



## Mobilità urbana in funivia: la sua impronta climatica

### *Urban mobility by ropeways: their climate footprint*

Drago SEVER<sup>(\*)</sup>  
Marko RENCÉLI<sup>(\*\*)</sup>

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.11.2024.ART.1>)

**Sommario** - L'articolo presenta un tentativo di valutare la produzione della anidride carbonica delle funivie urbane sull'esempio del sistema di trasporto a fune urbano stabilito nella città di La Paz, in Bolivia, utilizzando un metodo scientifico di valutazione dell'intero ciclo di vita dei sistemi di trasporto. La ricerca esistente viene aggiornata con la valutazione dell'impatto ambientale del CableSmart. È stato riscontrato che le funivie generano una quantità di carbonio significativamente inferiore rispetto ai piccoli e grandi autobus e rispetto ai tram. Poiché i dispositivi a fune dipendono anche dalla disponibilità di energia nelle reti elettriche esistenti, è molto importante il contributo di approcci innovativi che portano a varie soluzioni ibride (come la tecnologia CableSmart).

#### 1. Introduzione

Mentre i sistemi di funivia occupano una nicchia all'interno del più ampio settore dei trasporti, il loro ruolo si sta espandendo costantemente insieme ai progressi nell'ingegneria dei trasporti di montagna. Questi ultimi stanno ottenendo soprattutto il riconoscimento globale come un segmento praticabile ed ecologico di soluzioni di mobilità urbana sostenibile.

La storia degli usi della funivia per il trasporto di massa di passeggeri e merci risale a oltre 160 anni fa, precedendo il trasporto aereo con un margine significativo. Tuttavia, la consapevolezza pubblica del loro potenziale rimane spesso limitata. In questo lungo periodo, la tecnologia delle funivie ha dimostrato la sua efficacia in tutto il mondo, operando in modo affidabile in ambienti difficili e

**Summary** - The article presents an attempt to evaluate the carbon footprint of urban cable cars on the example of the established urban cable car transport system in the city of La Paz, Bolivia, using the scientific method of evaluating the entire life cycle of transport systems. The existing research is upgraded with the assessment of the environmental impact of the CableSmart. It was found that cable cars generate a significantly smaller carbon footprint compared to small and large buses and compared to trams. As cableway devices also depend on the availability of energy in existing electrical networks, the contribution of innovative approaches leading to various hybrid solutions (such as CableSmart technology) is very important.

#### 1. Introduction

While cable car systems occupy a niche within the broader transportation industry, their role is steadily expanding alongside advancements in mountain traffic engineering. More importantly, they're gaining global recognition as a viable and environmentally friendly segment of sustainable urban mobility solutions.

The history of cable car uses for mass passenger and goods transportation stretches back over 160 years, predating airplanes by a significant margin. However, public awareness of their potential often remains limited. Over this long period, cable car technology has demonstrably proven its effectiveness worldwide, operating reliably in challenging environments and harsh weather conditions. Evolving from their initial simplicity, cable cars have become highly sophisticated transportation systems suitable for a wide range

<sup>(\*)</sup> Università di Maribor, Facoltà di ingegneria civile, dei trasporti e di architettura; Dipartimento di Ingegneria del Traffico e dei Trasporti, Drago.Sever@UM.SI.

<sup>(\*\*)</sup> Università di Maribor, Facoltà di ingegneria civile, dei trasporti e di architettura; Dipartimento di ingegneria civile, Marko.Rencelj@UM.SI.

<sup>(\*)</sup> University of Maribor, Faculty of Civil Engineering, Transportation Engineering and Architecture, transportation engineering and architecture; Department of traffic and transportation engineering, Drago.Sever@UM.SI.

<sup>(\*\*)</sup> University of Maribor, (the same like for Drago Sever), transportation engineering and architecture; Department of civil engineering, Marko.Rencelj@UM.SI.

condizioni meteorologiche avverse. Evolvendosi dalla loro semplicità iniziale, le funivie sono diventate sistemi di trasporto altamente sofisticati adatti a una vasta gamma di terreni. Purtroppo, sono spesso erroneamente interpretate come sistemi di trasporto dedicati esclusivamente ad attività ricreative.

Le recenti implementazioni di successo delle funivie, come componenti integranti dei sistemi di trasporto urbano intermodale di passeggeri nelle principali città sudamericane, hanno stimolato una rivalutazione in Europa. Queste cosiddette “funivie urbane” si integrano perfettamente con le reti di trasporto urbano esistenti, estendendo la loro portata ad aree precedentemente inaccessibili e colmando lacune critiche. Le funivie eccellono nella navigazione su pendii ripidi, centri urbani congestionati e persino fiumi, offrendo collegamenti preziosi dove le opzioni tradizionali faticano ad operare.

Gli urbanisti affrontano costantemente problemi di trasporto come capacità insufficiente, ritardi crescenti e sicurezza inferiore. La soluzione comune, spesso, comporta la costruzione di nuove infrastrutture di trasporto, concentrandosi principalmente sull'espansione delle reti stradali. Sfortunatamente, questo approccio può essere sia finanziariamente proibitivo che logisticamente impegnativo, soprattutto per quanto riguarda l'acquisizione di terreni in aree densamente popolate. Tali limitazioni spesso influiscono su investimenti e cambiamenti strutturali su scala ancora più ridotta, che sono cruciali per le città e i distretti più piccoli all'interno delle città più grandi. In questo contesto, la creazione di un sistema di trasporto pubblico multimodale efficiente emerge come una soluzione altamente razionale. Le funivie, quindi, rappresentano un'opzione convincente per raggiungere tale obiettivo, grazie alle loro capacità uniche e al potenziale di integrazione economica.

Realizzare un sistema di trasporto pubblico senza soluzione di continuità, in cui diverse opzioni funzionano in perfetta armonia, potrebbe sembrare un puzzle complesso. Tuttavia, la risposta risiede in qualcosa di sufficientemente semplice: un coordinamento completo. Città come Rotterdam e Amsterdam mostrano il potere dell’“intelligenza connessa” nell'integrazione di vari sistemi di trasporto. Questo approccio sfrutta i dati in tempo reale e i controlli digitali per gestire autobus, tram, funivie, treni e persino opzioni private, lavorando tutti in sincronia per soddisfare le esigenze dei passeggeri senza soluzione di continuità.

È qui che “entrano in scena” le funivie. La loro capacità di integrarsi perfettamente con le reti esistenti rafforza l'intero sistema di trasporto pubblico urbano. Non occorre cercare oltre Bogotá [1] e Medellín in Colombia per gli esempi principali (Fig. 1). Queste città hanno incorporato funivie con successo, creando collegamenti efficienti e accessibili per i loro cittadini.

Le discussioni sulla “mobilità sostenibile” si concentrano spesso sull'uso del suolo e sul consumo di energia.

*of terrains. Regrettably, they are often misconstrued as solely for leisure activities.*

*Recent successful implementations of cable cars as integral components of urban intermodal passenger transport systems in major South American cities have spurred a re-evaluation in Europe. These so-called “city cable cars” seamlessly integrate with existing urban transport networks, extending their reach to previously inaccessible areas and bridging critical gaps. Cable cars excel at navigating steep slopes, congested urban centres, and even rivers, offering valuable connections where traditional options struggle.*

*Urban planners constantly grapple with transportation issues such as insufficient capacity, rising delays, and compromised safety. The common solution often involves constructing new transport infrastructure, primarily focusing on expanding road networks. Unfortunately, this approach can be both financially prohibitive and logistically challenging, especially regarding land acquisition in densely populated areas. These limitations often impact even smaller-scale investments and structural changes, which are crucial for smaller towns and districts within larger cities. In this context, establishing an efficient multimodal public transport system emerges as a highly rational solution. Cable cars, with their unique capabilities and potential for cost-effective integration, represent a compelling option for achieving this goal.*

*Achieving a truly seamless public transport system, where diverse options function in perfect harmony, might seem like a complex puzzle. However, the answer lies in something quite simple: complete coordination. Cities like Rotterdam and Amsterdam showcase the power of “connected intelligence” in integrating various transport systems. This approach leverages real-time data and digital controls to manage buses, trams, cable cars, trains, and even private options – all working in sync to meet passenger needs seamlessly.*

*Here’s where cable cars “enter the picture”. Their ability to seamlessly integrate with existing networks strengthens the entire urban public transport system. Look no further than Bogotá [1] and Medellín in Colombia for prime examples (see Fig. 1). These cities have successfully incorporated cable cars, creating efficient and accessible connections for their citizens.*

*Discussions around “sustainable mobility” often focus on land use and energy consumption. However, solely evaluating these aspects can be misleading. Building infrastructure, operating vehicles, and maintaining systems don’t automatically equate to negative impact.*

*What truly matters is a transport method’s environmental “footprint”. In simpler terms, this footprint measures the total amount of greenhouse gases (like carbon dioxide and methane) generated by its operation [2]. Therefore, the goal isn’t to achieve complete zero-emission transport, but rather to prioritize options with a lower environmental impact.*

*By focusing on system coordination and integrating sustainable choices like cable cars, we can create a truly multi-*



(Fonte - Source: Archivio Autori - Authors Database)

Figura 1 - Installazione di una funivia nella rete di trasporto urbano di Bogotá.  
Figure 1 - A cableway installation in the urban transport network of Bogotá.

Tuttavia, la sola valutazione di questi aspetti può essere fuorviante. La costruzione di infrastrutture, l'esercizio di veicoli e la manutenzione di sistemi non equivalgono automaticamente a un impatto ambientale negativo.

Ciò che conta davvero è l'"impronta" ambientale di un metodo di trasporto. In termini più semplici, questa impronta misura la quantità totale di gas serra (come anidride carbonica e metano) generati dal suo funzionamento [2]. Pertanto, l'obiettivo non è quello di ottenere un trasporto completamente a zero emissioni, ma piuttosto di dare priorità alle opzioni con un minore impatto ambientale.

Concentrandoci sul coordinamento del sistema e integrando scelte sostenibili come le funivie, è possibile creare un sistema di trasporto pubblico veramente multimodale che offra efficienza e rispetto per l'ambiente. Le funivie offrono una soluzione convincente, non solo per le passeggiate panoramiche in montagna, ma per il futuro della mobilità urbana intelligente e sostenibile.

Secondo i maggiori produttori mondiali di funivie, consentono [3][4]:

- una migliore connettività tra due mezzi di trasporto, superando le barriere (al posto del ponte);
- la creazione di reti di trasporto pubblico, estendendo una linea di trasporto pubblico dove la topografia non consente di continuare o dove è necessaria una capacità diversa;
- l'aumento della capacità della rete di trasporto pubblico senza generare ulteriore traffico su strada;

*modal public transport system that delivers both efficiency and environmental friendliness. Cable cars offer a compelling solution, not just for scenic mountain rides, but for the future of smart and sustainable urban mobility.*

*According to the largest global manufacturers of cable cars, they make it possible to [3][4]:*

- *better connectivity between two means of transport, overpassing the barriers (instead of the bridge);*
- *create public transportation networks, extending a line of public transport where the topography does not allow it to continue or where a different capacity is needed;*
- *increase the capacity of the public transport network without generating further traffic on the road;*
- *an aerial cable car guarantees uniform travel times because it is not delayed by traffic on the roads. Passengers are transported continuously – without timetable or waiting times. The operating velocity of aerial cable cars depends on the type, and it is up to 25,2 km/h (circular cable cars with detachable closed vehicles) and more – 43 km/h, while the operating speed of buses is between 14 and 18 km/h and trams between 20 and 30 km/h [4];*
- *compared to other transport systems, cable cars have relatively low investment and operating costs. The cost of a cable car line is about half that of a tramway line with the same length and about one-tenth of that of a metro line. After placing the order, a cable car can be built within a very short time – this is possible by modular construction [3];*
- *concerning overall passenger carrying, cable cars are the*



- una funivia aerea garantisce tempi di percorrenza uniformi perché non viene ritardata dal traffico sulle strade. I passeggeri vengono trasportati continuamente, senza orari o tempi di attesa. La velocità operativa delle funivie aeree dipende dal tipo, ed è fino a 25,2 km/h (funivie circolari con veicoli chiusi staccabili) ed oltre – 43 km/h, mentre la velocità operativa degli autobus è compresa tra 14 e 18 km/h e dei tram tra 20 e 30 km/h [4];
- rispetto ad altri sistemi di trasporto, le funivie hanno costi di investimento e operativi relativamente bassi. Il costo di una funivia è circa la metà di quello di una linea tranviaria della stessa lunghezza e circa un decimo di quello di una linea metropolitana. Dopo aver effettuato l'ordine, una funivia può essere costruita in pochissimo tempo – questo è possibile grazie alla costruzione modulare [3];
- per quanto riguarda il trasporto complessivo di passeggeri, le funivie sono la forma di trasporto più sicura: funivie – 1 incidente/17,1 milioni di km, automobili – 1 incidente/1,46 milioni di km, autobus – 1 incidente/0,62 milioni di km e tram – 1 incidente/0,23 milioni di km [3] <sup>1</sup>;
- le funivie operano con l'elettricità nel rispetto dell'ambiente. Il consumo di energia può essere regolato in base al numero di passeggeri. Una unità di azionamento centrale in una stazione è sufficiente per spostare molti veicoli;
- e infine, ogni sistema di trasporto ha bisogno della sua infrastruttura di trasporto; l'infrastruttura delle funivie è un'infrastruttura esclusiva che richiede relativamente poco spazio (solo per stazioni e pilastri), motivo per cui è facile installarla in qualsiasi ambiente (anche urbano) e utilizzare diversi approcci architettonici.

