

Funi e trasporto urbano: storia, attualità e prospettive future

(Dott. Ing. Andrea MAROCCHI)

L'uso della trazione a fune per il trasporto urbano nasce nel 1800 ed ottiene subito un successo notevole, specialmente in Nord America, ma di relativamente breve durata, per via dello sviluppo tecnologico dei motori di trazione e di altri fattori socio-economici; per molti anni la fune fa apparizioni sporadiche nel trasporto urbano fino ad entrare più nel campo d'interesse degli storici dei trasporti che in quello dei pianificatori ed urbanisti.

La primaria attenzione ai problemi dei grandi centri urbani ed ai flussi di traffico più importanti al loro interno ha focalizzato l'attenzione sui sistemi classici - tramvie, autobus e ferrovie metropolitane - ed ha lasciato al trasporto su strada, più spesso a quello privato su gomma, il servizio di aree marginali e di quelle rese meno accessibili da accentuati dislivelli.

Anche su aree più ampie, il concetto di trasporto multimodale con attenzione al mezzo pubblico ha avuto per decenni ben poco seguito, in periodi di basso costo dei combustibili fossili e di poca sensibilità alle emissioni, all'effetto serra ed al risparmio energetico.

La proposta dell'uso della fune come alternativa al traffico stradale, in ambito urbano e nel sistema di collegamento tra comuni e le loro frazioni, fu certamente portata avanti da diversi studiosi dei trasporti, ma non fu capace di trasferirsi sul piano pratico quanto ci si sarebbe aspettato dall'orografia e dalla situazione urbanistica italiana, in uno dei Paesi che meglio avrebbe potuto sfruttare questa possibilità tecnologica.

Vorrei ricordare un mio scritto pubblicato negli Atti del 13° *Convegno sui problemi della montagna* di Torino, anno 1976, in cui proponevo, tra le altre cose, l'uso della fune come mezzo di trasporto multimodale; erano i tempi della scoperta delle Comunità Montane come strumento di gestione dei territori; è visibile quanto l'Italia sia un territorio fortemente collinare e montano, dove spesso tra costa e quota mille c'è qualche chilometro in linea d'aria; buona parte della popolazione convive ogni giorno con forti dislivelli: il risalire di pendii fa parte della necessità d'ogni giorno di molti Italiani.

Negli ultimi anni la fune applicata al trasporto urbano sta vivendo una nuova giovinezza e si moltiplicano gli esempi di impianti a fune un tempo solo montani installati in città e di nuove tipologie, concettualmente derivate spesso da funicolari e cabinovie.

Le città con salite e discese non sono però una nostra esclusiva; bisogna attraversare l'Atlantico e poi tutto il Nord America per trovare un sistema di trasporto a fune veramente ingegnoso: il *cable car* di S. Francisco.

Andrew Smith HALLIDIE (fig. 1), immigrato dalla Scozia, prese l'idea del tramway a fune da Benjamin H. BROOKS, il

quale non aveva potuto realizzarla per mancanza di capitali; mentre HALLIDIE, primo a fabbricare cavi in USA e fornitore di numerose iniziative, minerarie e forestali, che usavano funi d'acciaio - per cui deteneva brevetti - ebbe la possibilità di proporre alla municipalità il suo sistema; questo sfruttava anche un suo precedente brevetto e la sua esperienza nel realizzare sistemi di fune impalmati ad anello, quindi adatti alla trazione di veicoli con moto continuo in senso costante, cosa non realizzabile con i sistemi a tamburo, che permettono generalmente solo il movimento a va e vieni.



Fig. 1 - Andrew Smith HALLIDIE, immigrato dalla Scozia, prese l'idea del tramway a fune da Benjamin H. BROOKS, che non aveva potuto realizzarla per mancanza di capitali.

L'idea di HALLIDIE, spinto dai frequenti incidenti che accadevano ai

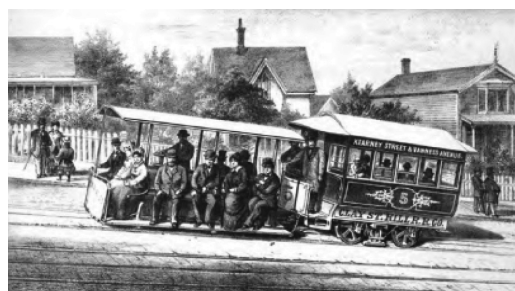


Fig. 2 - Il 1° settembre del 1873 il primo tratto del nuovo sistema a cavo entrò in funzione su un tratto di Clay Street, mettendo in pratica l'idea di HALLIDIE.

tram a cavalli a causa della pendenza, era di risolvere il problema con la trazione a fune.

La linea ed il progetto della morsa di collegamento alla fune furono affidati a William E. EPPELSHEIMER, emigrato dalla Germania, dopo gli studi d'ingegneria.

Il 1° settembre del 1873 il primo tratto del nuovo sistema a cavo entrò in funzione su un tratto di Clay Street (fig. 2).

Ogni veicolo era dotato di una pinza, operata a mano da un addetto, che si serrava su un cavo, sempre in movimento, quando doveva partire e s'apriva per permettere l'arresto del veicolo alle fermate, realizzate mediante frenatura meccanica sulle ruote.

La linea poteva trainare più veicoli, che correvano completamente indipendenti l'uno dall'altro; il sistema presto s'estese a tutta la città e funziona ancora oggi in normale esercizio al pubblico, per i residenti e per turisti di tutto il mondo.

Il concetto di HALLIDIE prevede una centrale, che ospita motori e pulegge motrici del diametro di circa 2,4 m, dalla quale partono gli anelli di fune traente alla quale s'ammorsano i veicoli; originariamente i motori erano a vapore, mentre ora la trazione è elettrica.

Le funi traenti corrono sottoterra in una apposita fossa, in modo da non creare interferenza tra il tram a fune e gli altri veicoli, e sono supportate da rulli del diametro di 279 mm ogni 12 m circa; l'impianto aveva un freno sulla via di corsa, oltre ai freni sulla motrice, ed un dispositivo anti-ritorno.

Le vetture erano progettate per 16 passeggeri, nel caso di collegamento con pinza alla fune, e per 14 persone per il veicolo rimorchiato; in caso d'affollamento s'arrivava tuttavia a stipare 26 passeggeri sulla vettura di trazione e 24 su quella rimorchiata (fig. 3).

Il sistema di morsa, comandata dal conducente, permette tutt'ora l'arresto ai semafori ed in generale il

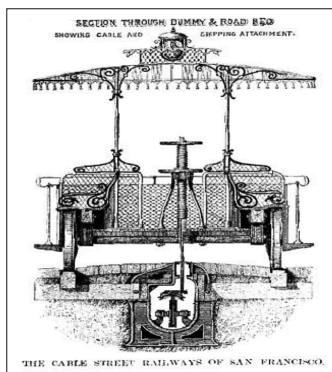


Fig. 3 – La linea ed il progetto della morsa di collegamento alla fune furono affidati a William E. EPPELSHEIMER, emigrato dalla Germania, dopo aver terminato gli studi d'ingegneria nel suo paese d'origine.

rispetto delle esigenze del traffico urbano.

La fune che corre a terra come pure il sistema d'ammorsamento portano ad usure ed a sostituzioni frequenti della fune, ma questo non costituiva un problema, almeno per HALLIDIE, che vendeva le funi.

Al giorno d'oggi un sistema d'accelerazione moderno, il veicolo sospeso ed una fune di trazione posta in alto, anziché nell'umido d'una fossa o nello spazio tra due rotaie, permetterebbero certamente di risolvere anche questo problema.

Il servizio durava 17,5 ore al giorno, si svolgeva alla velocità di 2,6 m/s, poco meno di 10 chilometri all'ora, ed il biglietto costava ben 5 centesimi di dollaro; oggi si pagano 5 dollari per corsa, prezzo giustificato dal fatto d'essere diventato più un'attrazione turistica che un mezzo di trasporto urbano.

In realtà il *Cable Car* di S. Francisco fu preceduto dalla *London and Blackwall Railway*, lunga 3 miglia e mezza (circa 5 km e 600 m), del 1840, che però aveva cavi in fibra, non in acciaio, con collari per la presa delle pinze; causa l'usura delle funi ed altri problemi tecnici, la linea venne trasformata con veicoli mossi da motori a vapore nel 1848.

Il sistema britannico aveva due stazioni motrici: il cavo veniva avvolto su un tamburo motore e rilasciato dall'altro, marciando in un senso e viceversa in quello opposto; in ogni stazione c'erano 8 motori marini a vapore, quattro in uso e quattro di scorta, con 75 hp in quella di Blackwell e 110 hp in quella di Minories, per via della pendenza sfavorevole del tracciato.

Le vetture partivano in gruppo e l'ultima veniva lasciata alla sua stazione di destinazione lungo la linea, aprendo la pinza di collegamento alla fune; al ritorno, le vetture venivano collegate alla fune e partivano tutte assieme ricongiungendosi alla stazione terminale.

Si tratta quasi dello stesso principio di un nuovo treno cinese, di recente presentato come idea innovativa, perché, transitando alla fermata, lascia la carrozza in stazione lungo la linea e prosegue senza fermarsi fino a quella terminale.

Nel 1868 fu inaugurata la *West Side and Yonkers Patent Railway*, che fu trasformata in ferrovia a vapore nel 1870; in questo caso c'erano anelli di fune metallica da 1,6 miglia (2,57 km) mossi sempre da motori a vapore, ed i veicoli passavano da un anello all'altro, con un macchinoso sistema a sollevamento: anche in questo caso, i problemi della morsa portarono all'abbandono del cavo come mezzo di trazione.

Il principio degli anelli successivi è stato ripreso anni fa dal cosiddetto impianto ettometrico della ditta Poma, oggi come un tempo denominata Agudio, ed attualmente oggi dal *people mover* di Oakland della ditta Doppelmayr.

Quindi è giusto considerare il sistema di S. Francisco, che funziona ancor oggi, come il primo trasporto urbano con trazione a fune dotato di tecnologia efficace.

