C. Visentin [[1]](#footnote-1)(1), G. Cappello [[2]](#footnote-2)(2), A. Fornasa [[3]](#footnote-3)(3)

# CRITERI INFORMATORI DELLA NORMATIVA ITALIANA SUGLI IMPIANTI ELETTRICI FUNIVIARI

## 1 Inquadramento storico

### 1.1 Le origini e le basi legislative

Le basi legislative inerenti gli impianti a fune destinati al trasporto di persone sono state poste dal Decreto del Presidente della Repubblica del 18 Ottobre 1957, n° 1367, denominato ”Regolamento Generale per le Funicolari Aeree in Servizio Pubblico Destinate al Trasporto di Persone”. Tale Regolamento costituisce la norma tecnica fondamentale per la progettazione, la costruzione e l’esercizio degli impianti funiviari, sia aerei che terrestri, con la sola esclusione delle sciovie, e prende in esame - in termini di regole generali - tanto gli aspetti meccanici e strutturali quanto quelli elettrici, definendone, in sostanza, i requisiti generali di sicurezza.

Al citato Regolamento hanno fatto seguito specifici testi normativi, nella forma di Prescrizioni Tecniche Speciali (”P.T.S.”), aventi per oggetto i criteri applicativi delle regole generali alle varie tipologie di impianti funiviari: funivie bifuni, funivie monofuni a collegamento temporaneo e a collegamento permanente e funicolari terrestri [[4]](#endnote-1)[\*] .

Parallelamente, per le sciovie è stata emanata una speciale norma tecnica (Decreto Ministeriale del 15 Marzo 1982 - ”Norme Tecniche per la Costruzione e l’Esercizio delle Sciovie in Servizio Pubblico”) che costituisce il testo unico per la progettazione, la costruzione e l’esercizio delle sciovie e degli impianti assimilabili. Per tali impianti funiviari non è mai stato ritenuto necessario procedere ad ulteriori aggiornamenti, anche in considerazione del fatto che le sciovie hanno subìto un’evoluzione tecnica assai limitata nei quindici anni successivi; alla stessa conclusione è giunto il gruppo di lavoro incaricato della stesura delle Prescrizioni Tecniche Speciali per gli impianti elettrici di funivia, in corso di completamento, escludendo pertanto le sciovie dal campo di applicazione di questo nuovo testo applicativo.

I quesiti ed i dubbi interpretativi che, nel corso degli anni, si sono via via presentati, anche in conseguenza dello sviluppo tecnologico, e dei quali si parlerà in seguito, sono stati affrontati e chiariti dalla competente Divisione del Ministero dei Trasporti tramite i suoi Tecnici, eventualmente sentito il parere, per le questioni innovative o complesse, della Commissione per le Funicolari Aeree e Terrestri (”C.F.A.T.”). L’esito delle disamine si è tradotto in un insieme di disposizioni in forma di Circolari Ministeriali, emesse nel corso degli anni, il cui insieme - unito ai citati Decreti - costituisce tutta la documentazione legislativa e normativa oggi vigente specificamente dedicata agli impianti funiviari in servizio pubblico per trasporto di persone, i quali sono costituiti nella gran parte da impianti di risalita a supporto del turismo invernale ed estivo.

Dal punto di vista generale per gli impianti elettrici di qualsiasi tipo e per ogni utilizzazione, il caposaldo dell’evoluzione legislativa può individuarsi nella Legge n° 186 del I° Marzo 1968, in cui sono sanciti i princìpi della necessità di costruire gli impianti elettrici a ”regola d’arte” e del criterio di presumere a regola d’arte quelli costruiti secondo le norme del CEI. Va osservato che lo spirito di questa Legge anticipa quello delle recenti Direttive comunitarie del ”nuovo approccio” e dei provvedimenti legislativi che le recepiscono; in particolare, la Direttiva sulla Bassa Tensione e quella sulla Compatibilità Elettromagnetica, con le relative Leggi nazionali di recepimento, interessano direttamente tutti i materiali e gli apparecchi elettrici presenti nell’impianto elettrico di funivia. Altre Direttive e Leggi di recepimento, come quelle sulle Macchine e sugli Ascensori, risultano essere eventualmente applicabili solo per analogia oppure in caso di applicazioni specifiche (ad esempio, gli ascensori inclinati).

Negli ultimi anni sono state emanate od aggiornate molte norme tecniche di carattere generale, richiamate dalle citate Direttive, e quindi applicabili; esse hanno provveduto a coprire normativamente molteplici aspetti degli impianti elettrici di funivia, contribuendo in numerosi casi a diminuire la necessità di ricorrere a prescrizioni tecniche specificamente dedicate agli impianti a fune.

### 1.2 L’evoluzione storica

Una delle principali ragioni per cui si è sempre sentita, nel corso degli anni, l’esigenza di un corpo normativo che regolasse la costruzione degli impianti a fune, e quindi anche della relativa parte elettrica, va ricercata nel fatto che si tratta di un servizio pubblico di trasporto di persone il quale, per le specifiche esigenze funzionali e la particolare dislocazione nel territorio, presenta rischi elevati e possiede dunque elevate esigenze di sicurezza.

Tra gli anni ‘60 e ‘70, aumentarono fortemente e di pari passo la diffusione degli sport invernali, il numero degli impianti e le loro prestazioni in termini di portata e comfort, soprattutto grazie all’introduzione degli azionamenti a velocità variabile e di nuove tipologie di impianti. Di conseguenza, aumentarono sia le esigenze funzionali e di sicurezza, sia la complessità degli equipaggiamenti elettrici di trazione e controllo, con un rapido incremento del numero di circuiti elettronici.

Ciò mise in luce la necessità di adeguare la normativa tecnica esistente per la parte elettrica degli impianti, pur contenuta nel Regolamento Generale del 1957 e nelle norme applicative sopra ricordate, che col tempo si era dimostrata carente e comunque inadeguata.

