

*Convegno nazionale CIFI*

*SISTEMI METROPOLITANI A GUIDA AUTOMATICA*

---

*MOBILITA' URBANA CON TRAZIONE A  
FUNI: A QUALI CONDIZIONI E CON  
QUALI EFFETTI SU SICUREZZA,  
CONSUMI ED AMBIENTE.*

---

Torino, marzo 2012

# APM

L'acronimo APM indica:

“AUTOMATED PEOPLE MOVER”

Impianti che possono essere definiti:

“Sistemi di trasporto leggeri  
a breve e media distanza”.

# APM con trazione a fune

All'interno degli APM si distinguono:

- Impianti con motore a bordo derivati dagli impianti metropolitani.
- Impianti con trazione a fune.

# Primi impianti urbani con trazione a fune

La trazione a fune è stata utilizzata in ambito urbano e su rotaia già a partire dalla fine del XIX ed inizio del XX secolo, basti pensare ad esempio a:

- il “cable car” di San Francisco negli; U.S.A.;
- le funicolari di Napoli e Genova;
- gli “electricos” di Lisbona;
- Il sistema funicolare AGUDIO della Sassi – Superga a Torino.

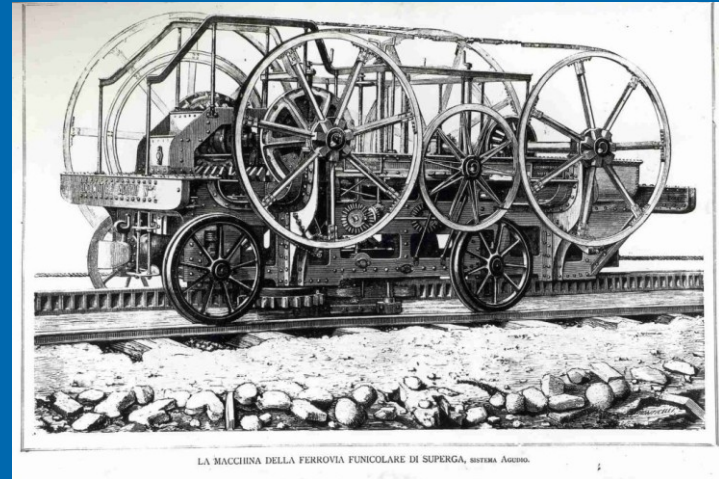


# Ieri

San Francisco cable car (1873)



Locomotore a fune di Superga (1884)



La  
Funicolare  
del  
Vesuvio  
(1880)

# Sviluppi più recenti

Nei decenni successivi la trazione a fune è stata prevalentemente impiegata sugli impianti funicolari terrestri che per alcune città costituiscono ancora oggi un fondamentale mezzo di trasporto urbano.

Grazie all'esperienza acquisita in questa tipologia di impianti e anche negli impianti sportivi di risalita, negli ultimi decenni ci sono stati importanti sviluppi tecnologici che hanno permesso la realizzazione di sistemi di trasporto urbano molto eterogenei ed evoluti.

# Oggi

## MiniMetro® Perugia





# Oggi

## People mover Venezia



# Oggi

## Metrocable di Medellin (Colombia)





# Oggi

## Shuttle aeroporto di Zurigo

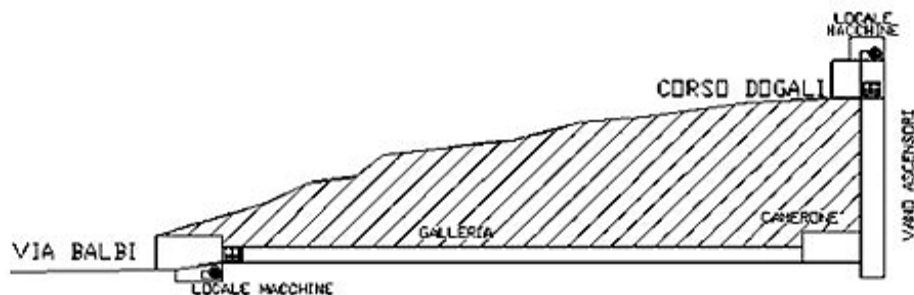


# Oggi

## Impianto integrato di Montegalletto Genova



PROGETTO IMPIANTO DI TRASPORTO VIA BALBI-CORSO DOGALI  
(di MONTE GALLETTO) - SEZIONE SCHEMATICA



# Peculiarità dei moderni sistemi a fune

Nel campo della moderna viabilità, la complessità crescente delle diverse situazioni, impone la ricerca di soluzioni sempre più flessibili e specifiche.

Gli impianti a fune sono spesso la soluzione a queste esigenze e per questo sono sempre più presenti all'interno delle aree urbane o nei collegamenti veloci fra luoghi ravvicinati.

Per quanto attiene alla portata, essi si collocano in sovrapposizione o al di sopra degli autobus e dei tram e possono servire ottimamente tratte urbane lunghe fino a 8/9 km.



# Sistemi a fune su rotaia e aerei

## **Caratteristiche dei sistemi a fune su rotaia:**

- portata fino a 8.000 p/h per direzione di marcia
- fino a 450 persone per vettura
- velocità fino a 14 m/s (circa 50 km/h)

## **Caratteristiche dei sistemi a fune aerei:**

- portata fino a 5.000 p/h per direzione di marcia
- fino a 200 p per cabina
- ingombro ridotto (solo le stazioni e i sostegni necessitano di una superficie su cui appoggiare)
- facile superamento di ostacoli sul terreno
- velocità fino a 12 m/s (circa 43 km/h)

# Principali vantaggi dei sistemi su rotaia e APM con trazione a fune

- Elevato livello di automazione e sicurezza
- Veicoli più leggeri (senza motore a bordo)
- Minori inerzie in fase di accelerazione
- Minori carichi sulle opere civili di linea
- Maggiore efficienza energetica
- Minori costi di costruzione
- Minori vibrazioni e rumorosità
- Minori consumi ed emissioni di CO<sub>2</sub>
- Possibilità di superare forti pendenze
- Possibilità di effettuare curve nel piano orizzontale con raggi ridotti di curvatura
- Flessibilità e velocità di costruzione
- Disponibilità fino al 99,8 %

# Elevato livello di automazione e sicurezza

Praticamente tutti i tipi di impianti a fune sono oggi a funzionamento automatico, ma con assistenza di personale nei veicoli o nelle stazioni.

Specificamente per gli APM con trazione a fune l'automazione è integrale, senza presenza di persone nelle stazioni o sui veicoli, ma unicamente in una stazione di controllo remota, che può essere anche comune a più impianti.

La sicurezza e la regolarità del servizio è comunque pienamente garantita da misure quali:

- Un esteso sistema di videosorveglianza unito alla comunicazione audio con i passeggeri.
- Porte di banchina allineate con le porte dei veicoli.
- Interdistanza corretta tra i veicoli garantita in linea dalla fune stessa.
- Da evidenziare che livello di sicurezza dei sistemi di trasporto a fune, considerando il rapporto incidenti/passeggeri trasportati, è tra i più alti in assoluto fra sistemi di trasporto.

# Veicoli più leggeri

I veicoli sono semplicemente “trainati” dalla fune e quindi non hanno a bordo motori o altri meccanismi di trazione, ma unicamente un sistema di collegamento della fune stessa al veicolo.

# Maggiore efficienza energetica

Ricorrere ad un unico motore posto nella stazione motrice, invece che a motori sui singoli veicoli, consente di utilizzare in modo condiviso le risorse energetiche, quindi in modo più razionale ed efficiente.



# Minori costi di costruzione

La maggiore leggerezza dei veicoli, la conseguente maggior leggerezza delle strutture di linea di supporto, permette di contenere i costi di costruzione rispetto a sistemi tradizionali con motore a bordo.

