



Organizzato da



**LE PROSPETTIVE DELLA TRAZIONE
FERROVIARIA PER GLI ANNI
2020-2030**



Con il patrocinio di



Sezione Veneta



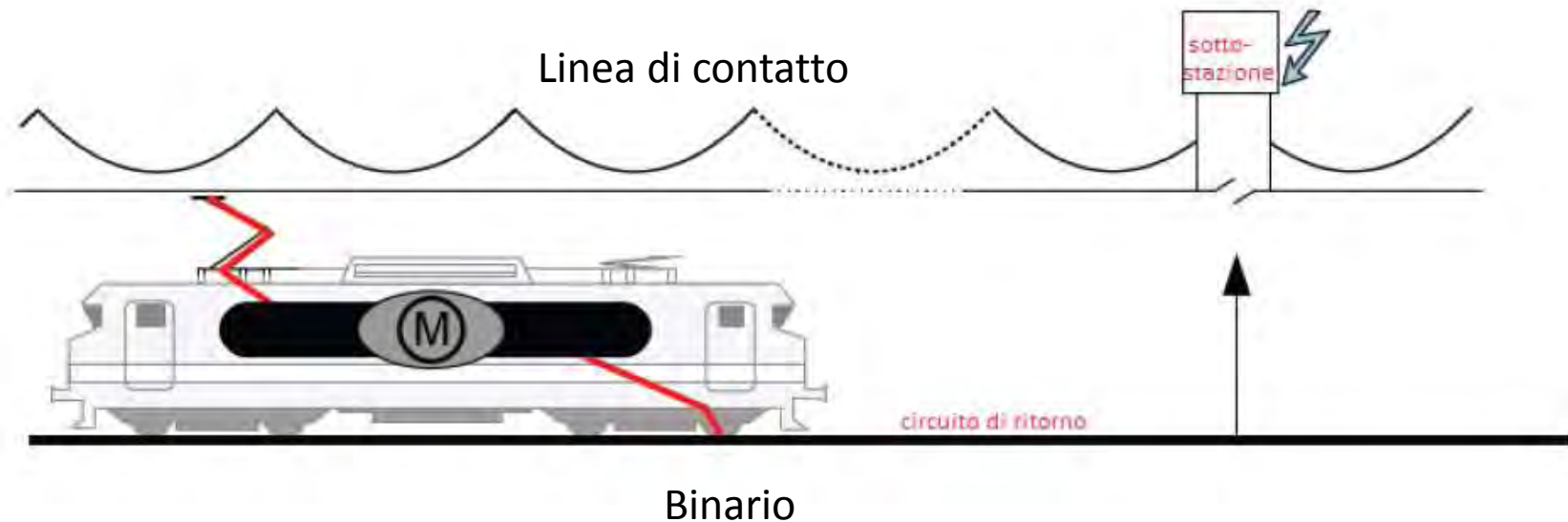
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA INDUSTRIALE

Il sistema catenaria e la qualità della captazione della corrente nella trazione AV/AC

Roberto Turri

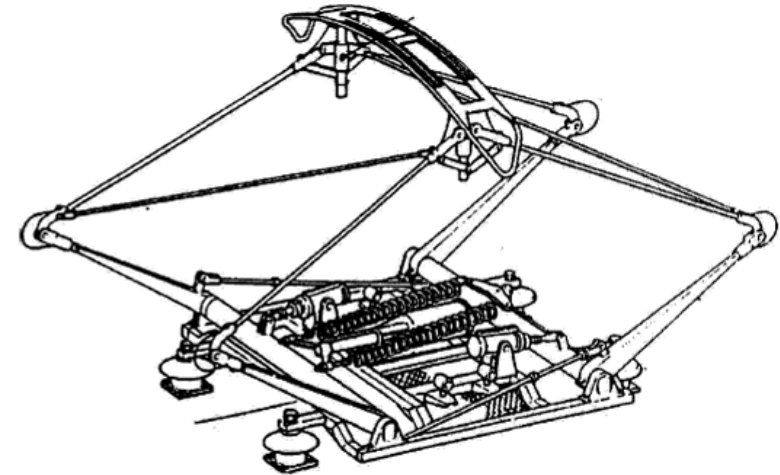
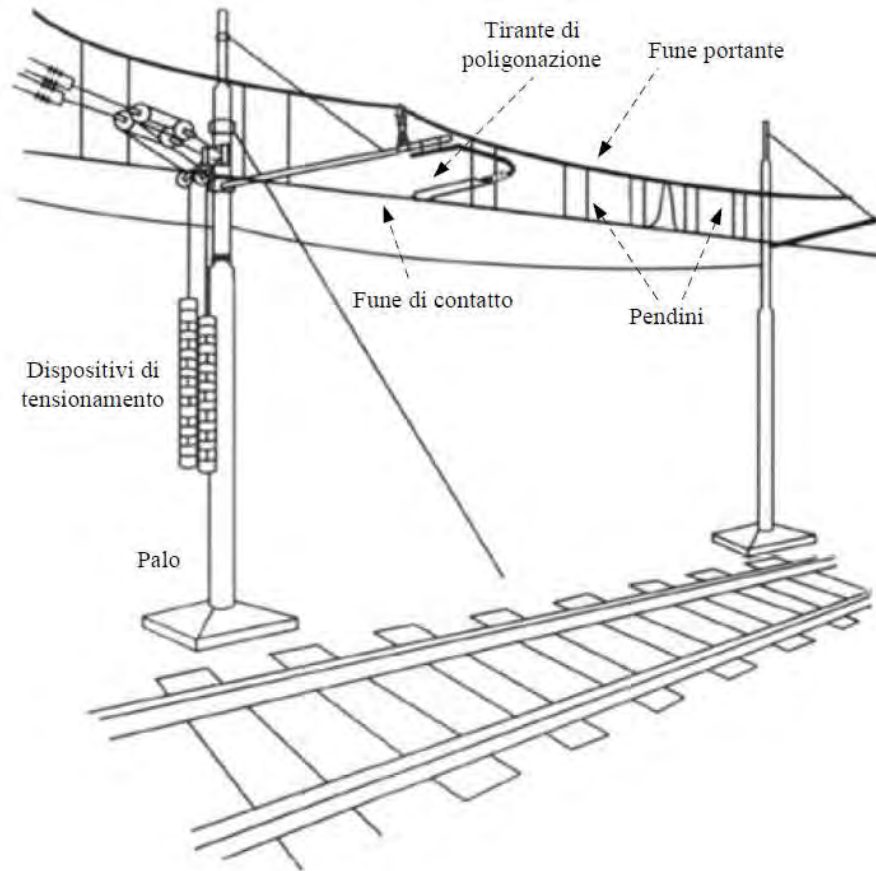
Università degli Studi di Padova

