

Una metodologia per la progettazione di sistemi automatici per il trasporto persone (APM) di derivazione funiviaria

Original

Una metodologia per la progettazione di sistemi automatici per il trasporto persone (APM) di derivazione funiviaria / DALLA CHIARA, Bruno; Fassio, C.; Masanotti, A.; Zannotti, G.. - In: INGEGNERIA FERROVIARIA. - ISSN 0020-0956. - STAMPA. - LX:5(2005), pp. 389-405.

Availability:

This version is available at: 11583/1629905 since:

Publisher:

CIFI (Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani)

Published

DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

Una metodologia per la progettazione di sistemi automatici per il trasporto persone (APM) di derivazione funiviaria

Prof. Ing. BRUNO DALLA CHIARA^(*), Dott. Ingg. Carlo FASSIO^(**), Andrea MASANOTTI, Giuliano ZANNOTTI^(**)

SOMMARIO – L'articolo riguarda i nuovi sistemi per il trasporto di persone ad automazione integrale, in sede completamente riservata, riconosciuti in letteratura anche come APM (*Automated People Movers*), con riferimento particolare ai sistemi con trazione a fune.

Scopo dell'articolo è delineare sinteticamente i principi procedurali e le norme tecniche ai quali fare riferimento per la progettazione di massima di un sistema di trasporto non convenzionale di derivazione funiviaria.

L'esperienza internazionale in materia è relativamente limitata poiché gli impianti realizzati finora sono poco numerosi. Tuttavia l'esperienza accumulata è sufficiente per tracciare alcuni principi guida per la progettazione di tali impianti.

1. Metodologia progettuale

Scopo del presente articolo è delineare una metodologia di progettazione di nuovi sistemi per il trasporto di persone ad automazione integrale, in sede completamente riservata, riconosciuti in letteratura anche come APM (*Automated People Movers*), con riferimento particolare ai sistemi con trazione a fune. Invero, quasi tutti gli impianti a fune sono automatici, ma di regola sono comunque presidiati: secondo i casi, sono presidiati i veicoli o le stazioni, oppure sia i veicoli sia le stazioni. Automatismo integrale implica però che non sono presidiati né i veicoli né le stazioni; esiste naturalmente un posto centrale di controllo, che non necessariamente viene collocato presso l'impianto e può anche essere in comune con altri impianti di trasporto.

Nell'articolo si delineano i principi procedurali e la normazione tecnica ai quali fare riferimento per la progettazione di massima di un sistema di trasporto non convenzionale di derivazione funiviaria.

L'esperienza in materia è relativamente limitata in quanto gli impianti realizzati finora sono poco numerosi [1, 6, 7, 16]. In ogni caso l'esperienza accumulata è sufficiente per tracciare alcuni principi guida per la progettazione di tali impianti.

1.1. Tracciato planimetrico e altimetrico

Individuata la direttrice sulla quale s'intende realizzare il sistema di trasporto, si traccia l'andamento planimetrico della linea. Vanno tenuti presente, già in questa fase, i vincoli progettuali dovuti alla tipologia d'impianto e quelli dovuti al contesto ambientale [1, 6, 11, 13, 14, 15].

Riguardo ai vincoli dovuti al paesaggio esistente, occorre verificare in questa fase che siano rispettate:

- le distanze minime dai fabbricati;
- le distanze minime da arterie e vie di comunicazione esistenti;
- la distanza minima da ostacoli onde garantire la sicurezza.

Per quanto attiene alle distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile ed interbinario, il D.M. del 13/11/1975, articolo 3, estende alle funicolari le "disposizioni tecniche relative alle ferrovie e tranvie anche di tipo metropolitano"; si fa pertanto riferimento alla norma UNI-UNIFER 7360-74.

In questa fase si verifica che l'andamento dell'anello della fune traente⁽¹⁾ sia il più regolare possibile, evitando

^(*) Politecnico di Torino, Dipartimento DITIC – Trasporti.

^(**) Poma Italia, Leinì – Torino.

⁽¹⁾ Alla fune *traente*, come negli impianti bifune, è assegnata la trazione del veicolo o, in generale, del carico; il ruolo di *portante*, muovendosi il veicolo – di regola su ruote – su una struttura fissa, edificata, è attribuito alla via di corsa così come, ad esempio, nelle funicolari o nei piani inclinati.

raccordi concavi o convessi di piccolo raggio⁽²⁾. Nel decidere l'andamento altimetrico dell'anello traente rispetto al terreno si stabilisce quali tratte realizzare in galleria, in superficie o su viadotto (fig. 1). Contestualmente si posizionano le stazioni: sotterranee, sopraelevate o sul piano stradale.



Fig. 1 – Esempio di linea in viadotto.

Il posizionamento corretto delle stazioni è importante e va fatto tenendo conto della domanda di trasporto; in impianti di questo tipo aventi lunghezza tale da comportare più tratte [10] – dunque non impianti a singolo anello di fune, a va e vieni [12] - è però anche opportuno che le estensioni delle tratte siano il più possibili omogenee, per assicurare valori di velocità commerciale simili nei vari anelli della linea.

1.2. Impatto ambientale

Già dalle prime fasi di progetto non può essere trascurato l'impatto ambientale. Una non corretta valutazione dei disturbi provocati può portare, nelle fasi successive, a ritardi o correzioni, compromettendo o rendendo più costosa la realizzazione dell'impianto.

I principali elementi ambientali da tener presenti nel corso della progettazione sono i seguenti [6, 11, 15].

Inquinamento acustico

Nei casi di sistema di trasporto all'aperto, a livello della superficie o in viadotto sopraelevato, il rumore generato si somma a quelli generati sulla strada o da altri sistemi di trasporto adiacenti, contribuendo ad innalzare il livello di inquinamento sonoro. Le direttive CEE forniscono i limiti di rumorosità raggiungibili da tutti i veicoli circolanti.

⁽²⁾ I raggi in linea minimi possono risultare dell'ordine di poche decine di metri.

Se il sistema, o la tratta di percorso che si sta analizzando, si trova in galleria, il rumore generato difficilmente incide sull'inquinamento acustico in superficie, ma determina comunque un decadimento del comfort per gli utenti [4, 6].

Vibrazioni

Il fenomeno delle vibrazioni deve essere valutato con la dovuta attenzione. La norma UNI 9614 fornisce indicazioni sulla misura e sul livello di disturbo accettabile negli edifici e nelle aree interessate. Vanno presi in considerazione gli effetti complessivi delle vibrazioni causate dall'impianto di trasporto e da tutte le altre fonti di vibrazioni (quali strade o altri impianti preesistenti).

Intrusione visiva

Le strutture dell'impianto generano un impatto visivo, che è necessario e possibile limitare al minimo. I sistemi di derivazione funiviaria permettono di passare da tratte in viadotto a tratte in galleria con brevi rampe, non essendo la trazione condizionata dall'aderenza tra ruota e via di corsa, ma assegnata al serraggio delle morse sulla fune traente, per sua natura flessibile. Si possono così realizzare parti della linea in superficie, per poi porre in sotterranea le tratte dove l'impatto visivo sarebbe inaccettabile. Gli impianti APM, con veicoli piccoli e leggeri, hanno generalmente bisogno di vie di corsa meno ingombranti e stazioni più piccole rispetto ad altri sistemi di trasporto; l'impiego [6, 11, 13] è ovviamente limitato al loro campo ottimale di applicazione, tipicamente metropolitano o in aree limitate ad elevata frequentazione (aeroporti, grandi centri commerciali o per il turismo, poli universitari, ecc.).

Frattura dell'esistente urbano

I sistemi di trasporto con sede protetta e riservata, se in superficie, possono causare una frattura nel contesto urbano. I sistemi di derivazione funiviaria, come tutti i sistemi a guida automatica, richiedono una sede riservata, quindi il problema si pone.

Impatto durante la costruzione

Nel periodo di costruzione viene quasi certamente modificato il traffico nella zona interessata, ad esempio di una città; per questo è necessario che i cantieri siano i più piccoli possibili e che i lavori possano essere completati nel tempo minimo indispensabile. Nei sistemi di derivazione funiviaria si tenta di contenere al massimo l'impatto durante la costruzione, riducendo i tempi necessari ed i lavori di scavo. Per i tratti realizzati in viadotto, la via di corsa può essere retta da sostegni in acciaio o pilastri in cemento armato, di realizzabilità rapida, mentre la via di corsa può essere prefabbricata altrove, poi montata. Le dimensioni dei veicoli vanno considerate in fase di pianificazione del cantiere. Veicoli di piccolo volume sono più facilmente trasportabili ed installabili, anche con normali

mezzi di trasporto e sollevamento. Viene inoltre facilitata e resa più agevole la loro manutenzione e sostituzione durante la vita dell'impianto.

Impatto individuale

L'impatto individuale è riferito all'utente che adopera il servizio: è importante che gli ambienti di stazione, i servizi ed i percorsi di accesso siano adeguatamente illuminati ed arredati. Occorre analizzare, in fase di progetto, le condizioni climatiche ed ambientali all'interno dei veicoli, in stazione ed in galleria.

1.3. Via di corsa

La via di corsa può dunque essere a livello stradale, adeguatamente protetta, in sopraelevata, in trincea o in galleria. Nello stesso impianto possono essere presenti, in diversi tratti del percorso, le differenti tipologie di via di corsa. Le vie di corsa sopraelevate o in galleria hanno il vantaggio di ridurre o eliminare la frattura dell'esistente urbano, mentre le vie di corsa a livello strada o in trincea aperta sono penalizzanti sotto questo aspetto. Vie di corsa sopraelevate, realizzabili con elementi prefabbricati, sono economiche da realizzare, ma hanno un impatto visivo maggiore. Un percorso realizzato in galleria sotterranea riduce l'impatto visivo e sonoro, però ad un costo maggiore e con un impegnativo impatto ambientale durante la costruzione.

