



UNIVERSITA' "MEDITERRANEA" DI REGGIO CALABRIA
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

CORSO DI INFRASTRUTTURE FERROVIARIE

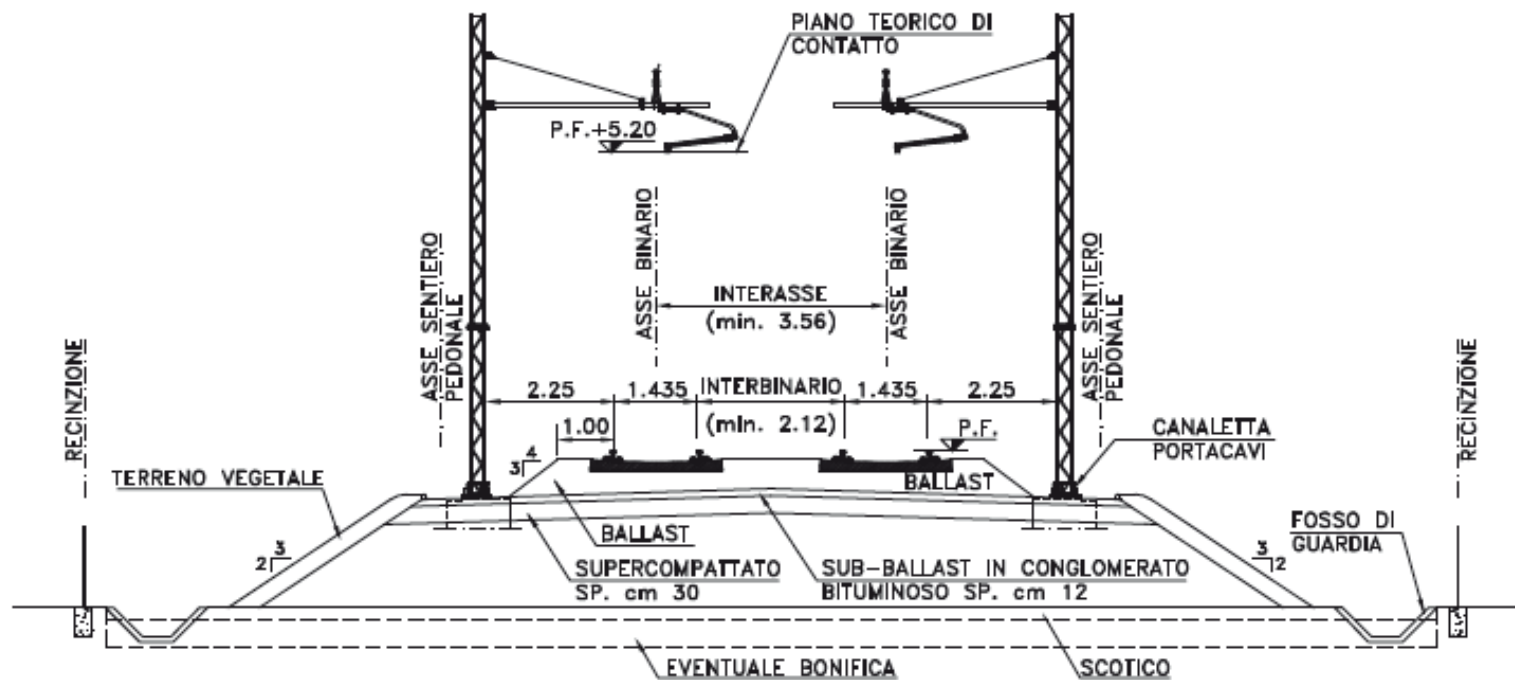
**LECTURE 02 - LA STRADA FERRATA: CORPO STRADALE E
SOVRASTRUTTURA FERROVIARIA**

Docente: Ing. Marinella Giunta

Prima di introdurre gli elementi teorici relativi alla progettazione delle linee ferroviarie e delle stazioni analizziamo i principali elementi che compongono la strada ferrata con particolare riferimento a:

CORPO STRADALE

SOVRASTRUTTURA FERROVIARIA



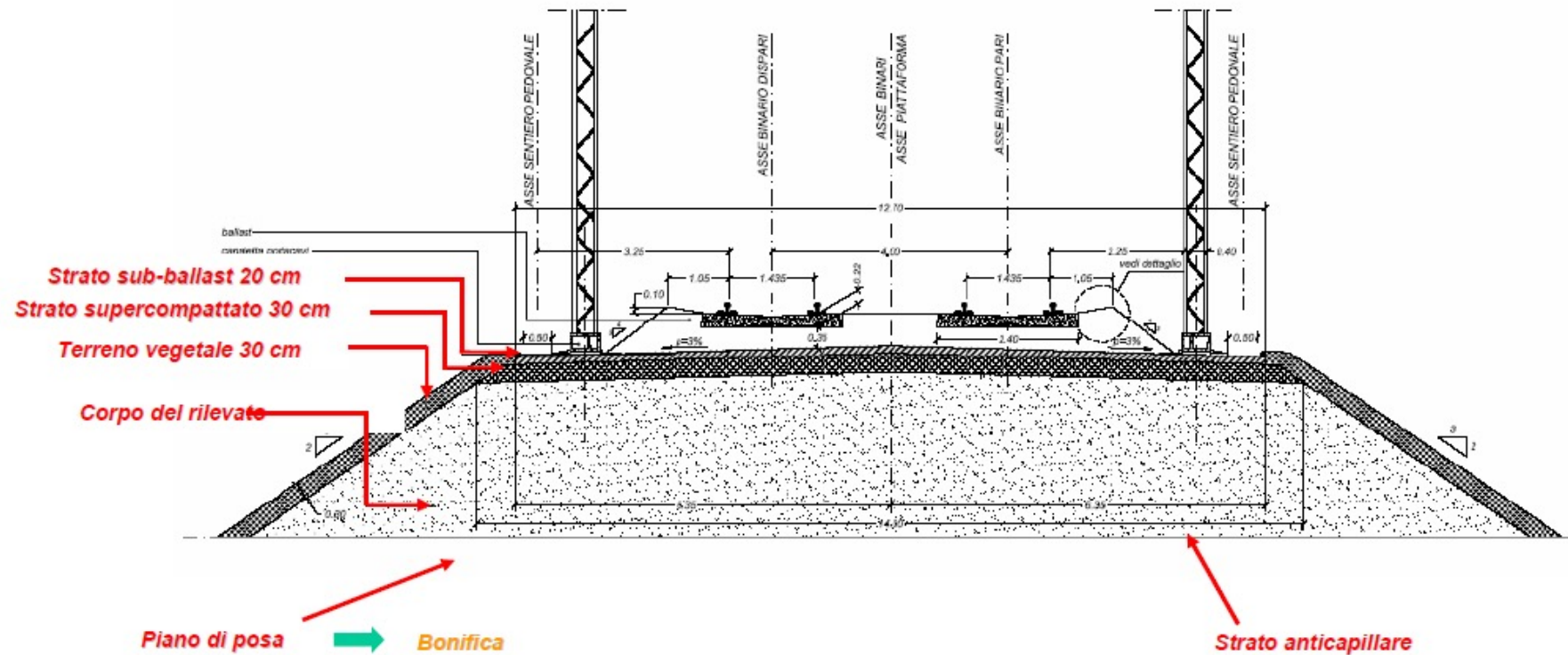
CORPO STRADALE

Per "corpo stradale" s'intende l'insieme delle opere in terra che predispongono la sede stradale (rilevati e trincee) di supporto alla sovrastruttura ferroviaria, le opere d'arte minori (muri, tombini, canalette idrauliche), le opere di protezione e di confine. La sede stradale si completa con le opere accessorie (sentieri pedonali, canalette portacavi).



