



Mitigazione dei Rischi Naturali per la Sicurezza
e la Mobilità nelle Aree Montane del Mezzogiorno

PNR 2015-2020

Area di Specializzazione Smart, Secure and Inclusive Communities



Obiettivo Realizzativo 7

Soluzioni innovative di mobilità

TECNOLOGIE E COSTI DEGLI IMPIANTI FUNIVIARI PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

prof. Umberto Petruccelli, ing. Diego Fabrizio

Università degli Studi della Basilicata - Scuola di Ingegneria

Febbraio 2023



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo



Estratto della Raccolta dei Rapporti Tecnici di Disseminazione del Progetto MITIGO – Volume 2

© 2022 Università degli Studi della Basilicata

Editrice Universosud – Potenza

ISBN 9788899432935



Questa pubblicazione è stata realizzata con il cofinanziamento dell'Unione Europea – FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020.

www.ponricerca.gov.it



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo



Progetto MITIGO
Mitigazione dei Rischi Naturali per la Sicurezza
e la Mobilità nelle Aree Montane del Mezzogiorno



INDICE

Sommario	2
1. Introduzione	2
2. Le tecnologie tradizionali	3
3. Le tecnologie innovative	9
4. I costi di realizzazione	16
5. I costi di esercizio	17
Conclusioni	20
Bibliografia	21



TECNOLOGIE E COSTI DEGLI IMPIANTI FUNIVIARI PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

Umberto Petruccelli, Diego Fabrizio, Pietro Vuono

SOMMARIO

Le innovazioni tecnologiche realizzate ultimamente negli impianti di trasporto a fune hanno permesso a queste attrezzature di potenziare alcune prestazioni e soprattutto di estendere il campo di impiego e migliorare la sicurezza a parità di risorse impiegate. Dette innovazioni possono essere validamente adottate negli impianti di trasferimento e pertanto risultano di grande interesse nei collegamenti degli abitati in quota con il fondovalle che sono oggetto dell'Obiettivo Realizzativo n. 7 (Soluzioni innovative di mobilità) nell'ambito del progetto MITIGO.

Il presente Rapporto tecnico di disseminazione si inquadra nelle attività di Terza Missione svolte nell'ambito del progetto Mitigo ed è finalizzato a diffondere e valorizzare la conoscenza degli impianti di trasporto a fune presso i decisori politici, gli stakeholders e quanti altri possano essere interessati all'argomento.

La trattazione è di tipo generale e quindi finalizzata a fornire per ciascuna delle tecnologie funiviarie trattate le caratteristiche funzionali prevalenti, le prestazioni, i costi di costruzione ed i costi di esercizio espressi in modo parametrico così da poter essere utilizzati per il calcolo di valori relativi ad ogni specifica realizzazione. Il lavoro oltre a perseguire scopi divulgativi è di ausilio ai pianificatori dei trasporti per una prima selezione della tecnologia più idonea ad attrezzare uno specifico collegamento.

1. Introduzione

La tecnologia funiviaria, in continua evoluzione fin dagli anni '70 del secolo scorso, ha consentito, in particolare negli ultimi vent'anni, di migliorare le prestazioni del servizio reso garantendo il raggiungimento di livelli di sicurezza sempre crescenti (si veda p.es. Dalla Chiara et al., 2022) e di estendere al trasporto pubblico urbano l'impiego da questi sistemi, in origine limitato alle aree montane (si veda p.es. Alshalalfah, 2012 e Sproule, 2022). In particolare, le innovazioni tecnologiche hanno riguardato l'introduzione della doppia fune portante/traente nella cabinovia monofune, e della doppia fune portante nella funivia bifune, talvolta con la conseguente creazione di sistemi ibridi fra monofune e bifune. Inoltre, l'opportunità di estendere il campo di impiego di questi impianti ha indotto a proporre sistemi bimodali in cui le cabine possono muoversi in modo autonomo una volta sganciate dalla fune. Alcune innovazioni tecnologiche hanno prodotto anche nuove modalità di esercizio soprattutto per quanto attiene il soccorso e l'evacuazione dei viaggiatori dall'impianto (come discusso in Caserza, 2019) e la necessità di prevedere il piano ultimo nonché la possibilità di eliminare il freno sulla portante.

Le normative per la costruzione e l'esercizio degli impianti a fune, in particolare quelle riguardanti gli aspetti tecnici, e quelle che forniscono i costi di riferimento, hanno subito una progressiva evoluzione negli ultimi vent'anni. Il processo di unificazione delle norme del settore è iniziato con la Direttiva 2000/9/CE del 20 marzo 2000 che ha indirizzato le norme nazionali successivamente emanate nei diversi stati membri. In Italia il recepimento di questa Direttiva ha portato ad aggiornare progressivamente la normativa del settore

attraverso il D.Lgs. 12 giugno 2003, n.210 (Repubblica Italiana 2003), successivamente con il DD. MIT 16 novembre 2012, n.337 (Repubblica Italiana, 2012) e infine con il DD. MIMS 18 giugno 2021, n. 172 (Repubblica Italiana, 2021), norma oggi in vigore. Per quanto attiene l'esercizio, il DM. MIT 11 maggio 2017, n.86 (Repubblica Italiana, 2017) ha aggiornato ed integrato le prescrizioni contenute nel DM MTN 4 agosto 1998, n.400 (Repubblica Italiana, 1998).

Gli aspetti regolamentari analizzati anni addietro da uno degli autori in Petrucci (2013), sono stati poi, in Petrucci et al. (2023) aggiornati e messi in relazione con alcune specifiche questioni di sicurezza riguardanti l'evacuazione degli impianti e l'eventuale Piano ultimo, nonché la tendenza all'eliminazione del freno di soccorso sugli impianti bifune, già prevista dall'art.24 comma 10 del D.M. 4 agosto 1998, n. 400 (Repubblica Italiana, 1998) e specificatamente disciplinata dalla norma UNI-EN12929-2 del 2015 (UNI, 2015) e, più di recente, dal già citato DD. 172/2021 (Repubblica Italiana 2021). Si rimanda a Petrucci et al. (2023) per approfondimenti in merito.

In tema di costi di costruzione c'è da rilevare che la Delibera del Presidente della Provincia di Bolzano (DPP) del 2006 (Provincia Autonoma di Bolzano, 2006), che indicava delle formule regressive per la determinazione del costo di costruzione di alcune tipologie di impianti a fune, è stata aggiornata prima nel 2012 (Provincia Autonoma di Bolzano, 2012) e poi nel 2020 (Provincia Autonoma di Bolzano, 2020). Queste ultime disposizioni hanno rivisto i parametri di calcolo del costo sulla base di dati più recenti, talvolta prendendo in considerazione anche nuove tecnologie le cui specificità non consentono di assimilarne i costi a tipologie tradizionali.

Pertanto si è ritenuto utile in questo Rapporto esporre le tecnologie tradizionali ed innovative oggi disponibili nel settore del trasporto a fune evidenziandone le principali caratteristiche prestazionali ed i costi.

Dopo questa breve introduzione, il paragrafo 2 presenta le tecnologie tradizionali richiamandone gli aspetti funzionali e le principali prestazioni, mentre il paragrafo 3 descrive le principali tecnologie innovative ed i vantaggi che queste sono in grado di offrire. I costi di realizzazione e di esercizio sono trattati nei paragrafi 4 e 5 e alcune considerazioni conclusive, anche con riferimento all'area di studio di Mitigo, sono sviluppate nel 6.

2. Le tecnologie tradizionali

Come è noto, gli impianti funiviari si dividono in terrestri ed aerei. Nei primi la fune viene utilizzata solo per trainare i veicoli (funzione traente) che si muovono lungo una infrastruttura terrestre solitamente di tipo ferroviario. Invece gli impianti aerei affidano alla fune sia la funzione traente che quella di sostentazione dei veicoli (funzione portante) che perciò sono svincolati dal suolo. Le due funzioni possono essere svolte dalla stessa fune in movimento alla quale i veicoli sono agganciati in modo permanente o soltanto durante la corsa (sistemi monofune - in figura 1 attrezzato con seggiole) oppure a due o più funi differenti, alcune fisse sulle quali i veicoli scorrono e l'altra o le altre mobili, dalle quali i veicoli agganciati sono trainati (sistemi bifune, figura 2). Vantaggi degli impianti monofune (comunemente chiamati cabinovie o gondola lift se attrezzati con cabine oppure seggiovie o chair lift se attrezzati con seggiole) sono la semplicità e la economicità nonché una buona capacità di trasporto indipendente dalla lunghezza del percorso. Per contro l'assenza di una specifica fune portante obbliga a limitare la dimensione dei veicoli e a ridurre la lunghezza delle campate e quindi ad avere un maggior numero di sostegni lungo il percorso. I sistemi bifune (indicati di solito col nome di funivie o cableway o ropeway) permettono invece campate più lunghe (quindi meno sostegni in linea), cabine molto grandi (anche da 200 posti) e velocità più elevate (fino a 12 m/s) ma presentano una capacità di trasporto decrescente con la lunghezza del percorso e costi di realizzazione più importanti. I bifune infatti,

nella configurazione tradizionale dispongono di sole due cabine, di dimensioni anche notevoli, trainate da un unico anello di fune traente, che si muovono a vai e vieni fra le stazioni di estremità dell'impianto. Invece nei monofune, la doppia funzione portante e traente svolta dalla stessa fune che ne limita la portanza e non rende possibile la concentrazione dei carichi obbliga a distribuire numerose cabine di dimensioni ridotte (o seggiole) lungo tutta la fune e di conseguenza rende impossibile fermare l'impianto ogni volta che uno dei tanti veicoli arriva in stazione. Il moto continuo, che in questo tipo di impianti diventa una necessità conseguente alla presenza di numerosi veicoli, obbliga ad effettuare in stazione lo sbarco e l'imbarco dei passeggeri con i veicoli in movimento e quindi a mantenere molto bassa la velocità di marcia (1 m/s per gli impianti di trasferimento) a meno di utilizzare appositi dispositivi acceleratori e deceleratori dei passeggeri rispettivamente prima dell'imbarco e dopo lo sbarco. Ne conseguono tempi di viaggio inaccettabili su distanze sensibilmente superiori al chilometro. Per ovviare a questa pesante limitazione, si realizzano da oltre cinquant'anni impianti monofune con collegamento temporaneo dei veicoli, siano essi cabine o seggiole. Questi ultimi quindi, arrivati in stazione, si sganciano automaticamente dalla fune per consentire di effettuare le operazioni di sbarco e imbarco dei passeggeri a veicolo fermo o in movimento molto lento realizzato attraverso un sistema di trazione a terra che provvede poi ad accelerare il veicolo fino alla velocità di marcia della fune prima che questo vi si riagganci. Così la velocità della fune che avanza in moto continuo e quindi la velocità di marcia dei veicoli in linea può raggiungere anche i 7 m/s superando ampiamente la ridotta velocità massima imposta nei monofune in presenza di veicoli a collegamento permanente.