Nel caso di veicoli con ruote in metallo, la via di corsa è realizzata mediante binari analoghi a quelli delle funicolari o derivati da metropolitane leggere; usando tali ruote è possibile realizzare uno scambio senza parti mobili (fig. 2). Diversamente da quanto avviene in ambito ferroviario, il piano di posa cui è fissato l'armamento è rigido e, nella maggioranza dei casi, realizzato in cemento ar-

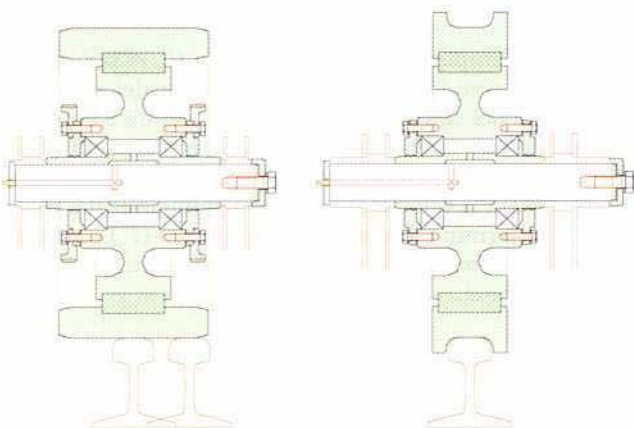


Fig. 2 - Scambio senza parti mobili: la ruota esterna, con doppio bordino, funge da guida, mentre la ruota interna è piatta e larga, ed affiancando due rotaie può superare le discontinuità.

mato. Le vibrazioni vengono molto meno smorzate da questo piano di posa, per cui è opportuno intervenire con accorgimenti specifici sui fissaggi.

Nel caso di vetture su ruote pneumatiche, il problema delle vibrazioni è molto meno avvertito, sia a bordo del veicolo sia nell'ambiente circostante all'impianto. La via di corsa può essere in acciaio o può essere realizzata in cemento armato. Adottando le ruote pneumatiche di appoggio sono necessarie anche ruote di guida del veicolo, laterali o centrali, che possono essere a loro volta pneumatiche o realizzate in metallo. Devono ovviamente essere previsti binari o superfici di appoggio per le ruote di guida, che vanno adeguatamente dimensionate al carico laterale previsto con il veicolo in marcia.

1.4. Recupero passeggeri

Per quanto previsto dalle norme PrEN 12929-1 "General requirement" e PrEN1909 "Recovery and evacuation", nell'evenienza di un arresto del sistema deve essere possibile per i passeggeri evacuare i veicoli senza pericoli e senza che siano richieste loro particolari abilità o competenze. Dalla norma PrEN 12929, riferita alle funicolari terrestri, deve essere previsto un percorso di evacuazione lungo il tracciato di larghezza minima pari a 0.5 m e munito di un corrimano. Nel caso che il passag-

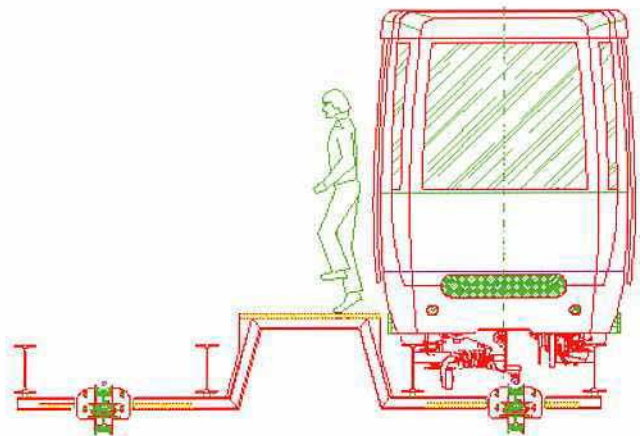


Fig. 3 - Esempio di passerella di emergenza di un percorso di evacuazione lungo il tracciato [10]; per le quote ci si riferisce alla norma tecnica PrEN 12929-1.

gio debba essere percorribile anche con un veicolo in movimento lungo la linea, la larghezza minima deve essere di 1.2 m (fig. 3).

La necessità di aiuto da parte del personale, in alcune circostanze, può essere previsto dal piano di recupero se è possibile assicurare l'arrivo della squadra di soccorso in tempo ragionevolmente breve dopo un arresto del siste-

ma. I passeggeri devono poter comunicare con il centro di controllo e devono poter avvisare della necessità di un intervento di recupero.

1.5. Stazioni

Le stazioni (fig. 4) 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.

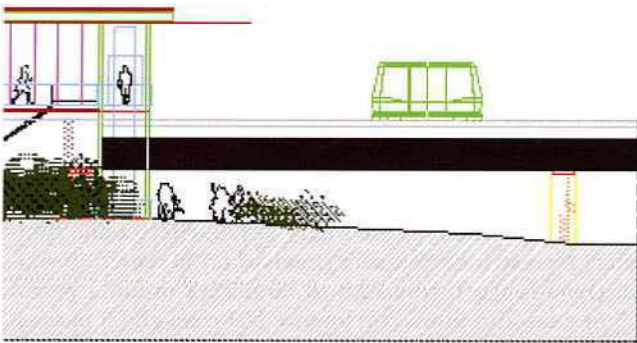


Fig. 4 - Esempio di parte terminale di stazione e via di corsa di sistema di trasporto automatico di persone (APM) di derivazione funiviaria [10].

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. Gli impianti di sorveglianza, diffusione sonora, i citofoni di comunicazione e l'impianto di illuminazione di emergenza devono essere dotati di almeno due fonti di alimentazione indipendenti fra loro.

Nella realizzazione di stazioni non presenziate occorre prestare particolare attenzione nell'evitare di avere zone difficilmente controllabili e poco visibili (raccomandato dalla UNI 10218). Viene inoltre consigliato l'uso di materiali e finiture resistenti agli atti vandalici, così come l'impianto di sorveglianza deve essere protetto da manomissioni volontarie.

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.

1.5.1. Porte di stazione

Le piattaforme di stazione devono essere equipaggiate con porte mobili in corrispondenza delle porte sul veicolo (fig. 5). In base alla norma PrEN12929-1, le porte devono aprirsi solo se il veicolo è fermo in stazione nella posizione corretta. Nel caso in cui una porta di stazione non sia correttamente chiusa il sistema non può partire o, nel caso in cui i veicoli siano in moto e le porte vengano aperte, l'impianto deve essere fermato. Per evitare il rischio di intrappolare un passeggero, la distanza fra porte di stazione e porte del veicolo non deve superare 12 cm mentre la distanza fra la soglia del veicolo e la piattaforma di stazione non deve superare 8 cm.

Per consentire la rapida evacuazione dei passeggeri, le porte in banchina devono poter essere aperte dall'interno con uno sforzo non eccessivo da parte dei passeggeri. Può accadere che lo spostamento d'aria provocato dal convoglio in arrivo, per effetto stantuffo, causi l'apertura indesiderata delle porte, con conseguente arresto del sistema. Anche per limitare questo fenomeno è opportuno prevedere un adeguato spazio libero davanti al veicolo ed una via di sfogo per l'aria, verso l'alto o verso il basso.



Fig. 5 - Porte di stazione (impianto sperimentale).

1.6. Programmazione del servizio

Fissata l'ampiezza di ciascuna tratta (l), si può quindi eseguire la cosiddetta "Programmazione del servizio", consistente nel calcolo della velocità di punta e commerciale di ciascun anello - se l'impianto ha più anelli - nonché del tempo di percorrenza e del tempo ciclo. In particolare, fissata la velocità massima raggiungibile dai veicoli (V), si determina il tempo di percorrenza (T_p) ed il tempo ciclo della tratta più estesa, date l'accelerazione a e la decelerazione d

$$T_p = \frac{V}{a} + \frac{l - \frac{V^2}{2a} - \frac{V^2}{2d}}{V} + \frac{V}{d}$$

E' opportuno che il tempo di percorrenza di tutte le tratte sia il medesimo; si procede quindi imponendo per le

rimanenti tratte il tempo di percorrenza della tratta più estesa appena ricavato. Si calcola di conseguenza la velocità massima da imporre a ciascun anello risolvendo, rispetto alla velocità, l'equazione del tempo di percorrenza

$$\frac{V_i}{a} + \frac{S - \frac{V_i^2}{2a} - \frac{V_i^2}{2d}}{V_i} + \frac{V_i}{d} - T_p = 0$$

dove:

V_i = velocità massima da imporre all'anello di fune *i*-esimo

T_p = tempo di percorrenza della tratta più estesa

S = distanza percorsa dal convoglio al netto della posizione del convoglio nelle stazioni.

In questo modo ogni convoglio percorre ciascuna tratta nel medesimo intervallo di tempo e tutti i convogli si fermano in stazione e cambiano anello traente in contemporanea. Con tale accorgimento si evita di avere due convogli in contemporanea sullo stesso ramo di un anello di fune, situazione che ridurrebbe la sicurezza del sistema.

Qualora si dovesse verificare una fermata improvvisa dell'impianto, essendo i veicoli ammorsati alla fune, la loro interdistanza rimane ovviamente garantita e lo spazio di arresto dell'impianto risulta insignificante, data l'inerzia in gioco e l'aderenza della fune sulla puleggia.

1.7. Veicoli

La scelta dei veicoli (fig. 6) va fatta considerando le caratteristiche del percorso, la potenzialità e la frequenza di servizio che s'intendono raggiungere. La capacità di trasporto passeggeri è legata alla superficie utile del veicolo. Secondo la norma UNI 8897 riferita ai sistemi di trasporto



Fig. 6 – Esempio di rendering interno di vettura di APM.

di tipo metropolitano, si distinguono tre condizioni per valutare tale capacità, considerando indicativamente 4 passeggeri/m² per definire la capacità nominale, 6 passeggeri/m² per la capacità di punta e 8 passeggeri/m² per la capacità a saturazione⁽³⁾.

1.8. Fune

Occorre scegliere la fune in modo che soddisfi il grado di sicurezza richiesto dalle norme o dal committente dell'impianto. Il grado di sicurezza della fune traente deve essere maggiore o uguale a 6⁽⁴⁾ ed è calcolato come rapporto fra il carico somma della fune⁽⁵⁾ e la tensione massima di lavoro cui è sottoposta.