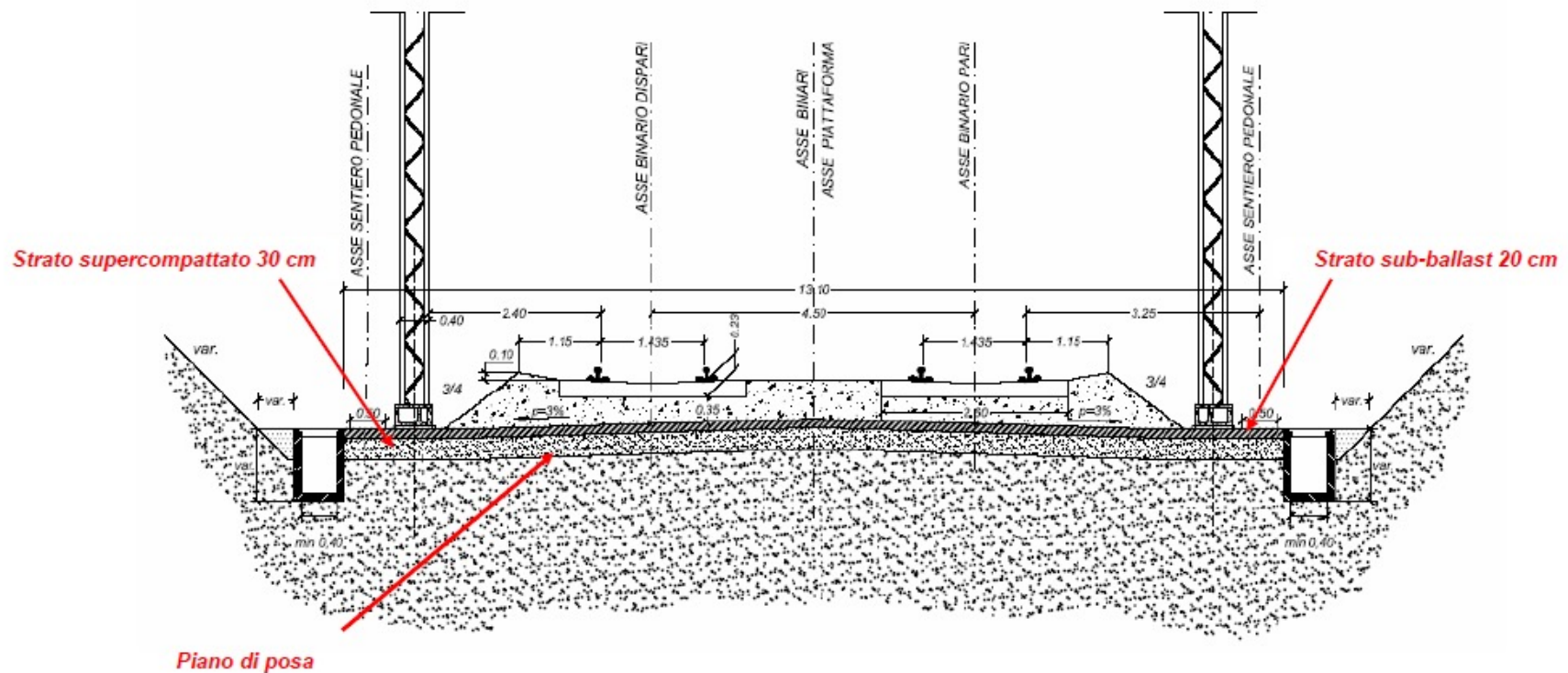
CORPO STRADALE

RILEVATO



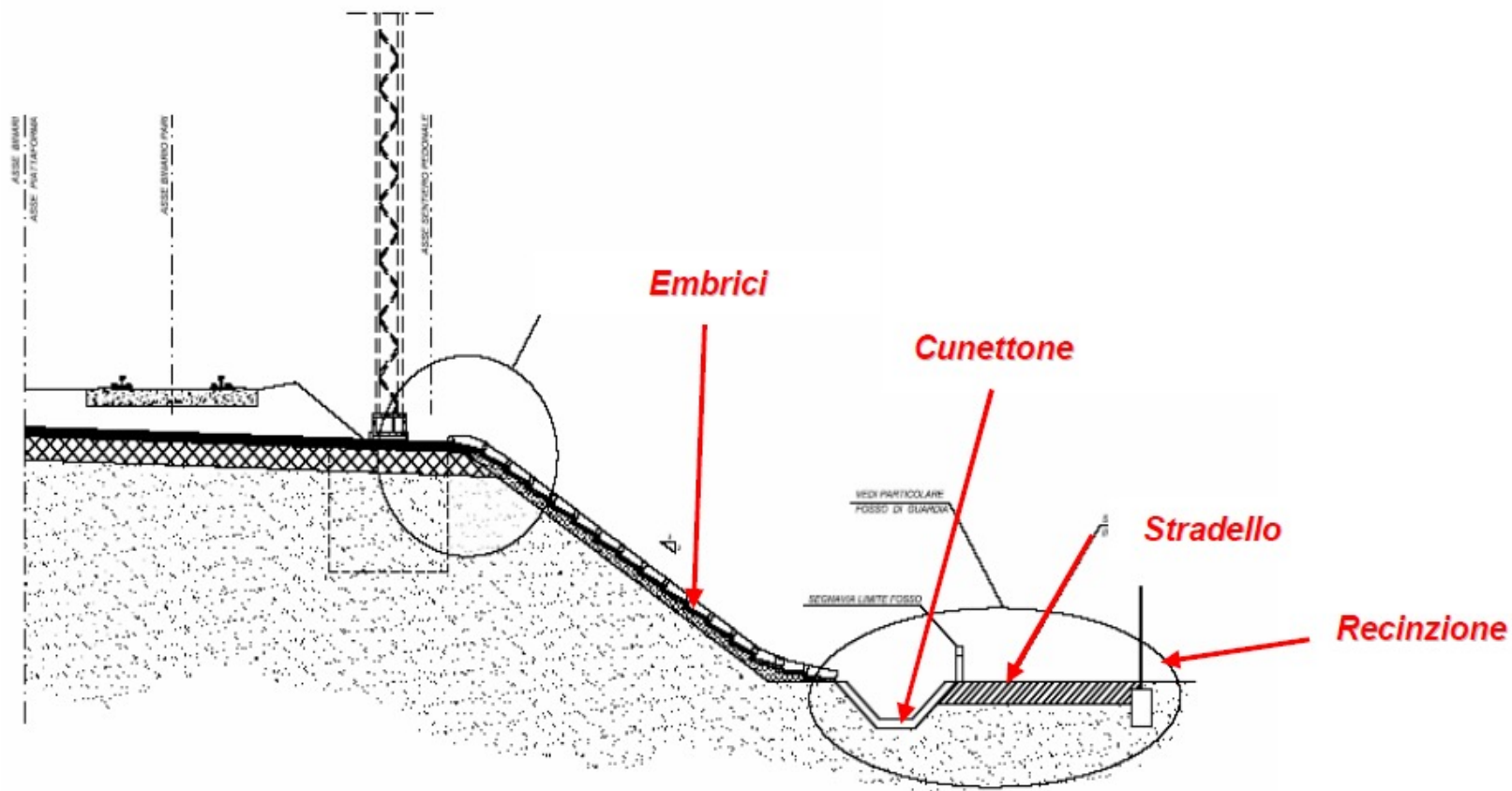
CORPO STRADALE

TRINCEA



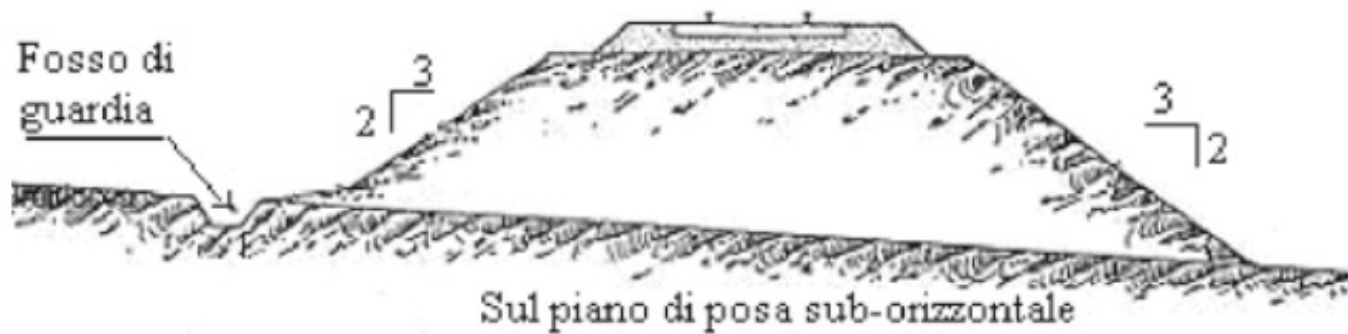
CORPO STRADALE


OPERE ACCESSORIE



CORPO DEL RILEVATO FERROVIARIO

Costruzione del corpo stradale





I rilevati, normalmente previsti con pendenza delle scarpate 2 su 3, devono essere eseguiti tenendo conto delle seguenti modalità costruttive:

□ le **terre impiegate** devono essere stese a strati di spessore adeguato ai mezzi di costipamento utilizzati e, comunque, non superiore a 50 cm per le terre dei gruppi A1 e A2-4 e non superiore a 30 cm per le terre dei gruppi A2-5, A2-6, A2-7, A3 e A4;


□ su ciascuna sezione trasversale, i **materiali impiegati per ciascuno strato** devono essere **dello stesso gruppo** e sottogruppo;

□ la superficie superiore degli **strati** deve avere la **pendenza trasversale 3,5%** e deve essere evitata la formazione di avvallamenti o solchi;



- ❑ le **terre devono essere inumidite** od essiccate mediante aerazione, fino ad ottenere l'umidità ottimale corrispondente alla densità massima rilevata dalle prove di costipamento;
- ❑ ogni strato deve essere costipato in modo da raggiungere, in ogni punto, **la densità secca pari al 95% della densità AASHO** modificata prima di porre in opera un altro strato;
- ❑ il valore del **modulo di deformazione** dovrà risultare non inferiore a 200 daN/cm² per le zone di rilevato a distanza inferiore ad un metro dai bordi degli strati stessi e di 400 daN/cm² per la restante zona centrale;
- ❑ in relazione alle caratteristiche dei terreni di base dei rilevati, è necessario programmare i lavori di costruzione dei rilevati stessi e gli eventuali provvedimenti di **bonifica o di acceleramento del consolidamento del terreno di posa**, in modo che possano essere ultimati in tempo utile a garantire che gli assestamenti residui (dopo la fine della costruzione) siano non superiori al 10% dei cedimenti teorici e comunque inferiori a 5 cm.



- 
- ❑ nel caso di rilevati di altezza superiore a 5-6 m devono essere eseguite **banchine** opportunamente dimensionate in larghezza (in genere 2 m);
 - ❑ sulle scarpate dei rilevati deve essere posato uno strato di **terreno vegetale** umifero dello spessore di 20-30 cm, da stendere a cordoli orizzontali opportunamente costipati.



Piattaforma ferroviaria - Super compattato

La realizzazione del rilevato ferroviario prevede la formazione di un ultimo **strato di terreno granulare di elevata portanza, fortemente addensato, avente un fuso granulometrico stabilito, così da sopportare agevolmente i carichi trasmessi dall'esercizio** e, allo stesso tempo, formare un **piano granulometricamente "chiuso"** in modo da permettere un facile deflusso delle acque d'infiltrazione.

Per la formazione di tale strato devono impiegarsi terreni appartenenti esclusivamente alle categorie A1, A2-4 e A3. In ogni punto la densità secca non deve essere inferiore al 98% della densità AASHO modificata ed il modulo di deformazione non deve essere inferiore a **800 daN/cm²**.

La superficie superiore dello strato deve avere una pendenza del 3,5%.



Subballast

Tra il ballast e la piattaforma del rilevato è opportuno prevedere uno strato detto di **subballast** con la funzione di:

- ripartire gradualmente i carichi;
- proteggere il corpo del rilevato dalle acque meteoriche di infiltrazione e dalle azioni prodotte dal gelo/disgelo;
- eliminare gli effetti di “rottura” del rilevato, provocati dall’azione penetrante degli elementi litoidi della massicciata ferroviaria;
- eliminare l’inquinamento della massicciata per risalita del materiale più sottile.

Il subballast può essere realizzato in:

- a) **misto cementato**, costituito da materiale calcareo tenero o frantumato additivato con cemento (in genere di spessore 20 cm);
- b) **conglomerato bituminoso** (in genere di spessore 12 cm).





Conglomerato bituminoso

PUNTI DI FORZA

- insensibilità al gelo;
- facile reperibilità di fornitura;
- facile posa in opera e rapidità di esecuzione che permette la stesa giornaliera di grandi tratte;
- transito dei mezzi di cantiere a breve tempo dalla formazione della stesa;
- adattabilità (anche su superfici non perfettamente uniformi) ad eventuali cedimenti del sottofondo senza subire fessurazioni, conservando la capacità di distribuire i carichi;
- buona impermeabilità.

PUNTI DI DEBOLEZZA

- instabilità alle alte temperature;
- scarsa durabilità nel tempo derivante dalla sua costituzione chimica.





Misto cementato

PUNTI DI FORZA

- basso costo degli elementi costituenti la miscela;
- mantiene inalterate nel tempo le sue caratteristiche di resistenza, probabilmente anche migliorandole, per gli effetti dovuti alla dissoluzione e cementazione naturale degli elementi carbonatici.

PUNTI DI DEBOLEZZA

- elevata sensibilità agli effetti del gelo.



Trincea

Le trincee vengono scavate per realizzare il binario sotto il "piano campagna". Il raccordo con il naturale profilo del terreno avviene tramite le "scarpate" la cui pendenza dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno.

Per diminuire la sezione di scavo, spesso si prevede l'esecuzione di "muri di controripa".

Per assicurare il drenaggio delle acque di pioggia, si prevede un fosso di guardia in corrispondenza del "ciglio" di monte della scarpata e due cunette laterali ai lati della piattaforma.

Anche per le trincee, la zona portante la sovrastruttura ferroviaria è rappresentata dallo strato supercompattato e dal subballast. Questi strati hanno le stesse caratteristiche di quelli impiegati nei rilevati ferroviari.

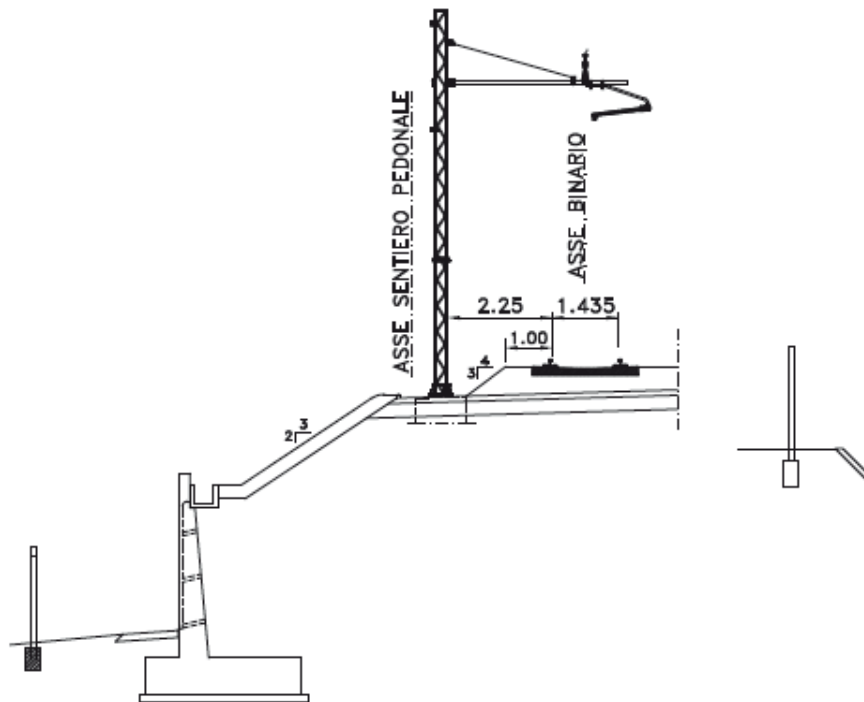
Lo strato fortemente compattato è posto direttamente sugli strati di fondazione della trincea, a loro volta posti sui terreni del sito eventualmente stabilizzati con trattamenti specifici.



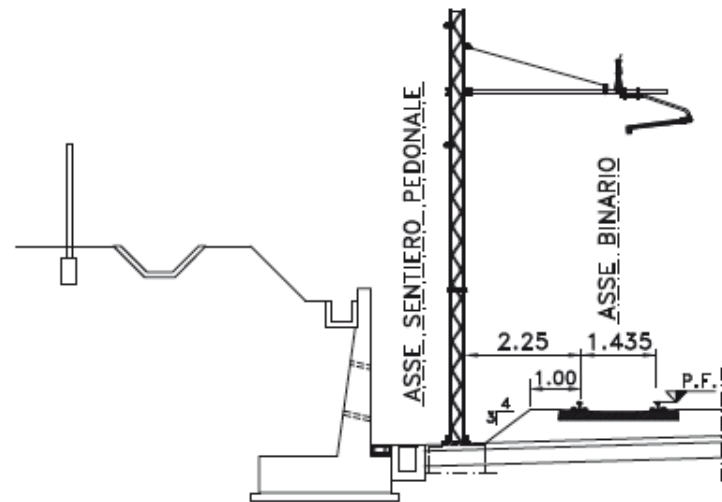
Opere d'arte minori

Per opere d'arte minori si intendono principalmente:

- muri di sostegno, di controripa e sottoscarpa;
- ponticelli o tombini (con luce inferiore a 5 metri).