Un passo estremamente significativo nel tentativo di soddisfare l’esigenza di un quadro normativo globale per gli impianti elettrici di funivia fu compiuto in àmbito nazionale nei primi anni ‘70, in cui la competente Divisione del Ministero dei Trasporti, allora diretta dal compianto ing. Andrea Marasca, promosse la costituzione di un gruppo di lavoro dal quale scaturì il ”Progetto di Norme unifer-cei per gli impianti elettrici delle funivie monofune”, alla cui stesura parteciparono attivamente i maggiori esperti di tutte le categorie di operatori funiviari (Autorità di sorveglianza, progettisti e costruttori sia elettrici che meccanici, esercenti).

L’obiettivo era di giungere ad una norma ufficiale, coordinata tra il Comitato Elettrotecnico Italiano e l’Ente di unificazione del materiale ferroviario (UNIFER), che stabilisse i princìpi di sicurezza per gli impianti elettrici, anzitutto delle funivie monofuni e quindi degli altri impianti funiviari.

Il lavoro si prolungò per molti anni, con l’emissione di versioni del progetto via via aggiornate, fino all’ultima del 1986; tale opera non si è poi effettivamente trasformata in norma degli enti di unificazione italiani UNIFER e CEI, ma è comunque stata assunta dal Ministero dei Trasporti quale Disposizione Tecnica di riferimento per la costruzione degli impianti elettrici funiviari e viene comunemente chiamata ”Progetto unifer-cei” dagli operatori del settore. La sua utilità fu altissima, in quanto per la prima volta non solo furono trattati organicamente alcuni concetti ed argomenti prima lasciati all’interpretazione delle diverse Circolari, ma anche furono introdotti alcuni princìpi basilari relativi alla sicurezza ed alle misure tecniche richieste per realizzarli. Esso permane ancora il riferimento fondamentale, accettato ed applicato da tutti gli operatori funiviari italiani.

Va osservato, fra l’altro, che in quegli anni ancora non esistevano, o non erano note, valide normative generali, né italiane né estere, riguardanti gli aspetti affidabilistici legati alla sicurezza e le tecniche da impiegarsi per realizzarla mediante dispositivi elettrici; le poche eccezioni riguardavano categorie di impianti estremamente specialistiche, con conseguente notevole difficoltà nel mutuarne i concetti (applicazioni militari, nucleari e simili). A titolo di esempio, risale al progetto in questione una prima seppur implicita classificazione del livello di rischio connesso a certi eventi, concretizzata nella distinzione tra dispositivi di sicurezza e di protezione nonché nell’indicazione prescrittiva sui diversi casi in cui fosse da utilizzare l’uno o l’altro tipo di soluzione tecnica. L’effetto di un guasto ad un dispositivo di sicurezza era analizzato, introducendo i concetti di ridondanza e di *test* di disponibilità, in maniera forse meno analitica e dettagliata di quanto si faccia oggi sia nell’indagine teorica che nella pratica attuazione, ma comunque fornendo un vistoso valore aggiunto.

Di regola, la normativa segue con un ritardo, nel migliore dei casi fisiologico, la tecnica costruttiva degli impianti, fotografando in pratica lo *status quo*; di conseguenza, entra in vigore già ”vecchia”. E’ interessante osservare che, invece, la redazione del progetto unifer-cei ha avuto un approccio radicalmente diverso; l’insieme dei tecnici che, di concerto, produsse il lavoro portò il proprio attuale contributo di inventiva tecnologica e di conoscenze, anche legate a normative che erano in fieri oltralpe, ed introdusse nelle bozze medesime princìpi tecnici della cui adozione pratica parallelamente si cominciava a ravvisare l’opportunità presso gli operatori stessi del settore. In altri termini, si è trattato di un felice caso in cui la normativa ha potuto evolvere sincronicamente con la realizzazione tecnologica, anziché delineare un ritratto di quanto già ormai consolidato.

Un altro aspetto interessante, per comprendere la storia del progetto unifer-cei, è che il numero di professionisti coinvolti nell’applicazione delle prescrizioni era (ed è tuttora) relativamente modesto numericamente, ma comprendeva tutti gli interessati al settore funiviario; ambiente - questo - caratterizzato da una sostanziale fiducia reciproca, derivante dall’evidenza che tutte le parti collaboranti alla stesura - non solo tra i rappresentanti dell’Autorità di Sorveglianza, ma anche tra i Costruttori e gli Esercenti - erano evidentemente convinte dell’opportunità e della convenienza di applicare i princìpi stabiliti.

### 1.3 I recenti sviluppi

La situazione descritta non è dissimile da quella odierna: da qualche anno un gruppo di lavoro, in parte composto dagli stessi studiosi, si è costituito per consolidare un corpo di Prescrizioni Tecniche Speciali che, partendo dal progetto unifer-cei, risulti trattare in forma organica ed aggiornata l’intera materia. Nel caso odierno, tuttavia, l’esigenza di giungere ad un documento ufficiale, in attesa dell’introduzione della eventuale norma europea, è maggiormente sentita perché esso, contenendo tutte le prescrizioni e le interpretazioni date nei numerosi documenti ministeriali, ne renderebbe formalmente superata la maggior parte. Ciò consentirebbe quindi di ottenere non solo un’organicità tecnica ma anche una notevole semplificazione burocratica legata alla consultazione delle diverse fonti; si tenga presente che il progetto unifer-cei era dedicato solo agli impianti monofune e che quindi il suo adattamento agli altri tipi di impianti ed alle nuove tecniche costruttive ha richiesto la successiva emissione di numerose altre Circolari.

Un esempio significativo dell’accresciuta complessità documentale riguarda l’introduzione di circuiti ad elettronica programmabile (vale a dire comprendenti microprocessori e dispositivi di memorizzazione correlati) per la realizzazione di funzioni attinenti la sicurezza. L’impiego di tali circuiti cominciò con un prototipo del 1980 e si diffuse rapidamente a partire dal 1985. La realizzazione di sistemi di sorveglianza con l’ausilio di siffatti dispositivi programmabili consentì, com’è noto, di elevare le prestazioni nel controllo di fenomeni complessi e/o in rapida evoluzione, disponendo nel contempo di migliori possibilità diagnostiche, affinata precisione e notevole ripetibilità. Per contro, i diversi nuovi rischi derivanti dai guasti tipici dei sistemi elettronici programmabili e l’elevata complessità dei sistemi suggerirono all’Autorità di sorveglianza di inquadrare normativamente la disciplina; ne risultò l’emanazione della Disposizione Ministeriale del 27 Ottobre 1989, n° 159, dal titolo ”Requisiti generali di sicurezza per i sistemi a logica statica programmabile”. Le numerose ed importanti prescrizioni contenute in questo documento, aggiunte a quelle contenute in numerose altre Circolari, hanno fatto maggiormente affiorare il bisogno di pervenire ad un documento unitario.