La maggior causa di usura dei fili e rottura degli stessi è dovuta all'azione del morsetto sulla fune. Per questo motivo, nel caso di impianti ad ammorsamento fisso, è necessario effettuare periodici spostamenti dei morsetti per non sottoporre troppo a lungo lo stesso tratto di fune alle sollecitazioni descritte. In ogni caso, le morse fisse non vanno mai posizionate sui punti di giunzione della fune. Il costruttore delle funi spesso indica una propria frequenza consigliata di spostamento dei morsetti, più cautelativa di quella prescritta dalle norme.

Nel caso di impianti ad ammorsamento mobile, la fune di manovra deve essere necessariamente ad anello continuo, cosa che impone l'uso dell'impalmatura⁽⁶⁾.

Per la norma PrEN 12927-3 l'impalmatura non deve causare una variazione del diametro esterno della fune tale da impedire il corretto serraggio della morsa anche sul tratto di giunzione.

⁽³⁾ A titolo puramente esemplificativo, un esistente impianto a va e vieni quale il Poma 2000 installato a Cascina Gobba (Milano), con una capienza di 102 persone per convoglio su una distanza di 682 m, fornisce una potenzialità di 1450 passeggeri/ora per direzione; in tal caso, l'intervallo tra due passaggi successivi alla medesima banchina risulta di 4'12". Se invece si fa riferimento ad un impianto ad esercizio continuo, a titolo di esempio il sistema Minimetro di Perugia prevede un intervallo di 50 s tra due passaggi successivi di un veicolo in fermata ed una capienza di 50 passeggeri per veicolo, con una potenzialità di circa 3600 passeggeri/ora.

⁽⁴⁾ D.M.13/11/1975.

⁽⁵⁾ Ottenuto dal prodotto della sezione della fune per il valore minimo del carico di rottura del materiale costituente i fili.

⁽⁶⁾ Le funi, una volta prodotte, vengono avvolte su apposite bobine o tamburi. Pertanto, affinché le funi possano essere chiuse ad anello - quindi nel caso di funi traenti e portanti-traenti di impianti monofune, destinate ad un moto unidirezionale continuo - e transitare sulle gole delle pulegge, occorre vincolarne le estremità senza alterare il diametro della fune, a meno di un margine di tolleranza, per tutta la lunghezza. Tale vincolo o giunzione viene realizzato mediante la cosiddetta impalmatura, operazione eseguita manualmente nel corso della quale i due capi della fune vengono accostati per un tratto di lunghezza minima imposta dalle indicazioni normative (per esempio, 1500 volte il diametro della fune); i trefoli, di cui è costituita la fune, vengono intrecciati tra loro. I due capi, ciascuno con propri trefoli, vengono innestati l'uno nell'altro in modo da garantire una resistenza a trazione della fune almeno pari a quella della fune indenne.

1.9. Morse

Le morse realizzano il collegamento fra veicolo e fune di manovra. Il collegamento può essere fisso o può essere previsto l'ammorsamento automatico alla fune.

La norma PrEN 13796-1 richiede che la forza di ammorso provenga da un sistema di molle (che non devono mai essere compresse oltre l'80% della loro corsa).

La PrEN 13796-2 regola i test di resistenza allo scorrimento della morsa sulla fune.

Le morse devono presentare una resistenza allo scorrimento non inferiore a tre volte la componente del peso del veicolo carico sulla massima pendenza, componente che va calcolata assumendo convenzionalmente come pendenza quella massima assunta dall'asse della fune portante (o della via di corsa).

Nel caso di impianti ad ammorso automatico, la PrEN 13796-1 ed il Decreto "Prescrizioni Tecniche speciali per le funivie monofuni con movimento unidirezionale continuo e collegamento temporaneo dei veicoli" del 8/03/1999 richiedono inoltre che il corretto accoppiamento fra la morsa e la fune traente venga controllato geometricamente ogni volta che il veicolo parte dalla stazione. Inoltre, sulle rampe d'arrivo dei veicoli nelle stazioni devono essere installati dispositivi per controllare in ogni momento il corretto disaccoppiamento dei veicoli dalla fune traente. I dispositivi di controllo, in caso di anomalia, devono comandare l'arresto dell'impianto.

Le morse mobili devono assicurare almeno $5 \cdot 10^5$ cicli di apertura e chiusura.

1.10. Rulli di linea

La fune di manovra viene sostenuta e guidata nel corretto percorso per mezzo di rulli di linea (fig. 7).

Su indicazione del Decreto del Presidente della Repubblica - Prescrizioni tecniche speciali per le funivie bifuni del 18-10-1975, n° 1367, l'angolo di deviazione massimo ammesso per ogni rullo è di $4^\circ 30'$. Il numero di rulli di un impianto è in genere elevato; inoltre, questi sono sparsi lungo l'intero tracciato e non sono sempre facilmente accessibili. Per ridurre gli interventi di manutenzione, i rulli devono avere adeguata resistenza all'usura, essere montati su cuscinetti a rotolamento lubrificati a vita e protetti dallo sporco. La PrEN 13223 richiede che i rulli siano rivestiti di idoneo materiale cedevole per garantire maggior durata alla fune. Nel dimensionamento del rullo la norma impone di considerare i carichi della deviazione della fune, il vento trasversale, l'impatto con le morse al passaggio del veicolo ed il precarico del rullo. Le rulliere, se presenti, devono far sì che il carico sia distribuito equamente fra i diversi rulli, in maniera automatica.

Il carico minimo non dovrebbe essere inferiore ai 500 N per i rulli di appoggio e ai 900 N per i rulli di ritenuta.

Il carico massimo P [kg] esercitato dalla fune traente o zavorra su ciascun rullo, non dovrà superare il valore ricavato dall'espressione empirica

$$P = K \cdot d \cdot D$$

dove d e D [mm] indicano rispettivamente il diametro della fune e quello del rullo (misurato a fondo gola), mentre K è un fattore che tiene conto, oltre che delle unità di misura, delle caratteristiche del materiale di rivestimento, della forma e delle dimensioni del rivestimento stesso, del carico medio, della temperatura e della velocità. In relazione a tali parametri, il fattore K può generalmente variare fra 0.010 e 0.035.

Nella scelta dei rulli va inoltre tenuto conto del rapporto tra diametro rullo e diametro fune consigliato dal costruttore del rullo per assicurare una buona durata sia del rullo sia della fune.

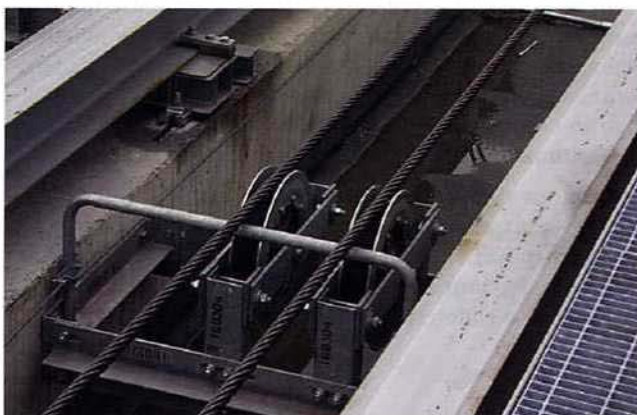


Fig. 7 - Rulli verticali e sistema di anticarrucolamento lungo la linea.

1.11. Calcolo di linea

Affrontate le operazioni preliminari, si prosegue con la fase più strettamente progettuale, effettuando i calcoli analitici come di consueto per gli impianti a fune [5,8]. Per ogni anello trattivo occorre fissare un sistema di riferimento con origine nel punto di partenza di ogni stazione e quota 0 m rispetto ad una quota di riferimento (il livello del mare, per esempio).

Ci si propone di conoscere l'andamento delle tensioni nelle stazioni di monte o più a monte - dove si riscontrano generalmente le tensioni massime - in funzione della posizione dei convogli. Occorre quindi discretizzare lo sviluppo planimetrico in piccole campate di opportuna ampiezza (un'ampiezza media di un metro è adeguata nella maggioranza dei casi), ricavando per ogni valore discreto le corrispondenti X , Y e Z .

Con l'aiuto di uno strumento di calcolo si ricostruisce quindi analiticamente l'andamento planimetrico ed altimetrico dell'anello, ottenendo il profilo della linea. Noti i valori di X , Y e Z si calcola numericamente la cosiddetta

“ascissa curvilinea assoluta” del tracciato, che fornisce l'ampiezza assoluta dell'anello di fune. Nel caso di impianti a più anelli, negli anelli intermedi occorre tener conto dei tratti di sovrapposizione tra gli stessi, necessari per il corretto cambio di anello traente da parte del convoglio.

1.12. Valore della tensione al tenditore

Per iniziare il calcolo di linea occorre determinare alcuni dati di partenza, quali il valore della tensione al tenditore. Per ottenere questi valori si parte dalle due equazioni di equilibrio

$$T = C/2 + p \cdot d + A_1 + C_{max\ vett} + I_1 \quad (1)$$

$$t = C/2 + p \cdot d - A_2 - I_2 \quad (2)$$

dove:

T : tensione a monte del ramo carico nella condizione di partenza in salita sulla massima pendenza del convoglio carico con accelerazione data

$C/2$: tensione del tenditore dimezzata per ciascun ramo all'uscita della puleggia di rinvio

p : peso metrico lineare della fune (valore inserito di primo tentativo)

d : dislivello tra le due stazioni

A_1 : attrito del ramo carico (valore inserito di primo tentativo)

$C_{max\ vett}$: componente del peso vettura carica sulla massima pendenza

I_1 : forza d'inerzia ramo carico (valore inserito di primo tentativo)

A_2 : attrito del ramo scarico (valore inserito di primo tentativo)

I_2 : forza d'inerzia ramo scarico (valore inserito di primo tentativo).

Le equazioni sono valide nel caso in cui la stazione motrice si trovi a monte.

Nel caso di stazione motrice a valle le equazioni diventano

$$T = C/2 - p \cdot d + A_1 + C_{max\ vett} + I_1 \quad (3)$$

$$t = C/2 - p \cdot d - A_2 - I_2 \quad (4)$$

E' inoltre necessario verificare la condizione di aderenza della fune (tensione d'ingresso: T , d'uscita: t) sulla puleggia motrice⁽⁷⁾

$$T/t < e^{\theta} \quad (5)$$

dove:

f = coefficiente d'aderenza fune-puleggia,

θ = angolo di avvolgimento sulla puleggia motrice.