# Minori vibrazione e rumorosità

Sono un'altra conseguenza della mancanza di motorizzazioni a bordo.

L'unica fonte di rumorosità significativa può derivare dal contatto della fune traente sui rulli di supporto, ma può essere pienamente attenuata con opportuni accorgimenti (rulli rivestiti, funi compattate ecc..)



# Minori consumi ed emissioni di CO2

Da uno studio, ad esempio, effettuato in Austria per richiesta della ditta Dopplemayr, risulta che il consumo di CO2 per persona a Km è di circa:

- 248 gr per un'auto a benzina in pianura;
- 38,5 gr per un autobus diesel;
- 30 gr per un treno con motrice elettrica;
- 27 gr per un impianto a fune a pendenza media con solo 50% di riempimento.

# Minori consumi ed emissioni di CO2 (2)

Da studi effettuati invece dalla ditta Poma di Grenoble (Francia), risultano i seguenti dati:

COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES EN BREF

MODE	CONSO KWH	EFFICACITE ENERGETIQUE	CONSOMMATION KWH PAR PASSAGER	EMISSION CO2 kg/km	INVEST/Km M M/Km	Coût total par place/km /Km	VITESSE COMMERC km/h
PIETON	0,12	infinie	0,12	0	0	0	4-6 km/h
TÉLÉCABINE 8 pl. (1)	2,24	1333	0,28	0	5 à 7 M	0,017	20-27 km/h
TRAM 320 places	320	105-175	1	0	20-50 M	0,06	15-17 km/h
BUS 60 places	81,2	83-166	1,35	0,016	16,5 M	0,1	8-15 km/h
AUTO + 4 pl. (CLIO)	17,3	80-160	4,7	0,04	15,4 M	0,125	0-50 km/h
AUTO + 1 pl. (CLIO)	13,1	26-52	13,1	0,15	15,4 M	0,5	0-50 km/h

(1) Selon plusieurs devis de plusieurs constructeurs

# Possibilità di superare forti pendenze

La trazione non è trasmessa direttamente alle ruote, e quindi sono assenti quei problemi di aderenza che riguardano i sistemi automotori terrestri, particolarmente quelli con contatto ferro su ferro.



# Possibilità di effettuare curve nel piano orizzontale con raggi ridotti di curvatura

In dipendenza da: tipo di impianto, dimensione dei veicoli, velocità e tipologia di armamento; sono possibili raggi di curvatura da 250 fino a 6.5 m





# Flessibilità e velocità di costruzione

I costruttori di impianti a fune sono strutture industriali di dimensioni medio – piccole e fanno della flessibilità e della velocità di esecuzione uno dei loro punti di forza.

L'APM di Francoforte è stato realizzato in poco più di un anno.

- Lunghezza: 320 m
- Velocità: 6 m/s
- Portata: 1700 p/h



# Disponibilità fino al 99,9 %

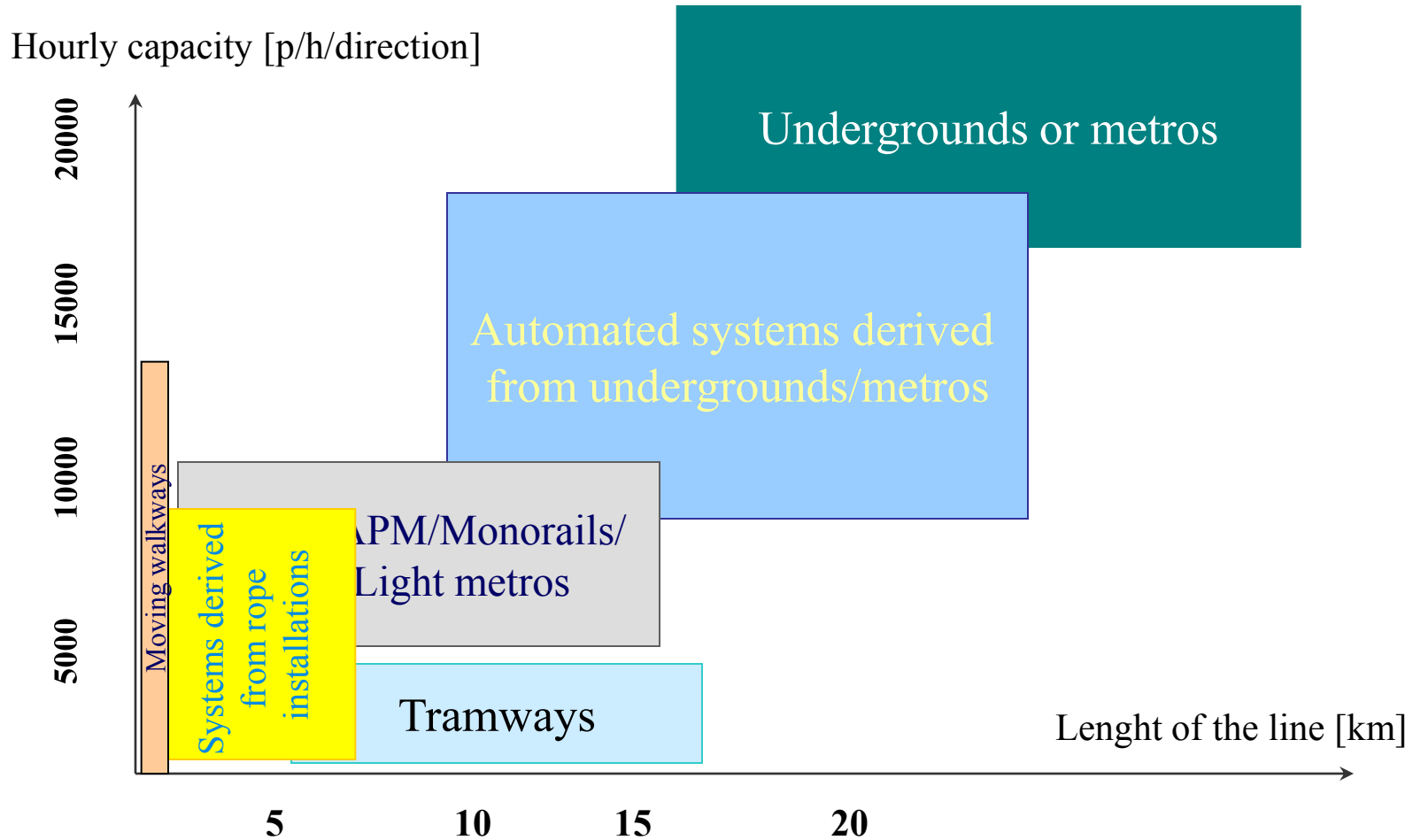
Sui sistemi a fune sono sempre presenti due fonti energetiche alternative.

Applicando sistematicamente il principio della ridondanza ai gruppi di trazione e a molti dei sottosistemi idraulici, elettrici ed elettronici; la stragrande maggioranza dei possibili guasti può essere rapidamente superata senza o con leggere penalizzazioni dell'esercizio.

Ulteriore azione viene svolta sul generoso dimensionamento degli organi elettromeccanici.



