



## Impianti di trasporto a fune ed a nastro: prestazioni e costi conseguenti alle recenti normative tecniche

### *Cable and belt transport systems: performances and costs resulting from the new technical standards*

Prof. Ing. Umberto PETRUCCELLI<sup>(\*)</sup>

#### 1. Tema

Sulla base delle specifiche norme tecniche in vigore, si sviluppa uno studio circa le prestazioni ed i costi degli impianti di trasporto a fune ed a nastro utilizzabili in ambito urbano per gli spostamenti di breve e medio raggio.

In particolare si analizzano le conseguenze, sulle prestazioni dei sistemi di trasporto in questione, delle prescrizioni contenute nella normativa degli ultimi cinquant'anni e nelle "Disposizioni e prescrizioni tecniche per le infrastrutture degli impianti a fune adibiti al trasporto di persone" emanate lo scorso anno dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (D.D. n. 337 del 16.11.2012). L'elaborazione critica di dati tratti da fonti diverse (ditte costruttrici, recenti realizzazioni, tariffe dei prezzi per opere pubbliche) permette poi di ricavare valori di riferimento per i costi di costruzione e di esercizio di questi sistemi.

\* \* \*

Un ruolo importante nell'ambito della mobilità urbana è svolto dagli impianti fissi di trasporto, generalmente caratterizzati da un ampio intervallo di capacità e dalla massima regolarità di marcia conseguente all'utilizzo di una sede dedicata. A tal proposito il diagramma di fig. 1 (tratto da [16], [17]), fornisce un'indicazione circa il campo di utilizzazione ottimale dei diversi sistemi di trasporto urbano riportando in ascissa la lunghezza della linea e in ordinata la capacità. Si nota come i sistemi tradizionali, quali autobus, tram e metropolitana, lascino ampie aree scoperte nel campo delle piccole e medie lunghezze di linea (1-10 km) e delle medie capacità (2.000-10.000 pass./h). Questi campi di utilizzazione possono essere coperti, sulle medie lunghezze, dai sistemi a fune o da altre tipologie di personal rapid transit o di metro leggera e, su lunghezze ridotte (inferiori al chilometro), dai nastri.

#### 1. Topic

On the basis of the special standards in force, we develop a study about the performances and the costs of the cable and belt transport systems suitable in urban areas for short and medium range trips.

Particularly we analyze the effects, on these transport systems performances, of the requirements in the rules of the last fifty years and in the "Provisions and technical requirements for the infrastructures of the passenger cable installations" issued last year by the Italian Ministry of Infrastructures and Transports (D.D. n. 337 del 16.11.2012). A critical processing of the data drawn from different sources (manufacturer companies, made installations, price lists for public works) then allows to obtain reference values of the building and running costs for these systems.

\* \* \*

An important role in urban mobility is played by the fixed transport installations, generally characterized by a wide range of capacity and the maximum service regularity resulting in the use of a own runway. In this regard, the graph in fig. 1, taken from [16] and [17], provides an indication of the range of optimum use of the urban transport systems reporting in abscissa the length of the line and in ordinate the capacity. You can see that the traditional systems, such as buses, trams and metro, leave large open areas in the field of small and medium-sized line lengths (1-10 km) and medium capacity (2.000-10.000 pass./h). These fields of use can be covered, on the small line lengths, by cable systems or by other types of personal rapid transit or of light metro and, on small lengths (lower than 1 kilometer), by belts (escalators and moving walkways).

In Italy, fixed transport installations fall under the control of "Special offices for fixed transport installations"

<sup>(\*)</sup> Università della Basilicata – Scuola di Ingegneria – Potenza.

<sup>(\*)</sup> School of Engineering - University of Basilicata - Potenza.

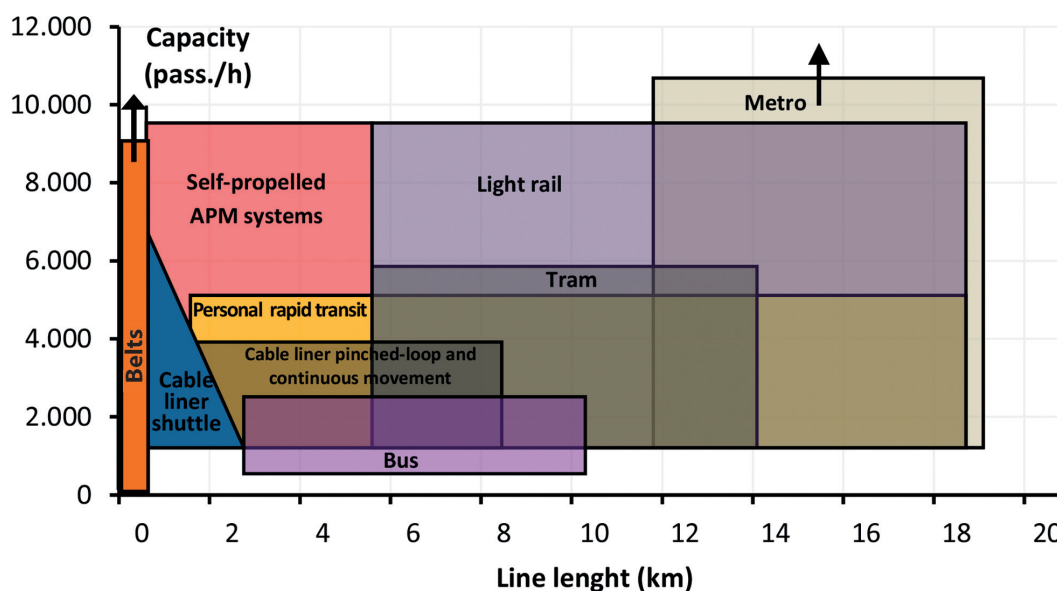


Fig. 1 – Campo di utilizzazione ottimale dei principali sistemi di trasporto urbano.

Fig. 1 – Range of optimum use for the main urban transport systems.

In Italia, gli impianti fissi di trasporto ricadono sotto il controllo degli "Uffici speciali trasporti a impianti fissi" (USTIF)<sup>(1)</sup>. Detti Uffici hanno competenza su ferrovie in concessione, metropolitane e sistemi assimilabili, tramvie, filovie, funicolari aeree e terrestri, ascensori pubblici, scale e marciapiedi mobili, servoscale e sistemi ettometrici e per tutti questi sistemi rilasciano il nulla osta necessario, ai fini della sicurezza, all'entrata in servizio di impianti nuovi o sottoposti a consistenti ammodernamenti.

Gli impianti fissi di trasporto, in Italia, erano regolamentati, fino a qualche mese fa, da una normativa molto articolata, soggetta a continui aggiornamenti anche attraverso il recepimento di norme europee. Solo recentemente il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha rielaborato la normativa relativa alle funivie, funicolari, sciovie e slittovie in servizio pubblico, adeguandola ed integrandola anche con le disposizioni atte a soddisfare i requisiti essenziali di cui all'allegato II della Direttiva 2000/9/CE [3] ed ha emanato, attraverso il Decreto della Direzione Generale per il Trasporto Pubblico Locale n.

(USTIF)<sup>(1)</sup>. These offices have jurisdiction over railways in concession, metro and similar systems, tramways, trolley buses, air and land cable-car, public elevators, escalators and moving walks, stairlifts and hectometer systems and they issue the clearance of safety required for all these systems to start operating also after their substantial upgrading.

Fixed transport installations in Italy were regulated, until a few months ago, by many rules that are frequently updated also through the transposition of European standards. Recently the Italian Ministry of Infrastructure and Transport has revised the technical rules on cableways, funiculars, skilifts and sledways in public service, conforming and integrating them also by provisions meeting the essential requirements of the 2009/9 CE European Directive, annex II [3]. Therefore the Ministry has issued, by the Decree of the Directorate for Public Transport n.337 of 16.11.2012, the "Technical provisions and requirements for passenger cable-cars".

Usually the technical rules for these installations, aimed to ensure the safety, define some performance, as capacity,

<sup>(1)</sup> Gli USTIF sono un organo periferico del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti dipendente dal Dipartimento per i Trasporti, la Navigazione ed i Sistemi Informativi e Statistici - Direzione Generale della Motorizzazione Civile. Sono stati istituiti con la legge 870/1986 per svolgere i compiti che fino ad allora erano demandati agli Uffici provinciali della Motorizzazione Civile.

<sup>(1)</sup> The USTIFs are a branch office of the Italian Ministry of Infrastructure and Transport dependent on the Department for Transport, Navigation and Information and Statistical Systems - Directorate of Driver and Vehicle Licensing Agency. They were established by Italian Law 870/1986 to fulfill the tasks previously assigned to the Local Offices Driver and Vehicle Licensing Agency.

337 del 16.11.2012, le "Disposizioni e prescrizioni tecniche per le infrastrutture degli impianti a fune adibiti al trasporto di persone" [1].

Spesso le prescrizioni contenute nelle norme, finalizzate essenzialmente a garantire la sicurezza, definiscono alcune prestazioni, quali capacità, velocità e pendenza superabile, ovvero alcune caratteristiche di realizzazione o di esercizio, andando talvolta ad incidere anche sui relativi costi e quindi sul campo di utilizzazione ottimale. Dunque è molto importante ridefinire prestazioni e costi effettivi alla luce della normativa che regola la costruzione e l'esercizio di ciascun sistema, per ottenere valori realistici di tali parametri e supportare correttamente le scelte a livello di piano o di studio di prefattibilità e comunque di selezione del sistema più idoneo a risolvere una specifica problematica di trasporto.

Oggetto del presente lavoro sono gli impianti fissi di trasporto utilizzabili nel settore della mobilità urbana di breve e medio raggio, con esclusione delle più tradizionali ferrovie, tramvie, filovie e degli impianti dedicati a specifiche categorie di utenti (per esempio sciatori con gli sci ai piedi o disabili in carrozzina) e con particolare attenzione invece alle tipologie in grado di superare pendenze elevate cioè maggiori di quelle tipiche della ferrovia e della strada. Si sono pertanto presi in considerazione gli impianti a fune (funicolari aeree e terrestri e ascensori verticali ed inclinati) e quelli a nastro (scale e marciapiedi mobili) per i quali sono state analizzate le specifiche normative evidenziando tutte le prescrizioni in grado di impattare sulle prestazioni e sui costi, quindi si sono definiti valori effettivamente raggiungibili per le prestazioni e valori realistici per i costi di costruzione e di esercizio.

La memoria, dopo la presente introduzione che definisce l'ambito e le finalità dello studio, si sviluppa in altri tre successivi capitoli. Il secondo discute, prima in generale e poi per ciascun sistema, le prescrizioni contenute nella normativa e rielabora caratteristiche e prestazioni nel rispetto di tali prescrizioni. Il terzo prende in considerazione le imposizioni che incidono sui costi di realizzazione e di esercizio in termini di maggiori complicazioni costruttive e di numero di unità di personale richieste per l'esercizio e, sulla base di tali specificazioni, ricava valori realistici dei costi. Le stime si avvalgono di elaborazioni su dati estratti da varie fonti e forniscono valori del costo di realizzazione e di esercizio anche parametrizzati per unità di lunghezza dell'impianto e per unità di dislivello superato. I risultati sono sintetizzati nel quarto ed ultimo capitolo attraverso più tabelle riepilogative. In particolare la prima riporta le prestazioni (capacità, numero di passeggeri in linea, pendenza, velocità, accelerazione, capacità del veicolo, intervallo fra i veicoli e altezza massima dal suolo) conseguenti all'applicazione articolata delle diverse prescrizioni. La seconda riporta, in termini qualitativi, l'influenza della normativa e di alcune caratteristiche delle tipologie di impianti fissi trattati sul costo di realizzazione e su quello di esercizio utilizzando giudi-

maximum speed and slope or rather some building or running features sometimes also affecting costs and therefore the range of optimal use. So it is very important to redefine performance and costs in the light of the rules regulating the building and running of each system, in order to draw realistic values of these parameters and properly support the choices at the planning or pre-feasibility study and whenever we have to select the most suitable system to solve a specific transport problem.

This work topic are fixed transport installations fit to the short and medium range urban mobility, excepted the traditional railways, tramways, trolleybuses and the systems restricted to specific users (as skiers with skis or wheelchair users), with particular attention to the types able to overcome steep slopes that is greater than those typical of the railway and the road. Therefore we considered the cable-cars (air and ground funicular, vertical and inclined elevators) and the belts (escalators and moving walkways) and we analyzed their specific regulations showing all the requirements can affect the performance and the costs and then we quantified these effects. Finally we defined actually achievable values of the performance and realistic values of the building and running costs.

The paper, after this introduction that defines the scope and purpose of the study, is developed in three other sections. The second one discusses, for each system, the requirements contained in the relevant technical rules and elaborates features and performance in compliance with those requirements. The third one takes into account the prescriptions affecting building and running costs in terms of major structural complications and the number of staff members required for the operation and, based on these specifications, it draws realistic values of these costs. The estimates use also data from various sources and the indications provided by manufacturers of certain types of installation and provide values of the building and running costs also parameterized per unit of length and per unit of height difference. The results are summarized in the fourth and final section through multiple summary tables. In particular, the first one shows the performance (capacity, number of passengers in line, slope, speed, acceleration, vehicle capacity, interval between vehicles and maximum height from the ground) resulting from the articulated application of the different requirements. The second table reports, in qualitative terms, the influence, on the building and running costs, of the rules and of some characteristics of the considered fixed installations, using value judgments to indicate the capability of each system to face certain problems. The third table compares the building and running costs of the systems, highlighting the impact on the latter of staff costs and depreciation resulting from the definition by the rules of a well-set service life. Therefore, the last section provides summary information to make a deliberate choice among alternative transport systems based on a deep knowledge of potential and limitations of those systems not frequently used in urban transport, such as cable-cars and belts.

zi di valore per indicare la propensione di ciascun sistema a superare determinate problematiche. La terza tabella mette a confronto i costi di realizzazione e di esercizio dei diversi sistemi evidenziando l'incidenza su ciascuno di essi delle spese per il personale e della voce ammortamento conseguente alla definizione, da parte della normativa, di una ben definita vita tecnica. Pertanto l'ultimo capitolo fornisce le informazioni di sintesi per operare una scelta ragionata fra sistemi di trasporto alternativi basata sulla conoscenza approfondita di potenzialità e limiti propri dei sistemi non frequentemente utilizzati nel trasporto urbano, quali gli impianti a fune ed a nastro.

## 2. Prestazioni

La nuova normativa [1] detta alcune prescrizioni comuni a molte tipologie di impianti a cui si accenna di seguito.

Al tracciato delle funicolari non sono imposte limitazioni esplicite ma valori massimi sono fissati per le azioni trasferite dal veicolo ai passeggeri, come specificato nel paragrafo dedicato a tali impianti. È invece stabilito che il tracciato delle funivie di qualsiasi tipo è in generale rettilineo fra una stazione e l'altra (punto 3.1.3.1) e che le eventuali deviazioni orizzontali sono ammesse a condizione di rispettare limiti definiti per angoli e forze in gioco (3.1.3.2).

Una rilevante problematica, che condiziona il tracciato ed altre caratteristiche nonché alcune prestazioni, è rappresentata dall'evacuazione delle funivie in caso di fermo. Il tema ampiamente trattato dalle norme precedentemente in vigore specifiche per ciascuna tipologia di impianto, è stato ripreso dalla [1] che vi dedica il capitolo 7 (Recupero ed evacuazione) oltre a richiamarlo nel capitolo 3 (Disposizioni generali) a proposito delle caratteristiche del tracciato funiviario e del numero massimo di passeggeri presenti nell'impianto (punto 3.1.3.4) nonché nel paragrafo 3.4 (Distanza massima consentita dal terreno).

È bene comunque precisare che, come riportato al comma 2 del punto 3.4.2.3 del [1], *“la distanza massima dal suolo non è soggetta a limitazioni nei tratti di linea dove l'evacuazione dei passeggeri avviene lungo la fune”*.

È altresì importante distinguere, come precisato al punto 7.1.2, fra recupero ed evacuazione. Infatti mentre il termine *“recupero”* si riferisce ad una manovra che permetta, anche tramite dispositivi ausiliari, di riportare i veicoli con i passeggeri in stazione, l'*“evacuazione”* è individuata come l'insieme delle operazioni che permettono, in caso di blocco dell'impianto e quindi di impossibilità di effettuare un recupero nei tempi massimi fissati, di portare i passeggeri in un luogo sicuro. Per entrambe le operazioni il punto 7.1.4 definisce tempi massimi di durata che tengono conto della diversa tollerabilità dell'attesa da parte dei passeggeri a seconda che si trovino in un veicolo aperto o chiuso. Inoltre per tutti gli impianti a fu-

## 2. Performances

*The new Italian technical rules [1] dictate some requirements, common to many types of installation, that we outline below.*

*No explicit limits are imposed to the funicular route layout but maximum values are set for the actions transferred from the vehicle to the passengers, as detailed in the subsection on these installations. Instead it is stated that the route layout of any type of cableway is, as a rule, straight between a station and the other one (paragraph 3.1.3.1) and the possible horizontal deviations are permitted providing that we meet the limits for the involved angles and forces.*

*An important issue, affecting the route layout and other features as well as some performances, is the cableways evacuation in case of shutdown. The topic, extensively treated in the previously in force rules, has been taken up by the [1] in the chapter 7 (Recovery and evacuation) and recalled in the chapter 3 (General provisions) about the requirements of the cableway route layout and maximum number of passengers on the installation (paragraph 3.1.3.4) and also in the paragraph 3.4 (Maximum distance from the ground).*

*However it is to specify that, as stated in the point 2 of the paragraph 3.4.2.3 of [1], “the maximum distance from the ground is not subjected to limits in the route sections where the passengers evacuation is made along the rope”.*

*It is also important to distinguish, as pointed in the paragraph 7.1.2, the difference between recovery and evacuation. In fact, the word “recovery” refers to an operation that allows, also using auxiliary devices, to bring the vehicles with the passengers in the stations. The “evacuation” is the set of the operations that allow, if the system is shutdown and hence we are unable to recovery in the maximum time set, to bring the passengers in a safe place. For both the operations the paragraph 7.1.4. states the maximum time taking into account the different tolerability of waiting for the passengers depending on whether they are in an open or closed vehicle. Besides an evacuation plan is required for all cable cars (paragraph 7.2.1).*

*In all air cable-cars the passenger evacuation can be made, in principle, vertically, by dropping to the ground or horizontally, using an emergency cabin that autonomously moves on the supporting rope or on other rope specially provided. The rules require, depending on the cabins capacity, the height from the ground, the elevation, and the land paths usability and equipment, to provide one or the other system, or both, in order to limit as much as possible the rescue operation time and to ensure maximum passenger safety. However, the height of the cabin from the ground not more than 100 m and a land made easily walked are the essential requirements to allow vertical evacuation (paragraph 7.4 of [18]).*

ne è obbligatorio disporre di un apposito piano di evacuazione (punto 7.2.1).

In tutte le funivie l'evacuazione può essere effettuata, in linea di principio, verticalmente mediante la calata a terra dei passeggeri dalla cabina oppure orizzontalmente utilizzando una vettura di soccorso che si muove autonomamente sulla fune portante o su altra fune appositamente predisposta. La normativa obbliga, a seconda della capienza delle cabine, dell'altezza da terra, della quota altimetrica nonché dell'agibilità e attrezzatura dei percorsi a terra, a disporre di uno o dell'altro sistema o di entrambi, con la finalità di limitare il più possibile la durata delle operazioni di evacuazione e garantire la massima sicurezza ai passeggeri. Comunque, un'altezza delle cabine da terra non maggiore di 100 m ed un terreno sottostante reso facilmente percorribile a piedi rappresentano i requisiti indispensabili perché sia ammessa l'evacuazione verticale (punto 7.4 del 18)).

Naturalmente le attrezzature ed il personale necessari per i due sistemi di evacuazione incidono in modo non trascurabile sui costi di impianto e di esercizio.

Evidentemente la calata dei passeggeri dall'alto non può avvenire senza la presenza di un agente opportunamente addestrato. Pertanto, nell'ipotesi di esercizio senza agente a bordo, è necessario che, all'occorrenza, un agente possa raggiungere facilmente le cabine, muovendosi lungo la portante con un apparato di carrucole frenate o carrello apposito (punto 7.5.4 di [1]). L'esercizio senza agente a bordo, economicamente vantaggioso, è tuttavia ammesso sotto determinate limitazioni di capienza delle cabine e di velocità di marcia.

L'esigenza di contenere il tempo necessario per evacuare l'impianto impone per tutte le funivie una limitazione al numero massimo di passeggeri contemporaneamente presenti e quindi indirettamente alla lunghezza del tracciato o alla capacità. In proposito il punto 3.1.3.4 del [1], riprendendo ed estendendo a tutte le funivie con evacuazione verticale quanto già contenuto al punto 3.1.2 di [4] per le funicolari aeree monofuni a collegamento permanente e moto continuo e al punto 3.1.2 di [5] relativamente alle stesse funicolari a collegamento temporaneo, stabilisce tale numero massimo di passeggeri a seconda della tipologia e capienza dei veicoli, secondo quanto riportato nella tabella 1.

