



Conoscere gli impianti a fune

Appunti tecnici
fra teoria e pratica

USO INTERNO

Indice

Introduzione	6
Prefazione	6
0. Premessa	7
0.1 Obiettivi e contenuti	7
0.2 Patenti funiviarie nella Provincia di Trento	7
1. Introduzione agli impianti a fune	8
1.1 Classificazione degli impianti a fune	8
2. Tipologie di impianti a fune ed elementi principali	13
2.1 Sciovie	13
2.2 Funicolari terrestri	18
2.3 Ascensori inclinati	21
2.4 Impianti monofuni ad ammorsamento permanente	22
2.5 Impianti monofuni ad ammorsamento temporaneo	32
2.6 Funivie	41
2.7 Impianti 2S e 3S	48
2.8 Teleferiche	49
3. Principi di meccanica applicata agli impianti a fune	50
3.1 Principi di dinamica	50
3.2 Sistemi di accoppiamento	50
3.3 Sistemi di trasmissione	51
3.4 Aderenza della fune sulla puleggia	52
4. Principi di idraulica applicata agli impianti a fune	52
4.1 Principi generali di idraulica	52
4.2 Sistemi oleodinamici	53
5. Principi di elettrotecnica	55
5.1 Principi generali di elettrotecnica	55
5.2 Macchine elettriche	60
6. Funi	67
6.1 Definizioni ed elementi costitutivi	67

6.2 Tipi di fune e campi di impiego	70
6.3 Montaggio delle funi e collegamenti	72
6.4 Manutenzione delle funi in esercizio	76
6.5 Difetti e danni nelle funi	76
6.6 Controlli non distruttivi sulle funi	77
7. Componenti meccanici degli impianti a fune	79
7.1 Freni e arresti	79
7.1.1 Dispositivi frenanti	79
7.1.2 Tipi di arresto	82
7.1.3 Caratteristiche di intervento dei sistemi frenanti	84
7.2 Dispositivi di tensionamento	85
7.2.1 Sistema di tensionamento a contrappeso	86
7.2.2 Sistema di tensionamento idraulico	86
7.3 Travi di sincronizzazione dei veicoli per gli impianti ad ammortamento automatico e relativi dispositivi di controllo	88
7.3.1 Spaziatori	90
7.3.2 Anticollisione	91
7.3.3 Controlli di sagoma o controlli geometrici	91
7.3.4 Controllo della forza elastica delle molle	95
7.3.5 Scambi magazzini	99
8. Componenti elettrici ed elettronici degli impianti a fune	100
8.1 Dispositivi di manovra	100
8.1.1 Dispositivi di manovra di tipo diretto	100
8.1.2 Dispositivi di manovra di tipo indiretto	105
8.1.3 Dispositivi di funzionamento	106
8.2 Descrizione dello schema elettrico didattico di sciovia	116
8.3 Schema unifilare elettrico	121
9. Dispositivi di protezione	122
9.1 Sorveglianze	122
9.2 Funzioni di controllo dei freni	128
9.3 Sorveglianze con azionamento di recupero	128
9.4 Controllo di parametri mediante relè elettronici	129

10. Manutenzione, personale e documentazione	130
10.1. Manutenzione	130
10.1.1. Concetti generali e figure professionali coinvolte	130
10.1.2. Manuale di uso e manutenzione	130
10.1.3. Registro di controllo e manutenzione	131
10.1.4. Lavori di sostituzione	131
10.1.5. Obblighi di legge	131
10.1.6. Piano dei controlli non distruttivi	134
10.1.7. Tipi di controlli non distruttivi	134
10.1.8. Manutenzione delle parti meccaniche	134
10.1.9. Manutenzione delle parti elettriche	136
10.1.10. Manutenzione dei locali e delle stazioni	136
10.1.11. Periodicità di controllo dell'impianto elettrico di messa a terra	136
10.2. Decreto esercizio: personale e documentazione di impianto.....	136
10.2.1. Decreto esercizio – Capitolo 2 – Personale	136
10.2.2. Decreto esercizio – Capitolo 4 – Documenti per l'esercizio	140
11. Evacuazione dei viaggiatori	143
11.1. Piano di evacuazione.....	143
11.2. Metodi e procedure per l'evacuazione.....	143
11.3. Tempi di recupero e di evacuazione.....	145
Ringraziamenti.....	146

Introduzione

Ne è passata di acqua sotto i ponti dai tempi dello slittone Graffer sul Monte Bondone. Uno dei primi «impianti di risalita», rudimentali ma ingegnosi, dell'intero arco alpino. Era la metà degli anni Trenta e in quasi un secolo la tecnologia ha fatto passi da gigante. Il Trentino, che ha dalla sua parte un rapporto con la montagna da sempre stretto, fecondo e rispettoso, ha saputo restare all'avanguardia raggiungendo riconosciute eccellenze in campo turistico a livello internazionale. Successi frutto di programmazione, impegno, passione, felici intuizioni. In questo panorama, gli impianti di risalita – che nel nostro territorio sono circa trecento, a servizio di 900 km di piste – hanno continuato a segnare il progresso della tecnologia, degli stili di vita, della valorizzazione della montagna, resa fruibile come ambiente di rigenerazione, di pratica sportiva, di conoscenza. Oggi efficienza, sostenibilità e sicurezza sono le parole d'ordine che animano questo comparto strategico per l'offerta turistica trentina, strumento fondamentale per rendere la montagna accessibile a tutti e garantire una mobilità dolce e leggera dai fondovalle alle vette. Funivie, cabinovie, seggiovie e sciovie sono oggi uno dei fiori all'occhiello del Trentino per l'offerta invernale legata a sci e snowboard, ma anche per le escursioni estive e mountain bike e downhill in estate, primavera e autunno. La loro gestione, messa in servizio e manutenzione richiede professionalità evolute, con solide basi tecniche e pratiche. Conoscenze che spaziano dall'elettrotecnica all'elettronica, dall'idraulica alla meccanica, in continuo aggiornamento, al passo con i sistemi tecnologici e di sicurezza. Questo manuale, nato dall'esperienza pluriennale di corsi e eventi formativi, colma una lacuna e fornisce uno strumento completo e approfondito per la formazione di macchinisti, capiservizio, direttori di linea e di impianto. Sono quelle professionalità preziose e discrete, che operano costantemente e silenziosamente con grande impegno e competenza, senza le quali la mobilità sulle nostre montagne non sarebbe possibile e l'economia turistica non sarebbe quella generatrice di Pil che conosciamo. Con grande soddisfazione guardo a questo strumento messo a punto da Trentino Sviluppo grazie a un pool di qualificatissimi tecnici e professionisti del settore funiviario e il mio convinto apprezzamento e incoraggiamento va a tutte le persone che hanno scelto di formarsi e specializzarsi in queste professioni così fondamentali per l'identità e l'economia della nostra Provincia Autonoma.

Roberto Failoni
Assessore Artigianato, Commercio,
Promozione, Sport e Turismo
Provincia Autonoma di Trento

Prefazione

Trentino Sviluppo ha, oltre ai ruoli istituzionalmente previsti nel core business, anche quello di partner dei servizi provinciali e di aziende private nel sostenere chi si affaccia al mondo del lavoro. In questo caso si è ritenuto importante mettere a disposizione il know how acquisito dai nostri tecnici, insieme con SIF e ANEF, per promuovere e formare una figura spesso difficile da reperire come quella del macchinista e caposervizio di impianto funiviario. Una competenza che non si acquisisce in modo integrale presso nessuna scuola superiore nelle sue articolate forme. Spesso, solo la passione, la conoscenza del settore e/o una tradizione familiare nel campo funiviario attraggono il candidato.

Con questo manuale, quindi, ci si propone di fornire un prezioso contributo a chi è impegnato nei corsi di formazione e specializzazione alla figura di macchinista, con l'obiettivo di permettere di raggiungere un miglior risultato didattico, per creare spunti di apprendimento, mettere a disposizione conoscenze e tramandare esperienze. Da queste pagine emerge la ricchezza della professionalità di chi svolge questo lavoro con passione da anni, con un testo tecnico unico nel suo genere.

L'idea di redigerlo è nata, oltre che dalle esigenze sopra espresse, anche dalla generosità di chi nel settore ha maturato esperienza e la vuol condividere lasciando un'eredità importante.

Siamo convinti che gli asset funiviari della Provincia autonoma di Trento siano un driver fondamentale dello sviluppo turistico, economico, tecnologico, industriale e della mobilità sostenibile e alternativa sulle nostre montagne. Il Trentino può vantare una riconosciuta capacità di innovazione e un apprezzato impegno a fare rete, a fare sistema in questo campo strategico in cui si concretizzano le eccellenze tecnologiche e l'elevatissima attenzione per il comfort e la sicurezza.

Per la realizzazione di questo utile manuale si ringraziano – per la competenza, la professionalità e il prezioso contributo – gli ingegneri Gianni Baldessari, Andrea Boschetti, Franco Corso, Giorgio Gasperotti, Andrea Gobber, Luca Rossi e Renzo Zeni.

Dott. Albert Ballardini
Vicepresidente Trentino Sviluppo
Delegato agli asset funiviari

0. Premessa

0.1 Obiettivi e contenuti

La presente pubblicazione nasce dalla collaborazione tra diverse figure operanti nell'ambito degli impianti a fune nella Provincia di Trento: Trentino Sviluppo, nel suo ruolo di promozione e sostegno del mondo del lavoro trentino, ha coinvolto nella stesura di questo lavoro sia i tecnici del Servizio Impianti a Fune della Provincia Autonoma di Trento sia alcuni dei tecnici responsabili operanti sugli impianti provinciali.

Lo scopo di questa pubblicazione è quello di fornire un supporto tecnico che, se affiancato alle normative di riferimento, possa aiutare chi si prepara a sostenere gli esami di abilitazione alla mansione di macchinista di impianti a fune.

Alla breve introduzione generale del capitolo 1, segue un riassunto delle tipologie principali di impianti a fune (capitolo 2), di cui vengono descritte le caratteristiche salienti.

Nei successivi capitoli 3, 4 e 5 si presentano i principi teorici (rispettivamente di meccanica, idraulica ed elettrotecnica) necessari per comprendere il funzionamento generale degli impianti a fune, nonché i concetti descritti nei successivi capitoli.

Il capitolo 6 descrive i diversi tipi di fune impiegati nel trasporto funiviario.

Una descrizione accurata dei diversi organi e componenti degli impianti a fune è fornita dai capitoli 7 e 8, rispettivamente dedicati ai componenti meccanici e a quelli elettrici. Il capitolo 9 riporta una panoramica dei controlli e delle protezioni presenti sugli impianti.

Il capitolo 10 riassume le operazioni relative alla manutenzione degli impianti, e riporta inoltre gli estratti del Decreto esercizio dedicati al personale e alla documentazione di impianto.

Infine, il capitolo 11 contiene una descrizione generale delle operazioni di soccorso e salvataggio sugli impianti a fune.

In base al tipo di patente che vuole conseguire, l'aspirante macchinista può facilmente selezionare i capitoli e paragrafi di suo interesse.

0.2 Patenti funiviarie nella Provincia di Trento

Come specificato nell'art. 9 del Regolamento per l'esecuzione della legge provinciale 21 aprile 1987 n. 7, le qualifiche del personale addetto a mansioni attinenti alla sicurezza sono definite come segue:

- qualifica 1 – capo servizio;
- qualifica 2 – macchinista;
- qualifica 3 – agente.

Mentre per esercitare le mansioni di capo servizio e di macchinista è necessaria la specifica abilitazione, questa non è necessaria per la qualifica di agente.

Le qualifiche si riferiscono a ciascuna delle seguenti categorie di impianti:

- categoria B – funivie bifuni "a va e vieni", funicolari terrestri su rotaie ed impianti assimilabili;
- categoria C – funivie bifuni e monofuni a moto continuo, con veicoli a collegamento temporaneo alla fune di trazione ed impianti assimilabili; funivie monofuni a movimento intermittente ed impianti assimilabili;
- categoria D – ascensori verticali e inclinati;
- categoria M – funivie monofuni a moto continuo, con veicoli a collegamento permanente alla fune di trazione ed impianti assimilabili;
- categoria S – sciovie, slittinovie ed impianti assimilabili.

Il certificato di abilitazione rilasciato per una delle categorie B o C costituisce riconoscimento di abilitazione anche per gli impianti di categoria M e S; il certificato rilasciato per le categorie M costituisce riconoscimento di abilitazione per gli impianti di categoria S.

Per conseguire la qualifica di capo servizio o di macchinista addetto alla conduzione degli impianti a fune è necessario superare un esame teorico-pratico.

L'esame consiste nelle seguenti prove:

1. un test scritto con domande a risposta multipla;
2. un colloquio orale;
3. una prova pratica da svolgere su un impianto a scelta in provincia.

Il colloquio orale viene svolto solo se viene superato con esito positivo l'esame scritto ed è sostenuto il giorno stesso dell'esame scritto. La prova pratica può essere svolta solo dopo aver superato con esito positivo il colloquio orale ed entro 24 mesi dalla data di presentazione della domanda di ammissione all'esame teorico-pratico di idoneità.

I requisiti comuni per gli aspiranti capi servizio e per i macchinisti che intendano accedere alle prove di esame sono i seguenti:

- età superiore a 21 anni per la qualifica di capo servizio e superiore a 18 anni per la qualifica di macchinista;
- requisiti fisici e psichici richiesti per le patenti automobilistiche di tipo C, D, E previsti dagli articoli da n. 319 a n. 324 del D.P.R. 16 dicembre 1992 n. 495 "Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada";
- requisiti morali richiesti per la patente di guida previsto dall'art. 120 del nuovo codice della strada (D.L. 30 aprile 1992

n. 285).

Gli aspiranti alla qualifica di capo servizio, per gli impianti di categoria B e C, devono essere in possesso del diploma di istruzione secondaria superiore. In alternativa, devono possedere:

- per la qualifica di capo servizio di categoria B, la patente di caposervizio di categoria C o M o di macchinista della categoria B o C;
- per la qualifica di capo servizio di categoria C, la patente di caposervizio di categoria B o M o di macchinista della categoria B o C.

In entrambi i casi, gli interessati devono avere svolto le mansioni corrispondenti per un periodo di almeno due anni attestate da una dichiarazione del tecnico responsabile dell'impianto sul quale le suddette mansioni sono state svolte.

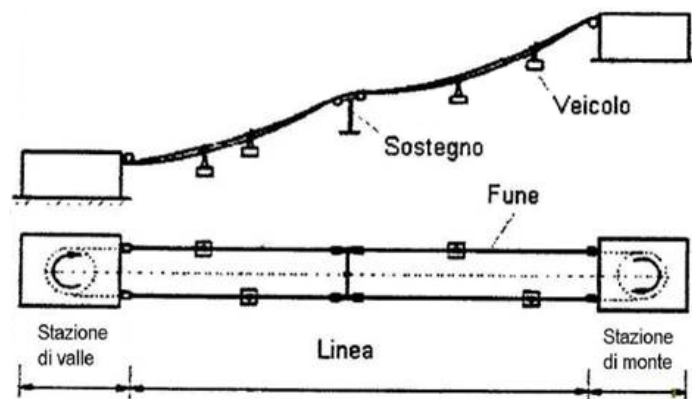
Tutte le informazioni relative agli esami di abilitazione alla conduzione di impianti a fune sono reperibili presso il sito istituzionale del Servizio Impianti a Fune della Provincia Autonoma di Trento, al link www.provincia.tn.it/Servizi/Conseguimento-della-patente-funiviaria.

1. Introduzione agli impianti a fune

Un impianto a fune è un sistema di trasporto che utilizza una o più funi, solitamente di tipo metallico, per la movimentazione (o il sostegno) dei carichi trasportati.

Un impianto a fune può essere adibito al trasporto di merci o persone, in servizio pubblico o privato.

Gli impianti a fune sono caratterizzati da una zona di partenza (stazione di valle), da una zona di arrivo (stazione di monte) e da una zona di passaggio denominata linea, ovvero dal tracciato che compiono i carichi durante la movimentazione.



Descrizione della linea di un impianto funiviario

La movimentazione dei carichi da una stazione all'altra lungo la linea è realizzata mediante il moto di una fune alla quale sono collegati i carichi, fune che viene messa in tensione ed in movimento per mezzo di una puleggia motrice ed una di rinvio.

1.1 Classificazione degli impianti a fune

Gli impianti a fune si possono dividere sostanzialmente in due grandi gruppi.

- Impianti terrestri: movimento dei carichi su una via di corsa appoggiata a terra.
- Impianti aerei: movimento dei carichi su una via di corsa sospesa da terra costituita da una o più funi metalliche.

Rientrano nella categoria degli **impianti terrestri** le sciovie, le manovie e le funicolari terrestri.



Sciovia



Funicolare terrestre



Sciovia a fune bassa o manovia

Nel caso di sciovie e manovie, la via di corsa è costituita da una pista innevata, opportunamente preparata; nel caso di funicolari terrestri, invece, la movimentazione dei carichi avviene mediante veicoli trainati su rotaia.

Nella categoria degli **impianti aerei** sono inclusi tutti gli impianti che utilizzano come via di corsa una o più funi metalliche sospese da terra. Si può parlare quindi di seggiovie, telecabine, funivie e teleferiche, a seconda della tipologia di veicolo impiegato per il trasporto di persone o merci e del numero di funi utilizzate come via di corsa. In aggiunta a questi impianti tradizionali esistono impianti ibridi, come gli impianti 2S, 3S e telemix, aventi caratteristiche costruttive appartenenti a più categorie tra quelle sopraelencate.



Seggiovia



Telecabina



Funivia

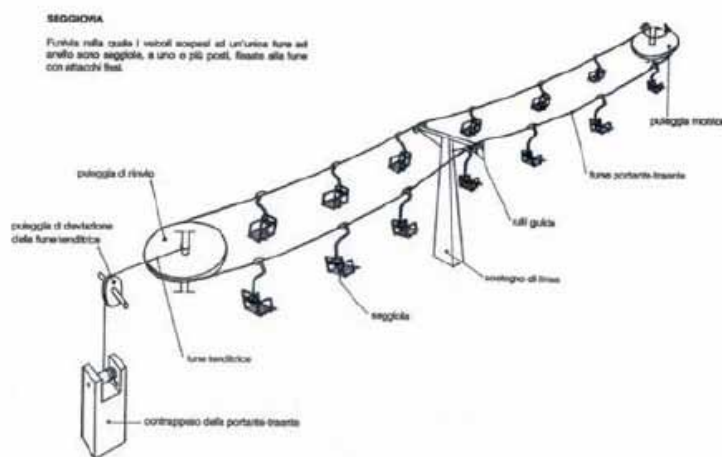


Teleferica

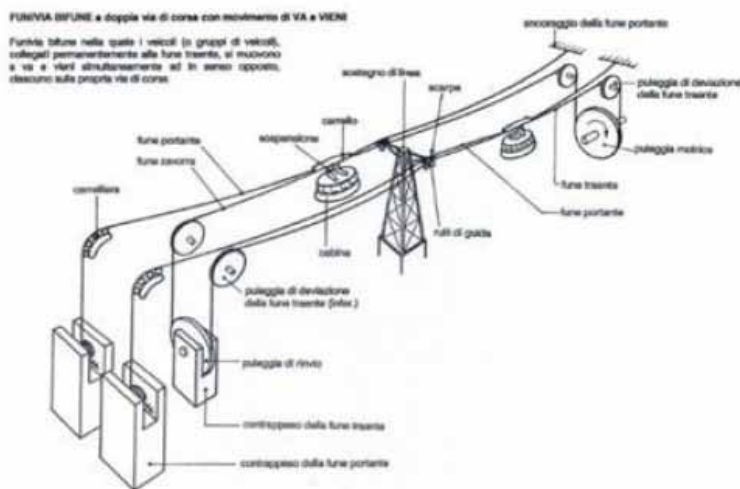


Dal punto di vista del funzionamento, esistono sostanzialmente due tipologie di impianto:

- gli **impianti a moto continuo**;
- gli **impianti "a va e vieni"**.



Impianto a fune a moto continuo



Impianto a fune "a va e vieni"

Negli impianti a moto continuo la movimentazione dei carichi avviene lungo una via di corsa ad anello chiuso, in maniera continua e, normalmente, sempre nella stessa direzione di marcia.

Appartengono a questa prima categoria gli impianti terrestri come le sciovie, le sciovie a fune bassa o manovie, e gli impianti aerei come seggiovie, telecabine e gli impianti particolari di tipo 2S e 3S.

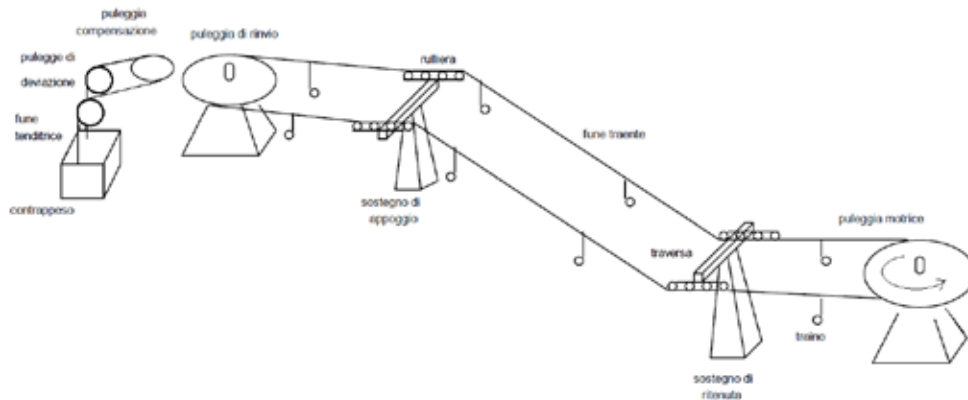
Gli impianti "a va e vieni" sono caratterizzati invece da un moto alternato nelle due direzioni e possono utilizzare, per la movimentazione dei carichi, una via di corsa ad anello chiuso (funivie) o una via di corsa lineare (teleferiche mobili). Tra gli impianti "a va e vieni" rientrano le funiculari terrestri, le funivie "a va e vieni" e le teleferiche mobili per il trasporto merci.

Un'ulteriore caratterizzazione degli impianti a fune che verrà analizzata più nel dettaglio nei capitoli successivi riguarda la tipologia di collegamento degli impianti a moto continuo. All'interno degli impianti a moto continuo esistono due sottogruppi, ossia gli impianti ad **ammorsamento fisso** e gli impianti ad **ammorsamento automatico**: nei primi, i veicoli sono collegati in maniera permanente alla fune traente o portante-traente, mentre nei secondi questi sono soggetti a cicli di ammorsamento e disammorsamento dalla fune nelle stazioni di partenza ed arrivo.

2. Tipologie di impianti a fune ed elementi principali

2.1 Sciovie

La sciovia (o skilift) è un impianto monofune a moto continuo di tipo terrestre nel quale i carichi vengono movimentati per mezzo di traini agganciati alla fune traente.



Funzionamento di una sciovia

Alla stazione motrice l'argano motore trasmette il moto alla puleggia motrice che, a sua volta, movimentata la fune alla quale sono ammorcati i traini. Gli sciatori risalgono la pista di risalita lungo la linea della sciovia, tirati dai traini. In linea la fune è sorretta e guidata da sostegni metallici dotati di rulliere. Presso una delle stazioni è presente un contrappeso o un sistema di tensionamento idraulico.

In base all'altezza della fune rispetto al suolo, la sciovia può essere di due tipi:

- a **funne alta**, quando la fune si muove al di sopra degli sciatori e la parte terminale dei traini è costituita da un piccolo sedile a piattello (o da un doppio sedile se la sciovia è biposto);
- a **funne bassa** (o **manovia**), quando la fune si muove ad un'altezza inferiore (fra 0,40 m e 1,50 m) e la parte terminale dei traini è costituita da un'impugnatura.

La **slittinovia** è un impianto analogo alla sciovia, ma è adibito al trasporto di viaggiatori su slittini, tirati dai traini per mezzo di appositi ganci.

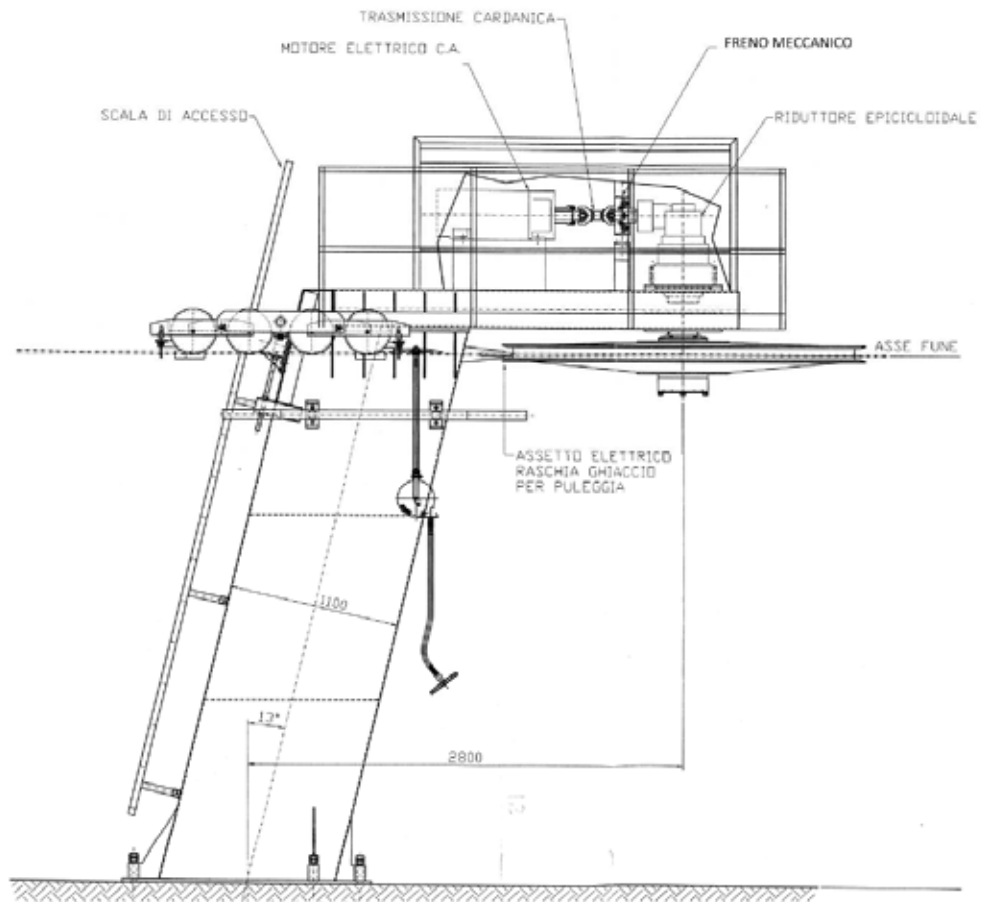
Fune

La fune traente è di tipo metallico, a trefoli con anima tessile, ed è chiusa ad anello tramite impalmatura. Può inoltre essere presente una fune telefonica, ossia una fune metallica che ha la funzione di sostenere il cavo aereo per la trasmissione dei segnali tra la stazione di valle, la stazione di monte ed i sostegni di linea. Quando è possibile il cavo per la trasmissione dati è interrato.

Quando la fune si avvolge sulle pulegge, essa deve scorrere al centro della gola. Se scorre più in basso o più in alto, il treno ruota attorno alla puleggia rispettivamente deviato verso l'esterno o verso l'interno, causando danneggiamenti al morsetto, alla fune e alla puleggia. In questo caso si deve effettuare un'operazione di tornitura della gola della puleggia per fare in modo che la fune torni ad avvolgersi nella posizione corretta.

Argano motore

L'argano è costituito da un motore elettrico, che trasmette il moto al riduttore di giri tramite l'albero veloce, dotato di un disco freno. Il riduttore è collegato tramite l'albero lento alla puleggia motrice, che trasmette il moto alla fune grazie all'attrito tra la fune stessa e la gola della puleggia.



Argano motore di sciovia



Argano motore di sciovia

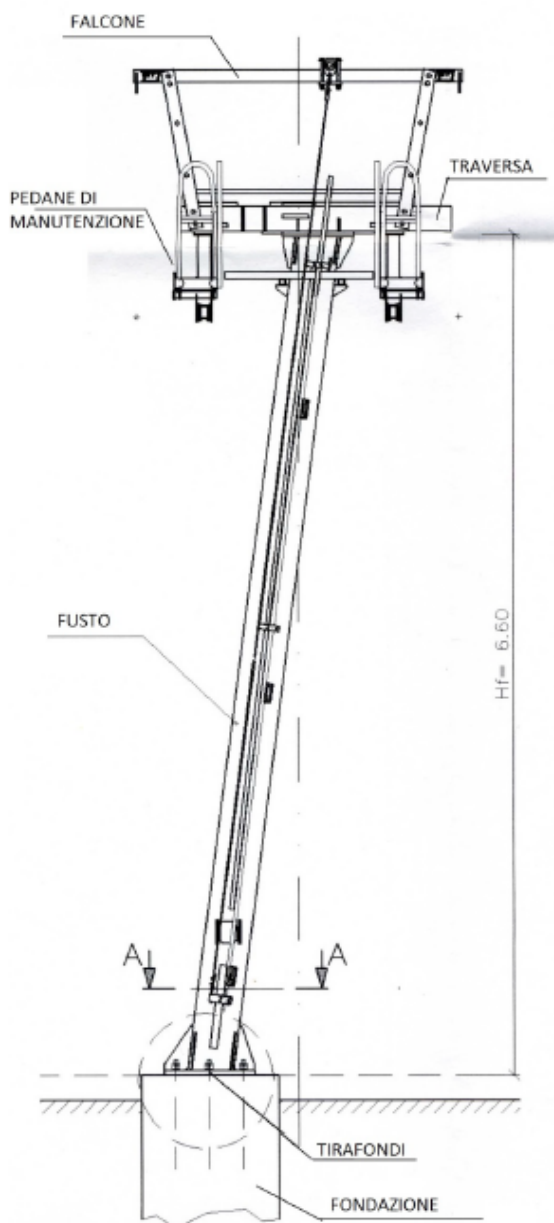
Sistema di tensionamento

Il sistema di tensionamento si trova solitamente alla stazione di rinvio. Può essere a contrappeso oppure di tipo idraulico.

- Nel sistema a contrappeso, la puleggia è contrappesata per dare costante tensione alla fune. Il contrappeso è costituito da blocchi in calcestruzzo collegati alla puleggia mediante una fune zavorra passante per una puleggia di compensazione.
- Nel sistema di tipo idraulico, il tensionamento è ottenuto mediante un sistema pistone-cilindro ad azionamento idraulico.

Linea

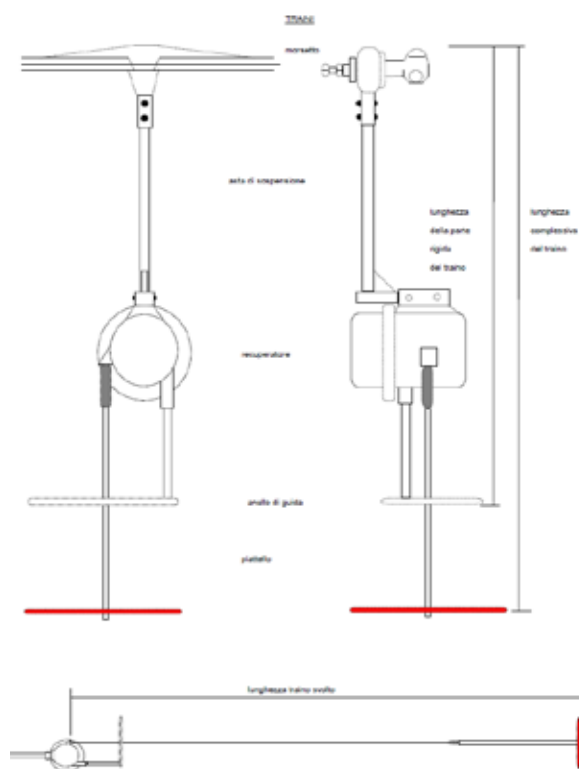
La fune è sorretta e guidata dai sostegni di linea. Il fusto metallico di ciascun sostegno è ancorato mediante tirafondi alla fondazione in cemento armato. In cima al fusto si trovano le traverse, su cui sono montate le rulliere. I sostegni sono infine provvisti di falconi, ossia elementi trasversali che hanno la funzione di sollevare la fune in caso di interventi di manutenzione.



Dispositivi di traino

Il dispositivo di traino è composto da tre elementi: l'attacco alla fune, il collegamento intermedio e l'attacco per lo sciatore. L'attacco alla fune è costituito da un morsetto di tipo fisso a serraggio rigido (senza pacco molle). L'elemento di collegamento intermedio è formato da un'asta di sospensione e da un arganello di recupero fune, detto recuperatore (un tamburo su cui si avvolge la funicella cui è collegata l'asta). L'elemento terminale è costituito da un'impugnatura e da un sedile a piattello (nel caso di sciovia a fune bassa, solo da un'impugnatura).

Il recupero del piattello dopo lo sgancio dello sciatore deve avvenire abbastanza velocemente da garantire il completo avvolgimento della funicella prima dell'ingresso nelle strutture della stazione di monte, ma abbastanza lentamente da evitare impigliamenti tra il piattello e la fune o altri organi dell'impianto. Il recupero del piattello dopo lo sgancio dello sciatore deve avvenire ad una velocità tale da essere completo prima dell'ingresso nelle strutture della stazione di monte e da evitare impigliamenti dovuti ad oscillazioni per eccesso di velocità nel riavvolgimento. Il mancato recupero del piattello è rilevato da un apposito dispositivo (funicella) che arresta l'impianto.



Dispositivo di traino

Traino con piattello

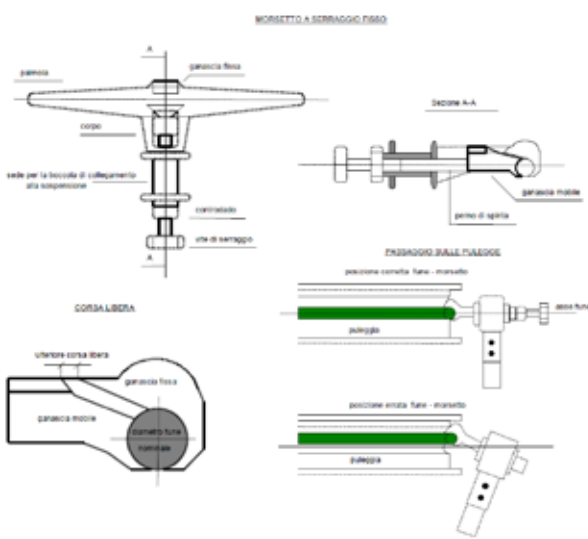
Il morsetto di sciovia è, come detto, del tipo a serraggio rigido, ossia senza alcun pacco molle all'interno. È formato dai seguenti elementi:

- il corpo fisso, comprendente la ganasca fissa ed il perno di collegamento su cui è inserita la boccia di collegamento all'asta di sospensione dei traini;
- la ganasca mobile;
- il sistema di serraggio;
- le palmole (talvolta comprese nel corpo fisso).

Il morsetto è realizzato per essere agganciato a funi di un diametro specifico. Esso deve inoltre potersi serrare efficacemente anche in caso di riduzione della sezione della fune o in caso di usura delle ganasce del morsetto stesso: l'ulteriore corsa delle ganasce nel senso di chiusura, rispetto alla posizione di serraggio su una fune di diametro nominale, viene detta corsa libera.

Il serraggio avviene ad un valore di coppia ben precisa, definita dal costruttore, ed è realizzato per mezzo di una chiave dinamometrica.

Periodicamente è necessario spostare i morsetti lungo la fune, per evitare di tenerli serrati sempre sugli stessi tratti di fune. Dopo ogni spostamento viene effettuata una prova di scorrimento: il morsetto non deve scorrere lungo la fune quando è chiuso e sottoposto ad una forza longitudinale definita dal costruttore.



Morsetto di sciovia

Morsetto di sciovia

Azionamento e controllo

La trazione avviene grazie ad un motore elettrico. Su una sciovia è possibile effettuare due tipi di arresto:

- l'arresto elettrico avviene con la sola coppia data dal motore, che durante la frenata assume valori negativi in quanto il motore funziona da generatore;
- l'arresto meccanico avviene tramite il freno di servizio meccanico, le cui pinze agiscono sul disco freno dell'albero veloce.

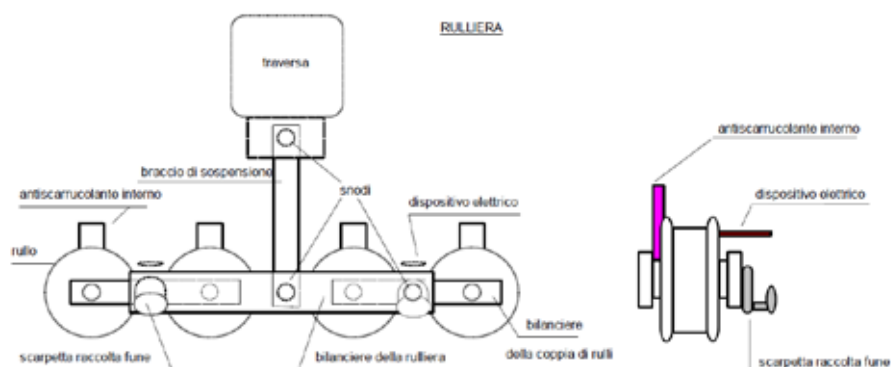
Non è previsto il freno di emergenza, né l'azionamento di recupero.

Il sistema di controllo è composto da logiche, dispositivi e strumenti di allarme. Oltre ai controlli comuni a tutti gli impianti (relativi all'azionamento, al tensionamento, agli arresti, ecc.), i controlli specifici delle sciovie sono il mancato recupero del piattello e il mancato sgancio dello sciatore (entrambi realizzati da funicelle, aste o pedane collegate a dei microinterruttori che arrestano l'impianto).

Circuito di sicurezza di linea

Il circuito di sicurezza di linea è una linea elettrica a bassa tensione che percorre la linea dalla stazione di rinvio alla stazione motrice, passando per tutti i sostegni. Esso ha la funzione di rilevare eventuali dispersioni e cortocircuiti causati dallo scarrucolamento della fune.

Il circuito di sicurezza consente inoltre di arrestare l'impianto dagli appositi pulsanti presenti alla stazione di rinvio e sui sostegni di linea, e permette anche il controllo della posizione della fune lungo la linea tramite gli interruttori di antiscarrucolamento: se la fune fuoriesce da una rulliera (ovvero scarrucola) ed intercetta la barretta a lato della rulliera, questa si rompe causando l'interruzione del circuito di sicurezza e il conseguente arresto dell'impianto. La fune scarrucolata viene poi raccolta da un apposito elemento laterale, detto scarpetta raccogli-fune.



Rulliera e dispositivi di sicurezza antiscarrucolamento



Rulliera e dispositivi di sicurezza anticarrucolamento

2.2 Funicolari terrestri

La funicolare terrestre è un impianto di trasporto a fune “a va e vieni” di tipo terrestre, in cui i veicoli si muovono in direzione opposta lungo le vie di corsa costituite da binari per mezzo di una fune traente. La funicolare può essere realizzata anche a veicolo unico. Le vetture possono avere capienza da poche unità fino ad oltre un centinaio.



Funicolare terrestre a due veicoli con snodo centrale



Stazione di valle di una funicolare con zone di imbarco e sbarco

Alla **stazione motrice**, l'argano motore trasmette il moto alla puleggia motrice che, a sua volta, movimenta la fune traente alle cui estremità sono agganciati i due veicoli. Per equilibrare i carichi, a volte, viene prevista una fune zavorra ancorata ad un contrappeso che realizza la chiusura dell'anello trattivo e mantiene in tensione la fune traente, garantendo attrito sufficiente tra quest'ultima e la puleggia motrice.

Nelle funicolari che presentano un unico veicolo, la fune traente si avvolge e si svolge ripetutamente attorno alla puleggia motrice (costituita da un tamburo) che ne movimenta il carico.

Funi e attacchi di estremità

Sia la fune traente che la fune zavorra sono funi metalliche a trefoli con anima tessile. Gli attacchi di estremità tra le funi ed i veicoli sono realizzati mediante testa fusa o mediante avvolgimento su tamburo.

Argano motore

L'argano è costituito da un motore elettrico, che trasmette il moto al riduttore di giri tramite l'albero veloce, dotato di un disco freno. Il riduttore è collegato tramite l'albero lento alla puleggia motrice, che trasmette il moto alla fune grazie all'attrito tra la fune stessa e la gola della puleggia.

Linea

Le vie di corsa sono costituite da binari. La funicolare può essere a doppia via di corsa se a ciascun veicolo è dedicato un binario, o a via di corsa singola: in quest'ultimo caso vi è un unico binario con uno snodo nel tratto centrale del percorso per consentire il passaggio di entrambi i veicoli.



Dettaglio linea funicolare terrestre



Dettaglio linea funicolare terrestre

Azionamento e controllo

La trazione avviene grazie ad un motore elettrico. Su una funicolare è possibile effettuare quattro tipi di arresto:

- l'arresto elettrico avviene con la sola coppia data dal motore che durante la frenata può assumere valori negativi qualora il motore assuma comportamento da generatore;
- l'arresto meccanico di servizio avviene tramite il freno di servizio meccanico, le cui pinze agiscono sul disco freno dell'albero veloce oppure direttamente sulla puleggia motrice;
- l'arresto meccanico di emergenza avviene tramite il freno di emergenza, le cui pinze agiscono direttamente sulla puleggia motrice;
- l'arresto meccanico di urgenza con freno supplementare avviene tramite ganasce montate sul veicolo che lo bloccano sulle rotaie (in caso di rottura della fune traente o in caso di comando manuale).

È inoltre previsto un azionamento di recupero (solitamente un motore Diesel), che consente lo scarico della linea in caso di indisponibilità dell'azionamento principale.

Il sistema di controllo è composto da logiche, dispositivi e strumenti di allarme relativi all'azionamento, al tensionamento e agli arresti.

2.3 Ascensori inclinati

L'ascensore inclinato è un impianto di trasporto a fune "a va e vieni" di tipo terrestre, in cui un veicolo si muove lungo la via di corsa costituita da binari per mezzo di più funi traenti.

Si tratta di un tipo di impianto usato principalmente per il trasporto urbano. L'inclinazione della linea ha valori compresi fra 15° e 75° e può variare lungo il percorso.



Ascensore inclinato



Dettaglio ascensore inclinato

Alla **stazione motrice** l'argano motore trasmette il moto alla puleggia motrice che, a sua volta, muove le funi traenti alle cui estremità è agganciato il veicolo. Il veicolo può essere inoltre collegato, verso valle, ad una massa di compensazione che si muove lungo le vie di corsa in direzione opposta al veicolo. Le funi che collegano il veicolo alla massa di compensazione prendono il nome di funi di compensazione.

La normativa tecnica di riferimento per gli ascensori inclinati è la UNI EN 81-22:2021.

Funi e attacchi di estremità

Sia le funi traenti che le funi di compensazione sono funi metalliche a trefoli con anima tessile. Gli attacchi di estremità tra le funi ed i veicoli sono realizzati mediante redance, testa fusa o mediante avvolgimento su tamburo.

Argano motore

L'argano è costituito da un motore elettrico, che trasmette il moto al riduttore di giri tramite l'albero veloce, dotato di un disco freno. Il riduttore è collegato tramite l'albero lento alla puleggia motrice, che trasmette il moto alle funi grazie all'attrito tra le stesse e la gola della puleggia.

Azionamento e controllo

La trazione avviene grazie ad un motore elettrico. Su un ascensore inclinato è possibile effettuare tre tipi di arresto:

- l'arresto elettrico avviene con la sola coppia data dal motore che durante la frenata può assumere valori negativi qualora il motore assuma comportamento da generatore;
- l'arresto meccanico di servizio avviene tramite il freno di servizio meccanico, le cui pinze agiscono sul disco freno dell'albero veloce;
- l'arresto meccanico di urgenza avviene tramite ganasce montate sul veicolo che lo bloccano sulle rotaie (in caso di rottura di una o più funi traenti o in caso di eccesso di velocità con direzione di marcia verso il basso).

Quest'ultimo tipo di arresto è realizzato mediante un dispositivo detto limitatore di velocità, costituito da un'apposita fune che, se supera un determinato valore di velocità, comanda l'intervento del dispositivo di frenata, detto paracadute.

Può essere presente un ulteriore freno chiamato "bode" che agisce con azione positiva strozzando direttamente le funi traenti. Il comando di intervento di questo freno è legato al superamento della velocità nominale con direzione di marcia verso l'alto.

Il sistema di controllo è composto da logiche, dispositivi e strumenti di allarme relativi all'azionamento, al tensionamento e agli arresti.

In caso di variazione di pendenza lungo la linea, gli ascensori inclinati possono essere dotati di un sistema di autolivellamento della vettura.

Sistema di tensionamento

Il tensionamento è solitamente realizzato mediante un sistema a contrappeso.

Evacuazione della linea

A fianco alla linea viene realizzata una scala di soccorso. In caso di impossibilità di movimentare il veicolo e di necessità di evacuare la linea, si procede all'evacuazione mediante detta scala.

2.4 Impianti monofune ad ammassamento permanente

Gli impianti aerei, per la movimentazione dei carichi, utilizzano una via di corsa sospesa da terra costituita da una o più funi metalliche.

All'interno di questa categoria rientrano gli impianti aerei a moto continuo ad ammassamento fisso e gli impianti aerei a moto continuo ad ammassamento automatico che, per diffusione, sono le due categorie di impianti più rilevanti.

Negli impianti ad ammassamento fisso, i veicoli sono ammassati permanentemente alla fune, viaggiando a velocità costante lungo tutta la linea.

Per permettere la salita agevole di pedoni e sciatori, la velocità di marcia è limitata in funzione del numero e della tipologia di passeggeri e della presenza o meno di dispositivi atti a ridurre la velocità relativa tra viaggiatore e veicolo, come riportato nella tabella seguente.

	1-2 posti	3-4 posti	5-6 posti
Sciatori	2,5 m/s	2,3 m/s	2,0 m/s
Sciatori con pedana mobile di imbarco	2,8 m/s	2,6 m/s	2,2 m/s
Pedoni	1,5 m/s	1,0 m/s	1,0 m/s

Gli impianti ad ammassamento fisso sono caratterizzati da semplicità costruttiva e minori costi di gestione rispetto agli impianti ad ammassamento automatico, ma la velocità di marcia limitata non permette a questa tipologia di impianto portate orarie particolarmente elevate.

Gli elementi costitutivi questa tipologia di impianto sono le stazioni, la linea, le funi, gli azionamenti, il sistema di tensionamento, i veicoli ed il circuito di sicurezza.

Stazioni

Le stazioni degli impianti ad attacchi fissi sono piuttosto compatte e generalmente sorrette da una stele in cemento armato.



Stazione motrice di una seggiovia ad ammortamento fisso



Stazione rinvio di una seggiovia ad ammortamento fisso

Presso la **stazione motrice** si trova l'argano motore che determina il moto della fune e il conseguente trasporto dei viaggiatori. L'argano motore è costituito generalmente da un motore elettrico che, attraverso un albero veloce, un riduttore di giri ed un albero lento, trasmette il moto alla puleggia motrice e quindi all'impianto.



Motore elettrico



Riduttore

Molto raramente in questa tipologia di impianti viene implementata la tecnologia "direct drive" con l'azionamento elettrico innestato direttamente sulla puleggia motrice.

Qualora l'impianto sia un impianto di arroccamento, deve essere presente anche un azionamento di riserva, in grado di garantire la continuità del servizio e sopperire all'eventuale malfunzionamento del motore principale.

Infine, presso la stazione motrice deve essere previsto un organo di recupero, generalmente formato da un motore termico-idraulico che movimentata direttamente la puleggia motrice agendo con un pignone su una corona dentata posta sul lato interno della puleggia.



Motore di recupero



Motore idraulico di recupero

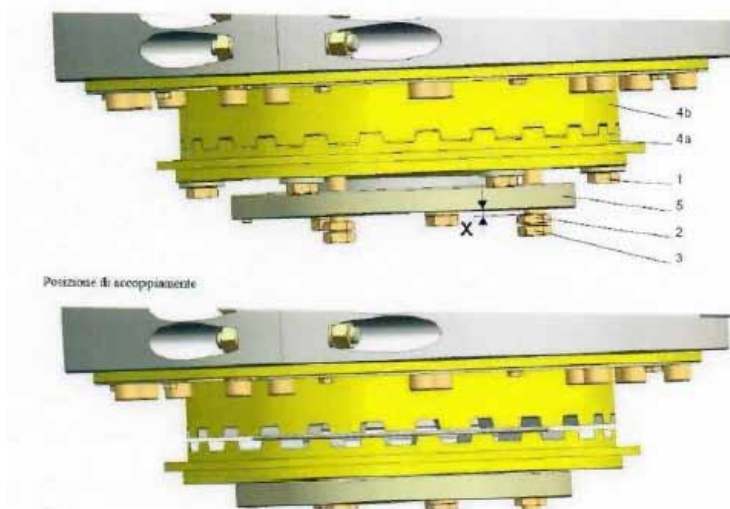


Accoppiamento del pignone di recupero con la corona dentata della puleggia

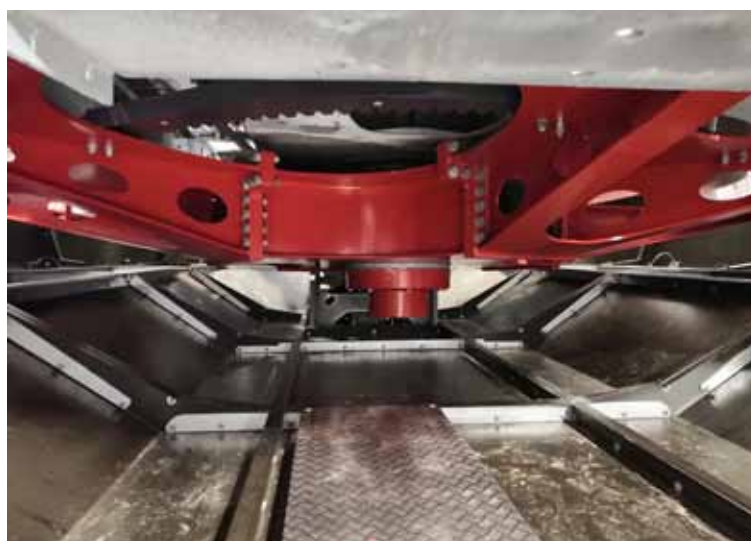
L'argano di recupero non può essere utilizzato per effettuare il normale esercizio dell'impianto, ma esclusivamente per evacuare i passeggeri in linea in caso di guasti all'azionamento principale (e di riserva se presente) tali da non permettere più la prosecuzione dell'esercizio.

A seguito di un guasto, l'innesto del motore di recupero sulla puleggia motrice può essere effettuato con l'azionamento

principale ancora collegato alla puleggia motrice, se l'azionamento può essere trascinato in folle, o con la puleggia motrice disaccoppiata dall'organo principale se quest'ultimo risulta bloccato ad esempio a causa di un guasto al riduttore di giri.



Accoppiamento-disaccoppiamento puleggia



Accoppiamento-disaccoppiamento puleggia

Per quanto concerne la parte di sicurezza e controllo dell'impianto, in stazione motrice sono presenti il freno di servizio, il freno di emergenza e il freno supplementare ove previsto a livello progettuale. Le frenature meccaniche si aggiungono alla frenatura elettrica eseguita dall'azionamento elettrico.

Sulla puleggia motrice sono infine installati un dispositivo raschiaghiaccio, un anello raccoglifune, un dispositivo di controllo di assetto puleggia e i pendoli centrifughi, ossia delle masse metalliche semivincolate che in caso di sovravelocità richiedono meccanicamente l'intervento urgente del freno di emergenza.

La **stazione di rinvio** è costruttivamente più semplice e solitamente sprovvista di copertura. Può fungere da mero supporto per il rinvio della fune o essere anche stazione di tensionamento qualora il sistema di tensionamento sia installato in questa sede.



Stazione di rinvio di un impianto ad ammassamento permanente

Presso la stazione di rinvio si trova la puleggia di rinvio, del tutto simile a quella motrice, dotata di raschiaghiaccio, assetto puleggia e anello raccoglifune, ma non dei pendoli centrifughi.

Sistema di tensionamento

Il sistema di tensionamento della fune può essere installato discrezionalmente presso la stazione motrice o la stazione di rinvio e può essere realizzato per mezzo di contrappeso o di tenditore idraulico.

- Nel sistema a contrappeso, la puleggia è contrappesata per dare costante tensione alla fune. Il contrappeso è costituito da blocchi in calcestruzzo collegati alla puleggia mediante una fune zavorra passante per una puleggia di compensazione.
- Nel sistema di tipo idraulico, il tensionamento è ottenuto mediante un sistema pistone-cilindro ad azionamento idraulico.

Fune

Su questo tipo di impianto vi è una sola fune portante-traente di tipo metallico, chiusa ad anello mediante un'impalmatura. Dal punto di vista costruttivo la fune portante-traente è una fune a trefoli con anima tessile.

La comunicazione tra la stazione di monte e di valle può essere garantita avvalendosi di una fune telefonica, ossia una fune metallica che ha la funzione di sostenere il cavo aereo per la trasmissione dei segnali, ma generalmente, quando possibile, si cerca di effettuare l'interramento del collegamento, più costoso ma con benefici in termini di manutenzione e controllo.

Linea

La fune è sorretta e guidata dai sostegni di linea, che possono essere di appoggio, di ritenuta o a doppio effetto. Il fusto metallico di ciascun sostegno è ancorato mediante tirafondi alla fondazione in cemento armato. In cima al fusto si trovano le traverse, su cui sono montate le rulliere. I sostegni sono infine provvisti di falconi, ossia elementi trasversali che hanno la funzione di sollevare la fune in caso di interventi di manutenzione.

Veicoli

In un impianto ad ammassamento fisso, i veicoli sono solitamente seggiole e per tale motivo si parla di seggiovie ad attacchi fissi. Meno comuni attualmente, ma ugualmente facenti parte di questa categoria di impianti, sono gli impianti con cabine ad attacco fisso e le cestovie, storicamente più diffuse ma nel tempo sostituite da altre tipologie di impianti.



Seggiovia ad ammassamento fisso



Cabinovia ad ammassamento fisso



Cestovia ad ammassamento fisso

Il veicolo di una seggiovia è costituito dai seguenti componenti:

- la morsa, che collega la seggiola rigidamente alla fune traente;
- la sospensione;
- la staffa di collegamento, che collega la sospensione al telaio del sedile;
- il telaio del sedile, costituito da un'intelaiatura metallica sulla quale sono montati la seduta e lo schienale;
- il poggiatesta di sicurezza, costituito da una barra di protezione anticaduta e dal poggiatesta vero e proprio per un maggiore comfort durante il tragitto.

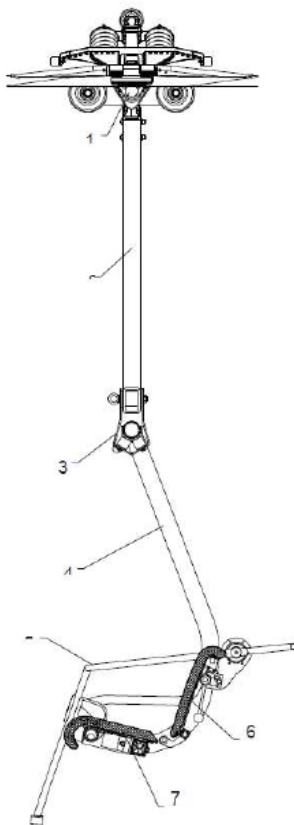


Figura 79 – Veicolo di seggiovia



Schema di un veicolo di seggiovia
(ad ammortamento temporaneo)

Veicolo di seggiovia ad ammortamento permanente

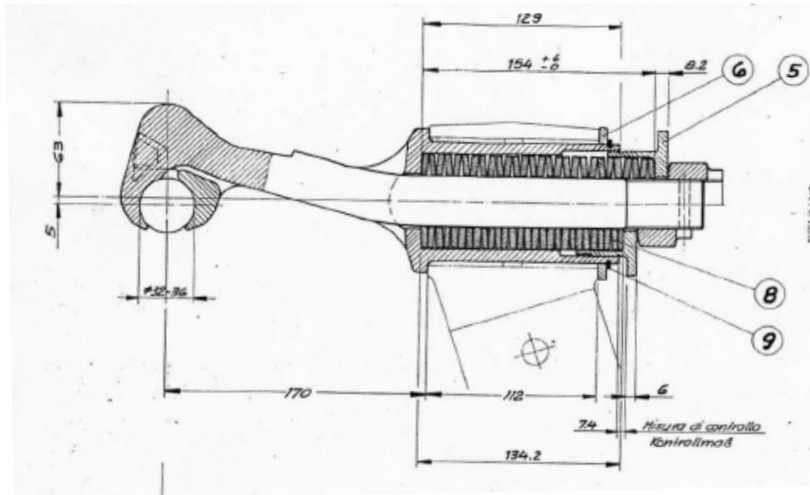
La morsa di un veicolo ad ammortamento permanente è composta da un corpo morsa e da una ganascia fissa. Il corpo morsa, ovvero la parte mobile della morsa, viene chiuso permanentemente sulla fune traente per mezzo della compressione di un pacco molle con molle a tazza opportunamente progettato per garantire una corretta forza di serraggio e resistenza allo scorrimento della morsa.

La forza di serraggio in questa tipologia di morsa non viene quindi impressa dall'operatore manualmente mediante chiave dinamometrica, ma è una forza di tipo elastico, esercitata permanentemente dalle molle in accordo con la legge di Hooke:

$F_{el} = -k \cdot \Delta x$ dove k è la costante elastica della molla e Δx l'elongazione (o compressione) della molla.

Essendo la costante elastica un valore non variabile del sistema, ciò che permette la regolazione della forza di serraggio è la variazione della lunghezza Δx di compressione.

La compressione ottimale del pacco molle viene garantita attraverso un riferimento visivo indicato dal costruttore stesso che aiuta l'operatore nella determinazione del corretto serraggio della morsa.



Morsa di un veicolo ad ammassamento permanente



Morsa di un veicolo ad ammassamento permanente



Morsa di un veicolo ad ammassamento permanente

Analogamente a quanto previsto per gli attacchi fissi di sciovia, anche negli impianti aerei ad ammassamento permanente è necessario lo spostamento delle morse lungo la fune, al fine di distribuire le sollecitazioni a fatica determinate dal

passaggio delle morse attorno alla puleggia lungo tutta la fune. Dopo ogni spostamento viene quindi effettuata una prova di scorrimento del morsetto stesso che non deve scorrere lungo la fune se chiuso e sottoposto ad una forza longitudinale definita dal costruttore.

Circuito di sicurezza di linea

Il circuito di sicurezza di linea è una linea elettrica a bassa tensione che percorre la linea dalla stazione di rinvio alla stazione motrice, passando per tutti i sostegni. Esso ha la funzione di rilevare eventuali dispersioni e cortocircuiti dovuti a guasti lungo la linea.

Il circuito di sicurezza consente inoltre di arrestare l'impianto dagli appositi pulsanti presenti alla stazione di rinvio e sui sostegni di linea, e permette anche il controllo della posizione della fune lungo la linea tramite gli interruttori di antiscarrucolamento: se la fune fuoriesce da una rulliera (ovvero scarrucola), la bacchetta a lato della rulliera si rompe causando l'interruzione del circuito di sicurezza e il conseguente arresto dell'impianto. La fune scarrucolata viene poi raccolta da un apposito elemento laterale, detto scarpetta raccogli-fune.



Dettaglio del circuito di sicurezza di linea con barrette antiscarrucolamento e scarpetta raccogli-fune

2.5 Impianti monofune ad ammortamento temporaneo

La caratteristica principale degli impianti ad ammortamento temporaneo è la possibilità per i veicoli di ammortarsi e disammortarsi dalla fune ciclicamente durante l'esercizio.

Più precisamente il veicolo, ammortato alla fune lungo il tragitto in linea, si disammorta all'entrata delle stazioni, le percorre in autonomia a velocità ridotta su un percorso predefinito di rulli e si riammorta in uscita. La possibilità di avere due sistemi trainanti distinti tra stazione e linea permette il trasporto in linea a velocità elevate ed un avanzamento nelle stazioni a velocità ridotta e congrua alla salita e alla discesa in sicurezza dei passeggeri.

Questo tipo di impianti permette velocità in linea comprese tra 5,0 e 6,0 m/s a seconda della tipologia di veicolo, e velocità di avanzamento in stazione ridotte, tipicamente tra 0,5 e 1,3 m/s, in funzione della tipologia di passeggero, di veicolo e di modalità d'imbarco, come riportato nella tabella seguente.

	Veicoli aperti	Veicoli chiusi
In linea	5,0 m/s	6,0 m/s
In stazione	0,5-1,3 m/s *	0,5 m/s

* Velocità variabile in funzione della tipologia di passeggero (pedone o sciatore), del numero di passeggeri e della modalità di imbarco.

