

La geometria del binario

Accanto alla geometria interna del binario, rappresentata dallo **scartamento** e dallo **sghembo**, è essenziale la posizione del binario nei confronti del piano su cui si adagia il tracciato.

I concetti fondamentali su cui si fonda la geometria del binario sono:

- la **tolleranza**
- il **livello trasversale**
- la **sopraelevazione**
- l'**accelerazione centrifuga non compensata**



Tolleranza

Presso le reti ferroviarie vengono definiti i seguenti tipi di tolleranza:

- tolleranza di **costruzione**: scostamenti dal valore teorico accettabili nelle pose a nuovo
- tolleranza di **manutenzione**: scostamenti accettabili a seguito di un intervento manutentivo
- tolleranza di **esercizio**: scostamenti che mantengono livelli stabiliti di qualità della circolazione
- tolleranza di **sicurezza**: scostamenti superati i quali si entra nel campo della pericolosità.



Scartamento - 1/3

Lo **scartamento** è definito come la distanza fra i bordi interni dei funghi delle due rotaie costituenti il binario, misurata normalmente all'asse del binario, alla quota di 14 mm al di sotto del piano di rotolamento.

Valore Rete RFI: 1.435 mm

Lo scartamento di 1.435 mm subisce un allargamento nelle curve di raggio inferiore ai 275 m, secondo i dati della seguente tabella, per facilitare l'iscrizione in curva e per ridurre la resistenza in curva conseguente alla rigida calettatura delle ruote sull'asse.

Raggio della curva		Scartamento
da metri	a metri	mm
	275	1.435
<275	250	1.440
<250	225	1.445
<225	200	1.450
<200	175	1.455
175	150	1.460
al di sotto di 150		1.465



Scartamento - 2/3

Le ruote ferroviarie hanno una superficie di rotolamento troncoconica con una inclinazione di 1/20 ($\tan\alpha=1/20$).

Lo spostamento della sala montata verso l'esterno della curva sotto l'azione della forza centrifuga fa rotolare la ruota esterna su di una circonferenza maggiore di quella sulla quale rotola la ruota interna, facendole percorrere un maggior spazio (effetto “differenziale” dell'automobile).

Imponendo che tale maggior percorso sia uguale alla maggior lunghezza della rotaia esterna rispetto a quella della rotaia interna, si ricava che l'allargamento dello scartamento deve essere:

$$\Delta s = (10 p D) / R - j_s \quad [\text{mm}]$$

dove:

- p è la distanza tra i punti di appoggio delle due ruote, circa 1.500 mm
- D è il diametro della ruota
- R è il raggio di curvatura
- j_s è il gioco in rettilineo tra i bordini della ruota ed il binario



Scartamento - 3/3

Al valore teorico dello scartamento del binario vengono attribuite:

- come tolleranze di costruzione -1 mm, +2 mm (0, +2 mm per le linee AV)
- come tolleranze di esercizio +7 mm, -2 mm eccetto che per i tratti a scartamento nominale di 1.465 mm ove detta tolleranza è di +5 mm, -2 mm allo scopo di non superare il massimo di 1.470 mm.

Per quanto riguarda gli apparecchi del binario (scambi, intersezioni) sono in uso i seguenti valori:

- tolleranze di costruzione: ± 1 mm
- tolleranze di manutenzione: ± 2 mm
- tolleranze di esercizio: +5 mm, -3 mm.



Il livello trasversale

Si definisce livello trasversale la pendenza trasversale del binario espressa come differenza di quota fra le due rotaie misurata normalmente al binario.

Il livello trasversale è nullo in rettilineo e diverso da zero in curva.

Le tolleranze sul valore teorico più comunemente adottate dalle reti ferroviarie sono, per le linee con velocità inferiore ai 200 km/h,

- in costruzione di 3 mm
- in esercizio di 5 mm.

Sghembo

Si definisce **sghembo** 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 configurazione a rette sghembe del binario è voluta quando esso non si trova né in rettilineo, né in curva circolare (ovvero nelle curve di transizione): in questo caso si parla di sghembo di costruzione e si tratta di una caratteristica geometrica del binario.

