ARMAMENTO

LIVELLO MEDIO

parte 1°

Condizioni di moto di un veicolo terrestre

Un veicolo terrestre, che realizza il moto attraverso la capacità di trasmettere alla via forze orizzontali (figura 1), trasmette a questo fine al terreno

- attraverso tutte le ruote un sistema di forze verticali la cui somma è il peso totale del veicolo
- attraverso le sole ruote collegate con un motore - **ruote motrici** - un sistema di forze orizzontali la cui somma, orientata in senso contrario, è la forza di trazione.

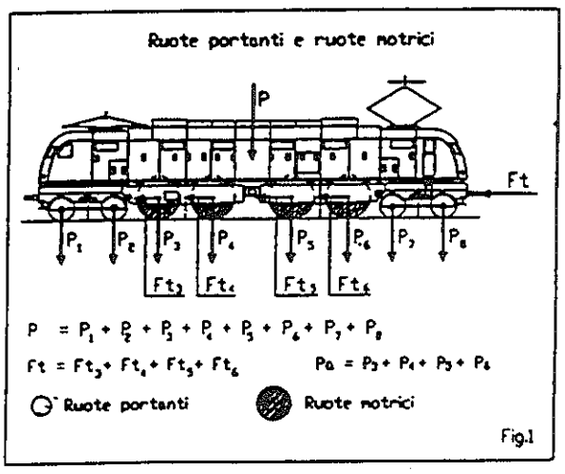


Fig.1

Le ruote non collegate al motore vengono definite **ruote portanti.**
Il peso che grava sulle ruote motrici è chiamato peso aderente.

2.1) L'aderenza

La forza orizzontale che ciascuna ruota trasmette al terreno è proporzionale alla forza verticale che grava su di essa e può essere incrementata fino a quando viene mantenuto il contatto fra ruota e terreno, per poi crollare, assumendo il valore dell'attrito radente (o di slittamento) quando tale contatto viene a mancare.

Si definisce **aderenza** la massima forza orizzontale trasmettibile fra ruota e via in condizioni macroscopiche di puro rotolamento. In altre parole, si ha aderenza fino a quando al punto di contatto la velocità relativa fra ruota e terreno è nulla. Essa rappresenta il limite superiore della forza di trazione.

Il fenomeno dell'aderenza, pur presentando analogie con l'attrito, differisce da quest'ultimo per la sua maggior complessità, coesistendo, nell'area di contatto

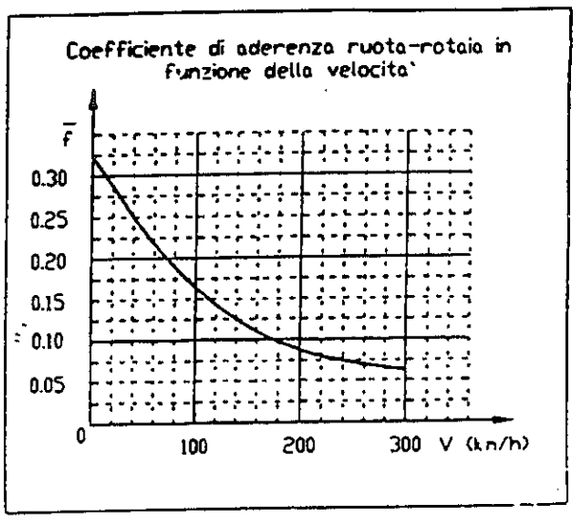
ruota-strada, parti in cui non si ha movimento relativo fra ruota e strada e parti in cui invece lo slittamento si presenta.

Interessa sottolineare come l'aderenza rappresenti la condizione ottimale di trasmissione di forze orizzontali dal veicolo alla strada, naturalmente sia in accelerazione che in frenatura, e come, quindi, occorra che il sistema di forze trasmesso sia tale da garantire una simile condizione.
L'aderenza è proporzionale al peso che insiste sulla ruota, dipende dalla velocità, dalla natura della via, dal materiale di cui è costituita la ruota e dalle condizioni di umidità e pulizia delle superfici a contatto, secondo la relazione

$$(1) \quad \overline{F} = \overline{f} \cdot P_a$$

dove $\overline{F}$ è l'aderenza;
$\overline{f}$ è il coefficiente di aderenza;
P_a è il peso aderente.

relazione che concentra in $\overline{f}$ tutti i fenomeni che non dipendono dal peso aderente.



Quanto esposto va inteso in senso globale: in realtà il fenomeno dell'aderenza può entrare in crisi anche per momentanei squilibri sulle ruote motrici sia del peso aderente che della forza orizzontale trasmessa, anticipando localmente su di una ruota (o su di un asse se le ruote sono rigidamente calettate su di esso) il fenomeno dello slittamento con la conseguenza di abbassare la somma delle forze orizzontali trasmesse dal veicolo alla via e, quindi, il coefficiente di aderenza riferito globalmente al veicolo stesso.

Non è un caso che nel campo ferroviario, dove il coefficiente di aderenza acciaio-acciaio è modesto, si sono moltiplicati gli assi motori dei mezzi di trazione e si è in presenza da sempre di infrastrutture con basse pendenze ed ampi raggi di curvatura, mentre nel modo stradale dove si può contare su un più alto coefficiente di aderenza (fino a 0,7 su asfalto) un asse motore è di solito sufficiente a trasmettere la necessaria forza di trazione e si possono superare pendenze maggiori.

CARATTERISTICHE DI UN TRACCIATO DI UNA LINEA FERROVIARIA

La forza di trazione di cui un veicolo deve disporre deve avere un valore tale che:

a) non sia superiore all'aderenza;

b) sia superiore alla resistenza al moto.

È evidente, allora, che le resistenze al moto ed, in particolare, la resistenza per accidentalità del percorso, non possono avere un valore superiore all'aderenza. In definitiva tale valore è condizionato dal coefficiente di aderenza $\bar{f}$ nel senso che i sistemi di trasporto che sono caratterizzati da un valore di coefficiente di aderenza molto basso richiedono accorgimenti, per limitare la resistenza al moto, più gravosi dei sistemi che possono utilizzare un coefficiente di aderenza alto.

Confrontando i valori dei coefficienti di aderenza di un veicolo stradale (0,6) e di un veicolo su rotaia (0,2) si può vedere immediatamente come, a parità di peso sulle ruote motrici, si possa sviluppare una forza di trazione, per il veicolo stradale, tre volte superiore che per un veicolo su rotaia; le resistenze che il veicolo su gomma potrà superare potranno, allora, essere tre volte superiori di quelle che potrà affrontare un veicolo su rotaia.

Da tutto ciò deriva che un tracciato ferroviario dovrà presentare asperità nettamente inferiori rispetto a quelle di tracciato stradale: in definitiva dovranno essere evitati tratti con forti pendenze e con curve di raggio piccolo.

Per una linea ferroviaria pendenze del 35‰ e curve di 250 m di raggio sono caratteristiche di tratti di montagna estremamente tormentati (tali, infatti sono i valori massimi di pendenza e minimi di raggio di curvatura accettati nella rete italiana), mentre per un tracciato stradale sono accettabili valori di pendenza del 6% e raggi di 50 m.

Naturalmente, queste esigenze di tracciato impongono, per le linee ferroviarie, soluzioni molto costose per il numero di opere d'arte (ponti e gallerie) necessarie ([1]), quindi, grossi impegni di capitale.

A tali oneri corrispondono però costi di esercizio molto più bassi di quelli necessari per il traffico stradale. Dovendo, infatti, fornire forze di trazione relativamente piccole occorre installare sul veicolo motori di potenza limitata rispetto al carico e consumare quantità modeste di energia.

Da queste semplici considerazioni si comprende come una linea ferroviaria, estremamente costosa come costruzione e manutenzione, è economicamente valida solo per grosse correnti di traffico.

([1]) Non a caso le prime opere d'arte di notevole impegno (viadotto a grandi luci, gallerie elicoidali) furono costruite per la realizzazione di linee ferroviarie.

PLANIMETRIA-PROFILO DI UNA LINEA

Si definisce tracciato di una linea ferroviaria la proiezione dell'asse del binario orizzontale. Esso, quindi, esprime l'andamento planimetrico del binario (v.fig.2.3-a). Planimetricamente il tracciato è costituito da

- rettilinei
- curve
- curve di transizione

Come si approfondirà in seguito, l'elemento condizionante la velocità massima ammissibile di una linea è il raggio di curvatura delle curve circolari.
Tale circostanza continua ad essere valida anche se gli incrementi di velocità che possono essere ottenuti, introducendo modifiche all'assetto geometrico del binario ed accettando sollecitazioni maggiori su tutti gli enti coinvolti nel moto, non sono marginali.
Tale realtà ha indotto alcune reti ha fissare due valori di raggio minimi in linea: il primo, riservato alle linee di grande comunicazione, generalmente indicato fra i 650 m e i 1.100 m, il, secondo, dettato da criteri di iscrivibilità del veicolo in curva, oscilla dai 100 m ai 350 m.
La Circumvesuviana adotta un valore di raggio minimo di curvatura di 100 m., eccezionalm. di 80m.
La successione di due curve aventi il centro dalla stessa parte del tracciato - curve - concordi - costituiscono una **policentrica**, mentre la successione di due curve circolari con centro dalle due parti opposte del tracciato - curve discordi - costituiscono un **flesso.**
Tra due curve discordi è opportuno introdurre un rettilineo di lunghezza pari a V/2 (V in Km/h). Qualora non sia possibile realizzarlo di lunghezza adeguata, è preferibile : raccordare progressivamente; nel caso di curve discordi : portare a contatto i due raccordi consecutivi.

La sola presenza nel tracciato di rettilinei e curve circolari, anche se permette il rispetto dell'equazione del moto, non assicura alla circolazione una qualità accettabile senza l'introduzione di curve di transizione allo scopo di evitare l'azione istantanea e, quindi, violenta della forza centrifuga.

Pur facendo parte tali curve del tracciato, il loro studio è connesso a quello di altre caratteristiche geometriche del binario

Sul piano verticale il tracciato è costituito da rette - livellette -, caratterizzate dalla lunghezza e dalla pendenza, e da curve circolari che le raccordano - raccordi cilindrici.

La pendenza non è più l'elemento caratterizzante delle prestazioni della linea da quando la SNCF ha introdotto nella sua prima linea ad alta velocità (la Parigi - Lione) rampe di pendenza del 35‰, risolvendo il problema dell'alta velocità aumentando la potenza specifica istallata sui veicoli fino a 15 kW/t.
Oggi la pendenza è diventata un indicatore di scelta di esercizio volta verso una circolazione a traffico specializzato o ad una a traffico misto.

Gli stessi valori, però, che compaiono nell'accordo europeo sulle principali linee ferroviarie internazionali del 1985 (35‰ su linee specializzate per soli treni viaggiatori a composizione bloccata e 12,5‰ su linee promiscue per treni viaggiatori e treni merci) sono in via di revisione critica tanto che il sistema A.V. italiano accetta pendenze del 21‰.
I raggi dei raccordi cilindrici che uniscono due livellette consecutive vengono dimensionati in maniera da contenere l'accelerazione centrifuga che si manifesta sul veicolo sul piano verticale.

Nella rete FS tale raggio è normalmente di 3.000 m. equivalente ad un'accelerazione centrifuga, per una velocità V di 90 km/h, di

$$a = \frac{V^2}{12{,}96\ R} = \frac{90^2}{12{,}96 \cdot 3.000} = 0{,}20\ \text{m/sec}^2$$

Oggi tale valore è ritenuto compatibile con un accettabile livello di confort, per cui, presso le FS, si richiede un raggio

$$R = \frac{V^2}{2} \quad \text{e di conseguenza} \quad a = \frac{V^2}{12{,}96\ \frac{V^2}{2}} = \frac{2}{12{,}96} = 0{,}15$$

il che equivale ad imporre, un'accelerazione verticale di 0,15 m/s² per qualsiasi velocità.

Per altro, sulla linea della DD Roma - Firenze è stato adottato

$$R = 20.000 \text{ m}$$

equivalente ad un'accelerazione centrifuga di

$$a_u = \frac{250^2}{12{,}96 \cdot 20.000} = 0{,}24 \text{ m/s}^2$$

I sistemi A.V. oggi realizzati od in corso di realizzazione confermano, praticamente, quest'ultimo valore.
Tali standard garantiscono un accettabile livello di comfort percorrendo un tratto di linea convesso (dosso); possono essere alleggeriti percorrendo, invece, un tratto di linea concavo quando l'accelerazione centrifuga agisce verso il basso.
Esperienze condotte in Francia, infatti, hanno dimostrato che tali ultime condizioni la soglia di percezione si colloca a 0.6 m/s².
Nella rappresentazione grafica il tracciato è, quindi, rappresentato da una sola linea (l'asse del binario) ed a questa linea vengono riferiti tutti gli elementi che definiscono il tracciato e precisamente :

- la progressiva chilometrica - distanza da un punto fisso scelto come origine della linea, misurata lungo l'asse del binario;

- la quota altimetrica - altezza dell'asse del binario rispetto alla quota del livello medio del mare oppure rispetto ad una quota prestabilita assunta come livello zero;

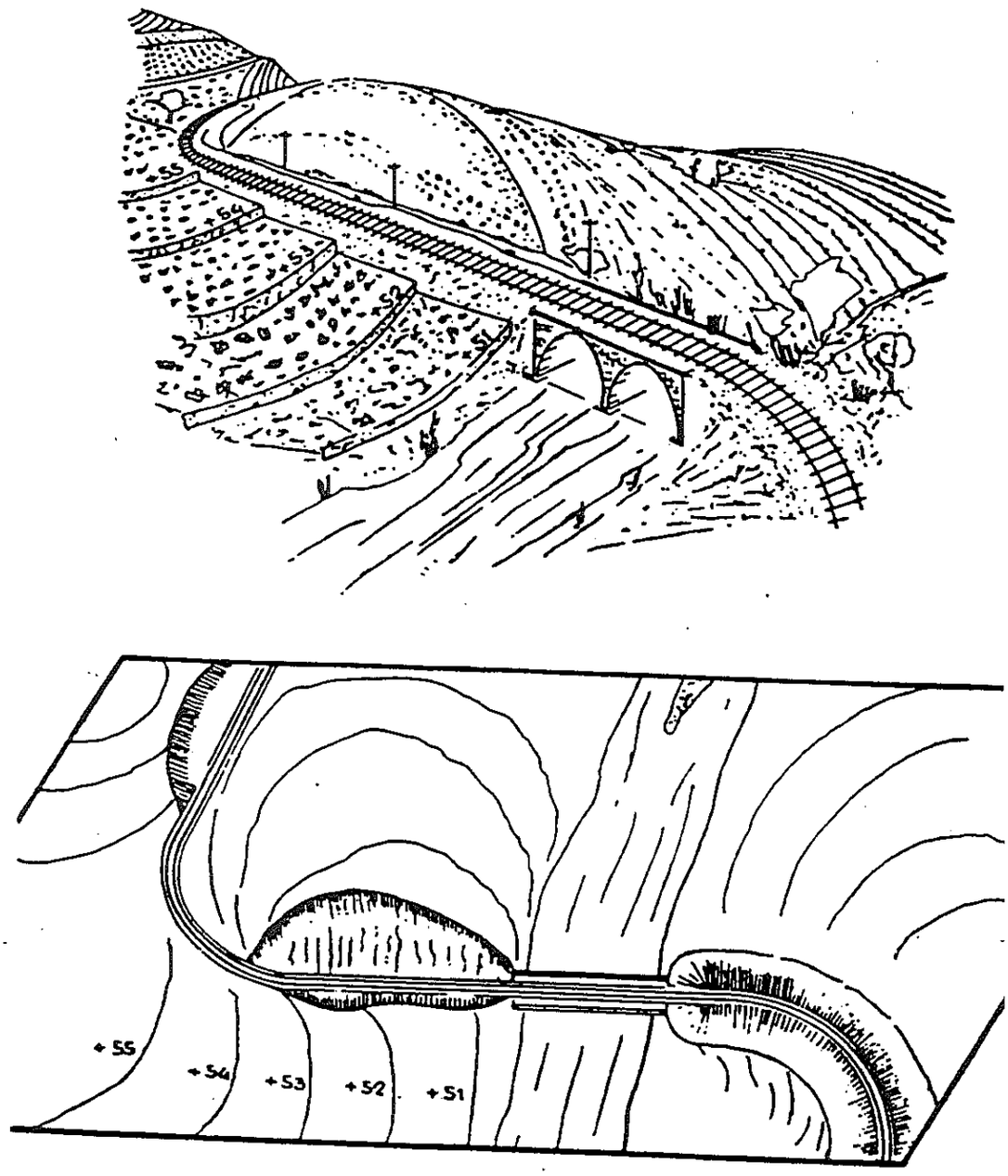
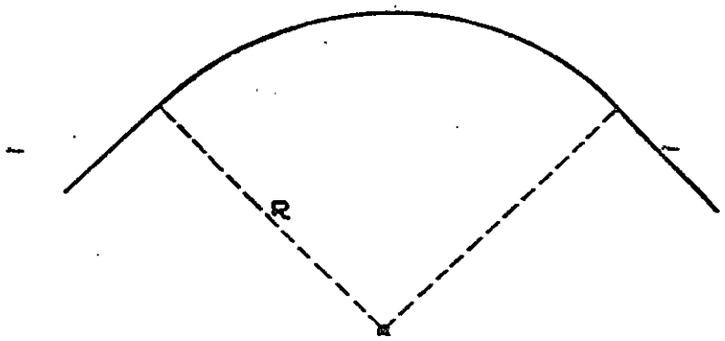
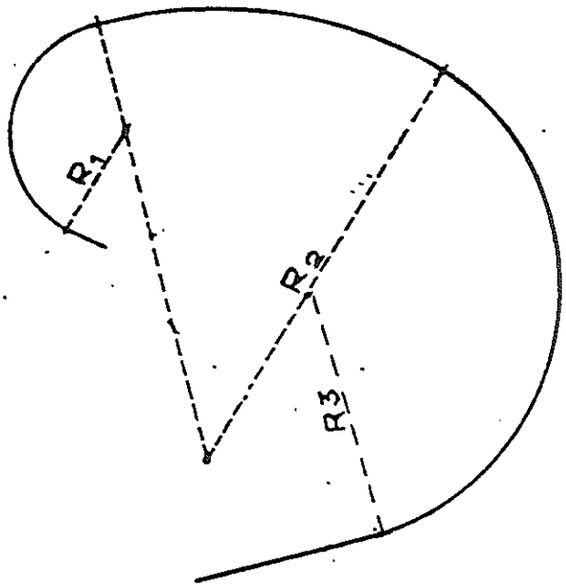