MURO DI SOTTOSCARPA

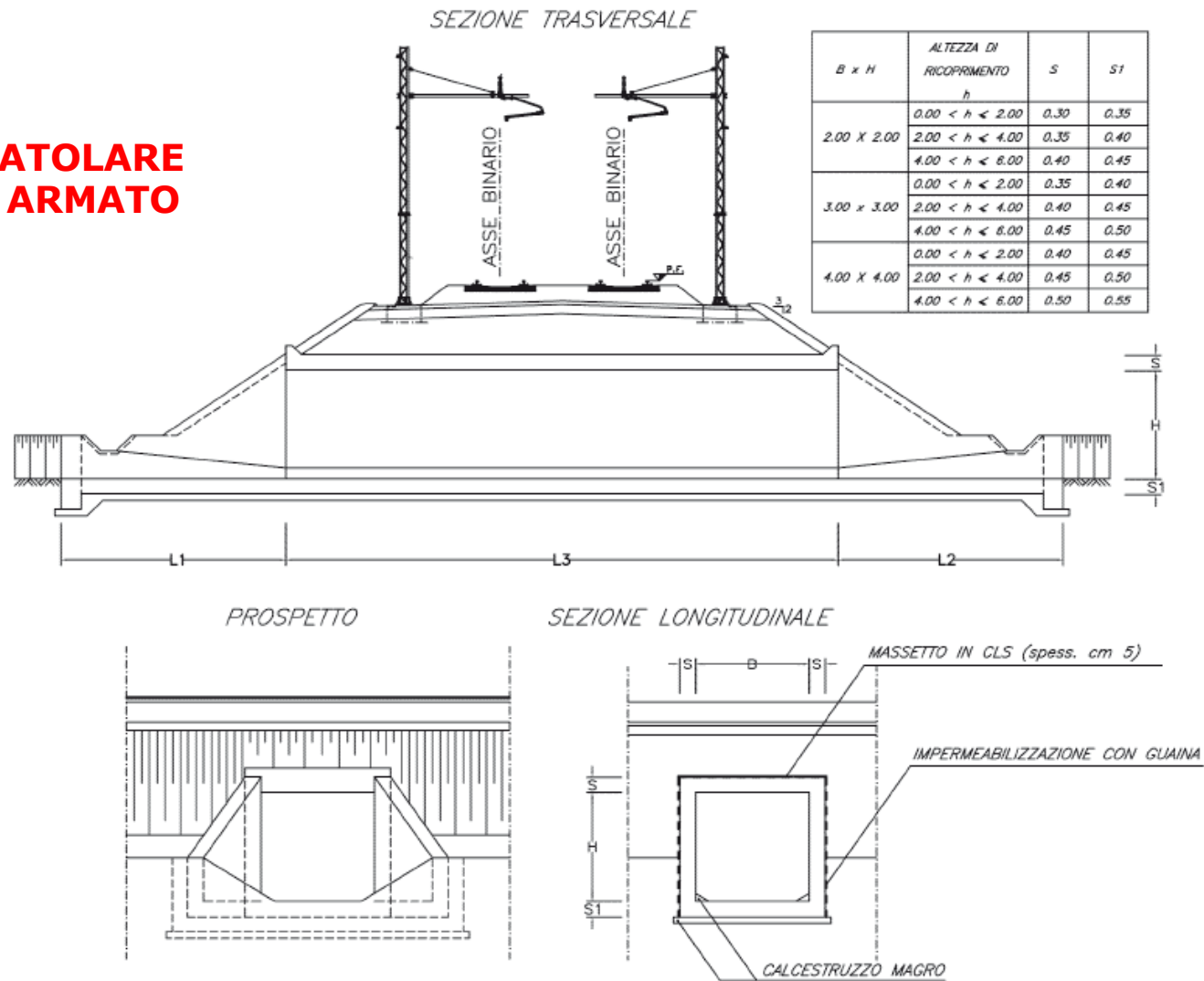


MURO DI CONTRORIPA



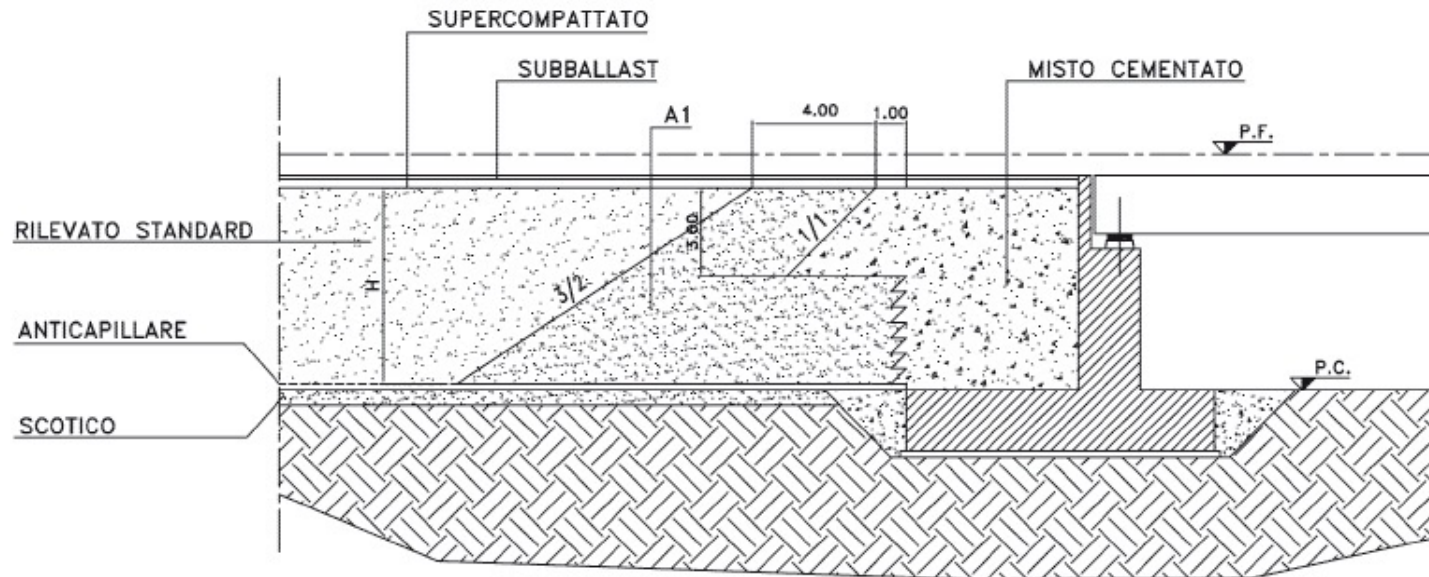
Opere d'arte minori

TOMBINO SCATOLARE IN CEMENTO ARMATO



Opere d'arte minori

BLOCCO TECNICO TRA RILEVATO E VIADOTTO



*In prossimità delle opere d'arte si prevede una zona di transizione opportunamente realizzata, detta "**blocco tecnico**". Il blocco termico deve garantire una continua e graduale variazione di rigidità del sottofondo, dal rilevato all'opera d'arte, "diluendo" così gli inevitabili cedimenti differenziali.*





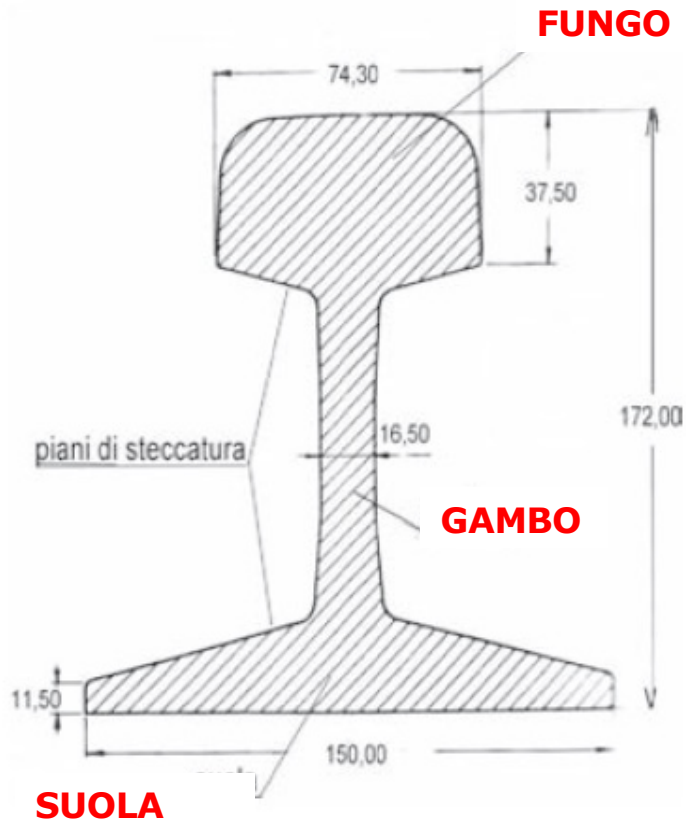
SOVRASTRUTTURA FERROVIARIA

La sovrastruttura ferroviaria (o piattaforma ferroviaria) è costituita dal cosiddetto armamento composto da:

- Rotaie
- Traverse
- Attacchi
- Strati di supporto ballast ed eventuale subballast.



Rotaia



La rotaia è un profilato di acciaio a sostegno e guida dei veicoli ferroviari.

La sezione delle rotaie è derivata dalla sezione a doppio T che, a parità di area, presenta il maggior momento resistente. La moderna rotaia è costituita:

- nella parte superiore da un ringrosso detto "**fungo**" che ha la funzione di sostegno e di guida del bordino della ruota;
- nella parte inferiore da una superficie piatta, denominata "**suola**", atta a ripartire gli sforzi sulle traverse;
- nella parte centrale da un setto denominato "**gambo**" sede delle forature per la giunzione delle rotaie.



Rotaia

La classificazione delle rotaie viene eseguita, storicamente, in base al loro peso (tra 46 e 60 kg) a metro lineare.

Inizialmente si producevano numerosi tipi di rotaia. Attualmente gli armamenti usati da FS sono da 50 (molto raramente) e 60 kg/ml (Armamenti 50 UNI e 60 UNI). Le varie lunghezze di rotaia sono: 12, 18, 24, 36, 48 metri.

Le rotaie vengono montate con un'inclinazione del loro asse verticale pari a $1/20$, che è la stessa della generatrice del cono del cerchione della ruota.

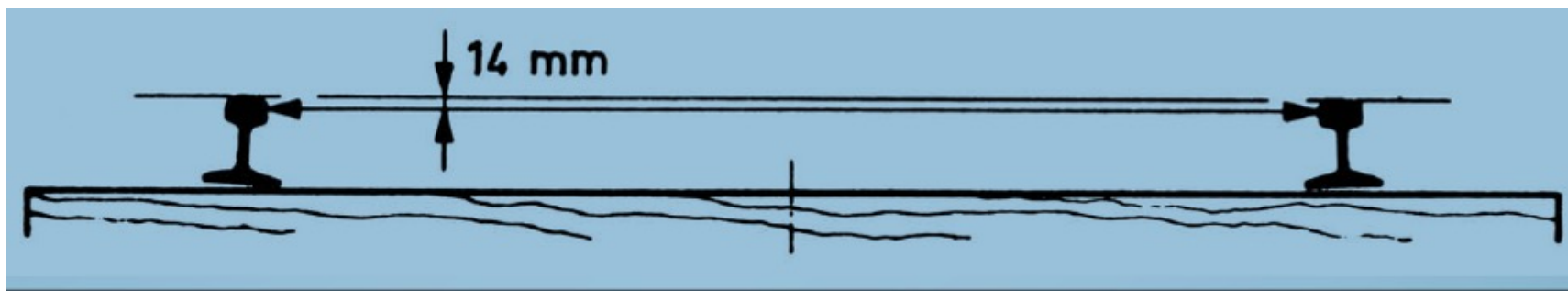
Per quanto riguarda la composizione chimica dell'acciaio vengono imposte basse percentuali (somma minore del 0,1%) di zolfo e fosforo in quanto questi elementi rendono fragili gli acciai.

La vita media delle rotaie è di circa 20 anni; dopo tale primo periodo di utilizzazione esse vengono "bonificate" ed utilizzate su linee secondarie per altri 20 anni. Usura particolare si ha nei tratti in curva per i quali sono studiati opportuni sistemi di lubrificazione.



Rotaia

Si definisce **scartamento** la misura della distanza intercorrente tra i bordi interni dei funghi delle due rotaie del binario misurato 14 mm al di sotto del piano di rotolamento. Lo scartamento normale è di **1,435 m**.



Solo in Spagna e in Portogallo è di 1,676 m, mentre nei paesi dell'ex URSS ed in Finlandia è di 1,524 m. Lo scartamento ridotto in Italia è di 0,95 m e viene usato solo per ferrovie secondarie, consentendo economie di costruzione, anche per il fatto di essere compatibile con curve di raggio ridotto. Il Giappone sta gradualmente passando da uno scartamento di 1,067m a 1,435 m (standard europeo).

L'interasse tra i due binari varia tra 3,555 m in ferrovie normali e 5 m per l'alta velocità in linea e 4 m in stazione.





Rotaia

MISURA DELLO SCARTAMENTO

Il mantenimento nel tempo del valore di scartamento assegnato ad una linea è una prerogativa fondamentale per la regolarità e sicurezza del moto dei convogli.

Pertanto periodicamente vengono effettuate operazioni di misurazione dello scartamento.

Le modalità di misurazione sono:

- a binario carico
- a binario scarico



Rotaia

MISURA DELLO SCARTAMENTO A BINARIO CARICO

La misura a binario carico è quella che si avvicina di più alle condizioni di esercizio.

Per la misurazione dei parametri dell'armamento sotto carico esistono diverse carrozze registratrici quali: AMSLER, MATISA PV7 e ARCHIMEDE, che effettuano le misurazioni in continuo e per tutta la lunghezza voluta. Il che consente di avere una visione complessiva dell'andamento dello scartamento di una linea. Occorre comunque acquistare una traccia.



TRENO ARCHIMEDE





Rotaia

MISURA DELLO SCARTAMENTO A BINARIO SCARICO

E' quella maggiormente usata anche se si discosta parecchio dalle condizioni di esercizio ed inoltre è una misura discontinua.

Si effettua per mezzo di attrezzature leggere portatili calibri e livelle o con carrellini che sono facilmente deragliabili al passaggio dei treni.

