



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 594

DATA: 23/07/2013

A P P U N T I

STUDENTE: Fiorello

MATERIA: Infrastrutture Viarie

Prof. Bassani

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**



CORSO DI

INFRASTRUTTURE

VIARIE

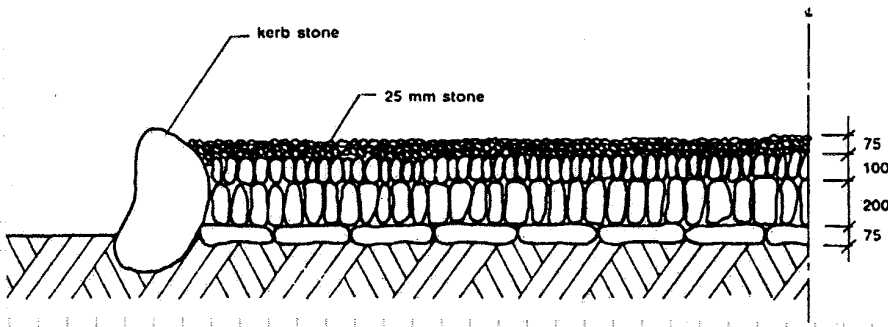
TEORIA

Prof. M. Bassani, P. Riviera

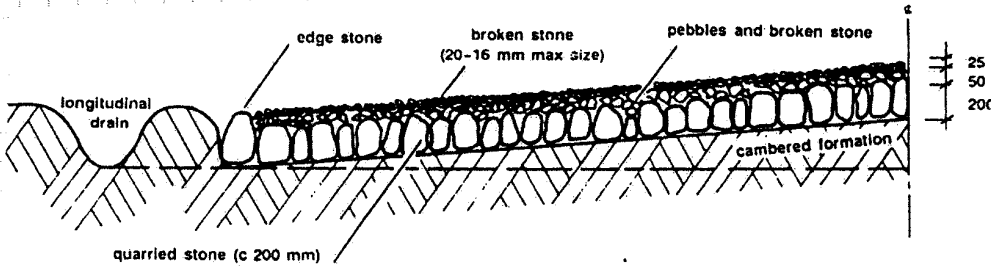
A.A. 2012 - 2013

I CASSONETTI sono le prime sculture messe in opera in cui si sudavano ad inserire gli strati della strada.

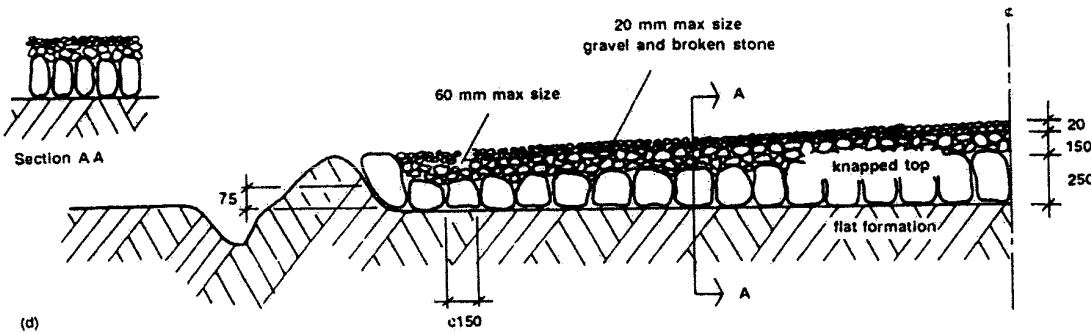
Le strade a differenza di quelle dei romani non avevano inclinazione trasversale che era invece usata dai romani per far defluire l'acqua all'esterno della sede stradale.



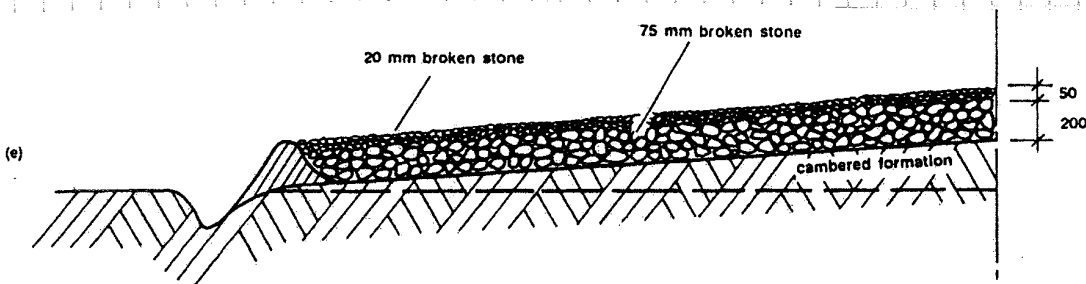
← GAUTIER fece l'errore di non togliere lo strato compressibile (l'erba) prima di costruire.



← TRESAGIET commise l'errore di copiare e costruire le strade inclinando il piano base.



↑ TELFORD aveva creato un piano piatto e non inclinato e questo è un errore.



← MCADAM fa tesoro degli errori passati e non usa materiale

Si ragiona sulla geometria stradale quando i mezzi cominciano ad avere una velocità molto elevata. Le prime curve vengono realizzate per i treni sopraccaricando la rotata più esterna per contrastare la forza centrifuga di tipo merzide. Sulle strade si inclina sempre la parte esterno della curva.