Fig. 2.3 *a* - Proiezione del binario su di un piano orizzontale



Monocentrica

Policentrica



Flesso

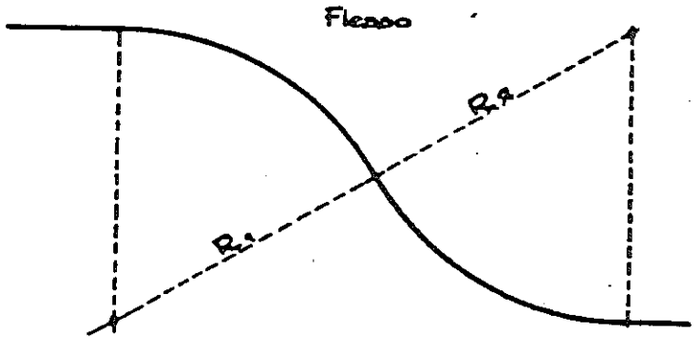


Fig. 2.3-*b* - Tipi di curve

— i raggi e lo sviluppo delle curve, la lunghezza dei rettifili, la progressiva dei punti di tangenza tra curva e rettifilo e così via.

Fanno parte del tracciato anche l'insieme dei collegamenti tra più binari.

Lo studio definitivo di un tracciato è riportato su disegni in scala 1/1000 che vengono approvati dai vari Servizi interessati. Su tali disegni (o su altri ancora più particolareggiati in scala 1/500) si indicano, infine, anche quelle speciali curve di raccordo tra rettilineo e curva circolare che appunto vengono chiamati *raccordi parabolici.*

Lo sviluppo su di un piano della superficie cilindrica avente come generatrice l'asse del binario è, invece, chiamato *profilo della linea.*

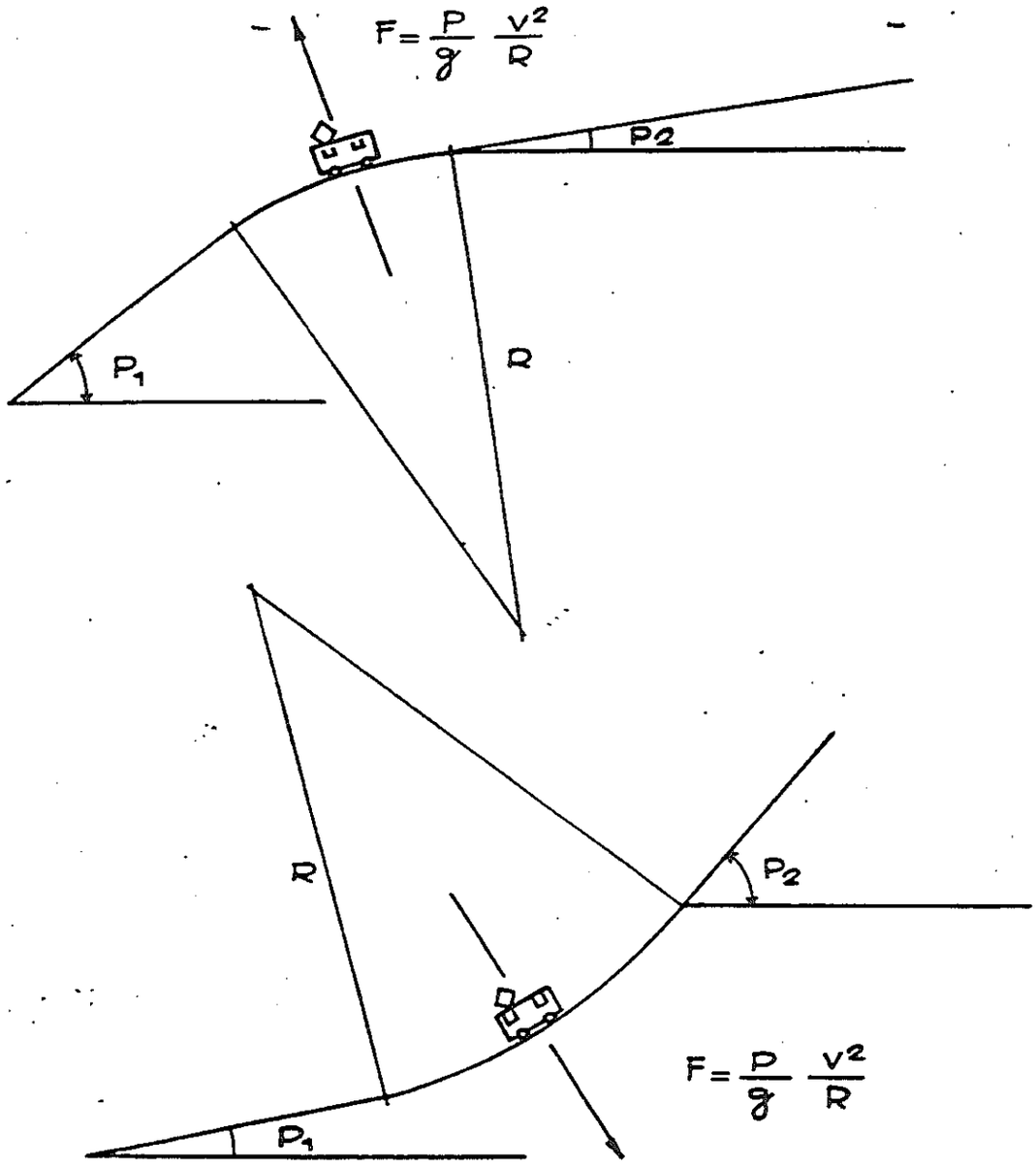


Fig. 2.3 *d* - Effetto della forza centrifuga su di un veicolo che affronti un tratto di raccordo fra due livellette

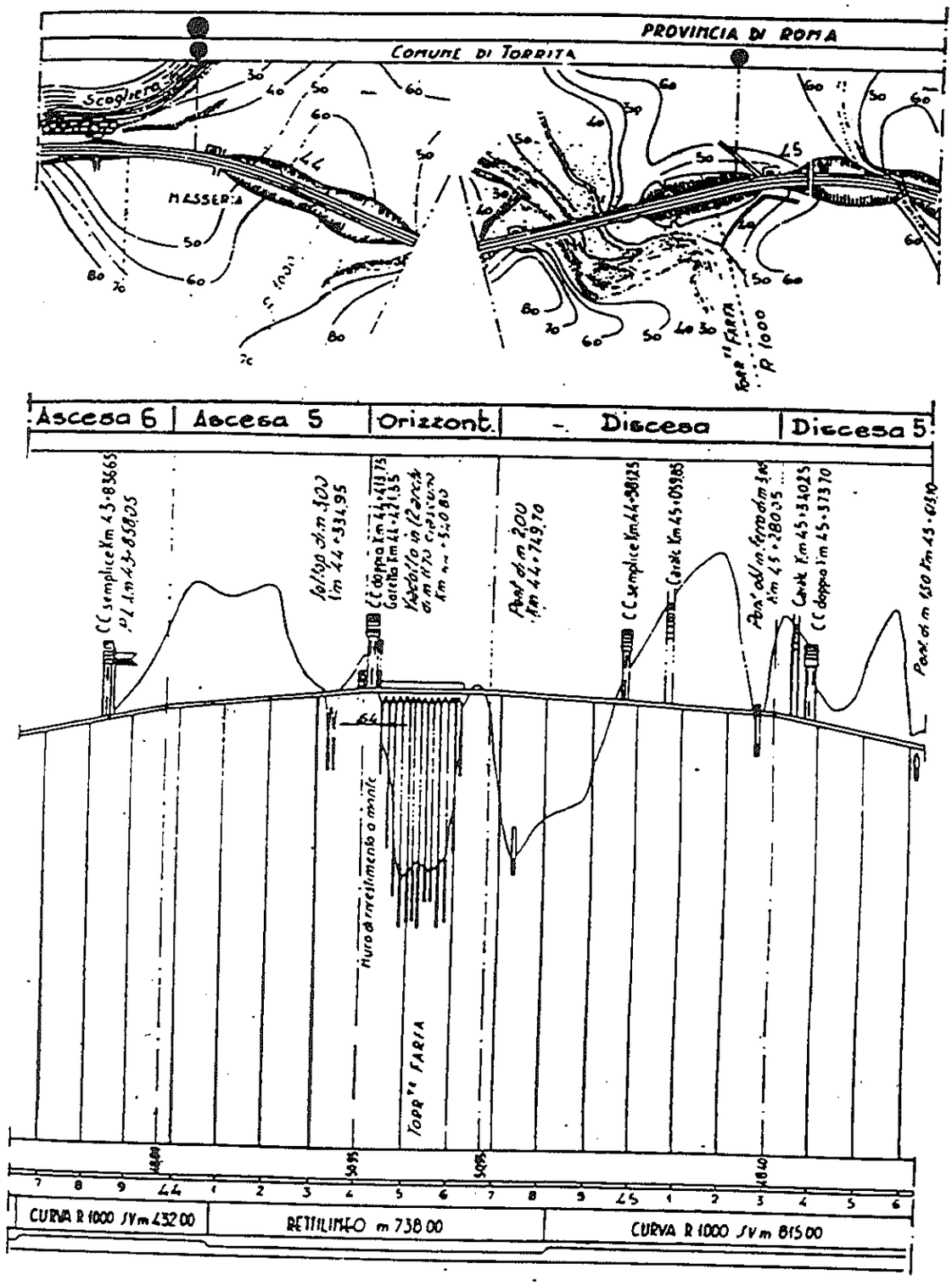
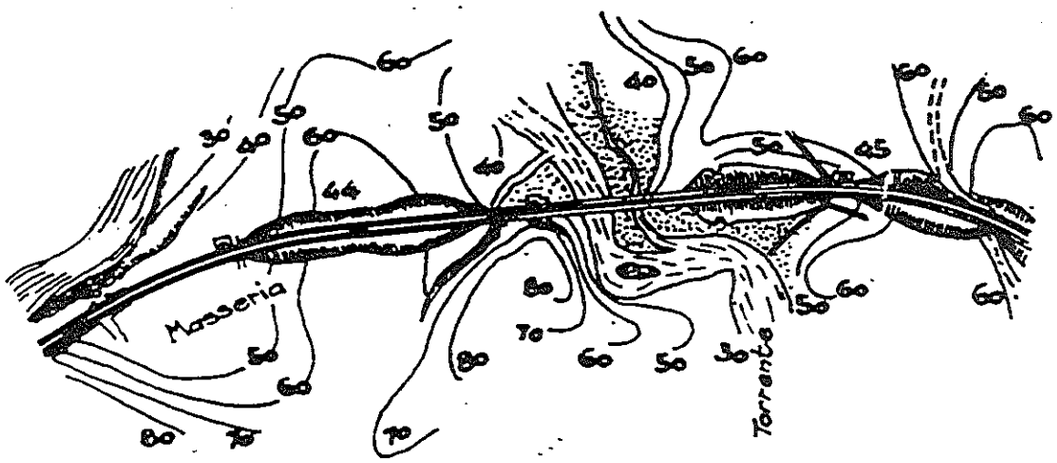


Fig. 2.3-*e* - Stralcio di una planimetria-profilo

Il documento nel quale sono riportate le caratteristiche planimetriche ed altimetriche della linea è la *planimetria-profilo (fig. 2.3-e)*. Nella parte superiore del disegno è riportata la planimetria della striscia di terreno sulla quale insiste la linea, con le indicazioni dei limiti di giurisdizione degli enti locali (Province e Comuni), ottenuta ruotando opportunamen-



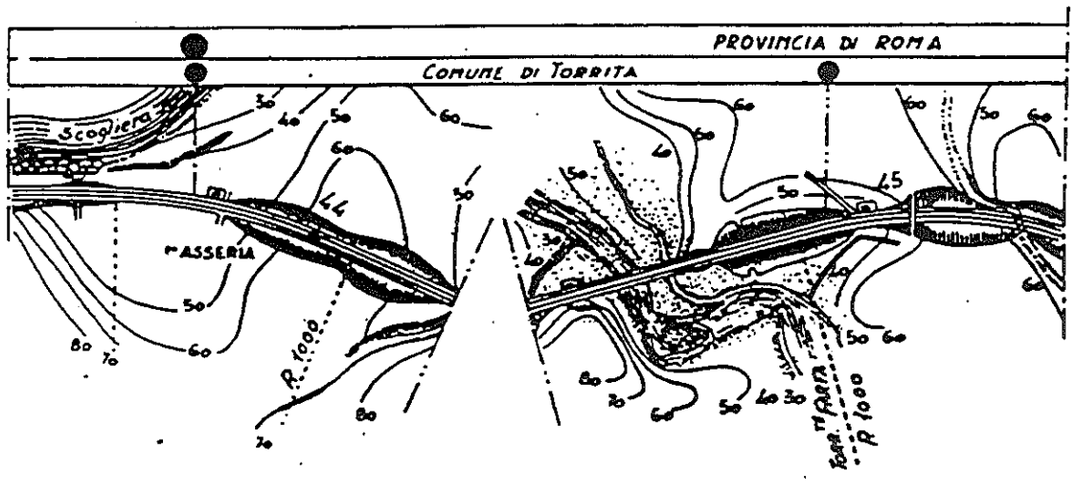


Fig. 2.3-*f* - Planimetria di una linea e sua rappresentazione nella planimetria-profilo

te l'una rispetto all'altra diverse porzioni di una carta topografica in scala 1/20 000 in modo da permettere la rappresentazione della zona interessata su di una striscia di carta *(fig. 2.3-f)*. La parte inferiore del disegno è occupata dal profilo della linea dove sono state utilizzate due scale differenti per le distanze (scala 1/20 000) e per le quote (scala 1/2000). Tale artifizio è stato adottato allo scopo di evidenziare le altezze (che non sarebbero altrimenti apprezzabili) rispetto alle lunghezze.

Il profilo è corredato dalle indicazioni:

in alto:

1) delle caratteristiche delle livellette (lunghezza, dislivello superato, pendenza);
2) della distanza fra le stazioni;

in basso:

1) delle quote sul livello del mare dei punti di cambio livelletta;
2) delle progressive espresse in chilometri ed in ettometri;
3) delle lunghezze dei tratti in curva e dei rettilinei. I primi sono corredati dalle indicazioni dei raggi di curvatura e del senso della curva.

Infine, sul profilo vero e proprio, vengono riportate le opere d'arte, i segnali fissi, i passaggi a livello e le case cantoniere con le rispettive progressive, nonché le progressive delle punte degli scambi estremi delle stazioni.

VALORE DELLO SCARTAMENTO

Si chiama scartamento la distanza fra i lembi interni dei funghi delle due rotaie misurata normalmente all'asse del binario ed alla quota di 14 millimetri al di sotto del piano di rotolamento o piano del ferro. Si osserva quindi che nelle curve lo scartamento va misurato in direzione radiale e sia in rettifilo che in curva vanno escluse dalla misura le eventuali sbavature.

La misura dello scartamento per binari comunque armati, in rettilineo o in tratti di curva con raggio di curvatura uguale o superiore ai 1100 m è di 950 mm.

La tendenza che si è imposta nella Conferenza Internazionale del 1931, recepita nella circolare L. 3/32678/8-4 dell'1-7-37, poi abrogata con la circolare L. 4213/338/6.5 n° 123081 del 25-10-86 e che si è confermata in occasione dell'adozione delle traverse in c.a.p., cioè la tendenza alla riduzione del valore dello scartamento è dettata dalla volontà di ridurre al minimo i moti di serpeggiamento dei convogli nei tratti in rettifilo, moti parassiti che si manifestano tanto più facilmente quanto maggiore è la differenza fra lo scartamento del binario e lo scartamento del veicolo.