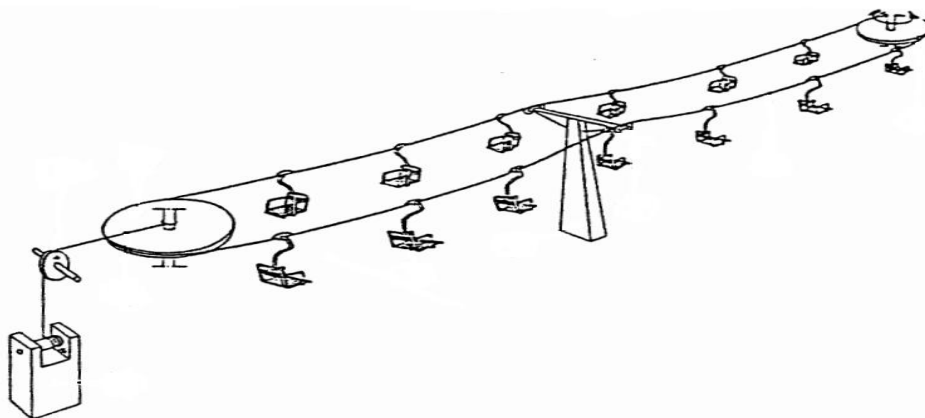


Figura 1: Schema di una funivia (o cabinovia) monofune a più veicoli (nella rappresentazione si tratta di seggiole)

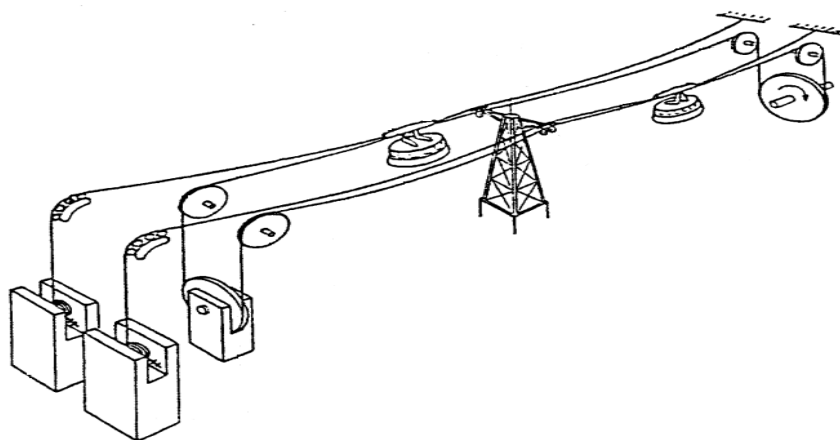


Figura 2: Schema di una funivia bifune



Figura 3: Funivia bifune a vai e vieni e relativi carrello e sospensione tipo

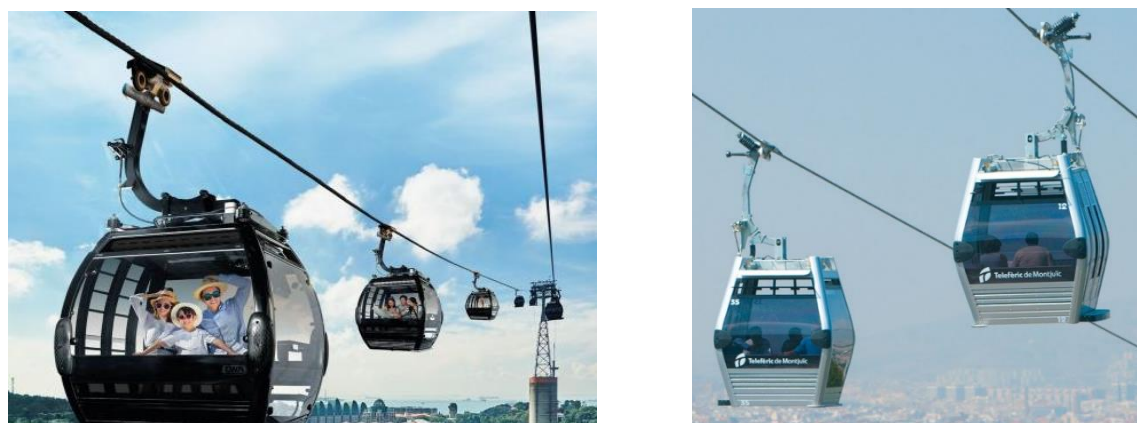


Figura 4: Cabinovia monofune a moto continuo



Figura 5: Morsa fissa per agganciamento permanente dei veicoli

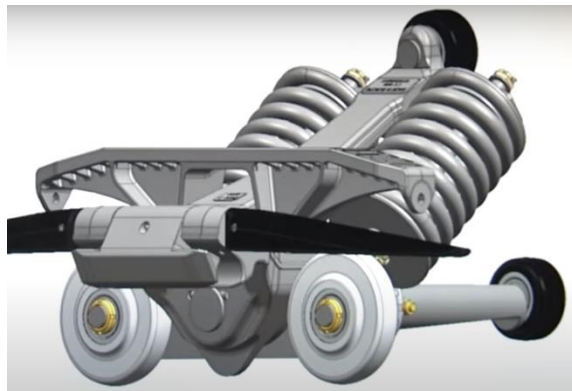


Figura 6: Morsa automatica per agganciamento temporaneo dei veicoli alla fune



Figura 7: Dispositivo per l'apertura e la chiusura delle morse in stazione

La capacità di trasporto degli impianti monofune e bifune non è determinata dal numero delle funi presenti e dalla funzione da esse svolta ma dal tipo di moto e dal numero di cabine, che sono tradizionalmente (ma non necessariamente) solo due con moto a vai e vieni nelle funivie bifuni, mentre sono numerose nelle cabinovie a fune unica in moto continuo. Entrambe le formule di seguito richiamate per il calcolo della capacità discendono direttamente dall'equazione generale del deflusso ma si sviluppano in modo differente. Infatti l'intervallo di tempo fra la partenza da una stazione di due cabine successive è, per gli impianti a moto continuo, il rapporto fra la distanza metrica di due cabine successive divisa per la velocità di marcia in linea; negli impianti con moto a vai e vieni invece, lo stesso intervallo è dato dal tempo necessario a ciascuna delle due cabine per percorrere tutto il tracciato da una estremità all'altra (comprensivo dei tempi di accelerazione e decelerazione) e del tempo richiesto in stazione per le operazioni di sbarco e imbarco dei passeggeri.

Pertanto, come riportato in Petrucci (2013), la capacità di trasporto in passeggeri all'ora è espressa, per gli impianti a moto continuo e per quelli a vai e vieni, rispettivamente dalle relazioni (1) e (2):

$$C = 3.600 \cdot H \cdot n = 3.600 \cdot \left(\frac{1}{d_t} \right) \cdot n \quad (1)$$

$$C = \frac{3.600 \cdot n}{\left(\frac{L}{v} + \frac{v}{a} + \frac{n}{p} \cdot t_p \right)} \quad (2)$$

Dove:

C = capacità di trasporto [passeggeri/ora]

H = flusso di veicoli [veicoli/s] (per definizione uguale all'inverso dell'intervallo temporale fra i veicoli)

d_t = distanziamento o intervallo temporale fra i veicoli [s/veicolo]

n = capienza dei veicoli [passeggeri/veicolo]

p = numero di porte di ciascuna cabina, di dimensione tale da consentire il passaggio di un solo passeggero per volta, aperte contemporaneamente in stazione

t_p = tempo necessario a ciascun passeggero per attraversare la porta in ingresso o uscita dalla cabina (può assumersi = 1 s)

L = lunghezza inclinata dell'impianto avente due sole stazioni di estremità in [m];

v = velocità massima raggiunta lungo la linea in [m/s];

a = accelerazione media di avviamento e frenatura, da $v=0$ a $v=v_{\max}$ e viceversa, in [m/s²] (può assumersi = 0,33 m/s²).