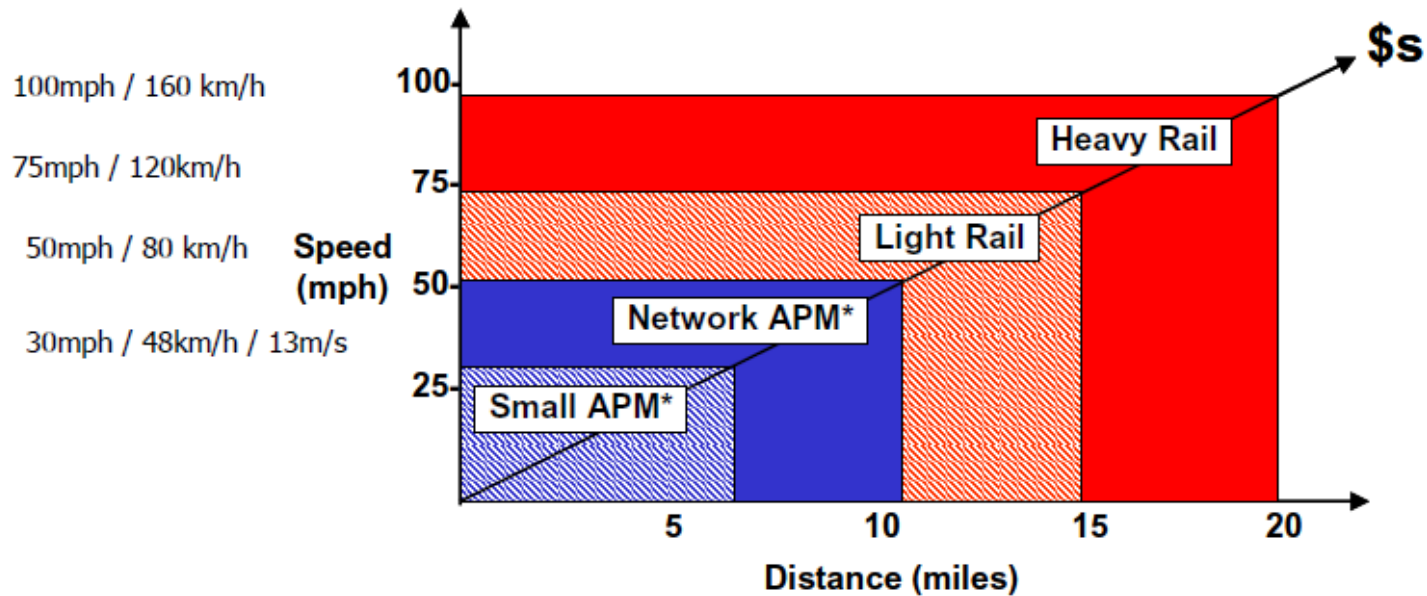
# Campo di applicazione di sistemi di trasporto non convenzionali (valori indicativi)



# Ulteriori diagrammi

## MARKET PROFILE

Transit Systems (Dedicated Right of Way)



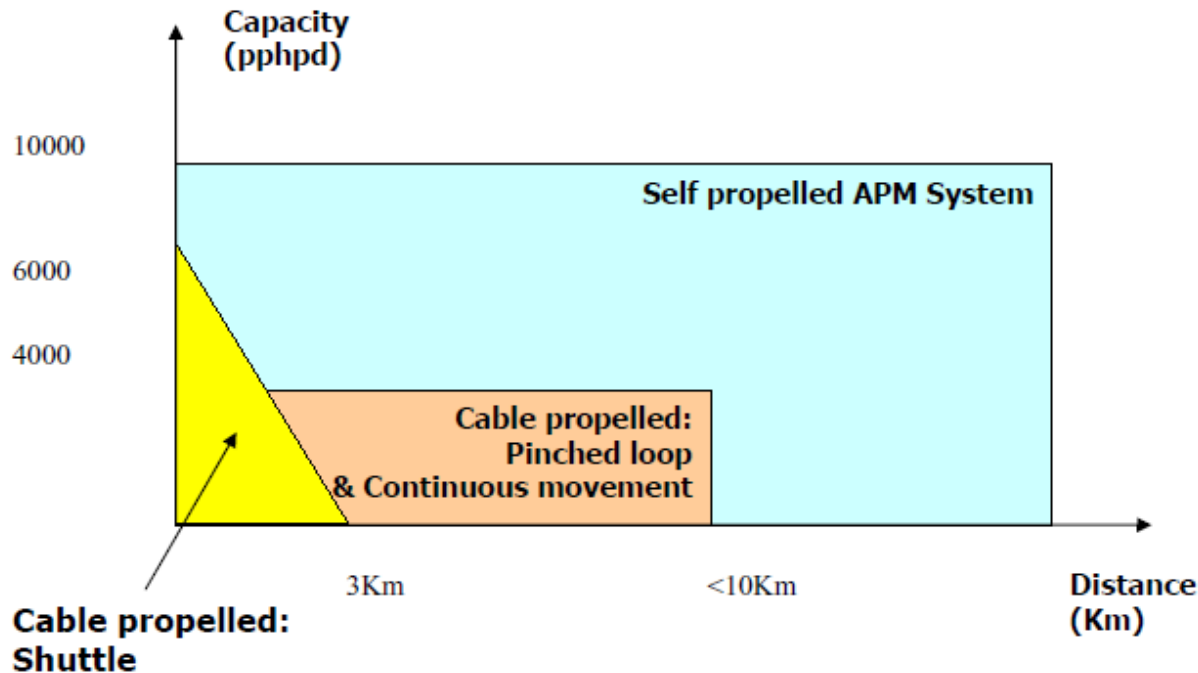
\* APM = Automated People Mover

Otis sources



# Ulteriore diagramma relativo a diversi tipi di trasporti

## CABLE vs SELF PROPELLED



# Diversi sistemi di APM con trazione a fune

Negli impianti con trazione a fune esistono numerose modalità operative.

Le principali, considerando il sistema di trazione e la disposizione delle vie di corsa, possono essere ricondotte, in prima approssimazione alle seguenti:

- Sistemi a navetta (o a va e vieni)
- Sistemi multistazione (ammorsamento automatico)
- Sistemi semi continui MiniMetro®

# Sistemi a navetta o a va e vieni

Sono i più semplici e tradizionali: un veicolo, o treno di veicoli fino a 450 p, è stabilmente agganciato alla fune e fa la spola tra due (o più) stazioni, grazie al moto a va e vieni della fune.

Per aumentare la potenzialità si possono utilizzare due veicoli, ciascuno agganciato ad un ramo di fune traente con scambio in mezzzeria, dove si incrociano i due veicoli.

Il sistema si può evolvere predisponendo per ciascun veicolo un proprio anello di fune, il che consente di collocare lo scambio in qualsiasi posizione.

**Sistemi idonei a medio - brevi distanze e con un limitato numero di stazioni intermedie.**

# Schemi a navetta o a va e vieni e vie di corsa corrispondenti



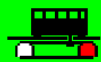
One cabin, one loop cable, engine at the top



One cabin, one loop cable, engine at the bottom



Modern Funicular: same as classical Funicular but with a cable for the tension



Cable car / APM (Automated People Mover)



Two cabin, two loop cable, engine at the bottom



Single track



Two parallel tracks



One track with a siding (2-4-2)



One track with a siding (2-4-2)



