L’armamento ferroviario



IL MENU' DEL GIORNO

GIORNO 1:

- Inquadramento normativo;
- Che cos'è il binario? Elementi costituenti e loro funzioni;
- Quali sono gli elementi che caratterizzano il tracciato ferroviario e che funzione hanno?
- La geometria del binario e le grandezze da monitorare;
- Gli apparecchi del binario: introduzione alle diverse tipologie di scambio e alle verifiche di sicurezza.

GIORNO 2:

- La manutenzione: monitoraggio dello stato del binario e programmazione degli interventi;
- La manutenzione: principali tipologie di interventi;
- La termica del binario: a cosa serve, come si gestisce e gli impatti sulla sicurezza dell'esercizio;
- Il sistema tranviario: principali caratteristiche e confronto col sistema metropolitano



INQUADRAMENTO NORMATIVO

Caratteristiche base degli elementi del binario:

- Capitolato tecnico Opere Civili di RFI;
- Capitolato tecnico Armamento di RFI;
- Specifiche tecniche di prodotto;
- Procedura RFI *RFI DTCSI SF AR 08 002 1 A Sistemi Di Armamento Senza Massicciata*

Caratteristiche funzionali del tracciato:

- Procedura RFI *RFI DTCSI M AR 01 001 1B Manuale di progettazione dell'armamento;*
- Capitolato tecnico Opere Civili di RFI;
- Procedura RFI *RFI TC AR IT 01 008 C Costituzione e controllo della lunga rotaia saldata (L.R.S.);*
- Norma UNI 7836 *Metropolitane e tranvie - Andamento plano-altimetrico dei binari*;
- Norma UNI 7508 *Banchine di stazione*;
- Norma UNI 7360 *Sagoma cinematica e sagoma limite del materiale rotabile - Profilo minimo degli ostacoli e distanziamento fra i binari;*



INQUADRAMENTO NORMATIVO

Definizioni basi del sistema metropolitano:

- Norma UNI 8379 *Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana, metropolitana leggera, tranvia veloce e tranvia) - Termini e definizioni;*

Grandezze geometriche del binario:

- Procedura RFI *RFI TCAR ST AR 01 001 D Standard di qualità geometrica del binario;*
- Norma UNI EN 15610:2019 *Applicazioni ferroviarie - Acustica - Misurazione della rugosità della rotaia e della ruota collegate alla generazione del rumore di rotolamento;*

Apparecchi del binario:

- Procedura RFI *RFI DPR P SE 18 1 1 Controllo delle grandezze caratteristiche degli AdB;*
- Circolare n° 91 del 05-11-1966;
- Procedura RFI *RFI TCAR ST AR 06 002 A Usure delle coppie Ago – Contrago degli scambi – calibro di controllo e norme di manutenzione;*
- Specifica tecnica di fornitura RFI *RFI TCAR SF AR 06 011 A Apparecchi Del Binario Armamento 50E5 E 60E1;*



INQUADRAMENTO NORMATIVO

Gestione della Manutenzione:

- Capitolato tecnico Armamento di RFI;
- Norma UNI EN 13231-3:2012 *Applicazioni ferroviarie - Binario - Accettazione dei lavori - Parte 3: Accettazione della riprofilatura delle rotaie ferroviarie;*
- Procedura RFI *DOI PA SE FU 02.04 1 1 Gestione delle attività inerenti l'esecuzione degli apporti di metallo su rotaie e apparecchi del binario;*
- D.P.R. 753/1980 *"Norme in Materia di Polizia, Sicurezza e Regolarità dell'Esercizio delle Ferrovie e di Altri Servizi di trasporto";*
- Circolare Ministeriale n.1/96 D.C. V e n. 22/96D.G. *"Visite di controllo alle opere d'arte ed alle opere metalliche ferroviarie";*
- *Circolare n°10/2002 Controlli periodici alle opere d'arte e agli impianti delle ferrovie – Presenziamento di funzionari tecnici degli USTIF*
- Circolare n°245/52 *Visite semestrale alle opere d'arte, di ferrotramvie in concessione…;*
- Circolare n° 2/1974 *Visite semestrale alle opere d'arte di ferrovie in concessione…;*

«…Le Disposizioni In Vigore Impongono Ai Direttori Di Esercizio Di Trasmettere All'ufficio Di Vigilanza I Verbali Di Controllo Da Loro Effettuati»

*«…In occasione delle visite stesse dovrà naturalmente accertarsi anche lo stato dei vari fabbricati […] nonché **dell'armamento**»*

«…i verbali di visita alle opere d'arte […] dovranno pervenire […] non oltre il 40° giorno dalla data di effettuazione della visita a cui si riferiscono»

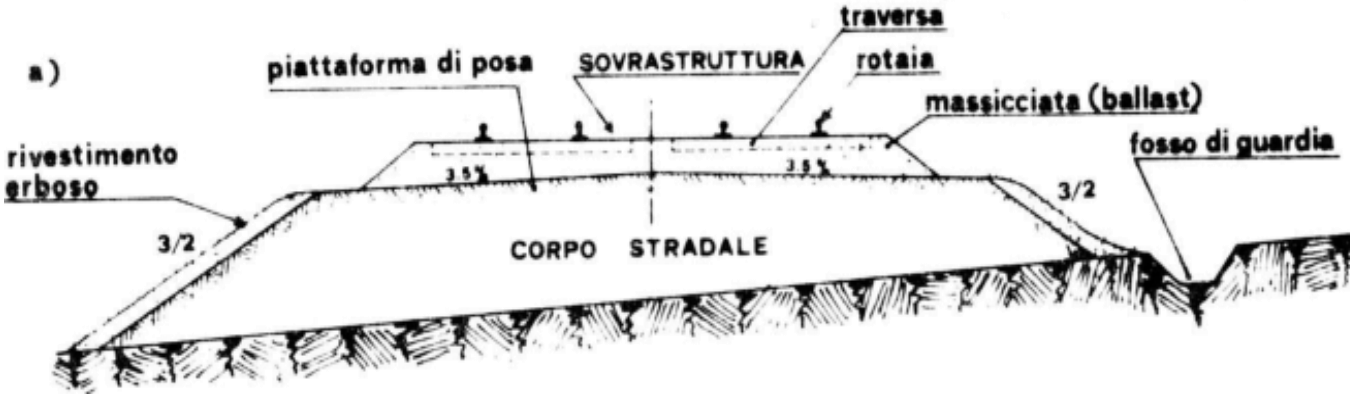


IL BINARIO

Il binario = insieme degli elementi che, poggiati sul corpo stradale, consentono di realizzare il piano che deve assolvere alle funzioni di sostegno e guida del veicolo ferroviario.

Elementi base del binario:

- Le rotaie;
- Gli organi d'attacco;
- Gli organi di giunzione;
- Gli apparecchi del binario;
- Gli appoggi.



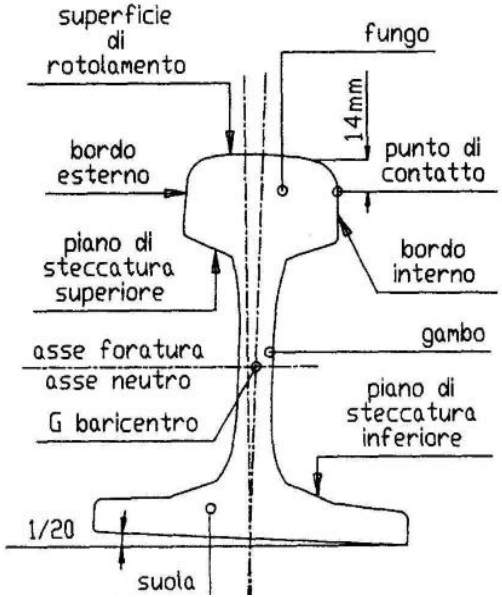


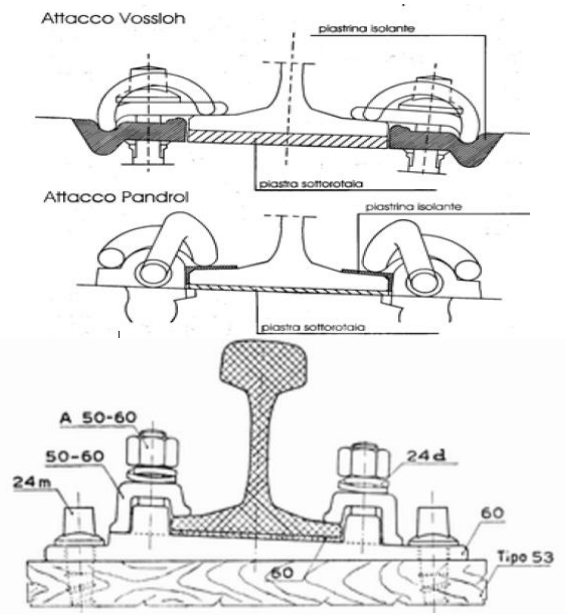
IL BINARIO

Il binario = insieme degli elementi che, poggiati sul corpo stradale, consentono di realizzare il piano che deve assolvere alle funzioni di sostegno e guida del veicolo ferroviario.

Elementi base del binario:

- **Le rotaie;**
- **Gli organi d'attacco;**
- Gli organi di giunzione;
- Gli apparecchi del binario;
- Gli appoggi.







IL BINARIO

Il binario = insieme degli elementi che, poggiati sul corpo stradale, consentono di realizzare il piano che deve assolvere alle funzioni di sostegno e guida del veicolo ferroviario.

Elementi base del binario:

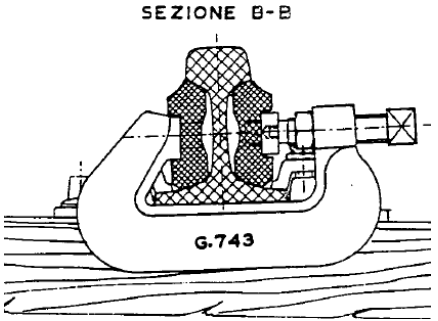
- Le rotaie;
- Gli organi d'attacco;
- **Gli organi di giunzione;**
- Gli apparecchi del binario;
- Gli appoggi.

Giunzione ordinaria



Giunzioni speciali







IL BINARIO

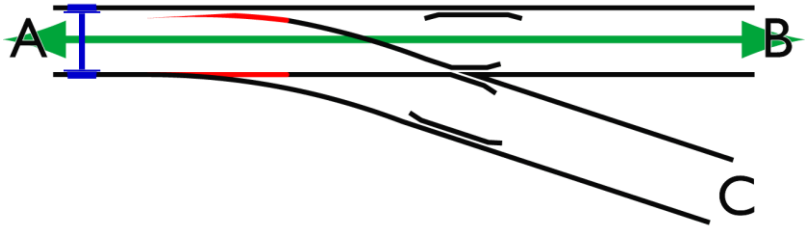
Il binario = insieme degli elementi che, poggiati sul corpo stradale, consentono di realizzare il piano che deve assolvere alle funzioni di sostegno e guida del veicolo ferroviario.

Gli apparecchi del binario sono dispositivi di armamento che consentono il passaggio da un binario ad un altro o l'intersezione tra due binari

Elementi base del binario:

- Le rotaie;
- Gli organi d'attacco;
- Gli organi di giunzione;
- **Gli apparecchi del binario;**
- Gli appoggi.







IL BINARIO

Il binario = insieme degli elementi che, poggiati sul corpo stradale, consentono di realizzare il piano che deve assolvere alle funzioni di sostegno e guida del veicolo ferroviario.

Elementi base del binario:

- Le rotaie;
- Gli organi d'attacco;
- Gli organi di giunzione;
- **Gli apparecchi del binario;**
- Gli appoggi.

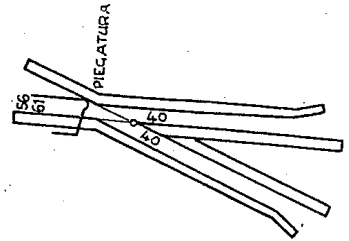
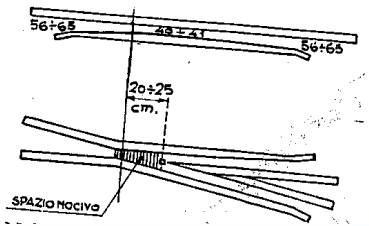
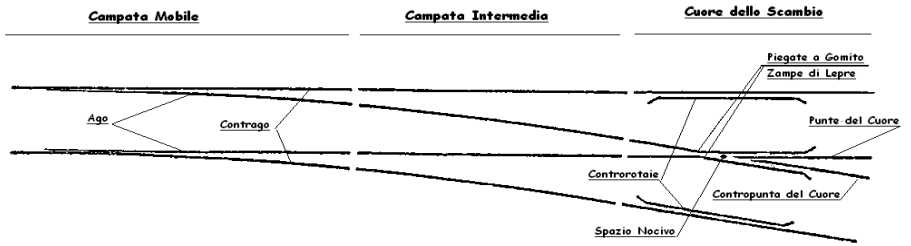


Fig. 1.2.5-c



Gli apparecchi del binario - elementi base





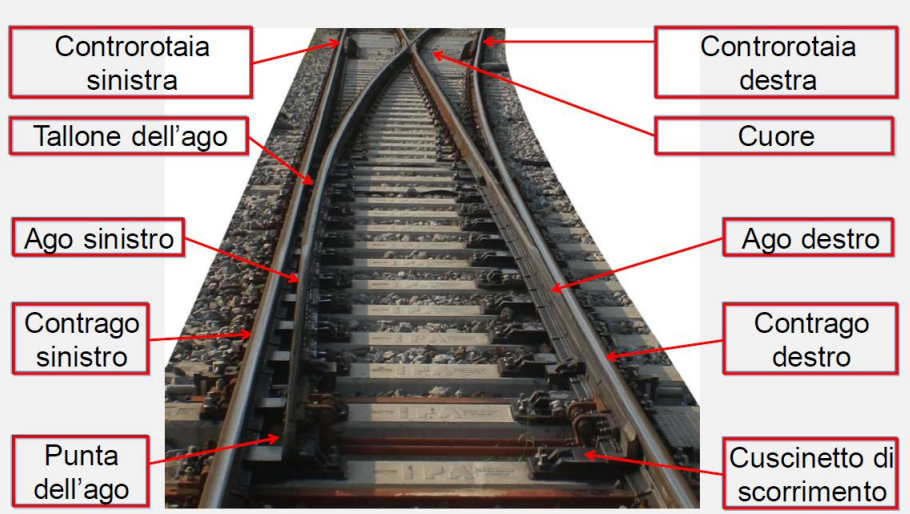
IL BINARIO

Il binario = insieme degli elementi che, poggiati sul corpo stradale, consentono di realizzare il piano che deve assolvere alle funzioni di sostegno e guida del veicolo ferroviario.

Elementi base del binario:

- Le rotaie;
- Gli organi d'attacco;
- Gli organi di giunzione;
- **Gli apparecchi del binario;**
- Gli appoggi.

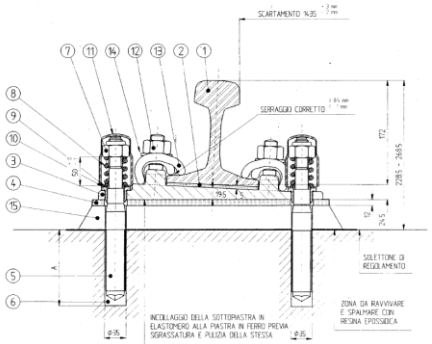
Gli apparecchi del binario - elementi base



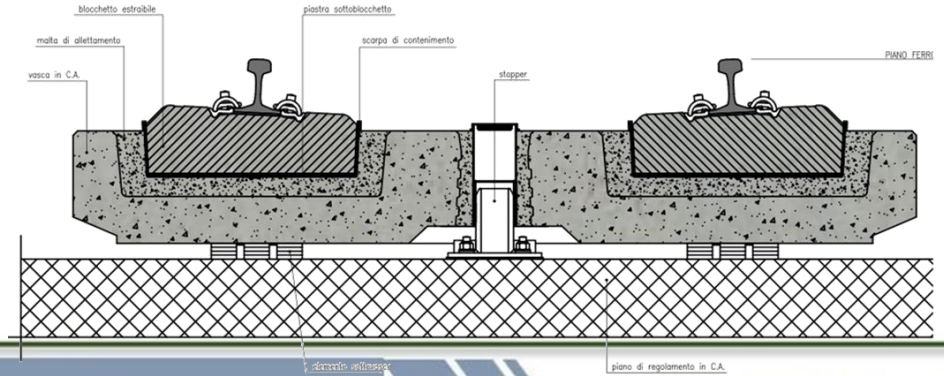


IL BINARIO

- Binario senza ballast
  - Tradizionale
  - Massa - molla
- Binario su ballast

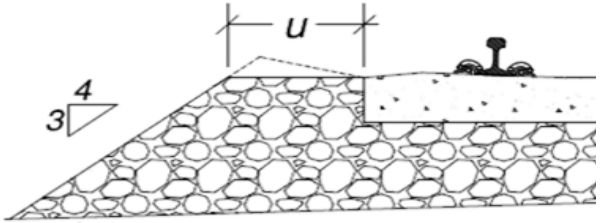




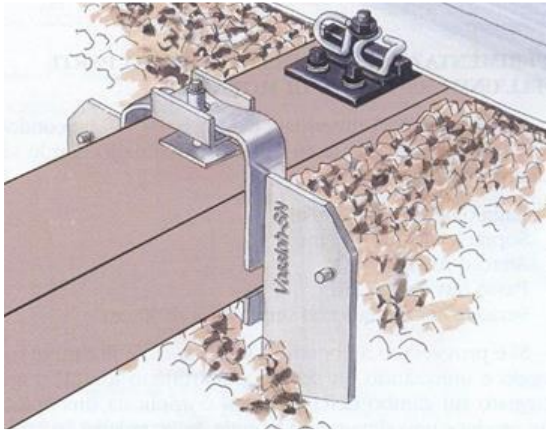


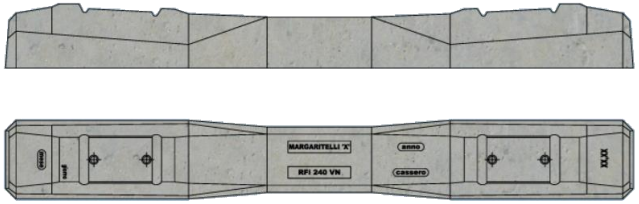


IL BINARIO SU BALLAST

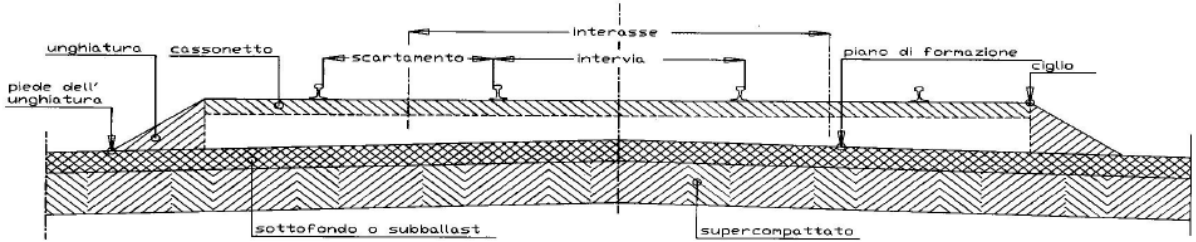


Spessore minimo della massicciata sotto traversa: 25 cm, da misurarsi in corrispondenza della rotaia bassa





Linea a doppio binario



Distinguiamo:

- Il cassonetto che è parte ove sono annegate le traverse. La sua altezza dipende dall'altezza della traversa;
- L'unghiatura che è la sezione triangolare della scarpata (pendenza 3/4);
- Il ciglio e il piede dell'unghiatura.



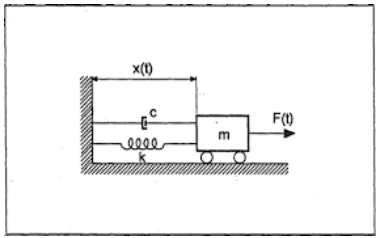
IL BINARIO BALLASTLESS

Vantaggi:

- Maggior stabilità del binario;
- Minori oneri manutentivi (rincalzatura, livellamenti, risanamenti, correzioni geometriche);
- Minori ingombri, vantaggioso in galleria e per i passaggi sotto punti fissi.

Svantaggi:

- Maggiori oneri di costruzione;
- Perdita dell'elasticità della massicciata, da recuperare con l'opportuna scelta di sotto-piastre e sotto-rotaie in gomma o altro materiale;
- Maggior trasferimento delle vibrazioni alla sottostruttura e maggiore emissione di rumore.**



** questo problema è notevolmente ridotto con la tecnologia massa - molla: l'energia connessa ai fenomeni vibratori generati dall'imperfetto contatto tra le ruote e le rotaie durante la marcia dei treni viene dissipata in larga misura nel forzare la "massa" del sistema di armamento ad entrare in vibrazione



IL TRACCIATO FERROVIARIO

Il tracciato ferroviario viene rappresentato planimetricamente con la proiezione dell'asse del binario.

Da un punto di vista planimetrico è la successione di curve, rettifili e raccordi, in genere parabolici. Tendenzialmente coi raccordi planimetrici vengono fatti coincidere anche i raccordi di transizione per la variazione della **sopraelevazione**.

Da un punto di vista altimetrico gli elementi che lo compongono sono livellette e curve verticali che le raccordano.





IL TRACCIATO FERROVIARIO

I **parametri progettuali** base del tracciato sono:

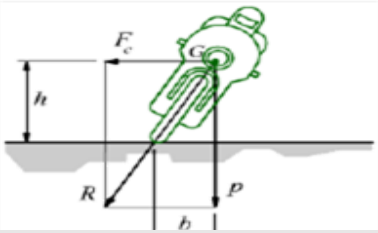
- raggio della curva orizzontale R (*);
- sopraelevazione D (*);
- accelerazione laterale non compensata a_{nc} definita a livello del binario (*);
- insufficienza di sopraelevazione I (*);
- eccesso di sopraelevazione E;
- Pendenza del raccordo di transizione (o parabolico) dD /dl (*);
- lunghezza dei raccordi nel piano orizzontale L;
- rapporto di variazione della sopraelevazione dD/dt;
- rapporto di variazione dell'insufficienza di sopraelevazione dI/dt;
- lunghezza degli elementi di tracciato (curve circolari e rettifili) L_i;
- raggio della curva altimetrica R_v;

(*) questo parametro ha effetto diretto sulla sicurezza della marcia del treno.

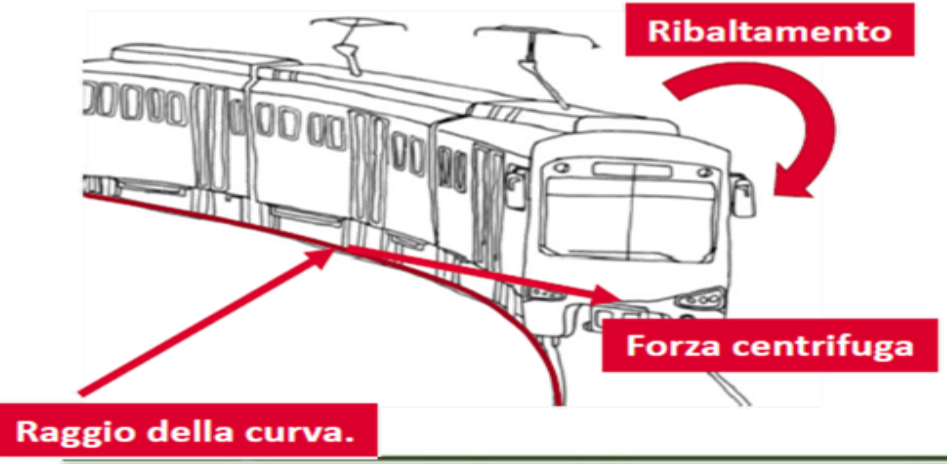


IL TRACCIATO FERROVIARIO

Uno dei principali scopi che persegue la progettazione del tracciato ferroviario è il rispetto dell'equilibrio in curva nei confronti della forza centrifuga, che tende a ribaltare il veicolo, a ridurre il comfort di marcia e a sollecitare la rotaia esterna del binario.



riferimento non inerziale.