Negli altri casi è causato da un'alterazione del progetto e costituisce un difetto del binario.

Lo sghembo è la grandezza più delicata ai fini della stabilità dell'accoppiamento veicolo-binario: in sua presenza, infatti, i quattro punti di appoggio del carrello che si trovano sullo stesso piano, non coincidono con i corrispondenti quattro punti del binario per cui una ruota tende prima a scaricarsi poi ad alzarsi innescando il sormonto del bordino sulla rotaia ed il conseguente svio del veicolo.

La sopraelevazione

Su di un veicolo che percorre una curva di raggio R agisce, oltre al proprio peso, una forza orizzontale, applicata al suo baricentro, rivolta verso l'esterno della curva – **la forza centrifuga** – di valore

$$F_c = \frac{P}{g} \cdot \frac{V^2}{R}$$

dove: P è il peso del veicolo

V è la velocità del veicolo in m/s

g è l'accelerazione di gravità.

La forza centrifuga

- agendo sul veicolo ne facilita lo svio per sormonto della rotaia esterna da parte del bordino
- trasmessa al binario lo sollecita trasversalmente cimentando la capacità di ancoraggio della massicciata
- agendo sulla rotaia esterna è causa del consumo del fianco del fungo e provoca sollecitazioni a trazione sulle sue caviglie interne
- agendo sui passeggeri ne limita il comfort di viaggio



La sopraelevazione

E' necessario imporre un tetto alla forza centrifuga fissando un limite all'**accelerazione centrifuga** che vale:

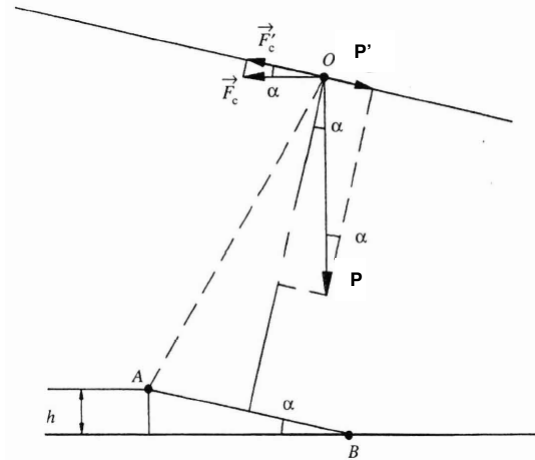
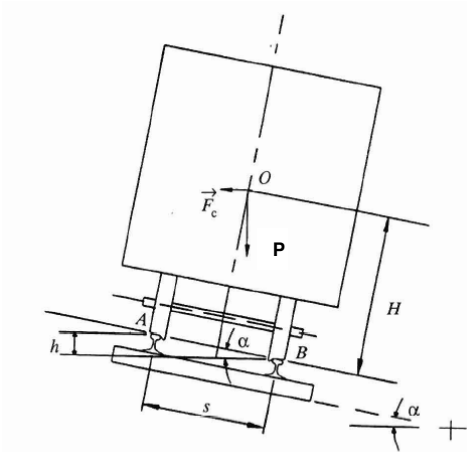
- $a_c = 0,6 \text{ m/s}^2$ per i treni “pesanti” (merci e viaggiatori composti da materiale ordinario)
- $a_c = 0,8 \text{ m/s}^2$ per i treni viaggiatori composti da materiale “leggero” (ALe)
- $a_c = 1,8 \text{ m/s}^2$ per i treni ad assetto variabile (ETR 470, ETR 600)

In assenza di sopraelevazione, porre un tetto all'accelerazione centrifuga equivale:

1. a limitare la velocità secondo l'equazione $V = 3,6 (a_c \cdot R)^{1/2}$ [km/h] ovvero
2. ad aumentare il raggio di curvatura irrigidendo il tracciato.

In alternativa occorre conferire al binario un assetto normale alla risultante della **forza centrifuga** e del peso introducendo sul binario stesso una **sopraelevazione h** della rotaia esterna rispetto a quella interna.