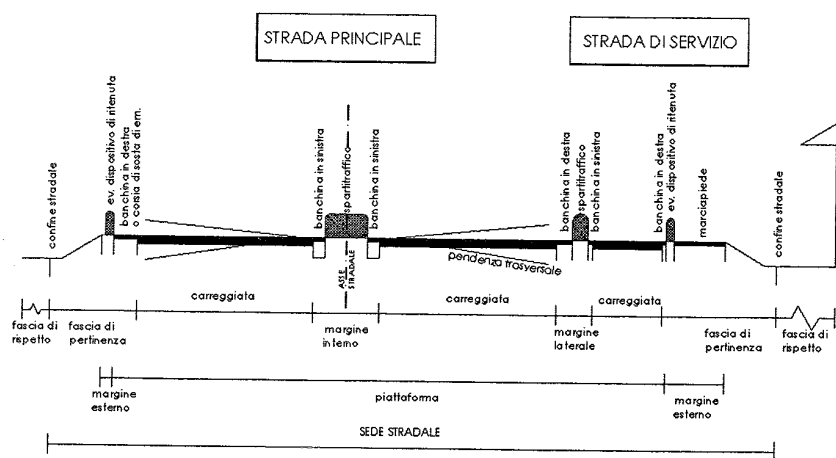
Lorenz fu il primo a considerare le curve sin dall'inizio della progettazione. Prima si partiva dai rettili e questi venivano collegati con delle curve. Lorenz invece parte dalle curve e le unisce con dei rettili. Si parte dalle curve per studiare l'equilibrio della strada.

→ **STRADE IN ITALIA**: in Italia ci sono un totale di 484.580 km di strade anche se questo numero è approssimativo.

Le strade regionali (23.901 km) sono per la maggior parte gestite dalle province.

→ **SEDE STRADALE**: la sede stradale è la parte di territorio compresa nei confini stradali, all'interno dei quali si esercita una proprietà. L'elemento di riferimento della strada è la corsia che è una

porzione della carreggiata, superficie liscia cui si muovono le macchine, per file parallele. Ci possono essere più carreggiate. Le carreggiate sono individuate da strisce bianche e continue.



Esternamente ci sono arguelli, mazziniedi, scarpore (esterni al margine ma che appartengono alla fascia di appartenenza. Dove non c'è certezza di confine si considera il fso più una parte esterna.

La strada esercita sulla fascia di territorio dei vicini, per esempio lì non si possono aprire dei recinti o mantenere degli alberi, ciò per proteggere la sede stradale. Un albero di alto fusto deve essere mantenuto ad una distanza dal margine pari alla massima altezza raggiungibile da quella pianta.

→ CLASSIFICAZIONE DELLE STRADE

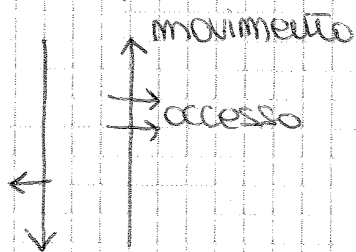
• AMMINISTRATIVA: fatta in base al proprietario

- STATALI
- PROVINCIALI
- COMUNALI
- MILITARI
- DI BONIFICA, CONSORZIALI, VICINALI

Le autostrade sono dello stato che le concede a società private, come SATAP, ATIVA, ASTM, SITAF e queste si occupano di progettazione, costruzione e manutenzione.

• FUNZIONALE: in base alle funzioni della strada

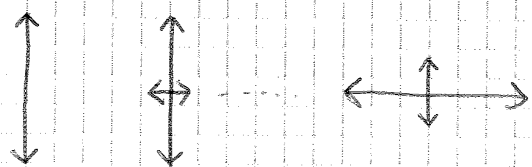
PRINCIPIO BASE: le strade consentono un movimento longitudinale (movimento) e l'accesso.



Sul rapporto che c'è tra movimento e accesso si individuano le varie strade.

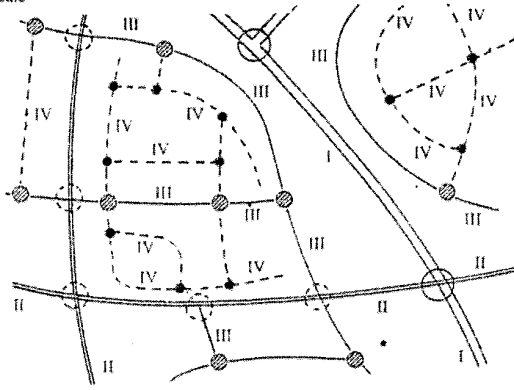
Si passa quindi da strade dove è consentito solo il movimento

trasversale (come le autostrade) a quelle in cui l'accesso ha un'importanza maggiore.



I, II, III, IV livelli della rete (primaria, principale, secondaria, locale)

Interconnessioni: ○ primaria
 ○ principale
 ● secondaria
 ● locale



questa è una rappresentazione geometrico semplifi- cota del tutto ideale di una rete stradale. Il passaggio da un arco all'altro non avviene mai saltando più di un rango.

Le domande che mi devo porre per stabilire il rango di una strada sono 4:

- ① TIPO DI MOVIMENTO SERVITO (di transito, distribuzione penetrazione o accesso)
- ② ENTITÀ DELLO SPOSTAMENTO (percorsi di breve o lungo raggio dei veicoli che vi transitano)
- ③ FUNZIONE ASSUNTA NEL CONTESTO TERRITORIALE ATTRAVERATO (collegamento nazionale, interregionale, provinciale...)
- ④ COMPONENTI DI TRAFFICO E CATEGORIE (veicoli leggeri, pesanti, motorveicoli, pedoni).