Le sollecitazioni che ne conseguono portano ad una maggiore usura delle rotaie in curva e possono raggiungere entità tali da modificare la geometria del binario su ballast.

Come riduco e controllo questi effetti? Agisco su questi parametri progettuali:

Raggio della curva orizzontale e sopraelevazione (e di conseguenza sull'insufficienza di sopraelevazione I e sull'accelerazione non compensata a_{nc}.



IL TRACCIATO FERROVIARIO

La forza centrifuga è inversamente proporzionale al raggio della curva e direttamente proporzionale al quadrato della velocità. $F_C = \frac{mv^2}{R}$

Per questo e altre ragioni le normative impongono valori minimi per il raggio di curvatura:

Norma UNI 7836

Valori minimi raccomandati e limiti inferiori del raggio delle curva orizzontali R_{lim}

	Metropolitane	Metropolitane leggere	Tranvie veloci (metrotranvie)	Tranvie
Valori minimi raccomandati:				
- linea	250 m	200 m	100 m	50 m
- nelle stazioni/fermate	rettilineo	rettilineo	rettilineo	rettilineo
- depositi e raccordi	100 m	75 m	25 m	25 m
Limiti normali:				
- linea	150 m a)	100 m a)	40 m a)	25 m a)
- nelle stazioni/fermate				
- depositi e raccordi	75 m	50 m	25 m	20 m
Limiti eccezionali:				
- linea	75 m a)	50 m a)	25 m a)	18 m a)
- nelle stazioni/fermate				
- depositi e raccordi	70 m	50 m	20 m	15 m

a) Vedere punto 6.1.1.1

Manuale di progettazione RFI DTCSI M AR 01 001 1B

Esistenti	*Valore eccezionale*
	150 m*

* Per curve con raggio tra 150 e 275 è necessario prevedere l'allargamento di scartamento

Ristrutturazioni	*Valore limite*	
	Binari di circolazione	275 m
	Binari secondari	170 m

Nuove costruzioni	*Valore limite*
	275 m



IL TRACCIATO FERROVIARIO

- Norma UNI 7836

Valori minimi raccomandati e limiti inferiori del raggio delle curva

	Metropolitane	Metropolitane leggere
Valori minimi raccomandati:		
- linea	250 m	200 m
- nelle stazioni/fermate	rettilineo	rettilineo
- depositi e raccordi	100 m	75 m
Limiti normali:		
- linea	150 m a)	100 m a)
- nelle stazioni/fermate		
- depositi e raccordi	75 m	50 m
Limiti eccezionali:		
- linea	75 m a)	50 m a)
- nelle stazioni/fermate		
- depositi e raccordi	70 m	50 m

a) Vedere punto 6.1.1.1

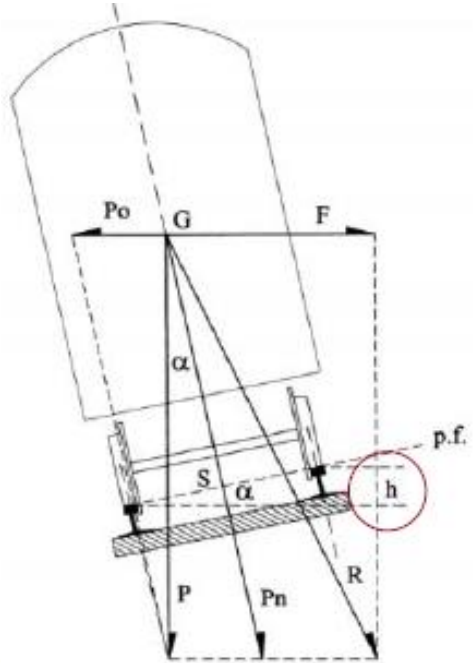
Deve essere notato che raggi di curva piccoli come i limiti normali ed eccezionali indicati, ancorché geometricamente e meccanicamente possibili, comportano i seguenti svantaggi:

- velocità ridotte;
- accentuati consumi delle rotaie e delle ruote;
- accentuato rumore, compresi gli stridii;
- sviluppo della marezzatura (usura ondulatoria delle rotaie) e, quindi, ulteriore emissione di rumore e vibrazioni;
- possono rendere necessario adottare sistemi per ridurre l'attrito fra le superfici di rotolamento;
- possono rendere necessario limitare la circolazione a rotabili con interperni ridotti;
- possono richiedere accoppiatori e/o articolazioni ingombranti;
- possono rendere difficile/impossibile accoppiare i rotabili fra loro in maniera automatica;
- rendono necessario limitare la sopraelevazione del binario delle curve di piccolo raggio, per evitare il rischio di svio a bassa velocità.



IL TRACCIATO FERROVIARIO

L'equilibrio del veicolo in curva.



1. $ma_{nc} = \frac{mv^2}{R}\cos(\alpha) - mg \cdot sen(\alpha);$
2. $\cancel{m}a_{nc} = \frac{\cancel{m}v^2}{R} - \cancel{m}g \cdot \frac{D}{1500\ mm.};$
3. $D_0[mm] = \frac{1500}{9.81 \cdot 3.6^2} \cdot \frac{v^2\ [\frac{km}{h}]}{R\ [m]};$

$I = D_0 - D;\ E = D - D_0$



IL TRACCIATO FERROVIARIO

L'equilibrio del veicolo in curva: i valori limite della sopraelevazione

Le normative forniscono valori limite anche per D, I (e quindi a_{nc}) ed E.

- Manuale di progettazione d'armamento RFI DTCSI M AR 01 001 1B, valori in linea

D_{max}	
Valore limite	160 mm

E_{lim}	
Valore limite	110 mm

	I_{lim}	$a_{nc,lim}$
$V_F \leq 200$ km/h	92 mm	0.6 m/s²

- Norma UNI 7836

	Metropolitane / Metropolitane leggere		Tranvie veloci (metrotranvie) / Tranvie	
	I [mm]	a_q [m/s²]	I [mm]	a_q [m/s²]
Valori massimi raccomandati:	a)		a)	
- scartamento ordinario di 1 435 mm - 1 445 mm	30	0,2[a)]	30	0,2[a)]
- scartamento ridotto di 1 000 mm	21		21	
- scartamento ridotto di 950 mm	20		20	
Limiti normali:	b)		b)	
- scartamento ordinario di 1 435 mm - 1 445 mm	138	0,9[b)]	138	0,9[b)]
- scartamento ridotto di 1 000 mm	97		97	
- scartamento ridotto di 950 mm	93		93	
Limiti eccezionali:				
- scartamento ordinario di 1 435 mm - 1 445 mm	153	1,0	153	1,0
- scartamento ridotto di 1 000 mm	108		108	
- scartamento ridotto di 950 mm	103		103	

Limiti superiori dell'eccesso di sopraelevazione E_{lim}

Scartamento del binario	Limite normale	Limite eccezionale
1 435 mm - 1 445 mm	110 mm	150 mm
1 000 mm	78 mm	106 mm
950 mm	74 mm	101 mm

Limiti superiori per la sopraelevazione D_{lim}

	Scartamento ordinario 1 435 - 1 445 mm		Scartamento ridotto 950 - 1 000 mm	
	Limiti normali	Limiti eccezionali	Limiti normali	Limiti eccezionali
Generale	140 mm	160 mm	100 mm	105 mm



IL TRACCIATO FERROVIARIO

Alcune considerazioni

V_{max} incide sui costi:

- di costruzione condizionando le caratteristiche geometriche del tracciato, le sezioni della linea e la qualità delle opere in terra e della sovrastruttura;
- di esercizio condizionando i consumi di energia;
- di manutenzione condizionando le azioni sul binario e le tolleranze.

V_{min} incide sui costi:

- di costruzione in quanto una sua diversità da Vmax irrigidisce il tracciato;
- di esercizio condizionando i consumi di energia;
- di manutenzione condizionando le azioni sul binario.

a_{nc} e quindi il difetto di sopraelevazione «**I**» incide:

- sul comfort della circolazione veloce;
- sui costi di costruzione condizionando il raggio minimo delle curve;
- sui costi di manutenzione a causa delle azioni sulla rotaia esterna delle curve che procurano modifiche alle caratteristiche geometriche del binario e consumo del bordo interno di quella rotaia.

«E» l'eccesso di sopraelevazione incide:

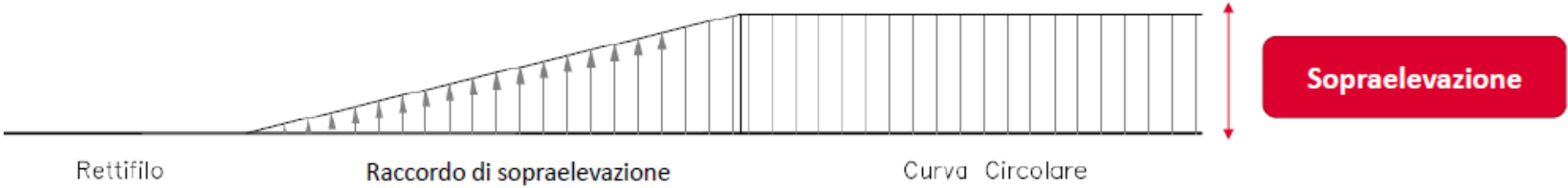
- sui costi di manutenzione a causa delle azioni, sulla rotaia interna delle curve, che procurano modifiche alle caratteristiche geometriche del binario e consumo del bordo interno.



IL TRACCIATO FERROVIARIO

La variazione di sopraelevazione: i raccordi di transizione

Rettifili e curve, e allo stesso tempo curve con raggio diverso, portano ad avere nel tracciato valori della sopraelevazione variabili. La corda interna rimane ferma, è sempre la corda all'esterno della curva a variare la sua quota. Per raccordare punti a diversa sopraelevazione sono necessari dei raccordi di transizione. Questi coincidono quasi sempre con i raccordi parabolici (l'utilizzo di raccordi parabolici permette una variazione lineare dell'accelerazione centrifuga e quindi con una variazione lineare della sopraelevazione del binario e cioè con una pendenza costante della corda alta, si ha una variazione lineare anche dell'accelerazione non compensata).





IL TRACCIATO FERROVIARIO

La variazione di sopraelevazione: lo sghembo

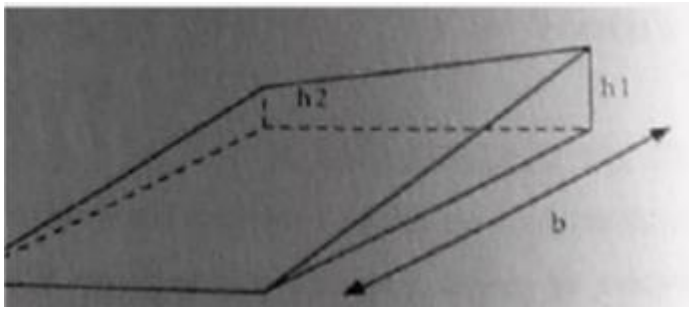
Lo sghembo è la variazione lungo l'asse del binario della pendenza trasversale e si esprime come differenza di livello trasversale misurata su di una distanza prefissata:

$$\gamma = \frac{h_1 - h_2}{l} \text{‰}$$

dove h_1 e h_2 sono i livelli trasversali in corrispondenza di due punti mentre l è la loro distanza detta anche base delle misurazioni.

La presenza dello sghembo fa si che i quattro punti del binario non siano contenuti in uno stesso piano e questo comporta che il carrello del treno abbia una ruota che viene scaricata e una sovraccaricata, potendo portare quindi allo svio.

Il raccordo di transizione viene definito **sghembo di costruzione.**





IL TRACCIATO FERROVIARIO

La variazione di sopraelevazione: lo sghembo

Potendo comportare il rischio di uno svio lo sghembo è un parametro fortemente attenzionato. Le norme pongono i seguenti limiti:

- Manuale di progettazione d'armamento RFI DTCSI M AR 01 001 1B

dD/dL	*Valore limite*	*Valori consigliati*		
Nuove costruzioni	2.25 mm/m	$V_f \leq 75$ km/h	$V_f = 75 \div 100$ km/h	$V_f \geq 100$ km/h
		≤ 2 mm/m	≤ 1.5 mm/m	≤ 1 mm/m
Esistenti	2.50 mm/m			

- Norma UNI 7836

Limiti superiori delle pendenze di rampa $\left(\frac{dD}{ds}\right)_{lim}$

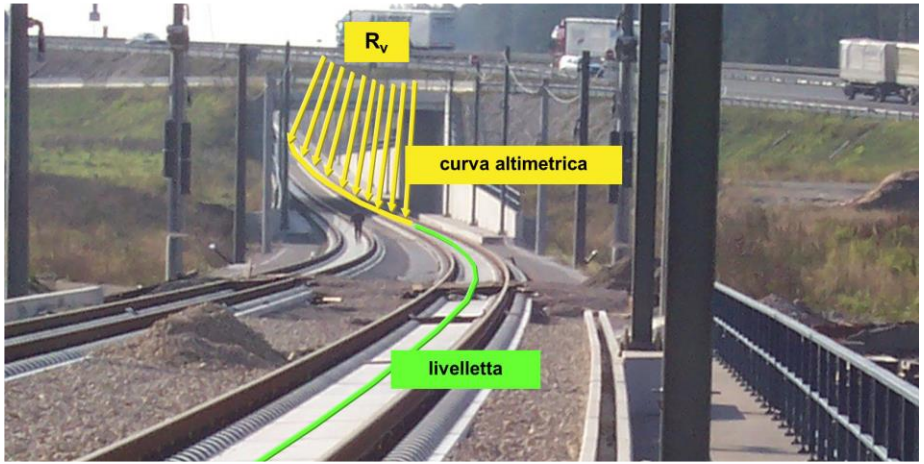
	Metropolitane / Metropolitane leggere	Tranvie veloci (metrotranvie) / Tranvie
Limiti normali	3 mm/m	3 mm/m
Limiti eccezionali	3 mm/m	3,33 mm/m



IL TRACCIATO FERROVIARIO

Profilo della linea

Nel piano verticale, il tracciato ferroviario è costituito da **livellette**, definite univocamente tramite la loro lunghezza e pendenza, e da **curve altimetriche** che raccordano due livellette consecutive. Non si prevedono in genere raccordi a raggio variabile tra le livellette e le curve altimetriche, che vengono comunque dimensionate con raggi molto ampli per contenere l'accelerazione centrifuga nel piano verticale.





IL TRACCIATO FERROVIARIO

Profilo della linea

Limiti delle caratteristiche del tracciato altimetrico dalla UNI7836:

Valori massimi raccomandati e limiti superiori della pendenza *p*

	Metropolitane / Metropolitane leggere	Tranvie veloci (metrotranvie) / Tranvie
Valori massimi raccomandati: - linea - nelle stazioni/fermate	 0 - 30 mm/m 2 mm/m[a)]	 0 - 40 mm/m 2 mm/m
Limiti normali: - linea - nelle stazioni/fermate	 40 mm/m 2 mm/m[a)]	 60 mm/m 10 mm/m
Limiti eccezionali: - linea - nelle stazioni/fermate	 60 mm/m 20 mm/m[a)]	 80 mm/m 20 mm/m
Note a) Vedere UNI 7508.		

Limiti inferiori delle lunghezze delle livellette $L_{g,lim}$

	Metropolitane / Metropolitane leggere	Tranvie veloci (metrotranvie) / Tranvie
Limiti normali	20 m	15 m
Limiti eccezionali	0	0



IL TRACCIATO FERROVIARIO

Profilo della linea

Limiti delle caratteristiche del tracciato altimetrico dalla UNI7836:

Valori minimi raccomandati e limiti inferiori dei raggi verticali $R_{V,lim}$

	Metropolitane / Metropolitane leggere	Tranvie veloci (metrotranvie) / Tranvie
Valori minimi raccomandati	3 000 m	2 000 m
Limiti normali	1 500 m	1 000 m
Limiti eccezionali	500 m	350 m[a)]

a) Valori più piccoli possono essere adottati in situazioni particolari, per curve verticali di piccolo sviluppo angolare, previa verifica caso per caso.

Limiti inferiori della lunghezza delle curve verticali $L_{v,lim}$

	Metropolitane / Metropolitane leggere	Tranvie veloci (metrotranvie) / Tranvie
Limiti normali	15 m	10 m
Limiti eccezionali	0	0

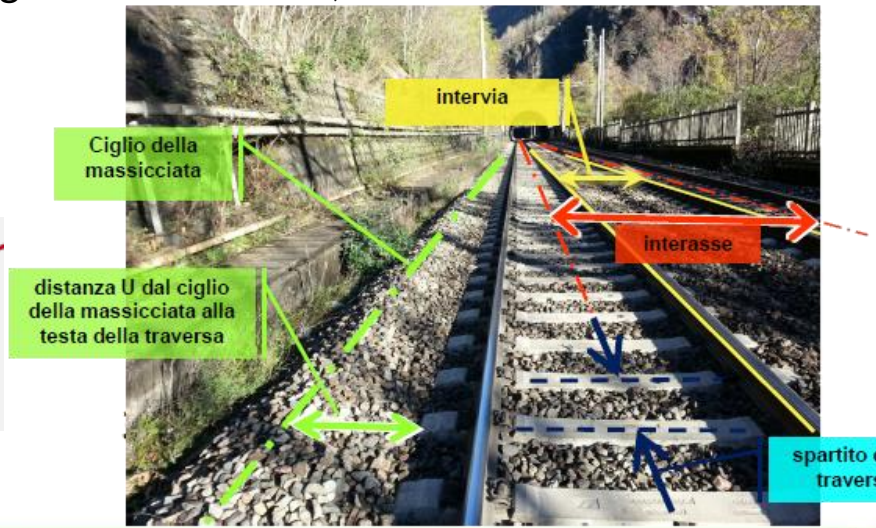


LA GEOMETRIA DEL BINARIO

Parametri fondamentali della geometria del binario

- **Intervia:** distanza tra i fianchi attivi delle due rotaie affacciate;
- **Interasse:** distanza tra gli assi dei due binari;
- **Spartito degli appoggi** (su ballast tra 60 e 66 cm, su armamento senza ballast anche 75 cm)
- **Distanza U dal ciglio:** serve ad assicurare la giusta guarnitura delle traverse;
- **Scartamento:** minima distanza fra i fianchi attivi dei funghi delle due rotaie, misurata dal piano di rotolamento fino a 14 mm sotto di esso;



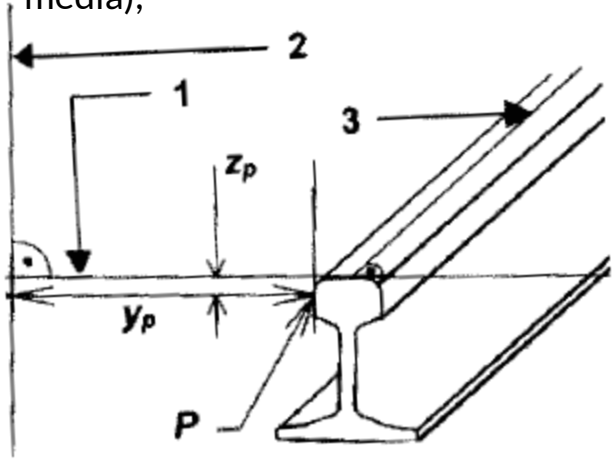


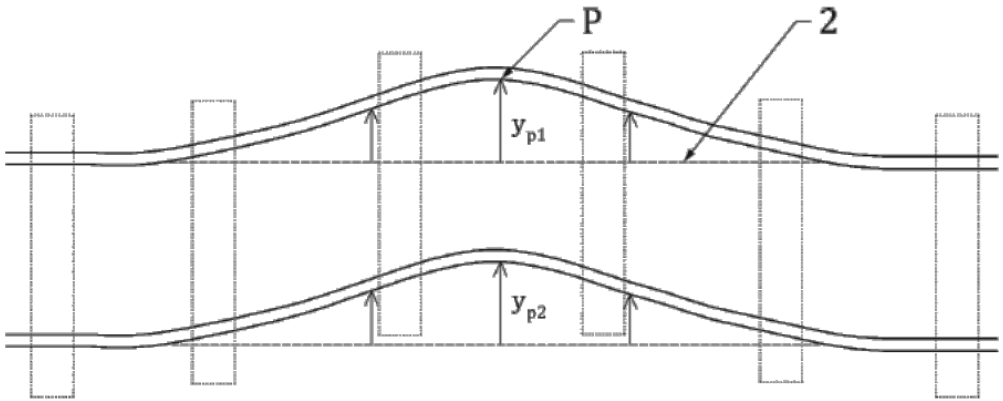


LA GEOMETRIA DEL BINARIO

Parametri fondamentali della geometria del binario

- **Allineamento:** per ciascuna fila di rotaia, è la misura della deviazione y_p, nella direzione Y, delle posizioni del punto P rispetto alla linea di riferimento (posizione media);



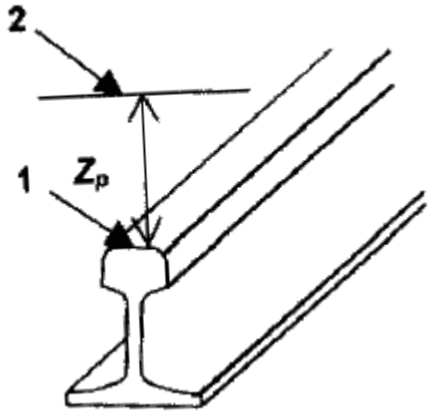


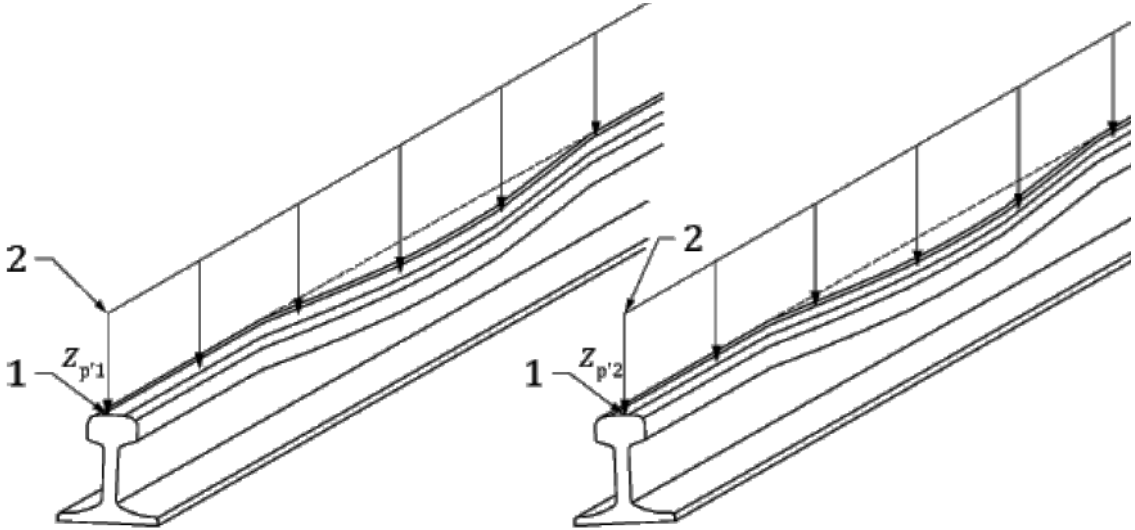


LA GEOMETRIA DEL BINARIO

Parametri fondamentali della geometria del binario

- **Livello longitudinale:** per ciascuna fila di rotaia, è la misura della deviazione z_p, nella direzione z, della distanza della tavola di rotolamento dalla linea di riferimento (posizione media);