La sopraelevazione e l'accelerazione non compensata



La max sopraelevazione ammissibile è $h = 160 \text{ mm}$ per cui $\alpha(\text{max}) = \arcsin(h/s) = \arcsin(160/1500) = 6^\circ$

Supponendo che il pavimento del veicolo si mantenga parallelo al piano del ferro, quindi inclinato di un angolo α rispetto all'orizzontale, i viaggiatori sono sottoposti alla **forza centrifuga non compensata** F_{nc} se la componente $F'_c >$ della componente P' :

$$F_{nc} = F'_c - P' = (mV^2)/R \cos \alpha - mg \sin \alpha$$

da cui, ponendo $\cos \alpha \cong 1$, si ricava che l'**accelerazione non compensata**

$$a_{nc} = F_{nc}/m = V^2/R - g \sin \alpha = V^2/R - g (h/s)$$

L'accelerazione non compensata nei veicoli ad assetto variabile

I ranghi di velocità A, B, C, P sono caratterizzati rispettivamente da $a_{nc} = 0,6 - 0,8 - 1,0 - 1,8 \text{ m/s}^2$ ai quali corrispondono le seguenti velocità limite (per $h=160 \text{ mm}$) ricavate dalle formule precedenti:

$$V(A) = 4,62 R^{1/2} \quad V(B) = 4,89 R^{1/2} \quad V(C) = 5,15 R^{1/2}$$

Per valori di $a_{nc} > 1$ il comfort per i passeggeri sarebbe non soddisfacente.

Grazie all'assetto variabile di cui sono dotati alcuni treni (ETR 450, 460, 470, 480, 600) si ha la possibilità di aumentare la velocità in curva rispetto ai veicoli normali poiché l'assetto variabile consente l'inclinazione di un ulteriore angolo β (oltre ad α) verso l'interno della curva in modo che il pavimento formi con l'orizzontale un angolo $(\alpha+\beta)$.

In questo caso i viaggiatori sono sottoposti alla accelerazione non compensata (ponendo uguali a 1 i cos di α e β):

$$a_{nc}^* = V^2/R - g \sin (\alpha+\beta) = V^2/R - g \sin \alpha - g \sin \beta = a_{nc} - \sin \beta$$

essendo a_{nc} l'accelerazione sopportata dal binario e dai carrelli.

Ad esempio, per $\beta=8^\circ$, pur accettando una a_{nc} dell'ordine di $1,8 \text{ m/s}^2$, la a_{nc}^* è contenuta entro $0,5 \text{ m/s}^2$.