L'applicazione delle due formule per due differenti dimensioni delle cabine, per uno sviluppo del tragitto compreso fra 1 e 5 km ed una velocità massima per gli impianti a vai e vieni di 12m/s (il massimo consentito dalla normativa) fornisce i valori massimi orientativi della capacità di trasporto ed evidenzia la riduzione di questa prestazione con l'aumento della lunghezza inclinata del percorso per gli impianti a vai e vieni (figura 8). È opportuno rilevare che mentre la velocità di marcia influisce favorevolmente sulla capacità di trasporto nel moto a vai e vieni con due sole cabine, nel moto continuo unidirezionale con più cabine la capacità non dipende né dalla velocità di marcia, né dal fatto che i veicoli siano permanentemente o temporaneamente agganciati alla fune. Infatti l'intervallo di tempo minimo da garantire in stazione fra l'arrivo (o la partenza) di una cabina e la successiva è dettato dai tempi necessari per far sbarcare (o imbarcare) i passeggeri; pertanto la maggiore velocità di avanzamento della fune (realizzabile con veicoli che si sganciano in stazione) obbliga a mantenere le cabine più distanti l'una dall'altra (per conservare, fra due cabine successive, l'intervallo temporale necessario per le operazioni di sbarco e imbarco) annullando il vantaggio che la capacità di trasporto dell'impianto potrebbe trarre dalla maggiore velocità in linea.

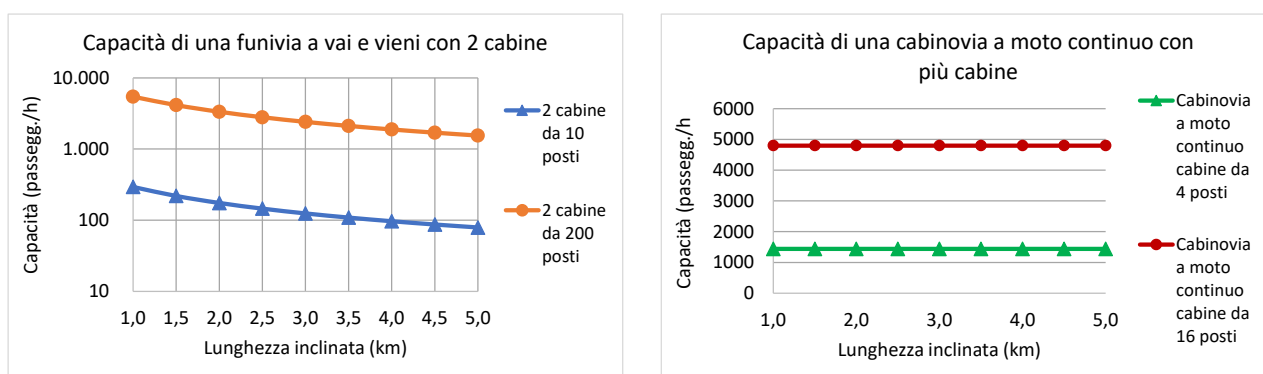


Figura 8: Capacità di trasporto degli impianti a fune al variare della lunghezza del percorso

La sicurezza dei passeggeri può essere messa gravemente a rischio dal manifestarsi di moti anomali delle cabine oppure dal verificarsi dell'arresto improvviso dell'impianto, non riattivabile in tempi brevi, che lascia alcune cabine in linea. Per ridurre a livelli minimi il rischio di questi eventi vengono messi in atto una serie di accorgimenti e prescrizioni tecniche finalizzati a rendere assolutamente raro il verificarsi di ciascuna anomalia o rottura che può costituirne la causa. Nell'individuazione del livello di rischio accettabile è comunque da tener presente che la possibilità di intervenire a seguito di anomalie di funzionamento per evitare i danni alle persone trasportate esiste per alcuni eventi e non per altri.

In generale la rottura di una fune per cause non dovute ad azioni esterne impreviste rappresenta un evento molto raro, solitamente conseguente a cattiva manutenzione e/o insufficiente monitoraggio e va assolutamente evitato. Nello specifico però, la rottura della fune traente negli impianti bifune rappresenta un evento che, sebbene molto grave, è ancora recuperabile se le cabine dispongono del freno di emergenza che agisce automaticamente sulla portante. Tuttavia, poiché questo freno si attiva spesso volte senza motivo provocando sensibili danni alla fune (Confederazione Svizzera, 2013), la tendenza nella tecnica funiviaria moderna è quella di eliminarlo, secondo quanto già previsto dall'art.24 comma 10 del D.M. 4 agosto 1998, n. 400 (Repubblica Italiana, 1998) e specificatamente disciplinato dalla norma UNI-EN12929-2 del 2015 (UNI, 2015) e, più di recente, dal già citato DD. 172/2021 (Repubblica Italiana 2021).

Allo stesso modo l'arresto inatteso dell'impianto e l'impossibilità di riattivarlo, evento anche questo decisamente importante, obbliga ad intervenire con un piano di evacuazione per portare in salvo i passeggeri fermi in linea. L'evacuazione dell'impianto può avvenire in verticale o in orizzontale. La prima tecnica consiste nel calare in basso fino a terra, con un apposito argano e sacco, uno per volta i passeggeri presenti in ciascuna cabina. L'operazione deve essere condotta da personale specializzato che, qualora non sia già presente in cabina, deve raggiungerla partendo da una stazione ed utilizzando una idonea apparecchiatura. Inoltre deve essere predisposto e mantenuto praticabile un percorso pedonale a terra lungo tutta la linea attraverso il quale i passeggeri, una volta scesi al suolo, possano raggiungere un luogo sicuro. Poiché, tutti i passeggeri devono essere portati a terra in tempi brevi compatibili con la loro incolumità ed il loro benessere, l'evacuazione verticale impone forti limitazioni all'altezza massima da terra delle cabine e al numero di passeggeri ammessi sulla linea.

Quando le condizioni non consentono un salvataggio verticale completo in tempo rapidi, si deve necessariamente prevedere l'evacuazione orizzontale che consiste nel raggiungere ciascuna cabina con un veicolo di soccorso di dimensioni idonee in grado di muoversi autonomamente lungo la fune dell'impianto o lungo una specifica fune di soccorso e trasbordare i passeggeri sul veicolo di soccorso per ricondurli nella stazione più vicina. È evidente che questo tipo di evacuazione non pone limitazioni all'altezza della fune da terra né al numero di passeggeri ammessi in ciascuna corsa ma presenta costi di impianto aggiuntivi. Inoltre qualunque tipo di evacuazione rende necessaria la presenza di personale appositamente addestrato con una incidenza negativa anche sui costi di esercizio. Infine non sono da sottovalutare le difficoltà ed i pericoli conseguenti a qualsiasi operazione di evacuazione resa molto spesso difficile dalla oscillazione delle cabine causata dal vento.

Per questi motivi si tende oggi a non disporre l'evacuazione dell'impianto in caso di blocco, prevedendo invece procedure e dispositivi di verifica e monitoraggio di componenti dell'impianto nonché la ridondanza degli stessi così da ridurre quasi a zero il rischio di blocco o malfunzionamento o rotture di componenti importanti.

3. Le tecnologie innovative

La necessità offrire elevate capacità di trasporto su lunghe distanze e ridurre il numero di sostegni in linea realizzando ampie campate ha spinto la tecnica funiviaria a creare sistemi ibridi fra monofune e bifune. La cabinovia denominata “2S” si caratterizza per la presenza di una fune portante per ciascuna via di corsa ed un anello trattivo in moto continuo unidirezionale al quale sono agganciate in modo temporaneo numerose cabine.



Figura 9: Sistema 2S¹ caratterizzato da una fune portante ed una traente in moto continuo

La richiesta di maggiore stabilità delle cabine, soprattutto rispetto al vento trasversale, ha portato negli impianti monofune a raddoppiare le funi mantenendo per ciascuna la doppia funzione portante e traente; in questo caso le cabine sono collegate temporaneamente ad entrambe le funi con le tradizionali morse automatiche. Ricade in questa tipologia il sistema Funitel² che si caratterizza tra l'altro per avere un'unica fune impalmata avvolta a doppio anello sviluppata lungo quattro rami (due per senso di marcia) secondo lo schema in figura 10, studiato appositamente per evitare allungamenti diversi dei due rami di fune che marcano nello stesso senso. La soluzione che è possibile definire “doppio monofune” coniuga l'economicità, la elevata capacità e la sostanziale assenza di tempi di attesa in stazione tipiche delle cabinovie a moto continuo con la stabilità garantita dalle due funi poste a distanza reciproca maggiore della larghezza delle cabine e con la possibilità di avere campate più lunghe rispetto al classico monofune.

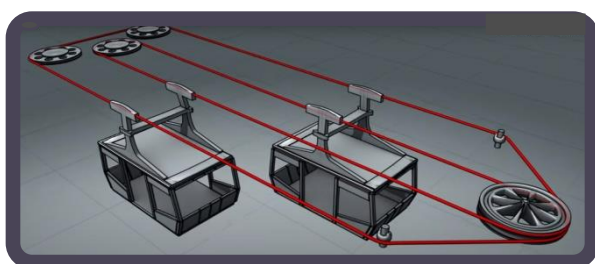


Figura 10: Sistema Funitel³ caratterizzato da due funi (entrambe con funzione portante e traente) in moto unidirezionale, costituite da un unico anello impalmato, alle quali sono agganciate temporaneamente più cabine.

¹ <https://www.leitner.com/it/prodotti/>

² <https://www.doppelmayr.com/it/prodotti/funitel/>

³ <https://www.doppelmayr.com/it/prodotti/funitel/>

Recente è anche la realizzazione del sistema denominato “3S” per la presenza di tre funi, di cui due portanti ed una traente. Quest’ultima è generalmente a moto continuo e le cabine vi si agganciano grazie alle morse automatiche tipiche di una cabinovia monofune. Ne consegue un sistema ibrido, fra il bifune a vai e vieni ed il monofune a moto continuo ed ammortamento automatico, che supera i limiti di ciascuna delle due tipologie da cui deriva. Infatti unisce la elevata portanza in campata tipica delle funivie bifune (accresciuta per la presenza di una seconda fune portante che tra l’altro conferisce alle cabine maggiore stabilità trasversale), a tempi di attesa in stazione praticamente nulli e ad una elevata capacità di trasporto indipendente dalla lunghezza del percorso tipica delle cabinovie a moto continuo. Ultimo vantaggio, tutt’altro che trascurabile, offerto dalla presenza di due funi portanti, consiste nella possibilità di collocare in campata, fra queste ultime, dei sostegni con apposite rulliere per far scorrere la fune traente eliminando il rischio di accavallamento di quest’ultima sulla portante, soprattutto se sottoposta ad una tensione ridotta. La tecnologia 3S, benché leggermente più costosa di quella bifune classica, sembra molto promettente anche per l’impiego come trasporto urbano, dove la capacità elevata ed il servizio senza tempi di attesa risultano molto importanti.