Circuito di alimentazione del rotabile



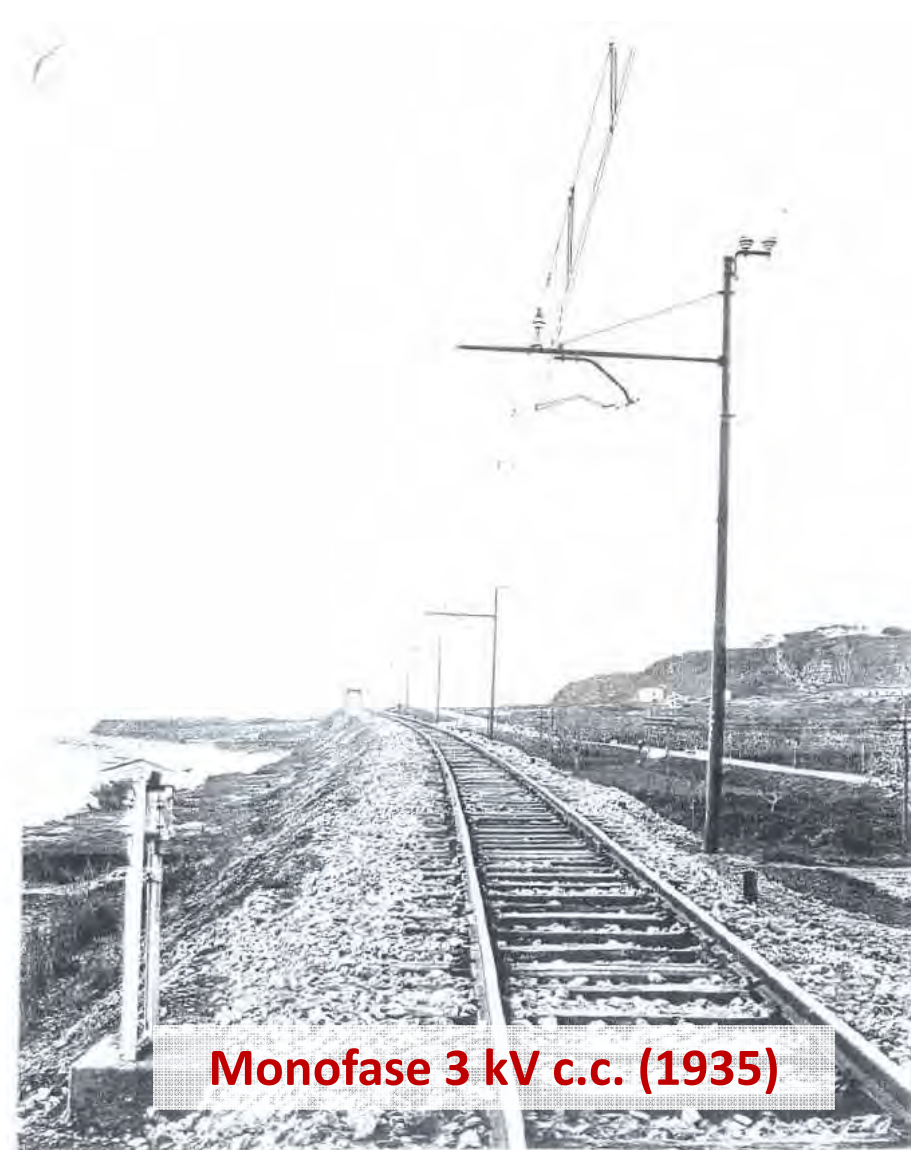
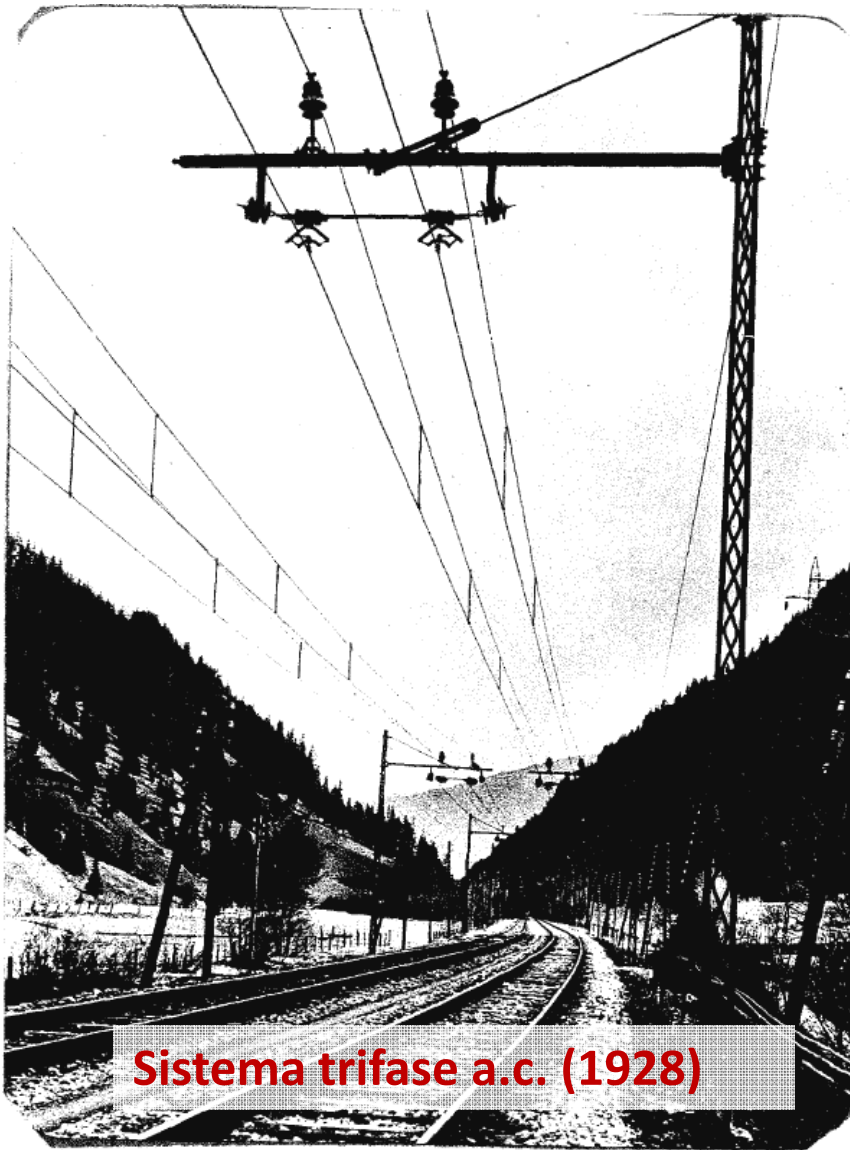
Il **trasferimento di energia elettrica** tra linea di contatto e pantografo del treno richiede che tra i due sistemi meccanici esista una **forza di contatto idonea** per garantire una bassa resistenza di contatto e garantire in una buona captazione, senza rischi di inneschi di archi e limitando l'usura.

Sistema linea di contatto - pantografo



Il **sistema meccanico** costituito dalla **linea di contatto** grava con il suo peso sul sistema meccanico costituito dal **pantografo**; quest'ultimo tramite dei sistemi a molla esercita una spinta verso l'alto garantendo così una bassa resistenza di contatto.

Sistema linea di contatto

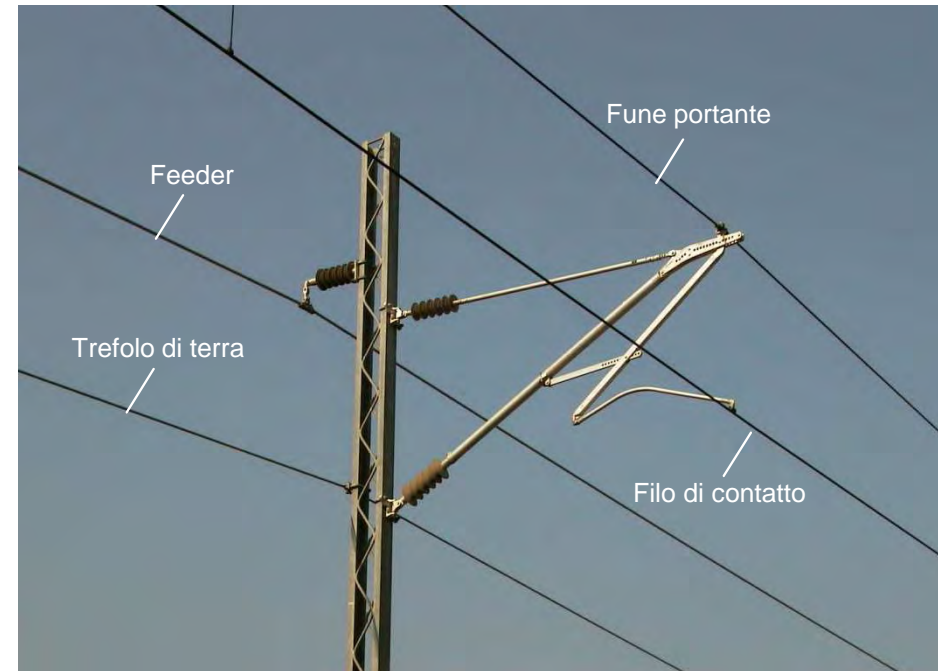


Sistema linea di contatto



Altezza LdC: 5,20 m
Campata: 60 m

Fune portante: 120 mm² (1625 daN)
Filo di contatto: 150 mm² (2000 daN)



