento
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	1
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura, usura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione o montaggio
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Disaccoppiamento albero- puleggia
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	0.1% sulla vita utile impianto (60000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura causa il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione del componente
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	Il corretto funzionamento del calettatore è controllato dal dispositivo di antirotazione, a seguito di una progettazione cautelativa la probabilità di guasto risulta molto bassa.

5.1.3 Argano

L'argano è il sottoinsieme in cui gli impianti si differenziano maggiormente.

Nel caso analizzato sono presenti tutti e tre gli azionamenti: principale, riserva, recupero. L'esercizio può essere effettuato solamente dai primi due, mentre l'azionamento di recupero può essere utilizzato solamente per riportare i passeggeri in stazione a velocità ridotta. L'azionamento principale e di riserva sono in questo caso identici e posti in parallelo.

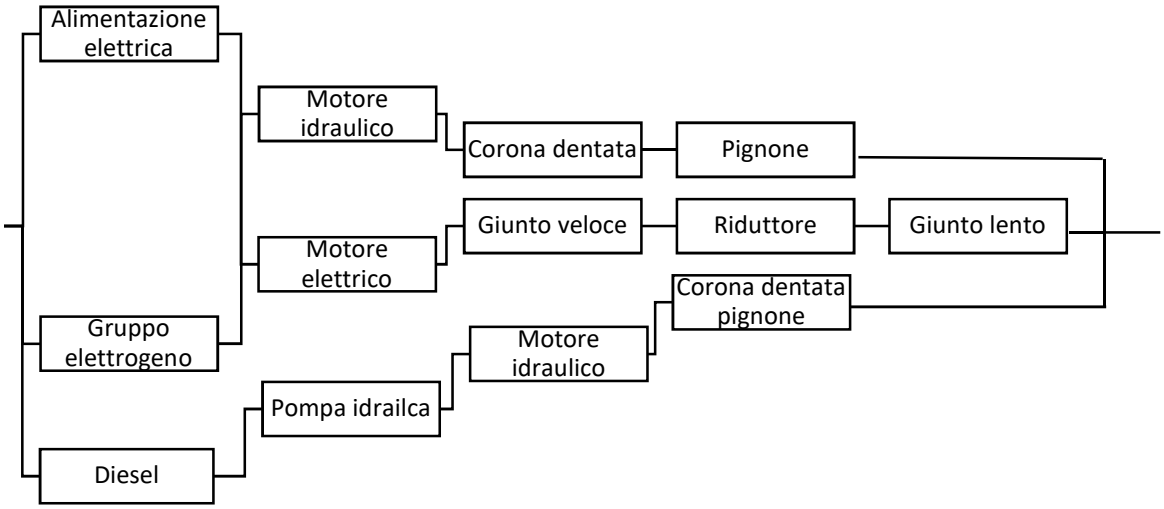
Funzione strutturale:

$$\phi = \left((X_{A3}^{c1} \cup X_{A3}^{c2}) \cap (X_{A3}^{c3} \cap X_{A3}^{c4} \cap X_{A3}^{c5} \cap X_{A3}^{c6} \cup X_{A3}^{c3} \cap X_{A3}^{c4} \cap X_{A3}^{c5} \cap X_{A3}^{c6})\right) \cup (X_{A3}^{c7} \cap X_{A3}^{c8} \cap X_{A3}^{c9} \cap X_{A3}^{c10}) =$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{A3}^{c1}} \cap \overline{X_{A3}^{c2}}) \cup \left((\overline{X_{A3}^{c3}} \cup \overline{X_{A3}^{c4}} \cup \overline{X_{A3}^{c5}} \cup \overline{X_{A3}^{c6}}) \cap (\overline{X_{A3}^{c3}} \cup \overline{X_{A3}^{c4}} \cup \overline{X_{A3}^{c5}} \cup \overline{X_{A3}^{c6}})\right) \cap (\overline{X_{A3}^{c7}} \cup \overline{X_{A3}^{c8}} \cup \overline{X_{A3}^{c9}} \cup \overline{X_{A3}^{c10}}) =$$

Diagramma a blocchi Argano:



DISPONIBILITA' $A_{PRINCIPALE}$	$A^{C3}A^{C4}A^{C5}A^{C6} =$	0.999991692
AFFIDABILITA' $R_{PRINCIPALE}$ (t)	$R^{C3}R^{C4}R^{C5}R^{C6} =$	$e^{-\left(\frac{t}{33898147}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO $\lambda_{PRINCIPALE}$	$\lambda^{C3}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6} =$	2.950013709E-08
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	33898147.54

DISPONIBILITA' $A_{RISERVA}$	$A^{C3}A^{C4}A^{C5}A^{C6} =$	0.999991692
AFFIDABILITA' $R_{RISERVA}$ (t)	$R^{C3}R^{C4}R^{C5}R^{C6} =$	$e^{-\left(\frac{t}{33898147}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO $\lambda_{RISERVA}$	$\lambda^{C3}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6} =$	2.950013709E-08
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	33898147.54

DISPONIBILITA' $A_{RECUPERO}$	$A^{C7}A^{C8}A^{C9}A^{C10} =$	0.999989516
AFFIDABILITA' $R_{RECUPERO}$ (t)	$R^{C7}R^{C8}R^{C9}R^{C10} =$	
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO $\lambda_{RECUPERO}$	$\lambda^{C7}+\lambda^{C8}+\lambda^{C9}+\lambda^{C10} =$	2.020176676E-06
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	495006.21

DISPONIBILITA' A_{A3}	$(A^{C1}+A^{C2}-A^{C1}A^{C2})(A_{PRINCIPALE}+A_{RISERVA} - A_{PRINCIPAL}\ A_{RISERVA}) + A_{RECUPERO} - (A^{C1}+A^{C2}-A^{C1}A^{C2})(A_{PRINCIPALE}+A_{RISERVA} - A_{PRINCIPALE}A_{RISERVA}) * A_{RECUPERO} =$	1
AFFIDABILITA' R_{A3} (t)	$(R^{C1}+R^{C2}-R^{C1}R^{C2})(R_{PRINCIPALE}+R_{RISERVA} - R_{PRINCIPALE}R_{RISERVA}) + R_{RECUPERO} - (R^{C1}+R^{C2}-R^{C1}R^{C2})(R_{PRINCIPALE}+R_{RISERVA} - R_{PRINCIPALE}R_{RISERVA}) * R_{RECUPERO} =$	1
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{A3}	-	0
MEAN TIME TO FAIL MTTF	-	-

A3	Argano

C1	Alimentazione elettrica da rete
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C1
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Alimentazione elettrica da rete
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Ricezione energia elettrica da punto di fornitura
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 1
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura di un componente, mancanza dell'alimentazione elettrica
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Perdita d'isolamento, fulminazione, sovracorrente
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Blocco totale del sottosistema
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 0.1% sul tempo di utilizzo dell'impianto (60000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA La rottura causa il blocco dell'anello trattivo
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Sostituzione del pezzo
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 1 ore
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE N.D.
14	OSSERVAZIONI La mancanza di alimentazione elettrica dalla rete dipende dalla collocazione dell'impianto a fune, a volte è collegato in un punto in cui sono presenti due anelli di rete, in quel caso le probabilità di accadimento del guasto si riducono.

A3	Argano

C2	Gruppo elettrogeno
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C2
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Gruppo elettrogeno
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Sistema di produzione di energia elettrica alimentato da un motore primario ciclo diesel
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 1
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura di un componente
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Difetto, usura, perdita d'isolamento, sovracorrente, guasto motore primario
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Assenza tensione
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 0.5% sulla vita utile di (5000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA Blocco totale del sottosistema
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Riparazione, sostituzione del pezzo
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 5 h
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Ogni mese
14	OSSERVAZIONI Il gruppo elettrogeno interviene solamente nel caso in cui manca l'alimentazione elettrica dalla rete principale.

A3	Argano

C3	Motore elettrico
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C3
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Motore elettrico asincrono
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Rotazione della puleggia
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	1
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Difetto, usura, sovracorrente, guasto motore
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Interruzione del movimento dell'anello trattivo
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	0.05% sulla vita utile di (30000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	Blocco del sistema
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Riparazione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	20 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Ogni mese
	OSSERVAZIONI
14	Il motore elettrico ha una probabilità di guasto inferiore rispetto ad un motore diesel, ha inoltre una vita utile maggiore.

A3	Argano

C4	Giunto veloce
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C4
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Giunto veloce
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Accoppiamento motore e riduttore
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	1
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione, montaggio o usura
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Blocco totale del sottosistema
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	0.001% sulla vita utile impianto (60000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura causa il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	N.D.

A3	Argano

C5	Riduttore
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C5
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Riduttore
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Ridurre la velocità di rotazione degli assi
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	1
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione o montaggio, usura
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Blocco totale del sottosistema
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	0.05% sulla vita utile di (40000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura causa il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	N.D.

A3	Argano

C6	Giunto lento
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C6
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Giunto lento a pioli
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Accoppiamento riduttore e puleggia
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	1
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione, montaggio o usura
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Blocco totale del sottosistema
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	0.001% sulla vita utile impianto (60000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura causa il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	Il giunto lento deve essere disaccoppiabile, in modo da poter escludere il gruppo del moto- riduttore in caso di guasto, per poter azionare il gruppo di recupero.

A3	Argano

C7	Motore diesel
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C7
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Motore diesel
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Azionare una pompa idraulica che può essere integrata nel motore
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 1
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura di un componente
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Difetto, usura, guasto motore primario
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Assenza potenza
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 0.5% sulla vita utile di (5000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA Blocco totale del sottosistema
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Riparazione, sostituzione del pezzo
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 5 h
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Ogni mese
14	OSSERVAZIONI Il motore diesel viene azionato solo per soccorrere i passeggeri in linea

A3	Argano

C8	Pompa idraulica
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C8
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Pompa idraulica
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Movimentazione del fluido in un circuito idraulico
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 1
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura di un componente
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Difetto, usura, guasto
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Perdita di pressione nel circuito, perdita di fluido
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 3% sulla vita utile di (25000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA Blocco totale del sottosistema
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Riparazione, sostituzione del pezzo
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 5 giorni
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Ogni mese
14	OSSERVAZIONI La pompa idraulica se lavora in condizioni ottimali ha una probabilità di guasto molto bassa. Questa aumenta in caso di funzionamento con oli invecchiati. Il fluido con il tempo di ossida e perde il suo potere lubrificante.

A3	Argano

C9	Motore idraulico, sistema di recupero
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C9
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Motore idraulico
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Permette la rotazione della puleggia, in caso di rottura del gruppo moto-riduttore
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	1
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione, montaggio o usura
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Blocco totale del sottosistema
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	0.01% sulla vita utile di (5000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura e disallineamento causano il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	Il sistema di recupero permette il funzionamento dell'impianto ad una velocità ridotta rispetto a quella di esercizio in genere di 1 m/s

A3	Argano

C10	Giunto corona dentata- pignone, sistema di recupero
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C10
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Giunto corona dentata- pignone
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Permette la rotazione della puleggia, utilizzando il gruppo di recupero
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	1
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione o montaggio
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Blocco totale del sottosistema
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	0.001% sulla vita utile impianto (60000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura e disallineamento causano il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli periodici, lubrificazione
	OSSERVAZIONI
14	Il gruppo di recupero è solitamente disaccoppiato dalla corona dentata presente sulla puleggia; il collegamento tra corona e pignone si fa di solito manualmente.

5.1.4 Tensionamento

Il tensionamento in analisi è a gravità, il contrappeso normalmente si collega tramite una fune ad uno smorzatore per ridurne le oscillazioni e diminuire la possibilità di accavallamento delle funi.

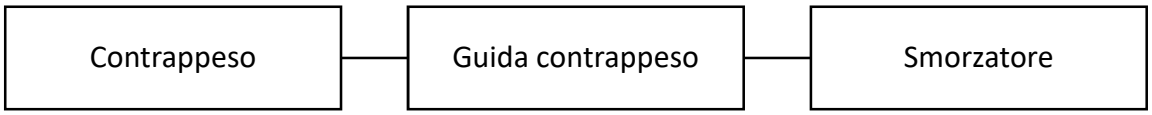
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{A4}^{c1} \cap X_{A4}^{c2} \cap X_{A4}^{c3})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{A4}^{c1}} \cup \overline{X_{A4}^{c2}} \cup \overline{X_{A4}^{c3}})$$

Diagramma a blocchi tensionamento:



DISPONIBILITA' A_{A4}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3} =$	0.999986
AFFIDABILITA' R_{A4} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3} =$	$e^{-\left(\frac{t}{1714279}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{A4}	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3} =$	0.000000583336
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	1714279.34

A4	Tensionamento

C1	Contrappeso
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C1
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Contrappeso a gravità
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Tensionamento dell'anello trattivo
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	1
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Accavallamento funi
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione o montaggio
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Oscillazione del contrappeso superiore alla via di corsa calcolata o oscillazione troppo veloce
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	1% sulla vita utile impianto (60000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	Blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Riparazione del componente
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	N.D.

A4	Tensionamento

C2	Guide contrappeso
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C2
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Guide del contrappeso in acciaio
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Guidare il contrappeso lungo una via di corsa
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 2
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Disallineamento
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione, costruzione o montaggio
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Scorrimento del contrappeso non adeguato, possibilità di accavallamento delle funi
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 1% sulla vita utile impianto (60000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA Blocco dell'anello trattivo
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Sostituzione del componente
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 1 giorno
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Lubrificazione
14	OSSERVAZIONI Sulle guide sono installati due dispositivi di prossimità e due di fine corsa. Essi servono a evitare che il contrappeso superi il limite inferiore e superiore. Superato il fine corsa interviene il sistema frenante per arrestare l'impianto.

A4	Tensionamento

C3	Smorzatore
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C3
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Smorzatore
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Limitare le oscillazioni del contrappeso
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	1
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione o montaggio, usura
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Oscillazioni della fune traente non controllate, possibili accavallamenti
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	0.5% sulla vita utile impianto (60000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	Blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione o riparazione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Lubrificazione, manutenzione periodica
	OSSERVAZIONI
14	Lo smorzatore non è altro che un motore idraulico che attraverso una fune controlla le oscillazioni del contrappeso.

5.1.5 Rullo di linea

Il rullo ha lo stesso schema logico di una puleggia.

Sono stati ipotizzati 48 rulli di linea, 16 per ogni stazione e 16 sul sostegno centrale. Nell'analisi, i rulli sono considerati come elementi in serie, ma il sistema non si ferma quando un rullo si guasta. Nonostante la rottura, l'impianto può continuare l'esercizio a velocità ridotta senza compromettere la sua integrità. L'arresto dell'impianto avverrà solo in caso di guasto multiplo. Nei calcoli sottostanti, cautelativamente, si è ipotizzato che con due rotture l'impianto non sia in grado di funzionare.

In seguito alla rottura di un rullo la fune usura il rivestimento plastico, il guasto viene segnalato quando la fune traente scarica la propria tensione toccando un elemento metallico.

il sistema è costituito da n elementi in serie in cui la funzionalità del sistema stesso è garantita quando sono attivi almeno K componenti (K out of n); l'affidabilità del sistema è rappresentata dalla seguente espressione:

$$R_s(t) = \sum_{i=k}^{n} \binom{n}{i} \cdot [R(t)]^i \cdot [1 - R(t)]^{i-1}$$

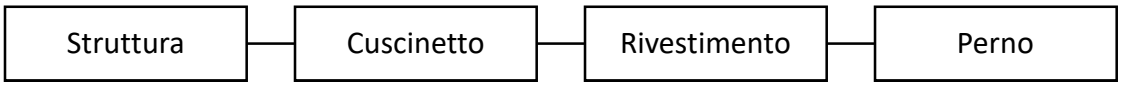
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{A5}^{c1} \cap X_{A5}^{c2} \cap X_{A5}^{c3} \cap X_{A5}^{c4})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{A5}^{c1}} \cup \overline{X_{A5}^{c2}} \cup \overline{X_{A5}^{c3}} \cup \overline{X_{A5}^{c4}})$$

Diagramma a blocchi rullo:



DISPONIBILITA' A_{A5}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3}A^{C4} =$	0.997850291
AFFIDABILITA' R_{A5} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3}R^{C4} =$	$e^{-\left(\frac{t}{8242}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{A5}	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4} =$	0.000121335
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	8241.62

A5	Rullo

C1	Struttura rullo
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C1
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Struttura metallica del rullo
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Guida della fune traente
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 40
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura, formazione di cricche
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione, costruzione o montaggio
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Disallineamento del rullo
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 4% sulla vita utile impianto (60000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Sateco
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA La rottura causa il blocco dell'anello trattivo
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Riparazione, sostituzione del componente
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 1 giorno
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Controlli non distruttivi periodici
14	OSSERVAZIONI N.D.

A5	Rullo

C2	Cuscinetto
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C2
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Cuscinetto radiale orientabile a rulli
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Rotazione del rullo intorno al perno
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	40
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura del cuscinetto o rottura di un rullo
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione o mortalità infantile del componente
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Bloccaggio del rullo, usura del rivestimento
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	3% sulla vita utile di (25000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Catalogo SKF
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura causa il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione del componente, controlli periodici
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Lubrificazione
	OSSERVAZIONI
14	N.D.

A5	Rullo

C4	Rivestimento
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C4
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Rivestimento della gola del rullo in materiale plastico
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Guida della fune traente
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	40
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Usura, rottura del tacco inseguito ad una eccessiva usura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Controlli non effettuati con periodicità
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Danneggiamento della fune
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	1% sulla vita utile di (10000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura può causare la rottura della fune portante
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	5 h
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	L'usura è un fenomeno costante nel tempo, se ne conosce l'andamento e si può prevedere con facilità la vita utile.

A5	Rullo

C5	Perno
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C5
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Perno in acciaio
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Permette la rotazione del rullo
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	40
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura, disallineamento
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione, montaggio o usura
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Disallineamento del perno
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	1% sulla vita utile impianto (60000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura e disallineamento causano il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli non distruttivi periodici
	OSSERVAZIONI
14	N.D.

5.1.6 Sistema frenante

Il sistema frenante è costituito da due freni identici, lo schema logico è formato da due sottosistemi in parallelo uguali. Per semplicità è stato descritto un solo sottosistema.

Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{A6}^{c1} \cap X_{A6}^{c2} \cap X_{A6}^{c3}) \cup (X_{A6}^{c4} \cap X_{A6}^{c5} \cap X_{A6}^{c6})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{A6}^{c1}} \cup \overline{X_{A6}^{c2}} \cup \overline{X_{A6}^{c3}}) \cup (\overline{X_{A6}^{c4}} \cup \overline{X_{A6}^{c5}} \cup \overline{X_{A6}^{c6}})$$

Diagramma a blocchi:

DISPONIBILITA' A_{A6}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3} + A^{C4}A^{C5}A^{C6} - A^{C1}A^{C2}A^{C3}A^{C4}A^{C5}A^{C6} =$	0.99999999998
AFFIDABILITA' R_{A6} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3} + R^{C4}R^{C5}R^{C6} - R^{C1}R^{C2}R^{C3}R^{C4}R^{C5}R^{C6} =$	$e^{-\left(\frac{t}{34247905911562}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{A6}	$\frac{(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3})(\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6})(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6})}{(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6})^2-(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3})(\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6})}$	0.000000114045
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	34247905911562.20

A6	Sistema frenante

C1	Molle a tazza
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C1
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Molle a tazza per freni negativi
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Produce la forza di frenatura necessaria
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 1
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura, forza frenante inferiore a quella di progetto, degrado della molla
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione, costruzione, montaggio o usura
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Mancata chiusura della pinza
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 1% sulla vita utile (60000 h o 2 milioni di cicli)
9	FONTE DELLA STIMA Catalogo molle a tazza Hugo Bauer, il numero di cicli massimo è stato calcolato
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA La rottura causa la perdita del sistema frenante, l'anello trattivo non può muoversi in sicurezza in assenza del freno
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Riparazione, sostituzione del componente
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 1 giorno
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Controlli non distruttivi periodici
14	OSSERVAZIONI Il freno di servizio e il freno di emergenza sono identici nella maggior parte degli impianti; essendo un elemento di sicurezza è un sistema ridondato. Il numero di cicli massimo è stato calcolato tenendo in considerazione a quale percentuale della freccia massima lavora la molla a freno aperto e a freno chiuso.

A6	Sistema frenante

C2	Cilindro idraulico
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C2
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Cilindro idraulico
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Apertura delle pinze tramite pressione idraulica
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 1
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura della guarnizione, usura della guarnizione o perdita di pressione a causa di un guasto idraulico
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione, costruzione o montaggio
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Chiusura del freno per mancanza di pressione nel cilindro
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 0.01% sulla vita utile (25000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA Blocco dell'anello trattivo
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Sostituzione del componente
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 1h
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Manutenzione periodica
14	OSSERVAZIONI In caso di guasto e chiusura delle pinze freno, si può intervenire manualmente alla riapertura del freno attraverso una pompa a mano. Tale intervento non è possibile in caso di rottura della guarnizione del cilindro.

A6	Sistema frenante

C3	Pinze
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C3
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Pinze, componente meccanica in metallo
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Trasmettono la forza frenante della molla alla puleggia motrice
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 1
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione, costruzione, montaggio o usura
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Anello trattivo che non si ferma correttamente
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 0.001% sulla vita utile (25000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA La rottura causa la perdita del sistema frenante, l'anello trattivo non può muoversi in sicurezza in assenza del freno
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Sostituzione del componente
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 1 giorno
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Controlli e manutenzione periodica
14	OSSERVAZIONI L'usura delle pastiglie è un fenomeno regolare nel tempo, va prevista la sostituzione per impedire la perdita di forza frenante. La rottura del componente meccanico è rara a causa dei pochi cicli a cui è sottoposto.

5.1.7 Fune

Nell'impianto considerato l'anello trattivo è composto da due funi traenti chiuse ad anello. Nel sottosistema fune sono stati considerati anche gli organi d'attacco della fune.

Nel caso in analisi, al carrello sono collegate le funi traente superiore e traente inferiore mediante tamburello. La fune si avvolge con più spire sul tamburo e poi viene morsettata per eliminare il tiro residuo.

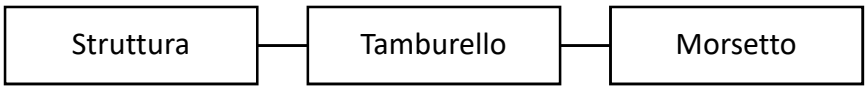
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{A7}^{c1} \cap X_{A7}^{c2} \cap X_{A7}^{c3})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{A7}^{c1}} \cup \overline{X_{A7}^{c2}} \cup \overline{X_{A7}^{c3}})$$

Diagramma a blocchi fune:



DISPONIBILITA' A_{A7}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3} =$	0.99998848
AFFIDABILITA' R_{A7} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3} =$	$e^{-\left(\frac{t}{24999964.06}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{A7}	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3} =$	0.000000040000
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	24999964.06

A7	Fune

C1	Struttura fune traente
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C1
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Struttura metallica della fune composta da trefoli a loro volta formati da fili
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Permette il movimento del veicolo lungo le funi portanti
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	2
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Usura, eventi accidentali ed eventi atmosferici
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Rottura della fune
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	0.01% sulla vita utile del componente (20000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	Blocco totale del sistema
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione del componente
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	20 giorni
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli visivi e non distruttivi periodici
	OSSERVAZIONI
14	Le funi traenti vengono dismesse in seguito ad una determinata perdita di area metallica. La rottura dei fili non avviene drasticamente, a seguito della rottura dei primi fili passano mesi prima che la rottura progredisca.

A7	Fune

C2	Tamburelli
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C2
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Tamburo
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Ancorare la fune traente al carrello
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	2
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura a fatica
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Le sollecitazioni posso localizzarsi nella stessa zona della fune
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Rottura della fune
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	0.01% sulla vita utile (20000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	Blocco totale del sistema
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione del componente
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	20 giorni
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli e manutenzione periodica
	OSSERVAZIONI
14	Il tamburello non è l'unico sistema usato per ancorare la fune traente al carrello. Possono essere utilizzate le teste fuse. Se l'anello è chiuso il veicolo viene ammorsato alla traente.

A7	Fune

C3	Morsetti
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C3
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Morsetto metallico
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Blocca la fune traente, per eliminare il tiro residuo in seguito agli avvolgimenti sul tamburello
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	4
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura o apertura del morsetto
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di montaggio
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Rottura dell'anello trattivo
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	0.01% sulla vita utile (20000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	Blocco totale del sistema
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione del componente
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	20 giorni
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	La probabilità di guasto del morsetto è irrisoria, essendo un componente meccanico che resiste al tiro residuo della fune traente in seguito agli avvolgimenti sul tamburello.

5.1.8 Carrello

I rulli del carrello sono analoghi ai rulli di linea, per comparare meglio il sistema A e C, questi componenti sono stati suddivisi dai precedenti. Ogni carrello è composto da due file di otto rulli che poggiano sulle fune portante, per un totale di 32 rulli.

Lo schema logico del rullo è riportato in dettaglio nel *capitolo 5.2.5.*

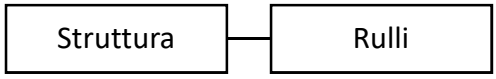
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{A8}^{C1} \cap X_{A8}^{C2})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{A8}^{C1}} \cup \overline{X_{A8}^{C2}})$$

Diagramma a blocchi carrello:



DISPONIBILITA' A_{A8}	$A^{C1}A^{C2} =$	0.998271877
AFFIDABILITA' R_{A8} (t)	$R^{C1}R^{C2} =$	$e^{-\left(\frac{t}{322}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{A8}	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2} =$	0.000097401630
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	321.90

A8	Carrello del veicolo

C1	Struttura
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C1
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Struttura in acciaio
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Guida del veicolo lungo le funi portanti
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	2
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura, formazione di cricche
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione o montaggio
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Deragliamento del carrello
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	1% sulla vita utile impianto (60000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	Blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Riparazione, sostituzione del componente
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	N.D.

A8	Carrello del veicolo

C2	Rulli
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C2
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Rullo composto da struttura, cuscinetto, rivestimento e perno
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Guida del veicolo lungo le funi portanti
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 32
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Blocco di un rullo
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione, costruzione, montaggio, usura e urto del veicolo con oggetti esterni all'impianto
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Deragliamento del veicolo
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO Guardare il sottoinsieme Rullo A5
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA Blocco dell'anello trattivo
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Guardare il sottoinsieme Rullo A5
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA Guardare il sottoinsieme Rullo A5
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Guardare il sottoinsieme Rullo A5
14	OSSERVAZIONI Per semplicità è stato inserito il rullo come componente ma è stato considerato come un sottoinsieme. Il sottoinsieme è uguale a quello considerato in precedenza.

5.1.9 Cavallotto

I cavallotti sono elementi fondamentali per ridurre la probabilità di accavallamento delle funi. Questo componente, fondamentale per il soccorso integrato, è già utilizzato da anni per migliorare la disponibilità delle funivie ed evitare l'utilizzo del veicolo di soccorso.

Ipotizzando una lunghezza dell'impianto di 1400 m e un'interdistanza tra i cavallotti di 200 m, lungo le due vie di corsa i componenti totali sono 10.

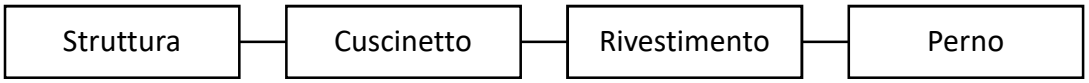
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{A10}^{c1} \cap X_{A10}^{c2} \cap X_{A10}^{c3}))$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{A10}^{c1}} \cup \overline{X_{A1}^{c2}} \cup \overline{X_{A10}^{c3}})$$

Diagramma a blocchi cavallotto:



DISPONIBILITA' A_{A10}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3}A^{C4} =$	0.999422160661
AFFIDABILITA' R_{A10} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3}R^{C4} =$	$e^{-\left(\frac{t}{31249}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{A10}	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2} + \lambda^{C3} + \lambda^{C4} =$	0.000032000569
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	31249.44

A10	Cavallotto

C1	Struttura
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C1
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Struttura metallica
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Impedire l'accavallamento della fune traente con le 2 portanti
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 10
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione (errore nei calcoli), costruzione o montaggio
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Disallineamento del rullo
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 5% sulla vita utile impianto (60000 h)
9	La rottura causa il blocco del rullo Service Leitner
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA La rottura causa il blocco del rullo
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Riparazione, sostituzione del componente
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 1 giorno
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Controlli non distruttivi periodici
14	OSSERVAZIONI Il cavallotto è ammorsato alle funi portanti e il rullo al centro sostiene la fune traente. Un errore nei calcoli in linea può creare problemi di accavallamento.

A10	Cavallotto

C2	Cuscinetto
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C2
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Cuscinetto radiale orientabile a rulli
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Rotazione del rullo intorno al perno
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	10
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura del cuscinetto o rottura di un rullo
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione o mortalità infantile del componente
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Bloccaggio del rullo, usura del rivestimento
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	3% sulla vita utile di (25000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Catalogo SKF
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura causa il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione del componente, controlli periodici
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Lubrificazione
	OSSERVAZIONI
14	N.D.

A10	Cavallotto

C4	Rivestimento
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C4
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Rivestimento della gola del rullo in materiale plastico
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Guida della fune traente
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 10
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Usura, rottura del tacco inseguito ad una eccessiva usura
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Controlli non effettuati con periodicità
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Danneggiamento della fune
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 1% sulla vita utile di (10000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA La rottura può causare la rottura della fune portante
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Sostituzione
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 5 h
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Controlli periodici
14	OSSERVAZIONI L'usura è un fenomeno costante nel tempo, se ne conosce l'andamento e si può prevedere con facilità la vita utile.

A10	Cavallotto

C5	Perno
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C5
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Perno in acciaio
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Permette la rotazione del rullo
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	10
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura, disallineamento
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione, montaggio o usura
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Disallineamento del perno
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	1% sulla vita utile impianto (60000 h)
	FONTE DELLA STIMA
9	Service LEITNER Ropeways
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura e disallineamento causano il blocco dell'anello trattivo
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Sostituzione
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli non distruttivi periodici
	OSSERVAZIONI
14	N.D.

5.1.10 Freno del veicolo sulla portante

Lo schema logico del freno del veicolo sulla portante è analogo ad un freno del sistema frenante. Essendo un sottosistema in serie, riduce la disponibilità totale del sistema A.

L'impianto C analizzato in seguito, senza il freno sulla portante, avrà una disponibilità maggiore.

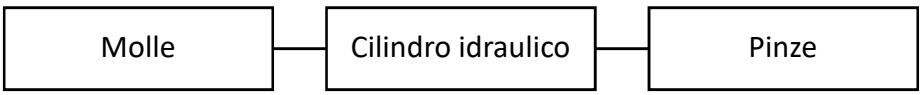
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{A9}^{c1} \cap X_{A9}^{c2} \cap X_{A9}^{c3}))$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{A9}^{c1}} \cup \overline{X_{A9}^{c2}} \cup \overline{X_{A9}^{c3}})$$

Diagramma a blocchi freno del veicolo:



DISPONIBILITA' A_{A9}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3} =$	0.999982361723
AFFIDABILITA' R_{A9} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3} =$	$e^{-\left(\frac{t}{440864}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{A9}	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3} =$	0.000002268270
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	440864.63

A9	Freno del veicolo sulla portante

C1	Molle a tazza
	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
1	C1
	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
2	Molle a tazza per freni negativi
	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO
3	Produce la forza di frenatura necessaria
	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO
4	4
	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO
5	Rottura, forza frenante inferiore a quella di progetto, degrado della molla
	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO
6	Errore di progettazione, costruzione, montaggio o usura
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO
7	Mancata chiusura della pinza
	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO
8	1% sulla vita utile impianto (60000 h) o 2 milioni di cicli
	FONTE DELLA STIMA
9	Catalogo molle a tazza Hugo Bauer Nachf, il numero di cicli massimo è stato calcolato
	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
10	La rottura causa la perdita del sistema frenante, l'anello trattivo non può muoversi in sicurezza in assenza del freno
	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE
11	Riparazione, sostituzione del componente
	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA
12	1 giorno
	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE
13	Controlli periodici
	OSSERVAZIONI
14	La fune traente nel carrello è dotata di una scarpetta mobile che preme sulla fune, quando la pressione sulla scarpetta è minore di un determinato valore fa scattare il freno sulla portante. Il numero di cicli massimo è stato calcolato considerando a quale percentuale della freccia massima lavora la molla a freno aperto e a freno chiuso.

A9	Freno del veicolo sulla portante

C2	Cilindro idraulico
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C2
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Cilindro idraulico
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Apertura delle pinze tramite pressione idraulica
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 4
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura della guarnizione, usura della guarnizione o perdita di pressione a causa di un guasto idraulico
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione, costruzione o montaggio
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Chiusura del freno per mancanza di pressione nel cilindro
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 0.01% sulla vita utile di (25000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA Blocco dell'anello trattivo
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Sostituzione del componente
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 5h
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Manutenzione periodica
14	OSSERVAZIONI In caso di guasto e chiusura delle pinze freno, si può intervenire manualmente alla riapertura del freno attraverso una pompa a mano. Essendo il freno posto nel carrello del veicolo le operazioni di intervento si complicano. In caso di guasto le persone devono essere portate in salvo tramite l'anello di soccorso.

A9	Freno del veicolo sulla portante

C3	Pinze
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C3
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Pinze, componente meccanica in metallo
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Trasmettono la forza frenante della molla alla fune portante
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 4
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione, costruzione, montaggio o usura
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Anello trattivo che non si ferma correttamente
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 0.001% sulla vita utile di (25000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA La rottura causa la perdita del sistema frenante, l'anello trattivo non può muoversi in sicurezza in assenza del freno
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Sostituzione del componente
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 1 giorno
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Controlli e manutenzione periodica
14	OSSERVAZIONI La rottura del componente meccanico è rara a causa dei pochi cicli a cui è sottoposto.

5.2 Sistema B: Impianto di soccorso

Figura 21 Impianto di soccorso, funivia Marmolada

Per il soccorso dei passeggeri lungo la linea nel caso in cui non vi sia la possibilità di movimentare l'impianto principale nemmeno con l'azionamento di recupero, la funivia dispone di un anello di fune dotato di veicolo proprio che viene movimentato da un argano del tutto indipendente.

Di conseguenza le ore in cui l'impianto B (*Figura 21*) è in funzione sono limitate, in assenza di guasti "l'esercizio" dell'impianto di soccorso può ridursi alla sola prova di evacuazione periodica. I componenti dei due impianti, A e B, tuttavia sono simili tra loro, ne consegue che il sistema di soccorso risulta sovradimensionato per il numero di ore in cui entra in funzione.

La messa in servizio dell'impianto di soccorso richiede numerose operazioni manuali da effettuarsi esclusivamente da personale qualificato. Il fattore umano ha un'incidenza elevata sull'affidabilità dei sistemi, l'affidabilità dell'uomo è inferiore a quella della macchina e l'intervento umano in queste manovre aumenta il rischio d'incidente. Il rischio cresce ulteriormente per le condizioni meteo avverse, per la situazione di emergenza in cui l'operatore dovrà lavorare. Infatti, i guasti che richiedono l'intervento l'evacuazione in linea accadono in situazioni metereologiche critiche quali il forte vento.

La tecnica empirica per la stima degli errori degli operatori (TESEO) è un tipico esempio di modello ad indici di semplice e immediata applicazione orientato alla valutazione delle probabilità di errore dell'operatore addetto al controllo di un sistema complesso. Il metodo TESEO determina la probabilità di errore Pe dell'operatore tramite il prodotto di cinque fattori, ciascuno caratterizzante un aspetto del sistema (uomo, impianto, ambiente, etc.):

$$Pe = K1\,K2\,K3\,K4\,K5$$

dove: K1 è il fattore relativo al tipo di attività che quantifica il grado di routine: se l'attività è abituale per il lavoratore, la probabilità di un possibile errore che porta ad

infortunio tende ad essere bassa. K2 è il fattore di stress legato al tempo necessario per svolgere l'attività (di routine e non di routine) e al tempo disponibile: un aumento di stress tende a tradursi in maggiore possibilità di rischio di infortunio. K3 è il fattore relativo al tipo di operatore assegnato in conseguenza al livello occupazionale, al grado di esperienza ed alla formazione: una maggiore esperienza lavorativa comporta una riduzione drastica della possibilità d'errore. K4 è il fattore di ansietà relativo all'attività dipendente dalla situazione lavorativa, da una grave emergenza, da un'emergenza potenziale o da condizioni non effettive, ma possibili. K5 è il fattore che tiene conto delle condizioni ambientali e dell'ergonomia delle attrezzature-apparecchiature con cui il lavoratore entra in contatto. I cinque fattori rappresentano in sostanza dei PSF quantificati in corrispondenza di diverse situazioni. Di seguito, vengono riportati degli estratti delle tabelle con i valori di alcuni fattori per l'applicazione del modello. Se risulta Pe>1, allora si assume Pe=1.