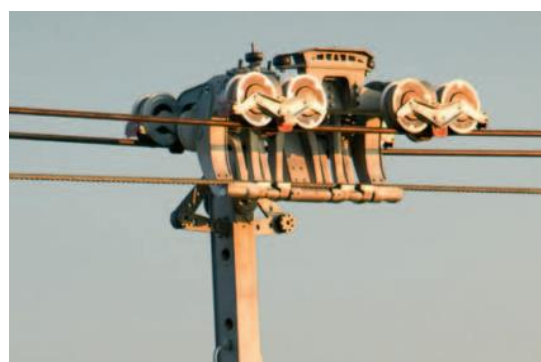


Figura 11: Sistema 3S⁴ caratterizzato da due funi portanti per ciascuna via di corsa ed una fune traente in moto continuo alla quale sono agganciate temporaneamente numerose cabine (nelle prime due immagini sono evidenti i sostegni per la fune traente collocati in campata fra le due portanti).

⁴ <https://www.doppelmayr.com/it/prodotti/> <https://www.leitner.com/it/prodotti/sistemi-funiviari/>

Il sistema Funifor⁵, realizzato alcuni anni fa, è del tipo a vai e vieni con due funi portanti per ciascuna via di corsa, posizionate esternamente alla sagoma della cabina a notevole distanza fra loro. Questa caratteristica conferisce grande stabilità alle cabine al vento e la possibilità di avere una sospensione molto più corta rispetto alle configurazioni tradizionali e quindi stazioni meno alte con minore impatto sul paesaggio (DG-TPL-STIF, 2017). La movimentazione è assicurata da due sistemi di trazione autonomi, uno per ciascuna delle cabine che pertanto marcano in modo completamente indipendente tra loro. Ogni fune traente (una per cabina) è avvolta intorno a pulegge verticali, due motrici collocate in una delle due stazioni di estremità, e due di rinvio nell'altra; il collegamento del veicolo alla traente è realizzato con quattro pulegge di compensazione portate dal telaio del carrello e complanari al tetto della cabina.

La particolarità principale del Funifor riguarda la configurazione dell'anello trattivo (figura 12) che in condizioni normali è trainato contemporaneamente da entrambe le pulegge motrici mosse dallo stesso azionamento (motore e trasmissione) o addirittura da due azionamenti indipendenti (azionamento doppio). In condizioni di blocco di una delle pulegge motrici (causato per esempio dalla rottura del cuscinetto di supporto oppure, in presenza di azionamento multiplo, anche da un guasto ad uno dei gruppi motore-trasmissione da cui ciascuna puleggia è mossa), l'anello trattivo può movimentare la vettura a velocità ridotta utilizzando la sola puleggia funzionante. Questa configurazione rende praticamente impossibile il blocco dell'anello trattivo e la conseguente necessità di evacuare la vettura ferma in linea. Tuttavia, se tale operazione si rendesse necessaria per altre cause, sarebbe facilmente realizzabile in orizzontale, senza disporre di attrezzature specifiche, grazie alla possibilità di movimentazione autonoma delle due cabine che permette alla cabina funzionante di raggiungere quella ferma in linea e imbarcare i passeggeri da quest'ultima. Un altro vantaggio conseguente alla indipendenza degli azionamenti delle due cabine consiste nella possibilità di realizzare un impianto con una sola cabina su una sola via di corsa risparmiando sensibilmente sui costi di costruzione qualora la domanda sia bassa.

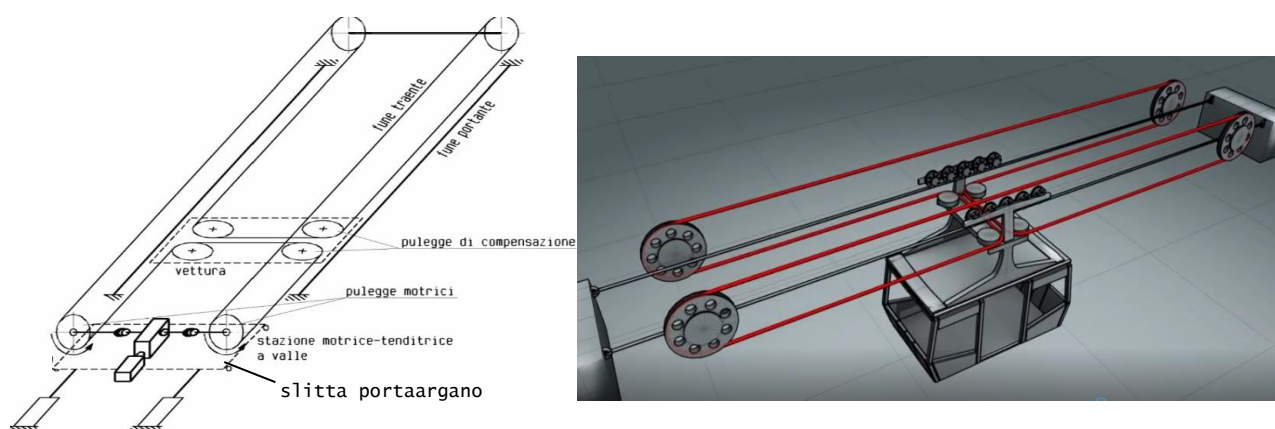


Figura 12: Configurazione dell'anello trattivo del sistema Funifor⁶

⁵ <https://www.doppelmayr.com/it/prodotti/funifor/>

⁶ <https://www.doppelmayr.com/it/prodotti/funifor/>



Figura 13: Sistema Funifor con due cabine e specificità del carrello e della sospensione⁷

Innovazione non sostanziale, in quanto corrispondente solo ad una nuova tipologia di utilizzo di tecnologie tradizionali, è rappresentata dagli impianti monofune a moto intermittente, detti “Pulsé”, in esercizio già da diversi anni. Si tratta di impianti con un’unica fune portante e traente (monofune) alla quale le cabine sono agganciate in modo permanente e collocate in pochi grappoli (di solito solo 2), di $2 \div 4$ cabine ciascuno. La particolare distribuzione delle cabine evita di trasmettere all’unica fune carichi concentrati elevati diversamente da quanto accadrebbe con una sola cabina di dimensioni maggiori. La marcia intermittente, che prevede l’arresto della fune quando un gruppo di veicoli giunge in stazione, permette di far salire e scendere i passeggeri da fermi, quindi con maggiore sicurezza, e allo stesso tempo di evitare i dispositivi di stazione necessari, in presenza di veicoli ad agganciamento temporaneo, per aprire e chiudere le morse automatiche nonché decelerare e riaccelerare i veicoli. Il moto intermittente può essere unidirezionale con l’inversione delle cabine in stazione oppure, più frequentemente, bidirezionale (a vai e vieni), come quello delle funivie bifune classiche. Ne consegue un costo di impianto ridotto, assimilabile a quello di una cabinovia monofune ad agganciamento permanente ma con velocità massime in linea che possono raggiungere quelle delle cabinovie monofune ad agganciamento temporaneo (6 m/s). Evidentemente però, dovendosi arrestare la fune ogni volta che un gruppo di veicoli giunge in stazione, il numero di gruppi utilizzabili è molto limitato (di solito solo 2) pena la necessità di fermare una o più volte alcuni gruppi lungo il percorso. A ciò consegue una ridotta capacità di trasporto. Da non trascurare certamente, ai fini del contenimento dei costi di esercizio, la facilità di rendere questi impianti completamente automatici cioè con stazioni impresenziate, atteso che la normativa in vigore impone come presupposto per l’automazione integrale che le operazioni di sbarco e imbarco avvengano a veicoli fermi.

⁷ <https://www.doppelmayr.com/it/prodotti/funifor/>

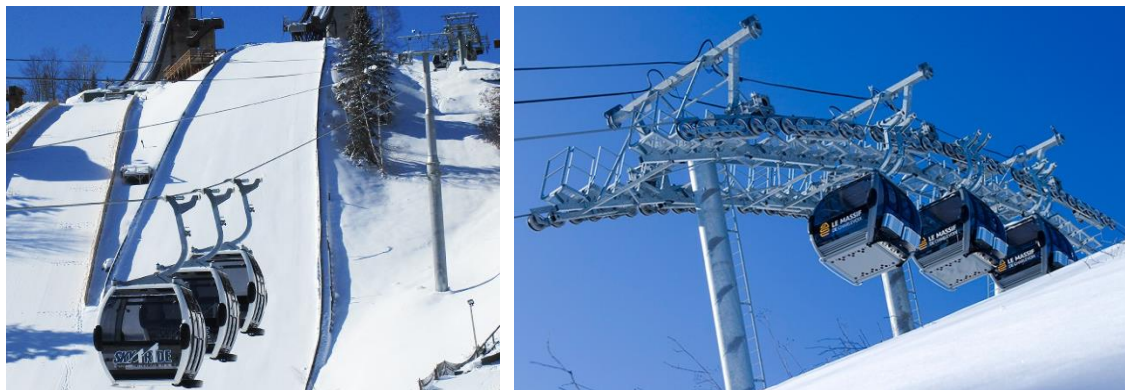


Figura 14: Cabinovia pulsé

Per migliorare l'accessibilità all'impianto a fune, spesso condizionata dalla posizione obbligata delle stazioni, sono state recentemente messe a punto tecnologie intermodali in cui le cabine, una volta raggiunte le stazioni e sganciate dalla fune, possono completare il percorso muovendosi a terra su di un vincolo del tipo tram-bus o su una specifica rotaia in alto o in basso (tipo monorotaia), generalmente con marcia completamente automatica realizzando un Automatic People Mover (APM). Si tratta di sistemi attualmente realizzati al più come prototipi sperimentali che tuttavia si presentano promettenti nell'impiego in numerosi contesti specifici. Per questi sistemi bimodali, in assenza di precise disposizioni, le norme a cui attenersi sono quelle relative al tipo di sistema a cui sono assimilabili durante le fasi di utilizzo e quindi, nella fattispecie, agli impianti a fune quando le cabine viaggiano sulla fune e alle normative della specifica tecnologia utilizzata per il movimento, una volta lasciata la fune.