Seguirono molte altre linee, in Nuova Zelanda nel 1881, a Chicago nel 1882 - dove il veicolo con la pinza trainava, per aumentare la portata, 3 rimorchi - e nel 1883 l'interessante sistema della *New York Brooklyn Bridge*

Railway, con l'originale motore per i piccoli spostamenti di stazione e la trazione a fune per quelli lungo la linea; questo concetto potrebbe essere ripreso per eliminare travi di lancio nei sistemi ad ammortamento automatico e dei difficili collegamenti tra gli anelli in quelli ettometrici, visto che la presenza di dispositivi d'accelerazione e decelerazione fissi in ogni stazione è uno dei motivi che hanno talvolta frenato l'uso della fune nel trasporto urbano: sono a conoscenza di qualche studio fatto in tal senso.

Nel 1884 fu realizzata la *Archway-Highgate*, a nord di Londra, notevole per la pendenza massima del 90%, irraggiungibile con veicoli ferroviari ad aderenza naturale, cioè anche con i normali tram su rotaia: oggi la linea 28 di Lisbona, con macchine a trazione integrale, raggiunge il record del 140%; in Austria, a Linz, la pendenza della Postingerbahn è dell'116%.

Il più esteso sistema di trasporto urbano con trazione a fune è stato quello di Melbourne che, al suo massimo sviluppo, ebbe 592 vetture e 74 km di linea; negli anni contiamo almeno 55 sistemi a cavo usati in trasporto urbano.

Il trasporto con trazione a fune aveva il pregio di relegare i pesanti motori dell'epoca in una apposita "sala macchine" e di avere veicoli di linea leggeri; al risparmio energetico dovuto alla razionalità della centrale e del modo di trazione, s'aggiunge, in molti casi, il positivo recupero d'energia, dovuto al fatto che alcuni veicoli salgono ed altri scendono, svolgendo il ruolo di contrappeso.

In seguito, con l'evoluzione tecnologica, i motori elettrici ed ancor più quelli diesel divennero in grado di fornire potenze molto elevate a fronte di pesi ed ingombri modesti e di richiedere uno spazio limitato per lo stoccaggio del combustibile, gasolio in luogo di carbone, che viene portato al motore automaticamente e non da un fuochista con la sua pala.

L'altro problema è la velocità: i veicoli di San Francisco viaggiavano a poco meno di 10 km/ora, ed, essen-

do vincolati al traffico, avevano una velocità commerciale molto bassa ed erano molto meno agili d'un autobus; il costo dell'impianto fisso è elevato, mentre l'autobus è flessibile ed usa le strade esistenti: tanti buoni motivi per abbandonare la trazione a fune e passare al traffico su gomma.

Le cose cambiano però con il tempo ed anche questo è mutato: non basta più qualche dollaro per un barile di petrolio e l'emissione di gas di scarico non è più un segno di sviluppo ma di mancato rispetto ambientale.

Nel frattempo le funicolari viaggiano a 40 km/h e più ed una normale cabinovia supera comunque i 20, oltre il doppio del sistema di HALLIDIE: la trazione a fune torna d'attualità.

I vantaggi sono quelli di sempre:

- sala macchine centralizzata con possibilità di trazione elettrica, senza portarsi il motore a bordo;
- limitato peso del veicolo;
- bassa inerzia al moto della fune;
- elevata sicurezza d'esercizio;
- ridotta necessità di personale addetto;
- funzionamento non dipendente dall'aderenza tra veicolo e via di corsa;
- sicurezza intrinseca contro la collisione tra veicoli in linea.

Gli svantaggi sono invece limitati: per il congestionato traffico cittadino, qualsiasi sia il mezzo scelto, è praticamente necessaria una sede propria per garantire tempi e portate; la velocità commerciale di un sistema a fune supera quella degli autobus, anche se il piano del traffico ha previsto corsie preferenziali.

Nel trasporto urbano torna la fune! I sistemi impiegati sono tanti, in modo d'adattarsi alle numerose esigenze locali. Vediamo qualche esempio per approfondire il discorso.

Le funicolari terrestri e gli ascensori inclinati

Quando c'è forte dislivello, l'aderenza tra ruota e rotaia non permette

di superarlo con linee ripide, quindi si ricorre a rampe a spirale, come quella famosa della linea del S. Gotardo, che forzatamente percorrono un cammino molto più lungo di quello di massima pendenza e spesso richiedono costose opere d'arte, come gallerie e viadotti.

Il 35‰ è un limite normalmente accettato, anche se numerosi esempi, come la Ferrovia Retica del Bernina, superano pendenze doppie ed il record tramviario è del 14%: pendenza ragguardevole, ma sempre contenuta quando si parla di colline.

Una funicolare moderna, con vetture multiple da 300 e più persone per treno, può viaggiare oltre i 40 km/h e può invece superare pendenze superiori al 100%.

La funicolare classica è l'impianto a "va e vieni", con due vetture o treni di vetture, collegati alle parti opposte della fune traente; quando una vettura sale, l'altra scende a valle e, nella corsa successiva, il senso di rotazione dell'anello di fune s'inverte così le vetture si scambiano le parti.

In alternativa, si trova lo schema con una sola vettura e con la fune traente che s'avvolge su un tamburo, anziché essere chiusa ad anello.

Al giorno d'oggi è possibile, in molti paesi, avere funicolari automatiche sorvegliate da un solo addetto.

Le funicolari moderne, come ad esempio quella d'Innsbruck, superano tratti di linea concava e convessa e percorrono curve a destra ed a sinistra; la cabina è montata su una guida cilindrica o controllata da attuatori che le permettono di avere il pavimento sempre orizzontale, anche quando la pendenza della linea cambia in modo consistente.

Il limite è la lunghezza della linea perché il moto a va e vieni permette portate orarie che, a pari velocità e numero di persone in cabina, decrescono con la lunghezza della linea stessa: linee oltre i 2-3 chilometri divengono critiche.

Il consumo energetico è variabile lungo il percorso, sia per le fasi d'accelerazione e decelerazione, sia per

la non costanza della livelletta, comunque è molto inferiore a quello d'una linea automobilistica che unisca gli stessi punti con la stessa portata, anche in buone condizioni di traffico.

L'ascensore inclinato è in pratica una funicolare leggera realizzata con componentistica ascensoristica e quindi anche con la chiamata a pulsante, come gli ascensori delle abitazioni.

L'ascensore inclinato di Flaine, in Francia, e quelli di San Sicario in Italia furono tra i primi esempi di questa tipologia con cabina di grandi dimensioni.

Un limite principale dell'ascensore inclinato è legato alla velocità massima di 2.5 o 4 m/s; la proposta Normativa Comunitaria, in elaborazione nel 2011, correla la velocità dell'impianto alla dimensione della cabina; quindi a 100 passeggeri corrisponde una velocità massima di 3.6 km/h, a 75 quella di 9 km/ora ed a 40 persone in cabina quella di 14,4 km/ora; non si tratta di velocità medie, ma di velocità massime, perché bisogna tener conto delle fasi d'accelerazione in partenza e di decelerazione all'arrivo ad ogni stazione, comprese quelle intermedie: la velocità media, specialmente se l'impianto è corto ed ha fermate intermedie, è decisamente più bassa.

Questo progetto di Norma (prEN81-22), limitando le velocità, limita in pratica la portata oraria dell'ascensore inclinato e la lunghezza della linea per la quale conviene far ricorso a questo sistema di trasporto: per coloro che si occupano di impianti funiviari la portata è sovente il numero di persone trasportate nell'unità di tempo, ma per gli esperti di ascensori è il numero di persone in una cabina, altrimenti identificata come capienza.

È in corso inoltre un dibattito sulla possibilità di utilizzare componenti di sicurezza certificati secondo la Direttiva Comunitaria degli ascensori anche quando non servano i differenti livelli d'edifici e costruzioni, come è negli scopi della Direttiva

95/16/EC (*on the approximation of the laws of the Member States relating to lifts*, giungo 1995).

Altro limite significativo è la difficoltà d'avere percorsi in curva o con grandi variazioni di pendenza.

Fatti salvi tali punti, dal punto di vista della programmazione del trasporto e da quello del decisore politico, non c'è differenza pratica tra funicolare ed ascensore inclinato, a parte il fatto che, per linee corte e senza richieste di portata elevatissima, l'ascensore inclinato ha costo di installazione ed esercizio decisamente minore di quello d'una funicolare.

L'ascensore è prodotto in milioni d'esemplari in tutto il mondo e ci sono decine di aziende specializzate nei componenti: questo significa bassi costi ed affidabilità garantita dalla grande diffusione del sistema.

Anche i pezzi di ricambio sono più economici e reperibili in tempi brevi e per molti anni, a differenza di quelli per funicolare, spesso costruiti volta per volta.

La manutenzione può essere affidata alle innumerevoli ditte di ascensori, ben diffuse sul territorio, senza richiedere l'intervento degli specialisti da centri d'assistenza spesso lontani, visto che sono presenti due o tre ditte principali al mondo in grado di fornire funicolari.

La sostanziale intercambiabilità dei due sistemi in una larga fascia di prestazioni mi ha spinto ad unire in un solo paragrafo alcuni esempi di questi impianti, non usati al servizio dello sci.

Pensiamo alle ben note funicolari di Napoli, o al famoso impianto che unisce la stazione ferroviaria di Lugano al centro della cittadina, un ottimo esempio di trasporto multimodale.

Un esempio particolarmente suggestivo è però la rinnovata *funicolare di Mondovì* (fig. 4), in Piemonte, con cabine da 80 persone disegnate dalla Italdesign dell'Ing. Giorgetto GIUGIARO; la linea attuale ha circa 540 m di lunghezza e 137 di dislivello; il macchinario è stato ospitato nei sotterra-

nei di un palazzo storico, risalente al XVII secolo, con un particolare studio per limitare rumori e vibrazioni dannose per quelle vecchie strutture.



Fig. 4 – La funicolare Doppelmayr Garaventa sulla storica linea di Mondovì.

La funicolare, nella sua prima versione ad acqua, fu inaugurata il 12 ottobre del 1886 e venne modificata a trazione elettrica nel 1926; l'impianto funzionò fino al 24 dicembre del 1975 poi fu chiuso, fino alla realizzazione dell'attuale moderna funicolare, inaugurata il 16 dicembre del 2006. Il collegamento a fune tra il quartiere Breo e la Piazza della città di Mondovì è usufruito da migliaia di persone e collega i due punti in meno di 2 minuti e mezzo, un quarto del tempo impiegato dall'autobus, con nessun inquinamento diretto e senza problemi con il traffico.