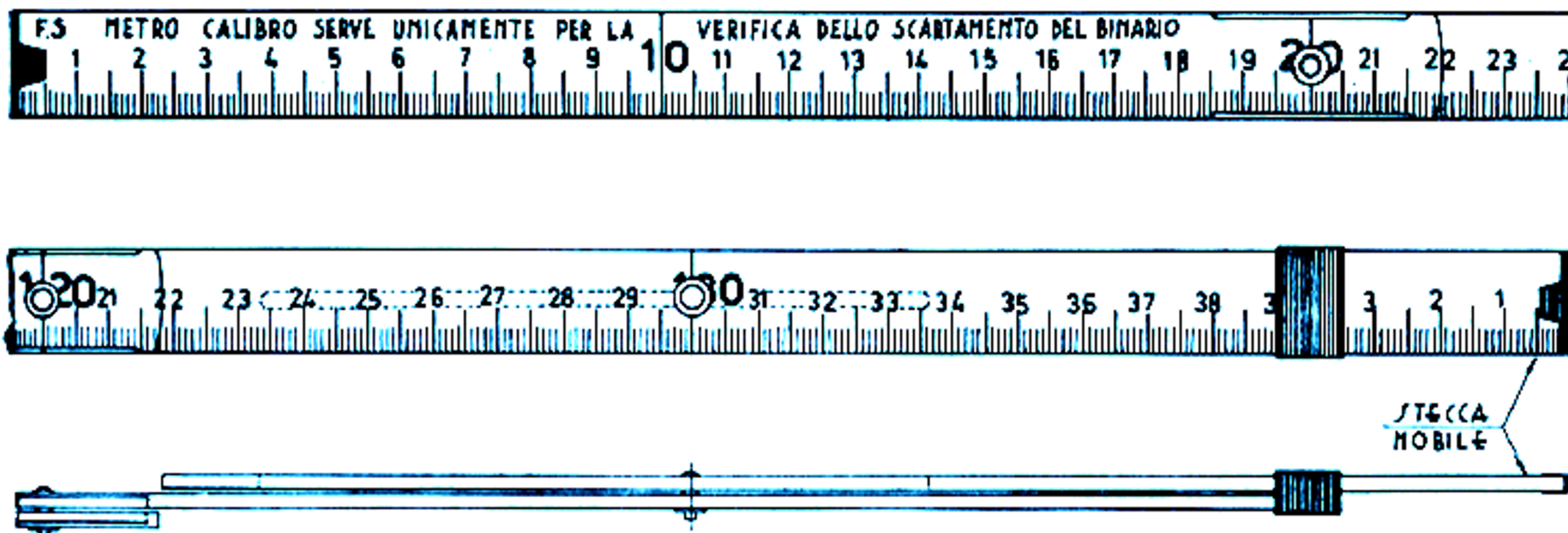
I calibri RFI normalmente in uso sono:

- il **metro calibro tascabile**, per controlli rapidi e saltuari;
- i **calibri a una o più misure fisse**, utilizzati nel caso di lavori di nuove costruzioni o di interventi di rinnovamento;
- i **calibri millimetrici** con dispositivi regolabili per misurazioni di binari in esercizio.



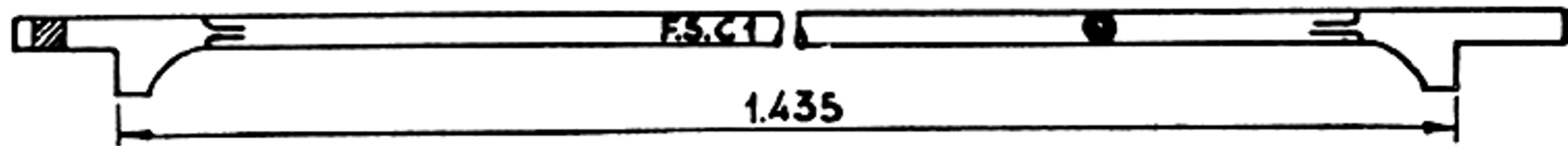
Rotaia

METRO CALIBRO

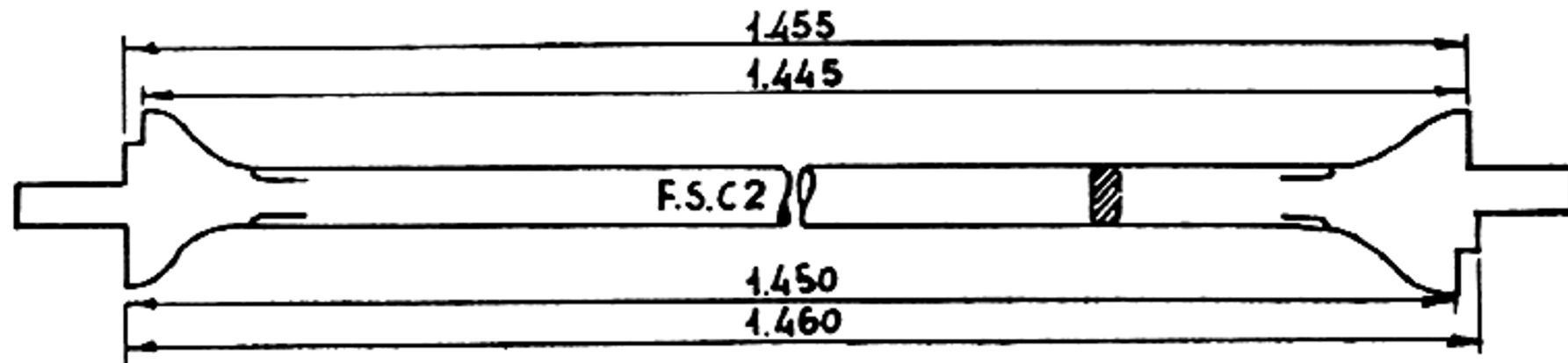


Rotaia

CALIBRO A UNA O PIU' MISURE FISSE



Calibro FS C 1

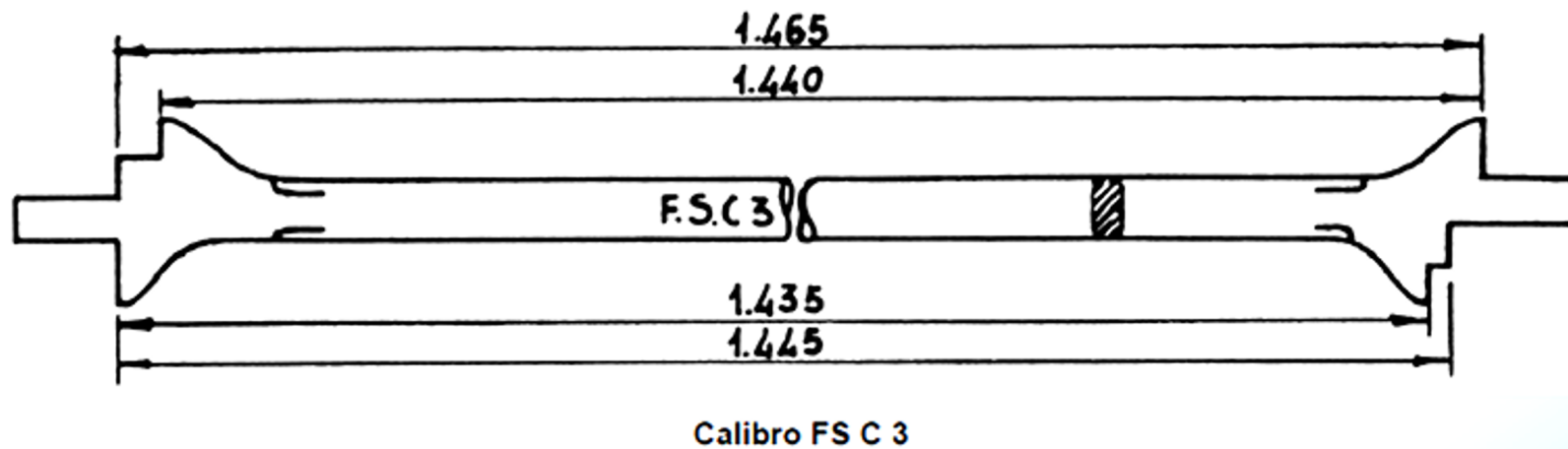


Calibro FS C 2



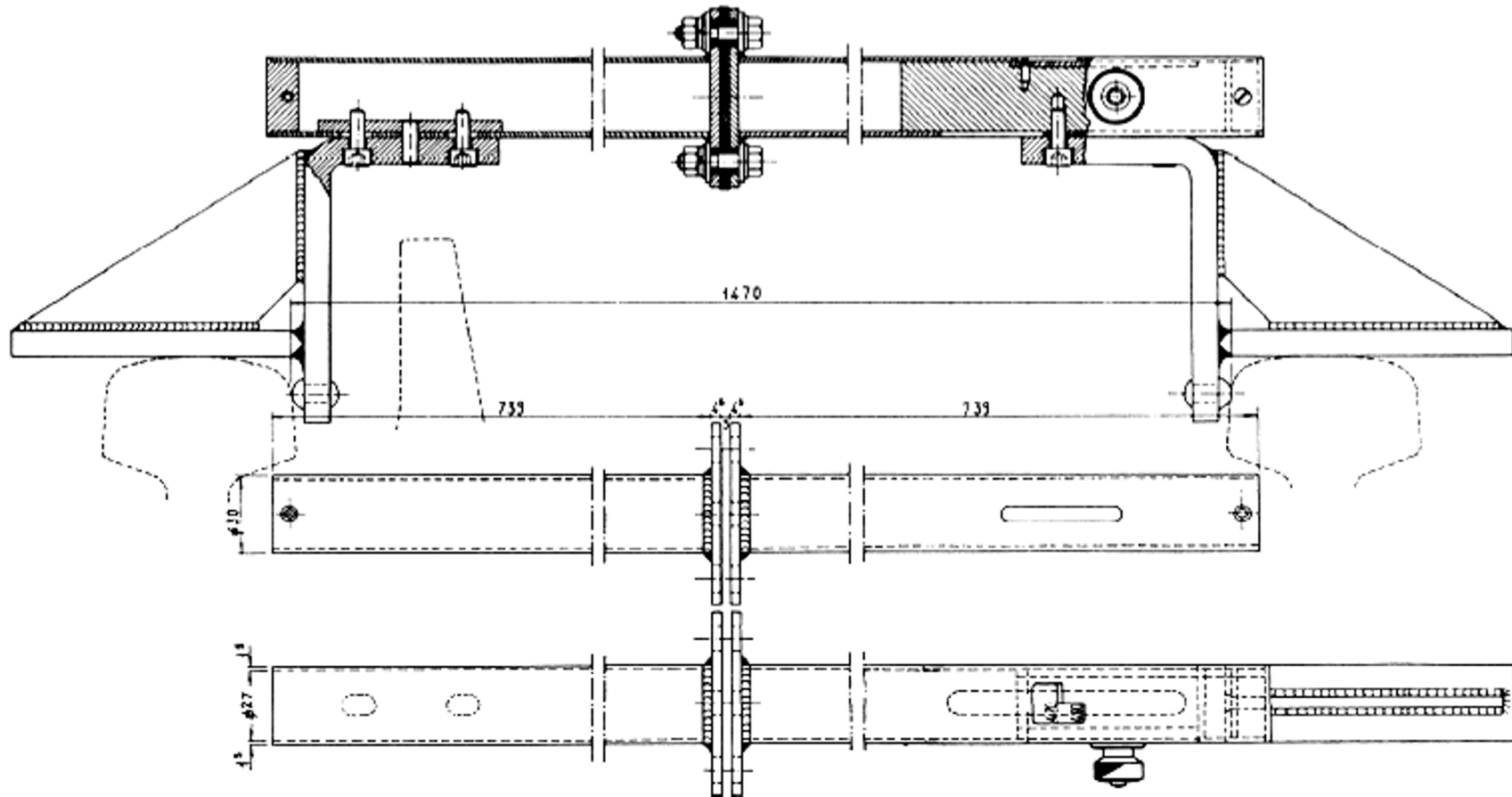
Rotaia

CALIBRO A UNA O PIU' MISURE FISSE



Rotaia

CALIBRO MILLIMETRICO



Calibro isolato tipo FS per la misura dello scartamento anche dei deviatori

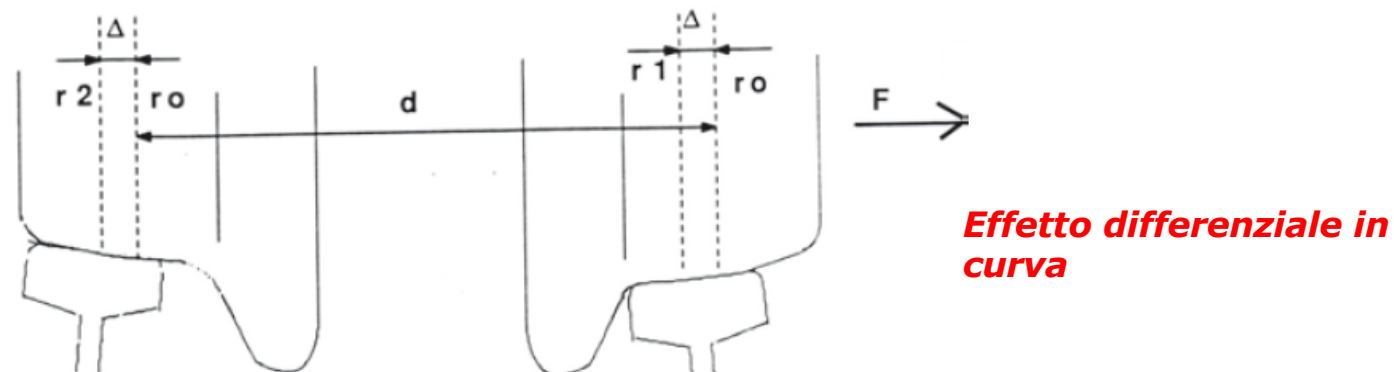


Interazione veicolo rotaia

Il contatto tra ruota e fungo è consentito dalla conicità dei cerchioni e dal profilo del fungo della rotaia. Il contatto **conico ruota-bordino** ha lo scopo di stabilizzare il veicolo in rettilineo contro fenomeni di serpeggiamento e di costituire una sorta di **differenziale in curva**.

Le due ruote sono rigidamente calettate sull'asse, formando un tutto unico chiamato "**sala montata**" e quindi sono prive di differenziale.

L'effetto differenziale si ha quando il raggio del cerchio di rotolamento della ruota esterna risulta essere maggiore di quello della ruota interna, innalzandosi il punto di contatto per effetto della traslazione verso l'esterno della "sala montata" ad opera della forza centrifuga non compensata.