Il Connx⁸ nasce dalla combinazione di una cabinovia con un minibus elettrico a guida autonoma. È costituito da una cabinovia a doppio monofune i cui veicoli, una volta entrati in stazione, vengono trasferiti su un carrello gommato elettrico che poi prosegue autonomamente il proprio percorso su strada avvalendosi di una guida vincolata realizzata con una rotaia centrale. Il sistema consente di superare barriere urbanistiche e infrastrutturali senza rotture di carico lungo il percorso dalla partenza all'arrivo, lasciando i viaggiatori nella stessa cabina sia che questa si muova agganciata alla fune, sia che viaggi a terra. Il limite di capienza delle cabine è in linea di principio quello delle funivie e in particolare della specifica tecnologia funiviaria che si sceglie. I limiti del sistema sono individuabili essenzialmente nei tempi di trasferimento della cabina sul veicolo, che tuttavia sembrano decisamente ridotti, e nella necessità di disporre di una infrastruttura dedicata o di una parte, larga almeno quanto il veicolo. Non si può escludere la possibilità (seppure non contemplata) di far marciare la cabina su una strada aperta al traffico ma ciò implica la necessità del conducente e di un posto di guida a bordo del veicolo, il che farebbe venir meno i vantaggi, in termini di regolarità di marcia e di costo di esercizio, ottenibili con la guida completamente autonoma che tuttavia ad oggi richiede la sede dedicata.

⁸ <https://www.leitner.com/it/prodotti/sistemi-funiviari/connx/>



Figura 15: Sistema ConnX⁹

L'APM descritto in Affatato et al. (2015) consiste anch'esso in una cabinovia a doppio monofune, cioè con cabine ad agganciamento temporaneo su due funi, ciascuna con funzione sia portante che traente. La sospensione delle cabine presenta però, oltre alle morse tipiche di questi impianti, un sistema di rodiggio e di trazione nonché di alimentazione elettrica che permette alla stessa cabina di muoversi autonomamente lungo una apposita rotaia posta in alto. Rispetto al Connx presenta il vantaggio di non dover sganciare la cabina dalla sospensione e riagganciarla al veicolo su ruote, permettendo probabilmente un passaggio più rapido fra il movimento a fune e quello su ruote. Per contro il fatto di non poter disaccoppiare la cabina dalla sospensione in testa (dove è presente il rodiggio per la marcia su rotaia) comporta lo svantaggio di richiedere, anche durante la marcia a terra, un ingombro di notevole altezza. Naturalmente questo svantaggio potrebbe essere contenuto utilizzando una tecnologia funiviaria diversa che permetta di ridurre l'altezza della sospensione, per esempio aumentando sensibilmente la distanza fra le due funi ma ciò obbligherebbe probabilmente a realizzare un diverso rodiggio per la marcia a terra e quindi a riprogettare il sistema.

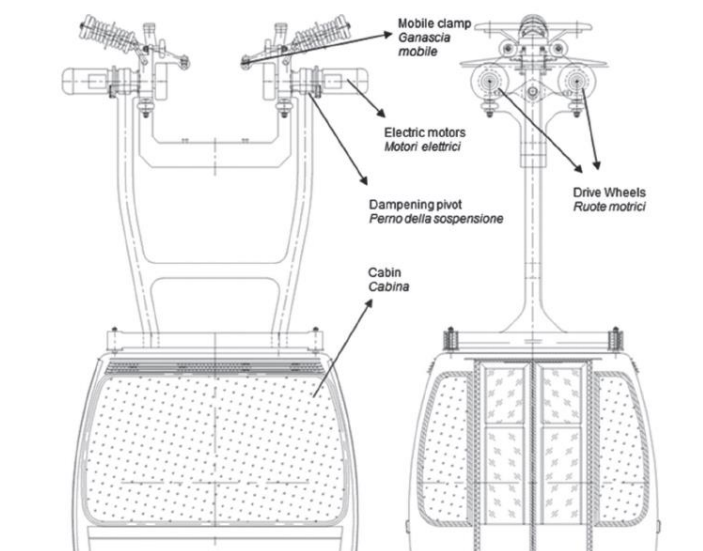


Figura 16: L'APM descritto in Affatato et al. (2015)

⁹ <https://www.leitner.com/it/prodotti/sistemi-funiviari/connx/>

Tipo	Numero di funi per via di corsa			Moto	Colleg. cabine	V _{max} su fune (m/s)	Capacità (p/h)	BM	Particolarità
	P	T	P/T						
Doppio monofune (tipo Funitel)			2	Cn	Tm	7,0	4.000	No	Stabilità e semplicità
Cabinovia 3S	2	1		Cn	Tm	8,5	5.500	No	Ibrido fra bifune e monofune
Funifor (Doppelmayr)	2	1		Vv	Pr	12,0	Var.	No	Cabine indipendenti e stabilità
Connx (Leitner)			2	Cn	Tm	7,0	4.000	Si	Bimodale fune-strada guidata
L'APM Dimensione Ingenierie			2	Cn	Tm	7,0	4.000	Si	Bimodale fune-monorotaia

Legenda: P = numero di funi portanti per via di corsa

T = numero di funi traenti per via di corsa

P/T = numero di funi con doppia funzione portante/traente per via di corsa

Collegamento cabine = Pr / Tm = Permanente / Temporaneo

Moto = Cn/Vv = continuo / vai e vieni

BM = bimodalità (marcia anche senza agganciamento alla fune)

Tabella 1: Raffronto fra le tecnologie innovative

La tabella 2 presenta un raffronto di alcune caratteristiche e prestazioni delle più note tecnologie, sia tradizionali che innovative, per impianti a fune idonei al trasferimento di persone, tralasciando gli impianti con finalità turistico-sportive che esulano dal presente Rapporto.

IMPIANTI DI TRASFERIMENTO	Cabinovia MGD (Monocable Gondola Detachable)	Cabinovia Pulsé (Monofune a moto intermittente)	Funitel FUN (twin monocable gondola detachable)	2S BGD (Bicable Gondola Detachable)	3S TGD (Threecable Gondola Detachable)	Funivia ATW bifune classica	Funifor FUF
Tecnologia	Monofune	Monofune	Doppio monofune	Bifune	Bifune a doppia portante	Bifune	Bifune a doppia portante con 1 anello trattivo per cabina
Movimentazione	Unidirez. Continua	Bidirez. vai e vieni (o unidirez. Intermittente)	Unidirez. Continua	Unidirez. Continua	Unidirez. Continua	Bidirez. Vai e vieni	Bidirezionale Vai e vieni
N° cabine (min. → max.)	1 → N	2 → 4 per grappolo	1 → N	1 → N	1 → N	2 → 2	1 → 2
Collegamento cabine	Temporaneo	Permanente	Temporaneo	Temporaneo	Temporaneo	Permanente	Permanente
Pass./cabina (max) (1)	16	4 → 8	16	16	35	200	100
Sospensione veicoli (2)	Alta	Alta	Bassa	Alta	Alta	Alta	Bassa
Capacità (pass./h)	3.000	(2)	3.000	4.000	6.000	(3)	(3)
Velocità max. (m/s)	6,0	7,0	7,0	7,0	8,5	12,0	12,0
Altezza da terra (m)	60	60	60	Illimitata (4)	Illimitata (4)	Illimitata (4)	Illimitata (4)
Campata max. (km)	0,3	0,3	0,8	1,5	3,0	3,0	2,0
Vento max (km/h)	70	70	100	80	100	70	100
Profilo preferibile	Convesso	Convesso	Convesso	Concavo	Concavo	Concavo	Concavo

Note: (1) Determinante ai fini dell'altezza delle stazioni e quindi dell'impatto di queste ultime su paesaggio;

(2) Valori ad oggi raggiunti;

(3) Funzione della capienza delle cabine e della lunghezza del percorso;

(4) In presenza di attrezzatura per evacuazione orizzontale (lungo la fune) o nel rispetto delle prescrizioni che permettono di non prevedere l'evacuazione ma solo un "Piano ultimo" di emergenza.

Tabella 2: Caratteristiche tecniche delle diverse tipologie di impianti a fune aerei di trasferimento

4. I costi realizzazione

La Provincia Autonoma di Bolzano con il Decreto del Presidente della Provincia (DPP) n.61/2006 (Provincia Autonoma di Bolzano, 2006) ha fornito delle formule regressive per stimare il costo di realizzazione degli impianti a fune. Questo decreto è stato successivamente aggiornato (DPP n.44/2012) (Provincia Autonoma di Bolzano 2012) e modificato nell'anno 2020 (DPP n.41) (Provincia Autonoma di Bolzano, 2020).