Un esempio classicamente urbano è invece l'*ascensore inclinato d'Osimo* (fig. 5), realizzato in un ambiente storico, con mura del III° secolo e contornato da costruzioni che vanno dal Medioevo al Rinascimento; l'ascensore attraversa un'antica discarica, dove venivano gettati i materiali di risulta delle demolizioni di tutte le epoche, quindi tutta la struttura di linea e di monte ha dovuto essere fondata su pali.

L'ascensore d'Osimo ha due cabine da 40 passeggeri con meccanismi completamente indipendenti per fornire la massima garanzia di servizio anche in caso di guasti o di manutenzioni programmate.

Alla partenza c'è un nodo pluri-modale con stazione d'autobus urbani ed interurbani ed un parcheggio multipiano, collegato - tramite un



Fig. 5 - La linea dell'ascensore inclinato di Osimo.

tunnel che attraversa la strada - alla sala partenze degli ascensori.

A monte s'arriva in una piazzetta che si collega al centro con una scala mobile, soluzione architettonica scelta per motivi paesaggistici; la linea, lunga poco meno di 100 m e con 45 m di dislivello, ha una portata complessiva di 1600 persone all'ora, velocità di 2.5 m/s e funziona in totale automatismo, con un controllo video decentrato alla cassa del parcheggio multipiano; in caso di mancanza d'energia elettrica, un generatore diesel automatico è in grado d'assicurare il servizio.

L'ascensore di Osimo ha trasportato milioni di persone senza problemi o inconvenienti ed ha contribuito ad alleggerire la pressione del traffico su gomma sulle strette strade del centro storico osimano.

Si è vista la cabina di funicolare di dell'Ing. Giorgetto GIUGIARO, ma anche i veicoli degli ascensori inclinati hanno interessato i più noti designer ed architetti, Sir Norman FOSTER, Renzo PIANO e PININFARINA, come nel caso di San Sicario, che unisce tre livelli della frazione con una cabina da 20 persone, mossa da macchinario ascensoristico su una linea in profilati d'acciaio supportata da pilastri di cemento armato.

Fatto interessante è il collegamento di San Sicario (fig. 6), frazio-

ne del Comune di Cesana Torinese collegata con il comune medesimo mediante una cabinovia ad otto posti, costruita in occasione delle Olimpiadi invernali Torino 2006, che è dotata di tutte le caratteristiche per il trasporto urbano, comprese quelle per il trasporto di persone diversamente abili; tutte le stazioni hanno i percorsi pedotattili, un dispositivo permette l'arresto della cabinetta prescelta al termine del pedotattile; la stazione intermedia è dotata d'ascensori, progettati per l'impiego di tutti i passeggeri che lo desiderino, diversamente abili inclusi.



Fig. 6 - L'ascensore inclinato di San Sicario, con cabina firmata da PININFARINA.

Questa caratteristica così come quella della possibilità d'usufruire di qualsiasi cabina di propria scelta - e non, come su precedenti impianti, di una o più cabine evidenziate da luci, colorazione e segnali acustici - ha segnato un passo importante per l'integrazione dei diversamente abili.

Cabinovie

La cabinovia è un sistema di trasporto, concepito per la montagna, che può essere ben utilizzato per il trasporto urbano; le cabinovie sono divise in due gruppi, quelle con fune traente a velocità ciclicamente variabile e treni di cabine ad ammortamento fisso, dette *pulsée*, o quelle, ormai più diffuse, con fune a velocità costante ed ammortamento automatico.

Il sistema più semplice è quello detto *a pulsée*, nato in Francia, che vede dei gruppi di cabinette collegati ad una stessa fune portante-traente, nel caso di impianto monofune (fig. 7), o traente, nel caso d'impianto bifune (fig. 8); il gruppo di cabinette, saliti i passeggeri, accelera fino alla



Fig. 7 - Cabinovia *pulsée* monofune.

velocità massima poi rallenta per entrare nella stazione opposta.

Il sistema funziona con solo due grappoli di cabine, come una classica funivia va e vieni, con la sola differenza che le cabine girano in stazione quindi l'anello di fune traente ruota sempre nello stesso senso.

Nel caso di quattro grappoli di cabinette, quando il primo arriva alla stazione di monte, il secondo è a metà linea, il terzo è a valle ed il quarto a metà linea, ma sul ramo discesa della fune; il secondo ed il quarto gruppo di vetturette si fermano quindi a metà linea mentre i passeggeri scendono e salgono nel primo gruppo alla stazione di monte e nel terzo alla stazione di valle.

Appare evidente il vantaggio del sistema nel caso che esattamente a metà linea, dove le cabine comunque si fermano, sia utile posizionare una stazione intermedia.

Aumentando i gruppi di cabine aumentano le soste ma, se si possono installare delle stazioni intermedie ad intervalli regolari, il sistema diventa un ottimo mezzo di trasporto urbano.

Una famosa cabinovia è quella impiegata a *Grenoble per il collegamento alla Bastille*, una delle prime funicolari aeree in trasporto urbano che, dall'anno di messa in servizio (1934), ha trasportato più di 13 milioni di persone, 290.000 nel solo 2009; il servizio pubblico è di circa 4000 ore all'anno.

Inizialmente l'impianto era una funivia a va e vieni; fu successivamente

te trasformato in *cabinovia pulsée* (fig. 8); i dati comprendono i trasportati sulla linea e quindi con i due sistemi.

Attualmente le cabine portano 6 passeggeri e viaggiano in gruppi da 5, quindi 30 passeggeri per treno; la linea è lunga 700 m ed ha 266 metri di dislivello; viene percorsa ad una velocità massima di 6 m/s, cioè quasi 22 km/h; ovviamente la velocità media, come intrinseco nel sistema *pulsée*, è molto più bassa.

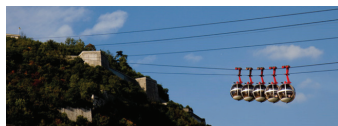


Fig. 8 – La cabinovia *pulsée* bifune di Grenoble.

La cabinovia *pulsée* è stata realizzata in due versioni principali, quella con fune portante e fune traente, come quella di Grenoble, e quella monofune, cioè con un'unica fune portante-traente, come nelle seggiovie, chiusa ad anello, come quella di *Cogne* (fig. 7), che ha tre cabine con 12 posti ciascuna.

Le considerazioni di portata e tempo di trasferimento esposte di seguito sono basate sull'esperienza di cabinovia, ma possono essere trasferite senza variazioni ad impianti su via di corsa rigida (rotaia, profilati metallici, piste in cemento, ecc.).

In ogni caso, la configurazione *pulsée* risolve problemi di portata contenuta su distanze limitate ed ha una resa energetica inferiore ad altri impianti a fune, per via delle continue accelerazioni e decelerazioni.

Ad esempio, un sistema lungo 1725 m con sei grappoli da due cabine da 12 passeggeri può avere una portata di sole 500 persone all'ora con velocità massima di 5 m/s; aumentando la velocità a 8 m/s, prossima al massimo teorico in funzione della distanza tra gli arresti, la portata può salire a sole 578 persone ora; l'aumento di velocità consente un incremento veramente modesto, specialmente con molti gruppi di cabine non molto distanziati.

Un impianto di 600 m con una stazione intermedia a metà strada, con quattro grappoli di due cabine a 12 posti avrebbe una portata d'oltre 750 persone all'ora e percorrerebbe l'intera tratta in meno di 4 minuti, tempo decisamente interessante se il dislivello tra le stazioni è di un centinaio di metri o più: questi esempi illustrano bene il campo di portata e velocità dove questo sistema raggiunge i migliori risultati.

Nel trasporto urbano, il carico ed il carico dei veicoli dovranno avvenire, almeno in presenza di diversamente abili o solo su richiesta, a veicolo fermo, con aumento dei tempi di sosta e relativa diminuzione della portata oraria.

Per dare un'idea dell'influenza delle soste, per il sistema da 600 m di lunghezza sopra descritto, portando i tempi di carico a 40 s con veicolo fermo e diminuendo l'accelerazione a 0.1 m/s², la portata oraria scende da 758 a 579 persone/ora.

Ovviamente un veicolo su rotaia di grande capacità otterrebbe portate molto più elevate.

Il calcolo della portata di un impianto *pulsée* è complesso e dipende da molte variabili ma sostanzialmente il funzionamento di questo tipo conviene alle seguenti condizioni:

- linee corte per contenere il tempo di trasferimento;
- vetture di grande capienza, quindi, nell'ordine, per sistemi su rotaia, per sistemi bifune e per sistemi monofune;
- fermate distanziate in modo regolare e pari alla distanza tra i gruppi di vetture.

Treni con 300 passeggeri, ad esempio 200 o 300 per treno, costringono ad un sistema va e vieni ad anelli di fune multipli, con sganciamiento alle stazioni; fino ad un certo limite si può ricorrere a piccoli veicoli modulari in grado di percorrere un giro di stazione nei punti estremi della linea.

Se il distanziamento delle stazioni è irregolare, si dovrà limitare il sistema a due grappoli oppure sgan-

ciare le vetture ad ogni fermata, come avviene nel sistema Poma 2000, ma prevedendo anelli successivi di fune a velocità differente, quindi calcolando le velocità di ciascun anello in modo da tenere costante il tempo in cui la tratta viene percorsa.

Con qualche simulazione si può vedere che, se le lunghezze della tratta non sono troppo disuniformi, le prestazioni di un impianto a tratte costanti e di uno a tratte differenti, con cambio d'anello trattivo alla stazione, non si discostano troppo; ad esempio, un sistema con cabine da 200 persone in ogni tratta e distanza di 400 m tra le tratte (o variabili tra 350 e 450 m per la versione a lunghezza della tratta non costante), con una linea lunga complessivamente 2462 m, ha una portata di 5520 p/h ed un tempo di trasferimento di 13 minuti circa; nel sistema a tratte di lunghezza variabile, ha una portata di 5210 p/h, con tempo di trasferimento di poco meno d'un minuto più lungo.