Fattore tipo di attività (K1)		
Tipo di attività		K1
Semplice, di routine		0.001
Di routine, richiede attenzione		0.01
Non di routine		0.1
Fattore di stress per attività di routine (K2)		
Tempo a disposizione (min)		K2
2		10
10		1
20		0.5
Fattore di stress per attività non di routine (K2)		
Tempo a disposizione (min)		K2
3		10
30		1
45		0.3
60		0.1
Fattore relativo al tipo di operatore (K3)		
Esperienza		
Ottima		0.5
Discreta		1
Scadente		2
Fattore di ansietà (K4)		
Grave emergenza		3
Emergenza potenziale		2
Normalità		1
Fattore relativo alle condizioni ambientali e all'ergonomia (K5)		
Microclima	Interfaccia con l'impianto	K5
Ottimo	Ottima	0.7
Buono	Buona	1
Discreto	Discreta	3
Discreto	Scadente	7
Cattivo	Scadente	10

$$Pe = 0.1 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 2 \cdot 3 = 0.3$$

Questo numero finale indica che in quei sottosistemi in cui vi è l'intervento umano la probabilità di accadimento del guasto nella vita utile del sottosistema è 0.3 senza considerare la probabilità di guasto del componente. L'operatore dell'impianto deve utilizzare l'argano motorizzato per regolare il braccio telescopico nella corretta posizione, posizionare la vettura sulle funi portanti e ammorsare manualmente il veicolo alla fune di soccorso. I componenti interessati in queste operazioni sono soggetti ad un elevato tasso di guasto.

Se si considera che i guasti all'impianto normalmente avvengono in condizioni climatiche avverse si deve assumere un coefficiente K5 pari a 10.

$$Pe = 0.1 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 2 \cdot 10 = 3 \rightarrow 1$$

In caso di forte vento o nevicate abbondanti la probabilità di accadimento del guasto aumenta sino ad arrivare al 100%.

Si sono analizzati in seguito, per i componenti soggetti ad interventi degli operatori, 2 casi distinti:

1. Condizioni meteo discrete Pe=30%
2. Condizioni meteo Pessime Pe=90%

Cautelativamente il tasso di guasto non è mai stato scelto del 100% a favore di sicurezza dell'analisi.

In seguito, vengono analizzati i sottosistemi dell'impianto di soccorso.

Le caratteristiche dell'impianto di soccorso sono:

Numero veicoli di soccorso	n.	1+1
Capacità veicoli di soccorso	Pers.	9+1
Velocità veicolo di soccorso	[m/s]	3
Potenza azionamento soccorso	[kW]	55
Diametro fune soccorso	[mm]	18
Rulli in linea	n.	30
Puleggia motrice	n.	1
Puleggia di deviazione	n.	6

5.2.1 Puleggia deviazione

La puleggia di deviazione dell'impianto di soccorso non possiede il sistema di doppia rotazione. La normativa prescrive che i cuscinetti a rotolamento dei supporti per le pulegge debbano essere dimensionati per un carico convenzionale non inferiore a quello massimo per una durata non inferiore a 25000 ore (*UNI EN 13223 15.1.2*) di funzionamento con tale carico convenzionale.

Il numero delle pulegge di deviazione può essere maggiore di quelle previste nell'impianto principale perché il percorso della fune soccorso può essere sacrificato in favore dell'anello trattivo principale.

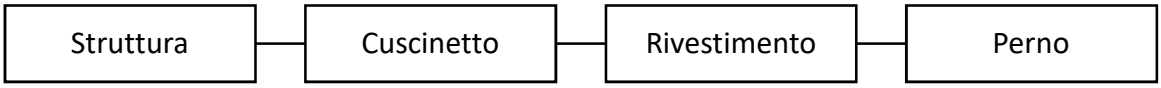
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{B1}^{C1} \cap X_{B1}^{C2} \cap X_{B1}^{C3} \cap X_{B1}^{C4})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{B1}^{C1}} \cup \overline{X_{B1}^{C2}} \cup \overline{X_{B1}^{C3}} \cup \overline{X_{B1}^{C4}})$$

Diagramma elementare a blocchi puleggia di deviazione:



DISPONIBILITA' A_{B1}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3}A^{C4} =$	0.9962326119
AFFIDABILITA' R_{B1} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3}R^{C4} =$	$e^{-\left(\frac{t}{6171}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{B1}	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4} =$	0.0001620419
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	6171.24

5.2.2 Puleggia motrice

Analogamente alla puleggia di deviazione, quella motrice non possiede il sistema di doppia rotazione su boccole sinterizzate autolubrificanti.

Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{B2}^{c1} \cap X_{B2}^{c2} \cap X_{B2}^{c3} \cap X_{B2}^{c4} \cap X_{B2}^{c5})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{B2}^{c1}} \cup \overline{X_{B2}^{c2}} \cup \overline{X_{B2}^{c3}} \cup \overline{X_{B2}^{c4}} \cup \overline{X_{B2}^{c5}})$$

Diagramma a blocchi puleggia motrice:

DISPONIBILITA' A_{B2}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3}A^{C4}A^{C5} =$	0.9993701547
AFFIDABILITA' R_{B2} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3}R^{C4}R^{C5} =$	$e^{-\left(\frac{t}{221836}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{B2}	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5} =$	0.0000014400
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	221836.19

5.2.3 Argano

I componenti dell'argano di soccorso possono variare molto da un impianto ad un altro, la funzione però rimane quella di garantire, in caso di guasto dell'impianto principale, il funzionamento dell'anello trattivo della fune soccorso.

In genere l'argano di soccorso è costituito da un motore diesel, da una pompa idraulica a cilindrata variabile. La puleggia motrice del soccorso è calettata su un albero montato su cuscinetti e riceve il moto da un motore idraulico. Fra motore e puleggia viene interposto un riduttore in cui può essere integrato un freno negativo, multidisco a comando oleodinamico, che costituisce freno di servizio dell'argano di soccorso.

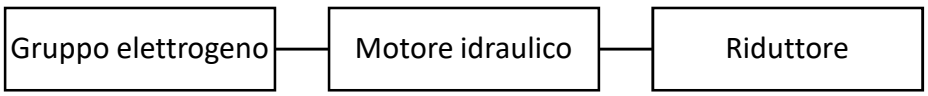
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{B3}^{C1} \cap X_{B3}^{C2} \cap X_{B3}^{C3})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{B3}^{C1}} \cup \overline{X_{B3}^{C2}} \cup \overline{X_{B3}^{C3}})$$

Diagramma a blocchi argano:



DISPONIBILITA' A_{B3}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3} =$	0.9999942200
AFFIDABILITA' R_{B3} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3} =$	$e^{-\left(\frac{t}{968518}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{B3}	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3} =$	0.0000010325
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	968518.30

5.2.4 Tensionamento

Il contrappeso addizionale movimentato da un argano, nelle ipotesi analizzate nel caso 1 del capitolo 5.2, ha una probabilità di guasto del 30% dovuto all'intervento umano per le operazioni di messa in funzione dell'impianto di soccorso.

Il caso 2 del capitolo 5.2 è analizzato nel capitolo 5.4.3, i due casi hanno la stessa procedura, in seguito viene descritta solo quella del caso 1.

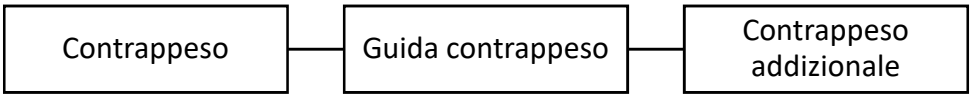
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{B4}^{c1} \cap X_{B4}^{c2} \cap X_{B4}^{c3})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{B4}^{c1}} \cup \overline{X_{B4}^{c2}} \cup \overline{X_{B4}^{c3}})$$

Diagramma a blocchi tensionamento:



DISPONIBILITA' A_{B4}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3} =$	0.9998368075
AFFIDABILITA' R_{B4} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3} =$	$e^{-\left(\frac{t}{147048}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{B4}	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3} =$	0.0000068005
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	147048.28

B4	Tensionamento

C3	Contrappeso addizionale
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C3
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Contrappeso addizionale gravitazionale
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Tendere la fune soccorso al di sopra delle funi traenti e portanti dell'impianto principale durante il funzionamento in esercizio di quest'ultimo
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 1
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura, accavallamento della fune soccorso se non correttamente tesa, scarrucolamento del carrello di soccorso per eccessiva tensione della fune durante l'evacuazione
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione, costruzione o montaggio. Ogni messa in funzione dell'impianto di soccorso il contrappeso addizionale va sganciato
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Oscillazioni della fune traente non controllate, possibili accavallamenti. Scarrucolamenti del veicolo
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 30% sulla vita utile (25000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA blocco dell'anello di soccorso, caduta del veicolo di soccorso
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Sostituzione o riparazione
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 1 giorno
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Manutenzione periodica
14	OSSERVAZIONI La messa in servizio dell'impianto di soccorso è un'operazione delicata, tra le varie fasi c'è il corretto posizionamento della fune soccorso sganciando il contrappeso addizionale

5.2.5 Rullo di linea

I rulli di linea dell'impianto di soccorso sono identici ai rulli analizzati nel capitolo 5.1.5, nell'analisi vengono ipotizzati 30 rulli di linea.

A favore di sicurezza il numero di rulli è stato ipotizzato basso, però gli elementi possono essere molto più numerosi a causa dell'elevata tensione a cui è sottoposta la fune di soccorso che causa problemi di pressione statica sul rivestimento.

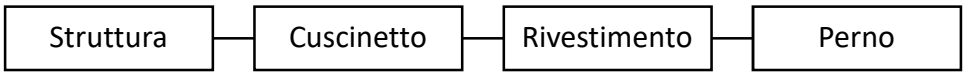
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{B5}^{c1} \cap X_{B5}^{c2} \cap X_{B5}^{c3} \cap X_{B5}^{c4})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{B5}^{c1}} \cup \overline{X_{B5}^{c2}} \cup \overline{X_{B5}^{c3}} \cup \overline{X_{B5}^{c4}})$$

Diagramma a blocchi rullo:



DISPONIBILITA'	$A^{C1}A^{C2}A^{C3}A^{C4} =$	0.9982195688
A_{B5}		
AFFIDABILITA'	$R^{C1}R^{C2}R^{C3}R^{C4} =$	$e^{-\left(\frac{t}{10204}\right)}$
R_{B5} (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4} =$	0.0000980016
λ_{B5}		
MEAN TIME TO FAIL	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	10203.91
MTTF		

5.2.6 Sistema frenante

Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{B6}^{c1} \cap X_{B6}^{c2} \cap X_{B6}^{c3}) \cup (X_{B6}^{c4} \cap X_{B6}^{c5} \cap X_{B6}^{c6})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{B6}^{c1}} \cup \overline{X_{B6}^{c2}} \cup \overline{X_{B6}^{c3}}) \cap (\overline{X_{B6}^{c4}} \cup \overline{X_{B6}^{c5}} \cup \overline{X_{B6}^{c6}})$$

Diagramma a blocchi sistema frenante:

DISPONIBILITA' A_{B6}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3} + A^{C4}A^{C5}A^{C6} - A^{C1}A^{C2}A^{C3}A^{C4}A^{C5}A^{C6} =$	0.99999999998
AFFIDABILITA' R_{B6} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3} + R^{C4}R^{C5}R^{C6} - R^{C1}R^{C2}R^{C3}R^{C4}R^{C5}R^{C6} =$	$e^{-\left(\frac{t}{34247905911562}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{B6}	$\frac{(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3})(\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6})(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6})}{(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6})^2-(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3})(\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6})}$	0.000000114045
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	34247905911562.20

5.2.7 Fune

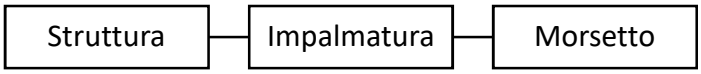
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{B7}^{c1} \cap X_{B7}^{c2} \cap X_{B7}^{c3})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{B7}^{c1}} \cup \overline{X_{B7}^{c2}} \cup \overline{X_{B7}^{c3}})$$

Diagramma a blocchi fune:



DISPONIBILITA'	$A^{C1}A^{C2}A^{C3} =$	0.9732968377
A_{B7}		
AFFIDABILITA'	$R^{C1}R^{C2}R^{C3} =$	$e^{-\left(\frac{t}{17462}\right)}$
R_{B7} (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3} =$	0.0000572679
λ_{B7}		
MEAN TIME TO FAIL	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	17461.79
MTTF		

5.2.8 Carrello

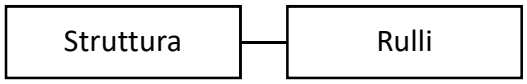
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{B8}^{c1} \cap X_{B8}^{c2})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{B8}^{c1}} \cup \overline{X_{B8}^{c2}})$$

Diagramma a blocchi carrello:



DISPONIBILITA'	$A^{C1}A^{C2} =$	0.9976977290
A_{B8}		
AFFIDABILITA'	$R^{C1}R^{C2} =$	$e^{-\left(\frac{t}{31235}\right)}$
R_{B8} (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2} =$	0.0000320156
λ_{B8}		
MEAN TIME TO FAIL	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	31234.74
MTTF		

5.2.9 Argano motorizzato

Figura 22 Argano motorizzato

Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{B9}^{C1})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{B8}^{C1}})$$

Diagramma a blocchi argano motorizzato:

Struttura

DISPONIBILITA'	$A^{C1} =$	0.9712146368
A_{B9}		
AFFIDABILITA'	$R^{C1} =$	$e^{-\left(\frac{t}{4143}\right)}$
R_{B9} (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	$\lambda^{C1} =$	0.000241390
λ_{B9}		
MEAN TIME TO FAIL	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	4142.67
MTTF		

B9	Argano motorizzato

C1	Struttura
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C1
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Arganello motorizzato
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Sollevamento del veicolo di soccorso e posizionamento sulle funi portanti
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 2
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Rottura
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Difetto, usura, sovracorrente, guasto motore ed errore di montaggio
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Mancato sollevamento del veicolo di soccorso
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 60% sulla vita utile di (5000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA Blocco del sistema
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Riparazione
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 5 giorni
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Controlli periodici
14	OSSERVAZIONI L'elevata probabilità di occorrenza del guasto dipende dalla presenza del fattore umano

5.2.10 Veicolo

Sono stati ipotizzati due veicoli che vengono ricoverati rispettivamente nella stazione di valle e di monte. La regolazione del braccio telescopico è soggetta dall'errore umano, la probabilità di guasto è considerata del 30%

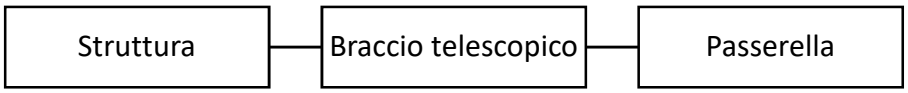
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{B10}^{c1} \cap X_{B10}^{c2} \cap X_{B10}^{c3})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{B1}^{c1}} \cup \overline{X_{B10}^{c2}} \cup \overline{X_{B10}^{c3}})$$

Diagramma a blocchi veicolo:



DISPONIBILITA' A_{B10}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3} =$	0.971490897
AFFIDABILITA' R_{B10} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3} =$	$e^{-\left(\frac{t}{4123}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{B10}	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3} =$	0.000242541
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	4123.02

B10	Veicolo

C2	Braccio telescopico
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C2
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Braccio telescopico in metallo
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Allineamento del veicolo soccorso con la vettura principale
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 2
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Soccorso dei passeggeri non possibile
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di montaggio
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Disallineamento dei due veicoli
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 30% sulla vita utile di (5000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA Impossibilità di soccorso
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Sostituzione del componente
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 5 giorni
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Controlli periodici
14	OSSERVAZIONI Attraverso l'utilizzo del paranco prima di spostare il veicolo sopra le funi portanti va regolata manualmente l'altezza del braccio telescopico per permettere l'allineamento del veicolo di soccorso con la vettura principale

B10	Veicolo

C3	Passerella
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C3
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Passerella di trasbordo
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Trasferimento delle persone sul veicolo di soccorso
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 2
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Soccorso dei passeggeri non possibile, sganciamento della passerella dal veicolo
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di montaggio
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO L'uso non corretto della passerella può generare incidenti anche mortali ai passeggeri
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO 30% sulla vita utile di (5000 h)
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA Impossibilità di soccorso
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Sostituzione
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA 5 giorni
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Controlli periodici
14	OSSERVAZIONI Le condizioni meteo possono impedire un trasferimento in sicurezza delle persone tra i due veicoli. Il vento forte può far oscillare molto i veicoli ed impedirne l'avvicinamento. La presenza di persone con disabilità a bordo può rendere difficile o impossibile il trasbordo

5.3 Sistema C "soccorso integrato"

Il sistema C, illustrato in *Figura 23* è una funivia con una procedura di soccorso integrato che sarà nel capitolo seguente confrontata con una funivia tradizionale avente l'impianto di soccorso.

Il sistema proposto prevede di poter recuperare i veicoli principali in seguito a qualsiasi causa di guasto prevedibile, onde evitare la calata verticale dei passeggeri, che rimane un metodo di soccorso valido per franchi verticali dal suolo inferiori ai 100m.

Le principali peculiarità del sistema proposto sono:

- Veicoli senza freni sulla portante in grado di rientrare in stazione a bassa velocità anche in qualsiasi condizione di guasto prevedibile.
- Completa ridondanza di tutti quegli elementi che possono presumibilmente subire un guasto ed impedire la movimentazione dell'anello di fune.
- Assenza dell'impianto di soccorso

Le soluzioni progettuali adottate sono descritte in dettaglio nel *capitolo 6*.

Alcuni sottosistemi come ad esempio l'argano, le pulegge e il sistema di tensionamento rimangono invariati da quelli considerati in un impianto tradizionali.

Nuovi studi hanno consentito di aumentare significativamente l'affidabilità di altri sottosistemi come cavallotti, carrello e fune.

Le caratteristiche generali ipotizzate per l'impianto C sono identiche a quelle del sistema A.