Il sistema di ammortamento temporaneo implica una notevole complicazione in termini di componentistica e controlli di stazione che determinano un maggior costo costruttivo. Questa tipologia di impianto, però, permette un significativo aumento di portata e di comfort del viaggiatore.

Analogamente a quanto già presentato per gli impianti ad ammortamento fisso, gli elementi costitutivi di questa tipologia di impianto sono le stazioni, la linea, le funi, gli azionamenti, il sistema di tensionamento, i veicoli ed il circuito di sicurezza. Le maggiori differenze tra impianti ad ammortamento fisso ed impianti ad agganciamento automatico sono riscontrabili negli elementi che compongono le stazioni e i veicoli.

Stazioni

Le stazioni di impianti ad ammortamento temporaneo sono più ingombranti di quelle di impianti ad ammortamento fisso, hanno struttura simile a motrice ed a rinvio e sono solitamente costituite da una stele in cemento armato e da un pilastro metallico con funzione di supporto per il giostazione. Per proteggere i meccanismi del giostazione e garantire la corretta movimentazione dei veicoli, sono infine provviste di copertura permanente.



Stazione motrice di un impianto ad ammortamento temporaneo



Stazione di rinvio di un impianto ad ammortamento temporaneo



Dettaglio della copertura dei meccanismi del giostazione

Almeno una delle due stazioni deve essere dotata di magazzino per il ricovero dei veicoli e di una zona di lavoro per le prove al banco e per la manutenzione, in particolare di veicoli e morse.

Il magazzino, realizzato mediante travi metalliche sospese e meccanismi per la movimentazione dei veicoli, è previsto per proteggere, in particolare, le morse dei veicoli dalle intemperie e dalla formazione di ghiaccio a veicolo fermo.



Magazzino per il ricovero dei veicoli



Dettaglio di una rotaia di scorrimento in magazzino

La **stazione motrice** ospita gli azionamenti dell'impianto (azionamento principale, azionamento di recupero e, qualora previsto, il motore di riserva), i quadri elettrici di potenza, i quadri di controllo degli azionamenti e i sistemi frenanti dell'impianto.

Poiché gli impianti ad agganciamento automatico trovano spazio in contesti dove viene richiesta considerevole potenza meccanica a causa della lunghezza della linea o della necessità di garantire portata oraria elevata, l'azionamento principale è spesso costituito da due motori elettrici in serie.

Questa soluzione permette di avere sufficiente potenza per elevate velocità di marcia in linea, dividendo lo sforzo tra i due motori elettrici impiegati. Permette inoltre di operare in esercizio a velocità ridotta con l'eventuale esclusione, dovuta a guasto, di uno dei due motori costituenti l'azionamento principale.



Motori elettrici in serie

In questo tipo di impianti, lo sviluppo tecnologico sta gradualmente implementando la tecnologia "direct drive", ovvero l'utilizzo di un motore elettrico ad elevato numero di coppie polari innestato direttamente sulla puleggia motrice.

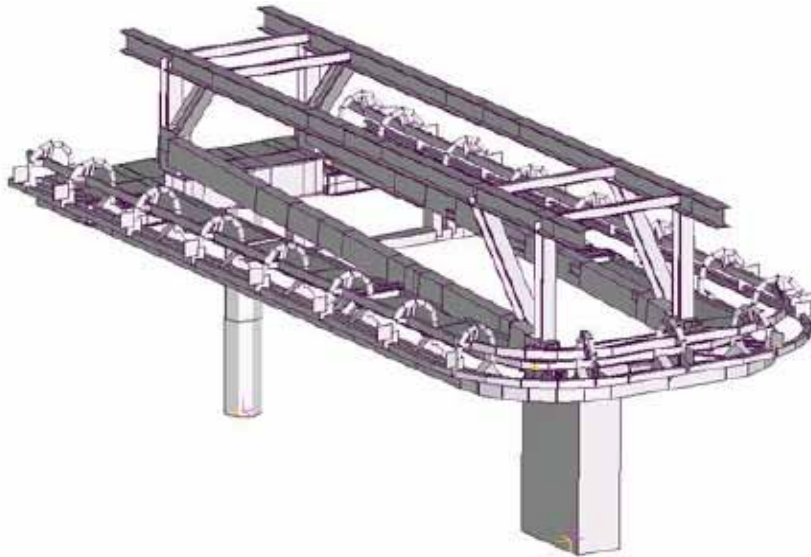
I vantaggi della tecnologia consistono nell'eliminazione di componenti quali il riduttore di giri, l'albero veloce e l'albero lento.

D'altra parte, l'utilizzo dell'azionamento diretto comporta la necessità di spostare il freno di servizio direttamente sulla puleggia motrice, con la conseguente riduzione dei tempi di risposta dell'impianto dovuti alle inerzie delle componenti sopra riportate ed il rischio di comportamenti eccessivamente "bruschi" dell'impianto, specialmente in fase di frenatura.

La necessità di soddisfare il requisito di bassa velocità di rotazione della puleggia motrice senza il riduttore di giri implica inoltre l'utilizzo di un motore elettrico ad elevato numero di poli, molto più costoso e pesante di un motore elettrico tradizionale.

Anche negli impianti ad ammortamento automatico sono presenti il freno di servizio, il freno di emergenza e il freno supplementare ove previsto a livello progettuale. Sulla puleggia motrice sono infine installati un dispositivo raschiaghiaccio, un anello raccogliifune, un dispositivo di controllo di assetto puleggia e i pendoli centrifughi.

Ciò che distingue questa tipologia di impianti dagli impianti ad ammortamento fisso è il **girostazione**, con tutti i suoi meccanismi, speculari sia a motrice che a rinvio.



Schema del girostazione

Il girostazione permette l'ingresso del veicolo ammortato alla fune, lo sgancio dalla fune del veicolo, la decelerazione del veicolo sino alla velocità prevista per la salita o discesa del passeggero, l'avanzamento in stazione del veicolo disammortato, la regolazione della distanza tra le seggiole, l'accelerazione del veicolo sino alla velocità della fune, l'ammorsamento del veicolo alla fune e l'uscita del veicolo dalla stazione. Esso si compone essenzialmente di tre parti:

- la trave di ingresso;
- il tratto curvilineo;
- la trave di uscita.

Dal momento in cui il veicolo si disammorsa dalla fune sino al momento in cui il veicolo si riammorsa alla fune per uscire in linea, fune e veicolo diventano due sistemi distinti, muovendosi a velocità diverse e lungo percorsi diversi.

Mentre la fune nuda viene deviata verso la puleggia motrice dagli appositi rulli di deviazione, il veicolo procede linearmente, spinto da una serie di ruote gommate, sulla trave di ingresso, rallentando progressivamente la propria corsa sino alla velocità prestabilita per l'imbarco e lo sbarco dei viaggiatori. Le ruote gommate che muovono il veicolo lungo le varie sezioni della stazione sono azionate dal passaggio della fune su dei rulli di presa di moto, che trasferiscono il moto e ne regolano la velocità nelle varie sezioni attraverso cinghie trapezoidali agenti su pignoni a diversi rapporti.

L'imbarco avviene nel tratto curvilineo, dove il veicolo procede a velocità costante, e l'intervallo di spazio in cui è permessa la salita o la discesa dei viaggiatori deve essere chiaramente identificato per mezzo di segnalazioni visive. In questo tratto è presente lo spaziatore, un dispositivo atto alla regolazione della distanza tra i veicoli al fine di mantenerla il più possibile prossima all'equidistanza di progetto.

Dopo il tratto curvilineo e terminato l'imbarco o lo sbarco dei viaggiatori (che può avvenire parzialmente anche nel tratto rettilineo di uscita, sempre a velocità costante), il veicolo, procedendo lungo i rulli, viene gradualmente accelerato sino al raggiungimento della velocità della fune.

Lungo tutto il giro stazione sono installati dei dispositivi di sicurezza e controllo atti a verificare il corretto ammortamento e disammorsamento del veicolo e a prevenire la collisione tra i veicoli una volta disaccoppiati dalla fune. Esempi di controlli distribuiti lungo il girostazione sono i provamorse, i controlli geometrici (sagome) e l'anticollisione.

La **stazione di rinvio** risulta costruttivamente speculare alla stazione motrice, con il girostazione e tutti i meccanismi che lo compongono.

La puleggia di rinvio, del tutto simile a quella motrice, è dotata di raschiaghiaccio, assetto puleggia e anello raccogliifune, ma non dei pendoli centrifughi per il controllo di sovravelocità meccanica.

Lo spaziatore, presente in entrambe le stazioni, regola l'equidistanza dei veicoli in una sola delle stazioni, a discrezione del personale. Il sistema di tensionamento, solitamente di tipo idraulico, può essere installato a motrice o a rinvio.

Veicoli

A seconda della tipologia di veicolo impiegato, gli impianti ad ammassamento temporaneo si classificano come seggiovie ad agganciamento automatico o telecabine. È possibile riscontrare impianti ibridi con entrambe le tipologie di veicoli, come nel caso degli impianti denominati "telemix".



Seggiola di un impianto ad ammassamento automatico



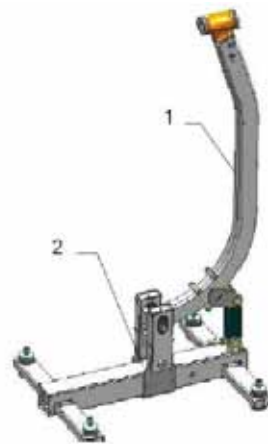
Telecabina ad ammassamento automatico

I veicoli delle **seggiovie** ad agganciamento automatico sono costituiti in maniera analoga alle seggiovie ad ammassamento fisso, con morsa, sospensione, staffa di collegamento, telaio, poggiapiedi ed eventuale cupola protettiva per le intemperie.

La differenza risiede nella composizione del corpo morsa, in grado di permettere l'ammorsamento e il disammorsamento ciclico della seggiola dalla fune.

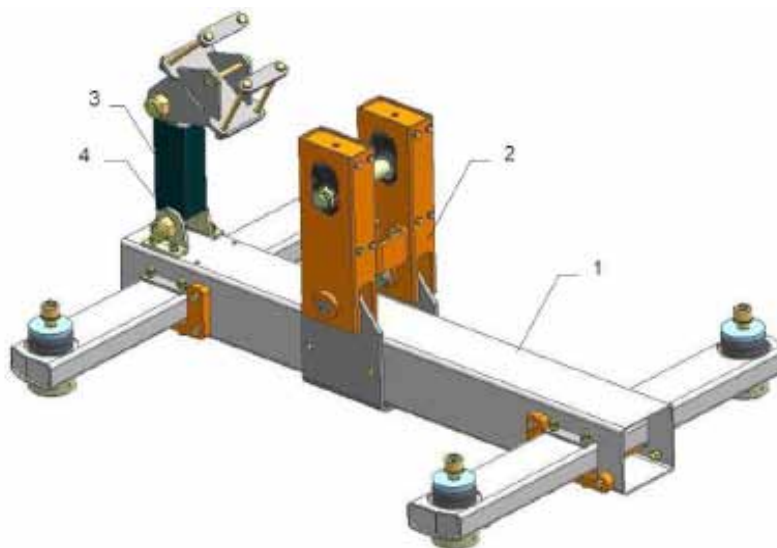
Le **telecabine** sono invece costituite dallo stesso corpo morsa tipico delle seggiovie ad agganciamento automatico, ma da diverso veicolo, in questo caso chiuso, con differente sospensione e collegamento.

La sospensione deve assicurare la stabilità della cabina, e si compone di sospensione vera e propria (1) e telaio intermedio di collegamento (2).



Schema della sospensione di un veicolo di telecabina

Il telaio di collegamento è costituito da una traversa di collegamento (1) con un giunto intermedio (2), da uno stabilizzatore (3) e da un supporto per lo stabilizzatore (4).



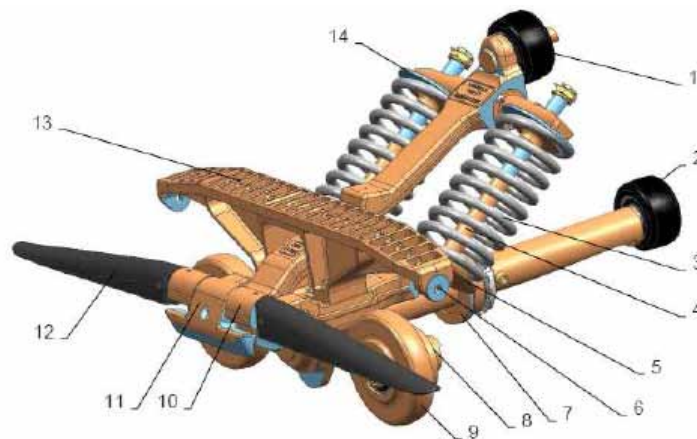
Schema del telaio di collegamento di un veicolo di telecabina

La cabina è costituita da un telaio metallico portante, un telaio per la seduta all'interno della cabina (se prevista), pareti vetrate antiurto, porte bloccabili e meccanismo di apertura e chiusura automatica porte.



Schema del veicolo chiuso di un impianto ad ammortamento temporaneo

La **morsa** di un veicolo ad agganciamento automatico si compone di una ganaschia fissa e di una ganaschia mobile che si chiude sulla fune grazie alla spinta esercitata dalle molle ad elica presenti in questa tipologia di morsa.



Schema della morsa di un veicolo ad ammortamento temporaneo



Morsa di un veicolo ad ammortamento temporaneo



Morsa di un veicolo ad ammortamento temporaneo

La morsa automatica è costituita dai seguenti componenti:

- il corpo morsa (10);
- la ganaschia mobile (11) con un rullo di manovra (1) per l'accoppiamento ed il disaccoppiamento con la fune;
- due molle a compressione (3) alloggiare su scodellini molla (5, 14) sul perno superiore ed inferiore;
- due guida molla (4);
- un anello di frizione (7) per fissare la sospensione del veicolo;
- due rulli di scorrimento (9) fissati alla piastra di supporto (8), sui quali scorre il veicolo in stazione;
- un rullo di guida (2), mediante il quale la morsa viene catturata all'entrata della stazione per mezzo dell'imbuto e sul quale appoggia nel giro stazione;
- un pattino (13) fissato a vite sul corpo morsa, che può essere equipaggiato con respingenti (6) per evitare la collisione dei veicoli durante il parcheggio;
- due palmole flessibili (12).

In assenza di forze esterne, la morsa risulta in posizione stabile con le ganasche chiuse.



Schema della morsa di un veicolo ad ammortamento temporaneo

A riposo, quindi, la morsa rimane ammortata permanentemente sulla fune o, nel giro stazione, chiusa a vuoto su se stessa. L'apertura della ganaschia avviene attraverso la compressione delle molle, a seguito di flessione meccanica verso il basso di rullo e perno di manovra, data dal passaggio del rullo su un'elica di manovra opportunamente sagomata allo scopo. Lungo un tragitto completo, una morsa di agganciamento automatico è soggetta a 4 cicli di apertura e chiusura della morsa, due per stazione. All'entrata di ogni stazione, veicolo e fune risultano accoppiati. Per potersi disaccoppiare dalla fune, il veicolo transita sotto un'elica di manovra convessa presente sulla trave di ingresso in stazione, che imprime sul rullo di manovra lo scostamento verticale necessario all'apertura delle molle. Il veicolo prosegue lungo l'elica di manovra, la fune libera dagli attriti della morsa viene deviata verso la puleggia, mentre la morsa si chiude a vuoto nella zona di rilascio dell'elica. Il veicolo non ammortato transita quindi nella zona curva del giostazione, dove, a velocità ridotta, viene permessa la salita o la discesa dei viaggiatori. Una volta terminata la fase di imbarco-sbarco, il veicolo accelera lungo la trave di uscita, transita nuovamente sotto un'elica di manovra che permette l'apertura della ganaschia mobile, l'accoppiamento con la fune deviata al centro delle ganasche, e la chiusura della morsa sulla fune nella zona di rilascio dell'elica. Al termine delle operazioni, il veicolo risulta ammortato e pronto per l'uscita in linea in sicurezza.

Le operazioni di ammortamento e disammortamento della morsa sulla fune sono particolarmente critiche per il funzionamento dell'impianto e la sicurezza dei viaggiatori. Per tali motivi, lungo il giostazione sono presenti numerosi controlli che controllano la corretta posizione dei componenti del sistema morsa-fune e il corretto accoppiamento tra i due.

Arresti

Come detto, gli impianti ad ammortamento automatico hanno, durante il funzionamento, due momenti particolarmente critici:

1. il disaccoppiamento della morsa dalla fune portante-traente (disammortamento);
2. il serraggio o l'accoppiamento della morsa sulla fune portante-traente (ammortamento).

Specifiche sorveglianze controllano sia il mancato disaccoppiamento in ingresso che il corretto accoppiamento in uscita e richiedono l'immediato arresto dell'impianto. L'arresto deve concludersi prima che il veicolo male accoppiato raggiunga la parte in discesa della linea, oppure prima che il veicolo non disaccoppiato raggiunga la struttura di stazione, con cui andrebbe ad interferire vista la diversa traiettoria tra il veicolo e la fune.

Tali sorveglianze hanno quindi sempre avuto la necessità di comandare un arresto rapido, in modo da ottenere spazi di arresto abbastanza contenuti.

Prima dell'entrata in vigore delle Prescrizioni Tecniche Speciali (P.T.S.) emanate con il D.M. 8 marzo 1999, la "rapidità" degli arresti per mancato sgancio della morsa dalla fune veniva ottenuta anche con il contemporaneo intervento del freno di emergenza assieme a quello di servizio; quest'ultimo, se ad azione differenziata, con il carico in salita lasciava il compito al solo freno di emergenza, mentre, se modulato, doveva richiedere per la regolazione una rampa con decelerazione maggiore.

La necessità di avere due livelli di decelerazione ha comportato, per un certo periodo, l'introduzione della modulazione anche per il freno di emergenza, ottenendo così, per gli impianti ad ammortamento automatico, oltre ai cosiddetti arresti normali con decelerazione di circa $0,6 \text{ m/s}^2$, anche i cosiddetti arresti rapidi con decelerazione pari a circa $0,9-1,0 \text{ m/s}^2$. La presenza della doppia soglia di decelerazione nei vari regolatori ha altresì determinato il raddoppio delle sorveglianze di mancata decelerazione, il cui intervento doveva chiamare, in prima istanza, l'intervento di un freno diverso da quello di partenza con la stessa rampa, e solo in seconda battuta l'esclusione della regolazione dello stesso.

La sequenza degli interventi delle sorveglianze di mancata decelerazione viene influenzata anche dalle modalità di intervento del freno di emergenza, che per alcuni impianti è rimasto ad azione on-off, ossia con il solo intervento di urgenza, ossia senza regolazione della rampa di decelerazione.

2.6 Funivie

Le funivie "a va e vieni" sono impianti aerei multifune, a moto alternato, che trovano applicazione specialmente in conformazioni orografiche che presentano criticità. Questa scelta progettuale trova spazio in contesti in cui si rende necessaria la percorrenza di campate molto lunghe o con franco verticale elevato, e contesti caratterizzati da particolari condizioni idrologiche o di rischio valanghe.

Le funivie sono solitamente costituite da due vetture che percorrono la linea in verso opposto: mentre una cabina sale partendo dalla stazione di valle, l'altra cabina scende da monte, in un gioco di equilibrio delle masse che riduce la potenza meccanica necessaria per il funzionamento dell'impianto.



Veicolo di funivia in partenza dalla zona fosse della stazione di valle



Veicolo di funivia in linea

Se il moto delle due cabine delle funivie classiche è sempre "a va e vieni", esistono tipologie particolari di funivia costituite da un'unica vettura che percorre linearmente, in salita e in discesa, l'unica via di corsa che collega le due stazioni, e funivie con doppia via di corsa e due cabine che possono percorrere in completa autonomia la propria via di corsa, alternativamente od in contemporanea, sia in salita che in discesa (ad esempio il Funifor).

Il limite applicativo delle funivie è determinato dalla portata oraria limitata, proporzionale alla capacità delle vetture e al tempo di percorrenza della linea. Nonostante la velocità di marcia in linea dei veicoli sia molto elevata (sino a 12 m/s), raramente si riescono a garantire portate orarie superiori a 2000 p/h (persone all'ora), facilmente ottenibili con un impianto ad agganciamento automatico.

Analogamente a quanto già presentato per gli altri impianti aerei, gli elementi costitutivi delle funivie sono le stazioni, la linea, le funi, gli azionamenti, il sistema di tensionamento, i veicoli ed il circuito di sicurezza, ma dal punto di vista costruttivo le differenze con le componenti degli impianti aerei ad ammorsamento fisso o temporaneo sono notevoli.

Funì e sistema di tensionamento

La caratteristica costruttiva principale delle funivie è l'utilizzo di più funi:

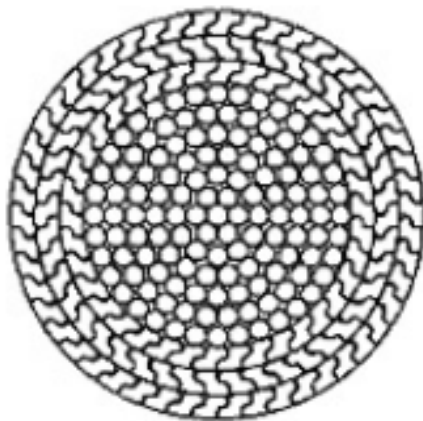
- le funi portanti;
- le funi traenti e di zavorra;
- la fune di soccorso.

Le **funi portanti** hanno la funzione di sorreggere il peso del veicolo in linea e di costituire la via di corsa sulla quale il veicolo scorre per mezzo di un carrello.

Generalmente vengono ancorate in una stazione e contrappesate nella stazione opposta, in modo tale da permettere il controllo e l'eventuale regolazione del tensionamento della fune.

Costruttivamente si tratta di funi metalliche chiuse, composte da un'anima spiroidale metallica e da uno o più strati esterni di fili metallici sagomati a Z con lo scopo di rendere la superficie esterna omogenea e compatta, ostacolando l'infiltrazione di umidità e sporcizia e proteggendo i manti interni dalla corrosione. Dal punto di vista dimensionale sono le funi più massicce dell'impianto.

In passato venivano utilizzate come funi portanti le funi di tipo Ercole, ancora presenti su alcuni impianti.



Sezione di una fune chiusa

Le **funi traenti**, solitamente suddivise in traente superiore e traente inferiore o traente e zavorra sono funi metalliche, a trefoli, con anima tessile. Costruttivamente sono analoghe alle funi portanti-traenti degli impianti aerei monofune, solitamente di diametro inferiore in quanto dedicate solamente alla movimentazione e non al supporto del peso dei veicoli. Le funi traente superiore e traente inferiore formano, nel loro insieme e collegate ai veicoli, l'anello trattivo che permette la movimentazione dei carichi. Supponendo a monte la stazione motrice, la fune traente collega gli attacchi a monte delle cabine, passando per la puleggia motrice. La fune zavorra collega gli attacchi a valle delle due cabine e chiude l'anello trattivo passando per la puleggia di rinvio.

Una delle due pulegge, solitamente quella di rinvio, è dedicata al tensionamento dell'anello trattivo per mezzo di un sistema idraulico o di un contrappeso.

Se la stazione motrice si trova a monte, si parla di fune traente e fune zavorra; se la stazione motrice si trova a valle, si parla di fune traente superiore e fune traente inferiore.

La **fune di soccorso** è una fune portante-traente dedicata unicamente alla movimentazione del carrello di soccorso. È anch'essa di tipo metallico a trefoli con anima tessile; solitamente è movimentata e messa in tensione, rispettivamente, da un motore e da sistema a contrappeso dedicati.

Stazioni

Le stazioni di funivia risultano essere piuttosto importanti a livello di ingombro, specialmente in termini di sviluppo verticale se paragonate agli altri impianti aerei.

Le stazioni di funivia devono contenere una zona di arresto del veicolo, preceduta da una zona di "incanalamento" con respingenti, dove il veicolo in rallentamento viene guidato nella posizione finale di arresto. L'altezza delle stazioni deve essere idonea al contenimento di veicoli solitamente più grandi delle telecabine ed al contenimento delle varie funi, ciascuna con i propri sistemi di ancoraggio e tensionamento.



Stazione di monte



Stazione di valle

Elemento caratteristico delle stazioni di funivia è la carrelliera delle funi portanti, un sistema di deviazione delle funi dalla traiettoria di linea ai tamburi di ancoraggio. La carrelliera è una delle zone più critiche di questa tipologia di impianto, poiché la flessione imposta dalla carrelliera comporta per la struttura della fune una compressione parziale delle fibre inferiori e una trazione delle fibre superiori. Questo tipo di sollecitazione, statica e permanente sulle sezioni di fune appoggiate alla carrelliera, non è particolarmente critica per l'integrità della fune. Molto più problematiche risultano le sezioni di fune immediatamente prima e dopo la carrelliera, che, a causa del peso e del moto dei veicoli, vengono sottoposte a flessione ciclica sulla parte terminale della carrelliera.

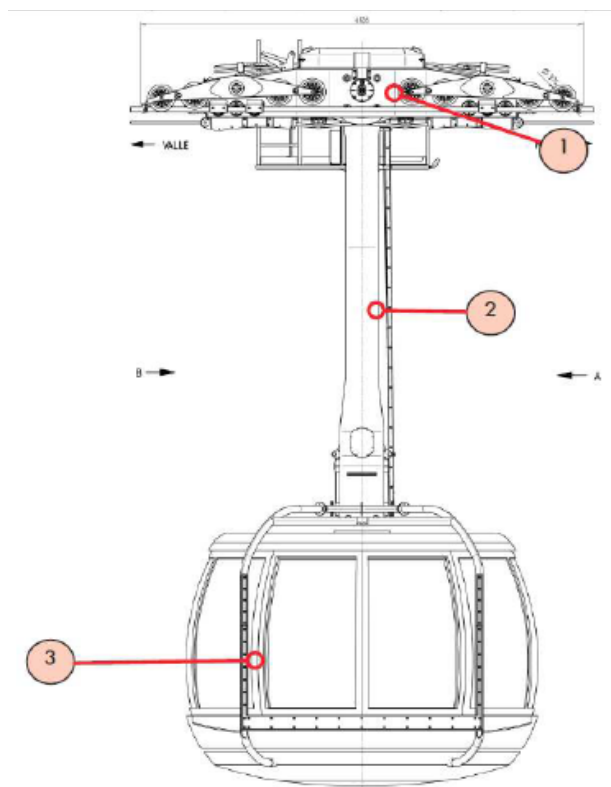
L'avvolgimento della fune attorno ai tamburi di ancoraggio comporta anch'esso sollecitazioni meccaniche di compressione e trazione date dal piegamento della fune nelle zone interessate. Anche in questo caso si tratta di sforzi permanenti, meno critici per l'integrità della fune portante.

Veicoli e attacchi di estremità

I veicoli impiegati nelle funivie sono cabine con capienza che può variare da poche unità sino a oltre un centinaio di persone.

Le vetture si compongono dei seguenti elementi:

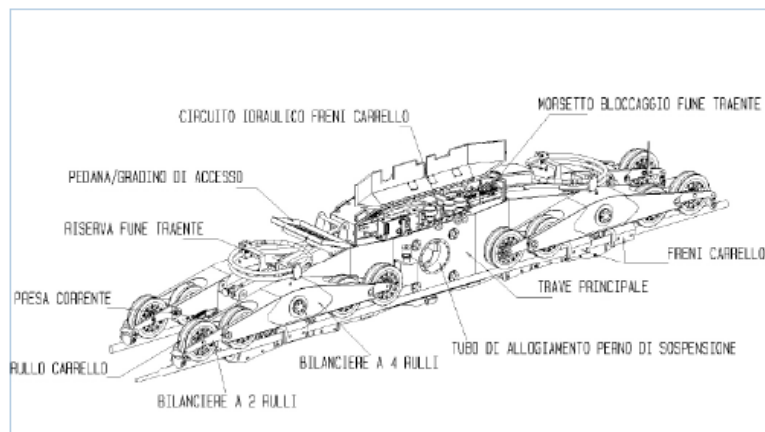
- carrello;
- sospensione;
- cabina.



Veicolo di funivia

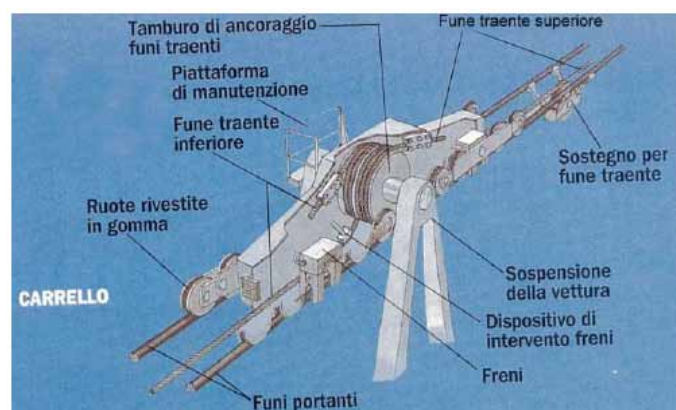
Disegno di un veicolo di funivia

Ciascuna vettura è collegata al rispettivo carrello tramite un elemento denominato sospensione, che è incernierata sul perno principale del carrello stesso, in modo da consentire una libera oscillazione longitudinale del veicolo. Il carrello ha la funzione di sostenere il peso della cabina, scorrere sulle funi portanti trainate dalla fune traente, assicurare stabilità alla vettura in caso di vento o frenate e fungere da ancoraggio per la fune traente superiore ed inferiore.



Disegno del carrello di un veicolo di funivia

Il collegamento della fune traente al carrello viene effettuato mediante teste fuse o tamburello. In quest'ultimo caso, la fune viene avvolta con più spire sul tamburo e poi morsettata.



Disegno di un attacco a tamburo di ancoraggio

Il carrello di ciascuna vettura è infine dotato di un apposito freno di emergenza che agisce sulla fune portante e che interviene automaticamente nel caso in cui si verifichi un allentamento delle funi di manovra (rottura della traente o della fune zavorra).

Anche il freno sulla fune portante è di tipo negativo, ossia la forza frenante dello stesso proviene da molle compresse che determinano la chiusura automatica delle pinze ogni volta che il sistema di sicurezza lo richieda o in caso di mancanza di alimentazione.

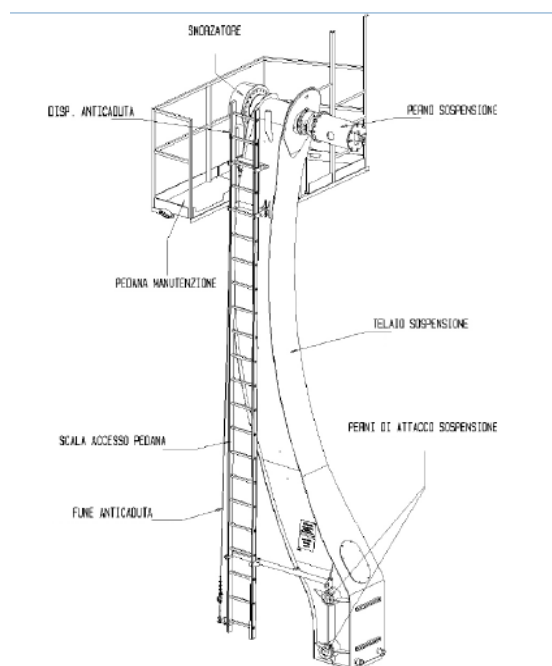
Di solito il sistema di apertura dei freni sulle funi portanti è di tipo idraulico, costituito cioè da un pistone idraulico attuatore, un'elettropompa e una coppia di elettrovalvole alimentate dalle batterie di vettura a 24 V in corrente continua (una coppia di prese di corrente poste alle estremità dei carrelli provvedono a ricaricare le batterie di vettura quando queste ultime si trovano sui respingenti delle stazioni).



Freno sulla portante

La **sospensione** collega il carrello alla cabina ed è generalmente composta dai seguenti principali componenti:

- perno di sospensione;
- smorzatore delle oscillazioni longitudinali;
- telaio;
- perni di attacco alla cabina;
- pedana di manutenzione;
- braccio di calata.



Disegno della sospensione di un veicolo di funivia

La **sospensione** ha il compito fondamentale di attutire le oscillazioni longitudinali che si creano con il passaggio del veicolo sui sostegni o a seguito di frenate, ed evitarne il trasferimento diretto al carrello.

La **cabina** è costituita da una parte strutturale e da una parte di rivestimento. Dotata di finestrate, 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.

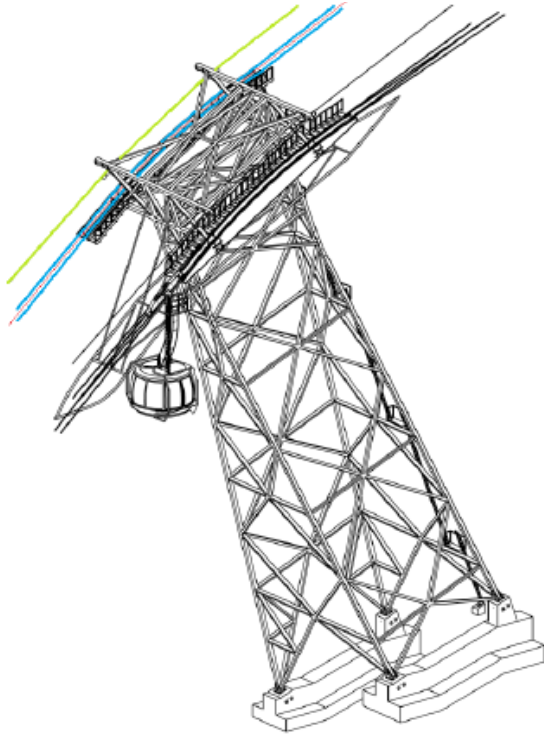
La cabina è dotata di batterie per l'alimentazione dei circuiti di comando e di sicurezza, per l'illuminazione interna ed esterna e per il comando delle porte automatiche. Quando le vetture sono in stazione, gli accumulatori in cabina vengono caricati a tampone, mediante gli appositi contatti sul carrello.

Linea

I **sostegni di linea** di funivia sono costituiti da una fondazione in calcestruzzo armato sulla quale poggia il fusto che, in genere, è formato da tralicci metallici ancorati alle fondazioni mediante tirafondi.

Alla sommità del fusto sono fissate le scarpe di deviazione delle funi.

I sostegni guidano e supportano le funi portanti, traenti e di soccorso, con quest'ultima sopraelevata rispetto alle altre.

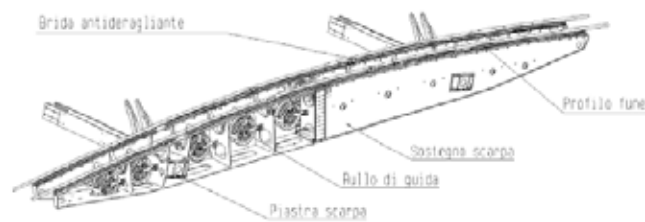


Disegno di un sostegno di funivia

Sostegno di funivia

La **scarpa di deviazione** delle funi è costituita da una trave appoggiata formata da lamiere verticali saldate su di una lamiera di base. La sommità è profilata con raggio di curvatura variabile, e sulla stessa è fissata la scarpa in bronzo per l'appoggio, la deviazione e la guida delle funi portanti.

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



Disegno di una scarpa di deviazione

Nel caso di funivie a più portanti, lungo la linea possono essere presenti dei cavallotti, dispositivi con la funzione di mantenere distanziate le funi portanti e la fune traente, riducendo il rischio di accavallamento tra le funi.



Impianto 2S

Circuito di sicurezza e di segnalazione

Nelle funivie al circuito di sicurezza sono assegnati compiti di sicurezza e di comunicazione tra le stazioni e le vetture. Nel dettaglio, i compiti del circuito di sicurezza sono i seguenti:

- permettere l'arresto dell'impianto dalle vetture e dalla stazione di rinvio;
- arrestare l'impianto in caso di accavallamento delle funi;
- creare un collegamento per i comandi ed i segnali tra le stazioni e le vetture;
- creare il collegamento telefonico tra le vetture e le stazioni.

Il circuito di sicurezza di funivia può essere di tipo galvanico o capacitivo-induttivo ed utilizza le funi traenti e portanti per il suo funzionamento.

A differenza degli altri impianti aerei non esistono quindi un circuito elettrico di sicurezza e un circuito telefonico fisici che collegano la stazione di rinvio con la stazione motrice.

2.7 Impianti 2S e 3S

Le funivie bifuni ad ammortamento automatico sono degli impianti a moto continuo che vengono realizzati in sostituzione di funivie bifuni a va e vieni per ottenere maggiori capacità di trasporto.

In esse, similmente alle funivie classiche, viene separata la funzione portante da quella traente, perciò mancano i sostegni linea con funzione di ritenuta in quanto di difficile realizzazione.

La tipologia che prevede l'impiego di una sola fune portante prende il nome di 2S, mentre quella che impiega due funi portanti per ciascun ramo viene denominata 3S.

La funzione di trazione dei veicoli, ciascuno dotato di carrello che corre lungo le funi portanti, viene svolta da un'apposita fune traente chiusa ad anello.

Ciascun veicolo (solo cabine per tollerare le maggiori altezze dal suolo) è dotato di morsa che si accoppia in partenza e si disaccoppia all'arrivo nella stazione opposta, in modo del tutto simile agli impianti monofune ad ammortamento automatico, cui ci si riferisce per quanto riguarda i meccanismi di stazione e le loro apparecchiature.

Ogni veicolo è quindi dotato di carrello idoneo a correre sulla fune portante (o sulle funi portanti). Nelle stazioni, le funi portanti vengono deviate verso i tamburi di ancoraggio e quindi i carrelli delle vetture corrono su rotaie sostitutive che ricordano quelle analoghe di giro stazione degli impianti di tipo monofune.



Impianto 2S

2.8 Teleferiche

La teleferica è un impianto a fune aereo adibito esclusivamente al trasporto merci.

Per tale motivo la costruzione e l'esercizio delle teleferiche non è soggetto alle stesse normative che regolano gli impianti in esercizio pubblico.

Le teleferiche sono impianti aerei impiegati per la movimentazione di materiali in contesti caratterizzati da dislivello od ostacoli fisici come, ad esempio, corsi d'acqua. Possono essere impianti fissi (come le teleferiche impiegate nel rifornimento dei rifugi alpini) o impianti mobili (ad esempio le teleferiche per il trasporto legname in aree di disbosco).

La tipologia più semplice è la "funi a sbalzo", detta anche "palorcio". Essa è utilizzata solitamente per il semplice trasporto in discesa a gravità di legname (fissato ad un gancio che scorre sulla fune), e consiste in un cavo metallico ancorato alle estremità e con un certo dislivello.



Teleferica mobile per trasporto legname

Teleferica mobile per trasporto legname

Esistono poi teleferiche cosiddette "industriali", che comprendono realizzazioni complesse, assimilabili agli impianti aerei per il trasporto di persone, con capacità di carico e livelli di automazione elevati. Queste solitamente hanno carattere stabile e possono essere costituite da una o più funi.

Teleferiche monofuni

Analoghe alle seggiovie monofuni, dove l'unica fune accomuna le funzioni di portante e traente. Il moto dei veicoli può essere "a va e vieni", come nelle classiche funivie aeree, oppure a moto continuo o semi-continuo, con agganciamento permanente o temporaneo, come nelle cabinovie.

Teleferiche bifuni

In questa famiglia di teleferiche, le funzioni di trazione (traente) e sostegno (portante) sono affidate appunto a due funi distinte. Le vie di corsa possono essere una o due e il funzionamento può essere "a va e vieni", a serraggio permanente o a serraggio temporaneo (detto anche "alla tedesca").

Le funi sono spesso contrappesate e – in presenza di lunghezze elevate – le portanti possono essere suddivise in tratte per il corretto tensionamento. In quest'ultimo caso i veicoli, nei passaggi da una portante all'altra, passano su apposite scarpe per scavalcare il punto di interruzione.

Le pendenze di questi impianti raggiungono il 100% e le velocità anche 4 m/s.

Teleferiche trifuni

Realizzate come le precedenti, si distinguono per la presenza di due funi portanti e una traente (o un anello trattivo). Questo termine viene talvolta impiegato per gli impianti bifuni dotati del citato semianello di zavorra.

3. Principi di meccanica applicata agli impianti a fune

3.1 Principi di dinamica

La movimentazione dei carichi negli impianti a fune avviene attraverso la trasmissione del moto, resa possibile da organi meccanici costituenti una catena cinematica. Si distinguono due tipologie di moto degli organi meccanici:

- il moto traslatorio avviene lungo una linea retta e non presenta componenti rotazionali;
- il moto rotatorio avviene attorno ad un asse e non presenta componenti di tipo traslatorio.

Un esempio di **moto traslatorio** è il movimento di un veicolo lungo la linea di un impianto. A regime, la velocità del veicolo è costante ed è data dalla seguente formula:

$v=s/t$ dove s è lo spazio percorso e t è il tempo impiegato.

In fase di avviamento, invece, la velocità del veicolo aumenta fino a raggiungere il valore di velocità di regime. È quindi necessario introdurre un'altra grandezza, l'accelerazione:

$a=(v_{\text{finale}}-v_{\text{iniziale}})/t$ dove t è il tempo impiegato per raggiungere v_{finale} partendo da v_{iniziale} .

Un esempio di **moto rotatorio** è il movimento della puleggia attorno all'albero. Tutti i punti della puleggia si muovono di moto circolare ad una velocità che aumenta allontanandosi dal centro, che è fermo. A regime, la velocità angolare della puleggia è costante ed è data dalla seguente formula:

$\omega=\theta/t$ dove θ è l'angolo di rotazione nell'intervallo di tempo t .

La velocità di un dato punto della puleggia è data dalla formula seguente:

$v=\omega \cdot r$ dove ω è la velocità angolare della puleggia (uguale per tutti i punti) e r è il raggio, ovvero la distanza del punto dal centro della puleggia.

La velocità angolare è espressa in rad/s (radianti al secondo). Se ad esempio la puleggia impiega 5 secondi a compiere un giro (0,2 giri al secondo), la velocità angolare in rad/s sarà pari a $2 \cdot \pi \cdot 0,2$.

Il **moto traslatorio** è generato da una forza, ossia un'azione esercitata su un corpo che ha un'intensità ed una direzione precise. L'unità di misura della forza è il newton (N).

Il moto rotatorio, invece, è generato da una coppia (o momento), data dalla forza applicata moltiplicata per il braccio di applicazione della forza, ovvero la distanza in metri tra il punto di applicazione della forza e l'asse di rotazione. L'unità di misura della coppia è il newton metro (N m).

L'energia necessaria (lavoro) per spostare un corpo da un punto all'altro (moto traslatorio) è definita come il prodotto della forza esercitata per lo spostamento risultante:

$L=F \cdot s$ dove F è la forza e s è lo spostamento.

Analogamente, l'energia necessaria (lavoro) per ruotare un corpo di un certo angolo (moto rotatorio) è definita come il prodotto della coppia esercitata per la rotazione risultante:

$L=M \cdot \theta$ dove M è la coppia e θ è l'angolo di rotazione.

L'unità di misura internazionale dell'energia è il joule (J), ma viene utilizzato più di frequente il wattora (Wh) o il suo multiplo kilowattora (kWh).

La potenza si esprime nell'unità di misura watt (W), ed è definita come l'energia prodotta, immagazzinata, trasferita o ceduta nell'unità di tempo:

$P=L/t=(F \cdot s)/t=F \cdot v$

$P=L/t=(M \cdot \theta)/t=M \cdot \omega$

Delle due formule precedenti, la prima è relativa al moto traslatorio, la seconda al moto rotatorio.

3.2 Sistemi di accoppiamento

I diversi organi meccanici interagiscono fra loro tramite dei vincoli. I vincoli accoppiano due corpi in modo tale da permettere solo alcuni tipi di moto e da impedirne altri: possono, ad esempio, consentire solo la traslazione, solo la rotazione, oppure trasformare un moto traslatorio in rotatorio e viceversa.

I diversi corpi, interagendo attraverso le loro superfici, sono soggetti a fenomeni di attrito che causano dissipazione di energia sotto forma di calore. Per ovviare a questo fenomeno si facilita l'interazione tra le componenti meccaniche con fluidi lubrificanti o cuscinetti.



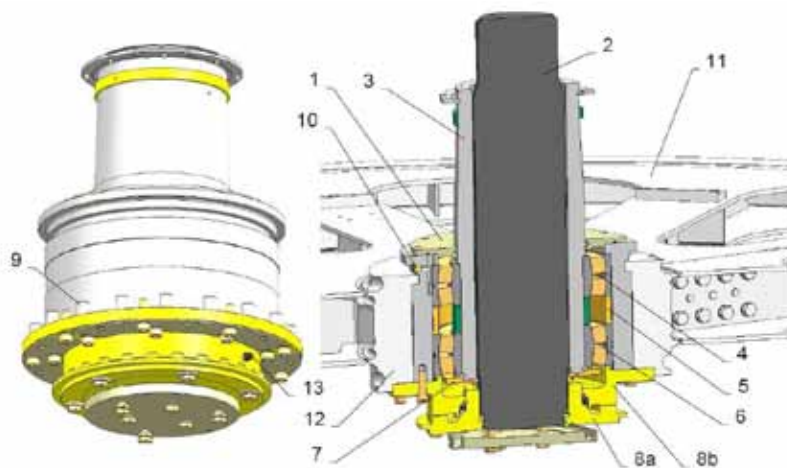
Cuscinetti a sfera

Per quanto riguarda gli impianti a fune, l'esempio più significativo di accoppiamento rotazionale con interposizione di cuscinetti è quello tra la puleggia ed il suo supporto.

3.2 Sistemi di trasmissione

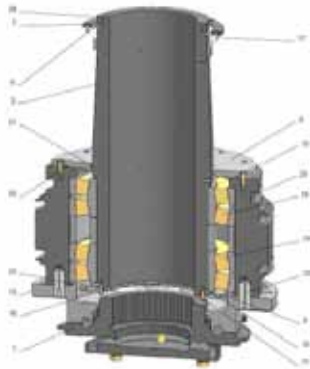
I sistemi di trasmissione trasferiscono il moto da un organo meccanico ad un altro. La trasmissione può avvenire con o senza una trasformazione del moto da traslatorio a rotazionale e viceversa.

Un esempio di sistema di trasmissione è il giunto rigido, che trasmette il moto rotatorio fra due alberi che si trovano sullo stesso asse. A questa famiglia appartiene il **giunto millerighe**, che trasmette il moto dall'albero lento dell'organo motore alla puleggia motrice.

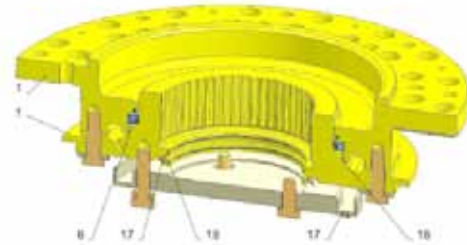


Cuscinetti a rulli cilindrici

Schema di un giunto millerighe con albero cavo



Sezione di giunto e albero cavo



Dettaglio del profilo dentato del giunto

Un altro sistema di trasmissione è quello a ruote dentate che può trasferire il moto rotatorio nei seguenti modi:

- moto rotatorio attorno ad un asse differente dal moto principale, tramite altre ruote dentate;
- moto rettilineo tramite l'accoppiamento con una cremagliera.

Quando si accoppiano ruote dentate di diametro diverso, si ha anche una variazione della velocità angolare e della coppia torcente: è questo il caso dei riduttori di giri. Negli impianti a fune, il riduttore è l'elemento che trasferisce il moto rotatorio dall'albero veloce (lato motore) all'albero lento (lato puleggia). Riducendo la velocità angolare del moto, si aumenta la coppia disponibile per movimentare la puleggia (su cui a sua volta scorre la fune che trasporta i carichi).

Altri sistemi di trasmissione sono cinghie, funi e catene. Negli impianti a fune, le cinghie si impiegano ad esempio per trasmettere il moto dal motore di recupero all'albero veloce, oppure per trasmettere il moto dalla fune alle ruote gommate del giro stazione negli impianti ad ammortamento automatico.

3.4 Aderenza della fune sulla puleggia

Per muovere la fune, le si applica una forza: questa forza è applicata tramite la puleggia motrice. Il movimento della fune si ottiene muovendo la puleggia motrice tramite l'argano motore. La puleggia motrice trasmette alla fune avvolta su di sé la forza necessaria al movimento.

Si deve tenere presente che l'attrito tra fune e puleggia garantisce la trasmissione del moto. Questo attrito viene definito come l'aderenza della fune sulla gola della puleggia: l'aderenza della fune traente sulla puleggia motrice si intende assicurata quando è soddisfatta la seguente relazione:

$$T/t = e^{\mu\theta}$$

dove T è lo sforzo di trazione nel ramo più teso, t è lo sforzo di trazione nel ramo meno teso, e è la base dei logaritmi naturali (2,7184...), θ in radianti è l'angolo di avvolgimento della fune sulla puleggia motrice.

4. Principi di idraulica applicata agli impianti a fune

4.1 Principi generali di idraulica

Nel settore degli impianti a fune è frequente l'utilizzo di sistemi idraulici (freni, sistemi di tensionamento, motori di recupero). Quando i fluidi impiegati sono oli, si parla di sistemi oleodinamici. In questi sistemi, l'energia viene immagazzinata e rilasciata dal fluido sotto forma di pressione per compiere un lavoro. Gli oli sono fluidi incomprimibili: ciò significa che non variano densità al variare della pressione cui sono sottoposti.

Le grandezze più importanti nei sistemi oleodinamici sono la pressione e la portata.

La pressione è definita come il rapporto tra una forza e la superficie su cui la stessa è applicata:
 $p = F/A$ dove p è la pressione, F è la forza e A è l'area su cui è esercitata.

La pressione può essere espressa in funzione di diverse unità di misura, ma la più utilizzata nelle applicazioni funiviarie è il bar. La pressione di 1 bar è approssimativamente la pressione atmosferica terrestre al livello del mare.

La portata è definita come la quantità di fluido che attraversa una certa sezione di area A nell'unità di tempo. La quantità

di fluido può essere una massa o un volume, a seconda che si parli, rispettivamente, di portata massica o di portata volumica. Nelle applicazioni oleodinamiche, in generale, si fa riferimento alla portata volumica, espressa in m³/s (metri cubi al secondo) o più frequentemente in l/s (litri al secondo):

$Q=V/t=v\cdot A$ dove Q è la portata, V è il volume di fluido trasportato nel periodo di tempo t , v è la velocità del fluido e A è l'area della sezione attraversata (ad esempio la sezione di un tubo).

Nel capitolo relativo ai principi di meccanica, si è visto come la potenza P sia data dalla seguente relazione:

$$P=F\cdot v$$

Poiché la forza F è riscrivibile come il prodotto fra la pressione p e l'area A , la formula precedente può essere scritta come di seguito:

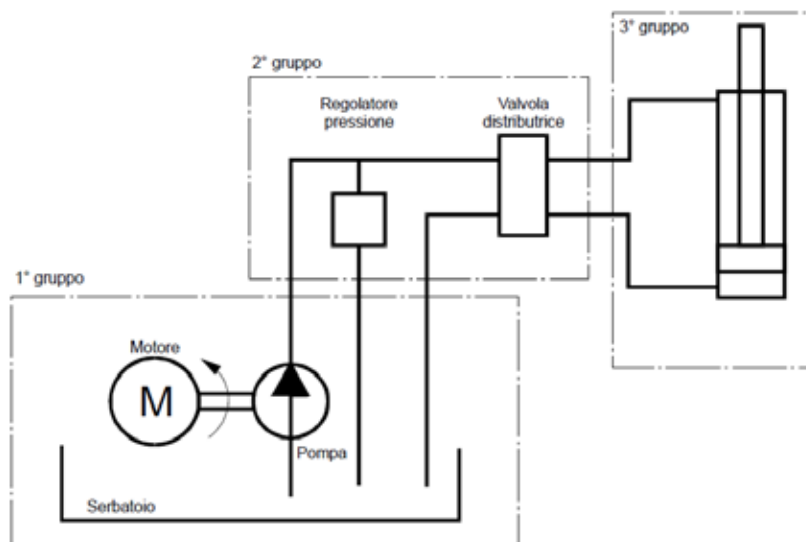
$$P=F\cdot v=p\cdot A\cdot v=p\cdot Q$$

Nei sistemi idraulici, dunque, la potenza può essere definita come il prodotto fra la pressione e la portata.

4.2 Sistemi oleodinamici

In sintesi, un sistema oleodinamico qualsiasi è formato da tre gruppi fondamentali:

- gruppo di trasformazione dell'energia in ingresso (pompe);
- gruppo di regolazione e distribuzione (tubi, regolatori, valvole);
- gruppo di trasformazione in energia meccanica (motori, attuatori).



Schema di un sistema oleodinamico

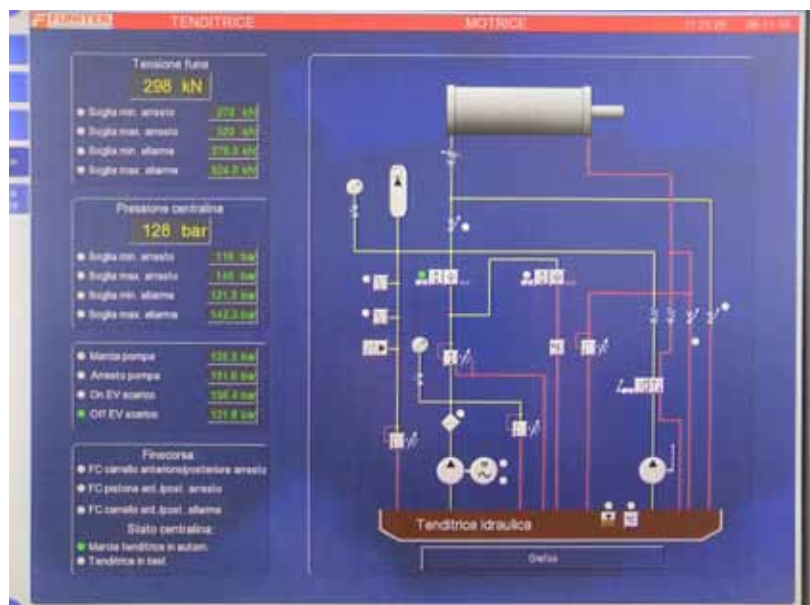
In generale, in un sistema idraulico, il fluido è prelevato da un serbatoio tramite una pompa alimentata da un motore, distribuito attraverso i tubi, intercettato da valvole e rubinetti, ed infine utilizzato nel punto di lavoro (ad esempio in un sistema cilindro-pistone). Il gruppo di regolazione e distribuzione prevede anche delle valvole e dei rubinetti di scarico dell'olio, che consentono di ridurre la pressione rimandando il fluido nel serbatoio.

Gli attacchi di una pompa idraulica da cui il fluido entra ed esce sono denominati rispettivamente aspirazione e mandata. Solitamente i primi due gruppi sono riuniti nella cosiddetta centralina idraulica.

I componenti dei sistemi oleodinamici sono riassunti di seguito.

- Le pompe sono gli elementi che trasferiscono l'energia elettrica in ingresso al fluido sotto forma di pressione per garantirne la circolazione. Le grandezze che caratterizzano una pompa sono la prevalenza (che è un'espressione della pressione che essa è in grado di conferire al fluido) e la portata. Nelle applicazioni funiviarie, ad ogni pompa elettrica si affianca sempre una pompa manuale in caso di indisponibilità della prima.
- Gli attuatori, come visto in precedenza, costituiscono il gruppo di trasformazione dell'energia di pressione in energia meccanica per compiere un lavoro meccanico. Negli impianti funiviari, gli attuatori sono generalmente dei sistemi assiali del tipo cilindro-pistone, che presentano diversi vantaggi, tra cui la compattezza, la bidirezionalità del moto e la forza costante lungo tutta la corsa del pistone.
- Le valvole sono elementi che intercettano il fluido per bloccarlo o deviarlo sotto certe condizioni. Possono essere di diversi tipi, elencati di seguito.

- Le valvole di ritegno consentono il passaggio dell'olio in un'unica direzione: sono infatti chiamate anche valvole di non-ritorno.
- Le valvole limitatrici di pressione, dette anche di sovrappressione o di massima pressione, scaricano l'olio nel serbatoio al raggiungimento di un certo valore di pressione impostato dalla taratura. Il principio di funzionamento si basa sulla presenza di una molla precaricata con una certa forza. Finché tale forza è maggiore della pressione in entrata nella valvola, quest'ultima rimane chiusa e lascia che la pressione del circuito continui ad aumentare; quando la pressione supera la forza di precarica della molla, la valvola si apre e scarica il fluido nel serbatoio per diminuire la pressione.
- Le valvole di inserzione sono costruttivamente analoghe alle valvole limitatrici, ma vengono utilizzate per cortocircuitare il flusso di olio nei primi istanti di avvio della pompa per smorzare i carichi cui quest'ultima è sottoposta, fino a quando il motore che la alimenta non giunge a regime.
- Le valvole riduttrici di pressione riducono la pressione in entrata ad un valore costante ed indipendente da essa: queste valvole permettono di creare dei rami di circuito che lavorano a pressioni più basse rispetto al resto del sistema.
- Le valvole proporzionali, o elettrovalvole, sono usate per regolare il flusso di olio. Esse, infatti, si aprono o chiudono in modo proporzionale ad un segnale di tensione in ingresso. Questo tipo di comando permette una regolazione molto precisa della portata di olio: per questo motivo sono utilizzate, ad esempio, nei freni idraulici ad azione modulata, per rendere pressoché costante la decelerazione in fase di frenata in funzione del carico dell'impianto.
- I manometri sono strumenti posti lungo il circuito che misurano la pressione idraulica.
- I pressostati e i trasduttori di pressione sono strumenti di misura che convertono il valore di pressione in un segnale elettrico (o digitale), che viene in seguito elaborato dal sistema di sorveglianza per la regolazione ed il controllo.
- Altri elementi dei sistemi oleodinamici sono serbatoi, filtri, rubinetti, termometri, flussostati e accumulatori (chiamati anche polmoni idraulici o vasi di espansione).



Esempio di circuito idraulico di tenditrice

5. Principi di elettrotecnica

5.1 Principi generali di elettrotecnica

Corrente ed elettroni

Nell'atomo gli elettroni ruotano attorno al nucleo e sono vincolati: gli elettroni liberi sono quelli che possono allontanarsi dal nucleo. Il movimento degli elettroni liberi è facilitato se lo spazio tra gli atomi è maggiore; avviene viceversa se lo spazio è minore. Esercitando una pressione unidirezionale, gli elettroni si spostano in quella direzione formando un flusso di elettroni (corrente elettrica). Nel rame (Cu) gli spazi sono ampi. Nel ferro (Fe) gli spazi sono più piccoli. Nella porcellana sono infinitesimamente piccoli. Quindi, nel caso del rame si avrà un grande flusso di elettroni (corrente) mentre nel caso della porcellana non si avrà alcun flusso.

Conduttore, semiconduttore, isolante

A seconda del materiale, il flusso degli elettroni (corrente) è più o meno intenso: si distinguono quindi tre classi di materiali. I conduttori (Cu, Al), i semiconduttori (Si, Ge), i non conduttori o isolanti (porcellana, vetro, carta, gomma, svariati tipi di plastica, oli, aria).

Tensione elettrica e sue misure

Un esempio rilevante è quello della batteria. È una fonte di elettroni, efficace in una sola direzione. Sono importanti i concetti di tensione continua e di polo positivo e negativo. L'unità di misura è il volt (indicato con V). Lo strumento di misura è il voltmetro.

Corrente elettrica e sue misure

La corrente elettrica ha un legame diretto con la tensione: se esiste tensione non è detto che circoli corrente; se esiste corrente esiste anche la tensione. La tensione spinge la corrente lungo un conduttore; se la tensione è impressa da una batteria si ha circolazione di corrente continua (DC), mentre nel caso la tensione sia impressa da una sorgente di tensione alternata, si ha circolazione di corrente alternata (AC). L'unità di misura è l'ampere (A). Lo strumento di misura è l'amperometro.

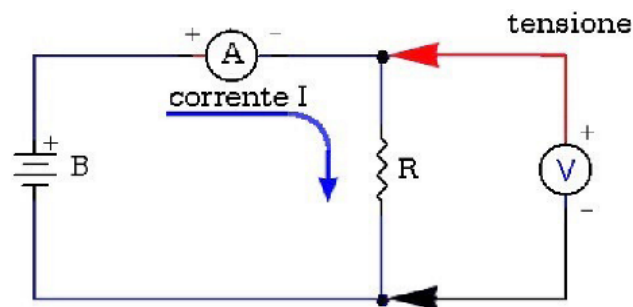
Resistenza elettrica

La resistenza elettrica è la proprietà che ha un materiale di inibire più o meno il flusso degli elettroni. Dipende dalla sezione e dalla lunghezza del conduttore. L'unità di misura della resistenza è l'ohm (Ω). La conducibilità del materiale è importante, ma si tenga conto che l'argento è un buon conduttore (buona conducibilità) ma risulta molto costoso. Il rame è un buon conduttore, con caratteristiche e proprietà che si avvicinano a quelle dell'argento, ma è molto più economico. L'alluminio è ancora più economico ma meno prestante del rame. Le resistenze sono caratteristiche dei cavi elettrici, possono essere componenti dei circuiti elettrici ed elettronici, si utilizzano per tarare su valori ben precisi tensioni e correnti. Possono essere di tipo fisso o variabile (potenziometri) e sono di potenza diversa a seconda del loro impiego e della loro destinazione di utilizzo.