Two parallel tracks

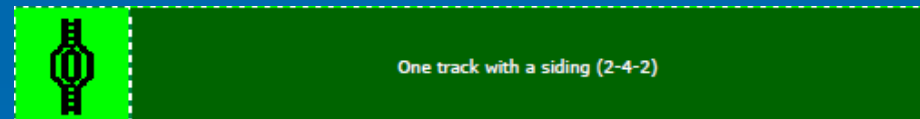
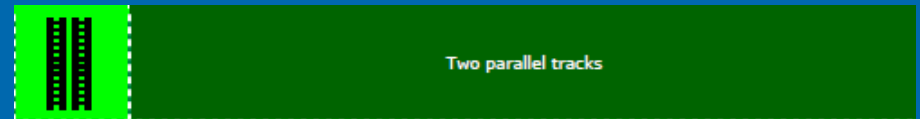
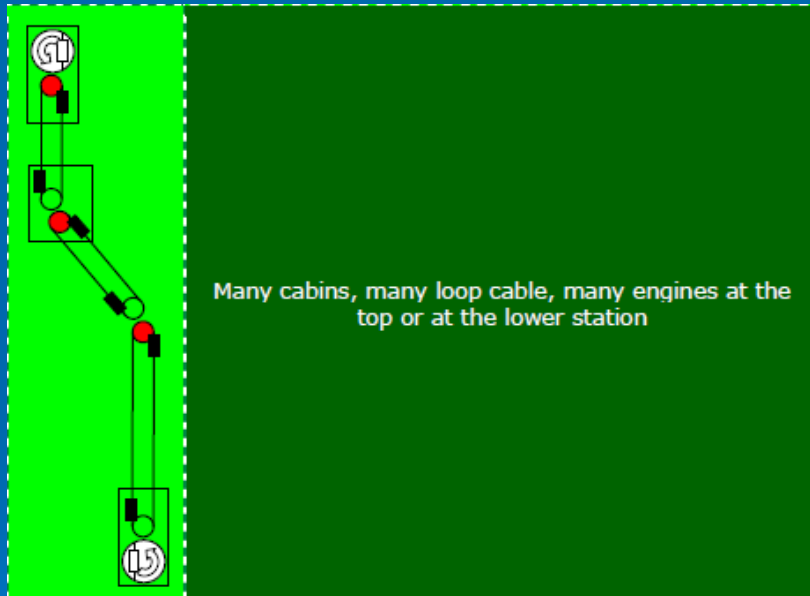
# Sistemi multistazione

Multiveicolo ad ammortamento automatico con moto circolare  
Sono impianti complessi, i veicoli sono anche diverse decine ma di minore dimensione rispetto ai va e vieni (50 p) e non sono stabilmente collegati alla fune di trazione ma se ne ammortano e disammortano in coincidenza di una stazione.

Ogni tratta fra stazioni adiacenti è servita da un proprio anello di fune che provvede alle accelerazioni e decelerazioni, la velocità è funzione del sincronismo necessario per gli arrivi simultanei dei veicoli.

Sistemi idonei a forti portate orarie, lunghe distanze e con un importante numero di stazioni intermedie.

# Schemi multistazione e vie di corsa corrispondenti



# Sistemi semi – continui

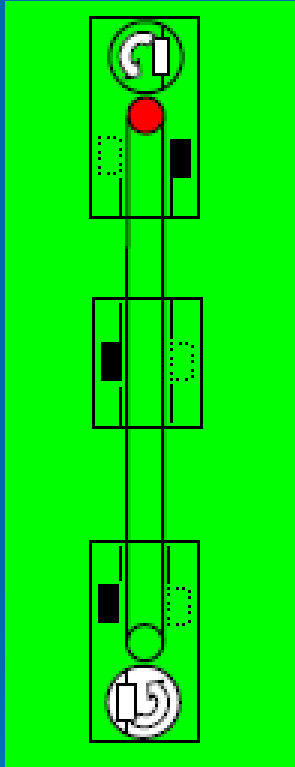
Sono impianti al massimo livello per complessità e prestazioni i veicoli sono sempre molti, normalmente intorno a 50 p e, come per i sistemi precedenti, non sono stabilmente collegati alla fune di trazione.

Diversamente però dal sistema precedente, l'anello di fune è unico e in continuo movimento; i veicoli approcciando alle stazioni si disammorsano in velocità, vengono decelerati mediante ruote pneumatiche, si arrestano per le operazioni di carico/scarico, vengono riaccelerati alla velocità di sincronismo con la fune e a questa si ammorsano per il prosieguo della corsa.

Le frequenze di passaggio sono inferiori al minuto mentre in periodi di bassa il numero dei veicoli può essere ridotto

**Sistema idoneo a forti richieste di traffico, > 3000 p/h, e con molte stazioni intermedie.**

# Schema impianto semi – continuo Minimetro<sup>®</sup>



Variable number of cabins, one loop cable, one engine  
at the top or at the lower station



# Esempio di sistema semi-continuo

## CONTINUOUS MOVEMENT SYSTEM

- References:
- 27 cabins



Perugia, Italy

# Varie immagini di diverse tipologie di APM con trazione a fune

Nelle pagine seguenti varie immagini e caratteristiche di APM di diverse tipologie, con trazione a fune

# Mini metro Perugia dati tecnici

## MiniMetro® PERUGIA, IT

Sistema ad ammortamento automatico

### DATI TECNICI

Lunghezza orizzontale	3020	m
Dislivello	160	m
Portata oraria	3065	p.p.h.p.d
Anelli di fune	1	
Stazioni intermedie	5	
Stazioni terminali	2	
Velocità nominale	7	m/s
Velocità commerciale	14,5	km/h
Numero di veicoli	25	+ 2 di riserva
Capacità veicolo	50	passengeri
Massa veicolo vuoto	3400	kg
Massa veicolo carico	6800	kg
Intervallo tra veicoli	58	s
Potenza assorbita dall'argano	1110	KW
Potenza assorbita in stazione	75	KW
Progetto architettonico arch. Jean Nouvel		

# People mover Tronchetto – dati tecnici

- Gestore: ASM Azienda Servizio Mobilità, Venezia
- Costruttore: Doppelmayr Italia
- Lunghezza linea: 830 m
- Portata: 3,000 p/h
- Veicoli: 2 treni
- Velocità: 8 m/s (= 28.8 km/h)