Nelle curve di raggio inferiore a 1100 m si aumenta lo scartamento fino a raggiungere il valore di 985 mm nelle curve di raggio inferiore a 150 metri secondo la tabella sottoindicata :

Raggio della curva		Scartamento
da metri	a metri	mm
∞	1101	950
1100	651	955
650	401	960
400	301	965
300	176	970
175	151	980
150	70	985

L'aumento dello scartamento in piena linea ha lo scopo di facilitare l'iscrizione in curva ed in piena velocità dei convogli (viaggiatori e treni materiali) autorizzati a circolare su quella determinata linea e cioè senza affaticare eccessivamente il binario e gli stessi organi di rotolamento dei veicoli.

In applicazione di tale criterio, si sono stabilite delle norme che determinano, in relazione al raggio di curva ed al valore dello scartamento suindicato, i valori del passo rigido ammesso per i rotabili in servizio corrente su una data linea ferroviaria (il passo rigido di un veicolo è rappresentato dalla distanza esistente tra a prima e l'ultima delle sale che non hanno spostabilità radiale né trasversale).

Quando invece si debba considerare la possibilità di far percorrere una data curva a velocità limitata le condizioni di ammissibilità di un determinato tipo di veicolo sono valutate in relazione alla sola possibilità di inscrizione geometrica del rotabile nella curva stessa, tenuto conto della entità dello scartamento ad essa assegnato e senza preoccuparsi, in questo caso, dell'affaticamento che ne deriva al binario che è supposto completamente rigido.

È per questa diversa concezione delle possibilità di inscrizione in curva di un veicolo che nei binari secondari di stazione e nei raccordi si possono adottare curve aventi raggi notevolmente ridotti rispetto a quelli minimi imposti per la piena linea.

Un altro motivo che consiglia di aumentare lo scartamento in curva deriva dal fatto che le ruote di uno stesso asse, essendo rigidamente calettate ad esso, compiono sempre lo stesso numero di giri e quindi, a veicolo in posizione centrata rispetto al binario, lo stesso percorso. Le due rotaie di un binario in curva hanno invece diverso sviluppo perché poste su raggi diversi e pertanto le ruote del veicolo dovrebbero compensare tale differenza strisciando sulle rotaie per una lunghezza pari alla differenza di sviluppo delle due rotaie (come è noto nelle automobili questo inconveniente viene evitato dal differenziale che permette alle due ruote motrici di percorrere spazi differenti — ecco perché si chiama differenziale — a parità di giri dell'albero motore).

Il fenomeno dello strisciamento in curva viene ridotto sfruttando la conicità di 1/20 delle ruote dei veicoli. Quando il veicolo, infatti, percorre la curva a velocità elevata esso si sposta tutto verso la rotaia esterna per effetto della forza centrifuga ed allora la ruota corrispondente alla rotaia ester-

LE TOLLERANZE SULLO SCARTAMENTO

Come tutte le misure di grandezze fisiche anche per lo scartamento esistono delle tolleranze rispetto ai valori prescritti in rettilineo ed in curva.

Presso le reti ferroviarie vengono definite :

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

Le tolleranze di manutenzione sono, evidentemente, meno restrittive di quelle di costruzione per tener conto dell'inevitabile usura dei componenti del binario sottoposti alle azioni dell'esercizio.

Le differenze fra tolleranze di costruzione e tolleranze di esercizio rappresentano le modifiche che possono subire le caratteristiche geometriche per effetto delle azioni indotte dall'esercizio prima che venga richiesto un intervento manutentivo.

Mentre le tolleranze di esercizio discendono dalle interazioni presenti fra le diverse componenti del sistema veicolo-binario in stretta relazione tecnica con la qualità della circolazione che si intende ottenere, sulla scelta dei valori da attribuire alle tolleranze di costruzione non può non intervenire una valutazione economica nel senso che è evidente che più strette sono le tolleranze di costruzione più costa l'impianto, ma meno frequente è l'intervento manutentivo.

na, data la suddetta conicità, tocca tale rotaia su un cerchio di rotolamento avente diametro maggiore. Il fenomeno opposto si verifica per la ruota che circola sulla rotaia interna.

Ne consegue che, a parità di giri delle due ruote, la ruota esterna alla curva compie un maggiore spazio (per il maggior diametro del suo cerchio di rotolamento) che non la ruota interna alla curva. Si possono così compensare in tutto od in parte i fenomeni di strisciamento prima accennati.

Perciò se in curva noi aumentiamo lo scartamento e quindi il gioco esistente tra rotaia e bordino, l'asse viaggiante sulla curva avrà modo di spostarsi di più verso la rotaia esterna e si potranno così ridurre ulteriormente i fenomeni di strisciamento dei quali si è parlato.

L'avvento della traversa in cemento armato precompresso [1] ha reso non significativa, per lo scartamento, la tolleranza di manutenzione, essendo impraticabile l'operazione di correzione dello scartamento che era usuale per le traverse in legno. Tale grandezza, invece, permane per le altre caratteristiche geometriche.

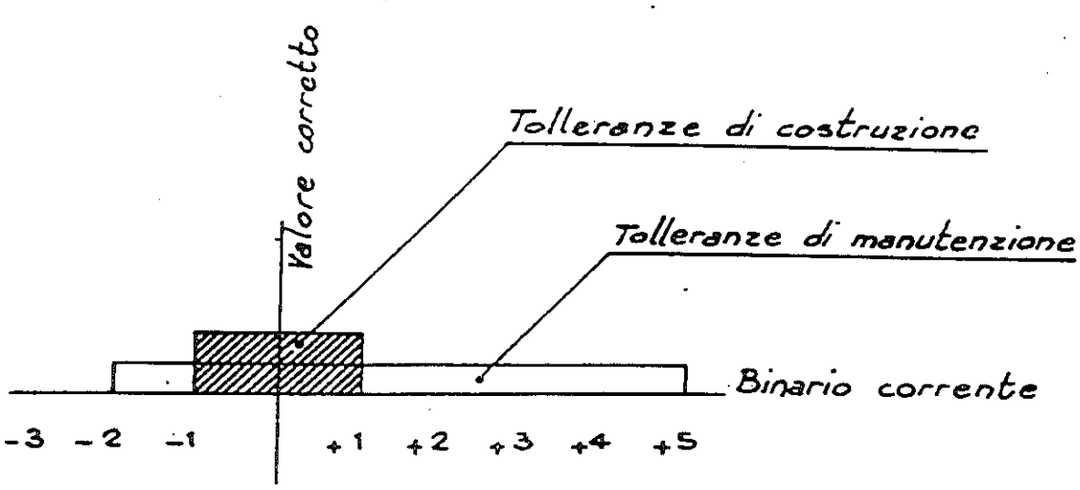
Se il binario è, invece, armato su traverse in legno si possono adottare, sulla scorta di quanto stabilito dalle principali dalle principali reti ferroviarie, i seguenti valori

- tolleranze di costruzione ± 1 mm
- tolleranze di manutenzione + 5 mm, - 2 mm
- tolleranze di esercizio + 7 mm, - 3 mm

Sia le tolleranze da rispettare nei lavori di costruzione o di rinnovamento sia quelle per i lavori di manutenzione hanno però un secondo vincolo in quanto la variazione di scartamento tra due appoggi che si susseguono non deve superare il valore di 1 mm. Pertanto in sede di manutenzione di un binario in rettifilo si possono ad esempio lasciare inalterati, e cioè senza dover correggere lo scartamento e quindi rilavorare le traverse, due appoggi in cui il valore dello scartamento sia rispettivamente di 950 − 2 = 948 mm e di 950 + 5 = 955 mm alla condizione che tra questi due appoggi ve ne siano interposti *almeno* altri sei in cui i valori dello scartamento risultino nell'ordine di 949; 950; 951; 952; 953; 954 mm.

È tuttavia evidente che se in un lavoro di revisione una traversa deve comunque essere rilavorata, in tale punto si dovrà cercare di riportare lo scartamento ai valori normali (senza cioè le tolleranze di + 5 e − 2 mm) anche a costo di rilavorare qualche traversa adiacente.

Per quanto riguarda le tolleranze d'esercizio in meno, almeno per i binari in rettifilo, possiamo far riferimento a quanto stabilito in sede Internazionale (unità tecnica delle Ferrovie) per la quale il valore minimo dello scartamento è fissato in 947 mm con una tolleranza di meno 3 mm rispetto ai 950 mm adottati dalle Ferrovie Secondarie. Per quanto riguarda la tolleranza in più, sia in retta che in curva, si fa presente che la stessa unità tecnica fissa in 990 mm il valore massimo che può avere lo scartamento di un binario. Se infatti si considera che lo scartamento ammesso nelle curve di raggio inferiore ai 150 m in sede di revisione del binario è di 985 + 5 = = 990 mm, si deduce che un veicolo ferroviario può circolare senza pericolo su un binario avente tale valore dello scartamento (sia esso in curva che in retta). Questo fatto è senz'altro vero quando la velocità dei veicolo o del convoglio non è elevata e del resto le stesse misure del rodiggio ce lo con-



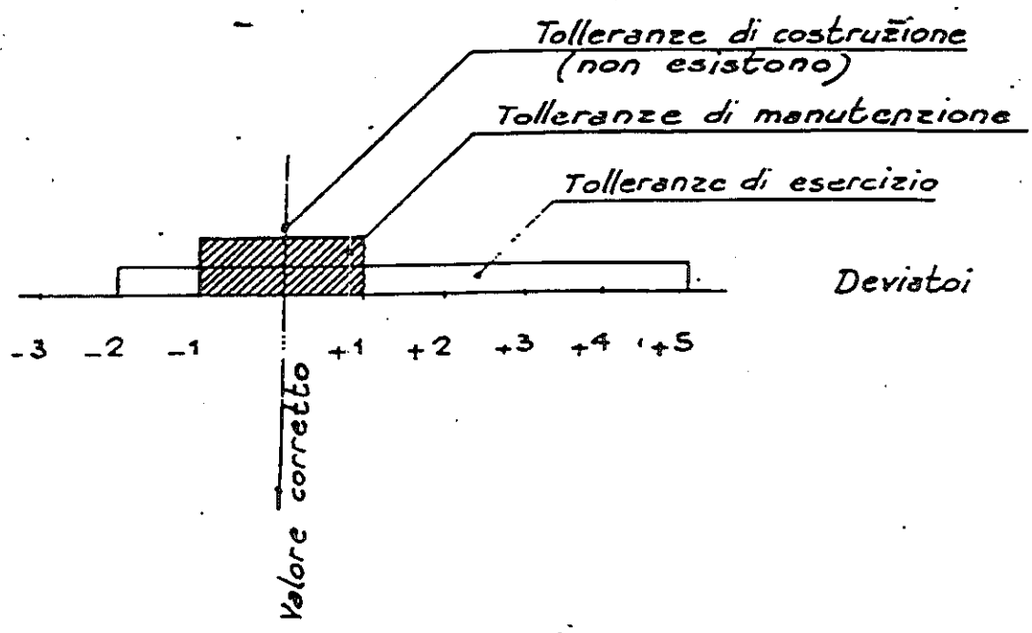


Fig. 3.2-*a* - Tolleranze riguardanti lo scartamento

fermano. Il problema si complica quando su quel binario circolano veicoli a velocità elevata in quanto è noto che uno scartamento eccessivamente largo fa aumentare quei movimenti di serpeggiamento dei veicoli che causano un notevole disturbo alla loro marcia. Tale moto di serpeggiamento è infine influenzato in misura ancor più decisiva dalle irregolarità nella misura dello scartamento che certamente accompagna uno scartamento eccessivamente largo. Si vuol dire che uno scartamento molto largo avrà certamente valori dello scartamento oscillanti in misura notevole tra i vari appoggi e che sono proprio questi a rendere gravi ed imponenti i moti di serpeggiamento.

Ed allora cosa si conclude? Si conclude che su binari, anche in rettifilo, ove i treni circolano a velocità limitata uno scartamento largo fino a 990 mm non può essere causa di inconvenienti d'esercizio; se, invece, sullo stesso binario i treni debbono o possono circolare a velocità elevata uno scartamento eccessivamente largo rispetto ai valori prescritti e quindi certamente con andamento notevolmente irregolare, può essere pericoloso agli effetti dell'esercizio. In tal caso è la sensibilità e l'esperienza del personale dell'esercizio che effettua le scorte in treno (e cioè soprattutto il Dirigente della linea) a stabilire praticamente quando un binario ha urgente bisogno di revisione od in mancanza si debba addirittura imporre una limitazione alla velocità dei treni.

La stessa distinzione fra i diversi valori delle tolleranze possiamo farla per le tolleranze di scartamento relative agli apparecchi di binario. Anche per i deviatoi avremo tolleranze in sede di costruzione imposte dai contratti, tolleranze di manutenzione, imposte dalla D.G.T.A. (± 1 mm), e tolleranze di esercizio

Al fine di facilitare il tecnico dell'armamento si sono riunite in un unico punto tutte le tolleranze interessanti lo scartamento rendendo così immediata la lettura dei differenti valori *(fig. 3.2-a)*.

COME SI REALIZZA L'ALLARGAMENTO DI SCARTAMENTO

L'allargamento dello scartamento, prescritto nelle curve di raggio inferiore ai 1100 m, si realizza spostando verso il centro della curva la rotaia interna. La posizione planimetrica della rotaia esterna non viene alterata perché essa costituisce la guida del veicolo che affronta la curva in quanto quest'ultimo è sollecitato trasversalmente verso l'esterno dalla forza centrifuga. Una modifica del tracciato della rotaia esterna turberebbe, quindi, la marcia del materiale mobile.

L'allargamento dello scartamento viene realizzato nella misura di:

— 1 millimetro per metro di binario quando la massima velocità di percorrenza della curva è uguale o maggiore di 50 km/ora;

— 2 millimetri per metro quando la suddetta velocità massima è inferiore ai 50 km/ora;

— 3 millimetri per metro, eccezionalmente, per le curve dei binari secondari di stazione.

Il raccordo di scartamento si esegue:

— ove esistono i raccordi parabolici completamente sullo sviluppo del raccordo e precisamente nel tratto immediatamente precedente la curva circolare. Si fa coincidere la fine del raccordo di scartamento, cioè il punto il cui scartamento ha subito tutto l'allargamento previsto, con il punto di tangenza tra raccordo parabolico e curva circolare e si realizza il raccordo di scartamento tornando indietro lungo il raccordo parabolico fino a trovare il punto in cui lo scartamento ha il suo valore normale *(fig. 33-a)*. Allo stesso modo

si provvede per le curve policentriche provviste di raccordo parabolico intermedio realizzando il raccordo di scartamento in modo da far coincidere la fine dell'allargamento dello scartamento con il punto di tangenza comune tra il raccordo e la curva di raggio minore *(fig. 3.3-b)*;

— nelle curve a raggio unico senza raccordo parabolico, il raccordo di scartamento si realizza tutto nella curva ed ha inizio nel punto di tangenza di quest'ultima con il rettifilo *(fig. 3.3-c)*;

— egualmente in una policentrica senza raccordi parabolici è bene realizzare l'allargamento di scartamento tutto nella curva con raggio minore partendo dal punto di tangenza con la curva di raggio più grande *(fig. 3.3-d)*.