I diagrammi sviluppati in Petruccelli (2013) sulla base del DPP n.61/2006 permettevano di confrontare il costo di realizzazione dell'epoca, riferito alle principali tipologie di impianti, al variare della capacità e della lunghezza inclinata. Applicando il DPP n.41/2020 è stato possibile aggiornare i costi di realizzazione per le tipologie di impianti più comuni e costruire i diagrammi riportati in figura 17. La formula dettata dal DPP in questione per le funivie bifuni a due vie di corsa tiene conto anche del numero di sostegni intermedi il cui costo è quindi conglobato nel costo complessivo dell'impianto così calcolato mentre andava aggiunto al valore ottenuto dalle formulazioni proposte dai due precedenti DPP nella misura di Euro 700.000 per ciascun sostegno.

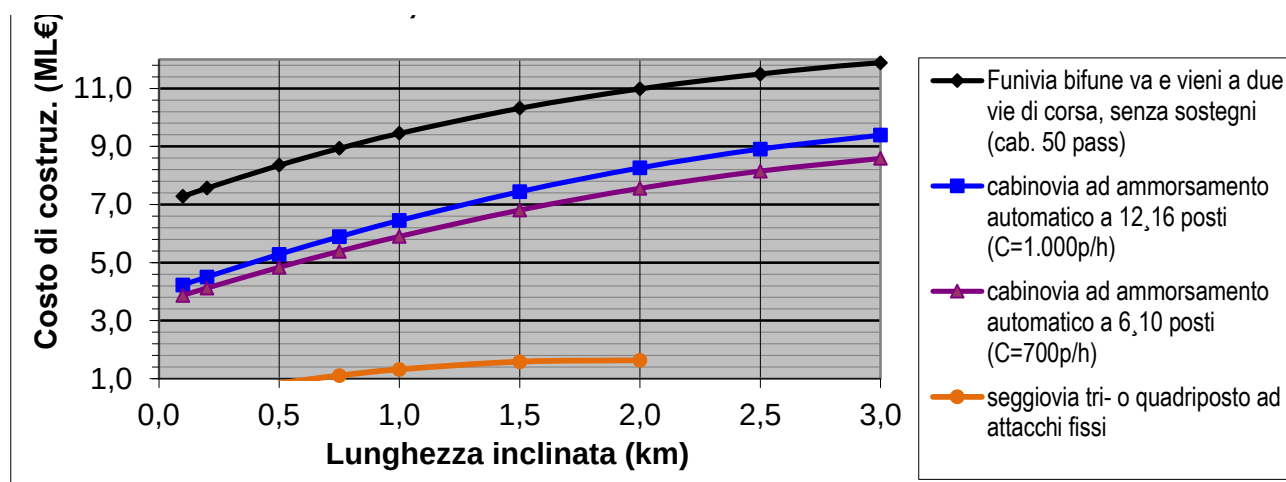


Figura 17: Costo di realizzazione in funzione della lunghezza inclinata, calcolato in base al DPP. 41/2020

La funivia bifune a vai e vieni e la seggiovia monofune ad ammortamento fisso si confermano le tipologie di impianto aereo rispettivamente più costosa e più economica fra quelle considerate nel DPP, richiedendo un investimento di ordine decisamente diverso sebbene, come è noto, la differenza in termini di prestazioni sia enorme e di conseguenza il campo di impiego sia differente. Purtroppo la sensibile riduzione di costo della seggiovia in questione rispetto al valore calcolato con il DPP 2006 (si veda Petruccelli, 2013) e con il DPP 2012 lascia intuire qualche errore nei coefficienti dettati dal DPP 2020. Le cabinovie monofune ad ammortamento temporaneo si collocano in una fascia di costo e di prestazioni intermedia.

Con l'obiettivo di verificare le variazioni intercorse nei costi di costruzione dal 2006 ad oggi si sono messi a confronto i risultati ottenuti dalle formulazioni previste nei successivi aggiornamenti della normativa; detto confronto è stato possibile esclusivamente per impianti equivalenti contemplati nei diversi DPP. È da notare che, nella tipologia di funivia bifune a vai e vieni con doppia via di corsa, il DPP 2012 comprende anche la tecnologia tipo Funifor, non contemplata nel DPP 2006 probabilmente perché all'epoca inesistente; al contrario nel DPP 2020 la tipologia Funifor viene contemplata, sia con una sola via di corsa (1 vettura) che con due (2 vetture), ed il costo di realizzazione viene ottenuto moltiplicando, rispettivamente per il coefficiente correttivo 0,69 e 1,08, il costo calcolato per la funivia bifune a vai e vieni.

Il raffronto dei valori rilevabili in figura 17 con quelli riportati in Petruccelli (2013) fa registrare aumenti di costo variabili a seconda della tipologia di impianto ma sempre ben superiori all'indice medio di inflazione FOI registrato dell'Istat nel periodo compreso fra il 2006 ed il 2020 e lascia quindi sospettare una sottostima dei valori calcolati in base al DPP 2006 oppure una sovrastima di quelli risultanti dal DPP 2020. Fanno eccezione i costi delle seggiovie tri o quadriposto ad ammortamento fisso che invece hanno fatto registrare nello stesso periodo una forte riduzione (circa il -30%) e che quindi sembrano poco rappresentativi della realtà.

È comunque da considerare che le formulazioni ed i relativi coefficienti stabiliti dai DPP della Provincia di Bolzano sono ricavati da regressioni su data base riferiti ad impianti esistenti i cui costi reali possono essere influenzati anche sensibilmente dal contesto territoriale, orografico e geologico delle realizzazioni nonché dalle soluzioni architettoniche adottate per le stazioni e infine dal numero molto ridotto di imprese partecipanti alla gara per l'affidamento dei lavori di costruzione.

Per quanto attiene la ripartizione del costo di realizzazione fra le categorie di opere necessarie, aspetto trattato in tutti e tre i DPP, è da rilevare una sostanziale invarianza di questi dati. La figura 18 rappresenta la ripartizione dei costi per alcune tipologie di impianti più comuni secondo quanto stabilito nel DPP del 2020. Rispetto ai due DPP precedenti viene omessa la funivia classica bifune a vai e vieni a due vie di corsa, per la quale quindi non resta che fare riferimento ai due decreti meno recenti. Come è da attendersi, le opere elettromeccaniche hanno un peso appena di poco inferiore nelle seggiovie (74%) rispetto alle cabinovie (76 e 77%).

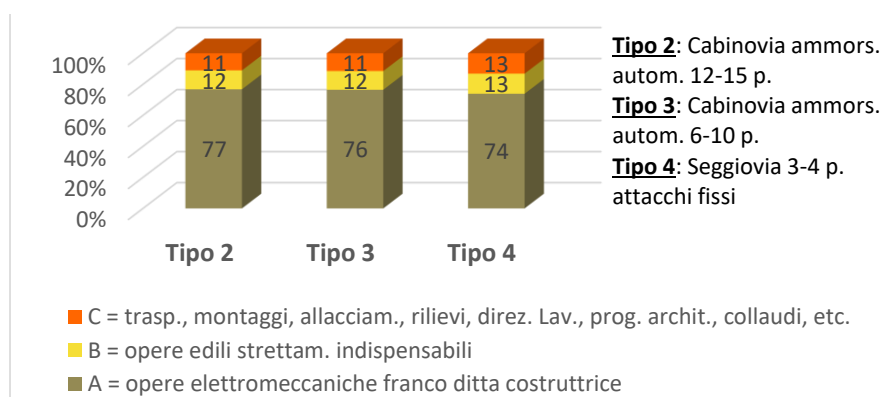


Figura 18: Ripartizione percentuale del costo di realizzazione fra le diverse categorie di opere, per alcune tipologie di impianti, in base al DPP della Provincia di Bolzano del 2020.

5. I costi di esercizio

Il costo di esercizio di un impianto funiviario è influenzato da diversi fattori, quali il personale, l'energia, gli ammortamenti, le manutenzioni, le concessioni. La tabella 3 rappresenta un aggiornamento della omologa tabella di Petruccelli (2013) che era stata compilata su dati di base medi forniti da una primaria ditta costruttrice di impianti di trasporto a fune nel 2012. In particolare vengono ripresi ed aggiornati i costi di realizzazione (prezzo budget per impianto escluso i sostegni - differenti da quelli calcolabili con i DPP della provincia di Bolzano) ed il numero minimo di unità di personale necessario per l'esercizio. Quest'ultimo certamente invariato dal 2012 ad oggi è stato estrapolato per adattarlo al caso della funivia automatica (non considerata in Petruccelli, 2013) che prevede il solo personale addetto al telecontrollo.

E' da evidenziare che l'art.31 bis della L.164/2014 (Repubblica Italiana, 2014) ha previsto di fatto la eliminazione della scadenza per la vita tecnica degli impianti a fune precedentemente stabilita dal D.M. 1533/1985

(Repubblica Italiana, 1985) e già abrogata dal D.Lgs.210/2003 (Repubblica Italiana, 2003) per i soli impianti provvisti del marchio CE. Ciò influisce sull'ammortamento e sull'interesse del capitale investito, voci che tuttavia sono state tralasciate nella determinazione del costo complessivo di esercizio, nell'ipotesi che la realizzazione goda di finanziamenti pubblici a fondo perduto, come spesso accade nel trasporto pubblico locale.

I valori assunti per aggiornare la tabella 3 sono scaturiti dalle seguenti considerazioni.