Interazione veicolo rotaia

In rettilo

il raggio di rotolamento delle due ruote è uguale e pari a r_0

In curva

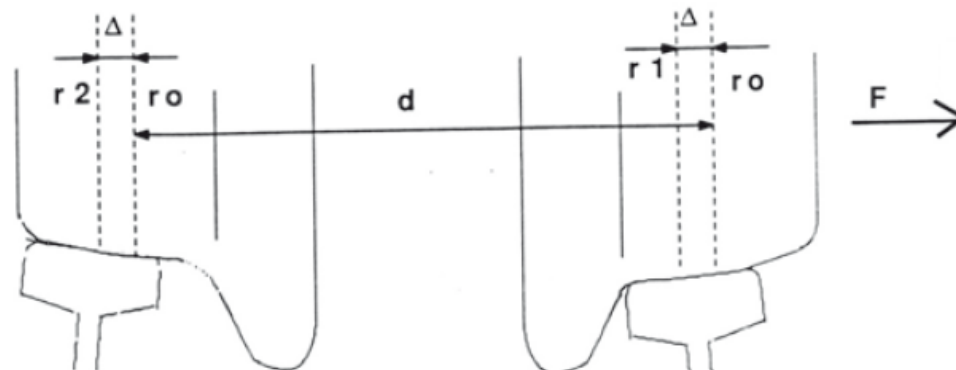
la ruota esterna ha un raggio di rotolamento

$$r_1 = r_0 + \Delta \operatorname{tg} \gamma$$

la ruota interna

$$r_2 = r_0 - \Delta \operatorname{tg} \gamma$$

Dove γ è l'inclinazione delle rotaie e Δ è il massimo spostamento trasversale che può subire la sala



Interazione veicolo rotaia

Se si indica **d** la distanza tra i cerchi di rotolamento delle due ruote in una qualsiasi curva di raggio **R** con deviazione angolare **α** i percorsi delle ruote dello stesso asse a parità di numero n° di giri eseguiti risulta

$$2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot n = (R+d) \cdot \alpha$$

$$2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot n = R \cdot \alpha$$

per cui il rapporto è:

$$r_1/r_2 = (R+d)/R$$

Esplicitando r_1 e r_2 in funzione di r_0 e risolvendo si ottiene:

$$R = [(r_0 - \Delta \text{tg} \gamma) d] / (2 \Delta \text{tg} \gamma)$$

Potendo trascurate $\Delta \text{tg} \gamma$ rispetto a r_0 si scrive:

$$R = r_0 d / (2 \Delta \text{tg} \gamma)$$

Per $\text{tg} \gamma = 0,05$ e $d = 1,50$ m si ottiene:



Interazione veicolo rotaia

per $\Delta=0,015$ m (rotaie e cerchioni nuovi) **$R=1000r_0$**

per $\Delta=0,030$ m (rotaie e cerchioni usati) **$R=500r_0$**

Ne deriva che, teoricamente, si ha un effetto differenziale senza scorrimento per curve di $R>800-1.000$ m con rotaie e cerchioni nuovi e per curve di $R>400-500$ m con rotaie e cerchioni usati.

Per ovviare, almeno parzialmente, agli inconvenienti provocati dallo scorrimento, per $R<275$ m si prevede un allargamento dello scartamento in curva, come indicato nella tabella successiva.

Poiché è necessario conservare l'andamento della rotaia esterna per la sua funzione di guida, l'allargamento viene eseguito solo sulla ruota interna aumentando lo scartamento di 1 mm/m lungo il raccordo parabolico di transizione.



Interazione veicolo rotaia

R (m)	Scartamento (mm)
275-250	1440
250-225	1445
225-200	1450
200-175	1455
175-150	1460
<150	1465

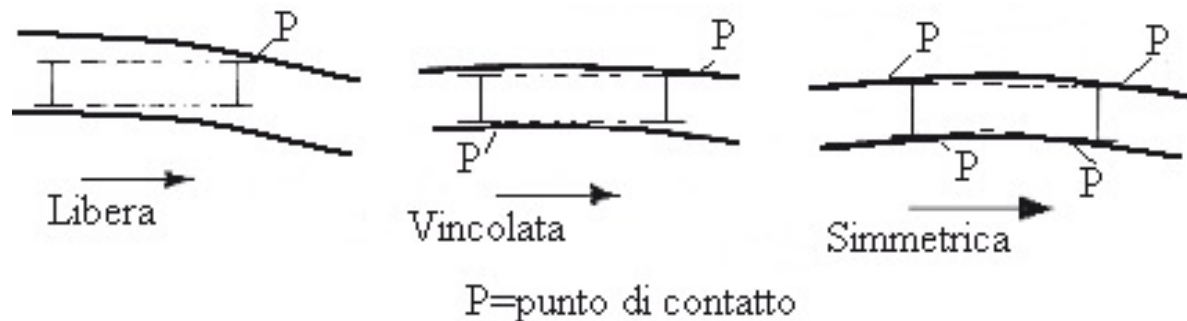
ALLARGAMENTO DELLO SCARTAMENTO IN CURVA



Inserzione in curva

Le principali differenze tra il cinematismo delle ruote ferroviarie e stradali sono:

- le ruote ferroviarie sono rigidamente collegate all'asse, per cui il movimento della ruota sinistra è identico al movimento di quella destra;
- in ferrovia non vi è possibilità (per ragioni di sicurezza), né necessità (essendo la funzione di guida affidata alle rotaie) della sterzata, come è invece necessario per le ruote anteriori sia della motrice che dell'eventuale rimorchio dei veicoli stradali. Di conseguenza, mentre gli assi delle ruote stradali in curva sono disposti radialmente, avendo tutti in comune il centro di rotazione della traiettoria planimetrica, in ferrovia gli assi delle ruote, sia in rettilineo che in curva, restano sostanzialmente paralleli tra loro creandosi, su curve di piccolo raggio, problemi di iscrizione in curva e aumento della resistenza all'avanzamento.

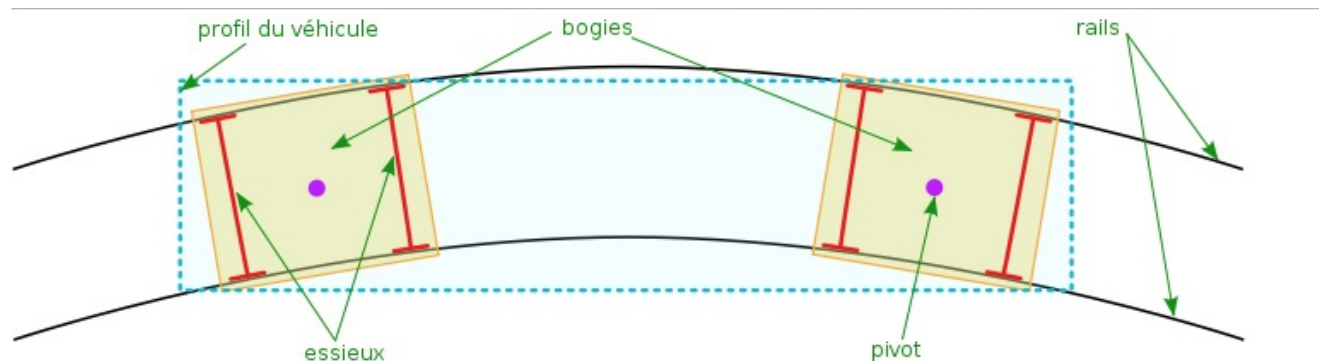


Inserzione in curva

Pertanto, per un veicolo di un certo passo l'iscrizione in curva può avvenire solo se il raggio di curvatura non scende sotto un certo limite (inserzione simmetrica vedi figura).

L'inserzione in curva determina anche un limite alla lunghezza dei veicoli ferroviari, imposta dal passo tra gli assi.

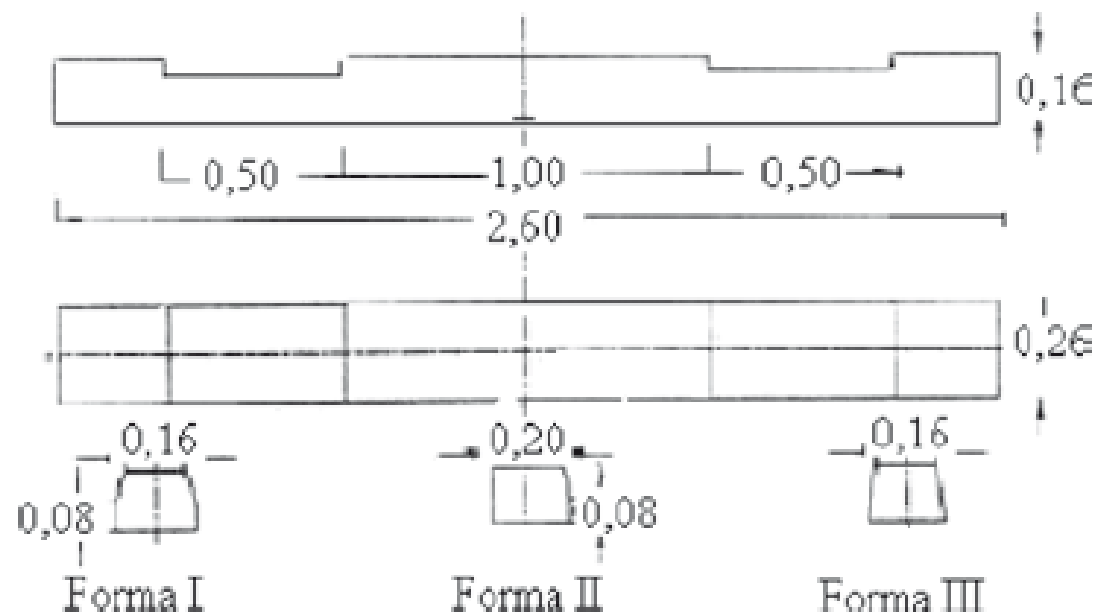
Tale limite è però stato superato con l'introduzione dei **veicoli a carrelli**, in cui due carrelli (ognuno costituito da due assi con passo massimo di 3-4 metri) sostengono, mediante un perno, un telaio sul quale è costruita la cassa del veicolo (una sorta di "bilico"). Si ottengono, in questo modo, sia veicoli adatti al trasporto di merci molto lunghe (rotaie, tubi), sia veicoli passeggeri ("elettrotreni").



Traverse

Le traverse hanno lo scopo di mantenere fisso lo scartamento e distribuire nel ballast lo sforzo trasmesso dalle rotaie. Per mezzo di esse si ha l'incastro dell'armamento nella massicciata. Nei moderni tipi di armamento, che non ammettono scorrimenti, le traverse hanno anche il compito di bloccare le dilatazioni termiche delle rotaie e gli scorrimenti per frenatura o avvio.

TRAVERSA IN LEGNO



In faggio, rovere o castagno erano iniettate con olio di catrame.

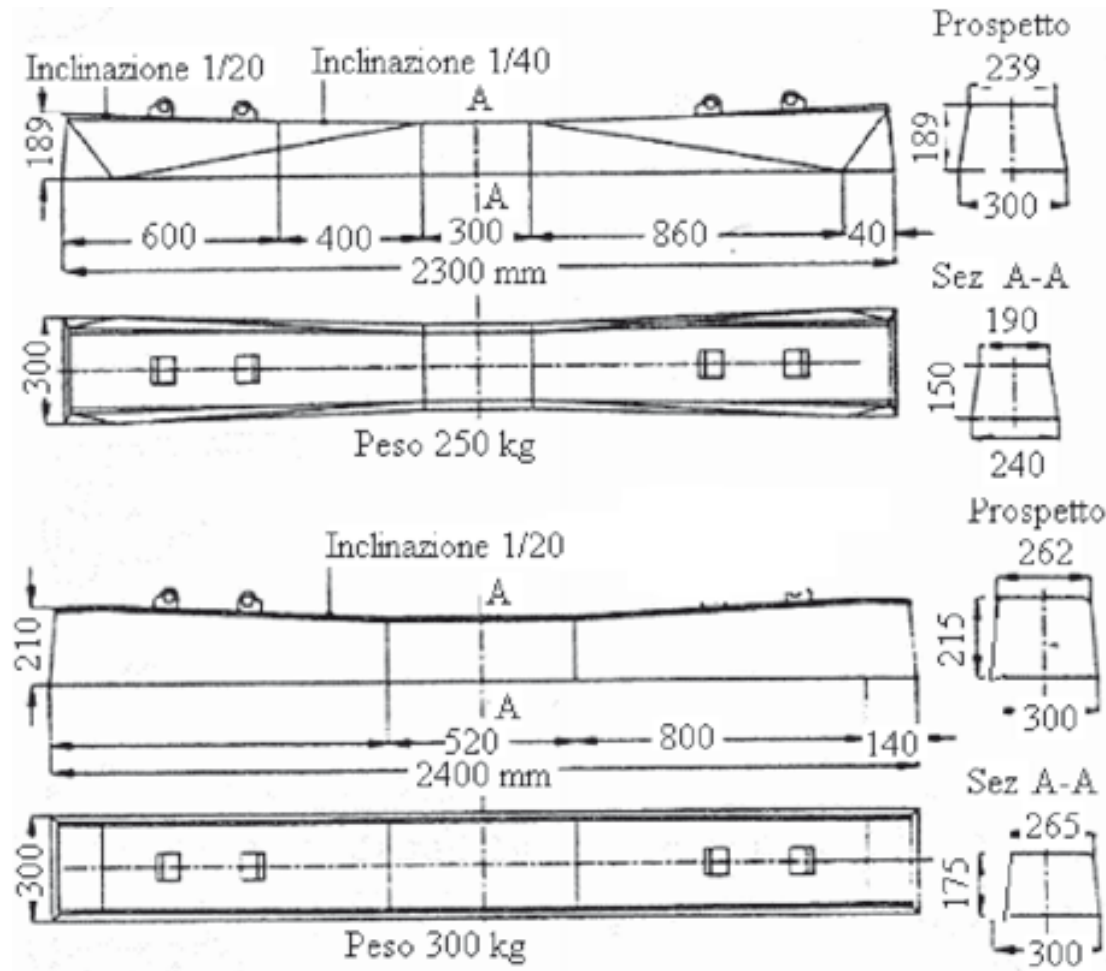
SVANTAGGI

- Costo
- problemi ambientali di smaltimento per il trattamento che subiscono con olio di catrame.