La produzione di un testo unico associa inoltre al vantaggio prospettato la disponibilità - anch’essa da tempo sentita - di un documento cui far riferimento in sede di discussione internazionale, che rispecchi in forma aggiornata e con interpretazione il più possibile certa tutti i requisiti in vigore nel nostro Paese, senza per questo dover ricorrere alle citate Circolari, il cui impiego da parte italiana risulta scarsamente comprensibile negli ambienti internazionali.

A tale proposito, va ricordato che è stata redatta, e sta per essere emanata con Decreto Ministeriale, la nuova edizione del Regolamento Generale, che costituisce aggiornamento e revisione di quello emesso nel 1957, e sulla quale i competenti Uffici dell’Unione Europea hanno già espresso il proprio parere favorevole.

### 1.4 Riferimenti normativi e principi informatori

Nel riesame attualmente in corso delle prescrizioni applicative esistenti, in particolare di quelle contenute nel progetto unifer-cei, un aspetto essenziale che si è voluto tenere in considerazione è stato la verifica della loro adeguatezza in relazione da un lato alle Direttive europee applicabili (Bassa Tensione e Compatibilità Elettromagnetica) e dall’altro alle più recenti norme sulla sicurezza che fanno riferimento alla Direttiva Macchine. Ciò ha comportato, in particolare, un raffronto con la Norma EN 1050 sulla valutazione del rischio, le EN 292-1 e -2 sui concetti di base ed i princìpi generali per il progetto, la EN 954-1 sulla progettazione di parti di sistemi di controllo connesse con la sicurezza, la EN 60204-1 sull’equipaggiamento elettrico delle macchine, e con altre norme che trattano argomenti più specifici, quali la EN 418 sull’arresto di emergenza e la EN 1037 sulla prevenzione contro l’avviamento intempestivo. L’importanza di tali norme è rilevante e pertanto, pur essendo esse dedicate alle macchine e non direttamente agli impianti a fune, l’aggiornamento della normativa italiana ne mutua concetti e definizioni laddove ritenuto utile; ciò consente di chiarire molti aspetti, che peraltro si è riconosciuto essere armonizzati, già nel preesistente progetto, con i medesimi princìpi ispiratori.

A titolo di esempio, le funzioni di sorveglianza del regime di marcia, che per norma devono essere realizzate in modo da risultare indipendenti dalle funzioni di regolazione, sono state ripartite in funzioni di sicurezza e di protezione. Una funzione è detta di sicurezza quando sorveglia previsti eventi rischiosi per le persone, e va realizzata con criteri equivalenti a quelli richiesti per la categoria 3 della norma EN 954-1. E’ invece detta di protezione una funzione che sorveglia previsti eventi rischiosi per i beni (ma non per le persone); essa va realizzata rispettivamente secondo la categoria B della norma citata.

Per quanto riguarda gli aspetti più generali degli impianti elettrici, con le relative esigenze fondamentali di sicurezza e di compatibilità richieste dalle Direttive, si è preferito fare riferimento diretto alle norme europee che, in generale, consentono di mostrare la rispondenza a tali Direttive. Tra queste si citano la CEI 64-8, che recepisce i Documenti di Armonizzazione cenelec sugli impianti elettrici degli edifici, la già citata EN 60204-1 nonché la EN 61800-3 ed altre, relative alla compatibilità elettromagnetica. Le prescrizioni di carattere elettrotecnico generale contenute nelle P.T.S. in corso di rielaborazione per gli impianti elettrici funiviari riguardano quindi soltanto quegli aspetti che richiedono un adeguamento dei concetti contenuti nelle norme generali alle specifiche esigenze degli impianti a fune via via evidenziatesi con lo sviluppo tecnologico.

Il lavoro condotto dai rappresentanti italiani in seno al Gruppo F del Comitato CEN 242, per la stesura della Norma europea sugli impianti elettrici delle funivie, ha inoltre consentito di mutuare altri concetti e soprattutto ha favorito la discussione internamente al gruppo di lavoro nazionale. Il corpo fondamentale dei criteri informatori era stato approntato prima della corrispondente discussione in sede europea, in maniera da rendere più efficace il contributo italiano; si è pertanto creduto maggiormente opportuno non già l’armonizzare le prescrizioni italiane al nascente progetto europeo, quanto piuttosto il portarle a compimento mantenendo sostanzialmente immutati gli indirizzi ormai consolidati nel mondo funiviario italiano, in attesa dell’approvazione della norma europea.

Pur lasciando spazio alla libera interpretazione del progettista, è stato così prodotto un insieme di prescrizioni che applicasse al campo funiviario i princìpi di sicurezza contenuti in questi indirizzi generali, stabilendo in partenza taluni specifici criteri realizzativi. La notevole esperienza dei partecipanti al gruppo di lavoro e le lunghe e dettagliate analisi condotte hanno consentito di effettuare un’approfondita valutazione dei rischi, determinandone i diversi livelli, e quindi le categorie affidabilistiche da richiedere nella realizzazione dei dispositivi di sorveglianza.

La procedura descritta è stata adottata essendosi preferito avere maggior chiarezza ed uniformità interpretativa, seppur a discapito di una libertà progettuale assoluta; libertà peraltro salvaguardata lasciando aperta la via di proporre soluzioni innovative o alternative, purché nel rispetto degli imprescindibili criteri di sicurezza, dovendosi dimostrare che le soluzioni proposte sono tali da assicurare prestazioni di sicurezza non inferiori a quelle ottenibili applicando semplicemente le prescrizioni.