Teoricamente il sistema con tratte costanti potrebbe avere un solo anello trattivo ed evitare il cambio d'anello alle stazioni ma, oltre una certa lunghezza d'impianto, è comunque opportuno dividerlo in più anelli per contenere il diametro della fune e le dimensioni del macchinario.

Un dato d'interesse è l'attesa massima della vettura alla stazione, che sarebbe di poco più di 2 minuti; accettando tempi d'attesa più lunghi, diminuirebbero il numero di veicoli ed il costo, ma la portata del sistema sarebbe inferiore; ad esempio, sulla stessa linea, con 4 treni si avrebbe una portata poco superiore alle 1800 p/h ed un tempo massimo d'attesa alla fermata di 6 minuti e mezzo; il tempo massimo di trasferimento, compresa l'attesa, sarebbe comunque inferiore ai 20 minuti, contro i 36 minuti impiegati da un buon camminatore a piedi.

Distanziando maggiormente le fermate sulla stessa linea, la portata e la velocità media aumentano.

La cabinovia ad ammortamento automatico (fig. 16) ha invece portata

TRASPORTI INTERMODALI

indipendente dal numero di fermate e dalla lunghezza del percorso, garantisce velocità medie elevate lungo le tratte della linea, pari alla velocità massima e può facilmente essere progettata per imbarco da fermo e per il trasporto di disabili, con arresto della cabina "a bersaglio", cioè entro qualche centimetro dal punto in cui il diversamente abile è in attesa.

Anche in questo caso, le considerazioni generali valgono sia per le vere e proprie cabinovie aeree che per gli impianti su via di corsa propria.

L'impianto Olimpico Cesana-Sky Lodge, approvato come trasporto urbano tra Cesana Torinese e la frazione Sansicario, ha tutte queste caratteristiche ed ha dimostrato che non è necessario ricorrere ai precedenti sistemi discriminanti (cabina di colore speciale, suonerie e luci lampeggianti ecc.) per trasportare passeggeri diversamente abili; nel progetto delle stazioni s'è anche tenuto conto di questi aspetti, dimensionando gli ascensori che colmano il dislivello tra parcheggio della stazione intermedia e piano d'imbarco in modo da renderli atti a qualunque passeggero che decida di non fare le scale, anziché riservarli ai soli passeggeri portatori di handicap.

Una cabinovia monofune può viaggiare a quasi 22 km/h ed anche più velocemente nel caso dei sistemi bifune, cioè con fune traente e fune o funi portanti, o su rotaia.

La cabinovia aerea ha il vantag-

gio di superare ostacoli naturali, come fiumi, senza bisogno di opere costose, di muoversi indipendentemente dal traffico senza bisogno di vie di corsa sopraelevate, ma ha un impatto paesaggistico, perché le cabine devono correre ad un'altezza notevole dal terreno, tanto più grande quanto più è lunga la campata tra due sostegni successivi; se teniamo conto del franco sul traffico e di campate sui 100 m, è facile arrivare a piloni con altezze di 15-16 m alla rulliera.

Il sistema bifune, grazie alle frecce molto minori, *coeteris paribus*, delle campate consentirebbe sostegni di linea più bassi e minor impatto ambientale, come nella proposta di Denis CREISSELS, con doppia portante posta, come una rotaia, sotto la cabina, che analizzeremo più avanti.

L'altro problema è la necessità di sganciare le cabine dalla fune per fare delle linee non rette; in pratica, agli angoli tra due tratte deve esserci una stazione.

La cabinovia ha grandi vantaggi di costo e di funzionalità, ma deve avere poche stazioni e poche curve.

Il prof. Pierre JAUSSAUD di Grenoble ha pubblicato uno studio interessante che paragona i costi della cabinovia e di altri mezzi di trasporto.

Quello che risulta evidente è il vantaggio del trasporto urbano e suburbano a fune, quando questo sistema sia applicabile, dal punto di vista energetico, così come da quello ambientale, da quello dei costi e dell'offerta al pas-

seggero. In un altro caso sono paragonati i punti forti e deboli di differenti mezzi di trasporto messi in competizione sulla stessa linea in pendenza, come risulta dalla tabella 1.

Molti dati si trovano sul sito internet che Pierre Jaussaud ha dedicato al trasporto urbano via cavo, da cui si ricavano anche i dati della tabella 2, che lega il mezzo di trasporto al consumo energetico per passeggero.

In una pubblicazione paragona un collegamento con cabinovia, bus o passerella per ciclisti e pedoni, tra la stazione ferroviaria di Brignoud ed un centro commerciale distante circa un chilometro con necessità d'attraversare il fiume Isère, la ferrovia e l'autostrada; rimandando per i particolari al testo originale, le conclusioni sono riportate nella tabella 3, utilizzando un ammortamento degli autobus su 15 anni e su 20 per la passerella e la cabinovia.

A svantaggio del trasporto su gomma, JASSAUD calcola che la linea d'autobus genera 620 t di CO₂ all'anno. Un'altra tabella (tabella 4) confronta l'efficacia energetica dei diversi sistemi di trasporto, definita nella letteratura francese come il rapporto tra la percentuale della massa totale rappresentata dai passeggeri ed il coefficiente d'attrito del sistema.

Non sono riportati i calcoli completi che hanno portato alla compilazione delle tabelle, perché possono essere trovati in appendice al testo originale francese.

TABELLA 1

VALORI INDICATIVI SU COSTI, PREGI E DIFETTI DI SISTEMI DI TRASPORTO URBANI SU UNA TRATTA ESEMPLIFICATIVA

Mezzo di trasporto	Costo (M€)	Pro	Contro
Autobus	16.5 (autobus e corsie riservate, 2 sensi)	Accessibilità, flessibilità	Lentezza, rumore e forte investimento
Tram	22 (via di corsa e veicoli)	Silenzioso, pulito, buona frequenza	Forte investimento e limite pendenza
Funicolare	10 (linea e stazioni)	Fluida, silenzioso e pulito	Investimento ed attesa tra le corse
Telecabine poca attesa	3.5÷5 (linea e stazioni)	Fluida, silenziosa, pulita,	Impatto visivo

[Fonte: estratto da P. JAUSSAUD]

TABELLA 2

ESEMPLIFICAZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI

Collegamento tra due punti con dislivello 540 m e pendenza del 30%	Consumo energetico (kJ/kWh)	Consumo per passeggero
Persona da sola a piedi	0.12 kWh	0.12 kWh rinnovabili
Cabinovia ad 8 posti	3.4 kWh	0.43 kWh
Tram urbano da 300 passeggeri	32 kWh	1 kWh
Bus, guidatore, 60 passeggeri, 35l/100km, 20 km (A/R)	81.2 kWh	1.35 kWh
Auto con quattro passeggeri	17.3 kWh	4.7 kWh
Auto guidatore da solo (Clio 7CV benzina) 8.5l/100km	13.1 kWh	13.1 kWh

schema bifune; la monofune ha un solo cavo, impalmato ad anello, che assicura il sopporto delle cabine ed il loro movimento, la bifune ha una o due funi portanti (2S o 3S), cioè che fungono da "binari" per il carrello della cabina ed una o più funi traenti, che servono a trainarla lungo le portanti; lo schema bifune è più costoso, ma generalmente consente minori attriti e supera campate più lunghe a velocità maggiori.

Automated People Mover (APM) cadenzati: l'esempio del minimetro

A Perugia la Leitner ha realizzato una cabinovia bifune ad ammortamento automatico dove le funi sono sostituite da rotaie, che sopportano il veicolo e la fune traente corre tra le vie di corsa, quindi più bassa del veicolo, un sistema che è stato denominato Minimetro (fig. 9).

TABELLA 3

ESEMPLIFICAZIONE DEI COSTI (UN CHILOMETRO CIRCA)

Modo	Investimento	Funzionamento	Totale
Cabinovia	0,32M€	0,33M€	0,65M€
Passerella	0,75M€	0,075M€	0,825M€
Autobus	0,06M€	1,2M€	1,26M€

[Fonte: estratto da P. JAUSSAUD]

TABELLA 4

ESEMPLIFICAZIONE DELLA EFFICACIA ENERGETICA DEI DIVERSI SISTEMI DI TRASPORTO

	Autobus	Automobile	Tram	Cabinovia
Rapporto masse	50%	30%	21%	40%
Attrito	0.3-0.6	0.3-0.6	0.12-0.2	0.03
Efficacia energetica	83-166	50-100	105-175	1333

Nella letteratura internazionale, si trovano anche dati interessanti sull'inquinamento, i costi energetici ed i tempi d'attesa e di trasporto, tutti a vantaggio della fune.

I costruttori d'impianti a fune hanno preso seriamente in considerazione questo aspetto; la Doppelmayr, ad esempio, ha affidato a *Climate Partner Austria*, una ditta di consulenza specializzata, uno studio indipendente sulle emissioni di CO₂ di vari mezzi di trasporto, nel quale si conclude che la cabinovia ad 8 posti, purché il suo riempimento raggiunga il 50%, ha minori emissioni di treni, automobili ed autobus, come si vede dalla tabella 5.

TABELLA 5

ESEMPIO DI CONSUMO COMPARATIVO PER IL SUPERAMENTO DI UNA TRATTA IN PENDENZA

Vettore	Grammi CO ₂ /pers.km
Autovettura	248
Autobus diesel	38,5
Treno con motrice elettrica	30
Cabinovia da otto posti	27

Come emerso, la cabinovia può seguire lo schema monofune o lo



Fig. 9 – Il Mini Metro di Perugia.

Il funzionamento è quindi quello classico della cabinovia bifune; la cabina si disammorsa dalla fune all'ingresso di ogni stazione, rallentata e percorre la stazione a bassa velocità o si ferma per la salita e discesa dei passeggeri, poi accelera nuovamente alla velocità di linea e si riammorsa alla fune; accelerazione, decelerazione e spostamento della vettura in stazione sono comandati da una serie di pneumatici mossi da cinghie

Questo impianto ha 25 vetture, lunghe circa 5 metri e con capienza di 20 persone, che si muovono fra le stazioni estreme effettuando 5 fermate intermedie; a differenza della classica cabinovia dove, alla stazione

terminale, il veicolo percorre una U e viene lanciato sul ramo opposto, nel sistema di Perugia i veicoli, arrivati in stazione, sono ruotati di 180° per mezzo di una piattaforma girevole ispirata alla tecnica ferroviaria e vengono rilanciati su un binario parallelo a quello d'arrivo; sul questo binario corrono in senso opposto fino all'altra stazione terminale, ove è installata un'altra piattaforma girevole. La via di corsa è sopraelevata e le vetture hanno ruote gommate; la velocità in linea è di circa 25 km/h, decisamente interessante, tenuto conto che il percorso è su sede separata.