Sebbene i dispositivi per funivie di vario tipo e design presentino vantaggi significativi rispetto ad altre forme di trasporto terrestre, non sono ancora stati riconosciuti in Europa come una parte notevole del trasporto urbano. Le funivie sono purtroppo ancora strettamente legate al turismo di montagna (sci).

Gli abitanti delle città (e con loro i decisori politici) credono che nessuno dovrebbe viaggiare sopra le loro teste e che le funivie rovinino il paesaggio urbano delle città.

## 2. Anteprima della letteratura

L'impronta climatica (di carbonio) si riferisce alla quantità di emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) associate a tutte le attività di una persona o di un'altra entità in

*safest landform of transport: cable cars – 1 accident/17.1 mio km, cars – 1 accident/1,46 mio km, bus – 1 accident/0.62 mio km and tram – 1 accident/0.23 mio km [3] <sup>1</sup>.*

- *cable cars operate environmentally friendly with electricity. Energy consumption can be adjusted to the number of passengers. One central drive unit in a station is sufficient to move many vehicles;*
- *and finally, each transport system needs its transport infrastructure; the infrastructure of cable cars is an exclusive infrastructure that requires relatively little space (only for stations and pillars), which is why it is easy to install it in any (even urban) environment and to use different architectural approaches.*

*Although cable car devices of various types and designs have significant advantages over other forms of land transport, they have still not been recognized in Europe as a notable part of city (urban) transport. Cable cars are unfortunately still closely related to mountain tourism (skiing).*

*City dwellers (and with them political decision-makers) believe that no one should ride over their heads and that cable cars spoil the urban landscape of cities.*

## 2. Literature preview

*Climate (carbon) footprint refers to the amount of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions associated with all the activities of a person or other entity (e.g., building, corporation, country, transport type, etc.) over a specific period. It includes direct emissions, such as those that result from fossil-fuel combustion in manufacturing, heating, and transportation, as well as emissions required to produce the electricity associated with goods and services consumed. In addition, the carbon footprint concept also often includes the emissions of other greenhouse gases, such as methane, nitrous oxide, or chlorofluorocarbons (CFCs) [5].*

*Since the area of carbon footprint assessment covers an extremely extensive area, we will limit our research to the area of transport. For the field of transport, we try to record the carbon footprint as the amount of CO<sub>2</sub> emitted when using these means of transport on the specific route length (e.g. 0,1 kg/km). The most frequently used methods for evaluating the carbon footprint are the use of various calculators, the use of special computer programs that contain appropriate models, and the use of the Life Cycle Assessment (LCA) method.*

*With the flood of different calculators that exist on the World Wide Web, we mention and analyse in more detail some of the more important ones (the assumption is made*

<sup>(1)</sup> I dati non possono essere verificati, poiché le banche dati pubbliche contengono per lo più solo dati sugli incidenti stradali. I dati presentati devono essere intesi come una valutazione che descrive bene le relazioni tra i singoli tipi di trasporto.

<sup>(1)</sup> The data cannot be verified, as public databases mostly only contain data on road accidents. The presented data should be understood as an assessment that well describes the relationships between individual types of transport.

un periodo specifico (ad esempio, edificio, società, paese, tipo di trasporto, ecc.). Comprende le emissioni dirette, come quelle derivanti dalla combustione di combustibili fossili nella produzione, nel riscaldamento e nei trasporti, nonché le emissioni necessarie per produrre l'elettricità associata a beni e servizi consumati. Inoltre, il concetto di impronta di carbonio include spesso anche le emissioni di altri gas serra, come metano, protossido di azoto o clorofluorocarburi (CFC) [5].

Poiché la valutazione dell'impronta di carbonio copre un'area estremamente ampia, limiteremo la nostra ricerca al settore dei trasporti. Per questo ultimo, si cerca di registrare l'impronta di carbonio come la quantità di CO<sub>2</sub> emessa quando si utilizzano questi mezzi di trasporto sulla lunghezza del percorso specifico (ad esempio 0,1 kg/km). I metodi più utilizzati per valutare l'impronta di carbonio sono l'uso di vari calcolatori, l'uso di programmi informatici speciali che contengono modelli appropriati e l'uso del metodo *Life Cycle Assessment* (LCA).

Con l'elevato numero di diversi calcolatori che esistono sul *World Wide Web*, è possibile menzionare e analizzare in modo più dettagliato alcuni dei più importanti (si presume che il progettista dei calcolatori sia un'istituzione verificata e rispettabile). Particolare attenzione è rivolta ai calcolatori dell'impronta di carbonio che contengono elementi di trasporto (per diversi mezzi di trasporto). La Tab. 1 mostra un confronto tra vari calcolatori di impronta di carbonio selezionati per il settore dei trasporti.

La Tab. 1 mostra le quantità stimate di anidride carbonica equivalente (CO<sub>2</sub> eq) per il trasporto di 1000 kg di merci generiche e il trasporto di 1 persona su una distanza media di 1000 km. Sono elencati tutti i sistemi di trasporto analizzati dai calcolatori considerati. Come si evince dalla Tab. 1, nessun calcolatore considera l'utilizzo di funivie (per il trasporto merci o passeggeri). Quest'ultimo può essere inteso anche nel senso che il dispositivo a fune genera così poche emissioni che non è necessario intenderle come "pericolose" per l'ambiente. Una conclusione più probabile è che gli studi precedenti non hanno preso in considerazione i dispositivi a fune. Va sottolineato in particolare che i valori riportati in Tab. 1 rappresentano una stima delle emissioni prodotte da un determinato mezzo di trasporto quando viene utilizzato. I valori possono essere utilizzati per giudicare quale mezzo di trasporto è "più verde".

Tra i programmi specializzati per computer, citiamo solo due: *Persefoni* [10] e *Coolset* [11].

*Persefoni* è un programma per computer supportato da intelligenza artificiale, che consente la misurazione e l'analisi dell'impronta di carbonio lungo l'intera catena di produzione, fornitura e valore, la creazione di piani di decarbonizzazione attuabili dalla definizione degli obiettivi alla modellazione di riduzione e reporting normativo (SEC – *Securities and Exchange Commission* (US), CSRD – *Corporate Sustainability Reporting Directive* (EU), SECR – *Streamlined Energy and Carbon Reporting* (UK) e altro ancora). Il programma è adatto alle grandi aziende [10].

*that the author of the calculators is a verified and reputable institution). Special attention was paid to carbon footprint calculators that contain elements of transport (various means of transport). Tab. 1 shows a comparison between various selected carbon footprint calculators for the field of transport.*

*Tab. 1 shows the estimated amounts of CO<sub>2</sub> eq for the transport of 1000 kg of general cargo and the transport of 1 person over an average distance of 1000 km. All transport systems offered by the considered calculators are listed. As can be seen from Tab. 1, no calculator considers the use of cable cars (for freight or passenger transport). The latter can also be understood in the way that the cableway device generates so few emissions that it is not necessary to understand them as "dangerous" for the environment. A more likely conclusion is that the previous studies did not consider cableway devices. It should be especially emphasized that the values given in Tab. 1 represent an estimate of the emissions produced by a certain means of transport when it is used. The scores can be used to judge which means of transport is "greener".*

*Among specialized computer programs, let's mention only two: Persefoni [10] and Coolset [11].*

*Persefoni is an AI-supported computer program, that enables the measurement and analysis of the carbon footprint throughout the entire production, supply, and value chain, the creation of actionable decarbonization plans from target setting to reduction modeling and met regulatory reporting (SEC – Securities and Exchange Commission (US), CSRD – Corporate Sustainability Reporting Directive (EU), SECR – Streamlined Energy and Carbon Reporting (UK) and more). The program is suitable for large companies [10].*

*Coolset is a web computer program that provides similar content as Persefoni, but for medium-sized companies. It enables automation of carbon footprint measurements, building reduction plans and achievement of climate goals, preparation of CSRD&ESRS – European Sustainability Reporting Standards - disclosure and getting audit-ready [11].*

*The mentioned computer programs were not used. They are shown only as an example of the fact that there are software tools on the Internet that enable effective management of environmental factors throughout the entire life cycle of a product, company, or activity.*

*According to environmental experts, the only recognized scientific method for estimating emissions (energy used) is Life Cycle Assessment (LCA) [12]. The environmental management of life cycle assessment is defined by standards ISO EN 14040/14044 [13][14]. The balanced framework comprises five stages:*

- *materials preparation phase: the delivery of materials, including, if available, pre-processing by suppliers and transport from the supplier to the manufacturer's production plant;*
- *production phase: the auxiliary materials required for production and energy expenditure, from factory gate to factory gate;*

Tabella 1 – Table 1

Confronto tra vari calcolatori dell'impronta di carbonio selezionati per il trasporto merci e il trasporto pubblico di passeggeri

*Comparison between various selected carbon footprint calculators for freight and public passenger transport*

Mezzo di trasporto <i>Mean of transport</i>	CarbonCare [6] * kg CO <sub>2</sub> eq/km <i>CarbonCare [6] * kg CO<sub>2</sub> eq/km</i>	LogWard [7] ** kg CO <sub>2</sub> eq/km <i>LogWard [7] ** kg CO<sub>2</sub> eq/km</i>	EcoTrans IT Word [8] *** kg CO <sub>2</sub> eq/km <i>EcoTrans IT Word [8] *** kg CO<sub>2</sub> eq/km</i>	Impronta di carbonio [9] **** kg CO <sub>2</sub> eq/pkm <i>Carbon Footprint [9] **** kg CO<sub>2</sub> eq/pkm</i>
<b>Strada</b> <i>Road</i>	0,055 (40 t)	-	0,084	0,17 (gasolio - <i>diesel</i> ) 0,16 (benzina - <i>petrol</i> )
<b>Aria</b> <i>Air</i>	0,747	1,196	1,849	0,07
<b>Ferrovia</b> <i>Rail</i>	0,018	0,093	0,017	0,04 (ferrovia naz. - <i>nat. rail</i> ) 0,00 (ferrovia int. - <i>int. rail</i> )
<b>Strada (altro)</b> <i>Road (other)</i>	-	-	-	0,23 (furgone - <i>van</i> ) 0,10 ( <i>bus</i> ) 0,03 (pullman - <i>coach</i> ) 0,03 (tram) 0,03 (metro - <i>tube</i> ) 0,15 (taxi)
<b>Strada (moto)</b> <i>Road (motorbike)</i>	-	-	-	0,08 (-125ccm) 0,10 (>125-500 ccm) 0,13 (- up to 500 ccm)

\* CarbonCare è valutato come il calcolatore di emissioni di CO<sub>2</sub> più completo per il trasporto e la logistica (trasporto merci) per via aerea, ferroviaria, stradale, marittima e per vie navigabili. Calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub> sulla base dei requisiti della norma ISO EN 14038:2023 che è in linea con ISO EN 14064-1 (impronta di carbonio aziendale), ISO EN 14064/14067 (prodotti) e ISO EN 14040/14044 (ciclo di vita). Il calcolo è stato effettuato per il percorso selezionato e un carico merci di 1000 kg.