Intersecando ranghi e risposte ottergo una matrice:

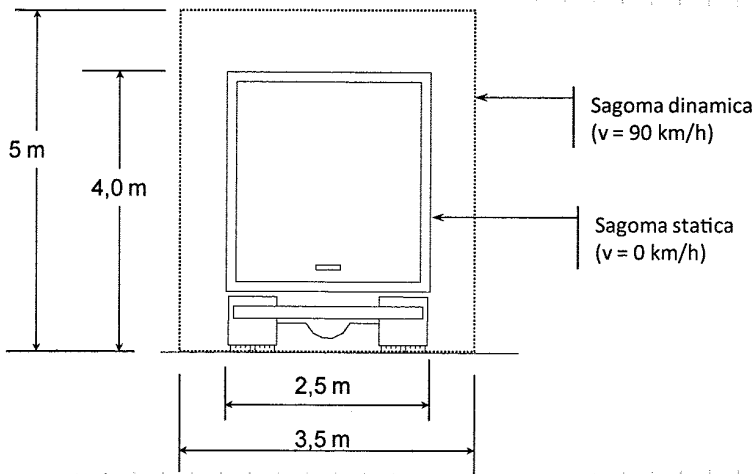
	Movimento servito	Entità dello spostamento	Funzione assunta	Componenti di traffico servite
A- Rete Primaria	Transito e scorrimento	Lunghe distanze	EXT. nazionale e interregionale URB. intera area	Limitate
B- Rete Principale	Distribuzione	Medie distanze	EXT. interregionale e regionale URB. Interquartiere	Limitate
C- Rete Secondaria	Penetrazione	Distanze ridotte	EXT. Provinciale URB. Quartiere	Tutte
D- Rete Locale	Accesso	Brevi distanze	EXT. Comunale URB. Interquartiere	Tutte
Livello terminale	Sosta	Distanza nulla	Locale	Tutte salvo restrizioni

→ RAPPORTO CORSIA - SAGOMA

la corsia deve essere più larga del veicolo per consentire dei piccoli sbalzi dello stesso. Il veicolo è largo al massimo 2,55 m, l'altezza massima è di 4,30 m in ambito urbano e 4 m in ambito extraurbano.

Autoli che eccedono a queste misure sono dei veicoli eccezionali il cui trasporto deve essere regolato dalla polizia perché devono essere guidati lungo il percorso.

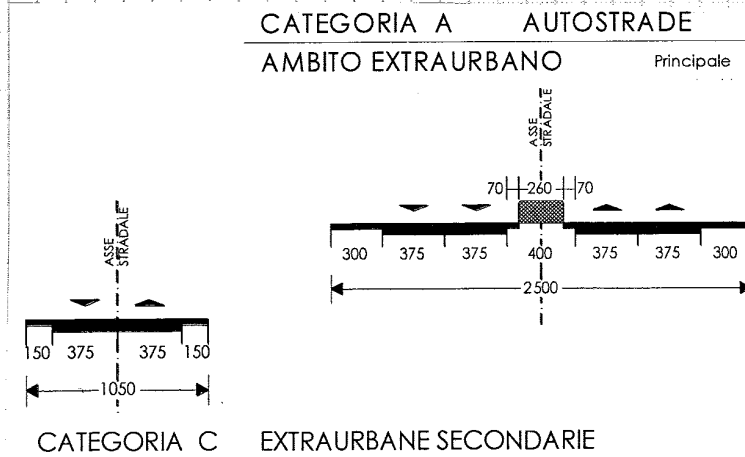
Ci sono anche delle masse limite che se superate comportano il pagamento di una tassa proporzionale al danno massimo che si può recare alla struttura.



Si deve anche considerare la sagoma dinamica che aumenta con l'aumentare della velocità. Se la velocità è alta, la carreggiata ci sembra più stretta perché il nostro occhio

punta a ciò che è più distante.

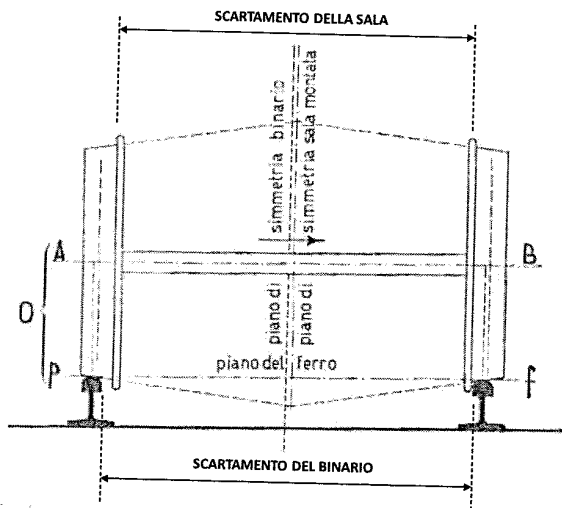
La larghezza di una corsia è costante per ogni tipo di categoria (es 325 cm), la larghezza della banchina invece è quella minima ma può essere maggiore.



La ruota si sono introdotte le prime locomotive (1829) le ferrovie nascono in Inghilterra. Nel 1839 nasce la prima linea ferroviaria italiana. Le linee dell'alta velocità hanno un'infrastruttura identica a quelle dell'800 ma sono cambiati materiali, geometria e precisione. Ora si sta andando verso la trazione magnetica, qui la linea (sede) fornisce la propulsione. Il contatto tra sede e veicolo consente il movimento. La vera riduzione sta nelle velocità.