L'intervallo tra le vetture del Minimetro di Perugia è di 2.5', ma il sistema è progettato per poter funzionare con soli 60" tra i veicoli, offrendo un ampio margine d'adattamento delle portate alle esigenze del traffico, riducendo o aumentando il numero di veicoli in linea, quindi effettuando un certo risparmio energetico nei periodi di bassa domanda di trasporto.

Automated People Mover (APM) a va e viene: gli shuttle

Lo shuttle o navetta non è altro che una funicolare terrestre, come il sistema del gruppo Leitner che serve l'ospedale S. Raffaele a Milano (dal 1999) o quello di Doppelmayr-Garaventa, che è stato installato a Venezia (2010), su un profilo a pendenza limitata (fig. 10).

La linea di Venezia è lunga circa 860 m, con treni da 200 persone che viaggiano a poco meno di 30 km/h, passando su sede propria sopraelevata; la linea attraversa due ponti, il



Fig. 10 - La stazione del tronchetto dello shuttle di Venezia.

primo sul Canale del Tronchetto ed il secondo sul Canale di Santa Chiara; malgrado lo schema va e vieni, la linea piuttosto corta e la capienza delle vetture permettono una portata elevata, di circa 3000 p/h.

La linea ha una stazione intermedia, ovviamente collocata a metà percorso, e pendenza molto contenuta, del 6.2% sul ponte del Tronchetto e dislivello totale di soli 0.58 m.

Una linea più lunga avrebbe richiesto la divisione della tratta in due parti sganciando il treno alla stazione intermedia dal primo anello di fune e riagganciandolo sul secondo, facendo circolare quindi 4 treni in luogo di due, come nel sistema di Oakland; in questo schema, lo sganciamento ed il riagganciamento avvengono a fune ferma ma, a differenza di quanto avveniva in precedenti sistemi ettometrici, le funi traenti seguono un percorso va e vieni e non un ciclo di rallentamenti ed accelerazioni con lo stesso senso di rotazione.

Come scritto, i sistemi basati su cambio d'anello a fune ferma hanno comunque ad ogni stazione intermedia dei dispositivi di traslazione del veicolo, seppure molto semplici rispetto ad una trave di lancio e danno i migliori risultati con stazioni perfettamente equidistanti; in alternativa è possibile procedere con stazioni a distanza differente regolando la velocità d'ogni tratta in modo da tenere costante il tempo di percorso e quindi realizzare la congruenza degli spostamenti dei veicoli; è ovvio che una tratta molto più corta delle altre causa una forte diminuzione del tempo complessivo di trasferimento e rimangono comunque i limiti di portata imposti dal poter avere solo un veicolo per tratta, indipendentemente dalla sua lunghezza.

Tornando in generale agli shuttle, questo sistema di trasporto, come il Minimetro, funziona solo su sede propria e questo comporta costi elevati per l'incidenza della via di corsa; l'impianto di Venezia è costato 22.7 milioni di Euro, anche per problemi di fondazione e sottoservizi, mentre la previsione iniziale era di 16.3 milioni, con gran parte della cifra attribuibile alle imponenti opere civili.



Fig. 11 - Il ponte a struttura metallica dello shuttle Doppelmayr di Venezia.

La via di corsa ha un peso ragguardevole, specialmente quando supera il Canale del Tronchetto (figg. 11 e 12), 180 m in tre campate.

Il percorso è effettuato in circa 3', in luogo dei 20 necessari a piedi, e la frequenza è di una partenza ogni 7'.



Fig. 12 - Il sistema Mitsubishi con via di corsa superiore e travi di lancio a motore lineare.

Scelta tra sistemi di trasporto

La scelta tra le tipologie d'impianto dipende da molti fattori locali e dall'evoluzione tecnologica, quindi è impossibile fornire una regola sempre valida ed applicabile in tutti i casi.

La scelta deve essere fatta in base a serie analisi della richiesta di trasporto, delle condizioni locali e dei costi e benefici di ciascuna soluzione.

In via orientativa, il grafico di fig. 13 fornisce una prima indicazione sulle scelte possibili, tenendo conto anche di impianti non a fune, quali le scale mobili ed i marciapiedi mobili sulle piccole distanze e di tramvie e sistemi di derivazione metropolitana a guida automatica (esempio, il VAL) sui livelli di portata e lunghezza della linea più elevati.

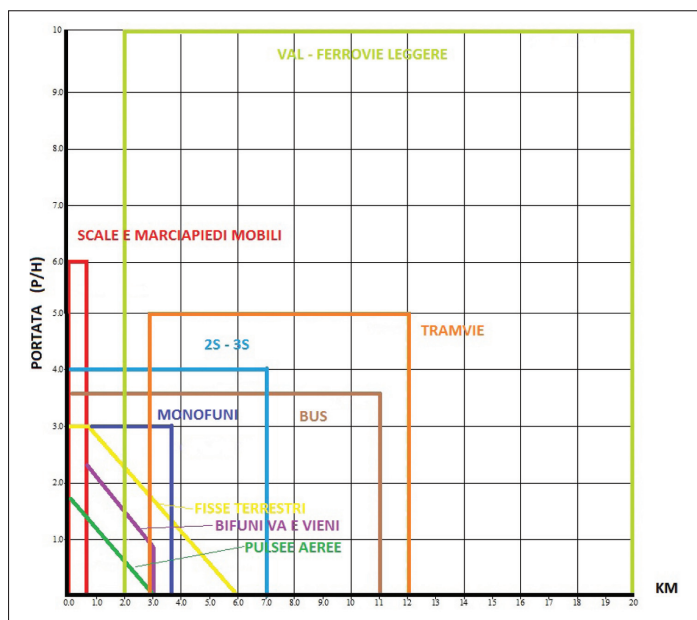


Fig. 13 – Grafico per la scelta orientativa di trasporto in funzione di portata e lunghezza della linea

Nelle tipologie “fisse terrestri” si sono considerati i sistemi shuttle a collegamento fisso o con cambio d’anello a cabina ferma, con treni fino a 200 persone ed i sistemi a *pulsée* su via guidata.

Le funivie bifuni sono considerate con cabine fino a 120 persone.

Gli ascensori inclinati sono compresi nel campo degli impianti terrestri a collegamento fisso; in realtà non c’è differenza tra questi impianti e le funicolari terrestri, se non per il fatto che sono costruiti con l’impiego parziale di componenti ascensoristi che ed, in Europa, sono soggetti ad alcuni limiti di velocità e capacità delle cabine.

L’evoluzione futura

Quali sono le prospettive che possiamo porre per i sistemi di trasporto automatici a fune? Certamente di sviluppo, per la necessità di diminuire l’inquinamento ed il costo del trasporto; bisogna tuttavia

distinguere i differenti tipi di APM basati su trazione a fune, perché, come visto prima, le loro caratteristiche soddisfano differenti esigenze e s’adattano a differenti problemi di trasporto.

Si può pensare alla classificazione seguente dei sistemi di trasporto a fune:

- impianti a fune sostanzialmente analoghi a quelli impiegati in montagna, con opportuni adattamenti delle stazioni, dei veicoli e dei sistemi di controllo;
- sistemi su via di corsa propria e con ammortamento permanente alla fune di trazione o con ammortamento e rilascio eseguiti a fune ferma o a bassissima velocità, quindi senza trave di lancio;
- sistemi su via di corsa propria con vetture ad ammortamento automatico comandato da travi d’accelerazione e decelerazione nelle stazioni, eventualmente solo con fermata su richiesta.

I sistemi derivati dagli impianti montani a fune trovano impiego quando vi siano dislivelli importanti da superare sulla massima pendenza, od ostacoli quali laghi o fiumi; il limite è la difficoltà di avere linee con molte curve e molte stazioni e di richiedere sostegni di linea di impatto paesaggistico, specialmente se realizzati all’interno del tessuto urbano.

I sistemi APM tipo *shuttle* richiedono una struttura della via di corsa in genere pesante, specialmente se vi sono campate di rilevante lunghezza; linee lunghe e con molte fermate intermedie significano una quasi proporzionale riduzione della portata o richiedono un forte aumento delle dimensioni delle vetture.

I sistemi APM tipo il *Minimetro* hanno linea più leggera, per la minor dimensione delle vetture, e possono percorrere curve, ma la pendenza massima superabile rimane limitata; variazione d’inclinazione della via di corsa richiede sistemi di livellamento complessi, ma il vero problema nasce se le stazioni intermedie sono numerose, perché, con la tecnologia attuale, è necessario un numero elevato di pneumatici per l’accelerazione e la decelerazione e di cinghie od ingranaggi per il loro azionamento.

È sufficiente qualche pneumatico sgonfio od una cinghia allentata per fermare l’intero sistema fino all’intervento della squadra di manutenzione.

Quello delle travi di lancio è il grande problema degli impianti ad ammortamento, perché le travi richiedono un elevato numero di elementi e di sistemi di controllo, il che va a scapito dell’affidabilità del sistema di trasporto, in quanto, come è noto, vale l’espressione:

$$R = R_1 * R_2 * \dots * R_i * \dots R_n$$

Ove R_i è l’affidabilità dell’elemento i esimo: è evidente il forte calo d’affidabilità con l’aumentare del numero d’elementi in serie, per quanto prossima all’unità sia l’affidabilità di ciascun elemento.

A Hiroshima (Giappone), la Mitsubishi Electric ha usato un motore lineare per le travi di lancio, in modo da diminuire il numero di compo-

nenti meccanici che devono lavorare contemporaneamente per assicurare il funzionamento dell'impianto, un interessante sistema con via di corsa superiore (fig. 12).