Generalmente si assume per f un valore di 0.2. Nel caso in cui l'angolo di avvolgimento sia 6.28 radianti - valore ricorrente in impianti di questo tipo - possiamo riscrivere l'equazione (5) come

$$T/t < 3.51 \quad (6)$$

Per assicurare un margine di sicurezza è comune utile porre $T/t = 2$.

Sostituendo nelle due equazioni di equilibrio otteniamo, nel caso di puleggia motrice a monte e tenditrice a valle, il sistema

$$2t = C/2 + p \cdot d + A_1 + C_{max\ vett} + I_1 \quad (7)$$

$$t = C/2 + p \cdot d - A_2 - I_2 \quad (8)$$

S'inseriscono inizialmente nelle due equazioni valori orientativi, poi ri-calcolati iterativamente fino a raggiungere il livello di approssimazione voluta. Si ricavano dal sistema le due incognite $C/2$ e t , quindi il valore di t e di T . Dal valore di tensione a monte T nella condizione di funzionamento più gravosa otteniamo il carico somma C_s richiesto alla fune, dalla relazione

$$C/T > 6 \quad (9)$$

Il valore limite 6 per le funi traenti di funicolari è imposto dalla PrEN 12927-2.

Consultando i cataloghi dei costruttori delle funi, dal carico somma si risale al peso lineare p della fune più appropriata. Se diverso dal p' scelto in prima approssimazione, si sostituisce il valore di p' orientativo con il valore ricavato e si procede con la successiva iterazione.

1.12.1. Regime di tensione delle funi

La tensione della fune in ogni tratto lungo la linea è funzione della posizione dei convogli sull'anello e delle diverse situazioni di accelerazione, frenatura o regime in cui si trova l'impianto nel momento considerato. Occorre quindi conoscere la massa dei convogli, le inerzie delle masse lente e veloci, gli attriti in linea e in stazione.

Si utilizza un calcolatore per determinare l'andamento della tensione della fune per ogni posizione del convoglio e per le diverse condizioni di frenatura, spunto e viaggio a regime dei veicoli.

1.12.2. Inerzia delle masse lente

In fase di avviamento o di arresto dell'impianto, la fune è soggetta all'inerzia di masse lente e di masse veloci. Le cosiddette masse lente presenti in linea (a pieno carico) sono essenzialmente rappresentate da:

- massa della fune;
- massa delle vetture cariche presenti sul semianello;
- massa equivalente delle parti rotanti in vettura;

⁽⁷⁾ Secondo Decreto 8/03/1999 n°58, "Prescrizioni tecniche speciali per le funivie monofuni con movimento unidirezionale continuo e collegamento automatico dei veicoli"; secondo anche PrEn 1908, paragrafo 8.

- massa equivalente dei rulli di linea;
- massa equivalente dei rulli di monte e valle e a metà puleggia di rinvio.

Si calcola la forza di inerzia sui due rami nelle condizioni di accelerazione o decelerazione elettrica a_{el} , in fase di frenatura normale a_{fren} , in frenatura rapida a_{frenR} [m/s²] e in frenatura rapida d'urgenza. Valori indicativi (riferiti al sistema Poma 2000, ma di carattere abbastanza generale) sono

$$a_{el} = \pm 0,4 \text{ m/s}^2$$

$$a_{fren} = - 0,5 \text{ m/s}^2$$

$$a_{frenRuote} = -0,65 \text{ m/s}^2$$

$$a_{frenRUrgenza} = -0,75 \text{ m/s}^2$$

Le masse legate ai veicoli ed ai rulli di linea sono dati forniti dal costruttore. Si possono calcolare le forze d'inerzia in accelerazione e frenatura I_1 e I_2 partendo dai valori riscontrati in impianti di derivazione funiviaria già realizzati e conoscendo la massa dei veicoli e dell'attrezzatura.

1.13. Attriti in linea

Per quanto riguarda l'attrito della fune sui rulli di linea, esso è funzione del carico sopportato dai rulli. Quest'ultimo dipende a sua volta dal tiro (carico) assiale della fune, che è legato al valore degli attriti; è quindi necessario un procedimento iterativo.

Per il calcolo dei termini di attrito A_1 e A_2 si fa infatti riferimento ai valori di tensione media dei due rami dell'anello. Inserendo come valori di primo tentativo A_1 e A_2 si ottengono nuovi valori di tensione media che permettono di calcolare i successivi valori di A_1 e A_2 . Si procede con le iterazioni finché lo scarto tra due successivi valori è trascurabile.

Per i rulli in curva l'attrito è valutabile come

$$F_{attCurva} = 2 \cdot T \cdot \text{sen}(\alpha/2) \cdot \mu$$

dove:

T = tensione media della fune,

α = deviazione della fune in curva causata dal rullo,

μ = coefficiente di attrito, da assumere 0.03.

Si ha inoltre l'attrito causato dal peso della fune, stimabile con la formula

$$F_{attrFune} = L \cdot P_{lineareFune} \cdot \mu$$

dove:

L = lunghezza semi anello,

$P_{lineareFune}$ = peso in N/m della fune di manovra,

μ = coefficiente di attrito, da assumere 0.03 su indicazione delle norme.

Per quanto riguarda l'attrito legato ai veicoli, per la più

diffusa tipologia di vettura a ruote pneumatiche l'attrito dei veicoli in movimento è dovuto sia al rotolamento delle ruote portanti sia a quello delle ruote di guida.

Per quanto riguarda le ruote portanti, il costruttore dei pneumatici fornisce il valore indicativo della resistenza al rotolamento R_{rot}/t per unità di massa o di peso scaricata sulla ruota (su superficie indeformabile). La forza resistente al rotolamento delle ruote portanti sarà quindi data da

$$\frac{M_{veicolo} / n_{ruote}}{1000} \cdot R_{rot} \cdot n_{ruote} = M_{veicolo} / 1000 \cdot R_{rot}$$

dove $M_{veicolo}$ è la massa del veicolo a pieno carico espressa in kg e R_{rot} è la resistenza al rotolamento espressa in daN/t. Per le ruote di guida eventualmente presenti il ragionamento è analogo, ma si considera il carico laterale sopportato.

Per stimare la resistenza aerodinamica dei convogli si fa riferimento alla nota formula

$$F_{acr} = 1/2 \cdot \rho_{aria} \cdot Cx \cdot S \cdot V^2$$

dove:

V = velocità

ρ_{aria} = densità dell'aria

S = superficie frontale equivalente del veicolo

Cx = coefficiente di forma

1.14. Verifiche anello traente

Le verifiche svolte sull'anello traente fanno riferimento alle "Prescrizioni tecniche speciali per le funivie monofuni con movimento unidirezionale continuo e collegamento automatico dei veicoli". Sono imposte la verifica della fune traente, la verifica al distacco della fune dai rulli e la verifica di aderenza sulla puleggia motrice.

1.15. Verifica della fune traente

Come sopra scritto, la verifica della fune traente impone che il rapporto tra il carico somma della fune e la tensione massima valutata sulle due situazioni più critiche sia maggiore di sei.

Le due condizioni critiche sono quelle di vettura carica in salita, in spunto, sulla massima pendenza (con accelerazione tipicamente di 0.45m/s², sulla base dell'esperienza degli impianti esistenti) o di vettura carica in discesa e in frenatura d'urgenza (o emergenza) nel tratto di pendenza massima.

Nel caso di vettura carica in salita in spunto lungo la linea, la tensione massima della fune sarà data da:

- contrappeso (maggiorazione dell'8%, se idraulico) T
- peso al metro della fune per il dislivello $p \cdot d$
- componente peso vettura $P_v \cdot \text{sen}(\alpha_{\text{max}})$
- attrito rulli e attrito pulegge di rinvio A_r
- attrito vettura A_v
- forza di inerzia dei veicoli a pieno carico $a \cdot I_v$
- forza di inerzia fune $a \cdot p_{\text{fune}} \cdot l$

Si verifica che

$$T + p \cdot d + P_v \cdot \text{sen}(\alpha_{\text{max}}) + A_r + A_v + a_{\text{staz}} \cdot I_v < 6 Cs$$

dove Cs è il carico somma della fune di manovra.

Nel caso di vettura carica, in discesa, in frenatura la a_{fren} sarà dell'ordine di 0.75 m/s², corrispondenti alla decelerazione richiesta in frenatura meccanica di emergenza. Gli attriti di rulli, pulegge e veicolo sono prudenzialmente ridotti ai 2/3, per assicurare che la condizione sia rispettata anche in condizioni sfavorevoli.

Si verifica che

$$T + p \cdot d + P_v \cdot \text{sen}(\alpha_{\text{max}}) - 2/3 \cdot (A_r + A_v) + a_{\text{fren}} \cdot I_v < 6 Cs$$

1.16. Verifica al distacco della fune dai rulli di linea

Si verifica che la tensione della fune nelle concavità non superi in nessun caso il valore di $R \cdot p \cdot \cos \alpha$ dove:

R = raggio minimo della concavità,

p = peso al metro lineare della fune,

α = angolo che consente di definire la pendenza della linea.

Ovviamente basta verificare che il valore della tensione sia inferiore a quello massimo nell'estremo a monte della concavità, dove la tensione della fune è quella massima.

Nella verifica si considerano i casi:

- a. vettura carica in salita a regime,
- b. vettura carica in salita in partenza dalla stazione,
- c. vettura carica in salita in spunto lungo la linea,
- d. vettura carica in discesa in frenatura.