## 2 Attuali criteri informatori

### 2.1 Struttura delle attuali prescrizioni

I princìpi di sicurezza contenuti nel progetto unifer-cei, chiariti e riorganizzati secondo la miglior impostazione formale degli analoghi princìpi contenuti nelle norme internazionali citate, hanno dato origine, nelle P.T.S. in corso di rielaborazione, ad un insieme di prescrizioni generali denominato ”Princìpi fondamentali di sicurezza”. Da tali criteri informatori sono poi conseguite numerose prescrizioni di tipo applicativo, sostanzialmente ripartibili in quattro categorie:

‑ prescrizioni riguardanti l’architettura logica e l’aspetto funzionale dei sistemi correlati con la sicurezza;

‑ prescrizioni riguardanti l’aspetto costruttivo dei sistemi suddetti (che, come tali, prendono in considerazione anche il tipo di tecnologia realizzativa adottata);

‑ prescrizioni più generali sull’aspetto impiantistico;

‑ prescrizioni relative alla vita dell’impianto, e quindi riferite ad aspetti tecnici dell’esercizio e della manutenzione.

### 2.2 Delimitazione dell’impianto elettrico di funivia

La norma definisce e delimita con precisione gli elementi che, appartenendo all’impianto elettrico di funivia, risultano oggetto delle prescrizioni; la delimitazione accurata del confine chiarisce a quali elementi vanno applicate le sole norme impiantistiche generali e a quali anche le specifiche prescrizioni funiviarie. Vengono così escluse dal campo di applicazione della norma le sorgenti di energia che non sono sotto il diretto controllo dell’Esercente, con i relativi sistemi di trasformazione e distribuzione (ad esempio, la cabina M.T.), fino agli interruttori generali a valle di questi che, quindi, delimitano l’impianto. Sono altresì escluse le utenze non indispensabili al funzionamento dell’impianto funiviario, quali officine, posti di ristoro, impianti di innevamento e simili.

Ne risulta che i principali elementi costituenti l’impianto elettrico di funivia sono le sorgenti di energia interne, i sistemi di distribuzione a valle degli interruttori generali, gli azionamenti di trazione, le utenze ausiliarie indispensabili nonché i circuiti di segnale (ossia i circuiti di comando e regolazione, di sorveglianza, di segnalazione, misura e telecomunicazione).

### 2.3 Sistemi di alimentazione e disponibilità delle alimentazioni

Un insieme di prescrizioni tratta la tipologia ed il numero delle sorgenti di energia che alimentano i circuiti di potenza, nonché la struttura delle relative distribuzioni; il fine principale è di assicurare criteri di ridondanza tali da consentire, ove prescritto, la disponibilità di energia per l’evacuazione della linea o, se ritenuto necessario, per la prosecuzione dell’esercizio, anche in caso o di indisponibilità delle sorgenti di energia esterne oppure di determinati guasti interni all’impianto. Con criteri simili sono trattati gli azionamenti principale, di riserva, di recupero e di soccorso, stabilendo requisiti specifici per il campo funiviario.

I sistemi di alimentazione di sicurezza, destinati principalmente ad alimentare i circuiti di regolazione e controllo del sistema di sorveglianza e del sistema di frenatura, garantendo elevati gradi di disponibilità, sono trattati in dettaglio. Ogni sistema di alimentazione di sicurezza deve impiegare un gruppo di continuità, costituito da un caricabatterie automatico con batterie di accumulatori tampone, in grado di assicurare la disponibilità di energia anche in caso di guasto al caricabatterie.

Nelle stazioni motrici sono prescritti almeno due sistemi di alimentazione di sicurezza, con stringenti criteri di separazione fra le rispettive distribuzioni; in tal modo è possibile da una parte completare l’indipendenza delle unità di sorveglianza ridondate e dall’altra impedire l’intervento simultaneo con azione a scatto di entrambi i freni meccanici qualora occorra un guasto in un punto dell’impianto di alimentazione.

### 2.4 Princìpi fondamentali di sicurezza

Le prescrizioni costituenti i princìpi fondamentali di sicurezza sono sostanzialmente vòlte ad inquadrare il livello di tolleranza ai guasti di ogni sistema elettrico in qualche modo correlato con la sicurezza. A tale scopo, è stato anzitutto stabilito un elenco di guasti di natura elettrica, denominati ”guasti previsti”, che sono considerati ”possibili” (ossia con probabilità di accadimento non trascurabile) e che si ritiene un sistema di sicurezza debba essere in grado di fronteggiare.

L’esistenza di un guasto previsto in un sistema può manifestarsi in modo evidente, ed essere quindi rilevata, o perché il sistema di sicurezza è in grado di riconoscere il guasto immediatamente, oppure perché esso viene scoperto per mezzo di prove o *test* automatici. La scoperta del guasto deve comportare automaticamente e tempestivamente l’arresto dell’impianto per porlo in uno stato sicuro; pertanto, i guasti riducono la loro pericolosità quando si rendono manifesti.

Un guasto previsto può altresì colpire un sistema senza manifestarsi immediatamente e quindi permanere almeno fino alla successiva prova o *test*, riducendo in questo periodo l’efficienza del sistema stesso; questi guasti, denominati ”guasti latenti”, possono risultare quindi particolarmente pericolosi.

Il sistema di sicurezza deve anzitutto essere in grado di svolgere la sua missione di salvaguardia contro i danni a persone anche in presenza di un singolo guasto, manifesto o latente; la missione può essere svolta ora arrestando l’impianto al rilevamento del guasto, ora consentendo la prosecuzione della marcia nel caso il guasto rimanga latente. Idonei *test* automatici o prove manuali di disponibilità devono quindi essere in grado di rendere manifesti i guasti latenti, e devono essere eseguiti con frequenza tale da rendere trascurabile la loro probabilità di accumulo. Il soddisfacimento di una simile caratteristica costituisce il presupposto su cui si basa l’assunto di non richiedere che la missione debba essere garantita anche in presenza di due o più guasti latenti; in altri termini, è proprio la corretta frequenza di autodiagnosi a consentire di sancire il princìpio secondo cui ”la comparsa di due o più guasti latenti ad uno stesso dispositivo di sicurezza può non essere considerata”.