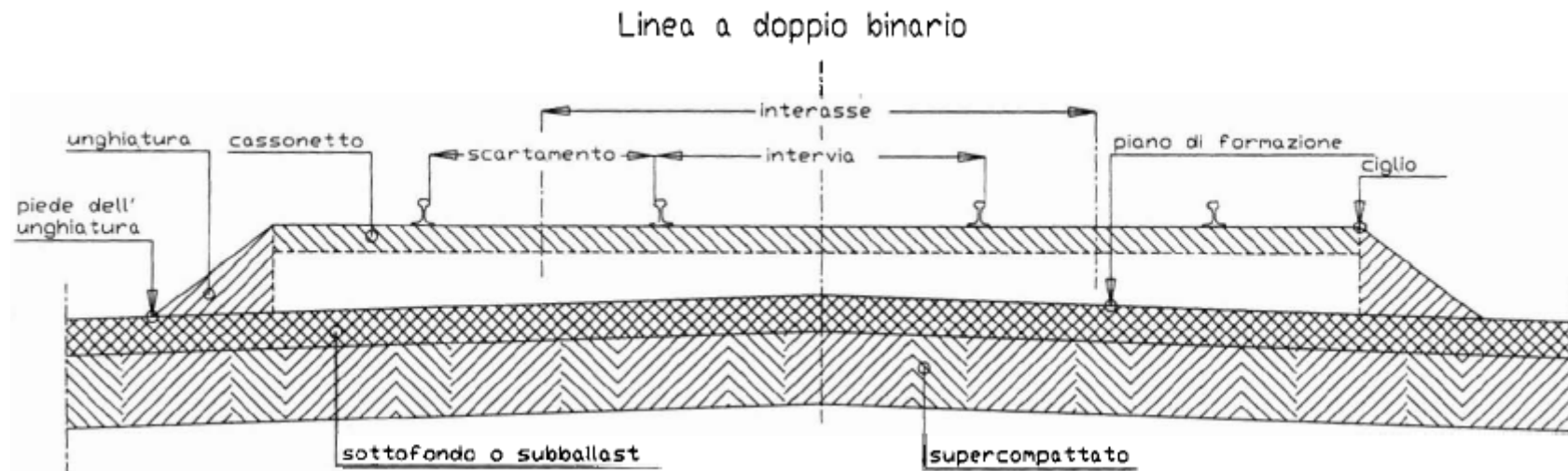


L'infrastruttura ferroviaria



La sovrastruttura ferroviaria

La **sovrastruttura ferroviaria** è definita come l'insieme degli elementi appoggiati sulla superficie confinante il corpo stradale che, contemporaneamente, realizza il piano di rotolamento del veicolo ferroviario (**piano del ferro**) e gli permette di mantenere la corretta traiettoria assolvendo alla funzione di guida dello stesso.



La sovrastruttura ferroviaria

Gli elementi costitutivi della **sovrastruttura ferroviaria** sono:

- **Corpo stradale**
- **Subballast**
- **Massicciata**
- **Traverse**
- **Rotaia**
- **Organi di attacco**



La massicciata

E' la parte della sovrastruttura ferroviaria costituita da elementi di roccia frantumata (pietrisco) che assicura la geometria e la stabilità del binario in essa annegato.

Essa:

- distribuisce i carichi verticali sul corpo stradale
- assicura al binario le condizioni geometriche di progetto ad esso conferite in fase di costruzione o quelle realizzate durante le periodiche operazioni di manutenzione;
- assorbe gli sforzi indotti nel binario dalle variazioni di temperatura ovvero di trazione e compressione nel caso delle lunghe rotaie saldate
- costituisce drenaggio delle acque meteoriche
- conferisce al binario elasticità
- realizza un filtro tra il binario e l'ambiente nei confronti dei fenomeni vibrazionali.



Le traverse

Si definisce traversa l'elemento prismatico trasversale che collega le due rotaie in un binario.

Le traverse svolgono:

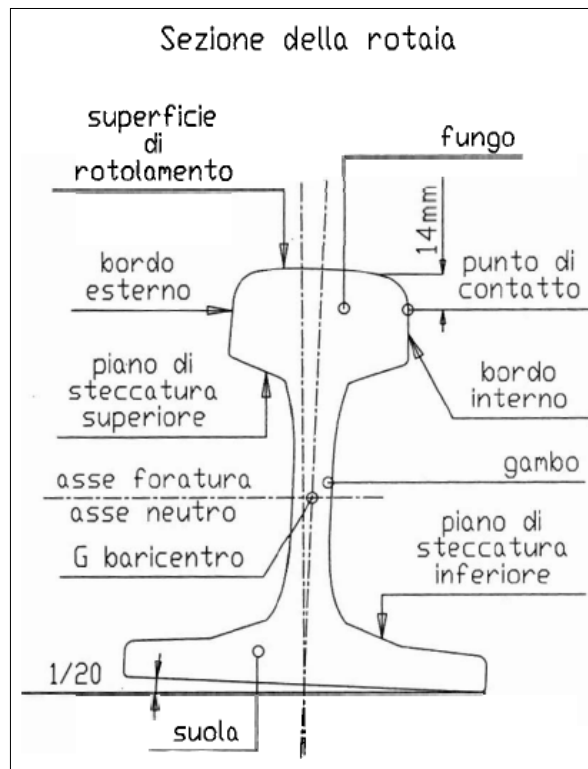
1. la funzione di ripartire sulla massicciata le sollecitazioni indotte dalla circolazione;
2. la funzione di ancoraggio del telaio del binario alla massicciata in presenza delle azioni indotte dalle variazioni di temperatura e dalle accelerazioni e decelerazioni dei convogli.

Sono realizzate in legno (oggi sempre più in disuso) ed in cemento armato precompresso.

La rotaia

La rotaia è un profilato in acciaio storicamente individuato dal suo peso per unità di lunghezza.

Sulla Rete FS troviamo rotaia del 46 (sempre meno), del 50 e del 60 (kg per metro lineare).