I termini chiamati in causa saranno:

- tensione contrappeso (maggiorazione dell'8%, se idraulico) T
- peso della fune al metro per il dislivello $p \cdot d$
- componente peso vettura $P_v \cdot \text{sen}(\alpha_{\text{stazione}})$
- attrito rulli e attrito pulegge di rinvio A_r
- attrito vettura A_v
- forza di inerzia dei veicoli a pieno carico $a \cdot I_v$
- forza di inerzia fune $a \cdot p_{\text{fune}} \cdot l$

La condizione da verificare è quindi

$$T + p \cdot d + P_v \cdot \text{sen}(\alpha_{\text{max}}) + A_r + A_v + a \cdot I_v < R \cdot p \cdot \cos \alpha$$

Nel caso di frenatura, gli attriti di rulli, pulegge e veicolo sono prudenzialmente ridotti ai 2/3, per assicurare che la condizione sia rispettata anche in condizioni sfavorevoli. La condizione da verificare diventa

$$T + p \cdot d + P_v \cdot \text{sen}(\alpha_{\text{max}}) - 2/3 \cdot (A_r + A_v) + a_{\text{fren}} \cdot I_v < R \cdot p \cdot \cos \alpha$$

1.17. Aderenza sulla puleggia motrice

Per garantire l'aderenza della fune sulla puleggia motrice la condizione $T/t < e^{\mu}$ deve essere verificata⁽⁸⁾ nelle condizioni derivanti da:

- vettura carica in salita a regime sul tratto di massima pendenza;
- vettura carica in salita in spunto dalla stazione;
- vettura carica in salita in spunto sulla massima pendenza;
- vettura carica in discesa in frenatura sulla massima pendenza;
- vettura carica in salita in frenatura sulla massima pendenza;
- vettura carica in salita in frenatura a monte;
- vettura carica in discesa in frenatura a valle.

1.18. Effetto paranco

Negli impianti automatici di derivazione funiviaria è frequentemente necessario adottare un elevato angolo di avvolgimento della fune sulla puleggia motrice per assicurare il rispetto della condizione di aderenza della fune senza un eccessivo tensionamento. Una possibile soluzione consiste nell'usare una puleggia motrice a doppia gola con una puleggia folle di deviazione (fig. 8).

I diametri primitivi delle gole della puleggia possono essere leggermente differenti, per tolleranze di lavorazione o per usura. In questo caso le velocità della fune in uscita dalla prima gola della puleggia sarà differente da quella in entrata nella seconda gola, mettendo in tiro o allentando la fune nei tratti 2 e 3 della fune. La tensione nel ramo 1 così come la tensione nel ramo 4 sono note e sono quelle della fune in linea. I rami 2 e 3 della fune sono quelli di cui ci interessa calcolare la tensione.

La tensione T_2 sarà differente dalla tensione T_1 per la

⁽⁸⁾ Decreto 8/03/1999 n°58, "Prescrizioni tecniche speciali per le funivie monofuni con movimento unidirezionale continuo e collegamento automatico dei veicoli; PrEn 1908, paragrafo 8.

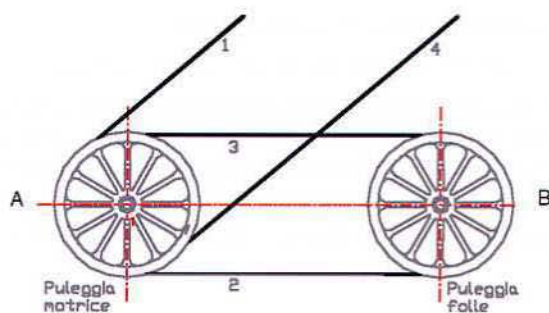


Fig. 8 – Esempio di configurazione che causa effetto paranco.

presenza della puleggia motrice (A).

Nota l'aderenza della fune sulla puleggia motrice, il valore massimo che la tensione T_2 può assumere sarà:

$$T_2 = T_1 \cdot e^{\alpha_1}$$

con α_1 primo angolo di avvolgimento sulla puleggia motrice.

Analogamente avremo che la tensione T_3 non potrà mai superare il valore:

$$T_3 = T_4 \cdot e^{\alpha_2}$$

con α_2 secondo angolo di avvolgimento sulla puleggia motrice.

Dato che la puleggia B è folle, le tensioni T_2 e T_3 sono uguali. Quindi T_2 e T_3 non potranno superare il valore minimo fra $T_1 \cdot e^{\alpha_1}$ e $T_4 \cdot e^{\alpha_2}$. La massima forza paranco teoricamente possibile si trova calcolando per le condizioni più impegnative di funzionamento dell'impianto i valori sopra scritti, considerando volta per volta il valore minore fra i due.

1.19. Dimensionamento dell'argano

Avendo fissato, nella fase di programmazione del servizio, la velocità di picco per ciascuna tratta, è immediato calcolare la velocità di rotazione della puleggia motrice

$$\omega = \frac{V_p}{\frac{d_1 + d_f}{2}} \quad (10)$$

dove:

- ω = velocità [radianti/s] della puleggia motrice,
- V_p = Velocità di picco della tratta,
- d_1 = diametro di fondo gola della puleggia motrice,
- d_f = diametro della fune.

Quindi la velocità, in giri/minuto, sarà

$$n = \frac{60 V_p}{2\pi \frac{d_1 + d_f}{2}} \quad (11)$$

Per poter calcolare la velocità n_{mot} dei motori elettrici è necessario determinare il valore del rapporto di riduzione, τ

$$n_{mot} = n \cdot \tau \quad (12)$$

1.19.1 Masse lente e masse veloci

In questa fase del progetto occorre sommare alle forze d'inerzia considerate finora le forze d'inerzia dovute ai componenti dell'argano (puleggia motrice, giunti, riduttore, motore). Il calcolo delle forze di inerzia complessive viene compiuto calcolando la massa equivalente al momento d'inerzia J delle singole componenti dell'argano, tutto riferito alla periferia della puleggia motrice.

Al momento di iniziare il dimensionamento non è ancora noto il valore esatto del momento d'inerzia relativo ai componenti dell'argano. Viene quindi attribuito al fattore J un valore orientativo per calcolare la massa equivalente di primo tentativo

$$m'' = J \cdot \tau^2 / R^2$$

dove $R = \frac{d_1 + d_f}{2}$ = raggio primitivo della puleggia motrice.

Il valore di m'' di primo tentativo è utilizzato solo per iniziare il processo iterativo e può essere anche significativamente diverso dal valore definitivo. Una volta scelte le caratteristiche del motore, del riduttore e dei giunti, si utilizzeranno i momenti di inerzia forniti dai costruttori per calcolare il valore di m'' .

1.19.2 Scelta del riduttore

Il riduttore deve assicurare il rapporto di riduzione τ , il cui valore esatto, in questa fase di progetto, non è noto. Pertanto anche a τ viene inizialmente attribuito un valore di primo tentativo. Poiché la condizione di esercizio peggiore per il riduttore si ha con funzionamento a due motori alla velocità di picco, la scelta del riduttore è vincolata alle tre relazioni

$$P_n > F_s \cdot P \quad (13)$$

$$P_n > P_{max} \quad (14)$$

$$P_1 > \frac{P_{eq}}{S/b} \quad (15)$$

dove:

P_n = potenza nominale del riduttore;

F_s = fattore di servizio pari a 1.5-2 (garanzia di durata minima 50.000 /100.000 ore)⁽⁹⁾;

P = potenza che devono fornire i motori in fase di spunto con vettura che parte carica da valle (funzionamento con due motori);

P_{max} = potenza che devono fornire i motori in fase di spunto con vettura che parte carica in salita sulla massima pendenza (funzionamento con due motori);

P_t = potenza termica del riduttore;

P_{eq} = potenza termicamente equivalente relativa al ciclo di lavoro più gravoso (vettura in spunto che parte carica da valle con funzionamento a due motori);

s = fattore temperatura d'ambiente pari a 0.88 tra 25° e 35° (indicazioni "Poma Italia");

b = fattore d'uso, pari a 1 per un funzionamento 16h/giorno e 4000h/anno (indicazioni "Poma Italia");

Si procede quindi al calcolo di tutti i termini e si sceglie un riduttore le cui caratteristiche rispondano alle suddette tre relazioni. Il valore di τ scelto e l'inerzia dell'argano scelto rispondente alle caratteristiche vengono inseriti in (13) e si procede a ricalcolare il valore di m^* . Usando questo valore di m^* si verifica che siano sempre soddisfatte le condizioni (13), (14), (15).

Noto il riduttore scelto, quindi il valore di τ , è possibile calcolare la velocità di rotazione dei motori usando la (11) e la (12).

1.20. Scelta dei motori

La scelta dei motori deve basarsi sul rispetto di due vincoli

$$P_n > P_{eq} \quad (16)$$

$$C_n > C_{max}/1.8 \quad (17)$$

Il valore di 1.8 è introdotto poiché - per sue le caratteristiche costruttive - un motore può fornire in genere una coppia massima pari a 1.8 volte la sua coppia nominale.

Le altre grandezze introdotte sono:

C_n = coppia nominale del motore,

C_{max} = coppia richiesta al motore con vettura carica in salita che parte in spunto sulla pendenza massima,

P_n = potenza nominale del motore,

P_{eq} = potenza termicamente equivalente relativa al ciclo di lavoro più gravoso,

n = numero di giri al minuto.

La potenza termicamente equivalente, espressa in kW,

si può ricavare usando la relazione:

$$P_{eq} = \frac{C_{eq} \cdot n \cdot 2\pi}{60 \cdot 1000}$$

Dove C_{eq} è la media quadratica dei valori istantanei di coppia nel tempo t_p di percorrenza di una tratta

$$C_{eq} = \sqrt{\sum_i \frac{(C_i^2 \cdot t_i)}{t_p}}$$

Come ciclo di lavoro più gravoso si assume normalmente quello della vettura in spunto che parte carica da valle con funzionamento a un motore.

Calcolate dalle (16) e (17) la P_n e la C_n minime, si sceglie un motore che abbia le caratteristiche opportune.

Per quanto richiesto dal Decreto del Ministero dei Trasporti e della Navigazione n° 58 del 8/03/1999 è richiesta la protezione dell'impianto contro gli eccessi di velocità con due dispositivi di sicurezza: l'uno che determina l'intervento del freno di servizio agente per mancanza di corrente, l'altro quello del freno di emergenza agente sulla puleggia motrice. Le caratteristiche di funzionamento di detti dispositivi devono essere tali da garantire che non venga comunque superata, del 10% per il primo e del 20% per il secondo, la velocità di regime dell'impianto. Almeno il secondo dispositivo deve essere comandato da un centrifugo meccanico derivante il moto direttamente dalla puleggia motrice.