Nella progettazione delle funivie aeree è necessario tener conto del vento che può rendere necessaria la chiusura dell'impianto per più giorni all'anno. A tal proposito il punto 10.1 del [1] definisce, relativamente ad una funivia monofune, il vento massimo di esercizio spirante orizzontalmente in direzione perpendicolare o longitudinale all'asse della linea quello la cui pressione dinamica aumentata del 40% determina uno sbandamento trasversale dei veicoli non maggiore di 0,20 rad o longitudinale non maggiore di 0,34 rad. Per le funivie bifune il vento massimo di eserci-

*Of course, the equipment and staff needed for the two evacuation systems account for a significant impact on the building and running cost.*

*It's obvious that the dropping from above cannot be performed without suitably trained personnel. Therefore, if the cabin is not attended, it is required that an agent can easily reach the cabin when necessary, moving on the supporting rope by a braked pulleys system or a special carriage (paragraph 7.5.4 of [1]). The running without conductor, that is financially favorable, is permitted under certain constraints of vehicle capacity and running speed.*

*The need to restrain the evacuation time requires, for all the cable-car, a limit for the maximum number of passengers at the same time in the installation and thus, indirectly, for the line length or the transport capacity. About that, the paragraph 3.1.3.4 of [1] resumes and extends, to all cable-cars with vertical evacuation, what already established in the paragraph 3.1.2 of [4] for the monocable air cable-cars with permanent link and continuous motion and in the paragraph 3.1.2 of [5] for the same cable-cars with temporary link. So the mentioned rule (3.1.3.4 of [1]) specifies the maximum value for the number in question, depending on the type and the capacity of the vehicles, as reported in the table 1.*

*In the air cable-car design we must take into account the wind that can make it necessary to close the installation for some days per year. In this regard, the paragraph 10.1 of [1] sets, with reference to a monocable cable-car, the maximum working wind blowing in the direction perpendicular or longitudinal to the axis of the line path. It is a wind whose dynamic pressure, increased by 40%, causes*

TABELLA 1 – TABLE 1

NUMERO MASSIMO DI PASSEGGERI AMMESSI IN LINEA IN TUTTE LE FUNICOLARI AEREE, AI SOLI EFFETTI DELLE OPERAZIONI DI EVACUAZIONE  
MAXIMUM NUMBER OF PASSENGERS ADMITTED AT THE SAME TIME IN ALL AIR CABLE-CARS, FOR THE SOLE PURPOSE OF THE EVACUATION

N° max. di passeggeri in linea Maximum number of passenger on the installation	Posti per veicolo e tipologia veicolo (chiuso/ aperto) Seats for vehicle and type of vehicle (opened/closed)
200	1 (aperto - open)
250	2 (aperto - open)
300	3 (aperto - open)
350	4 (aperto - open)
400	> 4 (aperto - open)
500	Qualunque (chiusi) Any (closed)



zio è invece definito quello la cui pressione dinamica aumentata del 10% porta il veicolo vuoto a leggero contatto con le guide previste per i sostegni di linea.

Nei paragrafi che seguono si trattano singolarmente le diverse tipologie di impianti sviluppando e commentando i punti principali delle disposizioni specifiche che ne regolamentano la costruzione e l'esercizio.

## 2.1. Funicolari terrestri

In questa categoria ricadono, sia i tradizionali sistemi su rotaia con due sole carrozze o treni a vai e vieni, sia i più moderni people-mover (si vedano per esempio [14] e [15]) spesso con ruote di gomma vincolate su piste appositamente progettate e con più cabine o treni con aggancio temporaneo alla fune traente le cui caratteristiche risultano difficilmente generalizzabili.

In relazione all'andamento planimetrico del tracciato, il punto 3.1.2.2 di [1] limita l'accelerazione trasversale libera agente sulle persone trasportate a  $0,65 \text{ m/s}^2$  in linea ed a  $1 \text{ m/s}^2$  in corrispondenza degli scambi ammettendo espressamente la possibilità di una sopraelevazione della rotaia esterna in curva per contenere tali valori. Il punto 3.1.2.3 pone poi in  $\pm 0,20 \text{ rad}$  (circa il 20%) il limite massimo dell'inclinazione effettiva del pavimento del veicolo sull'orizzontale (valore non piccolo per la sicurezza dei passeggeri in piedi). Ciò di conseguenza obbliga a contenere il sovrizzo massimo della rotaia esterna in curva ma soprattutto la variazione della pendenza longitudinale in linea. Infatti, mentre è possibile ottenere un pavimento orizzontale qualunque sia la pendenza della livelletta principale utilizzando, come di solito avviene, veicoli con il pavimento gradonato o comunque opportunamente inclinato rispetto al piano del rodiggio, non è possibile far variare la pendenza lungo la linea oltre un certo valore. Qualora siano richieste variazioni molto forti di pendenza sarà necessario, oltre ad adottare idonei provvedimenti per lo scorrimento della fune, utilizzare veicoli ad assetto variabile longitudinalmente per rientrare nel limite imposto all'inclinazione del pavimento delle vetture.

La velocità massima di linea è fissata per le funicolari in  $12 \text{ m/s}$  (punto 3.5.2.1 di [1]). Nelle stazioni, in corrispondenza delle banchine di imbarco/sbarco, la velocità massima è ridotta ad  $1 \text{ m/s}$  quando si realizzano contemporaneamente le tre condizioni consistenti in veicoli non presenziati, possibile presenza di persone in banchina ed assenza di barriere sulla stessa (punto 4.1.1.7).

La capacità di tutti i sistemi di trasporto a vai e vieni provvisti di due soli veicoli o cabine e due sole stazioni di estremità è direttamente proporzionale alla capienza delle cabine e inversamente proporzionale all'intervallo fra la partenza di una cabina in stazione e quella della successiva. Tale intervallo è a sua volta funzione del tempo di percorrenza (e quindi della lunghezza della linea e della velocità media di marcia) nonché del tempo necessario per l'imbarco e sbarco dei passeggeri in stazione; quest'ultimo dipende dalla capienza delle cabine e dalla di-

*a vehicle transverse heeling not more than  $0,20 \text{ rad}$  or a longitudinal one not more than  $0,34 \text{ rad}$ . For the double-cable cableways, the maximum working wind is defined instead that whose dynamic pressure, increased of 10%, brings the empty vehicle into contact with the guides provided on the line supports.*

*In the following subsections we treat separately the different types of installations by developing and commenting the specific technical rules governing the building and running.*

### 2.1. Funiculars

*This type includes, both the traditional cable-systems on rail with only two vehicles or trains and to and fro movement, and the most modern people-movers (i.e. in [14] and [15]) often with tires constrained on specially designed tracks, with more carriages or trains temporary coupling to the running rope, whose feature are difficult to generalize.*

*About the alignment, the paragraph 3.1.2.2 of [1] constraints the lateral free acceleration acting on the passengers to  $0,65 \text{ m/s}^2$  along the line and to  $1,0 \text{ m/s}^2$  at the switch points and expressly permits a banking of the outer rail at the curve to reduce these values. Then the paragraph 3.1.2.3 set on  $\pm 0,20 \text{ rad}$  (about 20%) the actual maximum gradient of the vehicle floor on the level (the value is not small for the safety of the standing passenger). As a result, that forces to limit the maximum banking of the outer rail at the curve but mostly the change in the longitudinal slope of the line. In fact, if it is possible to keep the floor on level along whatever line gradient making use, as usually, of a terraced floor or a properly inclined one relation to the wheel plan, it is not possible to vary the line gradient beyond a certain value. Where we need to vary significantly the gradient along the line we must, besides adopt suitable devices to slide the rope, use longitudinal tilting vehicles so that we can fall within the limit required for the gradient of the vehicle floor.*

*The maximum speed on line for funiculars is set at  $12 \text{ m/s}$  (paragraph 3.5.2.1 of [1]). In the stations, at the boarding / landing quays, the maximum speed is reduced at  $1 \text{ m/s}$  when three conditions are simultaneously carried out, that is not attended vehicles, possible presence of persons at the quays and no barriers at the last ones (paragraph 4.1.1.7).*

*The capacity of all transport systems to and fro movement, equipped with only two cabins and only two stations, is directly proportional to the capacity of the cabins and inversely proportional to the time range between the start of a cab at the station and the next cab. This time range is in turn a function of the travel time (and therefore the line length and the average travel speed) and the time needed to board and land the passengers in the station; this time depends on the cabin capacity and the gates size. According to these remarks, it*

menzione delle porte. Sulla base di queste considerazioni è possibile esprimere la capacità attraverso la relazione:

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

dove:

$C$  = capacità per ogni verso di marcia (pass./h);

$L$  = lunghezza sviluppata del percorso (m);

$v$  = velocità di regime (m/s);

$a$  = accelerazione media di avviamento e frenatura (m/s<sup>2</sup>);

$n$  = capienza della cabina (pass./veicolo);

$p$  = numero di varchi nella cabina (varchi/veicolo) intesi come aperture disponibili contemporaneamente ed idonee a far transitare una sola persona per volta (una porta di un autobus urbano equivale di solito a due varchi);

$t_p$  = tempo necessario a ciascun passeggero per attraversare il varco o porta di ingresso o uscita dal veicolo (s x varchi / pass.), normalmente assunto = 1 s x varchi/pass.

Per rendere possibile l'evacuazione è necessario predisporre lungo la linea un percorso idoneo avente larghezza di almeno 0,6 m, protetto in modo adeguato (punto 7.3 del 18)).

## 2.2. Funvie classiche a vai e vieni

Premesso che, per quanto disposto al punto 3.4.2.3 del [1], la distanza dei veicoli da terra in questo tipo di

is possible to express the system capacity through the relation:

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

where:

$C$  = System capacity for each travel direction (pass./h);

$L$  = Developed path length (m);

$v$  = Operating speed (m/s);

$a$  = Starting and braking average acceleration (m/s<sup>2</sup>);

$n$  = Cabin capacity (pass./cabin)

$p$  = Number of cabin gates intended as slots capable of having to be routed to one person at a time (one urban bus door is usually equivalent to two gates);

$t_p$  = time needed to each passenger to pass through the boarding or landing cabin gate (s x gates /pass), usually assumed = 1 s x gates/pass.

To make possible the evacuation we have to arrange, along the line, a suitable path with a width of at least 0.6 m, adequately protected.

## 2.2. Classic cableways to and fro movement

Given that, as provided by the paragraph 3.4.2.3 of [1], the distance of the vehicles from the ground has no limit for this installations if the passengers evacuation is planned along the rope, the vertical evacuation is permitted within

<sup>(2)</sup> La capacità ( $C$ ) è data dal prodotto del flusso di veicoli nell'unità di tempo in una stazione o in linea ( $H$ ) per la capienza della cabina ( $n$ ). Il flusso è per definizione l'inverso dell'intertempo ( $Dt$ ) fra la partenza di una cabina e la successiva dalla stessa stazione ( $H = 1/Dt$ ), quindi  $C = 3600 n / Dt$ . Tale intertempo ( $Dt$ ) è la somma di tre tempi:

- il tempo di viaggio calcolato come se la velocità fosse costante e pari alla velocità di regime ( $v$ ) per l'intero percorso da una stazione all'altra ( $L/v$ );
- il tempo aggiuntivo conseguente alle due fasi di moto vario (assunte con accelerazione costante e uguale in avviamento e frenatura) e quindi, proprio perché aggiuntivo al tempo di percorrenza a velocità costante degli stessi spazi di avviamento e di frenatura già parzialmente computati nell'aliquota di tempo di cui sopra, pari, per ciascuno di detti spazi, a metà del tempo di avviamento  $v/a$  e cioè  $[(1/2) \cdot v/a + (1/2) \cdot v/a]$  e quindi complessivamente per le fasi di avviamento e frenatura =  $v/a$ ;
- il tempo di fermata minimo, cioè quello strettamente necessario a scaricare e ricaricare l'intera cabina che ha varchi (come definiti nella legenda della simbologia) in numero pari a ( $p$ ) contemporaneamente aperti; quindi, detto ( $t_p$ ) [ $s \cdot$  varchi/pass.] il tempo che ogni passeggero impiega per entrare o uscire attraverso un varco ed ( $n$ ) [pass./veic] il numero massimo di passeggeri in cabina, il tempo necessario per caricare o scaricare è pari a ( $n \cdot t_p / p$ ) (dimensionalmente [pass./veic]  $\cdot$  [ $s \cdot$  varchi /pass] / [varchi/veic] = [s]); nell'ipotesi che attraverso gli stessi varchi avvenga prima lo scarico e poi il carico, tale tempo va computato due volte; per quanto detto, il tempo di fermata minimo vale ( $n \cdot t_p / p$ ).

<sup>(2)</sup> The transport capacity ( $C$ ) is given by the product of the vehicle flow per unit of time at one station or on line ( $H$ ) for the vehicle capacity ( $n$ ). The flow is, by definition, the inverse of the time range ( $Dt$ ) between the departure of a cabin and the subsequent from the same station ( $H = 1/Dt$ ), therefore  $C = 3600 n / Dt$ . This time range ( $Dt$ ) is the sum of three times:

- the travel time computed as the speed was constant and equal to the full speed ( $v$ ) for the whole run from a station to the other one ( $L/v$ );
- the additional time resulting in the two various motion phases assumed with the same constant acceleration in starting and braking; this time, because is added to the travel time of the same starting and braking distances just partially computed in the above time range, amounts to one half of the starting or braking time  $v/a$  for each of this distances, that is  $[(1/2) \cdot v/a + (1/2) \cdot v/a]$  and therefore for overall the starting and braking phases =  $v/a$ ;
- the minimum stop time, that is the strictly necessary time to unload and load the whole cabin provided with gates (as they are defined in the list of symbols) equal in number to ( $p$ ) simultaneously open; therefore, set ( $t_p$ ) [ $s \cdot$  gates/pass.] the time needed to each passenger to pass through a gate and ( $n$ ) [pass./vehic] the maximum number of the passengers in the cabin, the time to load or unload is equal to ( $n \cdot t_p / p$ ) (dimensionally [pass./vehic]  $\cdot$  [ $s \cdot$  gates /pass] / [gates/vehic] = [s]); assuming that the same gates are used before to unload and then to load, we have to compute this time twice; as said, the minimum stop time is ( $n \cdot t_p / p$ ).

impianti non è soggetta a limitazione allorché l'evacuazione dei passeggeri è prevista lungo la fune, l'evacuazione verticale è consentita entro valori limitati dell'altezza delle cabine da terra. Tali valori sono stabiliti dallo stesso punto 3.4.2.3, nelle funivie bifune con veicoli chiusi, in 60 m ovvero in 100 m limitatamente ad un numero massimo di 5 veicoli interessati da tale maggiore altezza (qualora i veicoli siano complessivamente più di due). Il D.M. del 1969 [10] risultava più preciso sotto questo aspetto poiché condizionava l'evacuazione verticale non solo alla distanza da terra ma anche alla capienza delle cabine stabilendo precisi valori di soglia di tale parametro.

L'esercizio senza agente a bordo, economicamente vantaggioso, era ammesso dalla precedente normativa [10] a condizione di accettare determinate limitazioni della capienza delle cabine e della velocità dell'impianto. Il tipo di esercizio incide sui costi, la capienza e la velocità influiscono sul tempo di percorrenza e sulla capacità. La nuova normativa [1] risulta meno restrittiva in proposito poiché consente di evitare l'agente a bordo soltanto a fronte di una limitazione della velocità di marcia peraltro in modo meno marcato rispetto al D.M. del 1969. Infatti mentre la velocità massima imposta da quest'ultimo era di 6 m/s e di 4 m/s rispettivamente per gli impianti senza e con sostegni intermedi (punto 2.17.14), il D.D. del 2012 permette veicoli non presenziati negli impianti bifune con velocità massime di 7 m/s in linea e di 6 e 7 m/s sui sostegni in presenza rispettivamente di una sola o di due funi portanti (punto 3.5.2.3). Con l'agente a bordo la velocità massima raggiungibile dalle funivie in questione è invece ben maggiore (12 m/s nei tratti fra i sostegni e di 10 m/s sui sostegni di linea – punto 3.5.2.2).

La capacità è regolata dalla stessa relazione espressa per le funicolari terrestri da cui si evince che, soprattutto negli impianti di notevole lunghezza, il raggiungimento di capacità maggiori si ottiene con grandi cabine e velocità elevate ma queste ultime se superano i limiti sopra richiamati, richiedono la presenza dell'agente a bordo.

### 2.3. Funicolari aeree monofuni a collegamento permanente e moto continuo

L'intervallo minimo fra i veicoli, finalizzato ad un regolare svolgimento delle operazioni di imbarco e sbarco, è assegnato in termini temporali sia dalla nuova che dalla vecchia normativa ed è quindi legato alla velocità (ad una velocità più elevata consegue un aumento del distanziamento metrico). In particolare il punto 3.5.3.3 di [1] prevede per le seggiole un distanziamento temporale minimo pari a  $(4 + n/2)$  secondi (dove  $n$  è il numero di posti per seggiola mai maggiore di 6) da incrementare del 50% qualora le persone raggiungano la seggiola con una traiettoria inclinata di un angolo, di ampiezza maggiore ad un valore stabilito, rispetto alla direzione di moto della seggiola. Comunque il distanziamento non può essere inferiore a 5 s (punto 3.5.3.4).

L'intervallo temporale imposto ai veicoli comporta quindi una riduzione del numero di veicoli in linea all'au-

set values of the vehicles height from the ground. These values are fixed by the same paragraph 3.4.2.3, in the cableway with closed vehicles, at 60 m, or else at 100 m if not more than 5 vehicles are at an height greater than 60 m. The Ministerial Decree of the 1969 [10] was more precise about that because it conditioned the vertical evacuation not only to the distance from the ground but also to the cabin capacity setting precise threshold value for this parameter.

The running without an agent on board, cost-effective, was permitted by the previous rules [10] under certain limits of cabin capacity and speed. The type of running affects the cost, the vehicle capacity and the speed affect the transport capacity and the travel time. The new rules are less restrictive about that because they permit to avoid the on-board agent only against a limit of the travel speed, however less low than the Ministerial Decree of the 1969. In fact, while the maximum speed set by this Decree was at 6 m/s and 4 m/s respectively for the installation without and with middle supports (paragraph 2.17.14), the new rules [1] allow not-attended vehicles in the cable-cars with maximum speed of 7 m/s on line and of 6 and 7 m/s on the supports, in presence respectively of only one or two supporting ropes (paragraph 2.5.2.3.). With attended cabins the permitted maximum speed, in the cableway at issue, is instead much greater (12 m/s in the sections between the supports and 10 m/s on the line supports – paragraph 3.5.2.2).

The transport capacity is governed by the same relation expressed for funiculars. This relation shows that, mainly in installations of considerable length, we can achieve an increase in capacity using big cabins and high speeds but the last ones, if exceed the above limits, involve the agent on board.

### 2.3. Monocable air cable-cars with permanent link and continuous motion

The minimum interval between vehicles, aimed at a smooth conduct of the boarding and landing operations, is given in terms of time both by the new and the previous rules and therefore is linked to the speed (an higher speed increases the distance between the vehicles). Particularly the paragraph 3.5.3.3 of [1] imposes for chairs a minimum time gap equal to  $(4 + n/2)$  seconds (where  $n$  is the number of seats per chair, not more than 6) to increase of 50% when the passengers reach the chair along a path inclined more than a set value with reference to the chair motion direction. However the time gap cannot be less than 5 s (paragraph 3.5.3.4.).

The time interval imposed on the following vehicles involves a decrease in the number of vehicles as the speed increases, which voids the speed effect on capacity. The latter therefore is determined only by the time range between vehicles and their capacity, as also emerges from the general formula of a transport service capacity which can be expressed as follows:

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



mentare della velocità che vanifica l'effetto della velocità stessa sulla capacità. Quest'ultima pertanto è determinata solo dal distanziamento temporale fra i veicoli e dalla capienza degli stessi come peraltro emerge dalla formula generale della capacità di un servizio di trasporto che si può esprimere come di seguito:

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

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].