Figura 23 Veicolo predisposto per il soccorso integrato

5.3.1 Puleggia deviazione

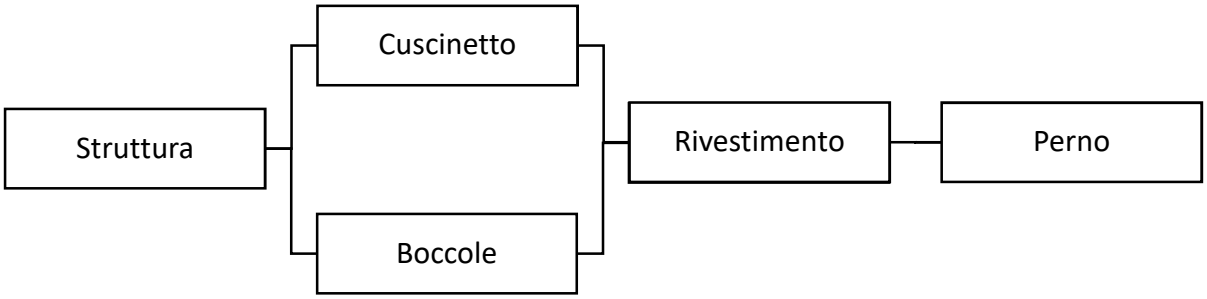
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{C1}^{c1} \cap X_{C1}^{c2} \cap X_{C1}^{c4} \cap X_{C1}^{c5}) \cup (X_{C1}^{c1} \cap X_{C1}^{c3} \cap X_{C1}^{c4} \cap X_{C1}^{c5})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{C1}^{c1}} \cup \overline{X_{C1}^{c2}} \cup \overline{X_{C1}^{c4}} \cup \overline{X_{C1}^{c5}}) \cap (\overline{X_{C1}^{c1}} \cup \overline{X_{C1}^{c3}} \cup \overline{X_{C1}^{c4}} \cup \overline{X_{C1}^{c5}})$$

Diagramma elementare a blocchi puleggia di deviazione:



DISPONIBILITA'	$(A^{C2} + A^{C3} - A^{C2}A^{C3})A^{C1}A^{C4}A^{C5} =$	0.999850006
A_{C1}		
AFFIDABILITA'	$(R^{C2} + R^{C3} - R^{C2}R^{C3})R^{C1}R^{C4}R^{C5} =$	$e^{-\left(\frac{t}{90908}\right)}$
R_{C1} (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	$\frac{\lambda^{C2}\cdot\lambda^{C3}\cdot(\lambda^{C2}+\lambda^{C3})}{(\lambda^{C2}+\lambda^{C3})^2-\lambda^{C2}\cdot\lambda^{C3}}+\lambda^{C1}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5} =$	0.000011499517
λ_{C1}		
MEAN TIME TO FAIL	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	90908.22
MTTF		

5.3.2 Puleggia motrice

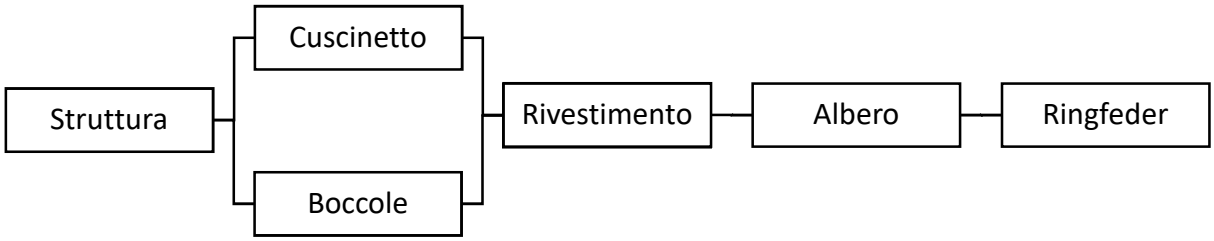
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{C2}^{c1} \cap X_{C2}^{c2} \cap X_{C2}^{c4} \cap X_{C2}^{c5} \cap X_{C2}^{c6}) \cup (X_{C2}^{c1} \cap X_{C2}^{c3} \cap X_{C2}^{c4} \cap X_{C2}^{c5} \cap X_{C2}^{c6})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{C2}^{c1}} \cup \overline{X_{C2}^{c2}} \cup \overline{X_{C2}^{c4}} \cup \overline{X_{C2}^{c5}} \cup \overline{X_{C2}^{c6}}) \cap (\overline{X_{C2}^{c1}} \cup \overline{X_{C2}^{c3}} \cup \overline{X_{C2}^{c4}} \cup \overline{X_{C2}^{c5}} \cup \overline{X_{C2}^{c6}})$$

Diagramma a blocchi puleggia motrice:



DISPONIBILITA'	$(A^{C2} + A^{C3} - A^{C2}A^{C3})A^{C1}A^{C4}A^{C5} =$	0.9999746
A_{C2}		
AFFIDABILITA'	$(R^{C2} + R^{C3} - R^{C2}R^{C3})R^{C1}R^{C4}R^{C5} =$	$e^{-\left(\frac{t}{3243214}\right)}$
R_{C2} (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	$\frac{\lambda^{C2}\cdot\lambda^{C3}\cdot(\lambda^{C2}+\lambda^{C3})}{(\lambda^{C2}+\lambda^{C3})^2-\lambda^{C2}\cdot\lambda^{C3}}+\lambda^{C1}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5} =$	0.000001933253
λ_{C2}		
MEAN TIME TO FAIL	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	3243214.25
MTTF		

5.3.3 Argano

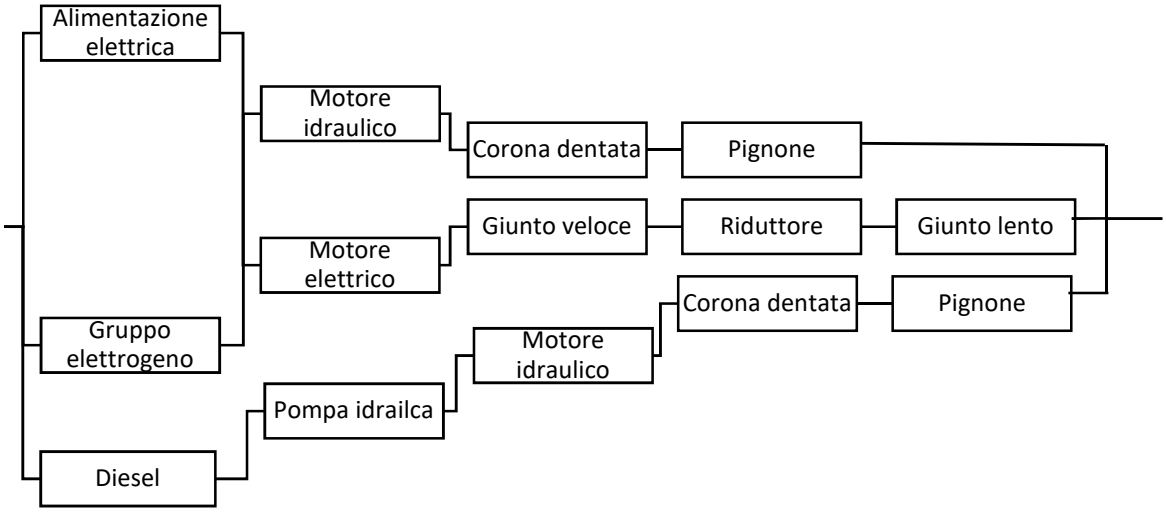
Funzione strutturale:

$$\phi = \left((X_{C3}^{c1} \cup X_{C3}^{c2}) \cap (X_{C3}^{c3} \cap X_{C3}^{c4} \cap X_{C3}^{c5} \cap X_{C3}^{c6} \cup X_{C3}^{c3} \cap X_{C3}^{c4} \cap X_{C3}^{c5} \cap X_{C3}^{c6})\right) \cup (X_{C3}^{c7} \cap X_{C3}^{c8} \cap X_{C3}^{c9} \cap X_{C3}^{c1}\ ) =$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = \left(\overline{X_{C3}^{c1}} \cap \overline{X_{C3}^{c2}}\right) \cup \left(\left(\overline{X_{C3}^{c3}} \cup \overline{X_{C3}^{c4}} \cup \overline{X_{C3}^{c5}} \cup \overline{X_{C3}^{c6}}\right) \cap \left(\overline{X_{C3}^{c3}} \cup \overline{X_{C3}^{c4}} \cup \overline{X_{C3}^{c5}} \cup \overline{X_{C3}^{c6}}\right)\right) \cap \left(\overline{X_{C3}^{c7}} \cup \overline{X_{C3}^{c8}} \cup \overline{X_{C3}^{c9}} \cup \overline{X_{C3}^{c10}}\right) =$$

Diagramma a blocchi Argano:



DISPONIBILITA'	$(A^{C1} + A^{C2} - A^{C1}A^{C2})(A_{PRINCIPALE} + A_{RISERVA} - A_{PRINCIPALE}A_{RISERVA}) + A_{RECUPERO} - (A^{C1} + A^{C2} - A^{C1}A^{C2})(A_{PRINCIPALE} + A_{RISERVA} - A_{PRINCIPALE}A_{RISERVA}) * A_{RECUPERO} =$	1
A_{C3}		
AFFIDABILITA'	$(R^{C1} + R^{C2} - R^{C1}R^{C2})(R_{PRINCIPALE} + R_{RISERVA} - R_{PRINCIPALE}R_{RISERVA}) + R_{RECUPERO} - (R^{C1} + R^{C2} - R^{C1}R^{C2})(R_{PRINCIPALE} + R_{RISERVA} - R_{PRINCIPALE}R_{RISERVA}) * R_{RECUPERO} =$	1
R_{C3} (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	-	0
λ_{C3}		
MEAN TIME TO FAIL	-	-
MTTF		

5.3.4 Tensionamento

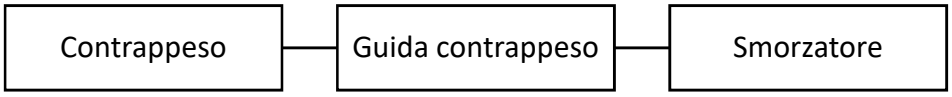
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{C4}^{c1} \cap X_{C4}^{c2} \cap X_{C4}^{c3})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{C4}^{c1}} \cup \overline{X_{C4}^{c2}} \cup \overline{X_{C4}^{c3}})$$

Diagramma a blocchi tensionamento:



C A_{C4}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3} =$	0.999986
AFFIDABILITA' R_{C4} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3} =$	$e^{-\left(\frac{t}{1714279}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{C4}	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3} =$	0.000000583336
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	1714279.34

5.3.5 Rullo di linea

È stato ipotizzato lo stesso numero di rulli di linea considerato nel sistema A.

A seguito di un guasto multiplo di due rulli il sottosistema non è in grado di funzionare, attraverso il metodo del "k out of n" si procede al calcolo dell'affidabilità del sistema.

$$R_s(t) = \sum_{i=k}^{n} \binom{n}{i} \cdot [R(t)]^i \cdot [1 - R(t)]^{i-1}$$

N=48

K=2

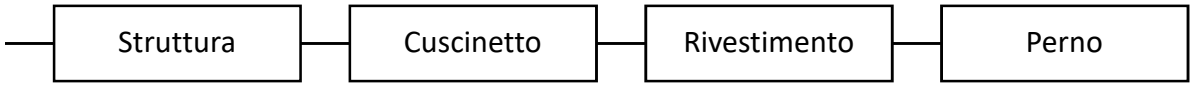
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{A5}^{c1} \cap X_{A5}^{c2} \cap X_{A5}^{c3} \cap X_{A5}^{c4})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{A5}^{c1}} \cup \overline{X_{A5}^{c2}} \cup \overline{X_{A5}^{c3}} \cup \overline{X_{A5}^{c4}})$$

Diagramma a blocchi rullo:



DISPONIBILITA' A_{C5}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3}A^{C4} =$	0.999996741
AFFIDABILITA' R_{C5} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3}R^{C4} =$	$e^{-\left(\frac{t}{6868}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{C5}	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4} =$	0.000145602
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	6868.016634

5.3.6 Sistema frenante

Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{C6}^{c1} \cap X_{C6}^{c2} \cap X_{C6}^{c3}) \cup (X_{C6}^{c4} \cap X_{C6}^{c5} \cap X_{C6}^{c6})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{C6}^{c1}} \cup \overline{X_{C6}^{c2}} \cup \overline{X_{C6}^{c3}}) \cup (\overline{X_{C6}^{c4}} \cup \overline{X_{C6}^{c5}} \cup \overline{X_{C6}^{c6}})$$

Diagramma a blocchi sistema frenante:

DISPONIBILITA' A_{C6}	$A^{C1}A^{C2}A^{C3} + A^{C4}A^{C5}A^{C6} - A^{C1}A^{C2}A^{C3}A^{C4}A^{C5}A^{C6} =$	0.99999999998
AFFIDABILITA' R_{C6} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3} + R^{C4}R^{C5}R^{C6} - R^{C1}R^{C2}R^{C3}R^{C4}R^{C5}R^{C6} =$	$e^{-\left(\frac{t}{34247905911562}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{C6}	$\frac{(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3})(\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6})(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6})}{(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6})^2-(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3})(\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6})}$	0.000000114045
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	34247905911562.20

5.3.7 Fune

Eliminando i freni sulla portante bisogna impedire la rottura della fune traente. La Normativa Europea *UNI EN 12929-2:2004* definisce i requisiti di sicurezza aggiuntivi per le funivie bifune a va e vieni senza freni sul carrello.

I requisiti di sicurezza aggiuntivi incrementano la disponibilità del sottosistema che sarà maggiore rispetto a quella di un impianto tradizionale.

La Normativa *UNI EN 12929-2:2004* viene analizzata in dettaglio nel *capitolo 6.2*.

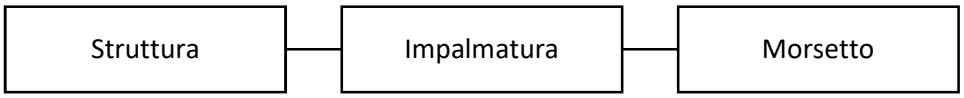
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{C7}^{c1} \cap X_{C7}^{c2} \cap X_{C7}^{c3})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{C7}^{c1}} \cup \overline{X_{C7}^{c2}} \cup \overline{X_{C7}^{c3}})$$

Diagramma a blocchi fune:



DISPONIBILITA'	$A^{C1}A^{C2}A^{C3} =$	0.999997408
A_{C7}		
AFFIDABILITA'	$R^{C1}R^{C2}R^{C3} =$	$e^{-\left(\frac{t}{62499959}\right)}$
R_{C7} (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	$\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3} =$	1.6E-08
λ_{C7}		
MEAN TIME TO FAIL	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	62499959.63
MTTF		

5.3.8 Carrello

Il carrello per il soccorso integrato non ha il freno sulla portante, il bloccaggio del componente non consente il recupero dei veicoli in stazione.

Il carrello possiede un dispositivo anti-scarrucolante dotato di un rullo ausiliare che appoggerà sulla fune solo in caso di guasto di un rullo principale.

Il dispositivo innovativo è descritto nel *capitolo 6.4.*

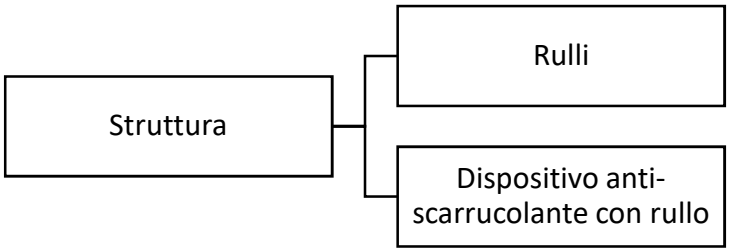
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{C8}^{c1} \cap (X_{C8}^{c2} \cup X_{C8}^{c3}))$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{C8}^{c1}} \cup (\overline{X_{C8}^{c2}} \cap \overline{X_{C8}^{c3}})$$

Diagramma a blocchi carrello:



DISPONIBILITA'	$A^{C1}(A^{C2} + A^{C3} - A^{C2}A^{C3}) =$	0.99999052
A_{C8}		
AFFIDABILITA'	$R^{C1}(R^{C2} + R^{C3} - R^{C2}R^{C3}) =$	$e^{-\left(\frac{t}{364862}\right)}$
R_{C8} (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	$\lambda^{C1} + \frac{\lambda^{C2}\lambda^{C3}(\lambda^{C2}+\lambda^{C3})}{(\lambda^{C2}+\lambda^{C3})^2-\lambda^{C2}\lambda^{C3}} =$	4.1934E-05
λ_{C8}		
MEAN TIME TO FAIL	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	364861.87
MTTF		

C8	Carrello del veicolo

C3	Dispositivo anti-scarrucolamento con ruotino
1	CODICE ASSEGNATO AL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO C3
2	DESCRIZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Ruotino in acciaio
3	FUNZIONE DEL COMPONENTE SOGGETTO A GUASTO Consente il recupero del veicolo in caso di bloccaggio di un rullo del carrello
4	QUANTITA' DI COMPONENTI DEL TIPO CONSIDERATO NELL'IMPIANTO 16
5	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA O DELLE TIPOLOGIE DI GUASTO Blocco di un rullo
6	DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI CAUSE DI GUASTO Errore di progettazione, costruzione, montaggio, usura e urto del veicolo con oggetti esterni all'impianto
7	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI SINTOMI DI GUASTO Deragliamento del veicolo
8	STIMA DELLA PROBABILITA' DI OCCORRENZA DEL GUASTO Guardare il sottoinsieme Rullo C5
9	FONTE DELLA STIMA Service LEITNER Ropeways
10	DESCRIZIONE DELLE CONSEGUENZE DEL GUASTO SUL FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA Blocco dell'anello trattivo
11	DESCRIZIONE DEI POSSIBILI INTERVENTI ATTI A RIPRISTINARE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL COMPONENTE Guardare il sottoinsieme Rullo C5
12	STIMA DEL TEMPO DI RIPRISTINO DEL CORRETTO FUNZIONAMENTO DEL SOTTOSISTEMA Guardare il sottoinsieme Rullo C5
13	MANUTENZIONE PROGRAMMATA DEL COMPONENTE Guardare il sottoinsieme Rullo C5
14	OSSERVAZIONI La fune normalmente non appoggia sul rullo ausiliario. In caso di usura del rivestimento del rullo o perdita del rullo quello ausiliario interviene permettendo il recupero evitando strisciamenti sulla fune.

5.3.9 Cavallotto

Il cavallotto di un impianto tradizionale è stato modificato, per aumentarne la disponibilità, aggiungendo dei rulli ausiliari che consentono il recupero del veicolo in stazione in caso di rottura del rullo principale del cavallotto.

Rispetto ai rulli di linea il rullo del cavallotto presenta una criticità maggiore poiché è singolo ed un suo guasto non può essere compensato da elementi limitrofi.