Per assicurare l'affidabilità richiesta è consigliabile impiegare più di un motore: generalmente due motori, che lavorino normalmente in contemporanea. Nel caso di avaria di uno dei motori, l'altro è sufficiente per muovere i veicoli ad una velocità opportunamente ridotta ed il sistema di trasporto può comunque funzionare con prestazioni degradate. In alternativa, si può predisporre un motore di riserva che intervenga solo in caso di guasto del motore elettrico principale o in caso di mancanza di energia elettrica.

1.21. Coppie e potenze in gioco

Definita la configurazione dell'argano, si provvede a calcolare le coppie e le potenze in gioco in tre diverse situazioni:

- vettura carica in partenza dalla stazione di valle;
- vettura carica in salita in partenza dalla massima pendenza;
- vettura in discesa in frenatura sulla massima pendenza.

Il calcolo va effettuato sia nell'ipotesi di funzionamen-

⁽⁹⁾ Per impianti urbani si arriva anche a $F_s = 3 - 3.5$, con durata teorica dei rotismi e dei cuscinetti di 120.000 h.

to normale a due motori sia nel caso di anomalia con funzionamento ad un motore (a velocità ridotta). In particolare, vengono calcolate le coppie a livello puleggia motrice e motore, nonché la potenza richiesta al motore nelle suddette tre condizioni. I risultati devono essere coerenti alle caratteristiche di coppia e potenza massima imposte in fase di scelta del motore e dell'argano.

1.22. Alimentazione elettrica

L'alimentazione elettrica è normalmente fornita dalla rete (generalmente a 15 kV). Si porta usualmente la tensione al valore di 500 V utilizzando un trasformatore per ogni motore. Un altro trasformatore è dedicato alle utenze di stazione ed alla logica dell'impianto. Una serie di batterie deve assicurare in ogni caso l'alimentazione della logica e delle utenze critiche di stazione.

I motori possono essere a corrente continua o a corrente alternata. In presenza di motori a c.a. un gruppo elettrogeno alimenta i motori in caso di caduta della rete, fornendo prestazioni degradate per il recupero dei veicoli. Nel caso di motori a c.c. possono essere previste batterie che alimentano i motori in caso di black-out, senza interruzioni del servizio. I motori sono in questo caso regolati con un chopper e le batterie necessitano di un ampio spazio. La scelta di motori a c.c. con gruppo di batterie impone quindi maggiori costi e può essere giustificata per impianti destinati al servizio in ambito urbano nei quali ha grande importanza assicurare la disponibilità anche in caso di perdita dell'alimentazione dalla rete.

1.23. Freni

Nell'esercizio dell'impianto vengono usati tre tipi di frenatura:

- elettrica;
- meccanica di servizio;
- meccanica di emergenza.

La frenatura elettrica avviene intervenendo sui motori ed è comandata dal sistema elettronico di gestione, in automatico o su comando dell'operatore.

La frenatura meccanica di servizio interviene nel caso in cui la frenatura elettrica non sia sufficiente ad assicurare il desiderato rallentamento (mancata decelerazione arresto elettrico), per guasto del motore stesso o dell'azionamento elettrico corrispondente e ad impianto fermo. Il comando dei freni deve essere ad azione negativa. La frenatura di servizio viene modulata dal sistema di frenatura regolando continuamente l'azione della forza antagonista per ottenere la frenatura voluta.

Il freno d'emergenza interviene nel caso venga segnalata un'insufficiente decelerazione durante la frenatura di

servizio (mancata decelerazione del servizio). E' generalmente realizzato con un dispositivo del tutto analogo al freno di servizio.

In taluni casi può essere opportuno adottare un sistema frenante d'emergenza supplementare sulle ruote dei convogli. Quando viene azionato questo dispositivo, l'impianto deve bloccarsi e devono azionarsi anche i dispositivi frenanti sulla puleggia motrice.

1.24. Giunto lento

Il giunto lento collega l'albero di uscita del riduttore con la puleggia motrice. Va dimensionato considerando la coppia massima trasmessa. Si verifica che sia rispettata la condizione⁽¹⁰⁾

$$C_n > C_{pul}$$

con:

C_n = coppia nominale del giunto lento,

C_{pul} = coppia massima trasmessa alla puleggia motrice in condizione di vettura che parte carica in salita sulla massima pendenza.

1.25. Verifica del cardano

Anche in questo caso, si esegue solo una verifica alla coppia. In particolare si verifica che⁽¹¹⁾

$$C_n > C_{mot}$$

dove:

C_n = coppia nominale del cardano

C_{mot} = coppia al motore in condizione di vettura che parte carica in salita sulla massima pendenza.

1.26 Allungamento della fune

Durante la vita dell'impianto, la fune modifica la sua lunghezza per cause termiche o meccaniche ed in modo permanente o temporaneo.

Allungamento elastico

L'allungamento elastico si valuta partendo dalla nota relazione

$$\Delta L = \frac{\Delta p \cdot L_0}{E \cdot A} \tag{18}$$

⁽¹⁰⁾ Negli impianti urbani e con funzionamento a va e vieni è bene sovradimensionare tali organi, per esperienza mai sotto 1.5 C_{pul} .

⁽¹¹⁾ Cfr. nota 10, in modo analogo.

dove:

L_0 è la lunghezza della fune indeformata,

E è il modulo elastico della fune,

A è la sezione della fune,

Δp è la variazione di tensione.

Per calcolare il valore di L_0 si parte dalla lunghezza del ramo dell'anello L e si considera che questa sia somma di L_0 e del ΔL dovuto al Δp della tensione della fune nuda montata sull'impianto, dato dal gruppo di tensionamento e dal peso della fune.

Nel caso di tenditore a valle abbiamo

$$L_0 = \frac{L}{\left(1 + \frac{T + 1/2 \cdot p_{fune} \cdot \Delta h}{E \cdot A}\right)} \quad (19)$$

mentre nel caso di tenditore a monte sarà

$$L_0 = \frac{L}{\left(1 + \frac{T - 1/2 \cdot p_{fune} \cdot \Delta h}{E \cdot A}\right)}$$

dove:

T tensione al tenditore,

p_{fune} il peso al metro della fune,

Δh il dislivello fra stazione di monte e stazione di valle,

L la lunghezza del ramo dell'anello.

Una volta determinata la lunghezza della fune indeformata L_0 si calcolano i ΔL elastici dei vari casi di funzionamento dell'impianto usando la (18).

Allungamento termico

L'allungamento termico si valuta sulla base dell'escursione termica prevista nell'arco di una giornata. L'entità dell'escursione termica dipende dalla località nella quale è situato l'impianto e dalle caratteristiche del tracciato; se, per esempio, la via di corsa è in galleria, l'escursione termica è minore. Il valore dell'allungamento termico si valuta con la nota formula

$$\Delta L_{termico} = L_0 \cdot \Delta T_{temperatura} \cdot \chi_{termico}$$

La somma di $\Delta L_{elastico}$ e $\Delta L_{termico}$ più sfavorevole fornisce la corsa massima del cilindro idraulico, limitata da blocchi di fine corsa e dispositivi di allarme per ragioni di sicurezza.

Allungamento permanente

Durante il suo esercizio, la fune subisce degli allungamenti non elastici permanenti, limitati ad un valore mas-

simo dal costruttore della fune⁽¹²⁾.

La somma di allungamento elastico, termico e permanente è la corsa minima della slitta necessaria ad assicurare il corretto funzionamento del tenditore per tutta la vita tecnica dell'impianto. Nel caso non sia possibile assicurare questa corsa, sarà necessario procedere ad un accorciamento della fune con una nuova impalmatura durante la vita dell'impianto.

1.27. Tenditore

Per il corretto funzionamento dell'impianto è necessario assicurare che la tensione ad un estremo dell'anello sia costante e controllata. Il gruppo tenditore ha inoltre il compito di recuperare gli allungamenti della fune. Può essere realizzato con un contrappeso oppure con un cilindro idraulico. Vanno previsti blocchi di fine corsa, spostabili nel corso della vita dell'impianto.

In caso di rottura del sistema idraulico, il calo della pressione nel cilindro deve essere rallentato da apposite valvole che svolgano il ruolo di dissipatori paracadute per evitare che il tenditore e la puleggia urtino violentemente contro il fine corsa. In caso di perdita completa della pressione idraulica deve essere ancora verificata l'aderenza nella condizione di frenata d'emergenza di vettura in discesa carica con una decelerazione di 0.6 m/s². Dato che sono note le caratteristiche della fune e lo spostamento, finché si rimane in campo elastico la tensione con cilindro idraulico a fine corsa è calcolabile come

$$T_{finecorsa} = \Delta P_{fune} = T - \frac{\Delta L}{L_0} \cdot E_{fune} \cdot A$$

Dove T è la tensione che si riscontrava prima che la slitta si spostasse del tratto ΔL fino al fine corsa per la perdita della pressione idraulica. Si verifica allora che $T/t < e^{f\theta}$.

Mentre l'aderenza in frenatura deve essere garantita anche in caso di perdita di tenditore a fine corsa, per la condizione di aderenza in spunto è previsto che un dispositivo ad azionamento manuale possa intervenire per ripristinare il valore di tensione sufficiente a soddisfare la condizione di aderenza fune con vettura carica nel punto di massima pendenza.

⁽¹²⁾ I valori indicativi di allungamento delle funi a trefoli sono pari a circa 0.2% nelle prime 500 ore di funzionamento e 0.3% nelle prime 1500 ore di funzionamento. Tali valori possono essere ridotti del 50% su funi prestirate.