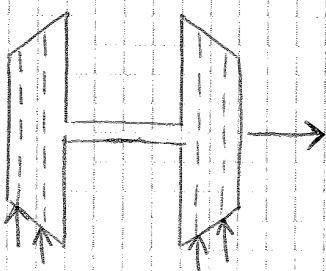
→ **PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO**: le caratteristiche comuni sono: avere una guida regolare del binario, le ruote sono vincolate tra di loro, non esiste il differenziale (cioè 2 ruote dello stesso asse non possono avere velocità diverse).

Ruote ed asse costituiscono la "sola montata". Le ruote sono coniche e dotate di bordini. Il sistema è auto-centrante questo perché non c'è il differenziale e perché le ruote sono coniche.



Lo scartamento del binario, che è la distanza tra i due lembi interni delle rotaie, deve essere di 1435 mm e questa misura deve essere tenuta sempre sotto controllo.

Una ruota conica a seconda dell'area di contatto



varia il raggio della ruota e poiché la sola montata è rigida, se la ruota va in una direzione tutto il sistema si sposta quindi anche l'area di contatto dell'altra ruota si sposta.

Si possono aumentare le pendenze perché non c'è contatto.

In Cina si trova la prima linea MALEV.

In Giappone si sta testando una linea che alle basse velocità (<70 km/h) si appoggia sui binari e quando supera i 70 km/h diventa a levitazione magnetica.

→ FERROVIE IN ITALIA

RFI è il gestore unico della rete ferroviaria invece non è il gestore unico del manufatto.

I TAV per funzionare bene devono percorrere distanze elevate perché servono 10-12 km per raggiungere alte velocità (300 km/h). I centri minori sono quindi esclusi dai TAV perché sono incompatibili. La curva dei TAV deve essere di almeno 5000 m.

→ CLASSIFICAZIONE DELLE FERROVIE

- ORDINARIE

- A SCARTAMENTO RIDOTTO

- AD ALTA VELOCITÀ

- LEVITAZIONE MAGNETICA

- SPECIALI:

* FUNICOLARI: la trazione è operata da una fune che tira un veicolo. Il motore non è sul veicolo ma è esterno e serve a far ruotare la bobina su cui si avvolge la fune.

* A DENTIERA: il motore agisce su una ruota dentata che si incastra in una dentiera.

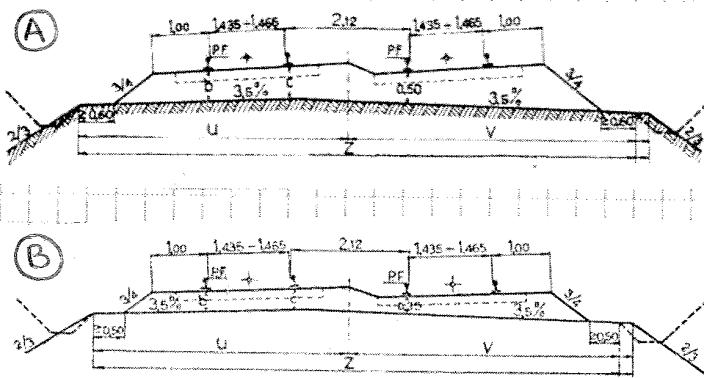
* METROPOLITANE: il veicolo ha ruote spinte che appoggiano su rotaie in acciaio. Il veicolo è guidato sulla sede.

* TRAMVIE

interassiale è la distanza di 2 assi interni tra 2 rotaie di binari diversi.

L'interasse è la distanza tra i assi di 2 binari. Sotto il piano di finizione c'è uno strato chiamato sub-ballast fatto di conglomerato bituminoso di spessore di 12 cm. Così la superficie diventa impermeabile. Sotto c'è il supercompattato che non può più essere deformato.

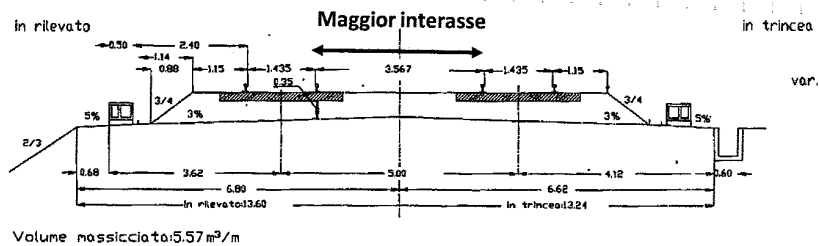
→ FERROVIE ORDINARIE



Lo scartamento in entrambe le soluzioni è lungo 1,435 m le ruote così toccano la sede e sono distanziate di 1,500 m. La soluzione A viene usata per un traffico

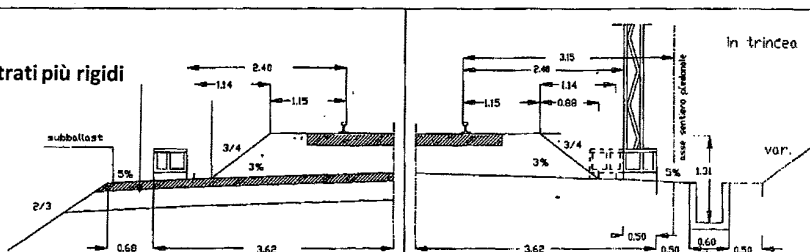
elevato in termini di carico e velocità. Nelle figure sono riportate le configurazioni dei rettili in curva in cui le miscele cambiano ma i 50 cm che sono la misura minima delle corrispondenza delle 2 rotaie interne resta invariata. La massima sopraelevazione è di 160 mm. La sezione di tipo B viene usata per traffici minori e i 50 cm diventano 30 cm.