- L'indice FOI di rivalutazione dei prezzi al consumo dal 2012 al 2022 è di circa il 7% (fonte Istat).
- Il prezzo dell'energia è stato stimato prudenzialmente pari 0,30 €/kw·h, valore che risente dell'attuale instabilità del mercato. È da tenere presente che questo prezzo è sensibilmente influenzato dalle caratteristiche della elettricità richiesta al provider nonché della fonte di approvvigionamento. Pertanto è presumibile che il costo dell'energia possa risultare inferiore a quello assunto in questa sede se la fornitura avverrà in media tensione e ancora di più se l'elettricità dovesse essere prodotta con impianti ad energia rinnovabile realizzati con forti incentivi finanziari, come probabilmente accadrà nel prossimo futuro con la creazione delle comunità energetiche rinnovabili (CER) che alcuni comuni dell'area Mitigo hanno in progetto.
- Come è noto, la potenza media assorbita da ciascun impianto varia notevolmente in funzione della lunghezza e del dislivello superato, della velocità di marcia e del numero di persone presenti su ciascun ramo, nonché della lunghezza delle campate e della tensione della fune che insieme determinano gli abbassamenti e quindi le pendenze da superare nei diversi punti di ciascuna campata. Pertanto, per determinare la potenza media da utilizzare nella stima del consumo di energia, si è volutamente evitato di assumere un valore riferito ad una specifica realizzazione che avrebbe impedito la generalizzazione dei risultati ottenuti e invece si è preferito considerare la potenza che più frequentemente si riscontra nelle realizzazioni. È evidente che detto valore è solo orientativo e di conseguenza lo è anche l'incidenza della voce energia sul totale dei costi di esercizio.
- Dal momento che si fa riferimento ad impianti di trasferimento, il tempo di servizio è stato assunto pari a circa 16 ore e mezza al giorno per 365 giorni all'anno, in modo da considerare 2,5 turni di lavoro al giorno, da 6 ore e 40 minuti ciascuno, per il personale addetto. Il costo annuo medio per ciascun addetto è stato assunto pari a Euro 45.000 con un impegno annuo medio effettivo di 1700 ore lavorate. Le unità di personale necessarie sono state incrementate del 20% con il minimo di una unità. Il programma di esercizio ipotizzato, che comporta un funzionamento continuativo dalle 6,00 alle 22,30, è giustificato dalla volontà di soddisfare non solo la mobilità turistica ma anche e soprattutto quella (sistematica e non) dei centri serviti, fra loro e verso la SS.407, e anche la mobilità urbana conseguente alla prospettiva di una stretta integrazione funzionale (o addirittura di fusione) di comuni distanti tra loro solo qualche chilometro in linea d'aria, resa possibile proprio dalle connessioni rapide garantite dal trasporto a fune. È comunque da precisare che il calcolo del costo di esercizio qui sviluppato è riportato in cascata nella tabella 3 con ciascuna delle voci che lo compongono e pertanto il lettore può, se lo desidera, variare le sole voci che si dovessero discostare dalla realtà della specifica realizzazione o condizione di utilizzo in esame. Ciò evidentemente vale anche per le ore di funzionamento che possono essere variate per rispecchiare differenti programmi di esercizio.

Sistema	Seggiovia	Seggiovia	Cabinovia	Funivia	Funivia automatica
	CLF	CLD	MGD	ATW	ATW
Principio	Monofune	Monofune	Monofune	Bifune	Bifune
Ammorsamento	fisso	temporaneo	temporaneo	fisso	fisso
Movimentazione	continua	continua	continua	Va e vieni	Va e vieni
Prezzo budget. 2022 per impianto escluso sostegni (ML€)	3,3	5,4	8,8	12,9	12,95
Lunghezza esempio	1 km	1 km	1 km	1 km	1 km
A. Forniture elettromecc. (incid. media 2006/12/20 - ML€)	2,5	4,2	6,6	8,1	8,1
B. Opere edili (incid media 2006/12/20 - ML€)	0,4	0,5	0,9	2,1	2,1
C. Trasporti, montaggi, etc (incid media 2006/12/20 - ML€)	0,4	0,8	1,2	2,7	2,7
Personale minimo per turno di lavoro	4	6	6	6	2
Manut. Ordinaria (% annua del costo di realizzazione)	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Manut. Straordinaria (% annua del costo di realizzazione)	0,8%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
Prima revisione generale anno	15	20	20	20	20
Seconda revisione generale anno	30	30	30	40	40
Vita economica per ammortamento	40	40	40	60	60
Personale complessivo per tutti i turni di lavoro (3 turni / g)	11	16	16	16	6
Costo compless. del personale (€/anno)	495000	720000	720000	720000	270000
Costo del personale di esercizio (€/h)	81	118	118	118	44
Costo manut. Ordinaria (€/anno)	49000	81000	132000	194000	194000
Costo manut. Straord. (€/anno)	26000	54000	88000	129000	129000
Costo manut. Ordinaria (€/ora)	8	13	22	32	32
Costo manut. Straord. (€/ora)	4	9	14	21	21
Potenza media assorbita (kw)	150	250	350	500	500
Costo energia (€/ora)	45	75	105	150	150
Costo di esercizio compless. (€/ora)	139	216	260	321	247
Incidenza personale	58,7%	54,9%	45,6%	36,8%	17,9%
Incidenza manutenzione ordinaria	5,8%	6,2%	8,4%	9,9%	12,9%
incidenza manutenzione straordinaria	3,1%	4,1%	5,6%	6,6%	8,6%
incidenza energia	32,4%	34,8%	40,5%	46,7%	60,6%

Tabella 3: Stima delle voci del costo medio di esercizio per alcune tipologie di impianto in base a determinate caratteristiche tecniche e di servizio

Le percentuali di incidenza delle diverse voci di costo calcolate nella tabella 3 sono evidentemente condizionate dal peso del fattore energia, che può assumere un'ampia gamma di valori, in conseguenza della potenza media assorbita, a cui si è già accennato, e del prezzo dell'energia. Quest'ultima è la voce di costo di maggiore incidenza dopo quella del personale. Le manutenzioni, sebbene abbastanza onerose incidono per una percentuale non elevata, compresa fra il 9 ed il 21% circa, per effetto anche dell'elevato numero di ore di esercizio all'anno ipotizzate. Detta percentuale può assumersi nella sostanza della stessa entità anche per la funivia automatica, sia in conseguenza del livello di approssimazione dei dati qui riportati, sia per la scarsa incidenza dei costi di manutenzione delle apparecchiature di controllo della marcia che devono gestire un sistema di trasporto per sua natura già orientato all'automazione, quale è quello a fune. Non stupisce quindi che la funivia automatica, che richiede la presenza del solo personale addetto al telecontrollo qui assunto in numero di 2 unità, possa presentare un abbattimento dell'incidenza dei costi del personale e di conseguenza una riduzione consistente del costo complessivo di esercizio.

Ne consegue l'importanza di realizzare impianti automatici la cui sostenibilità economica nel lungo periodo compensa, soprattutto in presenza di scarsa utenza, eventuali complicazioni impiantistiche necessarie per il

telecontrollo e i dispositivi di sicurezza aggiuntivi. L'automazione non implica la scelta di una particolare tecnologia funiviaria ma, dovendosi rispettare l'esigenza imposta dalla normativa di effettuare l'imbarco e lo sbarco delle cabine o seggiole da ferme, obbliga ad escludere gli impianti a moto continuo con collegamento permanente dei veicoli. In quelli a moto continuo con collegamento temporaneo per realizzare l'automazione è necessario attrezzare le stazioni in modo da consentire ai veicoli una volta scollegati dalla fune di fermarsi completamente durante le operazioni di imbarco e sbarco. Ciò aumenta i tempi di permanenza delle cabine in stazione e obbliga ad aumentare l'intervallo minimo fra i veicoli successivi con conseguente leggera riduzione della capacità di trasporto.

CONCLUSIONI

Quanto discusso si presta ad alcune considerazioni sull'importanza e gli effetti di alcune innovazioni presentate nonché sulla possibilità di impiegare impianti di trasporto a fune tradizionali o innovativi per collegare alcuni comuni dell'area di studio del Progetto Mitigo.

Certamente condivisibili sono gli obiettivi verso i quali la tecnologia funiviaria sembra orientata a svilupparsi e cioè:

- la riduzione del costo di realizzazione e di esercizio per rendere questo importante sistema di trasporto proponibile anche in presenza di una domanda contenuta;
- il potenziamento delle prestazioni quali capacità, velocità, e lunghezza delle campate per soddisfare una domanda numericamente rilevante e sensibile alle prestazioni ed un contesto sociale attento all'impatto paesaggistico;
- il miglioramento della sicurezza che consenta di non dover prevedere dispositivi, azioni e programmi di recupero necessari a seguito di gravi anomalie nel funzionamento (quali freni di emergenza, piani di evacuazione, ecc.).

Le innovazioni tecnologiche riguardano prevalentemente il raddoppio della fune portante-traente nei monofune e portante nei bifune che migliora sensibilmente la stabilità trasversale alle cabine e permette di realizzare campate più lunghe nonché, nei bifune, di disporre in campata di sostegni per la fune traente con conseguente riduzione del rischio di impigliamento di quest'ultima. Detta innovazione applicata alla tradizionale cabinovia monofune dà luogo ad un sistema ibrido (comunemente indicato come 3S) che presenta funi diversificate per sostentazione e trazione, come un bifune, e moto continuo tipico del monofune con conseguente elevata capacità di trasporto anche su percorsi lunghi. Una innovazione associata alla doppia portante nelle funivie e vai e vieni è rappresentata dalle due cabine indipendenti mosse da due anelli trattivi diversi, con azionamenti autonomi che conferiscono all'impianto grande adattabilità alla domanda e la possibilità di utilizzare una cabina per effettuare l'evacuazione dell'altra rimasta bloccata in linea ed evitare così i metodi tradizionali, verticali o orizzontali.

Interessanti e con buone prospettive di impiego si presentano i sistemi bimodali che prevedono la possibilità di distaccare la cabina dall'impianto e farla proseguire come veicolo autonomo a terra lungo una rotaia di guida o sospeso ad una monorotaia. È evidente l'efficacia di questi sistemi nel migliorare l'accessibilità alle stazioni dell'impianto a fune, spesso per motivi orografici collocate in posizione decentrata rispetto all'abitato in quota da collegare.