Sistema AV 2x25 kV (oggi)

Velocità critica di distacco

La **catenaria** è un sistema dotato di una propria elasticità, che è definita dal rapporto tra sollevamento del filo di contatto e la forza statica applicata verso l'alto che lo causa:

Elasticità

$$e = \frac{\Delta y}{F_S} \quad \varepsilon = \frac{e_{massima} - e_{minima}}{e_{massima} + e_{minima}}$$

$$e = e(x) = e_{media} \left(1 - \varepsilon \cos \frac{2\pi x}{l} \right)$$

Moto verticale punto di contatto

$$y = y_0 + F_S e_{media} \left(1 - \varepsilon \cos \frac{2\pi x}{l} \right)$$

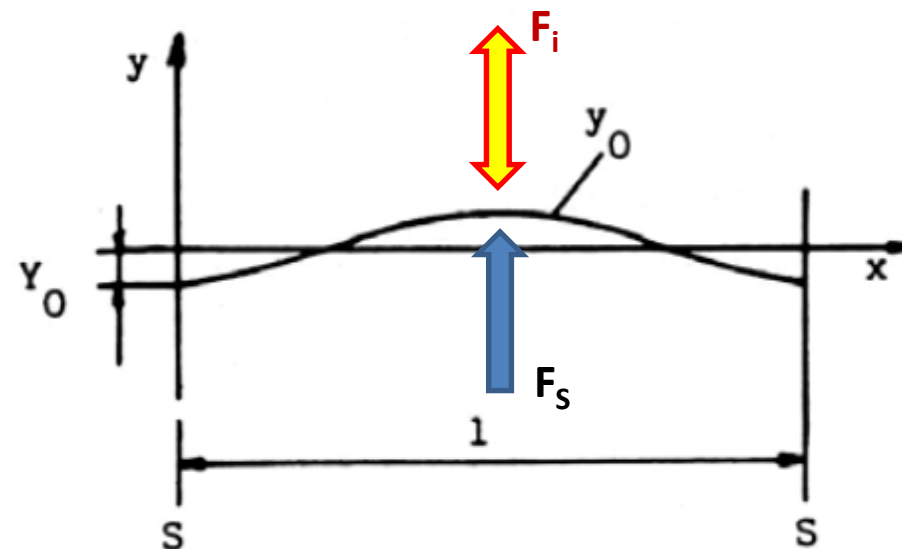
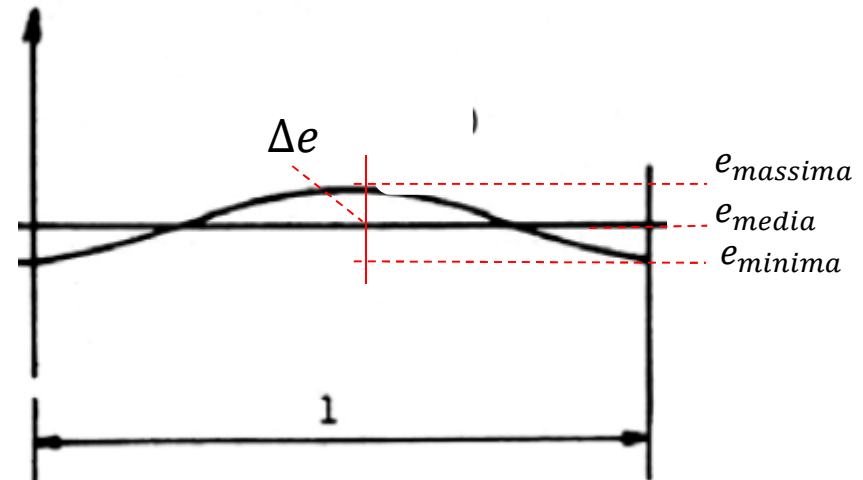
$$F_i = -M_{din} \left(\frac{d^2 y}{dt^2} \right)$$