→ TAV

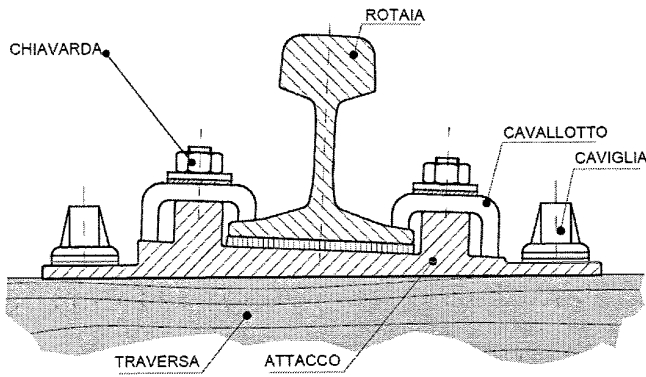


L'interasse qui è di 3,56 m e anche l'interasse è maggiore questo perché i treni hanno velocità + elevate.

Strati più rigidi



POSA INDIRETTA
ATTACCO INDIRECTO



Sono ammesse piccole deformazioni longitudinali ma non trasversali perché non deve cambiare lo scartamento.

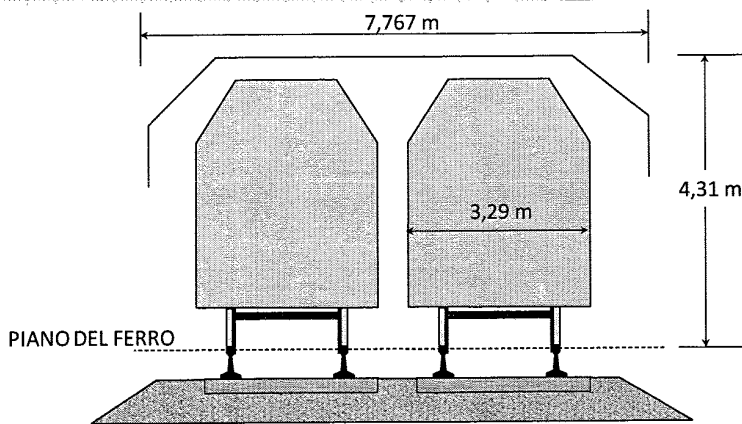
→ TRAVERSE

Prima le traverse erano fatte in legno e ricoperte di olio di CREOSOTO che le protegge. Questo olio però è nocivo e cancerogeno.

Oggi si usano solo dove si fanno i pezzi speciali come i punti in cui il binario si biforca.

Le traverse sono per lo più fatte di cls armato precompresso, questo anche per motivi di costo oltre che di salute.

→ SAGOME LIMITI



Tutte le quote verticali sono riferite al piano del ferro. Le opere di attraversamento si trovano ad una quota di 4,31 m dal piano del ferro. La larghezza deve essere di 7,767 m.

Dalla parte opposta rispetto al numero 08L c'è il numero 26R: $26 = 08 + 18$ ($18 = 180^\circ$)

Le lettere distinguono la posizione rispetto al centro dell'aeroporto.

Le piste sono larghe 45-60 m, le di dell'aereo possono essere anche più larghe della pista.

Sono così larghe per garantire al veicolo di starvi di interno anche in caso di vento trasversale.

La geometria delle brette di uscita è fondamentale per regolare la capacità dell'aeroporto.

→ VEICOLI

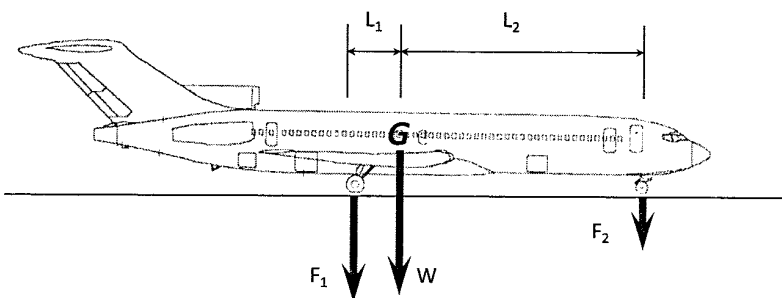
Scatolamento: ingombro massimo dei carrelli a terra.

Abbiamo conosciuto anche i pesi per progettare la pavimentazione che è simile a quella stradale ma più spessa per sopportare carichi maggiori.

A noi interessa il MTOW: maximum take off weight (massimo peso del decollo).

Un aereo ha una vita utile di 30-40 anni.

L'aereo ha 16 ruote dietro e 4 davanti.



Quelle davanti servono per guidare, quelle dietro si trovano in corrispondenza del baricentro dell'aereo.

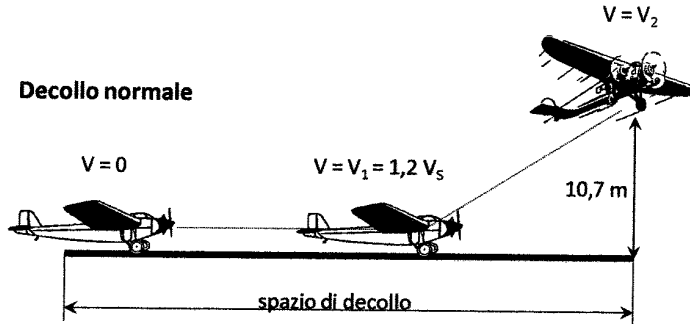
Sulle ruote di forza

ci possono essere 2 o 3 coppie di ruote. Le ruote di forza sono quelle su cui si appoggia l'aereo.