### 2.5 Prescrizioni applicative per il sistema di sorveglianza

Il concetto fondamentale derivante dai princìpi presentati, debitamente tradotto in opportune prescrizioni, è che un ”dispositivo di sicurezza” - che, in quanto tale, deve essere *fault-tolerant* («a tolleranza di guasto») nel senso prima descritto - deve risultare strutturato, salvo particolari eccezioni, in modo ridondante; esso possiederà dunque almeno due sottosistemi indipendenti, ciascuno dei quali separatamente in grado di svolgere la missione di sicurezza, ed entrambi sottoposti a verifica periodica della disponibilità. Le eccezioni menzionate in norma, in ogni caso, riguardano l’impiego di circuiti semplici, per i quali è comunque possibile dimostrare la rispondenza ai princìpi anche in assenza di ridondanza (ad esempio, nel caso di una funzione di sorveglianza svolta tramite una barretta di rottura, è consentito che quest’ultima non venga duplicata).

L’opportunità di stabilire prescrizioni applicative, sia funzionali che costruttive, sufficientemente chiare ha suggerito di introdurre alcune definizioni e precisazioni.

La struttura di un impianto funiviario ed il suo funzionamento sono stati attentamente esaminati, sviluppando un’analisi dei rischi dalla quale è emersa una classificazione degli eventi rischiosi in relazione al fatto che il verificarsi di ciascuno di essi costituisca o meno un pericolo per le persone. Ad ogni evento rischioso è stata quindi associata una funzione di sorveglianza che, come accennato, dovrà essere di sicurezza oppure di protezione a seconda che il danno atteso coinvolga le persone o si limiti, al più, ad interessare i beni.

Si è poi sgombrato il campo da possibili equivoci stabilendo, per definizione, che un dispositivo di sicurezza comprende tutti gli elementi costruttivamente necessari allo svolgimento della funzione di sicurezza cui è preposto, a partire dai sensori di campo impiegati per il rilevamento dell’evento rischioso e fino ai circuiti che erogano i comandi d’arresto al sistema di frenatura. I requisiti di tolleranza ai guasti, e quindi di struttura ridondante e sottoposta a diagnosi periodica, si applicano a ciascun dispositivo di sicurezza nella sua globalità, e dunque a ciascun suo elemento funzionale. Come già delineato, non è contemplato che un sistema di sicurezza debba rimanere in grado di svolgere la propria funzione nell’ipotesi di accadimento di due guasti indipendenti a parti diverse dello stesso dispositivo, in quanto quest’ipotesi è ritenuta di probabilità irrilevante. Dato che i requisiti di tolleranza al primo guasto sono tuttavia da applicarsi a ciascuno dei dispositivi di sicurezza esistenti, risulta invece previsto l’accadimento di tanti guasti contemporanei al sistema di sorveglianza quanti sono i dispositivi che lo compongono; ne consegue che il livello di tolleranza ai guasti pericolosi offerto dal sistema nel suo complesso è comunque molto elevato.

Tra i criteri che consentono di incrementare la tolleranza ai guasti in un sistema ridondante, la normativa italiana ha preferito porre l’accento ora sulla semplicità ed ora anche sulla diversificazione tecnologica.

In ciascun dispositivo di sicurezza si possono individuare sezioni dedicate a riconoscere l’evento rischioso ed a segnalarne la comparsa tramite segnali di ”consenso / intervento”; esse sono denominate ”unità di elaborazione”. Qui si è preferito porre l’accento sulla semplicità: almeno una unità di elaborazione di ciascun dispositivo di sicurezza deve essere realizzata mediante circuiti (”elementi hardware”) che siano dedicati esclusivamente a tale funzione, o al più a poche e prestabilite funzioni simili, che la norma raggruppa in una stessa famiglia; ad esempio, la famiglia delle sorveglianze di velocità comprende quelle di minima e di massima.

Poiché il sistema di sorveglianza nel suo complesso raggruppa molti dispositivi di sicurezza (nonché svariati dispositivi di protezione), si avranno molte unità di elaborazione ed altrettanti segnali di consenso. Il sistema di sorveglianza deve però semplicemente inviare al sistema di frenatura solo i pochi comandi sufficienti a selezionare l’azione frenante più opportuna; saranno pertanto presenti sezioni addette a riassumere i molti consensi in questi pochi tipi di comando d’arresto. Una sezione siffatta è denominata ”unità di controllo”; essa, per le ragioni prima esposte, fa parte integrante di ciascuno dei numerosi dispositivi di sicurezza e protezione cui partecipa. Data l’importanza della funzione svolta, si è ritenuto opportuno improntare le prescrizioni relative alle unità di controllo anche a criteri di diversificazione tecnologica, laddove il progettista intenda avvalersi di dispositivi programmabili mediante apposito software (denominati, convenzionalmente, dispositivi ad ”elettronica complessa”). Inoltre, l’eventuale impiego di sistemi ad elettronica complessa in almeno una unità di controllo deve infatti essere accompagnato dall’impiego di circuiti elettromeccanici puri in almeno un’altra unità di controllo; in altre parole, almeno una delle unità di elaborazione di un dispositivo di sicurezza deve inviare il proprio consenso ad una unità di controllo che impieghi esclusivamente circuiti elettromeccanici.

Tenendo presente che i requisiti di disponibilità vanno applicati a ciascun dispositivo di sicurezza, ne consegue dunque che le funzioni di un dispositivo a struttura ridondante sono eseguite in almeno due unità di elaborazione indipendenti ed i relativi consensi inviati ad almeno due unità di controllo indipendenti.