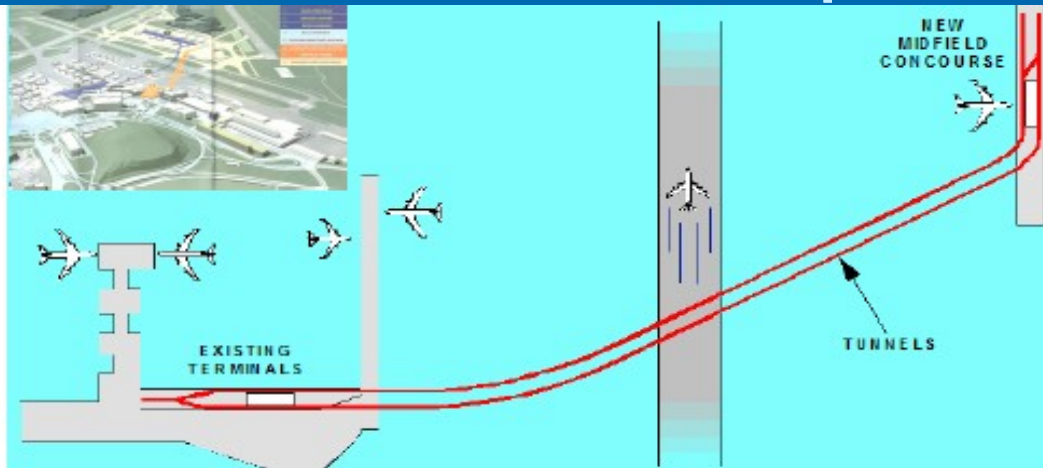
# People mover San Raffaele - Milano

## PEOPLE MOVER CASCINA GOBBA – OSPEDALE SAN RAFFAELE MILANO



Lunghezza:	646 m
Dislivello:	11 m
Portata:	1450 p/h
Vetture:	3
Stazioni:	2

# APM aeroporto Zurigo



## ZURICH AIRPORT (SUI)

Lunghezza: 1,138 m

Capacità: 4,500 p/h  
ampliamento previsto  
a 6,750 p/h

Tecnologia: levitazione su cuscini  
d'aria

Treno costituito da 2 veicoli  
di capacità 84pass/veicolo

Tempo di interconnessione  
tra i terminal: 2 minuti





# APM Oeiras - Portogallo



## OEIRAS PORTUGAL

Fase 1:  
Da Navigantes a Tapada

Lunghezza:	1150 m
Portata:	1170 p/h
Vetture:	2
Stazioni:	3

# APM Oeiras - Portugallo





# Funicolare del Montjuic - Barcellona



**BARCELONA (ES)  
MONTJUIC**

Lunghezza: 720 m

Capacità: 8,000 p/h



**SK, Villepinte (France)**

**POMA 2000, Laon (France)**

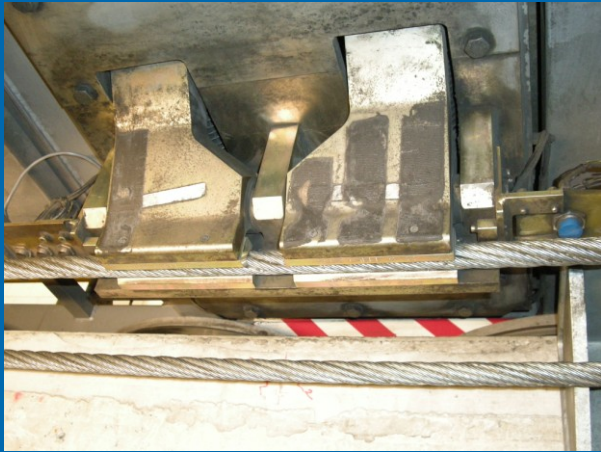


**OTIS, Tampa (USA)**



# SKYMETRO, Zurich (CH)

Poma Otis







## APM, Venezia Tronchetto - Piazzale Roma (Italy)

Doppelmayr







## Esempi di postazione di controllo

# Variabili tecnologiche dei principali sistemi con trazione a fune

- Sostentamento veicolo e tipologia via di corsa
- Sistemi di collegamento con la fune
- Tipo di scambi
- Tipologia veicoli, singoli o treno

# Sostentamento veicolo e vie di corsa

- Rotaie e ruote in acciaio di derivazione ferroviaria
- Travi metalliche e ruote pneumatiche
- Travi in cemento e cuscino d'aria

# Esempio sustentazione con ruote metalliche

## STEEL WHEEL

Passenger cabins rest on Steel wheels guided on Railway rails.



Minneapolis,  
(USA) St Paul  
airport tram



Oeiras,  
(Portugal),  
SATU

HTI GROUP





# Esempio sustentazione con ruote pneumatiche

## RUBBER TYRES

Passenger cabins rest on wheels with tyres



Perugia,  
(Italy)



Laon,  
France

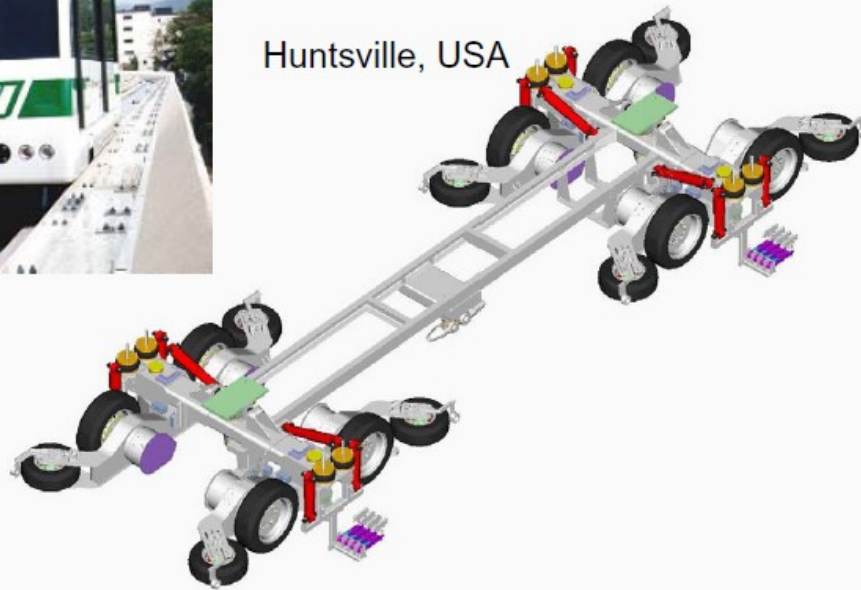


# Esempio sustentazione con ruote pneumatiche

## RUBBER TYRES



Huntsville, USA





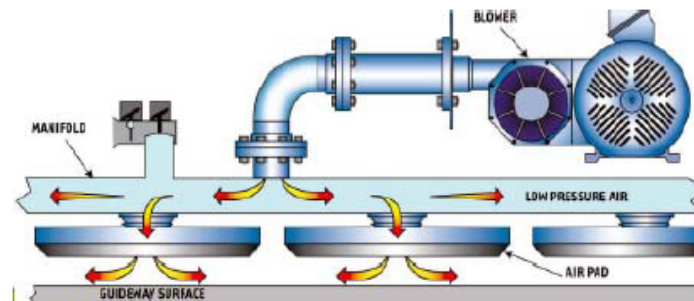
# Esempio sustentazione con cuscino d'aria

## AIR LEVITATION



Cairo, Egypt

The **air cushion system** is a type of Hovertrain that replaces conventional steel wheels with **hovercraft lift pads**. The concept aims to eliminate rolling resistance and allow very high performance, while also simplifying the infrastructure needed to lay new lines.



Air cushion principle

# Collegamento con la fune

- Teste fuse
- Morse fisse
- Morse automatiche
- Tamburelli

# Fissaggio alla fune Tamburello e testa fusa

## FIXATION TRAIN TO ROPE

- Fixed link



Drum



Socket

# Fissaggio alla fune

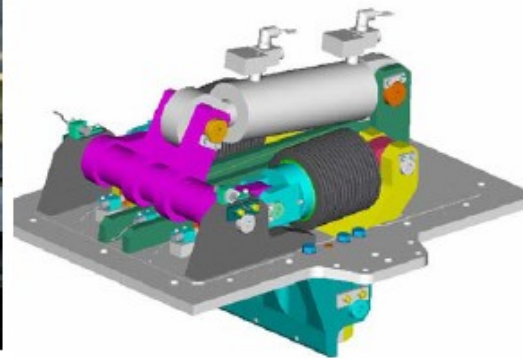
## Morsa fissa

### FIXATION TRAIN TO ROPE

- Detachable grips



For heavy cars (Zurich)





# Fissaggio alla fune

## Morsa automatica disaccoppiabile

### FIXATION TRAIN TO ROPE

- Fixed grips



For light cars (Minimetro)

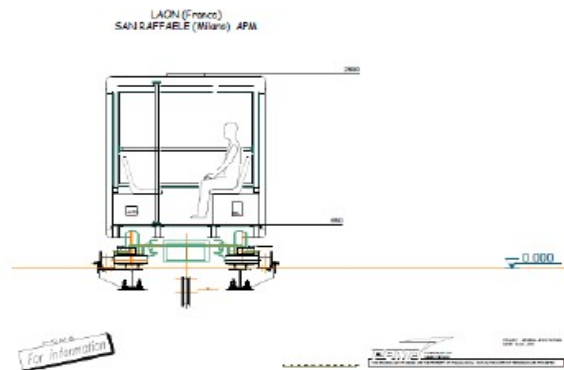


# Via di corsa in struttura metallica con ruote pneumatiche

## APM GUIDEWAY

Laon APM (Rubber tyre technology):