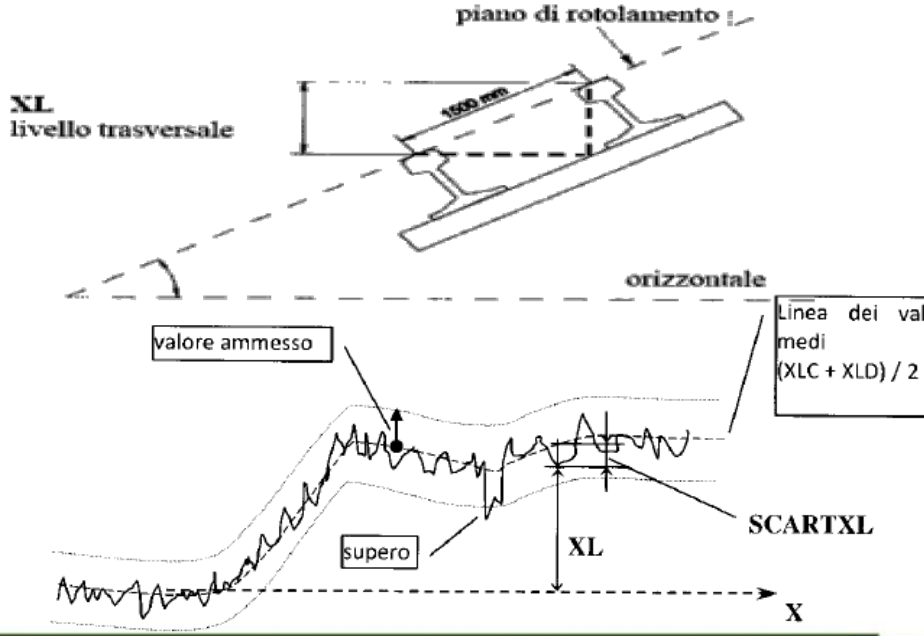




LA GEOMETRIA DEL BINARIO

Parametri fondamentali della geometria del binario

- **Livello trasversale:** Il livello trasversale differenza in altezza tra le due tavole di rotolamento adiacenti, è espressa come l'altezza del triangolo rettangolo avente ipotenusa pari a 1500 mm ed angolo al vertice pari all'angolo tra il piano di rotolamento ed un piano orizzontale di riferimento.
- **Scarto di livello trasversale:** è la differenza fra il suo livello trasversale e la media dei livelli trasversali di due punti posti 5 m prima e dopo il punto considerato;
- **Difetto di sopraelevazione:** differenza in valore assoluto tra il livello trasversale e la sopraelevazione di progetto.
- **Sghembo.**

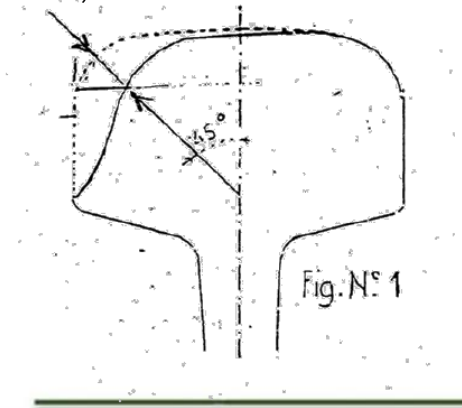




LA GEOMETRIA DEL BINARIO

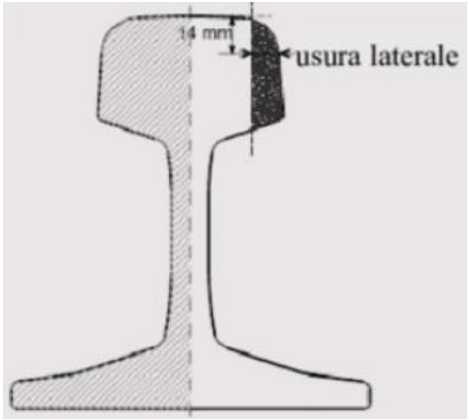
Parametri fondamentali della geometria del binario

- **Deviazione standard di allineamento, livello longitudinale e livello trasversale:** scarti quadratici medi delle grandezze di cui sopra calcolati su sezioni di binario lunghe 200 m. Si definisce poi l'indice di rincalzatura del tratto ponendolo pari al peggiore tra questi tre;
- **Usura a 45°:** usura misurata sulla retta passante nel mezzo dell'arrotondamento del fungo ed inclinata di 45° rispetto all'asse delle rotaie;
- **Usura laterale:** essa è espressa come distanza, in mm, tra il profilo teorico e quello reale, misurata a 14 mm al di sotto del piano di rotolamento







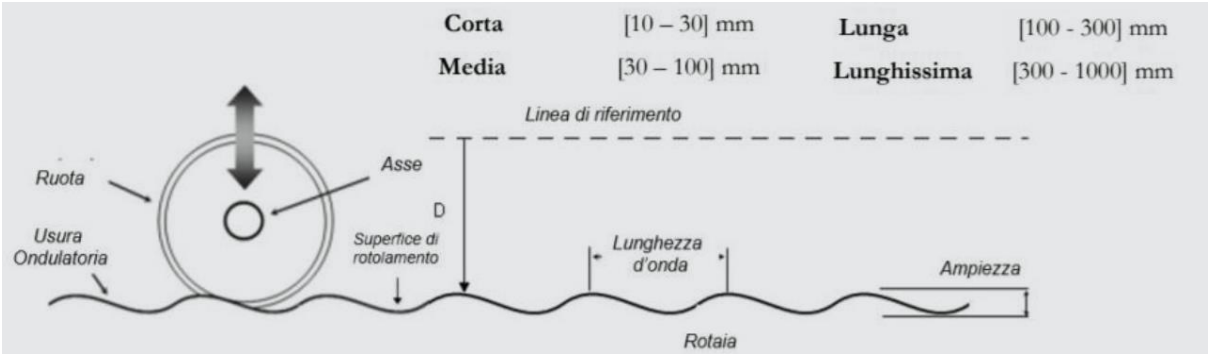




LA GEOMETRIA DEL BINARIO

Parametri fondamentali della geometria del binario

- **Usura Ondulatoria:** è una mancanza periodica di materiale sulla superficiale della testa della rotaie che si manifesta sulla tavola di rotolamento sotto forma di sequenze irregolari di creste lucenti e cavità scure. Sono causati dall'esercizio ferroviario, in particolare dagli slittamenti delle ruote pertanto è frequente rinvenirli sulle fughe basse delle curve e in prossimità dei segnali e dei tratti in salita. Tale parametro viene rappresentato nelle lunghezze d'onda:







LA GEOMETRIA DEL BINARIO

Parametri fondamentali della geometria del binario: gli strumenti di misura

- **Calibro FS69:** strumento analogico, misurazione di scartamento e quote di protezione dei cuori degli scambi;
- **Calibro FS 07:** strumento digitale, misurazione di scartamento e quote di protezione dei cuori degli scambi;
- **Calibro Usura Fungo:** Misura dell'usura a 45°;
- **Calibro FS97:** controllo dell'accoppiamento ago/C.ago e del corretto accoppiamento ruota – rotaia;
- Per la misura dell'usura ondulatoria esistono varie tipologie di strumenti, ANM ha avuto in dotazione il CAT che misurava l'usura ondulatoria attraverso attrezzature puramente meccaniche a contatto con la rotaia ed attualmente si sta dotando di uno strumento nominato Gecko che misura l'usura attraverso tre coppie di laser per corda.

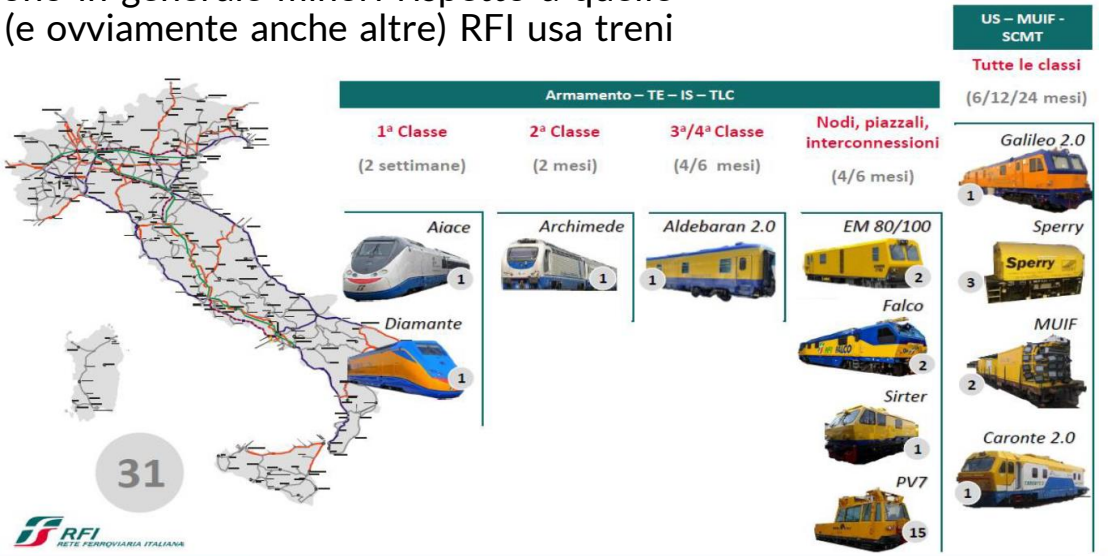
N.B.: Tutti i parametri geometrici che possono essere influenzati dalla deformazione che il binario subisce quando sollecitato devono essere controllati a **binario carico** con idonei rotabili di misura (scartamento, allineamento, livello e sghembo) . Le misure rilevate mediante calibri manuali o carrellini manuali possono essere utilizzate come complementari, tenendo presente che esse sono in generale minori rispetto a quelle eseguite a binario carico.



LA GEOMETRIA DEL BINARIO

Parametri fondamentali della geometria del binario: gli strumenti di misura

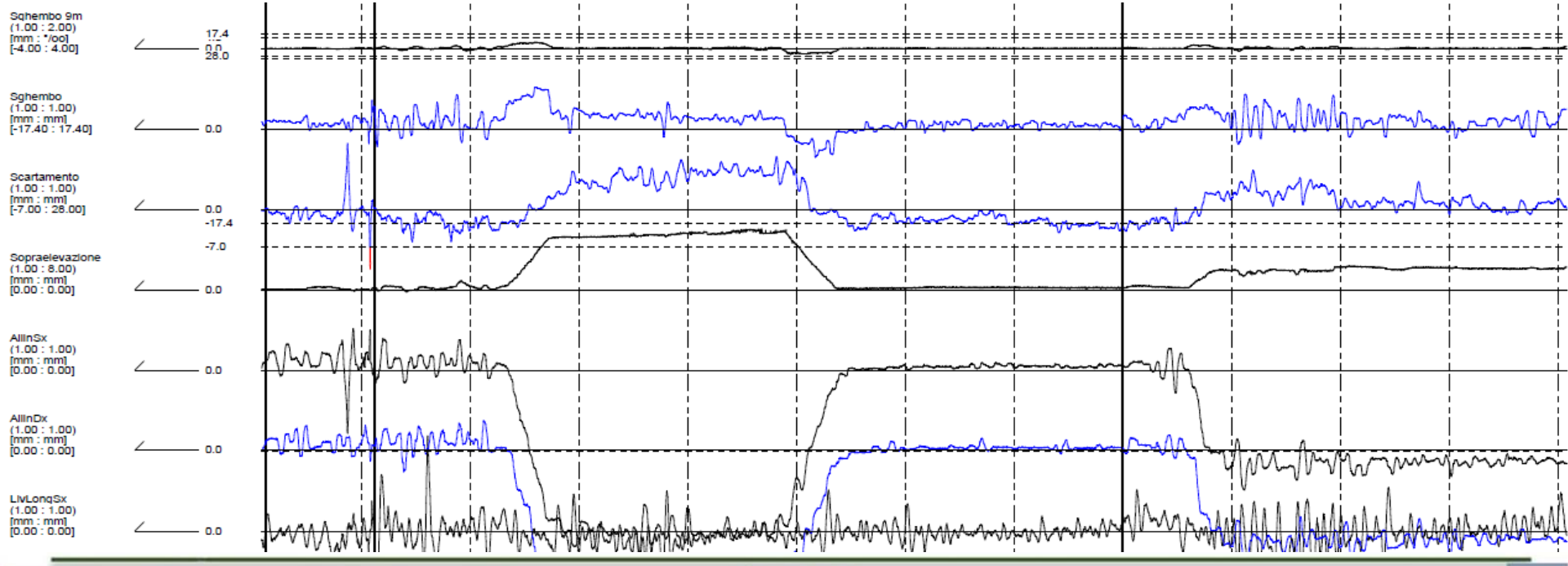
N.B.: Tutti i parametri geometrici che possono essere influenzati dalla deformazione che il binario subisce quando sollecitato devono essere controllati a **binario carico** con idonei rotabili di misura (scartamento, allineamento, livello e sghembo) . Le misure rilevate mediante calibri manuali o carrellini manuali possono essere utilizzate come complementari, tenendo presente che esse sono in generale minori rispetto a quelle eseguite a binario carico. Per questa ragione (e ovviamente anche altre) RFI usa treni diagnostici:





LA GEOMETRIA DEL BINARIO

Parametri fondamentali della geometria del binario: gli strumenti di misura





GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Tipologie di scambi e intersezioni

Gli scambi si classificano sulla base dei movimenti che permettono di eseguire:

- Scambio semplice;
- Scambio doppio;
- Scambio triplo;
- Intersezione;
- Scambio inglese semplice;
- Scambio intersezione doppio (o scambio inglese doppio);
- Comunicazione semplice;
- Comunicazione doppia (o a forbice se simmetrica);
- Cappello di prete.

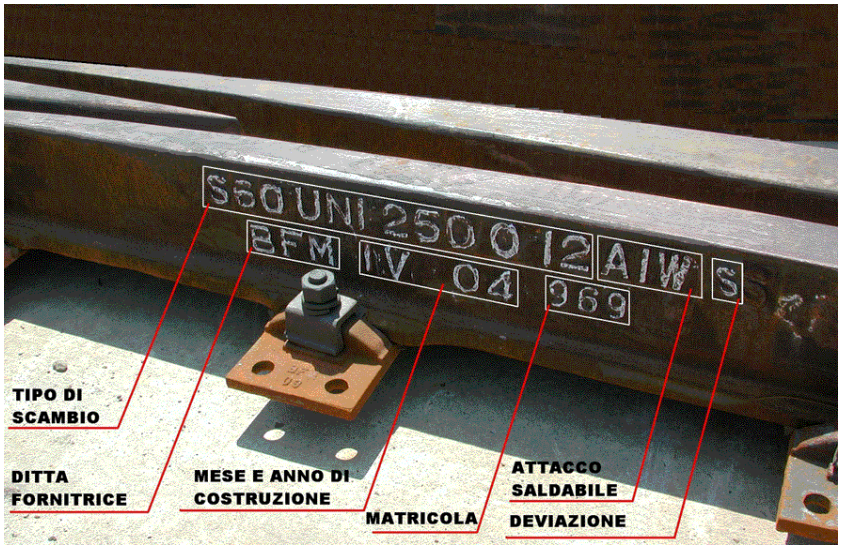


GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Tipologie di scambi e intersezioni: nomenclatura

Il nome di uno scambio si compone delle seguenti parti:

- Il tipo di scambio (ad es. S scambio semplice, SI scambio intersezione, I intersezione);
- Tipo di rotaia (60 UNI/60E1, 50 UNI/50E5);
- Raggio di curvatura della deviata;
- Tangente dello scambio.





GLI APPARECCHI DEL BINARIO

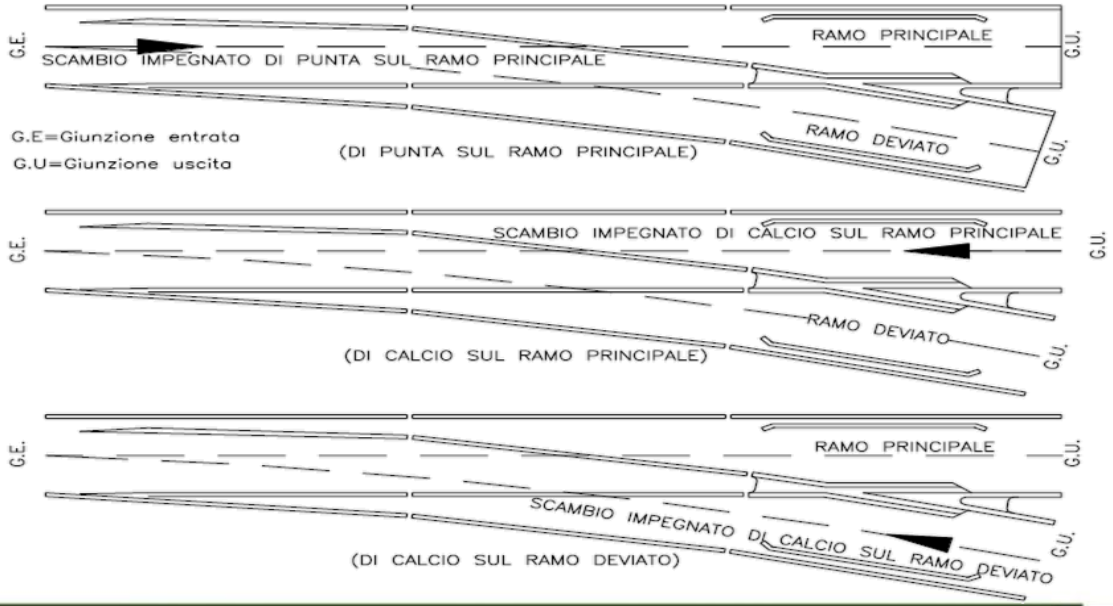
Lo scambio semplice

Telaio degli aghi composto da aghi e contraghi: gli aghi sono la parte mobile, i contraghi la parte fissa. Hai un ago che porta in deviata e uno che porta sul corretto tracciato (lo stesso i C/aghi). Quando l'ago che porta in deviata è accosto vuol dire che lo scambio instrada sulla deviata, quando ad essere accosto è l'altro porta in retta. Nei vecchi scambi gli aghi ruotavano attorno ad una cerniera meccanica, ora si ottiene una cerniera elastica riducendo la rigidezza flessionale dell'ago, nello specifico si dimezza la suola.

Telaio del cuore, composto da cuore e controrotaie. Il cuore è composto da due piegate a gomito e da una punta (che instrada sul corretto tracciato) ed una contropunta (che instrada sulla deviata);

Campata intermedia composta da pezzi di rotaia tra cuore e aghi-C/aghi;

Modi di impegnare uno scambio

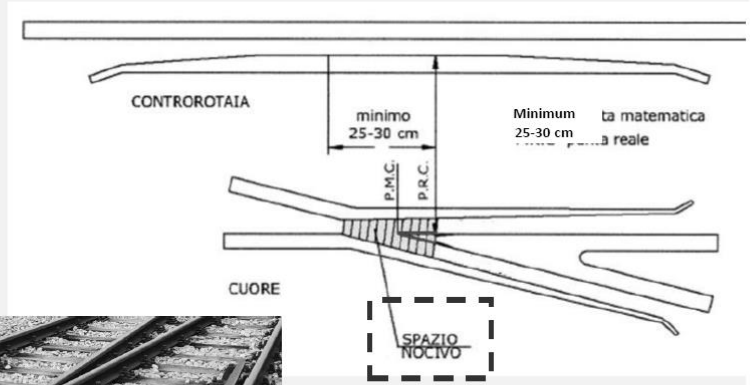




GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Lo scambio semplice

Il cuore può essere **assemblato** di **rotaia con punta monoblocco** o **monoblocco in acciaio fuso al manganese**.





Spazio nocivo

è lo spazio in cui il bordino della ruota non si contrappone al fungo della rotaia non essendoci la continuità della rotaia stessa. La traiettoria della ruota è guidata dalla controrotaia che impedisce gli spostamenti alla ruota contrapposta.

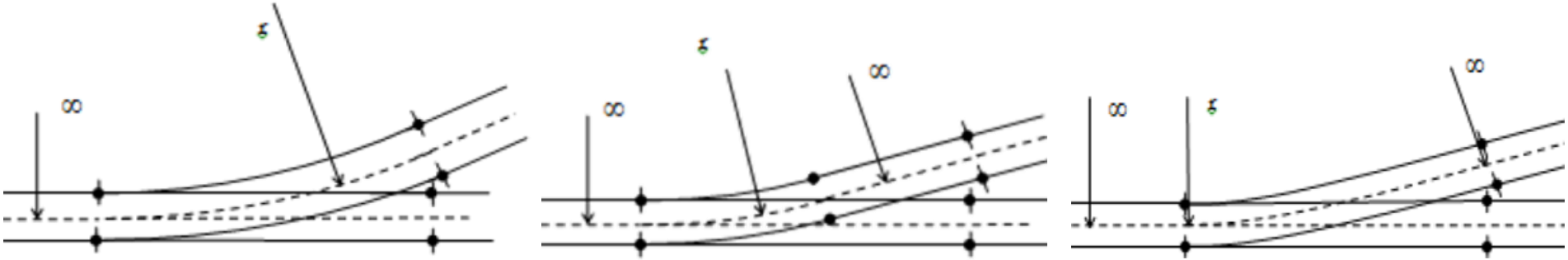


GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Lo scambio semplice

Gli scambi semplici nella configurazione standard si presentano in due possibili configurazioni di tracciato:

- scambi con cuore curvo;
- scambi con cuore retto;
- Negli scambi con velocità di deviata pari a 160 km/h, la curva del ramo secondario ha raggio variabile da un valore discreto all'ingresso del ramo deviato fino a infinito.

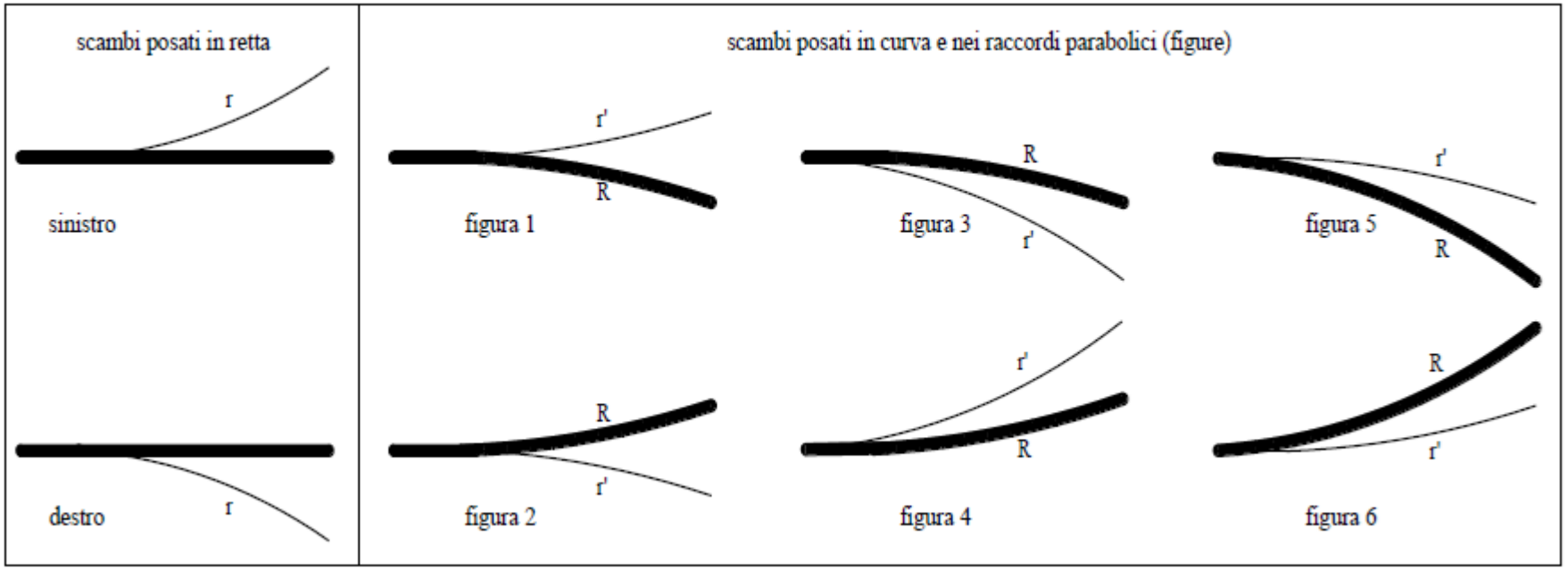




GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Lo scambio semplice

Quando uno scambio è figurato?

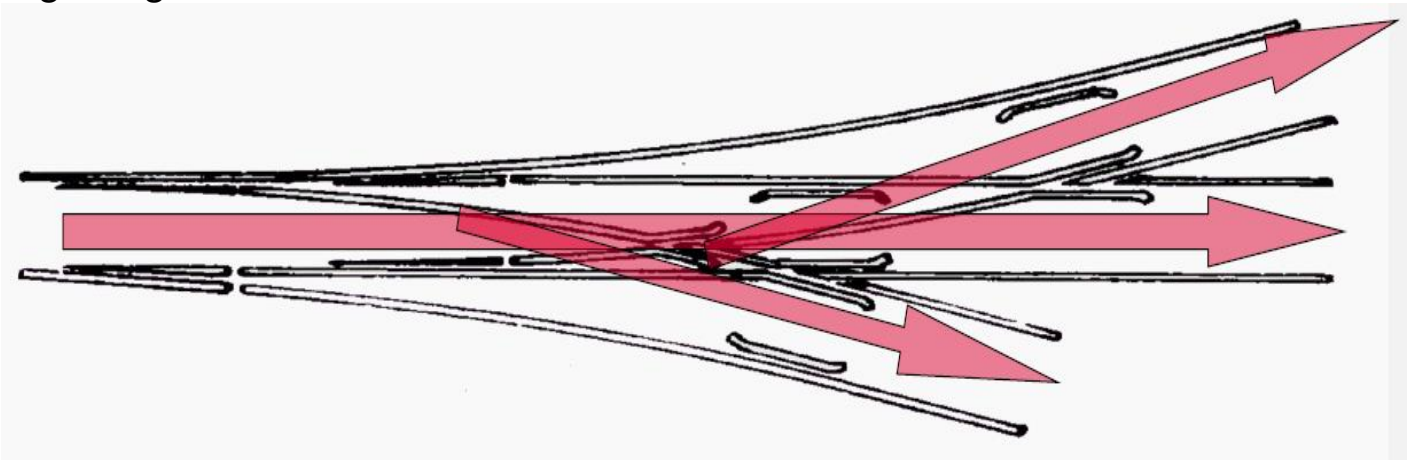




GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Lo scambio doppio

Si compone di due coppie di aghi/C.Aghi e di tre cuori semplici, ad ognuno dei quali corrispondono due controrotaie. La prima coppia di Aghi/C.Aghi è l'unica che può instradare sulla deviata destra (per quello in figura), la seconda instrada o sul corretto tracciato o sulla deviata sinistra. Il primo cuore lo prendi solo se vai in deviata, la sua particolarità è che la sua punta e la sua contropunta sono rispettivamente una delle piegate a gomito del terzo cuore ed una del secondo cuore.



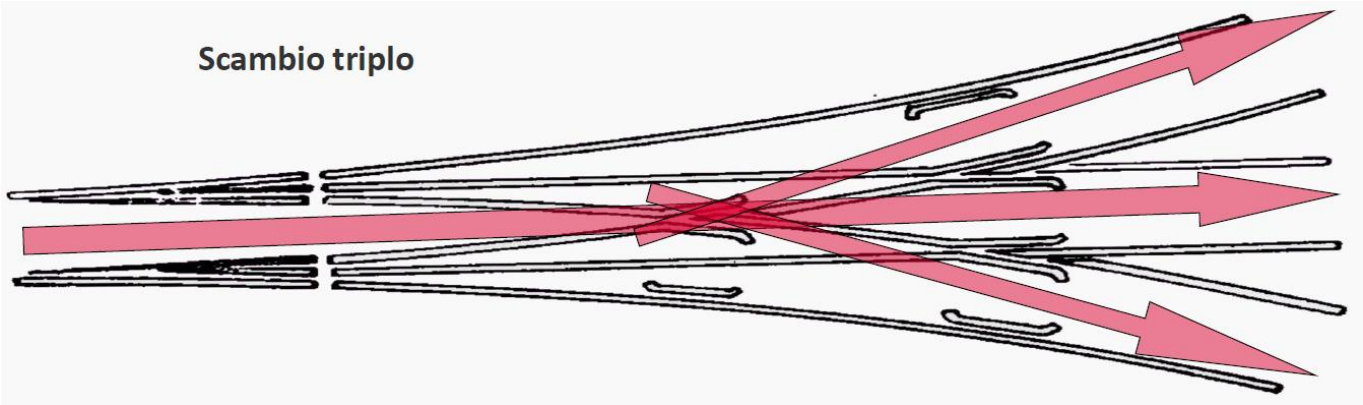




GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Lo scambio triplo

E’ usato dove gli spazi sono molto ristretti. Permette gli stessi movimenti dello scambio doppio ma è costruttivamente diverso dal doppio, soprattutto per la sovrapposizione dei due dispositivi di deviazione





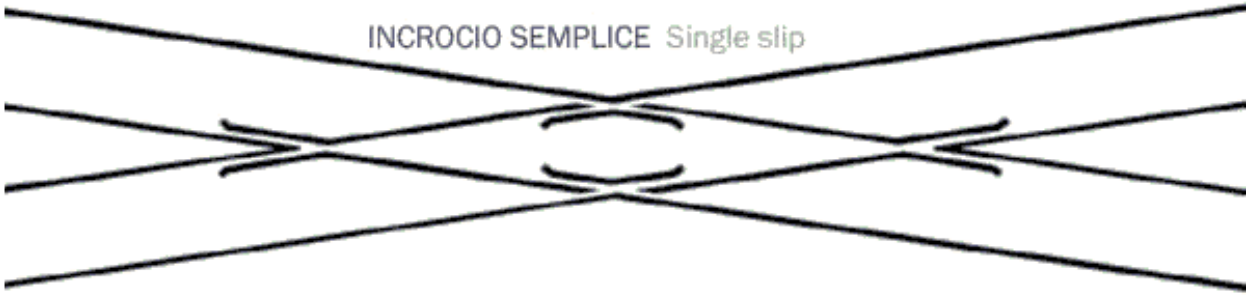


GLI APPARECCHI DEL BINARIO

L'intersezione

Permette unicamente l'attraversamento tra due binari, non li collega. Si compone di:

- Due cuori semplici con annesse contro rotaie;
- Due cuori doppi affacciati. Il cuore doppio si compone di una piegata a gomito, due punte (che sono anche le piegate a gomito degli scambi semplici) ed una controrotaia piegata a gomito.



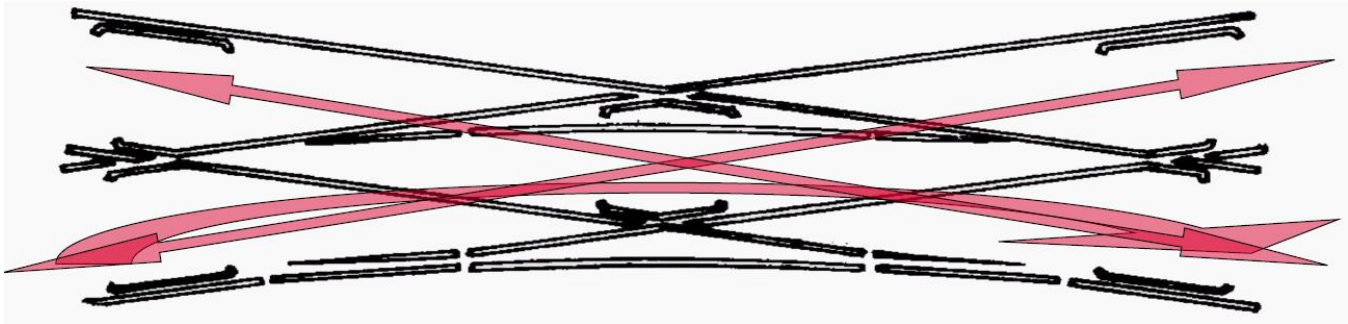


GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Lo scambio inglese semplice

Possiamo vederlo come la somma di un intersezione e uno scambio semplice. Si compone di:

- due cuori semplici con annesse contro rotaie;
- due cuori doppi affacciati. Il cuore doppio si compone di una piegata a gomito, due punte (che sono anche le piegate a gomito degli scambi semplici) ed una controrotaia piegata a gomito.
- Le piegate a gomito di uno dei due cuori doppi vanno poi a costituire uno degli aghi dello scambio, l'altro ago lo si ottiene inserendo un ago curvo nello spazio tra le due controrotaie dei cuori doppi.

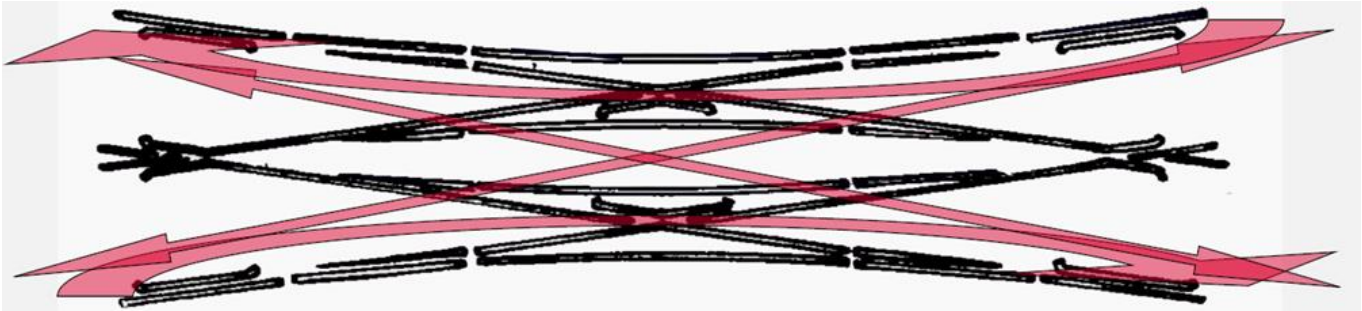




GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Lo scambio inglese doppio

Scambio intersezione che permette di percorrere entrambe le deviate. È come quello semplice ma con gli aghi messi su entrambi i lati (le zampe di lepre di entrambi i cuori si prolungano e diventano aghi ed hai due aghi curvi tra le controrotaie dei cuori doppi). Può essere visto come l'unione di un'intersezione e due scambi semplici



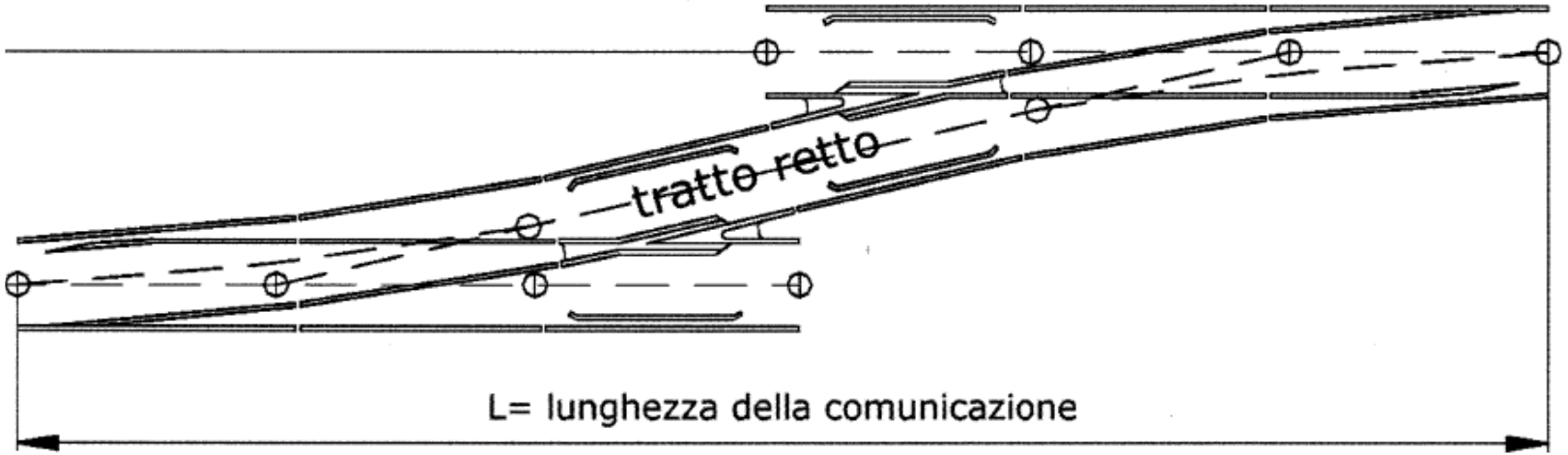




GLI APPARECCHI DEL BINARIO

La comunicazione semplice

Una comunicazione semplice permette il passaggio da un binario all'altro ed è costituita da due scambi semplici che si incontrano sulla deviata (costituita dal prolungamento delle punte dei due cuori semplici).





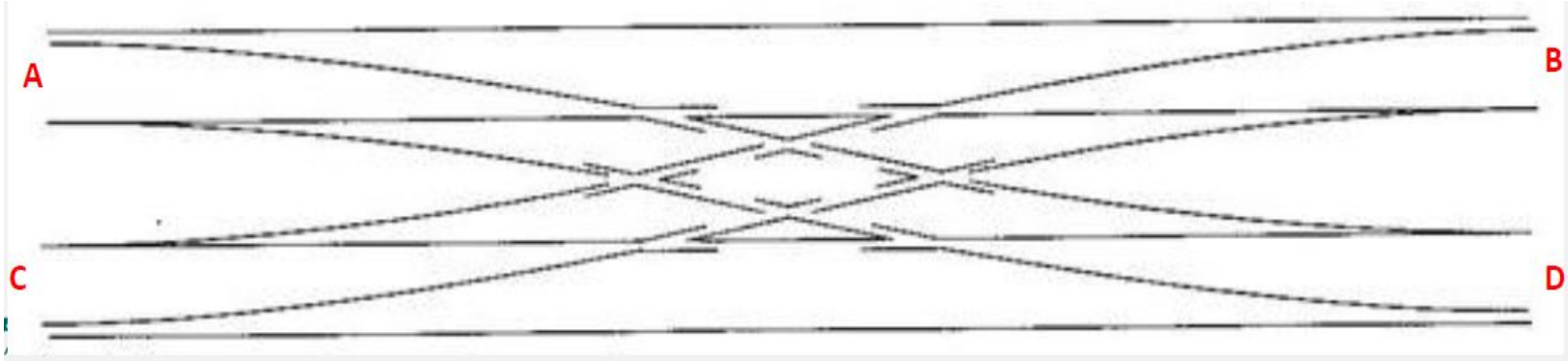
GLI APPARECCHI DEL BINARIO

La comunicazione doppia (o forbice se simmetrica)

I movimenti consentiti su una comunicazione doppia sono i seguenti:

- Contemporanei: A↔B e C↔D
- Non contemporanei A↔D e C↔B

Una comunicazione doppia è costituita da quattro scambi semplici + un'intersezione posizionata sui due rami deviati che si intersecano.

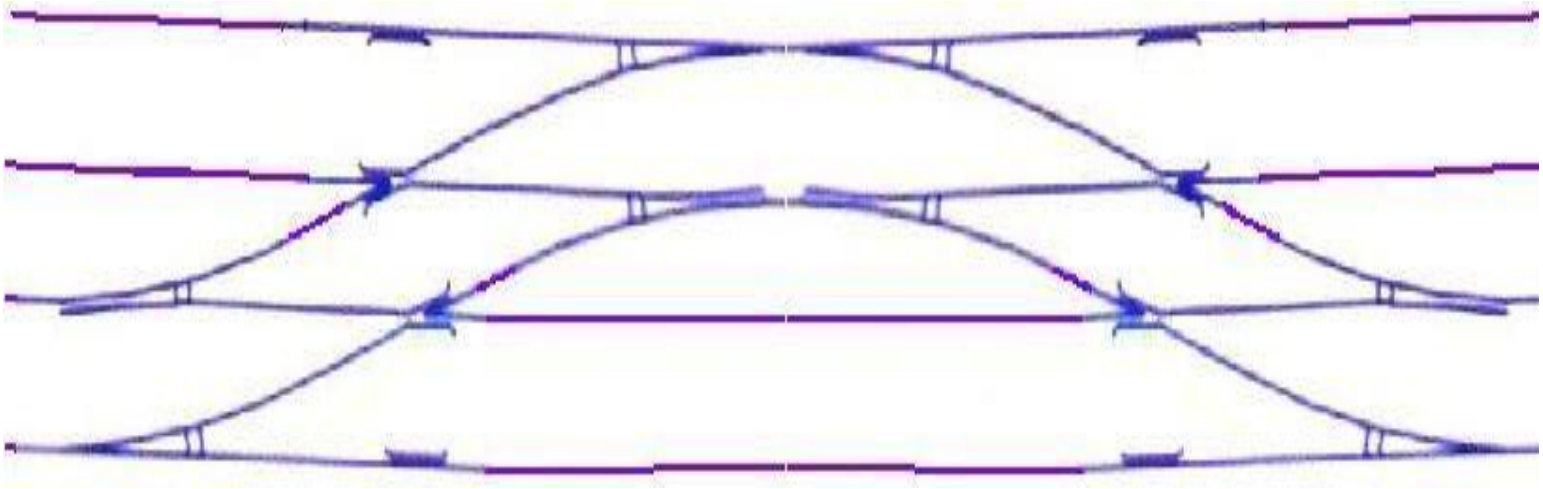




GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Il cappello di prete

Due comunicazioni semplici messe di punta una di fronte all'altra.



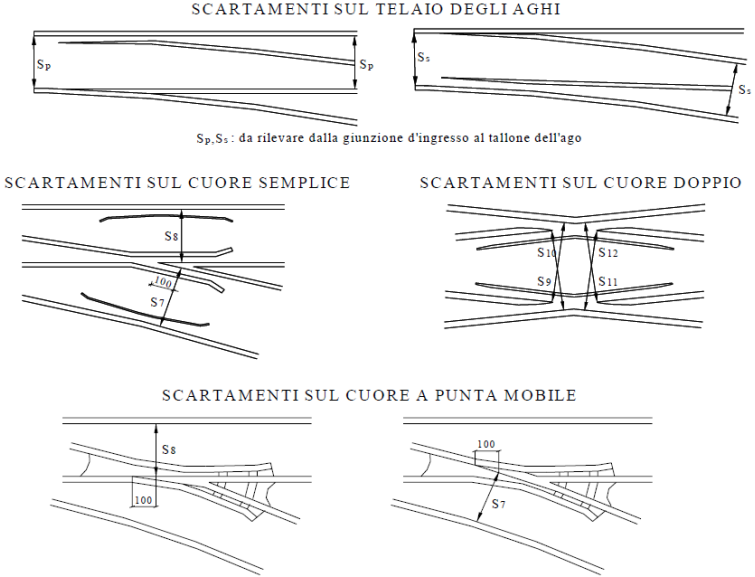


GLI APPARECCHI DEL BINARIO

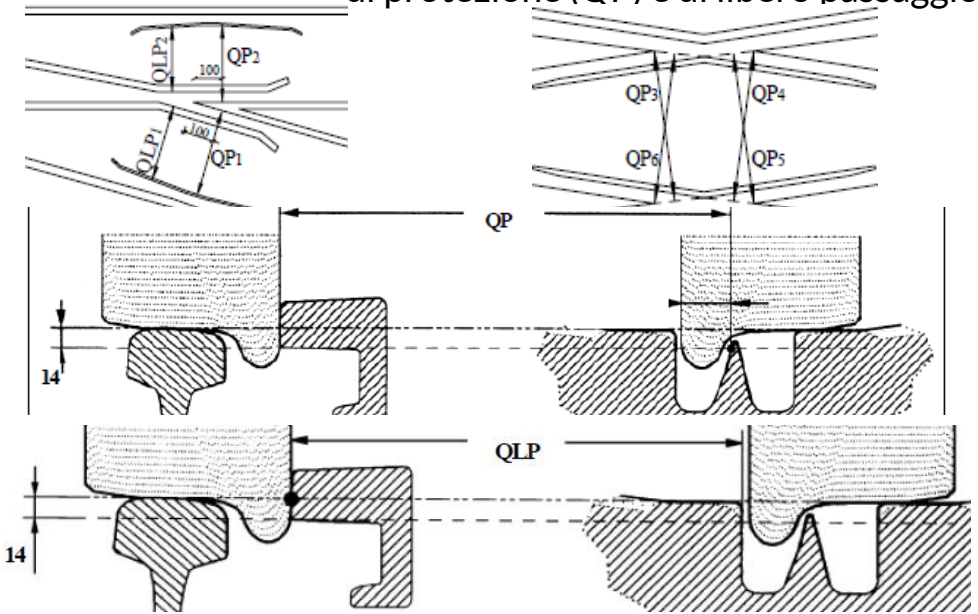
Le verifiche di sicurezza

Al fine di assicurare l'esercizio in sicurezza è necessario effettuare periodicamente i seguenti controlli:

- Verifica di alcune misure di scartamento;



- Verifica delle quote di protezione (QP) e di libero passaggio (QLP)

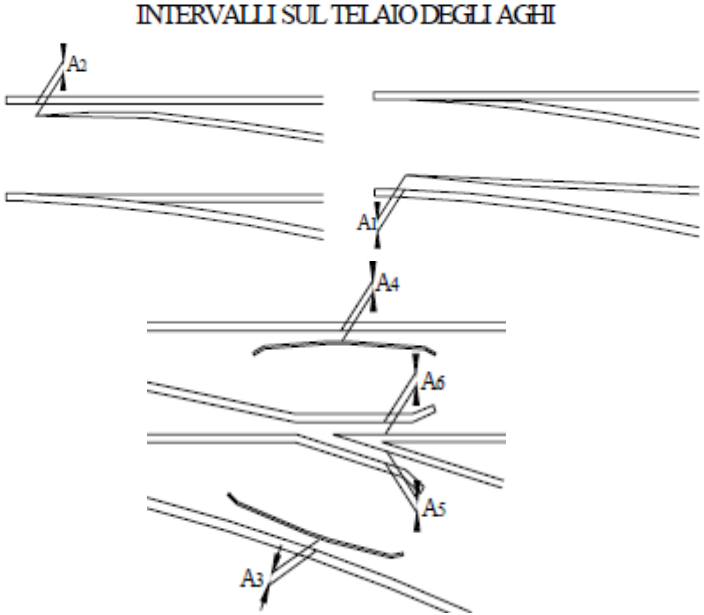




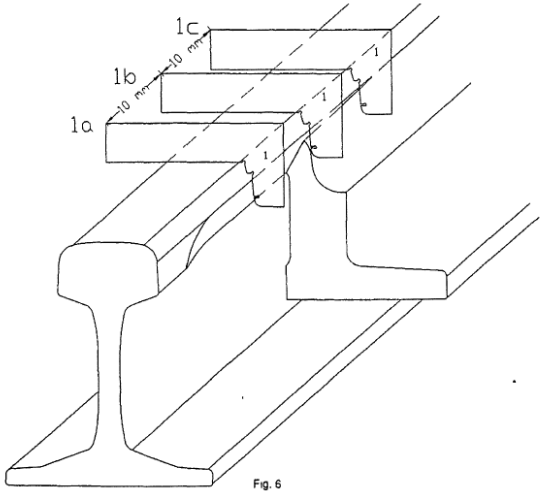
GLI APPARECCHI DEL BINARIO

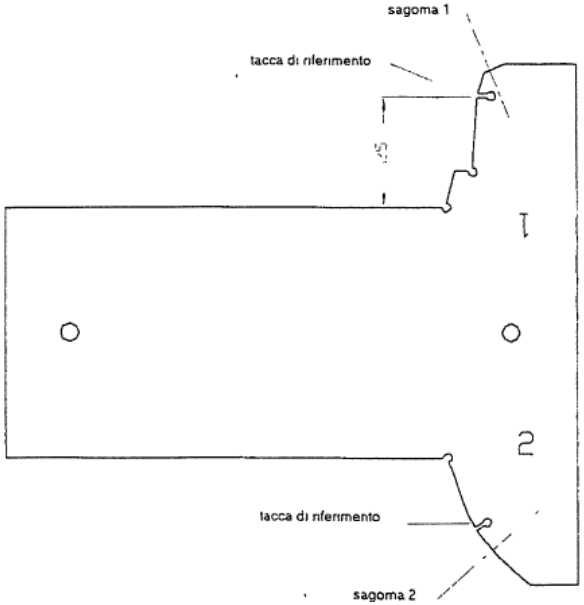
Le verifiche di sicurezza

- Verifica dell'intervallo delle gole;



- Verifica dell'usura del contrago e del corretto accoppiamento con l'ago con calibro FS97;







GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Le verifiche di sicurezza

- Verifica dell'usura del contrago e del corretto accoppiamento con l'ago con calibro FS97 – pos. 1a;

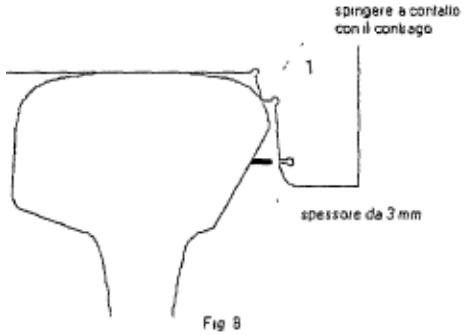


Fig 8

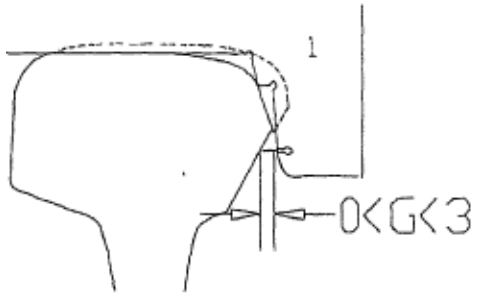
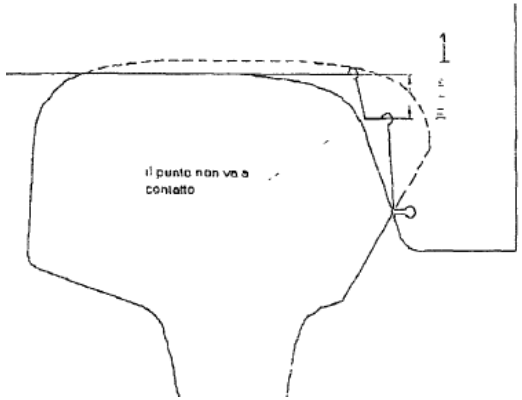


Fig 9 caso di contrago consumato

SE	AZIONE DA INTRAPRENDERE
lo spessore entra all'altezza della tacca di riferimento	controllo superato lo stato della coppia e normale (Fig 8)
lo spessore non entra all'altezza della tacca di riferimento	1) se il gioco G tra il contrago e la sagoma 1, all'altezza della tacca di riferimento, e 0<G≤3 mm occorre prevedere la sostituzione della coppia ago-contrago in tempo utile (Fig 9) 2) se il gioco G tra il contrago ed il calibro 1 all'altezza della tacca di riferimento e G=0 occorre effettuare la sostituzione urgente della coppia ago - contrago ed eventualmente, nei casi più gravi (G<0), interdire l'itinerario che si ottiene accostando l'ago al contrago usurato in esame (Fig 10)





GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Le verifiche di sicurezza

- Verifica dell'usura del contrago e del corretto accoppiamento con l'ago con calibro FS97 – pos. 1b;

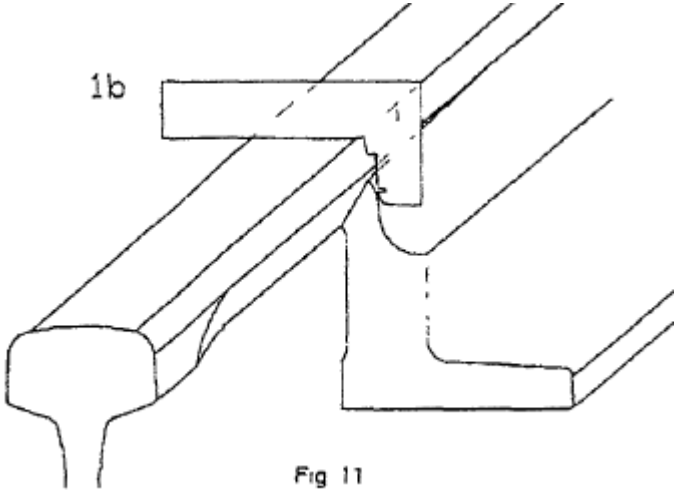


Fig 11

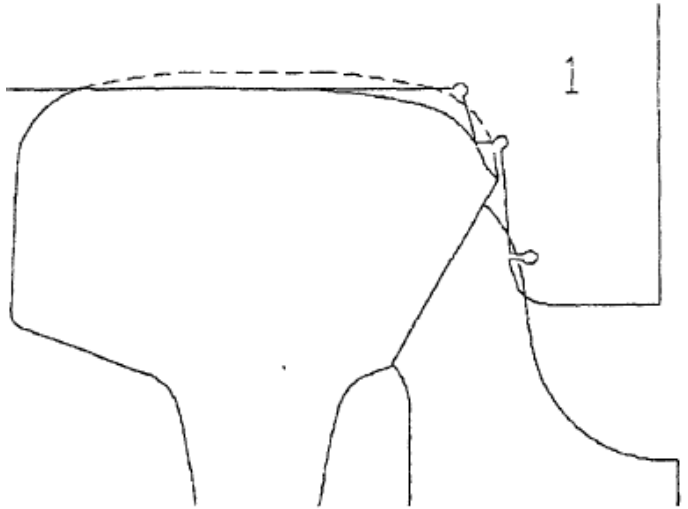


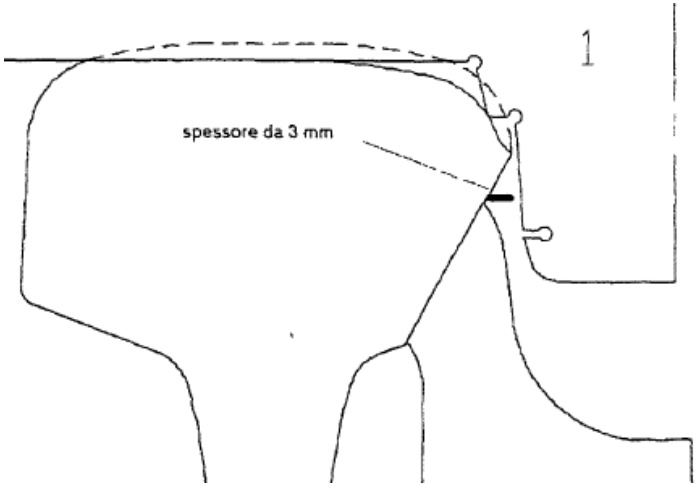
Fig 12



GLI APPARECCHI DEL BINARIO

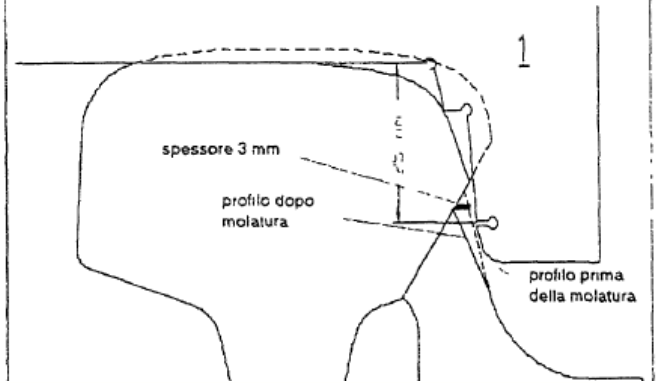
Le verifiche di sicurezza

- Verifica dell'usura del contrago e del corretto accoppiamento con l'ago con calibro FS97 – pos. 1c;



SE	AZIONE DA INTRAPRENDERE
lo spessore entra all'altezza della sommità dell'ago	controllo superato lo stato della coppia è normale

lo spessore non entra all'altezza della sommità dell'ago	occorre molare il fianco attivo dell'ago per una lunghezza di almeno 50 mm per 1) ristabilire l'abbassamento relativo dell'ago, pero mai scendendo più di 25 mm sotto il piano di rotolamento, quota individuata dalla tacca di riferimento 2) ristabilire un gioco di 3 mm tra l'ago e il profilo del calibro all'altezza della tacca di riferimento

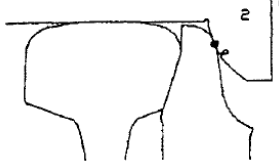
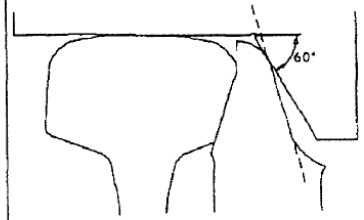
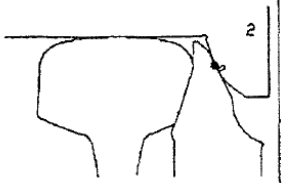
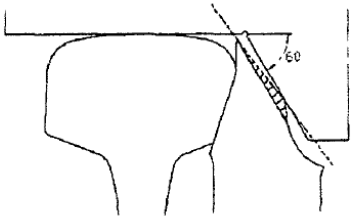
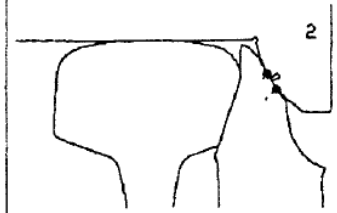
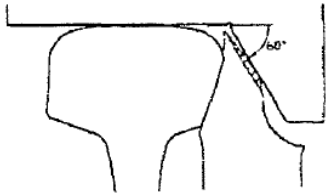




GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Le verifiche di sicurezza

- Verifica dello stato di usura dell'ago con FS97;

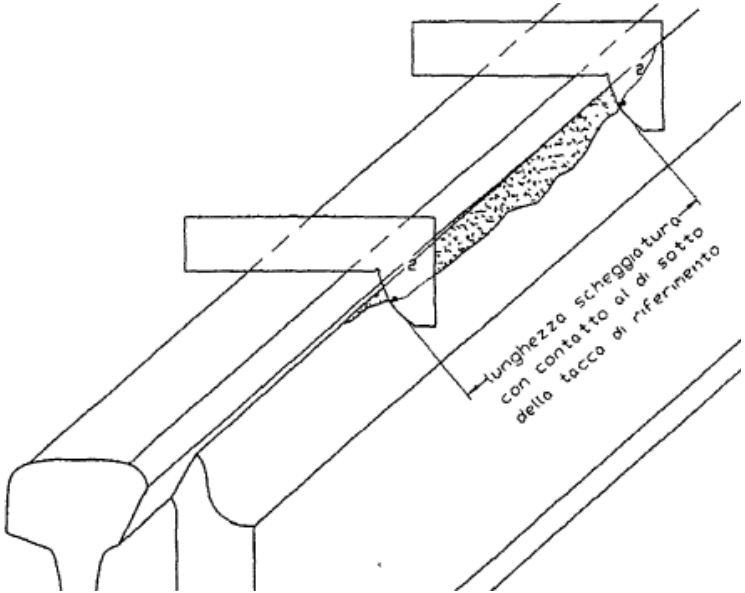
SE		AZIONE DA INTRAPRENDERE
il punto di contatto del calibro 2 con l'ago è al di sopra della tacca di riferimento 	e la pendenza di usura del fianco attivo dell'ago è superiore o uguale a 60° 	controllo superato lo stato della coppia è normale
il punto di contatto del calibro 2 con l'ago è al di sopra della tacca di riferimento 	e la pendenza di usura del fianco attivo dell'ago è inferiore a 60° 	molare il fianco dell'ago per ristabilire, su un'altezza di 40 mm, una pendenza di almeno 60°
i punti di contatto tra il calibro 2 e l'ago sono contemporaneamente al di sopra e al di sotto della tacca di riferimento  		sostituire la coppia ago contrago, in attesa della sostituzione molare il fianco attivo dell'ago per ristabilire, su un'altezza di 40 mm, una pendenza di almeno 60°
il punto di contatto del calibro 2 con l'ago è al di sotto della tacca di riferimento 		provvedere alla sostituzione urgente della coppia ago contrago usurata, mantenendo il fianco attivo dell'ago ben lubrificato e prevedendo, se necessario, le cautele del caso

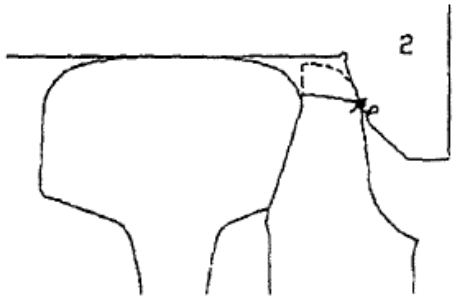
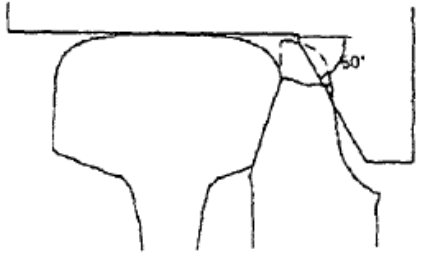


GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Le verifiche di sicurezza

- Verifica delle scheggiature dell'ago con FS97;



SE	AZIONE DA INTRAPRENDERE
la cresta della scheggiatura tocca la sagoma 2 sempre al di sopra della tacca di riferimento (qualsiasi sia la lunghezza della scheggiatura) 	molare il fianco attivo dell'ago a 60° o più, per eliminare gli spigoli vivi della scheggiatura 

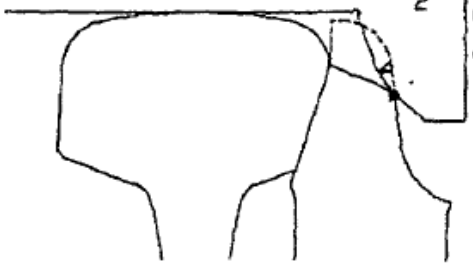


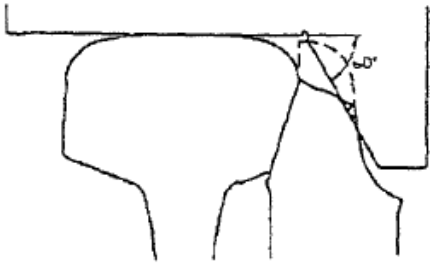
GLI APPARECCHI DEL BINARIO

Le verifiche di sicurezza

- Verifica delle scheggiature dell'ago con FS97;

la cresta della scheggiatura tocca la sagoma 2 al di sotto della tacca di riferimento	e la lunghezza della zona di scheggiatura, al di sotto della tacca di riferimento, è minore di 200 mm	molare il fianco attivo dell'ago a 60° o più, per eliminare gli spigoli vivi della scheggiatura	e la lunghezza della zona di scheggiatura al di sotto della tacca di riferimento è maggiore di 200 mm	occorre interdire l'itinerario che si ottiene accostando l'ago scheggiato in esame al contrago In attesa della sostituzione della coppia ago-contrago, da effettuare con urgenza, la circolazione dei treni sull'itinerario interdetto può essere ristabilita previa molature del fianco attivo dell'ago a 60° o più, per eliminare gli spigoli vivi della scheggiatura







GLI APPARECCHI DEL BINARIO

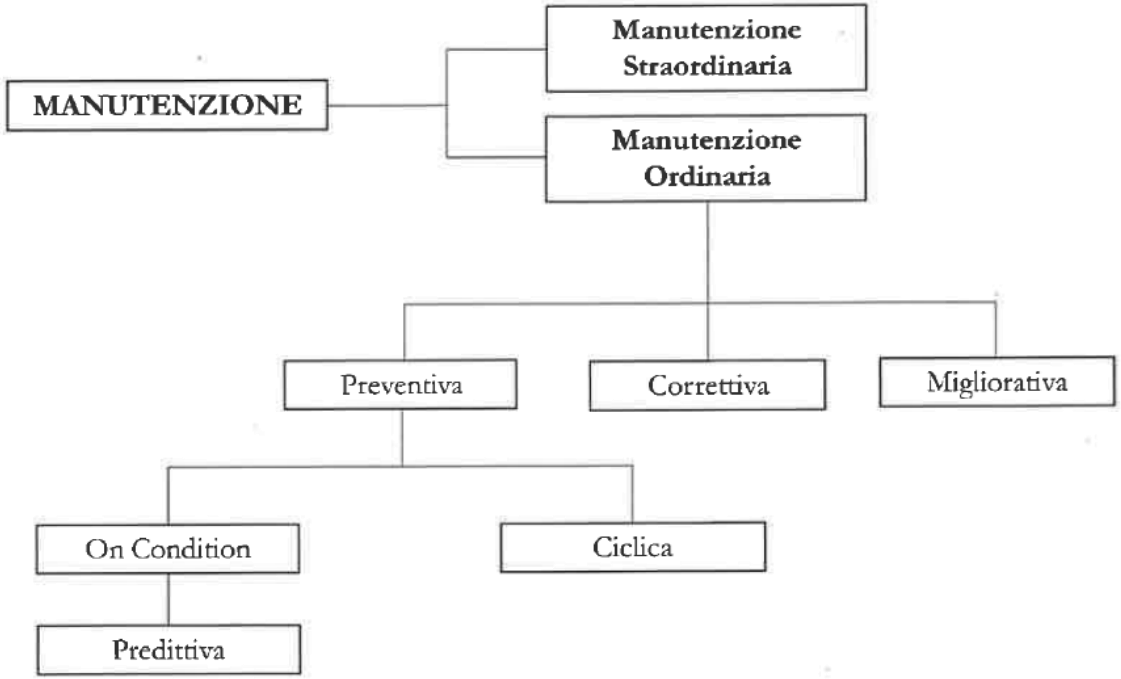
Le verifiche di sicurezza

- Verifica dello stato di usura di ago e C/ago con FS97;

DATA	COPPIA SINISTRA in opera dal														COPPIA DESTRA in opera dal														
	CONTRAGO (punto II 1)			AGO (punto II 2)				AGO (punto II 3)							CONTRAGO (punto II 1)			AGO (punto II 2)				AGO (punto II 3)						
	controllo 1A			cont 1B		cont 1C		livello usura				scheggiature			controllo 1A			cont 1B		cont 1C		livello usura				scheggiature			
	Superato	Caso 1	Caso 2	Superato	Molare	Superato	Molare	Superato	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Superato	Caso 1	Caso 2	Superato	Molare	Superato	Molare	Superato	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Firma e Note



GLI INTERVENTI MANUTENTIVI





GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Il rilievo della geometria e dello stato del binario e la manutenzione

- Documentazione tecnica di riferimento: *DPR P SE 50 1 1 Rilievi della geometrica del binario e relative disposizioni manutentive*;
- Due tipologie di rilievo e verifiche: *ordinarie o straordinarie*
  - Verifiche ordinarie: funzione del volume di traffico e della velocità, definite nel piano manutentivo approvato da ANSFISA. Esempio:
    - Controlli mensili: verifica visiva dello stato binario (visita linea);
    - Controlli trimestrali: Verifiche geometriche degli apparecchi del binario, verifica della progressione dell'usura delle rotaie;
    - Verifiche semestrali: Verifiche dei parametri geometrici del binario (allineamento, livellamento, livello trasversale, sghembo ecc…), definizione dell'indice di rincalzatura e del livello di qualità del binario riguardo ai vari difetti, verifica della progressione dell'usura ondulatoria.
    - Verifiche annuali: controlli ad ultrasuoni delle saldature, controlli
  - Verifiche Straordinarie: in seguito ad eventi particolari (rinnovo, rincalzatura o livellamento, disturbi alla marcia del treno)



GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Il rilievo della geometria e dello stato del binario e la manutenzione

- Elementi da valutare in seguito ad un rilievo della geometria del binario:
  - Entità del difetto (livello di qualità e individuazione dei difetti rilevanti);
  - Distanza minima tra i difetti e estesa degli stessi necessari a definire l'area di intervento.

L'individuazione di difetti rilevanti porta alla cosiddetta «Manutenzione correttiva» e a restrizioni alla circolazione, da forti limitazioni di velocità fino alla sospensione della circolazione. Tendenzialmente invece la manutenzione ordinaria on condition avviene in seguito all'individuazione di un difetto che rientra nel terzo livello di qualità.

Descrizione	Livello Qualità	Scadenza intervento (mesi)
Allineamento	3°	1
Sghembo su base 3 m	2°	1
Usura rotaia a 45°	3°	3
Sghembo su base 9 m	2°	3
Scartamento puntuale	3°	6
Scartamento in media mobile su 100 m	3°	6
Scartamento in media mobile su 100 m depurato dall'usura	3°	6
Difetto di sopraelevazione	3°	3
Livello longitudinale	3°	9
Scarto di livello trasversale		

Tipo Difetto	*Distanza minima tra i difetti [m]*
Scarto di livello trasversale base 10 *m*	20
Sghembo	20
Scartamento puntuale	20
Scartamento in media mobile	20
Livello longitudinale (D1)	20
Allineamento (D1)	20

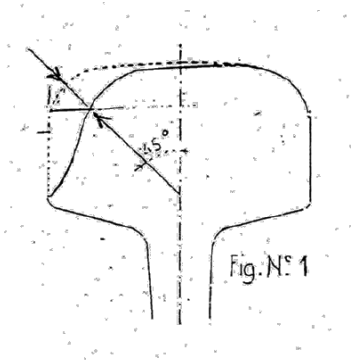
Tipo Difetto	*Distanza minima tra i difetti [m]*
Livello longitudinale onda lunga (D2)	60
Allineamento onda lunga (D2)	60
Livello longitudinale onda lunga (D3)	120
Allineamento onda lunga (D3)	120
Usura rotaia a 45°	50
Sopraelevazione	50



GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Il rilievo della geometria e le prescrizioni manutentive

- ***L'usura a 45°***



1° livello di qualità	U45° < 8	seguire l'evoluzione dell'usura nel tempo
2° livello di qualità	8 ≤ U45° < 14	eseguire il controllo del contatto tra la rotaia e la sagoma 2 del calibro FS97 disegno 9678: se il contatto è al disotto della fenditura della sagoma 2 sostituire la rotaia entro 3 giorni e assicurare, fino alla sostituzione, la lubrificazione del fianco usurato della rotaia
3° livello di qualità	14 ≤ U45° < 15	continuare le misure sistematiche dell'usura ed il controllo con la sagoma 2 del calibro FS97 disegno 9678: se il contatto è al disotto della fenditura della sagoma 2 sostituire la rotaia entro 3 giorni e assicurare, fino alla sostituzione, la lubrificazione del fianco usurato della rotaia

Se U45° ≥ 15 ed il contatto tra la rotaia e la sagoma 2 del calibro FS97 disegno 9678 è al disopra della fenditura	Velocità di rallentamento V_{ral} ≤ 40 km/h e assicurare, fino alla sostituzione della rotaia, la lubrificazione del fianco usurato della rotaia
Se U45° ≥ 15 e esame sfavorevole (contatto sotto la fenditura) con la sagoma 2 del calibro FS 97-dis. FS 9678	Interruzione della circolazione



GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Il rilievo della geometria e le prescrizioni manutentive

- ***Lo scartamento***

Curve Raggio ≥ 275 m e V ≤ 200 km/h		
	Scartamento	**Scartamento in media mobile**
1° livello di qualità	$1432 < S < 1445$	$1432 < S_{100} < 1442$ (1)
2° livello di qualità	$1445 \leq S_{max} < 1455$ $1430 < S_{min} \leq 1432$	$1442 \leq S_{100max} < 1447$ (1) $1431 < S_{100min} \leq 1432$
3° livello di qualità intervento entro 6 mesi	$1455 \leq S_{max} < 1463$ $1428 < S_{min} \leq 1430$	$1447 \leq S_{100max} < 1450$ (1) $1430 < S_{100min} \leq 1431$
(1) al netto dell'usura laterale delle rotaie		



GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Il rilievo della geometria e le prescrizioni manutentive

- ***Lo scartamento***

Curve Raggio < 275 m					
Scartamento					
	275 > R ≥ 250	250 > R ≥ 225	225 > R ≥ 200	200 > R ≥ 175	175 > R ≥ 150
Valore nominale	1440	1445	1450	1455	1460
2° livello di qualità	1452 ≤ S < 1465	1457 ≤ S < 1465	1462 ≤ S < 1465	1465 ≤ S < 1469	1465 ≤ S < 1469
3° livello di qualità	1465 ≤ S < 1470			1469 ≤ S < 1470	
Interruzione della circolazione	$S_{max} \geq 1470$				



GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Il rilievo della geometria e le prescrizioni manutentive

- ***Lo scartamento***

	Curve Raggio ≥ 275 m e V ≤ 200 km/h	
	Scartamento	**Scartamento in media mobile**
Valori ai quali deve essere istituito un rallentamento	Se $S_{max} \geq 1463$: $V_{ral} \leq 160$ km/h Se $S_{max} \geq 1465$: $V_{ral} \leq 120$ km/h	Se $S_{100max} \geq 1462$: $V_{ral} \leq 120$ km/h Se $S_{100max} \geq 1450$ (1): $V_{ral} \leq 120$ km/h
	Se $S_{min} \leq 1428$: $V_{ral} \leq 160$ km/h Se $S_{min} \leq 1427$: $V_{ral} \leq 120$ km/h Se $S_{min} \leq 1426$: $V_{ral} \leq 80$ km/h	Se $S_{100min} \leq 1430$ (2): $V_{ral} \leq 120$ km/h
Interruzione della circolazione	**Scartamento**	
	Se $S_{max} \geq 1470$ Se $S_{min} < 1424$	



GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Il rilievo della geometria e le prescrizioni manutentive

- ***L'allineamento***

	V ≤ 80 km/h	**80 <V≤ 120 km/h**
1° livello di qualità	A ≤ 12	A ≤ 8
2° livello di qualità	12 < A ≤ 14	8 < A ≤ 10
3° livello di qualità	14 < A ≤ 18	10 < A ≤ 13

Se A > 23	Se A > 18	Se A > 13
$V_{ral} \leq 40$ km/h	$Vr_{al} \leq 60$ km/h	$V_{ral} \leq 80$ km/h

N.B: se il binario è in lunga rotaia saldata vanno valutati i difetti di allineamento anche in relazioni ai limiti determinati dalla stabilità del binario nei confronti della termica

Raggio [m]	150 ≤ R < 450	450 ≤ R < 600	R ≥ 600
Δf (mm)	15	25	30

Infatti se il diagramma delle frecce registrate per corde di 10 m, presenti escursioni f, fra picco inferiore minimo e picco superiore massimo fra loro contigui, superiori ai valori in tabella il binario potrebbe trovarsi in assetto precario ai fini della stabilità allo slineamento quando le rotaie saranno soggette al massimo stato tensionale di compressione nel periodo dei forti calori.



GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Il rilievo della geometria e le prescrizioni manutentive

- ***Lo Sghembo***

	V ≤ 200 km/h	
	γ base 3 m	**γ base 9 m**
1° livello di qualità	$\gamma_{3m} < 4,5$	$\gamma_{9m} < 3,5$
2° livello di qualità	$4,5 \leq \gamma_{3m} < 5,8$	$3,5 \leq \gamma_{9m} < 4,0$
Intervento nei tempi descritti nella Procedura Operativa Subdirezionale della Direzione Produzione: "Rilievi della geometria del binario e relative disposizioni manutentive"	$5,8 \leq \gamma_{3m} < 6,5$	$4,0 \leq \gamma_{9m} < 4,5$
Interruzione della circolazione e ripristino solo dopo correzione	$\gamma_{3m} \geq 6,5$	$\gamma_{9m} \geq 4,5$

Intervento entro 48 ore



GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

I principali interventi manutentivi

- Sostituzione rotaie;
- Sostituzione delle traverse;
- Rinnovamento;
- Rincalzatura e riprofilatura (livellamento);
- Risanamento della massicciata (o sfangamento);
- Molatura delle rotaie;
- Apporti di metallo;
- Stringimento/sostituzione attacchi;
- Regolazione delle tensioni interne delle rotaie;
- Trattamento termico riflettente della rotaia con vernice bianca.



GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

La sostituzione delle rotaie

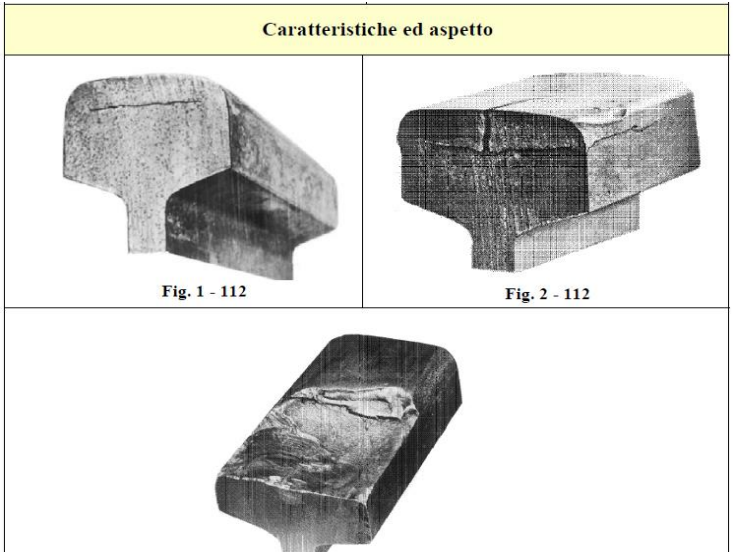
Eccessiva usura a 45°, eccessiva usura ondulatoria e eccessiva riduzione del profilo della rotaia in seguito a molatura, presenza di difetti localizzati in saldature o nel binario corrente.

Lunghezza minima dello spezzo di rotaia: 6 m

Operazioni minime:

- Slaccio degli attacchi;
- Taglio a sega delle rotaie in opera, sollevamento e spostamento della stessa tramite caricatore strada/rotaia;
- Posizionamento della nuova rotaia;
- Messa in tiro della rotaia con morsetto tendirotaie (eventuale nel caso di binario in lrs)
- Esecuzione delle saldature alluminotermiche;

Es. di difetto: fenditura orizzontale





GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Sostituzione delle traverse

Può capitare di frequente che la spinta del treno in curva danneggi gli attacchi sulla traversa, le traverse in cap possono spaccarsi in seguito a corrosione o per condizioni non favorevoli del pietrisco sotto traversa, ci può essere degrado delle traverse in legno o semplicemente un upgrade tecnologico per maggiore stabilità del binario.
L'attività può avvenire in continuo con un treno rinnovatore o in maniera discreta con dei caricatori strada rotaia.

Operazioni minime:

- Slaccio degli attacchi;
- Scassettamento e rimozione dell'unghiatura;
- Si afferra la traversa con il caricatore e la si estrae da sotto il binario;
- Regolarizzazione del piano di posa e posizionamento della nuova traversa;
- Stringimento degli attacchi;
- Ricarica pietrisco, rincalzatura, livellamento e profilatura.



GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Rinnovamento

L'attività di rinnovo del binario comprende la demolizione del vecchio binario, il suo allontanamento, la sostituzione delle traverse e il montaggio delle nuove rotaie. Tale attività è affidata generalmente al treno rinnovatore, un convoglio capace di rimuovere il vecchio binario (traverse e organi di attacco) e posare il nuovo materiale, ma può essere realizzata su cantieri di più piccola dimensione anche con mezzi meno evoluti.

Operazioni minime:

- Slaccio degli attacchi;
- Taglio a sega delle rotaie in opera;
- Il treno afferra con delle pinze idrauliche le rotaie vecchie e avanzando le sposta verso l'esterno del binario e contemporaneamente (più indietro) posiziona sulle traverse nuove le rotaie nuove;
- In contemporanea solleva le traverse vecchie e con dei cingoli trasportatori trasporta le traverse nuove;
- Tra il punto in cui vengono rimosse le traverse vecchie e quello in cui si scaricano le traverse nuove è presente un vomero che spostando il pietrisco regolarizza il piano di posa e permette di sollevare meno il binario.
- Il binario nuovo va poi saldato con il vecchio, vanno serrati gli attacchi, ed è necessaria un'operazione di ricarica pietrisco, rincalzatura e livellamento.



GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Rincalzatura e livellamento

Che cos'è la rincalzatura?

- È la vibrocompattazione del binario sotto traversa attraverso dei martelli vibranti che spingono il pietrisco sottotraversa.

Perché il binario va rincalzato?

- Eliminazione di difetti del binario, miglioramento della qualità del binario, elevata qualità iniziale per un binario durevole;
- Eliminazione dei vuoti sotto le traverse;
- Appoggio traverse stabile (supporto su 2 appoggi);







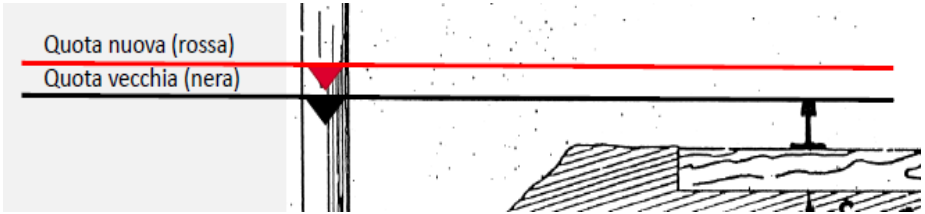


GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Rincalzatura e livellamento

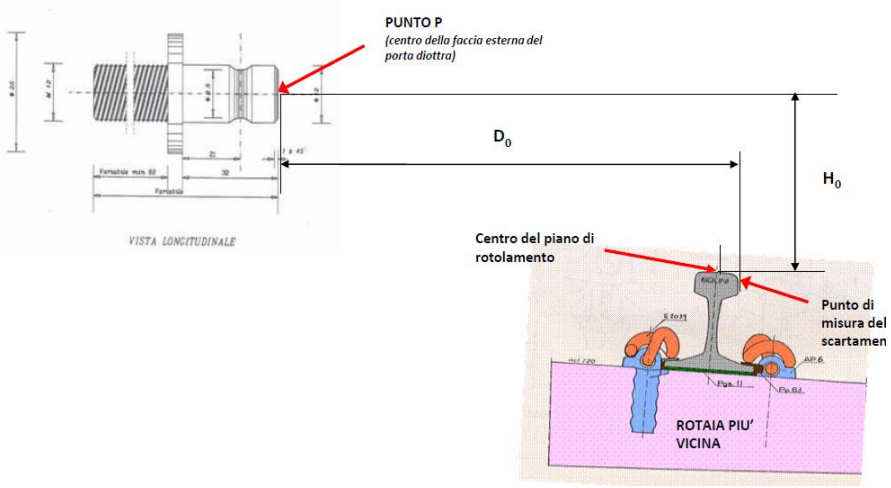
Come possiamo controllare il corretto livellamento del binario?

Binario in base relativa



Binario in base assoluta





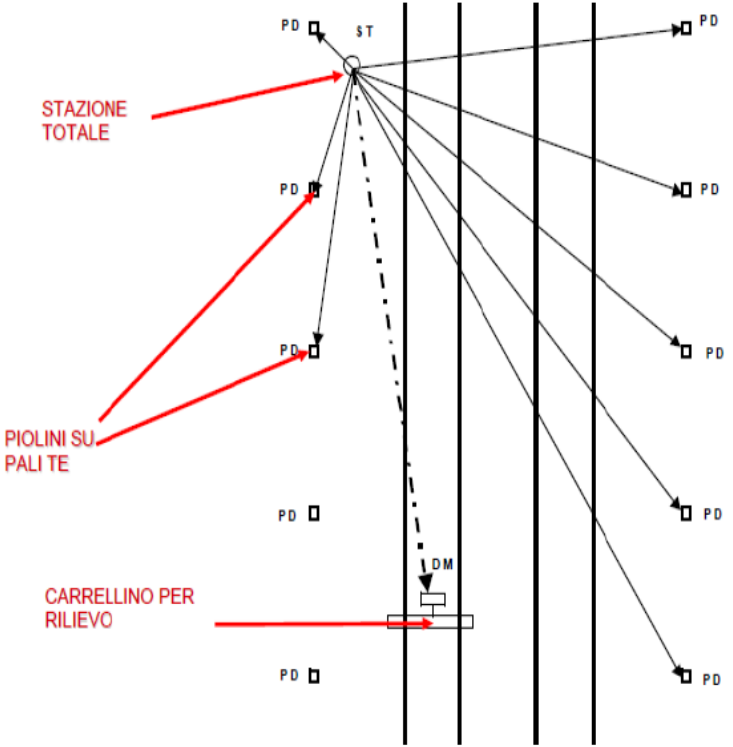


GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Rincalzatura e livellamento

Come rilevare il binario in base assoluta







GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

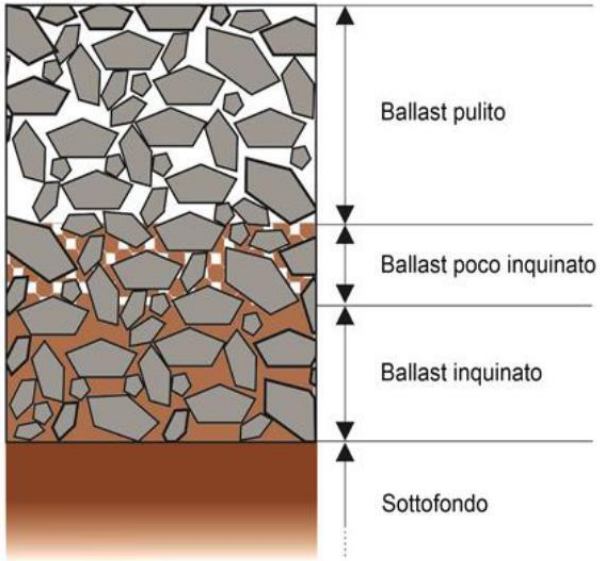
Risanamento

Il risanamento della massicciata provvede, oltre alla correzione di tutte le caratteristiche geometriche del binario, alla ricostituzione della massicciata attraverso operazioni atte a garantire l'integrità e l'efficienza della stessa, degradata per inquinamenti.

Il risanamento della massicciata è un'operazione molto onerosa sia dal punto di vista economico, sia per gli aspetti legati all'esercizio (rallentamenti, interruzioni, ecc.). L'inquinamento della massicciata è la causa principale del suo degrado. Può essere provocato :

- Ristagno nella piattaforma delle acque piovane che non defluiscono nelle cunette;
- Instabilità del piano di piattaforma;
- Abrasione e frantumazione provocate dal transito dei rotabili e dalle operazioni di livellamento;
- Eventi esterni (frane, alluvioni, ecc)

Le operazioni di risanamento consistono nella vagliatura del pietrisco esistente con il ricarico di quello nuovo o la sua completa asportazione con sostituzione di pietrisco nuovo.





GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

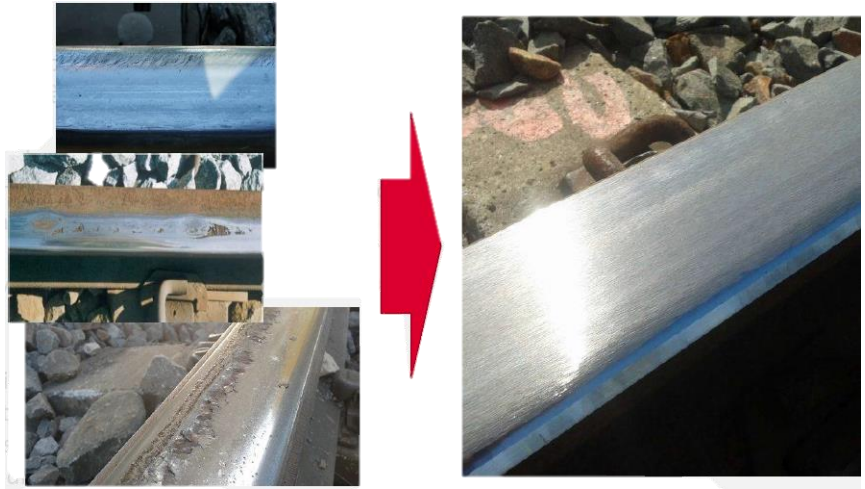
IL CANTIERE DI RINNOVO E RISANO



GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Molatura

La molatura consiste nell'abrasione della parte superficiale del fungo della rotaia al fine di eliminare eventuali difetti e riprofilare la rotaia così da assicurare il miglior contatto possibile tra ruota e rotaia.
La molatura è effettuata al fine di allungare la vita utile delle rotaie di contrastare la presenza di usura ondulatoria delle stesse e conseguentemente l'innesco di fenomeni di fatica con probabilità di rottura anche al fine di ridurre l'inquinamento acustico in determinate zone urbane.





GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Molatura

Esistono diversi tipi di molatura delle rotaie:

- Molatura standard preventiva e correttiva;
- Molatura asimmetrica con profilo speciale;
- Molatura anti head check con profilo speciale;

Secondo stadio



Terzo stadio



In tutti i casi la molatura non dovrà essere eseguita:

- Su una rotaia che presenta un difetto di usura a 45° già in livello di attenzione (8-14mm);
- Su una rotaia che presenta un'usura verticale già di 8 mm;
- Su una rotaia che presenta difetto di head checking superiore a 5 mm di profondità.







GLI INTERVENTI MANUTENTIVI



Apporti di metallo

Quando il difetto superficiale è poco profondo (fino all'incirca a 10 mm) è possibile asportare il materiale danneggiato e ricostruire il profilo della rotaia (o del cuore) attraverso apporti di metallo effettuati mediante il processo di saldatura elettrica ad arco. È importante per evitare difetti che i vari cordoni siano tra loro paralleli. Una volta completato l'apporto si passa alla spazzolatura e alla riprofilatura della rotaia con l'uso di una smerigliatrice.



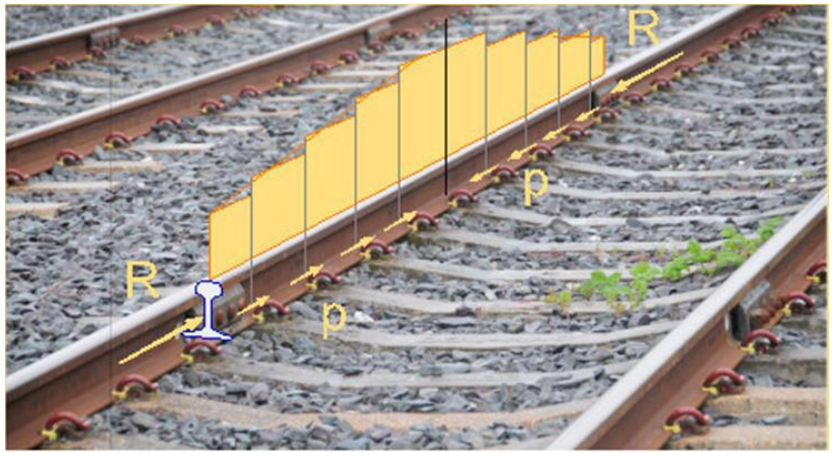




GLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Trattamento termico riflettente della rotaia con vernice bianca

Al fine di ridurre la temperatura delle rotaie e le conseguenti sollecitazioni nelle rotaie si procede alla attività di verniciatura rotaia che produce un abbassamento della temperatura di circa 2°C. N.B. non va verniciato il piano di rotolamento.







La termica del binario

Generalità

Se la rotaia è sottoposta ad una variazione di temperatura (ΔT), si dilata se la variazione è in aumento e si contrae in caso contrario. A parità di ΔT l'entità dell'allungamento dipende dalla natura del materiale:

$$\Delta l = \alpha \, l_0 \, \Delta t$$

Dove per l'acciaio α (coefficiente di dilatazione termica lineare) vale 12 x 10-6 [°C-1]. Se la rotaia è libera di muoversi l'allungamento sarà proprio pari a Δl e non nasceranno sollecitazioni nella rotaia. Qualora la dilatazione fosse del tutto impedita all'interno della rotaia nascerebbe sollecitazioni di trazione o di compressione pari a:

$$\sigma = E\frac{\Delta l}{l}$$

I casi ideali di dilatazione libera o completamente impedita sono situazioni che normalmente non si verificano. Le resistenze di attrito (organi di attacco, giunzioni) ostacolano solo parzialmente la dilatazione della rotaia le variazioni di temperatura portano ad una dilatazione della rotaia inferiore rispetto a quella che si avrebbe se essa risultasse completamente libera ma nel contempo nascono degli sforzi interni, che risultano anch'essi inferiori rispetto a quelli che si verificherebbero nel caso di dilatazione completamente impedita.



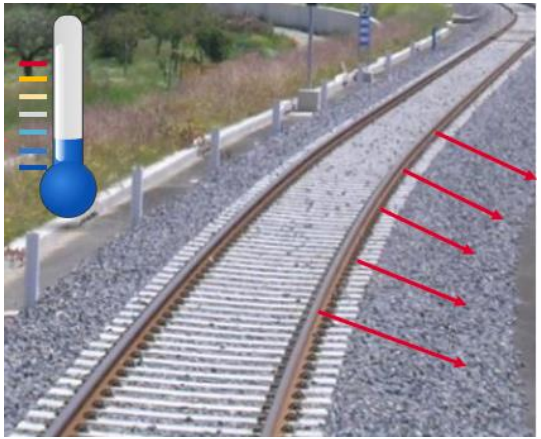


La termica del binario

Generalità

La presenza di alcuni vincoli può arrivare a creare nella rotaia uno stato di compressione o di trazione al variare della temperatura, per cui possono nascere fenomeni di **slineamento del binario**, quando le rotaie sono troppo compresse, oppure di **rottura**, quando sono troppo tese. Per essere più precisi nel caso di curve strette anche tensioni di trazione possono portare ad alterazioni geometriche del tracciato. È quindi importante gestire la termica del binario, abbiamo due principali strategie:

- Binario con giunzioni;
- Lunga rotaia saldata.

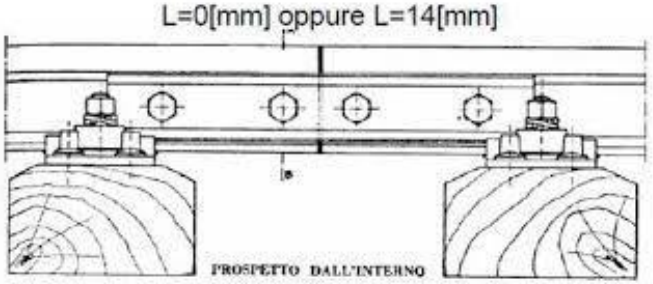




La termica del binario

Il binario con giunzioni

Per limitare lo sviluppo di tensioni nella rotaia si prevedono opportuni luci di dilatazione, dimensionate in modo tale da non interferire con la marcia del treno e da limitare le tensioni nella rotaia.



Deciso, al fine di limitare sia le tensioni di trazione che quelle di compressione, che la temperatura a cui la luce deve essere uguale a zero è 31°C è possibile dimensionare la luce da lasciare all'atto della posa per qualsiasi temperatura della rotaia inferiore ai 31 °C.



La termica del binario

Il binario con giunzioni

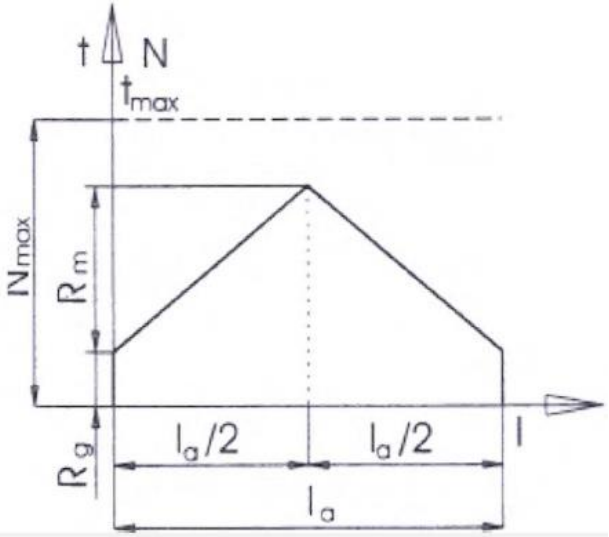
Lunghezza delle rotaie [m]	LUCI DI POSA [mm]																		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	LIMITI DELLA TEMPERATURA DELLA ROTAIA [°C]																		
12	38 32	31 25	24 18	17 11	10 4	3 -3	-4 -6												
18	37 33	32 29	28 24	23 19	18 15	14 10	9 5	4 1	0 -4	-5 -6									
24	36 34	33 30	29 27	26 23	22 20	19 16	15 13	12 9	8 6	5 2	1 -1	-2 -5	-6						
36	36 34	33 32	31 30	29 27	26 25	24 23	22 20	19 18	17 16	15 13	12 11	10 9	8 6	5 4	3 2	1 -1	-2 -3	-4 -5	-6 -8
48	35	34 33	32 31	30 29	28	27 26	25 24	23 22	21	20 19	18 17	16 15	14	13 12	11 10	9 8	7	6 5	4 3

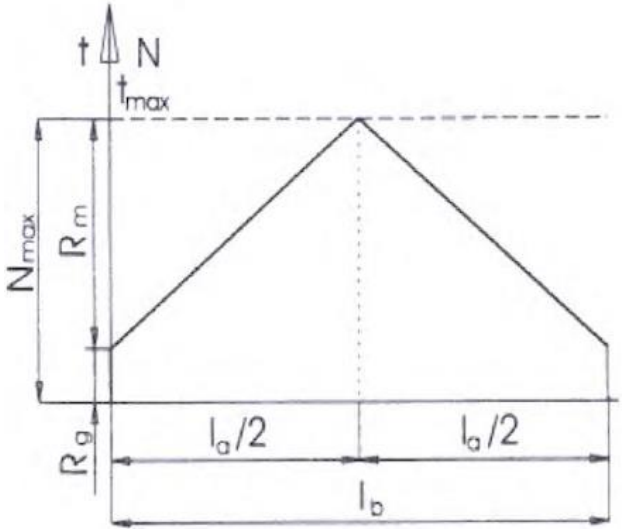


La termica del binario

Il binario con giunzioni

Importante poi è la scelta della lunghezza della rotaia che deve essere libera di muoversi e quindi deve offrire una resistenza inferiore rispetto alla sollecitazione attesa. La resistenza che il binario può opporre è frutto principalmente di due elementi: resistenza delle giunzioni e resistenza della massicciata.



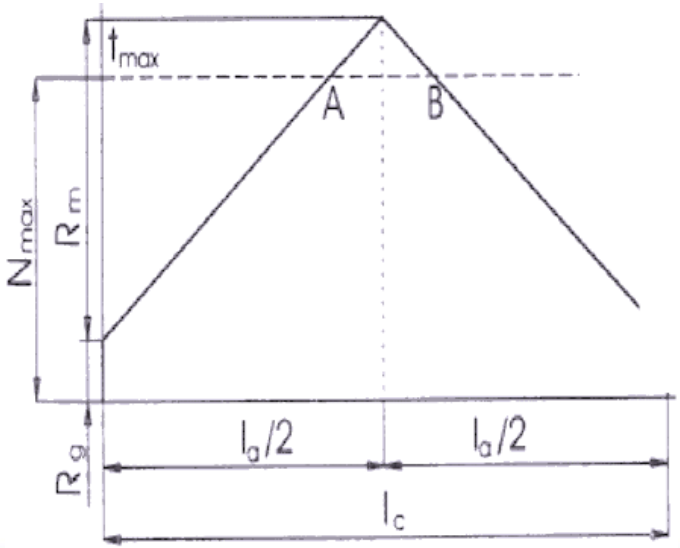




La termica del binario

La lunga rotaia saldata

Per tutti i valori di lunghezza $L_c > L_b$ avremo la presenza di una zona centrale A B immobile mentre a subire dilatazioni o contrazioni saranno sempre le antenne laterali di lunghezza pari ad $L_b/2$. La regolazione delle tensioni interne permette poi di limitare le tensioni interne di trazione o compressione delle rotaie nel centro del tratto permettendo di fatto l'istituzione della lunga rotaia saldata (L.R.S.).





La termica del binario

La lunga rotaia saldata

- **Temperatura neutra (T_n):** quella per la quale il corpo della l.r.s. è privo di sollecitazioni interne (stato di tensioni nulle);
- **Temperatura di regolazione (T_r):** la temperatura neutra che si vuole realizzare all'atto della costituzione della l.r.s. All'atto della regolazione delle rotaie la temperatura neutra e quella di regolazione coincidono. La temperatura di regolazione si determina come al successivo par. II.3.5;
- **Temperatura della rotaia (T):** la temperatura del ferro misurata alla chiusura del binario;
- **Temperatura media (T_m):** la media aritmetica tra la temperatura massima e quella minima di rotaia, secondo le condizioni climatiche locali, $T_m = (T_{max} + T_{min}) / 2$;
  Dove T_{max} e T_{min} sono la media, in un periodo di almeno 3 anni, rispettivamente della temperatura massima raggiunta in ciascun anno e della temperatura minima raggiunta in ciascun anno, rilevate manualmente o preferibilmente secondo quanto previsto dalla [B], anche in località diverse dello stesso impianto



La termica del binario

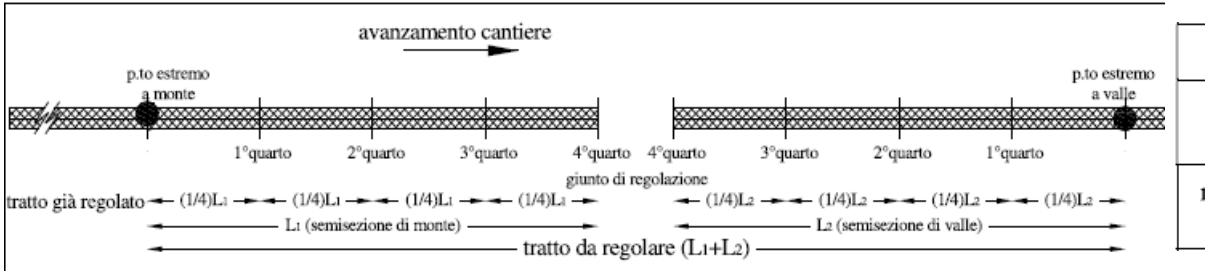
La lunga rotaia saldata: metodologie di regolazione

La temperatura di regolazione è posta pari a $T_r = T_m + 5$ °C ed essa può essere raggiunta:

- Con riscaldamento naturale (se e solo se si riesce ad avere una tolleranza di ±2 °C);
- Con l'impiego del morsetto tendirotaie.

Bisogna ottenere un allungamento pari a $\Delta l = \alpha\, l_0\, \Delta t$ da cui si ottiene che è necessario allungare le rotaie di 1,2 mm per ogni tratto di 100 m per ottenere un ΔT di 1°C.

Il tiro da applicare è pari a $\boldsymbol{F = \alpha\, E\, A\, \Delta T}$ ed è pari per una rotaia 60°1 a 19,4 kN per ogni grado centigrado. L è la lunghezza della semisezione.



regolazioni con riscaldamento naturale	
curva di qualsiasi raggio con sopraelevazione > 20 mm	L ≤ 275 m
retta e curva di qualsiasi raggio con sopraelevazione ≤ 20 mm	L ≤ 400 m

N.B. la regolazione delle tensioni interne delle rotaie si attua con il binario nel suo assetto definitivo e con la massicciata consolidata.



La termica del binario

La lunga rotaia saldata: metodologie di regolazione

L_{min} = 108 m e L_{max} = 540 m. In base al raggio e ad L hai ΔT

ΔT_{max} [°C] ammesso = T_r - T					
Raggio [m]	L = 108 m	L ≤ 216 m	L ≤ 324 m	L ≤ 432 m	L ≤ 540 m
150-169	21	-	-	-	-
170-199	24	10	-	-	-
200-274	28	12	7	-	-
275-299	30	16	9	-	-
300-599	30	18	10	-	-
600-799	30	30	19	11	-
800-999	30	30	26	15	9
1000-1199	30	30	30	19	11
1200-1399	30	30	30	23	13
1400-1599	30	30	30	26	15
1600-1999	30	30	30	30	19
2000-2799	30	30	30	30	29
≥ 2800	30	30	30	30	30

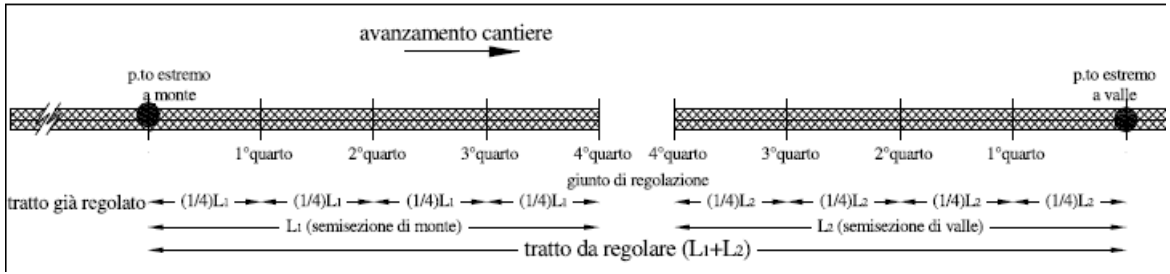


La termica del binario

La lunga rotaia saldata: esempio di regolazione di un tratto di binario

Le operazioni per procedere alla regolazione del tratto sottostante sono le seguenti:

1. Andranno regolate entrambe le fughe di rotaia contemporaneamente;
2. Segnare a vernice i due punti estremi sulla suola e sul gambo e i quarti sulle traverse più vicine;
3. Effettuare i tagli in corrispondenza del giunto di regolazione;
4. Posizionare i termometri sul gambo delle rotaie (se hai T diverse lungo la rotaia ad esempio per estese zone d'ombra è necessario fare una media delle varie misurazioni)



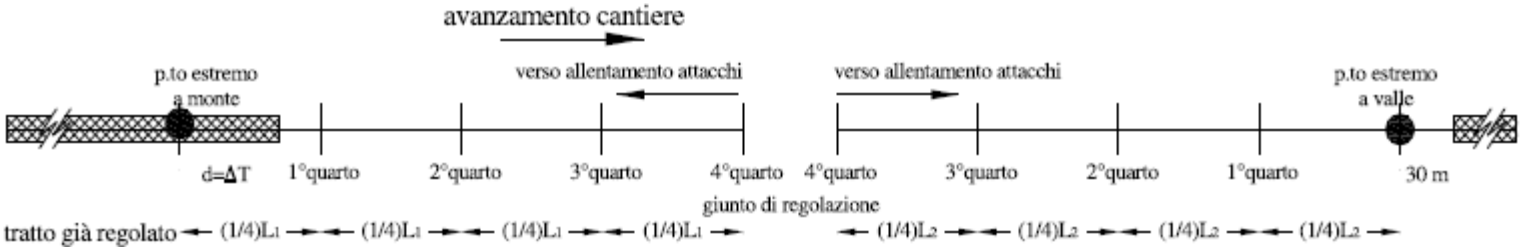
N.B. i tratti campiti sono i tratti in cui gli attacchi sono ancora serrati.



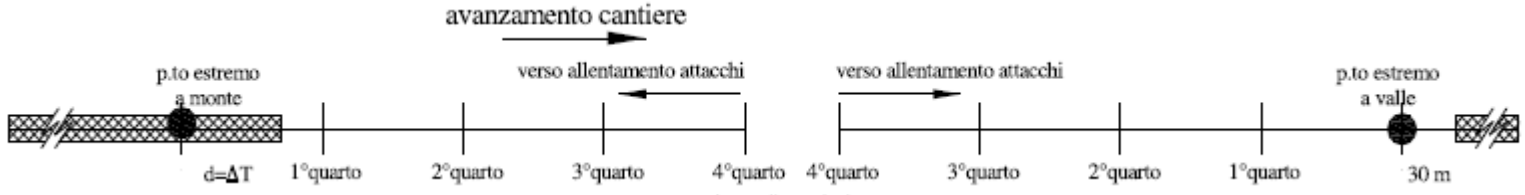
La termica del binario

La lunga rotaia saldata: esempio di regolazione di un tratto di binario

5. Allo scopo di scaricare le tensioni interne delle rotaie si allentano progressivamente gli attacchi dal giunto verso i punti estremi, contemporaneamente su tutte le fughe di rotaia. L'allentamento prosegue oltre la sezione di valle per 30 m e si ferma ad una distanza d dal punto estremo di monte pari a ΔT;



6. Riserrare a ritroso gli attacchi nei pressi del punto estremo di valle fino alla distanza d da esso.





La termica del binario

La lunga rotaia saldata: esempio di regolazione di un tratto di binario

7. Sollevare mediante paletti le rotaie dagli appoggi a partire dal giunto di regolazione rimuovendo la sottorotaia ogni 15 traverse e inserendo un rullo di scorrimento sotto la rotaia (se R< 600 m anche rulli verticali). Questo al fine di assicurare un omogenea distribuzione delle tensioni nella rotaia.

8. Misurare T delle rotaie e definire l'allungamento da applicare ripartendolo anche per le quattro semisezioni. Contrassegnare gli allungamenti calcolati sulla rotaia;

9. Bonificare le rotaie in corrispondenza del giunto al fine di lasciare tra le rotaie una luce $l_t = l + l_s - 2{,}5$ mm. Dove l_s è la luce richiesta dal tipo di saldatura (in genere 25 mm per quella alluminotermica) mentre i 2,5 mm servono a tenere conto del ritiro della saldatura durante il raffreddamento;

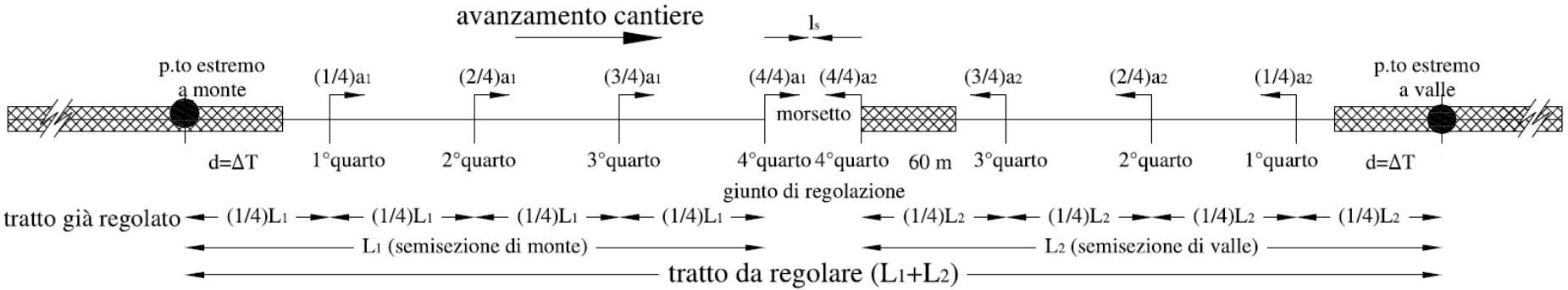




La termica del binario

La lunga rotaia saldata: esempio di regolazione di un tratto di binario

10. Posizionare i morsetti tendirotaie e proseguire il tiro finché il quarto quarto di valle non ha raggiunto lo scorrimento previsto;
11. Rimuovere i rulli a valle e riserrare i primi sessanta metri dal giunto verso valle;
12. Tirare finché anche il quarto quarto di monte non è in posizione;

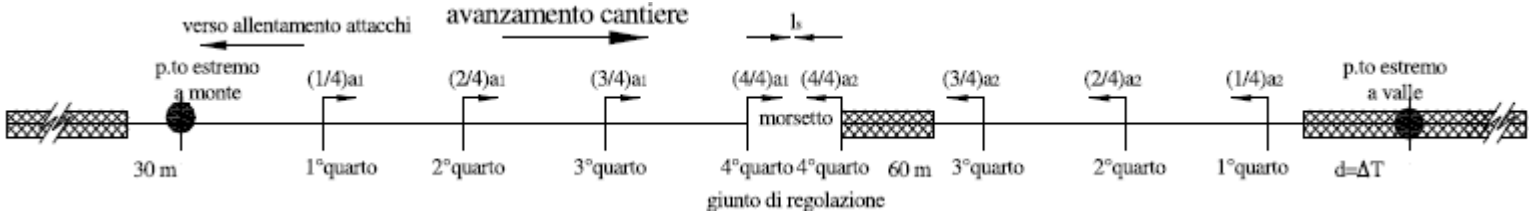




La termica del binario

La lunga rotaia saldata: esempio di regolazione di un tratto di binario

13. Sempre con il morsetto in tiro allentare gli attacchi lasciati serrati nella sezione di monte fino a 30 m oltre il punto estremo per 30 m. Il quarto quarto avanzerà e quindi sarà necessario allentare il morsetto per riportalo in posizione;



14. Controllare i quarti con tolleranza ±1 mm e poi riserrare progressivamente gli attacchi a partire dal giunto. Bisogna lasciare liberi solo 24 m a cavallo della saldatura;
15. Saldare col morsetto in presa ed accompagnare il raffreddamento con un progressivo serraggio del morsetto volto a comprimere la saldatura;
16. Riserrare anche gli ultimi attacchi.

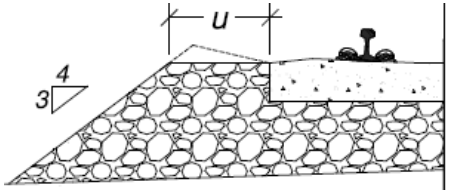


La termica del binario

La lunga rotaia saldata: Requisiti base per l'istituzione della l.r.s.

Per essere vantaggiosa la l.r.s. deve avere almeno le seguenti estensioni e i tracciati devono avere inoltre le seguenti caratteristiche:

TIPO TRAVERSA	SPARTITO TRAVERSE [cm]	DISTANZA MINIMA "u" [cm]	RAGGIO R [m]
LEGNO	60 o 66,6	60	R ≥ 600
M62 FS	60 o 66,6	60	R ≥ 485
RFI230 MP62 FSV35-45 FSV35 FSV35P	60	60	R ≥ 400 399 ≥ R ≥ 200 (1)
RFI 240 RFI 260 (2)	60	60	R ≥ 250 249 ≥ R ≥ 150 (1)



Spessore minimo della massicciata sotto traversa: 25 cm, da misurarsi in corrispondenza della rotaia bassa

Le traverse RFI230, RFI240 e RFI260 con USP sono equivalenti alle corrispondenti senza USP

(1) Con ancoraggio SN come previsto al successivo p.to II.2.3

LUNGHEZZA MINIMA	PROFILO ROTAIE	TIPO TRAVERSE
144 m	60E1	CAP
115 m	50E5	CAP
200 m	60E1	LEGNO
150 m	50E5	LEGNO



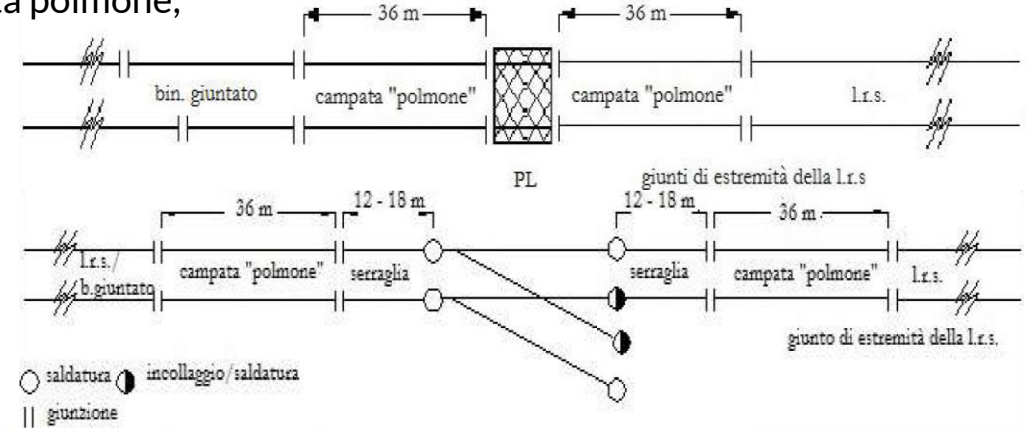
La termica del binario

La lunga rotaia saldata: Requisiti base per l'istituzione della lrs

Quanto sopra vale ovunque tranne che nei binari confinati tra i marciapiedi, dove si può fare sempre a meno degli ancoraggi SN purché ci siano al massimo due binari con un interasse di massimo 4,00 m, e nei tratti in galleria (esclusi i primi 75 m) dove si può usare qualunque tipo di traverse e si possono non usare gli attacchi SN.