La velocità massima per gli impianti a moto continuo è la stessa ammessa nelle stazioni per garantire un facile sbarco e imbarco. Per impianti a servizio di viaggiatori comuni il valore massimo è di 1,5 m/s in presenza di veicoli aperti a 2 posti o in cui sono utilizzati solo 2 posti e di 1 m/s in presenza di veicoli aperti con più di 2 posti (3.5.2.6 b di [1]); con veicoli chiusi, qualunque ne sia la capienza, la velocità massima nelle zone di imbarco e sbarco è posta uguale a quella delle stesse cabine con aggranciamento temporaneo e cioè di 0,5 m/s (punto 3.5.2.5 b di [1]). Rispetto alla vecchia normativa quindi, che prevedeva (punto 3.7.2.1 di [4]) velocità massime di 2 m/s per seggiole mono e biposto, di 1,5 m/s per cabine mono e biposto e seggiole a 3 e 4 posti, ne consegue oggi una penalizzazione, in termini di tempi di percorrenza sensibilmente maggiore, per la tipologia di impianti in questione, soprattutto per le cabine che infatti vedono ridursi la velocità ad 1/3 (da 1,5 a 0,5 m/s). Traspare la scelta del legislatore di orientare l'utilizzo degli impianti monofune a collegamento permanente e moto continuo esclusivamente con seggiole e disporre invece di cabine solo negli impianti a collegamento temporaneo o in quelli a moto intermittente o velocità variabile e veicoli raggruppati.

La capacità di trasporto per ognuna delle tipologie di impianti a moto continuo e a collegamento permanente dei veicoli è riportata nella tabella 2 insieme all'intervallo imposto dalla normativa ed alla velocità massima. Tale capacità non tiene tuttavia conto della limitazione imposta al numero di pas-

where:

$C$  = system capacity [pass./h];

$H$  = vehicles flow [veh./s] (by definition it is the inverse of the time range between vehicles);

$d_t$  = time range or gap between vehicles [s/veh.];

$n$  = vehicle capacity [pass./veh.].

The maximum line speed for the continuous motion installations is the same allowed in the stations to ensure an easy boarding and landing. For installation serving ordinary travelers, the maximum value is 1,5 m/s in presence of open vehicles with two seats or using only two seats and 1 m/s in presence of open vehicles with more than two seats (3.5.2.6.b of [1]); using closed vehicles of any capacity, the maximum speed in the boarding and landing areas is equal to the speed of the same cabins with temporary link, that is 0,5 m/s (paragraph 3.5.2.5 b of [1]). So, compared to the previous rules providing (paragraph 3.7.2.1 of [4]) maximum speed of 2 m/s for one and two seats chairs, of 1,5 m/s for one and two seats cabins and three of four seats chairs, the new rules penalize, in terms of significantly greater travel time, the installation in issue, in presence of cabins because they have a reduction in speed at 1/3 (from 1,5 to 0,5 m/s). We can observe the choose of the lawmaker to direct the use of the permanent link and continuous motion monocabable installations only with chairs and to equip with cabins only the temporary link or intermittent movement and variable speed installations.

TABELLA 2 – TABLE 2

INTERVALLO MINIMO FRA I VEICOLI, CONSEGUENTE CAPACITÀ MASSIMA DI TRASPORTO E VELOCITÀ DELLE FUNICOLARI AEREE MONOFUNE A COLLEGAMENTO PERMANENTE, IN PRESENZA DI PASSEGGERI GENERICI, SENZA TENER CONTO DELLA LIMITAZIONE IMPOSTA AL NUMERO MASSIMO DI PASSEGGERI CONTEMPORANEAMENTE PRESENTI SULL'IMPIANTO

MINIMUM TIME RANGE BETWEEN VEHICLES AND RESULTING TRANSPORT CAPACITY FOR MONOCABLE AIR CABLE-CARS WITH PERMANENT LINK, IN PRESENCE OF GENERIC TRAVELERS, NOT TAKING INTO ACCOUNT THE LIMIT SET FOR THE NUMBER OF PASSENGERS SIMULTANEOUSLY PRESENT IN THE SYSTEM

Impianti per viaggiatori generici Facilities for generic travelers			
Tipologia veicolo e posti per veicolo Vehicle type and seats	Intervallo temp. fra i veicoli [1,5x(4+n/2)] (s) Time range between vehicles (s)	Capacità Capacity (pass./h)	Velocità max Max speed (m/s)
Seggiole o veicoli aperti da 1 posto 1 seater chairs or open vehicles	7	514	1,5
Seggiole o veicoli aperti da 2 posti utili 2 useful seater chairs and open vehicles	8	900	1,5
Seggiole o veicoli aperti 6 posti 6 seater chairs or open vehicles	11	1.964	1

seggeri contemporaneamente presenti sull'impianto di cui alla tabella 1 e che è stato considerato più avanti.

Per verificare il rispetto del numero massimo imposto per i passeggeri presenti contemporaneamente sull'impianto è necessario portare in conto la lunghezza del tracciato e quindi ricavare, data una lunghezza assegnata al tracciato, il distanziamento minimo compatibile con il riempimento totale dei veicoli su un ramo; l'altro ramo è da considerare vuoto negli impianti usati per il trasporto a senso unico e parzialmente caricato, secondo quanto previsto in progetto e riportato nel regolamento di esercizio, negli impianti usati per il trasporto a doppio senso (punto 3.1.3.4 di [1]).

Il numero di viaggiatori  $N_v$  effettivamente presenti sull'impianto sarà dato da:

$$N_v = \frac{L \cdot n \cdot Cr}{D_m}$$

con:

$L$  = lunghezza dell'impianto fra le due stazioni estreme;

$n$  = capienza del singolo veicolo (cabina o seggiola);

$Cr$  = carico di passeggeri sull'impianto con riferimento al punto 3.1.3.4 della norma [1]. Si è assunto  $Cr = 1,5$  (impianto utilizzato in entrambi i sensi);

$D_m$  = distanziamento metrico fra i veicoli calcolato in corrispondenza dell'intervallo temporale minimo e della velocità massima (punto 3.5.2.6 di [1]).

Svolgendo la precedente relazione in funzione di  $L$  si ottiene il valore massimo della lunghezza dell'impianto oltre il quale è necessario aumentare l'intervallo temporale fra i veicoli, rispetto a quello minimo consentito, per rientrare nel numero massimo, imposto al punto 3.1.3.4 di [1] e riportato in tabella 1, per i passeggeri presenti contemporaneamente sull'impianto.

La tabella 3 riporta i valori del distanziamento metrico minimo fra i veicoli e il valore soglia della lunghezza dell'impianto calcolati come anzidetto.

Nessuna indicazione è contenuta nella nuova normativa [1] circa la pendenza massima ammessa in linea, mentre il punto 3.1.4 di [4] (vecchia norma) fissava tale caratteristica ad un valore pari al 100% (con riferimento all'asse della fune).

L'altezza massima dal suolo, per gli impianti in questione, differisce a seconda che si disponga di veicoli aperti o chiusi ed è regolata dal paragrafo 3.4.2 di [1]. In presenza di veicoli chiusi il valore massimo di questo parametro è stabilito in 30 m elevabile a 60 m se in ogni campata interessata dalla depressione si trovano non più di 5 veicoli e può occasionalmente superare anche quest'ultimo valore allo scopo di ottenere un andamento della linea più favorevole. La distanza massima da terra dei veicoli aperti (seggiola e

*The transport capacity for each systems with permanent linked vehicles and continuous motion is shown in table 2 together with the interval imposed by the rule and the maximum speed. This capacity, however, does not take into account the limit set for the number of passengers simultaneously present in the system which has been reported in table 1 and which will be considered later.*

*To verify the compliance with the maximum number required for passengers present at the same time on the system you need to take into account the length of the path, and then obtain, given a length assigned to track, the minimum distance compatible with the total filling of vehicles on a branch. The other branch will be considered unloaded in the one-way transport facilities and partially loaded, as provided in the design and in the operating rule, in the both directions transport facilities (paragraph 3.1.3.4 of [1]).*

*The number of travelers really in the system  $N_v$  is given by:*

$$N_v = \frac{L \cdot n \cdot Cr}{D_m}$$

*with:*

$L$  = *length of the path between the two end stations;*

$n$  = *capacity of each vehicle (cabin or chair);*

$Cr$  = *passenger loaded on the installation with reference to the paragraph 3.1.3.4 of [1]. We assumed  $Cr = 1,5$  (both directions transport installation);*

TABELLA 3 – TABLE 3

DISTANZIAMENTO METRICO FRA I VEICOLI E VALORE SOGLIA DELLA LUNGHEZZA DELL'IMPIANTO OLTRE LA QUALE È NECESSARIO AUMENTARE L'INTERVALLO TEMPORALE FRA I VEICOLI, RISPETTO A QUELLO MINIMO CONSENTITO, PER RIENTRARE NEL NUMERO MASSIMO DI PASSEGGERI SULL'IMPIANTO (FUNICOLARI AEREE MONOFUNE A COLLEGAMENTO PERMANENTE)

*METRIC SPACING BETWEEN VEHICLES AND THRESHOLD VALUE OF THE LENGTH PATH BEYOND WHICH YOU NEED TO INCREASE THE TIME RANGE BETWEEN THE VEHICLES, RESPECT TO THE ALLOWED MINIMUM ONE, TO FALL INTO THE MAXIMUM NUMBER OF PASSENGERS ON THE SYSTEM (MONOCABLE AIR CABLE-CARS WITH PERMANENT LINK)*

Viaggiatori generici Generic travelers		
Tipologia veicoli Type of vehicle	$D_m$ (m)	$L$ (soglia) (m) $L$ (threshold)(m)
Seggiola o veicoli aperti da 1 posto 1-seater chairs or open vehicles	11	1.400
Seggiola o veicoli aperti da 2 posti 2-seater chairs or open vehicles	12	1.000
Seggiola o veicoli aperti da 3 posti 3-seater chairs or open vehicles	11	733
Seggiola o veicoli aperti da 4 posti 4-seater chairs or open vehicles	11	642

cabine scoperte) è fissata in 12 m elevabile a 20 m per una lunghezza inclinata che non superi il 25% della lunghezza complessiva dell'impianto (e comunque i 150 m per ogni tratta) ed a condizione che il tratto in questione non contenga più di 15 veicoli. Tale ultimo limite è ancora elevabile fino a 25 m per tratti di lunghezza non maggiore di 25 m ciascuno e 50 m complessivamente (tabella 4). E' da rilevare che la distanza massima dei veicoli da terra presentava nella vecchia normativa [4] valori leggermente inferiori.

#### 2.4. Funicolari aeree monofuni a collegamento temporaneo e moto continuo

Mentre la precedente normativa fissava, anche in questo tipo di impianti (punti 3.7.1 e 3.7.4 di [5]), in termini temporali l'intervallo minimo fra i veicoli che si succedono nell'area di imbarco/sbarco, le nuove disposizioni [1] non stabiliscono valori in tal senso demandando il distanziamento dei veicoli in stazione al controllo automatico o del personale preposto. Le stesse dettano invece le velocità massime all'interno della stazione ed in linea. Lungo il percorso tale parametro vale 5,0 m/s per veicoli aperti e 6,0 o 7,0 m/s per veicoli chiusi in presenza rispettivamente di una o due funi portanti-traenti (3.5.2.4 e 3.5.2.5 di [1]). Nelle zone di imbarco e sbarco delle stazioni, la velocità massima è di 0,5 m/s per i veicoli chiusi e di 1,0 o 0,5 m/s su veicoli aperti per utenti generici, a seconda che la salita e discesa avvengono rispettivamente in linea o lateralmente rispetto al percorso del veicolo (punto 3.5.2.5 di [1]).

La capacità di trasporto è determinata dalla stessa formula già riportata per le funivie a moto continuo e collegamento permanente ma è necessario definire il distanziamento fra i veicoli non stabilito dall'attuale normativa. A tal fine è possibile rifarsi agli impianti a colle-

$Dm$  = metric spacing between vehicles resulting from the minimum time range and maximum speed (paragraph 3.5.2.6 of [1]).

Carrying out  $L$  from the previous relationship we get the maximum value of  $L$  beyond which it is necessary to increase the minimum time interval between the vehicles, respect to the minimum value allowed, to fall within the maximum number requested by the paragraph 3.1.3.4 of [1] for passengers simultaneously present in the system.

Table 3 shows the values of the metric spacing between the vehicles and the threshold value of the length of the path calculated as aforesaid.

There is no requirement in the new rules [1] about the maximum gradient, while the paragraph 3.1.4 of [4] (previous rule) set this parameter at 100% (with reference to the axis of the rope).

The maximum height from the ground, for the installations in question, is different in presence of open or closed vehicles and it is governed by the paragraph 3.4.2 of [1]. In presence of closed vehicles, the maximum value for this parameter is 30 m that can increase to 60m if in every span concerned by the dip there are not more than 5 vehicles and can at times to overcome this last value to achieve a more favorable route layout.

The maximum distance of the open vehicles from the ground (chairs and open cabins) is set at 12 m and can be increased to 20 m for an inclined length not exceeding the 25% of the total installation length (and however 150 m for each section) and as long as the section in question does not contain more than 15 vehicles. This last limit can more be raise to 25 m along sections of length not more than 25 m per each one and 50 overall (table 4). It is to underline that the maximum height had slightly lower values in the previous rules.

TABELLA 4 – TABLE 4

ALTEZZA MASSIMA DAL SUOLO PER LE FUNICOLARI AEREE MONOFUNE A COLLEGAMENTO PERMANENTE  
MAXIMUM HEIGHT FROM THE GROUND FOR MONOCABLE AIR CABLE-CARS WITH PERMANENT LIN

Con veicoli aperti With open vehicles		Con veicoli chiusi With closed vehicles	
Hmax (m)	Condizioni Requirements	Hmax (m)	Condizioni Requirements
12	–	30	–
20	Per una lunghezza inclinata non maggiore del 25% della lunghezza dell'impianto e non maggiore di 150m per tratta; quando nella tratta in questione non sono compresi più di 15 veicoli <i>For an inclined length not exceeding the 25% of the total installation length and not more than 150 m for each section; when the section in question does not contain more than 15 vehicles</i>	60	solo per tratti tali brevi se in ogni campata interessata dalla depressione si trovano al massimo 5 veicoli per ramo <i>Only for short sections if, in each span concerned by the dip, there are not more than 5 vehicles for branch</i>
25	Per una lunghezza inclinata complessiva massima non maggiore di 50m e di 25 per tratta <i>For an overall inclined length not exceeding the 50 m and the 25 m per section</i>	>60	Solo per brevissimi tratti se ne deriva un sensibile miglioramento del profilo della linea <i>Only in very short sections if that results in a significant improvement of the line profile</i>

gamento permanente considerando che il tempo necessario per salire e scendere dal veicolo è identico comunque quest'ultimo sia vincolato alla fune. Pertanto è possibile calcolare la capacità degli impianti a collegamento temporaneo assumendo il distanziamento temporale minimo ammesso, lungo le banchine di imbarco/sbarco, per le seggiovie a collegamento permanente  $[1,5x(4+n/2)]$ . Si ricavano così le stesse capacità degli impianti a collegamento permanente già riportate nella tabella 2. Risulta evidente che il principale vantaggio dell'agganciamento temporaneo consiste nel permettere velocità di linea ben più alte rispetto agli impianti ad agganciamento fisso e quindi nel superare distanze maggiori a parità di tempo di viaggio. Il raggiungimento di capacità maggiori è condizionato all'uso di cabine di capienza media provviste di grandi porte in modo da ridurre i tempi di imbarco/sbarco e quindi contenere il distanziamento reciproco nelle stazioni che, come già detto, non trova precise prescrizioni.

Il numero massimo per i passeggeri presenti contemporaneamente sull'impianto (punto 3.1.3.4 di [1]) è soggetto alle stesse limitazioni imposte per gli impianti a collegamento fisso, già trattati in precedenza, ai quali si rimanda. Sulla base delle stesse elaborazioni già svolte per gli impianti ad agganciamento fisso si sono ricavati (tabella 5) i valori massimi della lunghezza dell'impianto entro i quali è possibile porre i veicoli al distanziamento mi-

#### 2.4. Monocable air cable-cars with temporary link and continuous motion

While the previous rules established in terms of time, also for these installations (paragraph 3.7.1 and 3.7.4. of [5]), the minimum spacing between the vehicles at the boarding and landing area, the new rules [1] do not fix these values and delegate them to the automatic control or the responsible staff. The same rules instead dictate the maximum speed at the station and on line. Along the route this parameter is 5.0 m/s for open vehicles and 6.0 or 7.0 m/s for closed vehicles in presence respectively of one or two supporting-running rope (paragraph 3.5.2.4 and 3.5.2.5 of [1]). In the boarding and landing areas at the stations, the maximum speed is 0.5 m/s for closed vehicles and 1.0 or 0.5 m/s for open vehicles and generic passengers, depending if the getting on and off the train is respectively aligned or sideways with the vehicle motion (paragraph 3.5.2.5. of [1]).

The transport capacity is defined by the same relation already reported for the cable-cars with continuous motion and permanent link but we need to set the distance among the vehicle that is not set by the present rule. To this end we can refer to permanent link installations regarding the time needed to get on and out the vehicle as the same whatever this last one is linked to the rope. Therefore it is possible to calculate the capacity of the temporary linked installations assuming the minimum time interval accepted along the boarding / landing quays for the chair-lifts with permanent link  $[1.5x(4+n/2)]$ . So we obtain the same capacities of the permanent link installations already reported in table 2. It is clear that the main benefit of the temporary link is the possibility to travel on greater distances in the same time. To achieve higher capacity we must use medium capacity cabins with big gates so to reduce the boarding / landing time and therefore restrain the mutual distance at the stations, distance that, as said, has no specific requirement in the rules.

The maximum number of passengers simultaneously in the system (paragraph 3.1.3.4 of [1]) is subject to the same limitations for permanent link installations already discussed previously to which we refer to. Based on the same processing already carried out for the permanent link installations we obtained (table 5) the maximum line length within which it is possible to place the vehicle at minimum distance requested by the rule, complying with the maximum number of passengers on line set in the aforementioned paragraph 3.1.3.4 of [1].

There is no requirement in new rules [1] about the maximum gradient of the line, while the paragraph 3.1.4 of [5] (previous rule) established that, for the installations in issue, this parameter must be within 90% along the rope and 100% along the path of the clamps.

The maximum height from the ground depends on the vehicle type (open or closed) and it

TABELLA 5 – TABLE 5

DISTANZIAMENTO METRICO FRA I VEICOLI E VALORE SOGLIA DELLA LUNGHEZZA DELL'IMPIANTO OLTRE LA QUALE È NECESSARIO AUMENTARE L'INTERVALLO TEMPORALE FRA I VEICOLI, RISPETTO A QUELLO MINIMO CONSENTITO, PER RIENTRARE NEL NUMERO MASSIMO DI PASSEGGERI SULL'IMPIANTO (FUNICOLARI AEREE MONOFUNE A COLLEGAMENTO TEMPORANEO)

METRIC SPACING BETWEEN VEHICLES AND THRESHOLD VALUE OF THE LENGTH PATH BEYOND WHICH YOU NEED TO INCREASE THE TIME RANGE BETWEEN THE VEHICLES, RESPECT TO THE ALLOWED MINIMUM ONE, TO FALL INTO THE MAXIMUM NUMBER OF PASSENGERS ON THE SYSTEM (MONOCABLE AIR CABLE-CARS WITH TEMPORARY LINK)

Viaggiatori generici Generic travelers		
Tipologia veicoli Type of vehicle	Dm (m)	L (soglia) (m) L (threshold) (m)
	11	1.400
Seggiole 2 posti 2-seater chairs	12	1.000
Seggiole 3 posti 3-seater chairs	11	733
Seggiole 4 posti 4-seater chairs	11	642
Seggiole 6 posti 6-seater chairs	11	244

nimo imposto dalla norma rispettando contemporaneamente il numero massimo di viaggiatori in linea fissato nel già citato punto 3.1.3.4 di [1].

Nessuna indicazione è presente nelle nuove disposizioni [1] per la pendenza massima della linea, mentre il punto 3.1.4 di [5] (norma precedente) stabilisce che, per gli impianti in questione, questo parametro deve essere contenuto entro il 90% lungo la fune ed il 100% sulla traiettoria delle morse.

L'altezza massima dal suolo dipende dal tipo di veicolo (aperto o chiuso) ed è soggetta alle stesse limitazioni già discusse per gli impianti a collegamento permanente (punti 3.4.2 e 3.4.3 di [4]) riportate in tabella 4.

## **2.5. Funicolari aeree monofune a collegamento permanente e movimento unidirezionale intermittente e/o a velocità variabile**

Si tratta di impianti di più recente realizzazione che uniscono l'economicità costruttiva del monofune alla semplicità dell'agganciamento fisso e al posizionamento di più veicoli o seggiole concentrati a cui consegue la possibilità di arrestare o rallentare consistentemente la fune portante-traente durante le operazioni di carico e scarico.

Questi impianti erano soggetti ad una specifica norma [6] che ne stabiliva alcune caratteristiche quali la velocità massima in linea ed in stazione (punto 5.1), la pendenza massima (punto 2.2), l'altezza massima dal suolo (punto 7), l'intervallo temporale minimo fra i veicoli a seggiole (punto 5.4) e la distanza minima fra le cabine dello stesso treno (punto 5.2). La normativa recente [1] non tratta esplicitamente gli impianti in questione ai quali quindi si applicano le prescrizioni previste per le tipologie in cui di volta in volta ricadono (monofune o bifune, collegamento permanente o temporaneo, veicoli aperti o chiusi).