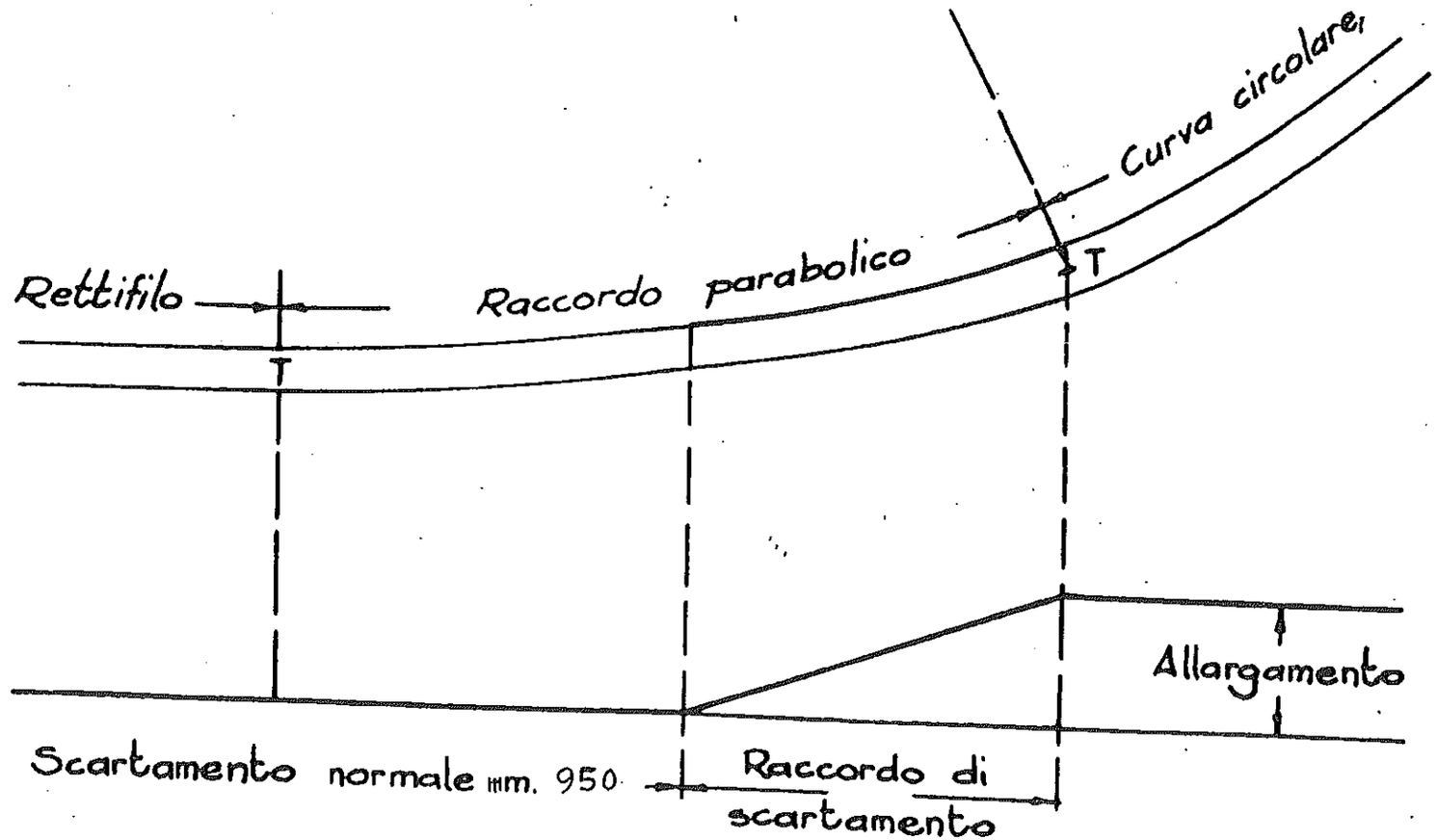


Fig. 3.3-a - Raccordo dello scartamento in curve a raggio unico munite di raccordo parabolico

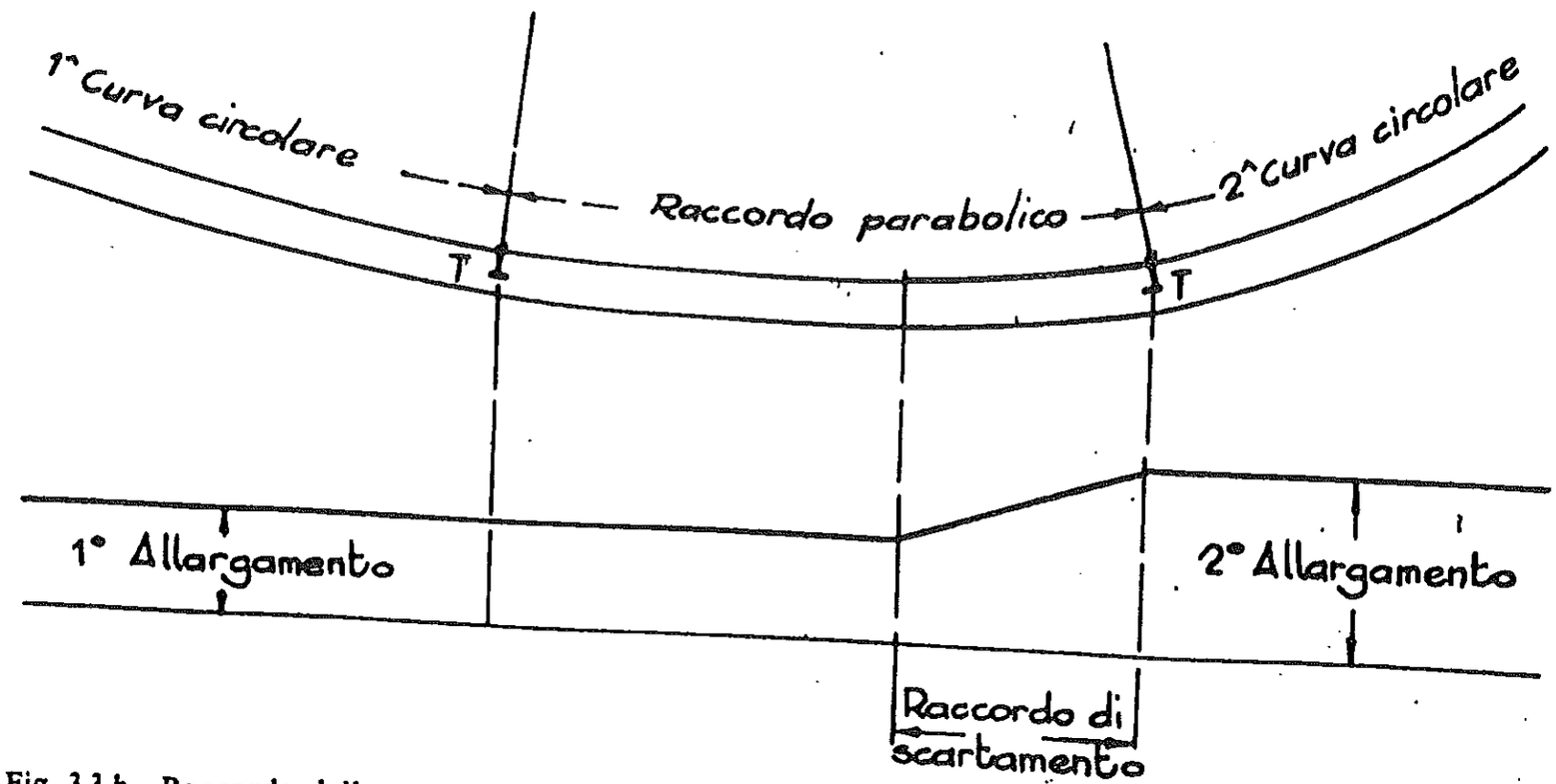


Fig. 3.3-*b* - Raccordo dello scartamento in curve policentriche munite di raccordo parabolico intermedio

COME SI MISURA LO SCARTAMENTO

Lo scartamento, come tutte le caratteristiche del binario, può essere misurato a binario carico o a binario scarico. Evidentemente la prima misura è quella più probante perché la grandezza viene rilevata mentre il binario si trova in condizioni prossime a quelle del normale esercizio; è necessario, però, disporre di un convoglio ferroviario vero e proprio formato da un mezzo di trazione e da una carrozza registratrice (carrozza Amsler) oppure di un carrello registratore automotore (carrello MATISA PV6) per cui tale misura è possibile solamente dopo aver programmato o la corsa di un treno straordinario o la circolazione di carrello non rimovibile.

La misura a binario scarico, pur effettuata in condizioni diverse da quelle nelle quali si trova il binario durante il passaggio dei treni, è quella più comunemente usata perché è eseguibile con strumenti leggeri portatili (calibri) o con carrellini facilmente deragliabili (carrello Jezzi). L'esperienza di colui che esegue la misura, esperienza formatasi mediante l'esame comparato dei diagrammi Amsler o MATISA e dei rilievi eseguiti con un calibro o con il carrello Jezzi, permette di avere un'idea delle condizioni del binario al momento del passaggio dei treni.

La misura dello scartamento può essere, poi, continua (effettuata con l'aiuto delle carrozze registratrici o dei carrelli registratori) o discontinua (eseguita mediante calibri). È chia-

ro che il primo tipo di rilievo fornisce una visione completa dell'andamento dello scartamento; la maggior facilità del secondo tipo lo rende, però, più usuale. Anche in questo caso sarà l'esperienza del rilevatore a supplire le deficienze del sistema di misura.

I calibri normalmente usati possono essere:

— il metro calibro; che tutti conoscono e che trova utile impiego in caso di controllo rapido e saltuario soprattutto perché di ingombro molto ridotto e di facile trasportabilità;

— i vari calibri ad una o più misure fisse utili per quei lavori (soprattutto costruzione dei binari o rinnovamenti) nei quali si deve realizzare una misura fissa con tolleranze minime;

— i calibri con dispositivi a corsoio che permettono la lettura diretta del valore dello scartamento qualunque esso sia con l'approssimazione del millimetro.

Questi calibri sono spesso accoppiati con dispositivi che permettono anche il controllo del livello trasversale.

IL MOTO DEL VEICOLO IN CURVA

Quando un veicolo percorre una curva esso è sottoposto, oltre che al proprio peso, ad una forza, detta *forza centrifuga*, applicata al baricentro dei veicolo, rivolta verso l'esterno della curva *(fig. 4.1-a)*.

Tale forza, a parità di peso del veicolo, è tanto maggiore quanto più elevata è la velocità di percorrenza e quanto più piccolo è il raggio della curva. La formula che ci permette di calcolarla è

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

ove

F_c = forza centrifuga in kg;
P = peso del veicolo in kg;
V = velocità del veicolo in m/sec;
R = raggio della curva in metri;
g = accelerazione di gravità pari a 9,81 m/sec^2.

Il termine $\frac{V^2}{R}$ si chiamerà accelerazione centrifuga.

La forza centrifuga, che agisce non solo sul veicolo, ma anche su tutti i corpi trasportati, rende poco confortevole il viaggio o, addirittura, se di intensità sufficiente, tenderebbe a far slineare il binario o addirittura a far sviare o ribaltare il

treno (ma di solito prima si slinea il binario e poi, a volte con il treno successivo, si ha lo svio).

Per contenere l'intensità della forza centrifuga entro limiti accettabili è necessario o limitare la velocità del veicolo, riducendo, così, le prestazioni del sistema di trasporto, o aumentare il raggio di curvatura delle curve. Esiste, però, una terza possibilità che permette di limitare le conseguenze della

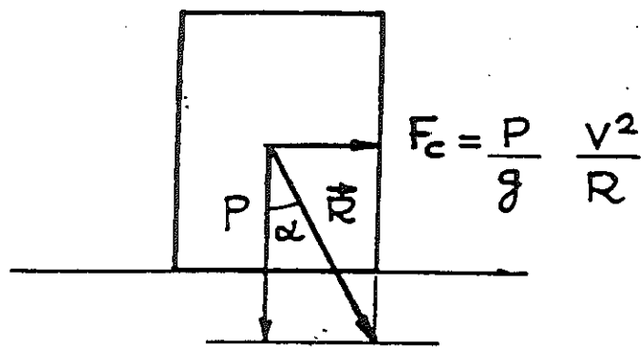


Fig. 4.1-*a* - Forze applicate ad un veicolo che percorre una curva

forza centrifuga senza ridurne l'intensità: disporre il binario in modo tale che il piano del ferro venga a trovarsi normale alla risultante $\vec{R}$ della forza centrifuga e del peso. In tal modo il veicolo ed, in generale, tutti i corpi trasportati, sono sottoposti ad una forza che non ne altera l'assetto trasversale; lo stesso binario subisce una forza che non tende a modificarne la posizione planimetrica.

L'inclinazione trasversale del piano del ferro rispetto all'orizzontale dovrà essere, evidentemente, uguale all'inclinazione della risultante rispetto alla verticale, cioè, facendo riferimento alla figura 4.1-*b*

$$\frac{h}{s} = \frac{F_c}{P}$$

da cui si ricava la sopraelevazione

$$h = \frac{s V^2}{g R} \qquad (1)$$

da attribuire alla corda esterna del binario per compensare totalmente la forza centrifuga che si manifesta quando una curva di raggio R viene percorsa a velocità V.

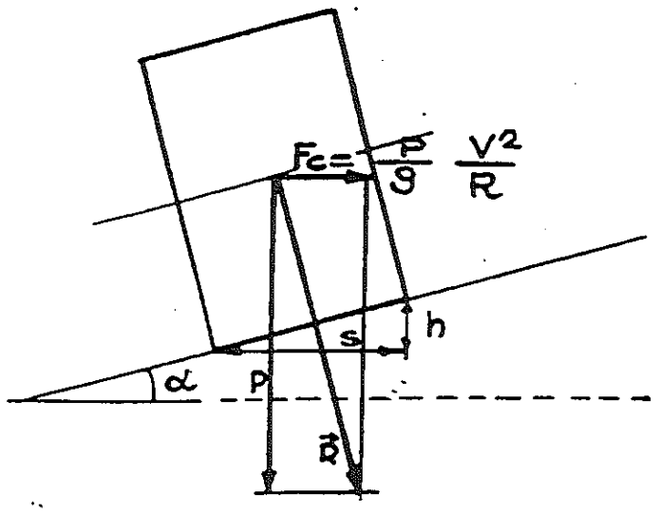


Fig. 4.1-*b* - Assetto trasversale del binario in curva che compensa totalmente la forza centrifuga

Tale sopraelevazione però non può essere aumentata quanto si vuole perché la stessa curva può essere percorsa anche da treni che abbiano una velocità ridotta o addirittura perché un treno può doversi fermare in un tratto in curva. In tali condizioni, se la sopraelevazione assegnata al binario fosse eccessiva, sorgerebbero altri inconvenienti dovuti alla inclinazione dei veicoli rispetto all'orizzontale come, ad es., disturbo ai viaggiatori (si pensi alle vetture ristorante) oppure perché la rotaia interna risulterebbe troppo caricata od infine perché diverrebbero pericolose le condizioni di avviamento di un treno precedentemente fermatosi (svio per sormonto della ruota esterna, troppo scarica, sulla rotaia). Si deve quindi fissare un valore della sopraelevazione massima che in Circumvesuviana è stato stabilito di 6,5 cm. Una volta fissato tale valore, la velocità

massima alla quale si può percorrere una determinata curva risulta pure determinata: essa deve essere tale da creare una forza centrifuga che sia sufficientemente compensata dalla sopraelevazione di 16 cm. Infatti la differenza tra forza centrifuga e componente del peso del veicolo (che la equilibra almeno in parte) deve poter essere sopportata dal binario con piena sicurezza.

Tale velocità si chiama *velocità di tracciato* e, si ripete, è la massima velocità alla quale può essere percorsa una curva quando la sopraelevazione assegnata al binario è di 16 cm.

Sostituendo nella formula (1) al posto di s e di g i rispettivi valori (1010 mm ; 9,81 m/sec² e trasformando V da Km/h a m/sec, si ottiene:

$$h = 7{,}94 \frac{V^2}{R} \text{ mm} \qquad (2)$$

se si esprime V in km/h ed R in m.

Le condizioni del moto del veicolo che percorre la curva di raggio R alla velocità V sono certamente ottimali e non differiscono dalle condizioni che si avrebbero se il veicolo percorresse un rettilineo, però esse sono eccessivamente onerose per l'esercizio perché, a parità di R e di h, impongono forti limitazioni alla velocità del veicolo.

Per superare tale limitazione si è preferito non compensare totalmente con la sopraelevazione la forza centrifuga accettando che una parte di essa seguitasse a far sentire la propria efficacia sul veicolo. I valori dell'accelerazione centrifuga non compensata valgono :

a_c = 0,6 m/s² per i treni pesanti (merci e viaggiatori composti da materiale ordinario)

a_c = 0,8 m/s² per i treni viaggiatori formati da materiale leggero (automotrice, elettromotrici) o da carrozze marcate per $V \geq 140$ km/h, trainate da locomotive E 646, E 636, E 632/633, E 444

a_c = 1 m/s² per i treni viaggiatori composti da materiale con elevata stabilità e bassa aggressività sul binario, come gli elettrotreni della Circumvesuviana.

a_c = 1,8 m/s² per i treni ad assetto variabile (tipo Pendolino).

LA SOPRAELEVAZIONE DEL BINARIO

Nel paragrafo precedente si è visto come si è ritenuto di poter garantire una marcia sufficientemente confortevole anche accettando una accelerazione centrifuga non compensata per valori prestabiliti . Tali valori sono presenti, però, solamente in corrispondenza del valore massimo della sopraelevazione; per valori inferiori ai 65 mm anche l'accelerazione centrifuga non compensata è proporzionalmente minore.

Per spiegarci meglio ci si aiuterà con la figura 4.2-*a* nella quale abbiamo riportato il diagramma della sopraelevazione che compensa totalmente la forza centrifuga, formula (2) di pagina 32 , in funzione di V^2/R.

È chiaro che accettare un'accelerazione centrifuga non compensata è come dire di accettare un difetto di sopraelevazione Δh tale che

$$\frac{\Delta h}{s} = \frac{F_e}{P}$$

cioè

$$\Delta h = \frac{s}{g} a_e$$

dove a_e è l'accelerazione centrifuga non compensata.