\*\* Il calcolatore LogWard dell'impronta di carbonio consente il calcolo dell'impronta di carbonio per i viaggi merci via mare, aerea o su strada. Lo strumento è stato costruito sui dati di EcotransIT World, inclusi i fattori di emissione di Clean cargo e una metodologia approvata da GLEC. Il calcolo è stato effettuato per la stessa quantità di merci e sugli stessi percorsi.

\*\*\* Il calcolatore EcoTransIT World consente il calcolo dell'impronta di carbonio (e di tutti i gas serra) per i viaggi in camion, treno, aereo, mare e chiatte. Tutti i calcoli sono stati effettuati secondo EN 16258. Il calcolo è stato effettuato per la stessa quantità di merci e sugli stessi percorsi.

\*\*\*\* Il calcolatore dell'impronta di carbonio consente il calcolo del trasporto pubblico di passeggeri utilizzando il trasporto aereo, stradale (auto, moto, autobus, pullman, metropolitana) e ferroviario (nazionale e internazionale). Il calcolo è stato effettuato per la lunghezza del viaggio del passeggero di 1000 km.

\* CarbonCare is evaluated as the most comprehensive CO<sub>2</sub> emission calculator for transport and logistics (freight transport) by air, rail, road, sea, and navigable waterways. Calculation of CO<sub>2</sub> emissions based on requirements of ISO EN 14038:2023 which is in line with ISO EN 14064-1 (company carbon footprint), ISO EN 14064/14067 (products), and ISO EN 14040/14044 (life cycle). The calculation was made for the selected route and a freight of 1000 kg.

\*\* LogWard calculator of carbon footprint enables the calculation of the carbon footprint for cargo journeys by sea, air, or road. The tool was built on data from EcotransIT World, including the emissions factors from clean cargo and a GLEC-approved methodology. Calculation was made for the same quantity of freight and on the same routes.

\*\*\* EcoTransIT World calculator enables the calculation of the carbon footprint (and all greenhouse gases) for cargo journeys by truck, train, air, sea, and barge. All calculation was made according to EN 16258. Calculation was made for the same quantity of freight and on the same routes.

\*\*\*\* Carbon footprint calculator enables the calculation of public passenger transport using air, road (car, motorbike, bus, coach, tube), and rail (national and international) transport. The calculation was made for the passenger journey length of 1000 km.

Coolset è un programma per computer web che fornisce contenuti simili a Persefoni, ma per aziende di medie dimensioni. Consente l'automazione delle misurazioni dell'impronta di carbonio, i piani di riduzione degli edifici e il raggiungimento degli obiettivi climatici, la preparazione di CSRD&ESRS – European Sustainability Reporting Standards - la divulgazione e la preparazione degli audit [11].

- *distribution phase, including assembly: emissions from transport from the gate of the manufacturer's plant to the place of use, including emissions from installation and assembly;*
- *operational or operational phase, including maintenance: the amount of energy required for operation, including maintenance;*
- *end-of-life phase: the dismantling of the plant and related*



I programmi per computer menzionati non sono stati utilizzati. Sono mostrati solo come esempio del fatto che ci sono strumenti software su Internet che consentono una gestione efficace dei fattori ambientali durante l'intero ciclo di vita di un prodotto, azienda o attività.

Secondo gli esperti ambientali, l'unico metodo scientifico riconosciuto per stimare le emissioni (energia utilizzata) è l'analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment* - LCA)[12]. La gestione ambientale della valutazione del ciclo di vita è definita dalle norme ISO EN 14040/14044 [13][14]. Il quadro bilanciato comprende cinque fasi:

- fase di preparazione dei materiali: la consegna dei materiali, compresa, se disponibile, la pre-lavorazione da parte dei fornitori e il trasporto dal fornitore allo stabilimento di produzione del produttore;
- fase di produzione: i materiali ausiliari necessari per la produzione e la spesa energetica, da cancello di fabbrica a cancello di fabbrica;
- fase di distribuzione, compreso il montaggio: emissioni derivanti dal trasporto dal cancello dello stabilimento del costruttore al luogo di utilizzo, comprese le emissioni derivanti dall'installazione e dal montaggio;
- fase operativa, compresa la manutenzione: la quantità di energia necessaria per il funzionamento, compresa la manutenzione;
- fase di fine vita: lo smantellamento dell'impianto e il relativo trasporto e trattamento (differenziazione tra discarica, incenerimento e riciclaggio).

Le diverse aree del ciclo di vita dei diversi mezzi di trasporto sono regolamentate in modo diverso dal punto di vista della legislazione (e delle norme) in materia. Si stima che i dispositivi funiviari per il trasporto di persone siano l'area più strettamente regolamentata dal punto di vista legislativo. Oltre al sistema completo di norme che regolano la costruzione, l'installazione in loco, la guida, l'ispezione e il collaudo e il salvataggio dai dispositivi a fune per il trasporto di persone (norme CEN/TC 242), ogni stato nazionale definisce requisiti aggiuntivi attraverso la propria legislazione (ad esempio in Slovenia: Atto dei dispositivi a fune per il trasporto delle persone, del RS 126/03, 200/209. Va notato che, a differenza di altri settori dei mezzi di trasporto, la standardizzazione nel campo delle funivie rappresenta una parte importante della legislazione. Questo è un tentativo di garantire il massimo livello possibile di sicurezza nell'esercizio degli impianti a fune.

Oltre alle classiche funivie, che sono più spesso utilizzate per il trasporto di persone nelle aree turistiche, recentemente, è apparso un maggior numero di funivie per il trasporto di persone nelle aree urbane (funivie urbane-città) principalmente a causa di molte innovazioni in questo campo. Inoltre, presteremo maggiore attenzione a questo tipo di dispositivi per funivie (*Automated People Movers* – APM by rope) e cercheremo di valutarne l'impatto sull'ambiente utilizzando il metodo LCA.

*transport and treatment (differentiation between landfill, incineration, and recycling).*

*Different areas of the life cycle of different means of transport are regulated differently from the point of view of the relevant legislation (and standards). It is estimated that cable car devices for transporting people are the area that is the most strictly regulated from the point of view of legislation. In addition to the comprehensive system of standards that govern the construction, installation on site, driving, inspection and testing, and rescue from ropeway devices for the transportation of persons (standards CEN/TC 242), each national state defines additional requirements through its legislation (for example in Slovenia: Act of cable devices carrying persons, OJ of RS 126/03, 200/209. It should be noted that, unlike other areas of means of transport, standardization in the field of cable cars represents an important part of the legislation. This is an attempt to ensure the highest possible level of safety in the operation of cableway installations.*

*In addition to the classic cable cars, which are most often used to transport people in tourist areas, recently, mainly due to many innovations in this field, a greater number of cable cars for transporting people in urban areas (urban-city cable cars) have appeared. In addition, we will pay more attention to this type of cable car devices (Automated People Movers – APM by rope) and try to assess their impact on the environment using the LCA method.*

### 3. Cable cars are the most environmentally friendly motorized means of transport

*No other motorized transport system is as competitive in terms of energy consumption and noise emissions as automatic people movers, also identified but not necessarily in the acronym APM [15].*

*According to the standards of the American Society of Civil Engineering (ASCE) some definitions of APM can be found: APMs are urban cableways "fully automated fixed-rope systems, operating over short or medium distances, whose vehicles can carry from a few dozen to a few hundred passengers". Automated People Movers by cable (cable-APM) are APMs with the feature that the vehicles are pulled by one or more steel ropes, to which they are permanently or temporarily attached or deployed, instead of self-propelled [16].*

*If we take the Italian Guidelines for the design of a fully automated passenger transport system (APM) with rope traction [17] into consideration an APM is a fully automated transport system, accessible to the public, characterized by vehicles operating on reserved transit routes with varying gradients and twists. When dealing with such a ropeway system, the traction of the vehicles is entrusted to one or more loops, which normally have a speed along the line of up to 14 m/s [18]. However, it must be possible for this speed to be reduced to zero at stations to allow slow passengers, for whatever reason, to enter or exit and any goods to be loaded or unloaded.*

*The energy consumption of cable cars depends on the*

### 3. Le funivie sono il mezzo di trasporto motorizzato più ecologico

Nessun altro sistema di trasporto motorizzato è così competitivo in termini di consumi energetici ed emissioni sonore come i people mover automatici, anch'essi identificati ma non necessariamente nella sigla APM [15].

Secondo gli standard dell'*American Society of Civil Engineering* (ASCE) si possono trovare alcune definizioni di APM: gli APM sono impianti a fune urbani "sistemi di funivia completamente automatizzati, che operano a breve o media distanza, i cui veicoli possono trasportare da poche dozzine a qualche centinaia di passeggeri". I People Mover automatizzati via cavo (cable-APM) sono APM la cui caratteristica è che i veicoli sono trainati da una o più funi d'acciaio, a cui sono permanentemente o temporaneamente attaccati o distribuiti, piuttosto che semoventi [16].

Se prendiamo in [17] considerazione le Linee Guida italiane per la progettazione di un sistema di trasporto passeggeri (APM) completamente automatizzato con trazione a fune, un APM è un sistema di trasporto completamente automatizzato, accessibile al pubblico, caratterizzato da veicoli che operano su percorsi di transito riservati con pendenze e torsioni variabili. Quando si tratta di un tale sistema funiviario, la trazione dei veicoli è affidata a uno o più anelli, che normalmente hanno una velocità lungo la linea fino a 14 m/s [18]. Tuttavia, questa velocità si deve poter ridurre a zero nelle stazioni per consentire ai passeggeri lenti, per qualsiasi motivo, di entrare o uscire e alle merci di essere caricate o scaricate.

Il consumo energetico delle funivie dipende dal tipo di funivia, dalle sue condizioni operative e dall'efficienza dei suoi componenti. I componenti più importanti che influenzano il consumo di energia sulle funivie sono motori - cavi di trasmissione, superamento del peso del veicolo e delle forze di attrito, sistemi ausiliari - sistemi di illuminazione, riscaldamento, ventilazione e controllo che consumano energia per il loro funzionamento e fanno parte dell'installazione della funivia e perdite - le perdite di energia si verificano a causa di fattori come l'attrito dei cuscinetti, la resistenza elettrica e le inefficienze meccaniche. Oltre a quanto sopra, il consumo di energia nell'esercizio delle funivie è influenzato da terreno - pendenze ripide e lunghe distanze richiedono più potenza per superare le forze gravitazionali e l'attrito, condizioni meteorologiche - vento, neve e ghiaccio possono aumentare il consumo di energia a causa dell'aumento della resistenza e delle forze di attrito e carico utile - il numero di passeggeri e merci può avere un impatto significativo sul consumo di energia.