La capacità di trasporto per gli impianti in questione è calcolabile, come per tutti gli impianti a moto discontinuo (come quelli a vai e vieni), sulla base della capienza delle cabine e dell'intervallo di tempo intercorrente fra la partenza di una cabina o treno e quello successivo che dipende ovviamente dalla velocità di percorrenza e dalla lunghezza della linea nonché dal tempo di permanenza in stazione per il carico e scarico. È quindi applicabile la formula proposta nel presente lavoro per le funicolari, tenendo conto delle specificità degli impianti trattati in questo capitolo.

Traendo spunto dalla documentazione tecnica di una azienda produttrice di impianti a fune è stato costruito uno schema riepilogativo delle caratteristiche tecnico-funzionali e dei costi di realizzazione di alcune tipologie di impianti (tabella 6). In particolare i valori riportati sono relativi a:

- le caratteristiche tecniche;
- le caratteristiche funzionali (velocità, capacità, capienza delle cabine);

is limited by the need for rapid evacuation already discussed for the permanent link installations (paragraphs 3.4.2 and 3.4.3 of [4]) and shown in table 4.

## **2.5. Monocable air cable-cars with permanent link and one-way intermittent movement and/or variable speed**

*These are more recent installations matching the monocable building cheapness to the permanent link simplicity and the placement of more than one near vehicles or chairs to which follows the possibility of stopping or consistently slowing the supporting-running rope for the loading and unloading.*

*These installations were regulated by specific rules [6] requiring some characteristics as maximum speed on line and at stations (paragraph 5.1), the maximum gradient (par. 2.2), the max height from the ground (par. 7), the time range between two chairs (par. 5.4) and the minimum distance among the cabins of the same train (par. 5.2). The new rules do not deal specifically with these installations so the last ones are regulated by the standards related to each type in which, from time to time, they fall (monocable or double-cable, permanent or temporary link, open or closed vehicles).*

*The transport capacity can be estimated, as for all installations with intermittent movement (such as those ones with to and fro movement), on the basis of the cabin capacity and of the time range between the start of a cab or train and the next one, which obviously depends on the traveling speed and the line length as well as the stop time in the station for loading and unloading. Then we can apply the formula proposed in this paper for funiculars, taking into account the specificities of the installations discussed in this section.*

*Drawing from the technical records of a cable-cars manufacturer we have provided a summary table of the technical-functional features and costs of some installation types (table 6). Particularly the values reported are related to:*

- *technical specifications;*
- *running characteristics (speed, transport capacity, cabin capacity);*
- *the building cost for such a length, divided among the different cost items;*
- *the additional percentage for any intermediate station;*
- *the minimum number of personnel required to run;*
- *the cost of ordinary and extraordinary maintenance as a percentage of the building cost;*
- *the time intervals for the first and the second servicing and the useful life before the dismantling.*

## **2.6. Vertical lifts**

*The European rules [13] include in the vertical lifts the elevators whose runway have a gradient less than 15° on the vertical line.*



TABELLA 6 – TABLE 6

SCHEMA RIEPILOGATIVO DELLE CARATTERISTICHE TECNICO-FUNZIONALI E DEI COSTI DI REALIZZAZIONE DELLE  
PRINCIPALI TIPOLOGIE DI IMPIANTI A FUNE (FORNITO DA DOPPELMAYR)  
SUMMARY OF THE TECHNICAL-FUNCTIONAL FEATURE AND BUILDING COST OF THE MAIN TYPES OF CABLEWAY  
(PROVIDED BY DOPPELMAYR)

Sistema System	Seggiovia Chair-lift	Seggiovia Chair-lift	Cabinovia Gondola-lift	Cabinovia Gondola-lift	Funivia Cable-car	Funivia Cable-car	Funivia Cable-car	Funivia Cable-car	Funicolare Funicular
Principio Type	Monofune Monocable	Monofune Monocable	Monofune Monocable	Monofune-2 traenti Monocable 2 pulling ropes	Bifune Double cable	Bifune – 2 portanti Double cable 2 supporting ropes	Bifune – 2 portanti vicine Double cable 2 close supporting ropes	Bifune – 2 portanti distanziate Double cable 2 spaced supporting	Terrestre Temporary/permanent
Ammorsamento Clamping	Fisso Permanent	Temporaneo Temporary	Temporaneo Temporary	Temporaneo Temporary	Temporaneo Temporary	Temporaneo Temporary	Fisso Permanent	Fisso Permanent	Temporaneo/fisso Temporary/permanent
Velocità – Speed (m/s)	2,8	5	6	7	7	7,5	12	12	14
Portata (pph) Transport capacity (pph)	1200 2400	2400 3600 4000	3000	4000	4000	6000	500-800	500-800	7500
Vetture (pers.)-Vehicle capacity (pass) Max capacity (m)-Max span (m)	2-4-6 150m	4-6-8 200m	8-10-15 300m	24 800m	16 1.500m	35 3.000m	200 3.000m	100 2.000m	380 -
Sostegni Rope supports	Poligonali Polygonal	Poligonali Polygonal	Poligonali Polygonal	Tubolari Tubular	Tralicciati Trellis	Tralicciati Trellis	Tralicciati Trellis	Tralicciati Trellis	-
Altezza da terra Height from ground (m)	20	20	60	60	Illimitato Unlimited	Illimitato Unlimited	Illimitato Unlimited	Illimitato Unlimited	-
Vento max - Max wind	60km/h	60km/h	70km/h	100km/h	80 km/h	100km/h	70 km/h	100km/h	-
Profilo preferenziale Preferable profile	Convesso Convex	Convesso Convex	Convesso Convex	Convesso Convex	Concavo Concave	Concavo Concave	Concavo Concave	Concavo Concave	-
Movimentazione Movement	Continua Continuous	Continua Continuous	Continua Continuous	Continua Continuous	Continua Continuous	Continua Continuous	Va e vieni to and fro	Va e vieni to and fro	Va e vieni/continuo to and fro/continuous
Prezzo budgetario per impianto (€) Total price for one installation (€)	3.045.000	5.070.000	8.195.000	ND	17.610.000	19.425.000	12.100.000	12.100.000	-
Lunghezza esempio - Sample length	1km	1km	1km	2km	2km	2km	1km	1km	1km
Fornitura EM (€) - EM supply (€)	2.300.000	3.880.000	6.200.000	-	13.600.000	14.860.000	7.600.000	7.600.000	8.500.000
Trasporti Montaggi (€) Transport and assembly (€)	353.000	465.000	880.000	-	1.450.000	1.490.000	2.000.000	2.000.000	Variabili Variable
Opere edili (€) Construction works (€)	392.000	725.000	1.115.000	-	2.560.000	3.075.000	2.500.000	2.500.000	Variabili Variable
Stazione intermedia Intermediate station	+5%	+15%	+20%	-	+20%	+20%	-	-	-
Personale minimo - Minimum staff	4	6	6	6	6	6	6	6	6
Manut. Ordinaria Ordinary maintenance	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	-	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Manut. Straordinaria Extraordinary maintenance	0,8%	1%	1%	1%	-	1%	1%	1%	1%
Prima revisione generale anno First general servicing (years)	15	20	20	20	20	20	20	20	20
Seconda revisione generale anno Second general servicing (years)	30	30	30	30	30	30	40	40	40
Scadenza vita tecnica smantellamento Useful life before dismantling (years)	40	40	40	40	40	40	60	60	60

- il prezzo di realizzazione per una lunghezza tipo, suddiviso fra le diverse componenti di costo;
- la percentuale aggiuntiva per l'eventuale stazione intermedia;
- il numero di addetti minimo necessario per l'esercizio;
- il costo della manutenzione ordinaria e straordinaria come percentuale del costo di impianto;
- gli intervalli per la 1° e 2° revisione e la durata della vita utile prima dello smantellamento.

## 2.6. Ascensori verticali

La norma europea [13] comprende, fra gli ascensori verticali, gli impianti elevatori la cui via di corsa presenta una inclinazione minore di 15° sulla verticale.

Nessuna limitazione è prevista dalle norme in vigore per quanto attiene la capienza massima della cabina e le massime velocità e accelerazione. Tuttavia la velocità massima compatibile con un percorso di lunghezza assegnata è raggiungibile con un diagramma di trazione di tipo triangolare (raramente adottato) situazione comune a

No limit is provided by the rules in force about the maximum cabin capacity, speed and acceleration. That said, the maximum speed consistent with a path assigned length is reached by a triangular traction diagram (rarely adopted) like for any other transport service performed in discontinuous movement between two ends. With reference to this general situation, with the symbols below, starting from the kinematic equations for uniformly accelerated motion, by some steps, we can express the maximum speed which can be reached in the central point of the path, through a function of  $a$  and  $L$ , namely:

$$v_{\max} = \sqrt{a \cdot L}$$

where:

$L$  = Length of the installation path with only two end stations [m];

$v_{\max}$  = Maximum speed reached along the path [m/s];

$a$  = average starting acceleration, from  $v = 0$  to  $v = v_{\max}$  in [m/s], assumed equal to the breaking one from  $v = v_{\max}$  to  $v = 0$ .

The calculation of the capacity is, for elevators with only two end stations, similar to the funiculars and to and fro moving cableways, with the only difference that the cabin is

qualsiasi servizio di trasporto che viene effettuato fra due estremi a moto discontinuo. Con riferimento a tale generica situazione, con la simbologia di seguito riportata, partendo dalle equazioni della cinematica per il moto uniformemente accelerato, con alcuni passaggi, si può esprimere la velocità massima, raggiungibile nel punto centrale del percorso, attraverso una funzione di  $a$  e di  $L$ , e cioè:

$$v_{\max} = \sqrt{a \cdot L}$$

dove:

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

$v_{\max}$  = 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/s].

Relativamente al calcolo della capacità, gli ascensori con due sole stazioni di estremità sono assimilabili alle funicolari o alle funivie a vai e vieni con la sola differenza che la cabina è generalmente unica e quindi l'intertempo fra le partenze successive dalla stessa stazione è doppio di quello necessario negli impianti a fune con due cabine. Ciò in quanto l'unica cabina dell'ascensore deve effettuare due corse (una in andata ed una in ritorno) per essere pronta a caricare nuovamente nella stessa stazione. Pertanto la formula già proposta per le funivie è ancora valida a condizione di raddoppiare il denominatore e quindi diventa (sempre nell'ipotesi che non ci siano fermate intermedie):

$$C = \frac{3.600 \cdot n}{2 \cdot \left( \frac{L}{v} + \frac{v}{a} + \frac{n}{p} \cdot t_p \right)} \quad (3)$$

con la stessa simbologia già descritta nel paragrafo 2.1 a proposito delle funicolari terrestri.

Pur essendo la formula della capacità sostanzialmente la stessa per gli ascensori e per le funicolari (con sole fermate di estremità), diversa è la possibilità di incidere su tale caratteristica attraverso i parametri in gioco. In tutti gli impianti a vai e vieni la capacità è proporzionale alla capienza delle cabine; tuttavia la lunghezza relativamente elevata del percorso che caratterizza le funicolari aeree e terrestri rende la capacità di questi impianti molto sensibile anche alla velocità di regime e alle accelerazioni di avviamento e frenatura; per contro la capacità degli ascensori, caratterizzati da una corsa relativamente breve, è fortemente influenzata dai tempi di imbarco e sbarco. Per contenere questi ultimi è possibile sfruttare porte di grandi dimensioni possibilmente collocate su entrambi i lati maggiori opposti della cabina per effettuare il carico e lo scarico contemporaneamente. Naturalmente ad una maggior dimensione delle porte corrisponde un maggior tempo di apertura e chiusura dal momento che le disposizioni specifiche ne limitano sostanzialmente la velocità a 0,3 m/s (punto 7.5.2.1.2 di [7]) oppure l'energia cinetica

usually only one and therefore the time range between following departures from the same station is twice that one required in cableway with two cabins. This is because the only elevator cabin must perform two races (in a forward direction and in a return) to be ready to load back into the same station. Therefore, the formula already proposed for the cable cars is still valid on the condition of doubling the denominator and then becomes (always without intermediate stations):

$$C = \frac{3.600 \cdot n}{2 \cdot \left( \frac{L}{v} + \frac{v}{a} + \frac{n}{p} \cdot t_p \right)} \quad (3)$$

with the same symbols already described in the subsection 2.1 about the funiculars.

Although the formula of the capacity is substantially the same for the elevators and funiculars, the ability to affect this feature through the parameters in play is different. In all to and fro installations the capacity is proportional to the cabins capacity but the relatively high path length which characterizes the air and ground funiculars makes the capacity of these plants very sensitive to the operating speed and the starting and braking acceleration. Conversely the capacity of the elevators, which are characterized by a relatively short path, is strongly influenced by the loading and unloading time. To reduce this last one we can use big doors preferably placed on the both major sides of the cabin to load and unload at the same time. Of course, from the major door width results a longer opening and closing time since the specific provision limits substantially the speed at 0.3 /s (paragraph 7.5.2.1.2 of [7]) or else the kinetic energy during the closure at 10 j (paragraphs 7.5.2.1.1.2. and 8.7.2.1.1.2 of [7] and therefore indirectly the speed<sup>(4)</sup>.

## 2.7. Inclined lifts

The technical standards for these transport systems was recently issued and is still in draft version. Previously the inclined lifts were covered by the same Ministerial Decree 587/87 [7] on vertical lifts which, while not including the first ones in its scope, specified in article 1 of Annex I, the possibility to refer to the same D.M. even for systems with guides inclination more than 15 ° from the vertical.

The UNI EN 81-22/2006 [12] defines inclined lifts covered by the standard in question by associating them specific characteristics. In particular, the UNI includes elevators with inclination on the vertical between 15° and 75° (paragraph 1.1), having a straight path (without curves in the horizontal plane - paragraph 1.3) with a maximum cabin capacity of 100 people (7,500 kg) and speeds up to 4 m/s

<sup>(3)</sup> Vale quanto già specificato nella nota 2.

<sup>(3)</sup> That is what has been specified in note 2.

<sup>(4)</sup> The standard is aimed to ensure the safety of the passenger if he is bumped by the sliding door at the closure. To this end it imposes a limit of 10 joule in the kinetic energy of the door and then indirectly to the speed of closure mainly if the door is big and heavy.

durante la chiusura a 10 j (punti 7.5.2.1.1.2. e 8.7.2.1.1.2. di [7]) e quindi anche indirettamente la velocità<sup>(4)</sup>.

## 2.7. Ascensori inclinati

Di recente emanazione ed ancora in versione provvisoria è la norma che regola questi sistemi di trasporto precedentemente disciplinati dallo stesso DM 587/87 [7] relativo agli ascensori verticali che, pur non comprendendo questi impianti nel proprio ambito di applicazione, specificava, all'articolo 1 dell'Allegato I, la possibilità di fare riferimento allo stesso D.M. anche per impianti con inclinazione delle guide maggiori di 15° rispetto alla verticale.

La UNI EN 81-22/2006 [12] definisce gli ascensori inclinati oggetto della norma in questione associando ad essi precise caratteristiche. In particolare la UNI comprende ascensori con inclinazione sulla verticale fra 15° e 75° (punto 1.1), aventi percorso rettilineo (senza curve nel piano orizzontale – punto 1.3) e con capienza massima delle cabine di 100 persone (7.500 kg) e velocità non superiore a 4 m/s (punto 1.5). Ai sensi della stessa norma, i valori ammissibili per la capienza della cabina e la velocità sono tra loro legati da proporzionalità inversa secondo il diagramma di fig. 2 che evidenzia la possibilità della capienza massima solo per velocità entro 1 m/s e limitazioni a 3000 kg (40 persone) se la velocità raggiunge valore di 4 m/s. Per le applicazioni che non rientrano nei limiti anzidetti o per ascensori con percorso curvilineo la normativa richiede di determinare, attraverso una non specificata analisi di rischio, almeno le misure necessarie per raggiungere il livello di

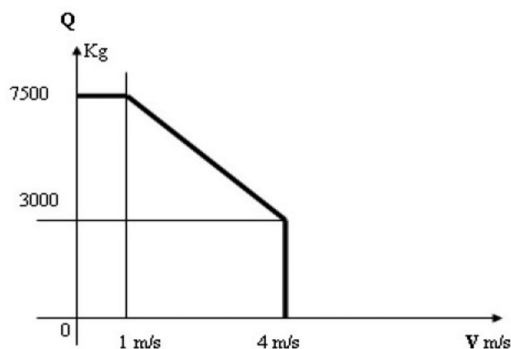


Fig. 2 – Relazione, dettata dalla normativa [12], fra velocità e capienza della cabina negli ascensori inclinati.

Fig. 2 – Relationship, imposed by the rule [12], between the speed and the cabin capacity in the inclined lifts.

<sup>(4)</sup> La norma è tesa a garantire l'incolumità del passeggero che possa essere colpito dalla porta scorrevole durante la chiusura. A tal fine si pone un limite di 10 joule all'energia cinetica posseduta da quest'ultima e quindi indirettamente se ne limita la velocità di chiusura soprattutto se di grandi dimensioni e di notevole massa.

(paragraph 1.5). Under the same rule, the allowable values for the cab capacity and the speed are mutually linked by inverse proportionality according to the diagram of fig. 2 which shows the possibility of the maximum capacity only at speeds within 1 m/s and limits the same capacity to 3000 kg (40 people) if the speed reaches the value of 4 m/s.

For installations not falling within the aforesaid limits or for elevators with curved path, the rule requires to determine, through an unspecified risk analysis, at least the measures necessary to achieve the level of safety set by the guidelines for the lifts (paragraph 1.5 of [12]).

To ensure the evacuation in emergency situations and the verify of runway, the rule requires (paragraph 5.1 of [12]) the presence of a gangway or corridor or scale of width at least equal to 50 cm, developed from one end to another one of the path. Alternatively, it requests the presence of an autonomous cabin adjacent to the main one that can reach the latter and allow the transfer of passengers from one to the another cabin, or combination of several solutions.

## 2.8. Escalators and moving walkways

These belt systems are regulated in Italy by the D.M. 18.09.1975 [9] and, more recently, by the UNI EN 115-2005 [11].

The belt speed is very low to allow the upright passenger to easily and safely board and land. The speed, however, does not limit significantly the capacity, that reaches medium level in these systems, as it is compensated by the possibility of achieving a very high density of passengers. Instead it negatively affect the travel time thus limiting the use on long distances.

The maximum speed was increased from a value of 0.5 m/s referred in the paragraph 3.1.4 of [9] to 0.75 m/s in UNI 115 [11] (paragraph 12.2.2). For walkways the maximum speed by UNI 115 is 0.90 m/s complying with some construction standards.

The capacity is calculated through the vehicular outflow equation taking into account the spacing between persons queued on the belt and the width of the latter. The rule [11] sets (paragraph 3.8) the following formula to calculate the capacity (which derives precisely from the outflow equation) and certain values for its parameters and a table with the calculated values.

$$C = v \cdot 3600 \cdot k / 0,4$$

with:

$C$  = system capacity [pass./h];

$v$  = speed [m/s];

$k$  = factor that is function of the belt width = 1; 1,5; 2 for width respectively of 0,6; 0,8 and 1,0 m.

Therefore the theoretical system capacity (paragraph 3.8 di [11]) is reported in table 7.

This capacity values are realized, however, only in the presence of a strong crowding inducing the passengers to

sicurezza fissato dalla direttive per gli ascensori (punto 1.5 di [12]).

Per garantire l'evacuazione in situazioni di emergenza e la verifica della via di corsa la norma prescrive (punto 5.1 di [12]) la presenza di una passerella o corridoio o scala di larghezza almeno uguale a 50 cm, sviluppati da un estremo all'altro del percorso. In alternativa è richiesta la presenza di una cabina autonoma adiacente a quella principale che possa raggiungere quest'ultima e permettere il trasferimento dei passeggeri dall'una all'altra cabina oppure combinazione di più soluzioni.

## 2.8. Scale e marciapiedi mobili

Questi sistemi sono regolati dal D.M. 18.09.1975 [9] e, più recentemente, dalla UNI EN 115-2005 [11].

La velocità del nastro è molto ridotta per consentire un facile e sicuro ingresso e uscita dalla rampa del passeggero in piedi. La velocità tuttavia non limita sensibilmente la capacità, comunque di livello medio per questi impianti, in quanto è compensata dalla possibilità di raggiungere una densità di passeggeri molto elevata. Incide invece negativamente sul tempo di percorrenza limitandone quindi l'impiego su distanze elevate.

La velocità massima è stata innalzata dal valore di 0,5 m/s previsto al punto 3.1.4 di [9], a 0,75 m/s della UNI 115 [11] (punto 12.2.2). Per i marciapiedi mobili la velocità massima prevista dalla UNI 115 può raggiungere 0,90 m/s rispettando alcune caratteristiche costruttive.