- Guideway structure: Metallic viaduct
- Running equipment: H beams



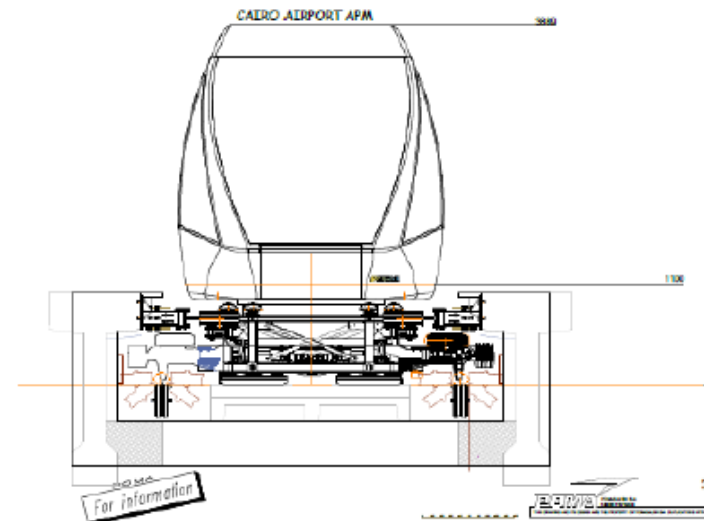
Milano APM (Rubber tyre technology):

- Guideway structure: Concrete viaduct
- Running equipment: H beams



Via di corsa in calcestruzzo, con cuscino d'aria

# APM GUIDEWAY

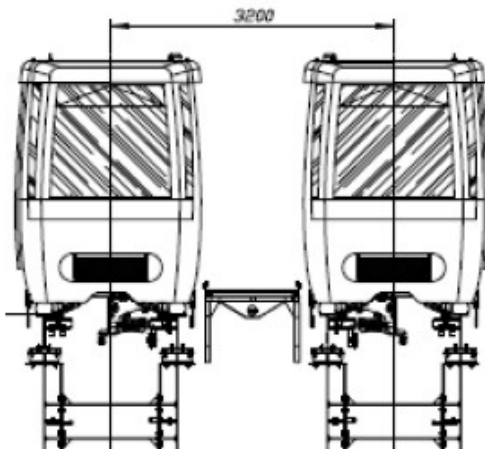


CAIRO APM (Air levitation technology):

- Guideway structure: Concrete viaduct
- Running equipment: concrete Flying surface

# Via di corsa in struttura metallica con ruote pneumatiche

## APM GUIDEWAY



Perugia APM (Rubber tyres technology):

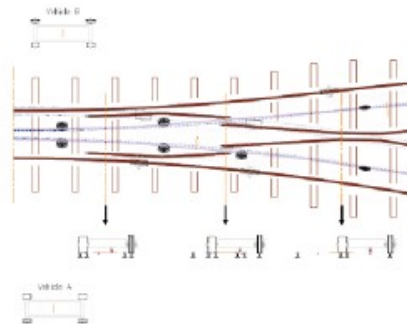
- Guideway structure: Metallic viaduct/Surface/Tunnel
- Running equipment: H beams



# Scambio di tipo fisso per rotaie di funicolari

## APM GUIDEWAY SWITCHES

Fixed bypass for vehicles on steel wheels



Funicular switch

# Scambio di tipo fisso per rotaie di funicolari

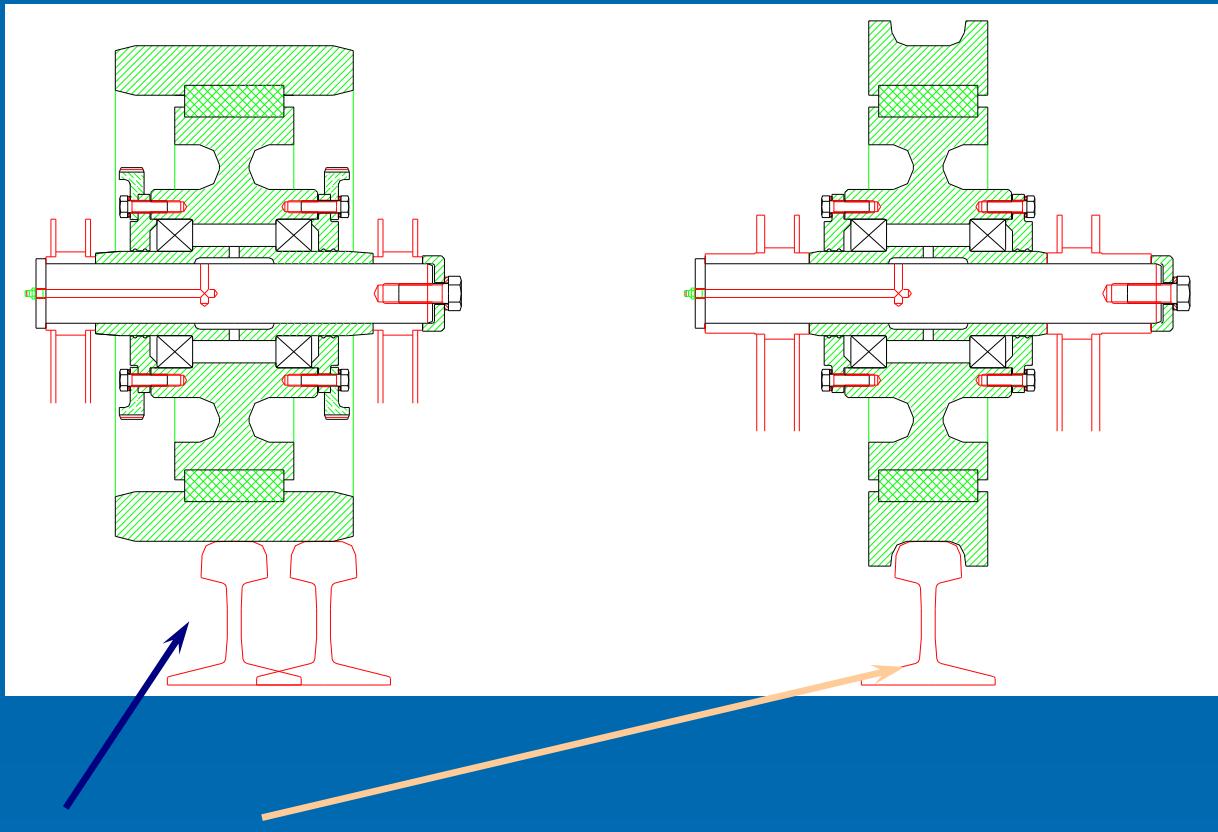


Figure 2. Switch without mobile parts (Levi, 2004):

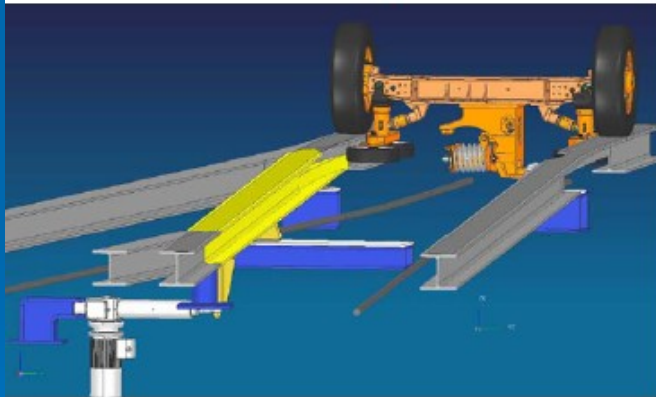
the *external wheel*, with double wheel flange, acts as a guide, while the *internal wheel* is flat and wide and, putting two rails beside, it can go beyond the discontinuities.