In figura la rotaia è stata disegnata in posizione corrispondente a quella di montaggio ossia con l'asse verticale inclinato di $1/20$ verso l'interno.

Le rotaie infatti vengono così collocate in opera per consentire il corretto accoppiamento con il profilo del cerchione delle due ruote con il risultato che si ottiene:

- in rettilineo, un effetto di richiamo dell'asse della sala montata verso l'asse del binario contrastando il moto di serpeggio del veicolo;
- in curva, un effetto differenziale in quanto le due ruote rotolano su circonferenze diverse, maggiore quella della ruota esterna rispetto a quella dell'interna.

Gli organi di collegamento rotaia - traversa

Panorama degli attacchi

Colleg. rotaia/trav.	Posa	Deformabilita'	Traversa	Esempio
Diretto	Diretta	Rigido	Legno	
		Elastico	Legno	
	Indiretta	Rigido	Legno	
		Elastico	Legno	
Indiretto	Diretta	Rigido	-----	
		Elastico	c.a.p.	
	Indiretta	Rigido	Legno / c.a.p.	
		Elastico	c.a.p.	

Posa diretta: se la rotaia poggia direttamente sulla traversa.

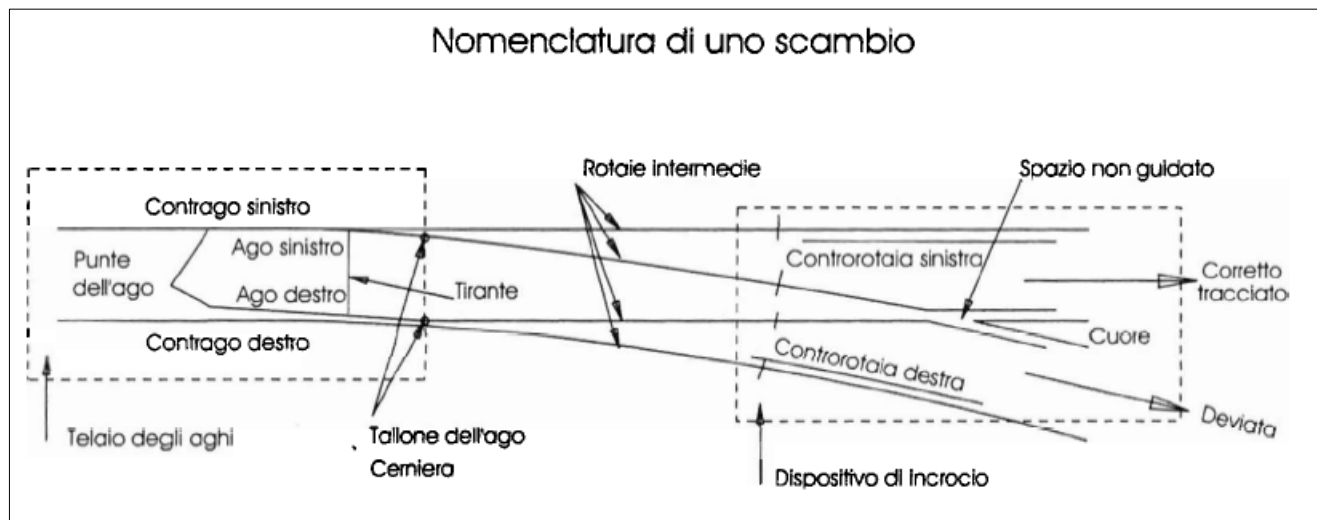
Posa indiretta: se tra rotaia e traversa è interposta una piastra d'acciaio allo scopo di diffondere meglio i carichi.