La capacità è calcolabile attraverso l'equazione del deflusso tenendo conto del distanziamento fra le persone accodate sulla rampa e della larghezza di quest'ultima. Le disposizioni [11] suggeriscono (punto 3.8) la seguente formula per il calcolo della capacità (che discende appunto dall'equazione del deflusso) e determinati valori per i parametri in gioco nonché una tabella con i valori calcolati.

$$C = v \cdot 3600 \cdot k / 0,4$$

con:

C = capacità in [passeggeri /h];

v = velocità in [m/s];

k = coefficiente funzione della larghezza (L) della rampa = 1; 1,5; 2 per (L) nell'ordine di 0,6; 0,8 ed 1,0 m

La capacità teorica (punto 3.8 di [11]) risulta quindi riportata in tabella 7.

Questi valori della capacità si realizzano tuttavia solo in presenza di un forte affollamento che può spingere i passeggeri ad impegnare tutti i gradini; in condizioni ordinarie gli utenti tendono a lasciare un gradino libero fra due occupati per evitare il reciproco contatto. In queste condizioni di carico si realizzano portate pari alla metà delle capacità teoriche riportate nella tabella 7.

Secondo la [11] le dimensioni del gradino delle rampe mobili sono un'altezza (alzata) massima di 24 cm da ri-

*engage all the steps; under ordinary, users tend to leave free a step between two occupied in order to avoid the mutual contact. Under these loading conditions we realize flow equal to half of the theoretical capacity shown in table 7.*

TABELLA 7 – TABLE 7

CAPACITÀ TEORICA DEI NASTRI (PASS./H) IN FUNZIONE DELLA LARGHEZZA E DELLA VELOCITÀ NOMINALE; LA CAPACITÀ REALE SI COLLOCA FRA 1/2 E 2/3 DI QUELLA TEORICA  
THEORETICAL CAPACITY OF THE TAPES (PASS./H) AS A FUNCTION OF THEIR WIDTH AND NOMINAL SPEED; THE EFFECTIVE CAPACITY IS ABOUT 1/2 – 2/3 OF THE THEORETICAL ONE

Larghezza nominale Nominal width (m)	Velocità nominale Nominal speed (m/s)		
	0,50	0,65	0,75
0,6	4.500	5.850	6.750
0,8	6.750	8.775	10.125
1,0	9.000	11.700	13.500

*According to [11], the size imposed on the step of escalators are an height(rise) up to 24 cm to reduced to 21 cm if the escalator out of service can be used as an emergency exit (paragraph 8.1.1) and a depth (tread) of at least 38 cm.*

*Combining the maximum height allowed in step with the smallest depth you get the maximum slope allowed for the ramp = 24/38 = 63% = 32°. However, paragraph 10.1.1 of [11] permits for the escalators a maximum gradient of 30 ° = 58% can be increased up to 35 ° = 70% if the difference in height from single ramp is limited to 6 m and the speed is contained in 0,50 m/s. The objective seems to be to limit the consequences of an accidental fall of the passenger.*

*The DM of 1975 [9] required a slightly different size for the steps. In fact, paragraph 3.4 provided a greater step depth (between 40 and 42 cm) and a maximum gradient of 30 ° = 58% from which derive a step height of 23 cm. The UNI has the advantage of admitting a slope slightly higher (up to 35°) compared to one step shallower and therefore more easily explored on foot but less convenient for passengers wishing to be transported standing still on the step. For completeness, it is also to remember the limitation imposed, by the DM in question, to the height to overcome by a ramp, set at 12 or 8 m for single-seater and two-seater ramps respectively.*

*The maximum gradient allowed for moving walkways is 12° = 21% (the same paragraph 10.1.1 of [11]), which represents a value far from negligible.*

*Normally, the choice between escalators or moving walkways is conditioned by the following aspects:*

durre a 21 cm qualora la scala fuori servizio possa essere usata come uscita di emergenza (punto 8.1.1) ed una profondità (pedata) minima di 38 cm.

Combinando la massima altezza consentita al gradino con la minima profondità si ottiene la pendenza massima consentita per la rampa =  $24/38 = 63\% = 32^\circ$ . Tuttavia il punto 10.1.1 di [11] ammette per le scale mobili una pendenza massima di  $30^\circ = 58\%$  elevabile fino a  $35^\circ = 70\%$  se il dislivello superato dalla singola rampa è limitato a 6 m e la velocità è contenuta in 0,50 m/s. La finalità sembra quella di limitare le conseguenze di una accidentale caduta del passeggero.

Il D.M del 1975 [9] imponeva dimensioni leggermente diverse per i gradini. Infatti il punto 3.4 prevedeva una maggiore profondità del gradino (compreso fra 40 e 42 cm) ed una pendenza massima di  $30^\circ = 58\%$  da cui scaturisce un'altezza del gradino di 23 cm. La norma UNI presenta quindi il vantaggio di ammettere una pendenza leggermente maggiore (fino a  $35^\circ$ ) a fronte di un gradino meno profondo e quindi più comodamente percorribile a piedi ma meno comodo per il passeggero che intende farsi trasportare stando fermo sul gradino. Per completezza è bene ricordare anche la limitazione imposta dal DM in questione al dislivello superabile con una rampa funzionante in discesa fissato a 12 o 8 m per rampe rispettivamente monoposto e biposto.

La pendenza massima ammessa per i marciapiedi mobili è invece di  $12^\circ = 21\%$  (stesso punto 10.1.1 di [11]) che rappresenta un valore tutt'altro che trascurabile.

Normalmente la scelta fra scala o marciapiede mobile è condizionata dai seguenti aspetti:

- dislivello complessivo da superare;
- pendenza naturale del terreno sul quale il percorso meccanizzato si inserisce;
- presenza di passeggeri provvisti di carrelli portabagagli o portaspesa o passeggini per bambini;
- lunghezza del percorso;
- opportunità di consentire l'accesso ai disabili non deambulanti.

Naturalmente il profilo del terreno o pendenza naturale è determinante nella scelta fra rampe e marciapiedi mobili soprattutto se si vuole massimizzare lo sviluppo a raso del percorso meccanizzato limitando in tal modo i costi di realizzazione delle opere civili e aumentando l'accessibilità al sistema. È evidente comunque che la scelta di marciapiedi mobili è più costosa a parità di dislivello da superare.

La maggiore velocità consentita ai marciapiedi rispetto alle scale (0,90 contro 0,75 m/s) permette in linea di principio tempi di percorrenza inferiori contenendo, sebbene in minima parte, il limite principale dei nastri consistente nelle basse velocità. Tuttavia l'utilizzo di marciapiedi mobili al posto della rampe mobili costringe il più delle volte ad allungare sensibilmente il percorso pedonale con conseguente aumento dei tempi di viaggio.

- overall height difference to overcome;
- natural slope of the soil on which the mechanized path is added;
- number of passengers with luggage trolleys or shopping carts or baby strollers;
- path length;
- advisability to provide the access to disabled people avoiding parallel devices reserved for them (vertical or inclined lifts).

*Of course, the vertical profile of the soil and its natural slope is decisive in the choice between escalators or moving walkways especially if you want to maximize the length of the flush stretches in the mechanized path in order to limit the costs of civil works and to increase accessibility. However, it's clear that the moving walkways are more expensive for the same height difference to overcome.*

*The increased speed of the moving walkways than the escalators (0.90 versus 0.75 m/s) allows in principle less travel times and restrains, although minimally, the main limit of the belts that is the low speeds. However this advantage results most often in a disadvantage when natural slopes, greater than those permitted for moving walkways, force to significantly extend the mechanized path to use these mechanisms in place of the escalators.*

### 3. Costs

*In the following we deal separately with the building costs and the running ones.*

*Concerning to the first ones, it should be distinguished the plants from the civil works which weighs sometimes heavily on the building costs and may include works not strictly required for the specific system, connected (as in the mechanized walkway) primarily to the choice of the route average elevation and the specific soil alignment. However, herein the need to generalize the analysis to provide information about costs as much as possible "turnkey" does not allows to keep always separate the two rates. It should also be remembered that, especially in cableway installations, the line affects the building cost much less than the stations, hence an installation may be only a little less expensive than a twice as long as another one. In addition, the redundancy adopted on some parts of the installation may influence significantly the cost, as the horizontal recovery systems, sometimes consisting of another cable transport installation alongside the main one. As mentioned, the costs below are merely indicative and have some reliability when averaged together, which we have tried to do by comparing the available sources.*

*A similar argument also applies to operating costs. In fact, on these ones, the emergency and monitoring services heavy weight. While the former services are necessary in principle only in systems where the sudden stop does not allow passengers to leave the facility and get to safety on their own, the need for surveillance appears to be less de-*



### 3. Costi

Nel seguito si trattano separatamente i costi di realizzazione da quelli di esercizio.

Relativamente ai primi sarebbe opportuno distinguere le opere civili dall'impiantistica perché le opere civili, che talvolta incidono in misura prevalente sul costo totale di realizzazione, possono comprendere opere non strettamente necessarie per lo specifico impianto, connesse, come accade spesso nei percorsi meccanizzati con scale e marciapiedi mobili, prevalentemente alla scelta della quota media di sviluppo del percorso e allo specifico andamento del terreno. Tuttavia, in questa sede, la necessità di generalizzare l'analisi per fornire delle indicazioni sui costi il più possibile "chiavi in mano" non consente di tenere sempre separate le due aliquote. È inoltre da ricordare che, soprattutto negli impianti a fune, le opere di linea influenzano il costo di realizzazione molto meno delle stazioni, per cui un impianto può costare solo poco meno di un altro lungo il doppio se si prescinde dall'eventuale necessità di ulteriori sostegni intermedi. Inoltre la ridondanza adottata su alcune parti dell'impianto può influenzarne sensibilmente il costo, come è il caso dei sistemi di recupero orizzontali costituiti talvolta da un impianto di trasporto a fune parallelo a quello principale. Per quanto detto, i costi riportati di seguito hanno valore orientativo e presentano una certa affidabilità se tra loro mediati, cosa che si è cercato di fare mettendo in relazione le fonti disponibili.

Un discorso analogo vale anche per i costi di esercizio. In questi, infatti, un peso notevole è spesso rappresentato dai servizi di soccorso e di sorveglianza. Mentre i primi sono necessari in linea di principio solo negli impianti in cui l'arresto improvviso non consente ai passeggeri di abbandonare l'impianto e mettersi in salvo da soli, l'esigenza di sorveglianza si presenta invece meno definita. Infatti al di là della criticità tipica di alcune operazioni (per esempio il carico e scarico dei passeggeri da una cabinovia a moto continuo), in molti casi la sorveglianza è richiesta solo per garantire la sicurezza personale a bordo dei veicoli o nei tratti di percorsi pedonali, meccanizzati o non, che si sviluppano in sotterraneo o che risultano comunque accessibili solo in punti definiti.

È bene comunque precisare che, oltre a fornire valori di riferimento orientativi per i costi di realizzazione e di esercizio, la finalità della trattazione di questo specifico aspetto consiste nel far emergere il peso che alcune voci di costo possono assumere in differenti tipologie di impianto.

#### 3.1. Costi di realizzazione

##### 3.1.1. Impianti funicolari

Alcuni valori, riferiti probabilmente ad impianti convenzionali, emergono dalla rete e si citano in tabella 8, anche se l'assenza di riferimenti alle fonti sul sito web su cui compaiono, non consente di valutarne l'affidabilità.

*finied. In fact, beyond the typical critical of some operations (for example, the passengers loading and unloading on a continuous motion cable-car), in many cases the monitoring is required only to ensure personal security in the vehicles or inside pedestrian routes, mechanized or not, that are placed underground or even so that are accessible only at designated points.*

*It should be pointed that, the purpose of this aspect discussion is, in addition to provide guidance reference values for the building and running costs, to bring the weight that some list items might have in different systems.*

#### 3.1. Building costs

##### 3.1.1. Cableways

*We report in table 8 some values from internet, although the absence of references to sources on the website on which they appear, does not allow to evaluate the reliability.*

TABELLA 8 - TABLE 8  
COSTI DI REALIZZAZIONE ORIENTATIVI PER ALCUNE  
TIPOLOGIE DI IMPIANTI A FUNE  
INDICATIVE BUILDING COST FOR SOME CABLEWAYS

Tipologia di Impianto <i>Installation type</i>	Costo di realizzazione in milioni di Euro (2008) <i>Building cost in Euro Million (2008)</i>
Funicolare <i>Funicular</i>	3-5
Funivia tradizionale a va e vieni <i>Traditional to and fro cableway</i>	6-12
Cabinovia trifune <i>Tricable cableway</i>	15
Cabinovia bifune <i>Double-cable cableway</i>	8-10
Cabinovia monofune amm. automatico <i>Monocable temporary link cable-car</i>	6-9
Seggiovia a morse fisse <i>Permanent link chair-lift</i>	2
Seggiovia amm. automatico <i>Temporary link chair-lift</i>	5-10

(Source: <http://www.funiforum.org/funiforum/showthread.php?t=4614>)

*More influential is the formula, to calculate the conventional building cost of a cableway in public service, contained in the Articles 19 and 20 - Annex A to the Decree of the President of the Province of Bolzano (Italy) n. 61/2006 [2], which is shown below. We refer to the same Decree for the symbols and the values provided for the parameters specific to each type of installation and we underline that the reported general formula cannot of course take into account the greater costs of the urban installations.*

$$P = S \times E \times D \times [(A'L^2 + B'L + C') + (Q - Q') \times (A''L^2 + B''L + C'')]$$

Un riferimento certamente più autorevole è rappresentato dalla formula per calcolare il costo convenzionale di costruzione di un impianto funiviario in servizio pubblico, contenuta negli articoli 19 e 20 allegato A di [2], che si riporta di seguito rimandando alla stessa fonte per i valori dei parametri da attribuire a ciascuna categoria di impianto e precisando che tale formula generale non può evidentemente tenere conto dei maggiori costi delle realizzazioni in ambito urbano.

$$P = S \times E \times D \times [(A'L^2 + B'L + C') + (Q - Q') \times (A''L^2 + B''L + C'')]$$

dove:

P = costo convenzionale espresso in euro;

L = lunghezza inclinata dell'impianto espressa in metri;

Q = portata oraria, o capacità di cabina per le funivie bifune a va e vieni, per l'impianto in oggetto.

Lo stesso Decreto [2] fornisce, per ciascuna tipologia di impianto, l'incidenza percentuale, sul costo totale convenzionale P calcolato con la formula sopra riportata, delle categorie di opere distinte fra tre aliquote rappresentate da opere elettromeccaniche franco ditta costruttrice, opere edili strettamente indispensabili all'impianto funiviario e trasporti, montaggi, allacciamenti elettrici, rilievi, tracciamenti, direzione lavori, progetti architettonici, collaudi, altro.

Sono inoltre fornite da [2] indicazioni circa le possibili oscillazioni dei costi trattati e in particolare:

- la possibilità di riconoscere costi parziali incrementati fino al 30% per le opere edili e fino al 20% per gli altri, fermo restando il costo convenzionale P;
- il costo convenzionale per la costruzione di un sostegno di linea P' per funivia bifune a va e vieni a due vie di corsa, inteso come costo aggiuntivo a P, è pari ad Euro 400.000;
- il costo convenzionale per la fornitura e posa della pedana mobile P' per le seggiovie ad attacchi fissi, inteso come costo aggiuntivo a P, è pari ad Euro 115.000,00.

È altresì specificato dalla stessa norma [2] che il costo di costruzione convenzionale P calcolato con la formula proposta costituisce riferimento, insieme alla tabella della ripartizione fra le diverse categorie di opere, anche nella determinazione dei costi delle manutenzioni ordinarie e straordinarie nonché delle migliorie qualitative o rinnovazioni tecnologiche.

La rappresentazione grafica della formula del costo di costruzione porta alla realizzazione del diagramma di fig. 3, calcolato limitatamente ad alcune tipologie di impianti con sole stazioni di estremità, e in particolare a:

- funivia bifune a va e vieni a due vie di corsa (tipo 1);
- cabinovia ad ammortamento automatico a 12-15 posti (tipo 2);
- cabinovia ad ammortamento automatico a 6-8 posti (tipo 3);

with:

P = conventional building cost (Euro);

L = Inclined length of the installation (m);

Q = allowed transport hourly flow (or cabin capacity, for double-cable to and fro cableway).

The same Decree [2] provides, for each type of installation, the percentage on the total conventional cost P calculated by the above formula of the works categories distinguished among ex-works electromechanical equipment, civil works absolutely essential to the cableway and transport, assembly, electrical connections, surveying, stakeout, building management, architectural design, acceptance, others.

The Decree [2] also provides other information about the possible fluctuations in the treated costs and particularly:

- the possibility to recognize partial costs increased up to 30% for the civil works and up to 20% for the other ones, being understood the conventional cost P;
- the conventional building cost P' of a line support for double-cable to and fro cableway with two runways, intended as an additional cost to P, is equal to Euro 400,000;
- the conventional cost for the supply and installation of a mobile platform P' for the permanent link chair-lift, intended as an additional cost to P, is equal to Euro 115,000.00.

It's also specified by [2] that the conventional building cost P calculated by the proposed formula provides a reference, along with the table of distribution among different categories of works, also in assessing the costs of ordinary and extraordinary maintenance as well as quality improvements or technological innovations.

The graphic of the formula of the building cost is reported in figure 3. It is computed only for some types of installations and especially for:

- double-cable to and fro cableway with two runways (type 1);
- temporary link 12-15-seater cable-car (type 2);
- temporary link 6-8-seater cable-car (type 3);
- temporary link 4-seater chair-lift with open vehicles (type 4);
- permanent link 3-4-seater chair-lift (type 5).

The cost of each type as a function of the inclined length is developed for four different flow levels (500, 1,000, 1,500 and 2,000 passengers / hour) except for the double-cable to and fro cableway. We calculated the building costs of the latter for different values of the cabin capacity (10, 20, 50 and 100 passengers), according to the meaning ascribed to the term C of the formula by the Decree in question, because the transport capacity for this type of installations is a function of the cabin capacity and the maximum frequency, which in turn depends on the path length, the

- seggiovia ad ammortamento automatico a 4 posti con veicoli aperti (tipo 4);
- seggiovia tri- o quadriposto ad attacchi fissi (tipo 5).

Il costo di ciascuna tipologia (senza stazioni intermedie) in funzione della lunghezza inclinata è calcolato per quattro diversi livelli di portata (500, 1.000, 1.500 e 2.000 passeggeri/ora) ad eccezione della funivia bifune a va e vieni. Per quest'ultima, poiché la capacità è funzione della capienza delle cabine e della frequenza massima, a sua volta dipendente dalla lunghezza del percorso, dai parametri del moto (velocità e accelerazione) e dai tempi di carico e scarico, si è calcolato il costo di realizzazione per differenti valori di capienza delle cabine (10, 20, 50 e 100 passeggeri) in linea con il significato associato al termine C della formula dal Decreto in questione.

Il diagramma evidenzia innanzitutto un andamento diverso delle curve di costo relative ai tipi 1, 3 e 5 rispetto ai tipi 2 e 4 risultando parabolico per le prime e pressoché lineare per le altre. Tale diversità è dovuta al peso quasi nullo attribuito, dai coefficienti della formula per le tipologie 2 e 4, ai termini in cui la lunghezza dell'impianto è elevata al quadrato.

Riguardo ai valori si rileva, per la funivia bifune a va e vieni (tipo 1), un netto incremento del costo all'aumentare della capienza delle cabine, fenomeno che invece ri-

motion parameters (velocity and acceleration) and the loading and unloading time.

The diagram shows first of all a different trend of cost curves for the installation types 1, 3 and 5 with respect to the types 2 and 4, resulting parabolic for the first ones and almost linear for the others. This difference is due to the weight attributed almost zero, by the coefficients of the formula for types 2 and 4, to the terms in which the length of the system is elevated to the square.

About values we observe that the double-cable to and fro cableway (type 1) has a sharp increase in the cost with the enhancing of the cabin capacity, a phenomenon which instead is less sensitive for the types 2 and 3 (temporary link cable-car respectively 12-15-seater and 6-8 seats) and even less for the type 4 (temporary link 4-seater chair-lift with open vehicles), while the type 5 (permanent link 3-4-seater chair-lift) is sensitive only for lengths over about 1 km.