La realizzazione di impianti a fune per offrire collegamenti veloci dei comuni di interesse per Mitigo, fra loro e con le infrastrutture di fondovalle, deve comunque tenere presente alcuni aspetti specifici importanti.

Il primo riguarda la possibilità di ottenere su fune consistenti vantaggi in termini di tempi di viaggio rispetto al trasporto stradale. Questa condizione imprescindibile è tanto più verificata quanto maggiori sono i dislivelli

dei punti da collegare o del territorio da attraversare, fra i quali la strada, dovendo conservare pendenze accettabili, deve necessariamente sviluppare percorsi molto più lunghi di un collegamento diretto possibile su fune. Il vantaggio in termini di tempo di viaggio va perseguito anche attraverso un'attenta ubicazione delle stazioni il più possibile centrale rispetto agli abitati da servire e vicino ai punti di accesso alle infrastrutture principali (strade veloci o ferrovie) con cui si vuole realizzare l'integrazione. Per ridurre i tempi di interscambio fra i sistemi o per raggiungere direttamente aree centrali degli abitati o altri poli attrattori di domanda risultano di grande interesse i sistemi bimodali fune – strada del tipo Connx tenendo presente tutte le problematiche che possono derivare dall'adozione di sistemi non ancora realizzati e coperti da brevetto.

Altro aspetto importante concerne la presenza nelle aree interessate di numerose zone di instabilità dei terreni che vincola sensibilmente la ubicazione delle stazioni e limita di molto la possibilità di disporre di sostegni intermedi per le funi, obbligando molto spesso la scelta della tecnologia verso impianti del tipo bifune o assimilabili di costo più elevato.

Il punto più importante da considerare resta comunque la sostenibilità economica di questi sistemi di trasporto nelle aree a domanda scarsa e diffusa e con forte tendenza allo spopolamento quali sono quelle di interesse di Mitigo. Si tratta infatti di sistemi che, a fronte di una riduzione consistente dei tempi di viaggio rispetto alla strada, comportano costi di impianto e di gestione di un certo rilievo la cui giustificazione non è scontata in presenza di una domanda particolarmente modesta ad oggi ed in prospettiva. Pertanto investimenti di questo tipo vanno visti non come la semplice predisposizione di una offerta innovativa di mobilità ma come un vero e proprio volano di sviluppo sia turistico che sociale. Mentre sono noti, almeno in termini qualitativi, gli effetti favorevoli prodotti dagli impianti a fune sull'attrattività di località e aree a vocazione turistica, meno note certamente sono le possibili ricadute in termini di sostegno al rafforzamento della rete dei servizi sul territorio e al miglioramento della qualità di vita dei residenti e di conseguenza il possibile contributo ad arrestare o addirittura ad invertire la tendenza allo spopolamento in atto. Si evidenzia quindi la necessità di sviluppare studi specifici sulle aree in esame e studi di fattibilità tecnico- economica per ogni collegamento che valutino in modo quantitativo ciascuna delle ricadute possibili. Come è noto, questi studi sono tradizionalmente supportati da analisi economiche del tipo benefici – costi che ben si prestano a valutare la redditività di investimenti caratterizzati prevalentemente da un consistente costo iniziale che produce benefici monetizzabili rappresentati, nel settore dei trasporti, prioritariamente dal risparmio di tempo e carburante per gli utenti dell'offerta da realizzare. È evidente che, in presenza di un numero di utenti molto ridotto questi benefici risultano minimi mentre assumono maggiore peso quelli connessi alla sostenibilità ambientale e sociale che sono difficilmente monetizzabili. Sarebbe quindi importante che gli studi di fattibilità tecnico-economica da redigere venissero supportati anche da tecniche di analisi più avanzate, quali la multicriteri, che possono tener conto con maggiore oggettività dei numerosi benefici non monetizzabili ottenibili dalla realizzazione di un impianto di trasporto a fune in un contesto come quello dell'area di studio del Progetto Mitigo.

Bibliografia

Affatato M., Blengini S., Dalla Chiara B., Vair E. (2015). Automated People Mover con trazione a fune: progettazione e modellizzazione di una soluzione ibrida innovativa finalizzata al risparmio energetico. *Ingegneria Ferroviaria*, 11.

Alshalalfah B., Shalaby A., Dale S., Othman F. M. Y. (2012). *Aerial ropeway transportation systems in the urban environment: state of the art*. Journal of Transportation Engineering ASCE 138, pp. 253-262.

Caserza S., (2019) Soccorso nelle funivie a va e vieni: soluzioni tradizionali e proposta di un approccio integrato - Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, Relatore prof. Bruno Dalla Chiara, Politecnico di Torino. <https://webthesis.biblio.polito.it/11817/1/tesi.pdf>

Confederazione Svizzera, Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC Ufficio federale dei trasporti UFT _Divisione Sicurezza Funivie a va e vieni, Azionamento dei freni sulla fune portante. RAPPORTO UFT n. registrazione/dossier: 021.58/2013-03-12/192.

https://www.bav.admin.ch/dam/bav/it/dokumente/verkehrstraeger/bericht_einfall_tragseilbremse.pdf.download.pdf/rapporto_azionamentodeifrenisullafuneportantedellefuniviaevie.pdf

Dalla Chiara B., Alberto D., Zanotti G. *Impianti a fune per trasporto persone e materiali – Evoluzione, elementi costruttivi, progettazione ed esercizio*. EGAF – Forlì (IT). 2022.

Petrucelli U. “Impianti di trasporto a fune ed a nastro: prestazioni e costi conseguenti alle recenti normative tecniche”, *Ingegneria Ferroviaria*, n. 4/2013, CIFI, Roma.

Petrucelli U., Fabrizio D. (2023). *Innovazioni normative, tecnologiche ed operative nei trasporti a fune*. *Ingegneria Ferroviaria* – CIFI. N.2.

Provincia autonoma di Bolzano, Decreto del Presidente 13 novembre 2006, n. 61. *Regolamento di esecuzione circa la costruzione e l'esercizio di impianti a fune in servizio pubblico*.

Provincia autonoma di Bolzano, Decreto del Presidente 5 dicembre 2012, n. 44. *Modifiche al regolamento sull'esercizio di linee di trasporto funiviario in servizio pubblico D.P.P. 13 novembre 2006, n. 61 - Allegato A: Formula di calcolo del costo di costruzione di impianti funiviari in servizio pubblico*.

Provincia autonoma di Bolzano, Decreto del Presidente della Provincia 12 novembre 2020, n. 41. *Modifica del Decreto del Presidente della Provincia del 13 novembre 2006, n. 61, “Regolamento di esecuzione circa la costruzione e l'esercizio di impianti a fune in servizio pubblico”*

Repubblica Italiana, Decreto Legislativo 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*.

Repubblica Italiana, Legge 11 novembre 2014, n. 164, articolo 31 bis

Repubblica Italiana, Ministero dei Trasporti e della Navigazione, Decreto n. 400 del 4 agosto 1998. *Regolamento generale recante norme per le funicolari aeree e terrestri in servizio pubblico destinate al trasporto di persone*.

Repubblica Italiana, Ministero dei Trasporti, Decreto 5 giugno 1985 n.1533. *Disposizioni per i direttori ed i responsabili dell'esercizio e relativi sostituti e per gli assistenti tecnici preposti ai servizi di pubblico trasporto effettuati mediante impianti funicolari aerei o terrestri*.

Repubblica Italiana, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto Dirigenziale 16 Novembre 2012, n.337. *Disposizioni e prescrizioni tecniche per le infrastrutture degli impianti a fune adibiti al trasporto di persone. Armonizzazione delle norme e delle procedure con il decreto legislativo 12 giugno 2003, n. 210, di attuazione della direttiva europea 2000/9/ce*.

Repubblica Italiana, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto 11 maggio 2017, n.86. *Impianti aerei e terrestri - Disposizioni tecniche riguardanti l'esercizio e la manutenzione degli impianti a fune adibiti al trasporto pubblico di persone*.

DG-TPL-STIF- Direzione Generale per il trasporto pubblico locale ed i sistemi di trasporto ad impianti fissi), Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Repubblica Italiana, Commissione per le funicolari aeree e terrestri - Comitato Relatore Istituito con nota DGTPS STIF RU 1454 del 28/02/2017 per l'esame

del progetto Soccorso Integrato per le funivie Funifor - Relazione Istruttoria.
<https://www.mit.gov.it/temi/trasporti/trasporto-pubblico-locale/documentazione?page=3>

Repubblica Italiana, Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili, Decreto Dirigenziale 18 Giugno 2021, n. 172. *“Disposizioni e specifiche tecniche per le infrastrutture degli impianti a fune adibiti al trasporto di persone”*.

Sproule W. J, *Automated people movers and automated transit systems 2022* - Proceedings of the 18th international conference on automated people movers and automated transit systems. ASCE (American Society of Civil Engineers), 2022.

UNI EN 12929-2:2015 - *Requisiti di sicurezza per gli impianti a fune progettati per il trasporto di persone - Disposizioni generali - Parte 2: Requisiti addizionali per le funivie bifune a va e vieni con vetture senza freni sul carrello*.





www.mitigoinbasilicata.it

Obiettivo Realizzativo n. 7 Soluzioni innovative di mobilità

Questa pubblicazione è stata realizzata con il cofinanziamento dell'Unione Europea - FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020.

www.ponricerca.gov.it

Responsabile della pubblicazione: prof. Umberto Petruccelli

Università degli Studi della Basilicata

Scuola di Ingegneria

Via dell'Ateneo Lucano 10

85100 Potenza