Le diverse soluzioni di cavallotto ideate sono esposte nel *capitolo 6.3*.

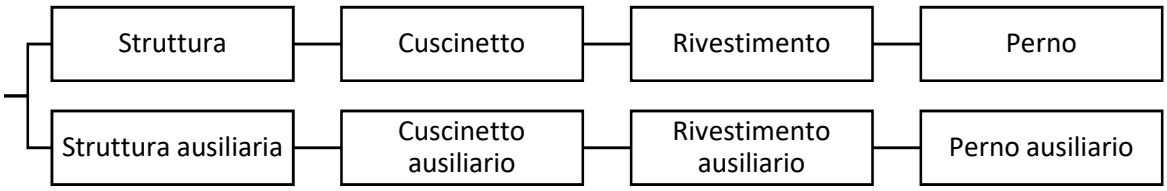
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_{C10}^{c1} \cap X_{C10}^{c2} \cap X_{C1}^{c3} \cap X_{C10}^{c4}) \cup (X_{C10}^{c5} \cap X_{C10}^{c6} \cap X_{C10}^{c7} \cap X_{C1}^{c8})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_{C10}^{c1}} \cup \overline{X_{C10}^{c2}} \cup \overline{X_{C10}^{c3}} \cup \overline{X_{C10}^{c4}}) \cap (\overline{X_{C1}^{c5}} \cup \overline{X_{C10}^{c6}} \cup \overline{X_{C1}^{c7}} \cup \overline{X_{C10}^{c8}})$$

Diagramma a blocchi cavallotto:



DISPONIBILITA' A_{C5}	$(A^{C1}A^{C2}A^{C3}A^{C4}) + (A^{C5}A^{C6}A^{C7}A^{C8}) - (A^{C1}A^{C2}A^{C3}A^{C4}A^{C5}A^{C6}A^{C7}A^{C8} =$	0.999999666
AFFIDABILITA' R_{C5} (t)	$R^{C1}R^{C2}R^{C3}R^{C4} + R^{C5}R^{C6}R^{C7}R^{C8} - R^{C1}R^{C2}R^{C3}R^{C4}R^{C5}R^{C6}R^{C7}R^{C8} =$	$e^{-\left(\frac{t}{976559009}\right)}$
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO λ_{C5}	$\frac{((\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4})(\lambda^{C5}+\lambda^{C6}+\lambda^{C7}+\lambda^{C8})(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6}+\lambda^{C7}+\lambda^{C8}))}{(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4}+\lambda^{C5}+\lambda^{C6}+\lambda^{C7}+\lambda^{C8})^{2}-(\lambda^{C1}+\lambda^{C2}+\lambda^{C3}+\lambda^{C4})(\lambda^{C5}+\lambda^{C6}+\lambda^{C7}+\lambda^{C8})} =$	2.13337E-05
MEAN TIME TO FAIL MTTF	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	976559009.4

5.4 Analisi sistema A e sistema B

5.4.1 Sistema A

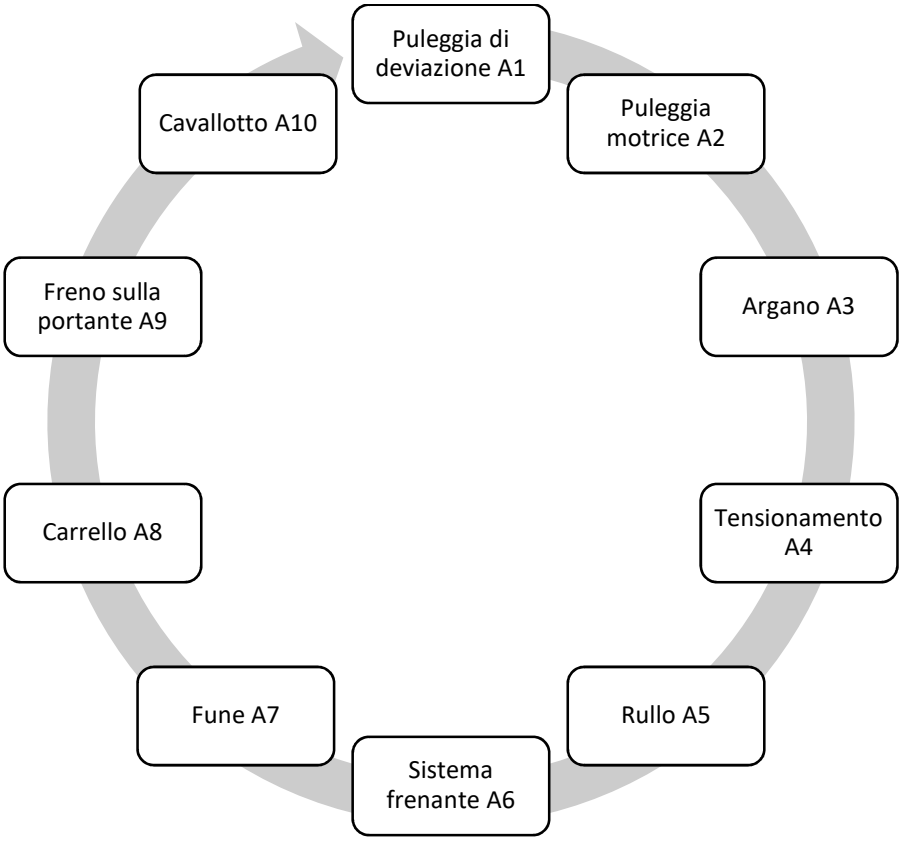
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_A^{A1} \cap X_A^{A2} \cap X_A^{A3} \cap X_A^{A4} \cap X_A^{A5} \cap X_A^{A6} \cap X_A^{A7} \cap X_A^{A8} \cap X_A^{A9})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_A^{A1}} \cup \overline{X_A^{A2}} \cup \overline{X_A^{A3}} \cup \overline{X_A^{A4}} \cup \overline{X_A^{A5}} \cup \overline{X_A^{A6}} \cup \overline{X_A^{A7}} \cup \overline{X_A^{A8}} \cup \overline{X_A^{A9}})$$

Sottosistemi dell'impianto A



DISPONIBILITA'	$A^{A1}A^{A2}A^{A3}A^{A4}A^{A5}A^{A6}A^{A7}A^{A8}A^{A9}A^{A10} =$	0.997474
A_A		
AFFIDABILITA'	$R^{A1}R^{A2}R^{A3}R^{A4}R^{A5}R^{A6}R^{A7}R^{A8}R^{A9}R^{A10} =$	$e^{-\left(\frac{t}{303}\right)}$
R_A (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	$\lambda^{A1} + \lambda^{A2} + \lambda^{A3} + \lambda^{A4} + \lambda^{A5} + \lambda^{A6} + \lambda^{A7} + \lambda^{A8} + \lambda^{A9} + \lambda^{A10} =$	0.000291443062
λ_A		
MEAN TIME TO FAIL	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	303.18
MTTF		

5.4.2 Sistema B

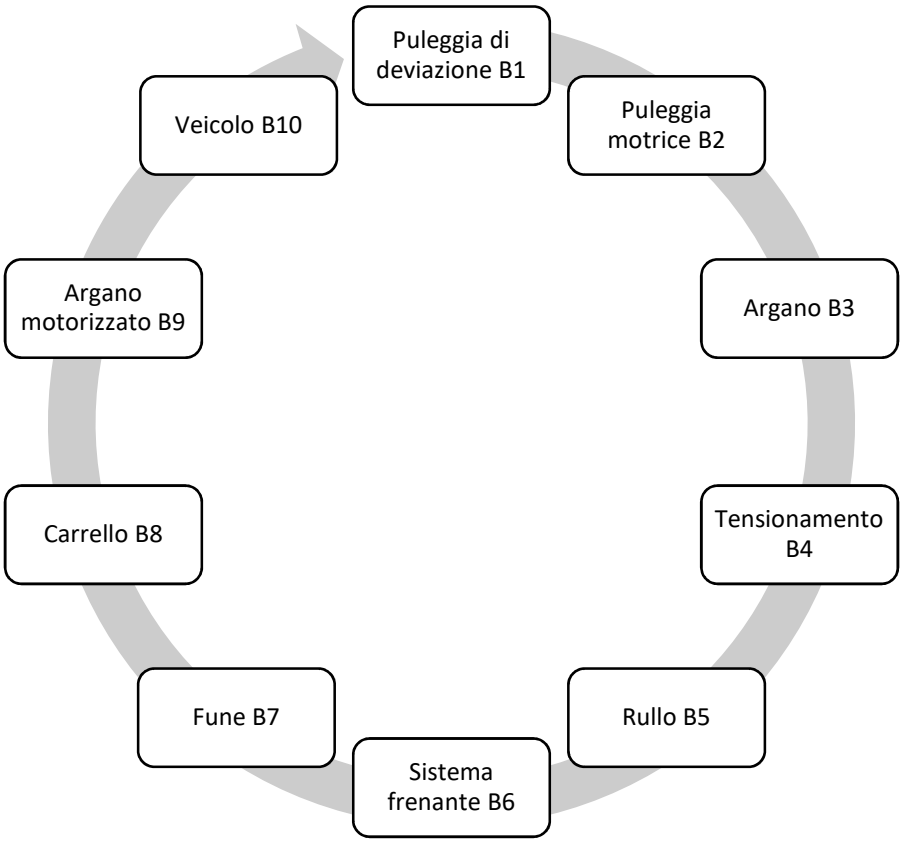
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_B^{B1} \cap X_B^{B2} \cap X_B^{B3} \cap X_B^{B4} \cap X_B^{B5} \cap X_B^{B6} \cap X_B^{B7} \cap X_B^{B8} \cap X_B^{B9} \cap X_B^{B1}\ )$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_B^{B1}} \cup \overline{X_B^{B2}} \cup \overline{X_B^{B3}} \cup \overline{X_B^{B4}} \cup \overline{X_B^{B5}} \cup \overline{X_B^{B6}} \cup \overline{X_B^{B7}} \cup \overline{X_B^{B8}} \cup \overline{X_B^{B9}} \cup \overline{X_B^{B10}})$$

Sottosistemi dell'impianto B



DISPONIBILITA'	$A^{B1}A^{B2}A^{B3}A^{B4}A^{B5}A^{B6}A^{B7}A^{B8}A^{B9}A^{B10} =$	0.910412
A_B		
AFFIDABILITA'	$R^{B1}R^{B2}R^{B3}R^{B4}R^{B5}R^{B6}R^{B7}R^{B8}R^{B9}R^{B10} =$	$e^{-\left(\frac{t}{1183}\right)}$
R_B (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	$\lambda^{B1} + \lambda^{B2} + \lambda^{B3} + \lambda^{B4} + \lambda^{B5} + \lambda^{B6} + \lambda^{B7} + \lambda^{B8} + \lambda^{B9} + \lambda^{B10} =$	0.0008426451
λ_B		
MEAN TIME TO FAIL	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	1182.59
MTTF		

5.4.3 Sistema A+B

Il sistema composto A+B rappresenta un impianto tradizionale a va e vieni con il veicolo di soccorso.

I due sistemi possono essere considerati in parallelo se la loro funzione ultima considerata è quella di portare in salvo i passeggeri, però di fatto non sono due impianti in parallelo.

I due sistemi non vengono usati entrambi indistintamente, i componenti sono in realtà in serie. L'impianto di soccorso è azionato solamente quando il principale è guasto.

L'ipotesi fatta quindi è cautelativa, la disponibilità calcolata per il sistema composto è superiore a quella reale.

DISPONIBILITA'	$A^A + A^B - A^A A^B =$	0.999774
A_{A+B}		
AFFIDABILITA'	$R^A + R^B - R^A R^B =$	$e^{-\left(\frac{t}{359286}\right)}$
R_B (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	$\frac{(\lambda^A \lambda^B)(\lambda^A + \lambda^B)}{(\lambda^A + \lambda^B)^2 - \lambda^A \lambda^B} =$	0.000267653
λ_B		
MEAN TIME TO FAIL	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	359286.2828
MTTF		

Si analizza in seguito anche il caso in cui le attività degli operatori per azionare l'impianto di soccorso si svolgano in condizioni climatiche pessime (*caso 2 capitolo 5.2*).

Assumendo una probabilità di errore umano del 90% la disponibilità del sistema B passa da 91.04% a 87.08%. I valori finali del sistema composto A+B nel caso 2 sono:

DISPONIBILITA'	$A^A + A^B - A^A A^B =$	0.999674
A_{A+B}		
AFFIDABILITA'	$R^A + R^B - R^A R^B =$	$e^{-\left(\frac{t}{242853}\right)}$
R_B (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	$\frac{(\lambda^A \lambda^B)(\lambda^A + \lambda^B)}{(\lambda^A + \lambda^B)^2 - \lambda^A \lambda^B} =$	0.000279109
λ_B		
MEAN TIME TO FAIL	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	242853.1603
MTTF		

5.5 Analisi sistema C

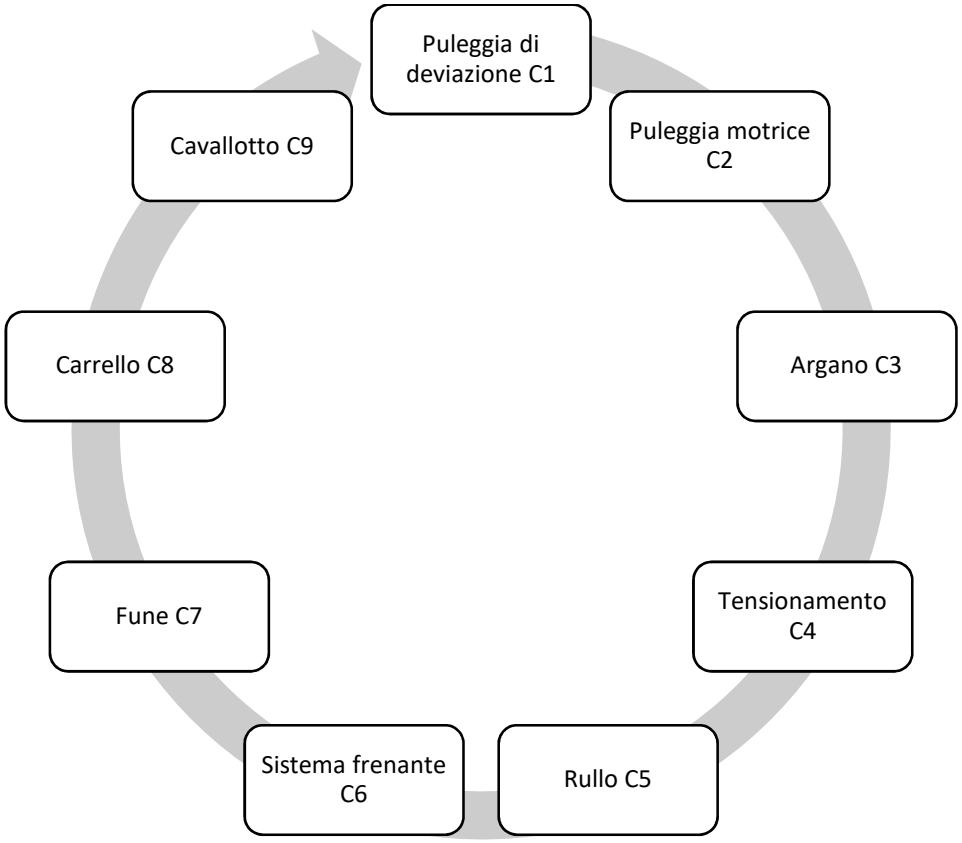
Funzione strutturale:

$$\phi = (X_C^{C1} \cap X_C^{C2} \cap X_C^{C3} \cap X_C^{C4} \cap X_C^{C5} \cap X_C^{C6} \cap X_C^{C7} \cap X_C^{C8} \cap X_C^{C9})$$

Complemento della funzione strutturale:

$$\bar{\phi} = (\overline{X_C^{C1}} \cup \overline{X_C^{C2}} \cup \overline{X_C^{C3}} \cup \overline{X_C^{C4}} \cup \overline{X_C^{C5}} \cup \overline{X_C^{C6}} \cup \overline{X_C^{C7}} \cup \overline{X_C^{C8}} \cup \overline{X_C^{C9}} \cup \overline{X_C^{C10}})$$

Sottosistemi dell'impianto C



In seguito viene evidenziata la disponibilità del sistema C.

DISPONIBILITA'	$A^{C1}A^{C2}A^{C3}A^{C4}A^{C5}A^{C6}A^{C7}A^{C8}A^{C9} =$	0.999795
A_C		
AFFIDABILITA'	$R^{C1}R^{C2}R^{C3}R^{C4}R^{C5}R^{C6}R^{C7}R^{C8}R^{C9} =$	$e^{-\left(\frac{t}{6240}\right)}$
R_C (t)		
TASSO DI GUASTO ISTANTANEO	$\lambda^{C1} + \lambda^{C2} + \lambda^{C3} + \lambda^{C4} + \lambda^{C5} + \lambda^{C6} + \lambda^{C7} + \lambda^{C8} + \lambda^{C9} =$	2.230163386E-04
λ_C		
MEAN TIME TO FAIL	$e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$	6240.17
MTTF		

6 Soluzioni progettuali

Lo scopo di questa analisi è riuscire a migliorare alcuni elementi dell'impianto a fune in modo da non dover ricorrere in nessun caso all'utilizzo del veicolo di soccorso. Di seguito si analizzano soluzioni innovative impiegate per evitare l'evacuazione in linea. Molte di queste soluzioni sono già impiegate nei moderni impianti in Italia, altre invece hanno avuto successo all'estero dove attualmente esistono delle funivie a "va e vieni" senza l'impianto di soccorso.

6.1 Doppia rotazione della puleggia

Una rottura dei cuscinetti della puleggia (senza boccole), sia essa motrice o di rinvio, provoca l'arresto immediato e permanente dell'impianto ed è necessario ricorrere all'evacuazione della linea. Il guasto che ne consegue è grave e si cerca di prevenirlo dimensionando opportunamente i cuscinetti e ricorrendo successivamente ad una corretta manutenzione. La normativa prescrive che i cuscinetti a rotolamento dei supporti per le pulegge debbano essere dimensionati per un carico convenzionale non inferiore a quello massimo e per una durata non inferiore a 25000 ore (*UNI EN 13223 15.1.2*) di funzionamento con tale carico convenzionale. Tuttavia, essendo le parti in continuo movimento, è più probabile che sovvengano dei difetti di costruzione, di montaggio o di manutenzione che ne provochino la rottura.

Se si rompe un cuscinetto a rotolamento, con il sistema a doppia rotazione della puleggia è possibile far girare ancora la puleggia su degli anelli antifrizione. La doppia rotazione è un sistema fail-safe, che garantisce ancora qualche ora di lavoro in sicurezza dopo il guasto.

La puleggia è così sostenuta da una coppia di cuscinetti a rotolamento e da una coppia di boccole sinterizzate autolubrificanti, le quali lavorano solo in caso di grippaggio di uno dei cuscinetti di esercizio.

Non appena la puleggia inizia a ruotare sulle boccole, una barretta di rottura, spezzandosi, segnala il guasto. Non è possibile continuare l'esercizio, ma c'è la possibilità di muovere ancora l'impianto in sicurezza riportando i veicoli in stazione.

La Normativa prevede che i cuscinetti a rotolamento montati sulla puleggia siano verificati a durata. Essi devono garantire una durata minima di 25000 ore con applicato un carico costante pari al massimo carico riscontrabile in esercizio.

Le forze in gioco sono la forza peso P della Puleggia e dei cuscinetti e la forza F della fune sulla puleggia.

Generalmente vengono svolte due verifiche:

Verifica statica

$$\frac{C_0}{P_0} > s_0$$

C_0 = coefficiente di carico statico, in N

P_0 = carico statico equivalente sul cuscinetto

s_0 = coefficiente di sicurezza statico del cuscinetto

Valore che verifica staticamente il cuscinetto in esame.

Verifica dinamica

Il calcolo è eseguito secondo la moderna teoria SKF per il calcolo della durata, assumendo i seguenti parametri:

Data la massima velocità dell'impianto ed il diametro di fondo-gola della puleggia di, la massima velocità di rotazione è:

$$n_{max} = \frac{v \cdot 60}{\pi \cdot d} = [rmp]$$

Il diagramma in *Figura 24* fornisce il valore del coefficiente correttivo a_{SKF}

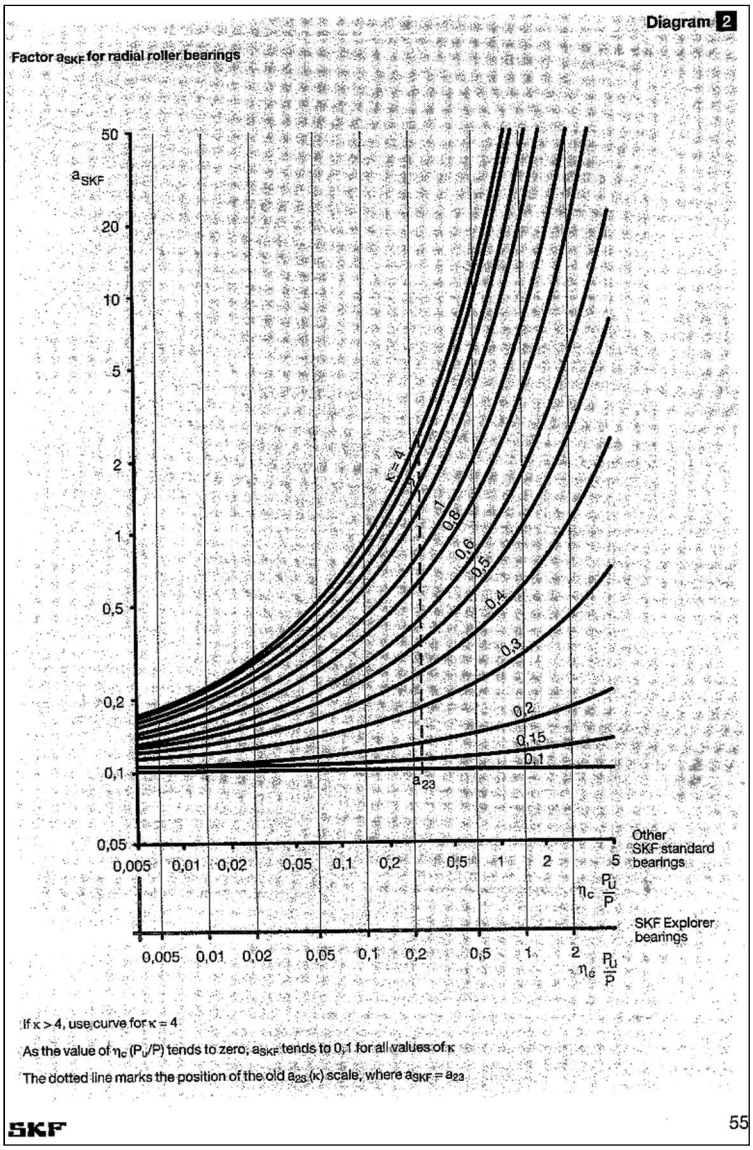


Figura 24 Diagramma cuscinetti SKF

Essendo:

$$\eta = \frac{P_u}{P}$$

$\eta_c =$ ambiente e tipologia del cuscinetto

$k =$ lubrificazione del cuscinetto

Pertanto, si ricava una durata pari a:

$$L_{10} = a_i a_{SkF} \left(\frac{C}{P}\right)^p = a_i a_{SkF} \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}}$$

$$L_{10h} = L_{10} \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot d}{v \cdot 3600}$$

Valore che verifica il cuscinetto in oggetto.

$L_{10} =$ durata di base in milione di giri

$C =$ coefficiente di carico dinamico, in N

$P =$ carico dinamico equivalente sul cuscinetto

$p =$ esponente per la formula di durata

$p = 3$ per cuscinetti a sfere

$p = 10/3$ per i cuscinetti a rulli

$a_1 =$ probabilità di sopravvivenza

6.2 Togliere il freno sulla portante

Nelle funivie “va e vieni” in Italia il *D.M. 177 Decreto esercizio* stabilisce che ogni carrello deve essere munito di un freno a ganasce che interviene automaticamente sia in caso di rottura delle funi o di altri organi costituenti l'anello trattivo, sia per manovra dell'agente di scorta del veicolo, sia nella eventualità di rottura di uno qualsiasi degli elementi che costituiscono la trasmissione del comando del freno. All'atto dell'intervento del freno si interrompe automaticamente l'alimentazione del motore di trazione.

Le Norme Europee stabiliscono che tale freno sul carrello possa essere omesso, ma per garantire lo stesso livello di sicurezza forniscono dei requisiti generali da rispettare. Eliminare il dispositivo d’arresto significa garantire l’integrità dell’anello trattivo.

Di fatto la *UNI EN 12929-2:2004* definisce i requisiti di sicurezza aggiuntivi per le funivie bifune a va e vieni senza freni sul carrello, in particolare definisce: disposizioni aggiuntive relative all’integrità dell’anello trattivo, disposizioni aggiuntive per evitare incidenti in servizio e requisiti sul collegamento dei veicoli alla fune traente.

6.2.1 Misure per assicurare l’integrità dell’anello trattivo

L’integrità del sistema di supporto dell’anello trattivo e della fune traente devono essere garantiti in ogni condizione di esercizio. L’anello trattivo deve essere chiuso ad anello.

Il vantaggio di avere una fune traente chiusa ad anello è quello di poterla controllare interamente, una pratica non possibile in presenza di teste fuse.

Il fattore di sicurezza della fune deve essere almeno a 4.5 e il fattore di sicurezza a trazione non deve essere maggiore di 20.

I movimenti e le sollecitazioni dell’anello trattivo devono essere analizzati mediante calcolo, si deve dimostrare che non si verificano situazioni pericolose.

Per aumentare la sicurezza della fune ed evitare rotture impreviste, occorre poter effettuare per l’intera lunghezza controlli magneto-induttivi mediante apposita apparecchiatura disponibile presso l’impianto seguendo i seguenti intervalli:

Area da controllare	Tipo di controllo	Intervalli
intera lunghezza della fune	Magneto-induttivo	Nel 1° anno di utilizzo: ogni 200 ore di esercizio, minimo ogni 4 settimane di esercizio
		Dal 2° al 10° anno di utilizzo: ogni 1000 ore di esercizio, minimo una volta l'anno
		Dopo il 10° anno di utilizzo: ogni 200 ore di esercizio, minimo ogni 3 mesi di esercizio
		Dopo un periodo di inattività di 3 mesi o maggiore: prima della rimessa in esercizio
		Almeno una volta all'anno da parte di un esaminatore di "Classe 2"
Area del fissaggio del veicolo	Visivo	Dopo lo spostamento: ogni 200 ore di esercizio, minimo ogni 3 mesi di esercizio

Inoltre, i veicoli devono essere spostati sempre nella stessa direzione sulla fune traente a intervalli di massimo 200 ore, o minimo ogni tre mesi di esercizio. Il collegamento non può essere effettuato nella zona dell'impalmatura ed è spostato di una distanza definita dal *paragrafo 6.9 EN12929-2.*

Un dispositivo automatico per il rilevamento dei fulmini deve essere in dotazione all'impianto, per poter procedere ai controlli in precedenza descritti in caso di dubbio.

Periodicamente sono da controllare anche le pulegge, le flange e i corpi dei rulli delle funi traenti per la ricerca di difetti esterni non ammessi e, se necessario, anche di difetti interni.

I veicoli devono poter avere un'oscillazione trasversale di almeno 0.25 rad e in caso di oscillazioni del 50% del valore massimo tramite un inclinometro va segnalato il pericolo alla postazione di controllo e in caso di raggiungimento del 75% il veicolo deve arrestarsi automaticamente.

Occorre controllare elettricamente il corretto posizionamento delle pulegge tramite dispositivi come il controllo assetto (*Figura 25*).

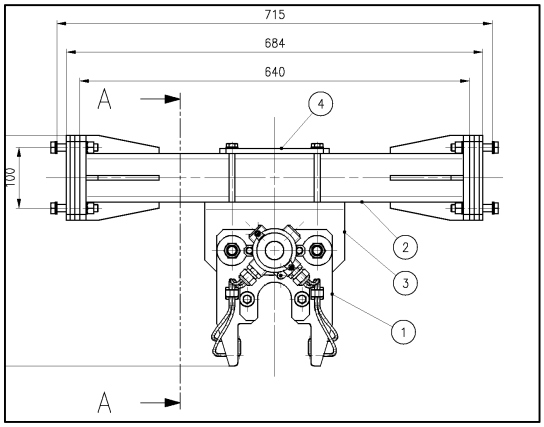


Figura 25 Controllo assetto

In caso di perdita o di bloccaggio di un rullo non devono nascere pericoli per la fune traente per questo si possono disporre guide sagomate in plastica e dispositivi che segnalino il contatto della fune con materiali metallici che possono aumentarne l'abrasione.

6.2.2 Misure per evitare eventi pericolosi in servizio

Per evitare o limitare incidenti in servizio che, con anello trattivo integro, possono rappresentare un pericolo, si deve prevedere una maggior sicurezza contro lo svio del carrello *paragrafo 7.2 EN12929-2* e verificare la libertà di oscillazione longitudinale che deve essere almeno 0.35 rad secondo il *paragrafo 7.4 EN12929-2.*

Si deve anche dimostrare mediante calcoli che l'impianto non sia soggetto ad accavallamenti delle funi traenti in tutte le condizioni di carico di servizio, incluse possibili frenate di esercizio. In tal caso si devono considerare le oscillazioni della fune traente. Si devono prevedere presso le stazioni dispositivi che consentano di eliminare l'accavallamento delle funi.

6.2.3 Requisiti per il collegamento della fune traente al veicolo

Il collegamento del veicolo alla fune traente deve avvenire come minimo mediante due elementi indipendenti, agenti contemporaneamente e facilmente smontabili (*Figura 26*). Lo stato di montaggio deve essere facilmente riconoscibile. Il collegamento non può essere effettuato sfruttando la forza di gravità del veicolo

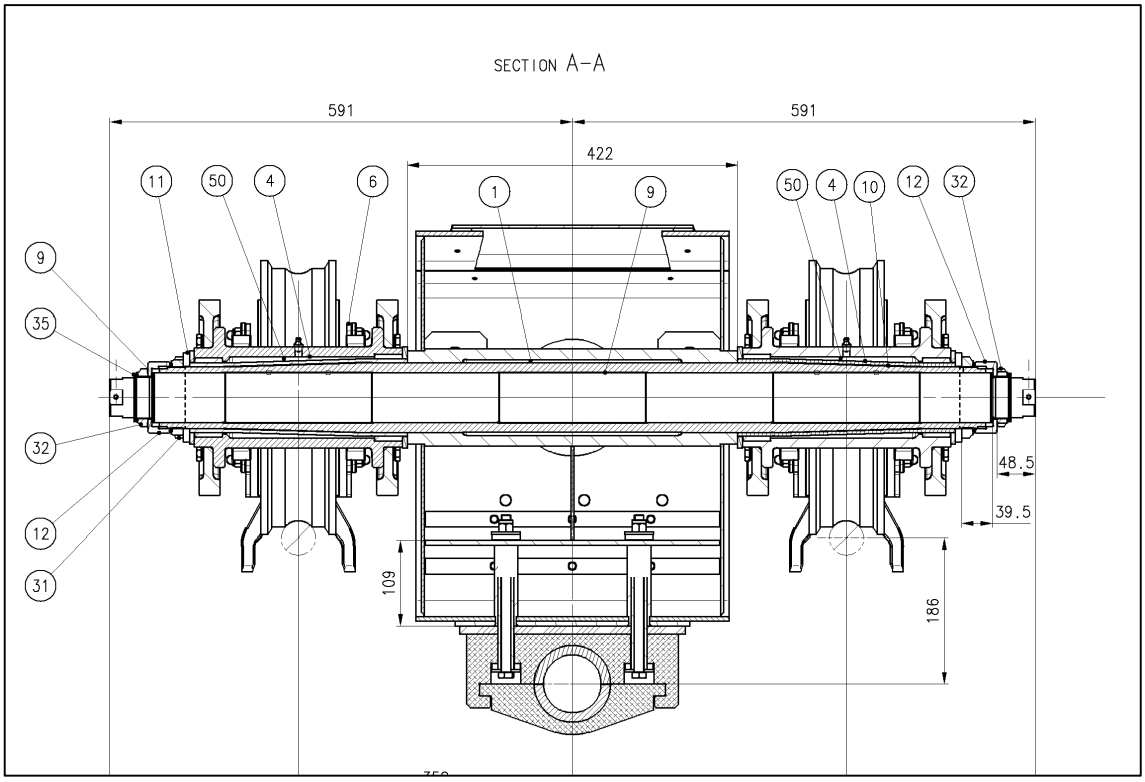


Figura 26 Esempio di collegamento veicolo-fune traente

6.3 Cavallotto con rulli ausiliari

Lungo la linea sono posti i cavallotti con la funzione di sostentamento dell'anello trattivo. Ciascuno di essi è sostanzialmente costituito da un telaio in acciaio che è vincolato, per mezzo di morsetti ridondati, alle due funi di ciascuna via di corsa. Tale telaio costituisce il supporto di un rullo centrale posizionato nel piano verticale con il suo asse trasversale centrato sulla via di corsa, rulli ausiliari, necessari per il soccorso integrato, completano l'assemblaggio illustrato in *Figura 27*.

I rulli ausiliari del cavallotto sono un sistema fail-safe che garantisce ancora qualche ora di lavoro in caso di guasto del rullo principale. In questo modo è possibile effettuare il recupero dei passeggeri procedendo a velocità ridotta ed escludendo l'utilizzo dell'impianto di soccorso.

Il guasto di un rullo provoca un'usura rapida del rivestimento. La fune normalmente isolata elettricamente entra in contatto con dei componenti metallici che fungono da conduttori della fune. Non essendo più isolata elettricamente la fune segnala il guasto al pulpito di comando.

I cavallotti di linea possono essere forniti di colore arancio fluo in modo da poter essere utilizzati come segnalazione al volo della linea funiviaria.

La soluzione proposta è stata utilizzata e validata dagli enti preposti, su impianti funiviari in Italia e all'estero.

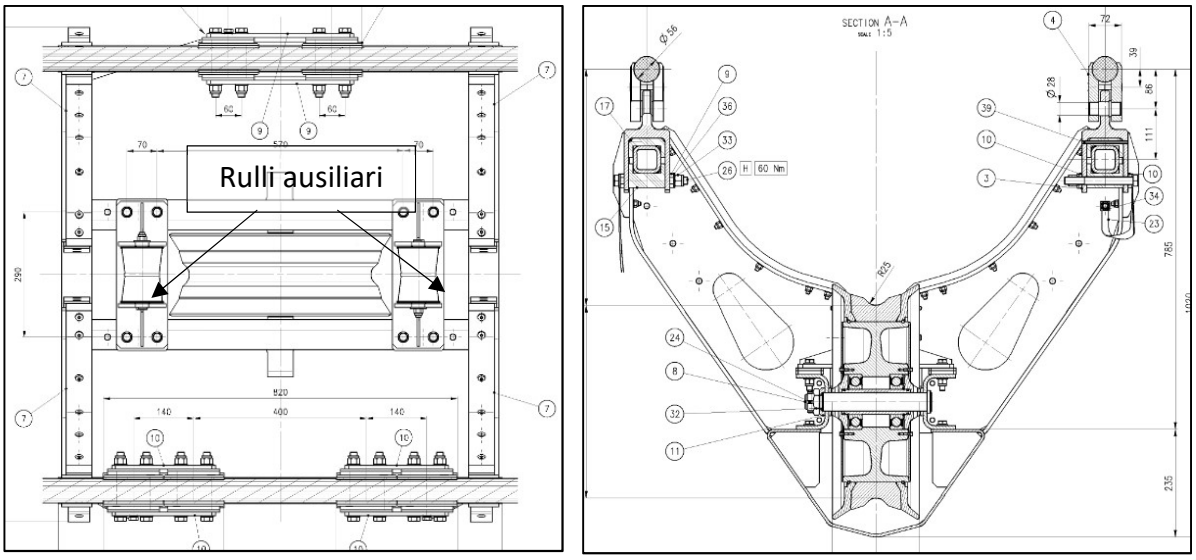


Figura 27 Cavallotto per soccorso integrato

Esiste un'altra tipologia di cavallotti che vengono utilizzati quando la fune traente risulta poco stabile: i rulli grandi mantengono l'assetto trasversale, mentre altri due rulli ad asse orizzontale sono utilizzati come appoggio per la fune (*Figura 28*).

Il gruppo è costituito dai seguenti componenti:

- supporto di base fissato al cavallotto mediante viti M12;

- due rulli orizzontali aventi diametro pari a 200 mm; ciascuno è dotato di una piastra di copertura opportunamente sagomata, che permette alla fune di tornare nella propria sede;
- un rullino ad asse orizzontale avente diametro pari a 80 mm.

Questo sistema permette alla fune traente di appoggiare sempre nella gola del rullo principale che normalmente in un cavallotto è più larga a causa delle oscillazioni trasversali della fune.

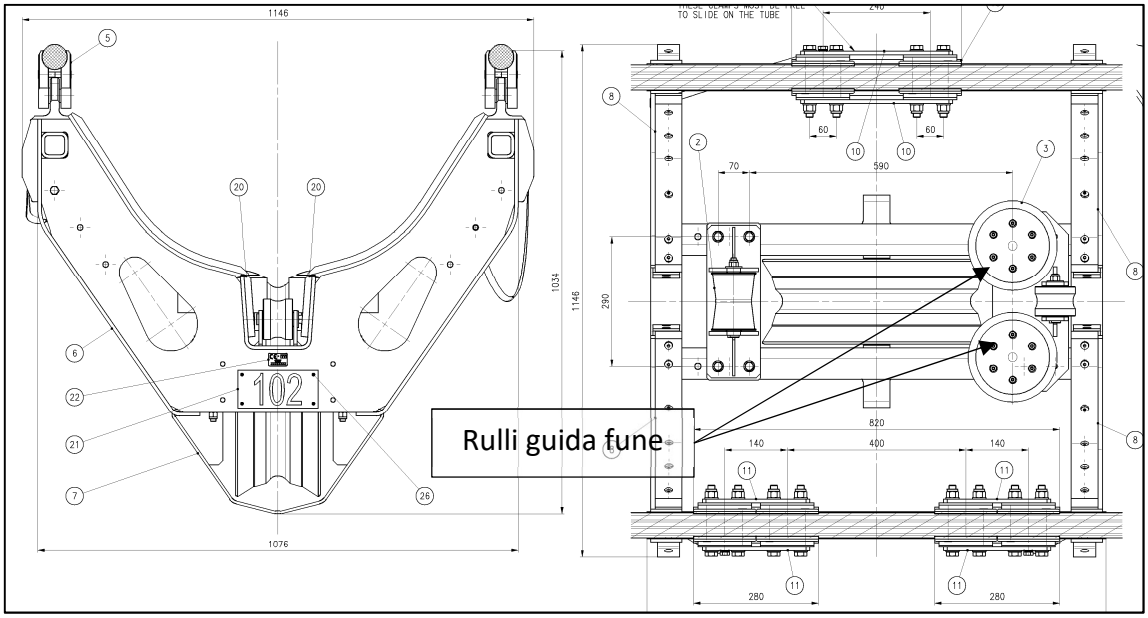


Figura 28 Cavallotto con due rulli ausiliari e due rulli guida fune

6.4 Carrello con dispositivo anti-scarrucolante

Il corpo centrale del carrello è formato da una struttura metallica elettrosaldata, le cui estremità sono opportunamente rinforzate per adattarsi al riscontro con l'ammortizzatore di stazione (*Figura 29*). Sempre in prossimità dell'estremità del corpo centrale sono presenti le prese di corrente per la ricarica delle batterie di vettura, che consentono l'alimentazione del circuito di sicurezza e l'illuminazione interna ed esterna. In stazione la presa di corrente si accoppia con un apposito raddrizzatore di tensione.

All'interno del corpo centrale sono installate due morse ad attrito che collegano il carrello stesso alla fune traente.

Anch'esse sono costituite nelle loro parti principali da pezzi realizzati tramite fresatura e che non presentano saldature (sempre per limitare al minimo i controlli non distruttivi futuri).

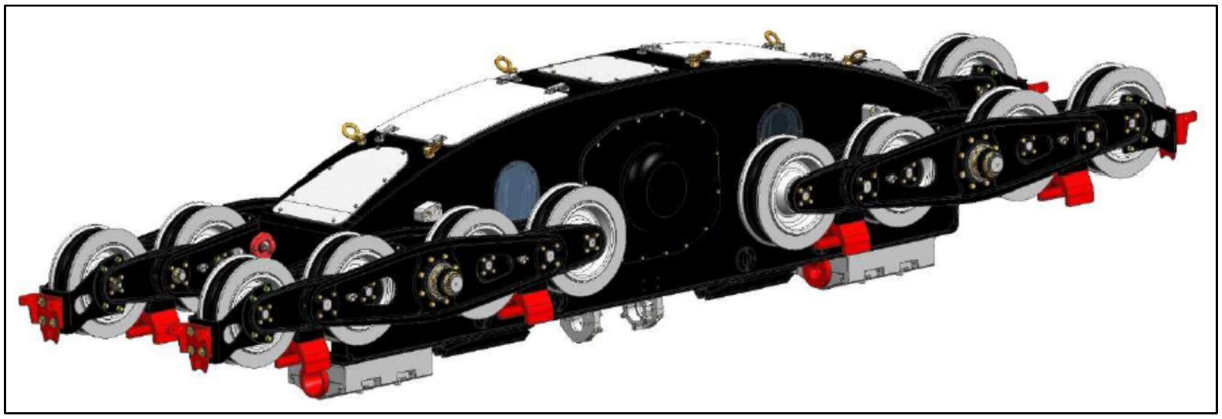


Figura 29 Carrello per il soccorso integrato

Le ruote del carrello sono bilanciate longitudinalmente, montate su cuscinetti volventi e guarnite con un anello in materiale cedevole. Il loro montaggio non prevede la presenza di bulloni, il ché esclude la possibilità di un loro eventuale svitamento con le gravi conseguenze che ne deriverebbero. Il montaggio della ruota è provvisto di un sistema di sicurezza tale per cui, anche in caso di rottura del perno della ruota o perdita del perno stesso, la ruota non può perdere la propria posizione perché viene mantenuta in assetto da un canotto di sicurezza aggiuntivo.

I bilancieri delle bancate sono realizzati da un'unica lamiera fresata, questo per eliminare la presenza di saldature, aspetto non marginale, in quanto riduce al minimo i controlli non distruttivi da eseguirsi successivamente durante la vita del componente.

Tutti i bilancieri del carrello sono montati su boccole isolanti a basso coefficiente d'attrito. Sui bilancieri d'estremità del carrello sono presenti dei raschia-ghiaccio. Il montaggio del bilanciere a due ruote, analogamente a quanto già visto per la ruota, è munito di un sistema di sicurezza tale per cui, anche in caso di rottura del perno del bilanciere a due ruote o la perdita del perno stesso, il bilanciere non può perdere il proprio assetto perché viene mantenuto nella sua posizione da un canotto di sicurezza aggiuntivo

Tutti i bilancieri a due ruote sono muniti di dispositivo anti-scarrucolante *(Figura 30, Figura 31*) che si estende al di sotto della fune portante di 0.8 volte il diametro della fune stessa in accordo al *punto 7.2 della EN12929-2*.

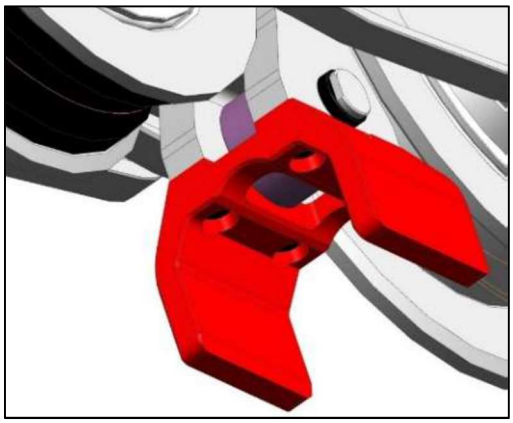


Figura 30 Dispositivo anti-scarrucolante

Sullo stesso dispositivo è stata integrata una rotella in acciaio che permette di poter eseguire il recupero del veicolo anche in caso di mancanza dell'anello in gomma eventualmente perso a causa del grippaggio di un cuscinetto (o ipoteticamente anche per perdita di una ruota). In questa eventuale causa di guasto, il bilanciere a due ruote ruota fintanto che la scarpetta va a contatto e si appoggia alla fune portante. L'evento è segnalato da un contatto elettrico che comanda l'arresto dell'impianto.

Da quel momento in poi si può continuare a muovere il veicolo a bassa velocita ove dopo un breve tragitto in cui la scarpetta si usura di un paio di millimetri, il bilanciere viene sostenuto da una apposita rotella che appoggia e ruota sulla fune portante.

Questo sistema, non generando ulteriori usure e strisciamenti, si svincola dal problema della lunghezza del tragitto da percorrere per portare i passeggeri in stazione.

Il dispositivo anti-scarrucolante con il rullo ausiliare installato nel carrello è un sistema fail-safe che garantisce ancora qualche ora di lavoro in caso di guasto dei rulli del carrello. In questo modo è possibile effettuare il recupero dei passeggeri procedendo a velocità ridotta ed escludendo l'utilizzo dell'impianto di soccorso.

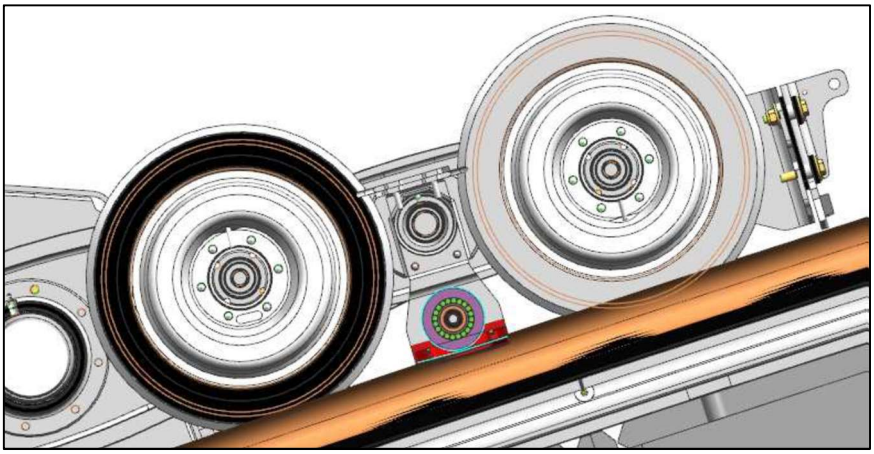


Figura 31 Dispositivo anti-scarrucolante

6.5 Braccio per calata

La calata verticale è un sistema di soccorso che si vuole evitare, ma in caso di emergenza rappresenta una valida alternativa al soccorso integrato.

Il braccio di calata è un dispositivo che permette l'attacco dell'argano di calata per il soccorso dei passeggeri lungo la linea. Secondo il *D.M. 337 16/11/2012* è possibile prevedere il soccorso tramite calata quando la distanza dal suolo è inferiore a 100 m.

Il braccio è vincolato alla sospensione tramite attacco bullonato, come rappresentato in *Figura 32*, ed è costruito mediante tubi quadri in acciaio articolati su perni. All'estremità del braccio è posizionato un grillo zincato per l'attacco dell'argano di calata, grazie al quale con una semplice fune e con una imbragatura si effettua la discesa e la messa in sicurezza degli utenti.

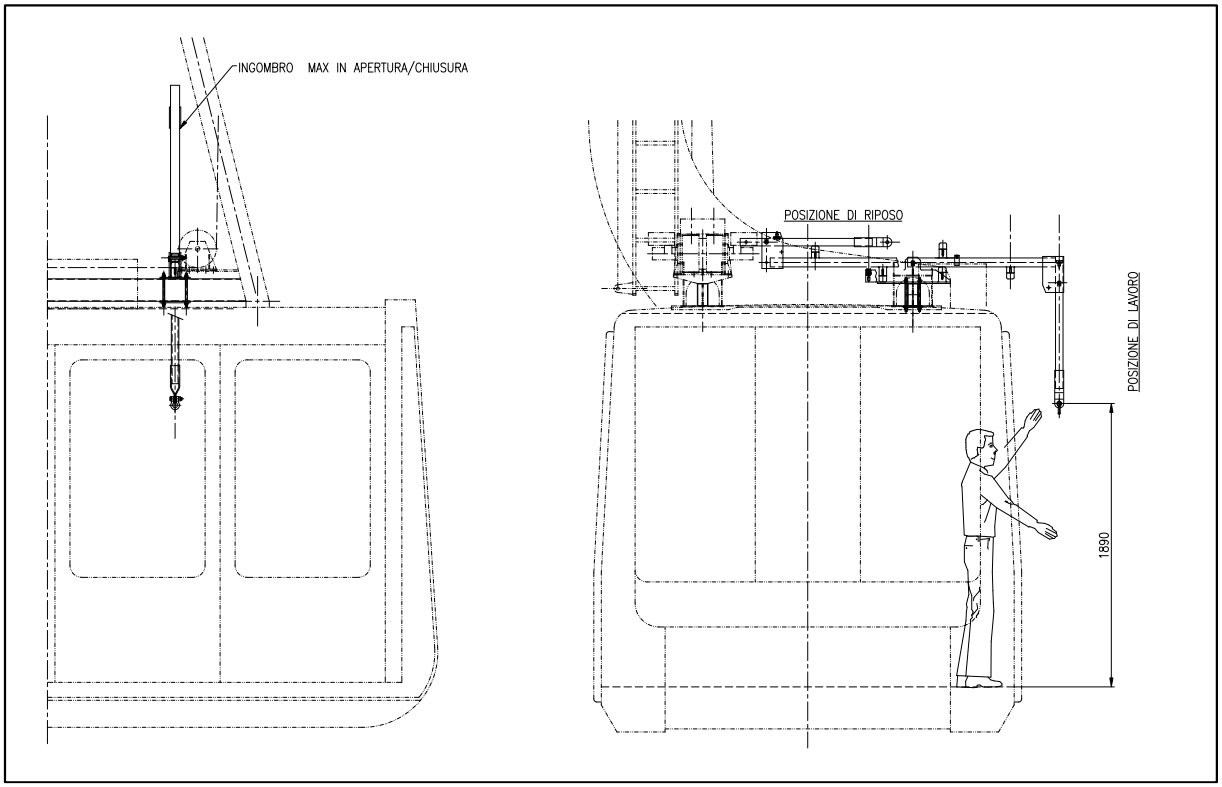


Figura 32 Dispositivo di calata

Il dispositivo di calata, quando non viene utilizzato, può essere ripiegato sul tetto in posizione di riposo come indicato in *Figura 33*.

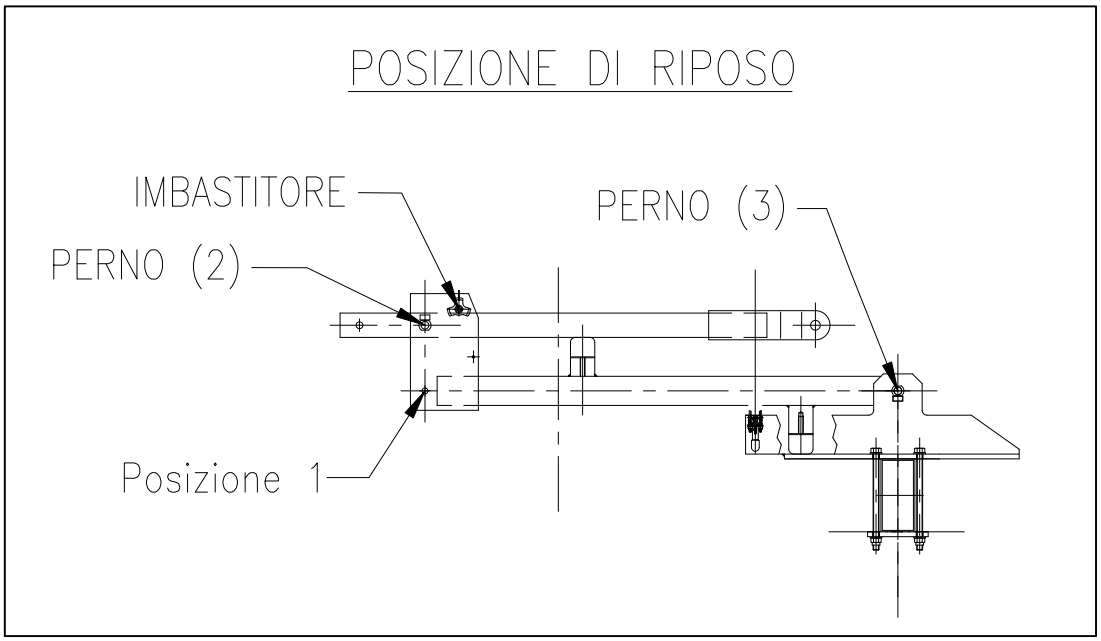


Figura 33 Dispositivo di calata in posizione di riposo

In caso di utilizzo è posto nella posizione di lavoro (vedi *Figura 34*) sfilando l'imbastitore e ruotando il braccio di 180° attorno al perno (3). La parte terminale del braccio ruota attorno al perno (2) e viene successivamente fissata inserendo l'imbastitore nella posizione (1).

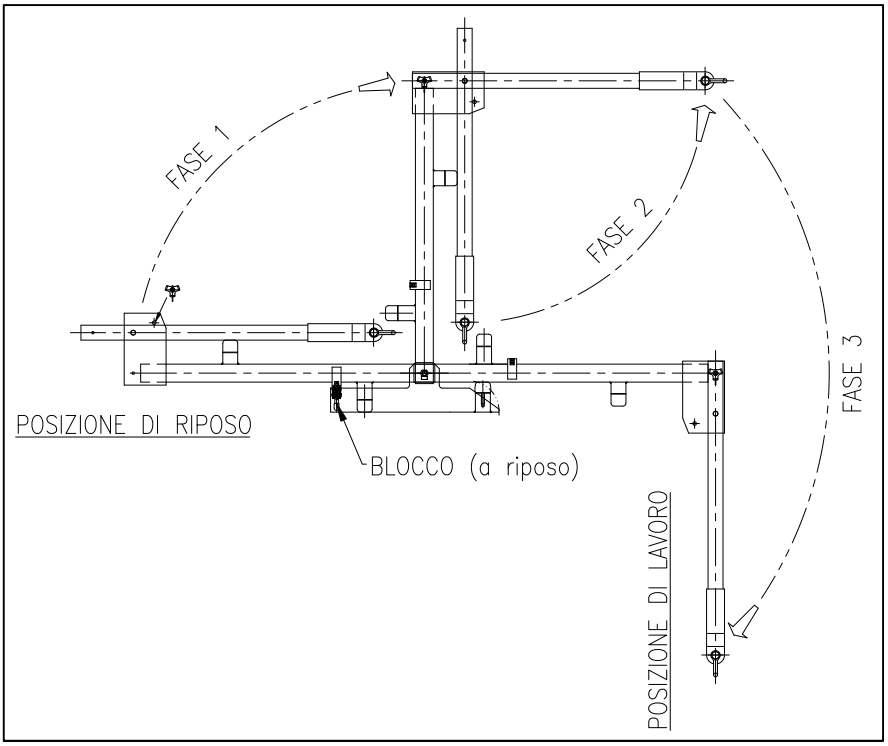


Figura 34 Dispositivo di calata

La calata verticale consiste nelle seguenti attività:

Il vetturino informa i viaggiatori della procedura di salvataggio, e prepara l'attrezzatura di soccorso presente a bordo sistemata in apposito contenitore, predispone in particolare uno dei due discensori a va e vieni in dotazione con le relative imbracature triangolari per la calata.