Gli apparecchi del binario

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

Sono classificati in:

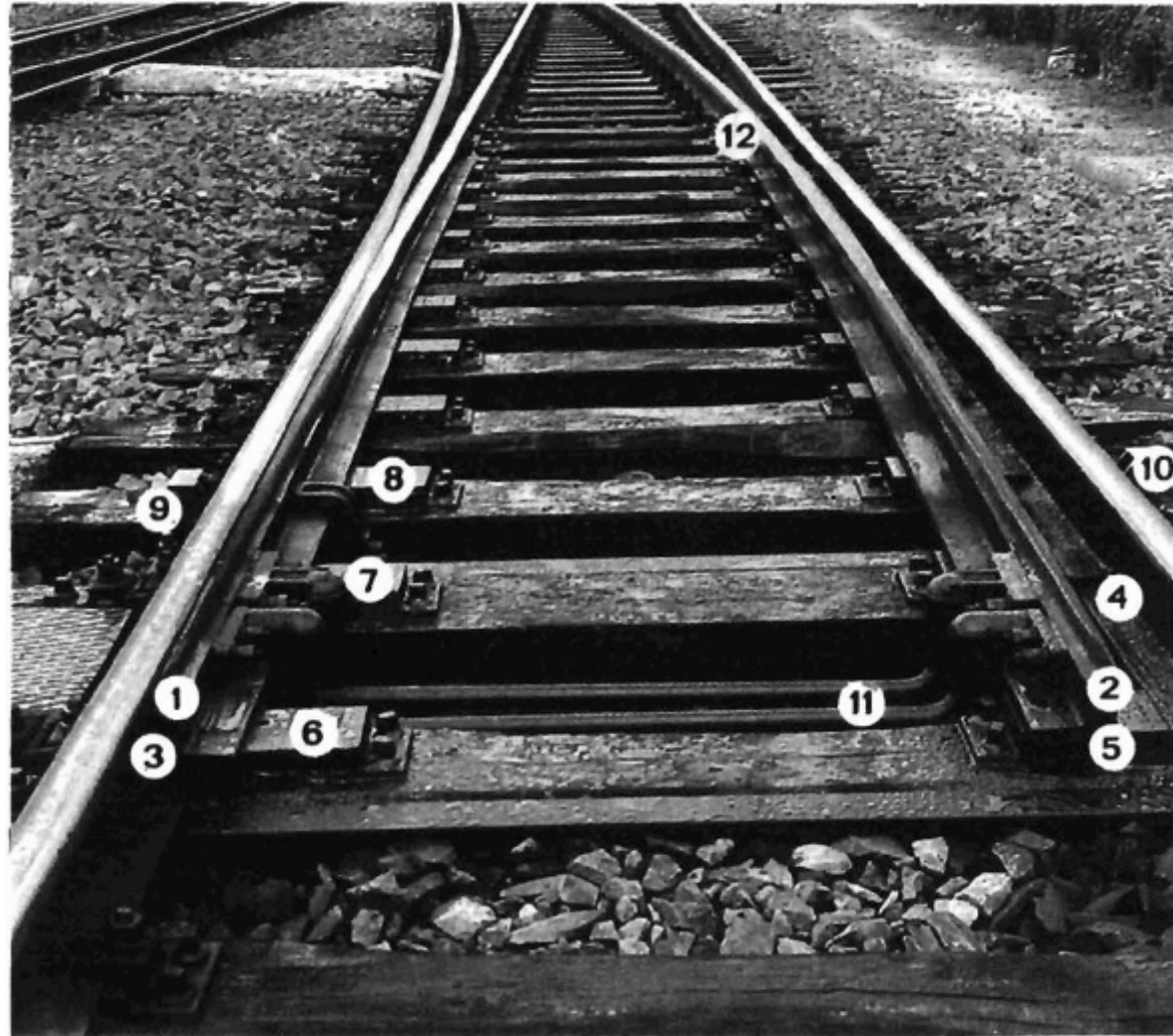
- **scambi o deviatori:** quando consentono il collegamento di due binari;
- **intersezioni:** quando consentono il semplice attraversamento di due binari intersecanti.