Legge di Ohm

Tensione (V), corrente (A) e resistenza (R) sono legate tra loro dalla legge di Ohm:

$$V=R \cdot I \quad I=V/R \quad R=V/I$$



Rappresentazione di tensione e corrente in un circuito elettrico

La corrente aumenta se la tensione aumenta o la resistenza diminuisce; la corrente diminuisce se la tensione diminuisce e la resistenza aumenta.

Potenza elettrica ed energia elettrica

La potenza elettrica è pari al prodotto di tensione e corrente:
 $P=V \cdot I$ L'unità di misura della potenza è il watt (W) o il suo multiplo kW.

$$P=V \cdot I=R \cdot I \cdot I=R \cdot I^2$$

L'energia è data dal prodotto della potenza per un tempo t:
 $E=P \cdot t$ L'unità di misura dell'energia è il watt ora (Wh) o il suo multiplo kWh.

Tensione alternata e corrente alternata

La frequenza della tensione e della corrente si misura in hertz (Hz). 1 Hz è pari a un ciclo al secondo. La frequenza di alimentazione nei sistemi a corrente alternata è pari a 50 Hz.

Resistore

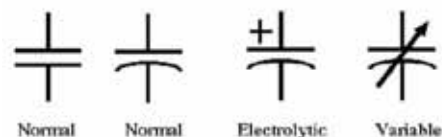
Esistono vari tipi di resistori. Possono avere resistenze fisse o resistenze variabili, a un giro o multigiro.
 Una resistenza elettrica percorsa da una corrente I e ai cui capi vi è una differenza di potenziale (tensione) V, dissipa una potenza termica (calore) pari a P:
 $P=V \cdot I=R \cdot I \cdot I=R \cdot I^2$ Questa relazione viene chiamata "effetto Joule".



Resistore

Condensatore

Esistono vari tipi di condensatore: la grandezza caratteristica di un condensatore è la capacità, la cui unità di misura è il farad (F), con i suoi sottomultipli: pico, nano, micro, milli.



Condensatore

Induttore

L'induttore è un componente che genera un campo magnetico al passaggio di corrente elettrica. La sua grandezza caratteristica è l'induttanza, misurata in henry (H).

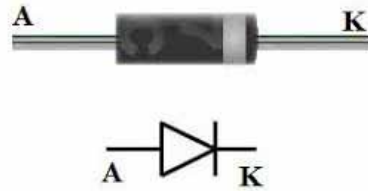


Induttore

Diodo

Il diodo è un componente elettronico passivo e presenta una bassa resistenza quando è polarizzato direttamente, un'al-

tissima resistenza quando è polarizzato inversamente. Un esempio di applicazione dei diodi è il ponte di Graetz (raddrizzatore a doppia semionda).



Diode

Tiristore

Il tiristore è simile al diodo, dispone di un terminale di comando (gate) utilizzato per accendere il componente. Una volta acceso il diodo, conduce. Non è possibile spegnere il tiristore finché c'è tensione applicata ai suoi terminali.

Accumulatore e batterie

Le batterie forniscono solo corrente continua e alimentano circuiti di piccola potenza, quali piccoli utilizzatori, telefoni, impianti di segnalazione, altri utilizzatori indipendenti dalla rete elettrica.

Dinamo tachimetrica

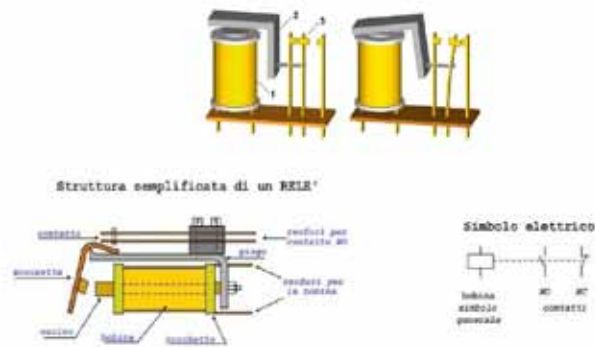
È un trasduttore di velocità angolare e un generatore di corrente continua (quasi ideale, in quanto in realtà le oscillazioni generate vengono eliminate da un filtro passa basso). Fornisce una tensione continua proporzionale al numero di giri. Negli impianti a fune viene trascinata dal motore elettrico principale e dalla puleggia motrice. Fornisce una tensione continua al variare della velocità dell'impianto.



Dinamo tachimetrica

Relè

Il relè è un componente elettrico il cui azionamento avviene mediante un elettromagnete costituito da una bobina di filo conduttore elettrico, generalmente di rame, avvolto intorno ad un nucleo di materiale ferromagnetico. Al passaggio di corrente elettrica nella bobina, l'elettromagnete attrae l'ancora alla quale è vincolato il contatto mobile che quindi cambierà posizione. Nella figura è rappresentato un relè con tre contatti: uno mobile e due fissi. Quando il relè è a riposo il contatto mobile (3) è in contatto con uno dei due contatti fissi. Quando il relè è "eccitato", cioè quando la bobina (1) è percorsa da corrente elettrica, l'ancora (2) si sposta portando il contatto mobile sull'altro contatto.



Relè

Relè elettronico

In relazione alla grandezza alla quale sono sensibili, i relè vengono classificati come voltmetrici, amperometrici, wattmetrici, frequenzimetrici, magnetotermici, termici, tachimetrici.

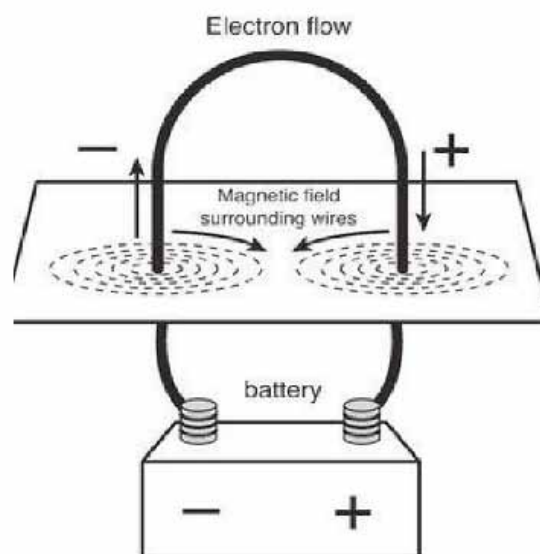
I relè di massima sono quelli che intervengono quando una certa grandezza supera un valore prefissato; i relè di minima intervengono quando la grandezza da controllare scende al di sotto di una soglia determinata; i relè differenziali sono sensibili alla differenza fra due grandezze, ad esempio tra quella di ingresso e quella di uscita da un certo dispositivo. Possono essere dotati di un blocco, che rende stabile la posizione di un contatto, indipendentemente dalla modifica della condizione di eccitazione: un ripristino eventuale della condizione precedente del contatto prevede un riarmo manuale. Il relè si dice a scatto istantaneo se il suo tempo di intervento è limitato solo dall'inerzia delle masse in gioco. In molti casi è, tuttavia, desiderabile far ricorso a un relè a scatto ritardato, che esplica la sua azione dopo un certo ritardo, eventualmente programmabile. La figura riproduce un possibile simbolo del relè: i due terminali costituiscono l'accesso alla corrente di controllo (o eccitazione); a lato c'è un tipico schema "logico" dell'azione del relè su una molteplicità di contatti mobili, che possono essere in chiusura, in apertura o misti.

Effetto magnetico della corrente elettrica

Ogni conduttore percorso da corrente diventa sede di un campo magnetico di intensità proporzionale alla corrente che lo percorre e avente direzione che dipende dal verso della corrente che in esso circola.

Se il conduttore è avvolto in modo da formare una bobina, l'effetto di ciascuna spira si somma a quello delle spire adiacenti, ottenendo così un dispositivo che si comporta come un magnete naturale che prende il nome di elettromagnete.

L'introduzione all'interno della bobina di un nucleo di materiale ferromagnetico aumenta la concentrazione delle linee di campo magnetico e quindi l'efficacia dell'elettromagnete.



Campo magnetico generato da corrente elettrica

Elettromagnete

Si definisce elettromagnete quel dispositivo che, utilizzando l'effetto magnetico della corrente elettrica, è in grado di fornire su un elemento magnetizzabile un campo magnetico di valore opportuno che, per induzione magnetica su altro elemento magnetizzabile mobile, promuove su quest'ultimo una forza di attrazione.

Tale dispositivo è realizzato con una o più bobine elettriche avvolte su uno o più nuclei di materiale ferromagnetico magneticamente collegati tra di loro.

A seconda del tipo di alimentazione, si parla di elettromagnete in corrente continua o elettromagnete in corrente alternata. Gli elettromagneti in corrente continua sono utilizzati per associare un consenso marcia alla posizione meccanica dell'organo che provvede a realizzarla. Ad esempio, l'asta a cremagliera della pompa di iniezione del motore Diesel ed il suo consenso alla marcia, oppure la parte di contrappeso del freno che deve essere trattenuta durante la frenatura differenziata, ecc.

Gli elettromagneti in corrente alternata impiegati sugli impianti a fune sono esclusivamente di tipo trifase e vengono impiegati per l'apertura del freno di servizio quando quest'ultimo è del tipo a contrappeso.

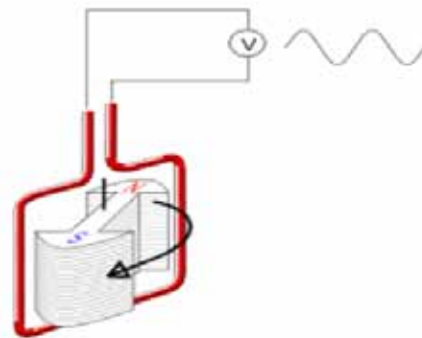
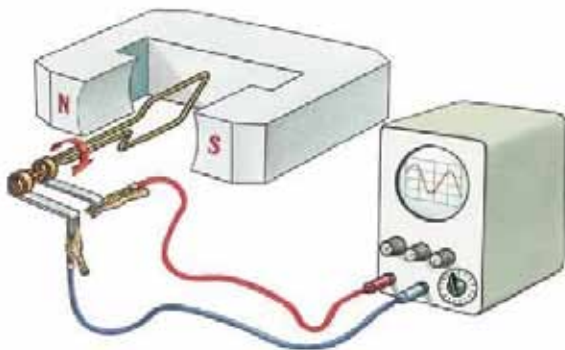
Per gli elettromagneti in alternata, la corrente è molto elevata quando l'ancora da attrarre è lontana, e rientra poi entro il valore di targa quando l'ancora è attratta e il traferro (distanza tra la parte fissa e quella mobile) è ridotto al minimo (quasi zero).

Tale comportamento giustifica il fatto che l'elettromagnete può surriscaldarsi fino alla sua distruzione se, per qualche motivo, la sua corsa (in chiusura) non viene completata fino a raggiungere la condizione di traferro minimo e quindi di corrente minima.

Induzione elettromagnetica

Quando il campo magnetico concatenato con una spira modifica la sua intensità, fa sì che la spira diventi sede di una forza elettromotrice (f.e.m.) proporzionale alla citata variazione che ha direzione tale che l'eventuale corrente ad essa conseguente produrrebbe un campo magnetico che si oppone alla variazione che l'ha generata (legge di Lenz).

La variazione del campo magnetico concatenato può essere ottenuta sia per rotazione della spira in un campo magnetico costante, sia per rotazione del magnete (campo magnetico) all'interno della spira ferma.

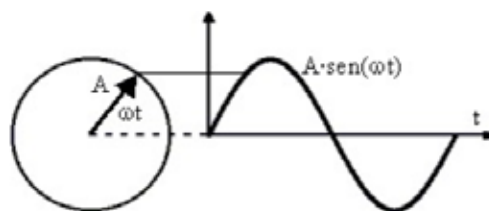


Spira rotante in campo magnetico costante

Magnete rotante in spira ferma

Appare evidente la maggiore semplicità della seconda soluzione per la quale viene a mancare il dispositivo di collegamento elettrico con i circuiti rotanti (collettore).

In ogni caso, dopo un intero giro di rotazione, della spira o del magnete, si ritorna alle condizioni di partenza. Riportando in un grafico il valore della f.e.m. generata durante l'intero giro, si ottiene una curva denominata sinusoidale, rappresentata nella figura seguente.



Sinusoidale

Dal grafico si può dedurre che a partire dal valore nullo, al tempo zero, la sinusoidale assume sempre il valore della proiezione del vettore A sull'asse verticale. Tale proiezione aumenta per il primo quarto di giro fino al valore massimo ($+A$), quindi decresce nel secondo quarto ritornando a zero, completando con ciò la semionda positiva; poi continua a decrescere nel terzo quarto di giro raggiungendo il valore minimo ($-A$), infine ricresce nell'ultimo quarto per tornare alle

condizioni di partenza (zero) completando l'intera onda con la semionda negativa.

Come anticipato nei paragrafi precedenti, la f.e.m. generata da un tale dispositivo viene chiamata "alternata" (la polarità, infatti, si alterna ciclicamente) ed è caratterizzata dalle seguenti grandezze.

Periodo T: tempo del ciclo per ritornare alle condizioni iniziali.

Frequenza f: numero di cicli completati in un secondo.

$f=1/T$ Ampiezza tra i valori massimi delle due semionde.

La frequenza dipende dalla velocità di rotazione del magnete o della spira. Per ottenere la frequenza industriale europea di 50 Hz, la spira o il magnete deve ruotare ad una velocità pari alla seguente:

$$50 \text{ cicli/s} \cdot 60 \text{ s} = 3000 \text{ giri/s}$$

L'ampiezza dipende dal valore assoluto della f.e.m. generata, che dipende sia dal valore assoluto del campo magnetico concatenato sia dalla velocità di rotazione che determina la variazione di flusso magnetico concatenato.

Un altro modo per ottenere un campo magnetico variabile nel tempo è quello di utilizzare una bobina ed alimentarla con una sorgente alternata. Infatti la corrente alternata che ha l'andamento sinusoidale già visto, genera un campo magnetico della stessa forma e quindi variabile con la stessa legge sinusoidale.

Poiché la f.e.m. dipende dalla variazione del campo magnetico, essa sarà nulla sui massimi e sui minimi della corrente mentre sarà massima negli istanti di corrente nulla (massima variazione nel tempo), ritrovandosi così per la f.e.m. indotta la stessa forma d'onda sinusoidale ma sfasata di un quarto di periodo ("cosinusoidale").

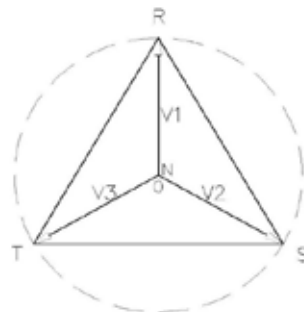
L'induzione elettromagnetica è inoltre responsabile del comportamento elettrico dei dispositivi in grado di generare un campo magnetico. Infatti, per tali dispositivi, anche se alimentati in corrente continua, il momento dell'accensione e il momento dello spegnimento sono i transitori nei quali si registra una variazione di campo magnetico e che quindi inducono delle forze elettromotrici che, per la legge di Lenz, tendono a ostacolare la variazione impressa.

La legge di Ohm, durante tali fasi, deve essere corretta con un ulteriore termine che tenga conto della variazione della corrente nel tempo. Il coefficiente di tale termine viene chiamato "induttanza" e assume ovviamente maggiore importanza nei circuiti elettrici alimentati in alternata, per i quali la corrente non è mai costante. L'unità di misura dell'induttanza, come visto, si chiama henry (H) e viene così definito: "una bobina ha l'induttanza di 1 H se ai suoi capi nasce una f.e.m. di 1 V quando la corrente varia di 1 A/s".

La fornitura dell'energia elettrica viene effettuata in corrente alternata proprio per la facilità con la quale si può generarla. Per il suo trasporto sono previste le linee elettriche che impiegano due conduttori per il sistema monofase (una sola bobina generatrice) e solamente tre conduttori per il sistema trifase (tre bobine generatrici). Il generatore trifase, infatti, è costituito da tre bobine identiche indipendenti posizionate a 120° tra di loro, con il solito magnete rotante attorno all'asse. Ciascuna bobina diventa sede di f.e.m. alternata avente la stessa ampiezza e la stessa frequenza delle altre, con la sola differenza riguardante la fase di inizio della sinusoide.

Se rappresentiamo con un vettore verticale di lunghezza V la f.e.m. della bobina 1 (convenzionalmente con fase zero), possiamo rappresentare le altre due (la fase 2 e la fase 3) con due vettori della stessa lunghezza ma sfasati di 120° . La somma vettoriale di tali tre f.e.m. risulta sempre zero, e ciò ci consente di dire che sarà pari a zero anche la somma vettoriale delle tre eventuali correnti che circolassero nei tre circuiti identici cui fossero applicate. Questa caratteristica consente di omettere i tre conduttori di ciascuna fase collegati con il centro stella (O) appena le tre fasi venissero utilizzate contemporaneamente come sistema trifase, oppure ridotti ad un solo conduttore (che prende il nome di neutro N) qualora si utilizzassero anche separatamente.

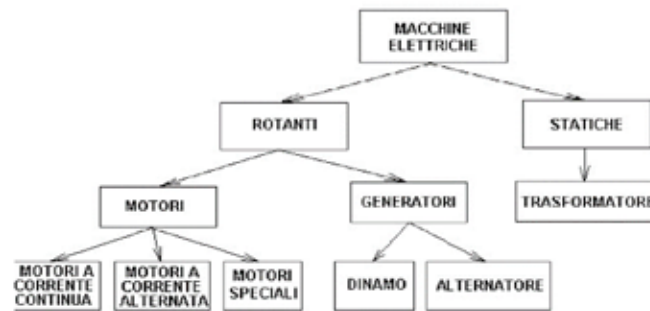
Le tre f.e.m. di fase di valore V composte a stella presentano ai tre vertici della stella le tensioni concatenate R-S, S-T, e T-R di valore $\sqrt{3} V$, come è possibile calcolare applicando le proprietà dei triangoli equilateri, per cui da tre tensioni di fase di 220 V si ottiene un sistema trifase a 380 V.



Rappresentazione delle fasi del sistema trifase

5.2 Macchine elettriche

Le macchine elettriche sono dispositivi che convertono l'energia elettrica in meccanica o viceversa, oppure modificano le forme dell'energia elettrica.



Classificazione delle macchine elettriche

Trasformatori

Il trasformatore è una macchina statica (non ha parti mobili) che ha il compito di trasformare i parametri dell'energia elettrica, nella forma della corrente alternata, ma non produce né riceve lavoro meccanico.

Il trasformatore è una macchina elettrica, che ha lo scopo di trasformare il valore della tensione e della corrente alternata, mantenendo invariata la potenza e la frequenza.

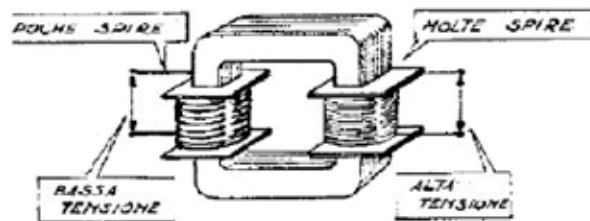
È costituito da due circuiti detti avvolgimenti, formati da spire isolate elettricamente tra loro, e avvolte su di un nucleo di ferro. L'avvolgimento che riceve corrente dalla linea di alimentazione viene detto primario, mentre quello che la fornisce all'utilizzatore viene detto secondario.

Il valore della tensione secondaria V_2 dipende dalla tensione primaria V_1 e dal rapporto tra il numero di spire del secondario N_2 ed il numero di spire del primario N_1 :

$$V_2 = V_1 \cdot N_2 / N_1$$

Il rapporto tra il numero di spire del secondario ed il numero di spire del primario corrisponde al rapporto tra la tensione secondaria e la tensione primaria e viene detto rapporto di trasformazione.

Maggiore è il numero di spire di un avvolgimento, maggiore è la tensione ai suoi capi. Minore è il numero di spire di un avvolgimento, minore è la tensione ai suoi capi.



Schema di un trasformatore

Pertanto, l'avvolgimento ad alta tensione (A.T.), è costituito da un elevato numero di spire, mentre quello a bassa tensione (B.T.), è costituito da un basso numero di spire.

L'intensità di corrente che attraversa il circuito secondario di un trasformatore, a parità di tensione secondaria, dipende dall'impedenza del circuito esterno collegato al trasformatore stesso (legge di Ohm). La corrente secondaria provoca un passaggio di corrente nel circuito primario, il cui valore dipende dal rapporto di trasformazione del trasformatore. In un trasformatore la potenza assorbita dal primario P_1 è uguale, escluse le perdite, a quella fornita dal secondario P_2 :

$$P_1 = V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2 = P_2$$

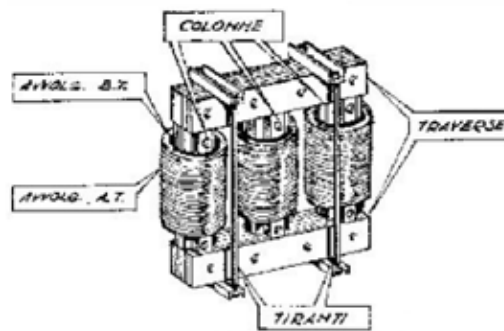
$$I_1 = I_2 \cdot V_2 / V_1 \quad I_2 = I_1 \cdot V_1 / V_2$$

Ad esempio, in un trasformatore riduttore da alta a bassa tensione con rapporto di trasformazione 500 V/125 V, alimentando un utilizzatore che assorbe 4 A, si provoca un passaggio di corrente nel primario data dalla seguente formula:

$$I_1 = 4 \cdot (125/400) = 1A$$

I trasformatore più usati sono monofasi e trifasi.

I trasformatore monofasi sono costituiti da un avvolgimento A.T. ed uno di B.T. sistemati su di un nucleo, formato da lamierini di ferro isolati fra loro allo scopo di limitare la circolazione in esso di correnti parassite. Il nucleo magnetico viene fissato e pressato per evitare rumori causati dall'attrazione magnetica tra lamierino e lamierino. In questo tipo di nucleo si ha che il flusso creato da un avvolgimento viene in parte disperso nell'aria, e quindi non interseca l'altro avvolgimento. I trasformatore trifase sono costituiti da un nucleo a tre colonne, su ciascuna delle quali viene sistemato un avvolgimento A.T. ed uno B.T. Le colonne vengono chiuse e fissate all'estremità, mediante tiranti, a due traverse o gioghi. Ciò rende possibile la sostituzione degli avvolgimenti evitando di smontare totalmente il nucleo del trasformatore.



Trasformatore trifase

Motori elettrici in corrente continua

Secondo i principi dell'elettromagnetismo, una spira percorsa da una corrente all'interno di un campo magnetico viene sottoposta ad una forza che tende a farla ruotare. La forza è proporzionale all'intensità del campo magnetico, alle dimensioni della spira e alla corrente che la percorre. Il motore elettrico basa il proprio funzionamento su questo principio. Infatti esso può essere schematizzato come un circuito costituito da molte spire avvolte attorno a un elemento di materiale ferromagnetico (rotore), immerso in un campo magnetico generato da un elettromagnete fisso (statore).

Lo statore costituisce il sistema di eccitazione o sistema induttore, il rotore costituisce il sistema indotto che prende anche il nome di armatura.

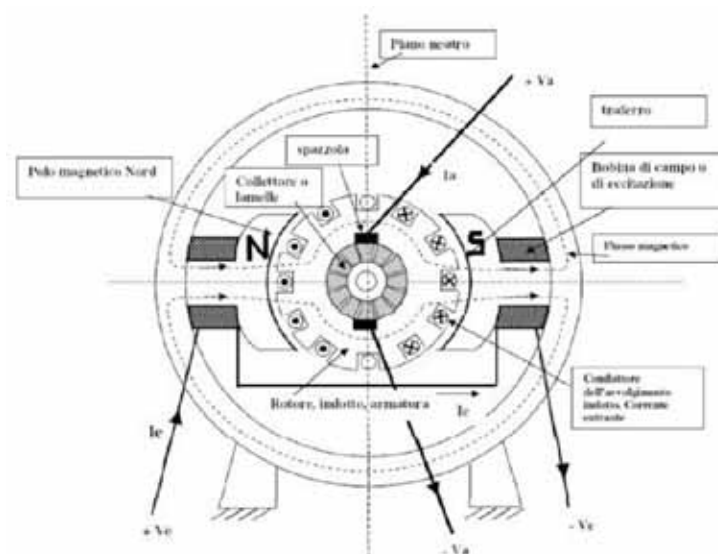
Il motore a corrente continua (c.c.) è usato prevalentemente negli azionamenti elettrici, dove si rende necessario il controllo e la regolazione della velocità di rotazione. Per realizzare tale controllo viene usato principalmente il motore del tipo ad eccitazione indipendente, chiamato così perché il sistema di eccitazione è elettricamente separato, quindi indipendente, dal sistema indotto.

Possiamo distinguere i motori ad eccitazione indipendente in due famiglie:

- motori a magneti permanenti;
- motori a eccitazione separata a campo avvolto.

I primi sono motori di piccola potenza; in essi il campo magnetico induttore è generato da una coppia di poli magnetici realizzati mediante due magneti permanenti di opposta polarità.

I secondi possono raggiungere potenze di centinaia di kW; in essi il campo magnetico induttore è generato da appositi avvolgimenti (avvolgimenti di campo) disposti intorno alle espansioni polari dello statore e sono percorsi da corrente continua (corrente di eccitazione) in modo tale da formare due poli di segno opposto, o quattro o sei poli, alternativamente N-S-N-S.



Motore in corrente continua

Lo statore è di forma cilindrica cava, di materiale ferromagnetico; lo statore è dotato all'interno di due prolungamenti intorno ai quali sono collocate le bobine di eccitazione. I prolungamenti terminano con due espansioni che prendono il nome di espansioni polari e realizzano i poli magnetici di eccitazione N e S.

Le bobine di eccitazione costituiscono il circuito elettrico di eccitazione. Esso è alimentato con una tensione, detta tensione di eccitazione, V_e . Questa determina la corrente di eccitazione:

$I_e = V_e / R_e$ dove R_e è la resistenza del circuito di eccitazione.

La corrente di eccitazione a sua volta genera il flusso di eccitazione Φ , che è alla base del funzionamento della macchina. Il piano intermedio tra i due poli è detto piano neutro.

Il rotore, chiamato comunemente anche con i termini indotto o armatura, di forma cilindrica, è di materiale ferromagnetico laminato, al fine di ridurre al minimo le perdite di potenza.

Sulla periferia del rotore sono ricavate delle scanalature o cave in cui sono alloggiati i conduttori dell'avvolgimento di indotto. Tali conduttori sono percorsi dalla corrente I_a , detta corrente di armatura.

L'avvolgimento di armatura, alimentato dalla tensione di armatura V_a , è realizzato in maniera tale da formare una serie di spire, nelle quali tutti i conduttori sotto l'influenza di un polo sono percorsi dalla corrente I_a nello stesso verso, mentre tutti i conduttori sotto l'influenza del polo di nome opposto sono percorsi dalla stessa corrente I_a ma nel verso opposto al precedente (quindi sono percorsi dalla corrente $-I_a$).

La distribuzione della corrente I_a nei conduttori e il suo andamento particolare in un conduttore in corrispondenza del piano neutro è ottenuto grazie al collegamento con il sistema collettore-spazzole.

Il collettore è a lamelle: è un organo meccanico di forma cilindrica, solidale col rotore e posizionato sul prolungamento dell'albero del rotore, costituito da un certo numero di settori di forma opportuna, di rame, isolati tra di loro e rispetto all'albero del motore. Ogni lamella è collegata a un conduttore dell'avvolgimento di armatura.

Il collettore è la parte più critica del motore a corrente continua per motivi di ordine meccanico (usura meccanica a causa dello strisciamento delle spazzole che poggiano su di esso con una certa pressione per garantire un buon contatto elettrico) ed elettrico (a causa dello scintillio che si ha tra spazzole e lamelle quando ogni spazzola perde il contatto con una lamella e attiva un nuovo contatto con la lamella che segue nel senso della rotazione).

Le spazzole sono di grafite e hanno la funzione di permettere un buon collegamento elettrico del circuito indotto, in permanente rotazione, con il circuito esterno di alimentazione, che è fisso.

Quando il motore è alimentato dalla corrente di eccitazione, e quindi è attivo il flusso magnetico di eccitazione, ogni conduttore dell'avvolgimento di armatura, alimentato dalla tensione di armatura e quindi percorso dalla corrente di armatura, subisce una forza.

La somma di tutte le forze applicate a tutti i conduttori avvolti attorno al rotore costituisce la forza complessiva con cui il rotore ruota, ovvero la coppia totale.

Questa coppia risulta costante se il numero dei conduttori è sufficientemente grande, ed è proporzionale al flusso di eccitazione Φ e alla corrente di armatura assorbita dal motore.

Essendo il flusso magnetico determinato dalle caratteristiche costruttive del motore, si ha che, in condizioni ideali, cioè senza attriti o perdite nel ferro o dissipazioni di potenza nel circuito elettrico, la coppia motrice è direttamente proporzionale alla corrente di armatura.

Da quanto descritto, è possibile dedurre quali sono i criteri con cui può essere invertito il senso di rotazione del motore: o invertendo il verso della corrente assorbita dal motore (quindi mediante inversione della polarità della tensione di alimentazione), oppure invertendo il segno del flusso di eccitazione, quindi invertendo il verso della corrente di eccitazione, e quindi, in definitiva, invertendo la polarità della tensione di eccitazione. Data la rotazione delle spire dell'armatura all'interno del campo magnetico dello statore, il fenomeno dell'induzione elettromagnetica genera all'interno delle spire stesse una corrente che si oppone alla rotazione, ed è tanto più grande quanto maggiore è la velocità di rotazione. Tale corrente scorre in senso contrario alla corrente fornita all'armatura dall'alimentazione, diminuendone il valore all'aumentare dei giri del motore. Di conseguenza, la corrente di armatura che effettivamente circola nei conduttori del rotore, e di conseguenza la coppia motrice, sono entrambe inversamente proporzionali alla rotazione del motore.

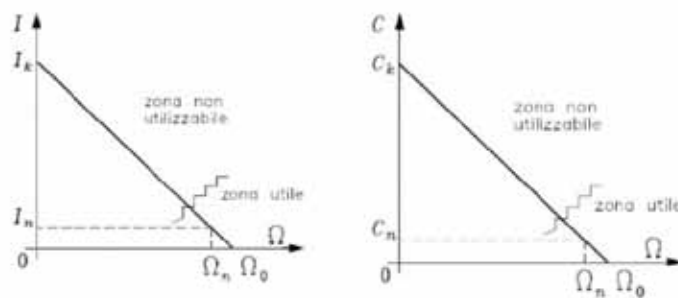
Questo fenomeno determina la caratteristica elettromeccanica fondamentale del motore, che può essere sintetizzata negli schemi seguenti, dove:

I_k, C_k = corrente e coppia di spunto (a velocità di rotazione nulla, cioè a rotore bloccato);

Ω_0 = velocità di rotazione a vuoto (con coppia motrice nulla, cioè senza carico applicato);

I_n, C_n = corrente e coppia nominale (a regime);

Ω_n = velocità nominale (a regime).



Rappresentazione della zona utile

Nelle figure precedenti viene rappresentata la cosiddetta zona utile, cioè quella zona della caratteristica in cui normalmente il motore viene fatto operare, in quanto in quelle condizioni presenta il migliore compromesso fra potenza erogata e rendimento.

La potenza elettrica assorbita da un motore elettrico, cioè quella che viene fornita per il suo funzionamento, è data dal prodotto della tensione di armatura per la corrente di armatura:

$$P_{el} = V_a \cdot I_a$$

La potenza meccanica sviluppata, cioè quella erogata dal motore al proprio carico, è data dal prodotto della coppia sviluppata o coppia motrice, per la velocità angolare del sistema:

$$P_{mecc} = C_{mot} \cdot \omega$$

In condizioni ideali, ogni macchina elettrica rotante trasforma tutta la potenza elettrica in potenza meccanica, cioè presenta rendimento pari a 1.

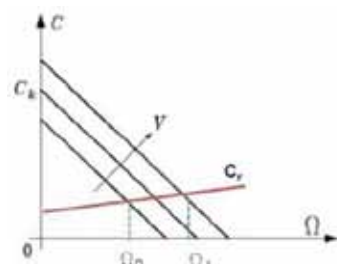
Nella realtà il motore dissipa parte dell'energia elettrica fornita senza che questa venga trasformata in rotazione meccanica, cioè ha un rendimento inferiore a 1. La maggior parte della potenza persa viene dissipata in calore per effetto Joule dalla corrente che scorre nei circuiti di armatura, corrente che abbiamo visto fare parte del funzionamento fondamentale del motore, quindi ineliminabile. Per tale motivo il motore viene fatto operare in condizioni nominali in una zona di funzionamento in cui, tenuto conto della potenza che deve erogare, la corrente non sia troppo elevata.

Vi sono inoltre altri due fenomeni che causano una diminuzione della potenza sviluppata: perdite nel materiale ferromagnetico dell'armatura e attrito delle ventole e dei cuscinetti.

Questi fenomeni, oltre alla dissipazione di calore nel circuito di armatura, fanno sì che il rendimento del motore sia sempre minore di 1.

Il modo più semplice per variare la velocità del motore è quello di variare la tensione di armatura. In questo caso la caratteristica coppia-velocità di rotazione trasla parallelamente a sé stessa, come mostrato nella figura seguente, dove con C_r viene indicata la coppia resistente (si noti che il leggero aumento della coppia resistente con la velocità è dovuta all'incremento degli attriti).

Aumentando la tensione di armatura V , il punto di equilibrio di funzionamento del motore, cioè quello per cui coppia motrice C è uguale alla coppia resistente C_r , passa dal punto a velocità Ω_0 al punto a velocità Ω_1 .



Punto di equilibrio in funzione della tensione di armatura

In questo caso la diminuzione di I_f comporta il passaggio del punto di equilibrio da Ω_0 al punto a velocità Ω_1 . Questa condizione di funzionamento è particolarmente vantaggiosa perché è possibile raggiungere velocità superiori senza dover raggiungere tensioni di armatura elevate. Di conseguenza il motore può essere dimensionato con caratteristiche meno stringenti in termini di isolamento elettrico, quindi può essere di dimensioni e costi ridotti.

Questo principio trova applicazione negli azionamenti degli impianti a fune più recenti.

Tuttavia, essendo la curva di funzionamento più inclinata (vedi grafico precedente), in questa condizione, a una piccola variazione di coppia corrisponde una grande variazione di velocità, con conseguente difficoltà di regolazione della stessa per mantenere il motore nella zona di funzionamento ottimale.

Di conseguenza, oltre certi limiti, anche con il deflussaggio non è più possibile aumentare la velocità.

Motori elettrici in corrente alternata trifase (MAT)

I motori elettrici in corrente alternata sono motori che utilizzano direttamente la corrente alternata fornita dalla rete elettrica generale, oppure da questa derivano una corrente, comunque alternata, con frequenza e tensione variabile.

In generale, tutti i motori in corrente alternata sono composti essenzialmente di due parti: lo statore e il rotore.

All'interno dello statore è possibile installare più "terne" di avvolgimenti (montati sfalsati di un certo angolo), in modo da generare più magneti virtuali, ossia uno per ogni terna di avvolgimenti.

Nella terminologia specifica dei motori elettrici si dice che un motore con una terna di avvolgimenti ha una coppia polare, o anche più semplicemente due poli; nel caso di due terne di avvolgimenti si avranno quattro poli, cioè due coppie polari. La velocità di rotazione di un motore dipende dal campo magnetico rotante, che a sua volta dipende dalla frequenza della tensione di alimentazione.

In pratica, per un motore con una coppia polare, applicando una tensione a 50 Hz si avrà una velocità del rotore di 50 giri al secondo, ossia 3000 giri al minuto. Quando invece lo statore è costituito da più coppie polari, il campo magnetico rotante non gira più a 3000 giri, ma a velocità inferiori, vista la presenza di altri poli magnetici che consentono al rotore di percorrere "meno spazio" prima di trovare il polo che lo attrae.

Lo statore è la parte fissa nella quale sono inseriti i tre avvolgimenti primari, ai quali viene applicata la tensione di alimentazione.

All'interno dello statore trova posto il rotore che, "trascinato" dal campo magnetico generato degli avvolgimenti statorici, si pone in rotazione.

Quando ai tre avvolgimenti dello statore viene applicata una tensione alternata, nello spazio all'interno si crea un campo magnetico rotante. In poche parole è come se il campo magnetico "alternato" prodotto dallo statore generasse un magnete virtuale in rotazione.

I costruttori hanno a catalogo motori a 2, 4, 6, 8 poli, mentre per modelli con un numero di poli superiore è necessario richiedere la costruzione su misura. Negli impianti a fune si utilizzano tipicamente motori a 4 poli. Il numero di coppie polari incide sugli aspetti costruttivi dello statore, soprattutto dal punto di vista meccanico. I motori con più coppie polari infatti, a parità di potenza, hanno una dimensione dello statore maggiore di quelli con poche coppie polari.

Numero di poli	Coppie polari	Velocità (giri/min)
2	1	3000
4	2	1500
6	3	1000
8	4	750
10	5	600

Ricapitolando, nello statore si trovano i due "fattori" che influiscono nella velocità di rotazione di un motore, e cioè la frequenza della tensione di alimentazione e le coppie polari, ossia il numero di "terne" di avvolgimenti che lo costituiscono. I motori trifase possono essere ricondotti alle due seguenti tipologie: motori sincroni e motori asincroni. Come già specificato, tutti i motori trifase in corrente alternata sono costituiti da uno statore, nel quale trovano spazio i tre avvolgimenti che sono tipicamente alimentati alla tensione della rete. Il rotore invece cambia in modo sostanziale da un tipo ad un altro. In linea generale i motori trifase in corrente alternata sono macchine reversibili. Si intende cioè che se all'asse del motore si impone una forza che imprime una velocità maggiore della velocità nominale (rispettando lo stesso verso di rotazione), il motore diventa un generatore. È questo un uso molto diffuso per realizzare gruppi elettrogeni e centrali elettriche.

Motori sincroni

I motori sincroni sono macchine elettriche il cui rotore gira alla stessa velocità del campo magnetico rotante; il rotore si muove quindi in sincronia con esso. Sono usati per applicazioni molto particolari, che richiedono elevata potenza e molta stabilità nella velocità (cartiere, laminatoi, ecc.). Il rotore è composto da uno o più avvolgimenti alimentati in corrente continua, detti di eccitazione, che creano un campo magnetico "statico" che, opponendosi al campo magnetico rotante, costringono il rotore a girare.

Sebbene sotto certi punti di vista costituiscano una macchina "ideale", dal punto di vista pratico richiedono personale specializzato per la manutenzione, ma soprattutto hanno costi elevati a causa della complessità costruttiva.

Inoltre, per avviare una macchina sincrona è necessario utilizzare un motore ausiliario, detto anche "di lancio", per portare la macchina alla velocità di sincronismo prima di alimentarlo con la tensione di rete, o in alternativa è necessario avviarlo tramite un inverter. Quest'ultimo è il caso dei motori sincroni utilizzati sugli impianti a fune.

Motori asincroni

Il motore asincrono trifase (MAT) rappresenta il motore elettrico più semplice, economico, robusto e affidabile che la tecnica conosca. È ad elevato rendimento, non richiede lubrificazione né manutenzione, non presenta alcuna difficoltà o particolarità per l'avviamento ed è il dispositivo più diffuso nell'utilizzazione dell'energia elettrica come "forza motrice". Il MAT è una macchina elettrica in cui il rotore gira ad una velocità diversa da quella imposta del campo magnetico rotante;

il rotore non ruota in sincronismo, ma ad una velocità leggermente inferiore (dell'ordine 3-5%). Presenta diversi vantaggi, tra cui i seguenti:

- peso ed ingombro ridotti a parità di potenza;
- mancanza di particolari dispositivi di eccitazione, prelevando direttamente dalla rete la potenza magnetizzante necessaria per creare il flusso induttore della macchina;
- è autoavviante, cioè sviluppa, spontaneamente ed automaticamente, variando la propria velocità, una coppia motrice atta a controbilanciare la coppia resistente applicata all'albero motore, determinando un funzionamento stabile (all'aumentare del carico rallenta);
- sovraccaricabilità, anche oltre il 100% della sua potenza nominale;
- esigenze di manutenzione molto ridotte;
- elevata semplicità di esercizio;
- rendimento alto.

Il motore elettrico in corrente alternata trifase, però, presenta anche alcuni aspetti vincolanti. Ad esempio, all'avviamento, con inserzione diretta sulla rete, la corrente di spunto può risultare anche 4-10 volte maggiore della corrente assorbita a pieno carico, con problemi alla rete di distribuzione (cadute di tensione) ed agli interruttori (intervento). Inoltre, questa corrente risulta essere tanto sfasata rispetto alla tensione (come nei trasformatori in corto circuito) che la coppia motrice sviluppata dal motore all'avviamento, detta coppia di spunto, è piccola nonostante l'elevato valore della corrente assorbita. La velocità di rotazione del MAT, nel campo di funzionamento normale, è strettamente legata alla frequenza della corrente di alimentazione.

Da quanto esposto è possibile comprendere che l'ambito di applicazione del MAT è quello dove un dispositivo meccanico debba essere azionato senza particolari esigenze di regolazione di velocità o di coppia. Contesti come montacarichi, gru, ascensori, macchine utensili tradizionali, pompe, ventilatori sono da decenni azionati in maniera soddisfacente da questo tipo di motore. L'unico ostacolo che si oppone a una diffusione sostanzialmente universale del MAT è l'impossibilità di regolare velocità e coppia in ampi intervalli a costi contenuti. Questo ostacolo è stato superato ai giorni nostri con l'elettronica di potenza che, grazie alla rivoluzionaria capacità dei diodi e dei tiristori di potenza di rendere indipendenti la tensione e la frequenza della linea di alimentazione da quelle che alimentano i motori, ha reso possibile utilizzare il MAT anche sugli impianti dove è richiesta una potenza elevata e una regolazione precisa di coppia e velocità. Il MAT, avendo un funzionamento reversibile come tutte le macchine elettriche, può funzionare anche da generatore, ma la sua utilizzazione in questa veste non è molto frequente. In alcuni casi il funzionamento da generatore è temporaneo, come avviene nel caso degli impianti a fune con carico trascinante in discesa in fase di frenatura o rallentamento.

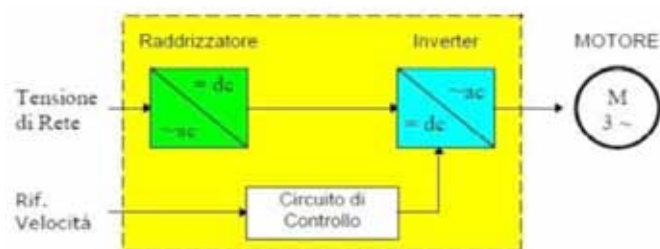
Inverter

L'inverter è un dispositivo che dà la possibilità di regolare la velocità dei motori trifase asincroni. La regolazione di velocità viene oggi implementata anche nelle applicazioni in cui la sostituzione del motore in corrente continua in passato era impensabile e soprattutto antieconomica, rendendo questo dispositivo di fatto obsoleto e in fase di progressivo abbandono. L'inverter è un dispositivo elettronico DC-AC, che ha cioè il compito di generare una corrente alternata a partire da una corrente continua; talvolta viene anche detto "convertitore statico di frequenza".

In linea di massima si individuano due tipi di inverter: a frequenza costante e a frequenza variabile. L'inverter a frequenza costante più diffuso è quello interno ai gruppi di continuità (UPS), la cui funzione principale è di alimentare i dispositivi ad esso collegati in caso di blackout. Nel gruppo di continuità la tensione di rete viene raddrizzata in corrente continua a livello compatibile con una batteria interna, e quindi viene riconvertita dall'inverter in corrente alternata a valori standard 230 V / 50 Hz. Nel caso manchi l'alimentazione, l'inverter continua ad alimentare il carico prelevando l'energia dalla batteria fino alla sua completa scarica.

L'inverter a frequenza variabile è utilizzato, tra i vari impieghi possibili, nei sistemi di alimentazione per motori trifase, dove si rende necessario regolare la velocità. Infatti in questi motori la velocità di rotazione è strettamente connessa con la frequenza della tensione con cui lo si alimenta. In questi sistemi, prima dell'inverter, la tensione alternata della rete (trifase o monofase) viene raddrizzata in corrente continua e quindi viene riconvertita in corrente alternata trifase a frequenza variabile per alimentare il motore.

Sul mercato sono disponibili taglie che vanno da potenze minime di 500 W fino a oltre 500 kW con la tensione industriale di 400 V (bassa tensione).



Utilizzo di un inverter per un motore trifase

Sia gli UPS che gli inverter per motori asincroni trifasi hanno il vantaggio di assorbire corrente dalla rete di alimentazione praticamente in fase con la tensione ($\cos \phi = 0.95$).

In pratica il $\cos \phi$ del carico non si riflette sulla corrente assorbita, e quindi non deve essere rifasato. Uno degli aspetti negativi degli inverter a frequenza variabile per la regolazione della velocità dei motori è il fatto che sono dei veri e propri generatori di disturbi elettromagnetici. Questi disturbi vanno verso il carico, verso la rete di alimentazione e verso l'ambiente circostante.

Generatori

Si definisce generatore elettrico quel dispositivo che, utilizzando energia meccanica disponibile su un albero rotante, produce energia elettrica sotto forma di f.e.m. associata a una corrente elettrica. La citata f.e.m. si ottiene sempre per induzione elettromagnetica tra un campo magnetico, supportato dalla parte fissa (statore) o dalla parte mobile (rotore) del generatore, e una o più bobine supportate dall'altra parte dello stesso.

Dal punto di vista costruttivo, il generatore elettrico in corrente continua (dinamo) è del tutto uguale al motore elettrico in corrente continua descritto precedentemente, con la sola differenza di funzionamento relativa alla energia entrante (meccanica) e a quella uscente (elettrica) che sono tra di loro invertite. Per la dinamo, la f.e.m. disponibile ai morsetti ha polarità che dipende dalla polarità della corrente di eccitazione e dal senso di rotazione, e ha un valore che sarà direttamente proporzionale alla corrente di eccitazione e alla velocità di rotazione. Come anticipato nei paragrafi precedenti, la dinamo che utilizza come campo magnetico un magnete permanente (valore pressoché costante) viene utilizzata per fornire il segnale in tensione della misura della velocità di rotazione del motore al relativo dispositivo di regolazione della velocità e prende il nome di dinamo tachimetrica.

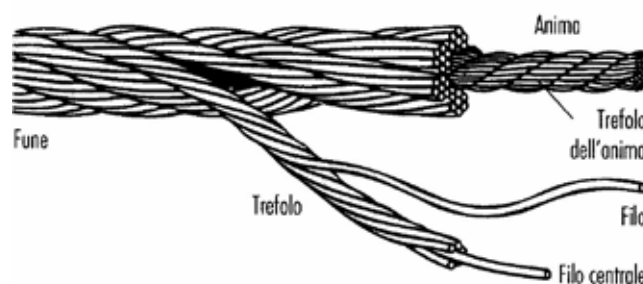
Anche per il generatore sincrono (alternatore) e per quello asincrono, vale quanto detto per la dinamo e cioè che sono perfettamente identici ai rispettivi motori, tanto è vero che si parla di macchina sincrona o di macchina asincrona lasciando la specifica di motore o di generatore al modo di funzionamento. La macchina sincrona, sempre trifase, viene quasi sempre utilizzata come generatore, in quanto la manovra per portarla alla velocità di sincronismo è agevolata dalla disponibilità dell'energia meccanica primaria.

La macchina asincrona, anch'essa sempre trifase, diventa automaticamente generatore tutte le volte che la condizione di carico dell'impianto passa da carico in salita a quella di carico in discesa. Essa viene utilizzata ad esempio nelle centraline idroelettriche alimentate ad acqua fluente in cui la portata d'acqua risulta estremamente variabile.

6. Funi

6.1 Definizioni ed elementi costitutivi

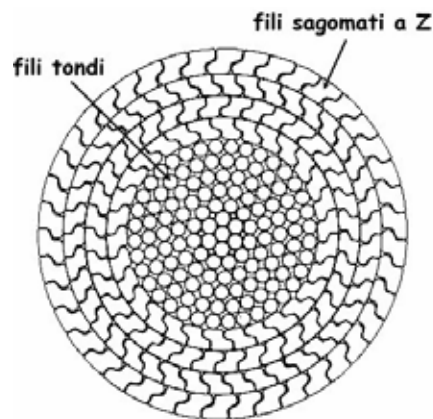
Nel presente capitolo si descrivono le caratteristiche principali e gli elementi costitutivi delle funi utilizzate in ambito funiviario.



Composizione di una fune

Fili

I fili di acciaio, di sezione circolare (fili tondi) o sagomati a Z, sono gli elementi base della fune.



Tipologie di fili che compongono una fune

Anima

L'anima è la parte centrale della fune. Essa può essere metallica, cioè costituita da un nucleo spiroidale fili in acciaio, oppure "tessile", composta di fibre naturali o sintetiche.

L'anima tessile ha i seguenti compiti:

- sostenere i trefoli nella corretta configurazione geometrica, motivo per cui il relativo diametro va scelto in modo che i trefoli rimangano leggermente distanziati anche dopo anni di esercizio;
- fornire flessibilità alle funi di movimento, per l'avvolgimento e lo svolgimento sulle pulegge delle stazioni;
- conservare il grasso inserito in fase di cordatura della fune, per ridurre lo strisciamento reciproco dei fili quando la fune è sottoposta a flessione, per il passaggio sulle pulegge.

Le funi ad anima metallica sono solitamente impiegate in contesti caratterizzati da necessità di elevata resistenza a trazione e ridotte sollecitazioni di flessione come funi portanti o stralli, mentre le funi ad anima tessile, con maggiore resistenza a flessione e fatica, trovano spazio in applicazioni come funi traenti o portanti-traenti.

Trefoli

I trefoli rappresentano il secondo stadio di realizzazione della fune ed sono uno degli elementi base per la cordatura finale.

A partire dal filo centrale possono presentarsi diversi strati di filo, di diverso diametro, in funzione della tipologia e delle caratteristiche tecniche richieste.

Vengono assemblati sulla macchina cordatrice a partire da bobine di filo. La combinazione dell'avanzamento del trefolo finito e della rotazione del castello portabobine conferisce il cosiddetto "passo dei fili nel trefolo".

In funzione del senso di rotazione durante l'avanzamento del trefolo, si definisce il "senso di avvolgimento del filo nel trefolo".

Fune

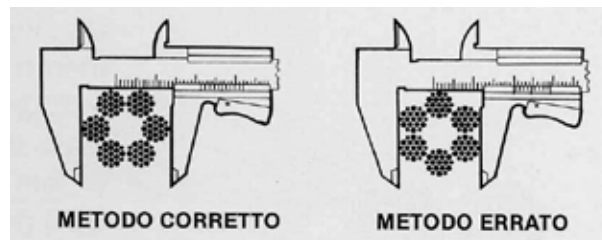
La fune si ottiene come assemblaggio dei seguenti elementi:

- semplici fili nelle funi spiroidali;
- anima e trefoli nelle funi a trefoli;
- nucleo spiroidale e trefoli nelle funi "Ercole";
- nucleo spiroidale e fili sagomati nelle funi chiuse.

Definizioni varie

Diametro della fune (nominale ed effettivo)

Si definisce il diametro della fune come il diametro della circonferenza circoscritta alla sua sezione. A tale scopo deve essere effettuata correttamente anche l'operazione di misura del diametro, come riportato in figura.



Diametro della fune

All'atto della costruzione, il diametro nominale può essere maggiore di circa il 4-5% rispetto a quello effettivo. Dopo un primo periodo di esercizio, si assesta sul 3-4 % in più. Sotto tensione di esercizio si ha infatti assestamento dei trefoli sulla fune, con riduzione del diametro e conseguente allungamento permanente.

Per le funi portanti ad anima metallica, non si hanno variazioni di diametro nel corso dell'esercizio.

Passo di cordatura

Analogamente al "passo di cordatura del filo nel trefolo", si definisce il "passo di cordatura del trefolo nella fune", come lunghezza misurata sull'asse della fune, in corrispondenza di una spirata completa del trefolo.



Passo di cordatura

Angolo di avvolgimento

Si definisce come l'angolo tra l'asse della fune e l'asse del trefolo (angolo di avvolgimento del trefolo nella fune) e tra l'asse del filo e quello del trefolo (angolo di avvolgimento del filo nel trefolo).

Senso di avvolgimento

Per le funi a trefoli, si definiscono i sensi di avvolgimento:

- senso di avvolgimento del filo nel trefolo, ottenuto stabilendo il senso di rotazione del cestello portabobine dei fili nella macchina cordatrice del trefolo, mentre il trefolo stesso esce finito;
- senso di avvolgimento del trefolo nella fune, ottenuto stabilendo il senso di rotazione del cestello portabobine dei trefoli nella macchina cordatrice della fune, mentre la fune stessa esce finita.

Si parla di senso "destrò" o "sinistro" guardando l'andamento dei trefoli in asse fune. La designazione dei sensi di avvolgimento delle funi viene fatta tramite le lettere Z e S, come definito di seguito:

- l'avvolgimento a "Z" è quello di una fune che, tenuta in posizione verticale, presenta all'osservatore le spire visibili nella direzione del tratto mediano della lettera Z;
- l'avvolgimento a "S" è quello di una fune che, tenuta in posizione verticale, presenta all'osservatore le spire visibili nella direzione del tratto mediano della lettera S.

Vale il corrispondente ragionamento per il senso di avvolgimento dei fili nel trefolo.

Funi crociate

Nelle funi crociate il senso di avvolgimento del filo nel trefolo e del trefolo nella fune sono discordi.

Il filo appare quasi in asse con la fune, per effetto della differenza tra gli angoli di avvolgimento del trefolo e del filo (sensi opposti) e il contatto tra i fili di trefoli adiacenti è puntiforme.

Funi parallele

Nelle funi parallele il senso di avvolgimento del filo nel trefolo e del trefolo nella fune sono concordi. Il filo appare molto inclinato rispetto all'asse della fune, per effetto della somma degli angoli di avvolgimento del trefolo e del filo (sensi concordi) e il contatto tra i fili di trefoli adiacenti è lineare.

6.2 Tipi di fune e campi di impiego

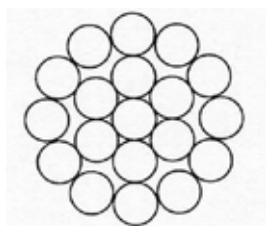
Si illustrano le diverse tipologie di funi impiegate nel settore funiviario, indicando la conformazione, le caratteristiche costruttive, vantaggi e svantaggi, e campi di impiego.

Funi spiroidali

Le funi spiroidali sono funi ad anima metallica, di costruzione semplice, realizzate per sovrapposizione di strati di fili di diametro simile, con elica incrociata per compensare la torsione.

Sono poco flessibili e quindi adatte ad impieghi di funi ferme (ad esempio per supporti di telecomandi tra le stazioni o ancoraggi).

Un difetto è rappresentato dal fatto che un filo rotto esterno può svolgersi indefinitamente ed essere quindi molto pericoloso.



Schema di composizione di una fune spiroidale

Funi a trefoli

Le funi a trefoli sono formate avvolgendo ad elica, intorno ad un'anima in fibre tessili o metallica, uno o più strati di trefoli. Qualora i trefoli siano formati da fili con angolo di avvolgimento costante, la ripartizione dello sforzo è uguale per tutti i fili, ma le superfici di appoggio tra i vari strati di fili sono ridotte, con conseguenti pressioni locali elevate.

Al contrario, qualora i trefoli siano caratterizzati da passo costante (funi di tipo Seale, Warrington e Filler), i fili dei diversi strati hanno superficie di appoggio maggiore, con riduzione delle pressioni locali e benefici in termini di usura.

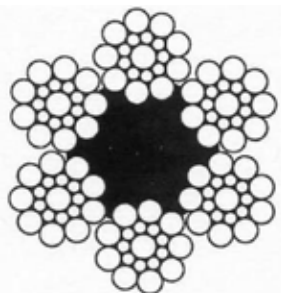
Di seguito sono descritti diversi tipi di trefoli e di funi corrispondenti.

Funi Seale

Nelle funi Seale, il numero di fili rimane identico per ogni strato e il diametro del filo aumenta gradualmente dagli strati interni verso gli strati esterni.

Poiché tutti i fili vengono a trovarsi nei solchi dello strato precedente, viene evitata un'intersezione: si hanno quindi contatti lineari tra i fili. L'usura dovuta al mutuo scorrimento dei vari strati nel corso dei piegamenti della fune si ripartisce su zone più ampie e uniformi. I fili interni risultano quindi più sottili dei fili esterni, e conferiscono perciò al trefolo una buona flessibilità, mentre le dimensioni dei fili esterni garantiscono una ottima durata nei confronti dell'usura.

È un tipo di fune flessibile, adatta per traenti di scivole e portanti-traenti di impianti monofuni.



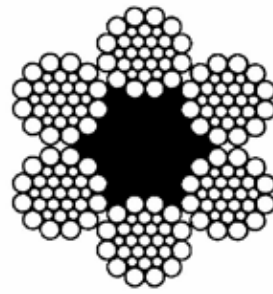
Schema di composizione di una fune Seale

Funi Warrington

I fili del primo strato presentano il medesimo diametro. Il secondo strato ha un numero di fili doppio del primo. È disposto un filo in ciascun solco del primo strato. Tra questi si trovano fili di diametro minore.

Il contatto è lineare. Si presentano trefoli perfettamente tondi e con contatti uniformi su pulegge e rulli.

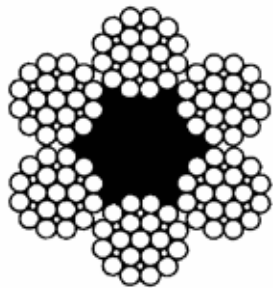
La fune Warrington-Seale è una combinazione dei due tipi di trefoli.



Schema di composizione di una fune Warrington-Seale

Funi Filler

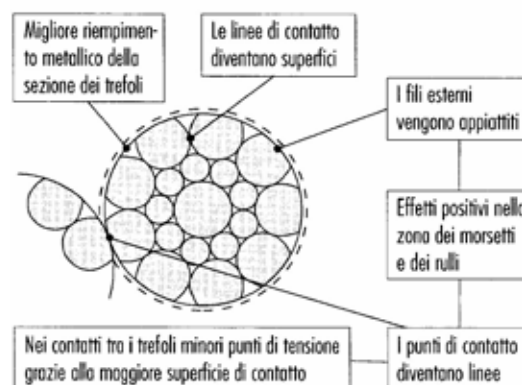
Nella fune Filler, almeno tre strati presentano tre diametri diversi, ma uniformi in ciascuno strato, per aumentare la sezione resistente. È caratterizzata dalla presenza di fili di riempimento di piccolo diametro. Il contatto è lineare. È un tipo di fune adatta per portanti-traenti, traenti e zavorra.



Schema di composizione di una fune Filler

Funi compattate

Nelle funi compattate il trefolo viene trafilato, analogamente al filo. Ne consegue un appiattimento dei fili esterni, che porta ad un maggior riempimento di sezione, con prestazioni migliori della fune rispetto ad una normale di pari diametro. Trova valida applicazione per contenere il diametro della fune, ad esempio quando il diametro di una fune di altro tipo supera i limiti di utilizzazione di una morsa di attacco dei veicoli alla fune. In figura sono riportati i vantaggi: lo svantaggio è dato dal maggior costo.

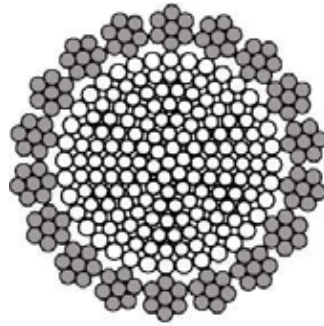


Schema di composizione di una fune compattata

Funi di tipo "Ercole"

Le funi "Ercole" sono funi ad anima metallica, composte unicamente da fili a sezione circolare (quindi con la massima resistenza unitaria ottenibile dai processi di trafilatura). Un nucleo di tipo spiroidale, realizzato con diversi manti di fili ad avvolgimento incrociato, è avvolto da uno strato di trefoli.

Con questo si realizza un riempimento efficace del nucleo spiroidale; inoltre i fili esterni appartengono a dei trefoli e, in caso di rottura, non si presenta il pericolo dello svolgimento, con interferenza con le ruote del carrello o altri elementi.