Se ho 5 ruote di forza 3 sono mobili e 2 sono fisse. Gli aerei hanno un angolo di sterzo molto alto $70^\circ - 90^\circ$ (un auto sterza di $20^\circ - 30^\circ$).

Il 90% del peso è caricato dal carrello principale (F_1).

lo spazio di decollo è quello necessario di avere di riferimento, partendo da zero, di arrivare ad un' altezza di riferimento. Quando la portanza (spinta dal basso verso l'alto) supera il peso dell'aereo allora esso si può staccare da terra.



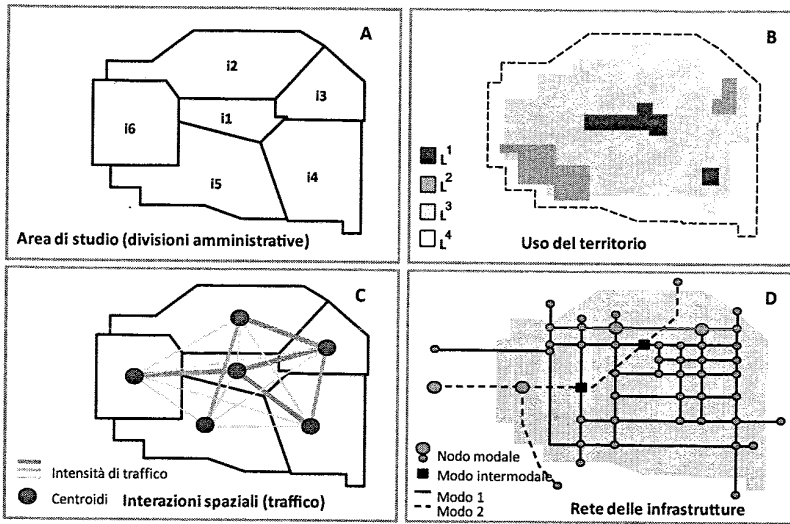
CLASSIFICAZIONE AEROPORTI - ICAO

ICAO aerodrome reference codes

Aerodrome code number	Reference field length (m)	Aerodrome code letter	Wingspan (m)	Outer main gearwheel span (m)
1	<800	A	<15	<4,5
2	800 - <1200	B	15 - <24	4,5 - <6
3	1200 - <1800	C	24 - <36	6 - <9
4	≥1800	D	36 - <52	9 - <14
		E	52 - <65	9 - <14
		F	65 - <80	14 - <16

1	Cessna 150
2	Lear jet, Short S D30
3	Airbus A300 Fokker F27, F28
4	Airbus A310, Boeing 727, 737, 747, 757, 767, 777, Concorde

A	Cessna 150
B	Short S D30
C	Boeing 727, 737, Concorde Fokker F27, F28
D	Boeing 757, 767, Airbus A310
E	Boeing 747
F	Airbus A380



I centri di interazione tra di loro. Un'area può "attrarre" la se un'altra area. Esistono quindi delle interazioni che sono di generazione e attrazione dei movimenti.

Fino a (C) possiamo solo stabilire qua avviene lo spostamento e quale sarà il percorso ma non so quali infrastrutture scelgano. Dato quindi discretizzare le infrastrutture (D), e cercare di capire quali infrastrutture vengono scelte.

→ Equazione generale

Per quantificare quante entità vanno dal centroide "i" a quello "j" usando l'infrastruttura "m", attraverso il percorso "k", per il motivo "s" uso

$$T_{ij,msk} = q_{i,s} \cdot d_{ij,s} \cdot m_{ij,ms} \cdot d_{ij,msk}$$

- $q_{i,s}$: generazione: mi dà di movimenti generati dal centroide "i" per un determinato motivo "s". (MODELLO DI GENERAZIONE)
- $d_{ij,s}$: probabilità (compresa tra 0 e 1) che il singolo spostamento per il motivo s vada da "i" a "j". Moltiplicando $q \cdot d$ tengo tutti i movimenti che da "i" vanno in altri centri. (MODELLO DI DISTRIBUZIONE)
- $m_{ij,ms}$: mi determina il modo di spostamento, anche m è una probabilità (compresa tra 0 e 1) (MODELLO DI SCELTA MODALE)

→ Funzionamento interrotto o ininterrotto

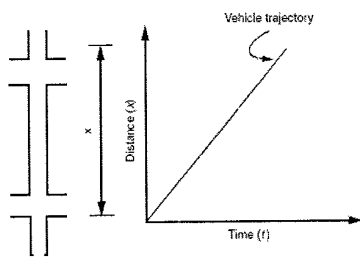
Il funzionamento può essere differenziato se ci spostiamo in un nodo o in un arco.

FUSSO INTERRUPTO: una o più entità si fermano per questioni di precedenza o comunque per fattori esterni alla corrente (es stazioni)

FUSSO ININTERROTTO: la fermata di una corrente è dovuta da questioni interne allo stesso, incidente o congestione.

→ Diagrammi

Servono per studiare come le entità si spostano sugli archi. Con dei grafici spazio-tempo ricado le traiettorie delle entità.