# Scambio attivo per vie di corsa metalliche e ruote pneumatiche

## APM GUIDEWAY SWITCHES

Active bypass for vehicles on rubber wheels



•Frankfurt (Leitner)

•Venice (DCC)



# Scambio attivo per vie di corsa su rotaie e ruote metalliche e ruote metalliche

## APM GUIDEWAY SWITCHES

Active bypass for vehicles on steel wheels



Oeiras



Minneapolis  
Green

# Tipi di veicoli

## Car Configuration



M1Car  
(Perugia)



W2 car (Oeiras, Minneapolis Green)



W3 car (Zurich, Minneapolis Garage)



W4 car (Detroit)



# Tipi di veicoli

## Train Configuration

- Grasse: Two N1 car Train
- The APM will operate with 2 « Two N1 cars » trains



Minneapolis Green: Two W2 cars Train

The APM is operating with 2 « Two W2 cars » W3 cars trains



# Tipi di veicoli



Mandalay Bay Tram, Las Vegas, USA  
The APM is operating with 2 five W1cars trains



Tronchetto - Piazzale Roma Shuttle, Venice, Italy  
The APM is operating with 2 four W1cars trains

# Recupero passeggeri

In accordo con lo standard EN 12929-1 “General requirements” e EN1909 “Recovery and evacuation”:

In caso di arresto prolungato del sistema deve essere possibile un’evacuazione sicura dei passeggeri.

Questo può essere risolto con una passerella di evacuazione lungo tutta la via di corsa analogamente a quanto si fa nelle funicolari, prevedendo, se necessario l’intervento, in tempi rapidi, di personale in ausilio dei passeggeri

# Recupero passeggeri

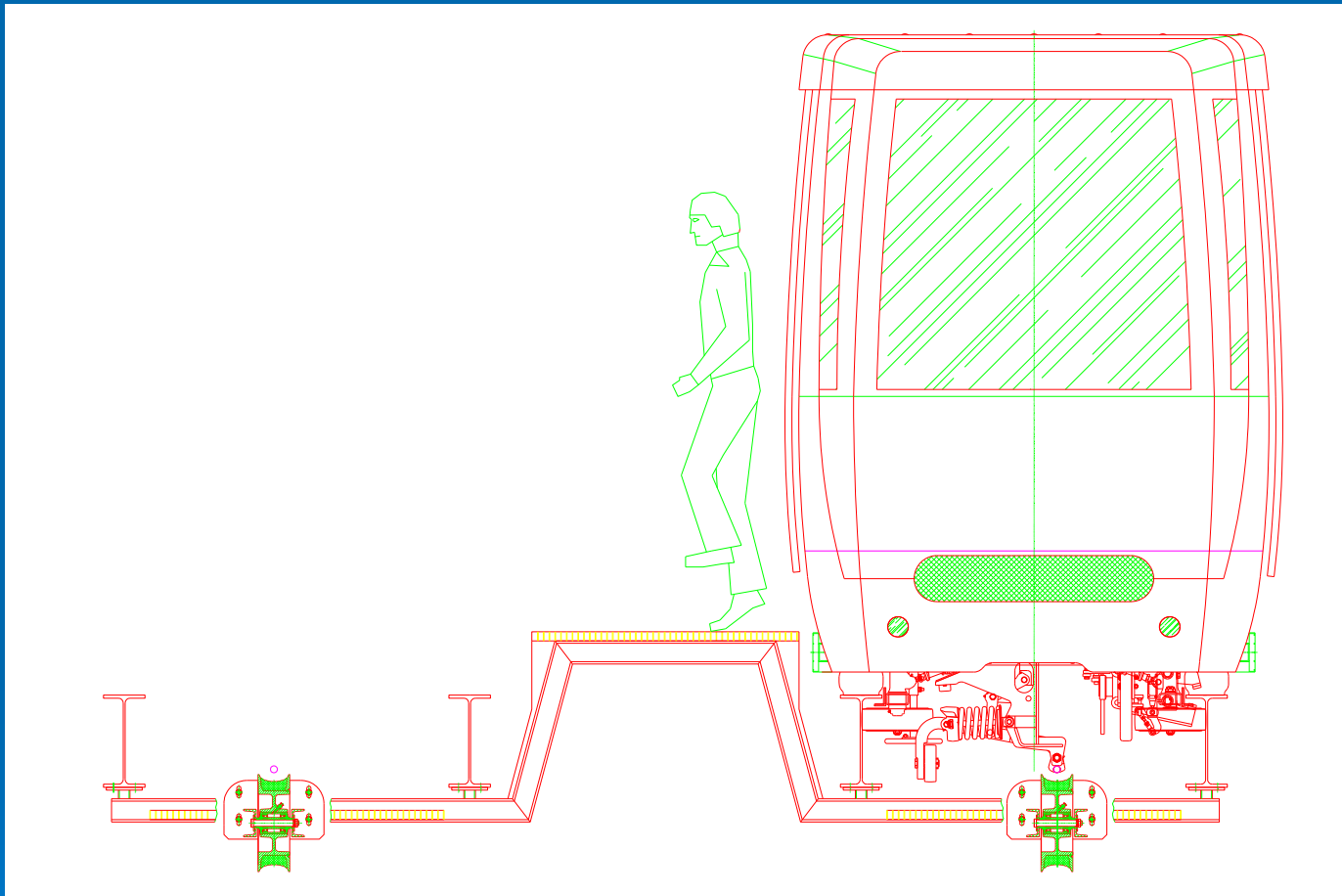


Figure 3. *Example of emergency pavement of an evacuation way along the runway;*

*for the quotes, the reference is made to the EN 12929-1 technical standard.*

# Stazioni - Stations

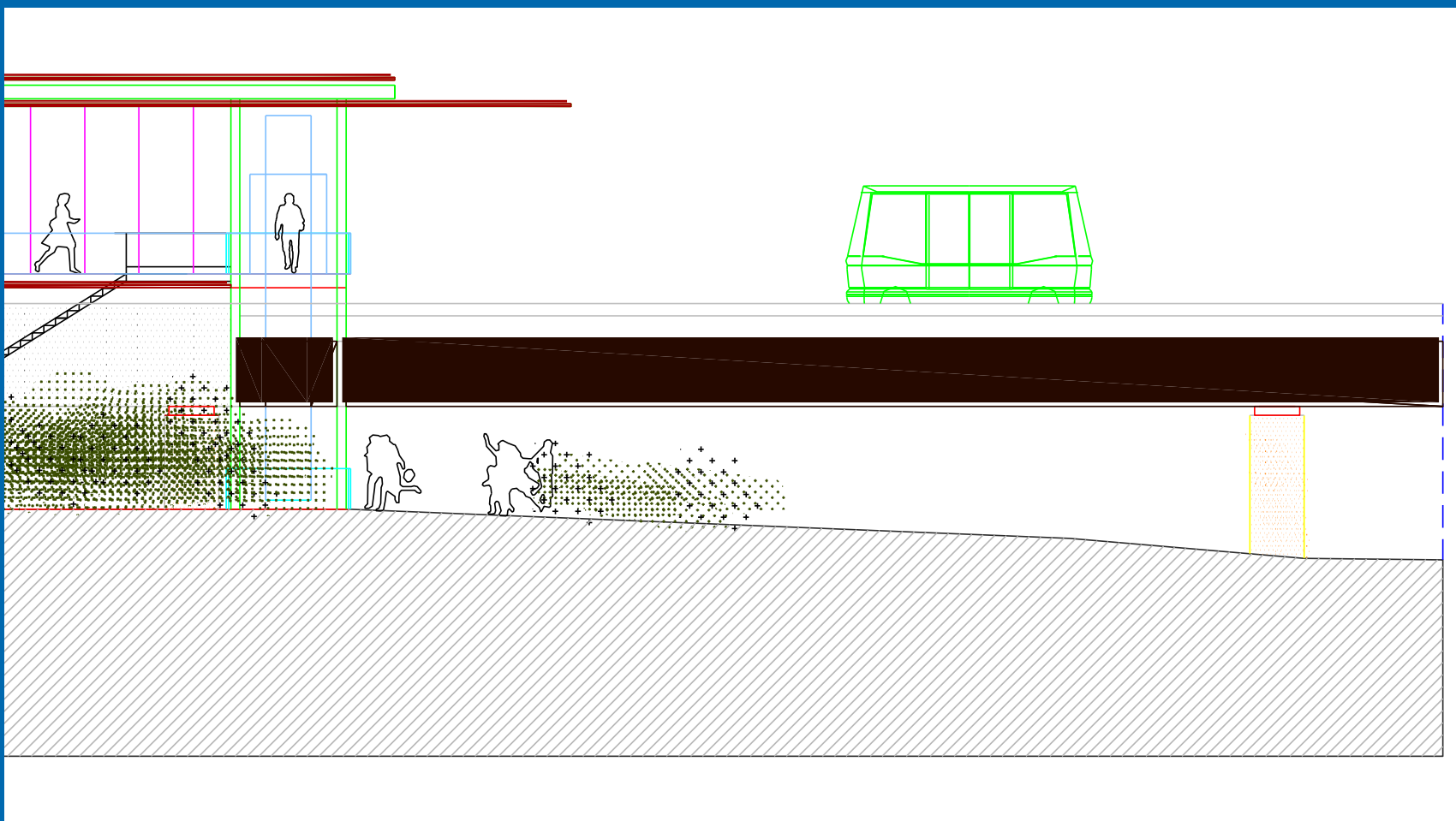
Le stazioni dei sistemi di trasporto non convenzionali ad elevata automatizzazione possono essere non presenziate, in modo permanente o temporaneamente (in alcune ore del giorno o in alcuni giorni della settimana). Nel caso di stazioni non presenziate in modo permanente sono richiesti particolari accorgimenti per garantire la sicurezza del sistema.