Schema di composizione di una fune Ercole

Tale tipo di fune è stato storicamente impiegato come fune portante di funivie, oggi sostituito dalla fune di tipo chiuso. Presenta lo svantaggio di vulnerabilità negli interstizi che si trovano tra i trefoli del manto esterno: in tali spazi si formano ristagni di acqua e prodotti corrosivi.

2.4. Funi chiuse

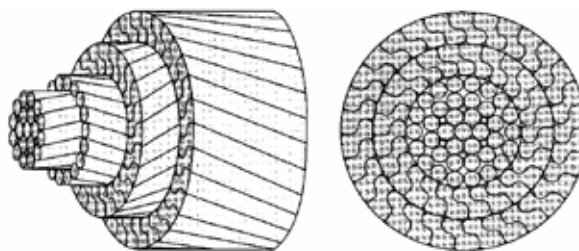
Le funi chiuse sono funi costituite nel seguente modo:

- un nucleo spiroidale di fili tondi in più manti, con avvolgimento incrociato;
- uno o più manti di fili sagomati a Z, anch'essi con avvolgimento incrociato.

Le funi chiuse presentano i seguenti vantaggi:

- un elevato coefficiente di riempimento che permette un carico resistente più elevato rispetto alle altre tipologie, a parità di diametro;
- una superficie esterna praticamente cilindrica che rappresenta una sede di scorrimento confortevole per i rulli di un carrello di funivia;
- una protezione praticamente totale del nucleo spiroidale nei riguardi di umidità o prodotti corrosivi;
- minore possibilità di danneggiamenti per strisciamento (freni del carrello, accavallamenti, ecc.);
- possibilità di riparazione dei fili in opera.

Tuttavia presentano lo svantaggio di essere meno flessibili e richiedere quindi maggiori rapporti di avvolgimento (rapporto tra il diametro della struttura e il diametro della fune) dei tamburi di ancoraggio, delle scarpe di deviazione fisse o mobili, delle scarpe sui sostegni. Di conseguenza sono necessarie strutture più ingombranti e costose.



Schema di composizione di una fune chiusa

6.3 Montaggio delle funi e collegamenti

Messa in opera delle funi

Le funi vengono trasportate avvolte su bobine, generalmente metalliche, opportunamente identificate. Devono essere movimentate evitando contatti diretti tra le spire esterne della fune ed i sistemi di imbragaggio. La bobina, ad asse orizzontale, è posizionata su un cavalletto o su un argano attivo o frenato, a seconda delle soluzioni operative. Viene stesa lungo l'impianto una fune "pilota" di trazione, che viene collegata alla fune principale tramite impalmatura corta, testa fusa o morsettoni.

Il sistema formato dalla fune di trazione e dalla fune principale scorre su pulegge, rulli ed altri sistemi di deviazione, che evitano il contatto delle funi con il suolo o altri elementi che potrebbero danneggiarla.

La manovra di svolgimento e stesura deve essere controllata, frenando la bobina, evitando soprattutto che la fune entri in rotazione (in gergo che "perda giri"), cosa che potrebbe alterare il valore del passo di cordatura.

Stesa completamente la fune (ad esempio l'anello completo di una seggiovia), si deve controllare il passo di cordatura alle due estremità. Si mette in tiro, con tensione maggiorata del 10-15% rispetto a quella di esercizio e mantenuta per qualche giorno.

Si individua il centro dell'impalmatura, tenendo conto della posizione del sistema di tensione e del corretto posizionamento della fune sulle rulliere dei sostegni. Opportunamente marcato il centro dell'impalmatura, si mette il tratto a terra e si procede alla giunzione.

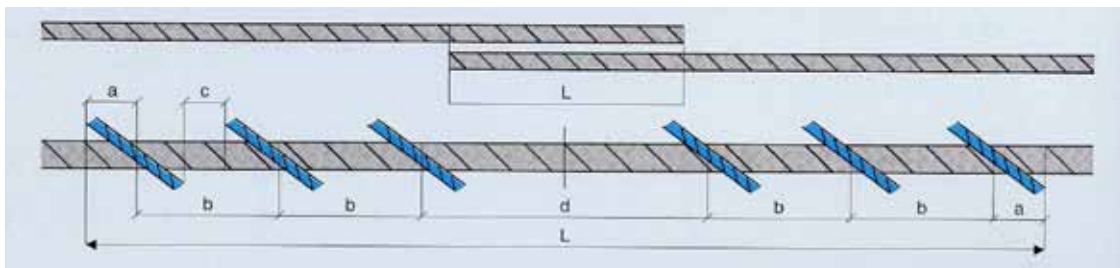
Impalmatura delle funi ad anima tessile

L'impalmatura, per la chiusura dell'anello di fune, è un'operazione piuttosto complessa. Si deve ottenere sia la garanzia di tenuta sotto tiro, sia la migliore uniformità possibile nell'aspetto esterno della fune, diametro, passo di cordatura.

Si deve ricordare che, agli effetti della chiusura delle morse di collegamento dei veicoli alla fune, non vi sono possibilità di differenziare i tratti di fune su cui chiudere (ad esempio escludendo il tratto impalmato) per cui le tolleranze sulle differenze di diametro e forma devono essere molto ristrette.

L'operazione è eseguita da personale specializzato, preferibilmente della ditta costruttrice della fune stessa. Si espone di seguito una descrizione semplificata.

Come rappresentato in figura, le estremità della fune vengono accostate e sovrapposte della lunghezza L , di valore fissato dalla normativa, come multiplo del diametro nominale.



Schema di un'impalmatura

Vengono svolti i trefoli da entrambi i lati, fino al centro: su un capo si svolge ulteriormente un trefolo e contemporaneamente si prende un trefolo dell'altro capo e si posiziona al suo posto. Questa operazione si ripete per tre trefoli su un lato ed altri tre sull'altro, scalati in posizione, come da schema (alla distanza reciproca b , che individua sei punti, detti "nodi"), lasciando una sporgenza pari ad a in schema (detto "codino") su entrambi i trefoli.



Zona di lavoro con fune stesa per l'impalmatura



Fase di accostamento dei trefoli sul nodo



Rivestimento del codino raddrizzato



Estrazione dell'anima per fare posto al codino

A questo punto, in corrispondenza di ciascun nodo, si raddrizzano i codini, si apre la fune, si taglia e si toglie l'anima per una lunghezza pari ai codini, ed al posto di questa si inseriscono i codini raddrizzati.

Collegamenti di estremità

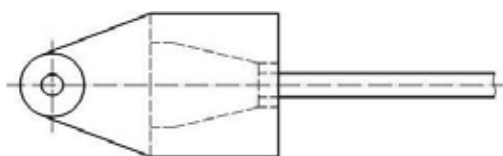
Quando le funi devono essere collegate ai veicoli, ai dispositivi di tensione, o comunque trasmettono sforzi di trazione su una loro estremità, i collegamenti possono essere realizzati nei seguenti modi:

- testa fusa;
- testa secca;
- tamburo di avvolgimento;
- morsetto a piastre.

La materia è regolamentata dalla norma UNI EN 12927.

Testa fusa

La testa fusa è definita come testa di fune all'interno della quale l'estremità della fune aperta è fissata tramite metallo fuso. L'alloggiamento della testa ha forma conica con asse coincidente con quello della fune, con semiangolo tra i 5° e 9°. Il manicotto che contiene la testa conica, generalmente in acciaio, realizza poi il collegamento con le strutture esterne, per la trasmissione dei carichi.



Schema di attacco di estremità a testa fusa

Inserito il manicotto nella fune, per una lunghezza di 5-7 volte il diametro della fune, i fili vengono aperti a pennello, separati e decapati. Posizionata la fune, si preriscalda il manicotto e si cola il metallo fuso nella sede conica. Dopo raffreddamento il cono è estratto ed ispezionato, poi montato e messo in tensione.



Dettaglio di un attacco di estremità a testa fusa



Dettaglio di un attacco di estremità a testa fusa



Dettaglio di un attacco di estremità a testa fusa

Se correttamente eseguito, l'attacco a testa fusa non penalizza le prestazioni della fune in termini di carico a rottura (si definisce un rendimento del 100% dell'attacco).

La testa fusa può essere realizzata anche in resina.

Testa secca

La testa secca è un tipo di attacco di estremità, comprendente un manicotto conico esterno nel quale tutti i trefoli della fune sono separati gli uni dagli altri e fissati tra il manicotto ed un inserto conico che presenta, generalmente, delle gole adattate.

Tamburo di avvolgimento

Il tamburo di avvolgimento è un collegamento di estremità ottenuto avvolgendo la fune per alcuni giri (3-4) su un tamburo che può essere ancorato ad uno dei seguenti elementi:

- al veicolo, nel caso di funi di trazione o manovra;
- alle strutture di stazione, nel caso di ancoraggio fisso di funi portanti;
- al contrappeso, nel caso di funi tenditrici o direttamente delle funi portanti.



Attacco di estremità a tamburo di avvolgimento

La fune in uscita dal tamburo è serrata da un morsetto a piastre sagomate che sopporta il tiro residuo. Un secondo morsetto di guardia è montato distaccato dal primo, a segnalare eventuali scorrimenti.

Morsetto a piastre

Il collegamento è ottenuto per attrito, serrando sulla fune un morsetto a piastre tramite bulloni; il morsetto è quindi vincolato alla struttura di reazione. Le ganasce del morsetto devono essere lavorate al diametro della fune; il serraggio dei bulloni deve essere calcolato e controllato, per garantire la necessaria resistenza allo scorrimento, con i margini di sicurezza idonei.



Attacco di estremità a morsetto a piastra

6.4 Manutenzione delle funi in esercizio

Lubrificazione periodica in opera

Durante il processo di formazione della fune, avviene il primo processo di lubrificazione: l'anima tessile si impregna di lubrificante, che viene rilasciato durante tutta la vita utile della fune.

Sia la prima lubrificazione, sia la lubrificazione periodica delle funi in esercizio sono operazioni fondamentali che hanno i seguenti scopi:

- evitare lo strisciamento reciproco dei fili (lubrificazione dell'anima tessile);
- proteggere la fune dagli agenti atmosferici;
- proteggere la fune dalla corrosione.

Accorciamenti

Nel primo periodo di esercizio la fune nuova installata è soggetta ad allungamento permanente, conseguente all'assestamento dei trefoli sull'anima. Quando l'incremento di lunghezza della fune è incompatibile con gli spazi a disposizione sulle strutture di stazione, si deve procedere ad un accorciamento, cioè alla riduzione di lunghezza, con ripetizione delle operazioni che sono state effettuate all'atto delle posa in opera originale (impalmatura nel caso di funi chiuse ad anello, esecuzione di testa fusa di collegamento ai veicoli di bifuni, ripresa su tamburi di attacco ai veicoli di ultima generazione). Vale quanto previsto per la messa in opera originale, previa attenta valutazione dell'entità dell'accorciamento. Ciò assume particolare importanza nel caso di semianelli trattivi di funivie bifuni, ove non esista possibilità di compensazione degli allungamenti (contrappeso, cilindri di tensione o pulegge spostabili): la lunghezza della fune deve garantire il corretto ingresso e stazionamento dei veicoli nelle stazioni ed in tutte le condizioni di carico e temperatura.

Scorrimento delle funi portanti

Lo scorrimento delle funi portanti è un'operazione delicata ed importante, che viene effettuata periodicamente ai seguenti scopi:

- portare in linea i tratti di fune che poggiavano su scarpe di linea e di stazione, non controllabili con metodo magnetoinduttivo, in modo da poterne verificare strumentalmente lo stato di integrità interno ed esterno;
- spostare i tratti di fune soggetti a flessione ciclica su elementi di deviazione della fune, maggiormente esposti al rischio di rottura o danneggiamento di fili interni o esterni,

Lo scorrimento si ottiene facendo traslare la fune, generalmente da monte verso valle, di una lunghezza almeno pari al maggiore tra i tratti interessati dalle sollecitazioni di flessione alternata (deviazione ai contrappesi), o poggianti sulle scarpe di linea o di stazione.

La fune viene prelevata a monte da una riserva avvolta in prossimità dei tamburi di ancoraggio e la stessa quantità viene eliminata alla stazione opposta, in uscita dall'ancoraggio ai sistemi di tensione. Si ripristinano poi gli ancoraggi.

6.5 Difetti e danni nelle funi

Mancato spostamento dei morsetti

Negli impianti ad ammortamento permanente e nelle sciovie, i veicoli sono collegati alla fune tramite morsetti fissi. In mancanza di spostamenti volontari da parte del personale, il punto di serraggio non cambia durante l'esercizio ed i carichi concentrati, al passaggio in linea dove la fune subisce deviazioni, inducono sforzi di flessione ciclica che vanno a sollecitare la fune sempre nei medesimi punti, inficiandone l'integrità strutturale.

Al transito della fune portante-traente sulle pulegge delle stazioni, inoltre, mentre la fune si adagia nel fondo gola della

puleggia, l'ingombro della ganaschia interna del morsetto impone alla fune piegamenti localizzati alle estremità delle ganasce stesse, con ulteriori effetti affaticanti.

Il fenomeno è aggravato:

- dalla frequenza dei passaggi sulle pulegge (alta velocità e lunghezza limitata dell'impianto);
- dalla presenza di spigoli sui bordi delle ganasce a contatto con la fune;
- dal consumo della guarnizione in gomma della gola della puleggia, con transito "incassato" della fune ed effetto di sollevamento da parte del morsetto.

I fenomeni sopracitati possono condurre alla rottura di fili in corrispondenza delle sezioni di fune a contatto con i morsetti. Per evitare l'eccessiva sollecitazione e il rischio di rottura per fatica dei medesimi tratti di fune, si prevede quindi lo spostamento periodico dei morsetti, con apertura, traslazione di circa 0,50 m lungo la fune, e richiusura secondo le istruzioni del costruttore.

Impuntamento o strisciamento

A causa di effetti dinamici incontrollati o fenomeni meteorologici eccezionali, possono verificarsi impuntamenti del morsetto o della morsa con altri elementi della linea (principalmente rulliere).

Il movimento relativo tra morsa e fune può causare danni localizzati anche di notevole entità.

Scarrucolamento

Lo scarrucolamento è la fuoriuscita della fune dai rulli di guida installati sulle rulliere di linea. Lo scarrucolamento dai rulli delle rulliere può avvenire per condizioni eccezionali di vento trasversale, tiro di traino trasversale o a causa della rottura di qualche elemento della batteria di rulli.

In caso di scarrucolamento è previsto che la fune si appoggi su delle scarpe in acciaio, sagomate per alloggiare la fune con il minimo dei danni, dotate di conduttori del circuito di sicurezza, che, se tagliati dalla fune, determinano l'arresto dell'impianto.

Dal momento in cui l'impianto rileva uno scarrucolamento per mezzo della rottura delle barrette di sicurezza, la fune scorre nella gola della scarpa per l'intero spazio di frenatura (dell'ordine dei 5-15 metri, a seconda del tipo di impianto) e può subire ingenti danni che vanno verificati prima di poter riprendere l'esercizio.

Accavallamento

L'accavallamento si verifica quando una fune, situata normalmente al di sotto di un'altra, si porta, per effetto di un'oscillazione, al di sopra di quest'ultima, scavalcandola e ricadendo in basso, formando con la medesima un doppio incrocio. Può verificarsi sulle funivie bifuni a va e vieni, tra le funi di manovra collegate ai veicoli e le funi portanti, o con la fune di soccorso. L'avvenuto accavallamento determina sempre l'arresto della funivia tramite il circuito di sicurezza, ma può comportare danni meccanici seri nel transitorio di frenatura.

Scariche atmosferiche

Le scariche atmosferiche danno luogo a una serie di manifestazioni termiche localizzate con conseguenti fusioni parziali del metallo, modificazioni della struttura metallografica, alterazioni della superficie e della sezione delle funi. La fulminazione può causare la rottura dei fili nella zona interessata, che può essere più o meno grande sulla superficie della fune, ma anche l'allentamento dei fili: in quest'ultimo caso non è possibile vederne la rottura e diventa quindi impossibile stabilire visivamente se i fili siano ancora collaboranti o meno.

Altri fenomeni

Altri fenomeni di danneggiamento che possono interessare le funi sono i seguenti:

- corrosione;
- tensocorrosione (con rottura dei fili caratteristica a "becco di flauto");
- fenomeni di fatica (sollecitazione ciclica per lunghi periodi);
- fenomeni di usura;
- fretting corrosion (corrosione "secca" derivante dal mutuo strisciamento dei fili della fune).

6.6 Controlli non distruttivi sulle funi

Controllo visivo

I protocolli di verifiche periodiche previsti nell'esercizio degli impianti a fune prevedono esami visivi delle funi, con scadenze prefissate dalla normativa. L'esito dei controlli deve essere verbalizzato sul libro giornale a cura del capo servizio. Si tratta sempre di un controllo piuttosto grossolano, riservato a danni macroscopici o ricerca di fulminazioni: può avere notevole significato nel caso di esame di punti danneggiati già noti e riscontrati in occasione dell'esame magnetoinduttivo. Diventa tuttavia indispensabile per i punti non controllabili con esame magnetoinduttivo, quali ad esempio i seguenti:

- tratti di funi portanti appoggiati sulle scarpe dei sostegni;
- tratti di funi portanti appoggiati sulle scarpe di deviazione nelle stazioni;
- tratti di funi portanti appoggiati sulle carrelliere di deviazione delle stesse ai contrappesi;
- tratti di funi di manovra (traenti e zavorra) in prossimità dei punti di attacco ai veicoli nelle funivie bifuni "a va e vieni".

Esame magnetoinduttivo

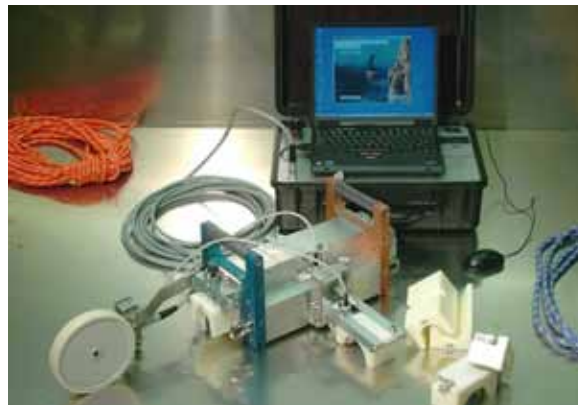
L'esame magnetoinduttivo (indicato anche con la sigla EMI) rappresenta oggi il metodo più efficace per la verifica dell'integrità delle funi.

Questo tipo di controllo si basa sulla saturazione di una porzione di fune metallica sottoposta ad un intenso campo magnetico. Tale campo viene generato da un detector di dimensione tale da essere funzionale alla tipologia di fune, al diametro e agli ingombri delle strutture fisse.

I detector più comuni sono formati da due semi-gusci che, inglobando la fune al loro interno, permettono il controllo di funi "libere", come quelle di seggiovie o sciovie (ad esempio traenti e portanti-traenti), gru, carroponti e ascensori.

Per funi con presenza di ingombri strutturali, quali cavallotti, morsetti o scarpe dei sostegni, vengono utilizzati detector "aperti", a forma di U rovesciata, che permettono il passaggio in sicurezza di ostacoli (ad esempio funi portanti delle funivie). Complementari al detector sono l'encoder per la lettura dell'avanzamento della fune, ed il sistema di acquisizione, costituito da registratori analogici o moderni software digitali. Compito di questi ultimi è l'elaborazione dei segnali di variazione localizzata di flusso magnetico e la traduzione in un grafico leggibile ed interpretabile dall'operatore addetto al controllo.

I difetti ricercati sono principalmente fili o trefoli rotti e danneggiati, schiacciamenti e deformazioni, che sul grafico elaborato sono interpretati dall'operatore. Quest'ultimo verifica poi visivamente sulla fune, per fornire un'analisi quantitativa (numero, dimensione, entità) dei danni riscontrati.



Strumento per esame magnetoinduttivo

Esame radiografico

Le funi portanti delle funivie, di diversa formazione e composizione, vengono esaminate mediante il controllo magnetoinduttivo, ma non sono controllabili visivamente all'interno (funi chiuse), o controllabili con molta difficoltà (funi Ercole). L'esame radiografico delle funi si è sviluppato soprattutto come complemento dell'esame magnetoinduttivo, in particolare per l'individuazione e la valutazione di difetti interni nei punti singolari delle funi fisse.

7. Componenti meccanici degli impianti a fune

Nel presente capitolo si approfondiscono alcuni elementi già citati che compongono i diversi tipi di impianti a fune.

7.1 Freni e arresti

7.1.1 DISPOSITIVI FRENANTI

Il freno è l'organo che provvede ad arrestare il moto dell'impianto e a mantenerlo fermo. Il freno è costituito da una coppia di ceppi, guarniti con materiale di attrito, che premono su una superficie in movimento solidale con l'argano. La forza di chiusura dei citati ceppi (a freno chiuso), determina (per attrito) la forza tangenziale che rallenta e poi impedisce il moto dell'impianto. La potenza frenante risulta proporzionale al prodotto tra la forza di attrito promossa da quella di chiusura del freno e la velocità lineare della superficie in strisciamento con i ceppi. Durante il moto dell'impianto ogni freno deve essere "aperto", cioè non deve applicare alcuna forza frenante.

La forza che provvede a chiudere il freno (forza di chiusura) può provenire solamente da due fonti conservative:

- una massa dotata di energia potenziale gravitazionale (contrappeso libero di scendere);
- una molla compressa dotata di energia potenziale elastica (libera di espandersi).

Il passaggio dalle condizioni di "freno chiuso" a quelle di "freno aperto" avviene con l'intervento del sistema di apertura che, per attuare la manovra, deve avere una forza in grado di vincere quella di chiusura.

Il sistema di apertura del freno, a seconda dell'origine della sua forza, può essere dei seguenti tipi:

- manuale, quando la forza di apertura viene fornita dal personale addetto;
- elettromagnetico, quando la forza di apertura viene fornita da un elettromagnete;
- pneumatico, quando la forza di apertura viene fornita da un pistone pneumatico;
- idraulico, quando la forza di apertura viene fornita da un pistone idraulico.

In generale, quindi, tutti i freni presenti sugli impianti a fune sono di tipo negativo: ciò significa che in assenza di una forza di apertura il freno rimane sempre chiuso. In altre parole, la posizione "di riposo" del freno è la posizione di "freno chiuso", al contrario di quanto avviene ad esempio su un'automobile, dove, in assenza di forze agenti sul pedale del freno, la posizione di riposo è quella di "freno aperto".

Il freno negativo serve a garantire che, anche in caso di guasti che impedissero il corretto funzionamento dei sistemi di apertura, il freno possa arrestare l'impianto senza la necessità di applicare alcuna forza, mettendo quindi in sicurezza l'impianto e i viaggiatori.

Gli impianti scivolari sono dotati del solo freno di servizio, mentre gli impianti aerei monofune hanno un freno di servizio e un freno di emergenza. Le funivie, oltre a possedere sia il freno di servizio sia quello di emergenza, sono dotate di un ulteriore freno posto sul carrello di ciascuna vettura e agente sulla fune portante, denominato "freno sulla portante". Esiste infine un ulteriore freno che può essere opzionalmente previsto sugli impianti aerei che è il freno supplementare.

Freno di servizio

Il freno di servizio agisce su una superficie solidale con l'albero veloce dell'argano e deve essere chiuso quando l'impianto è fermo (al di sotto della soglia di minima velocità). Il movimento dell'impianto è subordinato al fatto che il freno si apra automaticamente al momento della messa in marcia, per cui è esclusa la possibilità che il sistema di apertura sia manuale. Il sistema di apertura del freno di servizio è solitamente di tipo idraulico o elettromagnetico. Nelle funivie viene utilizzato anche il sistema pneumatico.



Freno di servizio



Freno di servizio

Freno di emergenza

Il freno di emergenza non è richiesto per gli impianti scioviari, per i quali, quando la pendenza media supera il 25%, viene richiesta la presenza di un dispositivo meccanico che impedisca la retromarcia.

Il freno di emergenza agisce su una fascia frenante solidale con la puleggia motrice, dotata di velocità lineare notevolmente minore rispetto a quella su cui agisce il freno di servizio. A parità, quindi, di potenza frenante da ottenere, la forza da applicare ai ceppi del freno di emergenza è notevolmente maggiore rispetto a quella impiegata per il freno di servizio. Per questo motivo non risulta applicabile, per tale freno, il sistema di apertura elettromagnetico.



Freno di emergenza



Dettaglio del freno di emergenza di impianto D-line



Dettaglio del freno di emergenza di impianto D-line

Il freno di emergenza, contrariamente a quello di servizio, può rimanere aperto anche a impianto fermo, ma deve essere pronto a intervenire, chiudendosi, nei seguenti sei casi:

- comando diretto volontario da parte del personale addetto;
- intervento della sorveglianza di massima velocità meccanica (pendoli centrifughi o sistema meccanico equivalente);
- intervento della sorveglianza di confronto tachimetrica;
- intervento della sorveglianza di antiritorno;
- intervento della sorveglianza di mancata decelerazione, mancato arresto meccanico o di stazionamento;
- intervento della sorveglianza di assetto puleggia motrice.

Il freno di emergenza deve essere manovrabile anche manualmente nel senso che, nella condizione di pinze chiuse, deve essere possibile incrementare manualmente la forza frenante.

In passato, i freni di emergenza erano dotati di leve o di manovelle con cui il personale poteva promuovere uno sforzo frenante aggiuntivo, indipendentemente dallo stato del sistema di apertura del freno. Più recentemente, tali dispositivi sono stati sostituiti da una pinza indipendente (del tutto simile a quella del freno di emergenza automatico), che agisce sempre sulla stessa fascia frenante, ma con comando di chiusura solamente manuale e diretto (emergenza manuale).

Il sistema di apertura del freno di emergenza è solitamente di tipo idraulico. Nelle funivie si utilizza anche il sistema pneumatico.

Freno di emergenza supplementare

Il freno di emergenza supplementare è un freno che può essere previsto per maggiore sicurezza e normalmente rimane sempre aperto. Se presente, è impiegato come emergenza ma solo con funzionamento a scatto per mezzo di scarico manuale.

Freno di emergenza sulla fune portante delle funivie “a va e vieni”

Il carrello di ciascuna vettura di un impianto funiviario “a va e vieni” è dotato di un apposito freno che agisce sulla fune portante.



Freno di emergenza sulla portante

Questo freno interviene automaticamente nel caso in cui si verifichi la rottura (o l'allentamento) delle funi di manovra (traente e zavorra). Interviene inoltre in caso di collisione con il respingente di stazione e in caso di comando manuale da vettura.

Come gli altri freni descritti, anche il freno sulla fune portante è ad azione negativa: la forza frenante dello stesso proviene da molle compresse che provvedono a chiuderlo tutte le volte che il sistema di apertura lo richiede, anche se solamente a causa di mancanza di alimentazione.

Di solito il sistema di apertura dei freni sulle funi portanti è di tipo idraulico, ed è costituito da un pistone idraulico attuatore, un'elettropompa e una coppia di elettrovalvole alimentate dalle batterie di vettura a 24 V in corrente continua. Una coppia di prese di corrente poste alle estremità dei carrelli provvede a ricaricare le batterie di vettura quando queste ultime si trovano sui respingenti delle stazioni.

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 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 della 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 attacco a testa fusa, invece, l'allentamento della fune provoca uno spostamento della testa fusa stessa, che è contrastata da molle. Tale spostamento attiva un microinterruttore e scarica il circuito idraulico del freno mediante valvola. L'efficienza del meccanismo di intervento del freno sulla portante per rottura della fune può essere testata mediante la prova di “finto taglio”, che simula la rottura della fune traente togliendo il carico dalla fune nel tratto interessato dal dispositivo. Attraverso l'applicazione intermedia di un misuratore di tensione, è possibile verificare a quale tensione residua avviene lo scatto del freno. Tale tensione residua deve essere maggiore, per convenzione, della componente peso della fune traente (calcolata come peso unitario di un metro di fune moltiplicato per il dislivello) .

Prova di tenuta amperometrica

In generale, tutti i freni meccanici possono essere soggetti alla cosiddetta prova di tenuta amperometrica. Essa serve ad avere una valutazione dell'efficacia di ciascun freno espressa in A (ampere) di corrente motore.

Si esegue normalmente a carico e a velocità assai ridotta, poco sopra il valore delle minime velocità, tipicamente 0,4-0,5 m/s. Si annota il valore della corrente assorbita dal motore principale per mantenere l'impianto in moto a quella velocità con tutti i freni aperti. Si rimette in moto l'impianto, senza modificare il valore della velocità, con il freno mantenuto chiuso o, meglio, con il freno chiuso gradualmente dopo la partenza per evitare i maggiori attriti di primo distacco. La tenuta amperometrica del freno si ottiene per differenza tra l'assorbimento del motore registrato a freno chiuso e quello rilevato a freni aperti. Naturalmente, per consentire la seconda parte della prova, bisogna escludere l'intervento della sorveglianza di freno aperto.

Nel caso in cui un freno meccanico sia composto da più elementi (ad esempio più di una coppia di ganasce), la prova di tenuta amperometrica può essere eseguita per valutare singolarmente l'efficacia di ciascuno degli elementi frenanti.

7.1.2 Tipi di arresto

Il comando di arresto di un impianto a fune può avvenire con modalità diverse. Ciascun arresto avviene secondo una rampa di decelerazione preimpostata: a partire dal comando di arresto, l'impianto deve portarsi a determinati valori di velocità sempre inferiori al passare del tempo.

Arresto elettrico

L'arresto elettrico può avvenire solamente se il motore principale consente la variazione della velocità di funzionamento, come nel caso di motore in corrente continua oppure nel caso di motore asincrono ma alimentato da inverter.

La richiesta di arresto elettrico modifica il valore della velocità di riferimento del regolatore di velocità da quella di funzionamento normale al valore zero. Tale richiesta viene attuata dal regolatore di velocità utilizzando la stessa rampa di decelerazione utilizzata anche per la riduzione temporanea di velocità (rallentamento), riducendo quindi gradualmente la velocità dell'impianto fino a raggiungere (da valori maggiori) le soglie di minima velocità. Raggiunte tali soglie, parte un segnale di arresto meccanico che provvede a interrompere l'alimentazione al motore e a chiudere il freno di servizio. Durante l'arresto elettrico il motore, se necessario, si comporta da generatore (freno), nel qual caso viene alimentato dal "ponte freno", cedendo l'energia relativa alla rete di distribuzione dell'energia elettrica. La peculiarità dell'arresto elettrico è quella di mantenere invariati spazi e tempi di arresto, indipendentemente dalle condizioni di carico dell'impianto.

Arresto meccanico di servizio

L'arresto meccanico di servizio è quello che avviene mediante l'impiego del freno di servizio. Alla richiesta di arresto meccanico viene interrotta l'alimentazione del motore elettrico e viene chiuso il freno di servizio. Dopo alcuni secondi e dopo aver percorso alcuni metri, l'impianto si ferma e rimane fermo. Lo spazio e il tempo dell'arresto meccanico sono fortemente influenzati dalle condizioni di carico dell'impianto.

La modalità di intervento del freno di servizio può essere di diversi tipi, spiegati nei paragrafi successivi.

Frenatura di urgenza del freno di servizio

Si parla di arresto di urgenza quando, togliendo l'alimentazione al sistema di apertura, il freno si chiude applicando da subito l'intera forza frenante che ha a disposizione. Questo tipo di arresto è disponibile su tutti i freni di servizio.

La forza frenante del freno di servizio deve essere commisurata alla necessità di arrestare l'impianto nelle condizioni di pieno carico in discesa entro un certo numero di secondi e in uno spazio abbondantemente contenuto nell'equidistanza tra i veicoli (impianti ad ammortamento automatico).

Frenatura differenziata del freno di servizio

In determinate condizioni di carico, la forza frenante in caso di arresto di urgenza può risultare sovrabbondante e, in particolare, per la condizione di pieno carico in salita, risulta addirittura superflua, in quanto anche l'arresto spontaneo dell'impianto può rispettare i tempi e gli spazi richiesti.

In questo caso, si può realizzare il circuito di comando del freno di servizio in modo che, con il carico in discesa, comandi la sua immediata chiusura (in urgenza) e, con il carico in salita, prima di comandarne la chiusura, attenda in rallentamento spontaneo il sopraggiungere delle soglie di minima velocità.

Un simile comportamento di un freno meccanico viene definito frenatura differenziata. Si parla quindi di frenatura differenziata quando il freno è in grado di comportarsi diversamente a seconda delle condizioni di carico.

Per realizzare la frenatura differenziata, occorre quindi discriminare quali sono le condizioni di carico al momento dell'arresto. Tale compito viene svolto da una soglia amperometrica (di corrente) per i motori a corrente continua, da una soglia wattmetrica (di potenza) per i motori in corrente alternata a velocità fissa; entrambe le soglie sono sostituibili con una soglia torsiometrica (di coppia), che, per i motori in corrente alternata a velocità variabile, è l'unica opzione disponibile. Tutte le volte che viene chiamato l'arresto meccanico con l'assorbimento del motore al di sopra della citata soglia, la caduta del freno di servizio verrà ritardata, in attesa della minima velocità dell'arresto spontaneo.

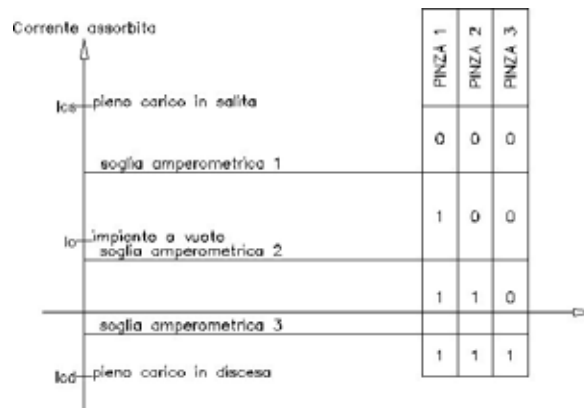
Alla minima velocità, il freno di servizio si chiuderà con le modalità della frenatura di urgenza.

Per determinare il corretto valore di taratura della soglia discriminatrice della frenatura differenziata, occorre individuare la condizione di carico che produce un arresto compatibile con i tempi e gli spazi richiesti, sia che venga o che non venga richiesta la frenatura differenziata. Per le condizioni di carico corrispondenti alla soglia di discriminazione, infatti, devono essere accettabili entrambe le modalità di intervento del freno di servizio.

Per meglio adattare il comportamento del freno alle necessità di frenatura, potrebbe risultare utile suddividere l'intera forza frenante del freno di servizio in due o più sezioni (pinze), ma così facendo diventa necessaria una soglia discriminatrice per ciascuna sezione di freno.

Si ha così una frenatura differenziata a più stadi, ciascuno pilotato dalla propria soglia discriminatrice, secondo lo schema seguente.

Nella versione del freno di servizio a contrappeso e ad apertura tramite elettromagnete, solitamente trifase, la frenatura differenziata viene ottenuta suddividendo il contrappeso in due parti, una principale e un contrappeso ausiliario. Quando necessario, viene ritardata la sola caduta di quello ausiliario mediante un elettromagnete in corrente continua di trattenuata, mentre la sezione principale cade istantaneamente al mancare dell'alimentazione (trifase).



Esempio di schema di funzionamento frenatura differenziata

Frenatura modulata del freno di servizio

Applicando al sistema di comando di apertura del freno di servizio il concetto di regolazione, si ottiene un suo comportamento ancora più efficace, che viene chiamato arresto modulato.

Si parla di frenatura modulata quando il comando di apertura del freno è sottoposto a una regolazione che prevede di mantenere costante la decelerazione, ossia quando il freno è in grado di variare la forza frenante in modo da ottenere la decelerazione impostata. La variabilità (modulazione) della forza frenante viene ottenuta per differenza tra la forza di chiusura (fissa) e quella di apertura, quest'ultima variabile con la variazione della grandezza caratteristica del sistema di apertura. È quindi variabile la corrente dell'elettromagnete nel caso di apertura elettrica, o la pressione del fluido di comando del pistone nel caso di apertura idraulica o pneumatica.

Poiché il sistema di apertura del freno lavora contro la sua forza di chiusura, la forza frenante aumenta al diminuire della forza di apertura.

La frenatura modulata è in grado di rispettare la decelerazione programmata nelle condizioni di pieno carico in discesa solamente se la forza frenante totale del freno stesso è in grado di garantirla. Anzi, la presenza del regolatore di frenata, per poter compensare i ritardi dovuti alla regolazione, richiede di avere una forza frenante totale leggermente maggiore. La decelerazione massima che il freno di servizio è in grado di produrre viene valutata con una prova di frenatura di urgenza con il pieno carico in salita. Se tale decelerazione supera il valore di 2 m/s^2 , allora occorre suddividere la forza frenante in due pinze distinte, alimentate separatamente (con due regolatori distinti), in modo da evitare l'accidentale chiusura contemporanea delle stesse.

La stessa prova di urgenza con il pieno carico in discesa, consente di verificare che la forza frenante del freno sia appena sufficiente a garantire la decelerazione programmata dal regolatore di frenata.

Non è opportuno tollerare valori troppo elevati della forza frenante in quanto, in caso di disfunzione del regolatore di frenata con il pieno carico in salita, si otterrebbero decelerazioni inutilmente elevate.

Con l'impianto a pieno carico in salita, infatti, il freno, durante l'arresto modulato, non applica alcuna forza frenante, in quanto la decelerazione spontanea è già superiore alla decelerazione programmata, ma in caso di avaria al regolatore, esso applicherà l'intera forza frenante.

L'organo che provvede a modulare la forza di apertura del freno ad apertura idraulica o pneumatica si chiama "valvola modulatrice". Essa modula la pressione nel cilindro utilizzando un segnale elettrico (tensione) proporzionale. La risposta del regolatore pneumatico risulta leggermente diversa da quella del regolatore idraulico a causa del diverso comportamento del fluido di comando, comprimibile il primo e non comprimibile il secondo.

Il dispositivo che provvede a modulare la forza di apertura del freno ad apertura elettromagnetica si chiama "modulatore di corrente" e fa parte dell'alimentatore del freno.

L'impiego di un regolatore per ottenere la frenata modulata prevede anche la presenza di una sorveglianza del corretto funzionamento del regolatore stesso. Tale sorveglianza prende il nome di "mancata decelerazione meccanica", che, in caso di intervento, comanda la chiusura dell'altro freno (ossia il freno di emergenza).

Arresto meccanico di emergenza

L'arresto di emergenza avviene tutte le volte in cui viene comandata la chiusura del freno di emergenza. La chiusura del freno di emergenza determina anche un arresto meccanico per intervento della sorveglianza di "freno emergenza aperto".

Per evitare l'azione frenante contemporanea dei due freni, se quello di servizio non è modulato, la chiusura del freno di emergenza ritarda la caduta del freno di servizio di un tempo corrispondente a quello dell'arresto spontaneo con il carico in salita, e comunque solamente fino a raggiungere le soglie di minima velocità.

Il freno di emergenza interviene di solito "in urgenza", cioè con l'intera forza frenante a disposizione.

Per gli impianti di maggior potenza, il freno di emergenza potrebbe essere ad azione differenziata o addirittura modulata. In tal caso valgono le stesse considerazioni fatte per la differenziazione e per la modulazione del freno di servizio.

Arresto spontaneo

L'arresto spontaneo non viene utilizzato durante il funzionamento normale dell'impianto se non nel caso di frenatura differenziata, in quanto risulta possibile solamente quando le condizioni di carico sono tali da avere una coppia motrice positiva, e quindi un flusso di energia dalla rete di alimentazione verso l'impianto. Lo si esegue durante le prove periodiche per valutare le condizioni di attrito degli organi in movimento, e lo si ottiene comandando un arresto meccanico, impedendo contemporaneamente la caduta del freno di servizio, in modo che l'impianto rallenti spontaneamente per mancanza di forza motrice (il motore viene "spento" al momento della chiamata di arresto).

Se il freno di servizio è modulato ed è quindi presente la sorveglianza di mancata decelerazione, per ottenere l'arresto spontaneo (specialmente ad impianto scarico), oltre ad impedire l'intervento del freno di servizio, occorre evitare anche l'eventuale intervento del freno di emergenza, che potrebbe essere chiamato dalla citata sorveglianza di mancata decelerazione.

7.1.3 Caratteristiche di intervento dei sistemi frenanti

Requisiti dei sistemi frenanti e delle azioni frenanti

I requisiti dei sistemi frenanti e delle azioni frenanti sono definiti dal progettista generale dell'impianto, che assegna, per ciascuna funzione di sicurezza, quale processo di frenatura deve essere chiamato e con quali caratteristiche, in relazione alle esigenze e alla disponibilità presunta dei freni e delle relative azioni frenanti. Dove possibile, il progettista privilegia le azioni più confortevoli (ad esempio, arresto elettromeccanico con rampa normale).

Le caratteristiche dei processi di frenatura da assegnare dovranno tenere conto, in particolare, dei seguenti fattori.

- Si valuta quali freni sono disponibili nell'azionamento utilizzato in quel preciso momento e con quali azioni (ad esempio, con l'azionamento di recupero potrebbe non essere disponibile il freno di servizio, né l'azione modulata del freno di emergenza).
- Si valuta quali spazi di arresto sono richiesti in relazione alla causa che ha determinato il comando d'arresto:
 - la funzione di anticollisione, nelle seggiovie ad ammorsamento automatico, richiede spazi di arresto molto ristretti per evitare che i veicoli interessati vadano a contatto in modo pericoloso, così come il dazio su una funivia bifune;
 - la sovravelocità, in un impianto a moto continuo, può consentire un arresto con decelerazione modesta;
 - la sovravelocità, quando occorre nella zona dazio di un impianto a "va e vieni", richiede di compiere l'arresto prima che le vetture impegnino le stazioni, quindi con decelerazioni elevate;
 - spazi d'arresto ancora più contenuti, in un impianto a moto continuo unidirezionale, possono essere richiesti per l'emissione di alcuni comandi manuali di arresto (arresto elettromeccanico a rampa rapida), ad esempio qualora l'operatore si accorga della caduta di un passeggero.
- Si valuta lo stato di presunta disponibilità di ciascun freno ed azione frenante in relazione alla causa che ha determinato il comando di arresto e all'eventuale intervento di funzioni di controllo del sistema di frenatura:
 - l'intervento della sorveglianza di massima coppia obbliga, nel dubbio, a presumere che sia indisponibile il motore, e che quindi debba essere chiamato il freno di servizio meccanico;
 - l'intervento della funzione di controllo di mancata decelerazione fa presumere l'indisponibilità dell'azione frenante in atto, e quindi la necessità di intervento di un altro freno;
 - la marcia dell'impianto alimentato da una sorgente di energia interna costituita da gruppi elettrogeni di potenza inferiore a quella nominale dell'azionamento principale può non consentire una piena capacità frenante con il motore, e quindi gli arresti elettrici devono essere commutati in arresti meccanici.

Pertanto vanno definite, per ciascuna funzione di sicurezza che determina l'arresto, le sequenze di intervento dei freni: qual è il primo freno che interviene e con quale azione, qual è il freno che subentra in caso di guasto del primo freno e con quale azione e così via, sino ad interessare tutti i freni in quel momento disponibili.

Tipi di frenatura per funzione di sicurezza

Nella seguente tabella si riporta un elenco delle principali protezioni e dei tipi di azione frenante normalmente richiesti sugli impianti a fune.

Descrizione	elettrico	servizio	emergenza
Arresto normale da stazioni non motrici	x		
Controlli caricabatterie	x		
Controlli su tensione fune: massima	x		
Controlli su tensione fune: minima	x		
Fine corsa carro tenditrice	x		
Livello olio centralina tenditrice	x		
Livello olio centraline freni	x		
Messa a terra fune	x		
Pressostato centralina tenditrice	x		
Rubineti vari (scarico, ritorno, ecc.) centralina tenditrice	x		
Termostato centraline idrauliche	x		
Termostato olio centraline freni	x		
Accavallamento fune traente			x
Accavallamento fune soccorso			x
Flussostato riduttore	x		
Posizione porte accesso stazione	x		
Posizione cancelli	x		
Controllo dazio	x		
Controllo punto fisso	x		
Zona suoneria	x		
Zona uomo morto	x		
Finecorsa arrivo in stazione motrice	x		
Extracorsa arrivo in stazione motrice			x
Controlli di massima coppia (avviamento e regime)		x	
Controllo eccessiva accelerazione/decelerazione con motore		x	
Freno di servizio: pinze aperte durante la marcia		x	
Guasto generale azionamento principale		x	
Incremento di coppia		x	
Mancanza fase/rete azionamento		x	
Mancata decelerazione arresto con freno di emergenza		x	x
Mancata decelerazione arresto normale		x	
Massima velocità +10%		x	
Minima corrente eccitazione motore principale		x	
Pressostato di consenso centraline freni		x	
Usura pinze freno di servizio		x	
Assetto puleggia			x
Confronto tachimetrico			x
Controllo catena cinematica			x
Controllo posizione elettrovalvole urgenza freno di emergenza			x
Controllo senso di marcia			x
Controllo stazionamento			x
Freno di emergenza pinze aperte alla partenza			x
Freno di emergenza pinze aperte durante la marcia			x
Mancata decelerazione arresto con freno di servizio			x
Massima velocità +20%			x

7.2 Dispositivi di tensionamento

Il sistema di tensionamento di un impianto a fune è il componente necessario a conferire tensione alle funi (portanti, traenti, portanti-traenti, soccorso). Può essere di due tipologie:

- nel sistema a contrappeso, la tensione è fornita da un blocco di calcestruzzo appeso ad una fune tenditrice;
- nel sistema idraulico, la tensione è fornita da uno o più sistemi cilindro-pistone idraulici.

In entrambi i sistemi, la puleggia della stazione tenditrice scorre tramite un supporto su una slitta (o carrello) di tensione, muovendosi avanti e indietro in base alla tensione fornita alla fune.

Il sistema di tensionamento può essere installato presso entrambe le stazioni, ma risulta preferibile la sua installazione presso la stazione di rinvio per non dover movimentare anche gli argani nella stessa stazione. Se la stazione di rinvio si trova a monte, il tiro del sistema di tensionamento deve essere maggiore, poiché deve contrastare il peso della linea.

7.2.1 Sistema di tensionamento a contrappeso

Il sistema di tensionamento a contrappeso, più frequente negli impianti di vecchia generazione, prevede l'impiego di un peso fisico per mettere in tensione la fune. In questo tipo di sistema di tensionamento, la slitta di tensione è collegata ad una o più funi tenditrici, che scorrono in delle pulegge di compensazione e terminano nel blocco di calcestruzzo costituente il contrappeso. La fune tenditrice è fissata al contrappeso mediante avvolgimento su tamburo dotato di arganello di regolazione, oppure mediante attacco a testa fusa.

Il sistema è dotato inoltre di dispositivi di controllo della posizione del carrello e del contrappeso: dei finecorsa di tipo elettrico sono in grado di allertare o arrestare l'impianto se il carrello si trova troppo avanti o troppo indietro rispetto al suo normale percorso di scorrimento, o se il contrappeso si trova troppo in alto o troppo in basso rispetto alle sue posizioni di progetto.



Sistema di tensionamento a contrappeso

7.2.2 Sistema di tensionamento idraulico

Nel sistema di tensionamento idraulico, la slitta di tensione è collegata al pistone (o ai pistoni) di uno o più sistemi idraulici cilindro-pistone: una pompa idraulica viene azionata per conferire tiro alla fune, mentre delle valvole scaricano l'olio nel serbatoio quando è necessario ridurre la tensione.

La pompa è di solito a funzionamento intermittente (mantiene il valore di tensione o pressione entro certi limiti, circa $\pm 4\%$ del valore nominale). Essa è dimensionata per garantire la pressione richiesta e assicurare un'adeguata velocità di spostamento del pistone. A volte la pompa può essere a funzionamento continuo: in tal caso è sempre accesa ed impostata per fornire al cilindro sempre la stessa pressione, ed il perno funge solo da controllo di massima o minima tensione.

Il comando della centralina è fatto in pressione per i sistemi di vecchia tipologia ed in tensione negli impianti più recenti. Il carrello scorre sulle travi della struttura portante della stazione mediante ruote metalliche che garantiscono anche al carro contrasto nei confronti di eventuali forze che tenderebbero a fare uscire il carro dalla sua sede.

Sono inoltre previsti dei finecorsa che segnalano la posizione anomala del carrello al di fuori del campo di tolleranza, e che all'occorrenza arrestano l'impianto. La scala graduata misura lo spostamento del carro, ed è dotata di microinterruttore per rilevare la posizione limite del carro.



Sistema di tensionamento di tipo idraulico a pistone singolo Sistema di tensionamento di tipo idraulico a doppio pistone

Il funzionamento di un sistema di tensionamento idraulico è riassunto di seguito.

Una pompa idraulica, azionata da un motore elettrico, spinge l'olio nella rete di tubazioni prelevandolo dal serbatoio, attraverso un filtro.

Quando il motore elettrico viene messo in funzione, la pompa idraulica gira a vuoto, poiché, attraverso un'elettrovalvola aperta brevemente, l'olio idraulico viene riportato transitoriamente dentro il serbatoio. Successivamente, l'elettrovalvola viene alimentata e la pompa idraulica spinge l'olio nella camera di compressione del cilindro idraulico.

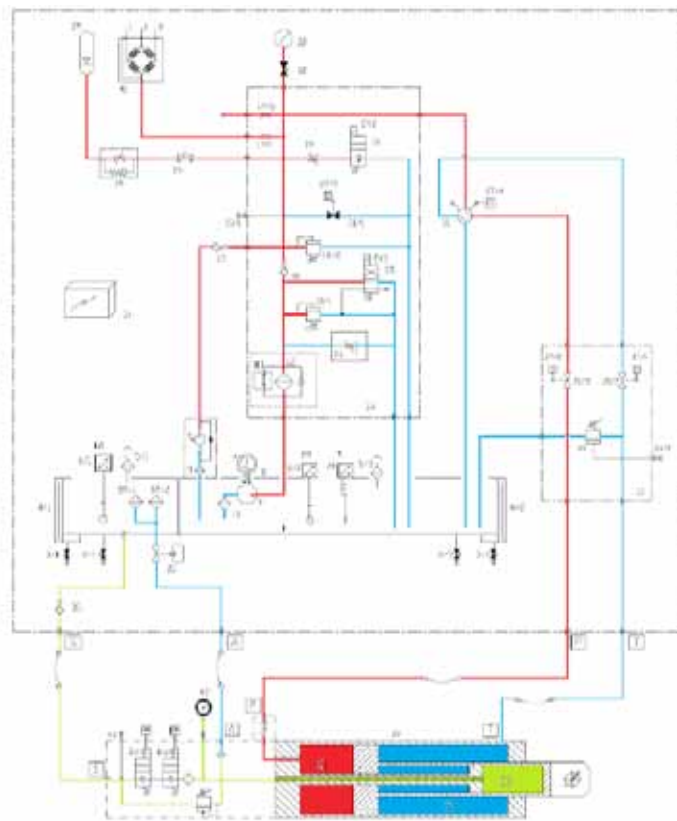
La pressione idraulica quindi sale, e la pompa rimane attiva fino a quando il perno dinamometrico del pistone (ossia una cella di carico che misura la tensione imposta alla fune in kN) e il trasduttore di pressione (che fornisce il valore di pressione idraulica in bar) segnalano il raggiungimento del valore di tiro impostato per il disinserimento della pompa (ossia il valore nominale del tiro).

Se il valore di pressione supera una certa soglia (impostata generalmente a +4% del valore nominale), l'elettrovalvola solitamente chiamata "EV2" si apre. In questo modo, l'olio defluisce lentamente nel serbatoio e, una volta raggiunta la pressione nominale, l'elettrovalvola EV2 si richiude. Nel caso in cui la pressione continui a salire sino ad un valore ancora più alto (in genere impostato a +10% del valore nominale), l'impianto viene arrestato. In caso di ulteriore aumento, la pressione viene limitata attraverso la valvola limitatrice di pressione.

Se la pressione scende al di sotto del valore nominale (ad esempio per una variazione del carico in linea), la pompa si attiva fino al raggiungimento della pressione di disinserimento. Nel caso in cui la pressione continui a scendere fino ad un valore ancora più basso (in genere impostato a -10% del valore nominale), l'impianto si arresta.

Se previsto, attraverso la diseccitazione di due ulteriori elettrovalvole, è possibile invertire la funzione della camera di compressione e di quella di tenuta, nel caso in cui la prima fosse oggetto di guasto.

Sul raccordo in mandata del cilindro è montata una valvola di sicurezza, detta valvola paracadute, mediante la quale viene impedito il rientro spontaneo del cilindro nel caso di una caduta improvvisa di pressione (ad esempio per la rottura di un tubo). Se ciò avviene, la portata di olio in uscita dalla camera di compressione aumenta improvvisamente, provocando la chiusura della valvola paracadute per mantenere la pressione all'interno della camera e il conseguente tiro della fune. Infine, una valvola limitatrice di pressione protegge la pompa da sovrappressioni.



Esempio di circuito oleodinamico del sistema di tensionamento

7.3 Travi di sincronizzazione dei veicoli per gli impianti ad ammortamento automatico e relativi dispositivi di controllo

La caratteristica principale degli impianti ad ammortamento automatico è di avere i veicoli nelle stazioni (ove avvengono le operazioni di carico e scarico) che viaggiano a velocità assai contenute (i valori massimi sono 1,0 m/s per le seggiovie e 0,5 m/s per le telecabine), mentre in linea viaggiano alla velocità della fune (massimo 5,0 m/s per le seggiovie e 6,0 m/s per le telecabine).

Tale fatto comporta la presenza, nelle stazioni, di dispositivi meccanici che provvedono ad accelerare i veicoli in partenza dalla velocità del girostazione a quella della fune e a decelerare quelli in arrivo dalla velocità della fune a quella del girostazione.

Tali dispositivi prendono il nome di "travi di sincronizzazione", e in particolare "trave di accelerazione o di lancio" quella del lato di partenza dei veicoli e "trave di decelerazione o rallentamento" (o impropriamente di sgancio) quella del lato arrivo dei veicoli.

Anticamente, quando la velocità massima ammessa per gli impianti ad ammortamento automatico era di 3,5 m/s, l'accelerazione del veicolo in partenza veniva ottenuta facendolo percorrere un tratto di rotaia in discesa al termine della quale alcuni pneumatici sincroni con la fune ne aggiustavano la velocità, mentre la decelerazione del veicolo in arrivo veniva ottenuta facendogli percorrere un tratto di rotaia in salita. Per tale configurazione si parlava di "rampa di partenza o di lancio" e di "rampa di arrivo o di rallentamento" e le operazioni di lancio dei veicoli, però, avvenivano solo manualmente, con la sola assistenza del semaforo che le cadenzava nel rispetto dell'equidistanza minima.

Per gli impianti moderni, sparite le pendenze che consentivano di utilizzare l'accelerazione di gravità, è opportuno abbandonare il termine "rampa" con significato meccanico, destinato a indicare le travi di sincronizzazione, per riservarlo al solo significato elettronico relativo ai controlli automatici (rampa di accelerazione, rampa di decelerazione, ecc.).

Meccanicamente, le travi di sincronizzazione sono perfettamente orizzontali e costituite da una serie di pneumatici equidistanti in grado di trasmettere al veicolo la forza di avanzamento tramite contatto con un elemento della morsa posto sopra e longitudinalmente alla stessa chiamato "pinna". Tali pneumatici sono perciò montati superiormente alla traiettoria delle morse stesse su degli alberi cinematicamente collegati tra di loro tramite cinghie trapezoidali o ruote dentate in plastica. La continuità del moto del veicolo viene garantita dal fatto che la lunghezza della pinna dello stesso è maggiore della distanza che intercorre tra gli pneumatici, in modo che entri in trazione lo pneumatico successivo prima che il precedente la lasci.

La parte di percorso dei veicoli compresa tra la fine della trave di decelerazione e l'inizio della trave di accelerazione prende il nome di "girostazione", che può essere attrezzato con pneumatici, similmente alle travi di sincronizzazione,

oppure con una catena dotata di palmole che vanno a interferire con le sospensioni dei veicoli stessi per il loro trasciamento.

Ovviamente gli pneumatici o la catena del giro stazione sono dotati di moto costante, nel tempo e nello spazio, sempre proporzionale alla velocità della fune con i rapporti previsti per ottenere, alla velocità nominale dell'impianto, quella prevista per le operazioni di imbarco e di sbarco.

Le travi di sincronizzazione degli impianti ad ammortamento automatico possono essere di due tipologie diverse:

- a movimentazione meccanica (la stragrande maggioranza);
- a movimentazione elettrica (qualche esemplare).

Nel primo caso (travi meccaniche) il moto viene prelevato direttamente da quello della fune portante- traente, tramite i rulli di deviazione della stessa, e la variazione di velocità del veicolo lungo la trave avviene con la variazione della velocità degli pneumatici, ottenuta con opportune combinazioni dei diametri delle pulegge delle trasmissioni a cinghie tra gli stessi. La variazione di velocità è quindi distribuita nello spazio, per cui la velocità di ciascuno pneumatico ha sempre lo stesso rapporto con quella della fune.

Pneumatici adiacenti avranno, in generale, velocità diverse, per cui, durante la loro contemporanea presa sulla pinna dello stesso veicolo, si produrrà una breve azione tangenziale sui loro battistrada, che si deformeranno o si consumeranno per strisciamento, a seconda dell'altezza dei battistrada stessi.

Tale azione risulterà proporzionale sia alla differenza di velocità tra gli pneumatici sia alla differenza tra la lunghezza della pinna e la distanza tra gli assi di rotazione dei pneumatici.



Dettaglio della presa di moto di una trave meccanica

Gli pneumatici del giro stazione vengono movimentati per metà dalla trave di lancio e per metà da quella di rallentamento. L'eventuale catena del giro stazione viene movimentata dalla trave di rallentamento, cui fanno capo le energie cinetiche dei veicoli in rallentamento.



Cinematismi della trave



Cinematismi della trave

A tale categoria appartengono anche quelle travi che, pur avendo la stessa distribuzione di velocità lungo la loro lunghezza, prendono il moto da un motore elettrico, la cui velocità viene pilotata dalla velocità della fune (anziché dalla presa del moto).

Nel secondo caso (travi elettriche), il moto agli pneumatici di ciascuna trave viene fornito da un motore elettrico a velocità variabile dotato di riduttore di giri per l'adeguamento della velocità. Tutti gli pneumatici hanno la stessa velocità e quindi anche le relative pulegge e cinghie di trasmissione, consentendo così di avere più di uno pneumatico contemporanea-

mente in presa con la stessa pinna senza provocare alcuna azione tangenziale. Di contro, però, diventa molto più complicato gestire la variazione di velocità che deve essere distribuita nel tempo, pur sempre legata alla posizione del veicolo. La trave di rallentamento, perciò, avrà sempre la velocità della fune per tutto il tempo in cui attende l'arrivo del veicolo dalla linea. Dopo che il veicolo ha superato il punto di disaccoppiamento dalla fune (apertura della morsa), la trave di rallentamento rallenta fino alla velocità del giro stazione nello stesso tempo in cui il veicolo raggiunge il punto di uscita dalla trave, ove avviene la consegna dello stesso al girostazione.

Consegnato il veicolo al girostazione, la trave torna alla velocità fune per predisporre allo stesso ciclo da eseguire con il veicolo successivo.

La trave di accelerazione, per contro, ha la velocità del girostazione per tutto il tempo in cui attende l'arrivo del veicolo al punto di partenza, dal quale, pervenuti anche i consensi di partenza, accelera fino alla velocità della fune (che deve essere raggiunta prima che il veicolo raggiunga il punto di ammorsamento), rimane alla velocità della fune fino all'uscita del veicolo dalla trave (stazione) per poi decelerare alla velocità del girostazione, per predisporre a eseguire lo stesso ciclo con il veicolo successivo.

Mentre le travi di sincronizzazione a movimentazione meccanica sono in grado di tollerare la contemporanea presenza di due o più veicoli, quelle a movimentazione elettrica tollerano un solo veicolo alla volta e quindi sono utilizzabili per impianti con notevole equidistanza dei veicoli (in pratica solo per telecabine multiposto).

Negli impianti con le travi a movimentazione elettrica, gli pneumatici o la catena del giro stazione verranno movimentati da un terzo motore elettrico a velocità variabile per inseguire proporzionalmente la velocità della fune.

Dal punto di vista elettrico, ciascuna trave di sincronizzazione a movimentazione elettrica è quindi dotata di un azionamento a velocità variabile, che è chiamato a eseguire ciclicamente un programma di variazioni di velocità, che è legato sia alla velocità della fune che alla posizione raggiunta dal veicolo che si trova in trave.

Alla complessità del comando delle travi a movimentazione elettrica corrisponde, in ragione ancora maggiore, la complessità della relativa sorveglianza che ne controlla la corretta esecuzione.

7.3.1 Spaziatori

Il fatto che i veicoli di un impianto ad ammorsamento automatico vengano disaccoppiati dalla fune a ogni ingresso di stazione per essere poi riaccoppiati prima dell'uscita indica che gli stessi veicoli non hanno una posizione fissa sulla fune, per cui ricorre la necessità di avere dei dispositivi che, se necessario, provvedono a ripristinare l'equidistanza.

Un primo spaziatore è posizionato nel punto di immissione in linea dei veicoli dal magazzino e provvede a realizzare la corretta spaziatura tra i veicoli, distanziandoli in modo da equidistribuirli lungo l'intero percorso della linea e delle stazioni.

Nella versione più semplice, lo spaziatore è costituito da uno pneumatico del girostazione che viene disaccoppiato con una frizione elettromagnetica da quelli adiacenti.

Il veicolo attende, sotto lo pneumatico fermo, che sia trascorsa l'equidistanza prima di riprendere il moto per essere immesso in linea.

Quando il trascinamento dei veicoli nel girostazione avviene tramite catena, lo spaziatore di ingresso viene realizzato con un gruppo di pneumatici movimentati dalla citata catena attraverso una frizione elettromagnetica, posti in un tratto del girostazione ove le palmole di trascinamento della catena non interferiscono più con le sospensioni dei veicoli.

Un tale spaziatore (di tipo passivo) consente solamente di ritardare la partenza del veicolo che si fosse avvicinato troppo al precedente (caso di scorrimento in avanti dello stesso) o che fosse stato avvicinato troppo dal precedente (caso di scorrimento indietro del precedente).

Un secondo spaziatore è posizionato nell'altra stazione e, di solito, consente l'aggiustamento della posizione del veicolo (spaziatore di tipo attivo) provvedendo ad accelerarlo o a rallentarlo secondo necessità.

È costituito dall'ultimo gruppo di pneumatici della trave di rallentamento, che viene movimentato dalla stessa tramite uno dei seguenti elementi:

- una terna di frizioni elettromagnetiche che realizzano tre rapporti di trasmissione (uno minore, uno uguale e il terzo maggiore dell'unità), in modo da ottenere, nel tratto dello spaziatore, la variazione di velocità, rispetto al resto del giro stazione, che consente di aggiustare per quanto possibile la posizione del veicolo in transito;
- un riduttore epicicloidale con rapporto unitario tra i due alberi normalmente in rotazione e la corona collegata a un motore elettrico ausiliario.

Dalla misurazione della reale distanza tra i veicoli viene determinato l'errore rispetto all'equidistanza nominale, da cui si individua la procedura per eliminarlo o, quanto meno, ridurlo.

Se lo spaziatore attivo è del primo tipo, ossia a frizioni, la correzione si ottiene alimentando la frizione che realizza la velocità diversa per il tempo necessario alla compensazione dell'errore, fermo restando che per il resto del tempo deve essere sempre alimentata la frizione collegata al rapporto unitario.

Se lo spaziatore attivo è del secondo tipo, ossia con riduttore epicicloidale e motore elettrico, la modalità per ottenere la correzione desiderata dipende dalla tipologia del motore associato allo spaziatore.

Se il motore è a velocità fissa (asincrono trifase ad alimentazione diretta), la correzione si ottiene alimentando il motore nel senso di rotazione individuato dal segno dell'errore per il tempo necessario a ottenere la compensazione desiderata.

Se il motore è a velocità variabile (asincrono trifase alimentato da inverter, c.c., ecc.), la correzione si ottiene, durante l'intero passaggio del veicolo sotto gli pneumatici dello spaziatore, individuando il verso e la velocità giusta da assegnare al motore stesso.



Spaziatore con riduttore epicicloidale e motore asincrono a velocità fissa



Spaziatore attivo

Il valore massimo della compensazione per lo spaziatore a frizioni è dato dal prodotto del rapporto di trasmissione per la lunghezza dello spaziatore stesso, ed è quindi indipendente dalla velocità dell'impianto. Per lo spaziatore attivo a motore invece, il valore massimo della compensazione dipende dal prodotto della velocità (fissa o massima) del motore e del tempo impiegato dal veicolo a percorrere il tratto dello spaziatore. Poiché il citato intervallo di tempo dipende, in maniera inversa, dalla velocità dell'impianto, ne consegue che, in questo caso, la compensazione è tanto maggiore quanto minore è la citata velocità di impianto.

Quando l'errore di equidistanza risulta al di sotto di qualche punto percentuale della stessa, allora si rinuncia all'intervento dello spaziatore, specialmente se del tipo a frizioni, per non sollecitarne i vari organi quasi inutilmente.

Per gli spaziatori di tipo attivo, cioè quelli in grado di anticipare – oltre che di ritardare – i veicoli, diventa possibile la gestione della posizione assoluta dei veicoli partendo da quello chiamato capofila, che di solito è il primo veicolo dopo l'unico tratto di fune senza veicoli più lungo dell'equidistanza (buco).

Tale gestione consiste nell'individuare la posizione di tutti i veicoli quale numero intero di equidistanze, determinare l'errore di posizione di ciascun veicolo rispetto a quella teorica e quindi far intervenire lo spaziatore per correggere l'eventuale errore.

Durante l'esercizio è opportuno utilizzare uno solo degli spaziatori a disposizione per non creare eventuali inutili conflitti.

7.3.2 Anticollisione

Il veicolo che si disaccoppia dalla fune portante-traente all'arrivo in stazione viene preso in consegna dalla trave di rallentamento tramite gli pneumatici di trascinamento, che provvedono a consegnarlo al giostazione alla velocità di quest'ultimo.

La sorveglianza di anticollisione provvede ad arrestare l'impianto se il veicolo che ha impegnato un determinato tratto di trave non ne esce prima che il veicolo successivo possa entrarvi.

La sorveglianza di anticollisione dei veicoli viene pertanto realizzata suddividendo le travi di lancio e di rallentamento in tratti o sezioni. Per ciascuna sezione si determina il numero degli impulsi (forniti da encoder) o i metri-fune corrispondenti al passaggio regolare del veicolo tra il proximity di ingresso e quello di uscita della sezione stessa. Si determina una finestra di tolleranza (massimo $\pm 20\%$) del numero di impulsi (o dei metri-fune), all'interno della quale deve avvenire l'uscita del veicolo senza necessità di determinare l'arresto dell'impianto. Si verifica praticamente che la mancata uscita dalla sezione del veicolo determini l'arresto dell'impianto e che il veicolo successivo si fermi a una conveniente distanza dal punto di ingresso della stessa sezione.

Il numero delle sezioni in cui suddividere le travi di sincronizzazione dipende dall'intervallo di tempo esistente tra i veicoli, per cui le seggiovie quadriposto alla massima portata (6 secondi tra i veicoli) sono quelle che richiedono il maggior numero di sezioni (tipicamente 7).

Per le travi di sincronizzazione a movimentazione elettrica non si parla di anticollisione, in quanto vengono interessate da un veicolo alla volta, ma la suddivisione in sezioni viene fatta ugualmente. Ciò si rende necessario per controllare il corretto funzionamento dell'azionamento elettrico delle travi, che deve determinare la variazione di velocità dei veicoli nei tratti a ciò riservati.

Al passaggio del veicolo in corrispondenza di ciascun proximity (progressiva nota raggiunta) si verifica che sia il tempo trascorso dal disaccoppiamento o dal lancio sia la velocità istantanea del veicolo siano ciascuno nella propria finestra di tolleranza.

7.3.3 Controlli di sagoma o controlli geometrici

Per le operazioni di disaccoppiamento della morsa dalla fune portante-traente e per quelle di ammorsamento alla stessa, lungo le travi di sincronizzazione sono ubicate delle eliche di manovra del volet di comando della ganascia mobile, in modo da realizzare l'apertura e la chiusura della morsa. Lungo le stesse travi sono altresì ubicati dei controlli geometrici realizzati con delle sagome incernierate, ciascuna dotata di microinterruttore che interrompe il relativo circuito di

controllo a corrente di riposo nel caso di rotazione delle stesse per interferenza geometrica con la morsa in transito. Tali specifiche richiedono che venga utilizzato il contatto normalmente chiuso del microinterruttore e che lo stesso si trovi nell'unica posizione di riposo concessa dalla relativa camma quando la sagoma è nella posizione di sorveglianza, in modo che l'intervento del controllo di sagoma funzioni perfettamente sia per le rotazioni orarie (marcia avanti) sia per quelle antiorarie (marcia indietro).

La normativa prevede, prima della fase di accoppiamento della morsa con la fune, la presenza dei controlli relativi sia alla corretta apertura delle ganasce delle morse e della loro corretta posizione rispetto alla fune, sia quelli relativi alla corretta posizione della fune nel punto ove avviene l'accoppiamento. La disciplina legislativa prevede altresì, ad accoppiamento avvenuto, il controllo del corretto accoppiamento stesso. La stessa normativa prevede sia prima che dopo l'accoppiamento della morsa con la fune i controlli geometrici, relativi alla corretta posizione di altri elementi della morsa, rilevanti al fine dell'individuazione di eventuali guasti, anomalie o disfunzioni dei meccanismi stessi.

Simmetricamente sulla trave di rallentamento sono ubicati i controlli geometrici relativi al corretto disaccoppiamento della morsa dalla fune portante-traente nonché tutti quelli previsti per la trave di lancio, in modo che gli stessi siano in grado di poter svolgere anche il controllo inverso nel caso di funzionamento in retromarcia.



Schema dell'elica di manovra



Elica di manovra con cella di carico



Dettaglio delle celle di carico in fase di taratura



Schema dei meccanismi di scambio del magazzino



Meccanismi di scambio del magazzino



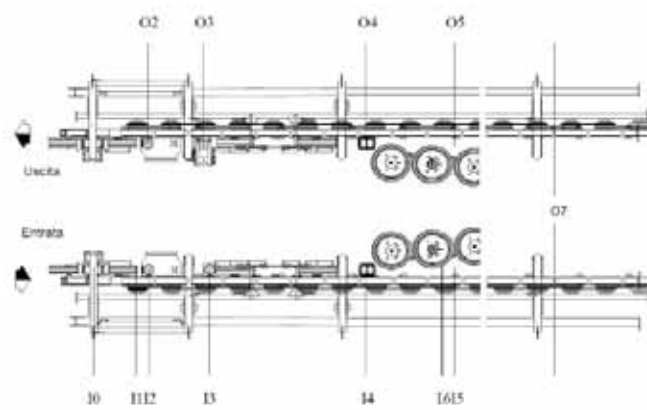
Meccanismi di scambio del magazzino



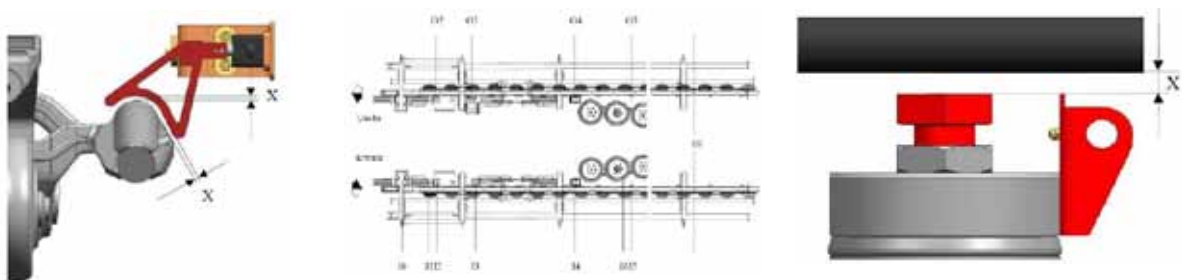
Controlli di sagoma



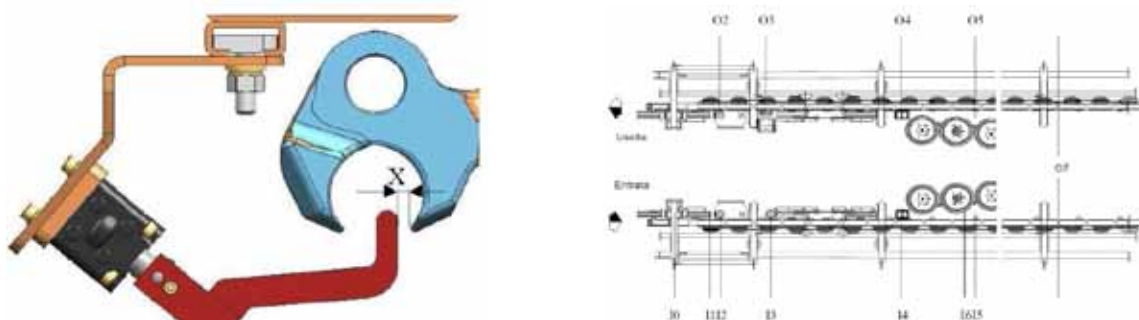
Controlli di sagoma: IO = usura ganasce / usura boccole della morsa



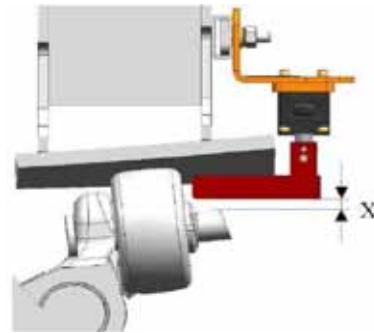
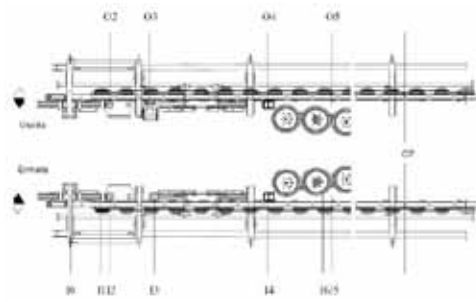
Controllo di sagoma: I1 = Posizione morsa ammorsata sulla fune



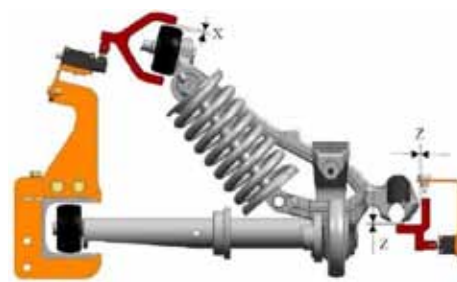
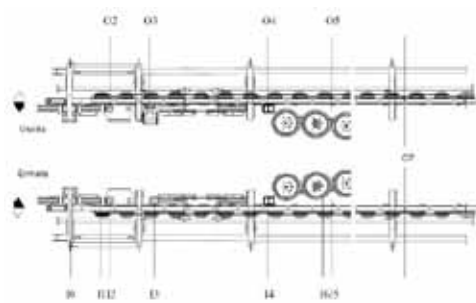
Controllo di sagoma: I3 = Posizione verticale fune



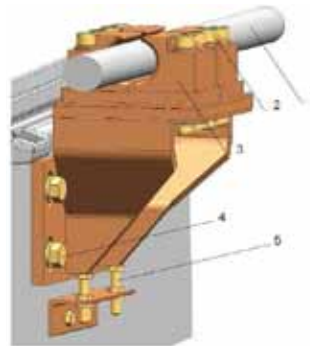
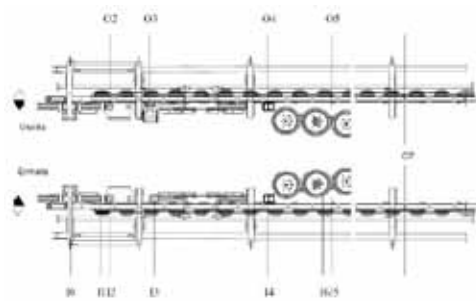
Controllo di sagoma: IO = Sede fune morsa vuota



Controllo di sagoma: 16 = Presenza rullo di manovra



07 = Controllo geometria della morsa a riposo



04-14 = Posizione fune zona ammortamento



Controllo di sagoma: nella figura sotto, U9, U10, U11 controllo geometria della morsa chiusa

7.3.4 Controllo della forza elastica delle molle

Il dispositivo provamorse ha lo scopo di controllare l'efficienza delle morse in ogni stazione. Solitamente si trova sulle eliche di manovra delle morse ed è formato da una cella di carico che misura lo sforzo di manovra durante l'apertura della morsa, in compressione ed in rilascio.

Nel dettaglio, una cella estensimetrica installata in un tratto di elica a rigidità ridotta misura la forza che viene trasmessa dalla rotella del volet di articolazione della ganaschia mobile della morsa al suo passaggio.



Elica di manovra



Taratura o verifica della cella di carico del dispositivo provamolte

Essendo la forza di tenuta della morsa proporzionale alla forza con cui le ganasce della stessa stringono la fune, che risulta a sua volta strettamente dipendente dalla forza fornita dalle molle del sistema di chiusura, misurando quest'ultima possiamo dedurre la prima.

Dato che la posizione delle celle nelle due eliche è la stessa (poco prima/dopo il punto di ammorsamento/disaccoppiamento, ove la ganaschia o le ganasce della morsa potrebbe abbracciare una fune di diametro ridotto del 3%), la misura della forza delle molle viene eseguita mentre la morsa si apre/chiude, ottenendo di conseguenza valori che differiscono tra di loro solo a causa degli attriti interni.

Gli attriti interni, infatti, si sommano per la misura fatta all'apertura, mentre si sottraggono per quella di richiusura, così che, a parità di geometria delle eliche di comando e delle rotaie, possano essere individuati come semidifferenza delle due misure.

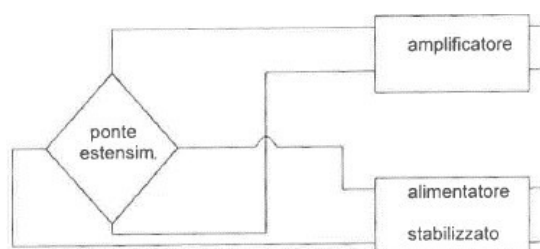
Dopo aver individuato i valori medi di ciascuna delle due misurazioni, la sorveglianza del corretto sforzo delle molle delle morse verifica che la misura relativa a ciascuna morsa sia compresa nella finestra del $\pm 25\%$ del relativo valore medio.

Solitamente il controllo delle morse viene effettuato due volte per ogni stazione, sulla trave di ingresso e sulla trave di partenza. Il controllo in ingresso permette di evitare che una morsa non efficiente venga portata sulla trave di partenza e che il veicolo venga caricato.

Nel caso in cui una lettura del provamorse risulti fuori dal range consentito si procede come segue.

1. L'impianto si arresta automaticamente e il personale deve fare scendere gli eventuali passeggeri del veicolo.
2. La morsa deve essere ispezionata visivamente. Qualora non venga riscontrata alcuna anomalia si può consentire l'uscita in linea del veicolo scarico per ricontrollarne l'efficienza nell'altra stazione.
3. Se il controllo a vista evidenzia problemi strutturali della morsa o se questa non supera il controllo del provamorse anche a seguito della verifica di cui al punto precedente, occorre procedere alla rimozione del veicolo dal servizio.

Dal punto di vista elettrico il provamorse si basa su cella, amplificatore e PLC.



Schema dispositivo provamorse

La cella di carico (costituita da un ponte di Wheatstone) rileva la deformazione meccanica della cella, il segnale viene "normalizzato" dall'amplificatore di cella e l'uscita dell'amplificatore viene letta dall'ingresso del PLC (il segnale può essere uno 0-5 V, oppure un 4-20 mA a seconda del tipo di amplificatore). Il segnale rilevato dal PLC viene quindi visualizzato sul supervisore. L'amplificatore è necessario per "normalizzare" il segnale della cella e adattarlo alla logica di controllo dell'impianto.

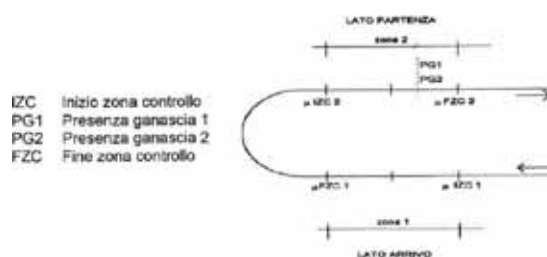
Le celle di carico sono in genere precaricate con circa 300-400 kg. In sostanza, anche senza nessuna deformazione dell'elica di manovra, quindi per esempio in condizione di impianto fermo, il valore che viene visualizzato sul supervisore è diverso da 0 kg e deve essere circa uguale al valore della precarica.

Anche il valore della precarica è controllato dal supervisore: nella tabella dei parametri dell'impianto è presente anche un minimo e un massimo valore che la tara può assumere.

Questo aspetto è molto importante, in quanto permette di rilevare agevolmente se una cella risulta guasta oppure se si sia solamente "starata".

La sequenza di lettura di una cella può essere riassunta come segue:

Inizio zona controllo (IZC) – Lettura tara – Lettura valore – Fine zona controllo (FZC)



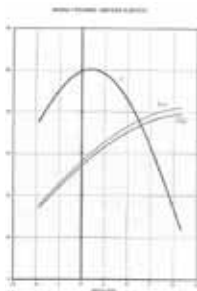
Zone di controllo del giostazione di un impianto ad ammorsamento automatico

Il procedimento di misura è il seguente.

1. Il veicolo entra in stazione.
2. Viene attivato il proximity di inizio zona controllo (IZC) posizionato appena prima della cella.
3. Il PLC memorizza il valore della lettura della cella (tara).
4. Il veicolo avanza lungo la trave, la morsa viene aperta dall'elica e la rotella di manovra passa sotto la cella di carico.
5. Il PLC memorizza il valore massimo della curva di misura.
6. Viene attivato il proximity di fine zona controllo (FZC) posizionato appena dopo la cella.
7. Nel PLC viene eseguita la sottrazione tra misura e tara per ricavare il valore rilevato dello sforzo di manovra.

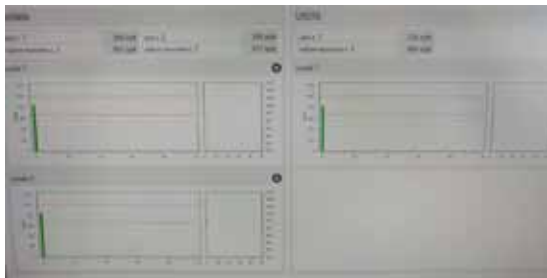
Gli attriti dipendono molto dalla temperatura ambientale e dalla lubrificazione dei cinematismi della morsa (anche fino al 20% di variazione tra estate con morsa appena lubrificate ed inverno con morsa poco lubrificate).

Si riporta di seguito un esempio dell'andamento della forza di serraggio tra le ganasce. La forza di serraggio tra le ganasce, nel caso di una morsa di una cabinovia a 8 posti, è di circa 10000 kg.



SISTEMA ELASTICO

apertura mm	tau N/mm²	S N	r	t/fp
-1.0	542.0	98384	4.764	0.522
-0.5	552.3	98968	4.703	0.532
0.0	562.4	99446	4.641	0.542
0.5	572.3	99822	4.578	0.552
1.0	582.2	100091	4.513	0.561
1.5	591.8	100254	4.446	0.570
2.0	601.4	100308	4.378	0.580
2.5	610.7	100252	4.308	0.589
3.0	620.0	100065	4.237	0.598
3.5	629.0	99806	4.165	0.606



Morsa montata

Morsa smontata

Durante le prove di apertura, a inizio stagione, viene effettuata da parte del tecnico responsabile una verifica della linearità della cella, in modo da controllare che i valori letti sul supervisore non si discostino di molto dal valore reale. Tale operazione si rende necessaria in quanto la catena di misura è formata dalla cella e dal suo amplificatore, che potrebbero guastarsi o semplicemente stararsi con il tempo o, per esempio, a causa di fulminazioni.

La verifica avviene mediante una seconda cella di carico (solitamente custodita con cura). Si applica una forza nota alla cella dell'elica e si confronta il valore letto sul supervisore con il valore applicato dalla seconda cella di carico. Si considera una serie di punti (diversi valori di forza applicata), coprendo tutta la zona di misura della cella, e si verifica che lo scostamento sia abbastanza contenuto, soprattutto nella zona del valore massimo.

Nell'esempio di seguito, si vede come sia presente una differenza tra la forza applicata con il dinamometro campione e la lettura sul supervisore.

È chiaro che i due valori non possono essere coincidenti, ma viene tollerato uno scostamento di circa il 5%. Se lo scostamento è maggiore, si procede alla taratura del sistema di misura.



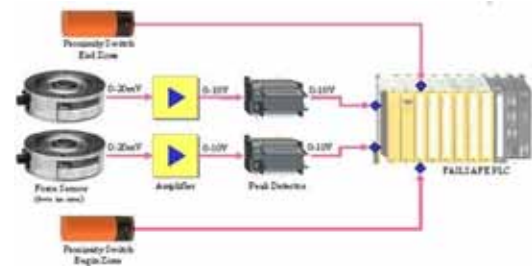
Il valore che viene memorizzato dal sistema di misura deve essere contenuto in un range predefinito.

Il range consentito viene definito in fase di collaudo, annotando il valore di tutte le morse dell'impianto, calcolandone la media e quindi calcolando i valori.

$M_{max} = M_{media} + 20\%M_{min} = M_{media} - 20\%$ Se il dispositivo provamorse misura un valore di sforzo che eccede inferiormente o superiormente tali limiti, provoca un arresto dell'impianto con relativa segnalazione.

Nel caso di rottura di una molla, l'impianto si arresta per limite inferiore, mentre nel caso di grippaggio dei cinematismi della morsa potrebbe intervenire il limite superiore.

Particolare delle cassette sulle travi con gli amplificatori di cella.



La morsa rossa è un dispositivo che viene utilizzato mensilmente per verificare il corretto funzionamento del dispositivo provamorse. È dotata di molle realizzate con filo di diametro ridotto, e che sviluppano quindi una forza minore. Al passaggio della morsa rossa sotto le celle di misura, l'impianto deve arrestarsi automaticamente per "soglia minima" provamorse.



Morsa rossa

Come riportato sulle P.T.S. 1999 per ammassamenti temporanei, il corretto accoppiamento fra la morsa e la fune deve essere geometricamente controllato ogni volta che il relativo veicolo parte da ciascuna stazione. Devono, poi, essere predisposti i seguenti dispositivi di controllo, che in caso di anomalità hanno il compito di provocare l'arresto dell'impianto:

- dispositivi per il controllo, prima della fase di serraggio, della completa apertura delle ganasce e della loro corretta posizione rispetto alla fune;
- dispositivi per il controllo, prima della fase di serraggio, della corretta posizione della fune;
- dispositivi per il controllo del corretto accoppiamento fra ganasce e funi alla fine della fase di serraggio;
- dispositivi per verificare, sia prima che dopo l'accoppiamento, la corretta posizione assunta da altri organi della morsa.

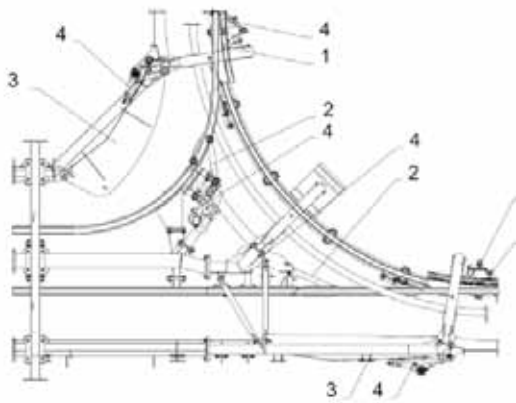
7.3.5 Scambi magazzini

Le stazioni devono consentire l'immagazzinamento in appositi locali di tutti i veicoli in dotazione all'impianto.

La stazione ove, eventualmente, non è ubicato il magazzino, deve essere dotata di dispositivi per la rapida rimozione di un veicolo che debba essere tolto occasionalmente dal servizio.

Gli impianti aventi il magazzino collegato alle stazioni devono essere dotati di appositi dispositivi contatori, che devono, ad ogni istante, segnalare al personale della stazione motrice il numero dei veicoli che insistono su ciascun ramo dell'impianto. Qualora la differenza fra i due valori numerici (squilibrio) superi un limite prestabilito da progetto caso per caso, tali dispositivi devono inibire automaticamente il consenso alla partenza di altri veicoli verso il ramo caricato in eccesso, ripristinando tale consenso quando l'equilibrio numerico dei veicoli sui due rami si è ristabilito entro il limite predetto, oppure arrestare l'impianto affinché il riequilibrio sia effettuato manualmente. È consentito lasciare i veicoli in linea al termine del servizio giornaliero a condizione che le morse siano concepite in modo che risulti assicurato il corretto funzionamento dei meccanismi, degli organi di serraggio (in particolare per quanto riguarda i sistemi elastici), degli snodi ed in generale di tutti gli accoppiamenti in moto relativo fra loro, e che lo sforzo di serraggio non possa comunque risultare ridotto per l'insorgere di anormali aumenti delle resistenze di attrito o per qualunque altra causa esterna, quali formazione di ghiaccio o accumulo di umidità.

Per portare i veicoli dalla linea al magazzino e viceversa, è necessario dotare la stazione di un dispositivo di scambio. In posizione normale le rotaie sono disposte in modo tale che la morsa del veicolo transiti lungo la girostazione, mentre in modalità di servizio magazzino la rotaia di stazione viene collegata con il magazzino spostando un tratto mobile di rotaia. Il posizionamento e la sorveglianza dello scambio avvengono elettricamente mediante microinterruttori o proximity.



Schema meccanismi di scambio del magazzino

Meccanismi di scambio magazzino



Meccanismi di scambio magazzino

Ad esempio, il sistema di scambio in figura è costituito essenzialmente da due rotaie di scorrimento sollevabili (1), da due rotaie di scorrimento ribaltabili (2) e da due rotaie di guida (3). Il meccanismo di spostamento delle rotaie è ottenuto per mezzo di un attuttore lineare (4).

Durante il cambiamento di posizione dal servizio normale a quello di magazzino, le rotaie di scorrimento (1) vengono sollevate lateralmente per mezzo dell'attuttore lineare (4). Il sensore di prossimità si attiva, e le rotaie di scorrimento (2) e le rotaie di guida (3) si ribaltano per mezzo dell'attuttore lineare nell'apertura creatasi. Le posizioni delle rotaie vengono sorvegliate da sensori di prossimità.

8. Componenti elettrici ed elettronici degli impianti a fune

8.1 Dispositivi di manovra

8.1.1 Dispositivi di manovra di tipo diretto

Sezionatore

Il sezionatore è un dispositivo che ha la funzione di predisporre il collegamento tra il circuito elettrico dell'utilizzatore e i morsetti del dispositivo che provvede al collegamento con il circuito di alimentazione, oppure il collegamento tra il circuito della sorgente di alimentazione e i morsetti del dispositivo che provvede al collegamento con il circuito dell'utilizzatore.



A seconda del numero di circuiti che il sezionatore predisporre, si parla di sezionatore unipolare per un circuito (rarissimo), bipolare per due, tripolare per tre o quadripolare per quattro circuiti.

I sezionatori unipolari e bipolari si utilizzano nei circuiti alimentati in corrente continua o in corrente alternata monofase, mentre quelli tripolari e quadripolari si utilizzano nei circuiti alimentati in corrente alternata trifase.



Sezionatore tripolare a coltelli del secolo scorso (attenzione: non più a norma!)

Ciascun polo del sezionatore è dotato di una coppia di morsetti che vengono utilizzati per i collegamenti con il circuito elettrico.

Il sezionatore viene dimensionato per consentire il passaggio della corrente nominale tra ciascuna coppia dei suoi morsetti, per un tempo indefinitamente lungo, senza subire surriscaldamenti che possano danneggiare le parti che costituiscono l'isolamento.

Il sezionatore ha due posizioni stabili (è quindi bistabile) cui corrispondono due stati.

- Sezionatore aperto, cui corrisponde lo stato "spento" o "0", ossia assenza di collegamento metallico (elettrico) tra ciascuna coppia di morsetti.
- Sezionatore chiuso, cui corrisponde lo stato "acceso" o "1", ossia collegamento metallico (elettrico) esistente tra ciascuna coppia di morsetti.



Sezionatore tripolare moderno.

- Con la manovra di chiusura il sezionatore passa dallo stato aperto allo stato chiuso.

- Con la manovra di apertura il sezionatore passa dallo stato chiuso allo stato aperto.

Essendo il sezionatore un apparecchio di predisposizione, sia la manovra di chiusura che quella di apertura sono solamente di tipo manuale, e possono e devono essere eseguite in assenza di corrente circolante tra le coppie di morsetti. Esiste una versione di sezionatore (detta "sotto-carico") adatto a instaurare o interrompere la corrente nominale durante le manovre di chiusura e di apertura, ma tale versione viene più correttamente chiamata interruttore sezionatore manuale (si veda di seguito).

Interruttore

L'interruttore è un dispositivo che provvede a instaurare o a interrompere il collegamento tra il circuito elettrico dell'utilizzatore e il circuito elettrico della sorgente di alimentazione.

A seconda del numero di circuiti che l'interruttore è in grado di collegare, si parla di interruttore unipolare per un solo circuito, bipolare per due, tripolare per tre o quadripolare per quattro circuiti.

Gli interruttori unipolari e bipolari si utilizzano nei circuiti alimentati in corrente continua o in corrente alternata monofase, mentre quelli tripolari e quadripolari si utilizzano nei circuiti alimentati in corrente alternata trifase.

Ciascun polo dell'interruttore è dotato di due morsetti che sono fisicamente utilizzati per i collegamenti con i circuiti elettrici.

L'interruttore ha due posizioni stabili cui corrispondono due stati.

1. Interruttore aperto, cui corrisponde lo stato «spento», ossia assenza di collegamento metallico (elettrico) tra ciascuna coppia dei suoi morsetti.
2. Interruttore chiuso, cui corrisponde lo stato «acceso», ossia collegamento metallico (elettrico) in essere tra ciascuna coppia dei suoi morsetti.

- Con la manovra di chiusura l'interruttore passa dallo stato aperto allo stato chiuso.
- Con la manovra di apertura l'interruttore passa dallo stato chiuso allo stato aperto.

La manovra di chiusura viene eseguita manualmente per tutti i tipi di interruttori adatti alla tensione industriale (220-400 V), con esclusione di quelli motorizzati, per i quali, come dice la parola, avviene tramite l'azione di un apposito motore.



Interruttore unipolare manuale a levetta

Quando anche la manovra di apertura può essere eseguita solo manualmente, allora si parla di interruttore semplice o manuale (ad esempio interruttore a coltelli, interruttore sezionatore, ecc.).

Quando la manovra di apertura può essere eseguita anche automaticamente per l'intervento di apposite protezioni, allora si parla di interruttore automatico.



Interruttori automatici bipolare e quadripolare

La manovra di chiusura di un interruttore automatico, oltre che collegare le coppie di morsetti di ciascun polo, provvede ad accumulare energia elastica nel sistema che provvederà, nel momento della richiesta, ad eseguire la manovra di apertura automatica.

Le protezioni che possono essere associate all'interruttore automatico sono di tre tipi: termica, magnetica e differenziale.

La protezione termica viene realizzata con una lamina bimetallica che viene riscaldata dal calore fornito dal passaggio della corrente principale su una resistenza di pochi mΩ ad essa adiacente.



Interruttore con protezione termica (salvatore)

Il calore prodotto, proporzionale al quadrato del valore della corrente (effetto Joule), determina l'aumento di temperatura della lamina bimetallica che, costituita appunto da due metalli con differente coefficiente di dilatazione, si deformerà verso il metallo meno dilatabile fino a determinare l'interferenza con il dispositivo di scatto che, liberando l'energia accumulata nella molla, determina l'apertura dell'interruttore. Il valore di taratura della protezione termica deve essere uguale alla corrente nominale del dispositivo o del circuito da proteggere. In tali condizioni, la corrente nominale non riesce a deformare sufficientemente la lamina per l'intervento ma correnti anche di poco maggiori di quella nominale saranno in grado di far intervenire la protezione in tempi tanto più brevi quanto maggiore sarà la differenza in più rispetto al valore di taratura (nominale).

La protezione termica protegge perciò dai pericoli conseguenti ai sovraccarichi.

La protezione magnetica viene realizzata con una lamina ferromagnetica che viene attratta dal campo magnetico creato dal passaggio della corrente principale su una o più spire di una piccola bobina ad essa perpendicolare.



Interruttore automatico unipolare magnetotermico

La forza di attrazione di tale bobina, proporzionale al valore della corrente, determina lo sgancio del dispositivo di scatto che, liberando l'energia accumulata nella molla, apre automaticamente l'interruttore. Il valore della corrente che determina l'intervento della protezione magnetica può variare da 5 a 15 volte la corrente nominale del dispositivo o del circuito da proteggere. L'intervento sarà sempre di tipo istantaneo, ossia avverrà nell'istante in cui la corrente raggiunge la soglia di taratura.

La protezione magnetica protegge perciò dai pericoli conseguenti ai cortocircuiti.

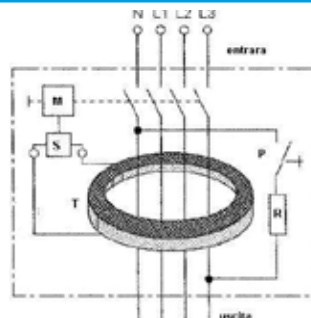
La protezione differenziale consiste in una bobina (toroide) che abbraccia tutti i conduttori che vengono interrotti dall'interruttore sul cui circuito comparirà, per induzione elettromagnetica, una f.e.m. proporzionale al valore istantaneo della somma delle correnti elettriche che interessano i citati conduttori. Con tali premesse, poiché l'induzione elettromagnetica

avviene solamente in presenza di variazioni di campo magnetico associato a corrente elettrica, la protezione differenziale funziona solamente per i circuiti alimentati in corrente alternata.



Schema della protezione differenziale

Quando il circuito utilizzatore è integro ed isolato dalle masse collegate al circuito di messa a terra, il valore della citata somma risulta pari a zero e con essa anche la f.e.m. generata; se invece il circuito utilizzatore perde l'isolamento, allora una parte della corrente del circuito può scegliere un percorso diverso da quello previsto e predisposto, per cui sulla citata bobina comparirà una f.e.m. che, opportunamente utilizzata da un'apposita bobina di sgancio, provvede ad aprire l'interruttore associato alla protezione. Il valore della differenza delle correnti che determina l'intervento della protezione si chiama sensibilità della protezione.



Schema della protezione magnetotermica differenziale

La protezione differenziale viene classificata a seconda della sua sensibilità:

- si parla di altissima sensibilità quando la corrente che determina l'intervento della protezione risulta pari a, o minore di 10 mA;
- si parla di alta sensibilità se compresa tra 10 e 30 mA;
- si parla di sensibilità normale se compresa tra 30 e 300 mA;
- si parla di bassa sensibilità quando è maggiore di 300 mA.

Se la corrente di intervento non è maggiore di 30 mA allora la protezione differenziale assume il nome di "salvavita". La perdita di isolamento del circuito elettrico associato all'interruttore può essere causata anche dal contatto accidentale di un corpo estraneo conduttore collegato al circuito di messa a terra con un conduttore attivo del circuito stesso, ed in particolare anche dal contatto accidentale di una parte del corpo umano.

La protezione differenziale protegge perciò dal pericolo costituito da contatti accidentali anche delle persone.

Pulsante

Il pulsante è quel dispositivo, azionabile solo manualmente, con il quale è possibile instaurare o interrompere temporaneamente il collegamento metallico (elettrico) tra le varie coppie dei suoi morsetti. Esso è del tipo monostabile cioè ha una sola posizione stabile che si identifica come posizione di riposo.

La manovra del pulsante avviene per pressione manuale sulla sua appendice mobile che, spostandosi assialmente, provoca la modifica dello stato dei contatti elettrici di cui è dotato, e nello stesso tempo comprime la molla che provvederà,

al cessare della pressione, a farli ritornare nella posizione di riposo.



Pulsanti unipolari in versione miniatura

Pulsanti unipolari in versione miniatura

Lo stato dei contatti nella posizione di riposo viene definito stato normale. La funzione di sicurezza di un contatto deve avvenire con il suo passaggio dallo stato "chiuso" a quello "aperto"; la manovra di passaggio deve avvenire per compressione oppure per trazione, quindi il pulsante di arresto, che è il più semplice organo di sicurezza, utilizzerà un contatto normalmente chiuso che si apre sotto l'azione diretta dell'operatore. Se, con accorgimenti meccanici, viene resa stabile anche la posizione di lavoro (appendice premuta), allora si parla di pulsante a ripristino per il quale il ritorno nella condizione di riposo viene ottenuta, sempre manualmente, con manovra apposita sulla citata parte mobile, come la trazione, la torsione o una combinazione delle due. In tale caso, però, sarebbe più logico parlare di interruttore a pulsante piuttosto che di semplice pulsante a ripristino.



Finecorsa

Il finecorsa è un dispositivo monostabile ad azione diretta comandato dal movimento della sua appendice (solitamente dotata di rotellina che consente anche azioni tangenziali) che viene azionata dall'organo meccanico sotto sorveglianza, quando raggiunge una determinata posizione.

Il moto assiale dell'appendice di comando del finecorsa determina il passaggio dallo stato di "riposo" allo stato di "lavoro" dei vari contatti di cui è dotato, e comprime la molla che, se consentito dalle posizioni mutue, provvede al ritorno alla posizione di "riposo".

Il posizionamento del finecorsa deve essere tale da non compromettere la funzionalità dell'organo che deve controllare, né di essere danneggiato da quest'ultimo anche nel caso in cui superi la posizione prevista per il controllo.

Di solito il finecorsa viene montato perpendicolarmente alla direzione del moto del dispositivo meccanico sotto controllo, dispositivo che viene dotato di protuberanze o rientranze le quali, al passaggio davanti all'appendice, ne determinano l'intervento con la stessa modalità delle camme.

Il finecorsa monostabile può essere reso bistabile sostituendo la rotella della testa con una coppia di levette ortogonali che promuovono la rotazione della camma di comando, che può avere più di una posizione stabile (ad esempio, finecorsa veicolo che riparte in direzione opposta).

Proximity

Quando c'è la necessità di rilevare il transito di un determinato elemento da una posizione ben precisa, in alternativa al finecorsa ad azione meccanica, si utilizzano, molto più efficacemente, dei finecorsa elettronici di prossimità (proximity) che rilevano il passaggio dell'elemento metallico (ferromagnetico) da intercettare davanti alla loro testa sensibile. Per i contatti dei finecorsa valgono le stesse osservazioni di sicurezza fatte per quelle dei pulsanti. Sono in commercio, peraltro, dei finecorsa dotati di contatti "ad apertura forzata" per i quali è il moto stesso dell'appendice che provvede ad aprire direttamente il contatto "normalmente chiuso" che svolge funzioni di sicurezza, con evidente maggiore garanzia di esecuzione.

Proximity di vari diametri e sensibilità

8.1.2 Dispositivi di manovra di tipo indiretto

Teleruttore o contattore

Il contattore (o teleruttore) è quel dispositivo monostabile che provvede a instaurare o interrompere il collegamento tra il circuito elettrico dell'utilizzatore e il circuito elettrico della sorgente di alimentazione.

È dotato di bobina che, quando percorsa da corrente, genera un campo magnetico che, attirando l'elemento mobile (ancoretta porta contatti) e caricando una molla, provvede alla chiusura dei contatti di potenza normalmente aperti. Al cessare della corrente nella bobina di comando, la molla, caricata nella fase di chiusura, provvede a riportare il dispositivo nelle condizioni di riposo.

In posizione di riposo (senza alcuna alimentazione) il contattore si trova nell'unica posizione stabile e cioè con tutti i contatti di potenza in posizione di "aperto", definiti perciò come "normalmente aperti". Il passaggio dalla condizione di aperto a quella di chiuso si ottiene alimentando la bobina di comando e, per proseguire nella stessa condizione, bisogna mantenerla alimentata. È duplice il vantaggio dovuto all'impiego del contattore:

1. con un solo comando si ottiene la contemporanea chiusura o apertura di tutti i circuiti pilotati;
2. con la corrente della bobina di comando (poche decine di mA) si possono pilotare le correnti principali che interessano l'utilizzatore (anche molte centinaia di A) con un evidente fattore di amplificazione.

Il contattore è caratterizzato dalla presenza dei contatti di potenza, cioè quelli che interessano direttamente la corrente principale che alimenta l'utilizzatore servito.



Contattore con contatti ausiliari

Per svolgere funzioni di controllo e segnalazione, oltre ai contatti di potenza, che, come abbiamo visto, sono sempre di tipo normalmente aperto, ci possono essere anche dei contatti ausiliari che possono essere di tipo qualunque.

I contattori utilizzati per apparecchiature funzionanti in corrente continua sono dotati, di solito, di celle di spegnimento dell'arco e i contatti ausiliari sono realizzati nella versione "a giorno", come appare nella figura seguente.

Relè ausiliario

Il relè ausiliario è quel dispositivo monostabile del tutto simile al contattore che provvede a instaurare o interrompere il collegamento tra gli elementi del circuito di comando o di segnalazione, dotato quindi di soli contatti ausiliari. Anch'esso è dotato di bobina che, quando percorsa da corrente, genera un campo magnetico che, attirando l'elemento mobile (ancoretta porta contatti) provvede alla loro chiusura (se normalmente aperti), o alla loro apertura (se normalmente chiusi) e contemporaneamente comprime una molla che, al cessare della corrente, consente ai contatti del dispositivo di tornare nelle condizioni di riposo.

Al cessare della corrente nella bobina di comando, infatti, la molla, caricata nella fase di eccitazione, provvede a riportare tutti i contatti del dispositivo nelle condizioni di riposo.

La condizione di riposo è l'unica posizione stabile ed è anche quindi l'unica condizione di sicurezza.

I contatti ausiliari destinati ai comandi di arresto di sicurezza saranno perciò del tipo "normalmente aperto", condizione nella quale ritornano e permangono al cessare dell'alimentazione della bobina di comando.



Relè ausiliari con zoccolature diverse

In posizione di riposo (senza alcuna alimentazione) il relè ausiliario si trova nell'unica posizione stabile e cioè con tutti i contatti "normalmente aperti" aperti e tutti i contatti "normalmente chiusi" chiusi.

Il passaggio dalla condizione di "riposo" a quella di "lavoro" si ottiene alimentando la bobina di comando e, per proseguire in tale condizione, bisogna mantenerla alimentata. L'impiego del relè ausiliario risulta necessario nei circuiti di comando o di segnalazione, per poter intervenire contemporaneamente in più circuiti a partire da un unico evento. La combinazione di contatti di relè ausiliari pilotati da eventi diversi realizza le condizioni logiche di funzionamento dell'apparecchiatura pilotata. Così, per esempio, il collegamento "in parallelo" di due contatti normalmente aperti, corrispondenti al controllo di due diverse condizioni, produce la logica di funzionamento di tipo "OR", ovvero si ha, per esempio, l'accensione di una lampada spia con la presenza di almeno una delle due condizioni controllate.

Il collegamento "in serie" degli stessi contatti produce la logica di tipo "AND" per cui, per avere l'accensione della stessa lampada spia, devo avere la presenza di entrambe le condizioni controllate.

Temporizzatore

Si chiama temporizzatore quel particolare relè ausiliario dotato di contatti ausiliari in grado di modificare il proprio stato di funzionamento solamente dopo un determinato tempo, anche regolabile, chiamato ritardo. I temporizzatori possono essere di due tipologie:

1. il ritardo avviene dalla posizione di riposo a quella di lavoro, a partire dall'istante dell'eccitazione della bobina di comando;
2. il ritardo avviene dalla posizione di lavoro a quella di riposo, a partire dall'istante della diseccitazione della citata bobina.

I contatti di tipo 1 si chiamano ritardati all'eccitazione e quelli di tipo 2 ritardati alla diseccitazione. I contatti normalmente aperti (NO) di tipo 1 si possono chiamare anche ritardati alla chiusura e quelli di tipo 2 ritardati alla riapertura. I contatti normalmente chiusi (NC) di tipo 1 si possono chiamare ritardati all'apertura e quelli di tipo 2 ritardati alla richiusura. La funzione di ritardo può essere ottenuta con dispositivi di tipo pneumatico o da circuiti elettronici basati sulla carica-scarica di condensatori.

8.1.3 Dispositivi di funzionamento

Motore primo

Si definisce motore l'organo che provvede a fornire l'energia meccanica per mettere in moto e per mantenere in moto l'impianto.

Ciascun impianto è dotato di un motore principale, utilizzato di solito quando sono presenti tutti i consensi alla marcia e tutte le parti meccaniche sono in perfette condizioni di funzionamento.

Come visto, gli impianti scioviari hanno il solo motore principale, quasi sempre elettrico ma che può essere anche endotermico (diesel); in quest'ultimo caso deve essere di tipo stazionario (idoneo al funzionamento da fermo).

Gli impianti aerei monofune che svolgono funzione di arroccamento o di rientro devono avere anche un motore di riserva in grado di proseguire il servizio di trasporto, eventualmente a velocità ridotta, anche in caso di avaria alle apparecchiature dell'argano principale. Se il motore di riserva è elettrico, richiede la presenza di una fonte di energia elettrica autonoma (gruppo elettrogeno).

Tutti gli impianti aerei monofune devono avere il motore di recupero, con la sola esclusione di quelli con caratteristiche minimali (lunghezza e altezza dei veicoli dal suolo limitata). Esso deve agire sulla puleggia motrice attraverso una catena cinematica diversa da quella dell'argano principale, può essere elettrico o idraulico ma deve avere una fonte di energia indipendente da quella della rete.

Apparecchiature elettriche

L'impianto elettrico di un impianto a fune comincia con un interruttore-sezionatore onnipolare posto all'arrivo della linea di alimentazione (richiesto dalla norma CEI), talvolta seguito o sostituito da un interruttore automatico magnetotermico differenziale (richiesto dalla normativa funiviaria).

La corrente nominale dei dispositivi citati deve essere convenientemente maggiore della corrente necessaria per alimentare l'impianto, e la sensibilità della protezione differenziale, meglio se tarabile, deve essere tale da non determinare, durante i transitori di avviamento dell'impianto, interventi intempestivi della protezione stessa.

Le apparecchiature elettriche, di solito contenute in apposito armadio, si possono suddividere in cinque parti distinte per funzione (potenza, comando, segnalazione, comunicazione e sicurezza), che vengono spiegate nei paragrafi successivi.

Circuito di potenza

Il circuito di potenza è costituito da tutti gli elementi, i dispositivi e le apparecchiature che sono direttamente interessate dalla corrente principale che alimenta il motore di trazione.

Con riferimento allo schema didattico di scivovia, il circuito di potenza comincia con un interruttore automatico magnetotermico (O11a) qualche volta sostituito da un sezionatore dotato di fusibili.

I conduttori del circuito di potenza sono riconoscibili, anche nello schema, per la loro grossezza poiché, destinati a condurre correnti elevate, sono, anche nella realtà, quelli a sezione maggiore.

Direttamente nel circuito di potenza sono inseriti sia il trasformatore voltmetrico trifase (O13m), necessario per ridurre la tensione a valori compatibili alla loro visualizzazione in O11h e O13g, che i trasformatori amperometrici (O14f e O16f)

per fornire il segnale di corrente alla relativa sorveglianza, e (015f) per poter indicare la corrente sull'ampmetro di macchina.

Sempre sul circuito di potenza sono altresì inseriti sia i contatti di potenza del contattore di marcia (027c), la cui chiusura determina l'alimentazione diretta del motore principale, sia il relè termico (015e), dotato di contatto ausiliario bistabile a ripristino manuale utilizzato in 019.

Del circuito di potenza fa parte ovviamente anche il motore elettrico principale asincrono trifase a rotore avvolto (015m), dotato quindi di collettore ad anelli e relative spazzole per il collegamento dei circuiti rotorici con il reostato di avviamento (013r) a sua volta dotato di due finecorsa, uno (010b) a sorveglianza del completo inserimento delle resistenze rotoriche (condizione di partenza), l'altro (014b) a sorveglianza della loro completa esclusione (fine dell'avviamento).

A valle dei contatti di potenza del contattore di marcia del motore, viene derivata l'alimentazione per l'elettromagnete (011s) del sistema di apertura del freno tramite i contatti di potenza del relativo contattore (026c), ed il trasformatore adattatore (012m).

Le apparecchiature elettriche degli impianti che utilizzano motori endotermici o idraulici mancano ovviamente del circuito elettrico di potenza.

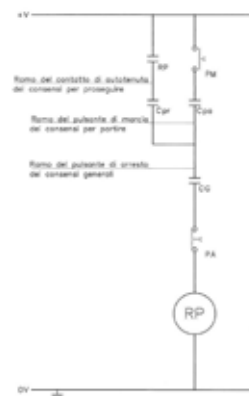
Circuito di comando

Il circuito di comando è costituito da tutti i relè ausiliari unitamente ai relativi contatti ausiliari, dai dispositivi di comando primari quali il pulsante di marcia e quello di arresto, da tutti i finecorsa delle varie sorveglianze la cui combinazione determina la logica di funzionamento dell'impianto.

Il nucleo principale del circuito di comando comprende il classico "relè pilota" e i dispositivi di comando primari, collegati in modo da realizzare il tipico circuito di "marcia e arresto".

Premendo il pulsante di marcia (PM), se sono presenti i consensi generali (CG) ed i consensi di partenza (Cpa), il relè pilota (RP) si eccita.

Un suo contatto ausiliario (non indicato in figura) alimenta sia la bobina del contattore di marcia che quella del contattore del freno, mentre un altro contatto ausiliario del relè pilota (RP in alto a sinistra nella figura) provvede a sostituirsi al pulsante di marcia nella sua alimentazione solamente dopo che siano pervenuti però i consensi di prosecuzione (Cpr).



A questo punto, l'impianto è stato messo in marcia ed è pronto per il completamento della manovra di avviamento che consiste nella progressiva esclusione delle resistenze rotoriche del reostato di avviamento (per il motore asincrono trifase alimentato direttamente) oppure nell'esecuzione della rampa di accelerazione preimpostata (per i motori a velocità variabile).

- I consensi generali (CG) sono tutti quei consensi, forniti dalle varie sorveglianze e dal circuito di sicurezza di linea che devono sempre essere presenti per consentire sia la messa in marcia dell'impianto che il funzionamento dell'impianto durante l'esercizio.
- I consensi per la partenza (Cpa) riguardano le condizioni che devono essere rispettate per poter mettere in marcia l'impianto. Tipica condizione da rispettare quando il motore di trazione è del tipo asincrono alimentato direttamente è quella che le resistenze rotoriche siano tutte inserite nel relativo circuito in modo da poter ottenere un avviamento sufficientemente dolce e progressivo. I consensi di partenza possono venir meno solamente dopo che siano sopraggiunti quelli di prosecuzione.
- I consensi di prosecuzione (Cpr) riguardano i consensi che alla partenza non ci possono essere, ma che, per poter proseguire la marcia, devono subentrare dopo la messa in marcia dell'impianto.

Un tipico esempio di consenso di prosecuzione è la sorveglianza di freno (di servizio) aperto che, con l'impianto fermo, ossia prima della messa in marcia, deve essere chiuso (e quindi anche non aperto, consenso mancante).

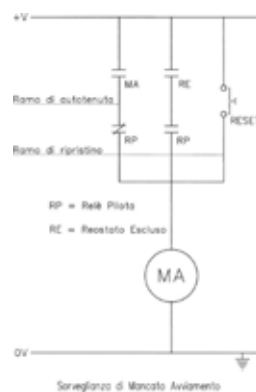
Per gli impianti a velocità variabile, anche le soglie di minima velocità sono di fatto dei consensi di prosecuzione: infatti, per tali impianti, il macchinista deve mantenere premuto il pulsante di marcia sia per attendere l'apertura del freno di

servizio (istantaneo o quasi) ma anche per il superamento delle soglie di minima velocità da parte dell'impianto, che di solito viene segnalato dall'accensione della spia luminosa di cui è dotato il pulsante di marcia stesso.

Nel caso in cui negli impianti aerei monofune siano presenti più modalità di arresto, avremo un circuito di comando principale dotato dell'unico pulsante di marcia e un circuito di comando dotato del pulsante di arresto appropriato per ciascuna modalità di arresto.

La normativa degli impianti aerei monofune prescrive altresì che, prima di ciascun avviamento, un apposito circuito (test) verifichi che, all'intervento (provocato) di tutte le sorveglianze, corrisponda la commutazione dei contatti ausiliari di tutti i relè finali delle stesse (tutti i contatti normalmente chiusi devono essere chiusi).

Il favorevole superamento di tale test diventa, di fatto, un consenso per la partenza, che, naturalmente, potrà avvenire solamente dopo un'operazione (sempre automatica) di ripristino generale delle sorveglianze che sono state fatte intervenire. Tra gli elementi del circuito di comando devono essere annoverati anche i dispositivi ausiliari che provvedono a ritardare alcune manovre ovvero a riconoscere la corretta sequenza di altre, nonché i circuiti che provvedono a realizzare particolari sorveglianze.



Un esempio di tale applicazione viene fornito dalla sorveglianza di mancato avviamento o tempo massimo di avviamento in cui, con riferimento alla figura, un contatto normalmente aperto ritardato alla riapertura, del relè MA (non rappresentato in figura e inserito tra i consensi generali del circuito di comando), provvede a togliere il consenso alla marcia dell'impianto se la manovra di esclusione delle resistenze rotoriche non avviene, a partire dall'istante di messa in marcia, entro il tempo concesso dal citato ritardo. La sequenza prevede che il relè ausiliario MA venga dapprima portato ad eccitazione agendo sull'apposito pulsante di "reset", poi rimanga eccitato in virtù del suo contatto di autotenuta posto in serie al contatto normalmente chiuso del relè pilota RP (o del contattore del motore o di quello del freno). Al momento della marcia il citato contatto ausiliario normalmente chiuso del relè pilota si apre diseccitando il relè MA, mentre quello omologo normalmente aperto (che può essere di scambio) abilita una sua nuova eccitazione che potrà avvenire, alla conclusione delle operazioni di avviamento, con la chiusura del contatto ausiliario RE della sorveglianza di reostato escluso. La nuova eccitazione di MA avviene solo se il citato contatto RE si chiude prima dello scadere del tempo di ritardo concesso.

Per ogni funzione di sorveglianza, vi sono due catene di elementi che eseguono la funzione in parallelo, secondo il principio della ridondanza. I risultati dei due dispositivi (sia in termini del parametro rilevato, sia in termini di azione comandata) sono confrontati tra loro.

Circuito di segnalazione

Al circuito di segnalazione appartengono tutti quei dispositivi, elementi e contatti ausiliari che provvedono a segnalare al macchinista lo stato delle sorveglianze, dei circuiti di potenza e di comando e lo stato dei vari organi quali giunti, freni, ecc. È costituito dagli strumenti indicatori quali voltmetri, amperometri e tachimetri, nonché da tutte le lampade spia. La segnalazione di un'eventuale anomalia o intervento di una qualche sorveglianza da parte delle relative lampade spia (sostituite recentemente con diodi ad emissione luminosa LED che hanno maggiore affidabilità e durata, oltre che minor consumo di energia, in assenza o quasi di emissione di calore) può avvenire in due modi distinti:

- lampada verde sempre accesa, per segnalare la normalità, che si spegne;
- lampada rossa sempre spenta, per segnalare la normalità, che si accende.

Quando vengono utilizzate lampade spia rosse che si accendono per indicare l'intervento di una qualche protezione, dato che il loro funzionamento è basato sul principio del lancio di corrente, deve essere presente un apposito circuito (prova lampade) con il quale il macchinista può verificare, saltuariamente, il corretto funzionamento delle stesse.

Prima dell'introduzione dei supervisor, realizzati da personal computer, in combinazione con le logiche programmabili dei PLC, le spie di segnalazione del banco di manovra utilizzavano anche la tecnica "multiplexer", con cui i segnali di ben otto sorveglianze venivano trasmessi su una sola coppia di conduttori, con evidenti semplificazioni di cablaggio ottenute però con l'appesantimento delle apparecchiature elettroniche.

La segnalazione dello stato delle sorveglianze per gli impianti monofune più recenti prevede l'impiego di un PC che supporti i programmi relativi alla visualizzazione degli schemi planimetrici dei macchinari, degli schemi idraulici delle

apparecchiature di tensionamento (contenenti anche lo stato delle varie sorveglianze relative), ma anche, per ciascuna sorveglianza, lo stato attuale, l'indicazione del tipo di arresto che comanda, la possibilità di essere o meno parzializzata nonché l'eventuale livello di penalizzazione conseguente.

Il doppio supervisore di un simile impianto è in grado di segnalare, mediante scrittura diretta su un monitor, quale sorveglianza ha determinato l'arresto, quali ulteriori interventi si sono succeduti fino al momento del passaggio della velocità sotto le soglie di minima, fornendo, alla conclusione dell'arresto, sia lo spazio che il tempo impiegato, nonché il calcolo della decelerazione media ricavata.

Le visualizzazioni eseguite mediante il monitor del PC sono affette da un errore sistematico dovuto al fatto che l'immagine viene aggiornata con una cadenza ben precisa.

Non è possibile, perciò, rilevare il momento preciso dell'intervento di una sorveglianza dal passaggio allo stato di anomalia (rosso) della relativa indicazione, ma questo non ha grande importanza in quanto il rilievo e la segnalazione dei tempi sono effettuati dal supervisore stesso con una notevole precisione.

La cadenza di aggiornamento può ostacolare invece la visualizzazione delle grandezze di funzionamento variabili (con continuità) per le quali la visualizzazione del numero corrispondente al valore avviene (con valori sempre diversi) con la stessa cadenza dell'aggiornamento; tali variabili diventano quindi impossibili da leggere e soprattutto da ricordare utilmente.