Forza di contatto

$$F_C = F_S + F_i = F_S - M_{din} \left(\frac{d^2 y}{dt^2} \right)$$

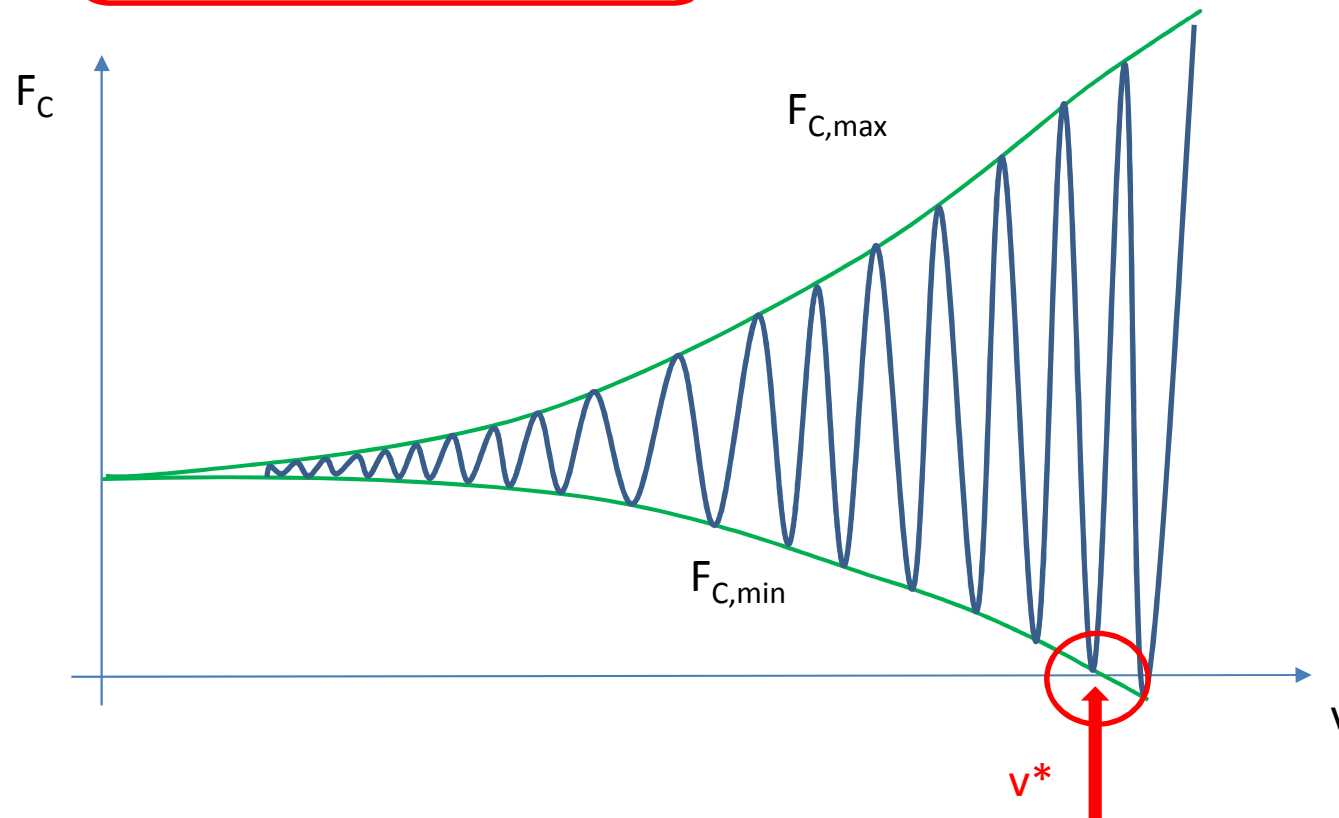
Velocità critica di distacco

$$V^* = \frac{l}{2\pi v} \sqrt{\frac{1}{e_{media} \varepsilon M_{din}}}$$



Velocità critica di distacco

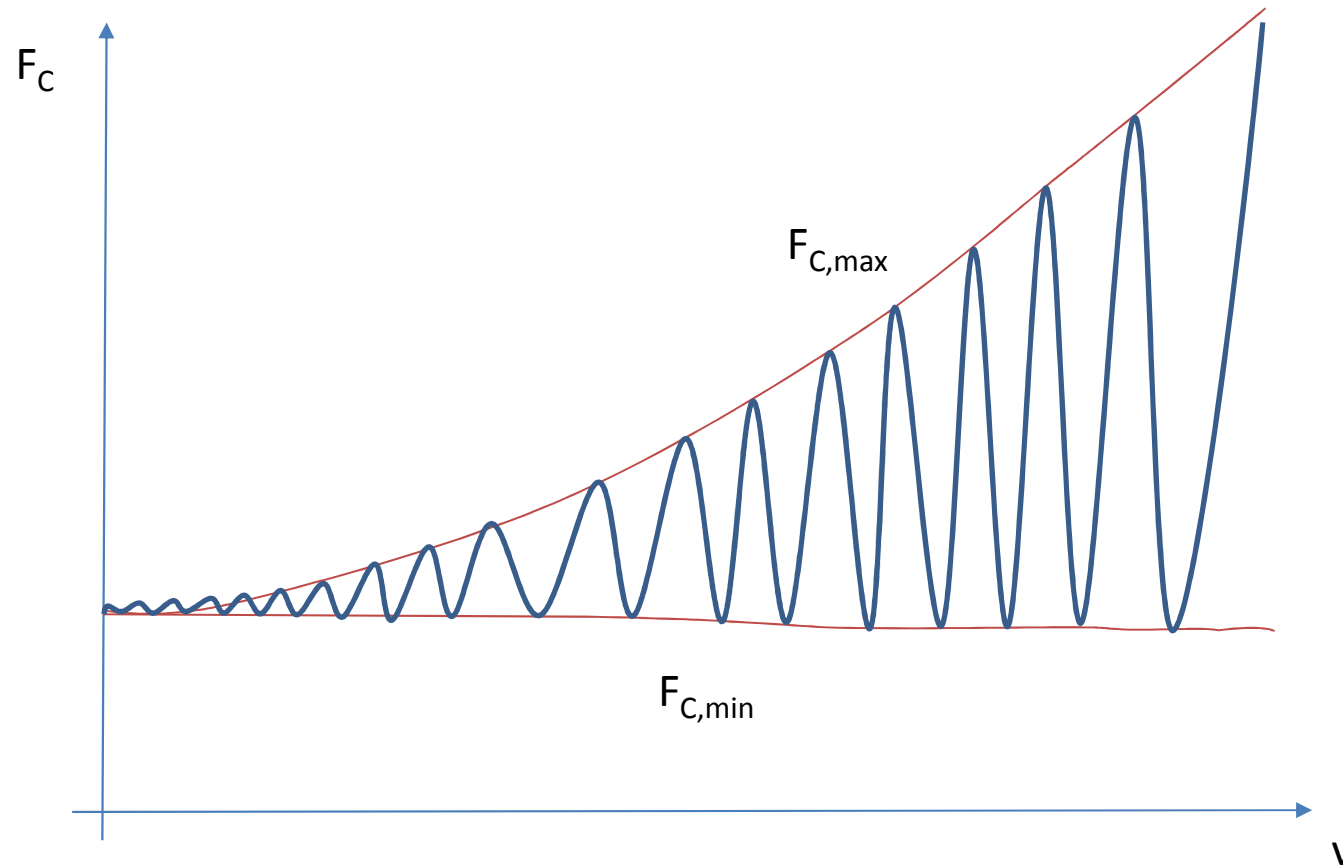
$$V^* = \frac{l}{2\pi v} \sqrt{\frac{1}{e_{media} \varepsilon M_{din}}}$$



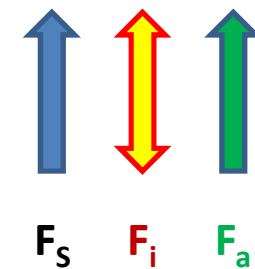
$$\begin{aligned} F_C &= F_S + F_i \\ &= F_S - M_{din} \left(\frac{d^2 y}{dt^2} \right) \end{aligned}$$

Pur con F_S costante, il pantografo si stacca per la forza di inerzia (verticale)

Velocità critica di distacco – Aggiunta Forza aerodinamica

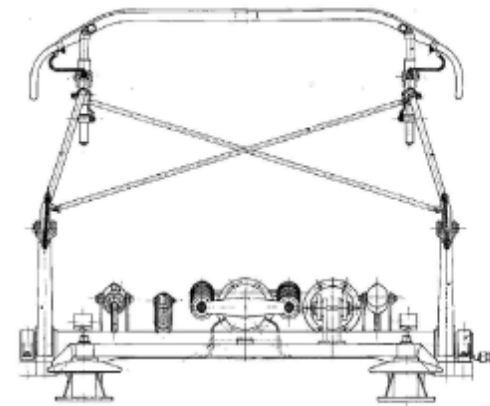
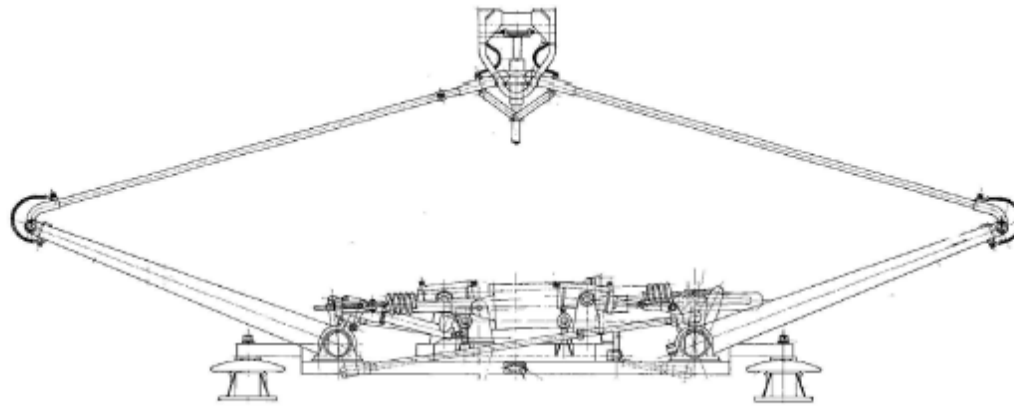


$$F_C = F_S + F_i + F_a$$
$$= F_S - M_{din} \left(\frac{d^2y}{dt^2} \right) + F_a$$

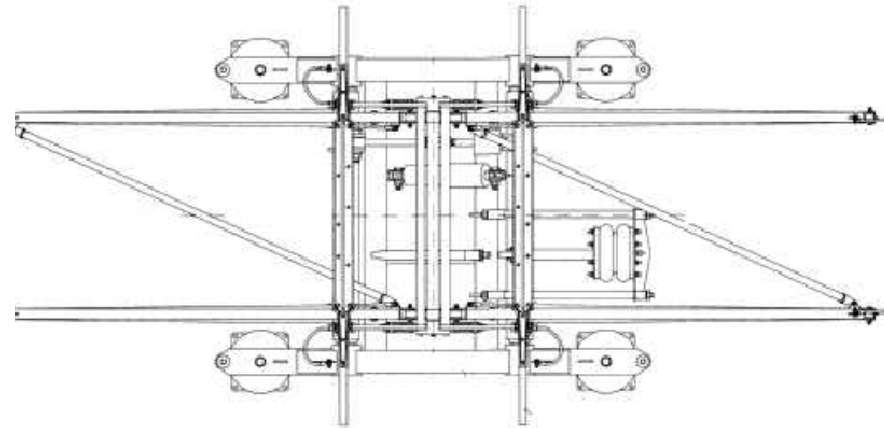
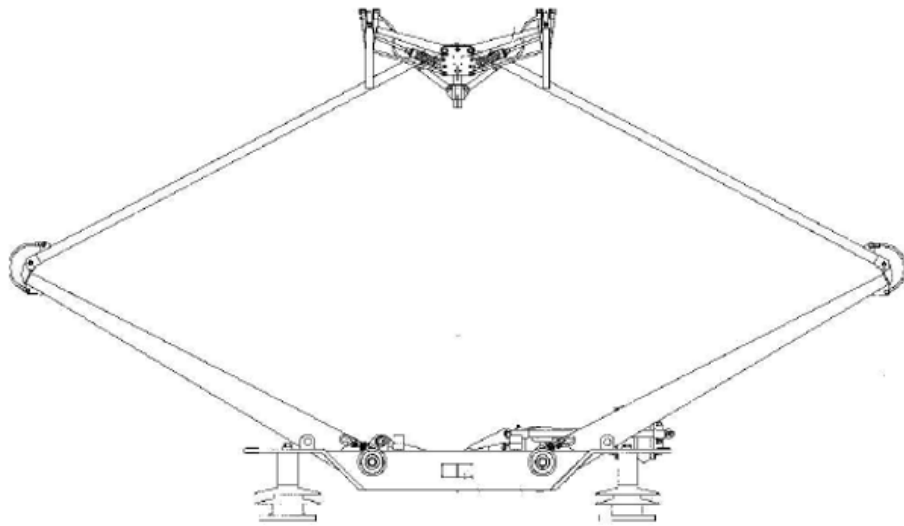


Archetti con profilo aerodinamico/controllo attivo

Pantografo FS52 AV



Pantografo ATR 90



Pantografo ATR 95



Alcune soluzioni innovative per i pantografi

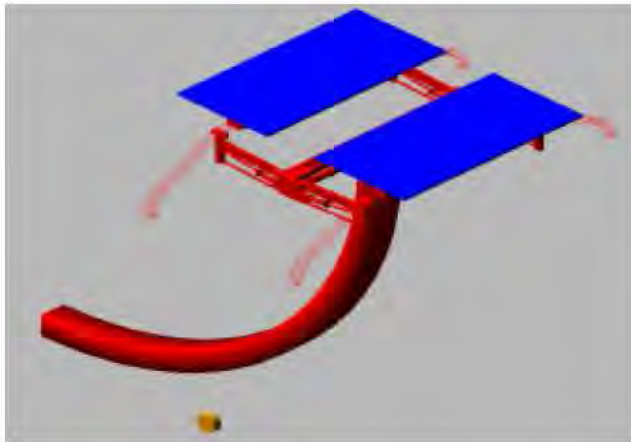


a)

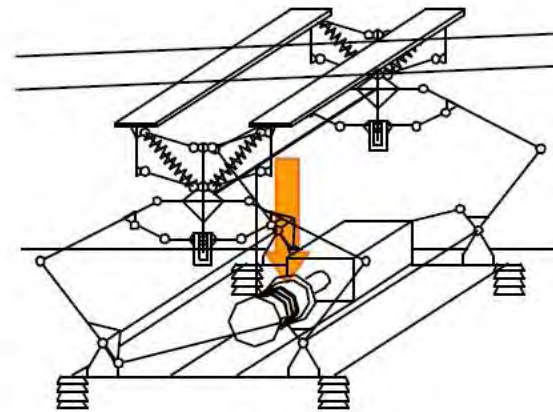


b)

Figura 3 – a) Pantografo telescopico montato su treno AV della Japan Railways West; b) pantografo asimmetrico ottimizzato per limitare l'emissione acustica sviluppato da AD Tranz per DB.



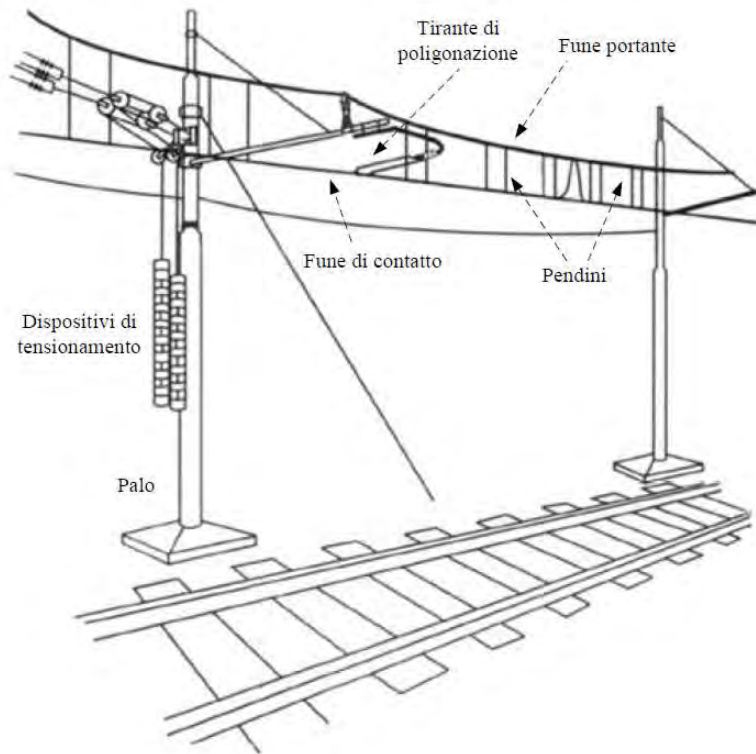
a)



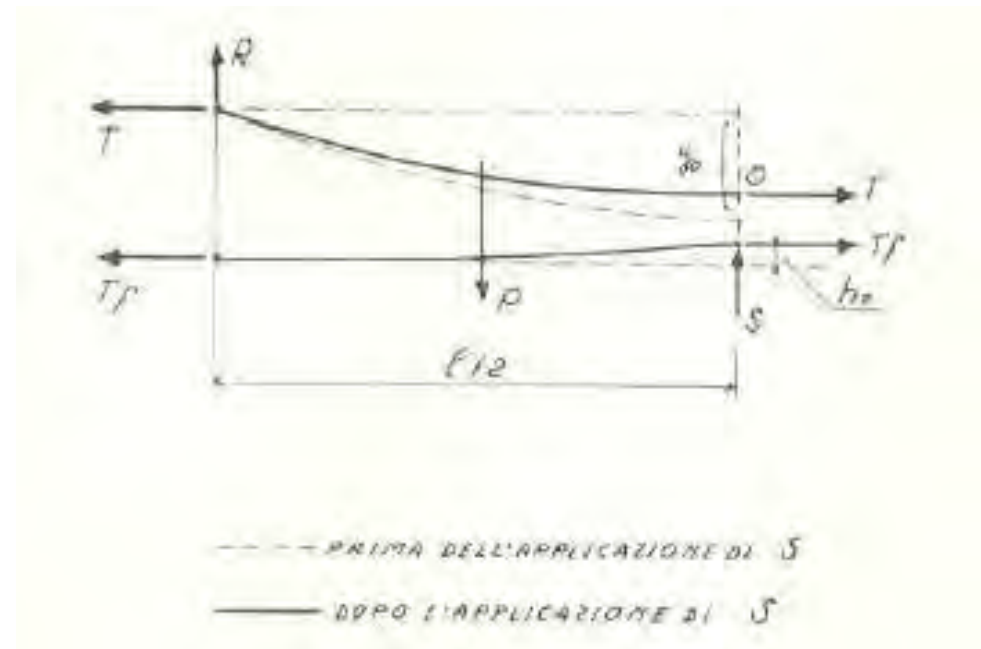
b)

Figura 4 – a) Schema di principio di un pantografo “a banana”; b) schema di pantografo simmetrico tipo ATR90 con attuatori a cavo per il controllo della forza di contatto.

Il sistema catenaria



Forze presenti nella campata



T = tiro fune

R = reazione sospensione

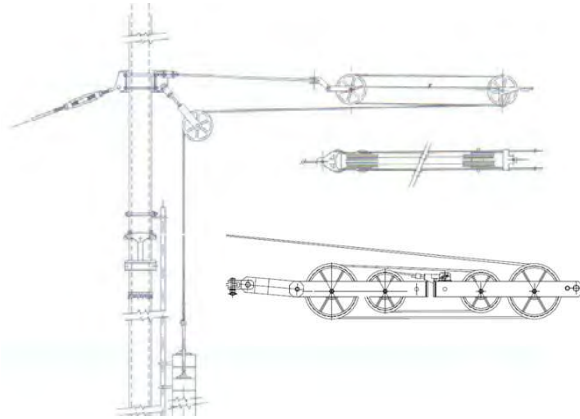
Tf = tiro filo

P = peso lineare

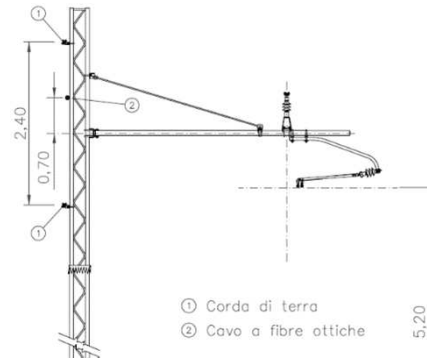
S = spinta pantografo

Il sistema catenaria

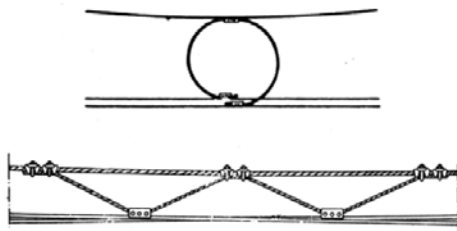
Regolazioni



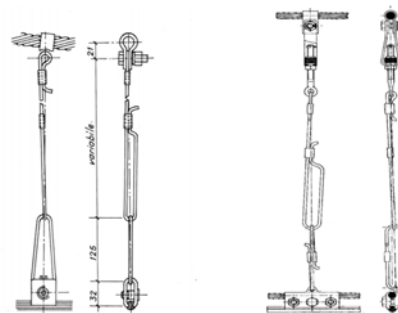
Punto fisso



Collegamenti elettrici

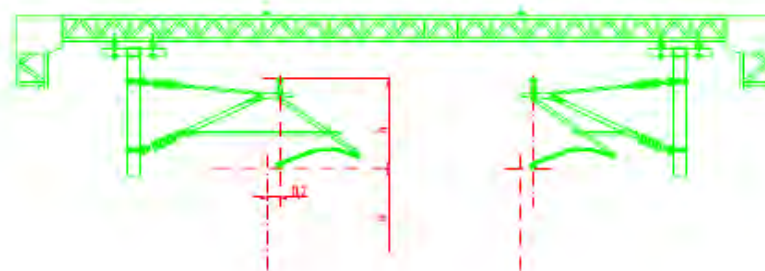
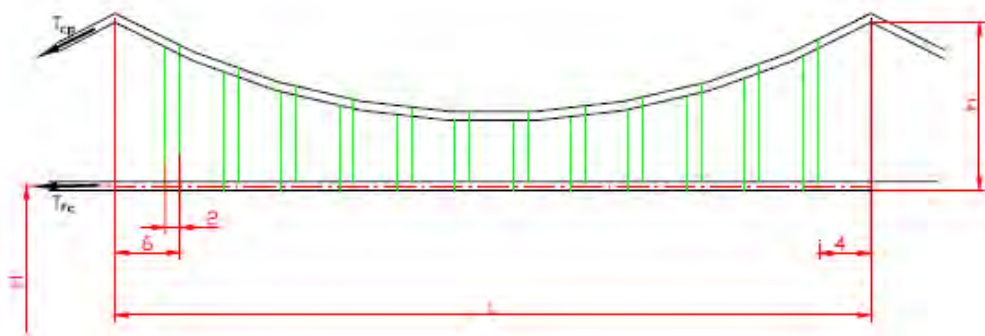


Pendini



Standard catenarie AV/AC

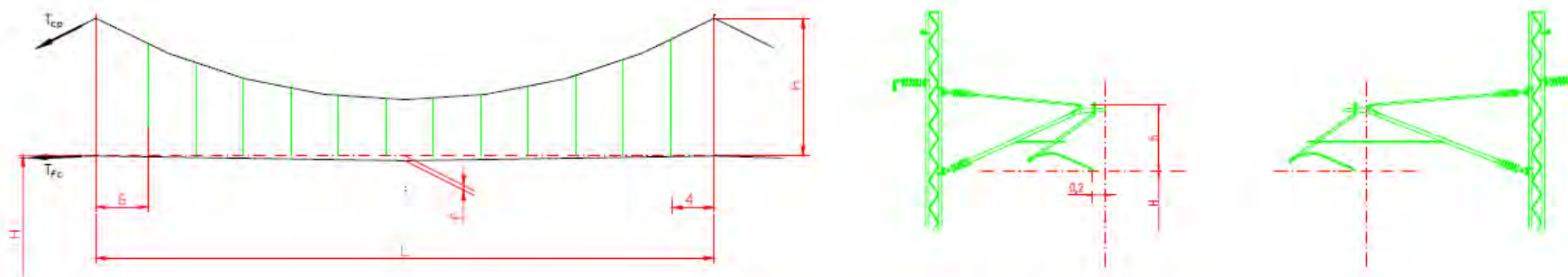
CATENARIA 3kV_{cc} v ≤ 250km/h SEZIONE 540 mmq



$c_p =$ n. 2 corde portanti in Cu da 120 mm
 $f_c =$ n. 2 fili di contatto in Cu da 150 mm
 $T_{cp} =$ 2 x 1500 daN regolate automaticamente
 $T_{fc} =$ 2 x 1875 daN regolati automaticamente
 $L =$ 60 m
 $H =$ 5,10 m
 $h =$ 1,25 m
 $f =$ 0

Standard catenarie AV/AC

CATENARIA 2x25 kV - 50 Hz $v \leq 300\text{km/h}$ SEZIONE 270 mmq



- $c_p =$ n. 1 corda portante in $^{\circ}\text{Cu}$ da 120 mm
- $f_c =$ n. 1 filo di contatto in $^{\circ}\text{Cu}$ da 150 mm
- $T_{cp} =$ 1 x 1625 daN regolata automaticamente
- $T_{fc} =$ 1 x 2000 daN regolato automaticamente
- $L =$ 60 m
- $H =$ 5,30 m
- $h =$ 1,25 m
- $f =$ 0,5/1000 di L

Velocità di propagazione d'onda sulla linea di contatto (Vp)

$$V_p = \sqrt{\frac{T_{cp} + T_{fc}}{m_{cp} + m_{fc}}}$$

	<i>Valori per filo di contatto Cu-Mg</i>
<i>Vp = Velocità di propagazione</i>	<i>139 m/s pari a 500 km/h</i>
<i>Tcp = tiro della corda portante</i>	<i>16250 N</i>
<i>Tfc = tiro filo di contatto</i>	<i>30000 N</i>
<i>mcp = massa corda portante</i>	<i>1,071 kg/m</i>
<i>mfc = massa del filo di contatto</i>	<i>1,335 kg/m</i>

Norma CEI 50119 ⇒ Vmax mezzi di trazione = 0,7 Vp

Creep

Il fenomeno del creep (allungamento del filo per effetti termici) crea continui cambiamenti nella geometria della catenaria