Traverse

TRAVERSA MONOBLOCCO IN CAP PER LINEE NORMALI



VANTAGGI

- maggiore peso che favorisce maggiore resistenza laterale
- maggiore stabilità;
- durabilità.

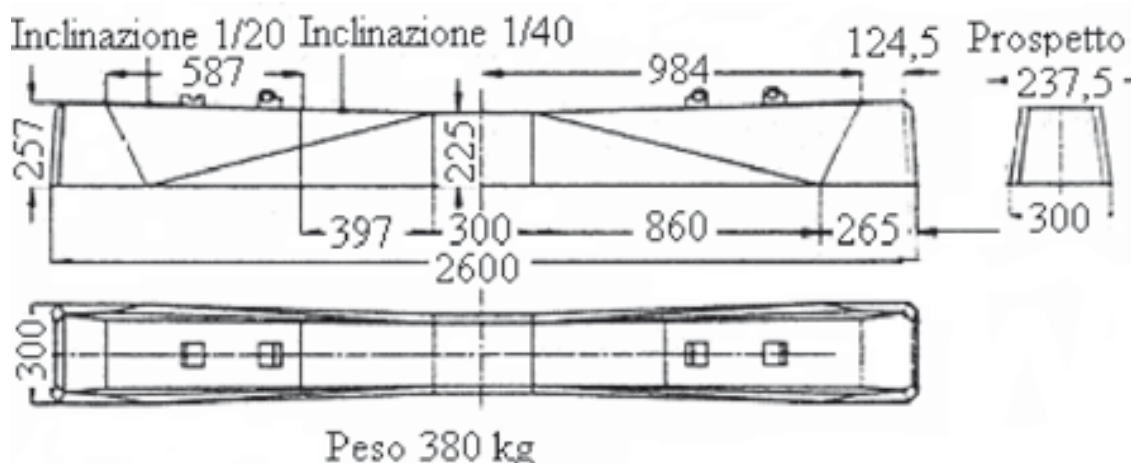
SVANTAGGI

- fragilità



Traverse

TRAVERSA MONOBLOCCO IN CAP PER ALTA VELOCITA'



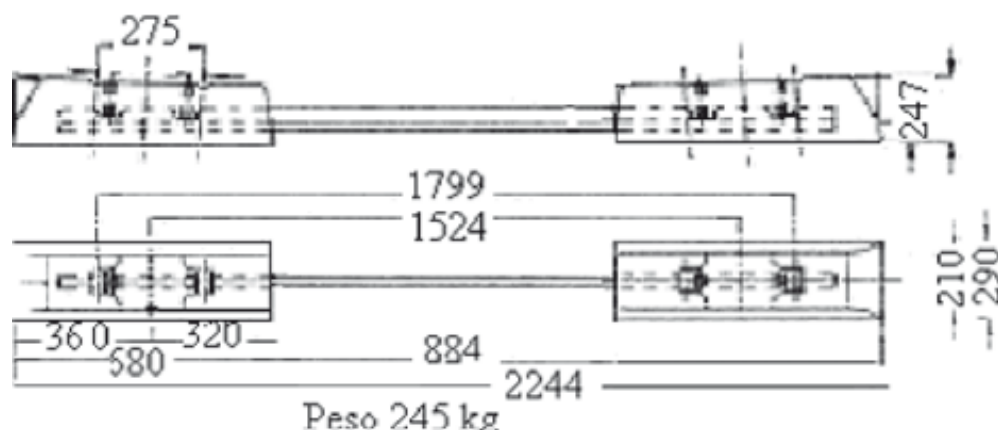
VANTAGGI

- Maggiore resistenza alle azioni orizzontali;

SVANTAGGI

- Minore resistenza flessionale
- Modifica dello scartamento
- Corrosione per effetto di correnti vaganti

TRAVERSA BIBLOCCO (AV francese)



Traverse

Modulo delle traverse

- Modulo $6/10 = 60$ cm (10 traverse ogni 6 m) per binari di corsa della rete fondamentale con velocità le più elevate, 18 t/asse per gli assi isolati e maggiori di 18 t per gli assi delle locomotive.
- Modulo $6/9 = 66,7$ cm (9 traverse ogni 6 m) per binari di corsa della rete complementare e binari di incrocio o precedenza della rete fondamentale con velocità meno elevate, 18 t/asse per gli assi isolati e maggiori di 18 t per gli assi delle locomotive.
- Modulo $6/8 = 75$ cm (8 traverse ogni 6 m) per binari di corsa della rete secondaria e di tutti gli altri binari armati con rotaie dei modelli pesanti usati con velocità ancora meno elevate, 16 t/asse per gli assi isolati.

Il modulo è sempre riferito a 6 metri perché è la lunghezza sottomultipla di tutte le varie lunghezze di rotaie: 12, 18, 24, 36, 48 metri.



Attacchi

Le rotaie vengono fissate alle traverse mediante attacchi che possono essere del tipo diretto o indiretto, a posa diretta o indiretta, rigidi o elastici

Con l'ATTACCO DIRETTO diretto la rotaia viene fissata direttamente alla traversa con **chiodi** (detti **arpioni**) o **caviglie** (**viti da legno** a testa quadra), garantisce anche il posizionamento della rotaia.

L'attacco indiretto ha sempre una piastra interposta collegata, tramite caviglie, alle traverse e, tramite bulloni, alle rotaie.

Gli attacchi indiretti consentono un migliore collegamento tra rotaia e traversa rispetto agli attacchi diretti e la separazione della funzione di collegamento traversa-rotaia da quella di posizionamento della rotaia.



Attacchi

ATTACCO RIGIDO DIRETTO



posa diretta



posa indiretta

ATTACCO RIGIDO INDIRETTO

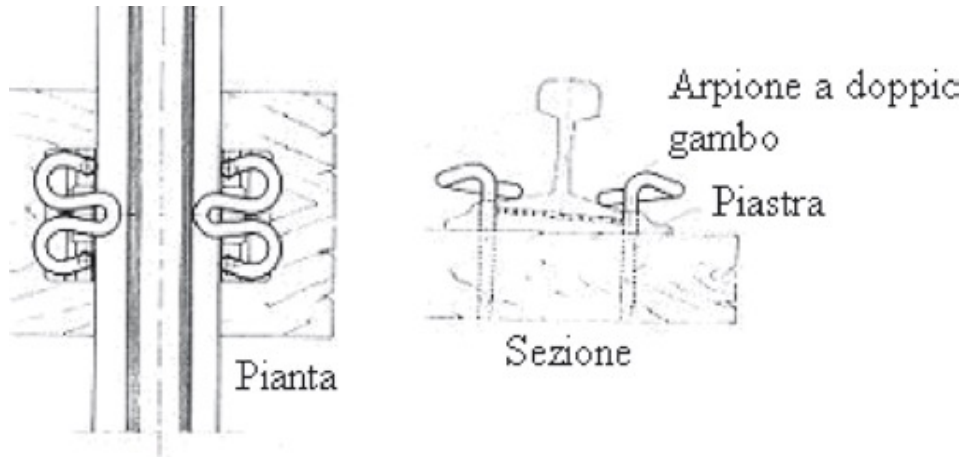


Attacco indiretto
posa indiretta



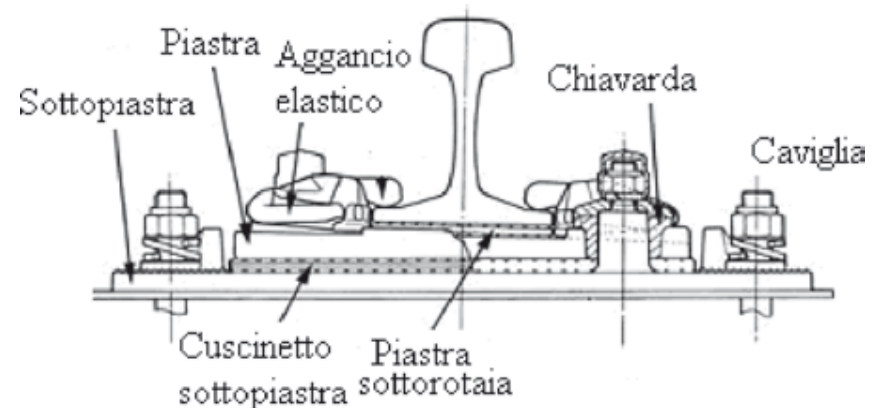
Attacchi

ATTACCO ELASTICO DIRETTO



posa diretta

ATTACCO ELASTICO INDIRETTO



posa indiretta



Attacchi

Se l'attacco (diretto o indiretto) è dotato di caviglie di tipo elastico, l'attacco si chiama elastico.

In questo caso la rotaia può essere posata direttamente sulla traversa (posa diretta) o con l'interposizione di una piastra per meglio ripartire i carichi (posa indiretta).

L'attacco elastico del tipo indiretto a posa indiretta (tipo Pandrol), con l'interposizione di una piastra elastica tra traversa e rotaia, presenta numerosi vantaggi tra quello che il collegamento (elastico tra rotaia e piastra e rigido tra piastra e traversa) consente di smorzare sensibilmente le sollecitazioni che arrivano al ballast.



Ballast

Lo scopo del ballast è quello di ripartire e smorzare le sollecitazioni trasmesse dalla traversa. Il ballast può essere costituito da pietrisco di natura endogena (graniti e basalti) ed in questo caso è definito di classe 1 o, anche, sedimentaria (classe 2) purché duro, resistente e a spigoli vivi.

Il **materiale lapideo** da impiegare per la formazione della massicciata deve presentare un **coefficiente di attrito interno** non inferiore a **45°** ed una **massa volumica apparente** non minore di $1,5 \text{ t/m}^3$.

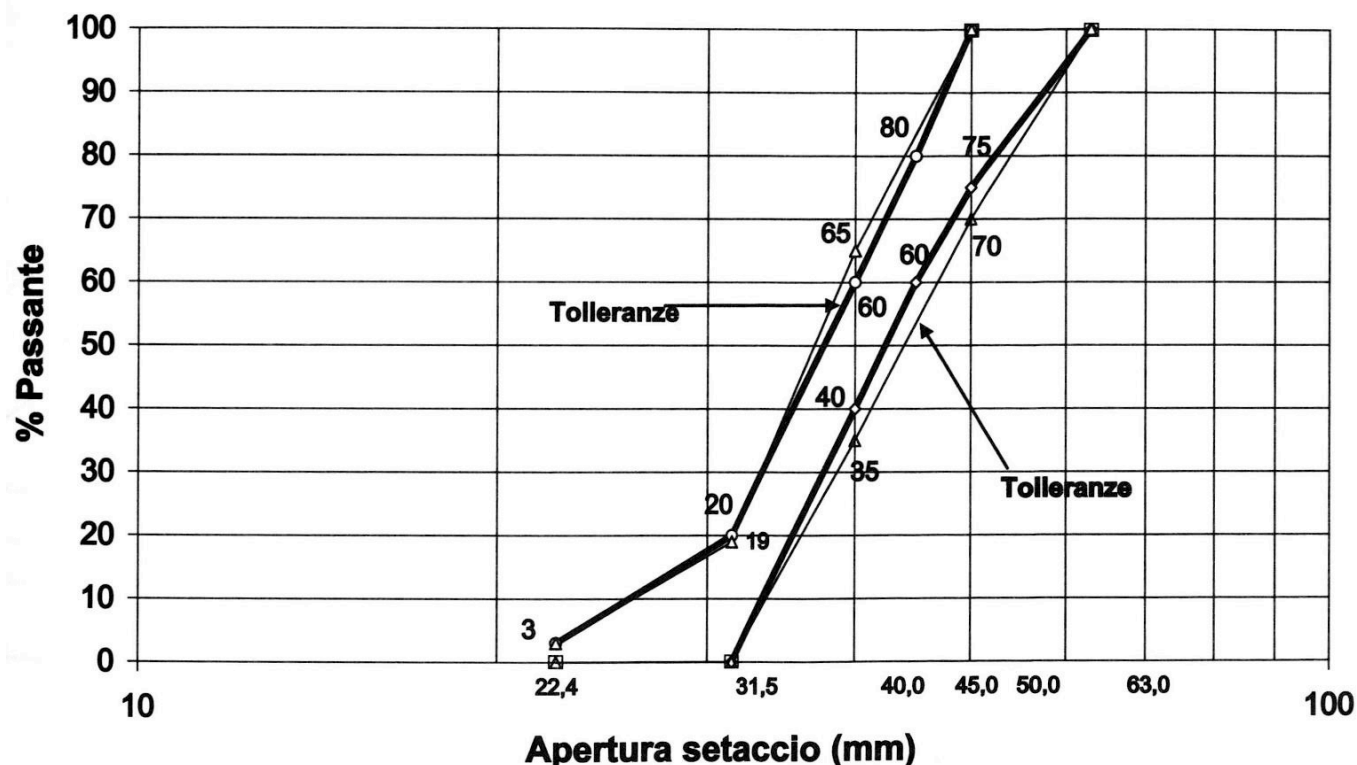
Deve essere composto da elementi compatti ad **elevata spigolosità**, di **bassa porosità** e **non gelivi**, caratterizzati da un **coefficiente Los Angeles** non superiore a 20-25 per linee ordinarie e inferiore a 16 per linee ad alta velocità.

