



Università degli Studi di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Laurea Magistrale: Ingegneria Civile
Corso : Infrastrutture Ferroviarie e Aeroportuali (494MI)



Lezione 04: Infrastruttura Ferroviaria

Roberto Roberti

Tel.: 040 558 3588

E-mail: roberto.roberti@dia.units.it

Anno accademico 2025/2026



Obiettivi e Sommario

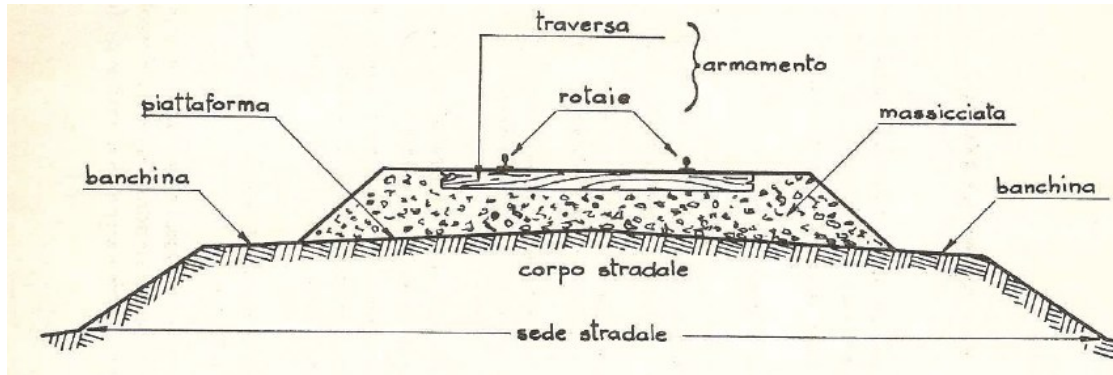
Obiettivi Lezione 04:

- **Definire e descrivere le caratteristiche delle infrastrutture ferroviarie.**

Sommario Lezione 04:

- **Sede ferroviaria, sezioni tipo;**
- **Interasse e intervvia;**
- **Massicciata ferroviaria;**
- **Rotaie, attacchi e giunzioni;**
- **Calcolo della rotaia;**
- **Termica del binario;**
- **Traverse;**
- **Apparecchi di binario.**

Sede ferroviaria (1)

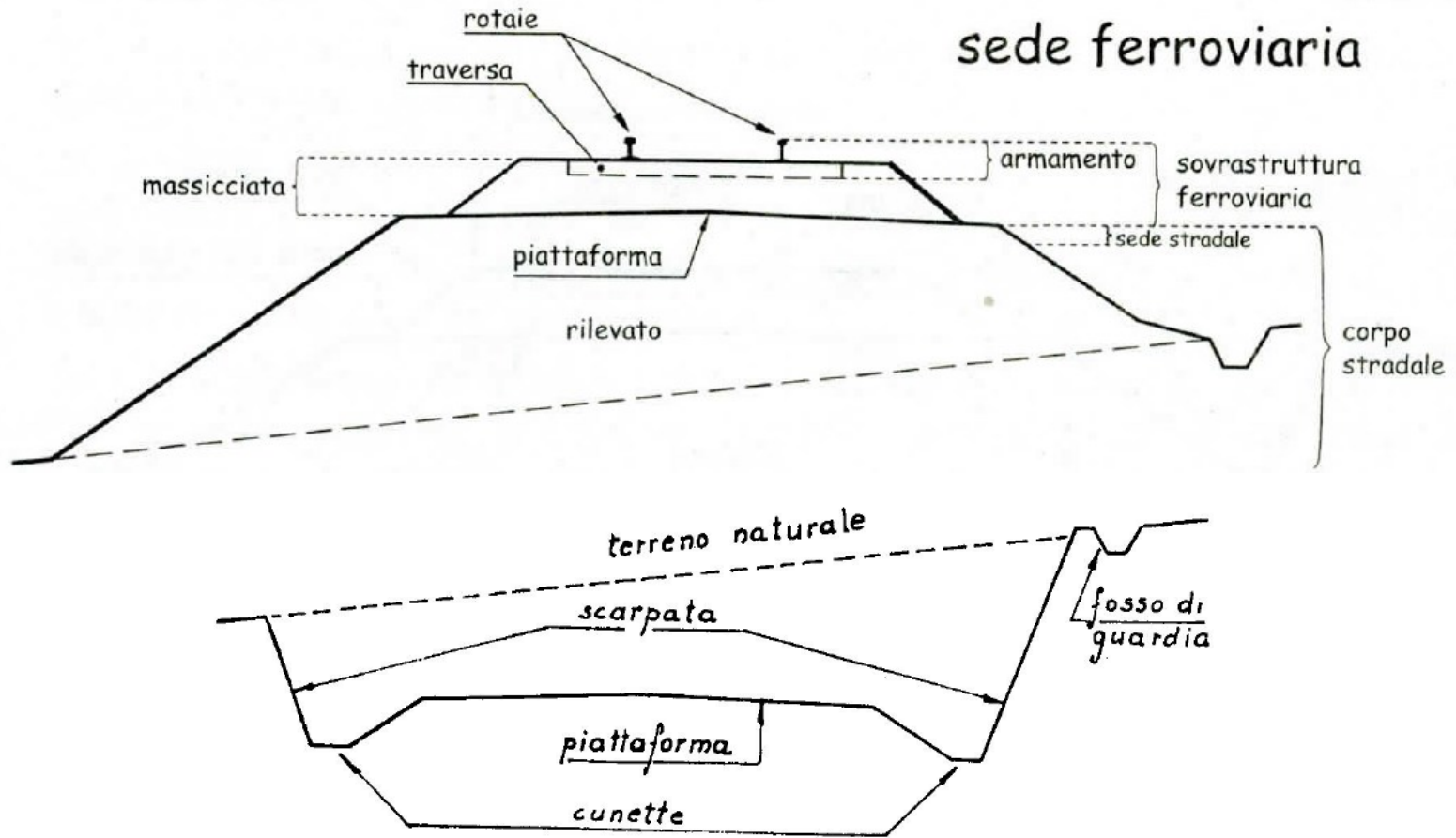


Sede ferroviaria (2)

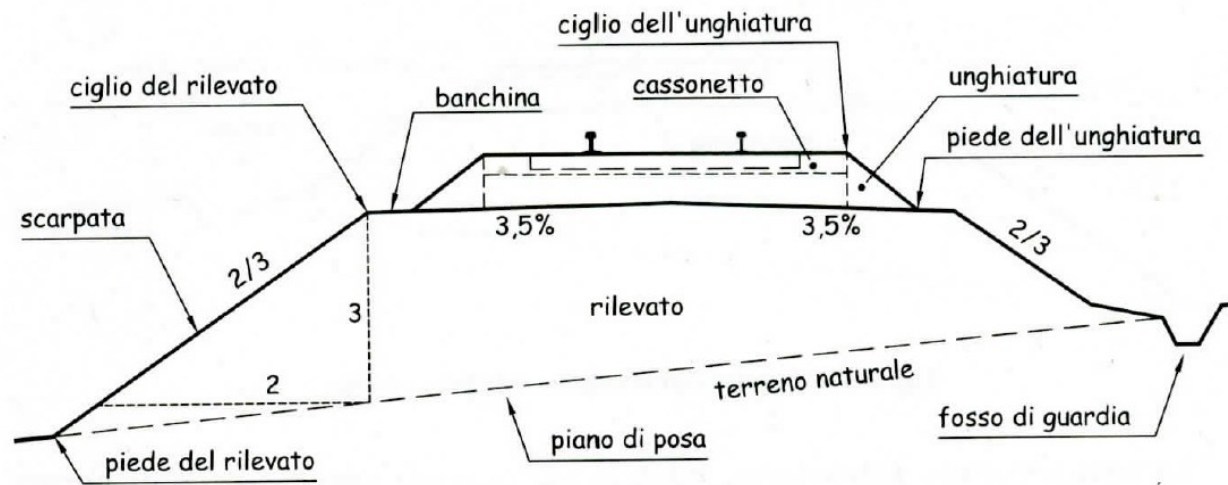
Elementi caratteristici della sede ferroviaria tradizionale:

- **Rotaia:** l'elemento d'acciaio che costituisce il supporto e la guida del veicolo; la sua parte superiore, sulla quale avviene il moto delle ruote, prende il nome di superficie di rotolamento.
- **Binario:** l'insieme delle due rotaie; il piano tangente a esse (in sommità) prende il nome di piano del ferro.
- **Traversa:** l'elemento su cui sono fissate le rotaie; possono essere in acciaio, in legno e in cemento armato semplice o precompresso.
- **Organi di attacco:** i dispositivi che consentono il collegamento delle rotaie alle traverse.
- **Armamento ferroviario:** l'insieme delle rotaie, delle traverse e degli organi di attacco.
- **Ballast (o massicciata):** è lo strato di pietrisco sul quale poggiano le traverse.
- **Sovrastruttura ferroviaria:** l'insieme dell'armamento e della massicciata.
- **Strati di sub-ballast:** sono strati di fondazione, in genere formati da materiali legati a bitume o a cemento; sono sempre presenti nelle nuove linee ad alta velocità.
- **Piattaforma di posa:** detta anche piattaforma stradale o piano di regolamento o piano di formazione, rappresenta il terreno su cui poggia la sovrastruttura ferroviaria, per lo spessore entro cui praticamente sono misurabili gli effetti prodotti dal passaggio dei veicoli (variabile in genere fra 30 cm e 1 metro).
- **Banchine:** parti estreme della piattaforma di posa, destinate al transito pedonale di servizio.
- **Corpo stradale:** il solido geometrico delimitato dalla piattaforma di posa, dalle scarpate dei rilevati o delle trincee (o da eventuali muri di sostegno), dalla superficie del terreno (sede stradale) e dalle sezioni trasversali terminali del tronco che si considera.

Sede ferroviaria (3)



Sede ferroviaria (4)



Sezioni Tipo Massiciata ferroviaria (1)

CATEGORIA
DI LINEA

LINEE TIPO A

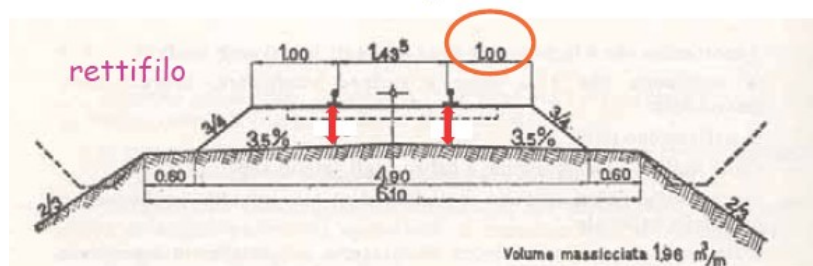
50 cm

LINEE TIPO B

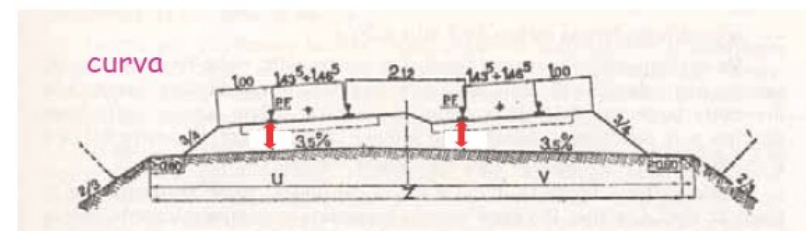
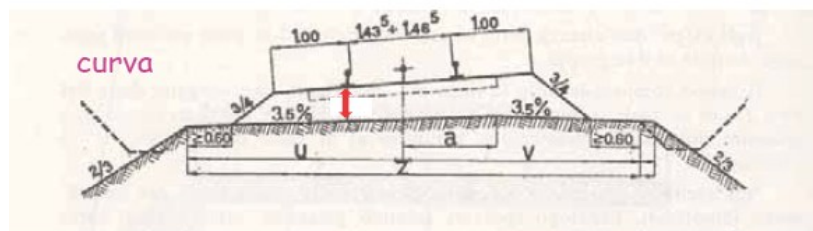
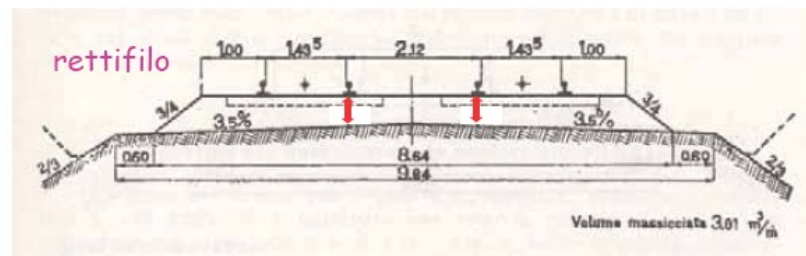
35 cm

SPESSORE MINIMO
DELLA MASSICIATA

Linee a semplice binario

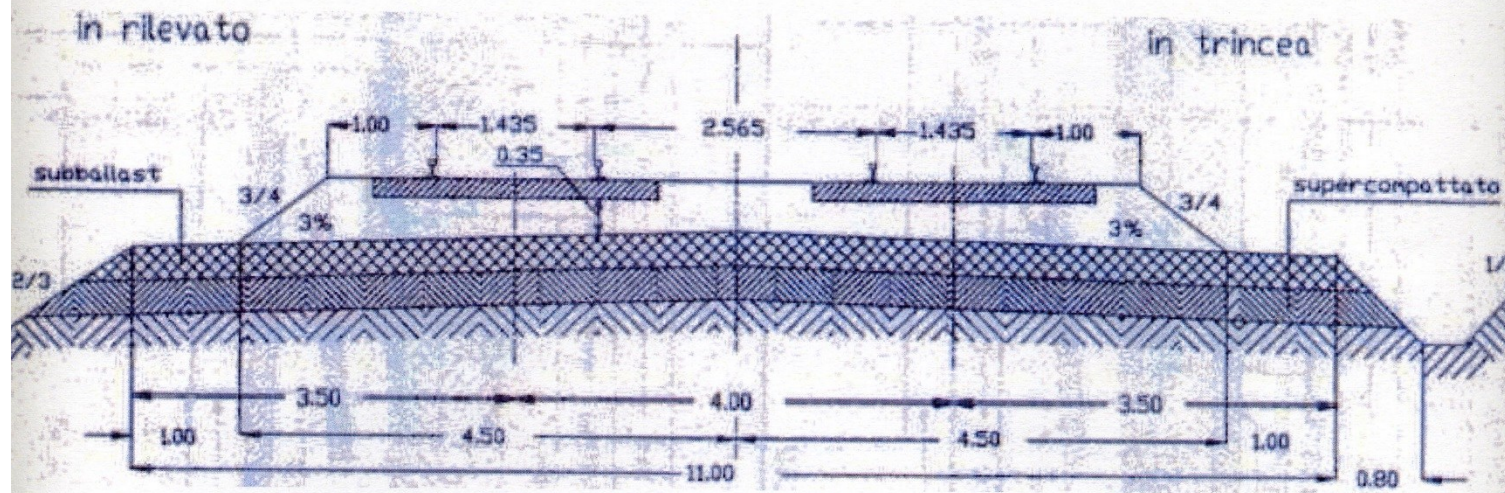


Linee a doppio binario



Sezioni Tipo Massicciata ferroviaria (2)

Sezione per linee di nuova costruzione e per raddoppi

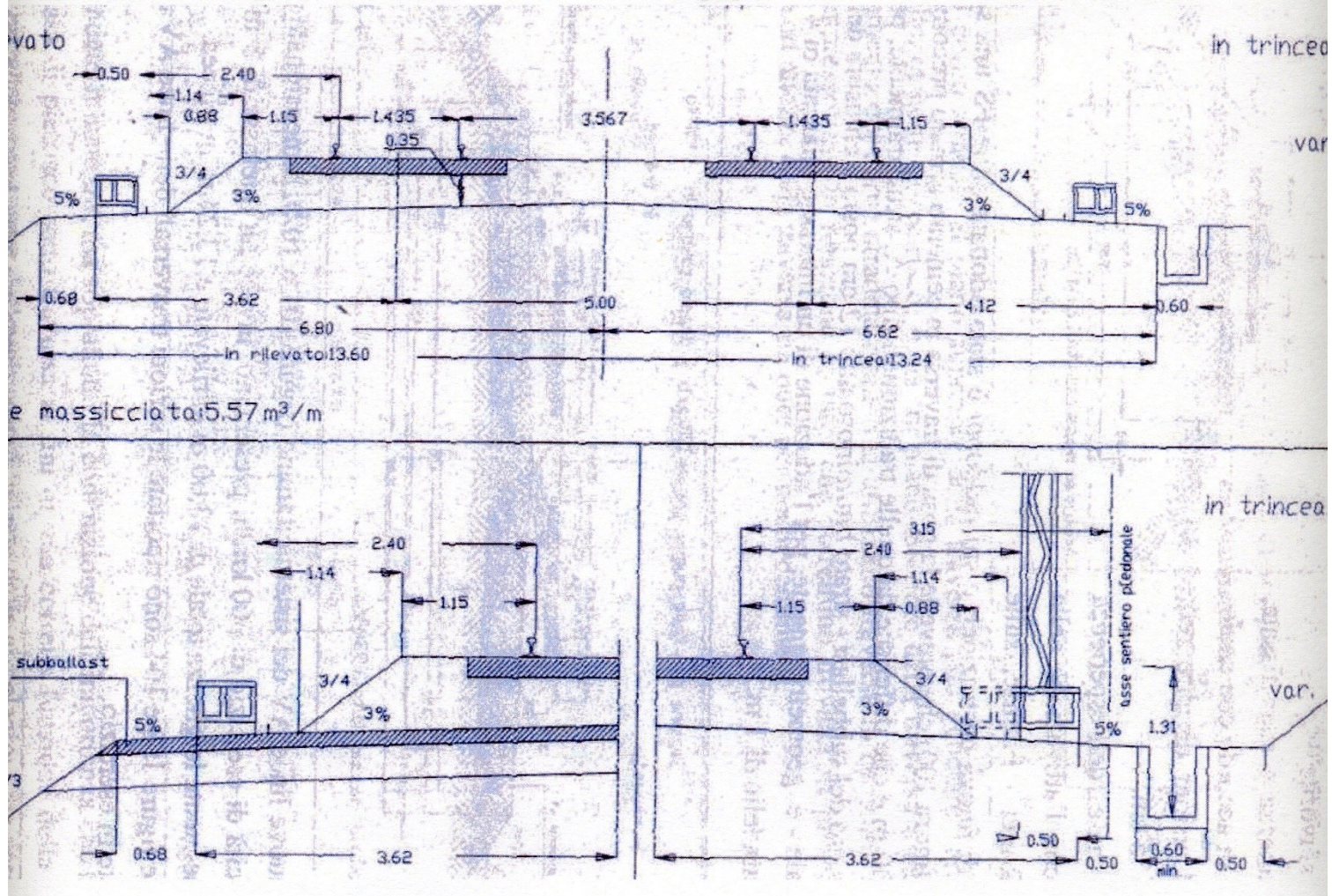


Tipi di subballast

	Misto Cementato	Conglomerato bituminoso
Granulometria	0 - 40 mm	0 - 20 mm
Contenuto legante	3%	4,4%
Resistenza a trazione	10,4 bar	23 bar
Modulo elastico E	3.000 bar	40.000 bar a 30°C 90.000 bar a 20°C
Spessore	20 cm	12 cm

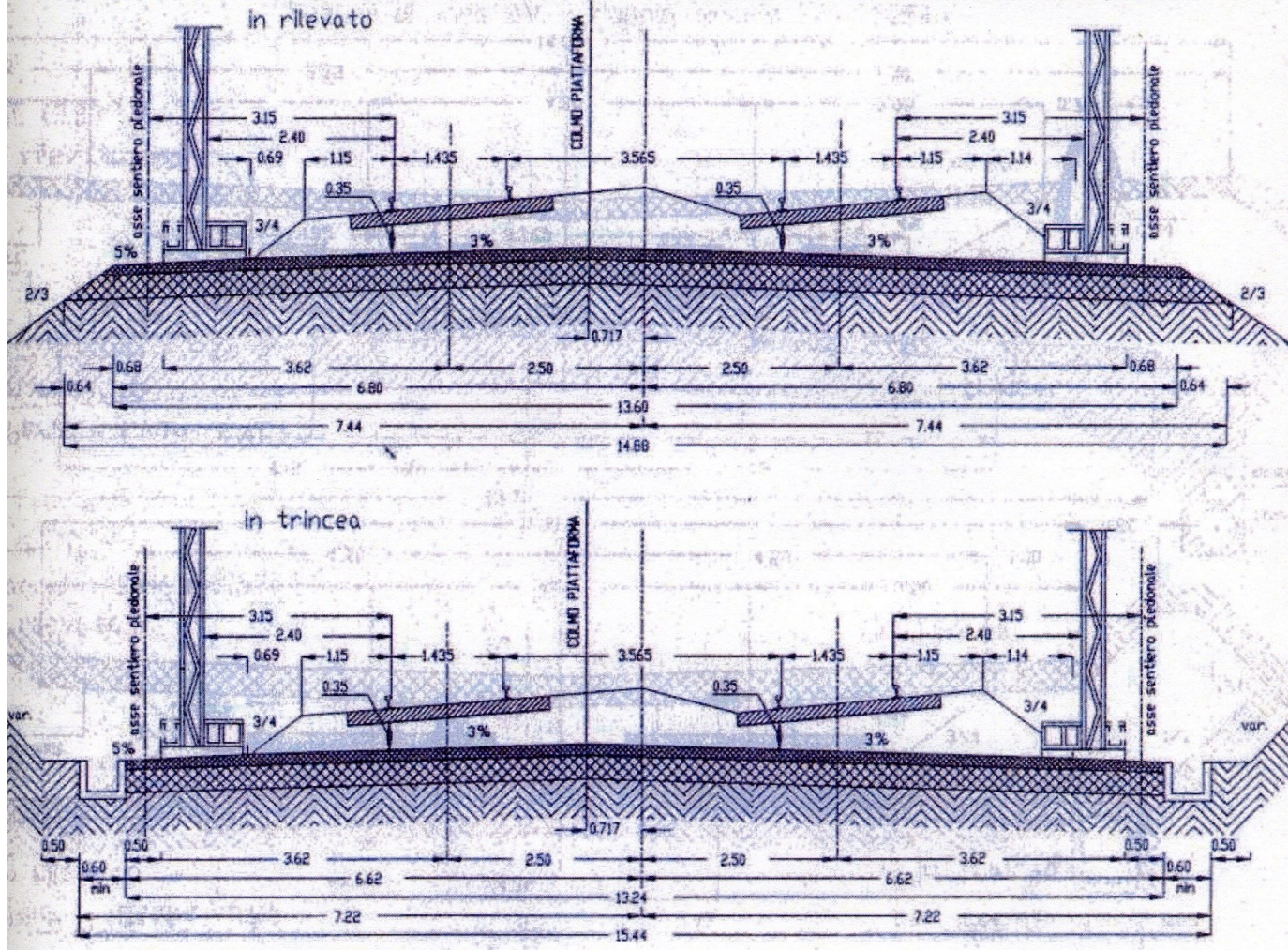
Sezioni Tipo Massiciata ferroviaria (3)

Sezione per linee AV/AC doppio binario in rettifilo



Sezioni Tipo Massicciata ferroviaria (4)

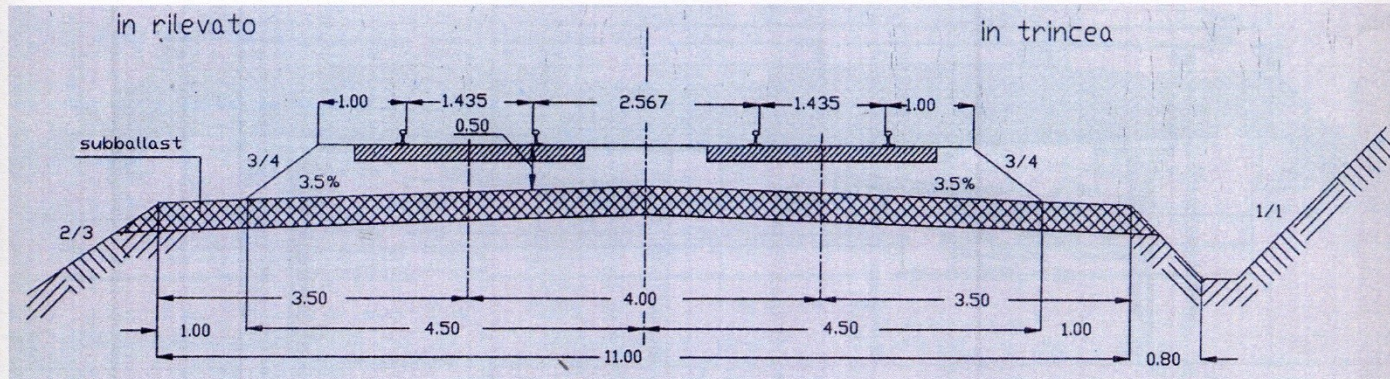
Sezione per linee AV/AC doppio binario in curva



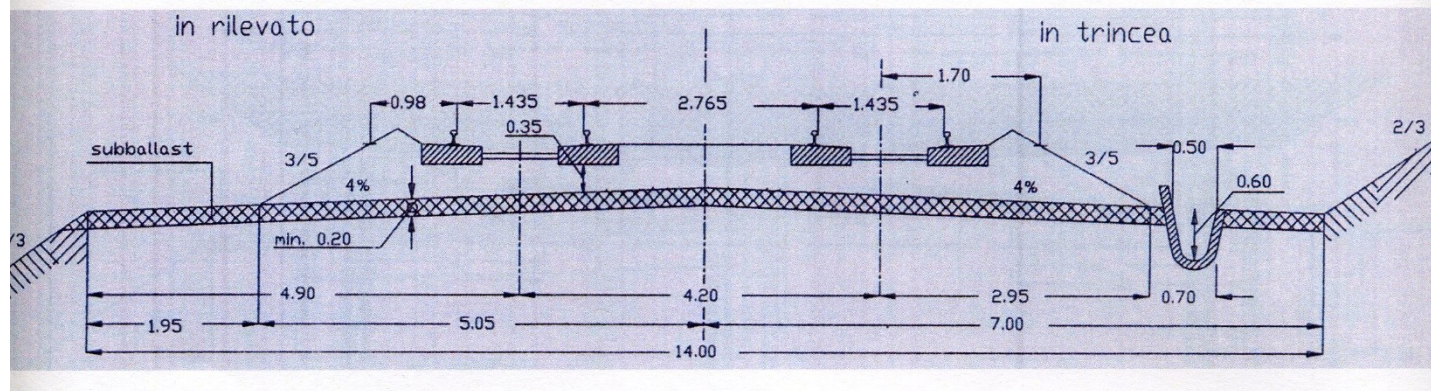
Sezioni Tipo Massicciata ferroviaria (5)

Sezione per linee AV a doppio binario in rettilineo (Giapponese e Francese)

Giapponese

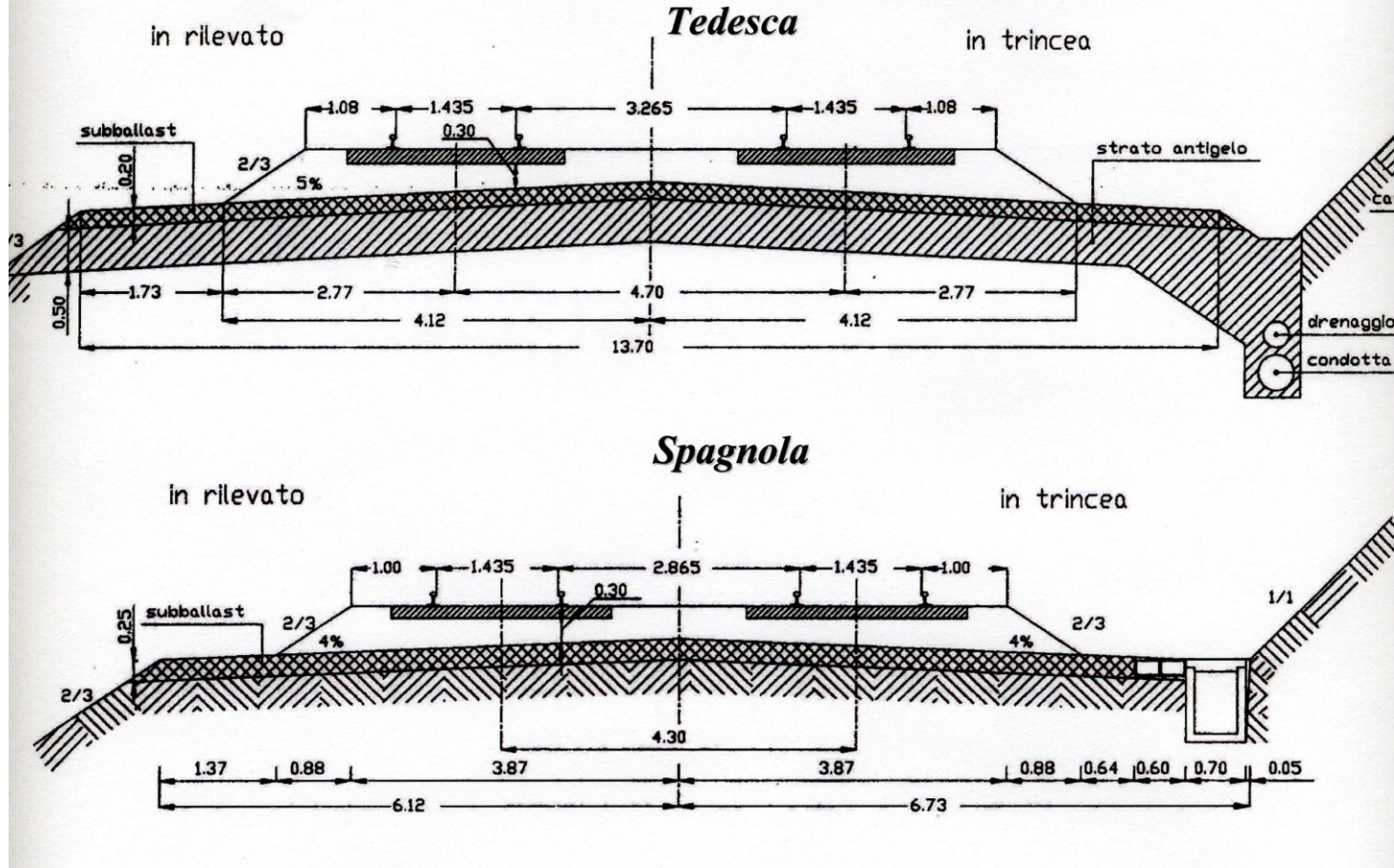


Francese



Sezioni Tipo Massicciata ferroviaria (6)

Sezione per linee AV a doppio binario in rettifilo (Tedesca e Spagnola)

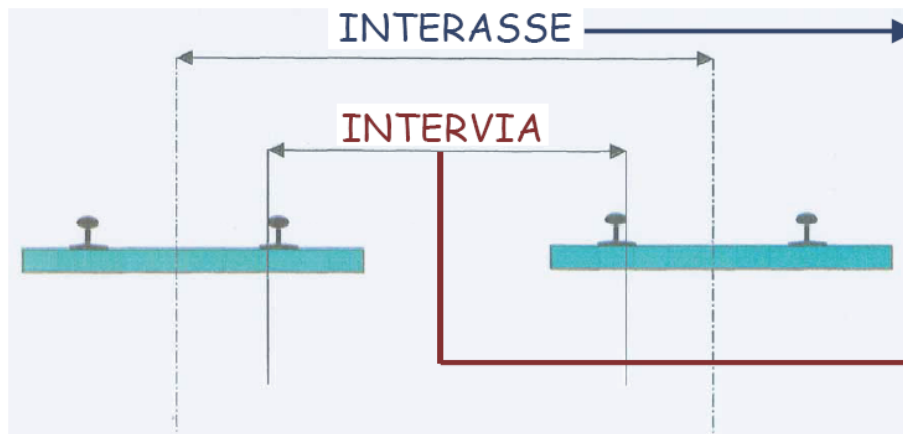


Interasse e intervía

Nelle linee a doppio binario

INTERASSE: distanza, misurata normalmente all'asse del binario, fra gli assi dei due binari adiacenti

INTERVIA: distanza, misurata normalmente all'asse del binario, fra i bordi interni delle due rotaie interne



➤ 3,56 m sulle linee trazionali

➤ 4,00 m sulla rete convenzionale

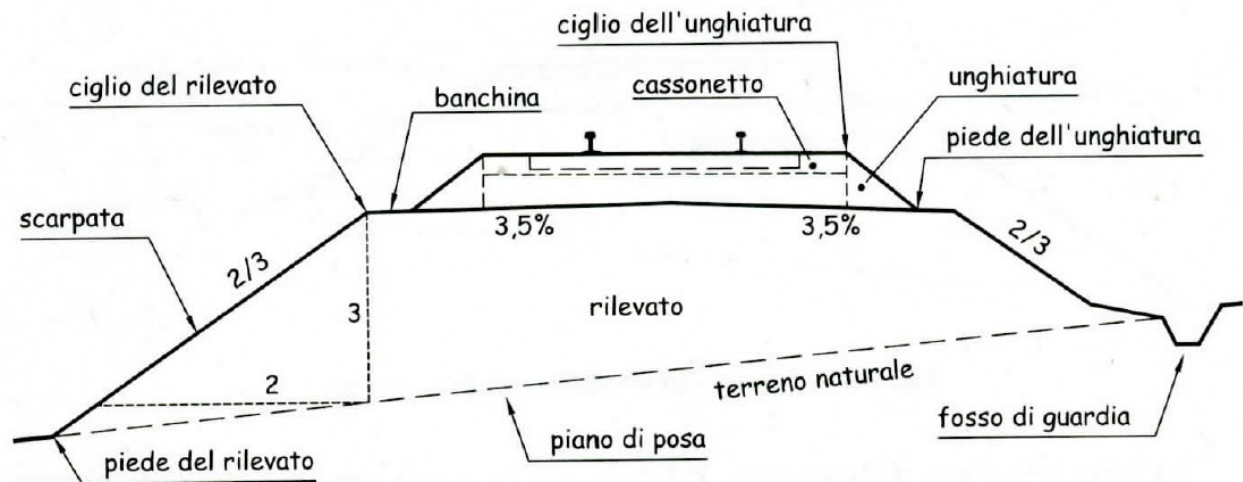
➤ 4,50 m sulla Rete AV/AC

➤ 2,12 m sulle linee trazionali

Massicciata ferroviaria (1)

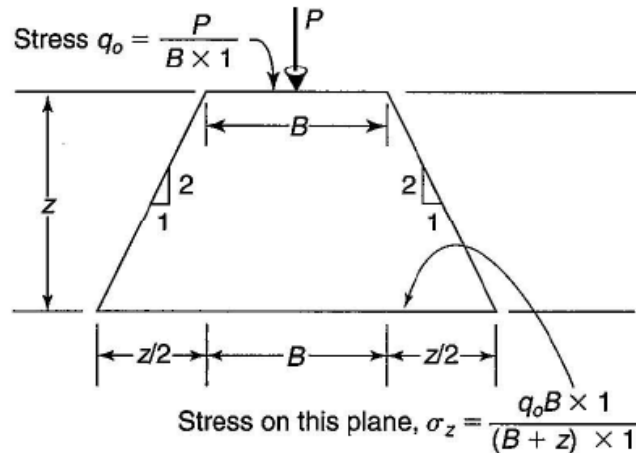


Scopi: distribuire i carichi verticali sul piano del corpo stradale; consentire di realizzare le condizioni geometriche di posa del binario sia in fase di costruzione che di esercizio; consentire la correzione dei difetti di geometria indotti dai carichi dinamici e da eventuali piccole alterazioni del corpo stradale.



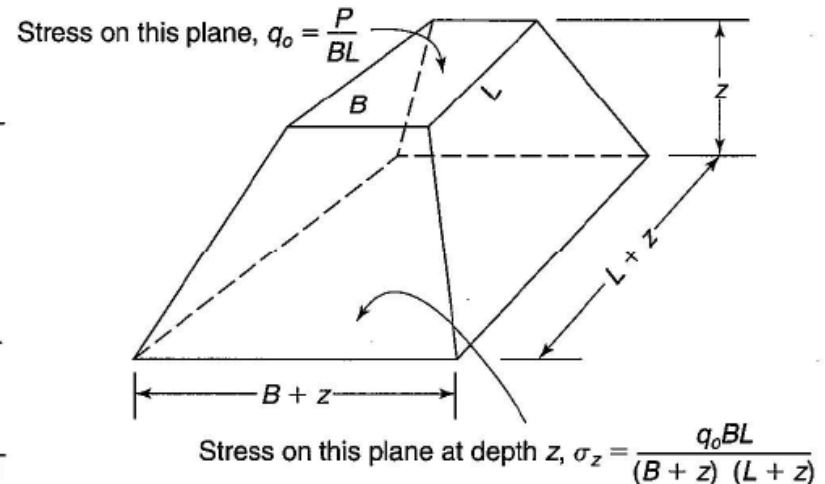
Massicciata ferroviaria (2)

(1) Fondazione continua



(a)

(2) Fondazione isolata



(b)

Con $P = 20000 \text{ kgf}$ $B = 26 \text{ cm}$ $L = 260 \text{ cm}$ $z = 50 \text{ cm}$ $\sigma_z \cong 0,9 \text{ kgf/cm}^2$

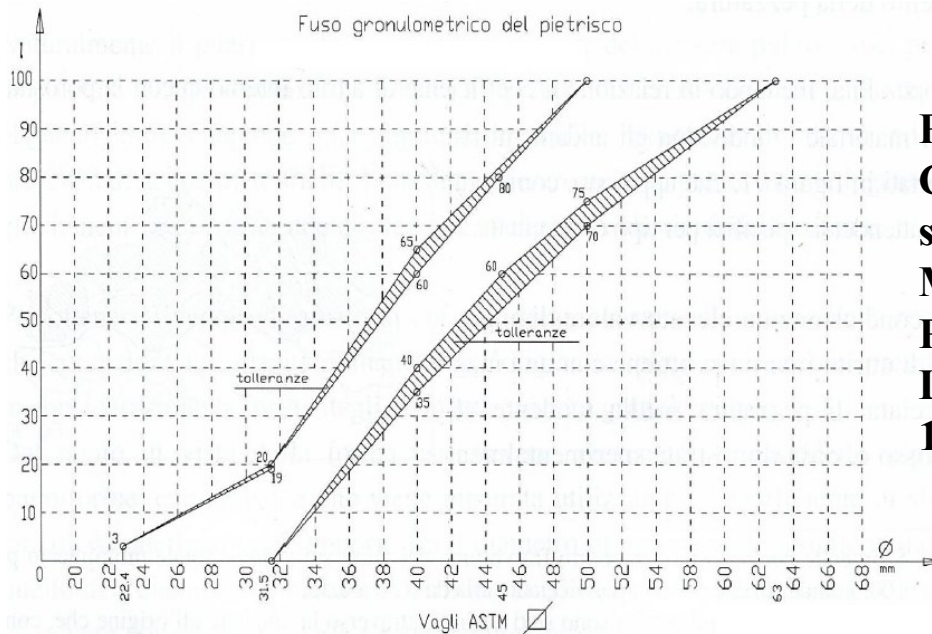
Il modulo di reazione della massicciata [C] può variare tra i 5 e 25 kgf/cm³

Il modulo elastico $E = 2100 \cdot \gamma_m - 2350$ [kg/cm²] γ_m densità massicciata in t/m³, per $\gamma_m = 1,5$ $E = 800$.

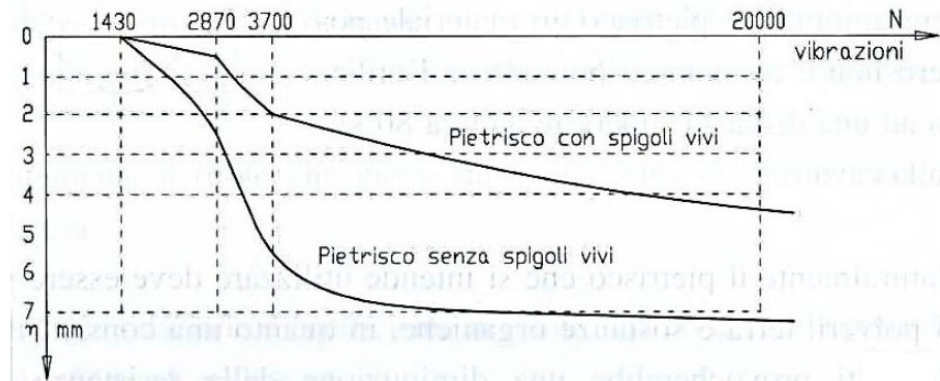
In fase progettuale si può assumere $E = 1300$; modulo di Poisson $\nu = 0,2$ coesione $c = 0$

Angolo di attrito $\phi = 45^\circ$

Massicciata ferroviaria (3)



Pietrisco: rocce silicee – calcari;
Caratteristiche meccaniche elevate,
spigoloso; Resistenza all'usura; Durabilità;
Materiale pulito, privo di terra e polveri;
Pezzature tra i 15/20 ed i 60/65 mm. Indice
Los Angeles < 20-25 per linee tradizionali, <
15 per linee alta velocità.



Rincalzatrice ferroviaria



Sub-ballast (1)

E' lo strato intermedio tra massicciata e corpo stradale.

Scopo:

- Ripartire i carichi dinamici sul piano di piattaforma
- Diminuire la risalita di umidità del corpo stradale
- Impedire la risalita di argille dal corpo stradale
- Ottenere una insensibilità alle escursioni termiche

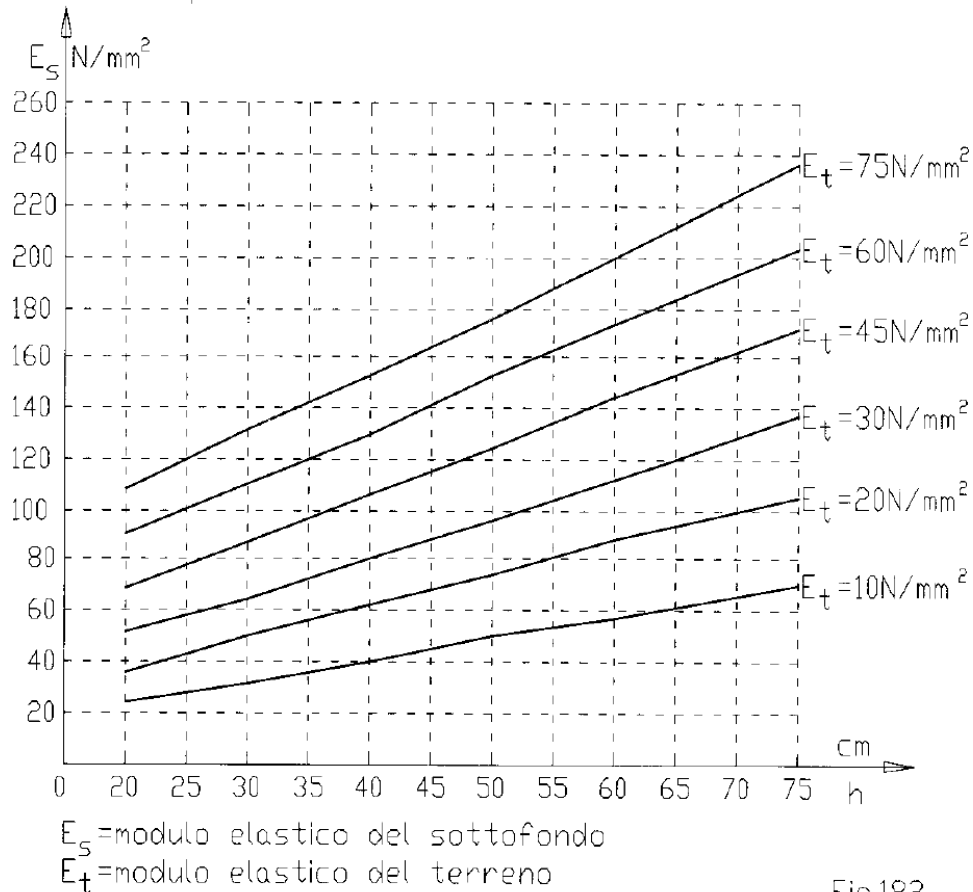
Spessori:

- Misto cementato 20 cm
- Conglomerato bituminoso 12 cm
- Effetti per ambedue: trasmettono 22 t/asse e inducono pressioni inferiori a 0,1 N/mm²

Tipi di subballast		
	Misto Cementato	Conglomerato bituminoso
Granulometria	0 - 40 mm	0 - 20 mm
Contenuto legante	3%	4,4%
Resistenza a trazione	10,4 bar	23 bar
Modulo elastico E	3.000 bar	40.000 bar a 30°C 90.000 bar a 20°C
Spessore	20 cm	12 cm

Sub-ballast (2)

Abaco delle ferrovie tedesche
per il dimensionamento del sottofondo

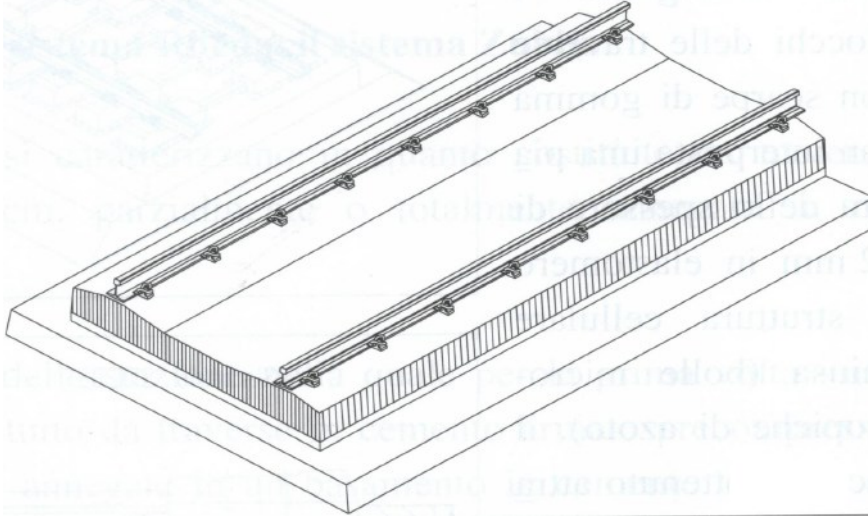


Nel caso di subballast per le linee della direttissima Roma Firenze si è utilizzato:

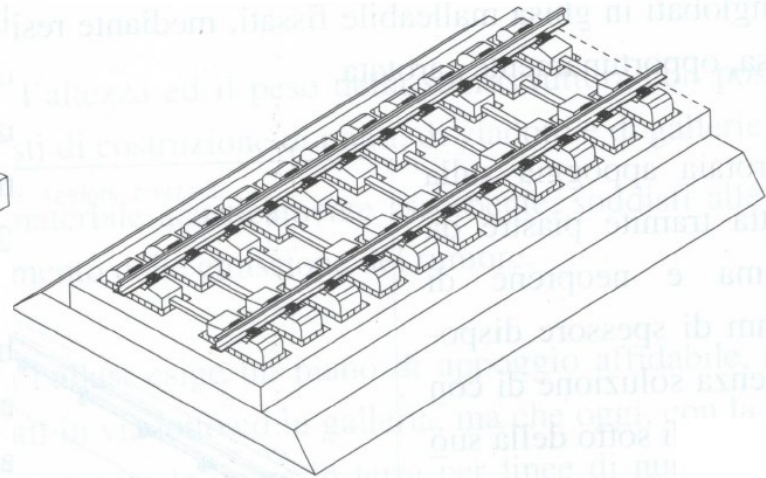
- un $E_d = 7000 \text{ kg/cm}^2$ per il conglomerato bituminoso;
- un $E_d = 800 \text{ kg/cm}^2$ per la fondazione (strato supercompattato);
- un $E_d = 400 \text{ kg/cm}^2$ per il terreno del corpo stradale.

Binario senza Massicciata (1)

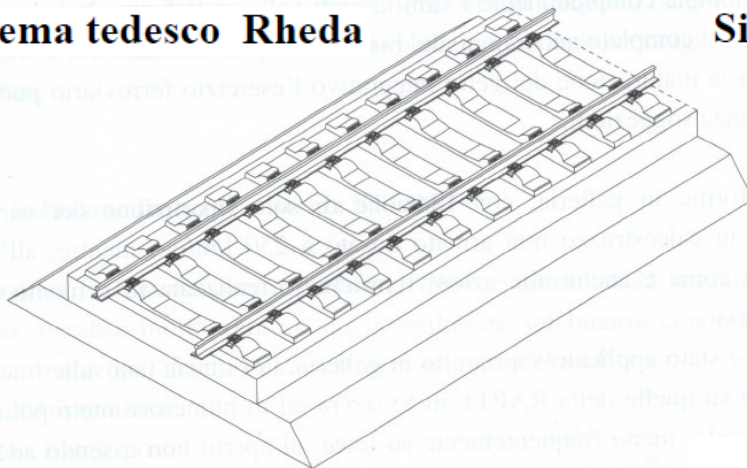
Sistema inglese PACT - Assonometria



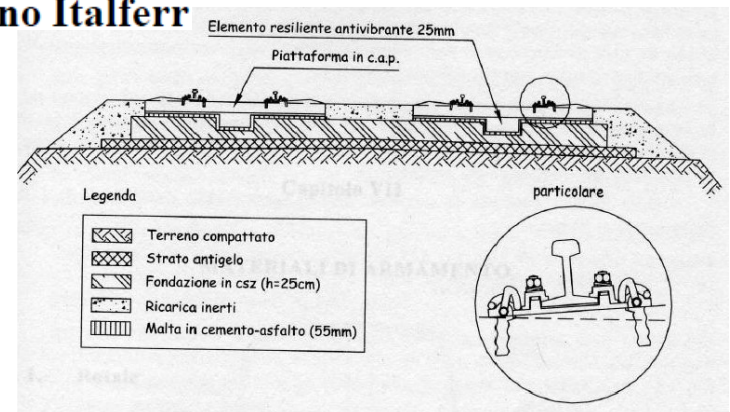
Sistema francese STEDEF



Sistema tedesco Rheda



Sistema italiano Italferr



Binario senza Massicciata (2)

Scopo:

- **contrastare le enormi azioni derivanti dall'aumento della velocità dei convogli**
- **ridurre gli interventi di manutenzione**
- **ridurre le sospensioni del servizio per manutenzione**
- **eliminare il degrado della massicciata più frequente per V elevate**
- **eliminare gli interventi di ricostruzione della sovrastruttura (sostituzione radicale)**

Vantaggi rispetto alla massicciata:

- **costo non superiore al doppio**
- **buona riserva di resistenza sotto carico**
- **elasticità identica**
- **spessore inferiore**
- **minimizzazione del disturbo vibro-acustico**
- **carrabilità del binario anche in galleria**
- **velocità di posa superiore a 200 m/giorno**

Classificazione linee ferroviarie (1)

A seconda della struttura della linea ferroviaria (massicciata, ponti, altre infrastrutture) le linee ferroviarie aderenti all'U.I.C. (Unione Internazionale delle Ferrovie) sono state classificate in relazione alla massima massa per asse supportabile ed alla massima massa per metro corrente.

Per massa per asse, o massa assiale, si intende la massa del veicolo che grava su ogni asse dello stesso e si calcola dividendo la massa totale del veicolo per il numero degli assi.

Per massa per metro corrente si intende la massa del veicolo che grava su ogni spazio di un metro occupato dal veicolo stesso e si calcola dividendo la massa totale del carro per la lunghezza espressa in metri dello stesso calcolata dagli estremi dei respingenti a riposo (non compressi).

Quest'ultimo valore è importante in particolar modo per i veicoli di limitata lunghezza ove la massa per asse viene concentrato in un breve spazio. Ciò può comportare problemi in particolare per l'attraversamento di alcuni ponti.

In base alla massa per asse le linee sono state classificate in quattro categorie indicate dalle lettere A, B, C, D ed E (quest'ultima non ancora in uso in Italia).

In base al massa per metro corrente le linee sono state classificate sempre in quattro categorie indicate con gli indici rappresentati dai numeri 1, 2, 3, 4 e 5 (la categoria "A" non ha indici numerici).

Categoria	Peso per asse in tonn./asse	Peso per metro corrente in tonn./metro
A	16	5,0
B1	18	5,0
B2	18	6,4
C2	20 (*)	6,4
C3	20 (*)	7,2
C4	20 (*)	8,0
D2	22,5	6,4
D3	22,5	7,2
D4	22,5	8,0
E4	25	8,0
E5	25	8,8

Classificazione linee ferroviarie (2)

Le linee ferroviarie vengono altresì classificate, per tronchi di lunghezza minima di 50 Km, in funzione dell'**intensità del traffico**, misurata dal **carico fittizio** espresso in **tonnellate lorde giornaliere rimorchiate** dalla formula:

$$T = T_v \cdot \frac{V}{100} + T_m \cdot \frac{P}{18 \cdot D} \quad [\text{tlr/g}]$$

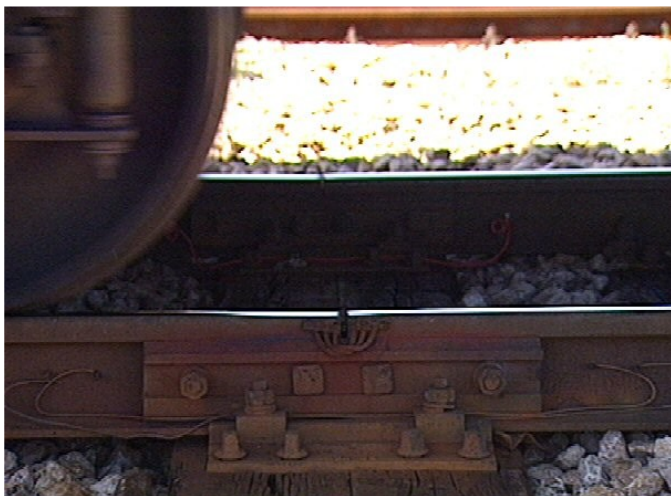
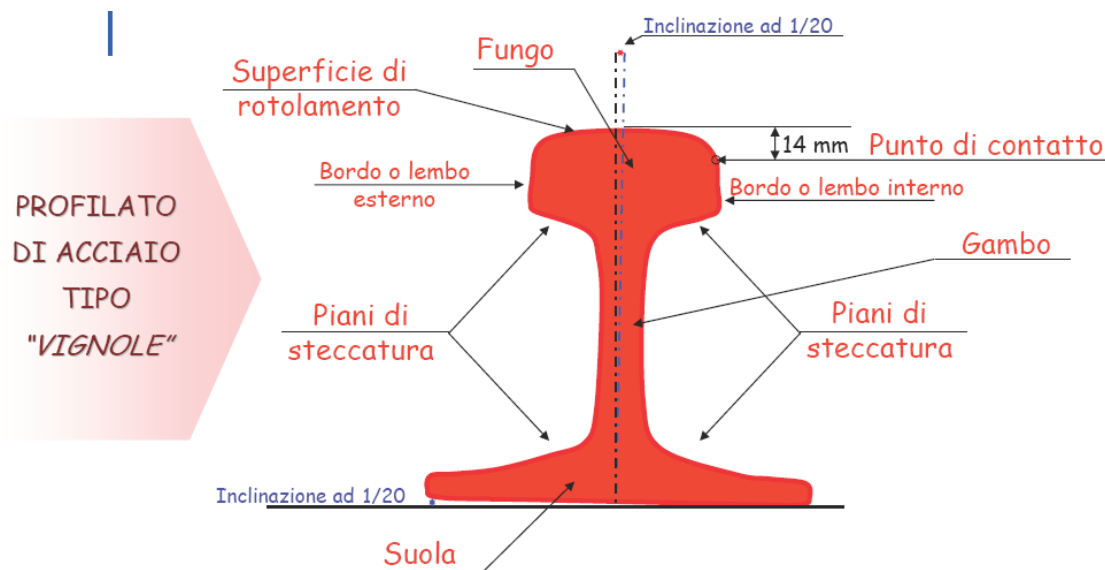
dove:

- T_v e T_m sono i carichi reali in tonnellate lorde rimorchiate giornaliere [tlr/g],
- V è la velocità d'esercizio dei treni di rango A (assimilando a 80 Km/h tutte le velocità inferiori),
- D è il diametro minimo in [m] delle ruote, della maggioranza dei veicoli in circolazione
- P è il massimo carico per asse (riferito ai veicoli muniti di ruote di diametro D).

In tabella sono riportati i nove gruppi individuati in sede europea. Le nuove linee italiane sono dimensionate per carichi fittizi compresi tra le 50.000 e le 80.000 t.

Gruppo	Carico fittizio [tlr/g]
1	> 102.000
2	70.000 ÷ 102.000
3	40.000 ÷ 70.000
4	25.000 ÷ 40.000
5	12.500 ÷ 25.000
6	6.000 ÷ 12.500
7	3.000 ÷ 6.000
8	1.000 ÷ 3.000
9	≤ 1000

Rotaie (1)



direttamente le ruote ferroviarie
quale poggiano

SUOLA = parte inferiore, tramite la quale la rotaia poggia sulle traverse

GAMBO = parte centrale, posta tra fungo e suola, sede delle forature per la giunzione di due rotaie consecutive

SUPERFICIE DI ROTOLAMENTO = parte superiore del fungo

PIANI DI STECCATURA = piani di raccordo tra fungo e gambo e tra gambo e suola; sono detti così perché tra di essi sono sistemate le "stecche" o "ganasce" in prossimità delle estremità delle rotaie ed in corrispondenza delle giunzioni tra 2 rotaie consecutive

Rotaie (2)

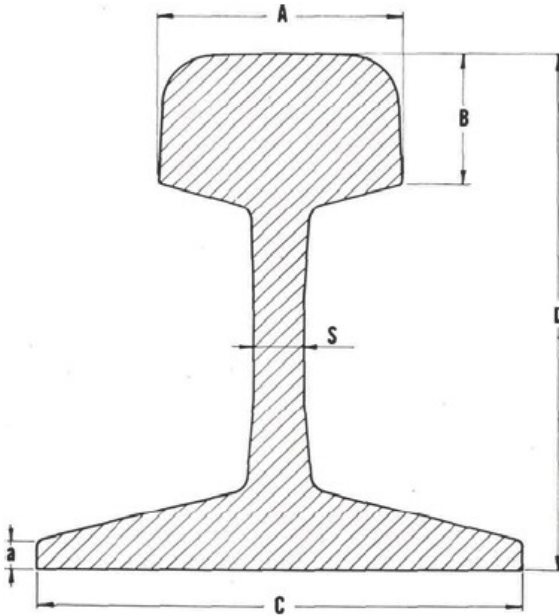


fig. 7 – Dimensioni fondamentali della rotaia

$$M = 0,00786 F$$

Con M massa rotaia in kg/ml, F
sezione rotaia in mm²

Tipo	kg/ml	A mm	B mm	C mm	D mm	a mm	S mm
RA 36S	36,00	60,0	29,00	100	130	9,00	14,0
FS 46 ³	46,30	65,0	36,87	135	145	8,12	14,0
49	49,00	70,0	38,80	125	148	10,50	14,0
FS 506	50,60	65,0	38,87	135	149	10,12	16,0
50 UNI	49,86	70,0	38,80	135	148	10,00	14,0
60 UNI	60,36	74,3	37,50	150	172	11,50	16,5

Caratteristiche geometriche di alcuni tipi di rotaia

Rotaia	Peso kg	Altezza mm	Lar- ghezza suola mm	Area mm ²	J_x cm ⁴	J_v cm ⁴	W_x cm ³	W_v cm ³	y_c mm
FS 46	46,3	145	135	5.926	1.018		217,3		76,52
UIC 50	49,85	148	135	6.350	1.797	362	242	54	76,2
UIC 60	59,458	172	150	7.686	3.055	512,9	335,5	68,4	91,05
UIC 71	71,27	186	160	9.079	4.151,66	735,06	499,73	91,9	83,07

TABELLA 39

Rotaie (3)

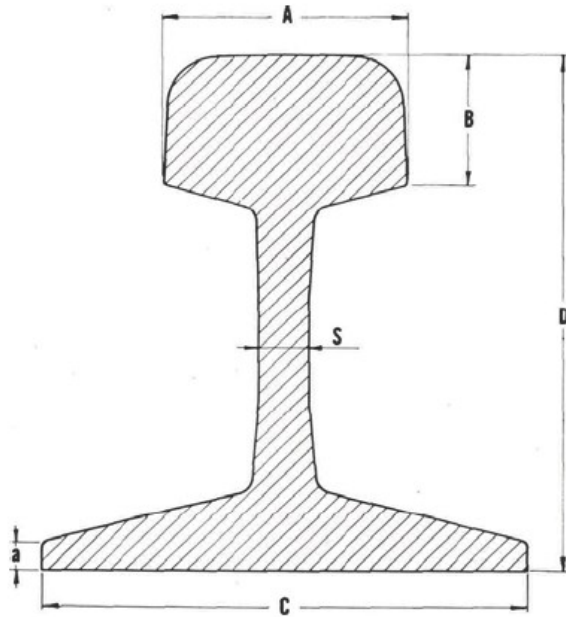


fig. 7 – Dimensioni fondamentali della rotaia

Classi dell'acciaio da rotaia

Tipo	C%	Mn%	Si%	Cr%	P%	S%	Carico Rottura N/mm ²	Tensione Esercizio N/mm ²
700	min 0,40 max 0,60	0,8 1,25	0,05 0,35	-	0,05	0,05	680 830	230
900A	min 0,60 max 0,80	0,8 1,3	0,10 0,50	-	0,04	0,04	880 1.030	280
900B	min 0,55 max 0,75	1,3 1,7	0,10 0,50	-	0,04	0,04	880 1.030	280
1.100	min 0,60 max 0,82	0,8 1,3	0,30 0,90	0,8 1,3	0,03	0,03	1.110	330

Calcolo della Rotaia (1)

Tradizionalmente la rotaia viene considerata come una trave a sezione costante, ancorata alle traverse configurate come vincoli cedevoli.

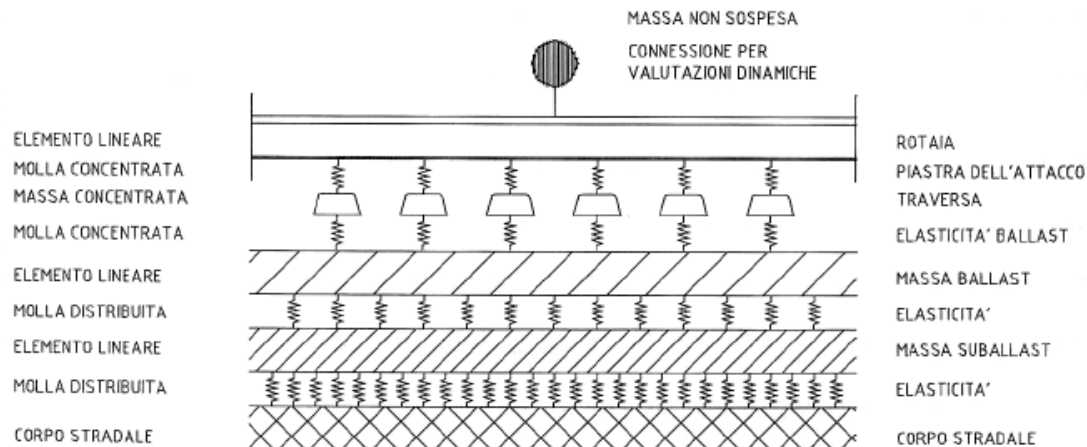
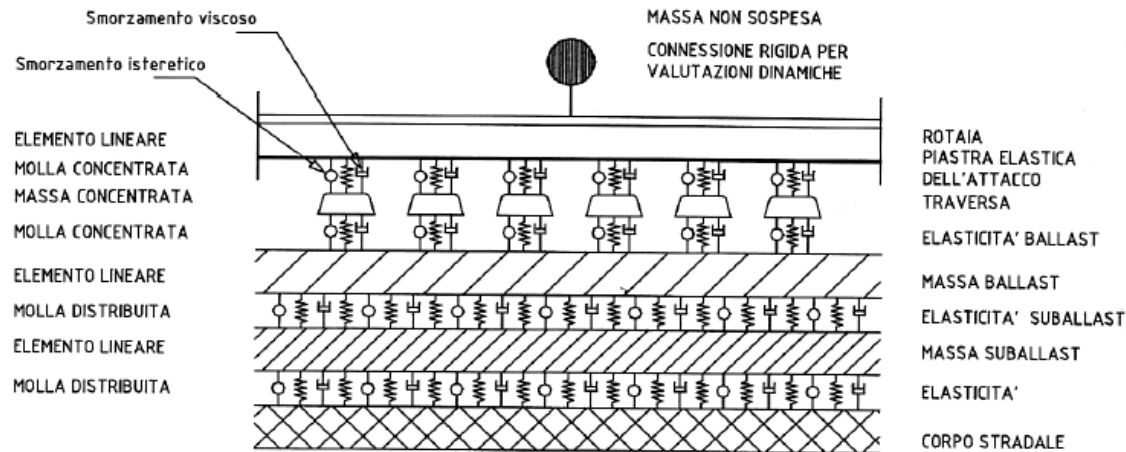
La rotaia risulta sollecitata da forze normali e parallele al proprio asse geometrico ed in particolare le forze normali sono costituite da:

- **carichi verticali trasmessi dalle ruote;**
- **reazioni delle traverse;**
- **forze provocate dal moto di serpeggio;**
- **forze generate dalle oscillazioni trasversali del materiale rotabile;**

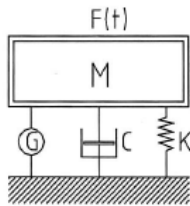
mentre quelle parallele sono rappresentate da:

- **trazione alle ruote;**
- **forzo di frenatura;**
- **forze generate dalle variazioni termiche.**

Calcolo della Rotaia (2)



Calcolo della Rotaia (3)



M= massa non sospesa del treno +
massa rotaia + massa piattaforma
G = smorzamento isteretico
C = smorzamento viscoso
K = rigidità dinamica

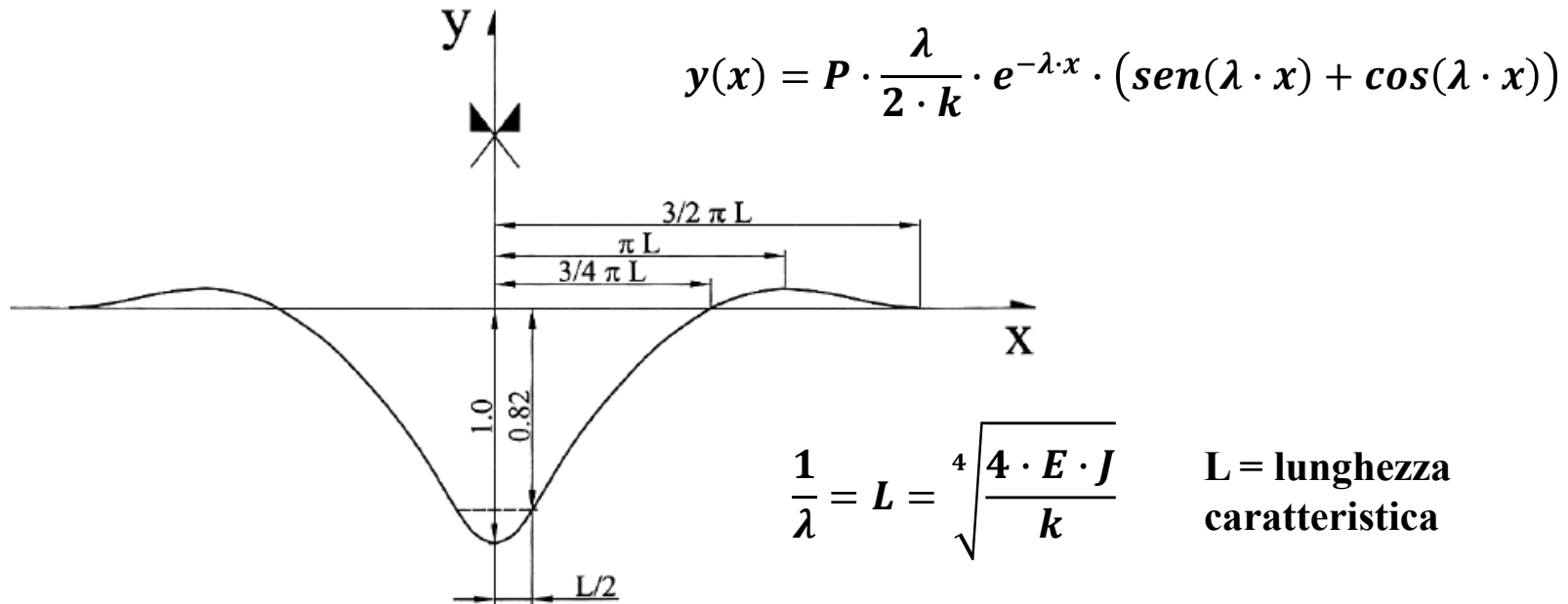
$$R(t) = F(t) - M \ddot{X}(t)$$

In Figura è riportato lo schema di un oscillatore semplice elasto-viscoso-isteretico, che è alla base del modello. In particolare esso è caratterizzato da legami:

- elastici: per i quali sussiste la relazione lineare fra sollecitazione e deformazione, individuata mediante la rigidità elastica K misurata in kN/mm;
- viscosi: in grado di dissipare energia al crescere della velocità di applicazione dei carichi. Tale capacità è espressa mediante il coefficiente di smorzamento viscoso C, misurato in kN/mm s;
- isteretici: in grado di dissipare energia proporzionalmente alla deformazione in un ciclo di deformazione in fase con la velocità. Tale capacità è espressa mediante il coefficiente di smorzamento isteretico G, misurato in kN/mm.

	Modulo di elasticità (daN/cm ²)	Coefficiente di Poisson	Coefficiente di elasticità	Smorzamento critico	Peso (kg)	Densità (kg/m ³)	Momento d'inerzia (cm ⁴)
Corpo stradale	-	-	16.500	0.15	-	-	-
Subballast	1.0 · 10 ⁵	0.40	1.375 · 10 ⁷	-	-	-	18.857
	1.5 · 10 ⁵	0.38	2.062 · 10 ⁷	-	-	2.3 · 10 ³	18.513
	2.0 · 10 ⁵	0.35	2.750 · 10 ⁷	-	-	-	18.051
Massicciata	1.0 · 10 ³	0.35	4.7 · 10 ⁴	0.25	-	1.25 · 10 ³	4.48 · 10 ⁵
Traversa	-	-	-	-	195	-	-
Piastra sottorotaia	-	-	2.0 · 10 ⁵	0.18	-	-	-
Rotaia	2.1 · 10 ⁶	-	-	-	-	7.8 · 10 ³	3.055

Calcolo della Rotaia (4)



E = modulo elastico rotaia

J = momento d'inerzia rotaia

k_v = costante di Winkler

S = superficie reagente sotto la traversa in corrispondenza rotaia

I_t = interasse traverse

$$k = \frac{k_v \cdot S}{I_t}$$

Calcolo della Rotaia (5)

Metodo di Timoschenko

$$\bar{b} = \frac{b \cdot u}{I_t}$$

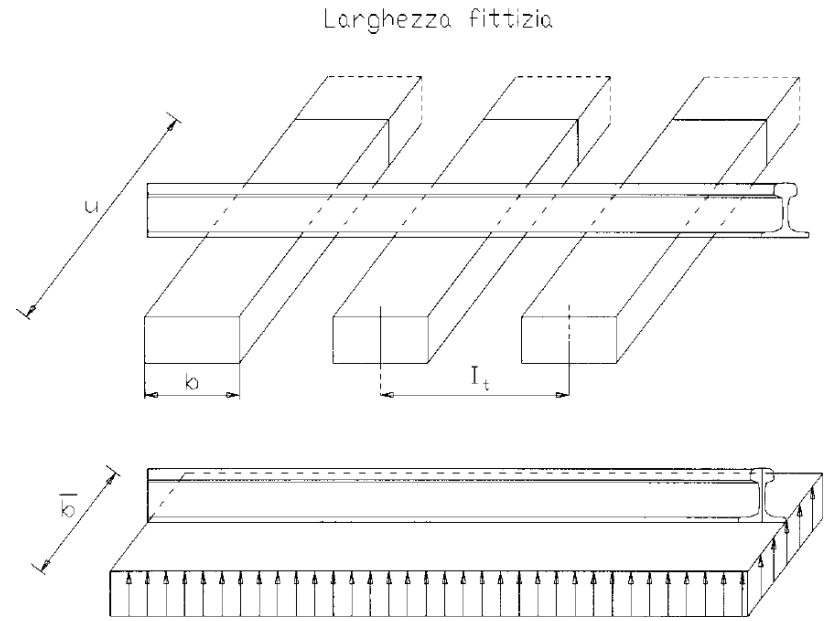
$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot J}{\bar{b} \cdot k_v}}$$

$$M = C_d \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{L}{4}$$

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Momento

Sollecitazione



$\bar{b}$ =lunghezza fittizia
u= zona reagente della traversa (≈ 80 cm)

Linea di tipo D4 caratterizzata da Peso asse P = 22500 daN; rotaia 60UIC con J = 3055 cm⁴ W 335,5 cm³ σ_{amm} = 2800 daN/cm²

Larghezza traversa b= 30 cm con interasse I_t = 60 cm ed un u= 80 cm k_v = 7 daN/cm³ C_d (incremento dinamico) = 1,75

Si ottiene: L = 98 cm ed un M = 482.343,75 daN*cm σ = 1438 daN/cm²

Incremento dinamico

$$C_d = 1 + 0,00062 \cdot (V - 10) \quad \text{Formula di Talbot, V in [km/h]}$$

$$C_d = 1 + \frac{V^2}{30.000} \quad \text{Per } V < 100 \text{ [km/h]} \quad C_d = 1 + \frac{4,5 \cdot V^2}{10^5} - \frac{1,5 \cdot V^2}{10^7} \quad \text{Per } V > 100 \text{ [km/h]}$$

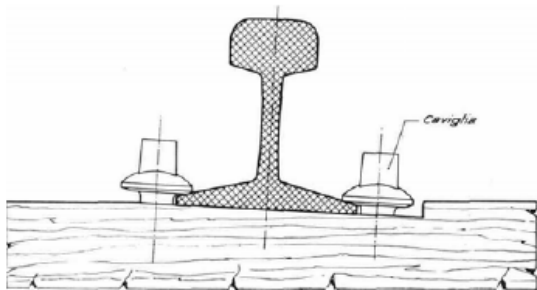
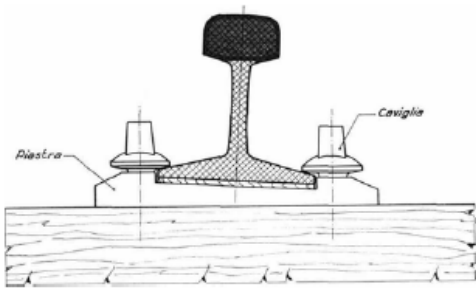
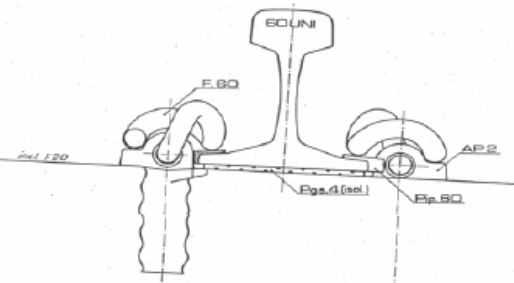
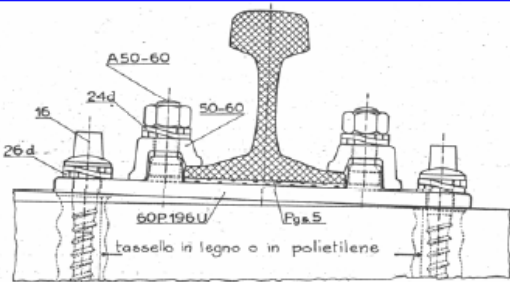
Le FS utilizzano per il calcolo del binario tradizionale 1,75 elevato a 3,6 per casi eccezionali, mentre per il binario senza massicciata utilizza 1,5 in condizioni normale e 2,5 in condizioni eccezionali.

Eisenman (per la rete AV tedesca) ha trovato le seguenti espressioni:

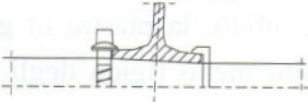
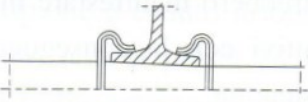
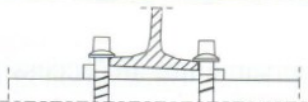
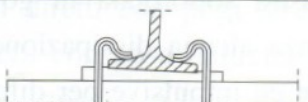
$$\text{Per } V < 60 \text{ km/h} \quad C_d = 1, \quad \text{mentre per } 60 < V < 200 \quad C_d = 1 + s_1 \cdot s_2 \cdot \left(1 + \frac{V - 60}{140} \right)$$

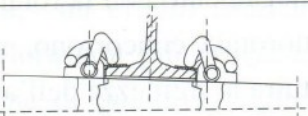
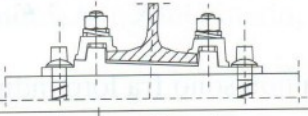
Con $s_1 = 0,1$ per binario in buono stato, $s_1 = 0,2$ per binario mediocre e $s_1 = 0,3$ per binario in cattivo stato; mentre $s_2 = 1$ accettando un rischio di valori superiori a quello calcolato del 31,6 %, $s_2 = 2$ per un rischio del 4,5 % e $s_2 = 3$ per un rischio dello 0,3 %.

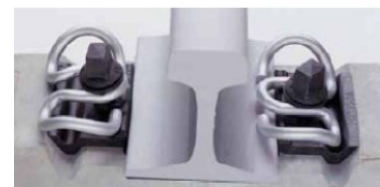
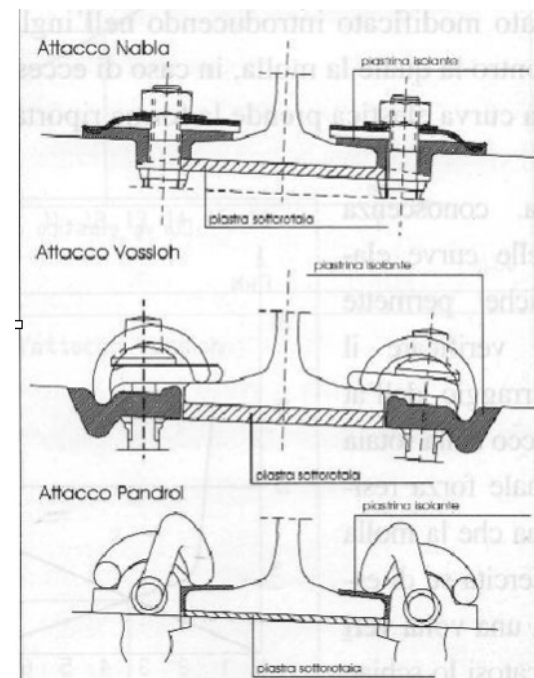
Attacchi (1)

		POSA	
		diretta	indiretta
ATTACCO	diretto		
	indiretto		

Attacchi (2)

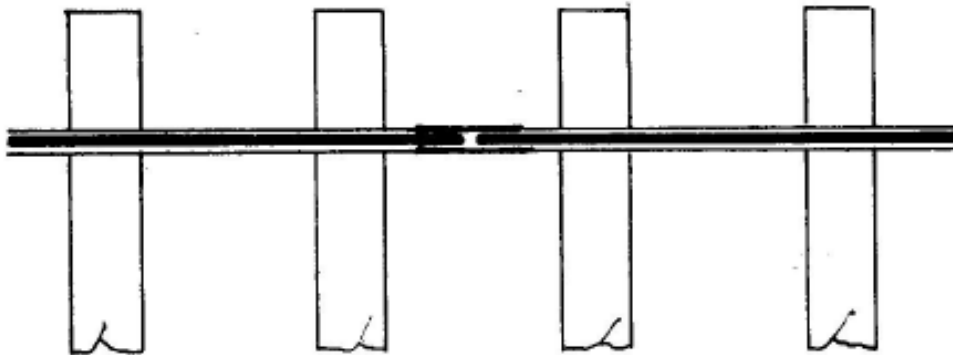
Panorama degli attacchi				
Colleg. rotaia/trav.	Posa	Deformabilita'	Traversa	Esempio
Diretto	Diretta	Rigido	Legno	
		Elastico	Legno	
	Indiretta	Rigido	Legno	
		Elastico	Legno	

Indiretto	Diretta	Rigido	-----	
		Elastico	c.a.p.	
	Indiretta	Rigido	Legno / c.a.p.	
		Elastico	c.a.p.	

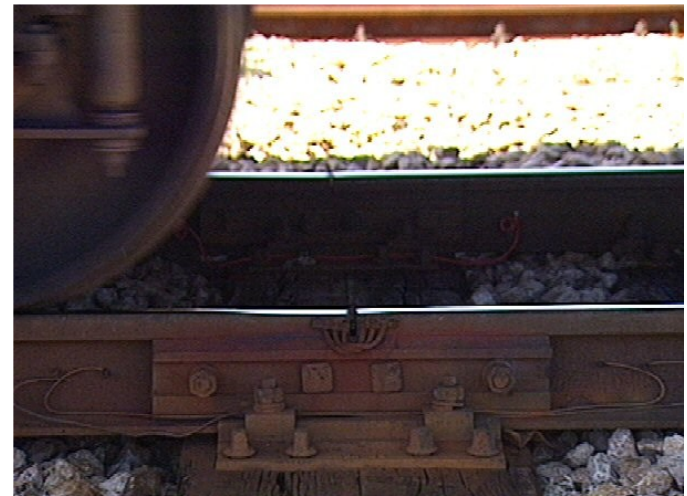
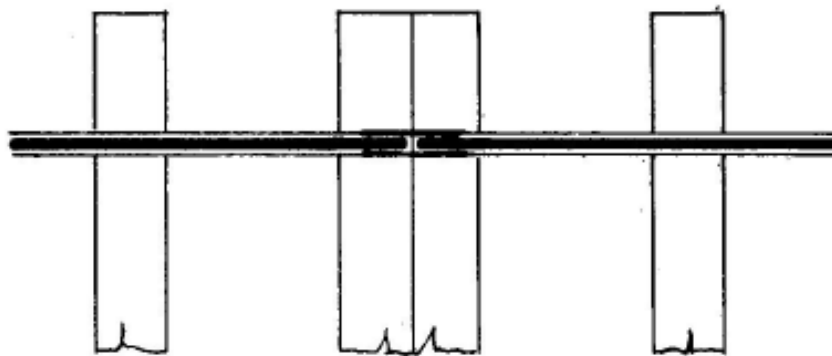


Giunzioni (1)

Giunto sospeso o appoggiato

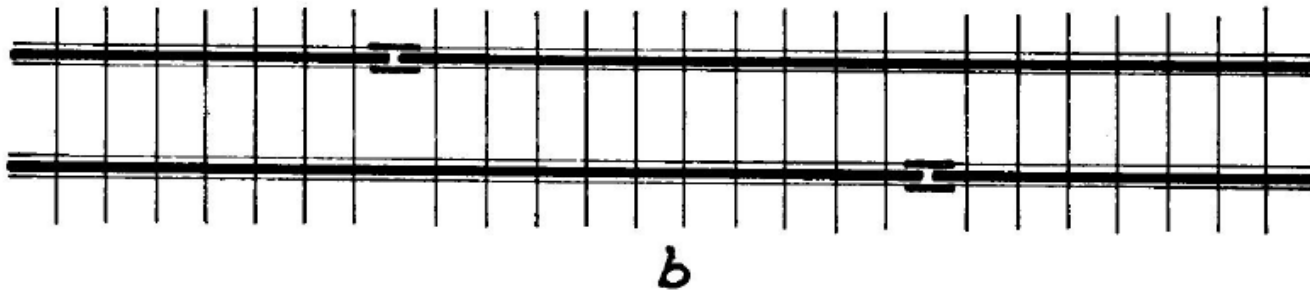
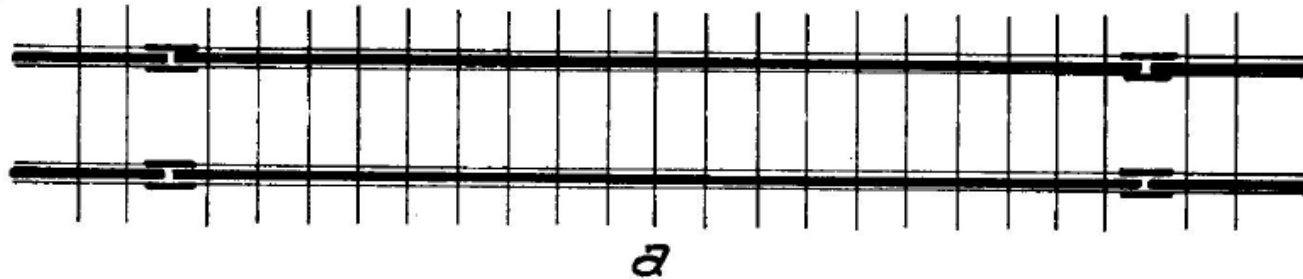


a



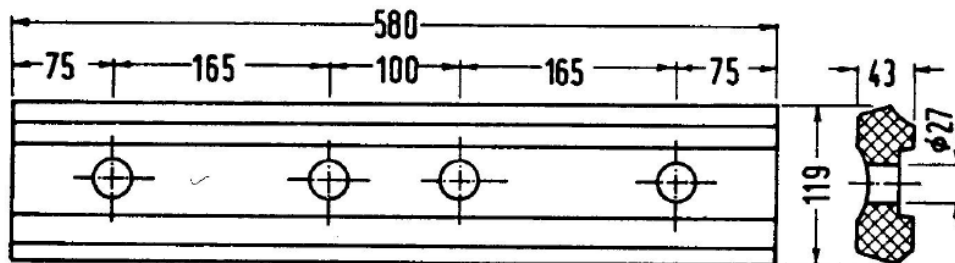
Giunzioni (2)

Giunzioni affacciate e sfalsate

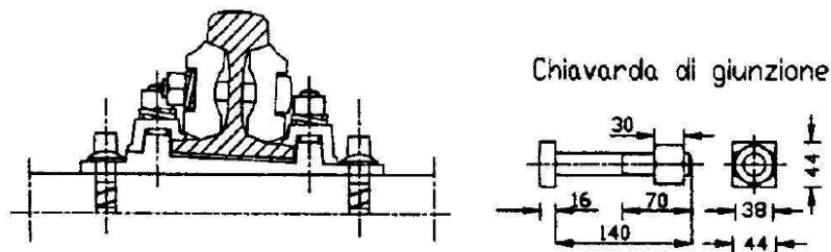


Giunzioni (3)

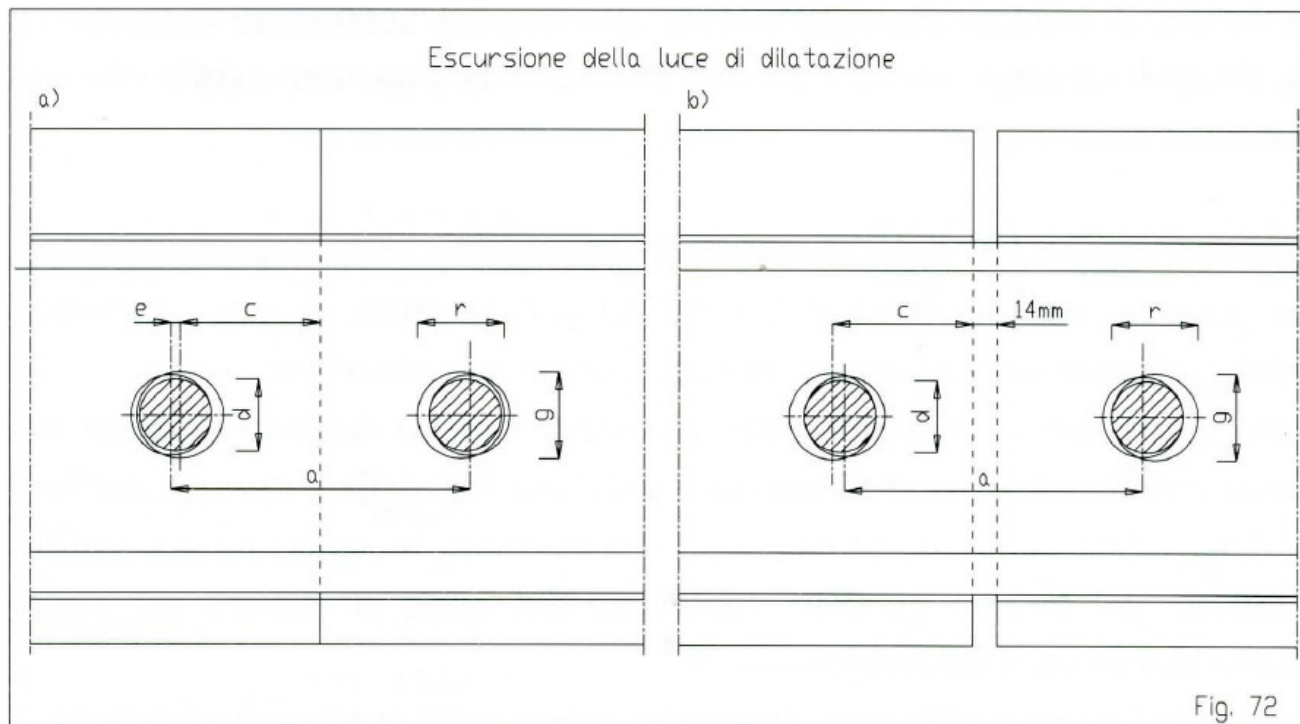
Ganascia per giunzioni tra rotaie



Le rotaie hanno lunghezza di 12,00 metri in funzione della dilatazione massima ammissibile (per una escursione di temperatura pari a 70° si ha una dilatazione di 10 mm; le FS indicano in 14 mm la dilatazione massima ammissibile).



Giunzioni (4)



Massima dilatazione ammessa da FS $L_{max} = 2 \cdot (g + r - 2 \cdot d - 1) = 2 (27+29 - 2 \cdot 24 - 1) = 14 \text{ mm}$

Reciproco legame tra le diverse grandezze $0,5 \cdot (g+r) - d = 0,5 \cdot a - c + 1$

Dove: g diametro foro ganasca, r diametro foro rotaia, d diametro chiavarda, a distanza fra i centri dei fori centrali delle ganasce, c distanza del centro del foro estremo della rotaia dall'estremità della rotaia stessa, e (= 3 mm) disassamento tra i fori mediani delle ganasce ed i fori delle rotaie

La termica del binario (1)

Legge di dilatazione della rotaia al variare della temperatura:

$$L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) = L_0 + \Delta L$$

L_0 : lunghezza rotaia alla temperatura di riferimento

Δt : variazione della temperatura

α : coefficiente di dilatazione (acciaio laminato: $11,5 \times 10^{-6} / 12 \times 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]$)

Lunghezza rotaia	ΔL per $^\circ\text{C}$
12 [m]	$12 \cdot 10^{-6} \cdot 12.000 = 0,144 [mm]$
18 [m]	$12 \cdot 10^{-6} \cdot 18.000 = 0,216 [mm]$
24 [m]	$12 \cdot 10^{-6} \cdot 24.000 = 0,288 [mm]$
30 [m]	$12 \cdot 10^{-6} \cdot 30.000 = 0,360 [mm]$
36 [m]	$12 \cdot 10^{-6} \cdot 36.000 = 0,432 [mm]$
48 [m]	$12 \cdot 10^{-6} \cdot 48.000 = 0,576 [mm]$

Allungamento delle rotaie corrispondente ad un'escursione di 70°C

l (m)	12	18	24	30	36	48
Δl (mm)	9,66	14,49	19,39	24,16	28,98	38,64

TABELLA 80

Max escursione termica rotaie in Italia = $t_{\max} - t_{\min} = 60 - (-10) = 70^\circ$

$$t_0 = t_m + 6 = \left(\frac{60 + 10}{2} - 10 \right) + 6 = 31^\circ \quad t_0 = \text{Temperatura di posa a luce zero, } t_m \text{ temperatura media}$$

$$\Delta L = 1,4 = \alpha \cdot L \cdot \Delta t_q \quad \Delta t_q = t_0 - t_q = \frac{1,4}{\alpha \cdot L} \quad t_q \text{ temperatura di massima apertura (14 mm) in assenza di vincoli, con L espresso in cm.}$$

La termica del binario (2)

Luci di posa

Tem.	Lunghezza della rotaia (m)							Tem.	Lunghezza della rotaia (m)						
posa	48	36	30	24	18	12	9	posa	48	36	30	24	18	12	9
- 10				12	9	6	4	11	11	9	7	6	4	3	2
- 9			14	11	9	6	4	12	11	8	7	5	4	3	2
- 8			14	11	8	6	4	13	10	8	6	5	4	3	2
- 7			14	11	8	5	4	14	10	7	6	5	4	3	2
- 6			13	11	8	5	4	15	9	7	6	5	4	3	2
- 5			13	10	8	5	4	16	9	6	5	4	3	2	2
- 4			13	10	8	5	4	17	8	6	5	4	3	2	2
- 3			12	10	7	5	4	18	7	6	5	4	3	2	2
- 2		14	12	9	7	5	4	19	7	5	4	3	3	2	1
- 1		14	11	9	7	5	3	20	6	5	4	3	3	2	1
0		13	11	9	7	4	3	21	6	4	4	3	2	1	1
1		13	11	9	6	4	3	22	5	4	3	3	2	1	1
2		12	10	8	6	4	3	23	5	3	3	2	2	1	1
3		12	10	8	6	4	3	24	4	3	2	2	2	1	1
4		12	10	8	6	4	3	25	3	3	2	2	2	1	1
5		11	9	7	6	4	3	26	3	2	2	1	1	1	1
6	14	11	9	7	5	4	3	27	2	2	1	1	1	1	0
7	14	10	9	7	5	3	2	28	2	1	1	1	1	0	0
8	13	10	8	7	5	3	2	29	1	1	1	1	0	0	0
9	13	9	8	6	5	3	2	30	0	0	0	0	0	0	0
10	12	9	8	6	5	3	2	31	0	0	0	0	0	0	0

TABELLA 81

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot (t_0 - t_p)$$

Δl = luce di posa

t_p = temperatura di posa

La termica del binario (3)

L'effetto della variazione di temperatura sullo stato della tensione interna σ della rotaia con dilatazione totalmente impedita è dato dalle seguenti:

$$\alpha \cdot L \cdot \Delta t = \Delta L = \varepsilon \cdot L = (N \cdot L) / (E \cdot A)$$

$$N/A = \sigma = \varepsilon \cdot E = (\Delta L/L) \cdot E = (\alpha \cdot \Delta t \cdot L/L) \cdot E = \alpha \cdot E \cdot \Delta t = 237 \cdot \Delta t \text{ [N/cm}^2\text{]}$$

E: modulo elastico (per l'acciaio 20.601.000 N/cm²);

α : coefficiente di dilatazione (per acciaio 11,5x10⁻⁶/ 12·10⁻⁶ [1/C°])

$$\alpha \cdot E = 237 \div 247 \text{ [N / cm}^2\text{·C}^\circ\text{]}$$

$$\begin{aligned} N &= \alpha \cdot E \cdot A \cdot \Delta t = 247 A \cdot 1^\circ \text{ [N]} \\ &= 247 A \cdot 1^\circ / 9,81 \text{ [kgf]} \end{aligned}$$

Tipo di rotaia	Forza di compressione o trazione per ogni °C
36 UNI	1105 kg
46 UNI	1500 kg
50 UNI	1525 kg
60 UNI	1845 kg

La termica del binario (4)

Resistenze alla dilatazione libera

Le rotaie giuntate poste in opera subiscono una serie di resistenze che si oppongono alla dilatazione libera.

Le resistenze alla dilatazione/contrazione libera sono:

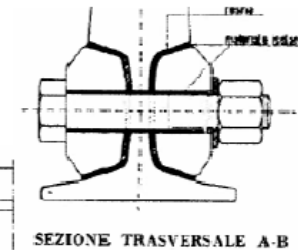
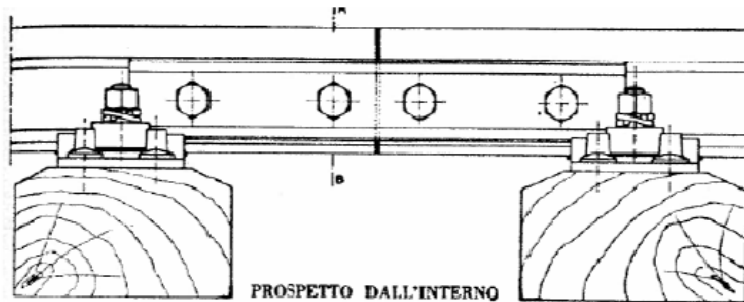
- 1. Resistenza di attrito che si sviluppa nelle giunzioni tra le ganasce e le testate delle rotaie giuntate, per la pressione imposta dalle chiavarde.**
- 2. Resistenza degli appoggi che comprende due aliquote: quella degli attacchi rotaia-traversa, e quella, della massicciata (attrito tra il ballast e la traversa cui sono ancorate le rotaie per mezzo degli organi di attacco).**

La termica del binario (5)

1. Resistenza di attrito che si sviluppa nelle giunzioni tra le ganasce e le testate delle rotaie giuntate, per la pressione imposta dalle chiavarde.

Il valore di tale resistenza dipende soprattutto dall'entità del serraggio delle chiavarde, dalla ruvidezza dei piani a contatto e dalla loro lubrificazione. In media si può ritenere che tale resistenza sia circa $R_g = 58.860 \text{ N}$ (6.000 kgf) per ciascuna coppia di ganasce a condizione che le superfici di contatto siano lubrificate come prescritto e che le chiavarde siano state strette con le normali chiavi in dotazione.

$$R_g = 58.860 = \Delta t_g \cdot 237 \cdot A \quad \text{con } \Delta t_g \text{ salto termico per vincere la resistenza delle ganasce}$$
$$\Delta t_g = 58.860 / (237 \cdot A)$$



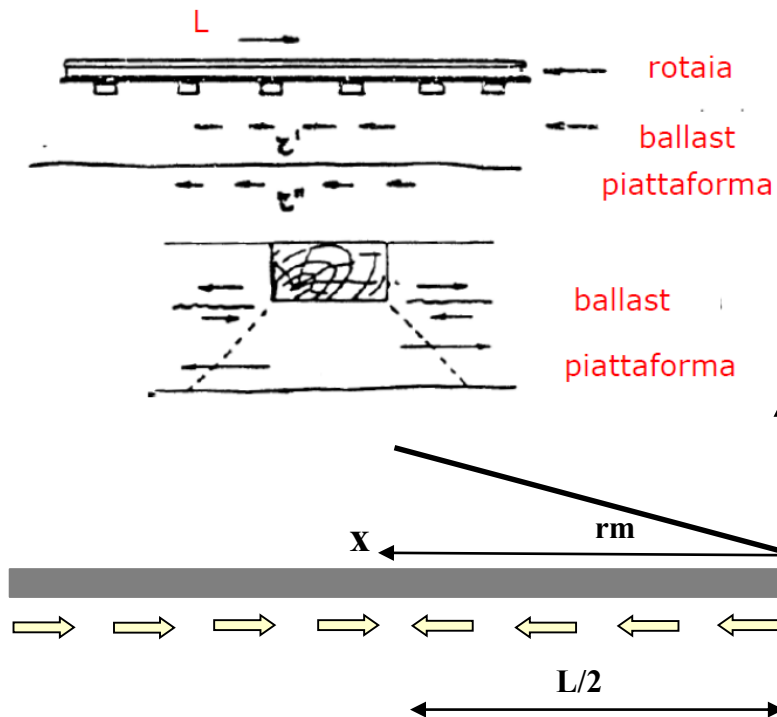
Coppia ganasce

La termica del binario (6)

2. Resistenza degli appoggi che comprende due aliquote: quella degli attacchi (circa 7,5 kN per attacco indiretto elastico, $r_a=2 \cdot 7,5/0,6=25$ kN/m = 2.500 kgf/m), e quella, r_m , della massicciata (attrito tra il ballast e la traversa cui sono ancorate le rotaie per mezzo degli organi di attacco). Sono molti gli elementi da considerare nella determinazione del valore di tale resistenza. Esperienze di campo hanno permesso di stabilire valori variabili sui quali basare il calcolo: $r_m = 300 \div 880$ kgf/m ($3 \div 8,8$ kN/m) per metro di rotaia, si possono adottare anche valori diversi in funzione del tipo di traversa, attacco, e materiale massicciata:

- **8,8 kN/m per binario armato con attacchi indiretti od elastici su traverse in cemento armato precompresso, annegate in massicciata di pietrisco;**
- **5,9 kN/m per binario armato con attacchi indiretti od elastici su traverse in legno, annegate in massicciata di pietrisco;**
- **3,0 kN/m per binario armato con attacchi diretti su traverse in legno, annegate in massicciata di ghiaiosa;**

La termica del binario (7)



$$d(\Delta l) = (\alpha \cdot dx \cdot \Delta t) - (r_m \cdot x / EA) dx$$

$d(\Delta l)$ = allungamento del trattino elementare dx di rotaia alla distanza x dalla testata

$$\Delta l_x = \int_0^x \left(\alpha \cdot \Delta t - \frac{r_m}{E \cdot A} \cdot x \right) dx = \alpha \cdot \Delta t \cdot x - \frac{r_m}{2 \cdot E \cdot A} \cdot x^2$$

Δl_x = allungamento del tratto di rotaia di lunghezza x

allungamento nullo del trattino elementare dx di rotaia alla distanza x dalla testata

$$d(\Delta l)_0 = (\alpha \cdot dx \cdot \Delta t) - (r_m \cdot x / EA) dx = 0$$

$x = \alpha \cdot \Delta t \cdot E \cdot A / r_m$ distanza dalla testata con $\Delta l = 0$

$$\frac{L}{2} = \alpha \cdot \Delta t_m \cdot \frac{E \cdot A}{r_m}$$

$$\Delta t_m = \frac{r_m \cdot L}{2 \cdot \alpha \cdot E \cdot A} = \frac{r_m \cdot L}{2 \cdot 237 \cdot A}$$

Δt_m = salto termico per annullare lo spostamento in mezzzeria

$$\text{Resistenza in mezzzeria} \quad R_{m,L/2} = N = \Delta t_m \cdot \alpha \cdot E \cdot A = r_m \cdot L/2$$

$$\Delta l_{L/2} = \alpha \cdot \Delta t_m \cdot \frac{L}{2} - \frac{r_m}{2 \cdot E \cdot A} \cdot \left(\frac{L}{2} \right)^2 = \frac{r_m}{2 \cdot E \cdot A} \cdot \left(\frac{L}{2} \right)^2 = \alpha \cdot \Delta t_m \cdot \frac{L}{4}$$

$\Delta l_{L/2}$ = allungamento testata per salto termico Δt_m

La termica del binario (8)

Variando la temperatura, fra l'inizio e la fine del salto termico, la rotaia si libera gradualmente, dal centro verso la testata, dal vincolo costituito dalla resistenza agli appoggi, passando al regime di dilatazione libera. La rotaia subirà, quindi, una variazione di lunghezza diversa da punto a punto, massima in testata, nulla al centro. In definitiva la variazione di lunghezza della rotaia, alla fine del salto termico, risulta pari alla metà di quella che si avrebbe in assenza di vincolo. Per esempio, in una rotaia di 36 metri del tipo 60 UNI per superare la resistenza degli appoggi occorre un salto di temperatura di circa 6°C:

$$\Delta t_m = \frac{r_m \cdot L}{2 \cdot 237 \cdot A} = \frac{59 \cdot 3600}{2 \cdot 237 \cdot 76,86} \cong 5,8^\circ \cong 6,0^\circ$$

La variazione di lunghezza della rotaia per °C, in regime di dilatazione libera sarà:

$$\Delta l(L) = 2 \cdot [\alpha \cdot (L/2) \cdot \Delta t_m] = 2 \cdot 0,0000115 \cdot 18.000 \cdot 1 = 0,414 \text{ mm.}$$

La variazione di lunghezza della rotaia con vincolo della massicciata alla fine del salto termico Δt_m sarà:

$$\begin{aligned} \Delta l(L) &= 0,5 \times 0,414 \times 5,8 = 1,20 \text{ mm} \\ &= 2 \cdot \left[\frac{r_m}{2 \cdot E \cdot A} \cdot \left(\frac{L}{2} \right)^2 \right] = 2 \cdot \left[\frac{59}{2 \cdot 20601000 \cdot 76,86} \cdot \left(\frac{3600}{2} \right)^2 \right] = 0,120 \text{ [cm]} = 1,2 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

La termica del binario (9)

Tabella Salti termici limite

Profilo rotaia e sezione in [cm ²] ↓	Δt_g [°C]	r_m [N/cm]	Δt_m [°C]	Δt_m [°C]	Δt_m [°C]	Δt_m [°C]	Δt_m [°C]
Lunghezza → barra [m]			12	18	24	36	48
FS 46 A = 59,60 cm ²	4,2	30	1,3	1,9	2,6	3,8	5,1
FS 46 A = 59,60 cm ²	4,2	59	2,6	3,8	5,1	7,6	10,1
FS 46 A = 59,60 cm ²	4,2	88	3,7	5,6	7,5	11,2	15,0
50 UNI A = 63,50 cm ²	3,9	30	1,2	1,8	2,4	3,6	4,7
50 UNI A = 63,50 cm ²	3,9	59	2,4	3,5	4,7	7,1	9,4
50 UNI A = 63,50 cm ²	3,9	88	3,5	5,3	7,0	10,6	14,1
60 UNI A = 76,86 cm ²	3,2	30	1,0	1,5	2,0	3,0	3,9
60 UNI A = 76,86 cm ²	3,2	59	2,0	2,9	3,9	5,8	7,8
60 UNI A = 76,86 cm ²	3,2	88	2,9	4,3	5,8	8,7	11,6

**Salto termico
giunzioni**

**resistenza
massicciata**

Salti termici massicciata

La termica del binario (10)

$R_g = 58860 \text{ N}$	Resistenza di attrito degli organi di giunzione
$r_a = 25 \text{ kN/m}$	Resistenza specifica di attrito fra piastra e suola di appoggio della rotaia ripartita sull'interasse delle traverse
$r_m = 8,8 \text{ kN/m}$	Resistenza specifica di attrito della massicciata di pietrisco sotto traverse in c.a.p. con attacchi indiretti o elastici
$r_m = 5,9 \text{ kN/m}$	Resistenza specifica di attrito della massicciata di pietrisco sotto traverse in legno con attacchi indiretti o elastici
$r_m = 3 \text{ kN/m}$	Resistenza specifica di attrito della massicciata ghiaiosa sotto traverse in legno con attacchi diretti

La termica del binario (11)

Diagramma dilatazione - temperatura

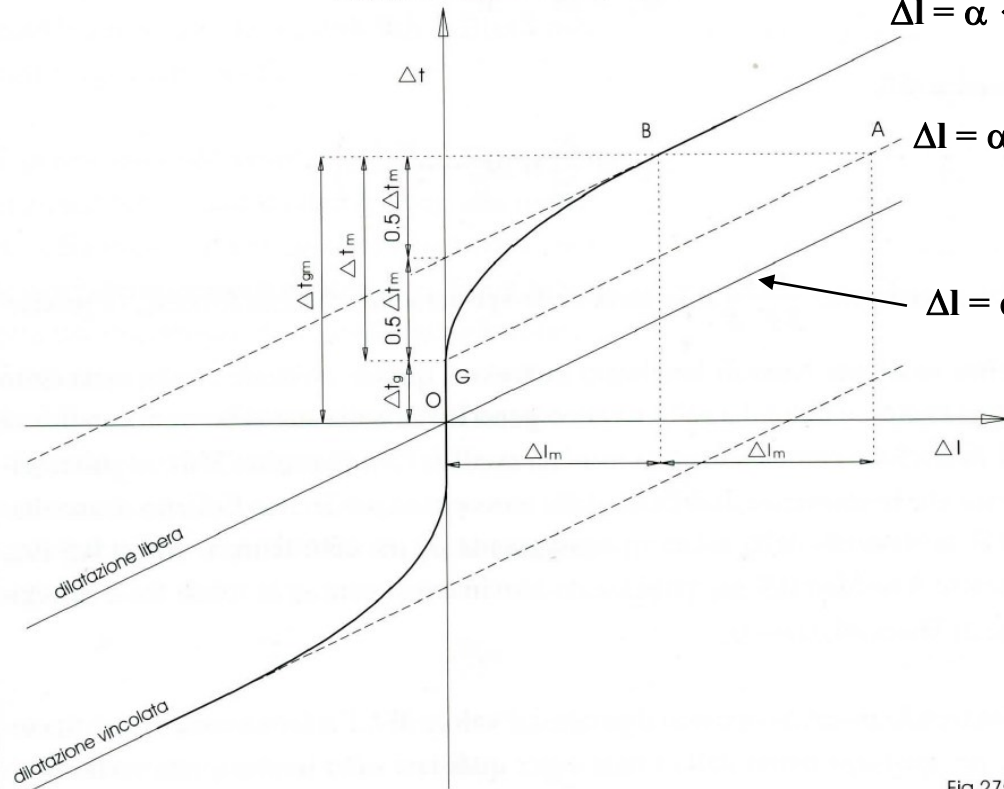


Fig.275

$$\Delta l = \alpha \cdot (L/2) \cdot (\Delta t - \Delta t_g - 0,5 \Delta t_m)$$

Diagramma forza-temperatura della mezzeria della rotaia

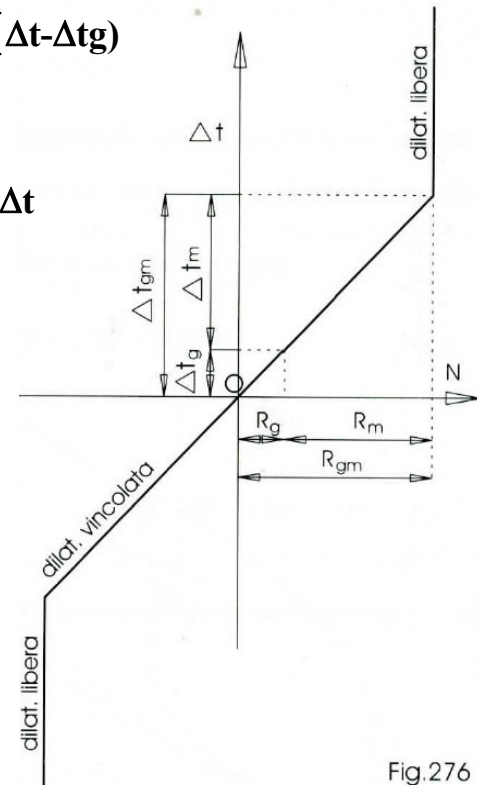


Fig.276

Alla fine del tratto (G-B)
$$\Delta l_m = \alpha \cdot \Delta t_m \cdot \frac{L}{2} - \frac{r_m}{2 \cdot E \cdot A} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{r_m}{2 \cdot E \cdot A} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 = \alpha \cdot \Delta t_m \cdot \frac{L}{4}$$

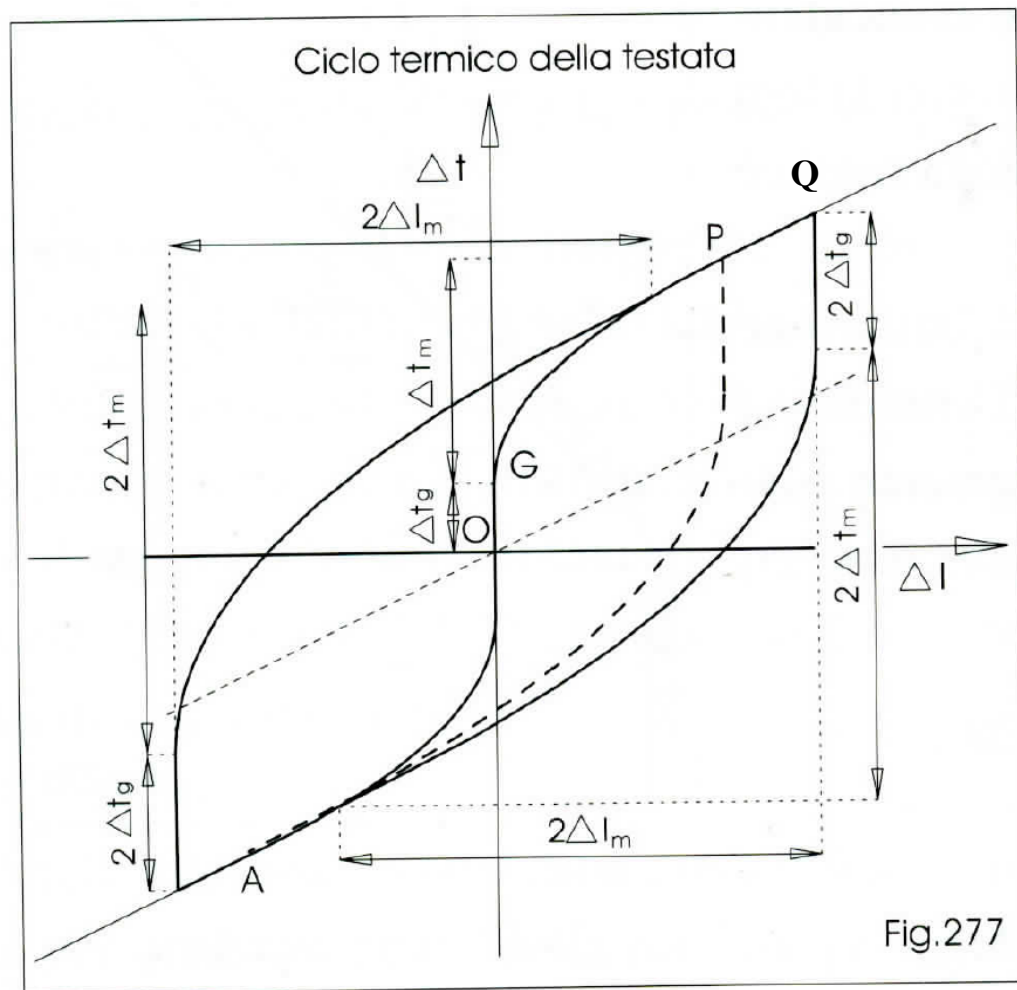
Oltre B
$$\Delta l = \alpha \cdot (L/2) \cdot (\Delta t - 0,5 \cdot \Delta t_m - \Delta t_g)$$

La termica del binario (12)

Movimenti e sollecitazioni in una rotaia sottoposta ad un salto termico in diverse condizioni di vincolo

Dilatazione	Δl	$\sigma (N)$
libera	$\alpha l \Delta t$	0
parzialmente impedita	$0,5 \alpha l \Delta t$	$237 \Delta t$
impedita	0	$237 \Delta t$

TABELLA 79



La termica del binario (14)

Ciclo teorico della luce di dilatazione

Temperatura di chiusura luce in condizioni vincolate $t_c = t_0 + \Delta t_g + 0,5 \cdot \Delta t_m$
 $= t_0 + (Rg/237 \cdot A) + (rm \cdot L/4 \cdot 237 \cdot A)$

Temperatura di completa apertura luce in condizioni vincolate $t_a = t_0 - \frac{1,4}{\alpha \cdot L} - \Delta t_g - 0,5 \cdot \Delta t_m$

$$= t_0 - \frac{1,4}{\alpha \cdot L} - (Rg/237 \cdot A) - (rm \cdot L/4 \cdot 237 \cdot A)$$

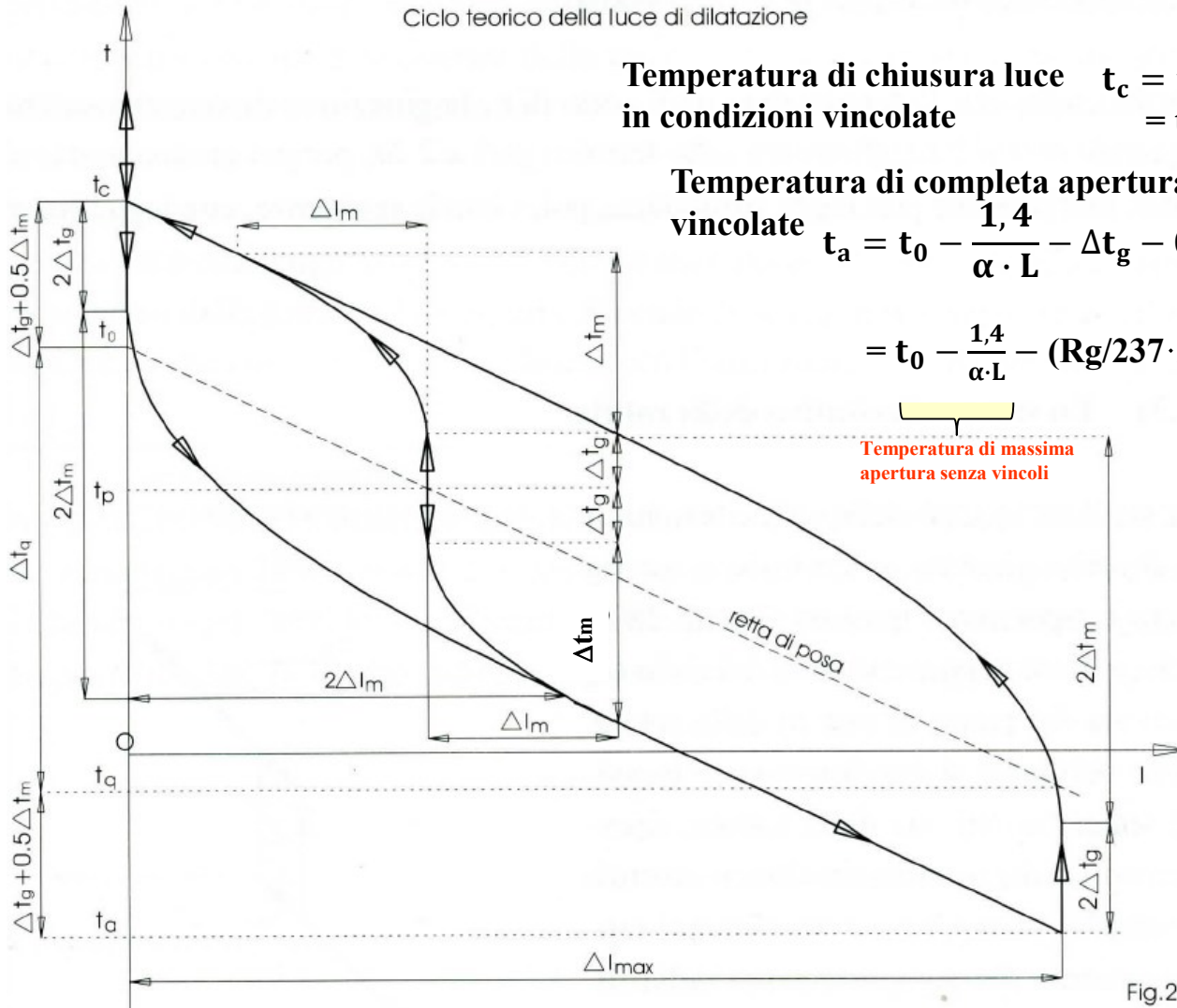


Fig.279

La termica del binario (15)

Temperatura di chiusura luce
in condizioni vincolate

$$t_c = t_0 + \Delta t_g + 0,5 \cdot \Delta t_m$$

$$= t_0 + (R_g/237 \cdot A) + (r_m \cdot L/4 \cdot 237 \cdot A)$$

Temperatura di completa
apertura luce in condizioni
vincolate

$$t_a = t_0 - \frac{1,4}{\alpha \cdot L} - \Delta t_g - 0,5 \cdot \Delta t_m$$

$$= t_0 - \frac{1,4}{\alpha \cdot L} - (R_g/237 \cdot A) - (r_m \cdot L/4 \cdot 237 \cdot A)$$

Temperatura di massima
apertura senza vincoli

Per UNI 60 $r_m = 88$ [N/cm]

$L=36$ [m]

$$t_c = 31 + \frac{58860}{237 \cdot 76,86} + \frac{88 \cdot 3600}{4 \cdot 237 \cdot 76,86} \cong 38,5$$

$$t_a = 31 - \frac{1,4}{11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 3600} - \frac{58860}{237 \cdot 76,86} - \frac{88 \cdot 3600}{4 \cdot 237 \cdot 76,86} \cong -10,4$$

Per UNI 60 $r_m = 59$ [N/cm]

$L=36$ [m]

$$t_c = 31 + \frac{58860}{237 \cdot 76,86} + \frac{59 \cdot 3600}{4 \cdot 237 \cdot 76,86} \cong 37,2$$

$$t_a = 31 - \frac{1,4}{11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 3600} - \frac{58860}{237 \cdot 76,86} - \frac{59 \cdot 3600}{4 \cdot 237 \cdot 76,86} \cong -8,9$$

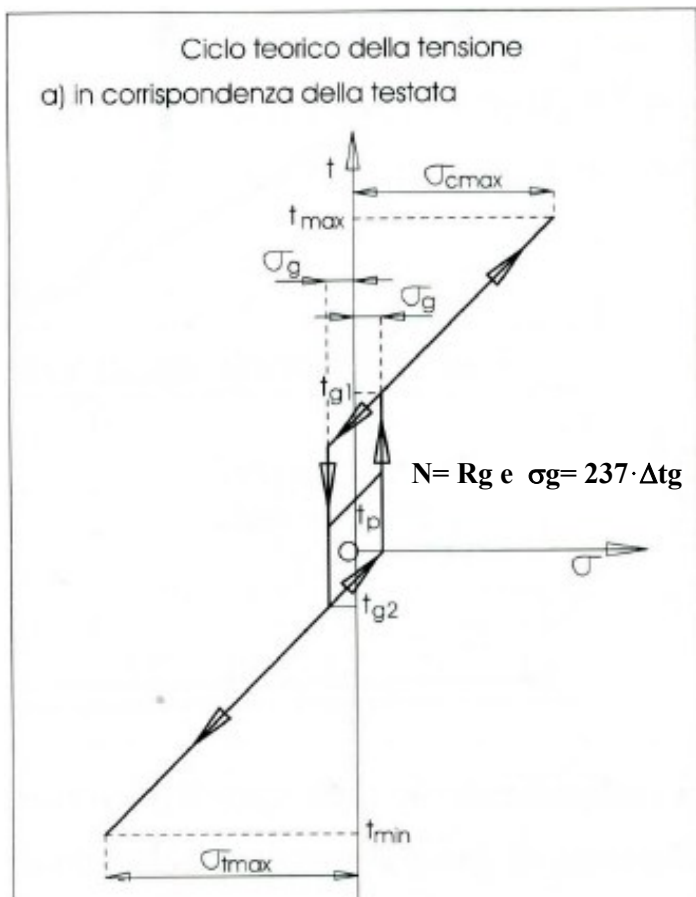
Temperature di chiusura e di massima apertura delle luci

Temperatura di completa apertura (°C) l (m)		Tipo	r (N/cm)	t ₀ (° C)	Temperatura di chiusura (°C) l (m)				
36	48				12	18	24	36	48
-12,6	- 6,0	FS 46,3	88	31	37	38	38,9	40,8	42,7
-10,7	- 3,6		59	31	36,5	37,5	37,8	39,0	40,3
- 4,9	2,9		30	35	39,9	40,2	40,5	41,1	41,8
-12,0	- 5,3	50 UNI	88	31	36,6	37,5	38,4	40,2	41,9
-10,3	- 3,0		59	31	36,1	36,7	37,3	38,5	39,6
-10,4	- 3,4	60 UNI	88	31	35,6	36,3	37,1	38,5	40,0
- 8,9	- 1,5		59	31	35,2	35,7	36,2	37,2	38,1

N. B.: Per le lunghezze non riportate la temperatura di completa apertura è inferiore a - 10° e va considerata uguale a - 10°.

TABELLA 82

La termica del binario (16)



b) nella mezzeria della rotaia

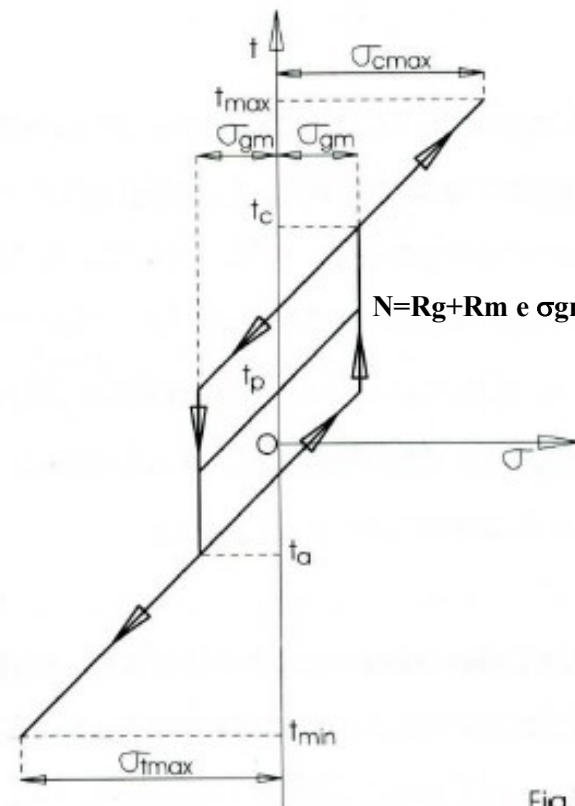


Fig. 280

La termica del binario (17)

Si consideri un binario con rotaie del tipo 60 UNI da 36 metri, posate alla temperatura di 20°C, su traverse in c.a. precompresso, con resistenza della massicciata di 88 N/cm.

Esaminare il ciclo delle rotaie allorquando la temperatura salga fino a 60 ° scenda fino a -10 ° e quindi risalga fino alla temperatura di chiusura.

Luci di posa

Tem. posa	Lunghezza della rotaia (m)							Tem. posa	Lunghezza della rotaia (m)						
	48	36	30	24	18	12	9		48	36	30	24	18	12	9
- 10				12	9	6	4	11	11	9	7	6	4	3	2
- 9			14	11	9	6	4	12	11	8	7	5	4	3	2
- 8			14	11	8	6	4	13	10	8	6	5	4	3	2
- 7			14	11	8	5	4	14	10	7	6	5	4	3	2
- 6			13	11	8	5	4	15	9	7	6	5	4	3	2
- 5			13	10	8	5	4	16	9	6	5	4	3	2	2
- 4			13	10	8	5	4	17	8	6	5	4	3	2	2
- 3			12	10	7	5	4	18	7	6	5	4	3	2	2
- 2	14	12	9	7	5	4		19	7	5	4	3	3	2	1
- 1	14	11	9	7	5	3		20	6	5	4	3	3	2	1
0	13	11	9	7	4	3		21	6	4	4	3	2	1	1
1	13	11	9	6	4	3		22	5	4	3	3	2	1	1
2	12	10	8	6	4	3		23	5	3	3	2	2	1	1
3	12	10	8	6	4	3		24	4	3	2	2	2	1	1
4	12	10	8	6	4	3		25	3	3	2	2	2	1	1
5	11	9	7	6	4	3		26	3	2	2	1	1	1	1
6	14	11	9	7	5	4	3	27	2	2	1	1	1	1	0
7	14	10	9	7	5	3	2	28	2	1	1	1	1	0	0
8	13	10	8	7	5	3	2	29	1	1	1	1	0	0	0
9	13	9	8	6	5	3	2	30	0	0	0	0	0	0	0
10	12	9	8	6	5	3	2	31	0	0	0	0	0	0	0

TABELLA 81

Temperature di chiusura e di massima apertura delle luci

Temperatura di completa apertura (°C) l (m)		Tipo	r (N/cm)	t ₀ (° C)	Temperatura di chiusura (°C) l (m)				
36	48				12	18	24	36	48
-12,6	- 6,0	FS 46,3	88	31	37	38	38,9	40,8	42,7
-10,7	- 3,6		59	31	36,5	37,5	37,8	39,0	40,3
- 4,9	2,9		30	35	39,9	40,2	40,5	41,1	41,8
-12,0	- 5,3	50 UNI	88	31	36,6	37,5	38,4	40,2	41,9
-10,3	- 3,0		59	31	36,1	36,7	37,3	38,5	39,6
-10,4	- 3,4	60 UNI	88	31	35,6	36,3	37,1	38,5	40,0
- 8,9	- 1,5		59	31	35,2	35,7	36,2	37,2	38,1

N. B.: Per le lunghezze non riportate la temperatura di completa apertura è inferiore a - 10° e va considerata uguale a - 10°.

TABELLA 82

$$l_p = 2 \cdot \alpha \cdot L / 2 \cdot \Delta t = \alpha \cdot L \cdot (t_0 - t_p) = 0,0115 \cdot 36 \cdot (31 - 20) = 4,5 \cong 5,0 \text{ [mm]}$$

La termica del binario (18)

Salti termici limite

Profilo rotaie e sezione in cm ²	Δt_g °C	r_m N/cm	Δt_m °C					$\Delta t_g + \Delta t_m$ °C				
			12	18	24	36	48	12	18	24	36	48
			m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
FS 46 (A = 59,60)	4,2	30	1,3	1,9	2,6	3,8	5,1	5,5	6,1	6,8	8,0	9,3
		59	2,6	3,8	5,1	7,6	10,1	6,8	8,0	9,3	11,8	14,3
		88	3,7	5,6	7,5	11,2	15,0	7,9	9,8	11,7	15,4	19,2
50 UNI (A = 63,50)	3,9	30	1,2	1,8	2,4	3,6	4,7	5,1	5,7	6,3	7,5	8,6
		59	2,4	3,5	4,7	7,1	9,4	6,3	7,4	8,6	11,0	13,3
		88	3,5	5,3	7,0	10,6	14,1	7,4	9,2	10,9	14,5	18,0
60 UNI (A = 76,86)	3,2	30	1,0	1,5	2,0	3,0	3,9	4,2	4,7	5,2	6,2	7,1
		59	2,0	2,9	3,9	5,8	7,8	5,2	6,1	7,1	9,1	11,0
		88	2,9	4,3	5,8	8,7	11,6	6,1	7,5	9,0	11,9	14,9

TABELLA 78

$$\Delta t_g = \frac{R_g}{237 \cdot A} = \frac{58860}{237 \cdot 76,86} \cong 3,2 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\Delta t_m = \frac{r_m \cdot l}{2 \cdot 237 \cdot A} = \frac{88 \cdot 3600}{2 \cdot 237 \cdot 76,86} \cong 8,7 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Alla temp. $(20+3,2)=23,2^\circ$ $N_B = R_g = 237 \cdot A \cdot \Delta t_g = 237 \cdot 76,86 \cdot 3,2 \cong 58860$ [N]

Alla temp. $23,2 + \Delta t_m = 23,2 + 8,7 = 31,9$ [°C], termine tratto parabolico

Forza compressione sulla testata $N_t = 58860$ [N]

Forza compressione in mezzeria $N_{mez.} = 58860 + 8800 \cdot (L/2) = 217.260$ [N]

Avvicinamento testate a $31,9^\circ$ $(\alpha \cdot L \cdot \Delta t_m / 2) = 2 \cdot (0,0115 \cdot 36 \cdot 8,7 / 2) = 1,8$ [mm]

con luce libera $l_1 = 4,5 - 1,8 = 2,7$ [mm].

La chiusura luci avverrà alla temp. $t_c = 31,9 + (2,7 / \alpha \cdot L) = 31,9 + 6,6 = 38,5$ [°C],

mentre le forze sia in mezzeria che in testata non cambieranno.

Alla temp. 60° in testata lo sforzo sarà $58860 + 237 \cdot (t_{max} - t_c) \cdot A = 58860 + 237 \cdot (60 - 38,5) \cdot 76,86 = 450.500$ [N]

in mezzeria sarà $217.260 + 237 \cdot (t_{max} - t_c) \cdot A = 217.260 + 237 \cdot (60 - 38,5) \cdot 76,86 = 608.900$ [N].

Esempio di ciclo teorico della luce di dilatazione

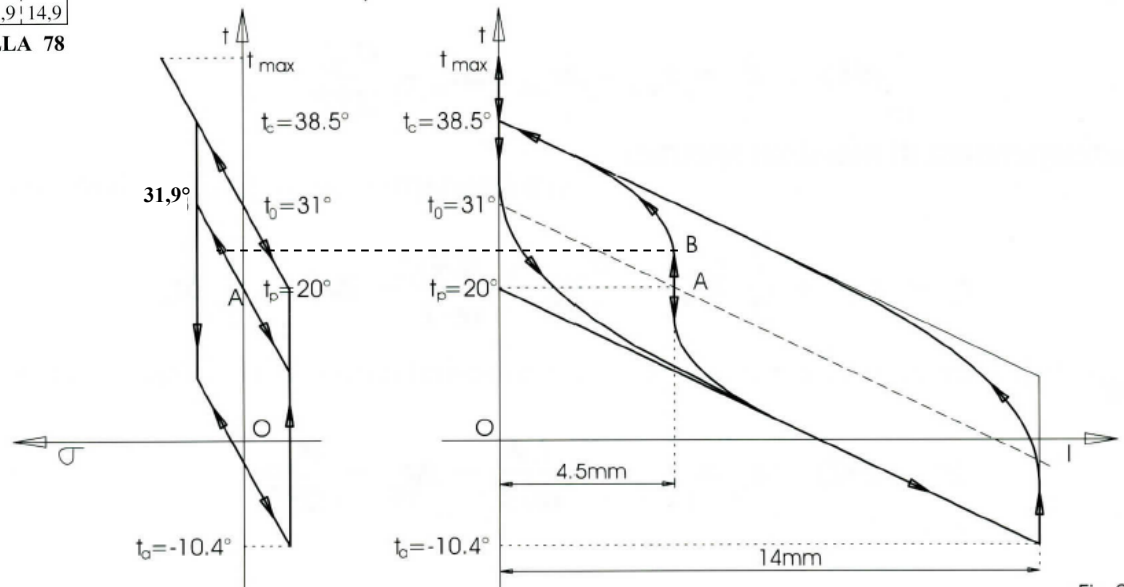
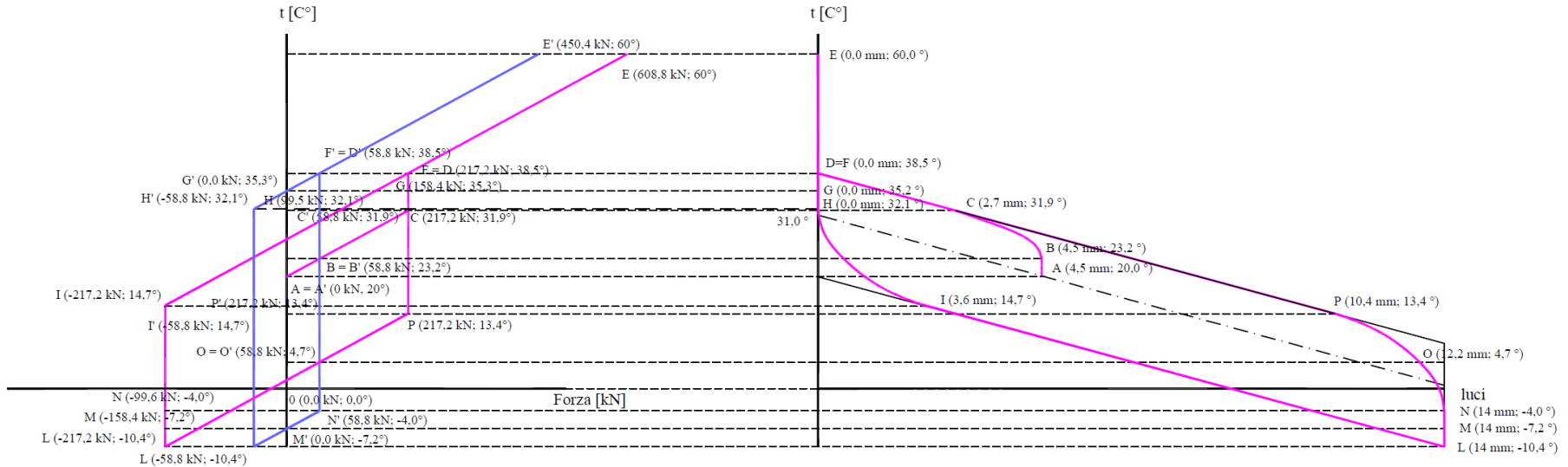


Fig.282

La termica del binario (19)



Ritornando alla temp. di 38,5° la Forza compressione sulla testata $N_t = 58.860$ [N]

mentre Forza compressione in mezzeria $N_{mez.} = 217.260$ [N]

Alla temp. di 38,5-3,2=35,3° le testate saranno scariche, $N_t = 58.860 - 58.860 = 0$ [N] mentre in mezzeria si avrà una $N_{mez.} = 217.260 - 58.860 = 158.400$ [N], con luci nulle.

Alla temp. di 38,5-2x3,2=32,1° le testate avranno una forza di trazione $N_t = -58.860$ [N] mentre in mezzeria si avrà una forza di compressione $N_{mez.} = 158.400 - 58.860 = 99.540$ [N]

Alla temp. 32,1-2x8,7=14,7° $N_t = -58.860$ [N] $N_{mez.} = 99.540 - 2x(L/2)x(rm) = 99.540 - 2x18x8800 = -217.260$ [N], con allontanamento delle testate $2 \cdot (\alpha \cdot L \cdot \Delta t_m / 2) = 2 \cdot (0,0115 \cdot 36 \cdot 8,7 / 2) = 3,6$ [mm], e quindi con luce libera $l_1 = 0 + 3,6 = 3,6$ [mm].

La diminuzione di temperatura porterà ad un aumento della luce fino al massimo consentito 14 che si avrà per un salto termico $\Delta t = (14 - 3,6) / (\alpha \cdot 2 \cdot L / 2) = 25,1$ e quindi con temp. $t_a = 14,7 - 25,1 = -10,4^\circ$ con forze interne che rimarranno le stesse.

La termica del binario (20)

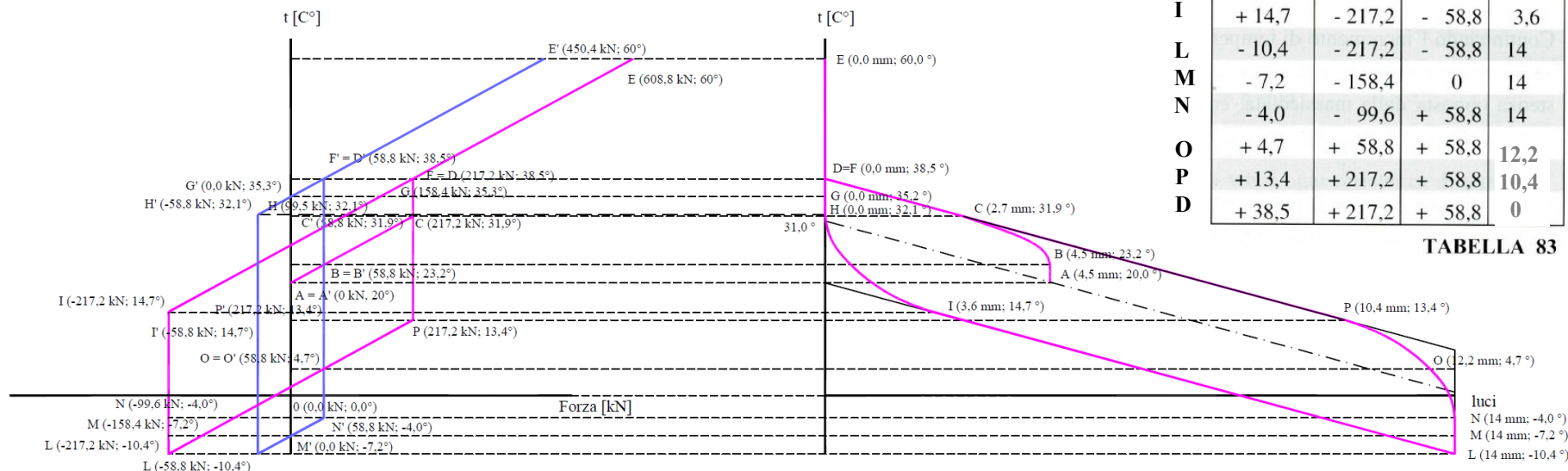
Forze in mezzzeria ed in testata e luci di dilatazione relativi al ciclo termico teorico di un binario con rotaie

60 UITC, $l = 36 \text{ m}$, $r_m = 88 \text{ N/cm}$

$t_p = 20^\circ \text{ C}$, $t_0 = 31^\circ \text{ C}$

	Tempe- rature (° C)	N_{mez} (kN)	N_t (kN)	Luce (mm)
A	+ 20,0	0	0	4,5
B	+ 23,2	+ 58,8	+ 58,8	4,5
C	+ 31,9	+ 217,2	+ 58,8	2,7
D	+ 38,5	+ 217,5	+ 58,8	0
E	+ 60,0	+ 608,8	+ 450,4	0
F	+ 38,5	+ 217,2	+ 58,8	0
G	+ 35,3	+ 158,4	0	0
H	+ 32,1	+ 99,6	- 58,8	0
I	+ 14,7	- 217,2	- 58,8	3,6
L	- 10,4	- 217,2	- 58,8	14
M	- 7,2	- 158,4	0	14
N	- 4,0	- 99,6	+ 58,8	14
O	+ 4,7	+ 58,8	+ 58,8	12,2
P	+ 13,4	+ 217,2	+ 58,8	10,4
D	+ 38,5	+ 217,2	+ 58,8	0

TABELLA 83



La termica del binario (21)

Lunghe rotaie saldate

All'aumentare della lunghezza della rotaia aumenta la resistenza di attrito e la rotaia così può non essere tutta interessata alla variazione di lunghezza.

Si definisce lunghezza limite o critica L_b la lunghezza della rotaia per la quale la somma delle resistenze d'attrito eguaglia la forza termica indotta dal massimo valore dell'escursione stagionale.

La lunghezza critica L_b è quella lunghezza per cui si ha:

$$R_g + r_m \cdot (L_b/2) = N_{\max} = \alpha \cdot E \cdot \Delta t \cdot A$$

$$L_b = 2 \cdot (237 \cdot \Delta t \cdot A - R_g) / r_m$$

Dove: $\Delta t = t_{\max} - t_{\text{med}}$ escursione massima rispetto al valore medio della temperatura di esercizio, $t_{\text{med}} = (t_{\max} + t_{\min})/2$, oppure al posto di t_{med} si mette t_r , temperatura di regolazione

R_g resistenza alle giunzioni

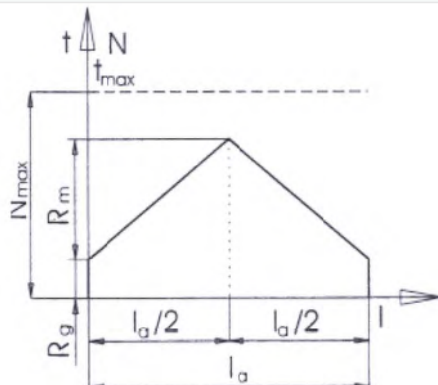
r_m resistenza di attrito agli appoggi per metro lineare

Temperatura di regolazione: $t_r = t_{\text{med}} + 5$ per linee ordinarie (<200 km/h)

Temperatura di regolazione: $t_r = t_{\text{med}} + 10$ per linee ad alta velocità (>200km/h)

La termica del binario (22)

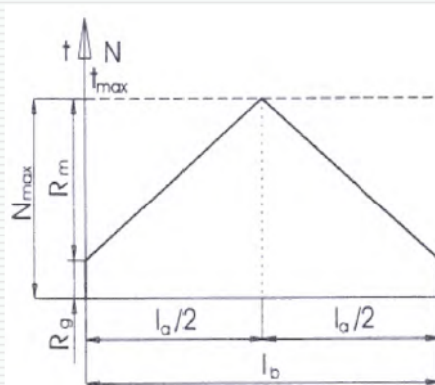
BINARIO GIUNTATO



IL BINARIO SUBISCE
SPOSTAMENTI PER
EFFETTO DELLE
ESCURSIONI TERMICHE
QUANDO

$$N_{MAX} > R_g + R_m$$

CONDIZIONE DI
EQUILIBRIO



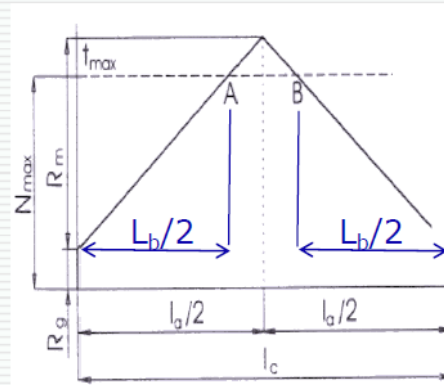
$$N_{MAX} = R_g + R_m$$

DETERMINIAMO L_b

$$R_g + R_m = F = \alpha \cdot E \cdot A \cdot (t_{max} - t_{med})$$

$$R_g + R_m = 2370000 \cdot A \cdot (60^\circ - 25^\circ)$$

LRS



$$N_{MAX} < R_g + R_m$$

TRATTO AB
IMMOBILE

La termica del binario (23)

$$Lb = 2 \cdot [237 \cdot (t_{max} - t_r) \cdot A - R_g] / r_m$$

Lunghezze limiti l. r. s.

Rotaia	r_m (N/cm)	l_{lim}
FS 46	30	249
	59	124
50 UNI	59	133
	88	89
60 UNI	59	165
	88	111

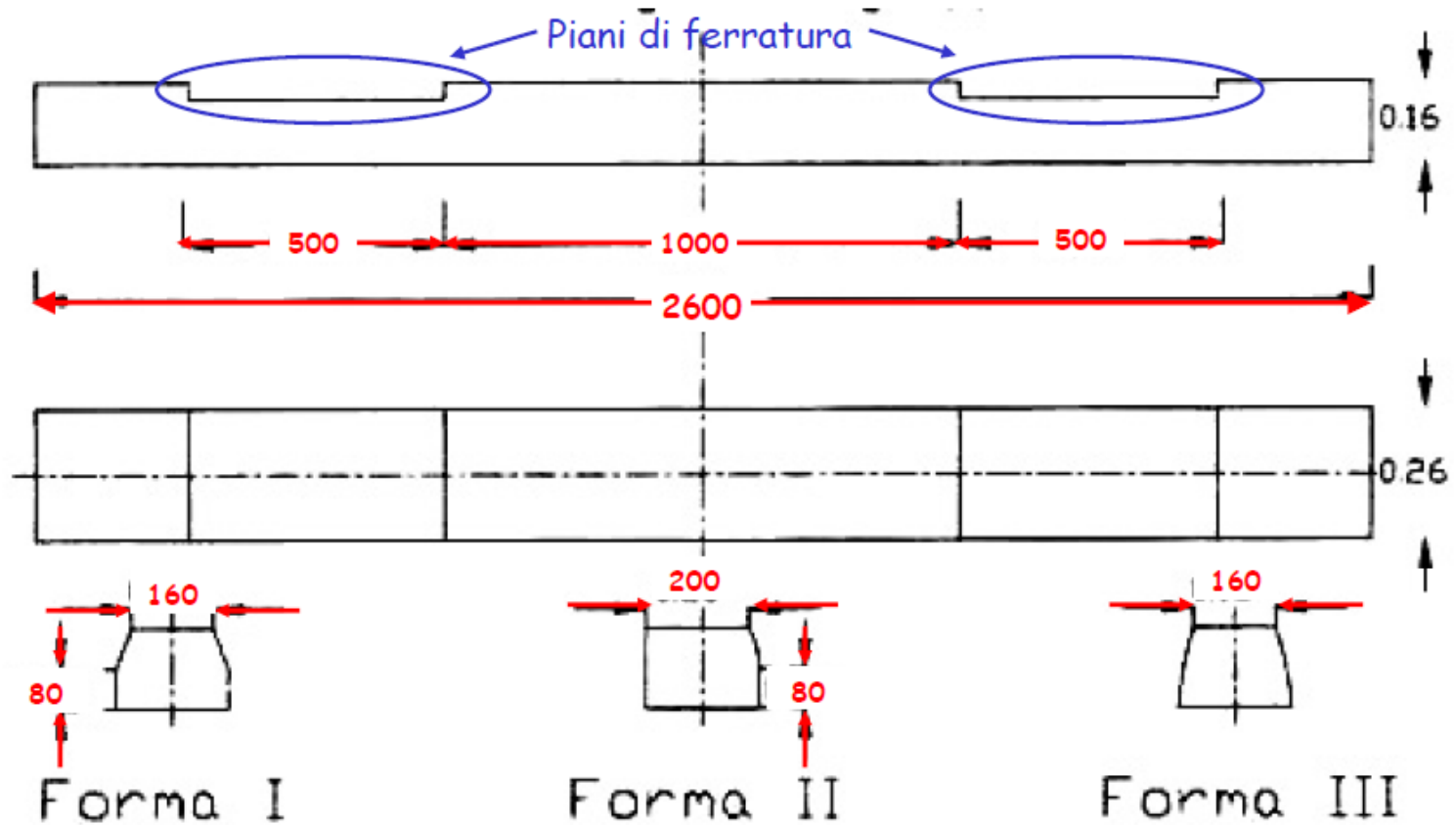
TABELLA 85

LUNGHEZZA MINIMA DEL TRATTO DI BINARIO DA REGOLARE	PROFILO ROTAIE	TIPO TRAVERSE
144 m	60E1	CAP
115 m	50E5	CAP
200 m	60E1	LEGNO
150 m	50E5	LEGNO

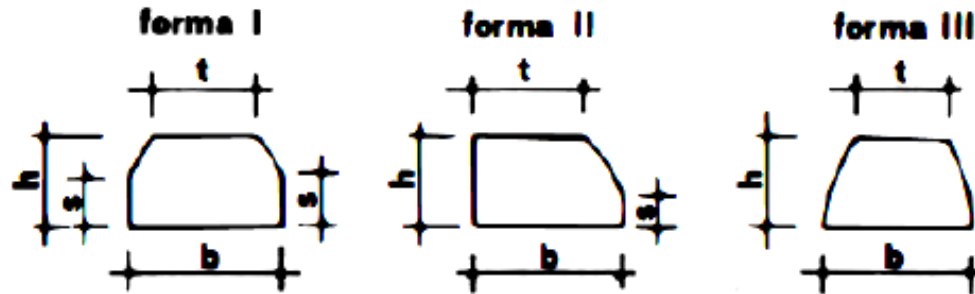
Traverse Ferroviarie (1)



Traverse Ferroviarie (2)

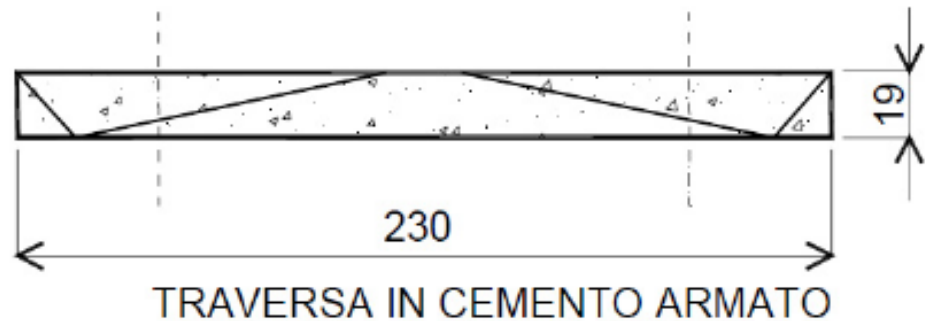
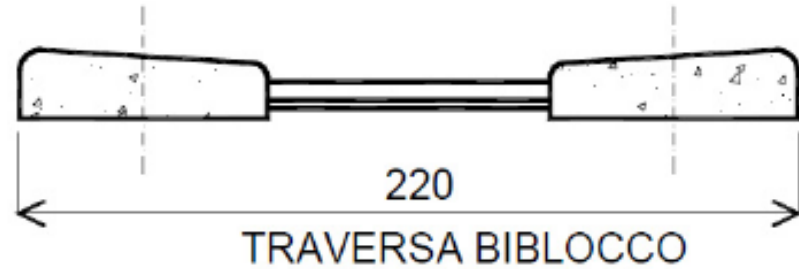


Traverse Ferroviarie (3)

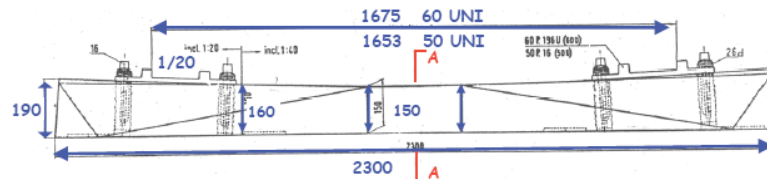


Gruppo	b (cm)	h (cm)	t (cm)		s (cm)
			Forme I e III	Forma II	Forme I e II
1	26	16	16	20	8
2	26	15	17	20	8
3	26	13	13	17	6
4	24	15	16	18	7
5	24	14	16	18	7
6	24	13	13	17	6
7	22	13	13	16	5

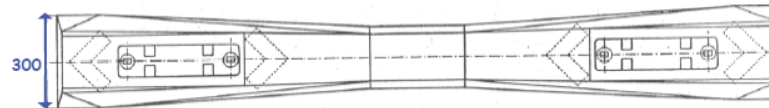
Traverse Ferroviarie (4)



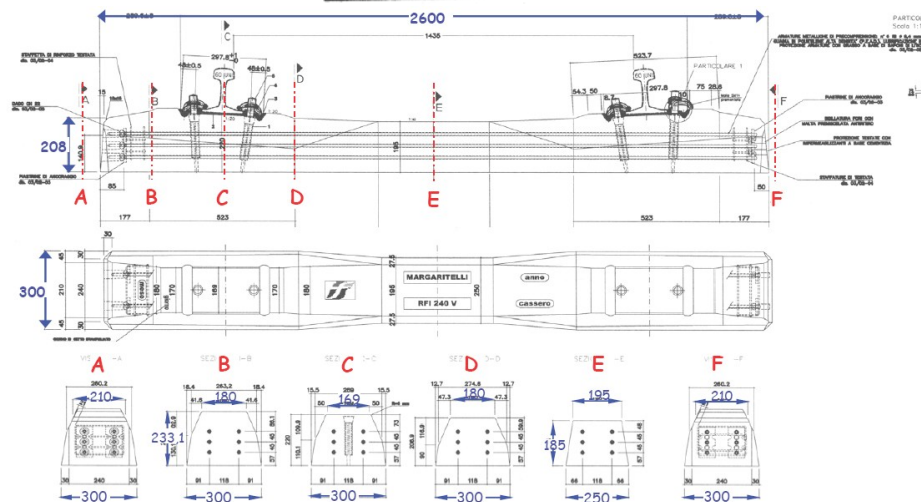
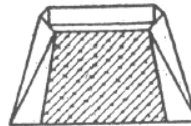
Prospetto frontale



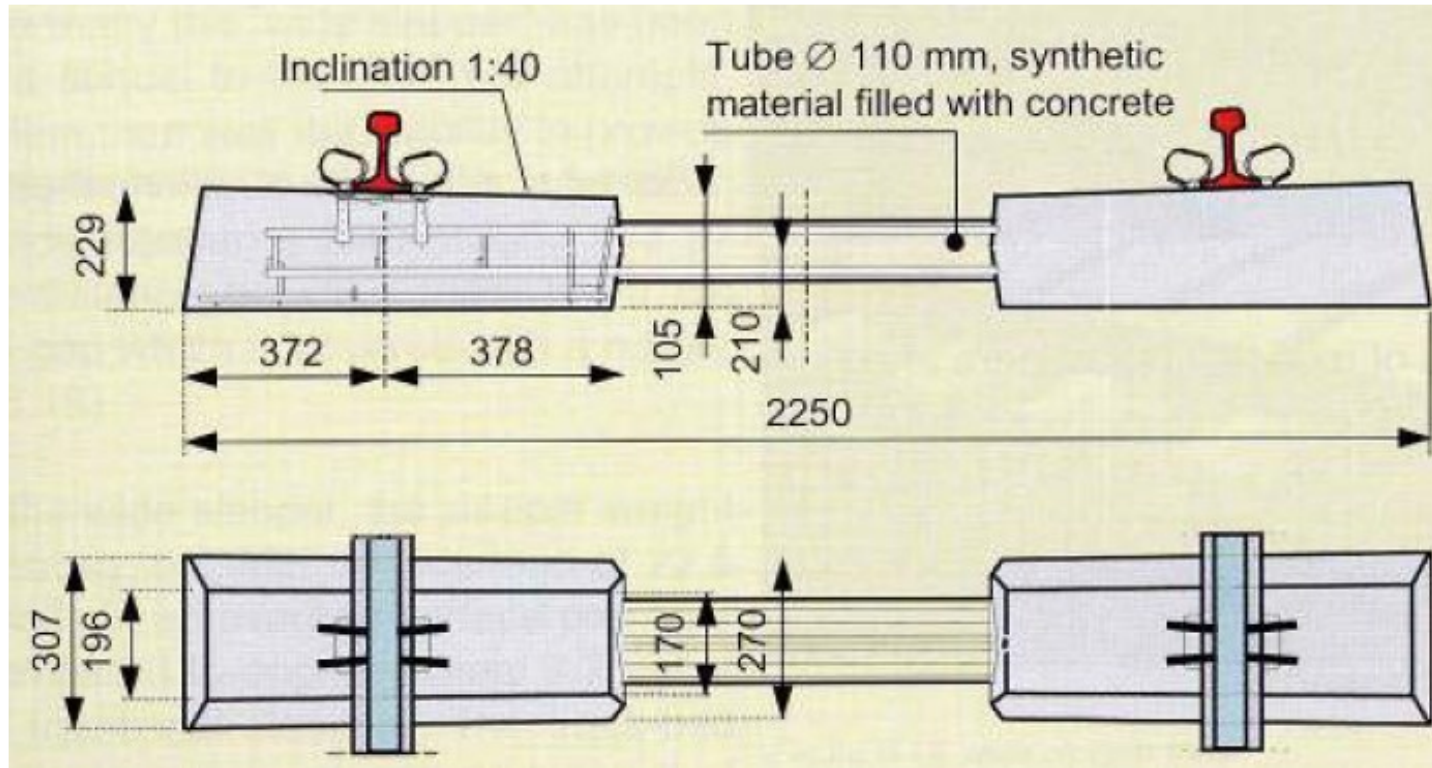
Pianta



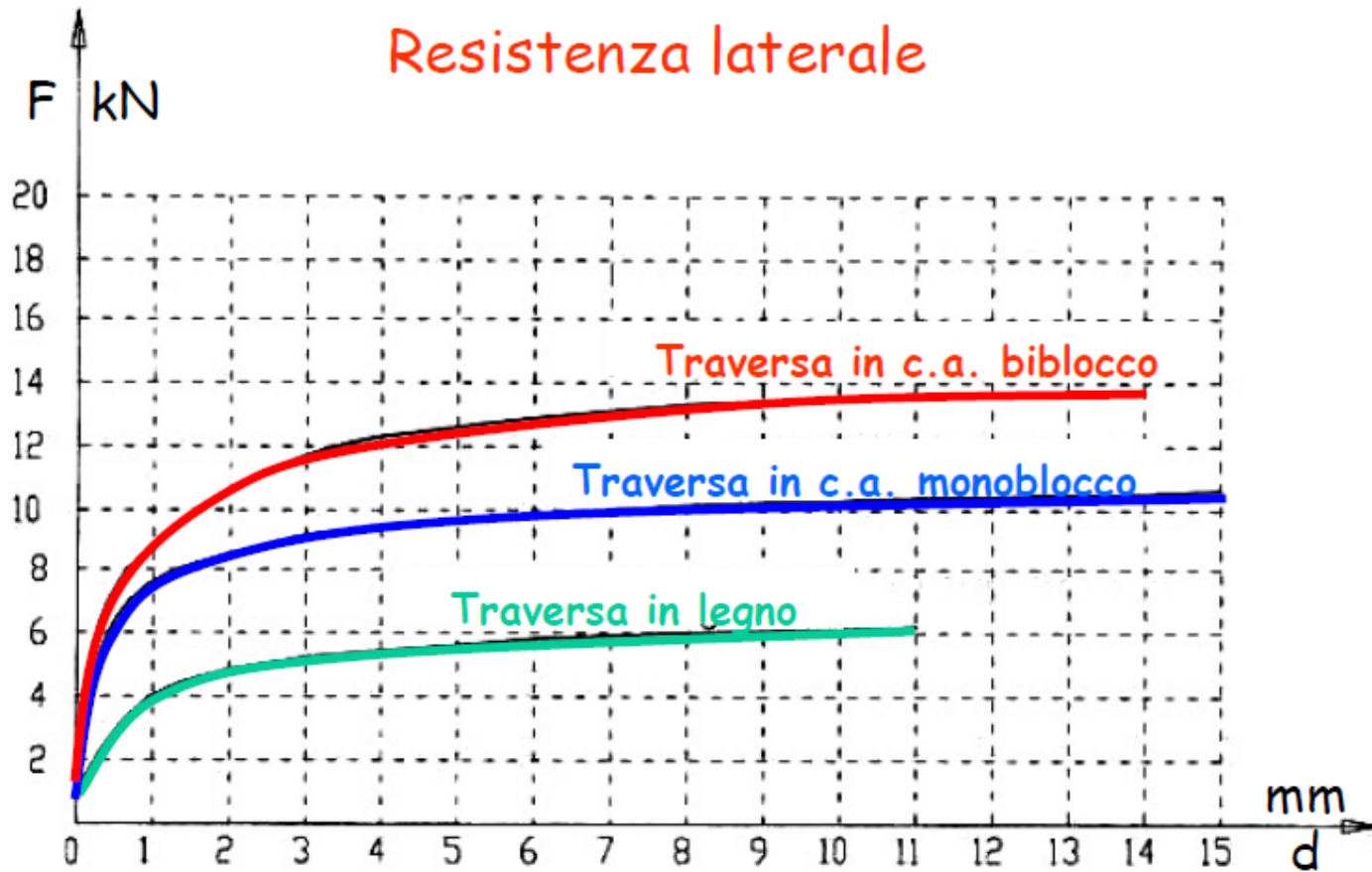
sezione A-A



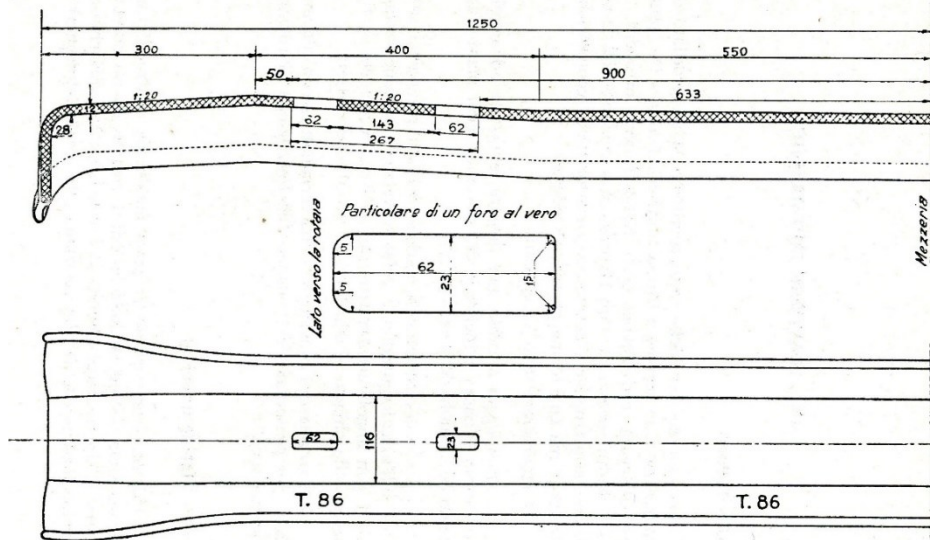
Traverse Ferroviarie (6)



Traverse Ferroviarie (7)



Traverse Ferroviarie (8)



Traverse Ferroviarie (9)

Numero e distribuzione appoggi

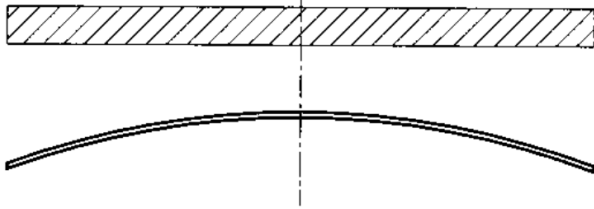
Moduli adottati da FS:

- modulo di 6/10 di metro (60 cm), cioè 10 traverse ogni 6 metri (adottato sui binari con rotaie pesanti, con massimi pesi degli assi sui veicoli e velocità più elevate);
- modulo di 6/9 di metro (66,66 cm), cioè 9 traverse ogni 6 metri (adottato su linee con caratteristiche uguali al punto precedente, ma con velocità minori);
- modulo di 6/8 di metro (75 cm), cioè 8 traverse ogni 6 metri (adottato su linee armate con rotaie appartenenti alle categorie precedenti o, eccezionalmente, con armamento leggero, con limiti alle velocità di percorrenza e ai pesi).

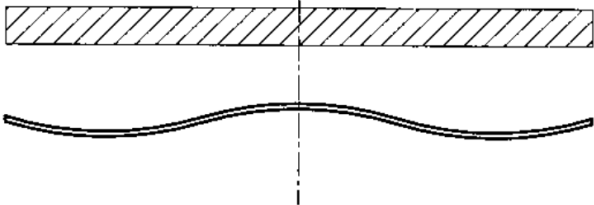
Traverse Ferroviarie (10)

Deformazione longitudinale
di traverse di lunghezza diversa

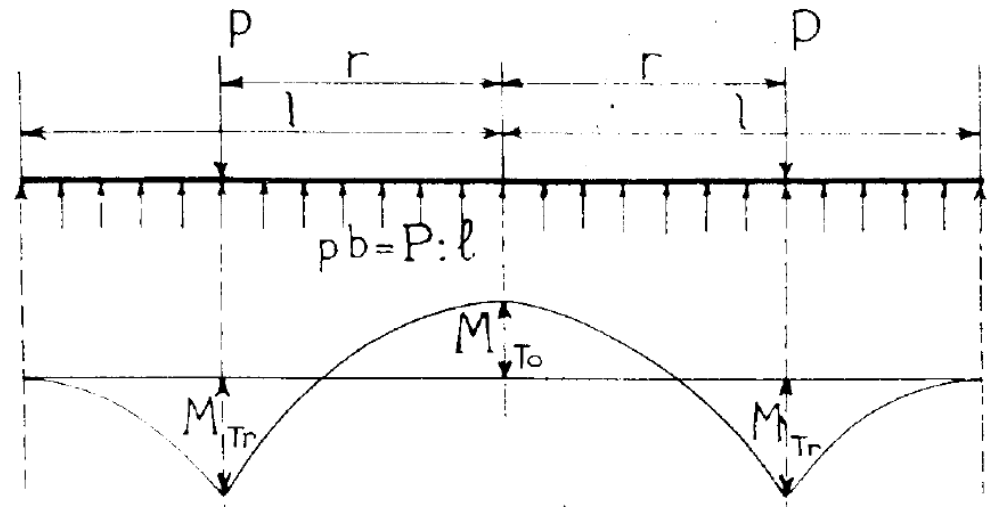
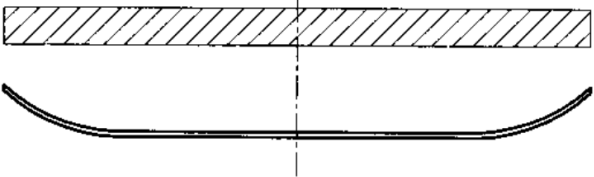
a) di lunghezza insufficiente



b) di lunghezza corretta



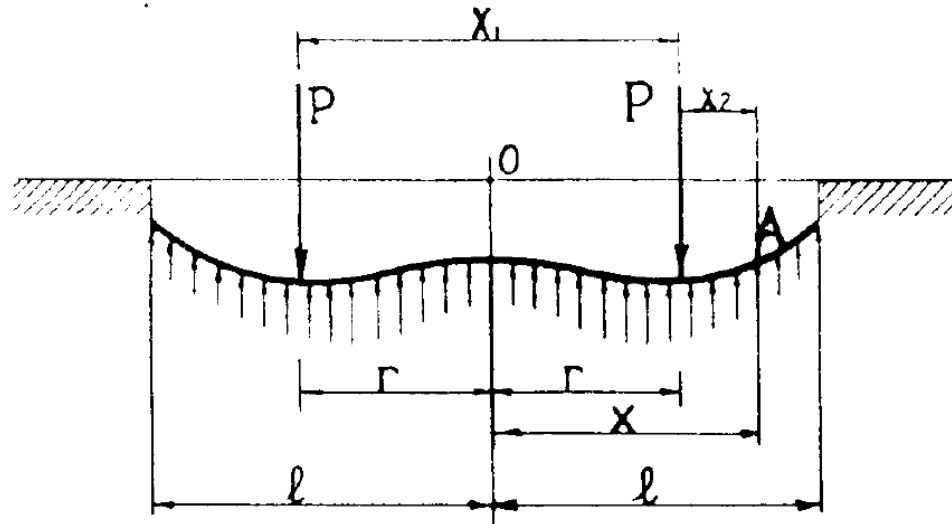
c) di lunghezza eccessiva



$$M_{To} = P \cdot \left(\frac{l}{2} - r \right)$$

$$M_{Tr} = P \cdot \frac{(l - r)^2}{2 \cdot l}$$

Traverse Ferroviarie (11)



Formule di Zimmermann

$$M_{T0} = \frac{P \cdot L}{2} \cdot [\mu_0] \quad \text{In mezzeria}$$

$$M_{Tr} = \frac{P \cdot L}{2} \cdot [\mu_\rho] \quad \text{Sotto i carichi}$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot J}{C \cdot b}}$$

μ_0 e μ_ρ dipendono da $\rho=r/L$ e $\lambda=l/L$

8

$\mu_0 = \mu_T - V_T$

$\mu_0 = \mu_T - V_T$

Traverse Ferroviarie (13)

Valori di $[\mu_r]$

10

$\mu_r = \mu_r \cos \alpha + \eta_r \sin \alpha$

$\mu_r = \mu_r \cos \alpha + \eta_r \sin \alpha$

Apparecchi del binario

Con il nome di **apparecchi del binario** si definiscono quei dispositivi che, posizionati alla confluenza di due o più binari, consentono il loro collegamento, ovvero permettono l'attraversamento di un binario intersecante.

A seconda della funzione svolta, gli apparecchi del binario possono classificarsi in:

- **scambi (o deviatori) semplici** quando consentono il collegamento di due binari;
- **scambi (o deviatori) multipli** quando consentono il collegamento di un binario con altri due;
- **intersezioni** quando consentono il semplice attraversamento di due binari intersecanti;
- **scambi intersezione semplici o doppi** quando consentono l'attraversamento di due binari intersecanti e contemporaneamente il loro collegamento da un solo lato o da entrambi i lati.

Scambio semplice

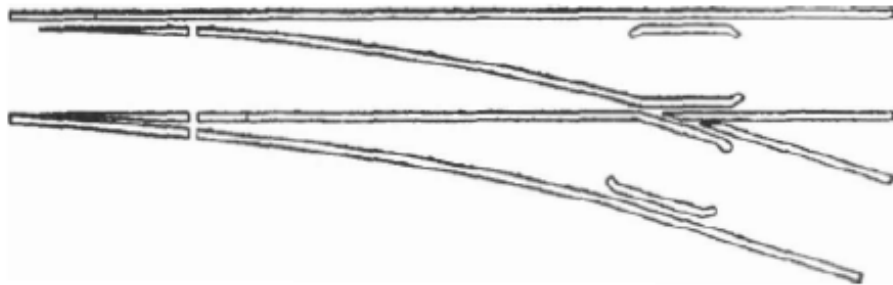


Fig. 1. - Deviatoio semplice con ramo deviato a destra.

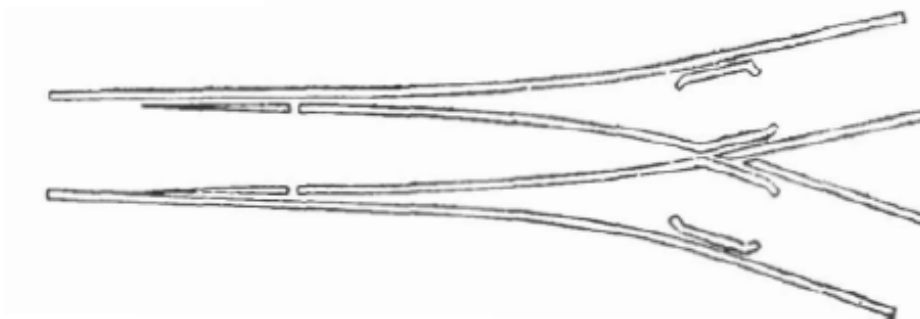
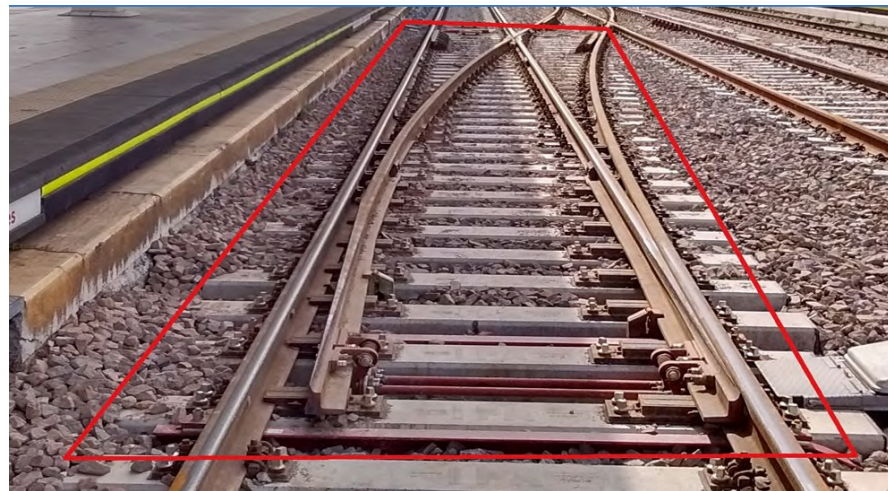
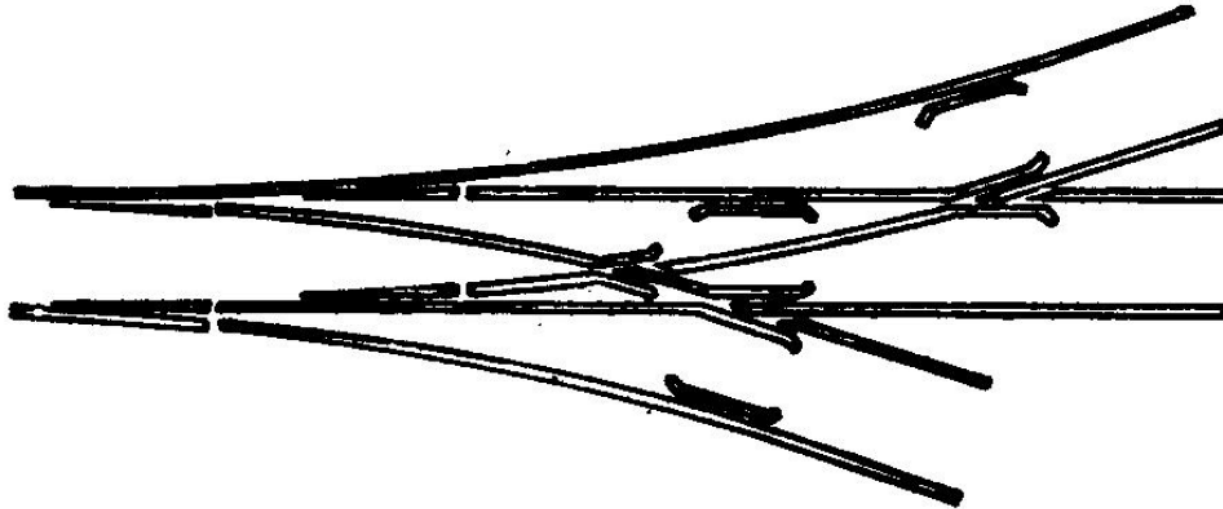


Fig. 2. - Deviatoio simmetrico.

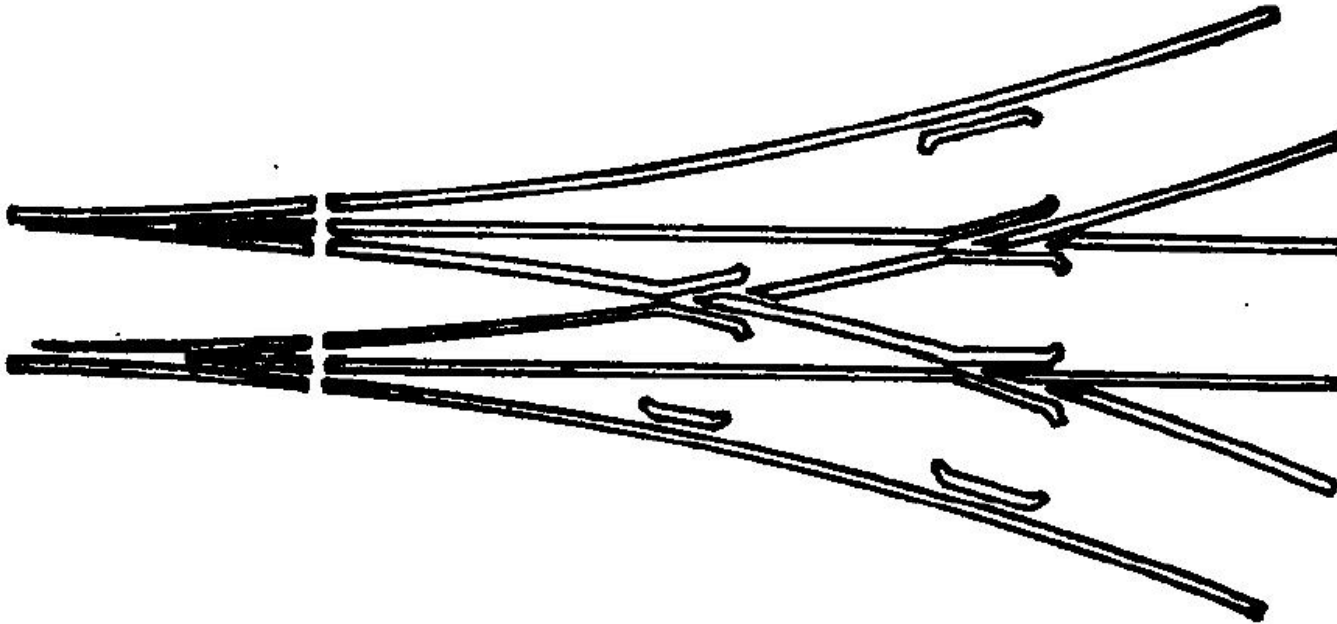
Scambio doppio



E' costituito da due scambi che si susseguono a distanza ridottissima: La coppia degli aghi del secondo scambio viene a capitare tra il tallone degli aghi del primo scambio ed il suo cuore.

E' di difficile manutenzione a causa dell'accavallarsi degli elementi costituenti. Viene usato solo in piazzali di stazione su fasci secondari.

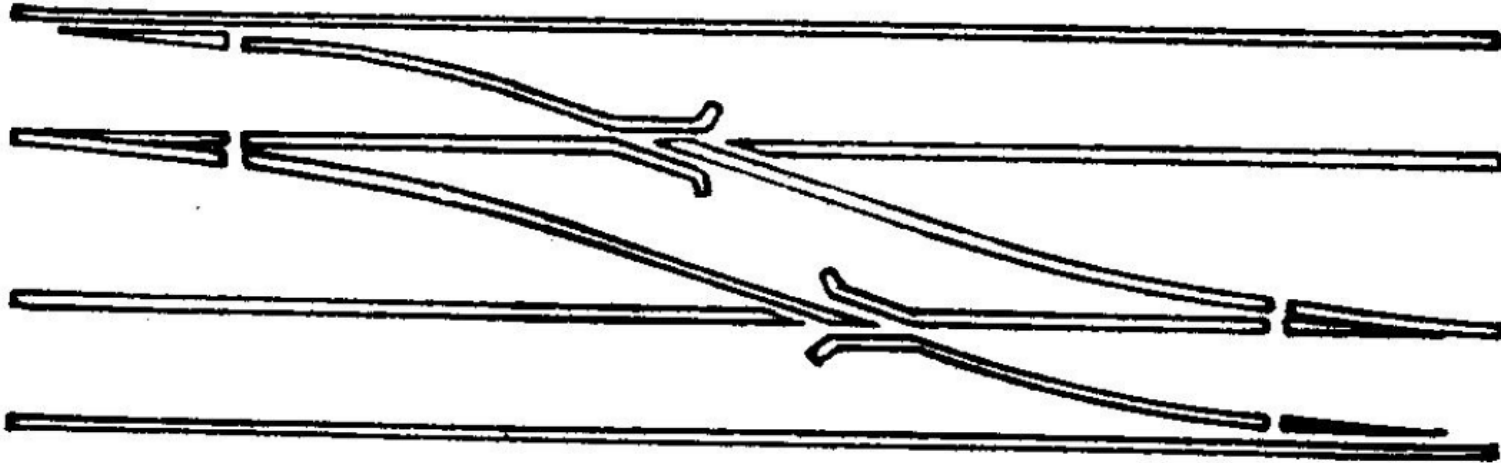
Scambio Triplo



Sono scambi che hanno le punte degli aghi nella stessa progressiva (gli aghi di una deviazione costituiscono il contrago dell'altra).

Si usano solo quando non v'è spazio a sufficienza per separare le manovre.

Comunicazione

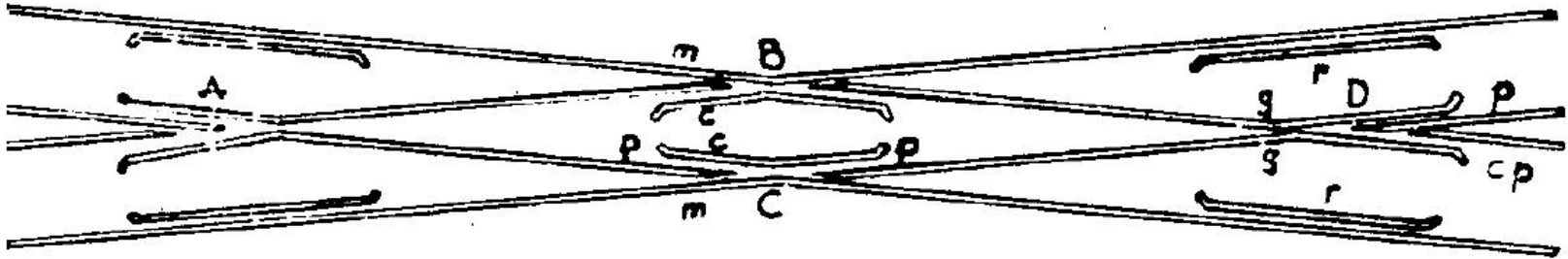


Serve per permettere il passaggio dei convogli da un binario all'altro che corre parallelo.

Si tratta di due scambi semplici in senso opposto.

Il comando dei due scambi deve essere concorde e simultaneo.

Intersezione

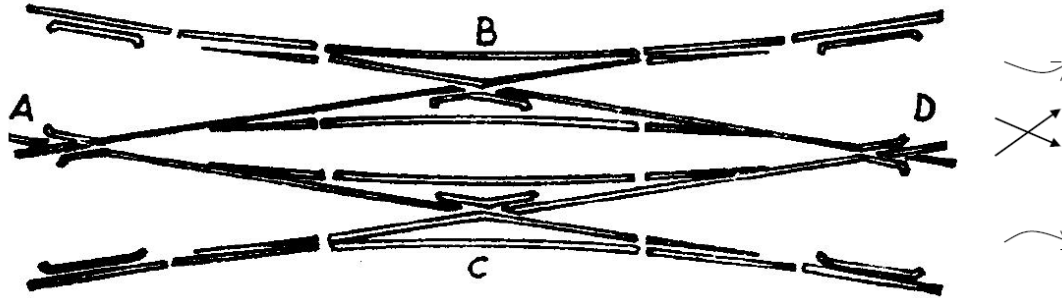


E' una vera e propria intersezione tra due linee ferroviarie; può essere retta (a 90°) o obliqua (con angolo inferiore)

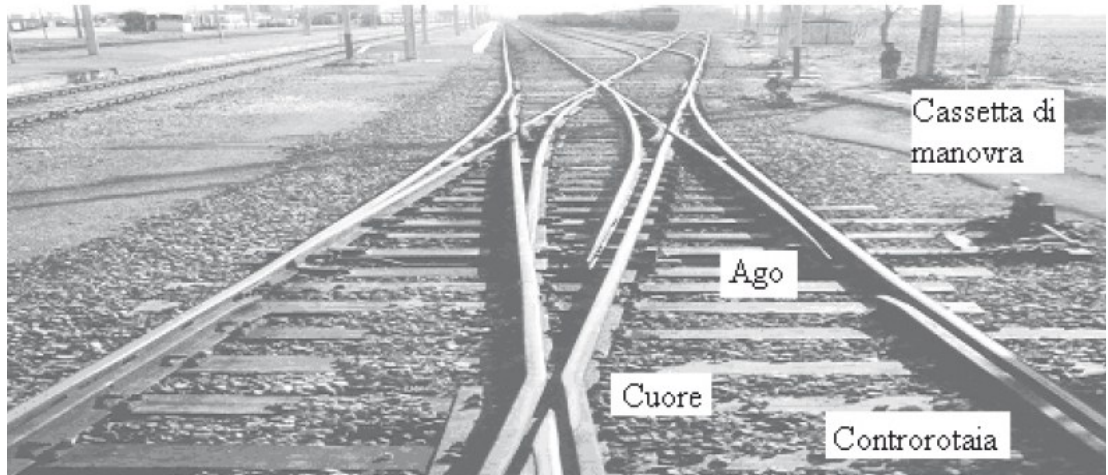
Deve avere 4 cuori A, B, C e D; nel cuore doppio si ha un doppio spazio nocivo e la tangente non può supera 0,12.

Scambio doppio inglese

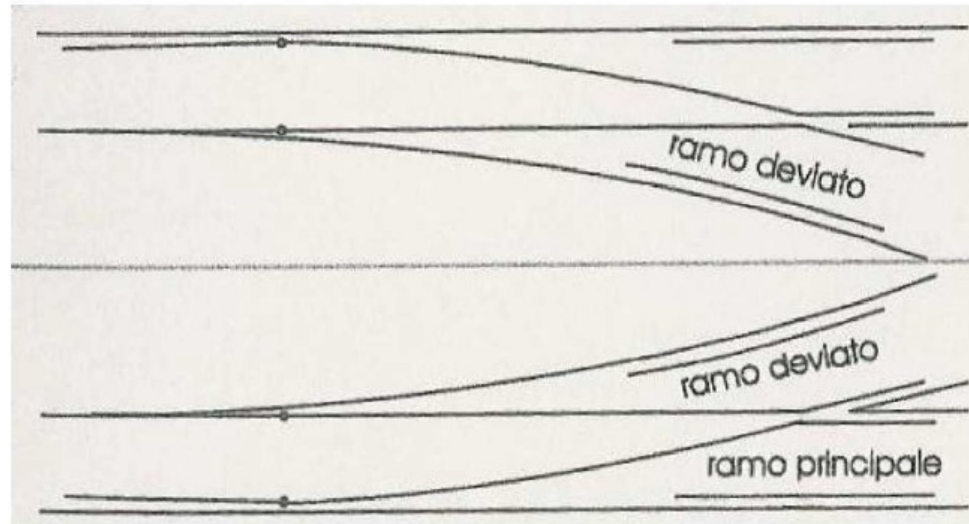
Si chiama anche scambio intersezione doppio



Con lo scambio inglese è possibile il passaggio da un binario all'altro (è quindi un'intersezione ed anche uno scambio)



Deviatoio (1)



SCHEMA DI
DEVIATOIO
SEMPLICE DESTRO

SCHEMA DI
DEVIATOIO
SEMPLICE SINISTRO

Deviatoio (2)

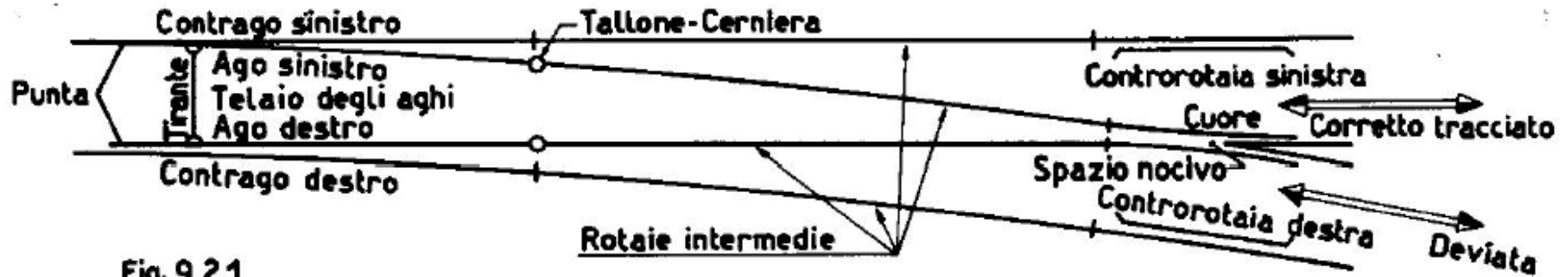


Fig. 9.2.1

E' costituito da una **parte mobile** (telaio degli aghi) che assume diverse posizioni e garantisce la continuità tra binario di entrata e quello di uscita

e da una **parte fissa** (incrociamiento o cuore) che rende possibile la marcia dei veicoli sull'una o sull'altra uscita.

Può essere manovrato a mano o elettricamente a distanza

Deviatoio (3)

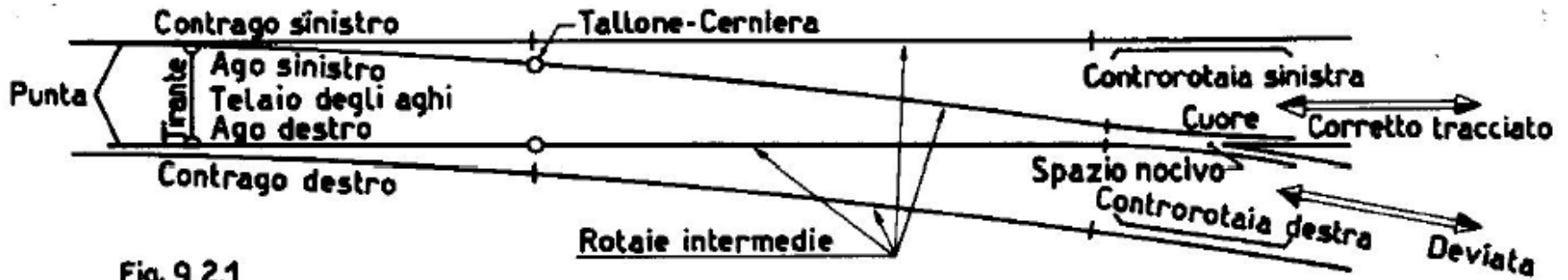
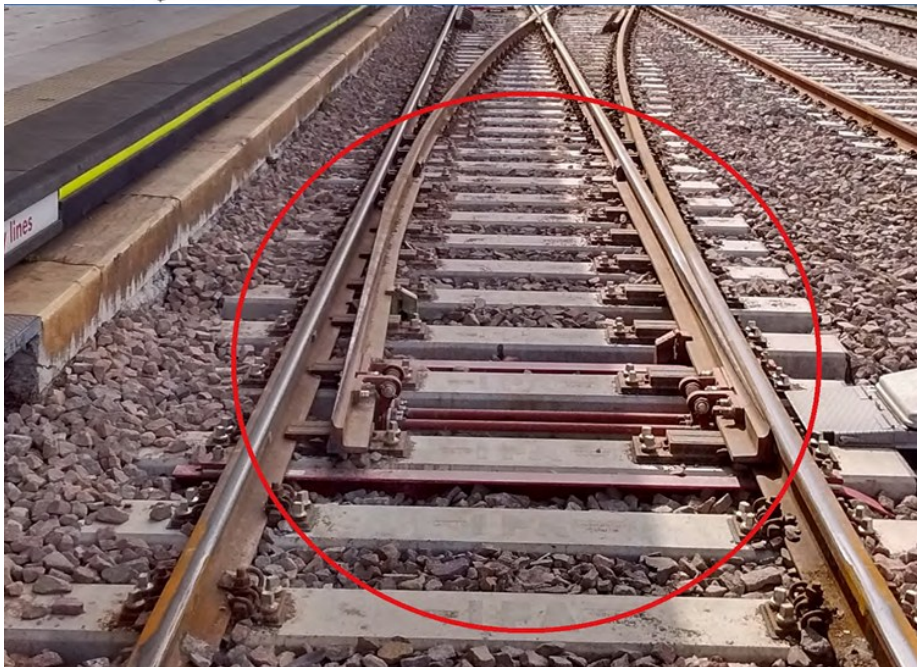


Fig. 9.2.1



Deviatoio (4)

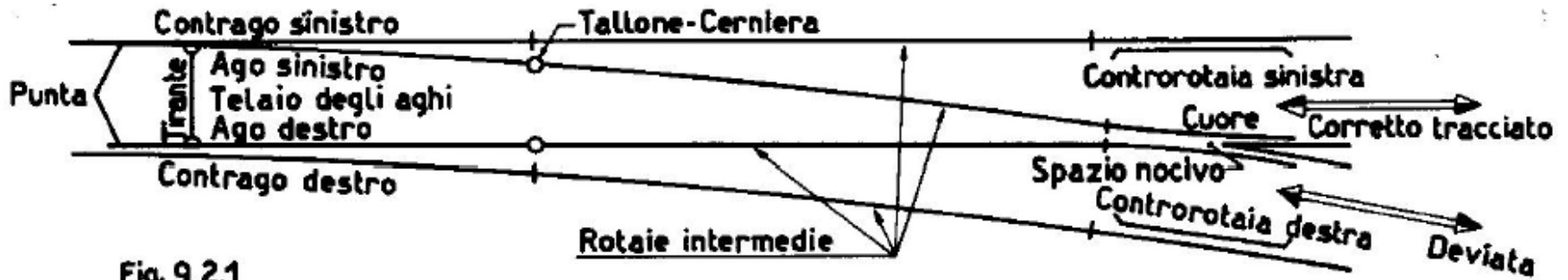
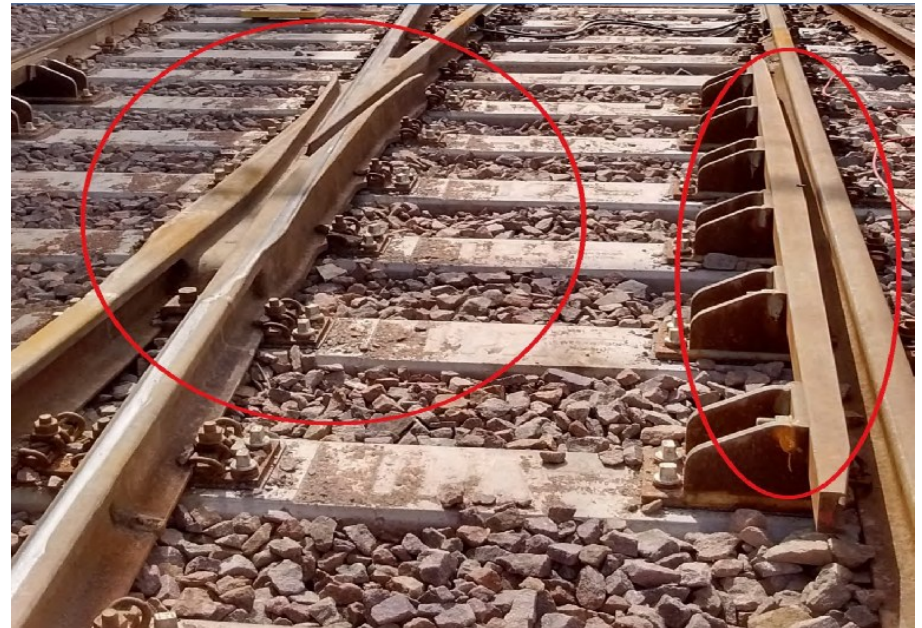
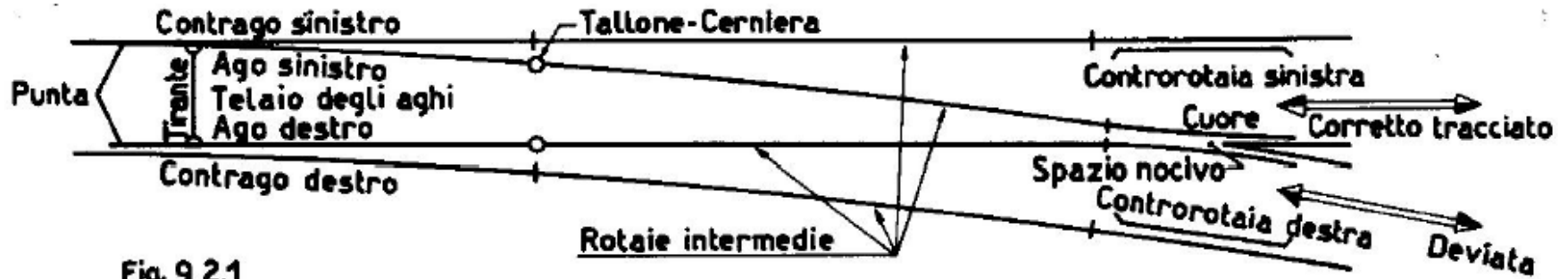


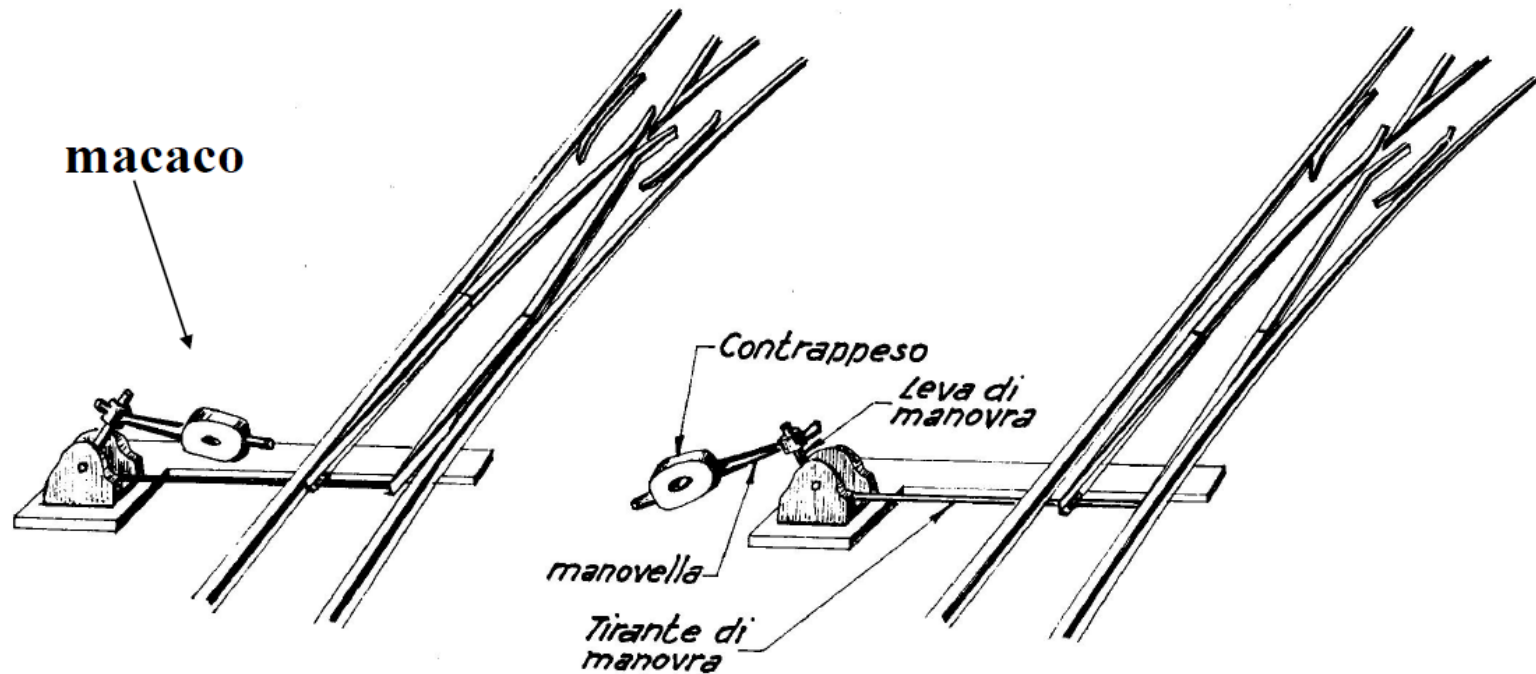
Fig. 9.2.1



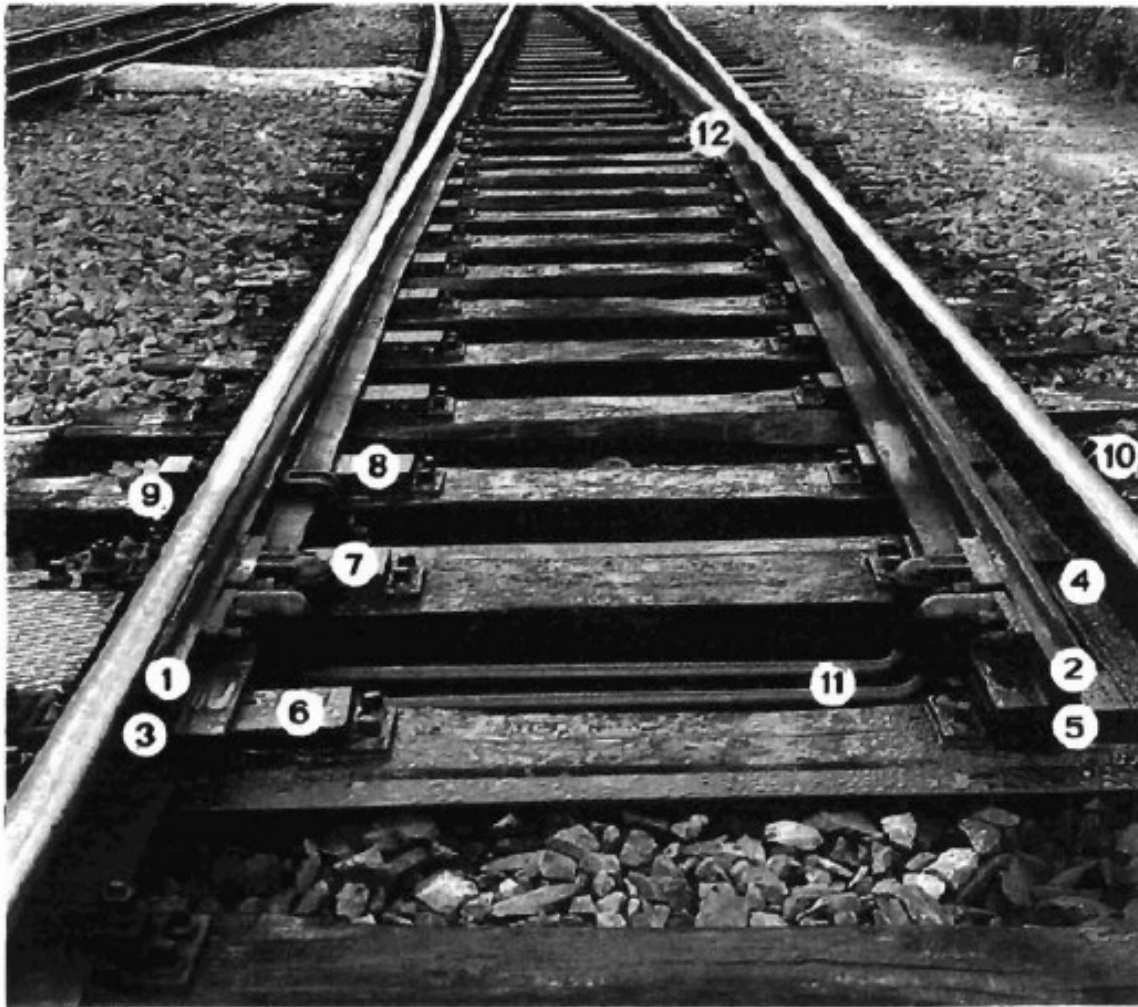
Deviatoio (5)



Deviatoio (6)

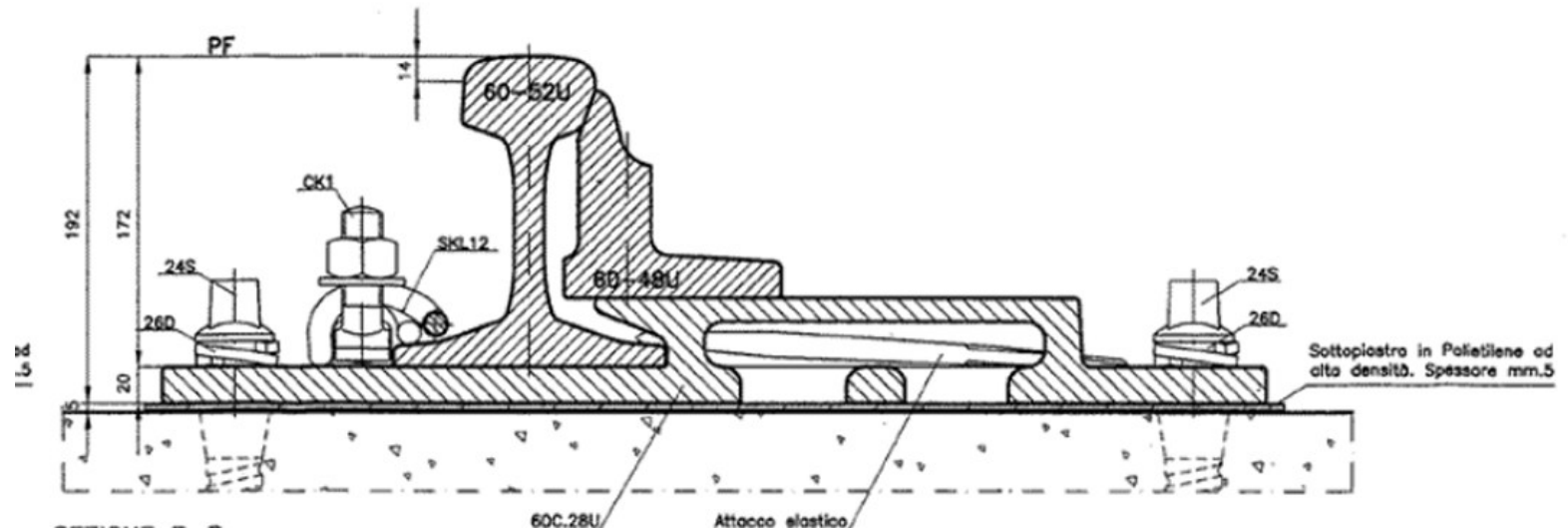


Deviatoio (7)

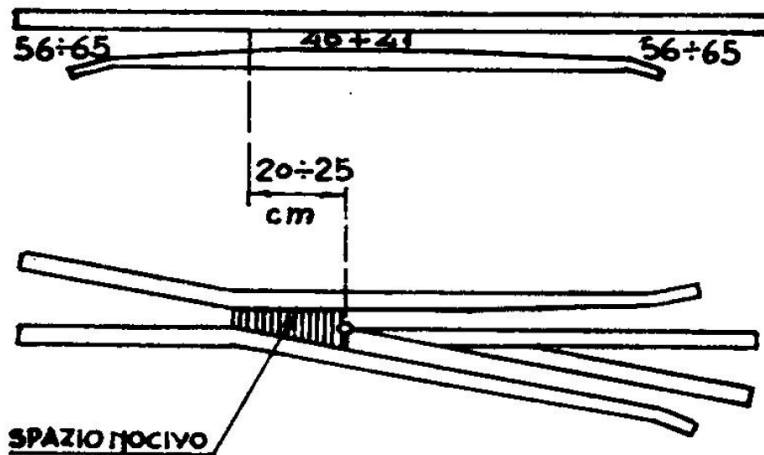
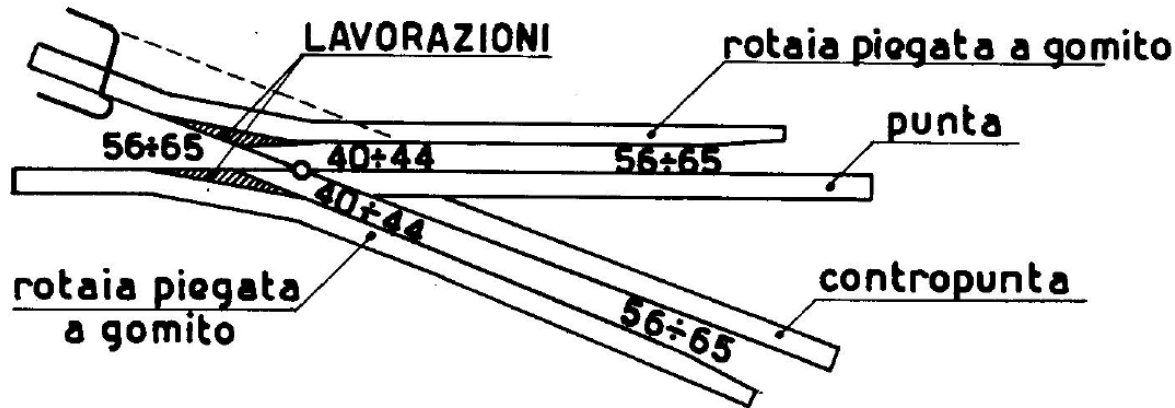


- 1 - Ago sinistro
- 2 - Ago destro
- 3 - Contrago sinistro
- 4 - Contrago destro
- 5 - Punta dell'ago
- 6 - Primo cuscinetto di punta
- 7 - Secondo cuscinetto di punta
- 8 - Terzo cuscinetto di punta
- 9 - Fermascambio a morsa tipo 4
- 10 - Apparecchio distanziatore dell'ago discosto
- 11 - Tiranteria di manovra
- 12 - Cerniera elastica

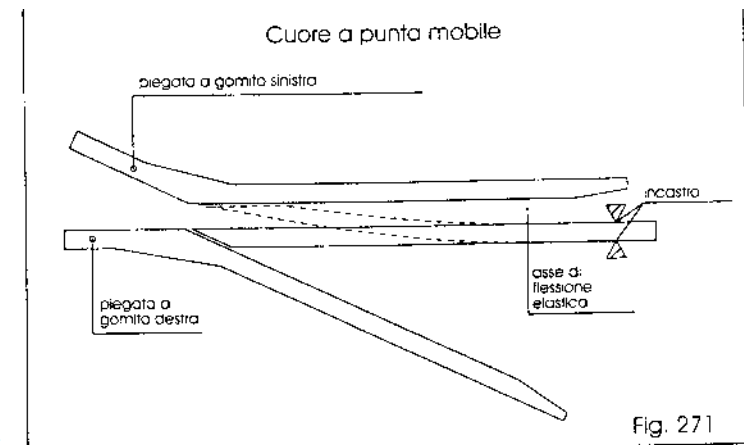
Deviatoio (8)



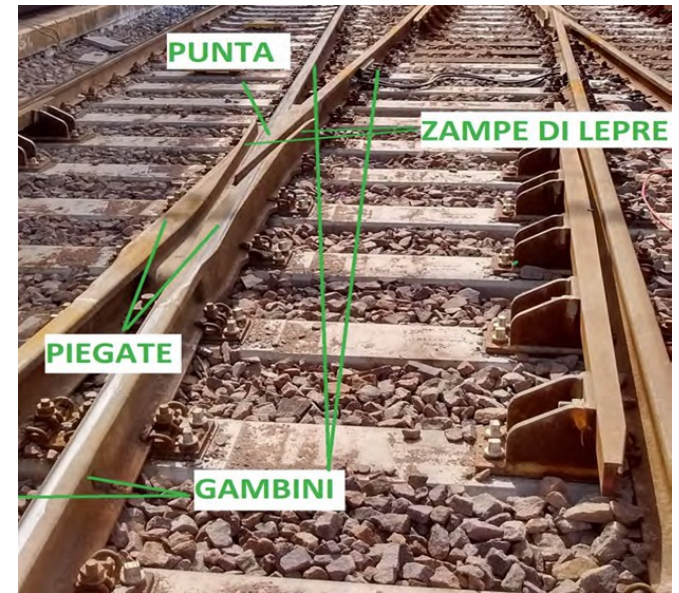
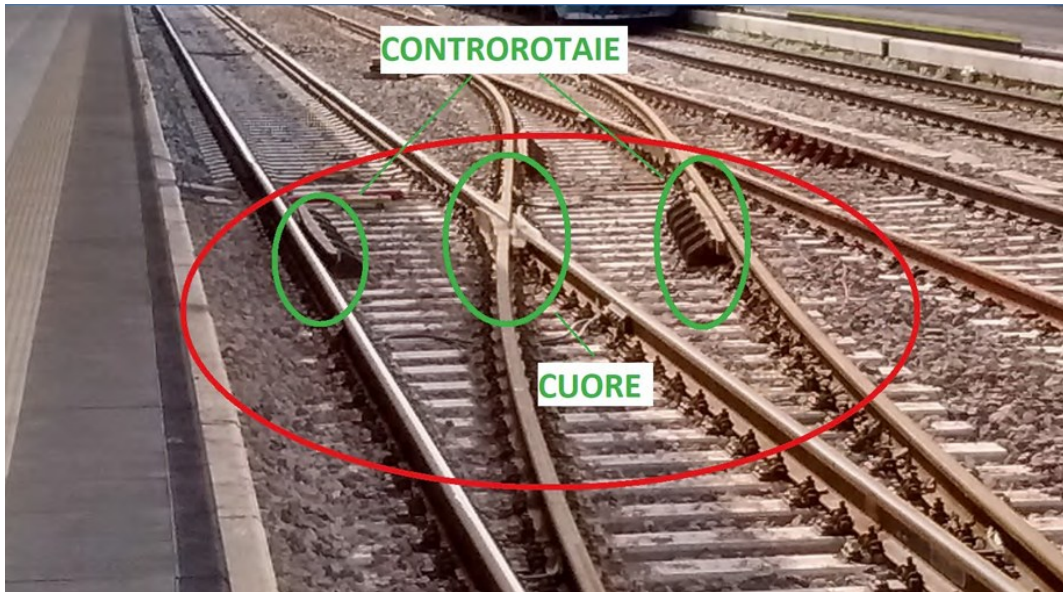
Deviatoio (9)



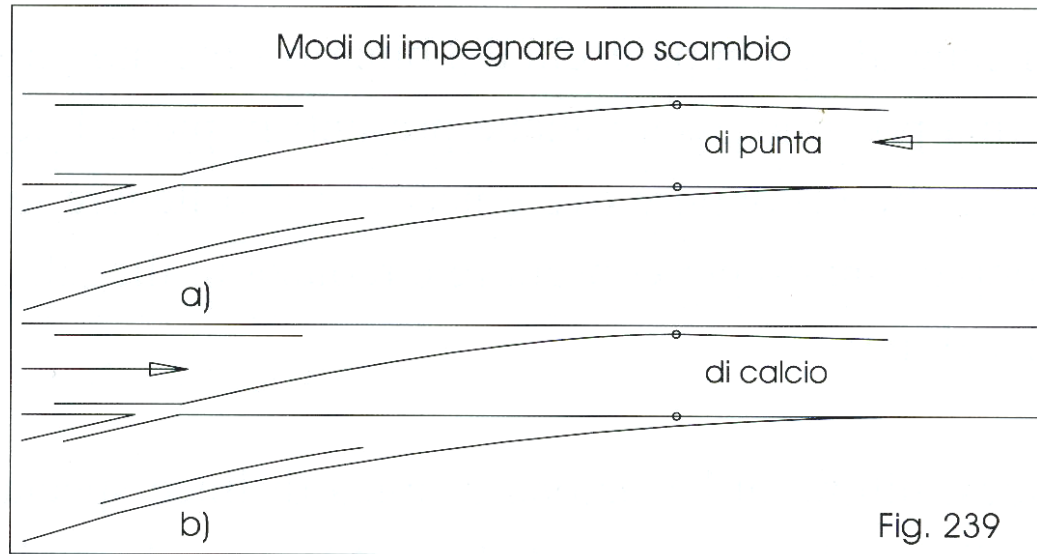
Controrotaie: componenti di armamento costituiti da un profilato di acciaio internamente affiancati alle due rotaie esterne in corrispondenza del cuore degli scambi.



Deviatoio (10)

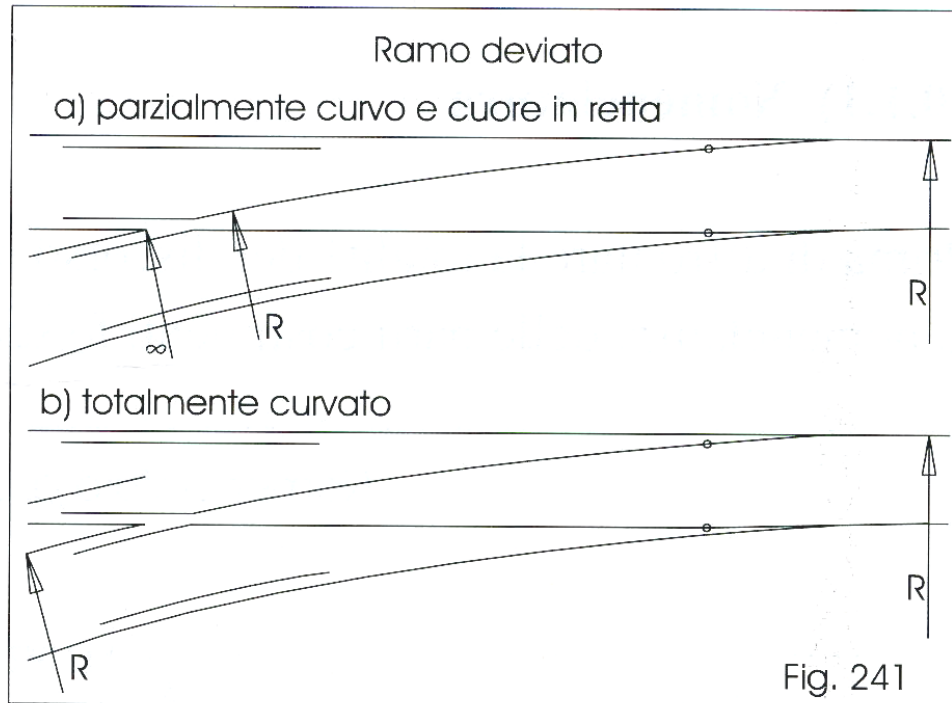


Deviatoio (11)

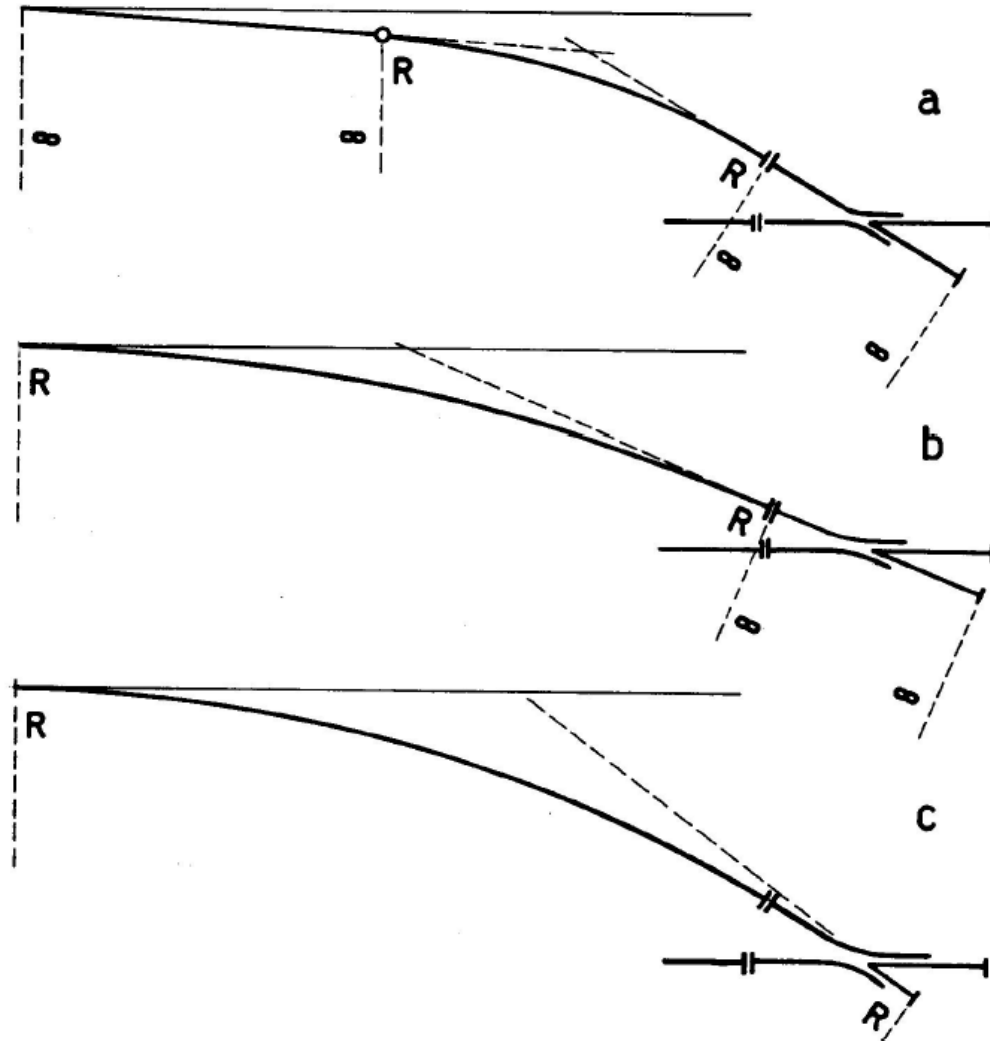


Tallonamento: passaggio improprio su di un deviatoio da parte di un veicolo che lo impegna da una direzione diversa da quella normalmente ammessa dalla posizione attuale del telaio

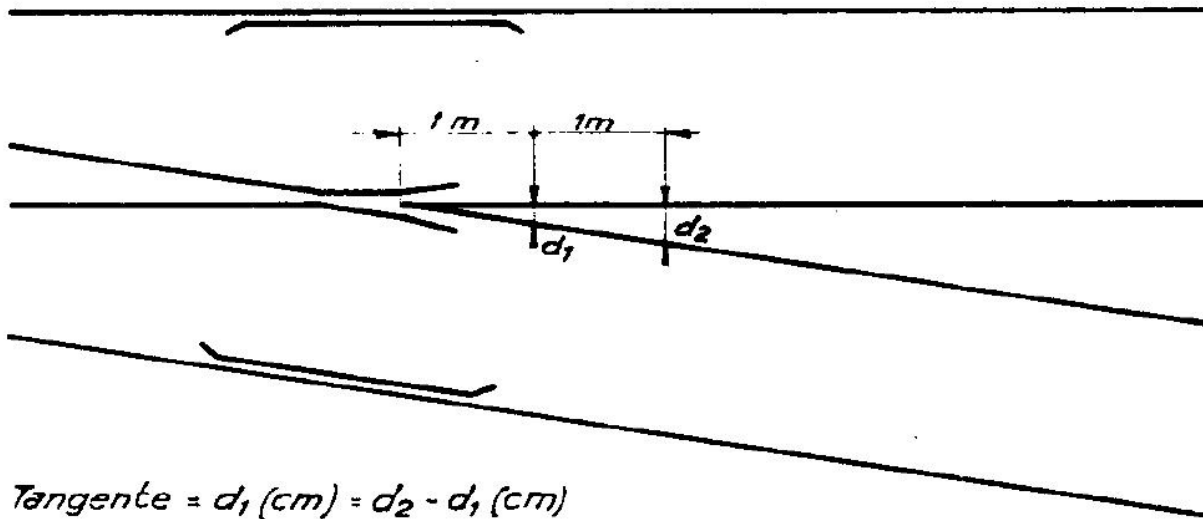
Deviatoio (12)



Deviatioio (13)



Deviatoio (14)



Un deviatoio viene classificato mediante una sigla del tipo:

S. 60/3.000/0,034

In cui:

- S / D sta per sinistro/destro
- 60 indica il tipo di rotaia (kg/ml)
- 3.000 indica il raggio di curvatura del ramo curvo in deviata (m)
- 0,034 è la tangente trigonometrica del ramo in uscita

Deviatore (15)

Tipo	Cuore	Angolo di uscita	Lunghezza (metri)	Velocità (km/h)
*S 36/150/0,12	retto	6°50'34"	22,87	30
*S 36/250/0,10	retto	6°42'38"	30,00	30
*S 46/150/0,12	retto	6°50'34"	24,00	30
*S 46/245/0,10	retto	5°42'38"	30,00	30
S 50 UNI/170/0,12	retto	6°50'34"	23,99	30
S 50 UNI/245/0,10	retto	5°42'38"	30,29	30
S 60 UNI/170/0,12	retto	6°50'34"	25,08	30
S 60 UNI/250/0,12	curvo	6°50'34"	29,84	30
S 60 UNI/250/0,092	retto	5°15'30"	30,85	30
S 60 UNI/400/0,074	retto	4°13'46"	39,08	60
S 60 UNI/400/0,094	curvo	5°21'55"	38,02	60
S 60 UNI/1200/0,055	curvo	3°08'53"	69,00	100
S 60 UNI/3000/0,034	curvo	1°57'06"	109,33	160

* Scambi esistenti in opera ma non più in produzione.

Approfondimenti e Riflessioni



**Sed fugit, interea fugit irreparabile tempus
(Virgilio, Georgiche, III, 284), Ma fugge
intanto, fugge irreparabilmente il tempo.**