# Stazioni - Stations

La norma UNI 10218 fornisce i criteri generali da seguire per la progettazione di tali stazioni. E' richiesto, dalla norma, un sistema di sorveglianza collegato al centro di controllo, costituito da un impianto televisivo a circuito chiuso. E' richiesto un impianto di diffusione sonora in ogni locale nel quale sia prevista la presenza di persone. Va inoltre realizzato un impianto citofonico bidirezionale accessibile da parte del pubblico per permettere la comunicazione con il centro di controllo.

Durante lo svolgimento del servizio bisogna prevedere personale itinerante con funzioni di controllo e pronto intervento, in una quantità adeguata al numero di stazioni e dell'entità di traffico passeggeri stimato.



*Example of final part of station and way of an Automated People Mover installation (APM) deriving from the rope transport systems*

*[source: Levi F. (2004), "Trasporto urbano a fune", in Innovazione nei Trasporti – Sistemi a guida vincolata e servizi a chiamata per il trasporto a breve e media distanza, Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, LVIII 1-2]*



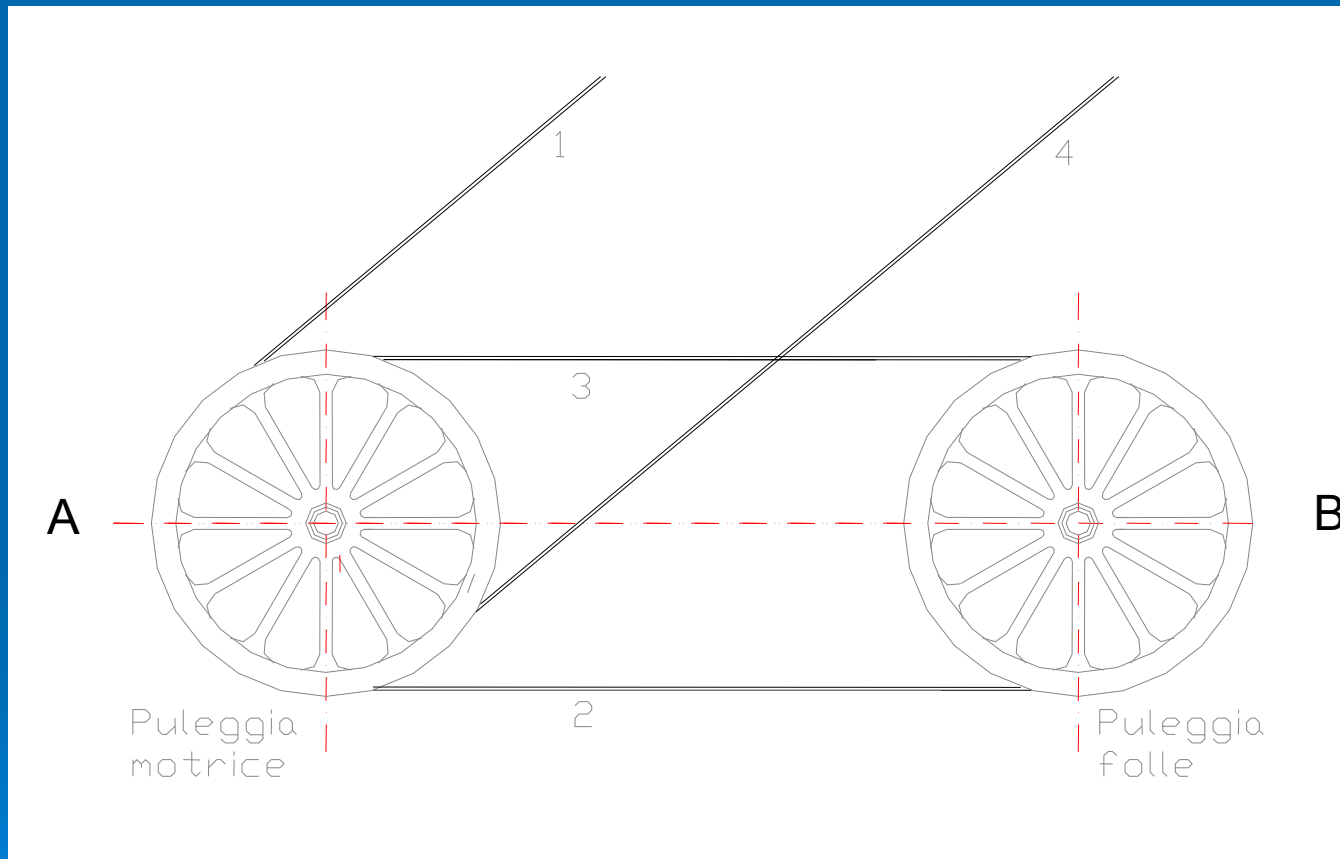
*Porte di stazione – Impianto sperimentale*

# Rulli di supporto fune – Rope supporting rollers



*Vertical rollers and anti-derailment system along the line.*

# Esempio di schema puleggia motrice (driving sheave)





# Conclusioni

- I sistemi di trasporto a fune in generale e gli APM in particolare, si collocano fra i sistemi tradizionali quali i bus e i tram e i sistemi metropolitani.
- La gamma di portate orarie è fra 1000 e 8000 p/h mentre le lunghezze ottimali si collocano fra 1 e 10 km.
- Sono sistemi flessibili, di facile inserimento ambientale e particolarmente performanti da un punto di vista energetico.
- Sono affidabili e sicuri pur con un costo di investimento inferiore ai sistemi tradizionali
- La normativa tecnica attualmente in vigore è quella comunitaria per i sistemi a fune e le metropolitane, ma sono in corso studi per la redazione di *“Linee guida per la progettazione dei sistemi di trasporto persone ad automazione intergale con trazione a fune”* specifica per gli APM.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE