POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Ferrovie a cremagliera o a dentiera

Original
Ferrovie a cremagliera o a dentiera / DALLA CHIARA, B., Pelissero, F.. - In: INGEGNERIA FERROVIARIA. - ISSN 0020-0956. - LXII:(2007), pp. 325-334.

Availability:
This version is available at: 11583/1629903 since:

Publisher:
CIFI

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)

14 October 2026

Ferrovie a cremagliera o a dentiera

Prof. Ing. Bruno Dalla Chiara[*], *Ing. Federica Pelissero*

1. Premessa

L'articolo riporta un'analisi delle cremagliere o ferrovie a dentiera, sistemi di trasporto ad impianto fisso per il superamento di rilevanti pendenze e talvolta lunghe distanze, anche dell'ordine delle decine di chilometri. Vengono inizialmente analizzate le caratteristiche generali delle ferrovie a cremagliera, quali la pendenza, le lunghezze delle linee ed i dislivelli superati nei principali impianti europei ed in alcune parti del mondo. Successivamente si richiamano le tipologie di sistemi di cremagliera. Infine si riportano i principali impieghi dei vari impianti, riportando alcuni esempi di ferrovie a dentiera in esercizio.

Le ferrovie a cremagliera o a dentiera sono impianti fissi "di nicchia", per il superamento di elevate pendenze, con lunghezze di tratte molto variabili – da poche decine di metri a un centinaio di chilometri – che trovano applicazioni prevalentemente turistiche o in zone rurali.

Oltre alle ferrovie a cremagliera, l'offerta tecnologica attualmente a disposizione per il superamento di elevate pendenze è principalmente costituita da:

a. funicolari terrestri [1, 3];

b. ascensori inclinati, nel caso di brevi distanze [2];

c. impianti sospesi (le funicolari aeree, quali cabinovie, funivie e teleferiche) [1],

questi ultimi adatti a potenzialità di trasporto, dislivelli, lunghezze anche di grande entità.

Le ferrovie a dentiera [4] sono anche definite come "rotaie dentate" o, appunto, cremagliere; quest'ultimo termine deriva dal francese *crémaillère* ("catena del focolare" o del camino), termine utilizzato in alternativa a *rail denté*; in inglese si utilizza *rack-rail*, in tedesco *Zahnradschiene*.

2. Caratteristiche generali delle ferrovie a cremagliera e tipologia di domanda servita

A fronte di un'analisi tecnica del tipo di tracciato e del mezzo più adatto ad affrontarlo, risulta in generale necessario condurre delle indagini sulla domanda di trasporto: in sostanza, sul numero di utenti che accedono al sistema, sulla modalità con cui vi accedono – regolare o casuale – e sui motivi che li spingono ad accedervi. Nel caso in questione, una prima distinzione, che può essere discriminante, è tra impianti che tradizionalmente fanno la spola tra due fermate non troppo lontane, come le funicolari o gli ascensori inclinati [5, 6], e le cremagliere, che non sono in generale impianti con veicoli che si muovono simultaneamente in senso opposto o "a va e vieni", come regolarmente accade per le funicolari. Se l'area geografica da coprire è abbastanza estesa, se ci sono più fermate ben distanziate da coprire, la frequenza di passaggio del mezzo non è eccessivamente vincolante, la scelta può cadere su una cremagliera.

Lo scenario più vicino a questa descrizione è quello di un'area montana o collinare, con molte fermate principalmente turistiche, dove non c'è necessità di raggiungere velocità sostenute o bassi tempi di percorrenza perché agli utenti interessa maggiormente godere del paesaggio e del viaggio in sé stesso, più che di un arrivo rapido a destinazione.

Non a caso, quasi tutte le cremagliere esaminate salgono sui massicci alpini, attraversando punti panoramici; spesso si tratta di veicoli "storici", gradevoli anche dal punto di vista estetico. Possiamo affermare che la cremagliera non è soltanto un mezzo di trasporto fine a sé stesso; il fine non è raggiungere il più in fretta possibile la destinazione come succede per la maggior parte dei mezzi di trasporto; conta anche come la si raggiunge. La rapidità di trasporto non è essenziale quanto un viaggio confortevole.

Questo, se da un lato è un pregio che non tutti i mezzi di trasporto possono vantare, dall'altro colloca le cremagliere in un settore di nicchia. In un'analisi di fattibilità di un impianto di trasporto su un territorio in pendenza è raro che oggi si scelga una cremagliera, se non per i suddet-

[*] Politecnico di Torino, Dipartimento DITIC –Trasporti.

ti scopi di attività turistica. L'unico scenario in cui un piccolo treno a cremagliera può ancora risultare competitivo è quello di una area montana a bassa densità di popolazione (figg. 1 e 2), un territorio impervio con continui saliscendi e necessità di coprire un percorso lungo e tortuoso con tante fermate non eccessivamente vicine. E' uno scenario che in Europa, ad oggi, risulta difficile immaginare visti gli attuali livelli di densità abitativa. Questo esclude la cremagliera dalla competizione su percorsi in pendenza di tipo "a va e vieni", per esempio il raggiungimento di un centro storico, di un luogo di culto, di qualunque destinazione posta "in alto" rispetto all'origine del viaggio ma non troppo distante da essa.

Fig. 1 - Esempio di cremaglia: applicazione in area montana (Austria).

Fig. 2 - Esempio di cremaglia: applicazione in area montana (Germania).

Lo stesso discorso vale per le piccole cremagliere adibite al trasporto di materiali utilizzate nei vigneti della Liguria e della bassa Baviera. Esse adempiono ottimamente il compito di raggiungere molti punti distribuiti sul territorio ad una certa distanza, sono in grado di superare curve e concavità, percorsi impervi ed accidentati. Naturalmente sono impianti molto limitati sulla capacità di trasporto, ma di eccellente supporto agli agricoltori.

Sulla base dell'esame di numerosi impianti a dentiera, è possibile individuarne le caratteristiche tipiche o maggiormente ricorrenti di tracciato, quali lunghezza, dislivello e pendenza.

La fig. 3 illustra le *lunghezze delle linee* superate dalle ferrovie a cremagliera prese in esame, quasi esclusivamente in Europa centrale, che vanno dai 318 m della cremagliera svizzera pre-urbana di Lausanne Gare (tracciato singolarmente breve, molto raro per una cremagliera, che unisce le stazioni di Gare, 447 m s.l.m. e Flon, 484 m s.l.m.) ai quasi 100 km del Glacier Express o Furka Oberhalp, dal nome di due passi alpini che attraversa, nuovamente in Svizzera. Si tratta di treni a cremagliera, su più tratte, che attraversano le Alpi da est ad ovest e s'inerpicano sul massiccio dello Jungfrau, il punto più alto d'Europa raggiungibile dall'uomo senza scalare, appartenente al complesso del San Gottardo, nodo di collegamento tra Zurigo e Milano.

Anche l'impianto Brig-Visp-Zermatt, molto lungo (quasi 44 km), è invero un insieme di più tronchi di linea.

La ferrovia a cremagliera più lunga al mondo è ufficialmente la Wengernalp Railway 2000, citata infatti in letteratura come la più lunga ferrovia a cremagliera "continua", cioè composta da un solo tratto, con un'estensione di 26.36 km. Essa viaggia tra le stazioni di Lauterbrunnen, Kleine Scheidegg e Grindelwald (Svizzera) ed è utilizzata anche per il trasporto di materiali.

Le ferrovie a cremagliera superano *dislivelli* di tutto rispetto (fig. 4). Il primato spetta ad una cremagliera tedesca del 1930, la Bayrische Zugspitzbahn (fig. 2), che unisce le stazioni di Garmisch alla quota di 710 m s.l.m. a quella di Zugspitze a quota 2588 m, superano cioè 1878 m con una pendenza media del 25.8%.

Le *pendenze superate* si attestano solitamente tra il 100‰ ed il 300‰ (fig. 5). Il record spetta alla cremagliera del Pilatus che, tramite il sistema Locher (fig. 15), può superare pendenze del 480‰.

La fig. 6 riporta il tracciato della cremagliera Rocher-De-Naye (Svizzera) con indicazione delle varie pendenze superate.

Nel grafico di fig. 7 si riporta lo scartamento di alcune cremagliere; si osserva che spesso è inferiore a quello di una ferrovia tradizionale a scartamento normale (1435 mm). Il valore più frequente è 1000 mm.

Per quanto riguarda lunghezza, dislivello, pendenza massima e scartamento di altre ferrovie a dentiera in altri continenti, esse sono per lo più riconducibili alle classi indicate per gli impianti esistenti in Europa. A titolo di completezza si possono citare alcuni impianti in esercizio in Giappone, Cile, India, Brasile.

Si ricordano brevemente, in Brasile, la *Estrada de Fer-*

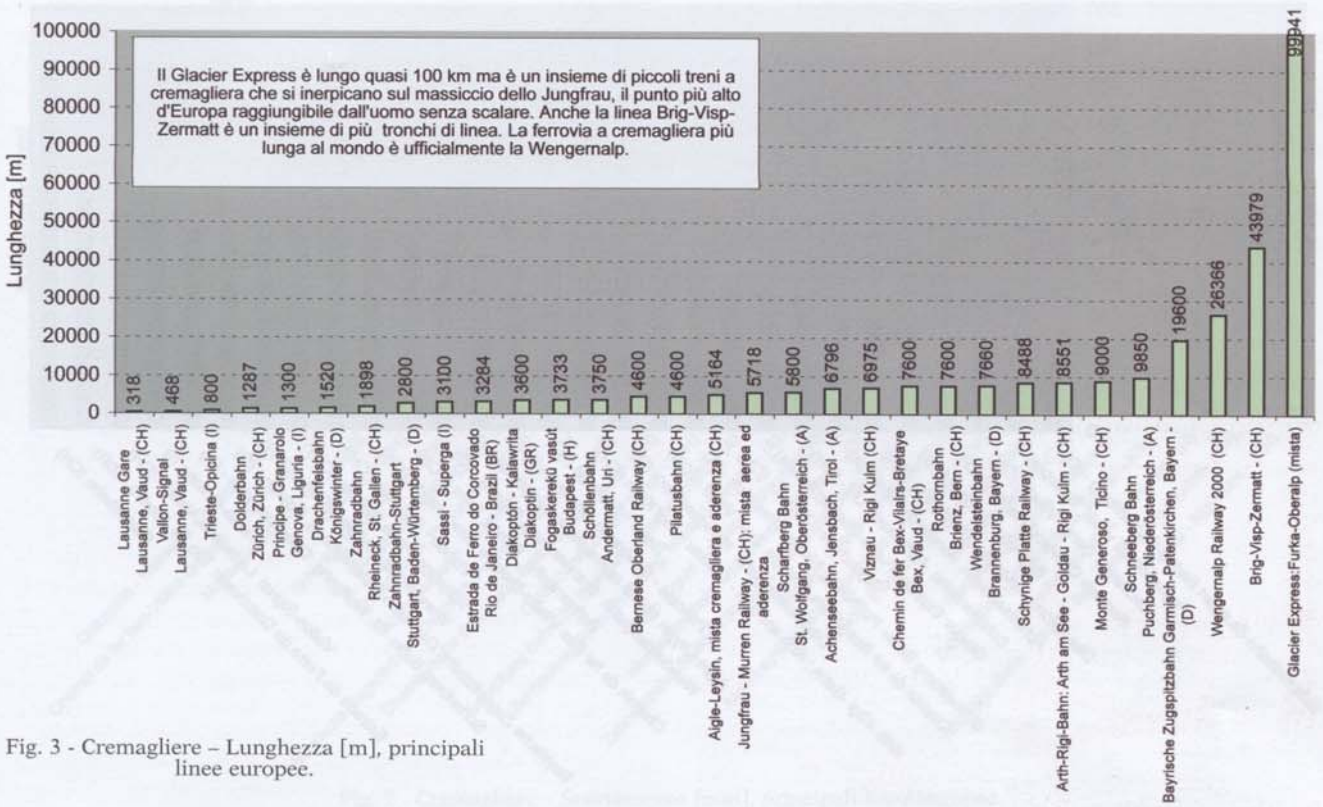

Fig. 3 - Cremagliere – Lunghezza [m], principali linee europee.

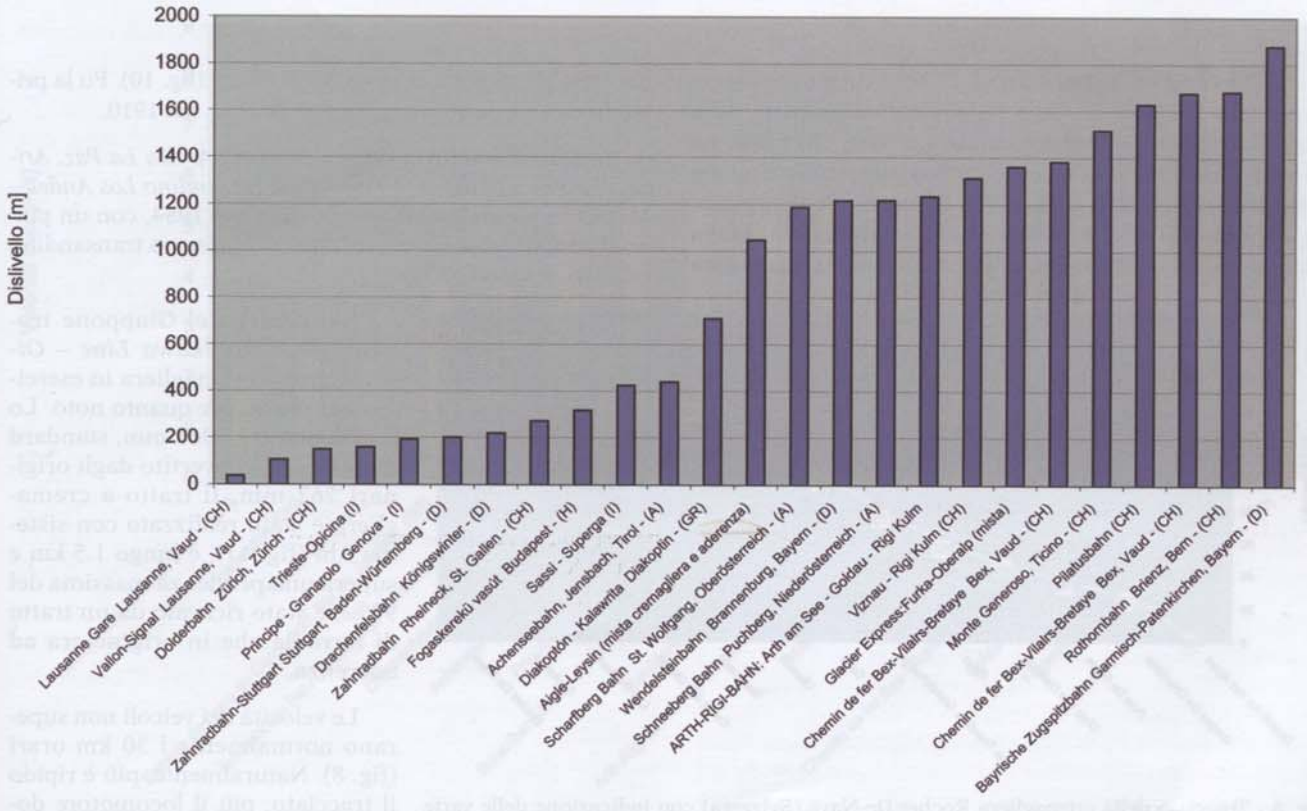

Fig. 4 - Cremagliere – Dislivello [m], principali linee europee.

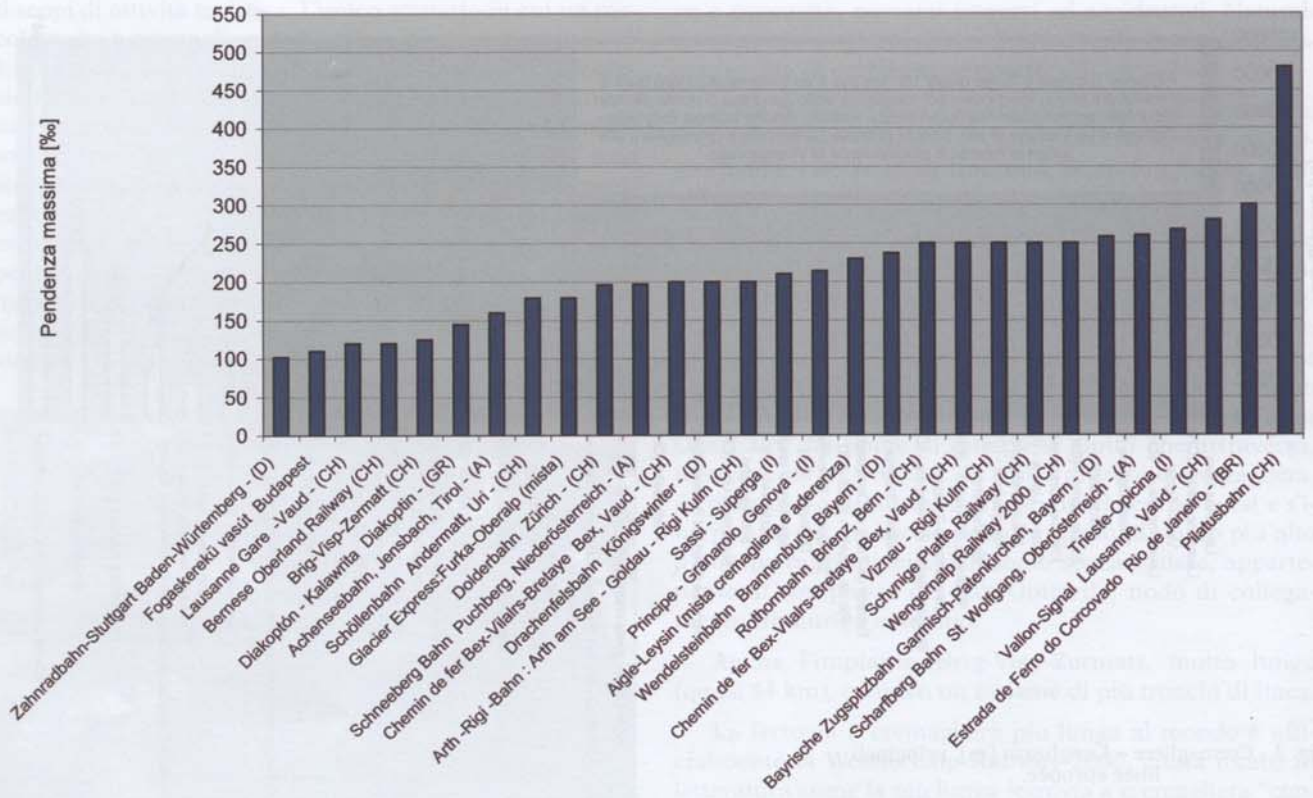

Fig. 5 - Cremagliere – Pendenza massima [‰] di alcune principali linee a livello internazionale.

ro de Corcovado e la linea *Serra do Mar*, originariamente parte della *Estrada de Ferro Santos a Jundiaí* parte della *Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima* (RFFSA). La ferrovia a dentiera *do Corcovado* è una piccola cremagliera turistica elettrica nella città di Rio de Janeiro, che raggiunge la strada del Cristo Redentore sulla sommità della collina Corcovado, ad un'altitudine di circa 710 m. Fu inaugurata nel 1884 ed adotta il sistema Riggenbach (fig. 10). Fu la prima linea ad essere elettrificata in Brasile, nel 1910.

In Cile, si citano la linea *Ferrocarill Arcica La Paz, Arica – La Paz* e l'impianto *Ferrocarril Trasandino Los Andes – Mendoza*, parzialmente smantellato nel 1984, con un piano di ricostruzione per iniziativa del governo transandino relativo al marzo 2006.

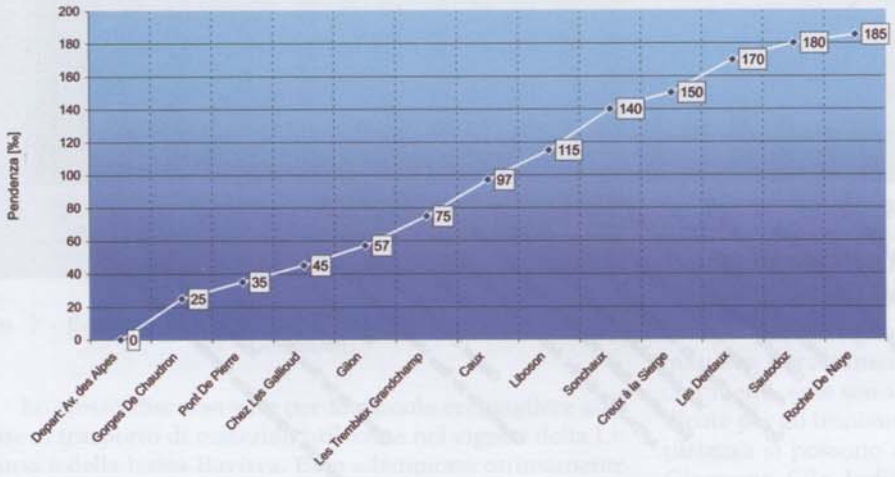

Fig. 6 - Tracciato della cremagliera Rocher-De-Naye (Svizzera) con indicazione delle varie pendenze superate.

Nel centro del Giappone troviamo la linea *Ikawa Line – Oigawa*, unica cremagliera in esercizio nel paese, per quanto noto. Lo scartamento è 1067 mm, standard giapponese, convertito dagli originari 762 mm. Il tratto a cremagliera è stato realizzato con sistema Abt (fig. 11), è lungo 1.5 km e supera una pendenza massima del 90‰; è stato ricavato da un tratto di ferrovia che in origine era ad aderenza.

Le velocità dei veicoli non superano normalmente i 30 km orari (fig. 8). Naturalmente, più è ripido il tracciato, più il locomotore dovrà procedere lentamente. La fer-

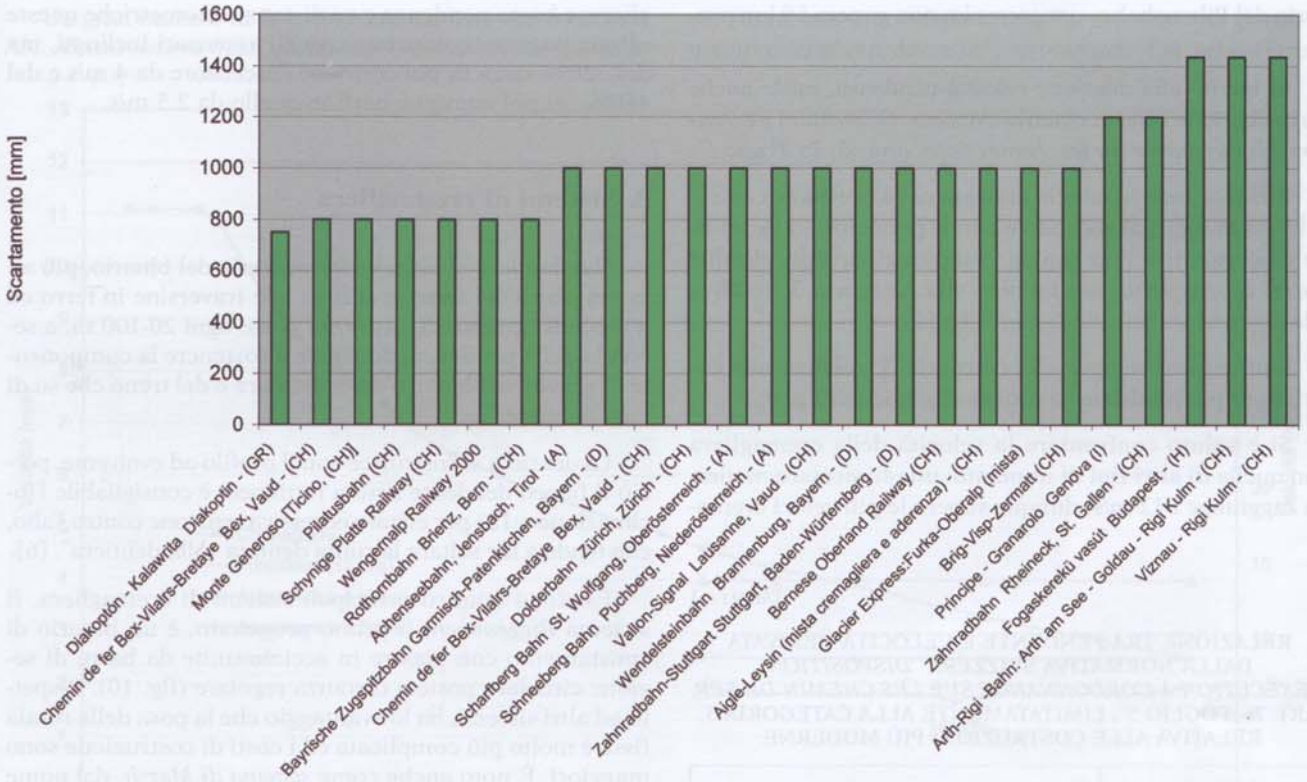

Fig. 7 - Cremagliere – Scartamento [mm], principali linee europee.

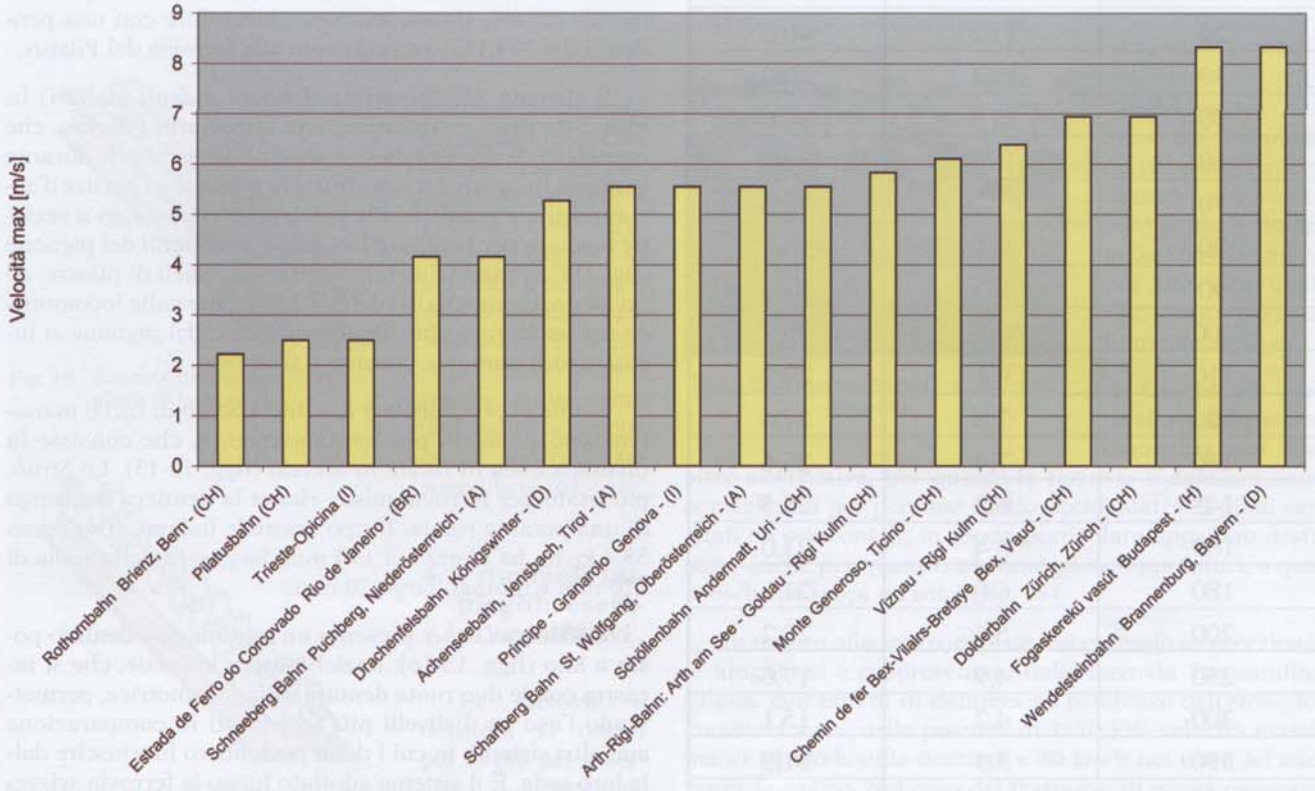

Fig. 8 - Cremagliere – Velocità [m/s], principali linee europee.

rovia del Pilatusbahn, per esempio, non supera i 9 km orari.

In merito alla relazione velocità-pendenza, esiste anche un'indicazione nella normativa svizzera *"Disposition d'éxécution à l'ordonnance sur les chemin de fer, articolo 76, Foglio 5"*.

Rielaborando la tabella indicata nella normativa con le velocità in metri al secondo e con le pendenze in ‰, al fine di consentire una rapida comparazione con gli altri mezzi di trasporto, limitandosi alla categoria 3, relativa alle costruzioni più moderne, si ha [2]:

Limitandosi sempre alla categoria 3, relativa alle costruzioni più moderne, si ottiene il grafico di fig. 9.

Si è voluto confrontare la velocità della cremagliera con quella di altri tipi di impianto: una funicolare moderna raggiunge i 12 m/s, dunque supera le più veloci cremagliere; a basse pendenze e su distanze ettometriche queste ultime possono competere con gli ascensori inclinati, ma dal 320‰ circa in poi conviene l'ascensore da 4 m/s e dal 480‰ in poi conviene perfino quello da 2.5 m/s.

TABELLA 1

RELAZIONE TRA PENDENTE E VELOCITÀ DERIVATA DALLA NORMATIVA SVIZZERA *"DISPOSITION D'ÈXÉCUTION À L'ORDONNANCE SUR LES CHEMIN DE FER*, ART. 76, FOGLIO 5", LIMITATAMENTE ALLA CATEGORIA 3, RELATIVA ALLE COSTRUZIONI PIÙ MODERNE.

Pendenza	Velocità	
‰	m/s	km/ora
20	11,1	40,0
30	11,1	40,0
50	11,1	40,0
60	10,8	38,9
70	10,0	36,0
80	9,4	33,8
90	8,9	32,0
100	8,3	29,9
110	8,1	29,2
120	7,6	27,4
130	7,4	26,6
145	6,8	24,5
160	6,4	23,0
180	6,0	21,6
200	5,6	20,2
250	4,9	17,6
300	4,2	15,1
390	3,3	11,9
480	2,5	9,0

3. Sistemi di cremagliera

"La dentiera si dispone in mezzeria del binario, più alta del piano del ferro, e si fissa alle traversine in ferro ed a speciali traverse di sicurezza poste ogni 20-100 m, a seconda della pendenza, destinate a sostenere la componente di gravità del binario della dentiera e del treno che su di essa reagisce.

La dentiera si costruisce con il profilo ad evolvente, perciò il fianco del dente risulta rettilineo; è consigliabile l'inclinazione a 15° per evitare eccessiva reazione contro l'alto, che tende a far saltare la ruota dentata sulla dentiera". [6].

Esistono quattro principali sistemi di cremagliera. Il sistema *Riggenbach*, il primo progettato, è un binario di smistamento con piastre in acciaio unite da barre di sezione circolare poste a distanza regolare (fig. 10). Rispetto ad altri sistemi, ha lo svantaggio che la posa della rotaia fissa è molto più complicata ed i costi di costruzione sono maggiori. È noto anche come *sistema di Marsh*, dal nome di Sylvester MARSH, il progettista che lo ha ideato nello stesso periodo, ed ha anche costruito la celebre ferrovia americana di Mount Washington, la prima cremagliera al mondo (1869), situata nel New Hampshire con una pendenza del 374.1‰, seconda solo alla ferrovia del Pilatus.

Il sistema *Abt* (*binario a dentiera a denti sfalsati*) fu ideato da Roman Abt, ingegnere ferroviario svizzero, che considerò di perfezionare il sistema Riggenbach durante la messa in opera. La sua struttura consiste in piastre d'acciaio dritte e parallele alle rotaie, con ingranaggi a sezione regolare per facilitare l'incastro con i denti del pignone (fig. 11). Si usano due o tre sistemi paralleli di piastre, ed un analogo numero di pignoni è presente sulla locomotrice per assicurare che almeno un dente del pignone si incastri perfettamente durante il trasporto.

Simile al precedente è il sistema *Strub* di facile manutenzione ed usato più frequentemente, che consiste in un'unica linea di rotaie in acciaio (figg. 12-13). Lo *Strub*, più usato per ferrovie miste, ricava la dentiera dal fungo di una pesante rotaia. Il tipo normale italiano (Uva) pesa 58.4 kg/m, ha altezza di 190 mm, larghezza della suola di 110 mm e il fungo largo 70 mm.

Il sistema *Locher* presenta un ingranaggio dentato posto a lato (figg. 15-16), anziché sopra le rotaie, che si incastra con le due ruote dentate della locomotrice, permettendo l'uso su dislivelli più accentuati in comparazione agli altri sistemi, in cui i denti potrebbero fuoriuscire dalla loro sede. È il sistema adottato lungo la ferrovia svizzera del Mount Pilatus, la più ripida cremagliera al mondo.

Un gran numero di ferrovie a cremagliera usa il sistema *Abt*. Alcuni *sistemi misti* utilizzano la trasmissione a cremagliera solo sui tratti di maggior dislivello, mentre in luoghi pianeggianti il trasporto avviene su rotaia tradizionale (fig. 17). In altri casi il sistema è solo a cremagliera: nonostante le apparenze, il treno non si muove sulle ruote della motrice, poiché queste generalmente sono libere [6].

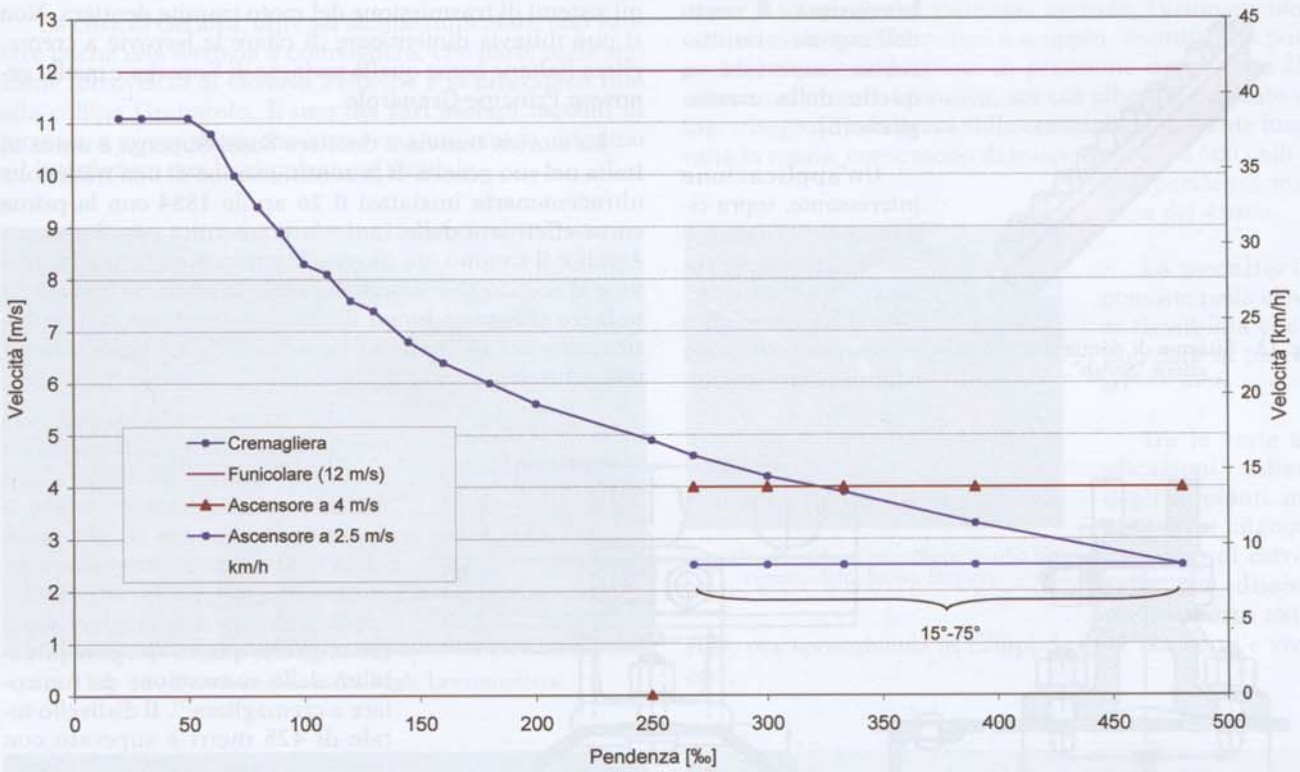

Fig. 9 - Relazione velocità – pendenza nelle cremagliere ed altri impianti.

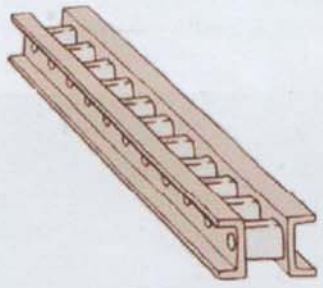

Fig. 10 - Sistema di dentiera o cremagliera "Riggenbach".

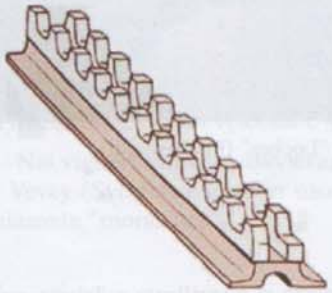

Fig. 11 - Sistema di dentiera o cremagliera "Abt".

4. Principali impieghi: esempi applicativi

Le ferrovie a dentiera si usano per lo più per il servizio passeggeri, preferibilmente estivo; l'esercizio è possibile anche in inverno, ma possibilmente disturbato da neve e soprattutto dal gelo. Hanno campo limitato, come si è avuto modo di rilevare: l'utilizzazione più razionale è forse quella nelle ferrovie miste per superare qualche tratto particolarmente acclive.

Fig. 12 - Sistema "Strub": dentiera di Superga.

L'esercizio può risultare costoso in comparazione ad altre alternative, per questo le ferrovie a dentiera sono consigliabili per percorsi molto accidentati nei piani verticali ed orizzontali; in modo particolare appaiono destinate, anche per quanto concerne gli sviluppi futuri, a quasi esclusivi scopi turistici (fig. 18).

In merito alle ferrovie miste, un esempio di eccezionale lunghezza è rappresentato dalla ferrovia Transandina Cilena, con 60 km di dentiera su pendenze dell'80‰, locomotori a c.c. della potenza di 1170 kW, velocità massima di 14 km/h sulla dentiera e 40 km/h nei tratti ad aderenza semplice. Nel caso del trasporto di merci raramente conviene ricorrere alle dentiere; ciò può avvenire per il

trasbordo di vagoni ferroviari, autocarri od ingenti carichi per brevi percorsi, quando cioè, ricorrendo a funicolari, data la traiettoria brevissima, il costo dell'argano risulterebbe superiore a quello della cremagliera [6].

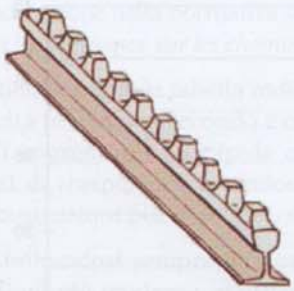

Fig. 13 - Sistema di dentiera o cremagliera "Strub".

Un'applicazione interessante, sopra citata ed oltre ripresa, è quella di piccoli veicoli a cremagliera al servizio di vigneti o altre coltivazioni su zone collinari (fig. 19).

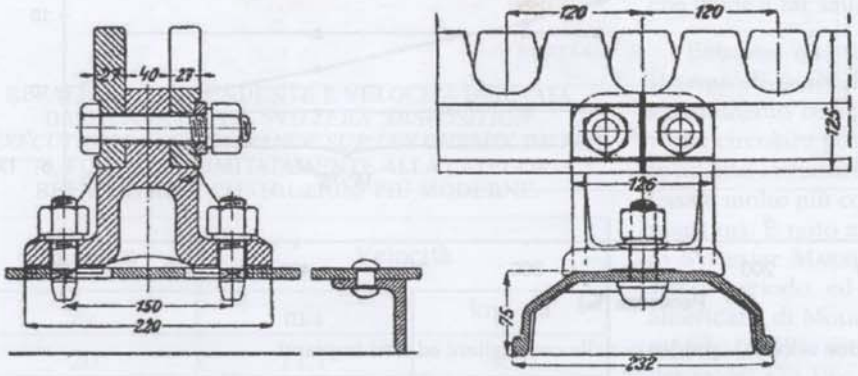

Fig. 14 - Dentiera tipo "Strub".

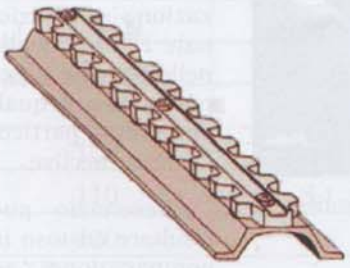

Fig. 15 - Sistema di dentiera o cremagliera "Locher".

Non si riscontrano invece impianti recenti a cremagliera adibiti al trasporto urbano: il costo del sistema a cremagliera è in genere elevato; anche volendo effettuare un confronto a parità di armamento, il costo di una linea ferroviaria a cremagliera è significativamente superiore a quello della fune traente e dei rulli di linea. Tale considerazione potrebbe cambiare nel caso di cremagliere "di serie", ma le uniche ditte ad oggi produttrici di tali impianti sono alcune case che realizzano i piccoli veicoli sopra citati per la viticoltura, che presentano forti limiti di velocità e, soprattutto, mancanza di indicazioni, ad oggi, su una loro omologazione al servizio pubblico nonché dimensioni del veicolo troppo limitate per impieghi nel trasporto urbano.

Uno dei paesi al mondo che può vantare il maggior numero di ferrovie a cremagliera è senz'altro la Svizzera dove infatti, come negli Stati Uniti, sono stati progettati i primi sistemi di trasmissione del moto tramite dentiera. Non si può tuttavia dimenticare di citare le ferrovie a cremagliera italiane come quella torinese di Superga e quella genovese Principe-Granarolo.

La storica tranvia a dentiera Sassi-Superga è unica in Italia nel suo genere. È la continuazione di una tradizione ultracentenaria iniziatasi il 26 aprile 1884 con la prima corsa effettuata dalla funicolare costruita con il sistema Agudio: il trenino era mosso da un motore trainante una fune d'acciaio che scorreva parallelamente al binario su pulegge sistemate lungo il percorso. La linea fu poi trasformata, nel 1934, in tranvia a dentiera con trazione a rotaia centrale.

Il percorso si sviluppa per 3125 metri tra la stazione di Sassi (sita a Torino in piazza Modena, a 225 metri s.l.m.) e la stazione presso la Basilica di Superga (a 650 metri s.l.m.). Si osserva come tale lunghezza sia un valore intermedio applicabile sia a funicolari sia a cremagliere; questo spiega la possibilità della conversione da funicolare a cremagliera[1]. Il dislivello totale di 425 metri è superato con una pendenza media del 135‰, con punte massime del 205‰ nel tratto finale tra Pian Gambino e la Stazione di Superga. Lo scartamento è quello normale ferrovia-

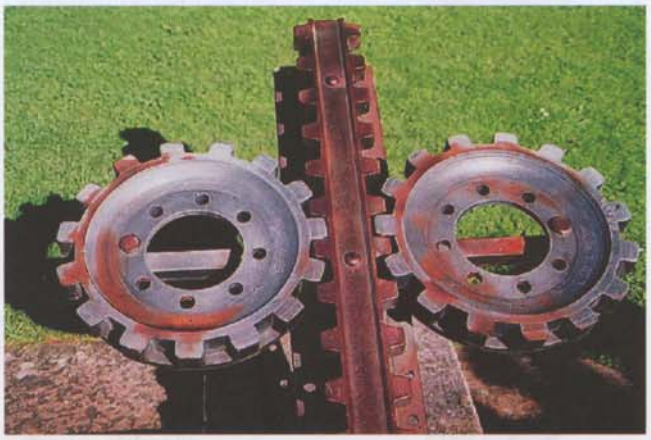

Fig. 16 - Sistema "Locher" (Pilatusbahn).

[1] La trasformazione opposta si è verificata a Trieste, sulla storica tranvia Trieste Opicina, che dopo essere stata in passato una cremagliera è attualmente diventata una funicolare.

rio, la dentiera tipo *Strub*, la velocità massima pari a 13.5 km/h; la vettura ha 70 posti a sedere in totale. La linea, lunga tre chilometri, è elettrificata a 600 V (fig. 20).

La città di Genova, oltre ad alcune funicolari, può vantare anche una ferrovia a cremagliera, che parte dalla stazione ferroviaria di Genova Principe e si arrampica fino alla collina Granarolo. È uno dei rari esempi raccolti di ferrovia a cremagliera che attraversa un centro cittadino ed interferisce con la circolazione stradale.

Fig. 17 - Ferrovia a dentiera Aigle Leysin, mista.

Fig. 18 - Cremagliera sullo Junfgrau: visibile il binario dentato per la trazione.

Si tratta di un impianto con dislivello di 194 m, 1136 m di lunghezza, 160‰ di pendenza media, 214‰ di pendenza massima, 2 m/s di velocità e 45 passeggeri per vettura.

Nei vigneti di Bassa Baviera, Cinque terre e della zona di Vevey (Svizzera) sono in uso delle piccole cremagliere chiamate "monorack"[2].

[2] Prodotte in Europa dalla Habegger e dalla Von Roll, oltre che dalla casa giapponese Nikkari.

Si tratta di profilati metallici (monorotaie) sui quali corrono trenini formati da uno o più vagoncini da, ad esempio, quattro posti a sedere in fila e da vagoncini merci per il trasporto del materiale agricolo; l'azionamento è costituito da piccoli motori a scoppio. Tramite una pompa idraulica essi mettono in pressione un circuito che aziona un motore idraulico, sul cui albero è calettato un ingranaggio che fa presa sulla cremagliera presente lungo tutta la rotaia; consentono di trasportare circa 600 chili su una pendenza massima del 450‰.

Fig. 19 - Piccole cremagliere in uso nei vigneti della bassa Baviera.

La peculiarità consiste nella elevata flessibilità che si può dare al percorso.

Tra le varie applicazioni salienti degli impianti monotrack si citano: il trasporto di carrozzelle per disabili, per trasporto materiali, per spostamenti in campi da golf, per serre e vivai, ecc..

Fig. 20 - Ferrovia a dentiera Sassi-Superga (Torino).

Si tratta di veicoli molto leggeri, sotto i 100 chilogrammi, e piccoli: nessuna delle loro dimensioni (larghezza, lunghezza altezza), raggiunge il metro.

5. Conclusioni

Si è visto come la ferrovia a cremagliera o a dentiera sia in generale un'alternativa raramente applicabile al di fuori di contesti turistici, ma ben si adatta a lunghe percorrenze, laddove non sia importante il tempo di attesa.

Fig. 21 - "Monorack": particolare del percorso.

Si tratta quindi di impianti di trasporto con un campo d'impiego limitato, come si è avuto modo di rilevare: l'utilizzazione più razionale è forse quella nelle ferrovie miste per superare qualche tratto particolarmente acclive.

Nel caso del trasporto di merci raramente conviene ricorrere alle dentiere; ciò può avvenire per il trasbordo di vagoni ferroviari, autocarri od ingenti carichi per brevi percorsi, quando cioè, ricorrendo a funicolari, data la traiettoria brevissima, il costo dell'argano risulterebbe superiore a quello della cremagliera.

BIBLIOGRAFIA

[1] A. Crotti, con D. Alberto, B. Dalla Chiara, M. Vallana, *"Impianti a fune – Elementi costitutivi, progettazione ed esercizio"*, Politecnico di Torino – Dipartimento DITIC – Trasporti, Edizioni MarioGros, settembre 2005.

[2] A. Marocchi, *"Il superamento di dislivelli nel trasporto urbano mediante impianti fissi"*, Ingegneria Ferroviaria, ottobre 2005.

[3] D. Marocchi, *"Trasporti a fune (funivie-telecabine-seggiovie-sciovie-funicolari terrestri-teleferiche)"*, Levrotto e Bella, Torino, 1992.

[4] A. Nicolardi, *"Ferrovie Speciali"*, case editrice dott. Carlo Cya, Firenze, 1956.

[5] A. Recupito, *"I trasporti a fune"*, Milano, Masson Italia Editori, Divisione Scientifica Tamburini, 1983.

[6] V. Zignoli, *"Trasporti meccanici"* 2ª edizione, Hoepli, Milano, 1970.