La via di corsa superiore ha alcuni vantaggi rispetto all'impianto con via di corsa a livello strada, perché la linea non crea interferenza con il sistema viario ed i pilastri di supporto possono facilmente occupare lo spazio di uno spartitraffico; in più, le funi viaggiano all'aperto e non in una trincea, dove sono maggiormente soggette a sporcizia ed umidità, che sono generalmente fattori limitanti della durata.

Una linea di 4 km con fermate ogni 400 m attrezzata con un sistema ad ammortamento automatico, avrebbe 11 stazioni, terminali inclusi, con due travi d'accelerazione e due travi di decelerazione per stazione e quindi un totale di 44 sezioni di trave, ciascuna con cinghie e pneumatici, dispositivi anti collisione, dispositivi prova-morse e tutto quanto necessario per un esercizio in sicurezza.

Una descrizione e dati d'interesse sul trasporto urbano a fune si trovano nel libro di Anton Seeber *"The renaissance of the Cableways"* e su materiale informativo delle ditte costruttrici.

La competizione

Il concorrente più temibile è un sistema di veicoli a trazione elettrica, tele controllati da un sistema informatico, basato sul concetto del *pod-car* (fig. 15), come quello dell'aeroporto di Heathrow, in Inghilterra; al momento l'impianto è decisamente costoso, ma l'evoluzione tecnologica promette una forte riduzione di costi nel prossimo futuro.

Il sistema è entrato in esercizio nell'aprile del 2011 e funziona per 22 ore al giorno, dal 7 maggio: in seguito ad un'inchiesta indipendente che ha dimostrato la piena soddisfazione degli utenti, il servizio di bus navetta è stato sospeso e tutti i passeggeri della tratta usano il Pod.

La trazione è elettrica con alimentazione a batteria, che permette di raggiungere la velocità di 40km/h con sei passeggeri ed i bagagli a bordo; la portata del sistema installato è dell'ordine delle 656 persone all'ora; questo progetto è reso complesso dalla possibilità offerta al passeggero d'effettuare la chiamata da una stazione e di scegliere un percorso personalizzato.

Accontentandosi d'un sistema a percorso fisso, come nel Minimetro o per uno shuttle a fune, il compito del progettista diviene notevolmente più semplice ed i componenti che non si trovino nella produzione di serie sono davvero pochi.

Il sistema di trazione, motore elettrico e controllo, è quello delle vetture elettriche, che, grazie ai grandi numeri, non può che divenire sempre più affidabile e sempre meno costoso.

La posizione esatta del veicolo lungo la linea è facilmente risolvibile su un percorso fisso, combinando un posizionamento tramite satellite (es. GPS, GNSS) ed un semplicissimo ed economico controllo basato su segnali collegati alla via di corsa; il posizionamento può essere gestito da un controllo a bordo macchina e verificato con dialogo wireless con la centrale.

Un vantaggio del sistema a fune è la protezione intrinseca dal pericolo di collisione, da sempre gravante su ogni sistema ferroviario, per gli impianti a morsa fissa ed almeno lungo la linea per quelli ad ammortamento automatico.

Nelle stazioni degli impianti ad ammortamento automatico esiste comunque un rischio dovuto a mal-funzionamento del sistema d'accelerazione e rallentamento; ad esempio, una cabina ad otto posti, fortunatamente vuota, in fase di lancio, è arrivata a bassa velocità sulla fune a causa dello scoppio del rullo di presa di moto, mentre la fune portante traente era ancora ad almeno 4 m/s.

In caso di veicoli automotori, alle velocità di trasporto urbano, il problema della collisione è risolvibile

con il ricorso alla componentistica *automotive*, che fornisce ottimi sensori in grado d'azionare i freni, o, nel nostro caso, di dare inizio alla rampa di rallentamento, quando si rischia di tamponare la autovettura che precede sulla strada; ovviamente il controllo centralizzato sulla posizione dei veicoli fornirà la seconda sicurezza d'anti-collisione.

Un altro problema è quello della variabilità del coefficiente d'attrito tra ruota e via di corsa, specialmente in caso di via di corsa ghiacciata, visto che la decelerazione confortevole per i passeggeri è compatibile con il coefficiente d'aderenza della ruota pneumatica su via di corsa bagnata od anche a quella di ruota metallica su rotaia; dove il ghiaccio sia un effettivo problema, la soluzione teoricamente più sicura, anche se non priva di costo, è il passaggio all'aderenza artificiale nelle aree di decelerazione ed accelerazione prossime alle stazioni, oltre ad ovviamente sistemi automatici di eliminazione del ghiaccio e della sporcizia dalla via di corsa.

L'uso dell'aderenza artificiale potrebbe permettere anche il superamento di pendenze molto elevate in tratti particolari della linea.

Lo spazio della frenata d'emergenza, come è noto, condiziona fortemente la portata del sistema, perché controlla, alla fine dei calcoli, l'intervallo dei veicoli in funzione della massima velocità; in ogni caso, come una semplice applicazione di formule elementari dimostra, assumendo un coefficiente d'aderenza limitato a 0,15 ed applicando un coefficiente 5 alla distanza di sicurezza contro la collisione ed assumendo, per confronto con un mini-metro, 20 passeggeri per treno, s'ottiene una portata sempre molto elevata e superiore a quella attuale del mezzo a fune.

Alla frenatura elettrica s'affiancherebbe comunque un sistema meccanico, sempre di tipo automobilistico, offrendo una sicurezza equivalente a quella del sistema a fune, dove può sempre rompersi una morsa, scoppiare il rullo della presa di moto e così via: è inutile ripetere qui analisi di rischio che tutti ben conoscono.

Le batterie per immagazzinare l'energia necessaria ai motori elettrici sono al momento, come lo sviluppo dell'automobile elettrica ed ibrida insegnano, il componente di maggior costo e peso, ma bisogna osservare che le batterie sono necessarie solo per assicurare l'indipendenza da un percorso fisso; si potrebbe pensare ad una carica, magari di supercondensatori in alternativa alle batterie, da fare ad ogni fermata per assicurare il viaggio fino alla fermata successiva, se non si vuole ricorrere ad una barra per il trasporto dell'energia elettrica necessaria; ad esempio, sono già usate in molti sistemi di trasporto (metropolitane, la cremagliera Torino-Superga,...) della rotaie in alluminio con una lama d'acciaio per lo strisciamento del pattino, ma questa scelta comporta costi di fornitura ed installazione e rischi, che possono essere eliminati solo con ulteriori costi.

Un sistema automotore semplificato, cioè progettato per seguire una linea predefinita e non percorsi variabili a richiesta dell'utente, avrebbe grosso modo la stessa via di corsa d'un mini-metro, un costo simile od inferiore e potrebbe essere più affidabile, perché basterebbe eliminare dal servizio il veicolo in avaria per riaprire la linea, mentre un sistema ad ammortamento automatico si ferma completamente per un singolo problema anche in una sola stazione.

Il software di controllo per un impianto di questo tipo è abbastanza semplice e si trova senza troppa difficoltà sul mercato, anche in Italia.

Pesati tutti i pro e contro, si deve prendere in considerazione l'eventualità che, con percorsi non troppo ripidi e senza che si debbano superare grandi ostacoli, il sistema a trazione elettrica si riveli presto più competitivo di quello a fune e che possa essere sviluppato con costi limitati.

Potrebbe essere interessante valutare l'impiego di funi per tratti della via di corsa dei veicoli automotori, eventualmente sospendendo la cabina di trasporto passeggeri ad un modulo motore che corre su fune o rotaia.

Anche sul sistema a fune tipo

shuttle, ad esempio come quello progettato ad Oakland, s'addensano nubi minacciose, come dimostrano due differenti rapporti che paragonano il suo costo e prestazioni ad un sistema PRT ed ad una soluzione molto semplice: la costruzione d'una corsia stradale supplementare riservata ad autobus; questa relazione, riguardando un impianto da realizzare ora e non in un prossimo futuro, non tiene conto degli enormi progressi nel campo della guida automatica dei veicoli stradali, che potrebbe abbattere la voce più costosa d'una classica linea su gomma, cioè la spesa per il personale addetto.

Ovviamente dover fare queste considerazioni mi rende tutt'altro che felice, perché le funi sono il lavoro ed anche un po' la passione di famiglia: ho passato la vita lavorando in questo settore.

Ho la massima stima per le aziende che producono gli APM: ho collaborato, in passato, con entrambe le principali aziende ed i buoni ricordi sovranano le difficoltà ed i problemi che ogni lavoro comporta; ho parimenti massima stima per i colleghi che hanno diligentemente progettato i sistemi in uso: voglio chiarire che

non muovo alcuna critica alla progettazione o alla costruzione.

Quello che temo è il ripetersi della storia che ha visto, agli albori del trasporto pubblico urbano, dominare in principio la fune per poi spingerla quasi nel dimenticatoio a causa dell'evoluzione tecnologica di altri mezzi di trazione e voglio quindi suggerire alcuni criteri per rafforzare la nicchia dove la fune potrebbe svilupparsi al meglio.

Siamo in una situazione simile a quella del 1800, quando il motore a vapore divenne abbastanza leggero per essere montato sul veicolo anziché installato staticamente in una stazione e quando poi il motore Diesel ha ulteriormente migliorato il rapporto peso/potenza; oggi il peso di un motore elettrico integrato nella ruota è paragonabile a quello d'una morsa automatica.

Per curiosità, si esaminano alcuni rapporti tra potenza e peso in tabella 6.

Con la tecnologia dell'epoca, il veicolo trainato da fune e quello automotore necessitavano comunque di personale in vettura, mentre ora il sistema a fune ha il vantaggio un numero d'addetti decisamente più ridotto d'una linea tradizionale su gomma, spe-

TABELLA 6

ESEMPI DI RAPPORTI POTENZA / PESO PER DIFFERENTI TIPI DI VEICOLI O MOTORI

Tipo di veicolo o motore	Rapporto potenza / peso (kW/Kg)
Motore navale a vapore tipo Blackwall railway attorno al 1850	0,007
Locomotiva Stephenson The Rocket (1829)	0,035
Motori per locomotiva a vapore (potenza al motore)	0.016 ÷ 0.024
Motore diesel navale moderno	0,03
Motore diesel automobilistico moderno	0.65 ÷ 1.15
Motore elettrico statico industriale (azionamento, rifasamento e riduttore non inclusi)	0.15
Motore elettrico automobilistico inserito nella ruota (supercondensatore o batterie non incluse)	0.8 ÷ 1
Atleta in bici in salita (Tour de France – Alberto CONTADOR a Verbier nel 2009)	0,0035

cialmente con stazioni dotate di porte automatiche e quindi tele controllate.