The ordinal scale of the different systems as an inverse function of the building cost first places (with the lowest value) the permanent link 3-4-seater chair-lift (type 5), then the temporary link 4-seater chair-lift with open vehicles (type 4) followed by the types 1, 2 and 3 for which it is not possible to identify univocally a priori a level of cost since the latter is strictly dependent on the length of the path and the capacity. Therefore, among the examined cabins instal-

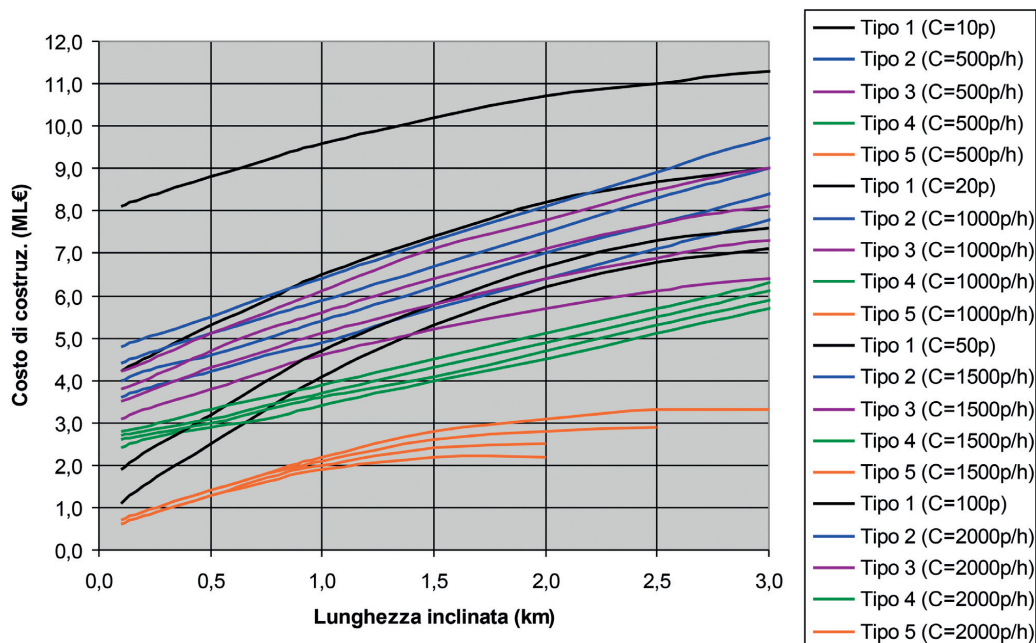


Fig. 3 - Rappresentazione grafica, relativa ad alcune tipologie di impianti, della formula del costo di costruzione di cui al [2].  
Fig. 3 - Graphic of the building cost formula in [2], related to some type of installations.

sulta meno sensibile per le tipologie 2 e 3 (rispettivamente cabinovia ad ammassamento automatico a 12-15 posti e cabinovia ad ammassamento automatico a 6-8 posti) e ancora meno per il tipo 4 (seggiovia ad ammassamento automatico a 4 posti con veicoli aperti), mentre per il tipo 5 (seggiovia tri o quadriposto ad attacchi fissi) risulta sensibile solo per lunghezze oltre circa 1 km.

La scala ordinale dei diversi impianti in funzione inversa del costo di costruzione vede al primo posto (con il valore minore) la seggiovia tri o quadriposto ad attacchi fissi (tipo 5), poi la seggiovia ad ammassamento automatico a 4 posti con veicoli aperti (tipo 4) seguita dalle tipologie 1, 2 e 3 per le quali non è possibile a priori individuare univocamente un livello di costo essendo quest'ultimo strettamente dipendente dalla lunghezza dell'impianto e dalla capacità. Perciò fra gli impianti a cabine esaminati la convenienza alla scelta di una delle tipologie 1, 2 o 3 è subordinata alla distanza da coprire e alla capacità richiesta.

Si evidenzia infine la validità, relativamente al costo, della bifune a vai e vieni per lunghezze ridotte (inferiori al chilometro) e bassa capienza delle cabine (10-20 posti), impianto che invece diventa molto oneroso per lunghezze e capienze elevate.

Il diagramma di fig. 4 limita l'applicazione della formula della Provincia di Bolzano a cinque tipologie di impianti sensibilmente diverse fra loro per evidenziare le differenze di costo di realizzazione. Naturalmente dette tipologie non rappresentano tutte la soluzione ottimale per gli stessi problemi di collegamento.

È opportuno un raffronto fra i costi di realizzazione calcolati con la formula della Provincia di Bolzano e quelli forniti da Doppelmayr già presenti nella tabella 6 e riprodotti in tabella 9 con riferimento alle sole tipologie di sistemi con caratteristiche tecniche più vicine a quelle tradizionali. È da notare infatti che gli impianti di cui sono state fornite le caratteristiche presentano, in più di qualche caso, delle specificità (doppia fune portante, doppia trante o cabine a due piani) a cui conseguono complicazioni costruttive che ne rendono i costi non confrontabili in linea di principio con quelli degli impianti tradizionali a cui invece presumibilmente fa riferimento la formula proposta dalla Provincia di Bolzano.

I valori forniti dalla citata Azienda costruttrice risulta-

zioni, la convenienza alla scelta di una delle tipologie 1, 2 o 3 è dipendente dalla distanza da coprire e dalla richiesta capacità.

We also point out the validity, with reference to the cost, of the double-cable to and fro cableway for short lengths (less than 1 km) and low cabin capacity (10-20 seats), whereas it becomes very expensive for high lengths and capacities.

The diagram of fig. 4 applies the formula of the Bolzano Province to only five types of installations significantly different from each other to highlight differences in building cost. Naturally these types are not all the best solution for the same connection problems.

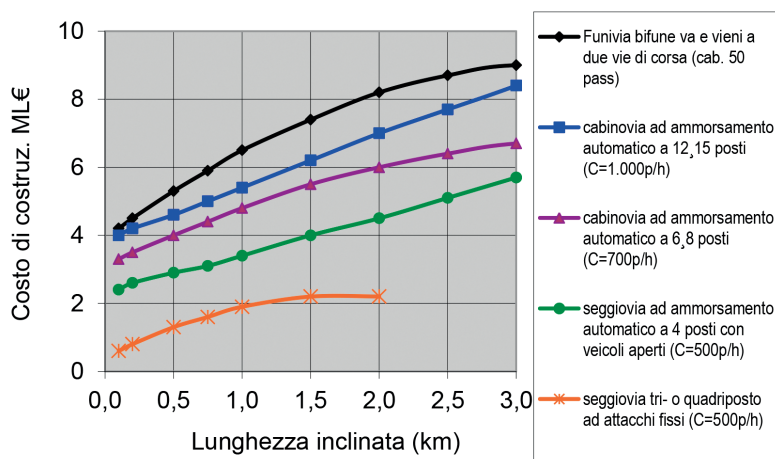


Fig. 4 - Rappresentazione grafica, relativa a sole 5 tipologie di impianti, della formula del costo di costruzione di cui al [2].

Fig. 4 - Graphic of the building cost formula in [2], related to only 5 types of installations.

It should be appropriate a comparison between the building costs calculated by the formula of the Bolzano Province and those provided by Doppelmayr already in the table 6 and reproduced in table 9 with reference only to types of systems with technical features closer to the traditional ones. In fact it's to be noted that the installations of which the Company have given the features present, in more than a few cases, some specificity (double supporting rope, double running rope or double-decker cabins) resulting in constructive complexity that make the costs not comparable, in principle, with those of conventional systems which instead the formula proposed by the Province of Bolzano presumably refers to.

The values provided by the above manufacturer Company are on average greater than about 50% compared to those deduced from the diagram of figure 4 or directly by the formula in question for the same length of the path (1 km). Therefore it's advisable, in the preliminary estimate of

TABELLA 9 - TABLE 9

COSTI DI REALIZZAZIONE INDICATIVI, RELATIVI AGLI IMPIANTI PIÙ COMUNI,  
FORNITI DA DOPPELMAYR (2011)

INDICATIVE BUILDING COSTS OF THE MOST COMMON INSTALLATIONS, PROVIDED BY DOPPELMAYR (2011)

Sistema System	Seggiovia Chair-lift	Seggiovia Chair-lift	Cabinovia Gondola-lift	Funivia Cableway	Funicolare Funicular
Principio Type	Monofune Monocable	Monofune Monocable	Monofune Monocable	Bifune Double-cable	
Ammorsamento Clamping	Fisso Permanent	Tempor Temporary	Tempor Temporary	Fisso Permanent	Tempor./fisso Temporary/permanent
Prezzo budgetario per impianto (ml€) Total building cost for one installation (ml€)	3,0	5,1	8,2	12,1	
Lunghezza esempio Sample length	1 km	1 km	1 km	1 km	1 km
Fornitura EM (ml€) Electro-mech. supply (ml€)	2,30	3,88	6,20	7,60	8,50
Trasporti montaggi (ml€) Transp. and assembly (ml€)	0,35	0,47	0,88	2,00	variabili variable
Opere edili (ml€) Civil works (ml€)	0,39	0,73	1,12	2,50	variabili variable
Stazione intermedia Intermediate station	.+5%	.+15%	.+20%		

no mediamente maggiori di circa il 50% rispetto a quelli ricavati dal diagramma di fig. 4 o direttamente dalla formula in questione per la stessa lunghezza di impianto (1 km). È pertanto consigliabile, in sede di stima preliminare dei costi, incrementare di un 20-25% i valori calcolati in base al [2]. Naturalmente stime diverse dovranno essere condotte nel caso di impianti che presentano caratteristiche tecniche particolari e quindi complicazioni costruttive maggiori di quelli tradizionali.

Relativamente alle funicolari tradizionali ed ai people-mover a fune che sono fra loro assimilabili in quanto ricadenti nella categoria degli impianti terrestri, la specificità di ciascuna delle realizzazioni esistenti e la forte incidenza dei costi per la costruzione della sede, molto diversi da un caso all'altro, non permettono di parametrizzare l'investimento complessivo.

### 3.1.2. Ascensori e scale mobili

La grande diffusione di impianti di ascensori e di scale e marciapiedi mobili in servizio pubblico consente di basare la stima dei costi di impianto su più fonti. In particolare ci si è avvalsi dei prezzi delle opere pubbliche delle regioni Basilicata, Lazio, Molise e Umbria e delle indicazioni fornite da una primaria ditta produttrice (Kone).

Sui prezzi regionali il costo degli impianti ascensori è generalmente sviluppato in funzione della capienza della cabina, per una velocità ed un numero di fermate prefissati; sono previsti incrementi di prezzo per velocità

the cost, increase of 20-25% the values calculated on the basis of [2]. Of course, different estimates will be conducted in the case of installations with special technical features and thus constructive complexity more than traditional ones.

With regard to the funiculars and the cable-people-mover, that are mutually comparable since they fall in terrestrial installations, the specificity of each the existing facilities and the high incidence of the runway building costs, very different from case to case, do not allow to parameterize their total construction costs.

### 3.1.2. Lifts and escalators

The popularity of the lifts, escalators and moving walkways in public service allows us to base the estimate of the building cost on several sources. In particular, we made use of the public works price lists of Basilicata, Lazio, Molise and Umbria Italian regions and of the information provided by a leading manufacturer Company (Kone).

In regional price lists the cost of the lift installations is generally developed as a function of the cabin capacity, for a set speed and number of stops. Increases of price for higher speed, as well as for variable-speed winch, and variations plus or less for increasing or reducing the stops number are expected. Of course prices include full installation but exclude civil work that could have a minimal impact if you have a building in which to develop the plant or major weight if you need to make appropriate



maggiori, nonché per argano a velocità variabile, e variazioni in più o in meno per aumento o riduzione del numero di fermate. Naturalmente i prezzi comprendono la completa messa in opera ma escludono le opere edili che possono incidere in modo minimale se si dispone di un edificio in cui sviluppare l'impianto o molto rilevante se è necessario realizzare apposite costruzioni fuori o dentro terra per contenere la via di corsa.

Sempre nei prezzi regionali delle opere pubbliche il costo delle scale mobili è di solito indicato per ogni rampa in funzione di tre valori diversi della larghezza del gradino (60, 80 e 100 cm) e del dislivello da superare, con una inclinazione fissa di 30° sull'orizzontale. Anche in questo caso sono compresi trasporto e messa in opera ma sono escluse le opere edili necessarie per creare la sede in cui installare la rampa nonché la eventuale copertura della stessa e le aree di ingresso. Peraltro negli impianti di scale mobili che molto spesso sono posti al coperto, e talvolta addirittura in sotterraneo, sono presenti tratti di percorso in piano o a bassa pendenza non meccanizzati, di sviluppo anche maggiore della parte meccanizzata, il cui costo di realizzazione per unità di lunghezza è dello stesso ordine di grandezza di quest'ultima.

Il diagramma di fig. 5 riporta i costi di un impianto di ascensore a fune con sole due fermate ed argano a velocità variabile, posti in funzione della capienza della cabina, al netto delle opere edili. I valori tratti dai prezzi regionali sopra richiamati e dalla citata Azienda costruttrice sono rappresentati da punti mentre la retta è il grafico della relazione lineare interpolante. Benché la regressione presenti una scarsa significatività per via del ridotto numero di elementi del campione preso in esame, riesce tuttavia a fornire un ordine di grandezza dei costi per questo tipo di impianti. Pertanto la relazione di seguito riportata ha la sola finalità di permettere una lettura più immediata del diagramma che rappresenta.

$$P = 1,0095 \times C + 31,932$$

dove:

P = prezzo in migliaia di Euro;

C = numero di persone che la cabina può contenere (capienza).

Si è sviluppata la stessa analisi per le scale mobili graficizzando i prezzi tratti dai prezzi regionali e dalle indicazioni della Kone messi in relazione al dislivello da superare con riferimento a tre larghezze del gradino (60, 80, e 100 cm) e ricavando le relazioni interpolanti (fig. 6).

Purtroppo, a differenza degli ascensori, i valori delle diverse fonti si discostano sensibilmente fra loro e conseguentemente la regressione fornisce coefficienti di correlazione molto bassi. A maggior ragione in questo caso si può rilevare quanto detto in precedenza circa la scarsa significatività delle rette interpolanti ricavate. Pertanto le relazioni di seguito riportate sono soltanto di aiuto alla lettura dei diagrammi che esse rappresentano, da cui può trarsi un ordine di grandezza del costo delle rampe mobi-

buildings, aboveground or underground, to contain the runway.

Still in the cited price lists of regional public works, escalators cost is usually indicated for each ramp according to three different values of the step width (60, 80 and 100 cm) and the difference in height, with a fixed angle of 30° horizontal. Even in this case, transport and installation are included but the civil works required to create the seat in which install the ramp as well as the eventual coverage of the same and the input areas are excluded. Moreover in escalators installations, which are often in covered spaces and sometimes even underground, there are often not-mechanized stretches with flat or low-slope track, developing a length even greater than the mechanized part. This last parts are not much more expensive than the not-mechanized ones.

The diagram of figure 5 shows the costs of a lift, with only two stops and variable speed winch, related to the cabin capacity, net of the civil works. The values taken from the above cited regional price lists and the aforementioned manufacturer Company are represented by dots while the line is the graph of the linear interpolating relationship. Although the regression has little significance because of the low number of the sample elements, however it can provide an order of magnitude of the costs for these installations. Therefore the following relation has the only purpose to make easier the reading of the diagram that represents it.

$$P = 1,0095 \times C + 31,932$$

where:

P = cost (Euro x 1,000);

C = cabin capacity,

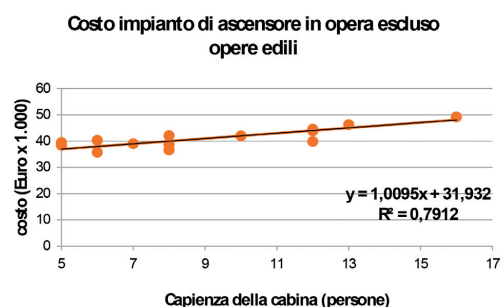


Fig. 5 – Costi di fornitura e montaggio (escluso le opere edili) di un impianto ascensore con due fermate ed argano a velocità variabile in funzione della capienza della cabina (tratti da fonti diverse) e relativa retta interpolante.

Fig. 5 – Supply and assembly cost (civil works excluded) of a lift with two stops and variable speed winch, as a function of the cabin capacity (taken from different sources) and relative interpolating straight line.

li in funzione del dislivello superato (D) e per diverse larghezze del gradino (L).

$$P = 7,2546 \times D + 62,033 \quad \text{per } L = 60 \text{ cm}$$

$$P = 7,7438 \times D + 61,854 \quad \text{per } L = 80 \text{ cm}$$

$$P = 8,0161 \times D + 70,427 \quad \text{per } L = 100 \text{ cm}$$

dove:

P = prezzo in migliaia di Euro;

D = dislivello superato in metri.

Poiché la voce “marciapiedi mobili” non compare quasi mai nei prezzi regionali, anziché basare la stima del costo su uno o due dati soltanto, si è preferito assumerlo uguale a quello delle scale mobili della stessa lunghezza atteso che le due tipologie di impianto sono strutturalmente e meccanicamente identiche a meno della forma del nastro e della potenza del motore che tuttavia incide sul costo in modo decisamente trascurabile. Poiché la lunghezza inclinata (L) di una rampa di scala mobile con pendenza di 30° è pari (al netto dei tratti orizzontali di imbarco) al doppio del dislivello (H) superato e cioè ad ( $L = H / \sin 30^\circ$ ), ne consegue che il prezzo di un marciapiede mobile è all'incirca pari a quello di una rampa mobile che supera un dislivello pari a metà della lunghezza dello stesso. Quindi l'ordine di grandezza del prezzo di un marciapiede mobile può essere stimato, con larga approssimazione, attraverso le stesse formule ricavate per le scale (con gli stessi limiti già evidenziati in proposito), sostituendovi, al dislivello, la metà del valore dello sviluppo lineare del marciapiede. Perciò le formule prima ricavate diventano:

$$P = 7,2546 \times S/2 + 62,033 \quad \text{per } L = 60 \text{ cm}$$

$$P = 7,7438 \times S/2 + 61,854 \quad \text{per } L = 80 \text{ cm}$$

$$P = 8,0161 \times S/2 + 70,427 \quad \text{per } L = 100 \text{ cm}$$

dove:

P = prezzo in migliaia di Euro;

S = sviluppo in metri.

La difficoltà di tener conto dei costi delle opere edili per ricavare un costo complessivo di costruzione può essere parzialmente superata prendendo in considerazione alcune realizzazioni, così come è stato fatto in [18]. In questa fonte è stato stimato un costo di costruzione complessivo indicativo di 26 milioni di Euro per chilometro

We developed the same analysis for the escalators putting on a graphic the prices, taken from Italian regional price lists and the directions from Kone, related to height differences with reference to three of the step widths (60, 80, and 100 cm); then we derived interpolating relations (fig. 6).

### Costo rampa di scala mobile in opera escluso opere edili

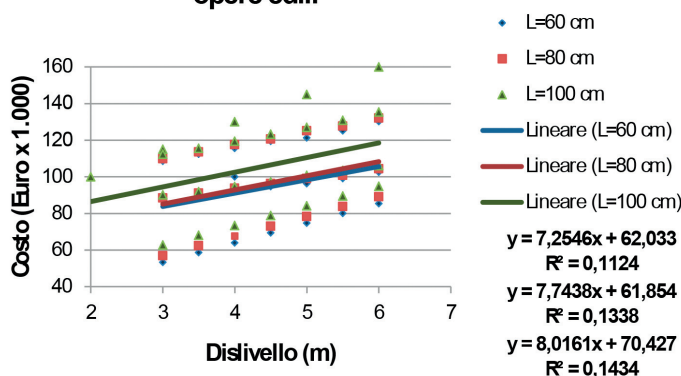


Fig. 6 – Costi di fornitura e montaggio (escluso le opere edili) di una rampa di scala mobile di diverse larghezze, con inclinazione 30°, in funzione del dislivello (tratti da fonti diverse) e relative rette interpolanti ( $x=D$ ).

Fig. 6 – Supply and assembly cost (civil works excluded) of an escalator, with 30° slope and different lengths, as a function of the height difference (taken from different sources) and relative interpolating straight line ( $x=D$ ).

Unfortunately, unlike the lifts, the values of the various sources are significantly different from each other and consequently the regression provides very low correlation coefficients. The more so in this case we can note what previously said about the little significance of the interpolating straight lines drawn. Therefore the following relations help only to read the diagram providing an order of magnitude about the cost of an escalator, as a function of the height difference (D) and different widths of the step (L).

$$P = 7,2546 \times D + 62,033 \quad \text{for } L = 60 \text{ cm}$$

$$P = 7,7438 \times D + 61,854 \quad \text{for } L = 80 \text{ cm}$$

$$P = 8,0161 \times D + 70,427 \quad \text{for } L = 100 \text{ cm}$$

where:

P = cost (Euro x 1,000);

D = height difference in m.

Since the item “moving walkways” hardly ever appears in Italian regional price lists, rather than basing the estimate of the cost on one or two data only, we preferred to extrapolate it from that of escalators with respect to which the moving walkways differ only in the shape of the

di percorso meccanizzato comprensivo dei tratti con rampe e/o marciapiedi mobili e tratti non meccanizzati, ovvero di 11 milioni di Euro per ettometro di dislivello. La stessa fonte riporta un costo complessivo di 10 milioni di Euro per chilometro di linea relativo ad un impianto a fune generico terrestre o aereo lungo almeno un chilometro, a moto alternato, con due cabine da 100 posti ciascuna. Tali valori possono essere assunti come riferimenti di larga massima per stime orientative.