In un'installazione con trazione a fune, una parte importante delle perdite di energia proviene dai rulli, dall'interazione tra la fune metallica (acciaio) e la puleggia o l'elastico sul singolo [19] rullo [20]. Le restanti perdite di energia derivano dalla deformazione della fune durante le fasi di contatto, dall'interazione aerodinamica del vento con il sistema (fune e veicolo) e dall'efficienza del gruppo di trasmissione del motore. Alcuni dettagli possono aiuta-

*type of cable car, its operating conditions, and the efficiency of its components. The most important components that affect energy consumption on cable cars are engines - drive cables, overcome vehicle weight and frictional forces, auxiliary systems - lighting, heating, ventilation, and control systems that consume energy for their operation and are part of the cableway installation and losses - energy losses occur due to factors such as bearing friction, electrical resistance, and mechanical inefficiencies. In addition to the above, the energy consumption in the operation of cable cars is influenced by terrain - steep inclines and long spans require more power to overcome gravitational forces and friction, weather conditions - wind, snow, and ice can increase energy consumption due to increased resistance and frictional forces, and useful load - the number of passengers and cargo can have a significant impact on energy consumption.*

*In an installation with rope traction, an important part of the energy losses comes from the rollers, from the interaction between the (steel) wire rope and the sheave or rubber band on the individual roller [19][20]. The remaining energy losses originate from the deformation of the rope during the contact phases, the aerodynamic interaction of the wind with the system (rope and vehicle), and the efficiency of the motor transmission unit. A few details may help to clarify the matter: the energy loss on each roller is not very high, as it amounts to a few hundred watts, compared to the hundreds of kilowatts required by the power of a motor. However, there are hundreds of rollers in an installation, which is why rollers are so important, especially in an urban installation that operates continuously throughout the day and year. For example, in an operating gondola lift [19], the Aosta-Pila, it can be seen from the design of the line that about 80 percent of the energy absorption is generated by the energy losses of the rollers. In a simple chairlift, the energy consumption associated with the rollers is about 85%, again considering the design of the line.*

*The technical standards [18] provide information on the energy consumption of rollers: the standard stipulates that the roller friction must be calculated as 3% of the vertical load if the band is made of a rubber compound. However, this is a conventional value, which is also provided in the pre-existing regulations in European states. Thus, as shown in [19] this is a value that is very much on the side of safety; this is great for ropeway design but is too high for an effective comparison between urban transport systems in terms of energy.*

*The authors were able to state that to estimate the energy consumption for an APM with rope traction - under steady-state conditions - a maximum of 2% of the vertical load should be used instead of the 3% given by regulatory requirements. The authors considered that the best value that corresponds to real behaviour should be between 1 and 1.5%. For urban transport, it is necessary to contain the energy consumption of rollers, given their abundance, a plausible target is to contain it within 1% of the vertical load.*



re a chiarire la questione: la perdita di energia su ciascun rullo non è molto elevata, in quanto ammonta a poche centinaia di watt, rispetto alle centinaia di kilowatt richiesti dalla potenza di un motore. Tuttavia, ci sono centinaia di rulli in un'installazione, motivo per cui i rulli sono così importanti, soprattutto in un'installazione urbana che funziona continuamente durante il giorno e l'anno. Ad esempio, in una cabinovia operativa [19], l'Aosta-Pila, si può vedere dal progetto della linea che circa l'80 per cento dell'assorbimento di energia è generato dalle perdite di energia dei rulli. In una semplice seggiovia, il consumo energetico associato ai rulli è di circa l'85%, sempre considerando il design della linea.

Le norme tecniche [18] forniscono informazioni sul consumo energetico dei rulli: la norma stabilisce che l'attrito del rullo deve essere calcolato come 3% del carico verticale se la fascia è costituita da una miscela di gomma. Tuttavia, si tratta di un valore convenzionale, che è previsto anche nelle normative preesistenti negli stati europei. Pertanto, come mostrato in [19] questo è un valore che è molto dalla parte della sicurezza; questo è ottimo per la progettazione degli impianti a fune ma è troppo alto per un confronto efficace tra i sistemi di trasporto urbano in termini di energia.

Gli autori sono stati in grado di affermare che per stimare il consumo di energia per un APM con trazione a fune - in condizioni stazionarie - dovrebbe essere utilizzato un massimo del 2% del carico verticale invece del 3% dato dai requisiti normativi. Gli autori hanno ritenuto che il miglior valore che corrisponde al comportamento reale dovrebbe essere compreso tra l'1 e l'1,5%. Per il trasporto urbano è necessario contenere il consumo energetico dei rulli, data la loro abbondanza, un obiettivo plausibile è quello di contenerlo entro l'1% del carico verticale.

L'APM che viene preso in considerazione (tecnologia CableSmart) è un dispositivo innovativo proposto dalla tesi di dottorato di S. BAZZOLO. La suddetta tesi è stata esposta nel 2023 presso il Politecnico di Torino.

La tecnologia CableSmart ha le seguenti caratteristiche principali [21] dove la trazione viene trasmessa al veicolo in due modi alternativi:

- a) Attraverso una fune, in modo simile a una funivia tradizionale. Il veicolo è bloccato alla fune di traino e il movimento avviene grazie alla fune. I sistemi ausiliari e il comfort termico all'interno del veicolo sono comunque garantiti dalle batterie montate a bordo del veicolo.
- b) Attraverso ruote motorizzate montate sulla parte superiore del veicolo, che è alimentato da batterie e supercondensatori montati sul veicolo; in particolare, i supercondensatori, che hanno un'alta densità di potenza e una lunga durata in termini di cicli di carica-scarica forniscono l'energia per l'accelerazione del veicolo, mentre le batterie al litio forniscono l'energia per lo scenario di crociera. In questi segmenti, il sistema funziona in modo simile a una monorotaia sospesa.

*APM which is taken into consideration (CableSmart technology) is an innovative device proposed by doctor dissertation of S. BAZZOLO. The mentioned dissertation was defended in 2023 at the Politecnico di Torino.*

*CableSmart technology has the following main characteristics [21] (where propulsion is transmitted to the vehicle in two alternative ways):*

- a) *Through a rope, in a similar way to a traditional cable car. The vehicle is clamped to the hauling rope, and the movement takes place thanks to the rope. The ancillary systems and thermal comfort inside the vehicle are however guaranteed by the batteries mounted on board of the vehicle.*
- b) *Through motorized wheels mounted on the top of the vehicle, which is powered by batteries and supercapacitors mounted on the vehicle; in particular, supercapacitors, that have high power density and that have a long life in terms of charge-discharge cycles provide the energy for the acceleration of the vehicle, while lithium batteries provide the energy for the cruise scenario. In these segments, the system operates in a similar way to a suspended monorail.*
- c) *The technology allows reconciling the strengths of the traditional gondola, such as the ability to easily overcome large differences in altitude and natural obstacles with low impact on the ground of the system, with the strengths characteristic of a transport system on suspended monorail, such as the easy adaptation to the urban fabric, the possibility of having a curvilinear paths and the presence of slender intermediate stations (similar in size to a bus stop) that can be easily integrated into the urban context and environment.*

*The basic design features of CableSmart technology are shown in Fig. 2.*

*The topic thus appears to be highly topical even from the literature of the last 10-15 years, considering the efforts of many countries to reduce emissions of pollutants and CO<sub>2</sub>, witnessed among others by the signing by almost the entire international community of the UN Climate Change Conference agreements COP21 in Paris [22] and subsequent ones, up to the UN Climate Change Conference agreement COP28 in Dubai 2023 [23], which commit signatory states to a reduction in pollutant emissions.*

*The transport sector accounts for approximately 25-30% of man-made CO<sub>2</sub> emissions in Europe today, and it is therefore unlikely that compliance with the above-mentioned international agreements can be achieved without a push towards energy efficiency in the transport sector itself.*

### 3.1. Cable cars projects to help inhabitants of fast-growing conurbations

*Cableways are therefore a good transport solution for urban environments. Since aerial ropeways operate above street level, they require much less space than ground trans-*

- c) La tecnologia consente di conciliare i punti di forza della gondola tradizionale, come la capacità di superare facilmente grandi dislivelli e ostacoli naturali a basso impatto sul terreno dell'impianto, con i punti di forza caratteristici di un sistema di trasporto su monorotaia sospesa, come il facile adattamento al tessuto urbano, la possibilità di avere percorsi curvilinei e la presenza di stazioni intermedie snelle (simili per dimensioni a una fermata dell'autobus) facilmente integrabili nel contesto e nell'ambiente urbano.

La Fig. 2 mostra le caratteristiche di progettazione di base della tecnologia CableSmart.

L'argomento appare quindi di grande attualità anche dalla letteratura degli ultimi 10-15 anni, considerando gli

port modes. Ropeways can provide the required transport performance without being affected by traffic congestion or disruptions to ground transport. They are extremely safe in operation and emission-free thanks to their electric drive, and their investment and operating costs are much lower than new tramway projects. This often makes them advantageous to overland systems offering comparable capacity.

Compared to railway-type transport - especially tramways, monorails, light railways, and urban railway lines - they have much shorter construction times and occupy much less space for construction, particularly in the case of tramways and metro lines. They are also much more flexible when it comes to adapting to rapidly fluctuating passenger numbers. Bicycles, wheelchairs, buggies luggage,

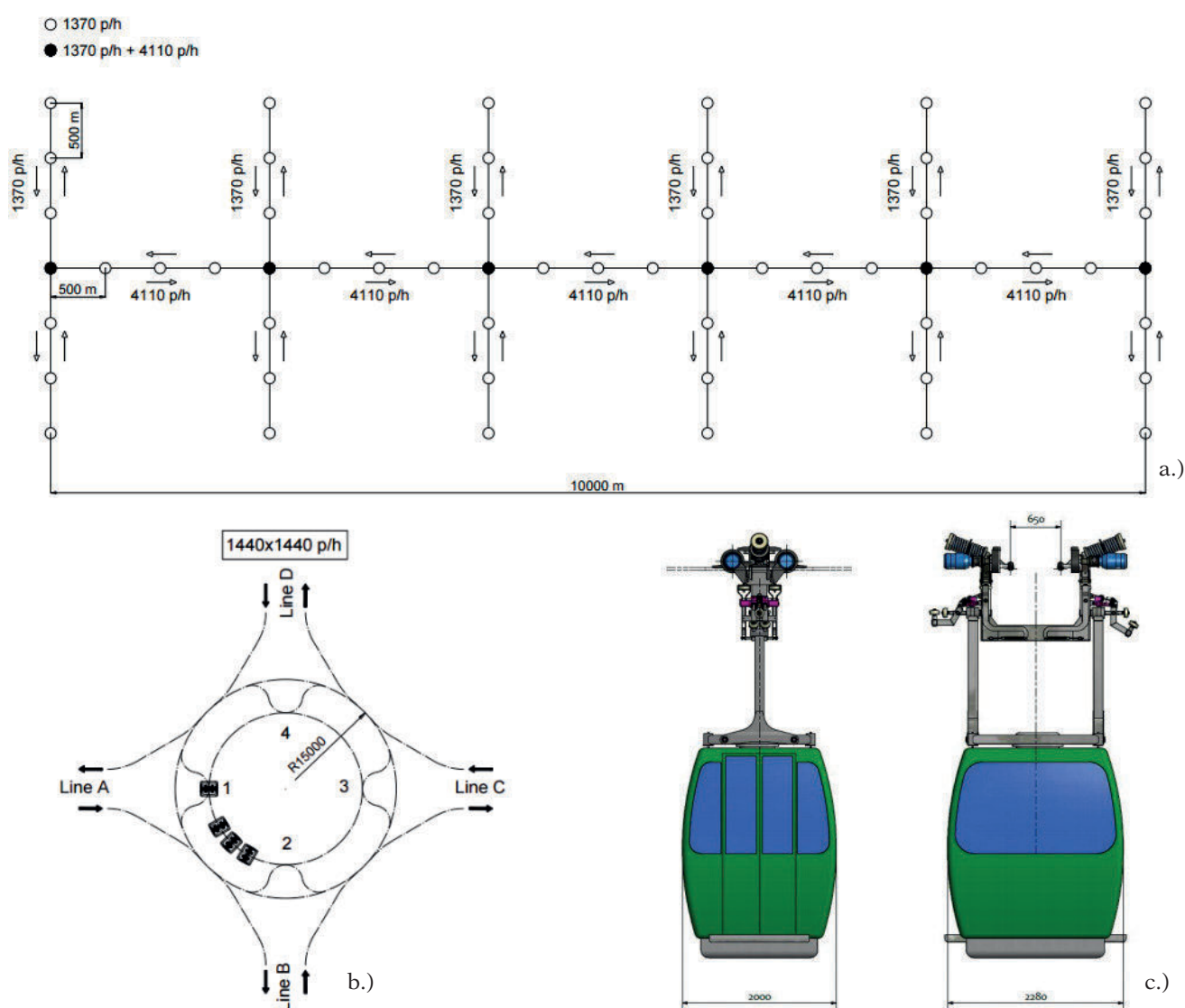


Figura 2 - a) La progettazione della rete costituita da una linea circolare di cabina (asse centrale) e collegamenti trasversali monorotaia, b) La progettazione dei nodi e c) La progettazione del veicolo [21].