D'altro canto, la tecnologia moderna, oltre a poter risolvere, con controlli affidabili e poco costosi, tutti i problemi di sicurezza che la trazione a fune risolve intrinsecamente, permette la guida automatica di veicoli automotori; siano un esempio il VAL di Torino od i Pod-car; annullando il vantaggio di costo d'esercizio del sistema a fune.

Con un altro paragone, una volta tutte le officine avevano macchine utensili azionate da cinghie e pulegge, ma poi il sistema elettrico s'è rivelato molto più efficiente nel portare energia all'utilizzo e la fune, se il suo scopo è solo quello di fornire forza motrice al veicolo, rischia di essere perdente come la trasmissione a cinghie.

Ipotesi sul futuro per le funi

Il futuro della fune è continuare ad essere se stessa.

Premesso che si tratta di dati indicativi per via delle molte tipologie esistenti, ma che comunque derivano da progetti cui ho lavorato o che conosco bene, si può provare a paragonare il "peso del ferro" di un impianto a fune aereo e di una linea con ponte metallico sostenuto da pilastri metallici.

Bisogna ricordare che la struttura è fortemente influenzata dalle condizioni locali, come sismicità, carico neve e vento, quindi i valori devono essere presi solo come ordine di grandezza; il costo della struttura non è automaticamente proporzionale al peso: come esempio limite, una fune costa molto di più, per unità di massa, d'un profilato; per un'analisi completa bisognerebbe anche tener conto delle fondazioni e delle altre opere accessorie, ma comunque le indicazioni sono sufficienti per un'analisi che non sia finalizzata ad una gara d'appalto, ma solamente ad un criterio generale per la scelta della via da seguire.

Peraltro il peso del ferro è in ambidue i casi dovuto essenzialmente a carpenteria metallica, perché le funi contano per una piccola percentuale del peso totale ed il rapporto tra costo

del peso del ferro in carpenteria saldate e bullonata e quello formato in fune può essere valutato tra 0.25 e 0.35.

Prendiamo come esempio una linea che debba sorvolare una strada, quindi rispettare i franchi; la scelta è complessa, perché si possono progettare piloni molto alti e molto distanti, compensando così la freccia delle funi, o scegliere piloni più bassi e campate più corte, quindi diminuendo la freccia delle funi, si può aumentare diametro e tensione della fune, con effetto di diminuire la freccia, ma con il risultato d'aumentare le opere strutturali ed il diametro di rulli e pulegge.

Bisogna ricordare che, se i piloni sono molto alti, concetto dell'Alta Via, per fissare le idee, bisogna poi sollevare i passeggeri a quota stazione o prevedere abbassamenti di quota per le stazioni, con ritensioni importanti ed aumento degli attriti.

nee tradizionali, senza pesare sulle dimensioni delle fondazioni.

Come si vede da queste cifre (tabella 7), per quanto indicative, c'è un grande vantaggio nell'impiegare la fune, quando le caratteristiche generali dell'impianto lo consentono.

Dal punto di vista dei costi, prendendo a base una portata di 3000 p/h per una cabinovia monofune e di 4000 p/h per una bifune 2S o 3S, si ha la tabella 8, sempre di larga massima.

Le linee funiviarie sono calcolate per almeno 3 km di lunghezza, senza stazioni intermedie e lo shuttle con trazione a fune, su linea di 5.6 km, prevede un interscambio tra due anelli di fune traente e treni da circa 200 persone.

La fune ha la sua giustificazione nella capacità di superare pendenze e di volare sopra ostacoli anche di

TABELLA 7

PESO INDICATIVO PER DIVERSE TIPOLOGIE DI LINEE

Tipologia	Peso (t/m)
Linea pendolare semplice campate 11 m cabine da 40 passeggeri	0,50
Linea pendolare doppia	0.74
Linea tradizionale semplice campate 18 m, cabine da 80 passeggeri	0,81
Linea tradizionale doppia	1.4
Linea funiviaria bifune	0.04
Linea funiviaria monofune	0.05

TABELLA 8

COSTO ESEMPLIFICATIVO AL CHILOMETRO PER DIVERSE TIPOLOGIE DI IMPIANTI FISSI, A PARITÀ DI PORTATA ORARIA

Tipologia	Costo (mil. €/ km)
Cabinovia 8/10 posti – 3000 p/h	5.42
Cabinovia 2S – 4000 p/h	8.57
Cabinovia 3S – 4000 p/h	10
Shuttle su via di corsa 2700 p/h	34
Ferrovia leggera	41

La fune si dispone lungo una catenaria e quindi la campata ha un tratto in discesa ed un tratto in salita; se il disegno dell'impianto porta ad avere condizioni in cui tutti i veicoli sono contemporaneamente nel tratto in salita, si hanno coppie istantanee molto elevate, mentre con struttura rigida questo non accade; è evidente che, caso per caso, alcune situazioni si prestano alla linea su fune ed altre a quella su struttura rigida o semi-rigida o pendolare, come quella di Garaventa-Dopplemayr di Deer Crest, che, se usata su profili pianeggianti e con piloni ad altezza costante, potrebbe portare a pesi del ferro molto inferiori a quelli delle li-

grandi dimensioni: questa è la sua difficilmente espugnabile nicchia.

Quindi, come suggeriscono molti studi e come effettivamente le ditte cercano di fare, la soluzione è usare la fune nella sua versione classica d'impianto aereo, perfezionando i sistemi di soccorso e l'affidabilità ed agendo per superare i timori ingiustificati di molti decisori pubblici.

Naturalmente non sempre è possibile od accettabile dal punto di vista paesistico ed ambientale volare alti sulla città e quindi bisogna adattare il sistema a fune per renderlo capace di risolvere i casi dove la quota è un problema, senza peraltro perdere i vantaggi del superamento di ostacoli e dislivelli.

Recenti proposte dalla Francia e dagli Stati Uniti

Dennis CREISSELS con la sua équipe propongono un sistema con vetture modulari, da 25 a 50 passeggeri, che corrono su due funi portanti alla velocità media di 25 km/ora, trainati da una serie di anelli trattivi come nei sistemi ettometrici; la velocità di punta potrebbe raggiungere i 54 km/h. È previsto anche uno sviluppo ad ammortamento automatico.

La particolarità del sistema è che le due funi portanti, montate con uno scartamento quasi eguale alla larghezza delle vetture, sono poste sotto e non sopra la cabina, quindi fungono in un certo senso da "rotaie"; tuttavia, trattandosi di funi, permettono una linea molto leggera rispetto alla classica soluzione su ponte o viadotto.

Le campate tra i sostegni di linea, prefabbricati in cemento armato precompresso, sono di 150÷200 m e le stazioni sono intervallate di 500÷1000 m.

L'altezza della linea è tra i 6 e gli 8 metri sopra il terreno, che dovrebbero permettere il sorvolo del traffico in ogni condizione; ovviamente questo limite d'altezza delle strutture implica tensioni elevate nelle funi portanti per avere una configurazione della fune compatibile con i franchi richiesti dagli standard CEE, spe-

cialmente ai limiti superiori della lunghezza delle campate.

L'impianto non ha ritensioni e non prevede linee in curva, ma può, in coincidenza delle stazioni, proseguire formando un angolo con la tratta precedente.

L'idea di un veicolo che corre sopra le funi e non sospeso non è nuova, perché molti anni fa, negli Stati Uniti, viaggiava un autobus che si muoveva su funi avendo sostituito le ruote gommate con cerchi metallici.

Il pavimento della cabina viene mantenuto orizzontale mediante un sistema idraulico di auto-livellamento, in modo da compensare la variazione di pendenza dovuta alla configurazione delle funi portanti, senza far ricorso ad una sospensione di tipo funiviario.

Il progetto *TUC (Transport Urbain à Câble)* è illustrato da una documentazione molto completa dal punto di vista dell'inserimento del sistema nel contesto urbano, corredata da rendering belli ed accurati.

Il concetto base è quello d'un sistema di trasporto capace di correre sopra il traffico urbano e di non avere interferenze con i veicoli su gomma, senza affrontare i costi d'una via di corsa sopraelevata.

Il progetto che, per comodità, definisco *US-APM*, di qualche anno più vecchio, ha esattamente lo stesso concetto di base: *sorvolare il traffico*.

Le soluzioni per le stazioni sono molto simili ed è incredibile che siano state sviluppate, come lo sono, da due progettisti senza alcun contatto.

La messa in pratica del concetto comune ha però alcune differenze realizzative non trascurabili.

Partendo dai materiali di serie d'una cabinovia, secondo il progetto americano, non è difficile evolverli in un mezzo capace di correre su fune o su rotaia con gli stessi veicoli come pure di curvare a destra e sinistra, di superare sostegni d'appoggio e di ritenuta, senza dover sganciare le morse dalla fune.

Il sistema è di tipo sospeso, per superare i problemi d'inclinazione del pavimento della vettura al variare di quella della linea, senza meccanismi complicati che necessitano energia ed azioni attive; la fune traente in alto è lontana dall'umidità e, almeno nelle zone dei rulli, può essere inserita in una struttura, se necessario insonorizzabile, che salva il sistema dalle accuse di rumorosità già rivolte ad altri impianti di trasporto urbano con trazione a fune metallica.

Dovendo superare un fiume o inerparsi su una collina o ancora semplicemente quando si può farlo senza impatto paesaggistico troppo pesante, il veicolo, sempre trainato dalla stessa fune, sostituisce le rotaie con due funi portanti parallele e continua il viaggio senza trasbordare i passeggeri (fig. 14).

Un sistema di morsa "di serie", derivata dalla cabinovia, montata in modo da superare curve in ogni senso, appoggi e ritensioni, e quindi capace di superare linee con forti convessità e concavità, può essere realizzato senza troppi problemi, come dal brevetto visto in USA.