Nel frattempo, la "squadra di terra" si è posizionata sotto il veicolo.

Il vetturino fa indossare l'imbracatura triangolare al primo passeggero ed inizia la calata tramite la porta della vettura o l'apposita botola.

La squadra a terra, mediante la radio, può impartire le necessarie istruzioni alla vettura per l'ottimale contatto "terreno-passeggero" oltre a poter agire direttamente sulla "cima".

Quando un passeggero arriva a terra i soccorritori in sua attesa lo aiutano a togliersi dall'imbracatura, che viene lasciata attaccata alla fune di calata per permetterne il recupero in vettura. Contemporaneamente il vetturino sgancia l'imbracatura arrivata in vettura e collega tramite l'apposito moschettone l'attacco stesso ad una terza imbracatura già fatta indossare ad un passeggero in attesa di essere calato. (il discensore di calata" è del tipo a va e vieni). Si evitano così tempi morti in quanto il passeggero in attesa di essere calato approfitta del tempo di discesa della persona precedentemente evacuata per indossare la sua imbracatura e prepararsi.

Si prosegue ciclicamente sino ad evacuare tutti i passeggeri.

In alternativa un secondo soccorritore può risalire contemporaneamente alla discesa di un altro passeggero "di buona taglia" e coadiuvare il vetturino.

Progressivamente che i passeggeri sono evacuati dal veicolo, e raggiungono il terreno, la "squadra di terra" provvede ad accompagnarli, in gruppi sino al più vicino punto raggiungibile da mezzi battipista o fuoristrada.

L'addetto in vettura è l'ultimo e deve auto-salvarsi, utilizzando sempre le funi del discensore, tramite apposito dispositivo ad otto ed un dispositivo bloccante di autoassicurazione.

6.6 Sistemi di controllo

I sistemi di controllo sono dei sistemi che nell'ambito dell'automazione industriale gestiscono macchine e processi, in assenza o con forte riduzione dell'intervento umano, al fine di eseguire operazioni ripetitive, o dove sia richiesta maggiore sicurezza o precisione nelle azioni.

In ambito funiviario l'intero sistema di sorveglianza dell'impianto costituisce il sistema di controllo automatico, in quanto esegue le seguenti funzioni:

- Riceve i segnali provenienti dai sensori disposti su tutto l'impianto e i comandi imposti dal macchinista tramite i pulsanti del pulpito di comando;
- Elabora i segnali ricevuti in base alla programmazione dei circuiti;
- Agisce sui dispositivi attivi dell'impianto in base ai risultati dell'elaborazione.

Per semplificare la costruzione di circuiti per il controllo di macchine e impianti, sono stati ideati i PLC, "controlli a logica programmabile", dispositivi nei quali la vecchia logica cablata viene programmata all'interno di un microprocessore.

Per le funzioni di sicurezza degli impianti funiviari è sempre necessario utilizzare anche una logica cablata (*Norma EN60204-1 art. 11.3.4*), a meno che non si utilizzino particolari PLC in commercio progettati per le sole funzioni di sicurezza. Infatti, negli impianti funiviari sono previsti due coordinatori a logica statica e uno a relè, il cosiddetto canale C.

Tutti i sistemi di controllo sono doppi, ridondati. In caso di guasto ad esempio del controllo di velocita (encoder) l'impianto è soggetto ad una penalizzazione di velocità. In genere le penalizzazioni sono 2. La prima penalizzazione può dimezzare la velocità dell'impianto per consentire l'esercizio, ma obbligare la riparazione del guasto in tempi contenuti.

Se per qualche motivo entrambi i controlli di velocità si guastano, cosa molto improbabile perché hanno due canali separati, interviene la seconda penalizzazione. La velocità dell'impianto si riduce ad 1 m/s. Con la seconda penalizzazione si può effettuare solamente il recupero.

L'impianto va mobilitato manualmente sia in accelerazione che decelerazione. In caso in cui la decelerazione in stazione non sia tempestiva il respingente può fermare la vettura con una velocità di 1 m/s. Due fine corsa in caso di mancata decelerazione comunque azionano i due freni meccanici.

6.6.1 Controllo dazio

La funzione denominata "controllo dazio "oppure "simulatore percorso" regola e sorveglia la velocità massima su tutto il percorso, in entrata delle stazioni terminali e la fermata a bersaglio nelle stesse. Il sistema di sorveglianza consiste in:

- Un PLC fail safe
- Un encoder per ogni puleggia deviazione
- Due sensori induttivi sul punto di fermata in stazione
- Interruttori fine corsa nelle stazioni terminali

Allo scopo il PLC fail safe legge la posizione tramite due encoder indipendenti. In caso di una segnalazione di una disfunzione il simulatore si porta nello stato “Non inizializzato “, limitando la velocità dell’impianto alla velocità calcolata per il respingente in stazione.

Il controllo dazio è doppio, ciascuno dei due controlli è gestito da una delle due logiche programmabili ed usufruisce per i segnali di spazio delle indicazioni fornite dai contatori digitali di tipo incrementabile esterni alle logiche, comandati dagli encoder solidali alle pulegge di deviazione folli della stazione motrice.

6.7 Accavallamento fune traente

Gli accavallamenti in genere avvengono tra la fune traente e le funi portanti, essi in genere non provocano un danno immediato, purché vengano tempestivamente segnalati o, meglio ancora, vi sia l'arresto automatico dell'impianto. Il pericolo è grande, invece, se l'impianto continua a funzionare a piena velocità, giacché le funi, in movimento relativo, si segano a vicenda nei punti d'incrocio.

Consideriamo il caso di accavallamento nel tratto compreso tra una vettura di funivia "va e vieni" ed un sostegno in linea. È chiaro che, nel punto d'incrocio adiacente al carrello della vettura, la fune traente avrà la peggio perché la sua zona di appoggio sulla fune portante è praticamente sempre la stessa ed è quindi soggetta a forte usura, mentre, per la fune portante, il punto di contatto si sposta continuamente, in relazione al movimento del veicolo. Il contrario avviene nel punto d'incrocio adiacente al sostegno: qui infatti è la portante che subisce la massima usura.

In passato, per scavallare le funi, si muoveva lentamente l'anello trattivo, spostando i veicoli in modo da ridurre progressivamente la lunghezza del tratto di linea interessato, fino a far ritornare le funi nella loro posizione normale. Gli agenti di servizio, situati sul carrello e sul sostegno adiacente al tratto di linea suddetto, controllavano continuamente i punti d'incrocio, cercando di variare, con l'impiego di bastoni di legno, la posizione relativa delle due funi, cioè spostare, sia pure entro limiti ristretti, i punti di incrocio. Questo sistema è stato in seguito abbandonato per i pericoli che poteva comportare.

Attualmente vengono impiegati i seguenti metodi:

Si fa scattare, col comando a mano, il freno del carello sulla fune portante. Si muove lentissimamente l'argano, aumentando la tensione nel ramo di fune traente fino a determinare lo scavallamento. La manovra deve essere condotta con molta prudenza, tale metodo presenta il vantaggio di essere semplice e rapido.

Un altro metodo consiste nel predisporre un maniglione di acciaio tra la fune traente e la fune portante, vicino alla scarpa del sostegno contiguo al tratto di linea interessato all'accavallamento. Questo maniglione viene in seguito fatto scorrere lungo la campata dal personale a terra, che si serve di una fune previamente collegata all'attrezzo suddetto. In tal modo si costringe la traente a spostare il suo punto d'incrocio verso il centro della campata, fino ad ottenere lo scavallamento.

Sugl'impianti dove le funi distano parecchio dal terreno o quest'ultimo si presenta impervio o scosceso il sistema non è realizzabile.

In conclusione, togliendo il freno sulla portante si elimina un sistema rapido per lo scavallamento della fune traente. L'accavallamento anche seguendo le misure di sicurezza imposte dalla *EN 12929-2* risulta impossibile da scongiurare. Negli ultimi anni però con l'introduzione della doppia fune portante, dei cavallotti e di calcoli più sofisticati che tengono conto di tutte le condizioni di carico si può ridurre al minimo la probabilità di accavallamento.

6.8 DirectDrive

L'argano tradizionale di una Funivia a va e vieni può essere sostituito con una soluzione innovativa, attualmente è impiegata negli impianti ad ammorsamento automatico con ottimi risultati di affidabilità e disponibilità.

Il DirectDrive, illustrato in *Figura 35*, è un sistema di azionamento per impianti di risalita che opera senza alcun meccanismo di trasmissione. Costituito da un motore sincrono, che funziona a bassa velocità, il suo albero di uscita è collegato direttamente alla puleggia. La rinuncia a un sistema di trasmissione più complesso comporta notevoli vantaggi.

Figura 35 DirectDrive per un impianto ad ammorsamento automatico

Grazie al contenuto numero di componenti e alla ridotta velocità di rotazione, l'azionamento DirectDrive garantisce un'usura minima e un contenuto rischio di guasto, aumentando così l'affidabilità degli impianti. Vi sono vantaggi anche per passeggeri e residenti: l'impianto è nel complesso più silenzioso e il livello sonoro nelle stazioni è di ben 15 dB inferiore a quello degli impianti tradizionali.

Vi è inoltre, un notevole risparmio per il sistema di azionamento che funziona senza riduttore.

All’interno del DirectDrive si trova un motore sincrono il cui albero è calettato direttamente sulla puleggia motrice. Il motore è composto sostanzialmente da tre componenti mobili: il rotore e due cuscinetti che ruotano alla stessa velocità della puleggia. L’olio lubrificante, che si utilizza normalmente per un normale riduttore epicicloidale, qui è del tutto superfluo. Per un riduttore convenzionale sono necessari circa 350 litri di olio, che dopo circa 6.000 ore di esercizio devono essere sostituiti. Calcolando solamente il servizio invernale, con le sue circa 1.500 ore di servizio a stagione, il risparmio, su 20 anni, ammonta a un totale di 1.750 litri di olio. A questo notevole risparmio economico si aggiunge il vantaggio in termini di salvaguardia dell’ambiente.

Se il DirectDrive assicura agli esercenti notevoli risparmi in termini economici, non va tuttavia dimenticato il ritorno in termini di immagine. Utilizzare questo tipo di azionamento significa infatti anche posizionarsi all’avanguardia quale azienda rispettosa dell’ambiente, che tiene nel dovuto conto le istanze di una crescente sensibilità ambientale.

7 Conclusioni

Quasi tutti i valori delle probabilità di guasto sono stati forniti dal reparto Service della Leitner spa. I dati anche se forniti dall'esperienza sono soggettivi. Tali valori, però, si ripetono sia per il sistema A che per il sistema C, quindi il numero pur essendo soggettivo non influenza l'analisi a scopo comparativo.

Nella tabella seguente viene riassunta la probabilità di guasto e la vita utile dei principali componenti analizzati.

Componente	P. guasto	Vita utile [h]	Fonte	Affidabilità dato
Struttura puleggia	4.000%	60000	Sateco	90%
Cuscinetto	3.000%	25000	SKF	95%
Boccole	0.500%	60000	Service Leitner	95%
Rivestimento	1.000%	10000	Service Leitner	70%
Perno	1.000%	60000	Service Leitner	80%
Albero	1.000%	60000	Service Leitner	70%
Calettatori	0.100%	60000	Service Leitner	70%
Gruppo elettrogeno	0.500%	5000	Service Leitner	80%
Motore elettrico	0.050%	30000	Service Leitner	80%
Giunto veloce	0.001%	60000	Service Leitner	80%
Riduttore	0.050%	40000	Service Leitner	70%
Giunto lento	0.001%	60000	Service Leitner	80%
Motore diesel	0.500%	5000	Service Leitner	70%
Pompa	3%	25000	Service Leitner	80%
Motore idraulico	0.01%	5000	Service Leitner	70%
Contrappeso	1.000%	60000	Service Leitner	90%
Smorzatore	0.500%	60000	Service Leitner	80%
Molle	0.001%	60000	Service Leitner	95%
Cilindro idraulico	0.01%	25000	Service Leitner	80%
Pinze	0.001%	25000	Service Leitner	80%
Struttura fune	0.01%	20000	Service Leitner	80%
Arganello motorizzato	60%	5000	Service Leitner	90%
Impalmatura	0.01%	25000	Service Leitner	90%

L'analisi effettuata si avvicina molto ad un caso reale, una funivia a va e vieni tradizionale ha una disponibilità intorno al 99.5-99.8%. La disponibilità calcolata in questa analisi è pari al 99.7%.

Il sistema C ha una disponibilità del 99.98%, tale valore è stato ottenuto ridondando alcuni componenti, ad esempio sono stati aggiunti sia nel cavallotto sia nel carrello rulli ausiliari.

Si può notare come le innovazioni tecniche applicate all'impianto con il soccorso integrato, descritte nel *capitolo 6*, abbiano migliorato notevolmente la disponibilità del sistema.

Inoltre si osserva che le condizioni climatiche influenzano negativamente le operazioni di azionamento dell'impianto di soccorso. Nel caso in cui la probabilità di errore dell'operatore è pari al 90%, la disponibilità del sistema composto A+B scende a 99.96%.

Confrontando la disponibilità dei due impianti:

$$A_{sistemaC} = 99.98\% > 99.96\% = A_{sisteA+B}$$

Essendo confrontabili i valori di disponibilità dei due impianti, secondo il *Regolamento di esecuzione UE 402/2013* I rischi dell'impianto senza il veicolo di soccorso sono comparabili ai rischi della funivia classica.

Quindi la sicurezza dell'impianto con il soccorso integrato è globalmente accettabile.

In accordo al *D.D. 337/2012 art. 1.3* sono ammissibili le soluzioni tecniche ipotizzate, diverse da quanto previsto dagli articoli del decreto*,* avendo dimostrato che il livello di sicurezza è accettabile e non inferiore a quello conseguibile con l'applicazione del suddetto *D.D. 337/2012.*

Si è dimostrato analiticamente che con la ridondanza di certi elementi e con l'utilizzo di nuove tecnologie si può ottenere la stessa sicurezza di un impianto tradizionale omettendo l'impianto di soccorso.

Alcuni sottosistemi dell'impianto tradizionale non sono stati modificati, la loro elevata affidabilità non ne ha richiesto la necessità di miglioramento. L'argano ad esempio è composto da tre sistemi in parallelo: questa configurazione fa avvicinare il valore di disponibilità ad uno.

L'elevata disponibilità di questi sottosistemi, se giudicata non sufficiente, può essere ulteriormente aumentata aggiungendo altri elementi in parallelo, per ridondare il sistema a discapito dei costi.

Un miglioramento del sottosistema argano è stato descritto nel *capitolo 6.8*

Un impianto senza il soccorso in linea, come dimostrato nel *capitolo 2.5.1*, ha un costo inferiore rispetto ad un impianto tradizionale, poiché non ha: l'azionamento di soccorso, la fune ed il tensionamento idraulico.

Dimostrata la sicurezza del soccorso integrato, attraverso la corretta applicazione dell'ingegneria di sistema, lo scopo ora diventa poter realizzare in Italia una funivia a va e vieni senza impianto di soccorso. Il progetto innovativo dovrà essere sottoposto al Comitato Relatore che dovrà approvare il progetto e in seguito normare la tipologia d'impianto.

Si vuole inoltre sottolineare che l'impianto con le nuove soluzioni progettuali, per ogni tipologia di guasto ammissibile, è in grado di recuperare sempre i veicoli in stazione rispettando i tempi di evacuazioni imposti dal *D.M. 337 16/11/2012.* Con il soccorso in linea tale affermazione non è sempre garantita in ogni condizione climatica.

La nuova procedura di soccorso rivoluzionerà la progettazione degli impianti a fune consentendo un incremento della portata oraria. La capienza della cabina non sarà più limitata dalle tempistiche di evacuazione in linea.

8 Bibliografia

Crotti A. Dalla Chiara B. *Impianti a fune, elementi costitutivi, progettazione ed esercizio,* Edizioni MARIOGROS, 2006

Marocchi D. *Trasporti a fune*, Levrotto &Bella, Torino, 1985

Degasperi F. *Sicurezza delle funi in acciaio,* 2005

Recupito A. *I trasporti a fune*, MASSON ITALIA EDITORI, San Donato Milanese, 1983

D'Armini P. *Elementi di progetto impianti a fune,* Esac, Roma 1981

Hofmann G. *Ropeway technology,* Doppelmayr/Garaventa Gruppe, Switzerland, 2018

Cappelloni G. *Teleferiche, funicolari aeree e altri trasporti meccanici,* HOEPLI, Milano, 1925

Zignoli V. *Trasporti meccanici*, EDITORE ULRICO HOEPLI, Milano, 1952

Barabino ; Nicola Bifulco; Giovanni Corona; Bruno Dalla Chiara, 2003, *ITS nei trasporti stradali,Tecnologie di base della telematica per i trasporti, con approfondimento di metodi ed applicazioni,* EGAF, Forlì

9 Ringraziamenti

Desidero innanzitutto esprimere la mia gratitudine al Prof. Bruno Dalla Chiara che mi ha fatto da tutore nella stesura di questo lavoro fornendomi preziosissimi consigli e dimostrandosi disponibile in ogni situazione.

Un ringraziamento a tutto il personale di Leitner Spa (sede di Leini Via T.agudio 8) per la disponibilità e l'accoglienza dimostrata in questi mesi. In particolare, vorrei ringraziare l'ing. Giuliano Zannotti per la grande conoscenza che mi ha donato, l'ing. Enrico Perocchio per avermi accompagnato alla funivia di Rapallo e la teleferica di Savona e i coinquilini Matteo Colombo, Daniel Perez e Angelo Galimberti per l'ospitalità e il supporto a Villa ranch.

Inoltre, un enorme ringraziamento a tutti coloro con cui quotidianamente ho condiviso successi e momenti difficili in questi cinque anni. In particolare, alla mia famiglia che ha reso possibili le mie ambizioni e a laura che è stata al mio fianco motivandomi e insegnadomi ogni giorno qualcosa di nuovo.