Figure 2 - a) The design of the network consisting of a circular cabin line (central axis) and monorail transverse connections, b) Node design, and c) Vehicle design [21].

sforzi di molti paesi per ridurre le emissioni di inquinanti e CO<sub>2</sub>, testimoniati tra l'altro dalla firma da parte di quasi tutta la comunità internazionale degli accordi COP21 della Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici a Parigi [22] e di quelli successivi, fino all'accordo COP28 della Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici a Dubai 2023 [23], che impegnano gli Stati firmatari a una riduzione delle emissioni inquinanti. Il settore dei trasporti rappresenta oggi circa il 25-30% delle emissioni di CO<sub>2</sub> prodotte dall'uomo in Europa, ed è quindi improbabile che il rispetto degli accordi internazionali sopra menzionati possa essere raggiunto senza una spinta verso l'efficienza energetica nel settore dei trasporti stesso.

## **3.1. Progetti di funivie per aiutare gli abitanti degli agglomerati urbani in rapida crescita**

Gli impianti a fune sono quindi una buona soluzione di trasporto per gli ambienti urbani. Poiché le funivie aeree operano al di sopra del livello stradale, richiedono molto meno spazio rispetto alle modalità di trasporto a terra. Gli impianti a fune possono fornire le prestazioni di trasporto richieste senza essere influenzati dalla congestione del traffico o da interruzioni del trasporto a terra. Sono estremamente sicuri nel funzionamento e privi di emissioni grazie alla loro trazione elettrica e i loro costi di investimento e operativi sono di gran lunga inferiori rispetto ai nuovi progetti di tram. Ciò li rende spesso vantaggiosi per i sistemi terrestri che offrono capacità comparabili.

Rispetto ai trasporti di tipo ferroviario - in particolare tram, monorotaie, ferrovie leggere e linee ferroviarie urbane - hanno tempi di costruzione molto più brevi e occupano molto meno spazio per la costruzione, in particolare nel caso di tram e linee metropolitane. Sono anche molto più flessibili quando si tratta di adattarsi al numero di passeggeri in rapida fluttuazione. Biciclette, sedie a rotelle, passeggini, bagagli e persino pallet possono essere portati in cabina. Il pavimento della cabina è allo stesso livello della banchina della stazione, il che facilita l'imbarco e la discesa per tutti i gruppi di utenti. I sistemi automatizzati di carico e scarico assicurano un funzionamento regolare per il trasporto di merci, senza limitare il trasporto di passeggeri.

Un altro fattore altrettanto importante per le aree residenziali è che gli impianti a fune generano molto meno rumore rispetto ai veicoli ferroviari o al traffico stradale. Il fatto che i pendolari trovino più attraente viaggiare in funivia che in autobus o tram è in gran parte dovuto al movimento più silenzioso e agevole. Un ultimo punto importante da considerare: i sistemi di controllo digitale consentono agli impianti a fune di operare in gran parte in modo autonomo e quindi richiedono un minor numero di personale operativo. I dati digitali provenienti dai sistemi di supervisione possono essere trasferiti e integrati nelle reti di dati sulla mobilità esistenti, il che consente di utilizzare i dati, ad esempio, per le informazioni sui passeggeri.

*and even pallets can be brought into the cab. The cab floor is at the same level as the station platform, which facilitates boarding and alighting for all user groups. Automated loading and unloading systems ensure smooth operation for the transport of goods, without restricting passenger transport.*

*Another equally important factor for residential areas is that ropeways generate much less noise than rail vehicles or road traffic. The fact that commuters find it more attractive to travel by ropeway than by bus or tramway is largely due to the quieter and smoother movement. A final important point should also be considered: digital control systems allow ropeways to operate largely autonomously and therefore require fewer operating personnel. Digital data from supervisory systems can be transferred and integrated into existing mobility data networks, which allows the data to be used, for example, for passenger information.*

## **3.2. Comparison of emissions between cable cars and traditional transport systems**

*In the analysis [24], the authors and sustainability experts analysed and compared the CO<sub>2</sub> footprint of different means of public transport in a scientific life cycle analysis (LCA). The eco-balances of a cable car, buses, and a tram operating between two transport hubs were evaluated. In the overall picture of environmental impact, the urban aerial ropeway stands out as the most environmentally friendly mobility solution. Assuming a service life of 30 years, the aerial ropeway produces less than a quarter of the tonnes of carbon dioxide equivalent (tCO<sub>2</sub> eq) compared to other means of transport. A standardized budget framework with key figures was defined in which the systems considered were examined and compared. Furthermore, a staged life cycle model was applied for a detailed analysis. The balanced framework comprises five previously mentioned stages, which are depicted in Fig. 3.*

*By the LCA methodology, the functional unit should be defined. Standards [13][14] define the functional unit as a "quantified description of the performance of a product system to be used as a reference unit", in essence, it specifies the function to which all results refer. In addition, VDMA 34160 [25] states that the defined "load spectrum" consists of the "minimum requirements to be met. The added value due to exceeding the minimum requirements, e.g. increased availability, is not considered. This is particularly important when trying to put the results into context.*

*The functional unit was: "The transport of 3,000 passengers per hour per direction of travel, from the "16 de Julio" station to the Central Station in La Paz, Bolivia, for a total service period of 30 years, operating for 6,049 hours per year". The system technology used, the required performance, and the topography of the system served as a basis and reference point for comparison with alternative urban transport solutions. The reference flow for the urban ropeway system includes the supply and operation of stations, line works between stations, and 109 cabins operating si-*



### 3.2. Confronto delle emissioni tra funivie e sistemi di trasporto tradizionali

Nell'analisi [24], gli autori e gli esperti di sostenibilità hanno analizzato e confrontato l'impronta di CO<sub>2</sub> di diversi mezzi di trasporto pubblico in un'analisi scientifica del ciclo di vita (LCA). Sono stati valutati gli eco-bilanci di una funivia, di autobus e di un tram che operano tra due snodi di trasporto. Nel quadro complessivo dell'impatto ambientale, la funivia aerea urbana si distingue come la soluzione di mobilità più rispettosa dell'ambiente. Ipotizzando una vita utile di 30 anni, la funivia aerea produce meno di un quarto delle tonnellate di anidride carbonica equivalente (tCO<sub>2</sub> eq) rispetto ad altri mezzi di trasporto. È stato definito un quadro di bilancio standardizzato con cifre chiave in cui sono stati esaminati e confrontati i sistemi considerati. Inoltre, è stato applicato un modello di ciclo di vita graduale per un'analisi dettagliata. Il quadro bilanciato comprende cinque fasi precedentemente menzionate, illustrate nella Fig. 3.

Con la metodologia LCA dovrebbe essere definita l'unità funzionale. Norme [13][14] definiscono l'unità funzionale come una "descrizione quantificata delle prestazioni di un sistema di prodotto da utilizzare come unità di riferimento", in sostanza, specifica la funzione a cui si riferiscono tutti i risultati. Inoltre, VDMA 34160 [25] afferma che lo "spettro di carico" definito è costituito dai "requisiti minimi da soddisfare. Non viene considerato il valore aggiunto dovuto al superamento dei requisiti minimi, es. aumento della disponibilità. Ciò è particolarmente importante quando si cerca di contestualizzare i risultati.

L'unità funzionale era: "Il trasporto di 3.000 passeggeri all'ora per direzione di marcia, dalla stazione "16 de Julio" alla stazione centrale di La Paz, in Bolivia, per un periodo di servizio totale di 30 anni, in funzione 6.049 ore all'anno". La tecnologia di sistema utilizzata, le prestazioni richieste e la topografia del sistema sono servite come base e punto di riferimento per il confronto con soluzioni alternative di trasporto urbano. Il flusso di riferimento per il sistema funiviario urbano comprende la fornitura e il funzionamento delle stazioni, i lavori di linea tra le stazioni e 109 cabine che operano simultaneamente per un periodo di 30 anni. Come soluzione alternativa, è stata istituita la tecnologia APM CableSmart con la stessa lunghezza e gondole come parte primaria della soluzione. I collegamenti incrociati stabiliti sulle rotaie non influiscono sulla capacità del collegamento alternativo.

Poiché autobus e tram non possono trasportare passeggeri in linea retta su un piano aereo come una funivia, dovrebbero percorrere 12,4 km su strada per raggiungere le stesse stazioni del-

*multaneously for a period of 30 years. As an alternative solution, APM CableSmart technology was established with the same length and gondolas as the primary part of the solution. The established cross-connections on the rails do not affect the capacity of the alternative connection.*

*Since buses and trams cannot transport passengers in a straight line on an aerial level like an aerial ropeway, they would have to travel 12.4 km by road to reach the same stations as the cable car. To transport the same number of passengers (3000) in one hour over a service period of 30 years, a total of 175 large buses or 735 minibuses or 75 trams would therefore be required (Tab. 2).*

*The reference flow for buses comprised the provision and operation of the infrastructure, including depots and the road between stations (only for the bus share). The reference flow for trams was the provision and operation of infrastructure, including depots, stations, and the track between stations.*

*Using existing databases and literature values, the emissions generated by passenger transport were calculated for all life cycle phases. The units tCO<sub>2</sub> eq and gCO<sub>2</sub> eq/p<sub>c</sub> km were defined as measurement variables (CO<sub>2</sub> eq = CO<sub>2</sub> equivalent, p<sub>c</sub> km = passengers per km travelled, pkm). For the presentation of the results in gCO<sub>2</sub> eq/p<sub>c</sub> km, the total emissions were divided by the passenger-kilometers capacity (p<sub>c</sub> km).*

*The material and consumption data were then converted in a second step to determine the respective global warming potential via the database EcoInvent [26]. The calculation is based on the APOS system model (Allocation at the point of substitution<sup>2</sup>). The basic data for the evaluation of the ropeway system was provided by the company Doppelmayr.*

<sup>(2)</sup> More about APOS find on <https://support.ecoinvent.org/system-models>.

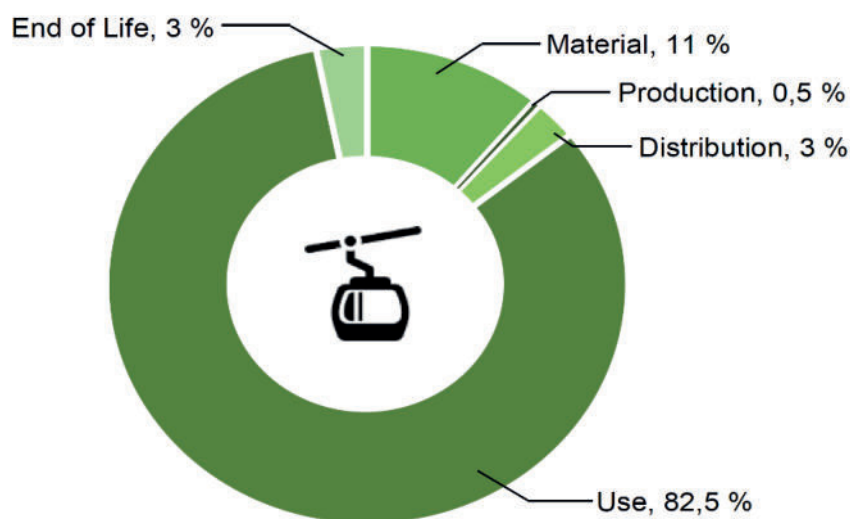


Figura 3 - Impatto sul CO<sub>2</sub> delle varie fasi di vita di un impianto a fune [24].  
Figure 3 - Impact of the various life stages of a ropeway on the CO<sub>2</sub> [24].

la funivia. Per trasportare lo stesso numero di passeggeri (3000) in un'ora per un periodo di servizio di 30 anni, sarebbe quindi necessario un totale di 175 autobus di grandi dimensioni o 735 minibus o 75 tram (Tab. 2).