La norma non prevede la necessità di ricorrere a gradi di ridondanza più elevati, con l’impiego di tre o più unità di elaborazione o di controllo, neppure nel caso di impiego di elettronica complessa, fatti salvi i casi in cui la specificità del tipo di esercizio sia tale da far ritenere la sua continuità una condizione indispensabile. I sistemi ad elettronica complessa hanno dimostrato, nel corso degli ultimi dieci anni, un grado di affidabilità almeno equivalente, quando non superiore, a quello delle classiche realizzazioni a logica cablata o con elettronica discreta via via sostituite. Va osservato come - in virtù delle prescrizioni contenute nelle Circolari a loro tempo emanate - l’introduzione dei sistemi statici nelle unità di controllo sia avvenuta mantenendo comunque anche una unità di tipo classico; ciò ha consentito di consolidare l’esperienza mediante un confronto continuo fra le due tecniche, su ciascun impianto. L’analisi dei rischi ha portato a concludere che nessun dispositivo di sicurezza richiede una tolleranza ai guasti superiore, e che l’impiego degli stringenti criteri di *test*, di diversificazione tecnologica e di semplicità indicati nella norma stessa consente di mantenere tale livello di tolleranza anche nel caso di realizzazioni con elettronica complessa. Ciò ha portato a superare l’atteggiamento prudenziale della Circolare citata, che imponeva di mantenere una ulteriore unità di controllo a logica programmabile fintantoché non fosse maturata una sufficiente esperienza. Tale vincolo è stato mantenuto unicamente laddove l’Autorità di sorveglianza intenda imporre elevati requisiti di continuità di esercizio, per le citate ragioni di ordine pubblico, in modo da disporre di una unità di riserva.

E’ stata anche esaminata l’opportunità di prescrivere o consentire la logica di intervento ”2 su 3” in presenza di triplici unità di elaborazione o di controllo. Si è considerato da un lato che tale sistema, particolarmente indicato per impianti i cui arresti intempestivi possono produrre rischi rilevanti, non fornisce invece significativi vantaggi nel caso di un impianto a fune, il cui arresto temporaneo non comporta alcun particolare pericolo; dall’altro lato, si è osservato come, disponendo di un sistema in cui un canale è realizzato con tecnologia diversificata rispetto a quella degli altri due, il criterio di votazione ”2 su 3” porterebbe a vanificare l’intervento dell’unico canale residuo nella malaugurata ipotesi che un guasto di modo comune rendesse inefficienti i due canali a tecnologia simile. Tenuto anche conto dell’aumento di complessità derivante dall’impiego di tale tecnica, si è quindi deciso di vietarne esplicitamente l’adozione.

Il criterio della diversificazione tecnologica, quale metodo per elevare il grado di sicurezza di un sistema ridondante in caso di impiego di unità ad elettronica complessa, risulta assai difficoltoso da definire ed ancor più da verificare. Ad esempio, anche tralasciando i cospicui oneri richiesti per lo sviluppo di *software* effettivamente ”diversificati”, si è osservato come la sostanziale somiglianza di molti dispositivi *hardware*, anche prodotti da case diverse, avrebbe limitato fortemente le possibilità di selezione e costretto ad indirizzare la scelta verso specifici costruttori. Nell’àmbito dell’adozione di tecnologia ad elettronica complessa ridondante, si è in definitiva rinunciato all’ipotesi di inquadrare la diversificazione tecnologica dei dispositivi e dei relativi programmi. Un altro approccio possibile sarebbe stato quello di fare riferimento diretto alle normative applicabili al campo delle macchine e quindi alle Dichiarazioni di conformità emesse dai costruttori o da enti certificatori. Pur considerando l’importanza di tale ottica, si è preferito mantenere la tradizionale impostazione normativa italiana, che tende da un lato a dare le prescrizioni specifiche, e quindi diverse da quelle dedicate alle macchine, e dall’altro a richiederne la dimostrazione di conformità tramite il progetto sottoposto al vaglio dell’Autorità di sorveglianza. In attesa di riconsiderare questi problemi alla luce degli sviluppi tecnologici e normativi internazionali, si è preferito ricorrere a criteri più semplici ed agevolmente verificabili. In particolare, in caso di impiego di elettronica complessa, la diversificazione tecnologica è assicurata dalla compresenza di un sottosistema di tipo elettromeccanico. Tale impostazione risulta peraltro in armonia con il dettato delle norme EN 418 ed EN 60204-1 relativamente agli arresti di emergenza di categoria 0.

Riepilogando, gli eventi potenzialmente rischiosi tipici delle varie categorie di impianti sono stati individuati in modo dettagliato; ne sono stati determinati il livello di rischio e quindi le categorie di affidabilità da richiedere nella realizzazione dei relativi dispositivi di sorveglianza. Sono state quindi individuate con buon dettaglio tutte le funzioni di sorveglianza da realizzare e le loro caratteristiche: in particolare, le condizioni che ne richiedono l’intervento, le azioni da comandare, i *test* e le prove richieste.

### 2.6 Prescrizioni applicative per il sistema di frenatura

Il sistema di frenatura delle funivie italiane è evoluto fortemente negli anni; tutti gli impianti di potenza e velocità medie ed alte impiegano attualmente le azioni regolate dei freni meccanici (azione modulata o differenziata) e dell’azionamento di trazione (azione modulata); queste azioni si vanno diffondendo anche sui meno potenti, per assicurare migliori prestazioni meccaniche e maggior *comfort* ai passeggeri.

Il sistema frenante di un impianto funiviario prevede in generale tre freni indipendenti: il freno elettrico di servizio, il freno meccanico di servizio ed il freno meccanico di emergenza.

Il freno elettrico di servizio è costituito dall’azionamento di trazione; quest’ultimo può essere utilizzato a tutti gli effetti come freno solo se è in grado di seguire esattamente un riferimento di velocità a decelerazione costante, ossia se è un azionamento elettrico a velocità variabile con regolazione di velocità ad anello chiuso e se è in grado di fornire tutta la coppia necessaria con ogni tipo di alimentazione previsto. A differenza degli altri freni, esso esercita solo azione regolata (modulata) e comunque la sua coppia va annullata in modo sicuro sia allo stazionamento, sia in caso di malfunzionamenti, sia infine qualora uno dei freni meccanici inizi a sviluppare effettivamente una propria azione frenante.