Sigla di uno scambio:

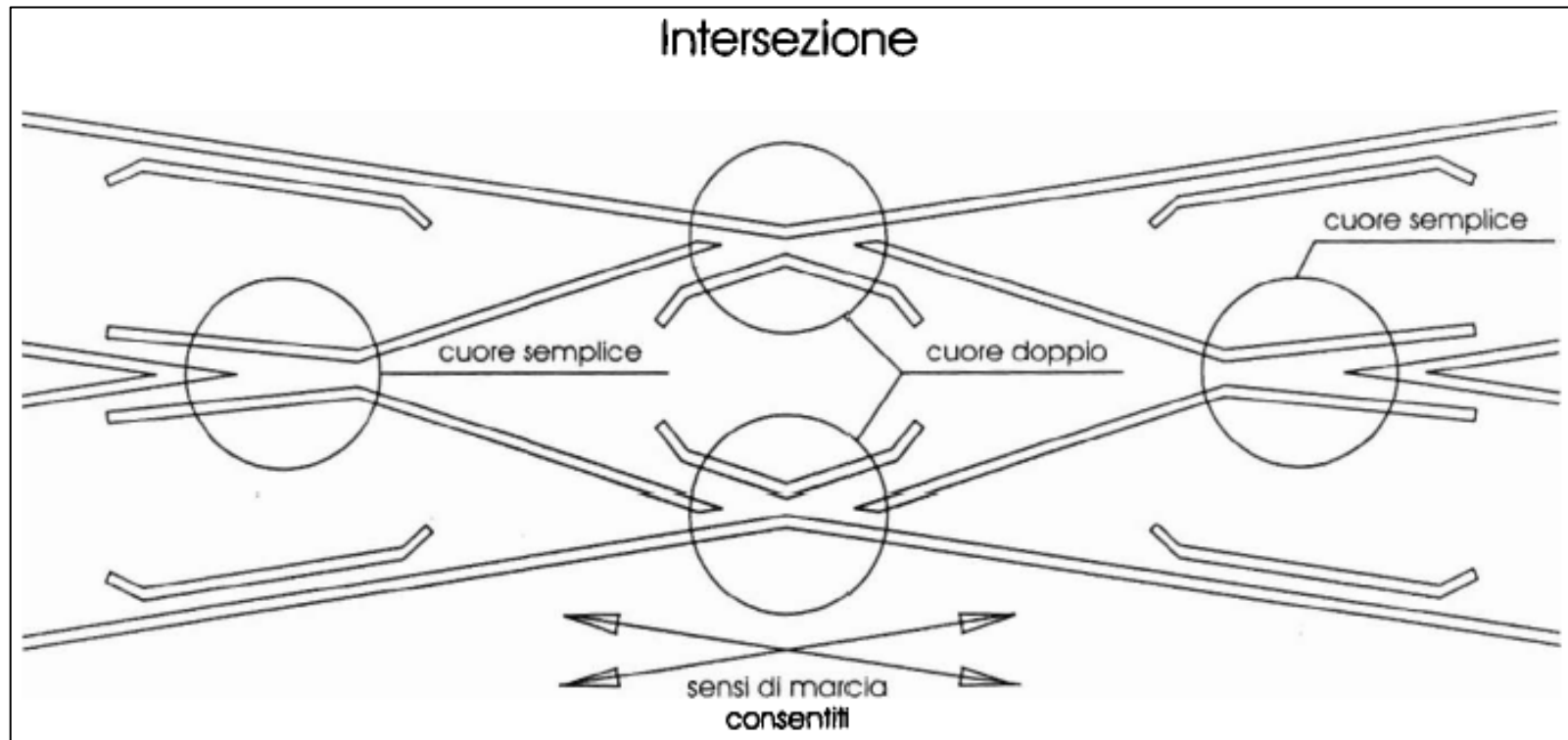
S 60/250/0,12 d

Gli apparecchi del binario: deviatoio semplice



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

Gli apparecchi del binario: intersezione



Gli apparecchi del binario: deviatori – semplice e simmetrico

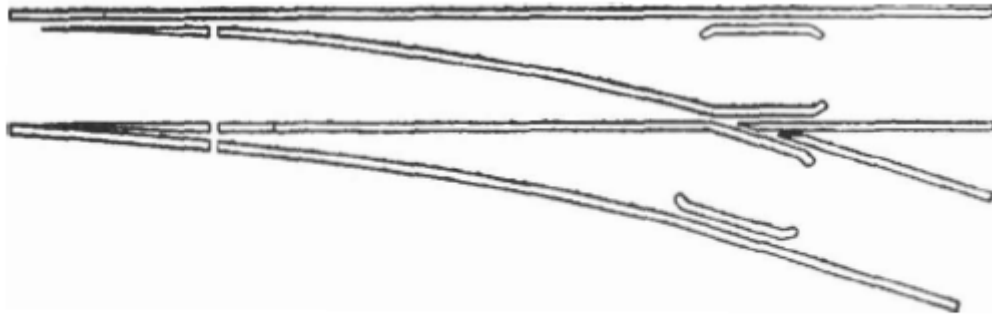


Fig. 1. - Deviatoio semplice con ramo deviato a destra.