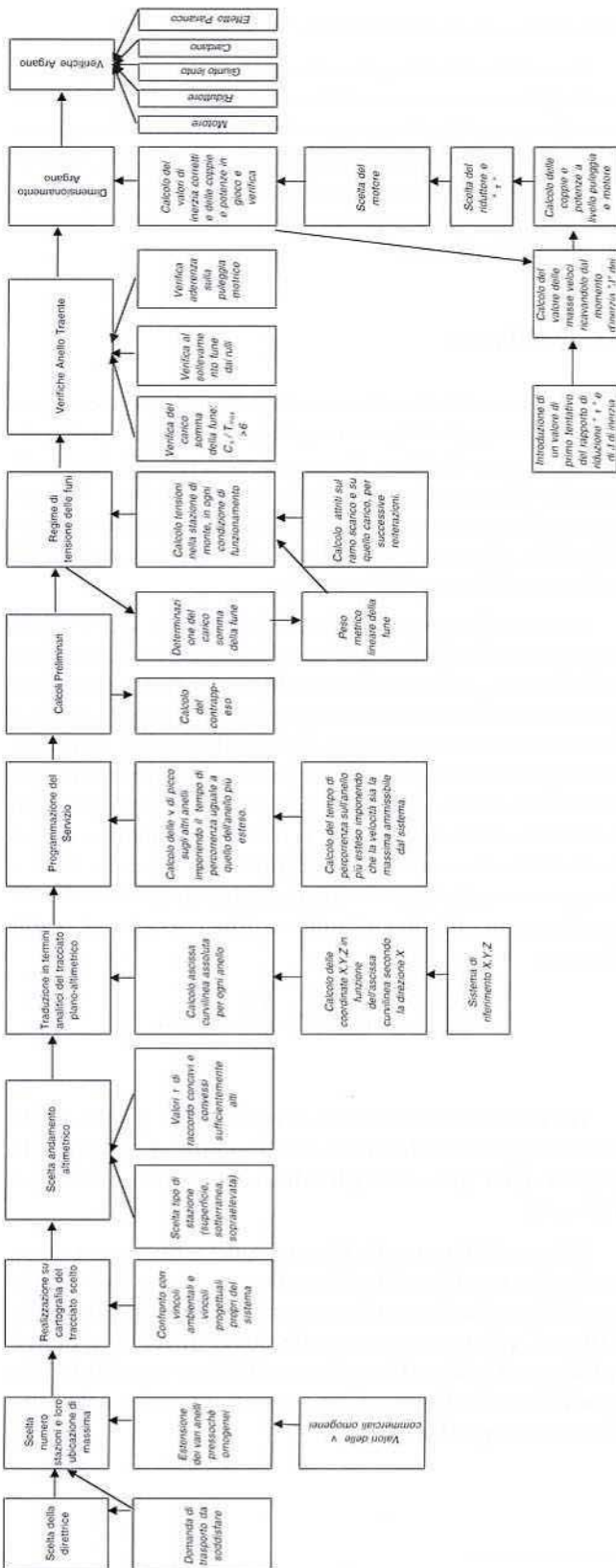


Fig. 9 – Schema metodologia progettuale di sistemi automatici per il trasporto persone di derivazione funiviaria (APM).

1.28. Schema del processo progettuale

Lo schema riportato in fig. 9 riporta la metodologia progettuale di sistemi automatici per il trasporto persone di derivazione funiviaria (APM); si evidenziano in particolare i processi iterativi necessari per la scelta della fune e per il dimensionamento dell'argano.

1.29. Sicurezza nei sistemi automatici per il trasporto persone

Nei sistemi di trasporto automatici per il trasporto di persone (APM) in genere, l'elevato livello di automazione sposta la gestione della sicurezza dagli operatori umani ai sistemi dell'impianto. Di conseguenza le modalità di progettazione e collaudo devono essere opportunamente adeguate alla nuova situazione [7, 9].

Tutti gli impianti utilizzati nei sistemi di trasporto per sostituire o aiutare gli operatori ad assicurare la sicurezza della circolazione adottano soluzioni che, in caso di guasto di una parte dell'impianto, garantiscono un degrado delle prestazioni senza pregiudicare la sicurezza.

Negli impianti automatici di derivazione ferroviaria, il distanziamento dei veicoli in linea in sicurezza è un aspetto molto importante e spesso critico. Il distanziamento dei veicoli negli impianti di derivazione funiviaria è affidato alla fune. Negli impianti ad ammassamento mobile, per il corretto distanziamento, è necessario che la posizione di ammassamento del veicolo sulla fune sia corretta e comunque controllata.

Nell'ambito delle funzioni che coinvolgono la sicurezza del sistema, la norma UNIFER-UNI 10257 distingue fra funzione vitali e funzioni essenziali.

Per ciascuna *funzione* che concorre all'attuazione del sistema si deve provvedere all'esame degli *obiettivi* che essa persegue, quindi valutare se gli stessi abbiano attinenza con la sicurezza del sistema; in caso affermativo si provvede ad un'ulteriore verifica esaminando gli effetti sul sistema di un indebito annullamento della funzione considerata isolatamente. Nel caso che tale annullamento determini eventi che compromettano direttamente la sicurezza del sistema, la funzione deve essere considerata vitale. Funzione essenziale è invece una funzione la cui mancanza può compromettere la sicurezza del sistema solo se in concorso con altri eventi.

Un modo per quantificare la sicurezza è la probabilità dell'insorgere dell'evento oggetto dell'analisi, data dal prodotto delle probabilità singole del verificarsi dell'avaria, del guasto pericoloso, dell'incidente o della sequenza di incidenti. Conseguendo un'elevata affidabilità [2, 3] dei singoli componenti del sistema si ottiene un livello molto basso di probabilità che il guasto pericoloso si manifesti. Questo livello di elevata affidabilità deve essere mantenu-

Sotto-sistema	Deviazione	Effetto dannoso	Causa	Eventi
Controllo posizione veicolo	Mancato funzionamento del sistema continuo di controllo posizione veicolo	Incertezza sulla posizione del veicolo in alcuni tratti	Guasto encoder su puleggia motrice/puleggia di rinvio	Sicurezza del sistema affidata ai sensori fissi.
	Mancato o incorretto funzionamento del sistema di posizionamento discreto	Segnale di posizione non corrispondente al segnale di posizionamento continuo	Guasto sensori o centraline	Incertezza sulla posizione del veicolo nei tratti critici
Fine corsa	Mancata segnalazione fine corsa di stazione	Superamento fine corsa	Avaria sensore di fine corsa sul tracciato e controllo posizione veicolo su puleggia motrice	Superamento fine corsa con danneggiamento fune ed urto
Gruppo argano	Guasto ai due dei motori/riduttori	Impossibilità di continuare la corsa	Avaria motore, rottura elementi del riduttore o della trasmissione	Vettura bloccata. Necessità di soccorso passeggeri
Fune	Perdita collegamento fra fune e veicolo	Impossibilità di frenatura meccanica ed elettrica.	Rottura fune o morsa	Veicolo fuori controllo. Necessità di frenatura sulle ruote
	Aderenza fune/morsa insufficiente	Scorrimento fra fune morsa	Rottura molle della morsa o deformazione componenti. Errori non rilevati all'ammorsamento	Danneggiamento fune e morsa. Possibile un imminente disammorsamento
Sistema di comunicazione col veicolo	Segnale assente o disturbato	Mancata comunicazione fra veicolo e centro di comando	Rottura antenna sulla via di corsa o su veicolo. Avaria apparecchiature di bordo o in centrale	Non c'è comunicazione. Non può essere comandata la frenatura sulle ruote in caso di necessità

Fig. 10 – Esempio di semplice analisi delle modalità ed effetti dei guasti di sottosistemi tipici in un impianto di derivazione funiviaria.

to per tutta la vita dell'impianto seguendo programmati interventi manutentivi. Un ulteriore miglioramento si ottiene prevedendo la ridondanza⁽¹³⁾ dei componenti con ruolo vitale per il funzionamento del sistema.

La corretta individuazione della probabilità di guasto degli impianti rappresenta la maggiore difficoltà nella valutazione di affidabilità di un sistema di trasporto.

Tenendo presente questa difficoltà, occorre rivolgere particolare attenzione agli impianti necessari alla sicurezza. Questi impianti devono essere *fail-safe*, cioè sicuri in caso di guasto [11]. Nei sistemi di controllo dei veicoli, un guasto dell'apparecchiatura deve portare ad una situazione più restrittiva, quindi a prestazioni del servizio degradate, ma in sicurezza. Il degrado delle prestazioni può giungere fino all'arresto immediato dell'impianto, se la situazione lo richiede.

Al verificarsi di un'avaria il passaggio alla situazione di prestazioni ridotte, o all'arresto, deve avvenire immediatamente.

Le caratteristiche *fail-safe* dei sistemi evitano che eventuali guasti portino a situazioni pericolose, ma la presenza di ridondanze o dispositivi aggiuntivi può incrementare il numero di componenti soggetti a guasti e di conseguenza aumentare i tempi di fermo impianto. Per questo motivo, oltre alla sicurezza del sistema, va curata l'affidabilità, al fine di minimizzare la perdita di disponibilità⁽¹⁴⁾ dell'impianto.

⁽¹³⁾ Le ridondanze permettono di ridurre le probabilità che si verifichino danni pericolosi, ma hanno evidente incidenza sui costi di realizzazione.

⁽¹⁴⁾ La disponibilità misura per quale percentuale del tempo un impianto è efficiente e disponibile. La disponibilità sarà funzione del tempo medio intercorrente fra i guasti e del tempo medio di riparazione dei guasti.

In fig. 10 si riporta a puro titolo esemplificativo la traccia di un'analisi FMEA (*Failure Mode, Effect Analysis*) di alcuni sottosistemi caratteristici di un semplice impianto automatico di derivazione funiviaria.