Se si accetta un valore di accelerazione centrifuga non com-

pensata costante, la legge di variazione della sopraelevazione in funzione di V^2/R sarà rappresentata da una retta parallela alla ① della figura 4.2-*a* e distante da essa Δh; se, invece, si preferisce che il difetto di sopraelevazione e, quindi, l'accelerazione centrifuga non compensata, decresca proporzionalmente con la

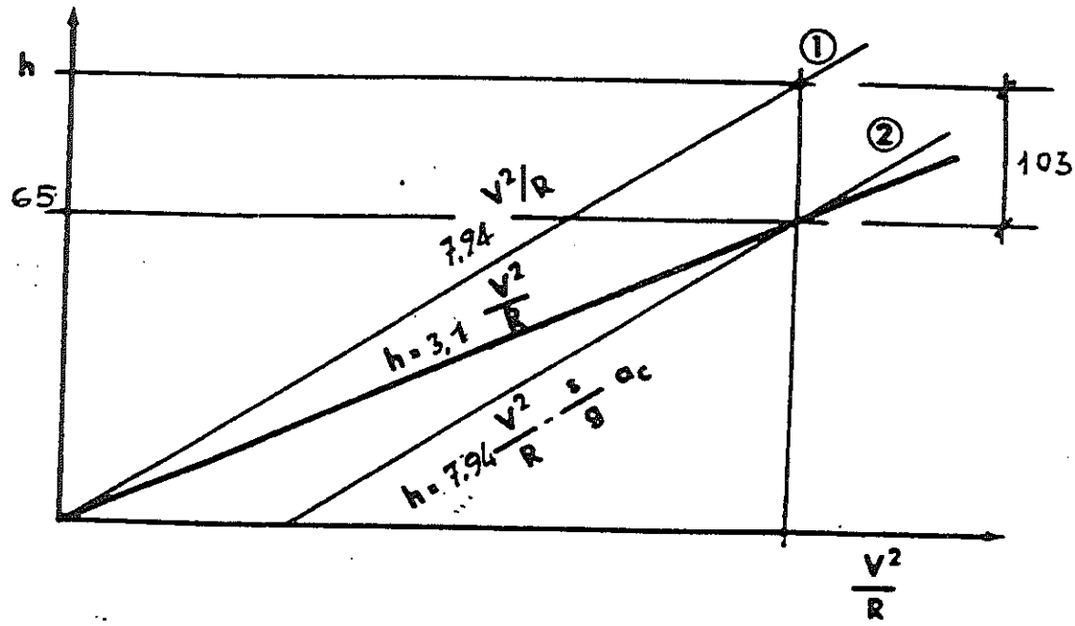


Fig. 4.2-*a* - Diagramma delle sopraelevazioni

sopraelevazione, la legge di variazione di h sarà rappresentata da una retta con una pendenza ridotta rispetto a quella della ① secondo il rapporto

$$\frac{65}{65 + \Delta h}$$

che, nel caso dei treni Circum. assume il valore di 0,39 La formula che darà la sopraelevazione sarà allora

$$h = 0{,}39 \times 7{,}94 \frac{V^2}{R} = 3{,}1 \frac{V^2}{R}$$

Tale formula è stata praticamente calcolata per tutti i casi possibili e riportata nella tabella allegata, in cui i valori della sopraelevazione sono espressi in centimetri in quanto nella

RAGGI DELLE CURVE IN METRI	VELOCITA' IN KM/H															
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
	SOPRAELEVAZIONE IN MM.															
70	10	20	30	40	55	65	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
80	10	15	25	35	50	65	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
90	10	15	20	30	45	55	65	–	–	–	–	–	–	–	–	–
100	10	15	20	30	40	50	65	–	–	–	–	–	–	–	–	–
110	0	10	20	25	35	45	60	65	–	–	–	–	–	–	–	–
120	0	10	20	25	35	40	50	65	–	–	–	–	–	–	–	–
130	0	10	15	20	30	40	50	60	65	–	–	–	–	–	–	–
140	0	10	15	20	30	35	45	55	65	–	–	–	–	–	–	–
150	0	10	15	20	25	35	45	55	65	–	–	–	–	–	–	–
160	0	10	15	20	25	30	40	50	60	65	–	–	–	–	–	–
180	0	10	10	15	20	30	35	45	55	65	–	–	–	–	–	–
200	0	0	10	15	20	25	30	40	50	60	65	–	–	–	–	–
220	0	0	10	15	20	25	30	35	45	50	60	65	–	–	–	–
240	0	0	10	10	15	20	25	35	40	50	55	65	–	–	–	–
250	0	0	10	10	15	20	25	30	40	45	55	65	–	–	–	–
260	0	0	10	10	15	20	25	30	40	45	50	60	65	–	–	–
280	0	0	10	10	15	20	25	30	35	40	50	55	65	–	–	–
300	0	0	0	10	15	20	20	30	30	40	45	50	60	65	–	–
320	0	0	0	10	10	15	20	25	30	35	40	50	55	65	–	–
340	0	0	0	10	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60	65	–
350	0	0	0	10	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	65	–
360	0	0	0	10	10	15	20	20	25	30	40	45	50	60	65	–
380	0	0	0	10	10	15	15	20	25	30	35	40	50	55	60	65
400	0	0	0	0	10	15	15	20	25	30	35	40	45	50	60	65
450	0	0	0	0	10	10	15	20	20	25	30	35	40	45	50	60
500	0	0	0	0	10	10	15	15	20	25	30	30	35	40	45	50
550	0	0	0	0	10	10	10	15	20	20	25	30	35	40	40	45
600	0	0	0	0	0	10	10	15	15	20	20	25	30	35	40	45
650	0	0	0	0	0	10	10	10	15	20	20	25	30	30	35	40
700	0	0	0	0	0	10	10	10	15	15	20	20	25	30	35	40
750	0	0	0	0	0	0	10	10	15	15	20	20	25	30	30	35
800	0	0	0	0	0	0	10	10	10	15	20	20	20	25	30	30
850	0	0	0	0	0	0	10	10	10	15	15	20	20	25	30	30
900	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	15	20	20	20	25	30
950	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	15	15	20	20	25	30
1000	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	15	15	20	20	20	25
1100	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	15	15	20	20	25
1200	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	15	15	20	20	20
1300	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	15	15	20	20
1400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	15	15	15	20
1500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	15	15	20
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	15
2500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10
3000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10

I valori della sopraelevazione sono ricavati con la formula $h=3,1\frac{V^2}{R}$

pratica la sopraelevazione è realizzata arrotondando al centimetro per eccesso o per difetto i risultati della formula.

In generale si dà alla curva la sopraelevazione che compete per la circolazione dei treni ordinari e solo in casi eccezionali si può dare alla curva quella maggiore sopraelevazione imposta dalla velocità di circolazione di mezzi speciali.

Una volta assegnata ad una curva una determinata sopraelevazione, poiché la linea è percorsa da treni più veloci e da treni più lenti vediamo quali saranno le sollecitazioni sul binario dipendenti appunto dalla velocità alla quale il treno percorre la curva.

Se V_c è la velocità d'esercizio considerata per ricavare la sopraelevazione h data al binario, possono verificarsi i seguenti casi:

— Un treno percorre la curva ad una velocità compresa tra $\frac{62}{100} V_c$ e V_c. In tale caso il treno è sollecitato da una forza che lo spinge verso l'esterno della curva pari alla differenza tra la forza centrifuga e la componente orizzontale del suo peso dipendente dalla sopraelevazione assegnata alla rotaia esterna del binario in curva. In altri termini quando la effettiva velocità del treno è compresa nei limiti suindicati, la forza centrifuga è maggiore della componente del peso che contrasta appunto la forza centrifuga ed in definitiva il treno è spinto verso l'esterno della curva. Eguale spinta subisce il binario percorso dal treno nelle condizioni suddette.

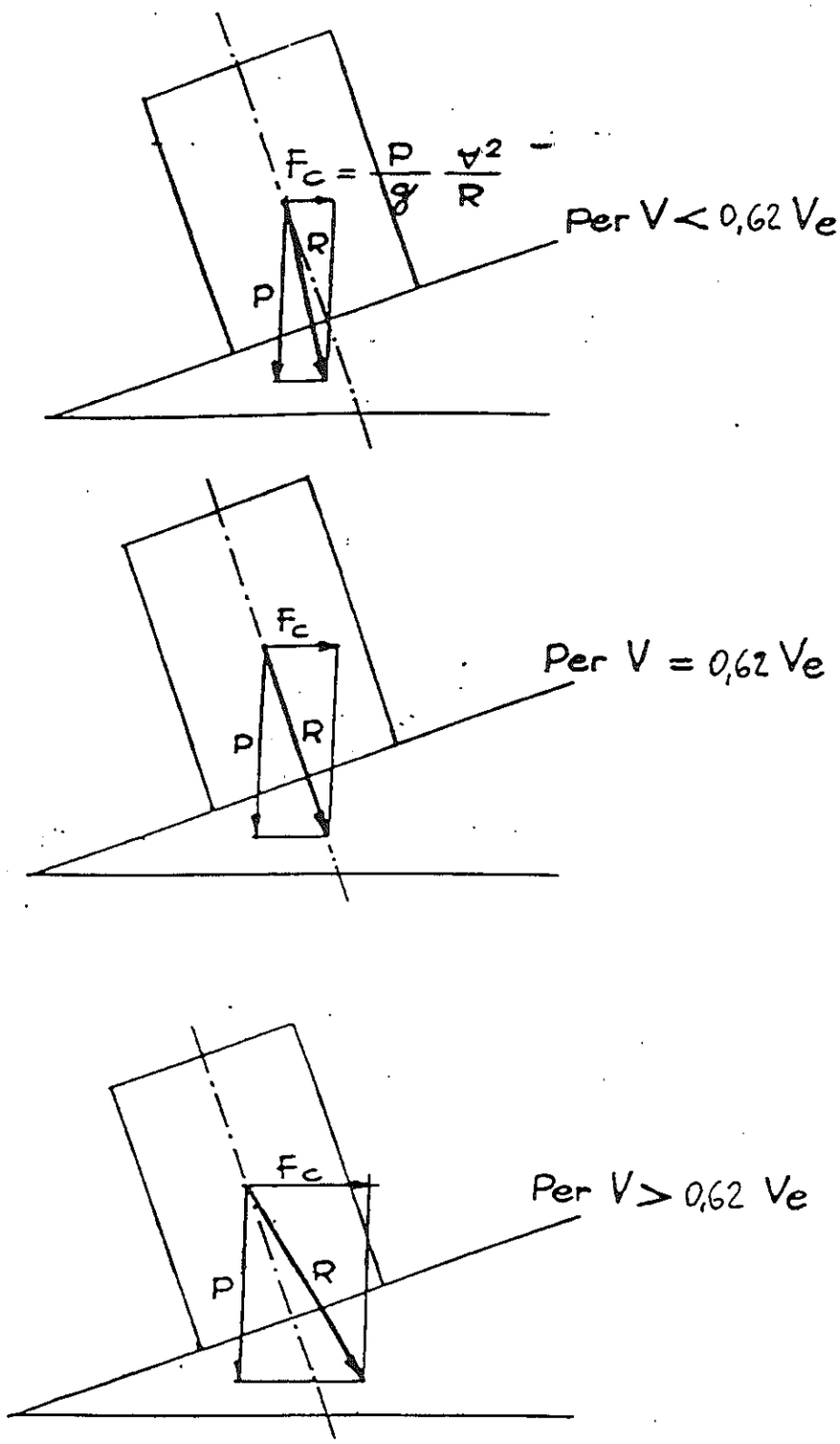


Fig. 4.2-*b* - Schema delle forze che agiscono su un veicolo in curva diverse velocità del veicolo stesso

Se un treno percorre una curva ad una velocità compresa tra 0,62 Ve e Ve allora il treno ed il binario sono spinti verso l'esterno della curva; se la velocità del treno è esattamente di 0,62 Ve non vi sono sollecitazioni per effetto della forza centrifuga contrastata dall'eguale componente del peso del treno; se, infine, il treno viaggia a velocità inferiore a 0,62 Ve, allora l'effetto della sopraelevazione assegnata alla curva supera quello della forza centrifuga ed il treno è spinto verso l'interno della curva. E la rotaia bassa, in tal caso, ad essere sollecitata.

Per concludere possiamo fare un'ultima osservazione. Se è vero che il valore della sopraelevazione, in genere, è dato dalla formula

$$h = 3{,}1 \cdot \frac{V^2}{R} \qquad (1)$$

qualora se ne ravvisi la necessità, si può applicare la:

$$h = 7{,}94 \frac{V^2}{R} - \Delta h$$

più restrittiva, come si evince dal grafico di pag. 34 ($\Delta h = 103$ mm)
Sarà bene, in questo caso, segnalare la cosa alla sede competente per ottenere il benestare.
Per finire, si ricorda che la tolleranza sulla misura della sopraelevazione in sede di esercizio è ± 5 mm, mentre la tolleranza in sede di manutenzione è ± 3 mm.

DEFINIZIONE DELLO SGHEMBO

Se si considerano due rette nello spazio, esse possono essere:

— incidenti, cioè possono avere un punto in comune;

— parallele, cioè possono avere la direzione in comune;

— sghembe, cioè non posseggono né un punto in comune né la direzione in comune.

Nei primi due casi le due rette individuano un piano, nel terzo invece no *(fig. 5.1-a)*.

Le due rotaie del binario sono la materializzazione di due rette parallele quando il binario è in rettilineo, sono due archi di circonferenza che giacciono su di una superficie conica quando il binario si trova in piena curva con una sopraelevazione, si possono assimilare a due rette sghembe quando il binario si trova in un raccordo di sopraelevazione.

Se confrontiamo i due archi di circonferenza di cui si è parlato con le due secanti che congiungono i loro estremi (approssimazione accettabile sia perché il contatto fra veicolo e binario è puntiforme, sia perché i raggi di curvatura sono sempre molto più grandi dei passi dei veicoli) le due rotaie individuano un piano quando il binario è in rettilineo od in curva, non lo individuano quando ci si trova in raccordo di sopraelevazione.

Diremo quindi che nel binario è presente uno *sghembo* quando le due rotaie non giacciono sullo stesso piano.

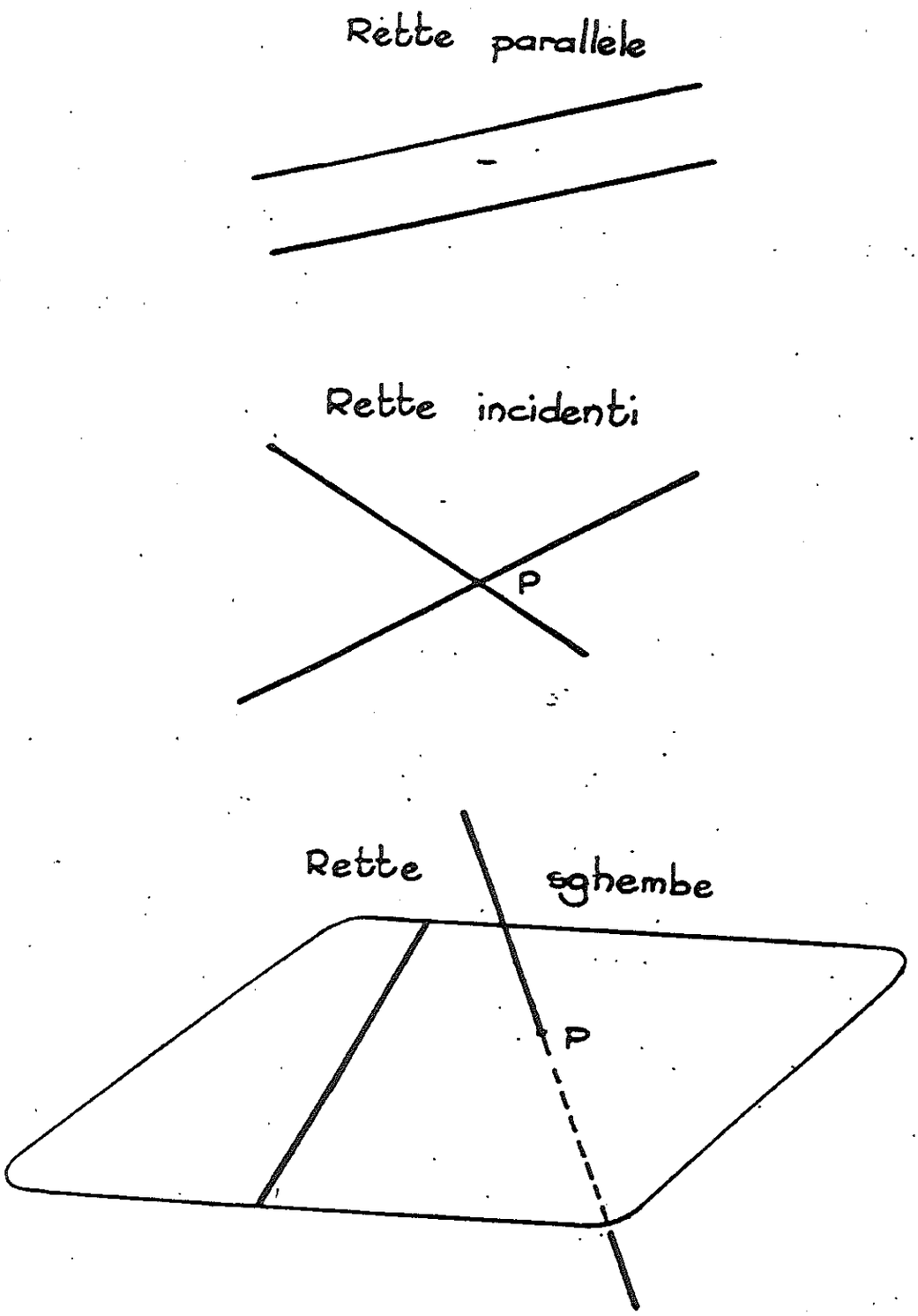


Fig. 5.1-*a* - Le rette nello spazio

Dalla definizione ora data risulta che lo sghembo non è un difetto del binario, bensì una sua caratteristica geometrica della stessa natura dello scartamento o della sopraelevazione. È evidente che lo sghembo diventa un difetto del binario quando assume un valore differente da quello corretto, ma l'esistenza dello sghembo non è di per sé indice di un binario difettoso (nei raccordi di sopraelevazione, infatti, il binario sarebbe difettoso se non esistesse lo sghembo).