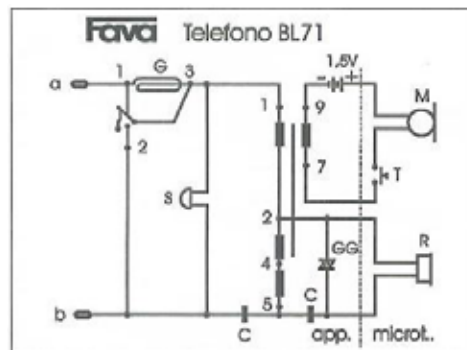
Un piccolo miglioramento è stato ottenuto con il tentativo di trasformare il numero corrispondente alla misura nella posizione angolare di un vettore, come se si trattasse dell'ago di uno strumento analogico, che però, procedendo a scatti, consente solo valutazioni sommarie e non letture vere e proprie.

Quando ricorre la necessità della lettura del valore di intervento di una qualche sorveglianza (velocità, corrente, ecc.), si ricorre al vecchio strumento analogico, anche se affetto da inerzie, oppure, molto più semplicemente, si affida al supervisore il compito di rilevarla, utilizzando un semplice programma di memorizzazione del valore massimo.

Circuito di comunicazione degli impianti monofuni

Il circuito di comunicazione comprende le apparecchiature telefoniche e le relative linee di collegamento.

Le apparecchiature telefoniche sono costituite da una coppia di telefoni a batteria locale dotati di generatore di chiamata che può essere a manovella (slegata dalla fornitura di energia elettrica) o elettrica/elettronica. Va sottolineato che la tensione di chiamata ottenuta con il generatore a manovella può raggiungere valori anche superiori a 110 V (tensione proporzionale alla velocità di rotazione della manovella) per cui davanti alle apparecchiature elettriche della stazione di rinvio, anche se alimentate a tensioni di sicurezza, c'è la necessità di installare il "tappeto isolante".



Schema elettrico di telefono a batteria locale molto diffuso

Il circuito di comunicazione serve, perciò, a mettere in collegamento telefonico il macchinista, che opera alla stazione motrice, con l'agente che opera alla stazione di rinvio. L'obiettivo è avere da quest'ultimo informazioni circa l'esercizio, e in primo luogo le cause degli eventuali arresti di stazione.

La linea di collegamento tra la stazione motrice e quella di rinvio deve essere dotata di scaricatori di sovratensione in entrambe le stazioni, e inoltre avere la possibilità di un collegamento diretto con l'impianto di messa a terra elettrica locale, da utilizzare nei periodi di inattività dell'impianto, che spesso coincidono con la stagione estiva, quando sono maggiori le probabilità di eventi elettrici di origine atmosferica (fulmini).

La necessità di avere su ciascun sostegno una presa telefonica da utilizzare per le comunicazioni da effettuare durante le operazioni di manutenzione è stata soppiantata dall'utilizzo generalizzato di apparecchiature ricetrasmittenti a batterie ricaricabili di ottima affidabilità, date in dotazione al personale addetto.

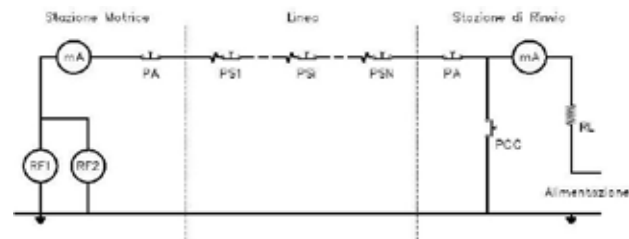
Con l'avvento della tecnologia delle fibre ottiche, specie per gli impianti più importanti, le comunicazioni tra le stazioni sono non solo più affidabili, ma anche ampliate alla telefonia fissa, alla videosorveglianza, al collegamento internet.

Circuito di sicurezza di linea degli impianti monofuni

Il circuito di sicurezza di linea è l'unica sorveglianza che estende il controllo all'intera lunghezza dell'impianto, raccogliendo sia i consensi delle sorveglianze della stazione di rinvio (pulsanti di arresto, finecorsa, ecc.), sia quelle poste lungo la linea, in particolare sui sostegni di linea (pulsanti di arresto, dispositivi di arresto in caso di scarrucolamento della fune, ecc.).

Come tutti i circuiti che devono garantire sicurezza di intervento, deve essere a corrente di riposo, ossia la situazione normale viene segnalata come quella in cui il circuito è percorso da corrente elettrica; è proprio l'annullamento di tale corrente che viene interpretato come comando di arresto, con la diseccitazione dei relativi relè finali.

La normativa, per tale circuito, richiede l'alimentazione dalla stazione di rinvio, cosa che lo rende a sicurezza intrinseca, contrariamente a quanto avveniva nelle vecchie realizzazioni (alimentate dalla stazione motrice), in cui, senza particolari accorgimenti, bastava un corto circuito lungo la linea per escludere la possibilità di arresto da tutti i comandi posti "dopo" il punto di cortocircuito.



L'alimentazione dalla stazione di rinvio garantisce che, qualunque sia il regime della corrente del circuito, tutti i dispositivi di arresto sono in grado di arrestare l'impianto, oppure l'eventuale cortocircuito lungo la linea ha già automaticamente tolto il consenso alla marcia per diseccitazione dei relè finali del circuito stesso.

Se la condizione di funzionamento del circuito non è quella di cortocircuito ma quella di dispersione (perdita parziale di isolamento), il milliamperometro della stazione di rinvio indica una corrente maggiore di quella normale, mentre quello della stazione motrice indica una corrente minore del normale.

Il milliamperometro della stazione motrice indica sempre la corrente complessiva che attraversa le bobine dei relè finali, per cui, se è sufficiente a mantenerli eccitati, si può affermare che il circuito è ancora perfettamente efficiente con tutti i dispositivi di arresto inseriti: quelli posizionati a monte della dispersione perché interrompono l'intera corrente di linea, e quelli posizionati a valle della dispersione perché interrompono proprio la parte utile della corrente di linea, cioè quella che va a interessare i relè finali.

Per rispettare la prescrizione relativa all'alimentazione del circuito dalla stazione di rinvio, in cui raramente si trova un'alimentazione indipendente, quasi tutte le ditte costruttrici di circuiti di sicurezza hanno adottato la seguente soluzione: dotano il circuito di sicurezza di linea di un alimentatore (posto ovviamente alla stazione di rinvio) e di alimentarlo dalla stazione motrice con una linea dedicata dalle batterie dei servizi a 24 V.

L'alimentatore consta di tre parti principali:

- un inverter, che trasforma la tensione continua (24 V) in ingresso in una tensione alternata (a frequenza elevata) di valore efficace dello stesso ordine di misura;
- un trasformatore elettrico di isolamento per la separazione galvanica tra l'ingresso e l'uscita;
- un raddrizzatore (ponte di Graetz), che provvede a trasformare la tensione alternata in uscita dal secondario del trasformatore di isolamento nuovamente in tensione continua sempre dello stesso ordine di misura, ma che viene utilizzata mettendo a massa (OL) l'uscita positiva e portando al conduttore attivo del circuito di sicurezza la polarità negativa (-L).

In caso di interruzione del circuito di sicurezza, entrambi i milliamperometri indicheranno corrente nulla, mentre, in caso di cortocircuito, il milliamperometro della motrice indicherà ancora corrente nulla ma il milliamperometro della rinvio indicherà la corrente di corto circuito:

$I_{cc} = V/R_L$ Il macchinista alla motrice non è perciò in grado di distinguere l'interruzione dal cortocircuito senza interpellare l'agente della stazione di rinvio o senza avere a disposizione l'apposito circuito che è in grado di discriminare le due situazioni. Il funzionamento di tale circuito discriminatore si basa sulla misurazione della corrente della linea di alimentazione in partenza per l'alimentatore del circuito di sicurezza: tale corrente è minima se lo zero del milliamperometro è dovuto a interruzione, mentre è massima se è dovuto a cortocircuito.

Una volta che il macchinista ha capito se si tratta di interruzione o di corto circuito, dovrà provvedere a eseguire le manovre che gli consentano di individuare il punto ove il guasto è accaduto. I provvedimenti da prendere sono assai diversi nei due casi. La manovre di ricerca ed i provvedimenti sono descritti di seguito.

Ricerca dell'interruzione

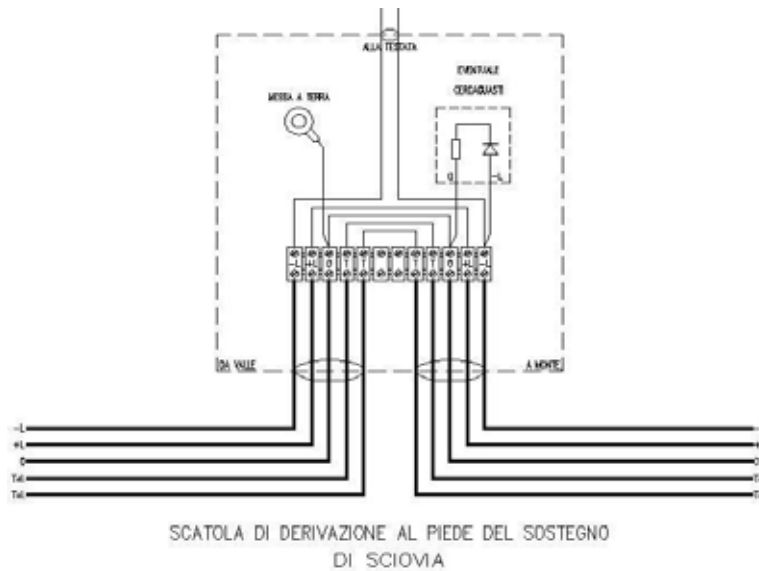
Prima di tutto si deve verificare l'efficienza dell'alimentatore facendo fare all'agente di rinvio una prova di cortocircuito mediante l'apposito pulsante di prova (PCC). Una prova identica all'arrivo della linea -L del circuito alla stazione motrice potrà individuare eventuali guasti al pulsante di arresto di stazione o ad entrambi i relè finali.

Fermo restando il fatto che i sostegni di ritenuta, con le loro maggiori vibrazioni (dovute al passaggio del dorso dei morsetti sui rulli), hanno maggior probabilità di essere sede di interruzioni, la ricerca dell'interruzione può avvenire con due metodi diversi la cui scelta dipende dalle condizioni di percorribilità della linea nonché dal mezzo impiegato per percorrerla.

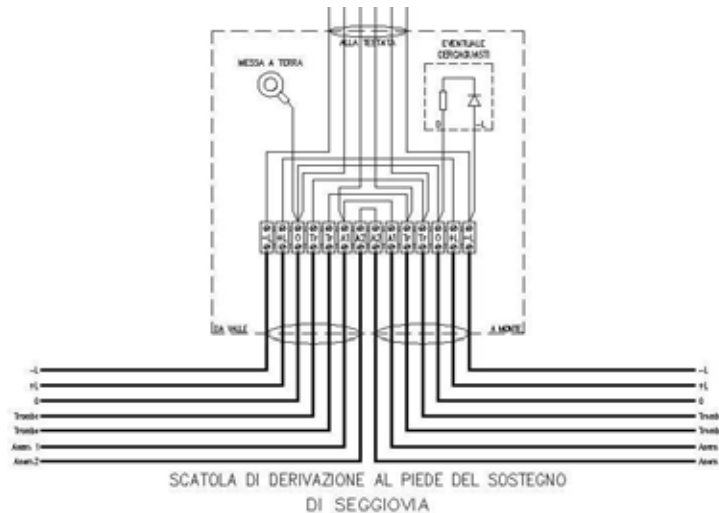
Se la percorribilità della linea è garantita solamente a piedi, si sceglierà di procedere dalla stazione di monte verso quella di valle, portando con sé, se disponibili, i seguenti strumenti:

- un cacciavite idoneo ad aprire le scatole di derivazione poste alla base dei sostegni e ad agire sui relativi morsetti;
- un pezzo di filo elettrico lungo qualche decina di centimetri o, in alternativa al filo, un tester predisposto per misure di tensioni continue.

Raggiunto l'ultimo sostegno si opera alla base dello stesso con l'apertura della scatola di derivazione, che dovrebbe mostrare la configurazione dei morsetti e dei collegamenti come rappresentati nella figura seguente se si tratta di un impianto scioviario.



La configurazione per un impianto aereo monofune (seggiovia) è invece rappresentata nell'immagine di seguito.



Come si può notare, la posizione dei morsetti relativi al circuito di sicurezza dovrebbe essere sempre la prima e l'ultima della morsettiera, per cui risulta parimenti agevole effettuare un collegamento provvisorio (ponticello) tra il primo e il terzo morsetto (terra) partendo prima da destra e poi da sinistra per realizzare un corto circuito del conduttore attivo rispettivamente prima e dopo il sostegno sotto esame.

Se il milliamperometro della stazione di rinvio non segna alcuna corrente durante le operazioni descritte sopra, allora l'interruzione è localizzata in un punto più vicino alla stazione di rinvio rispetto al sostegno sotto esame. È chiaro che se la stazione di monte è anche di rinvio e ci si trova sull'ultimo sostegno, allora l'interruzione non può che essere localizzata lungo la linea di collegamento tra l'ultimo sostegno e la stazione di rinvio.

Se il milliamperometro della stazione di rinvio segna la corrente di cortocircuito solamente quando si effettua uno dei due

ponticelli sopracitati, l'interruzione è ubicata proprio sul sostegno in prova.

Se il milliamperometro della stazione di rinvio segna la corrente di cortocircuito quando si effettuano entrambi i ponticelli, l'interruzione del circuito è ubicata in un punto più lontano dalla stazione di rinvio rispetto al sostegno in prova. È chiaro che se la stazione di monte è anche motrice e siamo sull'ultimo sostegno, in questo caso l'interruzione non può che essere localizzata lungo la linea di collegamento tra l'ultimo sostegno e la stazione motrice.

Avendo a disposizione un tester idoneo alle misure di tensioni continue, l'esecuzione dei cortocircuiti mediante ponticello può essere sostituita dalla misura diretta della tensione tra gli stessi morsetti, e il risultato viene letto sullo strumento senza la necessità di mantenere un agente alla stazione di rinvio per la lettura del milliamperometro di linea. La presenza di tensione equivale alla potenziale circolazione della corrente di cortocircuito in caso di cortocircuito.

Eseguite le prove finora descritte sull'ultimo sostegno senza aver individuato con precisione la posizione dell'interruzione, ci si porta sul penultimo sostegno e si ripetono le stesse procedure applicate all'ultimo sostegno, poi al terzultimo e così via fino alla individuazione dell'interruzione.

Qualora la raggiungibilità dei sostegni sia possibile con un mezzo meccanico (quad, motoslitta, fuoristrada, ecc.) si potrà scegliere l'altro metodo, che consiste nel raggiungere all'incirca il sostegno posto a metà linea, meglio se di ritenuta, applicare le stesse procedure già viste per il primo metodo e, a seconda dell'esito delle misure, individuare direttamente il sostegno interessato dall'interruzione (se si è molto fortunati) o si individua la parte della linea interessata dall'interruzione. Ci si porta quindi in corrispondenza del sostegno posto all'incirca alla metà della mezza linea interessata dall'interruzione, e così via fino a ridursi all'unico sostegno su cui si deve trovare l'interruzione (se si è molto sfortunati).

Riassumendo, l'interruzione si trova mediante progressive cortocircuiti del conduttore attivo (-L) fino a individuare il punto in cui l'operazione cambia risultato rispetto a quello ottenuto nella misura precedente, a significare che con l'ultimo spostamento è stata superata la posizione dell'interruzione.

Ricerca del cortocircuito

Prima di tutto si deve verificare che il cortocircuito sia avvenuto all'esterno delle stazioni mediante semplice prova di arresto per interruzione dal relativo pulsante (PA) posto sia alla stazione di rinvio che a quella motrice.

Anche per la ricerca del cortocircuito valgono le stesse considerazioni, circa il metodo da seguire, fatte per la ricerca dell'interruzione, solo che ora non ci si ferma alla sola apertura della scatola di derivazione posta alla base del sostegno ma si deve utilizzare il cacciavite per eseguire anche delle interruzioni. Le operazioni di interruzione sarebbero agevolate se i morsetti del conduttore attivo (-L) fossero del tipo sezionabile.

Partendo sempre dall'ultimo sostegno, si interrompe il conduttore attivo (-L) del circuito di sicurezza prima sul primo e poi sull'ultimo morsetto della morsettiera ossia prima e dopo il circuito relativo al sostegno sotto esame.

Se il milliamperometro della stazione di rinvio non si azzerava con alcuna delle operazioni sopra descritte, allora significa che il cortocircuito è ubicato in un punto più vicino alla stazione di rinvio rispetto al sostegno in prova. È chiaro che, se la stazione di monte è anche di rinvio e siamo sull'ultimo sostegno, allora il cortocircuito deve essere ubicato lungo la linea di collegamento tra l'ultimo sostegno e la stazione di rinvio.

Se il milliamperometro della stazione di rinvio si azzerava solamente quando si effettua una sola delle interruzioni sopracitate, significa che il corto circuito è ubicato proprio sul sostegno sotto esame.

Se il milliamperometro della stazione di rinvio si azzerava per entrambe le interruzioni, allora il corto circuito è ubicato più lontano dalla stazione di rinvio rispetto al sostegno in prova. È anche evidente che se la stazione di monte è anche motrice e siamo sull'ultimo sostegno, allora il cortocircuito deve essere ubicato lungo la linea di collegamento tra l'ultimo sostegno e la motrice.

Avendo a disposizione un tester idoneo alle misure di tensioni continue, la lettura del milliamperometro della stazione di rinvio (da parte dell'agente addetto) viene sostituita dalla lettura diretta della tensione che compare sui capi dell'interruzione quando si interrompe la corrente di cortocircuito.

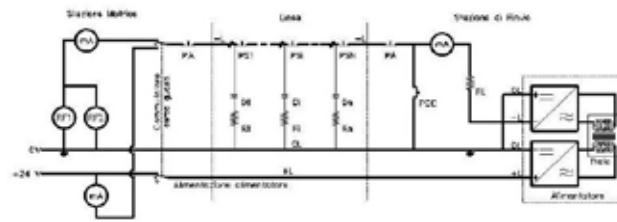
Eseguite le prove fin qui descritte sull'ultimo sostegno senza aver individuato con precisione la posizione del cortocircuito, ci si porta sul penultimo sostegno e si ripetono le stesse procedure applicate precedentemente, poi al terzultimo e così via fino alla individuazione del cortocircuito.

Qualora la raggiungibilità dei sostegni sia possibile con un mezzo meccanico (quad, motoslitta, fuoristrada, ecc.) si potrà scegliere l'altro metodo, che consiste nel raggiungere all'incirca il sostegno posto a metà linea, meglio se di ritenuta, applicare le stesse procedure già viste per il primo metodo e, a seconda dell'esito della misura, o si individua direttamente il sostegno interessato (se si è molto fortunati) o si individua la parte della linea interessata dal cortocircuito. Ci si porta quindi in corrispondenza del sostegno posto all'incirca alla metà della mezza linea che abbiamo dedotto essere interessata dal cortocircuito, e così via, fino a ridursi all'unico sostegno sul quale si deve trovare il cortocircuito ricercato (se si è molto sfortunati). Riassumendo, il cortocircuito si individua mediante progressive interruzioni del conduttore attivo (-L) fino a individuare il punto in cui l'operazione cambia risultato rispetto a quello ottenuto nella misura precedente, a significare che con l'ultimo spostamento è stata superata la posizione del cortocircuito.

Apparecchiature cerca-guasti

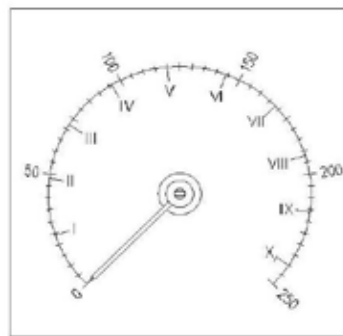
Le apparecchiature per la ricerca dei guasti del circuito di sicurezza di linea possono essere di tipo alternativo o di tipo continuativo e contemporaneo. Le prime possono funzionare solamente quando il circuito di sicurezza è spento; le seconde, invece, sono in grado di funzionare contemporaneamente al circuito di sicurezza stesso.

Le apparecchiature del primo tipo sono quasi esclusivamente dedicate all'individuazione dell'interruzione (molto più raramente anche del cortocircuito), e consistono di un milliamperometro, di un commutatore a due vie e a due o tre posizioni posti alla stazione motrice, e di un diodo ed una resistenza fissa collegati in serie posti su ciascun sostegno e collegati al circuito di sicurezza, in modo che, durante il suo funzionamento normale, il diodo sia in condizioni di non conduzione.



Cerca-guasti alternativo

Nel momento in cui il circuito di sicurezza si interrompe per l'intervento di un qualche arresto di linea, si dovrà spostare il commutatore nella posizione di ricerca del guasto transitando eventualmente dalla posizione di zero (se presente). Tale commutazione provvede sia ad interrompere la linea di alimentazione dell'alimentatore del circuito di sicurezza (posto alla stazione di rinvio) che a commutare il conduttore attivo proveniente dalla linea -L dal milliamperometro del circuito a quello del cerca-guasti alimentato dalla polarità positiva della batteria.



In questo modo la corrente che circherà nel circuito (inversa rispetto a quella di funzionamento normale) sarà tanto maggiore quanto più numerosi saranno i sostegni integri prima di quello affetto da interruzione. Infatti, al numero di questi sostegni corrisponderanno altrettante resistenze (tutte uguali) in parallelo.

Dalla misura della corrente si potrà quindi dedurre il sostegno su cui è probabile sia ubicata l'interruzione, addirittura realizzando la scala del milliamperometro con le indicazioni dei vari sostegni in corrispondenza dei valori delle relative correnti, come illustrato nella figura sopra, realizzata per un impianto da 10 sostegni e resistenze da 1 k Ω su ciascun sostegno. Il dispositivo cerca-guasti sopra descritto può naturalmente funzionare solamente se l'interruzione che ha arrestato l'impianto durante il moto permane anche dopo il suo arresto.

Per ovviare a una simile limitazione, vengono utilizzate apparecchiature del secondo tipo, che sono in grado di segnalare la posizione sia dell'interruzione che del cortocircuito, anche se transitorie.

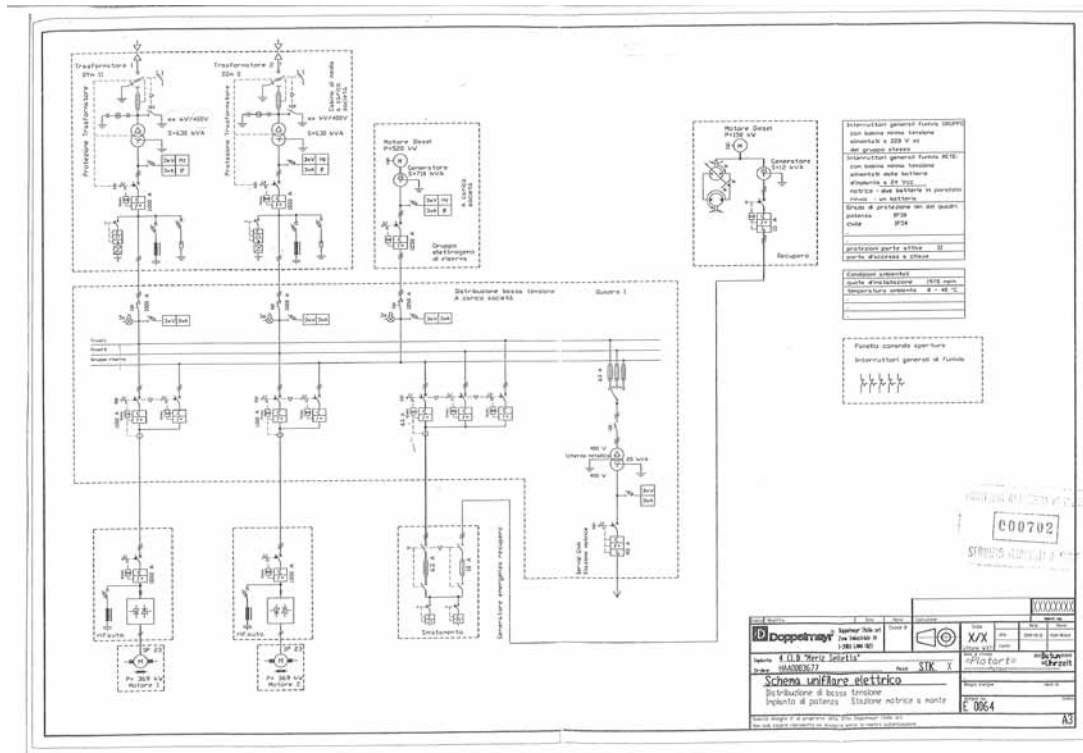
Come già detto, tali apparecchiature possono funzionare contemporaneamente al circuito di sicurezza, utilizzando ovviamente lo stesso conduttore attivo (-L) sul quale lanciano dei treni di impulsi di piccolissima tensione (pochi mV) ma di frequenza medio-alta, analizzandone poi l'eco di ritorno.

Per una facile discriminazione della posizione dei vari sostegni, specie di quelli molto vicini, ciascun sostegno viene dotato di un dispositivo elettrico inserito nel circuito di sicurezza, che non ne modifica il funzionamento normale, in grado però di influire sulla forma e sul ritardo del treno di impulsi.

L'apparecchiatura è dotata di un microprocessore che gestisce sia la fase di taratura sia quella di funzionamento, e di un registro di memoria in cui, durante la fase di taratura, vengono memorizzate le forme d'onda degli echi degli impulsi per ciascuna situazione di guasto.

Così, in fase di taratura, verranno realizzati guasti per interruzione e per cortocircuito su ciascun sostegno, partendo dalla stazione motrice fino a quella di rinvio, e seguendo le indicazioni che vengono fornite su un display dal programma di taratura stesso.

Qualora durante la fase di sorveglianza si registrasse un arresto dell'impianto per intervento del circuito di sicurezza, il cerca-guasti è in grado di riconoscere la forma d'onda dell'eco creatasi al momento del guasto tra quelle memorizzate in fase di taratura. È quindi anche in grado di segnalarne sia la tipologia dell'arresto sia la posizione in cui si è verificato. Come si può immaginare, la velocità dell'elettronica digitale è in grado di garantire l'individuazione del guasto anche se la sua durata è brevissima: per questo motivo l'apparecchiatura è molto preziosa durante l'esercizio per l'individuazione dei guasti aleatori.



Circuito di sicurezza e circuito di comunicazione degli impianti multifuni

Al circuito di sicurezza di funivia sono affidati i seguenti compiti:

1. permettere l'arresto dell'impianto dalle vetture e dalla stazione di rinvio;
2. arrestare l'impianto in caso di accavallamento delle funi;
3. trasmettere vari segnali (partenza, chiamata, comando dalle vetture);
4. collegare telefonicamente le vetture, la stazione motrice e la stazione di rinvio.

Il circuito di sicurezza di un impianto multifune può essere di tipo galvanico o di tipo induttivo-capacitivo.

Il **circuito di sicurezza galvanico** è un semplice circuito a corrente continua che collega le due stazioni, passando per i veicoli.

L'alimentazione a 24 V viene fornita dalla stazione di rinvio. Con tale tensione si alimenta l'anello trattivo di fune, costituito dai due rami in parallelo contenenti le vetture, sino al ricongiungimento in stazione motrice. La chiusura del circuito elettrico da motrice a rinvio viene infine effettuata utilizzando come neutro la fune portante, collegata a terra.

Il sistema così definito può essere schematizzato con tre resistenze presenti sul conduttore alimentato, una resistenza di linea dovuta alla resistenza intrinseca dell'anello trattivo e due resistenze delle vetture.

Quando l'impianto funziona regolarmente, nel circuito circola una corrente la cui intensità dipende dal generatore di tensione a rinvio, dalla resistenza di linea e dalle due resistenze in parallelo dei due veicoli. L'arresto dell'impianto avviene se alla stazione motrice si verifica una riduzione o un'interruzione della corrente circolante nel circuito, nei seguenti casi:

- arresto da rinvio, con interruzione della corrente circolante;
- arresto da una vettura, con riduzione della corrente circolante;
- arresto da due vetture, con interruzione del circuito;
- arresto da motrice, con interruzione del circuito;
- accavallamento delle funi, con interruzione della corrente a motrice ed aumento della corrente a rinvio (cortocircuito del sistema).

Questa tipologia di circuito di sicurezza, presente nelle funivie più datate, era caratterizzato da semplicità costruttiva ma cattiva qualità di trasmissione dei segnali, elevato disturbo e difficoltà di gestione legate al grasso delle funi, alla formazione di ghiaccio e al consumo delle spazzole di alimentazione del sistema.

In caso di accavallamento delle funi, non è inoltre possibile il collegamento telefonico tra le stazioni.

Il **circuito di sicurezza e segnalazione induttivo-capacitivo** è subentrato al circuito galvanico essendo in grado di offrire la possibilità di trasmettere un ampio numero di segnali e garantire qualità e sicurezza dei segnali trasmessi.

In questa tipologia di circuito, la trasmissione dei segnali avviene senza l'ausilio di contatti striscianti, bensì attraverso l'utilizzo di trasmettitori e ricevitori, utilizzando la fune traente come mezzo di propagazione del segnale.

Con l'accoppiamento induttivo è possibile la trasmissione di segnali a diverse bande di frequenza, a ciascuna delle quali corrisponde uno specifico percorso dei segnali, ad esempio stazione motrice-vettura 1. Per poter quindi effettuare la trasmissione dei segnali, il sistema si compone di un trasmettitore e di un ricevitore che, per mezzo di filtri, elabora il segnale ricevuto.

La frequenza di trasmissione viene definita da un processore con i trigger.

Il segnale così creato, dopo esser stato amplificato e filtrato, si propaga nella fune traente sino al ricevitore, dove le onde vengono "lette" da un toroide, amplificate e filtrate in base alla frequenza ed infine decodificate da un elaboratore, che comanda anche l'eccitazione o la diseccitazione dei relè finali di sicurezza.

Per poter stabilire un collegamento tra le stazioni e con le vetture, ogni posto di comando necessita di un trasmettitore e di un ricevitore per i segnali di interesse.

Poiché il sistema gestisce l'intervento dei relè finali di sicurezza, il sistema viene progettato a sicurezza intrinseca tramite l'impiego di relè dinamici che rimangono eccitati solo se comandati da un segnale pulsante predefinito. In assenza di alimentazione o se eccitati da una tensione continua, il relè si diseccita portando in sicurezza l'impianto.

In questo tipo di circuito di sicurezza, alla parte capacitiva viene demandato il controllo dell'anello trattivo e dell'accavallamento delle funi.

Ad un capo dell'anello trattivo, una piastra alimentata a tensione variabile, l'aria come dielettrico e la fune traente che funge da seconda piastra formano un condensatore con funzione di trasmettitore. Il segnale variabile si propaga lungo la fune sino a giungere all'altro capo, dove un'analogica piastra metallica con funzione di ricevitore forma con l'aria e la fune traente il condensatore di lettura del segnale.

Poiché il sistema così creato ha una capacità definita sia verso terra sia verso altri elementi dell'impianto come le funi portanti e le funi di soccorso, l'eventuale accavallamento di funi o corto circuito diretto verso altre parti metalliche dell'impianto comporta una variazione del segnale capacitivo letto dal ricevitore e un conseguente arresto dell'impianto.

I vantaggi del circuito induttivo-capacitivo sono i seguenti:

- trasmissione dei segnali senza contatti;
- alta affidabilità;
- possibilità di trasmissione di un elevato numero di segnali;
- comunicazione telefonica garantita anche in caso di accavallamento;
- sicurezza intrinseca del sistema.

Sistemi di controllo a logica cablata e PLC

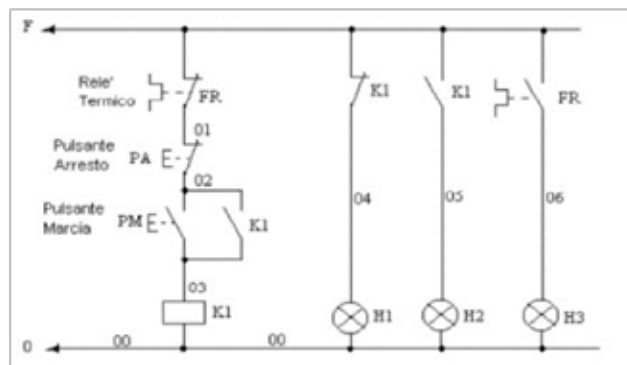
In ambito funiviario, l'intero sistema di sorveglianza dell'impianto costituisce il sistema di controllo automatico, in quanto esegue le seguenti funzioni:

- 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 propri circuiti;
- agisce sui dispositivi attivi dell'impianto in base ai risultati dell'elaborazione.

Quest'ultimo punto viene effettuato con le seguenti modalità:

- fornendo comandi (accensione/spengimento) o variando le grandezze (riferimento di velocità) fornite all'azionamento del motore dell'impianto;
- controllando la corrente di eccitazione dei cosiddetti relè finali, i quali possono:
 - aprire/chiudere l'alimentazione elettrica di alcuni dispositivi dell'impianto, ad esempio i freni elettromagnetici, i motorini dei cancelletti di imbarco, ecc.;
 - fornire i comandi a degli attuatori, ad esempio le elettrovalvole che operano sui dispositivi come i freni o i tenditori pneumatici.

Per realizzare un comando a distanza o tramite automatismo di un qualunque utilizzatore di potenza, è generalmente necessario realizzare un circuito di comando.



Esempio di circuito a logica cablata

La caratteristica fondamentale dei sistemi di controllo a logica statica sta nel fatto che, pur essendo dispositivi elettronici, e quindi funzionanti a bassissima tensione, si adattano a funzionare negli ambienti industriali con notevoli disturbi ed elevate correnti elettriche. Al loro interno, infatti, si trova un microprocessore di tipo semplice ma di elevata affidabilità e dotato di particolari interfacce di ingresso e uscita che lo possono connettere direttamente a segnali elettrici di impianti e macchinari.

Il funzionamento di un PLC è piuttosto semplice. In una prima fase le interfacce di ingresso (chiamate semplicemente ingressi) acquisiscono lo stato dei segnali provenienti da pulsanti, sensori e contatti. In una seconda fase il microprocessore elabora il programma sulla base degli ingressi e dei dati interni, e produce dei segnali che vengono inviati alle interfacce di uscita (chiamate semplicemente uscite). Nella terza fase i segnali di uscita sono trasmessi agli attuatori (motori, elettrovalvole, consensi, ecc.) che mettono in moto la macchina. Queste elaborazioni vengono eseguite in un ciclo che dura tipicamente da 1 a 5 ms (millisecondi) ed è continuamente ripetuto, in maniera da dare l'impressione che tutte le operazioni vengano eseguite istantaneamente senza alcuna interruzione.

Utilizzare un PLC per realizzare un impianto di automazione comporta una serie di vantaggi sia per chi lo installa sia per chi lo utilizza. In particolare si evidenzia che il cablaggio di un quadro di automazione diventa elementare in quanto basta portare ciascun segnale individualmente sulla morsettiera del PLC. È semplice controllare eventuali anomalie o scoprire guasti; è possibile "programmare" centinaia di relè ausiliari, temporizzatori e contatori senza aumentare lo spazio occupato nel quadro.

È possibile, tramite il software di programmazione, modificare il funzionamento dell'automatismo anche mentre questo è in funzione o con pause di pochi istanti; è possibile adattare il funzionamento alle esigenze di produzione (ad esempio per un cambio formato), sostituendo il programma. Da considerare l'alta affidabilità del prodotto: i casi di guasto sono rarissimi, e avvengono soprattutto nei primi giorni di funzionamento per difetti di produzione, o errori di montaggio o di cablaggio.

I PLC si differenziano tra loro per il numero di segnali digitali che possono gestire fisicamente, ovvero che possono essere connessi. Pertanto è consuetudine, per riconoscere la "taglia" di un PLC, indicare quanti segnali di ingresso e uscita ha a disposizione nei suoi morsetti. Sul mercato sono reperibili varie taglie di PLC a partire da modelli che gestiscono 10 segnali digitali fino ad arrivare a modelli da oltre 1000 ingressi/uscite. Le unità di acquisizione dei dati più semplici possono accettare in ingresso segnali di tipo alto/basso, sì/no, aperto/chiuso. Ma sono anche disponibili moduli di acquisizione di dati analogici, cioè di grandezze in ingresso che variano in maniera continua. Questi moduli trasformano il segnale in forma numerica prima di trasferirlo al microprocessore, e la frequenza con cui effettuano questa conversione dipende dalla velocità con cui il segnale in ingresso può variare: per cui possono essere moduli anche molto complessi e costosi. Le unità di controllo sono le unità di elaborazione che contengono il microprocessore e le unità di memoria dove viene caricato il programma che il sistema deve eseguire. Sono chiamate anche coordinatori. L'offerta che oggi viene proposta dai produttori di PLC sul mercato è molto ampia, ed ognuno nel proprio catalogo ha vari modelli a disposizione che possono adattarsi a situazioni e configurazioni pressoché infinite.

8.2 Descrizione dello schema elettrico didattico di sciovia

Con riferimento allo schema elettrico di sciovia rappresentato nelle pagine precedenti e riportato sopra, si riassumono di seguito i vari elementi che lo compongono.

010b Fine-corsa di controllo del completo inserimento del reostato di avviamento.

Contatto normalmente aperto che si chiude quando la barra di corto-circuito delle resistenze si trova nella posizione di estrema sinistra (reostato completamente inserito).

011a Interruttore tripolare automatico (magnetotermico) dell'apparecchiatura.

Sostituibile con sezionatore tripolare dotato di fusibili.

La corrente nominale di tale apparecchio deve essere maggiore di quella del motore.

011b Fine-corsa di controllo dell'usura ferodi (della corsa utile del contrappeso del freno)

Contatto normalmente chiuso che si apre prima della fine inferiore della corsa del contrappeso del freno.

011h Lampade spia di presenza tensione collegate a stella sul secondario del TV con il centro stella a terra.

La tensione di funzionamento tipica 100 – 110 Volt (vedi rapporto di trasformazione del TV).

011s Elettromagnete monofase di apertura del freno. (più frequentemente però è trifase)

La tensione di funzionamento, se diversa da 380 V, viene adattata dal trasformatore di alimentazione (012m).

012b Fine-corsa di controllo dell'apertura del freno

Contatto normalmente chiuso che si chiude a freno aperto.

NB: Essendo il freno rappresentato nella posizione di riposo (chiuso), il fine-corsa è disegnato nella posizione di lavoro (contatto aperto)! All'apertura del freno il sollevamento del contrappeso e della relativa asta dotata della camma di manovra determina la richiusura del contatto normalmente chiuso.

012m Trasformatore di alimentazione dell'elettromagnete di apertura del freno.

È presente se c'è la necessità di modificare il valore della tensione di alimentazione dell'elettromagnete del freno ovvero, se associato ad un ponte raddrizzatore, per alimentare l'eventuale elettromagnete in corrente continua.

012r Terna di resistenze collegate a stella con il centro stella a terra per realizzare la posizione del neutro mancante.

Presenti solamente se il commutatore voltmetrico è a 7 posizioni per rilevare sia le tensioni concatenate (380V) che quelle di fase (220V).

013b Commutatore Voltmetrico a 4 ingressi e 2 uscite (7 posizioni) oppure più spesso a 3 ingressi e 2 uscite (4 posizioni).

Il Voltmetro collegato alle 2 uscite consentirà la misura delle sole tensioni concatenate RS, ST e TR (380V) per la versione a 3 ingressi, mentre la versione a 4 ingressi consentirà la misura anche delle tensioni di fase RN, SN e TN (220V).

013g Voltmetro (strumento indicatore della tensione elettrica)

Alimentato dalla tensione secondaria del TV (013m) avrà la scala graduata fatta in modo tale che l'indicazione corrispondente alla deviazione prodotta da tale tensione sia esattamente il valore corrispondente alla tensione primaria. (di rete).

013m Trasformatore Voltmetrico trifase. Di solito sostituito da 2 o 3 trasformatori monofase.

Serve per adattare la tensione di rete (380V) ad un valore ammissibile per l'alimentazione delle lampade di presenza tensione e del voltmetro indicatore delle tensioni (che non può superare i 110V).

013r Reostato di avviamento costituito da tre resistenze collegate a stella.

La barra mobile di corto-circuito passa dalla posizione di estrema sinistra (reostato completamente inserito che consente la messa in marcia) a quella di estrema destra (reostato completamente escluso raggiungendo la fine della manovra di avviamento). Per motori di potenza maggiore di solito è sostituito da terne di resistenze collegate in serie escludibili a gradini tramite teleruttori.

014b Fine-corsa di controllo della completa esclusione del reostato di avviamento.

Contatto normalmente aperto che si chiude quando la barra di corto-circuito delle resistenze si trova nella posizione di estrema destra (reostato completamente escluso).

014f Trasformatore amperometrico fornisce alimentazione alla sorveglianza di corrente.

Congiuntamente al TA 014f provvede a fornire al relè di massima corrente (017u) i segnali corrispondenti alle correnti che alimentano il motore principale.

015e Relè termico del motore principale.

Realizza la protezione contro il sovraccarico del motore ed è perciò tarato sul valore della corrente nominale dello stesso. L'intervento della protezione determina l'apertura di un contatto normalmente chiuso (015e) che rimane aperto fino a ripristino manuale locale.

015f Trasformatore Amperometrico di alimentazione dell'Amperometro di macchina.

Realizza l'isolamento galvanico tra i conduttori di potenza (interessati dalla tensione di rete) e quelli del circuito di segnalazione e misura, per i quali le tensioni ammissibili devono essere non maggiori di 110V.

015m Motore principale asincrono trifase a rotore avvolto.

Dotato di collettore ad anelli che provvede a realizzare i collegamenti elettrici tra i circuiti rotorici ed il reostato di avviamento.

016f Trasformatore Amperometrico fornisce alimentazione alla sorveglianza di corrente.

Congiuntamente al TA 014f provvede a fornire al relè di massima corrente (017u) i segnali corrispondenti alle correnti che alimentano il motore principale.

017g Amperometro di macchina (strumento indicatore della corrente di motore).

Alimentato dalla corrente secondaria del TA (015f) avrà la scala graduata fatta in modo tale che l'indicazione corrispondente alla deviazione prodotta da tale corrente sia esattamente il valore corrispondente alla corrente primaria (di motore).

017u Relè di massima corrente o sorveglianza di corrente.

Dispositivo di protezione che provvede a togliere il consenso alla marcia qualora la corrente di alimentazione del motore superi il 120% di quella registrata a pieno carico. Esso agisce con tre sezioni, ciascuna con propria soglia di taratura:

1. la prima, sempre attiva, controlla le correnti nella fase di avviamento;
2. la seconda, attiva qualche secondo dopo la conclusione della manovra di avviamento, controlla le correnti di regime che sono normalmente molto minori di quelle di avviamento;
3. la terza, attiva con le stesse modalità della seconda, controlla che la variazione della corrente assorbita nell'intervallo di cadenza sia inferiore al 120% del valore della variazione naturale (protezione di gradiente o di picco).

019d Relè ausiliario che riproduce lo stato del contatto 015e (normalmente chiuso) del relè termico per consentire di avere due contatti sincroni che provvedono uno, normalmente aperto, a togliere il consenso alla marcia (in posizione 025) e l'altro, normalmente chiuso, a fornire la relativa segnalazione di intervento (in posizione 031).

020d Relè ausiliario che riproduce lo stato del fine-corsa (010b) di controllo del completo inserimento del reostato di avviamento. Fornisce il segnale al circuito di comando (posizione 025), nel ramo dei consensi necessari per la messa in marcia. Quando sono presenti tutti i consensi generali, alla attivazione di tale relè si accende la spia che segnala il pronto-marcia (029h). Visto che il segnale di tale relè ausiliario viene utilizzato solamente sul circuito di comando, potrebbe essere parimenti ammessa la soluzione tecnica che preveda il diretto utilizzo, su tale circuito, del contatto (normalmente aperto) del fine-corsa di partenza, quindi senza il relè ausiliario in questione.

021d Relè ausiliario che riproduce lo stato del fine-corsa (014b) di controllo della completa esclusione del reostato di avviamento. Consente di inviare il segnale della conclusione fisica della manovra di avviamento contemporaneamente:

- al relè di massima corrente (017u) per consentirgli di attivare (dopo qualche secondo) la soglia di regime e quella di gradiente;
- alla sorveglianza del tempo massimo di avviamento (posizione 028) per evitarne l'intervento;
- alla spia che segnala il raggiungimento della condizione di regime.

022d Relè ausiliario che riproduce lo stato del fine-corsa (012b) che controlla la posizione di freno aperto. Fornisce il segnale al circuito di comando (posizione 024) nel ramo dei consensi di prosecuzione della marcia ed alla spia di segnalazione di freno aperto (035h).

NB: Il contatto del fine-corsa di comando (012b) è correttamente disegnato nella condizione di riposo cui corrisponde la condizione di «freno aperto».

023d Relè ausiliario che riproduce lo stato del fine-corsa (011b) di controllo della sorveglianza cosiddetta «usura fero-di». Se, alla conclusione della manovra di arresto dell'impianto, il contrappeso del freno (o la leva dello stesso) viene a trovarsi troppo vicino alla fine della sua corsa libera, allora deve essere impedita la ripartenza dell'impianto. Ciò avviene con l'inserimento del consenso fornito dal presente relè ausiliario nel circuito di comando e visto che tale consenso può mancare solamente nella condizione di «impianto fermo» potrebbe bastare il suo inserimento nella catena dei consensi necessari per la messa in marcia. Si preferisce inserirlo tra i consensi generali così che possa essere verificata l'efficienza del relativo fine-corsa anche con l'impianto in moto.

023e Coppia di fusibili di protezione della linea che alimenta il trasformatore (024m) di alimentazione dei circuiti di comando e di segnalazione.

024b Pulsante di Arresto. Il suo contatto (normalmente chiuso) viene inserito (in serie) sul circuito di comando nel punto immediatamente prima della bobina del relè pilota (024d).

024d Relè Pilota. È il relè ausiliario che costituisce il circuito di marcia/arresto dell'impianto e che quindi consente:

- la messa in marcia, in presenza dei consensi generali e di quelli per la partenza;
- la prosecuzione della marcia in presenza dei consensi generali e di quelli per la prosecuzione.

Un contatto (normalmente aperto) del relè pilota comanda direttamente (posizione 026) le bobine dei contattori di marcia (027c) e del freno (026c), nonché l'accensione della lampada spia (025h) che segnala "impianto in marcia".

Un secondo contatto (normalmente aperto) viene utilizzato nel ramo dei consensi di prosecuzione del circuito di comando quale contatto di auto-tenuta.

024e Fusibile di protezione della linea di alimentazione del circuito di comando e di segnalazione.

025b Pulsante di Marcia. Il suo contatto (normalmente aperto) viene inserito (in serie) sul ramo dei consensi per la partenza del circuito di comando subito a valle della derivazione di alimentazione della spia (029h) di «pronto marcia».

025h Lampada spia di colore VERDE di segnalazione di "impianto in marcia". Può essere integrata nel pulsante di marcia

se libero dalla segnalazione di «pronto marcia».

026c Contattore del freno. Tripolare con un contatto ausiliario di scambio. La corrente nominale dei tre contatti di potenza deve essere maggiore di quella dell'elettromagnete del freno (se alimentato direttamente alla tensione di rete).

027c Contattore di marcia. Tripolare con un contatto ausiliario di scambio. La corrente nominale dei tre contatti di potenza deve essere maggiore di quella del motore principale e tale da permettere senza danni il passaggio delle maggiori correnti di avviamento (anche se sono di durata limitata).

028b Pulsante di RESET della protezione di avviamento non completato o "tempo massimo di avviamento". All'accensione delle apparecchiature il relè ausiliario 028d non si può eccitare e quindi, per attivare la protezione, occorre provvedere con tale pulsante.

028d Relè ausiliario temporizzatore che realizza la protezione di avviamento non completato o «tempo massimo di avviamento». È dotato di un contatto di scambio ritardato alla diseccitazione di un tempo regolabile di 20 ÷ 40 secondi quale tempo massimo concesso per il completamento della manovra di avviamento (esclusione delle resistenze rotoriche). La protezione è attiva quando tale relè è eccitato (premendo eventualmente il pulsante (028b) di RESET. Al momento della messa in marcia il ramo che lo alimenta si interrompe (apertura di 026c) diseccitandolo. Il contatto, ritardato alla riapertura, inserito nel circuito di comando continua a consentire la marcia fino alla scadenza del tempo di ritardo impostato, scaduto il quale, se non si è completata la manovra di avviamento (chiusura di 021d), toglie il consenso e ferma l'impianto.

029h Lampada spia di colore VERDE di segnalazione della condizione di "pronto-marcia". Ha il semplice significato di comunicare al macchinista che se preme il pulsante di marcia l'impianto va in marcia. Talora la si trova integrata nel pulsante di marcia anche se sarebbe preferibile una posizione separata per lasciare il posto del pulsante di marcia alla spia che indica "impianto in marcia" (025h).

030h Lampada spia di colore ROSSO di segnalazione dell'intervento della protezione di avviamento non completato o "tempo massimo di avviamento".

031h Lampada spia di colore ROSSO di segnalazione dell'intervento della protezione termica del motore principale.

032h Lampada spia di colore ROSSO di segnalazione dell'intervento della protezione di controllo «usura ferodi».

033h Lampada spia di colore ROSSO di segnalazione dell'intervento della sorveglianza di «massima corrente». L'indicazione di quale sezione della sorveglianza sia intervenuta si trova sull'apparecchiatura che la realizza (017u).

034h Lampada spia di colore ROSSO di segnalazione dell'intervento della sorveglianza di linea ossia del «circuito di sicurezza».

035h Lampada spia di colore VERDE di segnalazione dell'avvenuta apertura del freno.

036h Lampada spia di colore VERDE di segnalazione della conclusione della manovra di avviamento e del raggiungimento quindi della condizione di regime.

037r Resistenza elettrica variabile di calibrazione della corrente di riposo del circuito di sicurezza.

038b Pulsante di RESET del circuito di sicurezza. Premendolo si bypassa sia il contatto di auto-tenuta del relè finale 038d (ovviamente aperto), sia la resistenza limitatrice 037r instaurando nel circuito di sicurezza, se integro, una corrente tale da portare il relè finale 038d nella condizione di eccitazione. Chiudendosi il contatto di auto-tenuta il pulsante può essere rilasciato e la corrente si stabilizza al valore previsto da 037r che deve mantenere l'eccitazione di 038d.

038d Relè finale del circuito di sicurezza. Viene alimentato dalla stazione di rinvio e portato all'eccitazione dal pulsante di RESET (038b). Perviene alla diseccitazione per riduzione della corrente che gli attraversa la bobina, riduzione che può essere causata sia da aumenti della resistenza serie che da riduzioni delle resistenze parallele (dispersioni).

038g Milliamperometro di misura della corrente del circuito di sicurezza posto alla stazione motrice. Indica la corrente che interessa la bobina del relè finale che lo mantiene eccitato.

039b Pulsante di arresto posto alla stazione motrice che interviene tramite il circuito di sicurezza. Di solito è montato su un treppiede spostabile nella posizione più idonea per il pronto intervento da parte dell'addetto alla stazione. Si utilizza un contatto NC.

040e Scaricatore di sovratensione, posto alla stazione motrice, che provvede ad eliminare le conseguenze dovute alle sovratensioni di origine atmosferica indotte nei conduttori del circuito di sicurezza che si sviluppano lungo l'intera lunghezza dell'impianto e che un tempo erano costituiti da semplici funicelle metalliche supportate ed isolate dalle testate dei sostegni di linea.

042b Pulsante a consenso (interruttore a pulsante) montato su ciascun sostegno di linea necessario per garantire il fermo-impianto durante i lavori di manutenzione che si svolgono sul sostegno. Si utilizza un contatto normalmente chiuso.

043b Dispositivo di arresto che interviene (interrompendo il circuito di sicurezza) in caso di scarrucolamento della fune. Di solito è costituito da una forcilla metallica montata tra due morsetti collegati in serie al circuito.

045e Scaricatore di sovratensione, posto alla stazione di rinvio, che provvede ad eliminare le conseguenze dovute alle sovratensioni di origine atmosferica indotte nei conduttori del circuito di sicurezza che si sviluppano lungo l'intera lunghezza dell'impianto e che un tempo erano costituiti da semplici funicelle metalliche supportate ed isolate dalle testate dei sostegni di linea.

046b Interruttore del dispositivo di arresto in caso di mancato sgancio dello sciatore. Viene utilizzato un contatto NC di un fine-corsa collegato meccanicamente ad una pedana mobile che se premuta dal peso dello sciatore provvede a fermare l'impianto.

046b1 Pulsante di prova dell'intervento del Circuito di Sicurezza in caso di corto-circuito. Se premuto la corrente del circuito ritorna al conduttore messo a terra senza transitare dal relè finale del Circuito che è posto alla stazione motrice.

047b Interruttore del dispositivo di arresto in caso di mancato recupero del piattello del dispositivo di traino. Il piattello non recuperato completamente coinvolge una funicella che provvede ad azionare l'interruttore. Si utilizza un contatto NC.

047n Batteria di accumulatori che garantisce (per un determinato tempo) il funzionamento del Circuito di Sicurezza anche in caso di guasto all'alimentatore locale. Quando l'alimentatore del Circuito di Sicurezza viene alimentato dalla stazione motrice, allora la batteria in oggetto può essere omessa.

048b Pulsante di arresto posto alla stazione di rinvio che interviene tramite il Circuito di Sicurezza. Di solito è montato su un treppiede spostabile nella posizione più idonea per il pronto intervento da parte dell'addetto alla stazione. Si utilizza un contatto NC.

048g Milliamperometro di misura della corrente del circuito di sicurezza posto alla stazione di rinvio. Indica la corrente che viene immessa nel circuito dall'alimentatore locale. Durante la prova di corto-circuito indica il valore di tale corrente. La sua indicazione coincide con quella dello strumento analogo posto alla stazione motrice (038g) solo quando il Circuito di Sicurezza si trova in perfetto stato di isolamento. Nel caso di dispersione di corrente lungo la linea (isolamento imperfetto) la sua indicazione sarà maggiore di quella dell'analogo strumento della stazione motrice. Se, in tali condizioni, avviene un'interruzione del circuito alla stazione motrice tale strumento continuerà a segnare il passaggio della sola corrente dispersa.

048r Resistenza elettrica variabile di limitazione della corrente di corto circuito del Circuito di Sicurezza.

049e Fusibile di protezione della linea di alimentazione del Circuito di Sicurezza.

049g Voltmetro indicatore della tensione di alimentazione del Circuito di Sicurezza e/o della batteria di accumulatori.

050a Interruttore bipolare automatico magnetotermico differenziale relativo all'alimentazione locale dell'alimentatore del Circuito di Sicurezza.

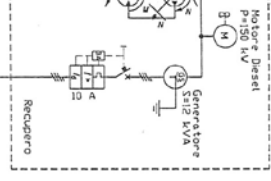
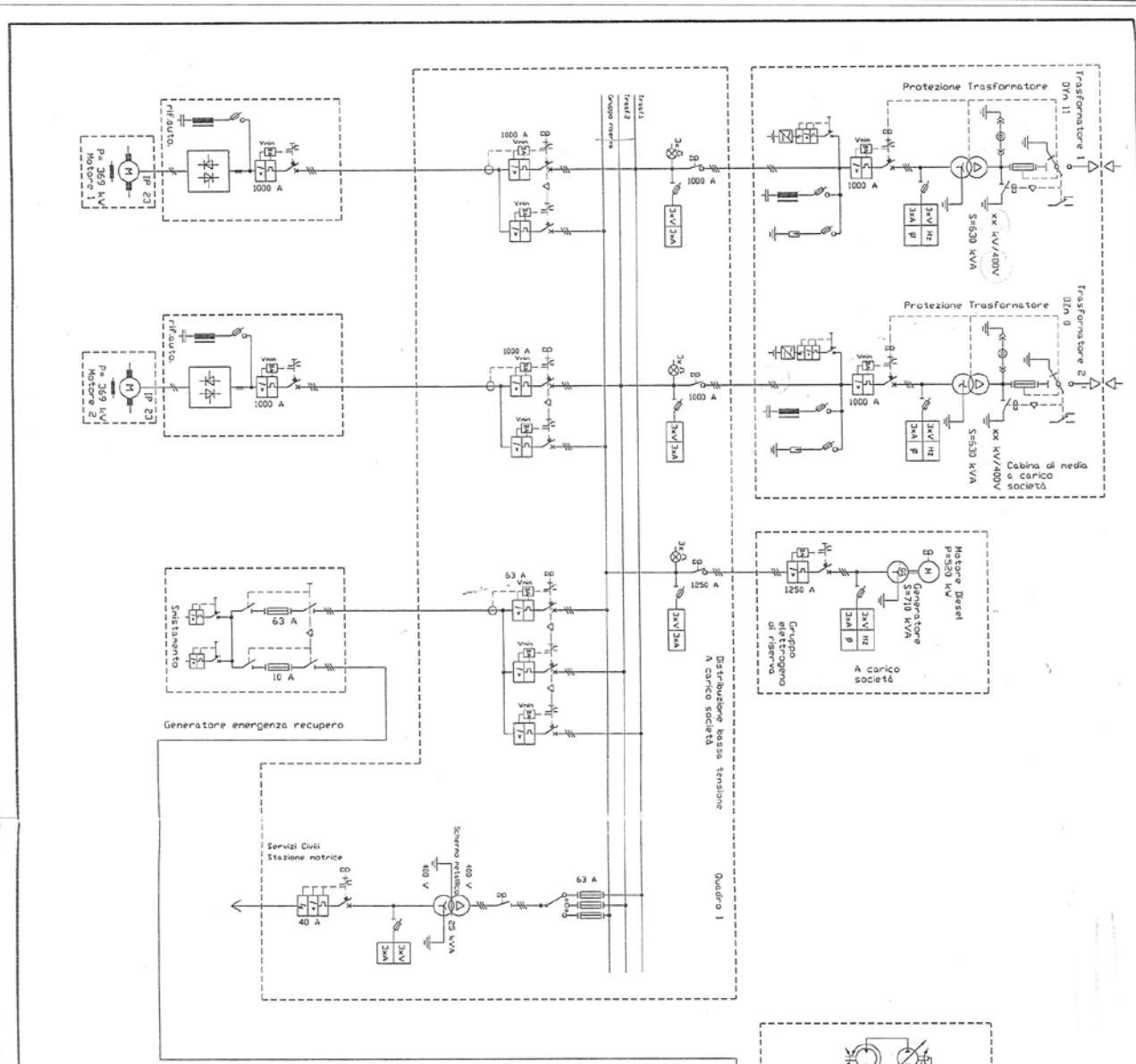
050e Coppia di fusibili a protezione della linea che alimenta il ponte raddrizzatore dell'alimentatore del Circuito di Sicurezza.

050m Trasformatore elettrico dell'alimentatore del Circuito di Sicurezza. Rapporto di trasformazione tipico 220/24 Volt.

050u Ponte di Graetz raddrizzatore dell'alimentatore del Circuito di Sicurezza. Serve per ottenere tensione continua di valore compatibile con quella della batteria di accumulatori.

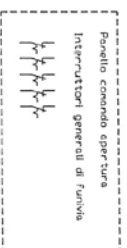
Esempio di schema elettrico unifilare

Si riporta un esempio di rappresentazione unifilare del circuito elettrico di potenza di un impianto a fune.



Interruttori generali Funivia GRUPPO con bobina minima tensione alimentati a 250 V ac	
Interruttori generali Funivia RETE con bobina minima tensione alimentati dalle batterie	
Interruttori generali Funivia alimentati a 24 Vcc	
Interruttori generali Funivia alimentati da un batteria	
Gruppo di protezione on del quadri potenza	IP30
colle	IP54
PROTEZIONI PARTE ATTIVE	SI
PORTA ACCESSO A CHIAVE	

Consigliata ambiente	1978 min
capacità stabilizzazione	0 - 40 °C
temperatura ambiente	0 - 40 °C



DD Doppelmayr	
Doppelmayr Italia srl Via Indusia, 11 17011 URM (UD)	
Oggetto: 4 C.D. "Stenz Sellaia"	Anno: 2011
Ordine: HA0003617	STK: X
Schema unifilare elettrico Distribuzione di bassa tensione Impianto di potenza Stazione notrice a monte	
Foglio: E 064	Scale: 1:100
Data: 10/01/2011	Disegnato: XXXXXX
Verificato: XXXXXX	Approvato: XXXXXX

00702

9. Dispositivi di protezione

Le protezioni presenti sugli impianti a fune prendono il nome di sorveglianze.

La normativa tecnica del settore specifica quali le sorveglianze devono essere presenti negli impianti a fune, nonché le eventuali modalità di intervento nel circuito di comando.