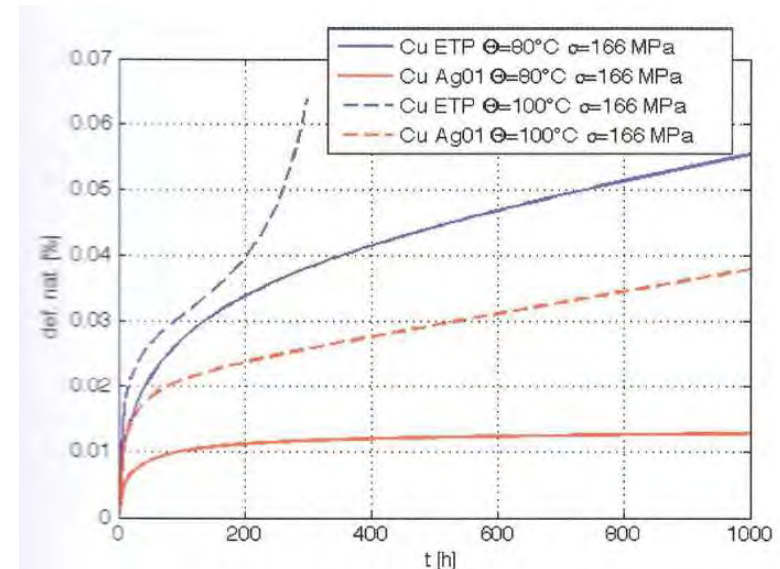
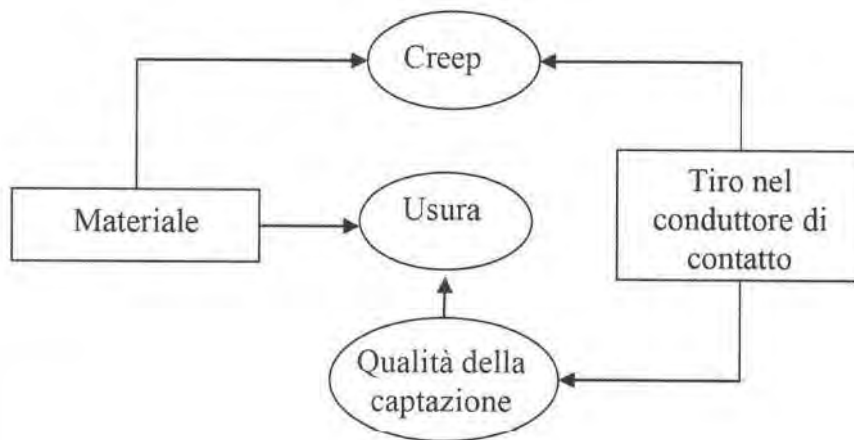


Fig. 4 - Deformazione naturale per il provino Cu-ETP e per il provino CuAg0,1 nelle condizioni di prova comparabili a 166MPa.

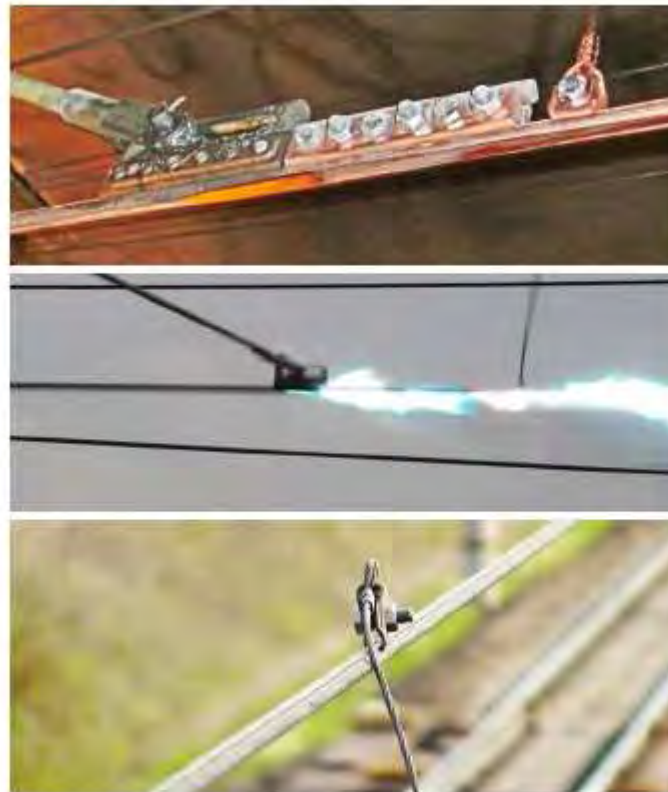
Per consentire un esercizio a correnti e tiri più elevati si impone un passaggio dal rame elettrolitico (Cu-ETP) alle leghe di rame (es. lega CuAg0,1)

Materiali per la catenaria

Materiale	Carico Unitario di Rottura [N/mm ²]				Conducibilità Elettrica IACS %						Temperatura di ricristallizzazione [°C]	
	Valori	200	300	400	500	60	70	80	90	100		110
Cu ETP		230		380						100	102	180
CuAg		230		420						99	101	345
CuSn				390	430		75		90			355
CuZr		230			470				90	93		360
CuMg				450	500		70	75				385

Criticità della catenaria

- Punti rigidi
- Flashover
- Rottura sospensioni



Indici di Qualità (della captazione)

REGOLAMENTO (UE) N. 1301/2014 DELLA COMMISSIONE

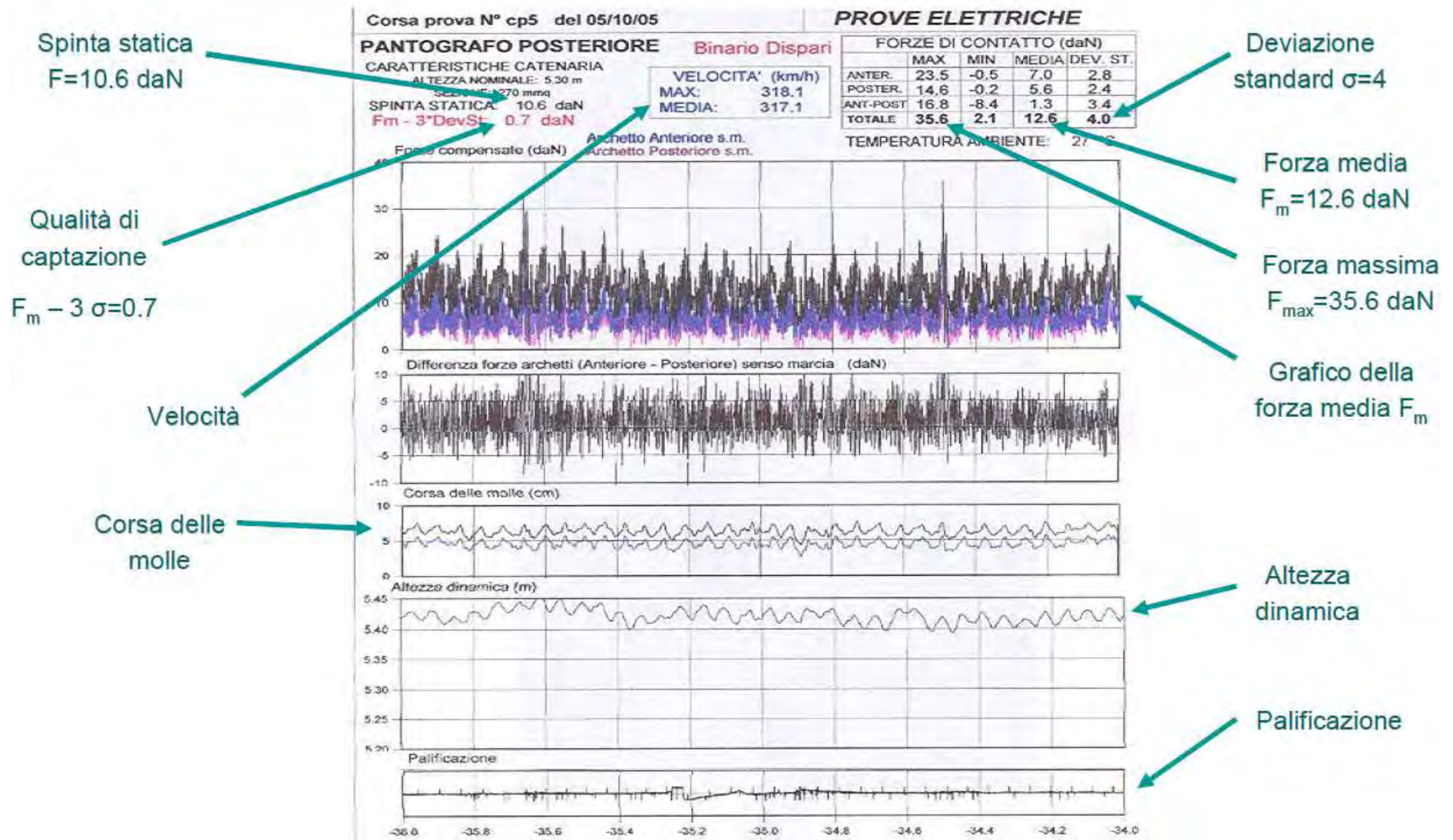
del 18 novembre 2014

relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «Energia» del sistema ferroviario dell'Unione europea