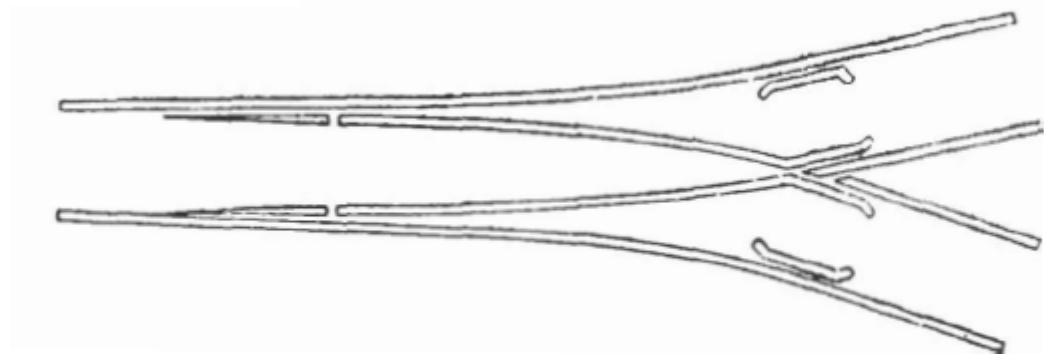


Fig. 2. - Deviatoio simmetrico.

Gli apparecchi del binario: deviatoio inglese

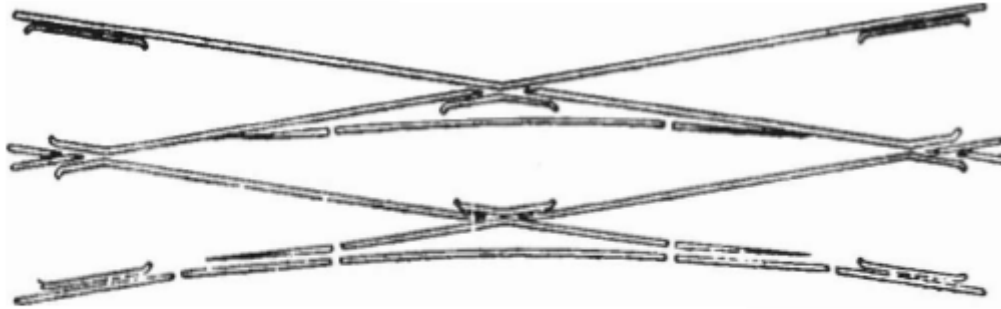


Fig. 5 - Deviatoio inglese semplice.

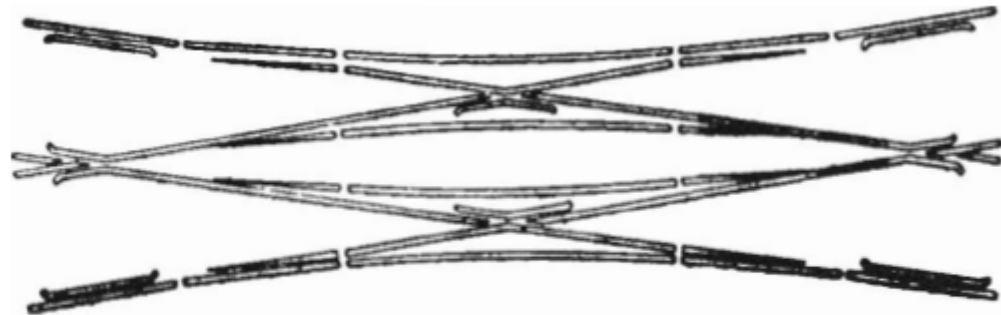


Fig. 6. - Deviatoio inglese doppio.