La granulometria di tale materiale è caratterizzata da pezzature comprese tra 15/20mm e 60/65mm. Le specifiche FS impongono una pezzatura monogranulare con passante totale al setaccio con fori da 6 cm e trattenuto totale al setaccio con fori da 3 cm.



Ballast

Per le linee AV il fuso è il seguente.



Deve risultare pulito da polvere, fango e vegetazione. Il ballast va rinnovato ogni 20-30 anni perché il passaggio dei treni produce un effetto lento ma continuo di macinamento del pietrisco.



Organi di giunzione delle rotaie

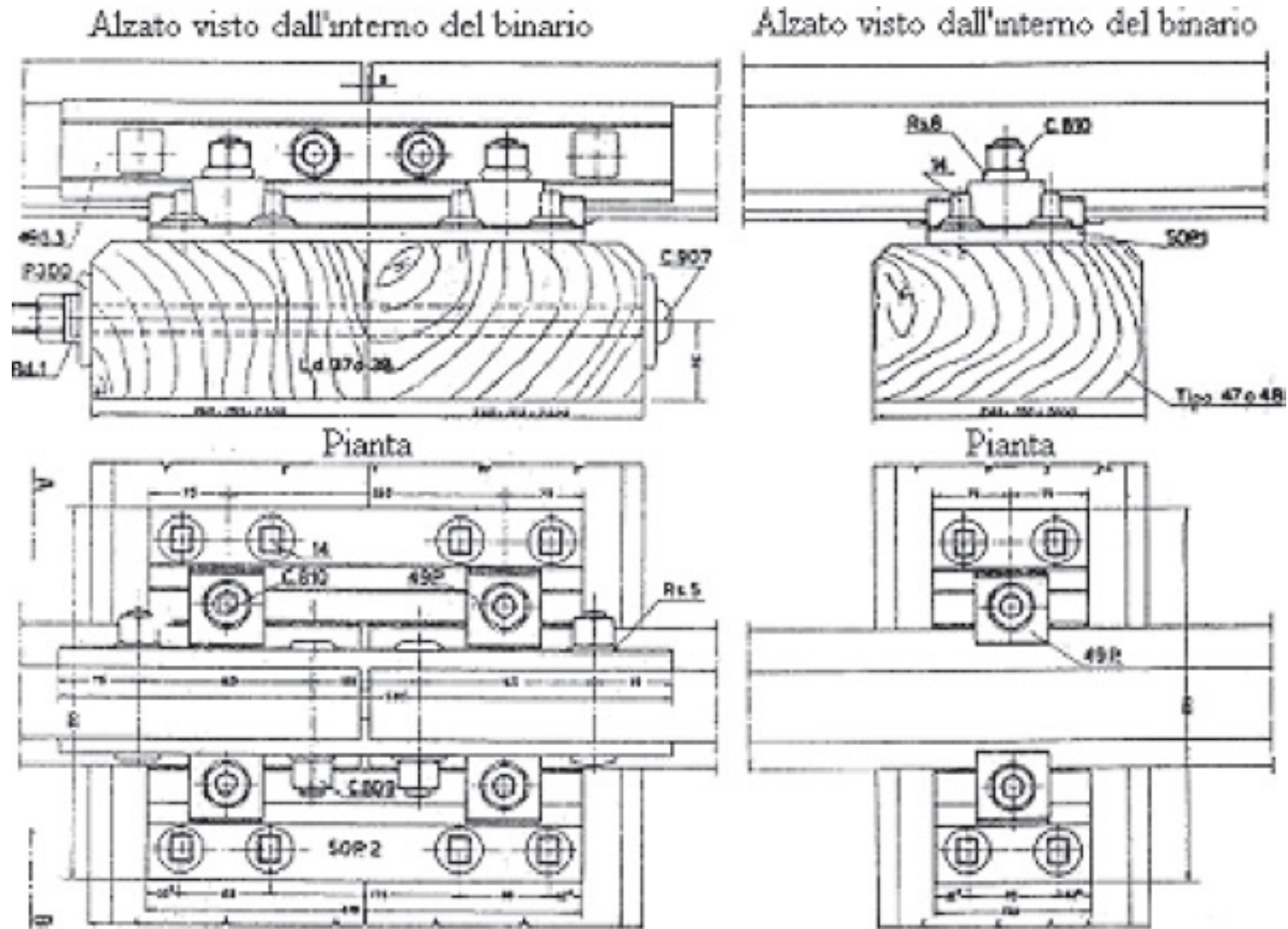
Le rotaie non saldate vengono giuntate (sovrapponendole in corrispondenza dei piani di steccatura) con ganasce in acciaio strette da 4 chiavarde.

Gli organi di giunzione devono essere di semplice concezione, per contenere i costi e, contemporaneamente, in grado di ridurre i cedimenti differenziali delle testate contigue.

I fori delle rotaie hanno un diametro (29 mm) maggiore dei fori delle ganasce (27 mm) a loro volta di diametro maggiore di quello delle chiavarde (24 mm). Ciò consente una certa escursione che, presso le ferrovie italiane, è prevista al massimo di 14 mm.

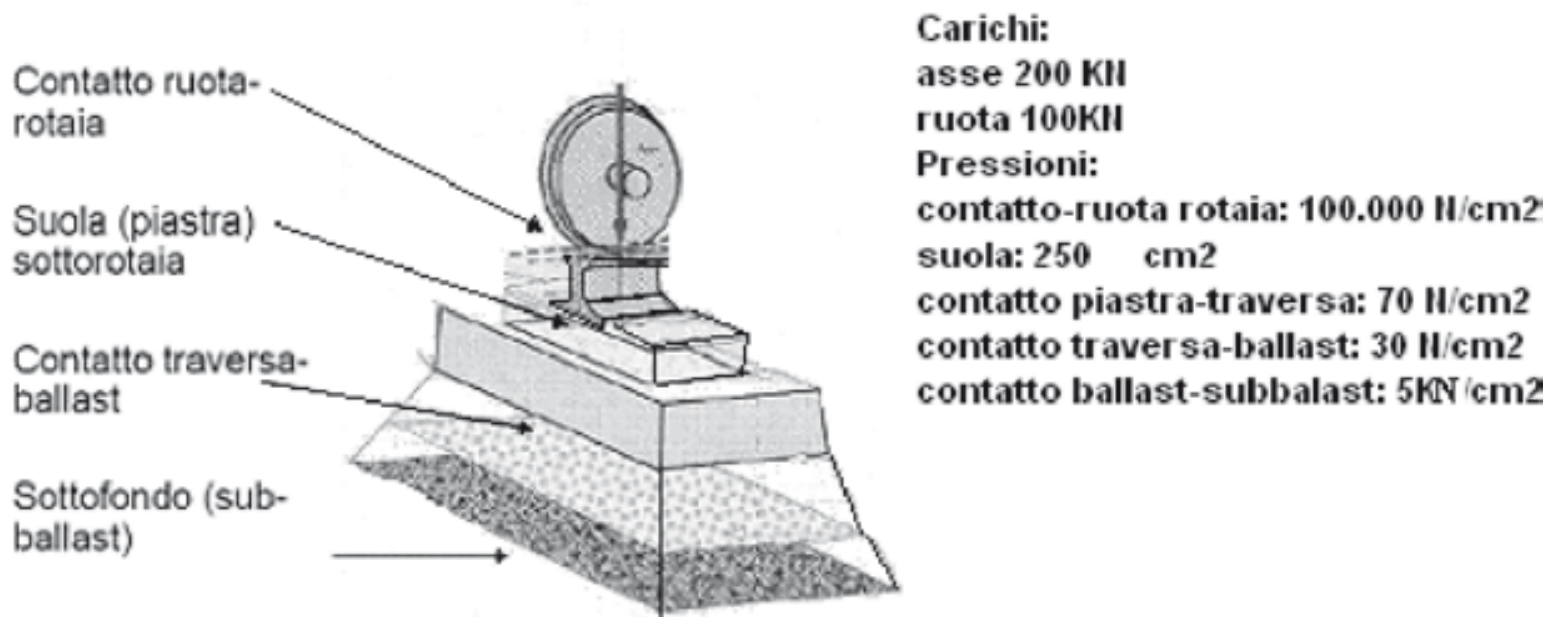


Organi di giunzione delle rotaie



Schema di ripartizione dei carichi

Nella figura è indicato lo schema di ripartizione-trasmissione dei carichi. Supponendo un carico su ogni singola ruota di 100 KN e valutando la superficie di contatto ruota-rotaiia di circa 1 cm^2 , risulta una pressione di circa 100.000 N/cm^2 . Tale pressione diminuisce gradualmente, scendendo di livello per le sempre maggiori superfici su cui viene distribuito il carico, fino ad arrivare ad una pressione di circa 5 KN/cm^2 al livello di subballast.



Binario senza ballast (Ballast-less track)

- ❑ Lo sviluppo di binari senza massicciata per ferrovie a pieno servizio è stato avviato in Europa a metà degli anni '60 con la progettazione di lunghe gallerie in cui il binario doveva essere posato direttamente su una roccia rigida o una base di cemento.
- ❑ In Giappone lo stesso problema è sorto con la costruzione delle nuove linee Sanyo-Shinkansen, aperte nel 1973/74, dove oltre l'80 per cento dei binari doveva essere sostenuto da rigide strutture in cemento armato; gallerie e viadotti.
- ❑ Nel 1972 in Germania è stata installata presso la stazione di Rheda una struttura innovativa, costituita da una soletta in cemento armato continuo a cui sono state fissate monoliticamente traverse di cemento esattamente allineate mediante calcestruzzo di riempimento



Binario senza ballast (Ballast-less track)

Sleeper panels
connected to CRCP

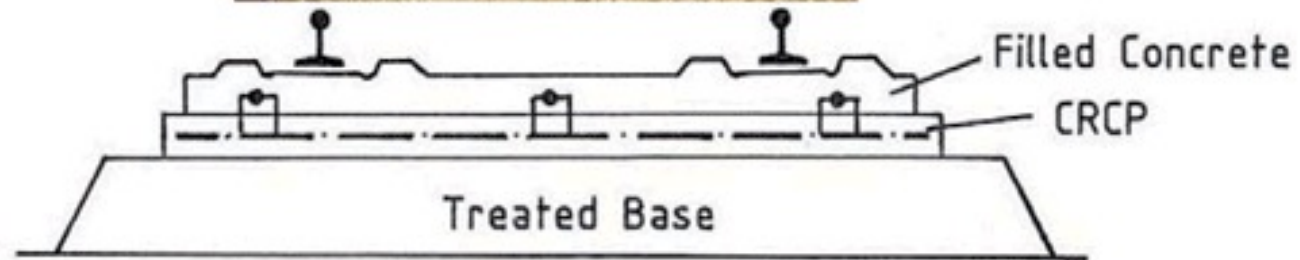
Continuously Reinforced
Concrete Pavement

Monolithic connection

Rheda (1972)



Rheda system track





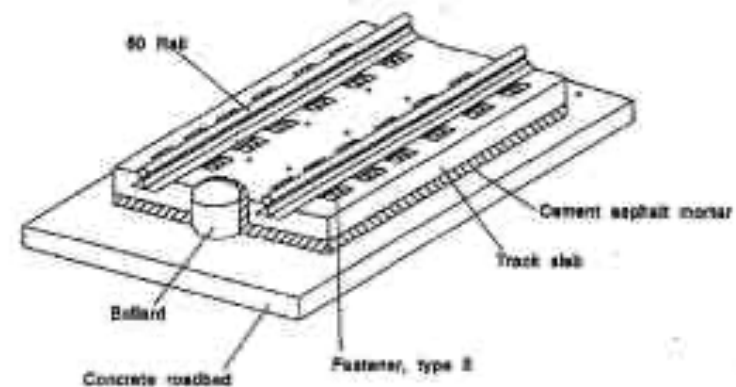
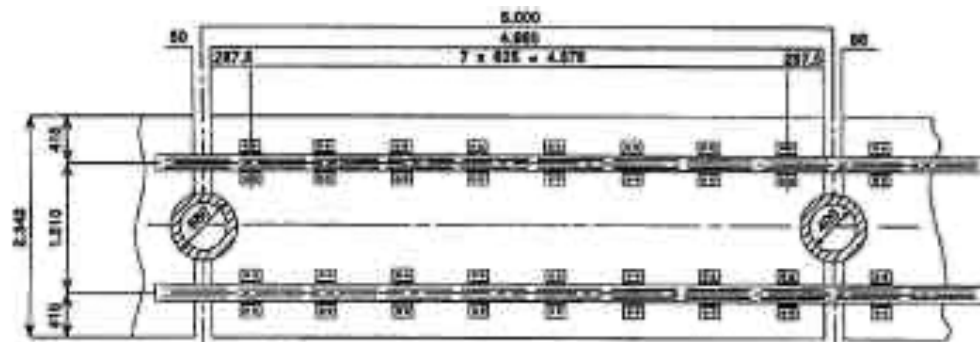
Binario senza ballast (Ballast-less track)

- ❑ Nonostante l'ottimo comportamento di questo sistema che non ha fino ad oggi richiesto alcuna attività manutenzione ad eccezione delle operazioni di rettifica delle rotaie non ci sono stati ulteriori sviluppi e applicazioni di binari senza ballast fino al 1990. Nel 1991 sono state aperte al servizio nuove linee ad alta velocità (con una velocità massima di 250 km/h con ICE e 120 km/h con i treni merci) per una lunghezza di 427 km. Sono stati installati solo circa 15 km di binari senza ballast (tipo Rheda) e 5 km del "sistema Züblin" in quattro gallerie.