### 3.2. Costi di esercizio

Il D.M. 2.01.1985 [8] detta norme regolamentari in materia di varianti costruttive, di adeguamenti tecnici, di revisioni periodiche nonché di vita tecnica riferite ai servizi di pubblico trasporto effettuati con impianti funicolari aerei (quali funivie bifune, funivie monofune con veicoli a collegamento temporaneo o permanente, ascensori ed impianti assimilabili) o terrestri (quali funicolari su rotaia, sciovie, slittovie, scale mobili ed impianti assimilabili).

Gli aspetti del Decreto in questione che incidono sensibilmente sui costi di impianto e di esercizio riguardano la vita tecnica degli impianti e le revisioni. La vita tecnica è fissata in (punto 3.1 di [8]):

- 60 anni per le funivie bifune a vai e vieni, per le funicolari terrestri su rotaia e gli impianti assimilabili;
- 40 anni per le funivie bifune e monofune con veicoli a collegamento permanente o temporaneo (costruite dopo il 1960);
- 30 anni per sciovie, ascensori, scale mobili ed impianti assimilabili.

Terminata la vita tecnica (punto 3.4 di [8]), l'eventuale riapertura al pubblico dell'impianto può essere consentita per una nuova vita tecnica non superiore alla precedente a condizione di effettuare radicali interventi di completo ammodernamento indicati nei punti 3.5 e 3.6.

Durante la vita tecnica è necessario effettuare "revisioni speciali" e "revisioni generali" (punto 3.2 di [8]). La revisione speciale, che va condotta ogni cinque anni per tutti i tipi di impianto, comporta la sostituzione di parti importanti e l'effettuazione di controlli e prove non distruttive. La revisione generale è fissata con cadenzamento specifico per ciascuna tipologia di impianto, due volte durante la vita tecnica. A tutto ciò consegue la necessità di tenere in considerazione i sensibili costi per le revisioni speciali e le revisioni generali e in ultimo il costo di ammodernamento per rinnovare la vita utile.

In prima battuta una indicazione circa i costi di esercizio può trarsi da [18] che, sulla base di alcuni impianti esistenti, ha ricavato dei valori orientativi per i costi di esercizio complessivi (basati sui bilanci di gestione) parametrizzati in funzione delle ore di esercizio e della lunghezza della linea o del dislivello superato, senza tener conto dei costi di ammortamento per rinnovo alla fine della vita utile. Lo studio citato considera assimilabili, per la tipologia di costo considerato, gli impianti a nastro

belt and for the power of the engine that is proportional to the height difference to be overcome as well as the speed and width of the same belt. Of course the cost of this system depends not on the height difference with a set slope, as for escalators, but on the length, since it is a mainly horizontal transport. Therefore, as the length of an escalator with a slope of 30° is equal to (net of the horizontal boarding) twice the difference in height, it is possible to get, with large approximation, the moving walkways price with the same formulas obtained for escalators replacing in them the height difference with half the value of the walkway linear length. Therefore, the formulas become:

$$P = 7,2546 \times S/2 + 62,033 \text{ for } L = 60 \text{ cm}$$

$$P = 7,7438 \times S/2 + 61,854 \text{ for } L = 80 \text{ cm}$$

$$P = 8,0161 \times S/2 + 70,427 \text{ for } L = 100 \text{ cm}$$

where:

$P$  = cost (Euro x 1,000);

$S$  = developed length (m).

The difficulty of taking into account the costs of the civil works in order to obtain a total building cost can be partially overcome by considering some existing installations, as was done in [18]. In this research the author estimated for the mechanized routes an indicative total building cost of 26 million euros per kilometer of route including mechanized stretches with ramps and / or walkways and non-mechanized ones, or 11 million euros for hectometre of height difference. The same source reports a total cost of 10 million euros per kilometer of line for a generic land or air cableway, long at least a kilometer, to and fro motion, with two 100-seater cabins. These values can be taken as large maximum references for approximate estimates.

### 3.2. Running costs

The DM 02.01.1985 [8] lays down standards on construction variants, technical upgrading, periodic servicing as well as technical life related to public transport services carried out by air cableway (double-cable and monocable, temporary or permanent link cable-cars, lifts and similar installations) or land cableway (such as rail funiculars, ski lifts, sled-lift, escalators and similar systems).

Aspects of the Decree, which significantly affect building and running costs, relate to the technical life of the installations and their servicing. The technical life is fixed in (paragraph 3.1 of [8]):

- 60 years for double-cable to and fro cableways, for rail funiculars and similar facilities;
- 40 years for mono and double-cable cableways with permanent or temporary link (built after 1960);
- 30 years for ski-lifts, lifts, escalators and similar facilities.

At the end of the technical life (paragraph 3.4 of [8]), the possible reopening to the public may be permitted for a

(scale e tappeti mobili) e quelli a navetta (funicolari aeree e terrestri a vai e vieni), sulla base della considerazione che entrambi presentano un elevato livello di automazione nel funzionamento e che nel servizio urbano le funicolari sono prevalentemente terrestri e quindi prive di specifico personale addetto all'eventuale evacuazione dell'impianto. I valori indicati per il costo di esercizio ammontano a 430 € per chilometro di linea e per ora di funzionamento oppure a 170 € per ettometro di dislivello e per ora di funzionamento. Questi valori risultano piuttosto alti, soprattutto se confrontati a quelli di seguito calcolati, in quanto basati su dati tratti dai bilanci di esercizio di impianti di scale mobili esistenti nei quali probabilmente si impiega più personale di quanto strettamente necessario, per perseguire finalità di ordine pubblico o occupazionali.

In grande considerazione, perché basate sulle numerose realizzazioni, sono da tenere le indicazioni dell'unica azienda costruttrice (Doppelmayr) che ha risposto alle richieste dello scrivente fornendo, per le diverse tipologie di impianti prodotti, indicazioni specifiche per il calcolo del costo di esercizio. Queste consistono nel numero minimo di unità di personale necessario per il funzionamento e nel costo delle manutenzioni ordinarie e straordinarie espresse in percentuale del costo di realizzazione. Tali dati, già compresi nella tabella 6 riportante le caratteristiche dei diversi impianti, sono riprodotti di seguito limitatamente alle tipologie più comuni (tabella 10) insieme ad altri utilizzati per ricavare il costo di esercizio complessivo medio per ora di funzionamento. I dati assunti a tale scopo, che rappresentano valori solo orientativi, sono:

- personale di riserva per ogni turno di lavoro, aggiuntivo di quello indicato dall'Azienda = +10%, con minimo 1 unità;
- costo medio di una unità di personale = 45.000 Euro/anno;
- numero medio di ore lavorate in un anno = 1.700;
- prezzo dell'energia elettrica = 0,10 Euro / kWh (valore orientativo mediato fra diversi fornitori per utilizzatori medi);
- ore di esercizio annue per un impianto per il trasporto urbano = 6200 = 17 ore/giorno = 3 turni.

Come riportato nella già citata tabella 10, il costo di esercizio per ora di funzionamento (senza considerare l'ammortamento per sostituzione dell'impianto alla fine della vita utile) è compreso fra i 125 e i 226 Euro per i diversi tipi di impianto considerati, nell'ipotesi di funzionamento su tre turni di lavoro ed assumendo il costo annuo di manutenzione indipendente dalle ore di funzionamento. Si nota come il personale incida per una quota compresa fra il 67 e l'87% del costo orario e quindi, per gli impianti più importanti quali le funivie classiche e le funicolari, si mantenga anche inferiore ai valori tipici del trasporto pubblico urbano su gomma rispetto al quale il trasporto a fune può però vantare capacità ben maggiori.

*new technical life, not longer than the previous one, on condition to make radical interventions of complete upgrading set out in paragraphs 3.5 and 3.6.*

*During the service life we need to make "special servicing" and "general servicing" (paragraph 3.2 of [8]). The special servicing, to perform every five years for all types of installation, involves the replacement of important parts and carrying out checks and non-destructive testing. The general servicing is required, with a different frequency for each type of system, twice during the technical life. It follows the need to take into account the sensitive costs for special and general servicing and eventually the upgrading cost to renew the technical life.*

*In the first instance, an indication of the costs can derive from [18] that, on the basis of some existing installations, drew guideline values for running costs parameterized as a function of the running hours and the path length or the overcome height difference, regardless of the depreciation costs for renewal at the end of the technical life. The cited research accounts to be comparable, with regard to the running costs, the belt installations (escalators and moving walkways) and the shuttle (land and air to and from cableways), because both have an high automation level of operation. Besides cableways in urban service are mainly land funiculars and therefore no specific staff is required for the possible evacuation of the system. The values specified for the running cost amount to 430 Euro per kilometer of line and per hour of operation or 170 Euro for hectometre of height difference and hours of operation. These values are quite high, especially when compared with those calculated below, as they are based on data taken from the financial statements of existing escalators installations that probably have more staff than strictly necessary, to achieve the purposes of public policy or employment.*

*We focus strongly on the information provided by the only manufacturer Company (Doppelmayr) that gave, for different types of system, the specific parameters to estimate the running cost. These consist of the minimum number of personnel necessary for the operation and the cost of ordinary and extraordinary maintenance as a percentage of the building cost. These data already included in table 6 showing the characteristics of different installations, are reproduced below, limited to the most common types (table 10), along with others developing the guidelines provided by the known manufacturer Company to calculate the average total running cost per hour of operation. The data used for this purpose are:*

- reserve personnel for each work shift and additional to that indicated by the Company = +10%, with a minimum of 1 unit;
- average cost of a staff unit = 45,000 Euro / year;
- average number of worked hours in a year = 1700;
- electricity price = 0.10 Euro / kWh (orientation value averaged by more suppliers for medium size users);

TABELLA 10 - TABLE 10

COSTI DI ESERCIZIO INDICATIVI, RELATIVI AGLI IMPIANTI PIÙ COMUNI, CALCOLATI, SULLA BASE  
DI INDICAZIONI FORNITE DA UNA AZIENDA LEADER NEL SETTORE, IPOTIZZANDO  
UN FUNZIONAMENTO DI 6.200 ORE/ANNO E 3 TURNI DI LAVORO GIORNALIERI

INDICATIVE RUNNING COST, RELATED TO THE MOST COMMON CABLE SYSTEMS, WHICH ARE PRODUCED,  
ON THE BASIS OF SOME INDICATIONS OF DOPPELMAYR, ASSUMING AN OPERATION OF 6200 HOURS/YEAR  
AND 3 DAILY WORK SHIFTS

Sistema System	Seggiovia Chair-lift	Seggiovia Chair-lift	Cabinovia Gondola-lift	Funivia Cableway	Funicolare Funicular
Principio Type	Monofune Monocable	Monofune Monocable	Monofune Monocable	Bifune Double-cable	
Ammorsamento Clamping	Fisso Permanent	Tempor Temporary	Tempor Temporary	Fisso Permanent	Tempor./fisso Temporary/permanent
Prezzo budgetario per impianto (M€) Total price for one installation (M€)	3,0	5,1	8,2	12,1	
Lunghezza esempio Sample length	1 km	1 km	1 km	1 km	1 km
Fornitura EM (M€) EM supply (M€)	2,30	3,88	6,20	7,60	8,50
Trasporti montaggi (M€) Transp. and assembly (M€)	0,35	0,47	0,88	2,00	variabili variable
Opere edili (M€) Construction works (M€)	0,39	0,73	1,12	2,50	variabili variable
Stazione intermedia Intermediate station	.+5%	.+15%	.+20%		
Personale minimo Minimum staff	4	6	6	6	6
Manut. Ordinaria Ordinary maintenance	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Manut. Straordinaria Extraordinary maintenance	0,8%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
Prima revisione generale anno First general servicing (years)	15	20	20	20	20
Seconda revisione generale anno Second general servicing (years)	30	30	30	40	40
Scadenza vita tecnica smantellamento Useful life before dismantling (years)	40	40	40	60	60
Personale complessivo (3 turni / g) Total staff (3 work-shift / day)	15	21	21	21	21
Costo compless. del personale (€/anno) Staff total cost (€/y)	675.000	945.000	945.000	945.000	945.000
Costo del personale / ora esercizio Staff cost / running hour	109	152	152	152	152
Costo manut. ordinaria (€/anno) Ordinary maintenance cost (€/y)	45.600	76.200	123.000	181.500	150.000



TABELLA 10 - TABLE 10  
(continuazione)

Costo manut. straordinaria (€/anno) <i>Extraordinary maintenance cost (€/y)</i>	24.320	50.800	82.000	121.000	100.000
Costo manut. ordinaria (€/ora) <i>Ordinary maintenance cost (€/h)</i>	7	12	20	29	24
Costo manut. straordinaria (€/ora) <i>Extraordinary maintenance cost (€/h)</i>	4	8	13	20	16
Potenza installata kW <i>Installed power (kW)</i>	100	100	200	500	500
Consumo orario kWh <i>Hourly consuption (kWh)</i>	50	50	100	250	250
Costo energia (€/ora) <i>Energy cost (€/h)</i>	5	5	10	25	25
Costo di esercizio compless. (€/ora) <i>Total running cost without depreciation (€/h)</i>	125	178	195	226	218
Incidenza personale <i>Staff percentage</i>	87,0%	85,7%	78,0%	67,4%	70,0%
Incidenza manutenzione ordinaria <i>Ordinary maintenance percentage</i>	5,9%	6,9%	10,1%	12,9%	11,1%
Incidenza manutenzione straordinaria <i>Extraordinary maintenance percentage</i>	3,1%	4,6%	6,8%	8,6%	7,4%
Incidenza energia <i>Energy percentage</i>	4,0%	2,8%	5,1%	11,1%	11,5%
Ammortamento (€/ora) <i>Depreciation (€/h)</i>	12	20	33	33	22
Costo esercizio con ammortam. (€/ora) <i>Total running cost with depreciation (€/h)</i>	137	198	229	259	239
Incidenza ammortamento <i>Depreciation percentage</i>	8,9%	10,3%	14,5%	12,6%	9,0%

Elaborazione su dati di base forniti da Doppelmayr Italia.  
Based on basic data provided by Doppelmayr Italia.

Benché in Italia, relativamente alle opere pubbliche, si tenda a tenere separati i costi di gestione da quelli di realizzazione considerando questi ultimi coperti da finanziamenti speciali una-tantum ed i primi a carico della gestione ordinaria dell'ente pubblico competente, sarebbe tuttavia opportuno considerare annualmente una quota di ammortamento per tener conto della necessità di smantellare l'impianto al termine della sua vita utile fissata dalle normative nonché gli interessi sul capitale investito. Il costo orario di ammortamento può calcolarsi dividendo il costo di realizzazione (costo budgettario) per gli anni di vita utile e per le ore di funzionamento annue. Nell'ipotesi di funzionamento per 6.200 ore all'anno (3 turni di lavoro giornalieri) l'ammortamento

- *running hours per year of an installation for urban transport = 6200 = 17 hours / day = 3 rounds.*

As reported in the aforementioned table 10, the running cost per hour of operation (without considering the depreciation to replace the installation at the end of its technical life) is between 125 and 226 Euro for the different types of systems considered, in the hypothesis of operating on three work shifts and assuming that the annual cost of maintenance is independent of the operating hours. Note that the personal weighs for a share of between 67 and 87% on the running hourly cost and therefore the most important facilities, such as classic cableways and funiculars, remains even below the typical values of urban road transit that has also much lower capacity.

pesa, per le tipologie di impianti considerati, da 12 Euro per ora di funzionamento della seggiovia monofune a collegamento permanente ai 33 Euro per ora di funzionamento della cabinovia a collegamento temporaneo, con un'incidenza rispettivamente del 8,9 e del 14,5% sul totale del costo orario che, tenendo conto anche dell'ammortamento, raggiunge valori compresi fra circa 137 e 259 Euro/ora.

In sostanza si rileva che, per gli impianti a fune che sono tutti caratterizzati da un elevato livello di automazione, le imposizioni della normativa risultino penalizzanti, in termini di costo di esercizio, soprattutto relativamente al personale di controllo e soccorso. In misura minore, sebbene tutt'altro che trascurabile, incide invece il costo di smantellamento e ricostruzione dell'impianto al termine della vita utile. Ciò tuttavia non riduce la convenienza di questo tipo di impianti rispetto al trasporto su gomma. Infatti, assumendo per il servizio di autobus urbano un costo di esercizio per busxkm di circa 4 Euro corrispondente ad una velocità commerciale intorno ai 15 km/h, un'ora di marcia di un autobus viene a costare 60 Euro, cioè più di  $\frac{1}{4}$  di una funivia classica o funicolare che tuttavia presenta due cabine e quindi corrisponde almeno a due autobus e, grazie alla possibilità di superare pendenze elevate e di disporre di una sede dedicata può, realizzare gli stessi collegamenti dei veicoli stradali su percorsi nettamente inferiori offrendo quindi tempi di viaggio minori e capacità maggiori.

A differenza di quanto proposto da [18], il costo ricavato in questo caso non è parametrizzato in funzione della lunghezza dell'impianto o del dislivello superato ma soltanto delle ore di funzionamento, cosa possibile entro un certo margine di approssimazione, considerato che un'aliquota rilevante del costo di esercizio è imputabile al personale. Peraltro è opportuno evidenziare che nello studio citato, l'autore aveva basato la stima dei costi di esercizio su dati relativi a percorsi meccanizzati con rampe mobili ed aveva assunto, in mancanza di dati specifici, dello stesso ordine di grandezza di questi ultimi il costo di esercizio degli impianti a fune. Pertanto solo relativamente ai costi dei percorsi meccanizzati vengono qui ripresi e riproposti, con una lieve riduzione, gli stessi valori già stimati nello studio precedente a cui si rimanda.

#### 4. Sintesi dei risultati

È possibile sintetizzare quanto sviluppato nei punti precedenti fornendo valori orientativi di prestazioni e costi per le diverse tipologie di impianti presi in considerazione.

Le prestazioni relative a ciascun sistema nel rispetto delle specifiche normative in vigore sono sintetizzate nella tabella 11 con le annotazioni riportate di seguito alla stessa tabella.