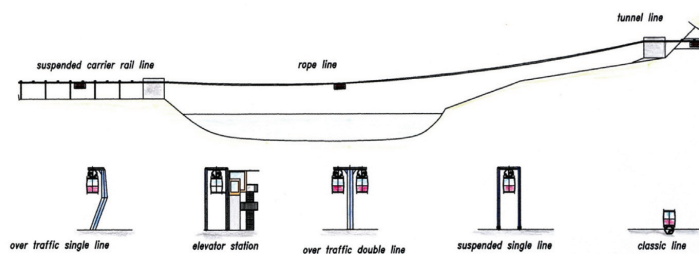


Fig. 14 – Proposta di sistema APM con componentistica di cabinovia, capace di correre su rotaia o su funi portanti e di percorrere curve a destra, sinistra e superare sostegni d'appoggio e ritenzione.

La possibilità d'affrontare curve nei due sensi, oltre che agli appoggi ed alle ritenute, viene dall'osservazione che la rigidità torsionale d'una fune tesa è relativamente piccola, almeno per angoli contenuti: è relativamente facile quindi forzare un morsetto in una limitata rotazione.

I rulli inclinati possono guidare la fune in curva ed un normale morsetto, corrispondentemente inclinato, può passare su quei rulli; il sistema funziona tanto con vettura montata superiormente alla via di corsa che con vettura sospesa; funziona sia viaggiando su rotaia che su due funi portanti.

Quando non è possibile impiegare la fune come via di corsa, viene proposto uno schema, detto pendolare, con elementi incernierati, che consente di realizzare strutture estremamente leggere; la caratteristica di questo schema è di compensare le variazioni termiche con una rotazione dei ritri sulle cerniere alla loro base, evitando così cuscinetti d'appoggio delle rotaie e strutture calcolate per sopportare la flessione che l'attrito tra cuscinetto e rotaia genera alla base di un ritto costruito secondo lo schema tradizionale.

Lo stesso sistema di passaggio su rulli inclinati potrebbe essere esteso agli impianti monofune, con qualche modifica al concetto di collegamento tra morsa e veicolo, per i casi ove non occorre il tratto su rotaia, risolvendo, anche per gli impianti con fune portante-traente singola, l'annoso problema delle curve nei due sensi.

Un impianto realizzato con questo concetto, su una linea che superi ostacoli con lunghe campate, sarebbe difficilmente contrastabile con sistemi automotori a trazione elettrica (fig. 15), quindi dominerebbe nella sua nicchia di mercato.

Un breve confronto tra i due sistemi

Paragonando i due sistemi, si vede subito che i concetti ispiratori sono gli stessi: *leggerezza della struttura di linea ed indipendenza dal traffico;*



Fig. 15 - Personal Rapid Transit (PRT), presso aeroporto di Heathrow.

ci sono anche delle differenze, più realizzative che concettuali; le principali sono:

- i piloni del progetto TUC sono più bassi di qualche metro, ma sono molto più massicci di quelli metallici dell'US-APM; non è facile decidere quale impianto abbia maggior impatto visivo in un viale cittadino;
- l'US-APM può percorrere linee in curva e con ritenute senza aprire la morsa e senza bisogno di stazioni, mentre il TUC viaggia in linea retta e cambia direzione solo in stazione;
- il TUC ottiene l'orizzontalità del pavimento della cabina mediante un sistema di martinetti idraulici, mentre l'US-APM è intrinsecamente livellato, sfruttando una corta sospensione e l'effetto della gravità;
- i rulli dell'US-APM possono essere schermati da una carenatura anti-rumore; non è noto in questo momento se la stessa caratteristica sia prevista per il TUC;
- il TUC ha un aspetto meno "funiviaro" e questo più gradito ai decisori politici;
- ambedue i sistemi possono essere applicati a linee ad ammortamento automatico, ettometriche o pulsée a morsa fissa, ma TUC nasce per il sistema ad anelli di fune in serie, mentre US-APM per l'ammortamento automatico.

Se vedremo questi sistemi realizzati nelle nostre città è difficile da prevedere.

Ambedue i sistemi hanno forti vantaggi rispetto ai *people mover* a fune esistenti, ma le case costruttrici

hanno effettuato pesanti investimenti nello sviluppo e certamente saranno restie a ripartire con schemi nuovi.

Ritengo ragionevole pensare che la possibilità di costruire un TUC o un US-APM sia connessa alla volontà di uno o più responsabili di Ente Pubblico conquistato da uno dei due sistemi, tanto da "costringere" un costruttore a fabbricarlo; la scelta potrebbe essere quindi più decisa in sede politica che tecnica, come peraltro è spesso avvenuto nella storia dell'evoluzione tecnologica.

Altri problemi per l'APM a fune

Un limite al futuro sviluppo è che, tranne per sistemi *pulsée* o, in misura minore, ettometrici a stazioni con distanziamento costante, il trasporto con trazione a fune e linea aerea è adatto al trasporto punto a punto, in linea retta o al più forse con uno o due stazioni intermedie ed altrettante curve; la linea terrestre su sede propria permette più curve, ma l'ammortamento automatico ha sempre la forte penalizzazione dovuta alla complicazione delle stazioni, che, in pratica, limita il loro numero massimo; sono stati anche proposti in letteratura impianti fune con strutture reticolari.

Quindi, volendo contrastare i sistemi con motore a bordo sul loro terreno, bisogna invece risolvere l'altro problema, che limita i vantaggi della trazione a fune: la necessità di complesse travi d'accelerazione e decelerazione.

L'impianto a fune ad ammortamento automatico può fermarsi solo nei punti predeterminati ed attrezzati: questo comporta una grande quantità di componenti in ogni stazione ed una forte rigidità della struttura, essendo molto difficile spostare successivamente la posizione delle stazioni.

Questi due limiti potrebbero essere superati bene dal vecchio *cable car* di S. Francisco, che non è però automatico e riesce ad ammortarsi alla fune traente solo a velocità molto basse.

Il problema dell'automazione della manovra d'ammortamento è facile



Fig. 16 - Cabinovie: per la montagna (Cesana, I) e le città (Medellin, Colombia).

da risolvere con la tecnologia disponibile sul mercato oggi, un poco meno quello dell'usura di funi e morse e della velocità della fune.

C'è più d'una proposta per superare anche questi due problemi, ma non risulta pubblicato alcun progetto definitivo capace di risolvere la sfida.

Tra le proposte in attesa di sviluppo si cita un sistema di pulegge sul veicolo, su cui gira la fune traente e, a puleggia folle, permette di mantenere il veicolo fermo, mentre a puleggia bloccata il veicolo avanza alla velocità della fune.

Un altro sistema, forse più promettente, ha una morsa controllata

automaticamente, che usa la lunghezza della vettura per ammortizzare le accelerazioni e le decelerazioni: si vedrà cosa porterà il domani.

Conclusioni

Il sistema APM a fune risolve già oggi una serie di problemi di trasporto, anche urbano, con tipologie esistenti o lievemente modificate.

Quando la fune esce dalla sua nicchia privilegiata, cioè il superamento d'ostacoli e dislivelli, il suo attuale e rinnovato successo potrebbe essere fortemente contrastato da futuri sistemi a trazione elettrica, con compo-

nentistica derivata dal settore *automotive*, quindi economici ed affidabili, in quanto ampiamente sperimentati.

Ulteriori sviluppi dei sistemi di trasporto a fune, con veicoli capaci di correre su fune e su rotaia e di percorrere linee con curve, concavità e convessità, potrebbero portare ad impianti molto competitivi e capaci di risolvere problemi di trasporto attualmente non affrontabili senza trasbordo dei passeggeri; un sistema come quello di San Francisco, capace di ammorsarsi alla fune in qualsiasi punto della linea senza complessi meccanismi fissi in stazione, se si riesce a garantire la durata delle funi ed una velocità sufficiente, potrebbe aprire davvero nuove possibilità.

Lo sviluppo di queste potenzialità richiede un impegno di ricerca, che sarebbe certamente ripagato da risultati interessanti. Dal momento che altre nazioni hanno finanziato studi simili, la speranza è che all'Italia non manchino ancora una volta i mezzi per affermare in pratica la bontà delle idee e dei concetti teorici che hanno distinto la sua storia in campo funiviario.

BIBLIOGRAFIA

- [1] APTA, "Glossary of Transit Terminology", Online Publications and Databases, American Public Transportation Authority, 2008.
- [2] DALLA CHIARA B., DEGIOANNI P., "Un Automated People Mover (APM) con trazione a fune e struttura a rete", *Ingegneria Ferroviaria*, anno LXII, numero 5, pp. 417-431, maggio 2007.
- [3] DALLA CHIARA B., FASSIO C., MASANOTTI A., ZANOTTI G., "Una metodologia per la progettazione di sistemi automatici per il trasporto persone (APM) di derivazione funiviaria", *Ingegneria Ferroviaria*, anno LX, numero 5, pp. 389-405, maggio 2005.
- [4] JACKSON Alan A., "London's Local Railways", David & Charles, Jackson, Vermont, U.S.A. ISBN 0-7153-7479-6, 1978.
- [5] LRTA, "What is Light Rail?", Light Rail Transit Association LRTA, retrieved on 06.07.2009.
- [6] MAROCCHI A., "Trasporto urbano: dalla parte di chi deve scegliere", *Quota neve*, n. 161, settembre-ottobre 2011, edizioni quota neve, pagg.18-27.
- [7] ROBERTSON, ANDREW John, "Blackwall railway machinery", *The Civil Engineer and Architect's Journal*, New York John Wiley & Sons, XI (March 1848): p. 83, 1848.
- [8] SEEGER A., "The Renaissance of the Cableways", Ed. Prokopp e Hechensteiner, Bolzano 2010.
- [9] Sezione CIFI di Torino, "Sistemi a guida automatica di derivazione funiviaria per il trasporto metropolitano", Politecnico di Torino, Dip. DITIC Trasporti, in "La Tecnica Professionale", giugno 2011.
- [10] THOMPSON Gregory L., "Defining an alternative future: birth of the light rail movement in North America", Transportation Research Circular (Transportation Research Board) (E-C058). From: 9th National Light Rail Transit Conference.
- [11] HEFTI W., *Schienenbahnen in aller Welt*, 1975.
- [12] HEFTI W., *Zahnradbahnen der Welt*, 2 voll., 1971-1976.