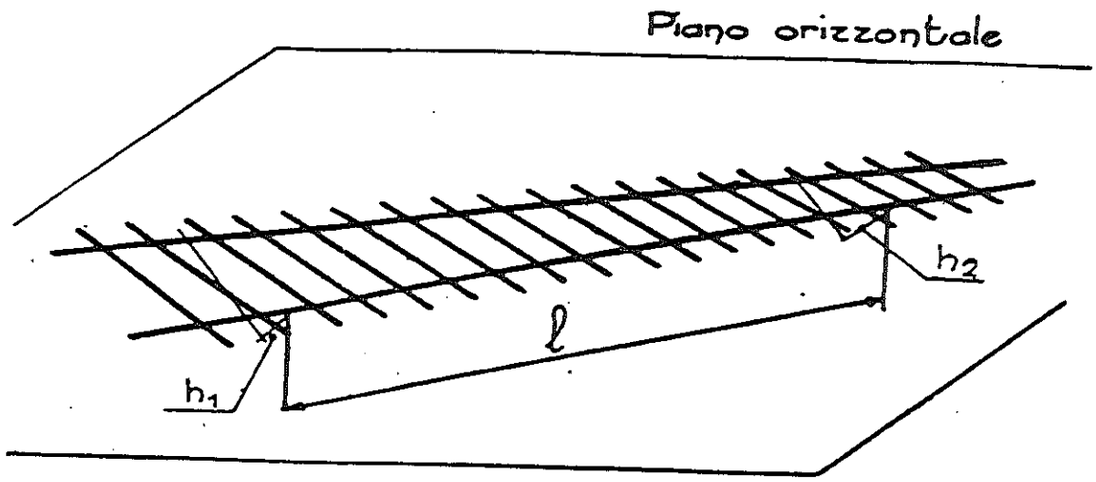
MISURA DELLO SGHEMBO

In presenza di sghembo le due rotaie, comportandosi come due rette che non posseggono una direzione comune, non hanno la stessa pendenza. Potremo, allora, assumere la differenza delle due pendenze come misura dello sghembo. Tale misura non potrà, quindi, essere attribuita ad un punto bensì ad un tratto di binario e, come la pendenza, sarà espressa semplicemente con un numero, rapporto fra la differenza di quota fra due punti del binario e la lunghezza che misura la distanza fra i due punti stessi.

In pratica, si misurerà, mediante il livello calibro, la differenza di livello trasversale fra due punti del binario e la si dividerà per la distanza fra tali due punti *(fig. 5.2-a)*.

Da quanto detto fino ad ora appare chiaro che il valore dello sghembo dipende dalla base di misura considerata: sarà quindi necessario scegliere il valore di tale base in funzione degli scopi che ci proponiamo con il rilievo *(fig. 5.2-b)*. Se, infatti, vogliamo controllare la qualità del binario dopo un intervento di manutenzione dovremo usare una base piccola (il passo delle traverse od il metro) per ottenere un quadro dell'andamento dello sghembo quanto più fino possibile; se, invece, vogliamo esaminare se le condizioni del binario possono essere state causa di uno svio, la lunghezza della base per il calcolo dovrà essere quella del passo del carro sviato *(fig. 5.2-c)*. Sghembi localizzati, infatti, anche se fuori tolleranza, non pos-

sono essere considerati come determinanti ai fini dello svio perché il veicolo, appoggiandosi su due punti del binario distanti il passo, non ne risente. Naturalmente, in questo secondo caso, non ci si potrà accontentare di misurare lo sghembo sola-



h_1 = livello trasversale nel punto 1

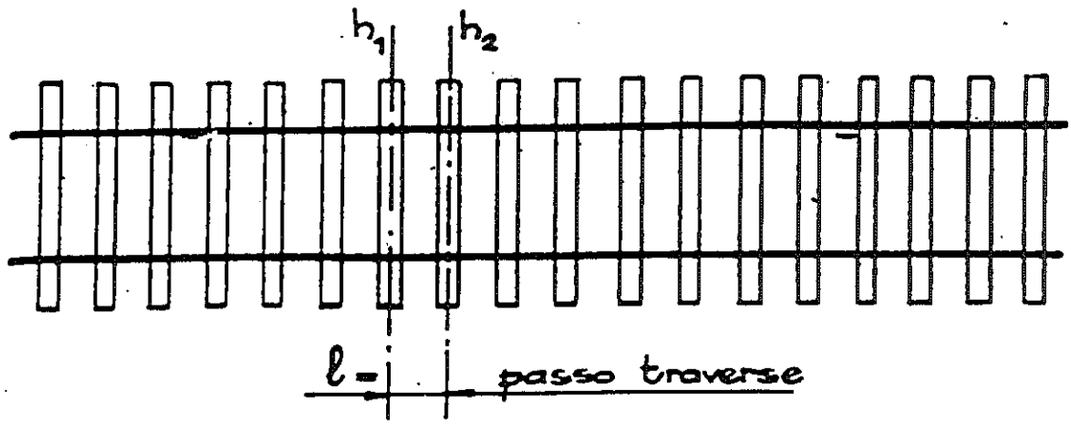
h_2 = livello trasversale nel punto 2

ℓ = distanza fra 1 e 2

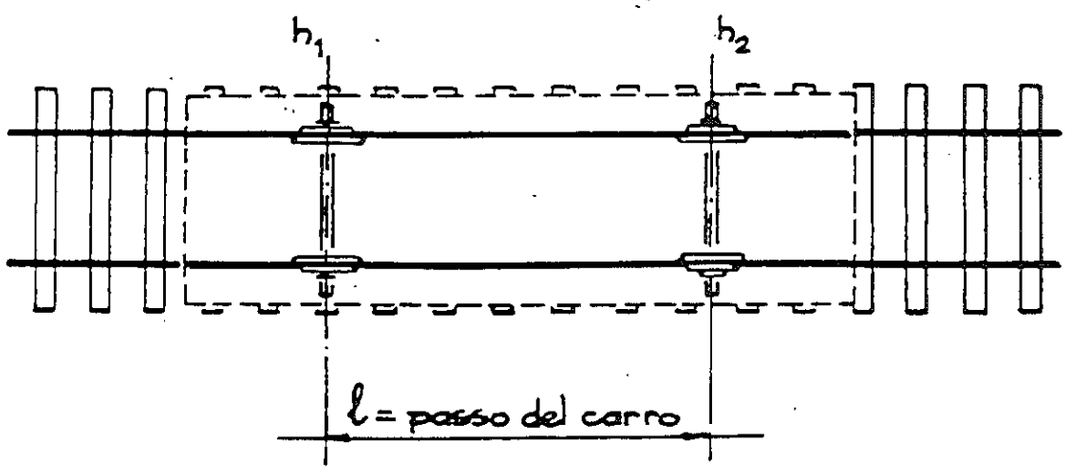
$$\text{sghembo} = \frac{h_1 - h_2}{\ell}$$

Fig. 5.2-*a* - Misura dello sghembo

mente in corrispondenza del punto di sormonto, ma si dovrà estendere l'analisi del binario per tanti metri per quanti erano i km/h della velocità del convoglio maggiorati della lunghezza dei veicoli sviati, spostandoci a monte di metro in metro.



a

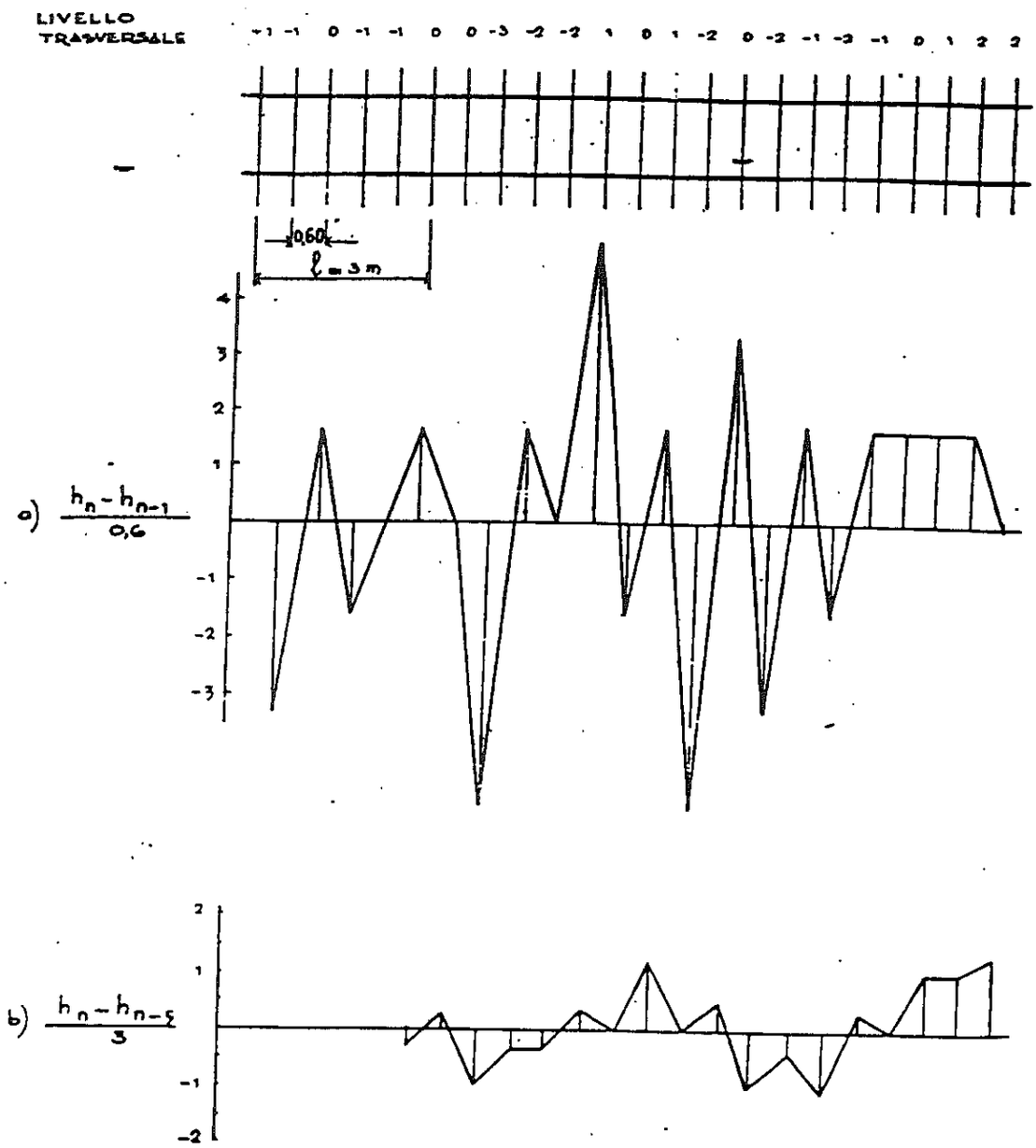


b

a - per analizzare la qualità del binario

b - per individuare le cause di uno svio

Fig. 5.2-*b* - Misura dello sghembo



a - sul modulo della traversa

b - su di un passo di carro di 3 m

Fig. 5.2-c - Rilievo dello sghembo

NOMENCLATURA

Nelle linee ferroviarie la circolazione dei treni avviene su quella particolare struttura che è il binario.

Il *binario* è costituito *(vedi fig. 1.1-a):*

— da una struttura, detta *armamento*, che serve di sostegno e di guida alle ruote dei treni e che è formata da due guide, chiamate *rotaie*, fissate su appoggi trasversali, detti *traverse;*

— dalla *massicciata*, che sostiene l'armamento.

La massicciata poggia su una superficie di adatte forma e dimensioni, che è chiamata *piattaforma* (o piano di regolamento).

Le superfici laterali della piattaforma, lasciate scoperte dalla massicciata, si chiamano *banchine*.

L'insieme delle opere che vengono eseguite per preparare il terreno naturale e renderlo atto a sostenere il binario, si dice *corpo stradale*.

Si dicono *opere d'arte* quelle particolari opere costruite sia per sostenere il corpo stradale (quali ad esempio i muri di sostegno) sia per permettere la continuità dello stesso corpo stradale, come i ponti per l'attraversamento di fiumi o le gallerie per l'attraversamento di rilievi montuosi.

La *strada ferrata* (che si può indicare semplicemente con l'unico termine di *via)*, comprensiva del binario e del corpo stradale, occupa una striscia di terreno più o meno larga (a seconda dell'entità delle opere del corpo stradale) che si dice *sede stradale*.

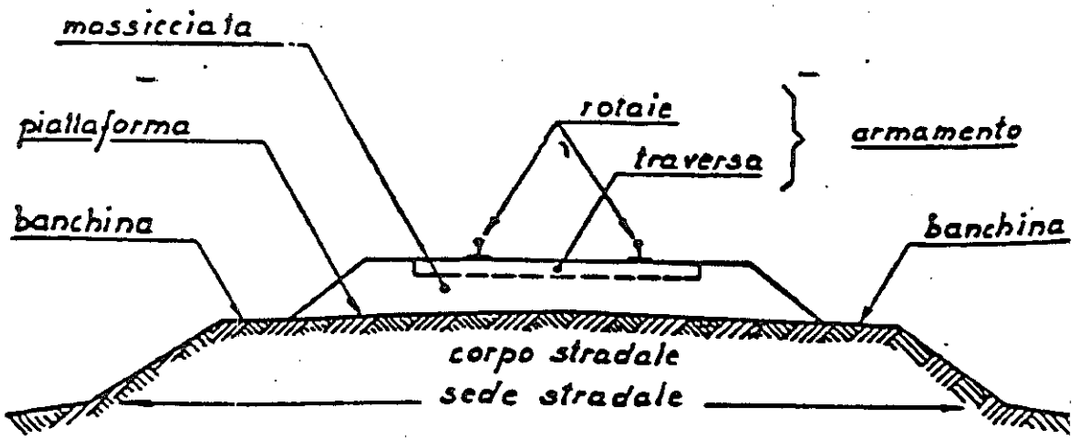


Fig. 1.1-*a* — Nomenclatura delle parti costituenti la strada ferrata

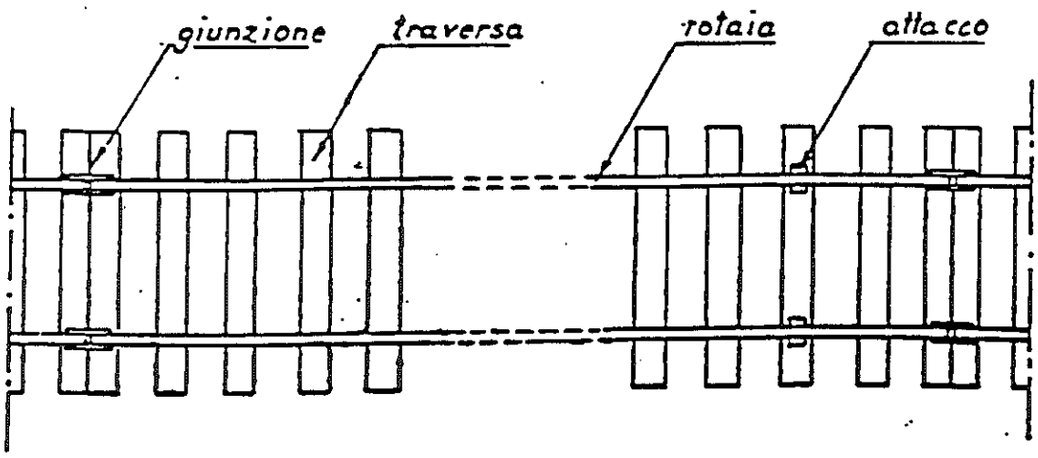


Fig. 1.2-*a* — Campata di binario

La massicciata

La massicciata è la parte della sovrastruttura ferroviaria costituita da elementi di roccia frantumata [1] che assicura la geometria e la stabilità del binario in essa annegato.

La massicciata:

- distribuisce i carichi verticali sul piano di regolamento del corpo stradale
- assicura al binario le condizioni geometriche di progetto (livello longitudinale, livello trasversale ed allineamento) ad esso conferite in fase di costruzione od, in generale, quelle realizzate durante le periodiche operazioni di manutenzione
- assorbe gli sforzi indotti nel binario dalla circolazione dei treni: tali sforzi sono sia verticali che orizzontali e derivano dalle azioni di guida esercitate dai bordini delle ruote sulle rotaie, dai moti di serpeggio dei rotabili, dalle azioni frenanti ed acceleranti trasmesse dalle ruote, dalle azioni di martellamento conseguenti sia ad irregolarità della superficie di rotolamento delle rotaie, che a quelle del cerchione
- assorbe gli sforzi indotti nel binario dalle variazioni di temperatura, nel caso di binario giuntato, di sola compressione dopo la chiusura delle luci di dilatazione o di sola trazione, dopo la completa apertura delle stesse, di trazione e di compressione in caso di lunghe rotaie saldate
- costituisce un drenaggio delle acque meteoriche permettendone la percolazione sul piano di formazione che, grazie alle pendenze trasversali ad esso conferite per costruzione, le indirizza ai collettori laterali di raccolta e di scarico
- conferisce al binario elasticità
- realizza un filtro fra binario ed ambiente nei confronti dei fenomeni vibrazionali.