Ogni intervento di ciascuna sorveglianza deve essere opportunamente segnalato. La segnalazione dell'avvenuto intervento deve rimanere attiva fino alla manovra di ripristino che il macchinista può compiere solamente dopo aver compreso le cause dell'intervento della sorveglianza ed aver ripristinato la sicurezza dell'impianto stesso.

È compito del macchinista assicurarsi che l'impianto non venga rimesso in moto senza aver capito la ragione cui è stato fermato da una sorveglianza, compromettendo la sicurezza dei viaggiatori. Va ricordato che è colpevolmente pericoloso riprendere il moto in assenza di tutti i consensi alla marcia.

Si deve anche garantire la possibilità di verificare l'intervento di tutte le sorveglianze mediante intervento manuale diretto sul dispositivo di controllo della sorveglianza stessa, oppure modificando il valore della grandezza sotto sorveglianza.

Una sorveglianza cessa la propria funzione quando non si riesce a verificarne l'intervento mediante "prova diretta".

Le sorveglianze presenti sugli impianti a fune sono approfondite nei paragrafi successivi.

9.1 Sorveglianze

Mancanza fase

La sorveglianza di mancanza fase controlla la presenza (con opportuni valori minimi) delle tre fasi del sistema trifase di alimentazione. Essa impedisce il moto quando l'alimentazione elettrica esce dalle tolleranze commerciali. Nel caso di intervento della sorveglianza di mancanza fase, viene comandato un arresto meccanico dell'impianto.

Intervento fusibili

La sorveglianza di intervento fusibili controlla l'integrità di tutti i fusibili montati a monte degli azionamenti che controllano il funzionamento dei motori a corrente continua o corrente alterata degli impianti a fune. È realizzata con una serie di microinterruttori che "sentono" la fuoriuscita del noccino di segnalazione dell'intervento di ciascun fusibile. Il circuito serie di tutti i contatti normalmente chiusi si interrompe nel caso di intervento di un fusibile, comandando così un arresto meccanico.

Ventilazione azionamenti

La sorveglianza di ventilazione azionamenti controlla il corretto funzionamento del sistema di ventilazione dei convertitori in corrente continua o dei convertitori di frequenza in corrente alternata. È realizzata con un interruttore anemostatico che consiste in un microinterruttore dotato di paletta investita dal flusso d'aria di raffreddamento, che fornisce il consenso alla marcia solamente se la paletta viene tenuta nella posizione di lavoro dal citato flusso. L'intervento di tale sorveglianza può comandare indifferentemente l'arresto meccanico e quello elettrico in quanto, per quest'ultimo, si tratta di prolungare il funzionamento delle apparecchiature elettriche del tempo necessario per ottenere un arresto elettrico (cioè pochi secondi).

Ventilazione motore

La sorveglianza di ventilazione motore è presente sui motori che possono funzionare a velocità variabile, quali i motori in corrente continua o quelli in alternata alimentati da inverter. Tali motori, infatti, hanno la necessità di avere un sistema di raffreddamento assistito, in quanto possono essere interessati dalle correnti di targa anche a velocità ridotte, alle quali l'efficacia della ventilazione naturale è insufficiente ad asportare tutto il calore prodotto dalle perdite. La sorveglianza è realizzata come quella precedente, con il solito interruttore anemostatico. Anche tale sorveglianza può comandare indifferentemente l'arresto meccanico o quello elettrico per le stesse motivazioni.

Minima eccitazione

La sorveglianza di minima eccitazione è presente solamente sugli impianti dotati di motore in corrente continua e controlla che la corrente di eccitazione del motore sia maggiore di una soglia prefissata. Serve a controllare che il motore stia funzionando correttamente senza le maggiori correnti di armatura che sarebbero necessarie per fornire la stessa coppia motrice in presenza di minore corrente di eccitazione. L'intervento di tale protezione, se dovuto all'interruzione del circuito di eccitazione, potrebbe essere preceduto dall'intervento della sorveglianza di gradiente di corrente; se invece la corrente di eccitazione diminuisce lentamente, per aumento della resistenza del circuito di eccitazione, potrebbe essere preceduto dall'intervento della sorveglianza di massima corrente. Nulla di tutto ciò accade se le protezioni, anziché di "corrente", sono di "coppia".

Ripartizione motori

Richiesta per gli impianti plurimotori, verifica che la ripartizione di coppia erogata tra i vari motori sia equilibrata.

Usura ferodi

Viene correntemente chiamata "usura ferodi" quella sorveglianza che interviene quando la leva di chiusura del freno si

avvicina alla posizione geometrica finale della propria corsa. La sorveglianza serve ad evitare che la forza di chiusura del freno possa scaricarsi su elementi diversi dai ceppi dello stesso che, dotati di guarnizioni di attrito, sono i soli deputati a promuovere l'azione frenante sulla superficie in movimento sulla quale essi strisciano. Viene realizzata ponendo un interruttore finecorsa in modo che il contatto (normalmente chiuso) venga interessato prima che la leva vada in finecorsa. Il fatto che la leva che lo comanda abbia una posizione estrema ben definita e insuperabile consente di montare il finecorsa direttamente "di testa" sotto la citata leva senza pregiudizio per l'integrità del dispositivo stesso.

Freno aperto

La sorveglianza di freno aperto consiste in un finecorsa elettrico che viene rilasciato a riposo quando il freno è "aperto". Essa toglie quindi il consenso marcia, utilizzando un contatto normalmente chiuso che si apre quando il freno si chiude, abbandonando la posizione di freno aperto.

Massima corrente (coppia)

La sorveglianza di massima corrente controlla che gli assorbimenti del motore principale siano adeguati al bisogno. Essa toglie il consenso alla marcia quando la corrente del motore supera il 120% della corrente assorbita dallo stesso in condizioni gravose, ovvero con pieno carico in salita.

Sapendo che le correnti di avviamento possono essere anche molto maggiori di quelle di regime, ne consegue che una sorveglianza adeguata dovrà essere strutturata su due livelli, uno per la corrente di avviamento (sempre attivo) ed uno per la corrente di regime (attivo solo dopo la conclusione dell'avviamento).

Il comando di attivazione del livello di regime proviene (opportunamente ritardato di 1-2 secondi) dal finecorsa che sente la conclusione della manovra di esclusione delle resistenze rotoriche (per i motori trifase a velocità fissa), o dal discriminatore accelera-decelera per gli azionamenti a velocità variabile.

Il discriminatore accelera-decelera degli azionamenti a velocità variabile provvede altresì ad escludere la sorveglianza di regime anche durante i transitori dovuti alla richiesta di riduzione temporanea della velocità (rallentamenti), durante i quali la corrente assorbita dal motore varia in conseguenza della presenza o meno delle inerzie di accelerazione o decelerazione.

Pur con la distinzione tra la corrente di avviamento e quella di regime, la sorveglianza di massima corrente diventa sempre più grossolana quanto più si è distanti dalla condizione di impianto a pieno carico. Per questo motivo, nelle condizioni di impianto vuoto (con assorbimenti minimi), il suo intervento (che è a taratura fissa) avverrebbe anche dopo il doppio o triplo della corrente assorbita.

Per poter intercettare eventuali maggiori assorbimenti rispetto al normale, anche nelle condizioni di impianto a vuoto, la sorveglianza di massima corrente è integrata con quella di gradiente di corrente o incremento di corrente o picco. Essa funziona mediante memorizzazione, con una certa cadenza, del valore della corrente assorbita dal motore e conseguente controllo che la stessa non venga superata per più di un ΔI durante l'intero intervallo di tempo prima della nuova memorizzazione, a partire da cui il ciclo si ripete. Il valore di ΔI coincide con l'incremento di corrente massimo che viene tollerato nell'intervallo di tempo Δt tra due memorizzazioni successive. Il valore $\Delta I/\Delta t$ viene definito "gradiente di corrente". Anche tale sorveglianza, similmente a quella di regime, deve essere disattivata durante i transitori di avviamento ed essere attivata dallo stesso comando del finecorsa del reostato di avviamento o dal discriminatore accelera-decelera. Il criterio di taratura della sorveglianza di gradiente potrebbe essere ancora quello del +20%, a patto però di poter conoscere il valore della variazione naturale della corrente assorbita dal motore durante l'intervallo di confronto nelle condizioni più gravose. Tale dato dovrebbe diventare disponibile per gli impianti di ultima generazione nei quali la gestione delle sorveglianze di corrente è affidata ad apposito PLC. Per i motori asincroni funzionanti a velocità variabile, le protezioni di massima corrente vengono sostituite dalle protezioni di massima coppia. Per i motori in corrente continua, funzionanti ad eccitazione costante, le protezioni di corrente coincidono con le protezioni di coppia poiché la coppia fornita dal motore è strettamente proporzionale alla corrente di armatura.

Riassumendo: il relè di massima corrente (coppia) protegge l'impianto dai sovraccarichi mentre quello di gradiente lo protegge dagli aumenti improvvisi di assorbimento di corrente o coppia ("impigliamenti").

Relè termico

Il relè termico è una protezione del tutto simile a quella descritta in associazione agli interruttori automatici, con la sola differenza che la lamina bimetallica, anziché intervenire sul dispositivo di apertura dell'interruttore associato, interviene su un interruttore di finecorsa bistabile, che cambia stato e vi rimane fino al ripristino manuale dello stesso, togliendo il consenso alla marcia. Il relè termico protegge il motore principale dagli eventuali sovraccarichi e quindi deve essere tarato al 100% della corrente nominale dello stesso.

Massima velocità elettrica

La massima velocità elettrica è una sorveglianza che controlla che la velocità dell'impianto non superi il 110% della velocità nominale. Viene realizzata con un trasduttore di velocità (dinamo tachimetrica o encoder con convertitore frequenza-tensione), che fornisce una f.e.m. proporzionale alla velocità dell'impianto. La protezione di massima velocità deve intervenire prima che il segnale (f.e.m.) raggiunga il 110% di quello corrispondente alla velocità nominale.

Per esempio, se alla velocità nominale di 2,0 m/s la dinamo tachimetrica fornisce una tensione di 60 V, la sorveglianza di massima velocità elettrica deve intervenire prima che la stessa tensione diventi 66 V, e cioè che la velocità diventi 2,20 m/s. La sorveglianza di massima velocità è ovviamente richiesta quando l'impianto è dotato di velocità variabile gestita da una regolazione automatica, come negli azionamenti in corrente continua o negli azionamenti in corrente alternata dotati di

inverter. Gli azionamenti in corrente alternata alimentati direttamente dalla tensione di rete richiedono la presenza della citata sorveglianza solo se accoppiati a un impianto che prevede la situazione di carico in discesa per il quale è possibile superare la velocità di sincronismo. Per le sciovie con motore asincrono trifase diretto non è prevista alcuna sorveglianza di velocità, in quanto non è previsto alcun carico sul ramo discesa.

Per gli impianti seggioviari, il criterio di duplicazione prevede che le sorveglianze realizzate con apparecchiature elettriche vengano raddoppiate e i relativi consensi inseriti su due catene di consenso distinte. Vi è perciò una dinamo tachimetrica (o encoder) collegata al motore elettrico (utilizzata eventualmente anche per la regolazione di velocità) che fornisce il segnale per la sorveglianza del canale 1, e una dinamo tachimetrica (o encoder) collegata all'argano (o ad un rullo mosso dalla fune) che fornisce il segnale per la sorveglianza del canale 2.

Massima velocità meccanica

La massima velocità meccanica si presenta come una sorveglianza, non prevista per le sciovie, che controlla che la velocità dell'impianto non superi il 120% della velocità nominale. Viene realizzata con un dispositivo meccanico sensibile alla velocità, come pendoli centrifughi solidali con la puleggia motrice o parallelogramma di Watt in rotazione con la citata puleggia, il cui sbandamento intercetta un cinematismo che determina lo scarico del sistema di apertura del freno di emergenza, provocandone quindi la chiusura.

Nel caso di utilizzo dei pendoli centrifughi solidali con la puleggia motrice, il loro numero viene determinato dalla rapidità con la quale l'impianto raggiunge la velocità di intervento (accelerazione spontanea) e, qualora insufficiente un elemento per ciascuna razza, si monta un secondo sensore di sbandamento posizionato a una mezza razza di distanza (o un numero dispari di tali mezza distanze), in modo che l'aumento di velocità riscontrabile tra due transiti successivi dei pendoli sia il minore possibile.

Se la configurazione della stazione e della puleggia motrice lo consentono, i pendoli centrifughi possono essere montati sia inferiormente alla puleggia (caso più comune) che superiormente.

I due casi prevedono due modalità completamente diverse di intervento, in quanto i primi sono monostabili mentre i secondi bistabili. I pendoli montati sotto la puleggia, infatti, sbandano proporzionalmente alla velocità (o più precisamente al quadrato della velocità) fino al punto di intervento della sorveglianza, per poi ritornare nella posizione di riposo. I pendoli montati sopra la puleggia, invece, al raggiungimento della velocità di intervento si sbilanciano verso l'altra posizione stabile, che è quella più esterna, e vi rimangono fino al loro ripristino manuale, che deve avvenire assieme al ripristino della posizione di sorveglianza dell'elemento sensibile che aveva provveduto a determinare la chiusura del freno di emergenza.

Va infine rimarcato che lo sbilanciamento di ciascun elemento bistabile può avvenire in qualunque posizione della circonferenza durante il moto, con la certezza dell'intervento della sorveglianza anche se, dopo lo sbilanciamento, la velocità ridiscendesse sotto la soglia di intervento.

Antiritorno elettrico

L'antiritorno elettrico è una sorveglianza, non prevista per le sciovie, che controlla che l'impianto non inverta accidentalmente il senso di marcia confrontando la polarità dei segnali tachimetrici con la posizione del commutatore di scelta della direzione di marcia. Nel caso di discordanza, la sorveglianza determina la chiusura del freno di emergenza.

Confronto segnali tachimetrici

Il confronto tachimetrico è una sorveglianza, non prevista per le sciovie, che confronta i segnali elettrici provenienti dai due trasduttori di velocità presenti uno sul motore e l'altro sull'argano (o rullo), e determina la chiusura del freno di emergenza se la loro differenza supera una determinata soglia.

Tale controllo verifica l'integrità della catena cinematica di trasmissione del moto:

- dal motore principale alla puleggia motrice se la dinamo tachimetrica o l'encoder sono montati sull'argano;
- dal motore principale alla fune se la dinamo tachimetrica o l'encoder sono montati su un rullo di stazione.

Nel primo caso, la sorveglianza interviene solamente per la rottura del riduttore principale, mentre nel secondo interviene anche in caso di perdita di aderenza della fune portante-traente con la guarnizione della gola della puleggia motrice. La soglia di taratura del confronto deve tener conto sia del fatto che i giochi delle dentature degli ingranaggi del riduttore possono determinare temporanee differenze tra i segnali anche a riduttore integro, specie durante i transitori delle inversioni di marcia, sia del fatto che i segnali stessi sono affetti da piccole variazioni dovute alla commutazione (rumore di collettore indipendente dalla velocità di rotazione), che hanno incidenza diversa secondo il regime di rotazione delle tachimetriche (di solito la tachimetrica d'argano o di rullo ha un regime di rotazione minore e quindi il relativo segnale è più "sporco").

Assetto puleggia

L'assetto puleggia è una sorveglianza che controlla che la puleggia motrice o quella di rinvio mantenga il suo assetto normale durante il funzionamento. Essa interviene quando, per il cedimento di un cuscinetto, la puleggia si inclina facendo intervenire un fincorsa elettrico. Quest'ultimo comanda l'arresto dell'impianto tramite il circuito di sicurezza di linea nel caso si tratti della puleggia di rinvio, mentre, nel caso si tratti della puleggia motrice, comanda direttamente l'arresto dell'impianto con intervento del freno di emergenza.

Posizione fune

La sorveglianza di posizione fune rileva l'assetto scorretto della fune in un punto del suo percorso nel girostazione (ad

esempio dovuto al consumo dei rulli di deviazione o all'accumulo di ghiaccio sulle gole).

Sorveglianze del sistema di tensionamento

Il sistema di tensionamento prevede delle sorveglianze relative alla massima corsa del carro tenditore in entrambe le direzioni: esiste una prima soglia di allarme e una seconda soglia di arresto, sia per la massima sia per la minima tensione. Nei sistemi di tensionamento idraulici, protezioni analoghe si basano sul valore di pressione rilevato nel circuito idraulico.

Mancato arresto meccanico o controllo di stazionamento

Il mancato arresto meccanico è una sorveglianza che controlla che la velocità dell'impianto, dopo un tempo ragionevole dal momento della chiamata di arresto meccanico, sia scesa al di sotto del valore corrispondente alle soglie di minima velocità.

L'intervento di tale sorveglianza comanda la caduta del freno di emergenza, e avviene anche nel caso in cui l'impianto, senza alcun comando di marcia, riprenda a muoversi superando le soglie di minima velocità.

Tale sorveglianza deve essere esclusa per le prove di accelerazione spontanea e di eccesso di velocità naturale.

Massima velocità del vento

Si prevedono due soglie di sorveglianza della velocità del vento. La prima soglia comanda un segnale di allarme, mentre la seconda può comandare un segnale di arresto oppure, se previsto da progetto, un segnale di rallentamento e allarme (in quest'ultimo caso con il fine di scaricare la linea).

Mancato sbarco (seggiovie)

Nelle seggiovie, la sorveglianza di mancato sbarco degli sciatori viene utilizzata per arrestare l'impianto nel caso in cui, in un determinato punto posto oltre la banchina di sbarco, vi siano ancora viaggiatori a bordo della seggiola. È realizzata solitamente tramite una funicella che intercetta le gambe dei viaggiatori a bordo, collegata ad un microinterruttore.

Sorveglianze delle pedane mobili di imbarco (seggiovie)

Ove presenti, le pedane mobili di accelerazione (seggiovie ad attacchi fissi) e di allineamento (seggiovie ad ammorsamento automatico) necessitano di funzioni di protezione specifiche:

- sorveglianze relative all'azionamento del tappeto (ad esempio il sovraccarico);
- confronto tra la velocità del tappeto e quella della fune;
- impigliamento al termine del tappeto;
- posizione trasversale del tappeto rispetto ai suoi bordi fissi;
- comandi manuali per l'arresto.

In caso di arresto del tappeto, anche l'impianto deve essere arrestato; in caso di arresto o rallentamento dell'impianto, anche il tappeto deve essere arrestato o rallentato.

Mancata chiusura automatica delle porte (telecabine)

Nelle telecabine, una specifica sorveglianza arresta l'impianto nel caso in cui le porte automatiche di un veicolo in uscita dalla stazione di valle non si chiudano.

Mancato sgancio (sciovie)

Il mancato sgancio degli sciatori è previsto sulle sciovie, dove, in un punto oltre la zona di sgancio, viene posta una funicella collegata ad un microinterruttore che arresta l'impianto nel caso uno sciatore non si sia ancora sganciato dal traino.

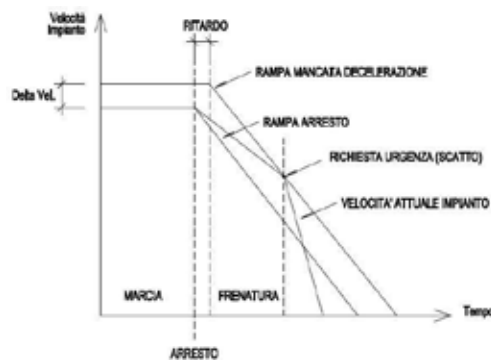
Mancato recupero del piattello (sciovie)

Nelle sciovie è presente una sorveglianza che arresta l'impianto se, in seguito allo sgancio dello sciatore, il piattello non viene recuperato completamente dal tamburo avvolgitore. Anche questa sorveglianza è realizzata per mezzo di una funicella collegata ad un microinterruttore.

Funzione di controllo di mancata decelerazione

La funzione di controllo di mancata decelerazione è utilizzata per far intervenire un altro freno o un'altra azione frenante, se quella chiamata non è in grado di svolgere la decelerazione prevista. Nella realizzazione dei sistemi che svolgono la funzione di mancata decelerazione, devono essere adottati opportuni criteri e misure costruttive al fine di ridurre al minimo il pericolo di intervento contemporaneo dei due freni meccanici con azione a scatto, per guasto o per malfunzionamento dei dispositivi di controllo. A tal fine, i dispositivi di mancata decelerazione addetti a comandare le azioni del freno meccanico di servizio e le azioni del freno meccanico di emergenza devono essere fisicamente indipendenti; in particolare, ciascuno di essi deve essere alimentato dalla stessa linea di alimentazione di sicurezza che alimenta il freno comandato.

Il funzionamento della mancata decelerazione è descritto nell'immagine che segue.



Funzionamento della mancata decelerazione

Con riferimento alla figura precedente, si supponga che venga chiamato un arresto con il freno modulato di servizio: il freno cerca di seguire la "rampa arresto". Si supponga che non ci riesca, e che quindi la velocità attuale dell'impianto risulti sempre più alta, in un dato istante, di quella della rampa di arresto. Con un certo margine ("delta velocità") la funzione di mancata decelerazione genera una rampa di confronto con la velocità attuale: se la velocità attuale supera il valore previsto dalla rampa di confronto (detta "rampa mancata decelerazione"), allora è chiamato un arresto con azione a scatto, che riporta la curva della velocità attuale all'interno della rampa di arresto. Se il freno meccanico di servizio opera con azione a scatto o differenziata, questa modalità realizzativa può essere sostituita con dei relè temporizzati (cioè dei relè che fanno intervenire la seconda azione frenante o il secondo freno, se entro un certo tempo la frenatura non si è conclusa). I relè temporizzati sono di sicurezza e quindi duplicati.

Sorveglianza di anticollisione sulle rampe (ammorsamento temporaneo)

Negli impianti ad ammortamento automatico, la sorveglianza di anticollisione arresta l'impianto nel caso in cui, nelle zone di trave di accelerazione e decelerazione di ciascuna delle stazioni, l'insufficiente avanzamento di un veicolo possa far sorgere il pericolo di collisione con quello che segue. L'arresto comandato deve essere il più breve presente sull'impianto (rampa rapida) e deve garantire che la frenatura sia tale da scongiurare:

- l'urto con velocità superiore a 1 m/s in caso di veicoli chiusi;
- che due veicoli si approssimino fino ad una distanza, misurata in orizzontale tra gli ingombri dei veicoli considerati vuoti e fermi, inferiore a 0.50 m, in caso di veicoli aperti.

Sorveglianza di minima distanza tra i veicoli in linea (ammorsamento temporaneo)

Negli impianti ad ammortamento automatico, la sorveglianza di minima distanza in linea arresta l'impianto qualora la distanza misurata sulla fune tra due veicoli in diversi punti di stazione risulti inferiore ad un valore minimo consentito (minima equidistanza) nel modo di esercizio in atto.

Sorveglianze di ingresso e di uscita dal magazzino (ammorsamento temporaneo)

Negli impianti ad ammortamento automatico, le sorveglianze di ingresso e uscita dal magazzino arrestano l'impianto e gli eventuali convogliatori di magazzino qualora lo stato degli organi mobili di scambio non corrisponda alla selezione comandata (normale/magazzino) o non sia congruente con la traiettoria che il veicolo dovrà assumere.

Sorveglianze di corrente (funivie)

La coppia motrice di una funivia bifune "a va e vieni" dipende, oltre che dalle condizioni di carico delle due vetture, anche dalle posizioni delle stesse, e più precisamente dalla pendenza delle loro traiettorie, oltre che dalla presenza o meno di forze di inerzia conseguenti ad accelerazioni oppure a rallentamenti.

Nell'impianto a campata unica, la pendenza delle traiettorie delle vetture è minima alla stazione di valle e massima a quella di monte, per ciascuna condizione di carico delle vetture, con variazione continua tra i due valori.

La coppia motrice con una vettura carica e l'altra scarica, depurata dalle forze di inerzia di accelerazione, è minima, quindi, alla partenza, per aumentare lungo il percorso fino al valore massimo in corrispondenza dell'ingresso in fossa alla stazione di monte della vettura carica (l'ingresso in fossa avviene a velocità costante, quindi sono nulle le forze di inerzia).

Più complesso è il caso in cui lungo il percorso siano presenti dei sostegni che introducono delle brusche variazioni di pendenza, e talvolta comportano anche una riduzione di velocità durante il transito delle vetture sulle scarpe, con successiva ri-accelerazione per riprendere la velocità nominale.

Non è quindi possibile parlare di coppia o corrente di regime, ma solamente di coppia o corrente massima. Se poi al valore massimo della coppia si aggiunge il contributo delle forze di inerzia dovute ad un avviamento (sulla massima pendenza o nel punto di massimo squilibrio), si ottiene un valore ancora maggiore da prendere come riferimento per la taratura delle sorveglianze di coppia massima.

Quando l'argano è costituito da due motori di uguale potenza, è più corretto parlare di coppia piuttosto che di corrente,

in quanto, sopra la metà della velocità nominale, la corrente dei motori non è più proporzionale alla coppia da essi fornita, per effetto del deflussaggio.

Non risulta essenziale avere due soglie distinte (avviamento e regime) per la sorveglianza di coppia, in quanto potrebbe capitare che il valore riscontrato all'avviamento sia abbondantemente minore di quelli massimi riscontrati lungo la linea. Le moderne apparecchiature utilizzate per il circuito di comando che impiegano logiche programmabili (PLC) consentono di calibrare la sorveglianza di coppia su soglie diverse, una per ciascuna posizione significativa del tracciato. Viste le modalità di funzionamento, anche la protezione di gradiente o picco di coppia non può essere utilizzata in quanto, anche esternamente alle zone di variazione della velocità, ci sono i passaggi dei veicoli sulle scarpe dei sostegni che determinano variazioni di coppia (naturali) di notevole entità.

Su taluni impianti, addirittura, la protezione (sorveglianza) di coppia veniva in passato "nascosta" dal "limite di corrente" (parametro di funzionamento del convertitore), tarato ad un valore minore della sorveglianza (cosa normalmente vietata per tutti gli altri impianti), lasciando alla sensibilità del personale addetto il compito di capire quando l'impianto stesse abusando del limite stesso a causa di disfunzioni o anomalie.

Per contenere il più possibile il valore della coppia richiesta dall'impianto, per quasi tutti gli impianti funiviari moderni, il valore impostato per l'accelerazione in linea è minore (tipicamente la metà) di quella impostata per una partenza dal fincorsa di stazione.

Lo stesso accorgimento (metà dell'accelerazione) viene adottato nel caso in cui il motore di trazione venga alimentato dalla sorgente ausiliaria di energia (gruppo elettrogeno).

Sorveglianze di velocità o dazi (funivie)

La velocità di funzionamento di una funivia bifune è una grandezza tutt'altro che costante anche in assenza di sostegni di linea. Ciascuna corsa, infatti, inizia con le vetture ferme nelle stazioni, prosegue con una prima fase di accelerazione che porta l'impianto alla velocità nominale, e prosegue a velocità costante fintanto che le vetture si trovano a congrua distanza dalle stazioni.

Ad una certa distanza delle vetture dalle stazioni l'impianto rallenta fino a raggiungere la velocità di ingresso alle fosse (0.3-0.6 m/s) prima che le vetture impegnino le guide di ingresso.

Mentre nel tratto percorso a velocità costante possono essere attive le soglie di sorveglianza di velocità classiche (massima velocità elettrica canale 1, massima velocità elettrica canale 2 e massima velocità meccanica), nei tratti a velocità variabile, principalmente per il rallentamento finale, ricorre l'assoluta necessità di un puntuale controllo del valore della velocità, che deve ridursi al diminuire della distanza delle vetture dalle stazioni. Tale controllo prende il nome di dazio.

Quando la misurazione della posizione delle vetture veniva fatta da organi meccanici (programmatori meccanici) che prendevano il moto dalle pulegge di deviazione della fune traente, l'ultimo tratto della corsa veniva suddiviso in alcune (5-10) parti, utilizzando dei fincorsa opportunamente distribuiti lungo l'elica percorsa dai programmatori stessi. A ogni tratto veniva associata una velocità massima, suddividendo la velocità nominale nello stesso numero di parti, così che la protezione di dazio manteneva il consenso alla marcia solamente se, all'ingresso di ciascun tratto, la velocità dell'impianto fosse scesa sotto il corrispondente valore massimo ammesso. Tale configurazione prende il nome di dazio a punti.

Da quando la misurazione della posizione delle vetture avviene con l'impiego di dispositivi denominati encoder, sono spariti i programmatori meccanici in quanto sostituiti da quelli numerici, che forniscono i dati relativi alle distanze direttamente in metri.

Con tali dispositivi risulta possibile assegnare a ciascuna distanza un valore di velocità massima via via decrescente in modo da realizzare la protezione denominata dazio continuo. Il valore della velocità massima da assegnare a ciascuna distanza dipende dalla necessità che l'eventuale intervento della protezione che comanda l'arresto dell'impianto deve avvenire ad una distanza dalla stazione tale che consenta alla vettura carica in discesa di arrestarsi prima di impegnare le guide della stazione di valle.

Nella marcia in automatico è il circuito di comando stesso che provvede, a partire da una determinata distanza memorizzata, a rallentare la velocità dell'impianto in modo da rispettare la sorveglianza del dazio continuo.

La verifica del corretto intervento della sorveglianza di dazio continuo deve perciò essere effettuata manovrando l'impianto in modalità manuale, avvicinando la vettura alla stazione di valle ad una velocità di prova scelta tra quelle adottate durante la visita di riapertura dell'impianto, senza eseguire alcun rallentamento.

L'esito della prova viene valutato favorevolmente se la vettura carica si ferma prima di impegnare le guide di ingresso della stazione di valle con delle distanze di arresto dalla stazione stessa simili a quelle riscontrate durante la citata visita di riapertura, per ciascuna delle velocità adottate.

Sorveglianza di "punto fisso" (funivie)

Il "punto fisso" è un controllo fisico della posizione della vettura che sfrutta in genere un sostegno di linea (aereo o fondato a terra), ove è posto un sensore per il rilevamento della posizione fisica della vettura. Questo controllo deve coincidere (a meno di una finestra di tolleranza) con le misurazioni dei programmatori.

Sorveglianza di "uomo morto" (funivie)

La sorveglianza di "uomo morto" è costituita da un pulsante a pedale che il macchinista è chiamato ad attivare nella parte finale della corsa, prima che la vettura entri nella cosiddetta "zona dazio", che inizia poco dopo il segnale acustico relativo.

Questa sorveglianza controlla la presenza del macchinista al banco di manovra, che era indispensabile quando le manovre di avvicinamento delle vetture alle stazioni erano eseguite manualmente dal macchinista stesso.

Con l'avvento della marcia in modalità automatica, le manovre di avvicinamento delle vetture alle stazioni avvengono appunto automaticamente, ma la sorveglianza di uomo morto è rimasta a controllare la presenza del macchinista, che deve semplicemente controllare la corretta esecuzione, da parte dell'automatismo, della manovra conclusiva della corsa. Con l'introduzione del comando automatico da vettura, la sorveglianza di uomo morto si è parzialmente modificata in quanto, essendo il macchinista del momento in vettura, non può trovarsi al tempo stesso al banco di comando.

9.2 Funzioni di controllo dei freni

Funzione di controllo di velocità minima dei freni

Il controllo di velocità minima dei freni è una funzione in grado di emettere un segnale di intervento nel momento in cui la velocità di marcia diviene inferiore al valore di velocità minima. L'intervento della funzione di controllo di velocità minima dei freni nel corso di un qualsiasi processo di arresto comporta la frenatura con azione a scatto del freno meccanico di stazionamento e la disalimentazione dell'azionamento. Qualora lo stazionamento sia realizzato sia dal freno di servizio che dal freno di emergenza, entrambi impiegati con azione a scatto, il comando di arresto per l'intervento della funzione di controllo deve quindi determinare l'azione a scatto di entrambi i freni meccanici. Durante l'avviamento, quando è premuto il pulsante di marcia, la funzione è esclusa. Negli impianti a va e vieni può essere inoltre esclusa quando i veicoli impegnano la zona di stazione, dove la velocità richiesta può risultare bassissima; negli impianti in cui sia presente la sorveglianza di uomo morto, il comando può essere infine escluso, sia in avviamento che durante la marcia regolare, mediante l'applicazione del consenso di uomo morto, nel solo modo di comando manuale.

Funzione di controllo dello stato dei freni meccanici (apertura o chiusura delle pinze o dei ceppi)

Il controllo dello stato dei freni meccanici costituisce una funzione in grado di emettere un segnale di intervento nel momento in cui si registri un'incongruenza tra lo stato reale dei freni e quello richiesto nelle condizioni attuali dell'impianto. In altre parole, la funzione controlla che il freno sia aperto in marcia e sia chiuso durante lo stazionamento.

Funzione di controllo di usura dei freni

Il controllo di usura dei freni costituisce una funzione in grado di emettere un segnale di intervento nel momento in cui si registri un livello di usura eccessivo degli elementi d'attrito delle unità di frenatura meccanica (ferodi).

Funzioni di controllo dei sistemi di apertura dei freni

Gli equipaggiamenti idraulici o pneumatici preposti a rendere disponibile l'energia richiesta per l'apertura degli elementi frenanti sono dotati di funzioni di controllo che consentono di verificarne il corretto funzionamento e, in caso di intervento, di segnalare le eventuali anomalie. In particolare, è prevista l'installazione di pressostati di minima e massima pressione. Ove opportuno, vanno inoltre previste funzioni di controllo dell'intasamento dei filtri, del livello e della temperatura del fluido, della congruenza dello stato dei rubinetti, ecc.

Funzione di controllo di indisponibilità modulatore

Ogni freno meccanico impiegato con azione modulata deve essere dotato di una funzione di controllo atta a verificare che, nel corso della marcia regolare, il segnale di comando (ad esempio dell'elettrovalvola) sia inferiore a un opportuno valore considerabile eccessivo e conseguente ad eventuali guasti. L'intervento sarà in tal caso memorizzato e dovrà determinare l'arresto dell'impianto con il freno elettrico di servizio, se previsto, oppure il rallentamento, ma non l'arresto con azione a scatto.

Funzione di controllo di passaggio alla condizione di strisciamento

Ogni freno meccanico impiegato con azione modulata in funzione di guardia deve essere dotato di una funzione di controllo atta a verificare che, alla chiamata di tale azione, il segnale di comando sia opportunamente inferiore al valore di soglia che indica la totale apertura del freno: l'intervento deve comportare una segnalazione.

Funzione di controllo di passaggio alla condizione di lavoro o di eccesso di frenatura modulata

Ogni freno meccanico impiegato con azione modulata in funzione di guardia deve essere dotato di una funzione di controllo atta a rilevare se, alla chiamata di tale azione, il segnale di comando si riduce di un'entità e per una durata tali da indicare lo sviluppo di un significativo sforzo frenante, ossia il passaggio alla condizione di lavoro. L'intervento di questo controllo deve comportare in ogni caso l'emissione di un comando di arresto meccanico e una segnalazione memorizzata sul banco di manovra, nonché l'inibizione del consenso all'avviamento fino al comando di reset.

9.3 Sorveglianze con azionamento di recupero

In caso di inserimento dell'azionamento di recupero, in considerazione della velocità ridotta e delle misure di sicurezza aggiuntive previste allo scopo di scaricare la linea, le funzioni di sorveglianza attive sono in numero ridotto rispetto alle condizioni di normale esercizio.

- Devono essere previste sorveglianze analoghe a quelle presenti per l'azionamento principale.

- Apposite sorveglianze verificano la corretta configurazione dei sistemi relativi all'azionamento di recupero (ad esempio valvole, rubinetti, selettori, ecc.).
- Sono attive le protezioni di massima coppia a regime, massima velocità del vento (solo allarme), corsa del carro tenditore, isolamento e contatto tra le funi, corretto accoppiamento e disaccoppiamento delle morse alla fune (impianti ad ammorsamento automatico).

9.4 Controllo di parametri mediante relè elettronici

In relazione alle sorveglianze e alle funzioni di cui ai paragrafi precedenti, si riassumono di seguito i controlli di parametri effettuati per mezzo di relè elettronici.

Relè di minima velocità elettrica

I relè di minima velocità elettrica si diseccitano ogni volta che il segnale proveniente dalla dinamo tachimetrica supera la soglia impostata per mezzo del potenziometro. I contatti dei due relè vengono bypassati con il pulsante di marcia ad ogni partenza dell'impianto. Per questo motivo, ad ogni partenza è indispensabile mantenere premuto il pulsante di marcia fino al raggiungimento della minima velocità da parte dell'impianto.

Relè di minima velocità caduta freni

Nei relè di minima velocità caduta freni, il principio di funzionamento è lo stesso di quello descritto sopra. La funzione dei contatti, in questo caso, è di far intervenire il freno di servizio non modulato appena raggiunta la soglia minima di velocità prevista. La medesima situazione si registra in caso di frenatura elettrica, modulata o differenziata.

Relè di massima velocità elettrica (110%)

Nei relè di massima velocità elettrica (110%), il segnale proveniente dalla dinamo tachimetrica viene confrontato con quello del potenziometro "eccesso di velocità", tarato sulla soglia di massima velocità scelta, che è il 110% della velocità nominale. Il relè si diseccita nel momento in cui il segnale della dinamo tachimetrica supera la soglia di tolleranza tarata con il potenziometro.

Relè di confronto dei segnali tachimetrici argano-motore

I due relè per il confronto dei segnali tachimetrici argano-motore controllano il confronto fra i due segnali, che provengono dalle dinamo tachimetriche del motore e dell'argano. Nel caso in cui uno dei due relè si disecciti per superamento della soglia di tolleranza massima prevista, interviene il freno di emergenza.

Relè di controllo dell'assorbimento del motore

I relè elettronici di controllo per l'assorbimento del motore ricevono il segnale di corrente, positivo o negativo, elaborato dal trasduttore di corrente (o coppia, nel caso di diminuzione del flusso).

Relè di massima coppia

Il funzionamento del relè di massima coppia è basato sul segnale di corrente che viene confrontato con una soglia tarata per mezzo di un potenziometro. Il superamento della soglia da parte del segnale di corrente provoca la diseccitazione del relè e di conseguenza l'intervento del freno di servizio meccanico. Il relè di massima coppia protegge l'impianto, non il motore o il convertitore. Sono previsti due relè di massima coppia per il controllo della corrente per il funzionamento come motore e due per il funzionamento come generatore.

Relè di protezione tiristori

I relè di protezione tiristori sono raffreddati tramite ventilatore. In caso di mancata ventilazione un relè arresta l'impianto.

Relè di controllo fusibili

Se brucia un fusibile di protezione dei tiristori, si apre un interruttore che tramite un relè arresta l'impianto. Andrà sostituito il fusibile prima di poter rimettere in moto l'impianto.

Relè di controllo raffreddamento motore

Se il ventilatore di raffreddamento del motore si ferma, un relè arresta l'impianto. Anche le sonde termiche inserite negli avvolgimenti dei motori in c.c. possono determinare, in caso di surriscaldamento, l'arresto dell'impianto.

10. Manutenzione, personale e documentazione

10.1 Manutenzione

10.1.1 Concetti generali e figure professionali coinvolte

Per manutenzione si intende l'insieme di attività necessarie a ridurre la probabilità di guasto e di degradazione dell'impianto e dei suoi componenti. Una corretta manutenzione infatti è fondamentale per garantire che l'impianto sia efficiente e in buono stato di conservazione. Insieme ai controlli funzionali e alle ispezioni eseguite periodicamente, essa permette quindi il permanere delle condizioni di sicurezza per l'esercizio dell'impianto stesso.

Alcuni controlli e lavori sono considerati ordinari, in quanto previsti con cadenza fissa (manutenzione periodica, controlli giornalieri e mensili, ispezioni annuali); altri sono definiti straordinari, poiché eseguiti dopo lavori di manutenzione straordinaria, varianti costruttive, eventi eccezionali o modifiche delle modalità di esercizio.

Ai periodi di esercizio sono dunque alternati periodi di manutenzione e controllo che devono essere pianificati prevenendo, nel caso di esercizio continuativo, degli appositi intervalli di sospensione del funzionamento degli impianti per il pubblico.

La necessità della manutenzione viene spesso valutata sulla base di considerazioni statistiche sulla vita media di un componente. In questo caso, la sostituzione avviene solitamente entro un periodo che garantisca la sopravvivenza di almeno il 95% dei componenti. La manutenzione, in questa fattispecie, prende il nome di "preventiva sistematica". Nel campo degli impianti a fune, un'attività eseguita secondo questa politica di manutenzione è, ad esempio, la sostituzione dei tubi oleodinamici in pressione dell'azionamento di recupero, operazione prevista ogni cinque o sei anni.

In altri casi, l'azione manutentiva nasce sulla base dello stato di salute di un componente che è valutato mettendo in relazione una o più grandezze fisiche o chimiche allo stato del componente e individuando un valore di soglia, relativamente a queste grandezze, oltre il quale (o al di sotto del quale) il componente ha una elevata probabilità di guastarsi. In questo caso la politica di manutenzione prende il nome di "preventiva secondo condizione". Si pensi, ad esempio, alla sostituzione dei perni delle rulliere che abbiano raggiunto un certo livello di usura stabilito dal costruttore.

Più raramente, sugli impianti a fune, la necessità dell'azione manutentiva nasce dall'individuazione di uno o più parametri che vengono misurati ed estrapolati utilizzando appropriati modelli matematici allo scopo di individuare il tempo residuo prima del possibile guasto. In questo caso la manutenzione prende il nome di predittiva.

Riguardo alla manutenzione, nel Decreto Ministeriale n. 86/2017 "Impianti aerei e terrestri. Disposizioni tecniche riguardanti l'esercizio e la manutenzione degli impianti a fune adibiti al trasporto pubblico di persone" (il cosiddetto "Decreto esercizio"), si stabiliscono i ruoli delle figure di rilievo per gli impianti a fune, come descritto di seguito.

L'esercente deve:

- provvedere alla disponibilità dei materiali soggetti a usura, di ricambio e di scorta, su indicazione del capo servizio o del tecnico responsabile, assicurando, se prescritto dalle norme tecniche di sicurezza per la costruzione e l'esercizio di impianti a fune, la disponibilità di idonei locali sia per la conservazione dei materiali e delle attrezzature, sia per l'esecuzione delle operazioni di manutenzione ordinaria;
- dar corso ai lavori di manutenzione e di revisione richiesti dall'autorità di sorveglianza o dal tecnico responsabile per la sicurezza e regolarità dell'esercizio stesso.

Il tecnico responsabile deve programmare e predisporre, d'intesa con l'esercente, sulla base delle norme in vigore e delle apposite istruzioni fornite dal costruttore, tutti i controlli e gli interventi periodici di manutenzione necessari per accertare e mantenere lo stato dell'impianto e la sicurezza dell'esercizio, sovrintendendo a tali controlli e interventi.

Il capo servizio deve:

- provvedere alla manutenzione degli impianti, compresi i mezzi di evacuazione in dotazione, secondo il programma e le istruzioni delle ditte costruttrici e del tecnico responsabile, compilando o sottoscrivendo il registro di controllo e manutenzione;
- rispondere della buona conservazione dei materiali soggetti a usura, di scorta e di ricambio, compresa la segnaletica di impianto;
- comunicare al tecnico responsabile e all'esercente l'elenco dei materiali soggetti a usura e dei materiali di ricambio necessari per l'esercizio e la manutenzione;
- curare la manutenzione e la dislocazione della segnaletica relativa all'esercizio in stazione e in linea, dell'attrezzatura antincendio e di pronto soccorso.

10.1.2 Manuale di uso e manutenzione

Il Manuale di uso e manutenzione (M.U.M.) è un documento predisposto dal costruttore delle apparecchiature meccaniche e degli equipaggiamenti elettrici ed elettronici dell'impianto. Contiene un programma generale di manutenzione e di ispezione delle varie componenti dell'impianto, nonché le istruzioni per la manutenzione periodica, preventiva e correttiva, ed è fornito all'esercente e al Servizio Impianti a Fune assieme al progetto. In esso, come richiesto dal Decreto

esercizio, è contenuta una tabella di sintesi delle operazioni di manutenzione previste, nonché l'indicazione delle attività e delle periodicità che il costruttore prevede per le ispezioni e i controlli in esercizio. Il M.U.M. contiene inoltre un piano dei controlli da eseguire in occasione delle revisioni quinquennali, ispezioni speciali e generali e riporta le liste di controllo, che contengono i valori nominali e le tolleranze ammesse, nonché gli intervalli di sostituzione dei componenti. Per le operazioni di manutenzione, ivi comprese le attività speciali (quali ad esempio lo spostamento delle funi, il rifacimento delle teste fuse, lo spostamento dei morsetti) e i controlli non distruttivi, sono infine indicate le specifiche esecutive e i criteri di accettazione dei difetti eventualmente riscontrati.

10.1.3 Registro di controllo e manutenzione

Per ogni impianto, il tecnico responsabile predispone, sulla base del M.U.M., un registro di controllo e manutenzione di tutti i componenti dell'impianto. Il registro riporta la denominazione dell'impianto, il nominativo del tecnico responsabile e del capo servizio, la data di apertura al pubblico esercizio, la data di riferimento per le scadenze di revisione e le ore effettuate dall'impianto all'inizio del periodo di manutenzione cui il registro stesso si riferisce.

Per ogni componente, ed eventualmente per le singole parti del componente stesso, il registro contiene il tipo, la frequenza e la metodologia di controllo e manutenzione, il rimando alla sezione del M.U.M. ove sono compiutamente descritte le operazioni che devono essere svolte, lo spazio per la registrazione della data dell'intervento e dell'identificativo del manutentore, un campo libero per la registrazione di note o anomalie riscontrate durante le operazioni e le relative azioni intraprese. Ulteriormente, per ogni componente, deve essere registrata l'eventuale manutenzione straordinaria effettuata. Il registro è conservato a cura del capo servizio e una copia deve essere disponibile presso l'esercente. Il registro può essere anche su supporto informatico. Copia del registro deve essere allegata alla relazione finale delle revisioni generali e quinquennali di cui al Decreto Ministeriale n. 203/2015 (cosiddetto "Decreto revisioni"). Esso è controfirmato dal capo servizio.

10.1.4 Lavori di sostituzione

Quando sull'impianto vengono effettuati lavori di sostituzione, si possono presentare due casi.

- La sostituzione avviene con elementi come da progetto. In questo caso le attività devono essere annotate sul registro di controllo e manutenzione, e la loro regolare esecuzione deve essere convalidata dal capo servizio e portata tempestivamente a conoscenza del tecnico responsabile. Al termine della riparazione o sostituzione si effettua una prova di efficienza.
- La sostituzione avviene con elementi equivalenti ma certificati ai sensi del Decreto Legislativo n. 210/2003 ("Attuazione della normativa europea 2000/9/CE in materia di impianti a fune adibiti al trasporto di persone e relativo sistema sanzionatorio") o del successivo Regolamento Europeo n. 424/2016. Tali attività sono comunicate in via preventiva al Servizio Impianti a Fune per illustrare in maniera sintetica la sostituzione che si intende effettuare sull'impianto, allo scopo di individuare le possibili ripercussioni sulla sicurezza e sulla regolarità dell'esercizio. Il Servizio Impianti a Fune valuta l'entità della sostituzione ed eventualmente, nel caso in cui sia ritenuto necessario il rilascio di un'autorizzazione, acquisisce la documentazione progettuale, svolge la relativa procedura approvativa e, successivamente, acquisisce la documentazione di fine lavori dal tecnico responsabile ed effettua una visita di constatazione o di collaudo.

Per gli impianti realizzati prima dell'entrata in vigore del Decreto Legislativo n. 210/2003 (denominati "impianti ante CE") è possibile utilizzare componenti realizzati secondo la normativa italiana vigente al momento dell'entrata in vigore del decreto stesso, oppure componenti o sottosistemi simili certificati, purché siano verificate le seguenti condizioni:

- compatibilità dei componenti o sottosistemi certificati con le altre parti dell'impianto con le quali si interfacciano;
- rispetto dei limiti d'impiego citati nei documenti di certificazione relativi ai suddetti componenti o sottosistemi;
- condizioni di sicurezza almeno equivalenti a quelle originarie.

10.1.5 Obblighi di legge

Vita tecnica

La vita tecnica di ogni impianto ante CE, ovvero l'intervallo di tempo nel corso del quale la sicurezza e la regolarità dell'esercizio possono ritenersi garantite come all'atto della prima autorizzazione all'esercizio, è stabilita come segue per le diverse categorie di impianti.

Tipologia di impianto a fune	Durata vita tecnica
Funivie bifuni "a va e vieni" e funicolari o impianti assimilabili	60 anni
Funivie bifuni e monofuni con veicoli a collegamento temporaneo e funivie monofuni con veicoli a collegamento permanente e impianti assimilabili	40 anni
Sciovie, slittinovie e impianti assimilabili	30 anni

Per gli impianti CE, invece, non si applica il concetto di limite di vita tecnica di cui sopra.

Alla scadenza della vita tecnica l'autorizzazione all'esercizio viene normalmente a cessare, ma, come descritto in seguito,

esiste la possibilità, per gli impianti ante CE, di proseguire la vita tecnica anche dopo le scadenze di cui sopra.

Revisioni periodiche

Allo scopo di garantire la sicurezza e la regolarità dell'esercizio rispettando le medesime condizioni realizzate all'atto della prima autorizzazione, ogni impianto, nel corso della sua vita tecnica, deve essere sottoposto alle revisioni periodiche di seguito indicate.

Gli impianti ante CE sono soggetti alle seguenti revisioni periodiche:

- Revisione quinquennale, ogni cinque anni dalla data della prima autorizzazione all'esercizio o dalla data dell'ultima revisione quinquennale o generale, per tutte le categorie di impianti;
- Revisione generale, secondo le periodicità riportate nella tabella sottostante, calcolate dalla data della prima autorizzazione all'esercizio.

Tipologia di impianto a fune	Revisione generale
Funivie bifuni "a va e vieni" e funicolari o impianti assimilabili	20° e 40° anno
Funivie bifuni e monofuni con veicoli a collegamento temporaneo e funivie monofuni con veicoli a collegamento permanente ed impianti assimilabili	20° e 30° anno
Sciovie, slittinovie e impianti assimilabili	15° anno

Gli impianti CE sono soggetti alle seguenti revisioni periodiche:

- revisione quinquennale, ogni cinque anni a decorrere dalla data di autorizzazione all'esercizio o dalla data dell'ultima revisione quinquennale o generale;
- ispezioni speciali, secondo la periodicità prevista dal M.U.M.;
- revisione generale, secondo le periodicità delle ispezioni speciali.

Revisione quinquennale

In occasione della revisione quinquennale, gli interventi, le verifiche e i controlli da espletare si effettuano tenendo conto delle istruzioni per la manutenzione riassunte nel piano dei controlli allegato come documento specifico al M.U.M. fornito dalle ditte costruttrici. In tali istruzioni sono individuate tutte le parti dell'impianto da sottoporre a controlli specifici, indicando la difettosità ammissibile e le modalità delle prove.

Oltre a quanto previsto dal M.U.M., è comunque necessaria la sostituzione degli elementi con scadenza quinquennale, l'effettuazione dei controlli non distruttivi, il controllo degli azionamenti e dei sistemi di frenatura e gli accertamenti che il tecnico responsabile ritiene necessario aggiungere.

A conclusione di ogni revisione quinquennale, il tecnico responsabile trasmette al Servizio Impianti a Fune una relazione con l'esito dei controlli effettuati, i provvedimenti adottati, l'esito delle verifiche e delle prove espletate, nonché la dichiarazione sulla possibilità di mantenere in esercizio l'impianto sino alla successiva scadenza di revisione.

Se alla scadenza di ogni revisione quinquennale non sono stati effettuati, con esito favorevole, tutti gli adempimenti previsti, la prosecuzione dell'esercizio dell'impianto non è consentita.

Ispezione speciale prevista dal M.U.M.

Solo per gli impianti CE, secondo la periodicità prevista dal M.U.M., generalmente dopo 22500 ore o 15 anni, in seguito dopo 15000 ore o dieci anni e dopo 7500 ore o cinque anni, è prevista un'ispezione speciale in cui, oltre ai controlli e alle verifiche previste dal M.U.M., occorre anche sottoporre tutte le morse, le sospensioni dei veicoli ed i relativi attacchi a controlli non distruttivi allo stato smontato.

Il tecnico responsabile può inoltre aggiungere degli accertamenti che ritenga necessario effettuare per garantire la sicurezza e la regolarità dell'esercizio.

Anche in questo caso, al termine di ogni ispezione speciale, il tecnico responsabile trasmette al Servizio Impianti a Fune una relazione con l'esito dei controlli effettuati, i provvedimenti adottati, i risultati delle verifiche e delle prove espletate e la dichiarazione sulla possibilità di mantenere in esercizio l'impianto sino alla successiva scadenza di revisione o di ispezione speciale. Se alla scadenza di ogni ispezione speciale non sono stati effettuati, con esito favorevole, tutti gli adempimenti previsti, la prosecuzione dell'esercizio dell'impianto non è consentita.

Revisione generale

Anche nelle revisioni generali, le verifiche e i controlli si effettuano tenendo conto delle istruzioni per la manutenzione fornite dalle ditte costruttrici, e devono riguardare almeno le seguenti parti dell'impianto:

1. le opere civili in cemento armato e in carpenteria metallica delle stazioni, della linea e delle eventuali opere accessorie;
2. tutte le apparecchiature meccaniche compresi i veicoli;
3. gli elementi costruttivi, organi meccanici e relative giunzioni saldate;
4. tutti gli equipaggiamenti elettrici ed elettronici, relativi cablaggi e collegamenti elettrici di terra.

Le indicazioni sui controlli da eseguire, come per la revisione quinquennale, sono contenute nel piano dei controlli allegato al manuale di uso e manutenzione. A differenza di quanto previsto per la revisione speciale, i controlli vengono effettuati generalmente allo stato smontato.

Nel caso in cui su questi impianti siano installati componenti o sottosistemi certificati, essi devono rispettare quanto contenuto nella relativa documentazione di certificazione.

Inoltre, nel corso della revisione generale si deve:

1. modificare l'impianto se nel corso del precedente periodo di esercizio sono avvenuti scarruolamenti dovuti alla stabilità della fune;
2. eseguire modifiche sulle parti che sullo stesso impianto o su impianti simili abbiano dato luogo a inconvenienti di rilievo durante l'esercizio;
3. sostituire i componenti per i quali il costruttore abbia fornito limiti di tempo per l'impiego;
4. verificare il buono stato delle opere civili in cemento armato e in carpenteria metallica delle stazioni, della linea e delle eventuali opere accessorie;
5. adeguare l'impianto per gli aspetti legati alla distribuzione elettrica e alla segnaletica, ai sensi del Decreto Dirigenziale n. 337/2012;
6. effettuare una valutazione del rischio di incendio, ed eventualmente un progetto antincendio, con particolare attenzione alla posizione delle funi, e una relazione di corretta esecuzione dei lavori previsti;
7. verificare le dichiarazioni di immunità dell'impianto dal rischio di frane, valanghe ed esondazioni, anche alla luce di eventi verificatisi nel trascorso periodo di esercizio o sulla base della cartografia aggiornata relativa ai rischi di dissesto idrogeologico e valanghivo;
8. verificare gli aspetti relativi alla tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, alla protezione contro i fulmini, agli impianti elettrici non prettamente funiviari e all'antincendio secondo le rispettive norme specifiche di settore;
9. verificare l'adeguatezza dell'organizzazione per l'evacuazione dell'impianto durante il funzionamento nel periodo estivo.

Il tecnico responsabile può inoltre aggiungere gli accertamenti che ritenga necessario effettuare per garantire la sicurezza e la regolarità dell'esercizio.

Anche in questo caso, al termine di ogni revisione generale, il tecnico responsabile trasmette al Servizio Impianti a Fune una relazione con l'esito dei controlli effettuati, i provvedimenti adottati, l'esito delle verifiche e prove espletate e la dichiarazione sulla possibilità di mantenere in esercizio l'impianto sino alla successiva scadenza di revisione generale.

Il Servizio Impianti a Fune, al termine dei lavori e dei controlli effettuati, esegue il collaudo funzionale e autorizza il proseguimento dell'esercizio sino alla scadenza di revisione generale seguente.

Proroga delle revisioni generali e proseguimento dell'esercizio dopo la vita tecnica

Qualora per un impianto ante CE che giunga in scadenza di revisione generale si preveda l'ammodernamento o la sostituzione oppure un intervento di miglioramento dei livelli di sicurezza, è possibile chiedere la proroga di tale scadenza per un periodo massimo di cinque anni.

Allo stesso modo, qualora per un impianto ante CE che giunga in scadenza di vita tecnica si preveda l'ammodernamento o la sostituzione, è possibile chiedere la proroga di tale scadenza per un periodo massimo di cinque anni.

Per fruire della proroga è necessario effettuare controlli di livello almeno pari a quello di una revisione quinquennale su tutti gli elementi di impianto e gli adempimenti specifici richiesti dal costruttore dell'impianto, che deve rilasciare un parere positivo. Il Servizio Impianti a Fune, al termine dei lavori e dei controlli effettuati nell'anno di scadenza, esegue il collaudo funzionale e autorizza il proseguimento dell'esercizio per un periodo di proroga stabilito anche sulla base dell'esito del collaudo.

Proseguimento dell'esercizio dopo la scadenza di vita tecnica

Per gli impianti ante CE, dopo la scadenza della vita tecnica, è possibile proseguire il pubblico esercizio a seguito del favorevole esito delle verifiche e prove di livello pari a quelle previste nel corso di una revisione generale, sulla base di un'autorizzazione rilasciata dal Servizio Impianti a Fune. Le verifiche e i controlli si effettuano tenendo conto delle istruzioni per la manutenzione fornite dalle ditte costruttrici, e comunque almeno sulle seguenti parti dell'impianto:

1. opere civili in cemento armato ed in carpenteria metallica delle stazioni, della linea e delle eventuali opere accessorie;
2. tutte le apparecchiature meccaniche compresi i veicoli;
3. gli elementi costruttivi, organi meccanici e relative giunzioni saldate;
4. tutti gli equipaggiamenti elettrici ed elettronici, relativi cablaggi e collegamenti elettrici di terra.

Le indicazioni sui controlli da eseguire sono contenute nel piano dei controlli allegato al M.U.M., di cui è parte integrante. Nel caso in cui su questi impianti siano installati componenti o sottosistemi certificati, devono rispettare quanto contenuto nella relativa documentazione di certificazione.

Anche in questo caso, al termine dei controlli e lavori, il tecnico responsabile trasmette al Servizio Impianti a Fune una relazione con l'esito dei controlli effettuati, i provvedimenti adottati, l'esito delle verifiche e delle prove espletate e la dichiarazione sulla possibilità di mantenere in esercizio l'impianto sino alla successiva scadenza.

Il Servizio Impianti a Fune, al termine dei lavori e dei controlli effettuati, esegue il collaudo funzionale e autorizza il proseguimento dell'esercizio sino alla successiva scadenza.

A seguito dell'autorizzazione al proseguimento dell'esercizio dopo la scadenza di vita tecnica, l'impianto deve essere sottoposto a revisione generale ogni dieci anni.

10.1.6 Piano dei controlli non distruttivi

Il piano dei controlli non distruttivi riguarda le ispezioni e i controlli non distruttivi che devono essere effettuati nel corso della revisioni quinquennali e generali e dell'ispezione speciale degli impianti a fune. Questo piano è redatto con riferimento alle esperienze relative all'esercizio e ai disegni del progetto esecutivo.

Costituisce la guida e l'indicazione circa i particolari da esaminare, i metodi di prova applicabili, i tempi e i modi dei controlli. Il piano dei controlli è applicabile per l'esercizio comune; in caso di carichi anomali (carichi eccezionali, forti vibrazioni, ecc.) il tecnico responsabile deve valutare se richiedere ulteriori controlli.

Questo documento è emesso dal costruttore dell'impianto ed è concepito come sistema di individuazione di difetti originatisi durante l'esercizio degli impianti a fune, causati da fatica, usura, corrosione e altre cause connesse al funzionamento dell'impianto.

Il tecnico che esegue i controlli deve essere in possesso della certificazione di tecnico di 2° o di 3° livello in conformità alla normativa UNI EN ISO 9712, rilasciata da un ente certificato.

Tutte le parti da controllare devono essere preventivamente pulite, onde eliminare dalla superficie polvere, grasso e sporcizia in generale. Ove richiesto dal tecnico esecutore, tali parti devono essere sverniciate. Sono ammesse protezioni superficiali anticorrosione (verniciature, zincature, ecc.), purché omogenee.

Tutte le parti da controllare devono essere sottoposte a un'accurata ispezione visiva estesa all'intera superficie accessibile. Ciò è particolarmente importante per quelle parti che vengono ispezionate a campione e non controllate integralmente con gli strumenti. In caso di esito dubbio dell'esame, il tecnico responsabile può richiedere di sua iniziativa lo smontaggio anche di parti per le quali era stato previsto soltanto il controllo in opera.

L'eventuale riscontro di difetti non accettabili su uno o più pezzi della stessa tipologia di componenti controllati implica generalmente l'estensione del controllo su una percentuale di campionatura doppia rispetto a quella indicata. L'eventuale ulteriore riscontro di difetti inaccettabili nella seconda campionatura implica l'estensione del controllo al 100% dei componenti della stessa tipologia.