Il freno meccanico di servizio può agire direttamente sulla puleggia motrice oppure lungo la catena cinematica posta tra il motore e la puleggia medesima (ad esempio, su un asse veloce a monte del gruppo motoriduttore). La sua azione a scatto (immediata e completa, non regolata) è obbligatoria su tutti gli impianti e va usata in ogni caso per assicurare lo stazionamento al termine del processo di arresto. Il freno impiega inoltre, ordinariamente, l’azione modulata per assicurare una decelerazione costante, con regolatore di velocità ad anello chiuso agente su un attuatore proporzionale. Può altresì usare l’azione differenziata, in alternativa a quella modulata, con sforzo costante scelto in base alla coppia di impianto misurata in concomitanza con l’emissione del comando di arresto.

Il freno meccanico di emergenza agisce in ogni caso direttamente sulla puleggia motrice. Oltre all’azione a scatto - obbligatoria - esso esplica ordinariamente l’azione modulata (o, meno comunemente, quella differenziata), ed ha la funzione specifica di assicurare la ridondanza in *stand-by* rispetto agli altri freni; deve garantire dunque che, in seguito a qualunque comando di arresto, l’impianto sia in ogni caso condotto e mantenuto nello stato di stazionamento anche in presenza di una qualsiasi combinazione di guasti che impediscano di sviluppare correttamente azioni frenanti diverse, proprie o di altri freni. La possibilità della sua azione a scatto è pertanto obbligatoria su tutti gli impianti e va realizzata con criteri stringenti di ridondanza, indipendenza e *test*; tali criteri consentono di poter assumere come postulato che l’azione a scatto di questo freno sia sempre disponibile, e sia quindi in grado di arrestare l’impianto in tutte le condizioni che ne richiedono l’impiego, come poc’anzi accennato. Allo scopo, l’azione a scatto del freno di emergenza deve obbligatoriamente ed automaticamente concludere ogni sequenza di comando di azioni frenanti successive, qualora le azioni precedenti si siano rivelate indisponibili.

Specificata la composizione del sistema di frenatura, la normativa ne stabilisce le tre missioni fondamentali.

La prima missione è la ”garanzia dello spazio di arresto”: alla comparsa di un qualsiasi comando di arresto che intervenga a porre fine allo stato regolare di marcia, il sistema di frenatura deve condurre l’impianto allo stato di stazionamento entro uno spazio di arresto massimo previsto. Il progettista deve, in funzione dei rischi derivanti dalle previste condizioni irregolari di funzionamento dell’impianto, associare un valore di spazio di arresto massimo a ciascuna condizione irregolare che comanda l’arresto medesimo. Tali valori possono variare notevolmente e richiedere quindi decelerazioni diverse.

La seconda missione è il ”mantenimento dello stato di stazionamento”; dopo la fase di decelerazione, l’impianto va mantenuto nello stato di velocità nulla, previo annullamento della coppia fornita dall’azionamento ottenuto per disinserzione della sorgente di energia, nonché, al di sotto della minima velocità, mediante permanente e completa chiusura (con azione a scatto) del freno meccanico di servizio (”freno di stazionamento”). Eventuali azioni modulate o differenziate dei freni meccanici in questa circostanza devono parimenti comandare la massima coppia frenante; l’azione a scatto del freno di emergenza può essere usata per ulteriore ridondanza, a scelta del progettista.

La terza missione è l’ ”arresto di emergenza”, ed è affidata all’azione a scatto del freno meccanico omonimo; questa azione deve poter realizzare per intero ogni processo d’arresto (fase di decelerazione e mantenimento dello stazionamento) in tutti i casi in cui viene impiegata; ad esempio, per comando manuale diretto o per comando automatico alla comparsa di gravi eventi rischiosi previsti, a partire dallo stato di marcia regolare. Essa deve altresì poter portare a conclusione ogni processo d’arresto risultato irregolare, nel corso della decelerazione, essendosi rivelate insufficienti altre azioni frenanti, oppure - infine - allo stazionamento qualora il freno di servizio si riveli inefficace a svolgere la seconda missione.

La normativa stabilisce poi alcuni concetti fondamentali.

Il sistema di frenatura è indipendente dal sistema di sorveglianza; quest’ultimo si limita ad trasmettergli i comandi di avviamento di ciascun processo di arresto previsto selezionando il tipo di azione frenante, per il tramite delle catene di contatti elettromeccanici (”catene finali”, poste all’uscita delle unità di controllo), che costituiscono l’unica interfaccia tra i due sistemi.

Il sistema di frenatura esegue e sorveglia tutto il processo di arresto in modo completamente autonomo ed automatico, a partire dal primo comando di arresto ricevuto. Esso attiva quindi l’azione frenante inizialmente richiesta dal sistema di sorveglianza ed eventualmente anche azioni successive, o comandate ancora dal sistema di sorveglianza (per comparsa di ulteriori condizioni irregolari dell’impianto, diverse da quella originaria) oppure comandate direttamente dal sistema di frenatura stesso, vale a dire in seguito all’intervento di funzioni di controllo interne che sorvegliano la disponibilità e la regolarità dell’azione frenante in atto fino a quel momento (prima fra tutte, la funzione di mancata decelerazione).

Ogni azione frenante prevista, finché rimane disponibile, deve essere in grado da sola di eseguire ognuna delle missioni fondamentali alle quali può essere dedicata (garanzia dello spazio di arresto, stazionamento, arresto di emergenza), in qualunque condizione prevista di carico e di velocità dell’impianto.

Anche ogni singolo freno, con i relativi dispositivi di comando, regolazione e controllo di efficienza, dev’essere completamente indipendente dagli altri freni e dal sistema di sorveglianza, in modo che il guasto ad un freno non possa interessare altri freni né il sistema di sorveglianza medesimo.

I guasti di natura elettrica previsti per il sistema di frenatura coincidono con quelli previsti per il sistema di sorveglianza; è inoltre contemplato che qualsiasi azione frenante possa non agire per fallimento del suo comando oppure sviluppare una coppia insufficiente per ragioni di natura non elettrica, fatta salva l’azione a scatto del freno meccanico di emergenza, che - come già osservato - viene assunta sempre comandabile e pienamente disponibile.