2. Normativa di riferimento

In considerazione della tipologia innovativa dei sistemi di trasporto automatici di derivazione funiviaria ed in mancanza di una regolamentazione precisa, occorre attenersi alle leggi e regolamenti che più si avvicinano agli impianti in analisi, ovvero quelle che regolano il trasporto funiviario e relative agli impianti metropolitani. Le normative che trovano applicazione sono, in particolare:

- D.P.R. n° 1367, 18/10/1957, Gazzetta Ufficiale 6 febbraio 1958, n. 32. "Regolamento generale per le funicolari aeree in servizio pubblico destinate al trasporto di persone" e successive prescrizioni tecniche;
- D.M. n° 1235, 7/7/1960, ed aggiornamenti successivi: "Prescrizioni Tecniche Speciali per le funivie monofuni con movimento unidirezionale continuo a collegamento automatico dei veicoli";
- D.M. 13/11/1975, "Estensione alle funicolari terrestri della normativa tecnica concernente le funivie e le ferrovie";
- Decreto n°400, 4/8/1998, del Ministero dei Trasporti e della Navigazione (poi Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti), Gazzetta Ufficiale 23 novembre 1998, n. 274: "Regolamento generale recante norme per le funicolari aeree e terrestri in servizio pubblico destinate al trasporto di persone";
- Decreto del Presidente della Repubblica n. 1367, 18.10.1975, "Prescrizioni tecniche speciali per le funivie bifuni";
- Decreto n°58, 8/3/1999, del Ministero dei Trasporti e della Navigazione (poi Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti), "Prescrizioni Tecniche Speciali per le funivie monofune con movimento unidirezionale continuo e collegamento temporaneo dei veicoli";
- CNR-UNI 10011, "Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione", giugno 1988;
- CNR, B.U. 22/11/94 n° 171, parte IV "Calcolo costruzione e controllo degli alberi";
- UNI 8634: 1985, "Strutture di leghe di alluminio. Istruzioni per il calcolo e l'esecuzione", 31 dicembre 1985;
- UNI 7605: 1976, "Metropolitane. Illuminazione nell'in-

- terno delle carrozze. Caratteristiche generali e prove", 30 novembre 1976;
- UNI- UNIFER 7360: 1974, "Metropolitane - Distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile e interbinario";
- UNI 8379: 2000, "Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana, metropolitana leggera, tranvia veloce e tranvia) - Termini e definizioni", 30 aprile 2000;
- UNI 8882: 1998 "Veicoli per metropolitana e metropolitana leggera - Modalità per l'apertura e la chiusura delle porte - Requisiti di sicurezza", 28 febbraio 1998
- UNI 8882: 1986, "Veicoli per metropolitane e metropolitane leggere. Modalità per l'apertura e la chiusura delle porte. Requisiti di sicurezza", gennaio 1986;
- UNI 8897: 1987, "Vetture tranviarie. Impianti frenanti.", 31 marzo 1987;
- UNI 8944: 1986, "Materiale rotabile per sistemi di trasporto leggeri su rotaie in aree urbane. Dimensioni, caratteristiche e prestazioni.", 31 gennaio 1986;
- UNI 9153: 1988 + A1:1990, "Materiale rotabile per metropolitane. Requisiti generali del sistema frenante delle metropolitane", 1 marzo 1988;
- UNI 9750: 1990, "Materiale rotabile per metropolitane. Frenatura di stazionamento", 31 luglio 1990;
- UNI 10203: 1993, "Metropolitane. Recupero dei viaggiatori da treni immobilizzati in linea", 1 aprile 1993;
- UNI 10257: 1993, "Gestione automatica dei sistemi di trasporto di tipo metropolitano. Requisiti essenziali relativi alla guida automatica senza macchinista a bordo", 31 luglio 1993;
- EN 12930: 2004, "Safety requirements for cableway installations designed to carry persons - Calculations", ICS: 45.100 Cableway equipment;
- EN 12927-2:2004, "Safety requirements for cableway installations designed to carry persons - Ropes - Part 2: Safety factors", ICS: 45.100 Cableway equipment;
- EN 12927-7:2004, "Safety requirements for cableway installations designed to carry persons - Ropes - Part 7: Inspection, repair and maintenance" ICS: 45.100 Cableway equipment;
- EN 13223:2004, "Safety requirements for cableway installations designed to carry persons - Drive systems and other mechanical equipment", ICS: 45.100 Cableway equipment;
- EN 1908:2004, "Safety requirements of cableway installations designed to carry persons - Tensioning devices", ICS: 45.100 Cableway equipment;
- EN 1909:2004 "Safety requirements for cableway installations designed to carry persons - Recovery and evacuation" ICS: 45.100 Cableway equipment;
- prEN 13796-2, "Safety requirements for passenger transportation by rope - Slipping resistance tests for grips", novembre 2002;

- prEN 13796-1, "Safety requirements for passenger transportation by rope - Grips, carrier trucks, on board brakes, cabins, chair, carriages, maintenance carriers", novembre 2002.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Aa.Vv. (2005), "Sistemi di Trasporto collettivo avanzati in aree urbane e metropolitane: classificazioni e applicazioni", Programma di ricerca di rilevante interesse nazionale del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, Università di Roma "Tor Vergata", Università della Calabria, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Università di Roma Tre, Anno 2002, Laruffa editore.
- [2] S. CHIESA (1990), *Affidabilità sicurezza e manutenzione nel progetto di sistemi*, Editrice Clut, Torino.
- [3] P. CITI, G. ARCIDIACONO, G. CAMPATELLI (2003), *Fondamenti di affidabilità*, McGrawHill.
- [4] E. COCCIA (1990), *Sistemi innovativi per il trasporto collettivo a breve distanza e tutela ambientale*, Convegno "Urbania: mobilità e viabilità urbana", Padova 25/02-01/03/1990.
- [5] A. CROTTI (1978), *Gli impianti a fune*, Editrice Clut, Torino.
- [6] A. CROTTI, B. DALLA CHIARA (2000), "Sistemi di trasporto pubblico locale non convenzionali (APM): criteri per l'adottabilità e metodologie di valutazione comparativa", Atti del Convegno SIDT 1999 - "Metodi e modelli per l'analisi e la progettazione di sistemi di trasporto pubblico locale", Politecnico di Milano (26-27 ottobre 1999), in *Metodi e Modelli per il trasporto pubblico locale*, a cura di C. Podestà e R. Maja, pagg. 247-263, Franco Angeli, Milano.
- [7] B. DALLA CHIARA - a cura di (2004), *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, anno 137, ISSN 0004-7287, pp. 1-210, gennaio-febbraio 2004.
- [8] B. DALLA CHIARA, V. VITALI (2004), *Cableway Design Package (C.D.P.) - Software package and Users' handbook / Software impianti a fune (S.I.F.) - Pacchetto software e Manuale dell'utente*, pp. 1-127, Politecnico di Torino - DITIC.
- [9] P. GRAZIANO (2004), "Impianto integrato orizzontale - verticale di trasporto a fune in servizio pubblico", in *Innovazione nei Trasporti - Sistemi a guida vincolata e servizi a chiamata per il trasporto a breve e media distanza*, II parte. "Prospettive del trasporto a guida vincolata con trazione fune", Dalla Chiara B. (a cura di), Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, LVIII 1-2, anno 137, ISSN

- 0004-7287, pp. 115-122, gennaio-febbraio 2004.
- [10] F. LEVI (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*, II parte. "Prospettive del trasporto a guida vincolata con trazione fune", B. DALLA CHIARA (a cura di), Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, LVIII 1-2, anno 137, ISSN 0004-7287, pp. 138-142, gennaio-febbraio 2004.
- [11] M. LIBERATORE (1994), *Sistemi di trasporto di massa e tecnologie innovative*, Masson Editore, Milano –I.
- [12] G. MANAFOGLIO (1998), "I sistemi a navetta Poma 2000 e M-Bann Dorthumnd", Quaderno ATM, maggio 1998.
- [13] G. ROSSETTI, G. DE ROSA, G. CASTRO, A. DI MACCO, M. MALAVOLTI (1979), "Sistemi di trasporto urbano di medie capacità caratterizzati dall'impiego di nuove tecnologie" C.E.R.T.U.M., Roma-Italia.
- [14] Transystem (1988), "Sistemi innovativi di trasporto", documento interno, maggio 1988.
- [15] Transystem (1989), "Sistemi innovativi di trasporto per le aree urbane: caratteristiche e comparazioni", documento interno, aprile 1989.
- [16] V. R. VUCHIC (1981), "Urban public transportation-Systems and technology", Prentice – Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey- USA

Sommaire

UN METHODE DE PROJET DES SYSTEMES AUTOMATIQUES POUR LE TRANSPORT DES PERSONNES PHYSIQUES (APM) BASEE SUR LE MODELE DES FUNICULAIRES

L'article concerne les nouveaux systèmes de transport des personnes physiques à automatisation intégrale, en place complètement réservée, connus en littérature comme APM («Automated People Movers»), en se référant particulièrement aux systèmes de traction par câble.

Le but de l'article est de décrire de façon synthétique les principes procédurales et les normes techniques auxquels se référer dans le projet global d'un système de transport non conventionnel sur le modèle des funiculaires.

L'expérience internationale dans la matière est relativement limitée puisque les infrastructures réalisées jusqu' à présent sont peu nombreuses. Toutefois l'expérience accumulée est suffisante pour tracer certains principes guide pour le projet de telles infrastructures.

Summary

PROCEDURES FOR AUTOMATED SYSTEMS FOR PUBLIC TRANSPORT (APM) DERIVED FROM A CABLEWAY INSTALLATION

The paper deals with new entirely automated systems for public transport, operating along completely protected runways, also known in literature as APM (Automated People Movers), with particular reference to rope transport systems.

The aim of the article is to trace, in a synthetic way, the basic procedures and the main standards for reference when making the general design of a non-conventional system derived from a cableway installation.

The international experience on this subject is relatively limited since the transport installations constructed so far are relatively few. Still, the accumulated experience maybe considered adequate to trace the main guidelines for the design of this kind of systems.

Zusammenfassung

METHODE ZUR PLANUNG VON AUTOMATISIERTEN PERSONENTRANSPORTSYSTEMEN (APM) IN KABELBAHNAUSFÜHRUNG

Der Beitrag behandelt vollautomatische Personentransportsysteme auf eigenständigen Anlagen, die in der Literatur als APM (Automatid People Movers) bekannt sind, unter besonderer Berücksichtigung von Seilbahnsystemen.

Es werden darin die Verfahrensgrundlagen und die technischen Normen behandelt, auf die beim Entwurf unkonventioneller Transportsysteme in Seilzugtechnik Bezug zu nehmen ist.

Die internationalen Erfahrungen auf diesem Gebiet sind begrenzt, da die bisher erstellten Anlagen nicht sehr zahlreich. Dennoch genügen sie, um einige Leitprinzipien für die Planung solcher Anlagen zu entwerfen.