Per l'intera durata della vita utile delle opere civili strutturali (opere di forza in calcestruzzo armato delle stazioni e dei plinti dei sostegni lungo la linea dell'impianto), non sono previsti interventi di manutenzione straordinaria, ma sono previste ispezioni visive dello stato di conservazione delle stesse. Eventuali interventi di manutenzione straordinaria devono essere stabiliti volta per volta in caso di degrado delle strutture. Il controllo periodico delle opere civili strutturali (di forza) e l'idoneità statica rimangono a cura del tecnico responsabile, che deve valutare lo stato di conservazione delle strutture, la loro resistenza, la presenza di tutta la documentazione progettuale e la validità delle condizioni di utilizzo effettive rispetto a quanto previsto dal progetto.

La riparazione di eventuali difetti rilevati durante i controlli sui pezzi stampati, fucinati grezzi, fusi o sulle saldature è ammessa purché sia effettuata con asportazione totale dei difetti stessi e verificata con il ricontrollo secondo le stesse modalità precedentemente utilizzate. L'uso dei pezzi riparati sarà subordinato alla permanenza delle dimensioni geometriche nelle tolleranze riferite nel progetto.

L'eventuale riparazione dei pezzi con riporto di materiale mediante saldatura può essere eseguito esclusivamente con procedimenti preventivamente qualificati.

10.1.7 Tipi di controlli non distruttivi

I controlli non distruttivi (CND) sono il complesso di esami, prove e rilievi condotti impiegando metodi che non alterano il materiale e non richiedono la distruzione o l'asportazione di campioni dalla struttura in esame finalizzati alla ricerca e all'identificazione di difetti strutturali dei componenti meccanici.

Si usano anche l'acronimo NDT, derivato dall'inglese "non-destructive testing" e l'acronimo PND, derivato dal termine "prove non distruttive".

Nel settore industriale, ogni prodotto di importanza critica (travi per l'edilizia, viti di sostegno, componenti aeronautici, componenti automobilistici, corpi a pressione) deve essere controllato per la verifica della sua integrità e conformità alle norme vigenti. È noto, infatti, che una piccola cricca (crepa, in metallurgia) superficiale, innocua in condizioni normali, se sottoposta a sollecitazioni da fatica, cresce costantemente di dimensioni fino a portare a rottura il componente.

Negli impianti a fune, ugualmente, esistono componenti di sicurezza che devono essere testati prima della loro installazione o periodicamente per verificarne lo stato. In particolare, si eseguono CND sugli elementi costruttivi, gli organi meccanici e le relative giunzioni saldate contro la cui rottura non esistono, nell'impianto, efficaci accorgimenti tecnici destinati a tutelare la sicurezza dei viaggiatori o del personale (ad esempio perni di rulliere, strutture metalliche di stazione, saldature dei sostegni, perni e pinze dei freni, morse, ecc.).

10.1.8 Manutenzione delle parti meccaniche

La manutenzione delle parti meccaniche, riportata nel dettaglio sul manuale di uso e manutenzione di ciascun impianto, si concretizza con attività che riguardano principalmente:

- rulliere;
- freno di servizio;
- freno di emergenza;
- morse;
- sostegni;

- motore di recupero;
- pulegge;
- riduttore;
- sistema di tensionamento.

Rulliere di appoggio e di ritenuta

In linea generale, annualmente è necessario sollevare o abbassare la fune portante-traente dalla rulliera per lubrificare i supporti dei bilancieri e i cuscinetti dei rulli guidafune. È inoltre necessario verificare che i bilancieri si muovano liberamente soprattutto nei punti in cui è presente un interruttore a bacchetta (barretta), effettuare un controllo completo della rulliera, verificando la presenza di segni di corrosione e incrinature e controllare la corretta posizione dei collegamenti bullonati e dei perni.

Oltre a quanto sopra esposto, si deve controllare la funzionalità, il fissaggio e l'integrità degli interruttori a bacchetta e procedere alla sostituzione dei rulli usurati.

Al termine delle manutenzioni deve essere effettuato l'allineamento delle rulliere.

Periodicamente, secondo quanto indicato nel piano dei controlli del costruttore, si effettuano controlli non distruttivi sui componenti di sicurezza soggetti a sollecitazioni da fatica (perni a sbalzo, perni principali e secondari di bilanciere, flange, ecc.).

Freno di servizio

In linea di massima, annualmente è necessario controllare il corretto fissaggio dei collegamenti imbullonati e realizzati mediante spine e lubrificare le boccole dei perni dei leveraggi.

È necessario inoltre controllare e lubrificare il pacco molle ed eseguire delle prove di frenatura al termine delle attività di manutenzione.

Periodicamente, secondo quanto indicato nel piano dei controlli del costruttore, si effettuano controlli non distruttivi sui componenti di sicurezza soggetti a sollecitazioni da fatica (perni, leveraggi) con eventuale smontaggio delle pinze di frenatura con controllo di tutti i suoi componenti.

Freno di emergenza

Annualmente, sempre in linea generale, per quanto riguarda il gruppo motopompa della centralina del freno di emergenza, è necessario filtrare o sostituire l'olio idraulico, verificare la funzionalità e le tarature di centralina e controllare lo stato della cartuccia del filtro ed eventualmente sostituirlo.

Periodicamente, secondo quanto indicato nel piano dei controlli del costruttore, si effettuano controlli non distruttivi sui componenti di sicurezza soggetti a sollecitazioni da fatica (perni, leveraggi, telaio di supporto) con eventuale smontaggio delle pinze di frenatura e con controllo di tutti i suoi componenti.

Morse

È necessario, sempre con cadenza annuale, controllare l'usura dei rulli in plastica, l'efficienza dello smorzatore a frizione, l'integrità della sede delle viti cilindriche del pattino di trasporto e della piastra dei rulli di scorrimento, con un accurato controllo visivo del pattino di trasporto. Generalmente si effettuano inoltre, a seguito di smontaggio e secondo quanto indicato nel piano dei controlli del costruttore, i controlli non distruttivi sui componenti di sicurezza soggetti a sollecitazioni da fatica secondo un programma suddiviso in lotti che riguarda:

- ganascia mobile;
- corpo fisso;
- molle spiroidali o a tazza;
- braccio di collegamento;
- perno.

Sostegni

In linea generale, annualmente è necessario controllare se le fondazioni dei sostegni presentano danneggiamenti o possibili cedimenti del terreno e se la superficie dei sostegni presenta formazione di ruggine, nel qual caso è indispensabile ripristinarne il rivestimento protettivo. Viene inoltre controllato il serraggio dei bulloni di ancoraggio, dei collegamenti bullonati e viene verificata l'integrità del dispositivo anticaduta. Oltre a ciò, deve essere verificato lo stato delle passerelle, dei mancorrenti e di tutte le strutture di accesso ai sostegni ripristinando, se necessario, l'originario stato di sicurezza di tutti questi elementi.

Motore di recupero

Generalmente con cadenza annuale, per quanto riguarda il motore termico, è necessario controllarne il livello dell'olio, dell'acqua nel radiatore, lo stato di intasamento del filtro aria e il livello dell'elettrolita delle batterie. Per quanto riguarda la parte idraulica, si controlla generalmente il livello dell'olio nel riduttore planetario, la regolazione dei controlli di pressione e si filtra l'olio del circuito idraulico.

Pulegge

In linea generale annualmente, è necessario eseguire un controllo visivo dello stato della guarnizione della puleggia, al fine di accertare l'assenza di fessure, rotture o usura prematura che potrebbero richiederne la sostituzione. Oltre a ciò, si

controllano le viti di connessione delle pulegge fornite in due pezzi, il corretto ingresso/uscita della fune dalla stazione e si ingrassano i cuscinetti a rulli della puleggia e i denti dell'albero.

Periodicamente, secondo quanto indicato nel piano dei controlli del costruttore, si effettuano controlli non distruttivi sui componenti di sicurezza soggetti a sollecitazioni da fatica (saldature, perno).

Riduttore

In linea generale annualmente è necessario controllare l'olio di lubrificazione, le tubazioni, così come è prevista la pulizia con benzina e aria compressa del filtro di aerazione e degli elementi di raffreddamento e delle armature.

Sistema di tensionamento

In linea generale annualmente, per quanto riguarda la centralina idraulica, è necessario controllare ed eventualmente filtrare o sostituire l'olio idraulico e cambiare l'inserito del filtro di mandata. Per quanto riguarda il cilindro idraulico, è necessario pulire e lubrificare lo stelo del pistone ed eseguire un controllo visivo del cilindro idraulico.

Periodicamente, secondo quanto indicato nel piano dei controlli del costruttore, si effettuano controlli non distruttivi sui componenti di sicurezza soggetti a sollecitazioni da fatica (telaio di supporto, perni) con eventuale smontaggio.

10.1.9 Manutenzione delle parti elettriche

In linea generale annualmente, per quanto riguarda il motore, si procede alla lubrificazione dei cuscinetti, al controllo della carcassa, dei filtri per l'aria, della sua temperatura di lavoro e delle eventuali vibrazioni o rumori anomali. Si procede anche alla pulizia ad aria degli avvolgimenti.

Nel caso di motori in corrente continua, si verificano inoltre le buone condizioni di funzionamento delle spazzole e del collettore per garantire una buona commutazione.

Oltre a ciò, periodicamente si misura l'isolamento del motore, che deve essere superiore a 2 MΩ alla tensione di 500 V. Per quanto riguarda i quadri ed i cavi elettrici, è generalmente necessario verificare il corretto serraggio dei morsetti ed effettuare la pulizia dei contatti dei cavi, dei quadri e del circuito di sicurezza di linea.

10.1.10 Manutenzione dei locali e delle stazioni

In linea generale annualmente, per quanto riguarda le stazioni e i locali di comando, è necessario effettuare il controllo visivo del telaio e della struttura di supporto in profilati o tubolare, del telaio del gruppo argano e verificare il corretto serraggio dei bulloni di fissaggio della struttura. Il controllo mira a individuare eventuali segni di corrosione o crepe e a verificare la tenuta di viti e bulloni d'ancoraggio.

Similmente, il tecnico responsabile esegue il controllo a vista delle opere di fondazione e di elevazione in cemento armato per verificare l'assenza di cedimenti e il buono stato di conservazione dei calcestruzzi.

È opportuno effettuare una pulizia generalizzata dei locali e delle stazioni per eliminare polveri e residui che possono limitare la vita utile dei componenti, in particolare quelli elettrici.

Per quanto riguarda il girostazione, è necessario controllare i rulli di deviazione orizzontale e verticale per verificare l'assenza di corrosione e cricche (crepe). Si controllano inoltre la rotaia di guida della morsa, le regolazioni dell'elica di manovra e delle guide di entrata e di uscita, e si procede alla lubrificazione dei rulli.

Vanno inoltre verificati gli elementi meccanici eventualmente presenti, quali lo spaziatore e la catena di trascinamento. Infine, viene verificata la corretta taratura del dispositivo prova morsa (cella di carico).

10.1.11 Periodicità di controllo dell'impianto elettrico di messa a terra

Per quanto riguarda l'impianto elettrico di messa a terra, secondo quanto prescritto dall'art. 4 del D.P.R. n. 462/2001 e s.m.i., è necessario effettuare regolari manutenzioni. Lo stesso impianto va sottoposto a verifica periodica generalmente ogni cinque anni: in casi particolari di affollamento o di importanza strategica dell'impianto, il controllo deve essere eseguito ogni due anni.

Il soggetto che esegue la verifica periodica rilascia, al termine della stessa, un verbale di conformità che la società esercente deve conservare e trasmettere per conoscenza al Servizio Impianti a Fune.

10.2 Decreto esercizio: personale e documentazione di impianto

Si riportano di seguito il capitolo 2 ed il capitolo 4 del Decreto Dirigenziale n. 86/2017 (Decreto esercizio), che riguardano rispettivamente il personale ed i documenti per l'esercizio degli impianti a fune. Si precisa che la figura del direttore dell'esercizio nell'ambito territoriale nazionale corrisponde, nel territorio della Provincia Autonoma di Trento, alla figura del tecnico responsabile.

10.2.1 Decreto esercizio – Capitolo 2 – PERSONALE

Premessa

Il presente capitolo raggruppa le disposizioni da adottare in merito al personale per garantire la regolarità e la sicurezza

dell'esercizio degli impianti a fune in servizio pubblico.

Per i diversi tipi di impianto, la consistenza del personale necessario alla loro conduzione e le mansioni ed i compiti ad esso attribuiti sono definiti nel Regolamento di esercizio.

Personale addetto all'esercizio

Sono preposti all'esercizio degli impianti di cui al punto 1.1, l'esercente, il Direttore dell'esercizio o il Responsabile dell'esercizio (o l'Assistente Tecnico se previsto) ed il personale dell'impianto i cui requisiti e le modalità di abilitazione sono disciplinati dal decreto ministeriale 18 febbraio 2011 e dal decreto ministeriale 288/2014.

Il personale operativo addetto a svolgere funzioni di sicurezza nella conduzione degli impianti a fune durante il servizio è generalmente costituito da:

- il Capo servizio;
- il macchinista;
- gli agenti di vettura e di stazione (di rinvio o di transito);
- gli agenti di sorveglianza (per gli impianti con controllo da remoto).

Per gli impianti dotati di telesorveglianza delle stazioni, non è richiesta la presenza di personale presso l'impianto. Il Regolamento di esercizio dispone le relative modalità di esercizio di tali impianti.

Per gli impianti di categoria D, di cui al decreto ministeriale 18 febbraio 2011, l'eventuale necessità di macchinisti ed agenti è indicata nel Regolamento di esercizio.

Numero di addetti per tipologia di impianto

Nel Regolamento di esercizio di ciascun impianto è definita la consistenza minima del personale presente sull'impianto per garantire lo svolgimento dell'esercizio in sicurezza; variazioni della consistenza minima possono essere previste per eventuali occasioni di servizio ridotto o particolare.

Inoltre, al fine di assicurare la regolarità dell'esercizio, per tener conto delle assenze per riposo periodico, congedo o malattia, oltre al numero di persone di cui sopra deve essere previsto del personale sostituto.

Per impianti con stazioni adiacenti (ad esempio scivole parallele) può essere ammessa la sorveglianza di entrambe le stazioni da parte di un unico agente o macchinista. Particolari prescrizioni di esercizio dovranno essere inserite nel Regolamento di esercizio.

Mansioni e obblighi del personale dell'impianto

Durante l'esercizio, il funzionamento dell'impianto deve essere seguito dal personale addetto, che verifica e cura che tutti gli apparati dell'impianto siano efficienti. In particolare durante il servizio pubblico, il macchinista e gli agenti si comportano in modo da assicurare la regolarità del servizio stesso e informano tempestivamente il Capo servizio o il Responsabile dell'esercizio di qualsiasi anomalia riscontrata; questo ultimo informa, se del caso, il Direttore dell'esercizio (o l'Assistente Tecnico se previsto), per ottenere le necessarie istruzioni onde adottare tempestivamente i provvedimenti atti ad eliminare i difetti di funzionamento.

In caso di incidente, il personale in servizio sull'impianto è tenuto a prestare soccorso ed a porre in essere ogni provvedimento opportuno nell'ambito delle proprie funzioni per limitare le conseguenze dei danni occorsi e per impedirne altri. Il personale altresì si adopera con perizia e diligenza anche in circostanze non espressamente previste dalle norme di esercizio, ai fini della sicurezza e della regolarità.

Obblighi dell'esercente

Per quanto non contenuto all'art. 6 del decreto dirigenziale 18 febbraio 2011, l'esercente è tenuto a:

- a) provvedere alla nomina del Direttore o del Responsabile dell'esercizio (o dell'Assistente Tecnico se previsto), ovvero alla sua sostituzione secondo quanto previsto dal decreto dirigenziale 18 febbraio 2011;
- b) provvedere alla dotazione del personale necessario a garantire la sicurezza e la regolarità dell'esercizio, almeno nella misura minima stabilita nel Regolamento d'esercizio di ciascun impianto;
- c) comunicare all'Autorità di sorveglianza, prima dell'apertura dell'impianto, l'organico del personale di ciascun impianto, comprendente l'elenco dei nominativi, firmato dal Direttore o dal Responsabile dell'esercizio (o dall'Assistente Tecnico se previsto) e dal Capo servizio, le qualifiche e gli estremi dell'abilitazione di ciascun addetto. Ogni variazione di personale intervenuta nel periodo di esercizio deve essere comunicata alla predetta Autorità con le modalità di cui sopra entro il termine di 10 giorni;
- d) rispettare le disposizioni riguardanti il personale contenute in norme di legge e nel Regolamento di esercizio di ciascun impianto, nonché a quelle impartite dall'Autorità di sorveglianza o dal Direttore o dal Responsabile dell'esercizio (o dall'Assistente Tecnico se previsto);
- e) provvedere alla disponibilità dei materiali soggetti ad usura, di ricambio e di scorta, su indicazione del Capo servizio o del Direttore o del Responsabile dell'esercizio (o dell'Assistente Tecnico se previsto), assicurando, se prescritto dalle norme tecniche di sicurezza per la costruzione e l'esercizio di impianti a fune, la disponibilità di idonei locali sia per la conservazione dei materiali e delle attrezzature, sia per l'esecuzione delle operazioni di manutenzione ordinaria;
- f) dar corso ai lavori di manutenzione e di revisione richiesti dall'Autorità di sorveglianza o dal Direttore o dal Responsabile dell'esercizio (o dall'Assistente Tecnico se previsto) per la sicurezza e regolarità dell'esercizio;
- g) ove necessario, stipulare apposite convenzioni con organizzazioni pubbliche o private in grado di fornire durevolmente ed a titolo obbligatorio mezzi e personale idoneo ed in numero sufficiente per un'eventuale evacuazione dei passeg-

- geri e per l'effettuazione delle esercitazioni periodiche di evacuazione;
- h) sospendere l'esercizio qualora all'impianto non dovesse essere preposto alcun Direttore o Responsabile dell'esercizio (o Assistente Tecnico se previsto) (ad esempio a seguito di dimissioni e mancata sostituzione), dandone immediata comunicazione all'Autorità di sorveglianza;
- i) sottoscrivere una polizza assicurativa per la responsabilità civile.

Compiti del Direttore dell'esercizio

I compiti del Direttore dell'esercizio sono definiti dal decreto dirigenziale 18 febbraio 2011.

Compiti del Responsabile dell'esercizio

I compiti del Direttore dell'esercizio sono definiti dal decreto dirigenziale 18 febbraio 2011.

Compiti dell'Assistente tecnico

I compiti del Direttore dell'esercizio sono definiti dal decreto dirigenziale 18 febbraio 2011.

Compiti del Capo servizio

Il Capo servizio ha il compito di eseguire e far eseguire tutte le disposizioni contenute nel Regolamento d'esercizio e quelle impartite dal Direttore dell'esercizio per la sicurezza e la regolarità dell'esercizio. Egli interviene inoltre, di propria iniziativa, in caso di situazioni non previste, integrando le disposizioni ricevute con opportuni provvedimenti volti a garantire o a ripristinare la sicurezza e la regolarità dell'esercizio.

In particolare il Capo servizio:

- a) effettua i controlli periodici mensili di sua competenza e verifica l'effettuazione di quelli di competenza del macchinista e degli agenti specificati nei punti 2.4.6 e 2.4.7;
- b) durante il servizio deve trovarsi sempre in prossimità dell'impianto o degli impianti dei quali è responsabile ed essere reperibile in ogni momento mediante mezzi di comunicazione e poter raggiungere l'impianto entro un tempo massimo di 30 minuti;
- c) esercita il controllo sull'impianto e sul regolare flusso dei viaggiatori;
- d) vigila sull'attività e sul corretto comportamento del personale, anche nei confronti dei viaggiatori, relazionando al Direttore dell'esercizio eventuali inadempienze;
- e) effettua regolarmente i controlli sullo stato delle funi;
- f) provvede alla manutenzione degli impianti, compresi i mezzi di evacuazione in dotazione, secondo il programma e le istruzioni delle ditte costruttrici e del Direttore dell'esercizio, compilando o sottoscrivendo il Registro di controllo e manutenzione;
- g) provvede all'effettuazione dei controlli mensili in esercizio, compilando i relativi verbali e controllando la regolare tenuta del Registro giornale;
- h) provvede affinché sia assicurata la pronta disponibilità del personale e dei mezzi necessari per le operazioni di evacuazione, compresa la percorribilità dell'eventuale sentiero di soccorso o della passerella, ed effettua periodicamente le relative esercitazioni con le squadre all'uopo previste;
- i) coordina o collabora, secondo quanto stabilito al punto 3.14, alle operazioni di evacuazione;
- j) dà immediata comunicazione all'esercente ed al Direttore dell'esercizio nel caso in cui si verificano incidenti od eventi che possono dar luogo a pericolo durante l'esercizio;
- k) segnala tempestivamente al Direttore dell'esercizio e all'esercente eventuali guasti, difetti o anomalie degli impianti, allo scopo di ricevere le relative istruzioni;
- l) provvede affinché venga osservato l'orario di servizio;
- m) risponde della buona conservazione dei materiali soggetti ad usura, di scorta e di ricambio, compresa la segnaletica di impianto;
- n) comunica al Direttore dell'esercizio ed all'esercente l'elenco dei materiali soggetti ad usura e dei materiali di ricambio necessari per l'esercizio e la manutenzione;
- o) prende tutte le iniziative atte a garantire la sicurezza dell'esercizio in caso di condizioni atmosferiche avverse o eventi particolari;
- p) nel caso di eventi e condizioni atmosferiche tali da pregiudicare la sicurezza o di anomalie tecniche che compromettano la sicurezza del trasporto, sospende il servizio, dandone immediata comunicazione all'esercente e al Direttore dell'esercizio ed annota sul Registro giornale l'evento o l'anomalia e la causa eventualmente accertata. Nel caso in cui l'impianto sia provvisto di P.I.S.T.E. e/o di P.I.D.A.V., pone in atto quanto in essi previsto, a seguito dell'indicazione di chiusura ricevuta da parte del responsabile dei piani stessi;
- q) stabilisce i compiti del personale dell'impianto, nei limiti della relativa abilitazione, controllandone l'efficienza, i turni e la presenza sul lavoro, anche in relazione all'entità del traffico;
- r) accerta la disponibilità del personale necessario in conformità al Regolamento di esercizio e alle disposizioni del Direttore dell'esercizio;
- s) è responsabile dei dispositivi di parzializzazione ed esclusione (ad esempio chiavi, commutatori) e verifica che tutte le eventuali parzializzazioni ed esclusioni operate, da lui espressamente autorizzate, siano registrate sul Registro giornale;
- t) preclude il trasporto di persone o di cose che a suo giudizio possano pregiudicare la sicurezza e la regolarità dell'esercizio;
- u) propone, per l'abilitazione a cura del Direttore dell'esercizio, i macchinisti e gli agenti verificandone il possesso delle competenze necessarie all'espletamento delle mansioni loro affidate;
- v) cura la manutenzione e la dislocazione della segnaletica relativa all'esercizio in stazione ed in linea, dell'attrezzatura

- antincendio e di pronto soccorso;
- w) assiste il Direttore dell'esercizio nell'addestramento ed aggiornamento del personale e durante le ispezioni periodiche.

Compiti del macchinista

Il macchinista provvede alla manovra ed alla sorveglianza dell'impianto, attenendosi al Regolamento di esercizio ed alle istruzioni fornitegli dal Capo servizio o dal Responsabile dell'esercizio.

In particolare:

- a) verifica, eventualmente coadiuvato dagli agenti, il regolare stato di efficienza dell'intero impianto (apparecchiature di sicurezza, stazioni non motrici e linea comprese) e quindi manovra l'impianto;
- b) durante il servizio resta nei pressi del posto di manovra, sempre pronto ad intervenire e a sorvegliare il corretto funzionamento della stazione motrice;
- c) esegue, con l'aiuto degli agenti, i prescritti controlli in esercizio giornalieri di sua competenza, curandone la regolare annotazione nel Registro giornale;
- d) arresta l'impianto e dà immediatamente notizia al Capo servizio o al Responsabile dell'esercizio in caso di guasti o anomalie rilevati durante il suo funzionamento, attendendo le relative istruzioni o, in caso di urgenza, provvede di sua iniziativa; in seguito, annota sul Registro giornale quanto accaduto ed i provvedimenti adottati;
- e) collabora con il Capo servizio o con il Responsabile dell'esercizio a tutte le operazioni di carattere tecnico, secondo gli ordini da quest'ultimo impartiti, compresi il recupero o l'evacuazione dei viaggiatori;
- f) si accerta che nessun viaggiatore sia presenti sui veicoli al termine del servizio ed ogniquale volta venga sospeso il funzionamento dell'impianto;
- g) verifica, ogniquale volta debba mettere in moto l'impianto, che detta manovra possa essere attuata senza alcun danno a persone e cose, attendendo comunque il consenso degli altri agenti di stazione e/o di vettura;
- h) eventualmente coadiuvato dagli agenti, impedisce agli estranei l'accesso alla zona dei macchinari e alle zone interessate dal traffico dei viaggiatori o dal movimento dei veicoli, ed interviene nel caso in cui si avveda di un irregolare comportamento dei viaggiatori;
- i) preclude il trasporto di persone o cose che a suo giudizio possano pregiudicare la sicurezza dell'esercizio;
- j) chiude, al termine del servizio, gli ingressi all'impianto ed appone gli appositi cartelli per interdire l'accesso alla stazione di sua competenza da parte di estranei;
- k) collabora alle operazioni di evacuazione secondo quanto previsto dal piano di evacuazione;
- l) svolge le ulteriori mansioni specifiche previste dal Regolamento di esercizio.

Compiti dell'agente

L'agente provvede alla sorveglianza della parte di impianto a lui assegnata e all'assistenza ai viaggiatori.

In particolare:

- a) effettua i controlli periodici di sua competenza;
- b) rimane costantemente sul posto di lavoro assegnatogli dal Capo servizio o dal Responsabile dell'esercizio durante il servizio;
- c) collabora con il Capo servizio o con il Responsabile dell'esercizio e con il macchinista in tutte le operazioni di carattere tecnico, secondo gli ordini da essi impartiti, compresi il recupero o l'evacuazione dei viaggiatori;
- d) arresta l'impianto in caso di pericolo;
- e) cura la manutenzione delle aree di imbarco e di sbarco;
- f) sorveglia le operazioni di imbarco e di sbarco ed assiste i passeggeri, su loro richiesta oppure a propria discrezione, se ne ricorre la necessità;
- g) preclude il trasporto di persone o cose che a suo giudizio possano pregiudicare la sicurezza dell'esercizio;
- h) impedisce agli estranei l'accesso alla zona dei macchinari e alle zone interessate dal traffico dei viaggiatori o dal movimento dei veicoli ed interviene nel caso in cui si avveda di un irregolare comportamento dei viaggiatori;
- i) sorveglia il buon funzionamento della stazione a lui assegnata;
- j) chiude, al termine del servizio, gli ingressi all'impianto ed apporre gli appositi cartelli per interdire l'accesso alla stazione di sua competenza da parte di estranei;
- k) collabora alle operazioni di evacuazione secondo quanto previsto dal piano di evacuazione;
- l) svolge le ulteriori mansioni specifiche previste dal Regolamento di esercizio.

L'agente alla stazione di sbarco di sciovvia, oltre alle lettere dalla a) alla l):

m) controlla che il comportamento dei dispositivi di traino sia regolare in relazione alle loro caratteristiche di funzionamento. Nel caso in cui i dispositivi di traino siano collegati permanentemente alla fune e muniti di recuperatori, pone attenzione affinché il riavvolgimento delle funicelle avvenga rapidamente senza dare luogo ad impigliamenti. Qualora si tratta di dispositivi ad attacco temporaneo, deve invece assicurarsi che i dispositivi stessi si distacchino dalla fune con regolarità e tempestività;

n) controlla il corretto funzionamento dei dispositivi di arresto in caso di mancato sgancio degli sciatori nonché di quelli previsto per il mancato recupero della funicella dei traini.

L'agente alla stazione di imbarco di sciovvia, oltre alle lettere dalla a) alla l):

o) cura che gli sciatori in partenza si tengano pronti sul posto indicato e che l'accesso degli stessi al punto di partenza avvenga lungo l'itinerario delimitato da apposite transenne, in modo che si susseguano sulla pista nel numero corrispondente alla capacità di ciascun traino;

p) si tiene pronto ad agevolare l'operazione di attacco, eventualmente accompagnando per il tratto iniziale lo sciatore in

partenza.

L'agente di vettura, oltre alle lettere dalla a) alla l):

- q) agevola la salita e la discesa dei viaggiatori, controllando che gli stessi attendano sulla banchina di imbarco e che l'accesso alla vettura avvenga in modo regolato e ordinato, in modo che si susseguano all'ingresso nel numero corrispondente alla capacità della vettura e che abbandonino la vettura, liberando la zona di sbarco e seguendo itinerari prestabiliti;
- r) controlla che la vettura abbia un comportamento regolare nell'entrata/uscita in stazione, osservando in particolare i rallentamenti nelle zone di dazio;
- s) provvede alla sorveglianza delle apparecchiature di vettura;
- t) rende inaccessibili la stazione e la vettura al termine dell'orario di servizio, chiudendo le porte della vettura e del piano di imbarco;
- u) osserva, in caso di avverse condizioni atmosferiche, il regolare transito della vettura lungo la linea, all'incrocio delle vetture ed in corrispondenza dei sostegni, le oscillazioni delle funi e la fase di avvicinamento alla stazione, in modo da poter avvertire immediatamente il macchinista di ogni anomalia eventualmente riscontrata.

10.2.2 Decreto esercizio – Capitolo 4 – Documenti per l'esercizio

Documenti di impianto

Per ciascun impianto devono essere disponibili i seguenti documenti:

- a) l'ultimo verbale dell'ispezione annuale o il verbale delle verifiche e prove funzionali;
- b) l'autorizzazione all'esercizio;
- c) i manuali di uso e manutenzione forniti dai costruttori;
- d) il Regolamento di esercizio;
- e) le ulteriori e particolari disposizioni di esercizio (ordini di servizio del Direttore o del Responsabile dell'esercizio (o dell'Assistente Tecnico se previsto));
- f) il piano di evacuazione, allegato al Regolamento di esercizio;
- g) le disposizioni relative a controlli particolari, oltre a quelli contenuti nel manuale, eventualmente prescritti dall'Autorità di sorveglianza o dal Direttore o dal Responsabile dell'esercizio (o dall'Assistente Tecnico se previsto);
- h) le disposizioni per i viaggiatori (contenute nel Regolamento di esercizio e da esporre al pubblico);
- i) l'elenco del personale dell'impianto addetto all'esercizio;
- j) i disegni costruttivi, gli schemi elettrici e le relazioni di calcolo aggiornati;
- k) il Registro giornale;
- l) il Registro di controllo e manutenzione;
- m) l'archivio della ulteriore documentazione relativa alla manutenzione periodica e ai controlli ed ispezioni periodici;
- n) rapporti di ammissibilità sullo stato delle funi;
- o) verbali di impalmatura;
- p) verbali di esecuzione attacco di estremità;
- q) verbali di riconoscimento e posa in opera di funi non CE;
- r) comunicazioni dell'elenco personale;
- s) comunicazioni del programma di esercizio (date apertura e chiusura all'esercizio);
- t) comunicazioni di incidenti/anomalie.

I documenti di cui alle lettere a), c), d), e), f), g), h), i), k), gli schemi elettrici, gli schemi idraulici ed i principali disegni di cui alla lettera j), devono anche essere presenti sull'impianto.

Ai fini della tutela dei trasportati i documenti di cui alle lettere a), d), e), f), g), r), gli aggiornamenti dei documenti di cui alla lettera c), i verbali delle visite annuali, n), o), p), q), s) e t), la comunicazione dell'avvenuta verifica periodica di messa a terra elettrica (da effettuarsi ai sensi del D.P.R. 462/2001), devono essere depositati anche presso l'Autorità di sorveglianza.

Verbale dell'ispezione annuale

Il verbale dell'ispezione annuale deve contenere le registrazioni relative a quanto richiesto al successivo punto 6.3.

Questi documenti devono essere datati e firmati a cura del Direttore dei lavori o del Direttore o il Responsabile dell'esercizio (o l'Assistente Tecnico se previsto).

Manuale d'uso e manutenzione

Il M.U.M. è definito all'art 1.3 dell'allegato al decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti n. 203 di data 01/12/2015 e dà evidenza fra l'altro:

- a un programma generale di manutenzione e di ispezione delle varie parti, sia meccaniche che elettriche, con le istruzioni per la manutenzione periodica, preventiva e/o correttiva, specificando se le relative operazioni possono essere effettuate in opera ovvero previo smontaggio in officina;
- per quanto riguarda i sottosistemi ed i componenti di sicurezza certificati, alle istruzioni di manutenzione e controllo desumibili dai documenti di utilizzo approvati dall'organismo notificato, all'elenco degli elementi costruttivi, degli organi meccanici e dei componenti elettrici e elettronici che partecipano alle funzioni di sicurezza, con l'indicazione impegnativa per ciascuno di essi, in base all'esperienza della stessa ditta costruttrice, dei parametri e dei relativi limiti in base ai

quali deve essere effettuata la sostituzione.

Copia del suddetto manuale, comprendente tutte le prescrizioni fissate dai costruttori, deve essere depositata presso l'Autorità di sorveglianza.

Regolamento di esercizio

Il Regolamento di esercizio è proposto dal Direttore dell'esercizio, secondo uno schema predisposto dall'Autorità di sorveglianza. Esso è successivamente controfirmato dall'esercente dell'impianto e approvato, ai sensi dell'art. 102 del decreto del Presidente della Repubblica 753/80, dagli enti competenti.

Per le sciovie e le slittinovie, il Regolamento di esercizio è predisposto e sottoscritto dal Responsabile dell'esercizio, eventualmente d'intesa con l'Assistente tecnico, ovvero dal Direttore dell'esercizio.

Il Regolamento di esercizio contiene tutte le disposizioni interne che è necessario osservare onde garantire la sicurezza e regolarità dell'esercizio dell'impianto, in relazione alle caratteristiche e peculiarità dell'esercizio.

Nel Regolamento di esercizio devono essere inserite tutte le speciali condizioni, prescrizioni e cautele che, ai fini della sicurezza e della regolarità del servizio, l'Autorità di sorveglianza e l'ente concedente, nell'ambito delle rispettive attribuzioni, ritengano di stabilire in relazione alle caratteristiche ed alle peculiarità dell'impianto, nonché alle particolari cautele stabilite nelle prescrizioni di tipo C) del verbale delle verifiche e prove funzionali formulate dalla Commissione incaricata, di cui all'art. 5 del decreto del Presidente della Repubblica 753/80, nonché le prescrizioni indicate dall'analisi di sicurezza dell'impianto che riguardano l'esercizio.

Il Regolamento di esercizio deve inoltre contenere le disposizioni riguardanti:

- a) le mansioni e gli obblighi dell'esercente, del Direttore dell'esercizio (per le sciovie del Responsabile dell'esercizio e dell'Assistente tecnico, ove previsto);
- b) la consistenza, le qualifiche, le mansioni, gli obblighi ed il comportamento del personale dell'impianto;
- c) le modalità di effettuazione del servizio pubblico, distinte tra disposizioni per il servizio in condizioni normali, limitate e in circostanze eccezionali;
- d) i viaggiatori e i relativi titoli di viaggio, i rapporti col personale, il comportamento da tenersi nell'evenienza di operazioni di evacuazione, le sanzioni in caso di trasgressioni e le indicazioni per gli eventuali reclami, con riferimento a quanto stabilito dai titoli II e VII del decreto del Presidente della Repubblica 753/80;
- e) il dettaglio delle operazioni da effettuare per l'apertura giornaliera dell'impianto nelle diverse modalità di esercizio;
- f) i controlli e le ispezioni periodici, distinti in giornalieri, mensili, annuali o di riapertura stagionale, nonché le ispezioni straordinarie e i controlli periodici sulle funi;
- g) il piano di evacuazione.

Piano di evacuazione

Il piano di evacuazione comprende essenzialmente i seguenti punti:

- a) definizione degli obiettivi delle operazioni di evacuazione, precisando le caratteristiche della linea, il numero dei veicoli e dei passeggeri in linea nelle diverse configurazioni e portate previste, le distanze massime dal terreno, i punti di ricovero dei passeggeri;
- b) modalità di evacuazione da adottare nei diversi tratti dell'impianto, indicati in un profilo longitudinale, copia del quale deve essere tenuta nel locale di manovra, con il dettaglio dei mezzi per il raggiungimento dei veicoli in linea da parte dei soccorritori, nonché di quelli per la discesa dei viaggiatori dai veicoli direttamente a terra; nella scelta dei metodi e dei mezzi si deve tenere conto dell'eventuale presenza di bambini di tutte le età;
- c) istruzioni, anche tramite rappresentazioni grafiche, per l'utilizzo dei mezzi;
- d) indicazione del luogo di coordinamento e dei mezzi di comunicazione necessari;
- e) numero e composizione delle squadre di evacuazione, specificazione dei tratti di linea assegnati a ciascuna squadra in conformità al profilo longitudinale di cui alla lettera b), elenco dei mezzi di soccorso in dotazione a ciascuna di esse e luogo di deposito;
- f) specificazione dei compiti di ciascuna squadra (trasporto delle attrezzature a piè d'opera, modalità di raggiungimento dei veicoli da parte dei soccorritori, evacuazione dei viaggiatori al suolo e loro accompagnamento in un luogo sicuro);
- g) numeri telefonici di riferimento per l'attivazione del piano;
- h) contenuto delle comunicazioni standard ai viaggiatori tramite altoparlanti o telefono;
- i) schema riassuntivo contenente:
 - provenienza e composizione di ciascuna squadra di evacuazione;
 - tratto di linea assegnato e distanza dal suolo;
 - numero di veicoli e numero massimo dei viaggiatori nel tratto di linea di propria competenza;
 - adozione di eventuali lampade portatili ed apparecchi ricetrasmittenti;
- j) modalità e periodicità delle esercitazioni, anche su impianti simili, che il personale preposto all'evacuazione deve effettuare per acquisire la necessaria esperienza.

A seconda del metodo di evacuazione, il piano contiene le indicazioni specifiche che vengono dettagliate nei successivi punti.

Evacuazione a terra (mediante calata verticale, con scale, lungo camminamenti)

Qualora i veicoli siano presidiati, l'agente di vettura è normalmente incaricato dell'evacuazione dei passeggeri.

Il personale addetto all'evacuazione all'interno dei veicoli deve poter comunicare con la squadra a terra.

Per le campate in cui l'altezza dei veicoli dal suolo è inferiore o uguale a 6 m, il piano può prevedere, per l'evacuazione

dei viaggiatori, l'utilizzo di scale metalliche leggere. Oltre alle scale deve comunque essere sempre disponibile un altro sistema di evacuazione dei viaggiatori inerti.

Evacuazione lungo le funi (mediante veicoli di soccorso)

Il veicolo di soccorso deve essere presidiato. Deve essere mantenuta una comunicazione diretta tra il veicolo di soccorso ed il posto di manovra.

Qualora il veicolo di soccorso non sia dotato di dispositivo di arresto della propria marcia direttamente a bordo, la comunicazione con il posto di comando deve essere continuativa, e ad una sua eventuale interruzione deve seguire l'immediato arresto del veicolo. La ripresa della marcia avviene quindi successivamente al ripristino della comunicazione con il posto di comando. Per facilitare le operazioni di accostamento nell'oscurità, deve essere prevista un'ideale illuminazione della vettura da raggiungere.

Altri metodi di evacuazione

Per realizzare l'evacuazione dei passeggeri possono essere utilizzati mezzi o dispositivi esterni all'impianto alle seguenti condizioni:

- siano idonei per il trasferimento di persone e soddisfino le norme e le regolamentazioni che li riguardano (per esempio gli elevatori a piattaforma idraulica);
- la loro integrazione nel piano di evacuazione tenga conto della loro disponibilità.

Quando l'utilizzo di un mezzo o dispositivo esterno, ad esempio l'elicottero, è legato a condizioni meteorologiche favorevoli o ad altri fattori aleatori, il piano di evacuazione non deve basarsi principalmente su tale mezzo o dispositivo. L'impiego di elicotteri, inoltre, deve essere regolato mediante specifici accordi tra le parti.

Registro giornale

Il Registro giornale è definito all'art 1.3 dell'allegato al decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti n. 203 di data 01/12/2015.

In particolare, giornalmente, devono essere annotati:

- i nominativi del personale, le relative funzioni ed il rispettivo orario di servizio;
- le condizioni atmosferiche (temperatura esterna e intensità del vento sulla base della strumentazione disponibile) al momento dell'apertura al pubblico e le variazioni che influenzino l'esercizio;
- la velocità di esercizio;
- l'orario di apertura e chiusura al pubblico;
- l'indicazione del contaore o del contacorse;
- il numero dei trasportati, qualora sia richiesto dall'Ente concedente.

In ogni caso nel Registro giornale sono registrate le anomalie, i problemi e gli incidenti, precisandone le cause e gli effetti relativi, e gli interventi adottati di qualsiasi natura.

Il Registro giornale deve essere compilato e firmato negli appositi spazi dal personale incaricato per l'esecuzione dei vari controlli, controfirmato giornalmente dal Capo servizio o dal Responsabile dell'esercizio e, periodicamente, dal Direttore dell'esercizio nel corso dei suoi sopralluoghi sull'impianto; questi ultimi devono avere cadenza almeno mensile.

Il Registro giornale deve essere predisposto dal Direttore o dal Responsabile dell'esercizio (o l'Assistente Tecnico se previsto) tenendo conto delle particolarità dell'impianto e dei controlli ed ispezioni periodici previsti dalle norme in vigore e dal M.U.M. dell'impianto. Il Registro giornale deve essere tenuto a disposizione dell'Autorità di sorveglianza e di altri organi aventi titolo per almeno 5 anni, ed esibito ad ogni loro richiesta.

Comunicazione di anomalie di esercizio e incidenti

La comunicazione delle anomalie e degli incidenti è disciplinata dall'art. 93 del D.P.R. 753/80.

Registro di controllo e manutenzione

Deve essere tenuto un registro annuale di controllo e manutenzione di tutti i componenti dell'impianto.

Il registro è predisposto dal Direttore o dal Responsabile dell'esercizio (o dall'Assistente Tecnico se previsto) sulla base del M.U.M. dell'impianto, ed è controfirmato dal Capo servizio.

Il registro riporta la denominazione dell'impianto, il nominativo del Direttore o del Responsabile dell'esercizio (o dell'Assistente Tecnico se previsto) e del Capo servizio, la data di apertura al pubblico esercizio, la data di riferimento per le scadenze di revisione e le ore effettuate dall'impianto all'inizio del periodo di manutenzione cui il registro stesso si riferisce. Per ogni componente, ed eventualmente per le singole parti del componente stesso, il registro deve contenere il tipo, la frequenza e la metodologia di controllo e manutenzione, il rimando alla sezione del M.U.M. ove sono compiutamente descritte le operazioni che devono essere svolte, lo spazio per la registrazione della data dell'intervento e dell'identificativo del manutentore, un campo libero per la registrazione di note o anomalie riscontrate durante le operazioni e le relative azioni intraprese. Ulteriormente, per ogni componente, deve essere registrata l'eventuale manutenzione straordinaria effettuata.

Il registro è conservato a cura del Capo servizio o del Responsabile dell'esercizio e una copia deve essere disponibile presso l'esercente. Il registro può essere anche su supporto informatico.

Copia del registro deve essere allegata alla relazione finale delle revisioni generali e quinquennali di cui al decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti n. 203 di data 01/12/2015.

11. Evacuazione dei viaggiatori

In caso di blocco totale dell'impianto e di impossibilità di scarico della linea per mezzo dell'azionamento di recupero, il soccorso in linea risulta essere l'ultima opzione attuabile per l'evacuazione dei viaggiatori rimasti in linea. Il soccorso in linea è un insieme di operazioni pianificate e codificate che vengono messe in atto allo scopo di riportare i viaggiatori in un luogo sicuro.

Secondo il Decreto esercizio, nei quindici minuti successivi all'arresto dell'impianto, il capo servizio che non possa più effettuare il recupero dei veicoli in altra maniera, deve prendere la decisione di procedere con l'evacuazione dei passeggeri.

Le operazioni di evacuazione devono svolgersi secondo quanto riportato nel dettaglio nel piano di evacuazione dell'impianto, che è un documento allegato al regolamento di esercizio e che viene custodito presso l'impianto stesso. In esso è individuato il Responsabile dell'Attuazione del Piano di Evacuazione (R.A.P.E.), che ha il compito di gestire e coordinare le operazioni. Quest'ultimo è normalmente il capo servizio, ma è possibile che vengano individuate altre figure responsabili esperte, come ad esempio il direttore delle piste.

Durante il servizio è sempre necessario che ci sia la disponibilità di tutto il personale previsto dal piano stesso; qualora ciò non sia possibile, ad esempio per le ridotte dimensioni del comprensorio, possono essere stipulate delle convenzioni con organizzazioni specializzate che si impegnano a fornire il personale necessario per le operazioni di evacuazione della linea (ad esempio il soccorso alpino).

I mezzi e le attrezzature necessari all'evacuazione di ogni impianto sono custoditi dal capo servizio presso l'impianto stesso o in un altro luogo di raccolta, ad una distanza tale da non rallentare le operazioni di evacuazione; in presenza di più impianti che formano un unico comprensorio sciistico è inoltre possibile avere attrezzature e mezzi condivisi commisurati all'impianto più gravoso, che vengono conservati in un luogo strategico. Tali dispositivi devono anche essere mantenuti periodicamente: si ricorda in proposito che il materiale e le attrezzature, anche se inutilizzate, sono normalmente soggette a scadenza secondo le tempistiche delle norme di settore e le indicazioni del produttore.

Durante l'evacuazione i passeggeri vanno rassicurati, aggiornati sullo svolgimento delle operazioni ed istruiti sulla condotta da tenere mediante gli altoparlanti sui sostegni, i sistemi sonori sui veicoli, o dal vetturino nel caso di veicoli di funivia. Le operazioni di evacuazione possono anche essere interrotte, su decisione del capo servizio, nel caso in cui, dopo essere intervenuti sull'impianto, subentri nuovamente la possibilità di recuperare i veicoli con uno degli azionamenti disponibili e rispettando i tempi massimi stabiliti dalla norma. In occasione dell'ispezione annuale dell'impianto si deve effettuare una prova di evacuazione utilizzando l'attrezzatura, i mezzi ed il personale previsti dal piano di evacuazione. Questa prova può anche essere effettuata su un altro impianto della stessa tipologia e che utilizzi mezzi di evacuazione simili. In ogni caso, per ogni singolo impianto, devono essere verificati l'integrità, la completezza e la disponibilità dell'attrezzatura e dei mezzi di soccorso, nonché la percorribilità delle vie di raggiungimento dei luoghi sicuri.

11.1 Piano di evacuazione

Il piano di evacuazione è un documento che viene allegato al regolamento di esercizio. Esso contiene le seguenti informazioni:

- le caratteristiche della linea, il numero dei veicoli e il numero massimo dei passeggeri presenti in linea nelle diverse configurazioni e portate previste, le distanze massime dal terreno, i punti di ricovero dei passeggeri;
- le modalità di evacuazione da adottare nei diversi tratti dell'impianto, indicati in un profilo longitudinale, con il dettaglio dei mezzi per il raggiungimento dei veicoli in linea da parte dei soccorritori, nonché di quelli per la discesa dei viaggiatori dai veicoli direttamente a terra. Nella scelta dei metodi e dei mezzi è tenuta in conto anche la presenza di bambini e disabili;
- le istruzioni, anche tramite rappresentazioni grafiche, per l'utilizzo dei mezzi;
- l'indicazione del luogo di coordinamento e dei mezzi di comunicazione necessari
- il numero e la composizione delle squadre di evacuazione, con indicazione dei tratti di linea assegnati a ciascuna squadra in conformità al profilo longitudinale di cui sopra, l'elenco dei mezzi di soccorso in dotazione a ciascuna squadra e il luogo di deposito;
- la specificazione dei compiti assegnati a ciascuna squadra (trasporto delle attrezzature a piè d'opera, modalità per il raggiungimento dei veicoli da parte dei soccorritori, evacuazione dei viaggiatori al suolo e loro accompagnamento in un luogo sicuro);
- i numeri telefonici di riferimento per l'attivazione del piano;
- uno schema riassuntivo contenente provenienza e composizione di ciascuna squadra di evacuazione, tratto di linea assegnato e distanza dal suolo, numero di veicoli e numero massimo dei viaggiatori nel tratto di linea di propria competenza, adozione di eventuali lampade portatili ed apparecchi;
- i contenuti delle comunicazioni standard da inviare ai viaggiatori tramite altoparlanti o telefono;
- le modalità e la periodicità delle esercitazioni, anche su impianti simili, che il personale preposto all'evacuazione deve effettuare per acquisire la necessaria esperienza.

11.2 Metodi e procedure per l'evacuazione

I metodi utilizzabili per l'evacuazione degli utenti dipendono essenzialmente dalla tipologia di impianto e dalle caratteristiche della linea. Il prospetto seguente riepiloga le modalità principali tradizionalmente previste.

Tipo di impianto	METODO DI EVAZUAZIONE				
	con scale	calata al suolo	carrello di soccorso	camminamento lungo linea	vie di fuga laterali
Sciovia					x
Seggiovia	x	x			
Telecabina		x			
Funivia		x	x		
Funicolare/ Ascensore inclinato				x	

La **calata al suolo** è il metodo di evacuazione tradizionalmente utilizzato per seggiovie e telecabine.

Ai fini di poter garantire l'evacuazione dell'intera linea nei tempi previsti dalla normativa, di norma, non si deve prevedere la contemporanea presenza sulla linea di:

- più di 200 persone per veicoli monoposto;
- più di 250 persone per veicoli biposto;
- più di 300 persone per veicoli triposto;
- più di 350 persone per veicoli quadriposto;
- più di 400 persone per veicoli di capacità superiore alle quattro persone;
- più di 500 persone per veicoli chiusi.

Per quantificare il numero di passeggeri, si utilizzano convenzionalmente le seguenti condizioni di carico:

- se il trasporto avviene solo in un senso, si considerano completamente occupati tutti i veicoli di quel ramo;
- se il trasporto avviene nei due sensi, si considerano completamente occupati tutti i veicoli di un ramo, e parzialmente occupati quelli dell'altro ramo (in genere per un terzo).

La **calata al suolo da funivia** prevede la calata a terra dei viaggiatori che si trovano a bordo dei veicoli di funivia immobilizzati in linea, quando l'altezza massima dal suolo lo consente (ovvero al di sotto dei 60 m) e quando il terreno sottostante non sia a rischio frane o valanghe.

Questo tipo di calata prevede la partecipazione attiva dell'agente di vettura e l'utilizzo dell'attrezzatura completa presente in vettura.

L'agente di vettura, fissato un arganello di calata, aiuta il passeggero ad indossare l'imbragatura in vettura agganciandola al capo di fune tesa uscente dall'arganello. Successivamente accompagna il passeggero fuori dalla vettura e lo cala regolando la velocità di discesa con l'apposito freno. Un operatore a terra aiuta il passeggero a togliersi l'imbragatura, che viene poi recuperata facilmente grazie all'arganello stesso; l'operazione è quindi ripetuta fino all'evacuazione completa dei passeggeri.

Il sistema di evacuazione dei viaggiatori lungo la fune portante (con quello che, comunemente, viene chiamato **veicolo di soccorso** o **carrello di soccorso**) è utilizzato generalmente per le funivie a "va e vieni", e può anche essere associato al sistema di evacuazione mediante calata al suolo quando questa sia limitata ad alcune porzioni della linea.

Generalmente i veicoli di soccorso sono due, uno presso la stazione di valle ed uno presso quella di monte, e l'utilizzo dell'uno o dell'altro dipende essenzialmente dalla posizione delle cabine al momento del fermo impianto (anche in funzione della presenza di sostegni di linea) e dalle loro condizioni di carico. In ogni caso, il piano di evacuazione specifica, per le diverse configurazioni possibili, quale veicolo utilizzare per effettuare l'evacuazione.

Il veicolo di soccorso risiede normalmente in stazione (di solito appeso su un lato di una delle due vie di corsa oppure in una delle due fosse delle cabine), e per la sua movimentazione viene solitamente previsto un arganello motorizzato, che consente di portare il veicolo prima sul piano di imbarco per le necessarie predisposizioni, quindi di sollevarlo ed appoggiarlo sulle funi portanti. Il veicolo viene quindi ammorsato alla fune di soccorso, ed è 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.

I veicoli di soccorso, la cui portata può variare da 4-5 persone fino a 10-12 persone, in funzione della capienza delle cabine, si muovono lungo la fune portante dell'impianto, e sono mossi da un anello di fune a loro dedicato, azionato a sua volta da un argano specifico.

Durante le operazioni di evacuazione, il veicolo di soccorso deve essere presidiato e deve essere mantenuta una comunicazione diretta tra il veicolo di soccorso ed il posto di manovra. Se il veicolo di soccorso non è dotato di dispositivo di arresto della propria marcia direttamente a bordo, la comunicazione con il posto di comando deve essere continuativa, e ad una sua eventuale interruzione deve seguire l'immediato arresto del veicolo. La ripresa della marcia avviene quindi successivamente al ripristino della comunicazione con il posto di comando. Per facilitare le operazioni di accostamento nell'oscurità, deve essere prevista un'ideale illuminazione della vettura da raggiungere.

L'**evacuazione con l'utilizzo di scale** può essere attuata quando l'altezza massima delle seggiole rispetto al suolo non supera i 6 m. In tal caso si utilizza un adeguato numero di scale, generalmente metalliche, dislocate lungo la linea nei pressi dei sostegni indicati nel piano di evacuazione.

Le scale sono generalmente allungabili a filo con sollevamento a fune, in modo da far risalire o scendere il secondo ele-

mento rapidamente ed ottenere la giusta lunghezza per raggiungere i veicoli in condizioni di distanze dal suolo diverse. Il fissaggio della scala al veicolo avviene normalmente all'archetto della seggiola mediante appositi ganci fissati alla scala.

Nel caso di ascensori inclinati e di funicolari terrestri, l'evacuazione avviene utilizzando degli appositi **camminamenti laterali lungo la linea**. In tal caso, generalmente, i soccorritori provvedono ad agganciare la scaletta di soccorso alla vettura, sbloccano le porte della vettura stessa, quindi aiutano i passeggeri a raggiungere il camminamento e li accompagnano verso la stazione di monte o di valle, in funzione di quanto previsto nel piano di evacuazione.

Se è previsto il servizio notturno, i camminamenti possono anche essere dotati di illuminazione.

11.3 Tempi di recupero e di evacuazione

I tempi di recupero e di evacuazione dei passeggeri sono regolamentati dal D.D. n. 172/2021, il cosiddetto "Decreto infrastruttura", che stabilisce che nella redazione del regolamento di esercizio e del piano di evacuazione occorre considerare le seguenti tempistiche.

- Recupero, utilizzando uno degli azionamenti disponibili: la durata di tale operazione è inferiore ad 1 ora per gli impianti con veicoli aperti e inferiore a 1,5 ore per gli impianti con veicoli chiusi.
- Evacuazione dei viaggiatori per calata a terra o mediante veicoli di soccorso: la durata di tale operazione è di norma inferiore a 3 ore per gli impianti con veicoli chiusi e inferiore a 2,5 ore per gli impianti con veicoli aperti. Per le seggiovie non dotate di poggiatesta, la durata è di 1 ora.

Il calcolo del tempo di evacuazione considera le condizioni ambientali e meteorologiche che consentono il normale servizio. Il calcolo del tempo va dall'inizio delle operazioni all'arrivo dell'ultimo viaggiatore evacuato in un luogo sicuro. In tale luogo, l' esercente offre, se necessario, un'assistenza ai viaggiatori fino a quando questi non abbiano riacquisito la loro autonomia iniziale. Il piano di evacuazione contiene, se necessario, delle precisazioni al riguardo. Dal momento dell'immobilizzazione dell'impianto fino all'inizio delle operazioni, ovvero il tempo a disposizione del capo servizio per operare la propria decisione, non possono trascorrere più di 30 minuti.



Prove di soccorso in linea tramite calata

Prove di soccorso in linea tramite calata



Prove di soccorso in linea tramite calata

Ringraziamenti

La realizzazione di questo volume è stata resa possibile dal lavoro di formazione rivolto a tecnici e macchinisti degli impianti funiviari promosso e coordinato dall'Ing. Gianni Baldessari di Trentino Sviluppo.

A lui va il ringraziamento per aver stimolato e raccolto nel corso degli anni, insieme ai colleghi dell'Area asset turistici di Trentino Sviluppo e ai migliori professionisti del settore, i materiali che oggi in maniera organica compongono questo manuale tecnico, supervisionato nella versione finale dei contenuti con la collaborazione dei tecnici del Servizio Impianti a fune e piste da sci della Provincia autonoma di Trento.

Bibliografia e sitografia

Fonti normative generali

- Legge provinciale 21 aprile 1987 n. 7 – Agg. 28/08/2020
Disciplina delle linee funiviarie in servizio pubblico e delle piste da sci
- D.P.G.P. 22 settembre 1987 n. 11-51/L – Agg. 16/12/2016
Regolamento per l'esecuzione della legge provinciale 21 aprile 1987 n. 7
- D.P.R. 11 luglio 1980 n. 753
Nuove norme in materia di polizia, sicurezza e regolarità dell'esercizio delle ferrovie e di altri servizi di trasporto
- D.M. 4 agosto 1998 n. 400 ("Regolamento generale")
Regolamento per le funicolari aeree e terrestri in servizio pubblico destinate al trasporto di persone
- Direttiva europea 2000/9/CE del 20 marzo 2000
- D.Lgs. 12 giugno 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.Lgs. 12 giugno 2003 n. 210 – art. 3 ("D.T.P.")
Disposizioni tecniche provvisorie per gli impianti a fune
- D.D. 18 giugno 2021 n. 172 ("Decreto infrastruttura")
Disposizioni e specificazioni tecniche per le infrastrutture degli impianti a fune adibiti al trasporto di persone
- D.M. 15 aprile 2002 ("P.T.S. i.e.")
Prescrizioni tecniche speciali per gli impianti elettrici delle funicolari aeree e terrestri
- D.M. 1° dicembre 2015 n. 203 ("Decreto revisioni")
Norme tecniche regolamentari in materia di revisioni periodiche, di adeguamenti tecnici e varianti costruttive per i servizi di pubblico trasporto effettuati con funivie, funicolari, sciovie e slittinovie destinate al trasporto di persone
- Verbale di determinazione della Giunta provinciale 1470/2016
Approvazione delle modalità per l'attuazione del decreto del Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti del 1 dicembre 2015, concernente "Norme tecniche regolamentari in materia di revisioni periodiche, di adeguamenti tecnici e di varianti costruttive per i servizi di pubblico trasporto effettuati con funivie, funicolari, sciovie e slittinovie destinate al trasporto di persone" e dei criteri per la concessione delle proroghe alle relative scadenze di revisione generale e vita tecnica
- D.M. 18 maggio 2016 n. 144 ("Decreto funi")
Prescrizioni tecniche riguardanti l'esercizio e la manutenzione delle funi e dei loro attacchi degli impianti a fune adibiti al trasporto pubblico di persone
- D.D. 11 maggio 2017 n. 86 ("Decreto esercizio")
Disposizioni tecniche riguardanti l'esercizio e la manutenzione degli impianti a fune adibiti al trasporto pubblico di persone
- UNI EN 81-22:2021
Regole di sicurezza per la costruzione e l'installazione degli ascensori – Ascensori per il trasporto di persone e cose – Parte 22: Ascensori elettrici inclinati
- UNI EN 12927:2019
Requisiti di sicurezza per gli impianti a fune progettati per il trasporto di persone – Funi

Fonti normative per tipologia di impianto

- D.M. 15 febbraio 1969 n. 815 ("P.T.S. funivie")
Prescrizioni tecniche speciali per le funivie bifuni con movimento a va e vieni
- D.M. 8 marzo 1999 ("P.T.S. ammorsamenti")
Prescrizioni tecniche speciali per le funivie monofuni con movimento unidirezionale continuo e collegamento temporaneo dei veicoli
- D.M. 8 marzo 1999 ("P.T.S. fissi")
Prescrizioni tecniche speciali per le funivie monofuni con movimento unidirezionale continuo e collegamento permanente dei veicoli
- D.M. 15 marzo 1982 ("P.T.S. sciovie")
Norme tecniche per la costruzione e l'esercizio delle sciovie in servizio pubblico

Bibliografia e sitografia

- Archivio foto storiche di Trentino Sviluppo
- Archivio foto storiche del Servizio Impianti a Fune della Provincia Autonoma di Trento
- Degasperi F., Sicurezza delle funi in acciaio per funivie, Trento, Provincia Autonoma di Trento – Servizio Impianti a Fune (2012)
- Dispense per capi servizio della Regione Autonoma Valle d'Aosta
www.regione.vda.it/trasporti/funivie/Dispense_per_capi_servizio