Binario senza ballast (Ballast-less track)

Il binario a lastre tipo Shinkansen è costituito da un sottostrato stabilizzato con cemento, "tappi" cilindrici per impedire il movimento laterale e longitudinale, lastre in cemento armato precompresso di misura 4,93 m x 2,34 m x 0,19 m (4,95 m x 2,34 m x 0,16 m in galleria) e malta cementizia bituminosa iniettata sotto e tra le lastre. Le lastre pesano ca. 5 t.



Shinkansen system track



Binario senza ballast (Ballast-less track)

Perché c'è interesse verso sistemi di binari innovativi?

- ❑ Negli ultimi decenni c'è stata una tendenza mondiale verso l'aumento delle pressioni sulle infrastrutture ferroviarie dovuto all'aumento dei **carichi per asse e della velocità dei treni**. I binari sono quindi soggetti a un'ampia **gamma di sollecitazioni portanti e flettenti** nelle rotaie, traverse, elementi di fissaggio e altri componenti a causa delle azioni statiche e dinamiche.
- ❑ La necessità di rendere il **binario idoneo a resistere a queste sollecitazioni** richiede una progettazione accurata e comprende anche concetti di manutenzione avanzati per il binario con ballast, metodi di costruzione nuovi o migliorati per il binario con piastre.



Binario senza ballast vs Binario con ballast

Quali sono i vantaggi del binario a piastre rispetto al binario tradizionale con ballast?

- 👍 bassi costi di manutenzione (circa il 20-30% in meno rispetto ai binari con ballast)
- 👍 maggiore disponibilità, maggiore durata (50 – 60 anni)
- 👍 maggiore stabilità laterale
- 👍 riduzione del peso e dell'altezza del binario l'altezza ridotta può fornire notevoli risparmi in situazioni in cui è necessaria la ristrutturazione di una vecchia galleria. È possibile evitare l'estensione del profilo della galleria semplicemente utilizzando Slab Track, abbassando così l'altezza del sistema e fornendo lo spazio necessario anche quando è necessaria una nuova elettrificazione.
- 👍 controllo della vegetazione più facile ed economico





Binario senza ballast vs Binario con ballast

Al contrario, i punti deboli sono

- 👎 maggiori costi di costruzione
- 👎 maggiori emissioni acustiche, dovute principalmente al mancato assorbimento (acustico) del letto di ballast



Manutenzione della sovrastruttura

Le operazioni di manutenzione sono rivolte alla correzione dei seguenti difetti nell'armamento:

- **difetto di livellamento**, quando le due rotaie di un binario si scostano insieme dalla posizione planimetrica o altimetrica prevista;
- **difetto di scartamento**, quando si ha l'allontanamento di una rotaia rispetto all'altra (la differenza massima ammessa di misura dello scartamento tra una traversa e l'altra è di 1 mm);
- **sghembo** quando i due piani di rotolamento delle due rotaie non sono complanari;
- **difetto di stabilità** quando una traversa cede rimanendo "appesa";
- **difetto degli attacchi** delle traverse.

Le revisioni programmate consistono in:

- misurazioni plano-altimetriche, scopertura del binario, ricambio delle traverse ammalorate, verifica degli attacchi, verifica dello scostamento, rettifica del livello, riscalzatura delle traverse, copertura e profilatura della massicciata.



Manutenzione della sovrastruttura

Le revisioni straordinarie, invece, consistono:

nel “**rinnovamento della massicciata**” (asportazione, vagliatura e sostituzione del pietrisco):

nel “**rinnovamento del binario**” (sostituzione delle parti metalliche in generale con altre di più elevate prestazioni);

nel “**refacimento del binario**” (sostituzione delle parti metalliche con altre non nuove recuperate da altre tratte).

Per classificare in modo sintetico le condizioni in cui si trova un binario (per decidere l'entità e il programma degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria) si usa il “**coefficiente di qualità del binario**” basato su alcune misurazioni (media delle variazioni di difetto trasversale delle traverse, media delle variazioni di frecciatura tra coppie di corda, media percentuale delle traverse non portanti).



Sagoma limite

I veicoli ferroviari devono avere un "profilo limite" detta **sagoma limite** entro cui deve rimanere contenuto ogni ingombro, compresi i carichi trasportati.

Le norme, nel definire i "franchi minimi" che devono intercorrere tra detta sagoma limite e gli ostacoli fissi esistenti lungo la linea ferroviaria, determinano la "sagoma di libero transito" o "profilo minimo regolamentare", oltre il quale deve trovarsi qualsiasi ostacolo fisso.

Per la circolazione sulle linee della rete italiana vale la "**sagoma limite italiana**". Per la circolazione sulle linee estere vale invece la "**sagoma limite internazionale**".

Le sagome limite dei veicoli sono fissate nelle seguenti condizioni:

- condizioni statiche;
- veicolo centrato su un binario
- rettifilo.



Sagoma limite

In curva, in relazione al passo, alla lunghezza e alle caratteristiche meccaniche del veicolo, la sagoma di un veicolo sporge verso l'interno della curva nella parte centrale (compresa tra gli assi dei carrelli) e verso l'esterno della curva nelle parti comprese tra l'asse del carrello e la più vicina estremità del veicolo.

I veicoli ferroviari devono essere dimensionati in modo che il loro profilo di costruzione sia interno alla sagoma limite in condizioni statiche e che, percorrendo una curva di 250 m di raggio, si determini un **profilo di ingombro dinamico** che eccede la sagoma limite stessa al massimo di 75 mm al di sopra di 0,43 mm sul piano del ferro e di 25 mm per le parti inferiori.

Per passare dalla sagoma limite dei veicoli al **Profilo Minimo degli Ostacoli** (PMO) bisogna considerare un franco che tenga conto anche delle caratteristiche di molleggio e rollio dei veicoli, delle sopraelevazioni, della velocità e del raggio delle curve. Si sono quindi stabilite le sagome G1 (sagoma cinematica internazionale), A, B, B plus, C.



Sagoma limite

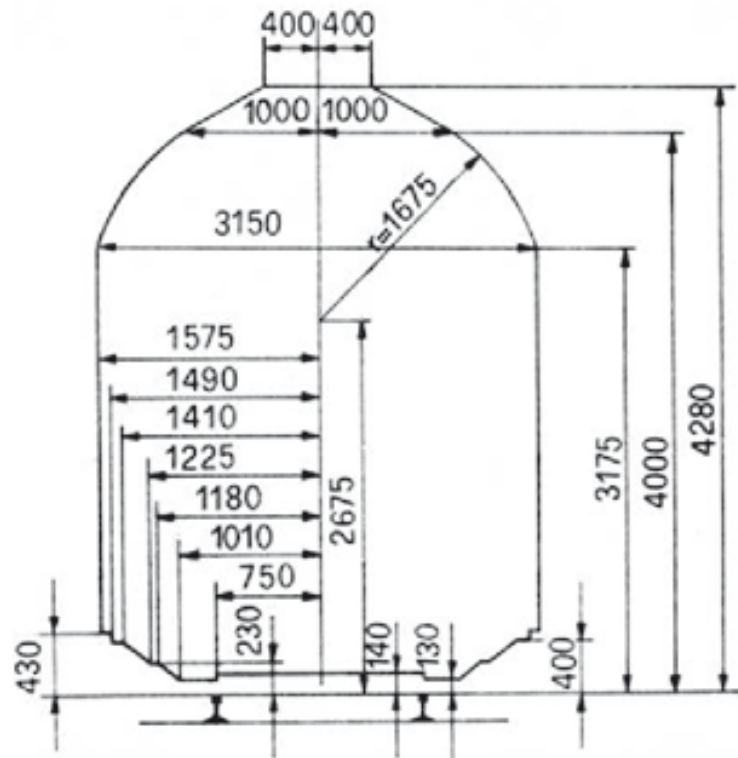
In relazione alle suddette sagome sono stati stabiliti 5 PMO convenzionali di dimensioni crescenti con:

- PMO 1 per sagoma G1 (compatibile con la sagoma limite europea e italiana normale);
- PMO 2 per sagoma B;
- PMO 3 per sagoma B plus;
- PMO 4 per sagoma C da adottarsi nella ristrutturazione di linee esistenti;
- PMO 5 per sagoma C da adottarsi su nuove linee.

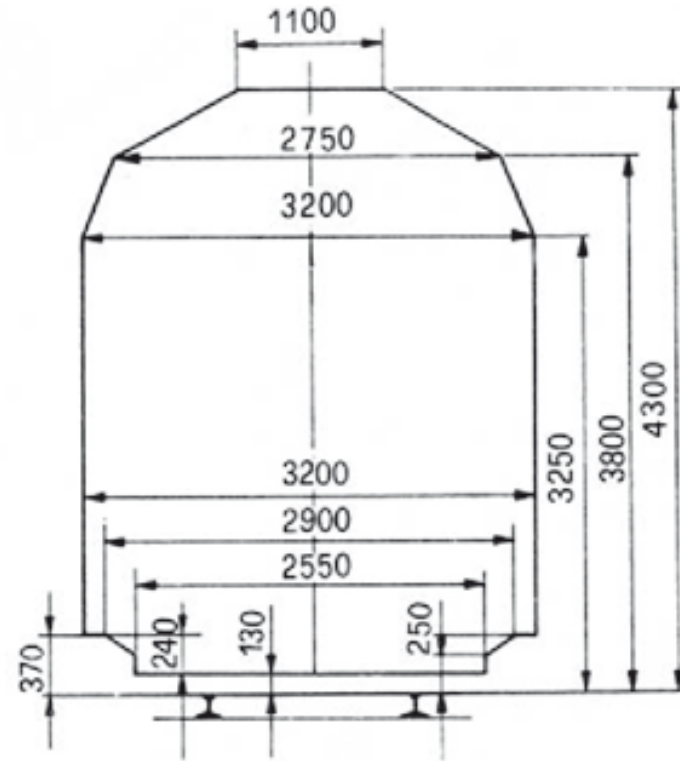
A titolo esemplificativo si riporta il profilo PMO5. Nel caso di linee a trazione elettrica si definisce anche una sagoma d'ingombro del pantografo. Nelle linee che consentono PMO maggiori di quelli indicati e per le quali sia consentito il trasporto combinato (per esempio trasporto di semirimorchi stradali) vengono stabilite 2 serie di profili TC: una di larghezza 2.5 m e una di larghezza 2.60 m.



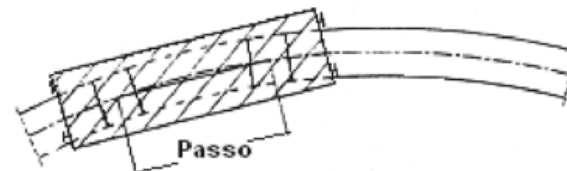
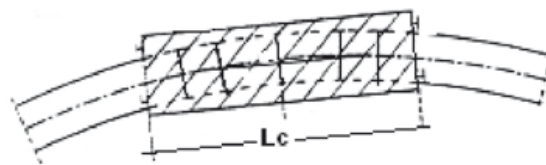
Sagoma limite



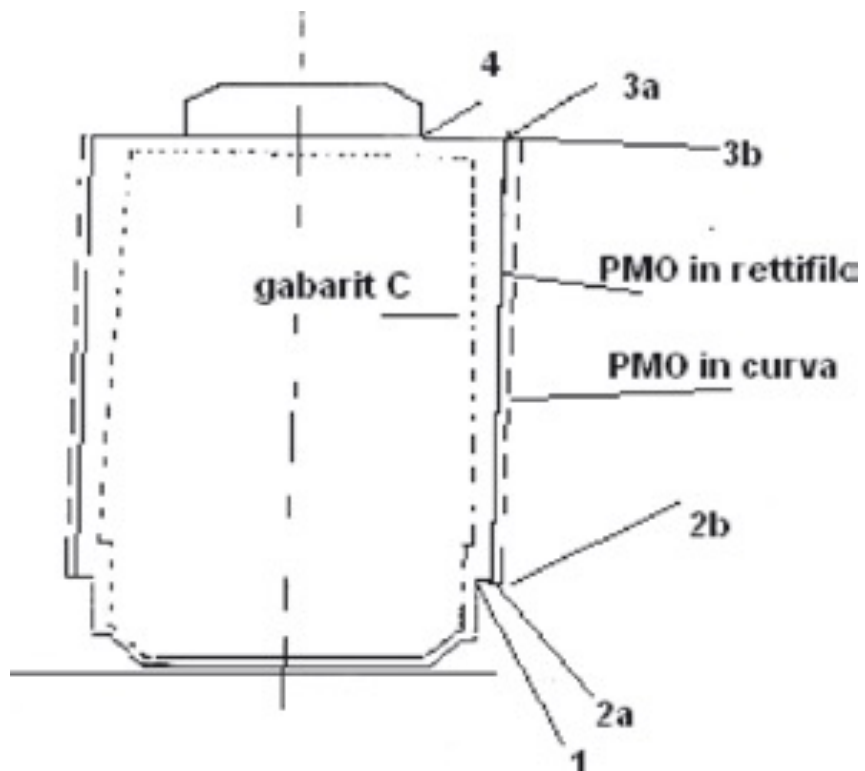
Sagoma limite internazionale europea



Sagoma limite italiana



Sagoma limite



Punti di riferimento	Y	X interno curva	X esterno curva
1	0,850	1,750	1,750
2a	0,850	1,810	-----
2b	0,850	1,960	1,920
3a	4,850	1,810	-----
3b	4,850	1,960	1,920
4	4,850	1,050	1,050
Altezza lc dalla sospensione	5,200		
Altezza lc in campata	5,050		

Profilo PMO5