La tabella 12 riporta, in termini qualitativi, l'influenza della normativa e di alcune caratteristiche delle

*Although in Italy, in relation to public works, we tend to keep separate the running cost and the building one considering the latter covered by one-off special funding and the first ones charged to the ordinary budget of the public authority which is responsible for the installation, however, would be appropriate to consider an annual depreciation rate to take account of the need to dismantle the system at the end of its technical life set by the rules as well as the interest on the employed capital. The hourly rate of depreciation can be calculated by dividing the building cost for the years of technical life and the hours of operation per year. In the case of operation for 6,200 hours per year (3 work shifts per day) depreciation weighs, for the considered systems, from 12 Euro per hour of operation for the monicable permanent link chair-lift, to 33 Euro per hour for temporary link cable-car, with incidence of 8.9% and 14.5% of the total hourly cost. The latter, taking into account depreciation, reaches values between about 137 and 259 Euro/hour.*

*In essence, we noted that, for cableways that are characterized by a high level of automation, the rules requirements are disadvantageous in terms of running cost, especially for the control and rescue staff. Instead, the cost of dismantling and rebuilding at the end of technical life weighs to a lesser extent, although not negligible. This however does not reduce the convenience of these transport systems with respect to road transit. In fact, assuming for the urban bus service a running cost about 4 euros/bus.x.km, corresponding to a commercial speed of around 15 km/h, an operation hour of a bus will cost 60 Euro, more than  $\frac{1}{4}$  of a classic cableway or rail funicular. But the latter has two cabins (and then will be equivalent at least two buses) and, because can overcome steep slopes and has a dedicated runway, can achieve the same connections of road vehicles on paths considerably shorter thus providing less time travel and higher capacity.*

*Unlike what has been proposed by [18], the cost obtained in this case is not parameterized as a function of the path length or of the overcome height difference but only of the hours of operation, which is possible within a certain degree of approximation, considering that a relevant rate of running cost is due to the staff. Moreover it should be noted that in the above study, the author based the estimate of the running cost on data referred to routes mechanized by escalators and he assumed, in the absence of specific data, the running cost of lifts of the same magnitude of the escalators. Therefore, only for the running costs of the mechanized routes, we report and propose here, with a slight reduction, the same values already estimated in the previous study to which we refer.*

#### 4. Summary of the findings

*We synthesize what developed in the preceding sections, providing indicative values of performance and costs for the considered transport systems.*

TABELLA 11 - TABLE 11

PRESTAZIONI RELATIVE AI SISTEMI TRATTATI, NEL RISPETTO DELLE SPECIFICHE NORMATIVE IN VIGORE  
PERFORMANCES OF THE EXAMINED SYSTEMS, IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFIC TECHNICAL RULES IN FORCE

Sistema System		Prestazioni conseguenti all'applicazione della normativa Performances in accordance with the specific technical rules							
		Capacità (pass./h) Capacity (pass./h)	N. pass. in linea N. pass. on line	Pendenza sull'orizzontale Horizontal slope	Velocità Speed (m/s)	Acceleraz. Acceleration (m/s <sup>2</sup> )	Capienza veicolo Vehicle capacity (pass.)	Intervallo fra i veicoli Time range between vehicles (s)	Altezza max dal suolo Max. height from the ground (m) (m)
Funicolare terrestre Funicular		[10]	-		12	0,65/1,0 <sup>[5]</sup>	-	-	-
Funivia bifune vai e vieni Double- cable to and fro cableway	Salvat. Vert. Vert. rescue	[10]	500	-	12-10- 7-6-7 [6]	[9]	15 (30)	-	60 (100)
	Salvat. Orizz. Horiz. rescue	[10]	-	-	12-10- 7-6-7 [6]	[9]	-	-	-
Funivia monofune a moto unidirezion. Monocable cable-car with one-way continuous motion	Moto continuo e collegam. permanente Cont. motion and perm. link	1440 (S1) 642 (S4) [11]	200÷400 (S1÷6) 500 (Cn)	45°= 100% [1]	1,5 (S1÷2) 1 (S3÷6, 0,5 (Cn)	-	6	(4+n/2) (per S1÷6) (+50% event)	12-20-25 (Sn) 30-60 (Cn) <sup>[3]</sup> [8]
	Moto continuo e collegam. temporaneo Cont. motion and perm. link	533 (S1) 244 (S6) [11]	200÷400 (S1-6) 500 (Cn)	42°÷ 45° 90÷100% [4]	5-6-7 [16] 0,5-1-0,5 [217]	-	6 - (veic. aperti)	Non specificato Not specified	12-20-25 (Sn) 30-60 (Cn) <sup>[3]</sup> [8]
	Moto unidirez. Intermittente e collegam. Permanente One-way interm. motion and perm. link	[12]	[7]	[7]	[7]	[7]	[7]	[7]	[7]
Ascensore Lift	Verticale Vertical	[13]	-	> 75°	4	1,2 <sup>[2]</sup>	-	-	-
	Inclinato Inclined	[13]	-	< 75°	4 <sup>[15]</sup>	1,2 <sup>[2]</sup>	100 <sup>[15]</sup>	-	-
Nastro Tape	Scala mobile Escalator	13.500 <sup>[14]</sup>	-	30° (35°)= 58%(70%)	0,75 (0,5)	-	1÷2 /L = 0,4m	-	-
	Marc. Mobile Moving walkways	13.500 <sup>[14]</sup>	-	12°= 21%	0,75 (0,9)	-	1÷2 /L = 0,4m	-	-

[1] Valore massimo nella campata sottoposta a carico distribuito, secondo la vecchia normativa (la nuova non dispone in proposito).

[1] Maximum value in the span under distributed load - according to the previous rules (the new rules do not provide about).

[2] Non normato; assunto come limite di sopportabilità da parte dei passeggeri.

[2] Not provided; assumed as indicative limit founded on passenger comfort.

[3] Elevabile oltre 60m in condizioni e tratti definiti.

[3] Can be increased up to 60 m in limited sections and under certain conditions.

[4] Secondo la vecchia normativa (la nuova non dispone in proposito): 90% nella campata sottoposta a carico distribuito; 100% sulla traiettoria delle morse con fune sotto carico concentrato.

[4] According to the previous rules (the new rules do not provide about): 90% in the span under distributed load; 100% on the clamp trajectory with rope under concentrated load.

[5] Limite accelerazione trasversale libera agente sui passeggeri rispettivamente in linea e in corrispondenza degli scambi.

[5] Maximum free lateral acceleration affecting the passengers, respectively on line and at the switch points.

[6] Con agente a bordo rispettivamente in linea e sui sostegni; senza agente a bordo rispettivamente in linea, sui sostegni in presenza di una sola fune portante e sui sostegni con due funi portanti.

- [6] With an agent on board, respectively on line and at the supports; without an agent on board, respectively on line, at the supports in presence of only one supporting rope and at the supports in presence of two supporting ropes.
- [7] Impianti non trattati esplicitamente nella nuova normativa. Si applicano le prescrizioni previste per le tipologie di impianti in cui di volta in volta ricadono (monofune o bifune, collegamento permanente o temporaneo, veicoli aperti o chiusi).
- [7] The new rules do not deal specifically with these installations so they are regulated by the standards related to each type in which, from time to time, they fall (monocable or double-cable, permanent or temporary link, open or closed vehicles).
- [8] Nessun limite se il salvataggio avviene orizzontalmente.
- [8] No limit if the horizontal rescue is provided.
- [9] Limiti connessi alla necessità di contenere l'oscillazione delle cabine.
- [9] Limits linked to the need to contain the cabin oscillations.
- [10] La capacità è calcolabile con la formula discussa al paragrafo 2.1 valida in presenza di due cabine e due sole stazioni.
- [10] The capacity can be calculated using the formula discussed at the subsection 2.1 that is valid if there are two cabins and only two ends stations.
- [11] Capacità calcolata, senza tener conto del numero massimo dei passeggeri ammessi in linea, con la formula discussa al paragrafo 2.3.
- [11] The capacity is calculated, using the formula discussed in the subsection 2.3 valid for generic passengers, calculated, without taking into account the maximum number of passengers admitted on the line.
- [12] Capacità calcolabile con la formula  $C = \frac{I}{L} \cdot v$ , con  $I$  = intervallo fra la partenza di un treno ed il successivo.
- [12] The capacity can be calculated using the formula  $C = \frac{I}{L} \cdot v$ , where  $I$  = time range between the departure of a train and the next one from the same station.
- [13] La capacità è calcolabile con la formula discussa al paragrafo 2.6 valida in presenza di una sola cabina e di due sole stazioni.
- [13] The capacity can be calculated using the formula discussed at the subsection 2.6 that is valid in presence of only one cabin and two ends stations.
- [14] Capacità teorica calcolata per scala o marciapiede di larghezza utile = 1 m (2 posti) e velocità 0,75 m/s; la capacità reale è fra 1/2 e 2/3.
- [14] Theoretical capacity of escalator or moving walkway with width = 1 m (2 seats) and speed = 0,75 m/s; the effective capacity is 1/2 - 2/3 of the theoretical one.
- [15] Capienza cabina e velocità legati da proporzionalità inversa: per  $v = 4$  m/s,  $C_p \text{ max} = 40$  pers.; per  $C_p = 100$  pers,  $v \text{ max} = 1$  m/s.
- [15] Cabin capacity and speed related to inverse proportionality: at  $v = 4$  m/s,  $C_p \text{ max} = 40$  pers.; per  $C_p = 100$  pers,  $v \text{ max} = 1$  m/s.
- [16] Velocità max in linea, rispettivamente con veicoli aperti, veicoli chiusi e una sola fune (portante/trante), veicoli chiusi e due funi.
- [16] Maximum speed on line respectively with open vehicles, closed vehicles and only one supporting/running rope, and two supporting/running ropes.
- [17] Velocità massima in stazione (imbarco - sbarco), rispettivamente per veicoli chiusi e veicoli aperti con accesso parallelo o perpendicolare al moto.
- [17] Maximum speed at the station (boarding - landing), respectively for closed vehicles, open vehicles with admission parallel or perpendicular to the motion.

tipologie di impianti fissi trattati sul costo di realizzazione e su quello di esercizio. In particolare viene utilizzata la scala di valori, alto (H), medio (M), basso (L) e nullo (0), per indicare l'impatto della caratteristica specifica sul costo, oppure Sì (Y) o No (N) se la specifica problematica interessa o non il sistema considerato. Inoltre le caselle della tabella presentano un colore diverso a seconda di quanto la caratteristica risulta favorevole (verde = favorevole, giallo = indifferente, rosso = sfavorevole).

Per sintetizzare i risultati delle elaborazioni riguardanti i costi si è compilata la tabella 13 dove, per ciascuno dei sistemi presi in considerazione, si sono riportati degli intervalli di valori del costo di realizzazione e di esercizio. Per il primo tipo di costo si è cercato di distinguere, ove possibile, il solo costo di impianto (macchinario in opera) da quello del sistema completo comprensivo delle opere civili e si è indicato quest'ultimo, compatibilmente con la disponibilità di dati, sia per unità di lunghezza (1 km) che per unità di dislivello superato (100 m). Il costo di esercizio è stato riferito ad un'ora di funzionamento relativamente ad una realizzazione generica completa nonché per un impianto completo di lunghezza pari ad 1 km e per uno che supera un dislivello di 1 ettometro, rilevando l'incidenza del personale minimo necessario. Inoltre si è provato ad aggiungere, al costo di esercizio, l'ammortamento dell'impianto meccanico calcolato per la durata della vita utile fino alla sostituzione completa prevista dalla normativa, rilevandone anche la percentuale di incidenza.

Purtroppo alcune caselle della tabella in questione sono rimaste vuote per mancanza di dati sufficienti a defini-

The performances of each system, in accordance with the specific technical rules, are summarized in table 11 with annotations following the same table.

Table 12 shows, in qualitative terms, the influence of the rules and of some features on the building and running costs for the covered installations. In particular, we used the scale of values, high (H), medium (M), low (L) and zero (0), to indicate the impact of the specific feature on the cost, or Yes (Y) or No (N) if the specific problem affects or do not the system. In addition, the table cells are color-coded depending on how the feature is favorable (green = favorable, yellow = cold, red = unfavorable).

To summarize the findings about the costs, we compiled the table 13 where, for each of the examined systems, we reported ranges of values of the building and running cost. For the first type of cost we tried to distinguish, where possible, only the cost of plant (machinery in work) from that of the complete system including civil works. The last cost was indicated, consistent with the availability of data, both per unit length (1 km) and per unit of height difference (100 m). The running cost was related to one hour of operation with reference to a generic complete installation, to one with a length of 1 km and to one that overcome an height difference of 1 hectometer, noting the impact of the minimum needed staff. We also tried to add, to the running costs, the amortization of mechanical calculated for the duration of its technical life until its full replacement required by the rules, noting its percentage.

Unfortunately, some cells of the table in question

TABELLA 12 - TABLE 12

INFLUENZA QUALITATIVA DELLA NORMATIVA E DI ALCUNE CARATTERISTICHE DELLE TIPOLOGIE DI IMPIANTI TRATTATI, SUL COSTO DI REALIZZAZIONE E SU QUELLO DI ESERCIZIO  
QUALITATIVE INFLUENCE OF THE TECHNICAL RULES AND OF SOME COVERED SYSTEMS FEATURES ON THE BUILDING AND RUNNING COST

Sistema System		Caratteristiche / norme con effetti sui costi Features / rules affecting the costs							
		di investimento Building cost					di esercizio Running cost		
		Complessità impiantistica Plant complexity	Complessità infrastrutturale Infrastructural complexity	Pendenza max. superabile Maximum slope	Altezza max dal suolo Maximum height from ground (m)	Accesso disabili non deambulanti Accesso disabili non deambulanti	Personale di terra (manovra/controllo) Ground staff (operation/control)	Personale di bordo Board staff	Personale di soccorso Rescue staff
Funicolare terrestre Funicular		M	H	M	0	Y	Y	N	N
Funivia bifune vai e vieni To and fro cableway	Salvat. vert. Vertical rescue	M	L	M	M	Y	Y	Y/N	Y
	Salvat. orizz. Horizontal rescue	M	M	M	H	Y	Y	Y/N	Y
Funivia monofune moto continuo Monocable cable-car	Collegam. permanente e moto continuo Permanent link and continuous motion	L	M	M	M	Y/N	Y	N	Y
	Collegam. temporaneo e moto continuo Temporary link and continuous motion	M	M	M	M	Y/N	Y	N	Y
	Collegam. permanente e moto unidirez. intermitt. o vel. variabile Permanent link and one-way intermittent motion or variable speed	L	M	M	M	Y/N	Y	N	Y/N
Ascensore Lift	Verticale Vertical	L	L/M	H	0	Y	Y/N	N	Y/N
	Inclinato Inclined	L	L/M	M	0	Y	Y/N	N	Y/N
Nastro Tape	Scala mobile Escalator	L	M	M	0	N	N	N	N
	Marciapiede Mobile Moving walkway	L	M	L	0	Y/N	N	N	N

re valori generalizzabili riferiti a funicolari terrestri complete delle opere civili con costi molto diversi da caso a caso nonché a realizzazioni comprensive di più impianti di scale o marciapiedi mobili e/o ascensori in serie e/o in parallelo e tratti pedonali non meccanizzati coperti o sotterranei. In alcuni casi inoltre l'insufficiente disponibilità di dati non ha permesso la parametrizzazione dei costi in funzione di unità di lunghezza o di dislivello superato.

Nonostante ciò, tutti i valori ricavati tenendo conto di quanto imposto dalle normative specifiche relativamente alle caratteristiche dell'impianto ed all'esercizio costitui-

have remained empty for lack of sufficient data to define general values about the funiculars inclusive of civil works cost very different from case to case, as well as about installations including several elevators or moving walkways and / or lifts and non-mechanized pedestrian covered or underground sections. In some cases the lack of sufficient data has not allowed also to parameterize the cost as a function of unit length or height difference overcome.

Nevertheless, all the values obtained by taking into account the specific regulatory requirements about the



TABELLA 13 - TABLE 13

COSTI DI REALIZZAZIONE E DI ESERCIZIO ORIENTATIVI PER I SISTEMI DI TRASPORTO TRATTATI  
INDICATIVE BUILDING AND RUNNING COSTS FOR THE EXAMINED TRANSPORT SYSTEMS

	COSTI COSTS									Vita tecnica prima del completo smantellamento (D.M. 02-01-1985) Technical life before the complete dismantling (D.M. 02-01-1985)
	DI REALIZZAZIONE BUILDING COST			DI ESERCIZIO RUNNING COST			Incidenza sul costo di esercizio [3] Percentage on the running cost [3]			
SISTEMA SYSTEM	Realizzazione escluso opere civili Civil works <i>excluded</i>	Realizzazione <u>compreso</u> opere civili Civil works <i>included</i>		Esercizio orario <u>escluso</u> ammortamento impianto For hour, depreciation <i>excluded</i>						
	Per impianto For installation	Per km di linea For km of line	Per hm di dislivello For hm of height diff.	Per impianto For installation	Per km di linea For km of line	Per hm di dislivello For hm of height diff.	Per impianto For installation	Personale Staff	Ammortam. Depreciat.	
	€ x 10 <sup>3</sup>	€ x 10 <sup>6</sup>	€ x 10 <sup>6</sup>	€/h	€/(h x km)	€/(h x hm)	€/h	%	%	
Seggiovia monofune permanente Monocable perm. link chair-lift	–	2 - 3	–	130	–	–	140	87	9	40
Seggiovia monofune temporaneo Monocable tempor. link chair-lift	–	3,5 - 5	–	180	–	–	200	86	10	40
Cabinovia monofune temporaneo Monocable tempor. link cable-car	-	5 - 9	-	200	-	-	230	78	15	40
Funivia bifune vai e vieni Double-cable to and fro cableway	–	6 - 12	-	230	–	–	260	67	13	60
Funicolare terrestre Funicular	–	5 - 10	–	220	–	–	240	70	9	60
Ascensore verticale Vertical lift	35 - 55	–	–	–	–	–	–	–	–	30
Ascensore inclinato Inclined lift	–	–	–	–	–	–	–	–	–	30
Scala mobile Escalator	85 - 120 <sup>[1]</sup>	20 - 30	10 - 15	–	350 - 400	100 - 150	–	–	–	30
Marcia piede mobile Moving walkway	85 - 120 <sup>[2]</sup>									

[1] Per dislivello compreso fra 3 e 6 m.

[2] Per lunghezza inclinata compresa fra 6 e 12 m.

[3] Per un funzionamento di 6.200 ore/anno e tre turni lavorativi al giorno.

[1] For an height difference between 3 and 6 m.

[2] For an inclined length between 6 and 12 m.

[3] For an operating of 6,200 hours/year and three work shift per day.

scono un riferimento sufficientemente attendibile per un utilizzo a livello di piano o di studio di prefattibilità. Gli oneri di realizzazione aggiuntivi conseguenti ad una localizzazione urbana generica possono ritenersi grosso modo già compresi nei valori stimati, dal momento che la maggior parte dei dati assunti a tal fine sono relativi ad impianti realizzati ed esercitati in città. Comunque tali oneri aggiuntivi incidono in modo sostanzialmente non differne sulle diverse tipologie di impianti esaminati.

characteristics of the system and the operation are sufficiently reliable for use at the planning or pre-feasibility study of works including transport fixed installations. The additional building charges resulting from a generic urban location are already roughly included in the assessed values, since the most of the data used are referred to urban installations. However these additional charges affect not differently the examined installations.

## BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Decreto della Direzione Generale per il trasporto pubblico locale - Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Dipartimento per i trasporti, la navigazione ed i sistemi informativi e statistici – n. 337 del 16.11.2012. Allegato tecnico, *“Disposizioni e prescrizioni tecniche per le infrastrutture degli impianti a fune adibiti al trasporto di persone”*.
- [2] Decreto del Presidente della Provincia di Bolzano n. 61 del 13 novembre 2006, *“Regolamento di esecuzione circa la costruzione e l'esercizio di impianti a fune in servizio pubblico”*.
- [3] Direttiva 2000/9/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 20 marzo 2000 *relativa agli impianti a fune adibiti al trasporto di persone*.
- [4] Decreto Ministero dei Trasporti e della Navigazione 8 marzo 1999, *“Prescrizioni Tecniche speciali per le funivie monofuni con movimento unidirezionale continuo e collegamento permanente dei veicoli”*.
- [5] Decreto Ministero dei Trasporti e della Navigazione 8 marzo 1999, *“Prescrizioni Tecniche speciali per le funivie monofuni con movimento unidirezionale continuo e collegamento temporaneo dei veicoli”*.
- [6] Circolari Ministero dei Trasporti D.G. n.77 del 13.06.1990 (testo aggiornato al 15.05.1991) n. 83 del 25.05.1991, *“Disposizioni tecniche provvisorie per le funivie monofune con veicoli a collegamento permanente e movimento unidirezionale intermittente od a velocità variabile”*.
- [7] Decreto del Ministero dei Trasporti e della Navigazione n.587 del 9.12.1987, *“Attuazione delle Direttive n. 84/529/CEE e n. 86/312/CEE relative agli ascensori elettrici”*.
- [8] Decreto Ministero dei Trasporti n.23 del 02 gennaio 1985, *“Norme regolamentari in materia di varianti costruttive di adeguamenti tecnici e di revisioni periodiche per i servizi di pubblico trasporto effettuati con impianti funicolari aerei e terrestri”*.
- [9] Decreto Ministero dei Trasporti 18 settembre 1975 (Suppl. ord. alla G.U. 7 novembre 1975 n. 295), *“Norme tecniche di sicurezza per la costruzione e l'esercizio delle scale mobili in servizio pubblico”*.
- [10] Decreto Ministero dei Trasporti 15 febbraio 1969, *“Prescrizioni tecniche speciali per le funivie bifuni con movimento a va e vieni (In applicazione del Regolamento generale approvato con Decreto del Presidente della Repubblica 18-10-1975, n. 1367)”*.
- [11] Norma UNI EN 115-1 – 2005, *“Regole di sicurezza per la costruzione e l'installazione di scale mobili e marciapiedi mobili di nuova installazione - Parte 1: Costruzione e installazione”*.
- [12] Norma UNI EN 81-22 – 2006, *“Regole di sicurezza per la costruzione e l'installazione degli ascensori e dei montacarichi - Ascensori inclinati”*.
- [13] Norma UNI EN 81-1 -1999, *“Regole di sicurezza per la costruzione e l'installazione degli ascensori e dei montacarichi - Ascensori elettrici”*.
- [14] CIRENEI M.B., *“I sistemi di Automated People Mover (A.P.M.) quale mezzo per completare al meglio le reti di pubblico trasporto locale”*, Ingegneria Ferroviaria, n. 9/1997, CIFI, Roma.
- [15] DALLA CHIARA B., DEGIOANNI P., *“Un Automated People Mover (APM) con trazione a fune e struttura a rete”*, Ingegneria Ferroviaria, n. 5/2007, CIFI, Roma.
- [16] Doppelmayr Cable Car (2012), *“Company profile”*, Doppelmayr Cable Car GmbH & Co KG.
- [17] MAROCCHI A. , *“Funi e trasporto urbano: storia, attualità e prospettive future”*, Ingegneria Ferroviaria, n.11/2011, CIFI, Roma.
- [18] PETRUCELLI U., *“Prestazioni e costi dei sistemi di trasporto urbano in aree acclivi”*, Trasporti e Territorio, n. 2/2010, Eupalino, Milano.