Il flusso di riferimento per gli autobus comprendeva la fornitura e il funzionamento dell'infrastruttura, compresi i depositi e la strada tra le stazioni (solo per la quota degli autobus). Il flusso di riferimento per i tram era la fornitura e il funzionamento delle infrastrutture, compresi i depositi, le stazioni e il binario tra le stazioni.

Utilizzando i database esistenti e i valori della letteratura, le emissioni generate dal trasporto di passeggeri sono state calcolate per tutte le fasi del ciclo di vita. Le unità  $\text{tCO}_2 \text{ eq}$  e  $\text{gCO}_2 \text{ eq/p}_c \text{ km}$  sono state definite come variabili di misura ( $\text{CO}_2 \text{ eq} = \text{CO}_2 \text{ equivalente}$ ,  $\text{p}_c \text{ km} = \text{passeggeri per km percorso}$ ,  $\text{pkm}$ ). Per la presentazione dei risultati in  $\text{gCO}_2 \text{ eq/p}_c \text{ km}$ , le emissioni totali sono state divise per la capacità passeggeri-chilometri ( $\text{p}_c \text{ km}$ ).

I dati sui materiali e sui consumi sono stati quindi convertiti in una seconda fase per determinare il rispettivo potenziale di riscaldamento globale tramite il database EcoInvent [26]. Il calcolo si basa sul modello di sistema APOS (*Allocation at the point of substitution*<sup>2</sup>). I dati di base per la valutazione dell'impianto a fune sono stati forniti dalla società Doppelmayr. I dati primari forniti coprono tutte le fasi del ciclo di vita sia dei veicoli che dell'infrastruttura funiviaria.

Per quanto riguarda autobus e tram, i dati primari utilizzati sono quelli della letteratura combinati con ipotesi appropriate per costruire modelli appropriati al caso di studio, riguardanti l'unità funzionale. In particolare, la distribuzione dei veicoli sul sito operativo e il numero di autobus necessari sono stati calcolati in base allo scenario di La Paz nel periodo di servizio di 30 anni.

Le emissioni degli autobus durante l'esercizio sono state estratte [27] e adattate al caso di studio, incluso il carburante utilizzato per il funzionamento e stimato per la manutenzione, la riparazione e l'usura degli pneumatici negli scenari di trasporto pubblico.

Per i tram, è stato preso il consumo medio di elettricità per km del veicolo [28] e il consumo è stato scalato linearmente al km totale di servizio del veicolo e moltiplicato per il fattore di emissione specifico della Bolivia per collocare i risultati nel contesto geografico corretto (Tab. 2).

Sono stati modellati due diversi scenari: da un lato, uno scenario (ideale) che presuppone l'utilizzo permanente al 100% di tutti i veicoli. Nel secondo scenario, è stato applicato l'utilizzo (effettivo) del 69% del caso di studio di La Paz.

<sup>(2)</sup> Maggiori informazioni su APOS si trovano su <https://support.ecoinvent.org/system-models>.

*The primary data provided cover all phases of the life cycle of both the vehicles and the ropeway infrastructure.*

*As far as buses and trams are concerned, the primary data used are those from literature combined with appropriate assumptions to construct models appropriate to the case study, concerning the functional unit. Specifically, the distribution of vehicles at the operating site and the number of buses required were calculated based on the La Paz scenario over the service period of 30 years.*

*Bus emissions during the operation were extracted from [27] and adapted to the case study, including the fuel used for operation and estimated for maintenance, repair, and tire wear in public transport scenarios.*

*For trams, the average electricity consumption per vehicle km was taken from [28] and the consumption was scaled linearly to the vehicle's total km of service and multiplied by the Bolivia-specific emission factor to place the results in the correct geographical context (Tab. 2).*

*Two different scenarios were modelled: on the one hand, an (ideal) scenario assuming 100% permanent utilization of all vehicles. In the second scenario, the (actual) utilization of 69% of the La Paz case study was applied.*

## 4. Results

### 4.1 Carbon footprint of the 100 percent use scenario

*The emissions in  $\text{tCO}_2 \text{ eq}$  of passenger transport systems over the life cycle are shown in Tab. 3 and Fig. 4. In addition to total lifecycle emissions, the graph in Fig. 3 also shows a breakdown of emissions related to vehicle and infrastructure system components. Also shown in the box above the respective bar is the breakdown of emissions related to the use phase of the life cycle and the remaining phases (as a total). The operation or operational phase, including maintenance, accounts for the largest share of the life cycle phases for all four passenger transport systems. Large and small buses, with 388.987  $\text{tCO}_2 \text{ eq}$  and 348.142  $\text{tCO}_2 \text{ eq}$ , and the tram, with 272.004  $\text{tCO}_2 \text{ eq}$ , have a much larger share than the cable car, with 64.974  $\text{tCO}_2 \text{ eq}$  [24].*

*The provision and maintenance of infrastructure also generate a large proportion of emissions. Bus infrastructure includes the proportional allocation of emissions for road maintenance caused by bus traffic and the construction and operation of bus depots. In the case of the cable car (and APM solution also), it must be considered that the one-time transport from Europe to La Paz and the on-site installation are the main emission factors for the infrastructure.*

*The absolute emissions from the supply and maintenance of the tram option alone, for example, are higher than the total emissions caused by the cable car (including production, transport, assembly, operation and maintenance, etc.).*

*In total, the results show that the impact of the construction, maintenance, and care (checks and control) of these*

Tabella 2 – Table 2

Valori per i vari sistemi di trasporto analizzati nello studio [24]  
 Values for the various transport systems analysed in the study [24]

<b>Caratteristiche del trasporto</b> <i>Transport characteristics</i>	<b>Piccolo autobus</b> <i>Small bus</i>	<b>Grande autobus</b> <i>Large bus</i>	<b>Tram</b> <i>Tram</i>	<b>Funivia</b> <i>Cable car</i>	<b>CableSmart</b>
Lunghezza del percorso (una direzione) (km) <i>Route length (one direction) (km)</i>	12,4	12,4	12,4	2,3	2,3 + X*
Lunghezza del giro (km) <i>Lap length (km)</i>	24,8	24,8	24,8	4,6	4,6 + X*
Tempo per direzione (min) <i>Time per direction (min)</i>	18	18	18	8	8
Capacità automezzo (pass./veic) <i>Vehicle capacity (pass./veh)</i>	18	79	166	10	10
Velocità media (km/h) <i>Average speed (km/h)</i>	18	18	30	18	18
Numero di veicoli contemporaneamente <i>Number of vehicles simultaneously</i>	99	23	11	109	109
Durata del servizio per veicolo (anni) <i>Service lifetime per vehicle (years)</i>	3,95	3,95	4,42	N/A	N/A
Numero totale di veicoli nel corso della vita utile <i>Total number of vehicles over the service life</i>	753	175	75	N/A	N/A
Numero di giri per veicolo al giorno <i>Number of laps per vehicle per day</i>	28	28	28	N/A	N/A
Distanza percorsa per veicolo al giorno (km/giorno) <i>Distance travelled per vehicle per day (km/day)</i>	694	694	694	N/A	N/A
Distanza totale percorsa da tutti i veicoli al giorno (km/giorno) <i>Total distance travelled by all vehicle per day (km/day)</i>	68764	15971	7638	N/A	N/A
Distanza totale percorsa da tutti i veicoli nel corso della vita utile (milioni di km) <i>Total distance travelled by all vehicle over service life (million km)</i>	752,8	174,9	83,6	N/A	N/A
Capacità totale di trasporto durante la vita utile (miliardi di km pass) <i>Total transport capacity over service life (billion pass km)</i>	13,5	13,8	13,9	2,6	2,6
Tempo di funzionamento (h/giorno) <i>Operating time (h/day)</i>	16,57	16,57	16,57	16,57	16,57
Giorni di operatività (giorni/anni) <i>Operating days (days/years)</i>	365	365	365	365	365
Tempo di servizio (anni) <i>Service time (years)</i>	30	30	30	30	30
Capacità di servizio richiesta per direzione (pass/h) <i>Required service capacity per direction (pass/h)</i>	3000	3000	3000	3000	3000
Massa – peso netto del veicolo (t) <i>Mass – net vehicle weight (t)</i>	4,6	11.340	20,992	0,495	0,495
Peso medio dei passeggeri (kg) <i>Average passenger weight (kg)</i>	75	75	75	75	75
Peso lordo veicolo (t) <i>Gross vehicle weight (t)</i>	5.950	17.265	33.442	1.245	1.242
L'ingombro del veicolo (compreso il 20% dello spazio di manovra nel deposito) (m²) <i>The footprint of the vehicle (including 20% manoeuvrings space in the depot) (m²)</i>	18	36	108	N/A	N/A
Distanza di trasporto del veicolo dalla produzione al sito operativo (km) <i>Transport distance of the vehicle from production to operation site (km)</i>	3000	3000	3000	14.400	14.400
Trasporto merci dalla produzione al sito operativo (tkm) <i>Transport freight from production to operation site (tkm)</i>	13800	34020	62976	7128	7128
Calcestruzzo utilizzato nella costruzione della stazione (m³/stazione) <i>Concrete used in station construction (m³/station)</i>	N/A	N/A	255	255	255
Energia elettrica utilizzata per stazione all'anno (kWh/stazione anno) <i>Electricity used per station per year (kWh/station year)</i>	N/A	N/A	2600	2600	2600

\* lunghezza delle linee di collegamento trasversali, che non influiscono sul calcolo

\* The length of the transverse connecting lines, which do not affect the calculation



## 4. Risultati

### 4.1. Impronta di carbonio dello scenario di utilizzo al 100%

Le emissioni in tCO<sub>2</sub> eq dei sistemi di trasporto passeggeri durante il ciclo di vita sono mostrate nella Tab. 3 e nella Fig. 4. Oltre alle emissioni totali del ciclo di vita, il grafico nella Fig. 3 mostra anche una ripartizione delle emissioni relative ai componenti del sistema del veicolo e dell'infrastruttura. Nel riquadro sopra la rispettiva barra è riportata anche la ripartizione delle emissioni relative alla fase di utilizzo del ciclo di vita e alle restanti fasi (in totale). La fase operativa, inclusa la manutenzione, rappresenta la quota maggiore delle fasi del ciclo di vita per tutti e quattro i sistemi di trasporto passeggeri. Gli autobus grandi e piccoli, con 388,987 tCO<sub>2</sub> eq e 348,142 tCO<sub>2</sub> eq, e il tram, con 272,004 tCO<sub>2</sub> eq, hanno una quota molto maggiore rispetto alla funivia, con 64,974 tCO<sub>2</sub>eq [24].

Anche la fornitura e la manutenzione delle infrastrutture generano una grande percentuale di emissioni. L'infrastruttura degli autobus comprende l'allocazione proporzionale delle emissioni per la manutenzione stradale causata dal traffico degli autobus e la costruzione e il funzionamento dei depositi di autobus.

Nel caso della funivia (e anche della soluzione APM), si deve considerare che il trasporto una tantum dall'Europa

infrastructures can contribute substantially to overall life cycle emissions.