Casi particolari:

- I punti singolari (quali scambi e passaggi a livello) non devono ricadere nella tratta mobile della lrs, pertanto si stabilisce che distino dai giunti almeno 100 m. Se non è possibile tra punto singolare e lrs deve essere inserita una campata polmone;





La termica del binario

Controlli del comportamento della L.R.S. in esercizio e precauzioni

- Verifica delle condizioni di allineamento delle rotaie misurando la freccia per corde di 10 metri;
- Verifica dei traguardi: Per controllare i possibili spostamenti longitudinali nella l.r.s. su tutte le linee è necessario istituire una o due coppie di picchetti di riferimento come riportato nella successiva tabella:

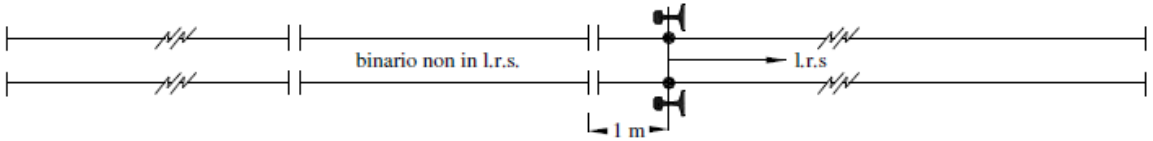
TRAGUARDI	
CORPO L.R.S.	**ESTREMITÀ L.R.S.**
N° 2 coppie di picchetti distanti fra loro 120 m circa, ogni 500 ÷ 600 m circa N° 2 coppie di picchetti, distanti fra loro 120 m circa, disposti in corrispondenza delle travate metalliche senza massicciata di lunghezza ≥ 35 m	Una coppia di picchetti posti ad un metro dalla testata affacciata all'estremità della l.r.s.



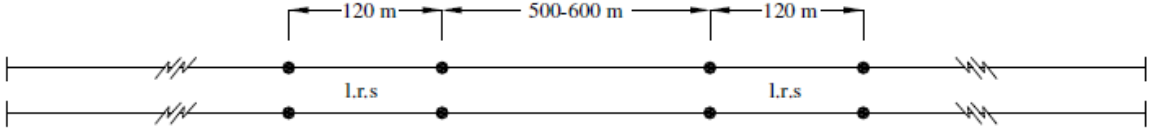
La termica del binario

Controlli del comportamento della L.R.S. in esercizio e precauzioni

- Istituzione dei traguardi:



1) traguardi di estremità della l.r.s.



2) traguardi nel corpo della l.r.s.: binario corrente

Subito dopo le operazioni di regolazione delle tensioni interne, occorrerà eseguire, sia sulla faccia laterale del fungo delle rotaie, esternamente al binario, che sui riferimenti fissi, delle impronte a mezzo di bulino, che costituiranno i traguardi per i successivi rilievi che saranno effettuati mediante l'uso di filo di acciaio armonico o di nylon.



La termica del binario

Controlli del comportamento della L.R.S. in esercizio e precauzioni

- Valutazione degli spostamenti longitudinali – qual è il numero minimo di controlli?

Nel primo anno di esercizio della l.r.s. durante il periodo primaverile e nei periodi di alte e basse temperature delle rotaie su tutti i riferimenti istituiti. Negli anni successivi al primo:

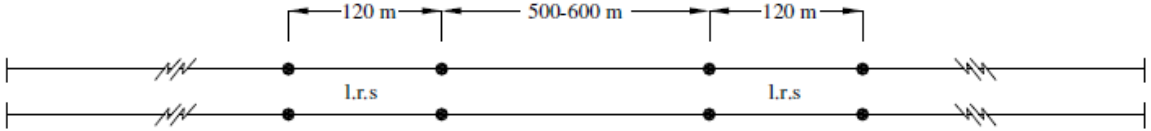
- per i punti singolari e nelle zone di frequente frenatura due volte ogni anno, una durante il periodo primaverile e l'altra durante il periodo autunnale.
- per i traguardi di estremità: due volte ogni anno, una all'inizio dei primi freddi e una all'inizio dei primi caldi:
- per gli altri traguardi nel corpo della l.r.s. (Fig.34, caso 2): una volta ogni 3 anni, durante il periodo primaverile oppure autunnale.



La termica del binario

Controlli del comportamento della L.R.S. in esercizio e precauzioni

- Valutazione degli spostamenti longitudinali nel corpo della lrs:



2) traguardi nel corpo della l.r.s.: binario corrente

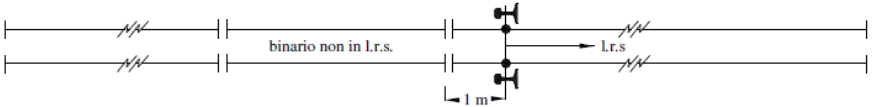
Per la valutazione degli eventuali spostamenti longitudinali, risulta con buona approssimazione che ogni millimetro di variazione della distanza (L) fra le bulinature delle due coppie di picchetti, corrisponde ad una variazione dello stato tensionale teorico, equivalente ad una variazione della temperatura di rotaia di circa 83/L gradi, con L in metri. Per la determinazione di detta variazione dovrà essere rilevato lo spostamento della bulinatura rispetto alla prima coppia di picchetti (S1), al quale andrà sottratto algebricamente lo spostamento della bulinatura rispetto alla seconda coppia di picchetti (S2), posta alla distanza di circa 120 m. Al momento della verifica, quando si abbiano avvicinamenti od allontanamenti (S) delle bulinature eccedenti i 14 mm, indicativi di eccessivi ammassamenti di ferro all'interno od all'esterno del tratto in esame, andranno tempestivamente sistemati gli stati di tensione interna della l.r.s.



La termica del binario

Controlli del comportamento della L.R.S. in esercizio e precauzioni

- Valutazione degli spostamenti longitudinali in estremità:



1) traguardi di estremità della l.r.s.

All'inizio dei periodi freddi:

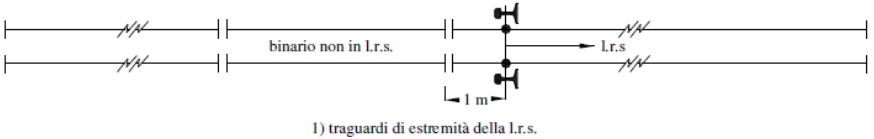
Intervallo di T entro cui fare i controlli [°C]	Arretramento S della bulinatura [mm]	Provvedimenti da adottare
da 0 a 5	S ≤ 10	Nessuno.
	10 < S ≤ 15	Controllare l'integrità strutturale delle giunzioni della campata "polmone" affacciata alla l.r.s. e di quelle affacciate allo scambio o alla eventuale campata successiva, nonché degli attacchi delle rotaie alle traverse.
	S > 15	Controllare o l'integrità strutturale dello scambio non inserito in l.r.s. eventualmente contiguo all'estremità stessa, comprese le giunzioni della campata "polmone", o lo stato delle giunzioni del binario a campate normali adiacenti la l.r.s. accertando l'integrità di tutti gli organi delle giunzioni e degli attacchi delle rotaie alle traverse e, appena possibile, eseguire la sistemazione del binario (eliminazione di eventuali deformazioni delle chiavarde, ovalizzazione dei fori di giunzione, ecc.) nonché la nuova regolazione delle tensioni interne per un'estesa di almeno 216 m dall'estremità della l.r.s., e la sistemazione delle luci, come riportato al p.to II.3.8.



La termica del binario

Controlli del comportamento della L.R.S. in esercizio e precauzioni

- Valutazione degli spostamenti longitudinali in estremità:



1) traguardi di estremità della l.r.s.

All'inizio dei periodi caldi:

a. Controllo della temperatura di chiusura delle luci di dilatazione tra lrs e campata polmone e verificare che sia superiore a T_{reg} – 10 °C;

b. Se a. è fallito verifichi la temperatura di riapertura della luce, valuti la media tra le due e verifichi sia maggiore di T_{reg} – 10 °C. Se anche questa verifica fallisce bisogna regolare le luci di dilatazione e le tensioni interne di almeno 216 metri di binario.

In ogni caso bisogna rispettare le seguenti indicazioni:

$T \geq T_r + 30$ °C	legno c.a.p.	Rallentamento a tutti i treni a 50 km/h con presenziamento dei tratti interessati	Limitatamente alle ore più calde della giornata ed ai tratti di binari interessati, finché la temperatura non scenda al di sotto di detti limiti. Prima del graduale ripristino delle velocità di fiancata, rilievo della geometria del binario



Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

Norma UNI8379 Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana, metropolitana leggera, tranvia veloce e tranvia) - Termini e definizioni

metropolitana: Sistema di trasporto rapido di massa, di elevata portata e frequenza nell'ambito delle conurbazioni, costituito da veicoli automotori o rimorchiati dai medesimi, a guida vincolata, con circolazione regolata da segnali e completamente autonoma da qualsiasi altro tipo di traffico.

tranvia: Sistema di trasporto per persone negli agglomerati urbani costituito da veicoli automotori o rimorchiati dai medesimi, a guida vincolata, in genere su strade ordinarie e quindi soggetto al Codice della Strada, con circolazione a vista.

La diversa definizione porta a diverse prestazioni richieste in vari ambiti:

prospetto A.I **Caratteristiche della sede e degli attraversamenti**

	Sede (A.1)						Attraversamento (A.2)							
	Promiscua (A.1.1)			Propria (A.1.2)			Libero (A.2.1)	Segnalato (A.2.2)			Protetto (A.2.3)			
	Libera (A.1.1.1)	Riservata (A.1.1.2)	Protetta (A.1.1.3)	Riservata (A.1.2.1)	Protetta (A.1.2.2)	Isolata (A.1.2.3)	a	a	b	c	a	b	c	d
Ferrovia	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI
Metropolitana	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Metro leggera	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Tranvia veloce	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Tranvia	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI



Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

- Le caratteristiche della circolazione:

prospetto A.II **Caratteristiche della circolazione**

	Sicurezza, regolarità, operatività e supervisione della circolazione (A.3)									
	Sicurezza, regolarità (A.3.1)			Operatività (A.3.2)			Supervisione (A.3.3)			
	A.3.1.1	A.3.1.2	A.3.1.3	A.3.2.1	A.3.2.2	A.3.2.3	A.3.3.1	A.3.3.2	A.3.3.3	A.3.3.4
Ferrovia	NO	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI
Metropolitana	NO	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI
Metro leggera	NO	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI
Tranvia veloce	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI
Tranvia	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI



Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

- Le caratteristiche della circolazione:

A.3 **sicurezza, regolarità, operatività e supervisione della circolazione**: Insieme delle tecnologie operative, delle funzioni logiche e delle filosofie di impiego, che consentono la marcia dei veicoli a guida vincolata in condizioni di sicurezza e regolarità nonchè la diffusione tempestiva di informazioni per l'utenza.

A.3.1 **Sicurezza e regolarità della circolazione**

A.3.1.1 Segnaletica del Codice della Strada (comprende anche semaforo).

A.3.1.2 Segnalamento al conducente, ad aspetti variabili (per esempio segnalamento ferroviario di linea, di stazione, blocco manuale/semiautomatico/automatico, ripetizione a bordo dei segnali, ecc.).

A.3.1.3 Segnalamento al conducente, come A.3.1.2, e con intervento automatico delle protezioni sul convoglio (per esempio sistema ATP, ecc.).

A.3.2 **Operatività della marcia**

A.3.2.1 Marcia attuata dal conducente a vista.

A.3.2.2 Marcia attuata dal conducente ed assistita dal sistema di segnalamento di terra e/o di bordo.

A.3.2.3 Marcia automatica con o senza conducente a bordo (per esempio sistema ATO).

A.3.3 **Supervisione della circolazione**

A.3.3.1 Assenza di supervisione centralizzata.

A.3.3.2 Supervisione centralizzata con indicazione della posizione dei convogli in circolazione.

A.3.3.3 Come A.3.3.2 e con comunicazioni bidirezionali fra posto di controllo centralizzato e conducente.

A.3.3.4 Come A.3.3.3 e con comunicazioni dal posto di controllo centralizzato (o conducente) agli utenti.



Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

- Parametri prestazionali:

	Portata potenziale minima per senso di marcia[1] (posti/h)	Distanziamento[1] (min)	Capacità convoglio[1] (passeggeri)[2]	Distanza media fra le stazioni (m)	Incarrozzamento a livello	Velocità commerciale[1] (km/h)	Lunghezza max. convoglio[3] (m)
Metropolitana	24 000	3	1 200	600 - 1 000	SI	25	150
Metropolitana leggera	8 000	3	400 oppure 200[4]	500 - 800	SI	25	80
Tranvia veloce[5]	2 700	4	180	350 - 500	Eventuale	15	60
Tranvia	1 000	10	180	200 - 350	Eventuale	10	30

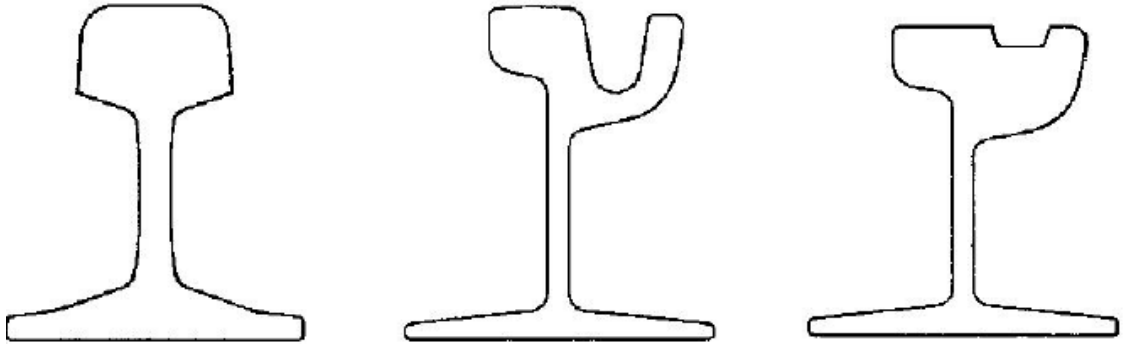
1) Prestazioni potenziali minime in condizioni di massima domanda di trasporto (ora di punta).
2) Posti in piedi calcolati sulla base di 6 passeggeri/m^2.
3) Tale parametro influenza le dimensioni delle infrastrutture di fermata o di stazione.
4) Valore idoneo per sistemi con distanziamento di 90 s (per esempio automazione integrale).
5) È opportuno limitare il numero di attraversamenti di vario tipo (vedere prospetto A.I) mediamente a non più di 3 al km (in tale conteggio possono essere esclusi gli attraversamenti dotati di barriere mobili - vedere A.2.3 d).



Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

- Caratteristiche della sovrastruttura - le rotaie:
  - Vignola: lungo i percorsi dove transitano esclusivamente i tram;
  - Phoenix: in sede promiscua si usano i "binari a gola" dove una controrotaia protegge la gola del binario (fondamentale se il binario è annegato nell'asfalto o nel pavé);
  - Gola riempita: si usano in presenza di incroci in cui la gola riduce la sua profondità per sollevare la ruota per farla rotolare solo sul bordino, evitandone l'urto con la struttura dell'incrocio.



Vignola *Phoenix* *Gola riempita*



Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

- Caratteristiche della sovrastruttura – il binario:
  1. Sul piano di piattaforma si posa in genere un materassino in poliuretano espanso o altri materiali con caratteristiche vibro e fono assorbenti per ridurre l'emissione di rumore e vibrazioni;
  2. Si getta poi una platea in c.a., posizionando sotto di essa un telo in nylon a protezione del materassino;
  3. Al di sopra del cemento si posizionano poi le traverse e le rotaie;







Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

- Caratteristiche della sovrastruttura – il binario:

4. Nelle rotaie si inseriscono delle piastrelle in cemento. Impediranno all'asfalto di deformarsi al passaggio dei tram;
5. Quando le traversine sono fissate si effettua una nuova colata di cemento per riempire e livellare;
6. Dopo di che si posa l'asfalto e una volta completato non resta che pulire le gole delle rotaie da eventuale sporcizia e il binario è pronto all'uso.







Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

- Caratteristiche della sovrastruttura – la geometria:
  - I valori minimi del raggio delle curve:

	Metropolitane	Metropolitane leggere	Tranvie veloci (metrotranvie)	Tranvie
Valori minimi raccomandati:				
- linea	250 m	200 m	100 m	50 m
- nelle stazioni/fermate	rettilineo	rettilineo	rettilineo	rettilineo
- depositi e raccordi	100 m	75 m	25 m	25 m
Limiti normali:				
- linea	150 m a)	100 m a)	40 m a)	25 m a)
- nelle stazioni/fermate				
- depositi e raccordi	75 m	50 m	25 m	20 m
Limiti eccezionali:				
- linea	75 m a)	50 m a)	25 m a)	18 m a)
- nelle stazioni/fermate				
- depositi e raccordi	70 m	50 m	20 m	15 m



Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

- Caratteristiche della sovrastruttura – la geometria:
  - L'insufficienza di sopraelevazione:

	Metropolitane / Metropolitane leggere		Tranvie veloci (metrotranvie) / Tranvie	
	I [mm]	a_q [m/s^2]	I [mm]	a_q [m/s^2]
Valori massimi raccomandati:	a)		a)	
- scartamento ordinario di 1 435 mm - 1 445 mm	30	0,2[a)]	30	0,2[a)]
- scartamento ridotto di 1 000 mm	21		21	
- scartamento ridotto di 950 mm	20		20	
Limiti normali:	b)		b)	
- scartamento ordinario di 1 435 mm - 1 445 mm	138	0,9[b)]	138	0,9[b)]
- scartamento ridotto di 1 000 mm	97		97	
- scartamento ridotto di 950 mm	93		93	
Limiti eccezionali:				
- scartamento ordinario di 1 435 mm - 1 445 mm	153	1,0	153	1,0
- scartamento ridotto di 1 000 mm	108		108	
- scartamento ridotto di 950 mm	103		103	

N.B. nelle tranvie la sopraelevazione è fortemente condizionata dall'andamento della pavimentazione stradale, per questo tendenzialmente è nulla o comunque piccola.



Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

- Caratteristiche della sovrastruttura – la geometria:
  - Lunghezza delle curve di transizione:

	Metropolitane / Metropolitane leggere	Tranvie veloci (metrotranvie) / Tranvie
Limiti normali	15 m	10 m
Limiti eccezionali	0	0

  - La pendenza delle rampe di transizione:

	Metropolitane / Metropolitane leggere	Tranvie veloci (metrotranvie) / Tranvie
Limiti normali	3 mm/m	3 mm/m
Limiti eccezionali	3 mm/m	3,33 mm/m



Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

- Caratteristiche della sovrastruttura – la geometria:
  - La pendenza delle livellette:

	Metropolitane / Metropolitane leggere	Tranvie veloci (metrotranvie) / Tranvie
Valori massimi raccomandati: - linea - nelle stazioni/fermate	 0 - 30 mm/m 2 mm/m[a)]	 0 - 40 mm/m 2 mm/m
Limiti normali: - linea - nelle stazioni/fermate	 40 mm/m 2 mm/m[a)]	 60 mm/m 10 mm/m
Limiti eccezionali: - linea - nelle stazioni/fermate	 60 mm/m 20 mm/m[a)]	 80 mm/m 20 mm/m



Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

- Caratteristiche della sovrastruttura – la geometria:
  - La lunghezza delle livellette:

	Metropolitane / Metropolitane leggere	Tranvie veloci (metrotranvie) / Tranvie
Limiti normali	20 m	15 m
Limiti eccezionali	0	0

  - Le curve verticali:

Valori minimi raccomandati e limiti inferiori dei raggi verticali $R_{V,lim}$

	Metropolitane / Metropolitane leggere	Tranvie veloci (metrotranvie) / Tranvie
Valori minimi raccomandati	3 000 m	2 000 m
Limiti normali	1 500 m	1 000 m
Limiti eccezionali	500 m	350 m[a)]

	Metropolitane / Metropolitane leggere	Tranvie veloci (metrotranvie) / Tranvie
Limiti normali	15 m	10 m
Limiti eccezionali	0	0

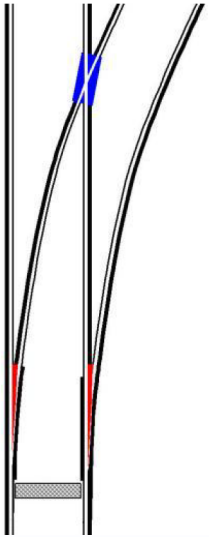


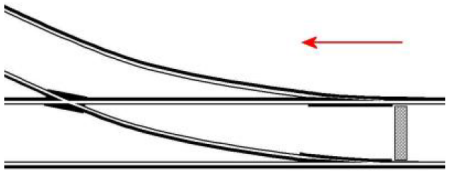
Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

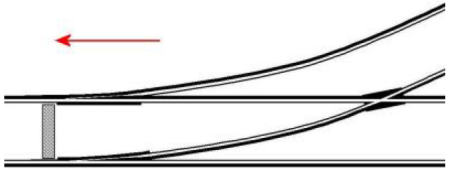
- Caratteristiche della sovrastruttura – lo scambio: consente la diramazione di un binario su due diverse direzioni (in questo caso si parla di "scambio di entrata") oppure la confluenza di due binari su un'unica direzione ("scambio di uscita"). L'elemento mobile che determina la diramazione o la confluenza è costituita dalle “lingue” (evidenziate in rosso) mentre il punto in cui si incrociano i due binari, è detto "cuore" (evidenziato in blu).

  Anche per gli scambi come per gli incroci il transito sui cuori avviene con appoggio del bordino sul fondo della gola.





Scambio di ingresso (in rosso il senso di marcia)



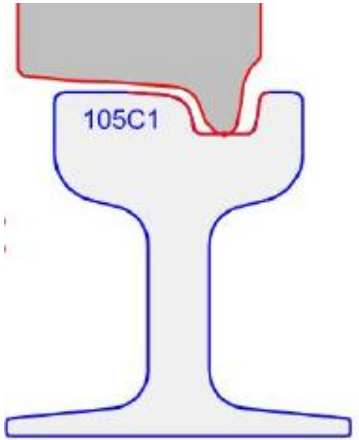
Scambio di uscita (in rosso il senso di marcia)



Le tranvie

Le differenze principali tra metropolitane e tranvie

Caratteristiche della sovrastruttura – gli incroci: l'incrocio, nella situazione comune, ha una scanalatura per consentire il passaggio del bordino della ruota nei due sensi. Il passaggio in sicurezza della sala montata su questo punto è garantito anche dalla presenza della controrotaia sulla rotaia esterna e dalla fascia di rotolamento della ruota che è sufficientemente ampia da permettere il superamento dello spazio vuoto, pur mantenendo un contatto continuo con la rotaia. Grazie alle differenze di diametro delle ruote, dei diversi profili e degli angoli di incrocio, è possibile far lavorare il bordino delle ruote su questo breve tratto di rotaia perché il tram è più leggero rispetto ai veicoli ferroviari e, di solito, procede a velocità molto più basse: le implicazioni dinamiche in questa zona sono assolutamente trascurabili e non inficiano la sicurezza della marcia. Per ottenere questo risultato si impiegano rotaie con la gola riempita che hanno un profilo diverso rispetto alle normali rotaie a gola al fine di rendere il più efficiente possibile il contatto ruota-binario.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