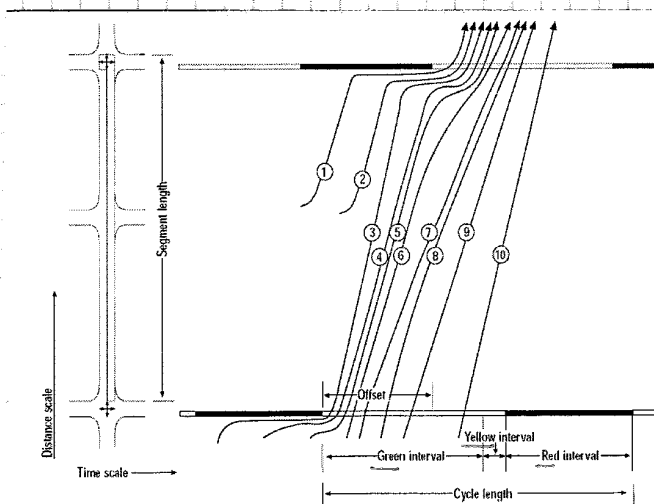
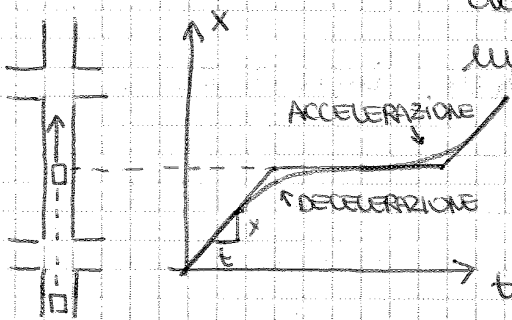


Le linee inclinate rappresentano veicoli a velocità costante.

Se un veicolo si ferma allora avrà una linea retta.

In realtà la fermata avviene decelerando quindi non avrà una retta ma una curva.

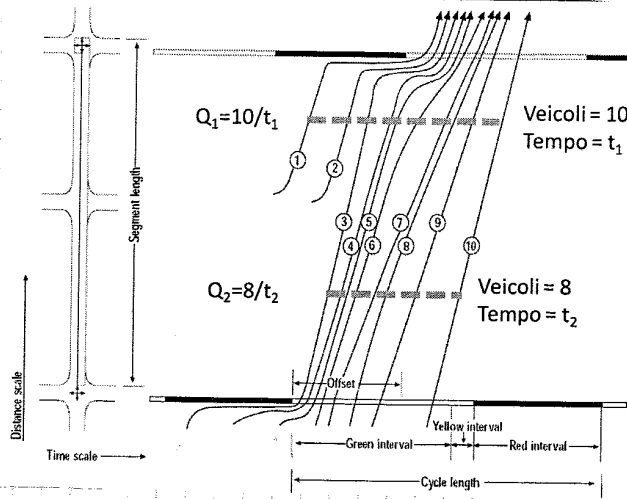
I tratti curvi rappresentano variazioni di velocità.



Il flusso in questo esempio è regolato da un semaforo.

Le curve in generale non si toccano tra di loro (a meno che non avvenga un incidente).

① e ② entrano nella corrente a metà, si accodano e procedono.



→ Stima della capacità

Tipologia di infrastruttura	Distanziamento temporale minimo	Capacità	
		v/h	pax/h
Corsia stradale urbana (1,2 pax/v)	4,5 - 6 s	600-800	720-960
Corsia autostradale (1,2 pax/v)	1,8 - 2,4 s	1500-2000	1800-2400
Corsia riservata per bus urbani (50 pax/v)	60	60	3000
Metropolitana (8 veicoli x 200 pax/v)	90	40	64000

Il tasso di carico è uguale al nr di persone diviso
 al nr di veicoli che di solito in ambito urbano
 varia tra 1 e 2, con il tasso di carico posso
 da veicoli/h a passeggeri/h (600 → 720, 800 → 960).
 L'autostrada ha capacità maggiore della strada urbana
 di solito si riservano le corsie di trasporto pubblici
 perché questi hanno una capacità triplicata rispetto
 al veicolo singolo.
 La metropolitana ha una capacità non raggiungibile
 da altri mezzi di trasporto.
 Quando si fanno calcoli di pianificazione vanno ampiezza-
 zate in base al nr di passeggeri.

→ Capacità delle FERROVIE

Nelle ferrovie la via è guidata, lungo la linea due convogli NON si possono separare, le sorpasso è ammesso solo nelle stazioni ferroviarie.

I convogli sulla linea devono essere distanziati.

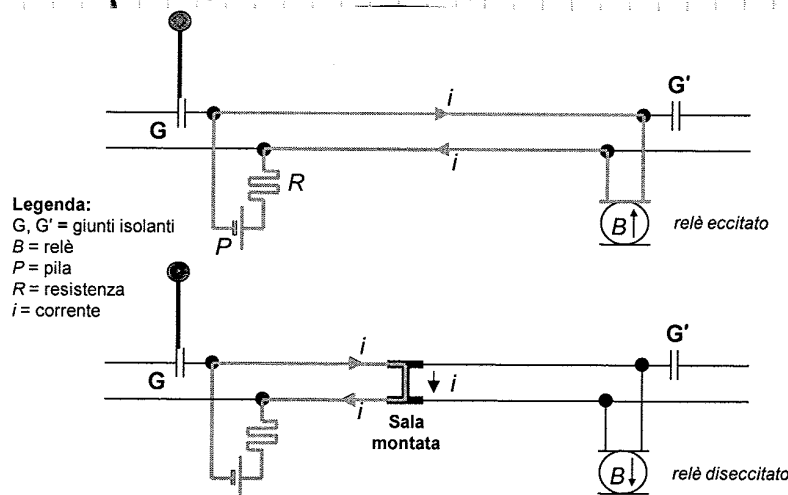
Ho 2 tipi di distanziamento:

- DI TEMPO (es. 10 min tra un convoglio e l'altro)
- DI SPAZIO (es. su una stessa tratta non possono essere compresenti due convogli).