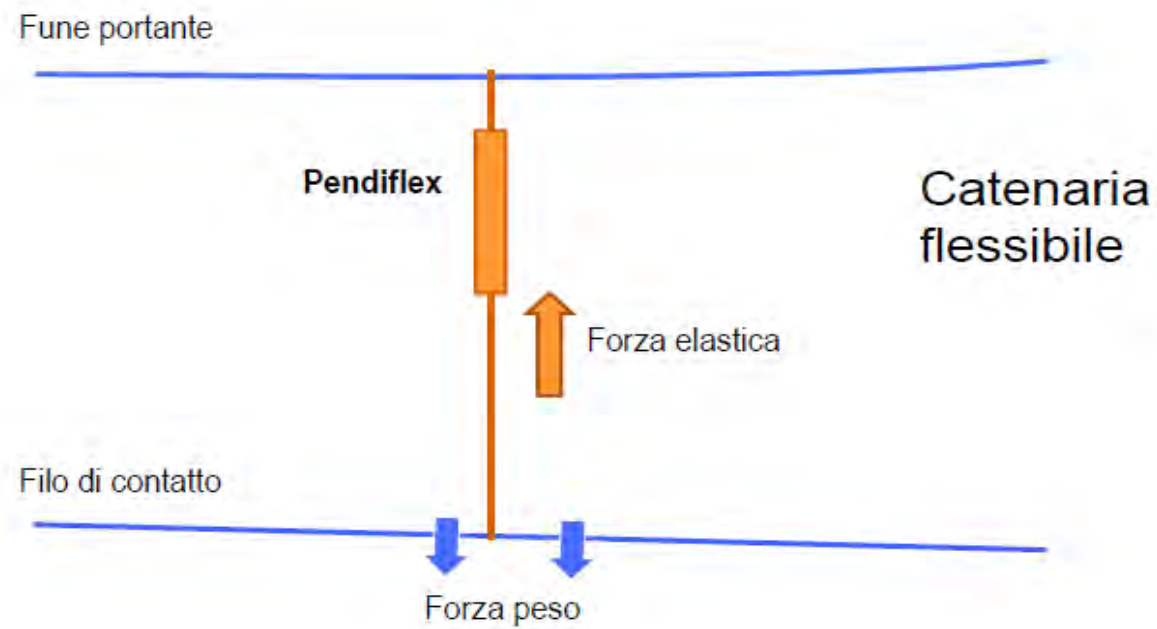
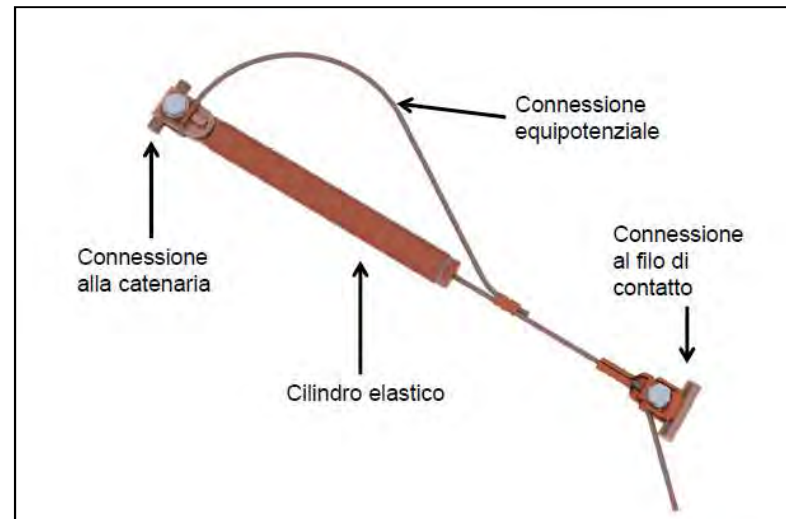
Requisiti relativi al comportamento dinamico e alla qualità della captazione di corrente

Requisito	$v \geq 250$ [km/h]	$250 > v > 160$ [km/h]	$v \leq 160$ [km/h]
Spazio per il sollevamento dell'asta di poligonazione	$2S_0$		
Forza media di contatto F_m	Cfr. 4.2.11		
Spostamento normale alla velocità massima della linea σ_{max} [N] $\sigma_{max} \leq 0,3F_m$	$0,3 F_m$		
Percentuale di innesco di un arco elettrico alla velocità massima della linea, NQ [%] (durata minima di un arco 5 ms) $NQ_{\%} = \frac{\sum t_{arc}}{t_{tot}} \times 100$	$\leq 0,2$	$\leq 0,1$ per sistemi CA $\leq 0,2$ per sistemi CC	$\leq 0,1$

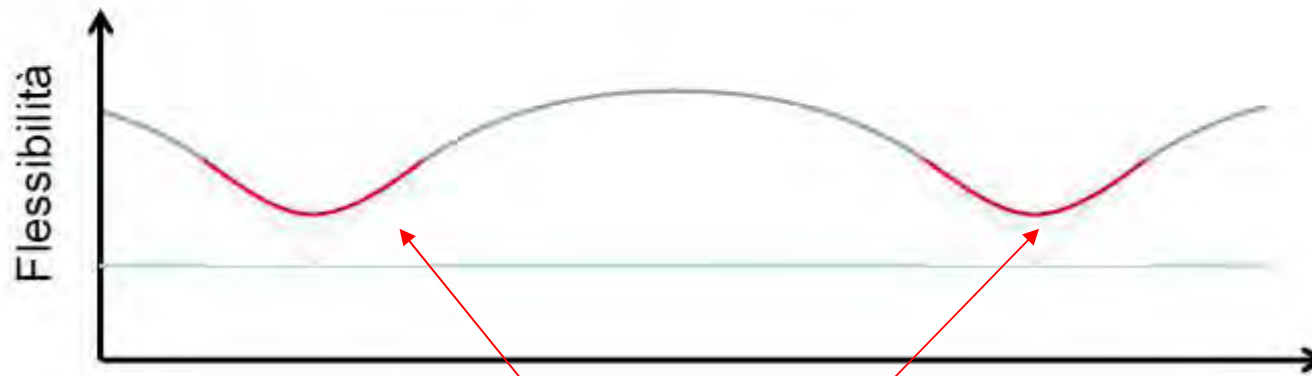
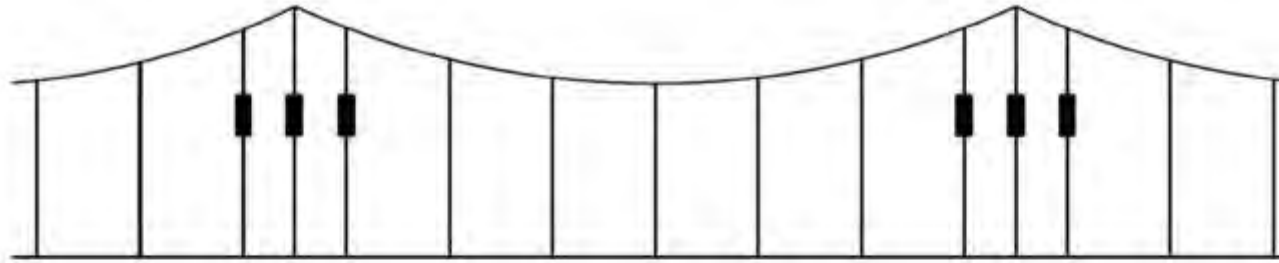
Misure dinamiche Roma-Napoli



Sistema Pendiflex



Sistema Pendiflex



Elasticità più uniforme

Sistema Pendiflex

Riduzione dei flashover punto fisso

Sospensione standard



[Video \(No Pendiflex\)](#)

Pendiflex



[Video \(Pendiflex\)](#)

[Video \(Confronto\)](#)



Organizzato da



LE PROSPETTIVE DELLA TRAZIONE FERROVIARIA PER GLI ANNI 2020-2030



Con il patrocinio di



Sezione Veneta



DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA INDUSTRIALE

Grazie per l'attenzione

Roberto Turri

Università degli Studi di Padova