Per ottenere una massicciata in grado di soddisfare quanto sopra elencato occorre realizzare un insieme che, oltre ad essere permeabile, trasmettendo le sollecitazioni per mutuo contrasto fra i suoi elementi, abbia un coefficiente di attrito interno φ non inferiore a 45° ed una densità non minore di 1,5 t/m³ ; tali carat-

---

[1] La massicciata costituita da ciottoli di fiume è ormai universalmente abbandonata per la sua scarsa capacità di ancoraggio del binario.
Esperienze condotte in Svizzera quantificano la sua minore capacità di ancoraggio rispetto a quella costituita da elementi di roccia spaccata nel 25%.

L'ARMAMENTO DEL BINARIO

Come si è già accennato nel precedente paragrafo , lo armamento del binario è formato *(figura 1.1-a):*

— da due file (o fughe) di *rotaie* in acciaio, che costituiscono il sostegno e la guida delle ruote dei veicoli;

— dalle *giunzioni*, che uniscono fra loro le rotaie di ciascuna fila;

— dagli *appoggi* (traverse di legno o cementizie), che servono di sostegno alle rotaie e che poggiano a loro volta sulla massicciata;

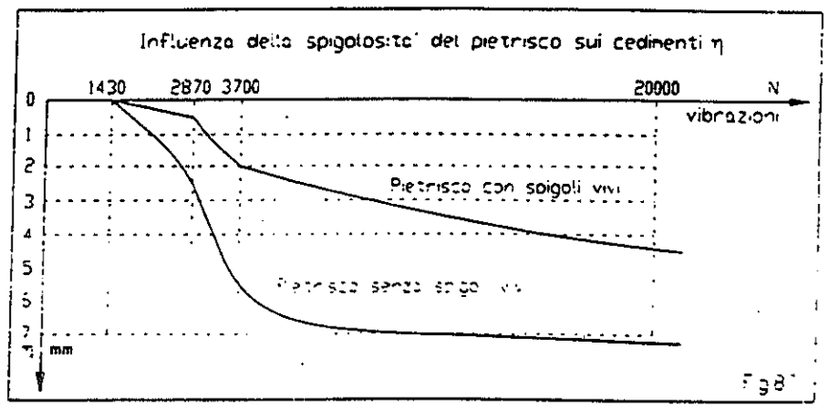
— dagli *attacchi*, che servono di collegamento fra le rotaie e gli appoggi.

Un tratto di binario compreso fra due giunzioni consecutive e cioè costituito da una sola coppia di rotaie, con i relativi appoggi, giunzioni ed attacchi, si dice *campata (figura 1.2-a)*. Il binario si distingue in *binario corrente* ed in dispositivi speciali, chiamati *apparecchi del binario*, che consentono la diramazione di un binario da un altro o la intersezione di due binari.

teristiche devono risultare, per quanto possibile, omogenee e durevoli sotto le azioni dell'esercizio. Quanto sopra é realizzato attraverso un'appropriata scelta della natura del materiale con il quale l'insieme è costituito, della sua granulometria e, financo, delle lavorazioni con le quali è costruita la massicciata.

Il pietrisco costituente la massicciata deve, allora,

- essere composto da elementi compatti, cioè non cariati, non fratturati, a bassa porosità, non gelivi e, comunque, non alterati od in corso di alterazione;
- essere capace di conservare la spigolosità originaria, presentare, cioè, un coefficiente di abrasione;
- essere tenace, cioè resistente alle rotture per urto;
- non perdere polvere, cioè al setaccio di 1,6 mm non deve presentare un passante superiore allo 0,5% in massa.



La natura della roccia dalla quale viene tratto il materiale incide sulla resistenza a rottura degli elementi di pietrisco (nel sistema AV italiano è previsto che la resistenza a compressione della roccia non sia inferiore a 160 N/mm²) e sulla capacità di mantenere gli spigoli vivi la cui importanza è evidenziata dal diagramma di figura 87 costituito dallo Schubert nel 1971.

La capacità di mantenere spigoli vivi, cioè la resistenza all'usura di una roccia viene misurata mediante il **coefficiente di abrasione** determinato attraverso la prova al mulino Los Angeles: cinque kg di pietrisco accuratamente lavato vengono posti, assieme a biglie di acciaio, in un cilindro rotante alla velocità di 2.000 giri/ora per 30'; al termine si rilava il campione e si verifica la differenza percentuale in peso del pietrisco, differenza che assume il nome di indice Los Angeles.

Presso le FS sono accettati pietrischi con indice Los Angeles inferiore a 20 - 25 mentre il sistema AV italiano impone un indice non superiore a 16.

Le caratteristiche meccaniche sopra richiamate sono condizionate non solo dalla composizione chimico-mineralogica della roccia, ma anche dalla sua struttura e tessitura.
Per massicciate ferroviarie vengono comunemente usate rocce di origine endogena - silicee - o di origine esogena - calcari, con preferenza delle prime per le loro superiori caratteristiche meccaniche, di resistenza all'usura e di durabilità.
A quest'ultimo riguardo, l'esperienza fin qui maturata consente di affermare che un pietrisco di rocce endogene ha una durabilità di circa un trentennio se sottoposto ad un traffico giornaliero di 200.000 t, mentre quello di rocce sedimentarie solo di un ventennio.

Pur essendo fondamentale, la natura della roccia non è elemento di scelta del pietrisco, essendo quest'ultima fortemente influenzata dalla localizzazione delle cave. Essendo, infatti, il pietrisco un materiale povero non è economico prevederne l'utilizzo ad una distanza superiore a circa 80 km dalla cava.

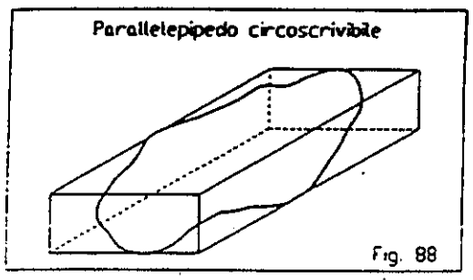


Fig. 88

Naturalmente il pietrisco che si intende utilizzare deve essere pulito, cioè, privo di polveri, terra e sostanze organiche, in quanto una consistente presenza di tali elementi provocherebbe una diminuzione delle resistenze di attrito ed, in presenza di acque meteoriche, potrebbe generare una incipiente azione legante tra gli elementi, con conseguente riduzione anche della elasticità dell'insieme.

Per ottenere l'angolo di attrito di cui si è detto, accanto alla natura della roccia che condiziona la capacità di mantenere l'originaria spigolosità, occorre prendere in considerazione la forma degli elementi e la loro granulometria.
Dal punto di vista della forma essi devono presentare il cosiddetto aspetto pugniforme, caratteristica che viene misurata utilizzando il coefficiente di sfericità di Wandell dato dal rapporto fra il diametro di una sfera di volume uguale a quello dell'elemento di pietrisco considerato ed il diametro della sfera circoscritta, ovvero considerando il più stretto parallelepipedo circoscrivibile (figura 88).

Riferendosi a tale solido il sistema AV italiano prescrive che, su di un campione di 50 kg, la percentuale in peso degli elementi, per i quali esso ha una dimensione inferiore ad 1/3 della massima, non debba superare il 25%.

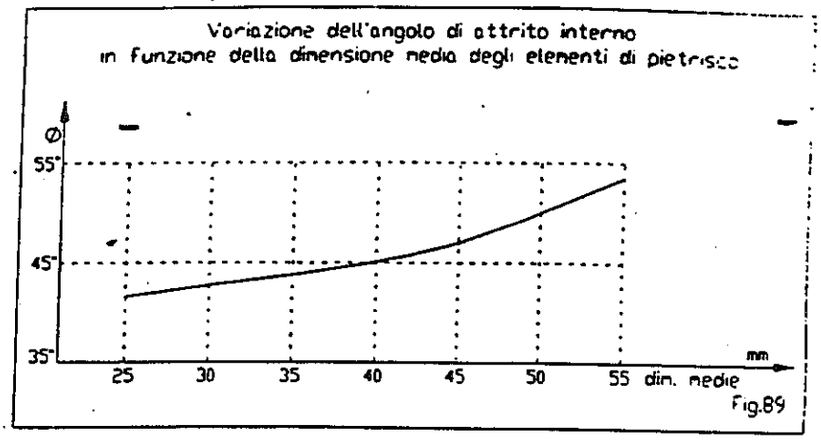


Fig.89

Dal punto di vista, invece, della granulometria, le diverse reti utilizzano pezzature comprese fra i 15/20 ed i 60/65 mm.
Esperienze al riguardo condotte dal Margotiev hanno dimostrato come il coefficiente di attrito migliora spostandosi da una pezzatura mediamente fina ad una mediamente grossa (figura 89), risultati assolutamente prevedibili se si riflette sul la capacità di realizzare un sistema di mutui incastri (figura 90) attorno agli elementi di maggiore pezzatura di una massicciata dotata di appropriato fuso granulometrico.
Emerge immediatamente il ruolo che gioca sul coefficiente di attrito l'assortimento della pezzatura.

Lopez Pita, mettendo in relazione il coefficiente di attrito interno φ con la porosità γ del materiale [1] individua gli andamenti riportati in figura 91, che appaiono, come era da attendersi, specifici per tipo di roccia [2].

Fig 90

In conclusione un elevato valore di angolo di attrito interno si ottiene con una massicciata di pezzatura media tendente al grosso e, cosa dimostrata sperimentalmen

[1] Si intende per porosità il rapporto fra volume dei vuoti sul volume totale moltiplicato per 100, grandezza che per una massicciata varia da 0,35 a 0,55.
[2] I valori dell'angolo di attrito sono stati definiti attraverso la tangente all'origine che, come noto, dà valori superiori.

te, con la presenza di materiale fino attorno al 15%.

Le FS prescrivono che la pezzatura del pietrico deve essere compresa tra 3 e 6 centimetri (con una tolleranza complessiva del 10% per le pezzature comprese fra 2 e 3 e fra 6 ed 8 centimetri), con ciò indicando i diametri dei vagli circolari con i quali si effettuano i controlli; sono tollerate pezzature superiori agli 8 cm fino ad un massimo del 2%, e pezzature inferiori ai 2 cm fino ad un massimo dell'1%.

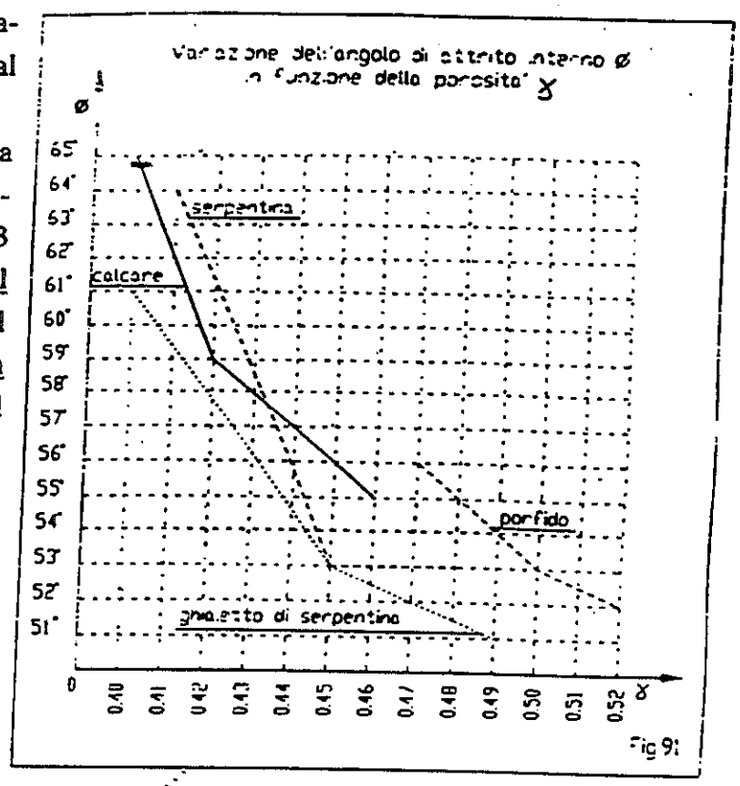


Fig 91

Sezioni della massicciata

Nella massicciata distinguiamo, fra le altre, due parti di notevole interesse nei riguardi dei lavori di manutenzione: l'*unghiatura* ed il *cassonetto (figura 1.3.3-a)*.

L'unghiatura è la parte esterna al piano verticale passante per il ciglio della massicciata.

Il cassonetto è la parte compresa tra le traverse da estendersi in profondità fino al loro piano di posa e in larghezza fino all'asse dell'intervia ma comunque non oltre 1,50 metri dalla più vicina rotaia se trattasi di linea a doppio binario e a tutto il corpo della massicciata se trattasi di linea a semplice binario.

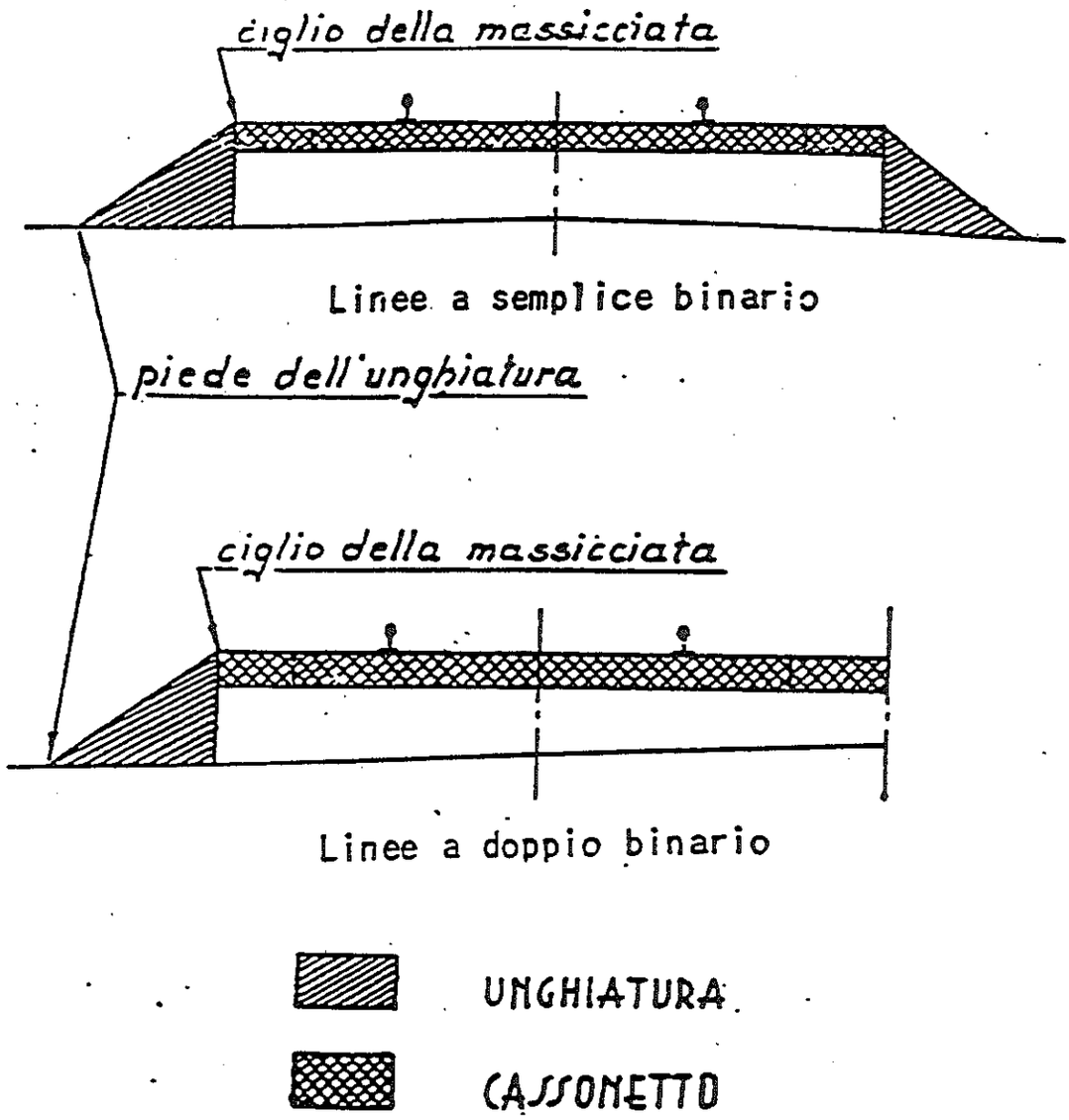


Fig. 1.3.3-a. — Nomenclatura delle parti costituenti la massicciata

Si definisce *ciglio della massicciata* l'orlo del piano superiore, e *piede dell'unghiatura* l'orlo del piano inferiore, che delimita la banchina.