Relating calculated emissions to kilometers of vehicle passenger capacity, the large and small buses have the highest emission rates with 28.7 gCO<sub>2</sub> eq/pc km and 25.2 gCO<sub>2</sub> eq/pc km. The cable car with 22.7 gCO<sub>2</sub> eq/pc km follows the tram with 19.6 gCO<sub>2</sub> eq/pc km. The lowest emissions are estimated when using CableSmart technology: 17 gCO<sub>2</sub> eq/pc km under the considered conditions of use for the cable car system and an additional 11 gCO<sub>2</sub> eq/pc km of side connections which is not taken into consideration in Tab. 3 and Fig. 3.

### 4.2. 69% utilization scenario carbon footprint

For comparison, the real business case of La Paz was analyzed in a further scenario. The actual occupancy rate of the on-site system is about 69% (=2,059 passengers per hour), which corresponds to a reduction of 31% compared to the baseline scenario.

Consequently, studies show that the total emissions of all transport systems examined correspond broadly proportionally, as depicted in Tab. 4 and Fig. 5. This is mainly because most emissions are caused using the vehicle, which is consequently reduced in this scenario. This linear dependence is particularly evident in the case of buses. However, some changes can also be seen.

Tabella 3 – Table 3

Emissioni totali in 30 anni di ciclo di vita per lo scenario del 100% di utilizzo [24]  
Total emissions over 30 years life cycle by 100% utilization scenario [24]

	Piccoli autobus Small buses	Grandi autobus Large buses	Tram	Funivia Cable car	CableSmart
Emissioni totali (t CO <sub>2</sub> eq) Total emissions (t CO <sub>2</sub> eq)	388987	348142	272004	64974	34012*
Fase operativa (%) Operation phase (%)	88	92	74	89	80*
Altri (%) Other (%)	12	8	26	11	20*

\*Gli equivalenti di emissione per la parte operativa dell'uso della tecnologia CableSmart sono stimati sulla base del calcolo del consumo energetico (kWh) separatamente per la parte di base - la funivia circolare e per le parti laterali - il sistema monorotaia [21]. La conversione dei consumi energetici in coefficienti di emissione è stata effettuata con l'ausilio del Greenhouse Gas Equivalencies Calculator<sup>3</sup> [29]. La parte laterale non è considerata nel calcolo. Possono essere rilevati contributi significativi grazie all'uso di un impianto fotovoltaico, che garantisce quasi l'autosufficienza dell'impianto. Tutti gli altri parametri sono identici alla funivia.

\*Emission equivalents for the operational part of the use of CableSmart technology are estimated based on the calculation of energy consumption (kWh) separately for the basic part - the circular cable car and for the side parts - the monorail system [21]. The conversion of energy consumption into emission coefficients was carried out with the help Greenhouse Gas Equivalencies Calculator<sup>3</sup> [29]. The side part is not considered in the calculation. Significant contributions can be detected due to the use of a photovoltaic system, which ensures almost self-sufficiency of the system. All other parameters are identical to the cable car.

<sup>(3)</sup> Lo strumento è disponibile per il pubblico sulla home page dell'Agenzia per la protezione ambientale degli Stati Uniti. Consente la conversione delle emissioni o dei dati energetici nella quantità equivalente di emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>). <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator#results>

<sup>(3)</sup> The tool is publicly available on the US Environmental Protection Agency homepage. It enables the conversion of emissions or energy data into the equivalent amount of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions. <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator#results>.

a La Paz e l'installazione in loco sono i principali fattori di emissione per l'infrastruttura.

Le emissioni assolute derivanti dalla sola fornitura e manutenzione dell'opzione tram, ad esempio, sono superiori alle emissioni totali causate dalla funivia (inclusi produzione, trasporto, assemblaggio, esercizio e manutenzione, ecc.).

In totale, i risultati mostrano che l'impatto della costruzione, della manutenzione e della cura (verifiche e controlli) di queste infrastrutture può contribuire in modo sostanziale alle emissioni complessive del ciclo di vita.

Relativamente alle emissioni calcolate per chilometri di capacità passeggeri del veicolo, gli autobus grandi e piccoli hanno i più alti tassi di emissione con 28,7 gCO<sub>2</sub> eq/pc km e 25,2 gCO<sub>2</sub> eq/pc km. La funivia con 22,7 gCO<sub>2</sub> eq/pc km segue il tram con 19,6 gCO<sub>2</sub> eq/pc km. Le emissioni più basse sono stimate quando si utilizza la tecnologia CableSmart: 17 gCO<sub>2</sub> eq/pc km nelle condizioni d'uso considerate per il sistema di funivia e ulteriori 11 gCO<sub>2</sub> eq/pc km di collegamenti laterali che non sono presi in considerazione nella Tab. 3 e nella Fig. 3.

## 4.2. Impronta di carbonio nello scenario di utilizzo del 69%

Per confronto, il vero business case di La Paz è stato analizzato in un ulteriore scenario. Il tasso di occupazione effettivo del sistema in loco è di circa il 69% (=2.059 passeggeri all'ora), che corrisponde a una riduzione del 31% rispetto allo scenario di base.

Di conseguenza, gli studi dimostrano che le emissioni totali di tutti i sistemi di trasporto esaminati corrispondono in modo sostanzialmente proporzionale, come illustrato nella Tab. 4 e Fig. 5. Ciò è dovuto principalmente al fatto che la maggior parte delle emissioni sono causate dall'utilizzo del veicolo, che si riduce di conseguenza in questo scenario. Questa dipendenza lineare è particolarmente evidente nel caso degli autobus. Tuttavia, si possono notare anche alcuni cambiamenti.

Soprattutto per quanto riguarda i tram, il calo delle emissioni è solo sproporzionatamente basso, al 21%. Questo perché una parte relativamente grande delle emissioni è causata dalla produzione, dal montaggio e dalla manutenzione dell'infrastruttura. Ciò è già indicato e confermato nella Fig. 5 dove la percentuale di emissioni indotte dalle infrastrutture è aumentata al 30% rispetto allo scenario di riferimento.

Lo stesso vale per i cambiamenti nell'analisi della funivia. In questo caso, le emissioni complessive diminuiscono

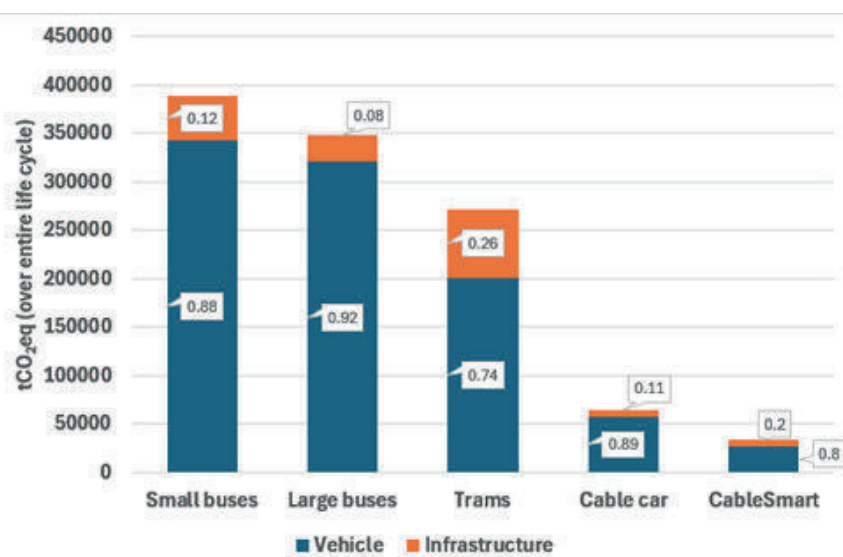


Figura 4 - Impronta di carbonio dello scenario di utilizzo al 100% per vari sistemi di trasporto [24].

Figure 4 - The carbon footprint of the 100 percent utilization scenario for various transport systems [24].

*Especially concerning trams, the drop in emissions is only disproportionately low, at 21%. This is because a relatively large part of the emissions is caused by the production, assembly, and maintenance of the infrastructure. This is already indicated and confirmed in Fig. 5 where the percentage of infrastructure-induced emissions is increased to 30% compared to the reference scenario.*

*The same applies to changes in the cable car analysis. In this case, the overall emissions decrease slightly disproportionately despite the lower capacity utilization.*

*Compared to the baseline scenario, it is in any case necessary to build and maintain a virtually unchanged infrastructure suitable for maximum capacity, although cable devices are designed to generate significantly lower emissions than the tram.*

## 4.3. Sensitivity analysis

*It has been noted that the use of the various systems used during the day has a strong influence on emissions. In the case of cable cars, for example, the uneven use in one direction has a particularly strong effect on energy demand (e.g. in the morning and evening hours). Concerning the specific topography of La Paz, Bolivia, the significantly longer routes (tracks) of buses and trams compared to cable cars have a major impact on the result. Trams and cable cars are dependent on grid mix, electricity mix, and electricity consumption. In this case, the feature of CableSmart technology comes to the fore, which is almost energy self-sufficient with the use of photovoltaic panels. Of course, any transition to predominantly use of renewable sources to produce electricity contributes to reducing the carbon footprint.*

*In the final analysis, however, the energy requirements of*

no in modo leggermente sproporzionato nonostante il minore utilizzo della capacità.

Rispetto allo scenario di base, è comunque necessario costruire e mantenere un'infrastruttura praticamente invariata adatta alla massima capacità, anche se i dispositivi in cavo sono progettati per generare emissioni significativamente inferiori rispetto al tram.

4.3. Analisi di sensibilità

È stato notato che l'uso dei vari sistemi utilizzati durante il giorno ha una forte influenza sulle emissioni. Nel caso delle funivie, ad esempio, l'uso disomogeneo in una direzione ha un effetto particolarmente significativo sulla domanda di energia (ad esempio nelle ore mattutine e serali). Per quanto riguarda la topografia specifica di La Paz, in Bolivia, i percorsi significativamente più lunghi (binari) di autobus e tram rispetto alle funivie hanno un impatto importante sul risultato. I tram e le funivie dipendono dal mix di rete, dal mix di elettricità e dal consumo di elettricità. In questo caso viene alla ribalta la caratteristica della tecnologia CableSmart, quasi autosufficiente dal punto di vista energetico con l'utilizzo di pannelli fotovoltaici. Naturalmente, qualsiasi transizione verso l'uso predominante di fonti rinnovabili per produrre elettricità contribuisce a ridurre l'impronta di carbonio.

In ultima analisi, tuttavia, i fabbisogni energetici delle alternative esaminate risultano particolarmente determinanti. Le funivie e i tram devono utilizzare il mix energetico della rete esistente in Bolivia. Questa analisi mostra che l'impatto totale del sistema di trasporto nel corso della sua vita può essere significativamente ridotto sia attraverso la quantità di consumo di energia elettrica stessa che attraverso la scelta del mix di produzione di energia. Uno spostamento verso l'uso di energia rinnovabile o almeno motori più efficienti dal punto di vista energetico avrebbe un impatto importante sull'equilibrio complessivo delle emissioni dei sistemi di trasporto. Per gli autobus, ad esempio, flotte più efficienti dal punto di vista energetico (minori consumi, minori costi di manutenzione, ecc.) portano a risultati diversi a lungo termine. Nel caso di tram e funivie, ciò potrebbe essere ottenuto modificando il mix di rete in una percentuale significativamente più elevata di elettricità da fonti rinnovabili.