Queste assunzioni normative implicano che non siano considerate ipotesi o combinazioni di guasto che possano comportare il fallimento della terza missione (arresto di emergenza) né, di conseguenza, della seconda missione (stazionamento), giacché il freno di emergenza deve in qualsiasi caso poter supplire all’indisponibilità del freno di servizio.

La possibilità di compiere o fallire la prima missione del sistema di frenatura (garanzia dello spazio d’arresto) dipende in generale dal numero di guasti previsti che possono presentarsi simultaneamente nel corso del processo d’arresto; la norma prevede che la missione debba comunque avere successo nel caso che, nel comando o nell’attuazione di un’azione frenante, un qualsiasi guasto previsto si manifesti prima o anche durante l’arresto. In quest’ultimo caso, tale guasto, repentinamente diagnosticato dalla funzione di controllo di ”mancata decelerazione”, dovrà comportare il comando di una seconda azione frenante sviluppata da un diverso freno. A titolo d’esempio, qualora nel corso dell’arresto, venendo a mancare la rete elettrica, il freno elettrico di servizio transiti allo stato guasto, la funzione di mancata decelerazione determinerà l’intervento dell’azione modulata del freno meccanico di servizio.

Si può quindi osservare come la norma richieda coerentemente, per il sistema di frenatura, un livello di tolleranza ai guasti non inferiore a quello richiesto per le funzioni di sicurezza del sistema di sorveglianza.

La possibilità che uno o più guasti susseguenti al primo si verifichino nel corso dello stesso arresto non può essere esclusa ma è con ragionevolezza ritenuta estremamente improbabile; considerazioni sull’entità di questo rischio e sulle misure necessarie per contrastarlo, sia tecniche (necessità di sviluppare impulsi frenanti eccessivi) che economiche (necessità di maggiori franchi per ammettere più ampi spazi d’arresto), hanno sconsigliato di esigere in generale lo svolgimento della prima missione anche in caso di accadimento di un secondo guasto nel corso dello stesso arresto. Se si verificasse questa remota ipotesi, la norma richiede tuttavia che, anche in caso di fallimento di due azioni frenanti e quindi della prima missione, il controllo di mancata decelerazione faccia intervenire automaticamente azioni frenanti ulteriori, fino a quella a scatto del freno di emergenza, in maniera tale da limitare i danni conseguenti.

Quale particolarità derivante dalla tradizione realizzativa italiana, si segnala che la norma ammette e disciplina il comando preventivo dell’azione modulata di un freno meccanico in funzione di ”guardia” dell’azione titolare di un altro freno; la regolazione elettronica mantiene normalmente nulla l’azione effettiva di guardia, la quale si sviluppa solo qualora la decelerazione ottenuta dall’azione titolare risulti insufficiente. Ad esempio, nei moderni impianti a fune italiani l’arresto ”normale” è effettuato per azione modulata del freno elettrico di servizio (ossia, impiegando l’azionamento di trazione); contestualmente al comando dell’azione modulata di detto freno, tuttavia, viene anche comandata l’azione modulata di uno o di entrambi i freni meccanici: i relativi circuiti di regolazione mantengono di fatto il freno interessato in semplice strisciamento, senza sviluppare reale sforzo frenante, fintantoché la decelerazione è sufficiente, e lo portano in condizioni di lavoro effettivo qualora la decelerazione sviluppata dall’azionamento elettrico tenda a diventare insufficiente.

Per quanto riguarda le restanti funzioni di regolazione e controllo, i criteri di sicurezza che ne ispirano i requisiti sono simili a quelli adottati per il sistema di sorveglianza; in particolare, è impiegata un’analoga suddivisione tra funzioni di sicurezza e di protezione interne al sistema di frenatura ed un’attenzione particolare è posta nel trattare i *test* e le prove.

**Indirizzo del referente:**

Dott. ing Claudio Visentin

Via Onestinghel 10

#### I-38100 TRENTO

1. (1) Dr. Ing. Claudio VISENTIN, già Direttore del Servizio Impianti a fune della Provincia Autonoma di Trento. [↑](#footnote-ref-1)
2. (2) Dr. Ing. Gabriele CAPPELLO, BMB Elettronica Industriale - Ansaldo - Montebello. [↑](#footnote-ref-2)
3. (3) Dr. Ing. Andrea FORNASA, EEI - Equipaggiamenti Elettronici Industriali - Vicenza. [↑](#footnote-ref-3)
4. [\*] - Elenco di alcune norme funiviarie italiane aventi rilievo per la parte elettrica.

   ‑ Decreto Ministeriale 7 Luglio 1960, n° 1235 - Prescrizioni Tecniche Speciali per le Funivie Monofuni con Movimento Unidirezionale Continuo e Collegamento Automatico dei Veicoli ; successivamente, sono stati emanati 4 Decreti Ministeriali di aggiornamento.

   ‑ Decreto Ministeriale 16 Giugno 1964, n° 1541 / 0610 - Prescrizioni Tecniche Speciali per le Funivie Monofuni con Movimento Unidirezionale Continuo e Collegamento Permanente dei Veicoli; successivamente, sono stati emanati 11 Decreti Ministeriali di aggiornamento.

   ‑ Decreto Ministeriale 15 Febbraio 1969, n° 815 - Approvazione Prescrizioni Tecniche Speciali per le Funivie Bifuni con Movimento a Va e Vieni; successivamente, sono stati emanati 4 Decreti Ministeriali di aggiornamento.

   ‑ Decreto Ministeriale 15 Marzo 1982 - Norme Tecniche per la Costruzione e l’ Esercizio delle Sciovie in Servizio Pubblico.

   ‑ Decreto Ministeriale 27 Luglio 1985, n° 1944 - Disposizioni Tecniche Provvisorie per le Funivie Monofune a Collegamento Temporaneo con Seggiole a Tre o Quattro Posti.

   ‑ Disposizione Ministeriale 14 Dicembre 1979, n° 3538 - Progetto di norma unifer-cei per gli impianti elettrici di funivie aeree ; vincolante per gli impianti in servizio pubblico di trasporto persone.

   ‑ Disposizione Ministeriale 27 Ottobre 1989, n° 159 - Requisiti generali di sicurezza per i sistemi a logica statica programmabile. [↑](#endnote-ref-1)