Le dimensioni della massicciata variano a seconda delle linee. Per quanto riguarda la Circumvesuviana sono riportate alle pagine seguenti.

Le sezioni sono delimitate inferiormente dalla piattaforma, superiormente dal piano superiore degli appoggi e lateralmente da due piani inclinati di circa ¾ sull'orizzontale (cioè su ogni 4 cm misurati in orizzontale il piano inclinato si alza di 3 cm).

Lo spessore della massicciata è variabile nella sezione a causa della pendenza dei piani di piattaforma (3,5%)
e della sopraelevazione

Lo spessore, o *quota base*, è fissato in 40 cm
, misurato fra il piano superiore degli appoggi ed il piano di piattaforma, in asse alla rotaia sotto la quale lo spessore di massicciata è minore.

La rotaia sotto la quale si deve rispettare la quota base è:

— in rettifilo: entrambe le rotaie;

— in curva: la rotaia della fuga interna;

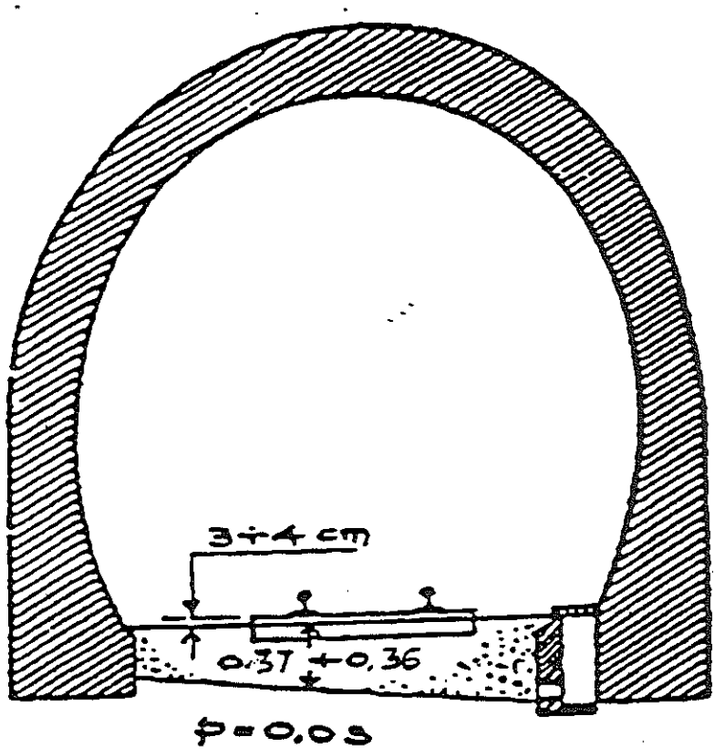
In larghezza la massicciata si estende con il ciglio fino a 70 cm dal lembo interno della rotaia (in curva, con traverse VAGNEUX, 80 cm)

In galleria la quota base andrà rispettata, compatibilmente con la sua sagoma, in corrispondenza della rotaia sotto la quale lo spessore è minore.

Al fine però di evitare eventuali corrosioni elettrolitiche sulla suola delle rotaie nei punti di possibile contatto con il pietrisco, il piano superiore della massicciata deve risultare 3 o 4 cm al di sotto del piano superiore delle traverse, per cui l'altezza minima della massicciata si riduce della stessa quantità

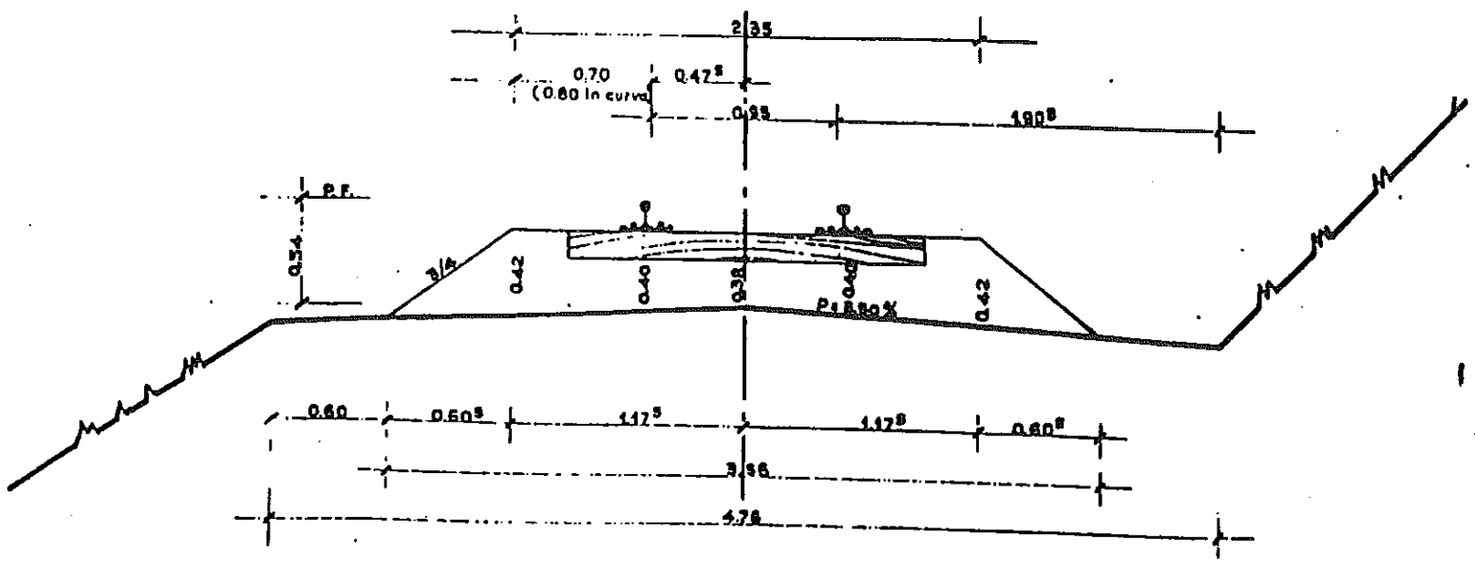
Le sezioni della massicciata nelle linee armate con traverse in c.a. VAGNEUX (in opera sulla rete Circumvesuviana) differiscono leggermente da quelle delle linee con traverse in legno.
I punti fermi sono i seguenti :
Spessore minimo sotto il piano di appoggio delle traverse : cm 22
Spessore minimo complessivo : cm 43

Linea tipo



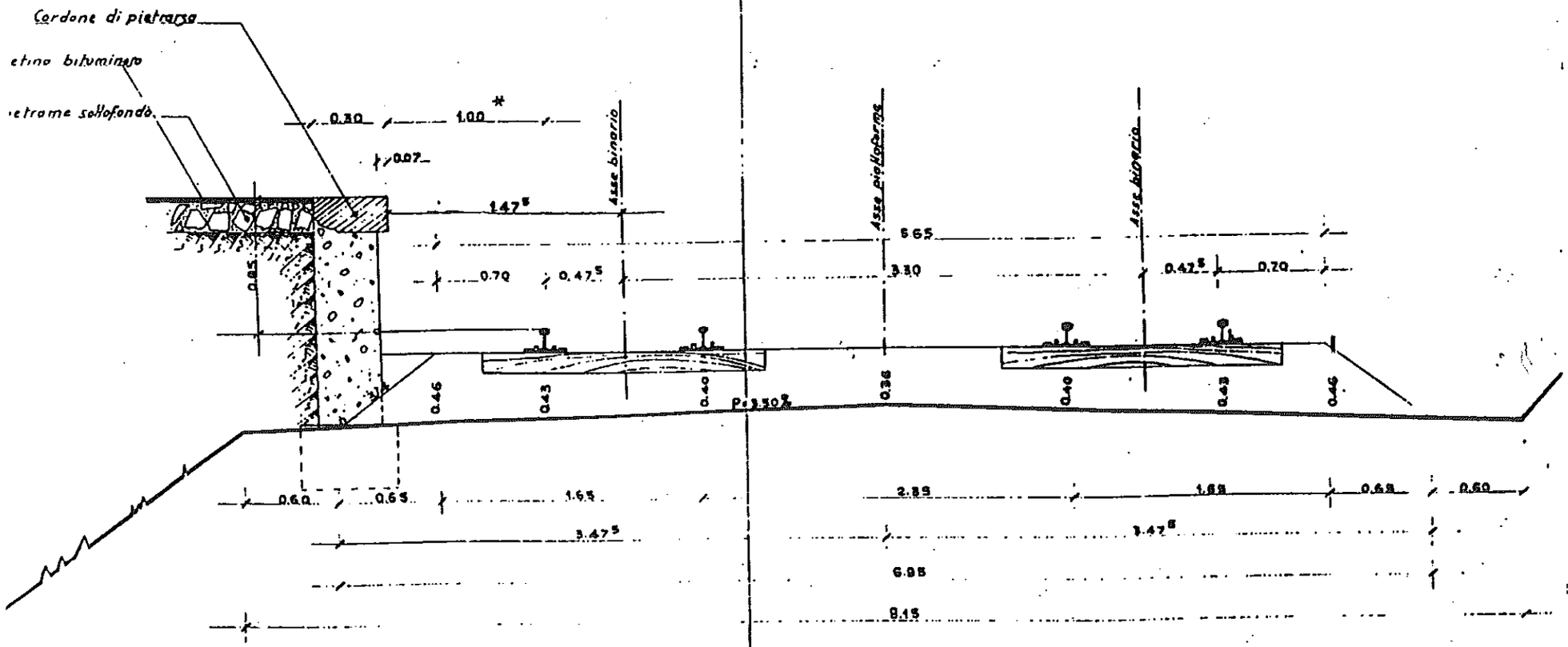
Sezione della massicciata nelle linee in galleria

SEZIONE LINEA A SEMPLICE BINARIO



NB - In curva lo spessore di cm. 40 va misurato sotto la rotaia della fuga interna

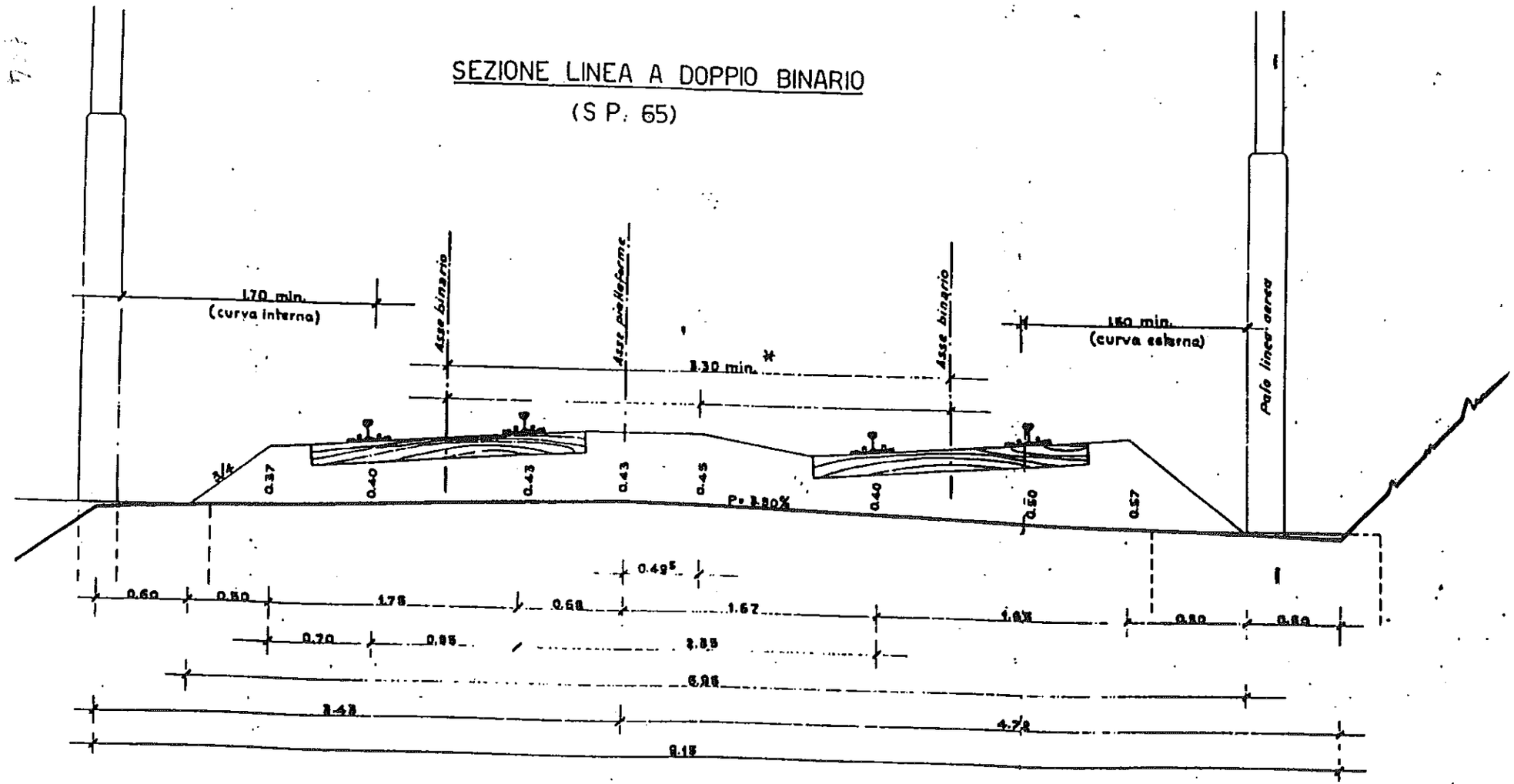
SEZIONE LINEA A DOPPIO BINARIO
(IN RETTIFILO)

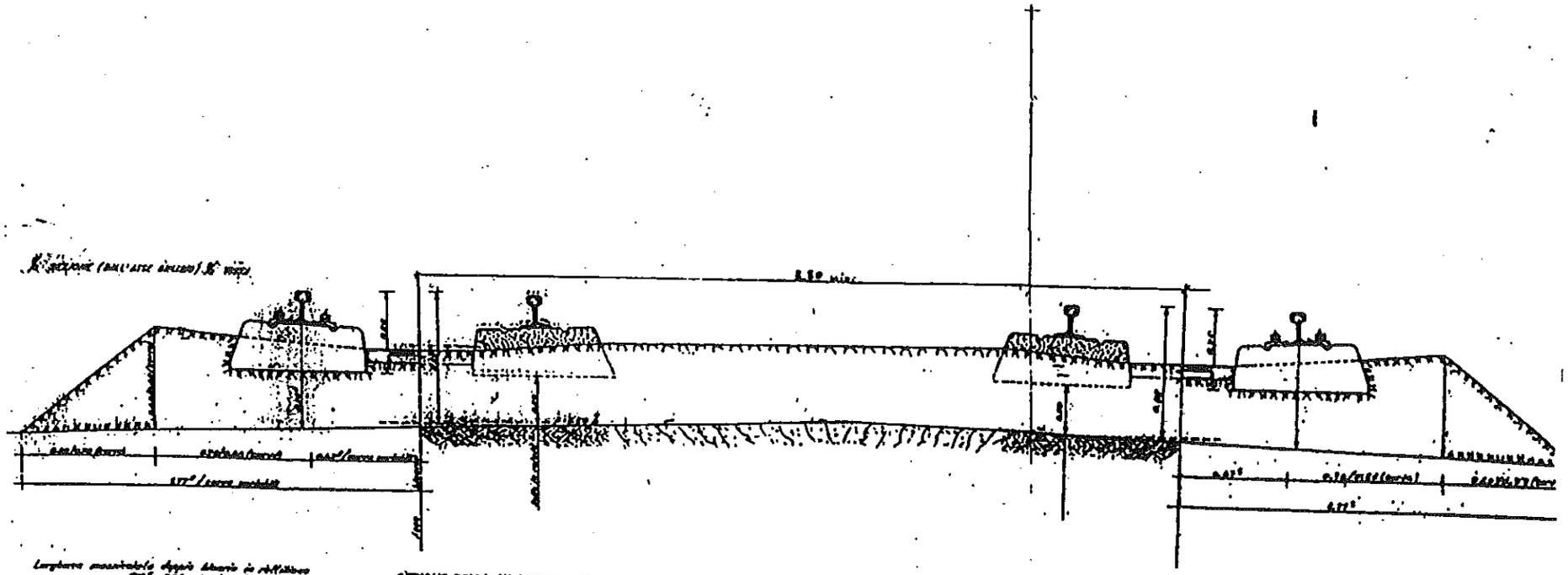


* Per i marciapiedi in curva attenersi alle quote della tabella (Dis. n: 3887)

SEZIONE LINEA A DOPPIO BINARIO

(S P. 65)





SEZIONE DELLA MASSICCIATA PER BINARI ARMATI SU TRAVERSE IN C.A. VIGNEUX - (SALVATTO ed ALBESE)

SCALA - 1:10