Tabella 4 – Table 4  
 Emissioni totali in 30 anni di ciclo di vita per lo scenario del 69% di utilizzo [24]

	Piccoli autobus Small buses	Grandi autobus Large buses	Tram	Funivia Cable car	Cable Smart
Emissioni totali (t CO <sub>2</sub> eq) Total emissions (t CO <sub>2</sub> eq)	267196	242197	215094	48204	27209
Fase operativa (%) Operation phase (%)	88	92	68	85	82
Altri (%) Other (%)	12	8	32	15	18
Confronto al 100% Compared to 100%	-31	-30	-21	-26	-20

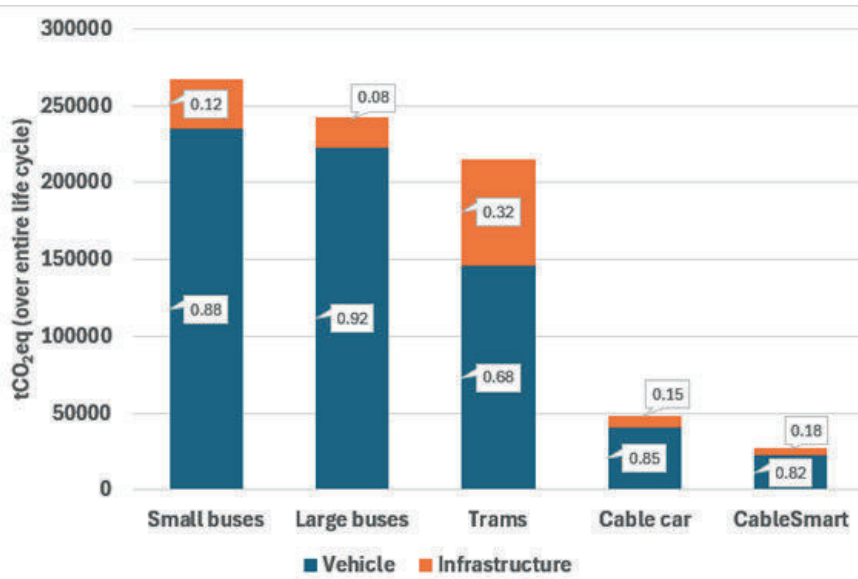


Figura 5 - L'impronta di carbonio dello scenario di utilizzo del 69% per vari sistemi di trasporto [24].  
 Figure 5 - The carbon footprint of the 69 percent utilization scenario for various transport systems [24].

the alternatives examined are particularly decisive. The cable cars and trams must utilize the energy mix of the existing network in Bolivia. This analysis shows that the total impact of the transport system over its lifetime can be significantly reduced both through the amount of electricity consumption itself and through the choice of power generation mix. A shift towards the use of renewable energy or at least more energy-efficient engines would have a major impact on the overall emissions balance of transport systems. For buses, for example, more energy-efficient fleets (lower consumption, lower maintenance costs, etc.) lead to different results in the long term. In the case of trams and cable cars, this



## 5. Conclusioni

L'analisi dell'impatto in termini di emissioni di CO<sub>2</sub> degli impianti a fune urbani rispetto ad altri sistemi di trasporto tradizionali come autobus e tram mostra un vantaggio significativo in termini di sostenibilità ambientale. Grazie alla loro tecnologia ecocompatibile, gli impianti a fune rappresentano una soluzione promettente per ridurre l'inquinamento atmosferico e la congestione stradale nelle aree urbane.

I governi locali si trovano di fronte alla sfida di migliorare la qualità dell'aria e ridurre il traffico stradale nelle città, e gli impianti a fune offrono una risposta efficace a questa esigenza. Incorporati in una struttura gerarchica dei sistemi di trasporto, che vanno dalle reti principali come le ferrovie, passando per le metropolitane e i tram, ai collegamenti finali negli hub dell'ultimo miglio, si posizionano come elemento essenziale nel completare il quadro della mobilità urbana sostenibile.

Sfruttando un livello di movimento sospeso che è ancora completamente privo di traffico stradale, gli impianti a fune urbani possono garantire tempi di percorrenza più brevi e un sistema di trasporto pubblico più fluido.

In definitiva, investire in funivie come parte integrante della rete di trasporto urbano è un passo importante verso un futuro più sostenibile; la combinazione di efficienza energetica, riduzione delle emissioni e miglioramento della qualità della vita rende le funivie una scelta intelligente per le città del futuro.

could be achieved by changing the grid mix to a significantly higher proportion of electricity from renewable sources.

## 5. Conclusions

*The analysis of the impact in terms of CO<sub>2</sub> emissions of urban ropeways compared to other traditional transport systems such as buses and trams shows a significant advantage in terms of environmental sustainability. Ropeways, thanks to their environmentally friendly technology, represent a promising solution for reducing air pollution and road congestion in urban areas.*

*Local governments are faced with the challenge of improving air quality and reducing road traffic in cities, and ropeways offer an effective response to this need. Embedded in a hierarchical structure of transport systems, ranging from the main networks such as railways, via metros and tramways, to the final connections in the last-mile hubs, they are positioned as an essential element in completing the framework of sustainable urban mobility.*

*By taking advantage of a suspended level of movement that is still completely free of road traffic, urban ropeways can ensure shorter travel times and a smoother public transport system.*

*Ultimately, investing in cable cars as an integral part of the urban transport network is a significant step towards a more sustainable future; the combination of energy efficiency, reduced emissions, and improved quality of life makes cable cars a smart choice for the cities of the future.*

## BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] RUBIO M.A., SARMIENTO O.L., GUEVARA T., ODOVON G., MUNOZ A., GUZMAN L.A., ARELLANA J., MOLANO L., HUERTAS B., INDVIK K., SEGURA E., KING A.C. DIEZ ROUX A.V. (2023), "The impact of an Urban Cable Car System on Liveability: A Mixed Methods Study in Bogota, Columbia", in Empatic City, S.M.A.R.T. Environments, 2023, pp. 311-345.
- [2] SELIN N.E. (2024), "Carbon footprint \_ ecology and conservation", Britannica, 25 April 2024. [web]. Available: <https://www.britannica.com/science/carbon-footprint>. [Accessed 2.6.2024].
- [3] "Our contribution to e-mobility", LEITNER AG, 2024. [web]. Available: <https://www.leitner.com/en/application-areas/urban/>. [Accessed 3.6.2024].
- [4] "Application possibilities for urban ropeways", Doppelmayr Seilbahnen GmbH, [web]. Available: <https://www.doppelmayr.com/en/reference-projects/anwendungsmoeglichkeiten-urbaner-seilbahnen/>. [Accessed 3.6.2024].
- [5] "Carbon footprint; ecology and conservation", Britannica, [web]. Available: <https://www.britannica.com/science/carbon-footprint>. [Accessed 17.6.2024].
- [6] "c. r. emissions, carboncare", [web]. Available: <https://www.carboncare.org/en/co2-emissions-calculator>. [Accessed 25.6.2024].
- [7] LogWard, "Emission calculator", LogWard gmbh, 2024. [web]. Available: <https://app.logward.com/>. [Accessed 25.6.2024].
- [8] WOLD E. (2024), "Emission calculator for greenhouse gases and exhaust emissions", EcoTransIT Wold, 2024. [Elektronski]. Available: <https://www.ecotransit.org/en/emissioncalculator/>. [Accessed 25.6.2024].
- [9] RADsite, "Webs leading carbon footprint calculator", Carbon Footprint, [Elektronski]. Available: <https://calculator.carbonfootprint.com/calculator.aspx>. [Accessed 25.6.2024].

- [10] *"The future of climate management is here"*, Persefoni, 2024. [web]. Available: <https://www.persefoni.com/persefoniai>. [Accessed 26.6.2024].
- [11] *"Measure emissions, build reduction plans and get CSRD compliant"*, Coolset, 2024. [web]. Available: <https://www.coolset.com/>. [Poskus dostopa 26 June 2024].
- [12] SHREY V., GAURAV D., PUNEET V., (2022), *"Life cycle assessment of electric vehicles in comparison to combustion engine vehicles: A review"*, Material today: Proceedings, 49, pp. 217-222, 2022.
- [13] ISO, *"ISO 14040 Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and framework"*, 2006. [Elektronski]. Available: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/37456/1fc9f64898c14240b034a77eccef42f3/ISO-14040-2006.pdf>. [Poskus dostopa 26 June 2024].
- [14] ISO, *"ISO 14044 - Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and guidelines"*, 2006. [Elektronski]. Available: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/38498/17324bfe9ec44e27a2f84e1a8ac3ca26/ISO-14044-2006.pdf>. [Poskus dostopa 26 June 2024].
- [15] AFFATATO M., BLENGINI S., DALLA CHIARA B., VAIR E. (2015), *"Automated People Mover with rope traction: engineering and modelling an innovative hybrid solution to optimise energy use"*, Ingegneria Ferroviaria, LXX, št. 11, pp. 901-923.
- [16] ANSI/ASCE/T&DI 21-21 (2006), *"Automated People mover Standards, Part 1 to Part 4"*, ASCE, , ANSE Library (<https://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784415573>).
- [17] UNI/TR 11735:2018 (2018), *"Guidelines for the engineering and design of fully automated systems with rope traction for passenger transport"*, Available: <https://conto.uni.com/en/uni-tr-11735-2018>
- [18] Technical committee 242, *"Safety requirements for cableways installation designed to carry persons"*.
- [19] NAVONE M., DALLA CHIARA B., BLENGINI S., VAIR E. (2017), *"Cable driven Automated People Movers for urban applications: modeling the roller for investigating energy consumption"*, Ingegneria Ferroviaria, Izvo. %1 od %2LXX, no. 9, pp. 631-663, September.
- [20] BAZZOLO S., BLENGINI S., DALLA CHIARA B. (2019), *"Energy load analysis of a fully automated hybrid cable-driven public transport system: simulation with a photovoltaic system and storage"*, Ingegneria ferroviaria, Izv. 12, pp. 963-989, December 2019.
- [21] BAZOLLA S. (2023), *"Cable driven innovative systems for urban transport: engineering, design and energy consumption"*, Torino Politecnica, Torino, 2023.
- [22] UN Climate Change (2024), *"The Paris Agreement"*. [web]. Available: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. [Accessed 2.7.2024].
- [23] UN Climate Change (2024), *"UN Climate Change Conference - United Arab Emirates"*, 30 November 2023. [web]. Available: <https://unfccc.int/cop28>. [Accessed 2.7.2024]
- [24] NIEMANN J., BRUCKMANN J., KRAUTZER F. (2024), *"Green City Deals \_ A study on the global warming potential of alternative urban transportation systems"*, Duesseldorf University of Applied Sciences, 2020. [web]. Available: <https://www.seilbahn-kahlenberg.at/wp-content/uploads/2022/09/Green-City-deals-Veroeffentlichung.pdf>. [Accessed 2.7.2024].
- [25] *"Life cycle cost calculation book"*, VDMA Verlag, 2011. Available: <https://www.vdmashop.de/en/executive-briefings/general-management/50/rechenbuch-der-lebenszykluskosten>
- [26] EcoQuery (2024), *"Database Search v3.10"*, EcoInvent, 2023. [web]. Available: <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.10/cutoff/search>. [Accessed 2.7.2024]
- [27] BELALCAZAR L.C., CUELLAR Y., BUITRAGO R. (2016), *"Life Cycle Emissions from a Bus Rapid Transit System and comparison with other modes of passenger transportation"*, CT&F - Ciencia Tecnología y Futuro, Izv. 6 (3), pp. 123-134, April.
- [28] STOLZ P., MESSMER A., FRISCHKNECHT R. (2016), *"Life Cycle Inventories of road and non road Transport Services"*, treeze - fair life cycle thinking.
- [29] Energy and Environment (2024), *"Greenhouse Gas Equivalencies Calculator"*, EPA - US Environmental Protection Agency, 12 March 2024. [web]. Available: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>. [Accessed 27.7.2024].



# STRAIL<sup>®</sup>WAY

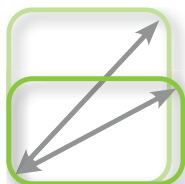
## LE TRAVERSE POLIMERICHE



Guarda al futuro!  
**SI alla traversa "green"**



carico per asse  
max. 22,5 to



traverse per binario e  
traversoni & deviatoio



possibili modifiche con  
attrezzi ordinari



durata in servizio  
> 50 anni

KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. KG // 84529 Tittmoning, Germany // Goellstraße 8  
STRAIL<sup>®</sup> in Italy // Tommaso Savi // mobile +39 392 9 50 38 94 // [tommaso.savi@strail.it](mailto:tommaso.savi@strail.it)