Il distanziamento spaziale è quello considerato sulla linea italiana. È misurato sullo spazio di arresto perché quando riesco a segnalare la fermata il macchinista deve rallentare → devo garantire un nr di spazi di arresto tra 2 convogli. (in Italia sono 2).

Per 160 km/h ci vogliono 1200 m di arresto, quest'nr si è portato a 1350 m.

Ogni segnale di blocco è preceduto da un segnale di avviso che avverte il macchinista.



con il colpo il convoglio inizia a rallentare in modo da fermarsi quando vede il rosso.

Nella figura ho 2 sezioni di blocco

$$C = \frac{3600}{\frac{L}{V_{max}} + \frac{k V_{max}}{a} + t_R}$$

$$\frac{dD}{dV_{max}} = \frac{d}{dV_{max}} \left(\frac{L}{V_{max}} + \frac{k V_{max}}{a} \right) = 0$$

$$-\frac{L}{V_{max}^2} + \frac{k}{a} = 0$$

$$V_{max} = \sqrt{\frac{aL}{k}} \quad (V_{max} = \sqrt{\frac{2aL}{k \cdot J}})$$

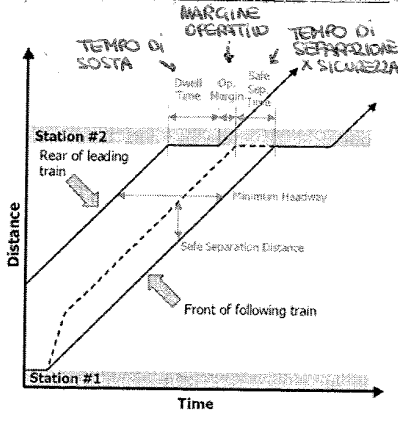
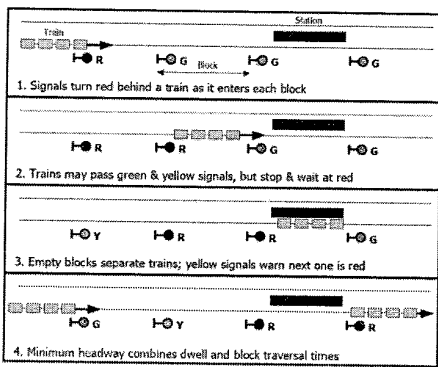
↑
velocità massimizzata
che max la C.

→ $C = \frac{3600}{\sqrt{\frac{4kL}{a}} + t_R} \left(= \frac{3600}{\sqrt{\frac{2kL}{a}} + t_R} \right)$

↑ $j+2$ stazioni

Queste equazioni valgono per linee senza stazioni. Noi però dobbiamo tenere conto delle fermate dei treni, posso trascurare decelerazione ed accelerazione

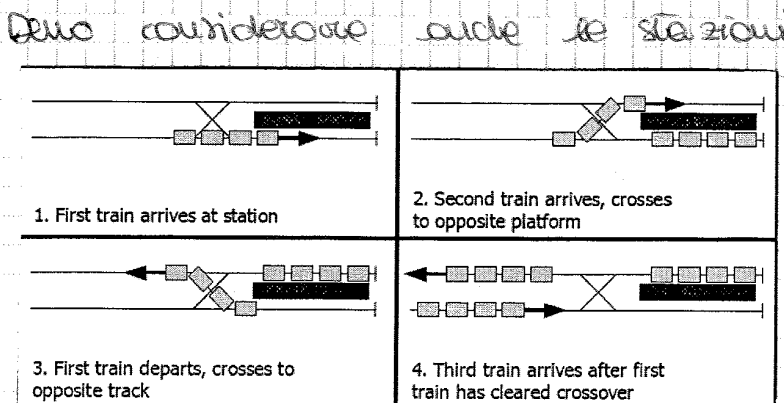
ma non lo spazio di arresto. Quindi nella realtà la linea non è spezzata ma è curva. Safe separation distance è = 2 S₀ (in Italia) se non ci



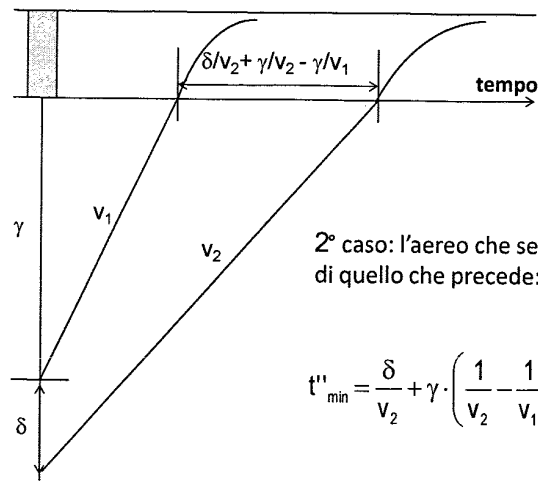
Safe separation distance

NOTE: Acceleration and braking curves omitted for clarity

fossero le stazioni i 2 treni sarebbero rappresentati dalla linea continua e da quella tratteggiata. Se considero le stazioni devo aumentare la distanza tra i 2 treni perché devo tenere conto del tempo di fermata nella stazione.



treni si fermano per molto più tempo per consentire anche la pulizia e il controllo dei treni.



2° caso: l'aereo che segue è più lento di quello che precede:

$$t''_{\min} = \frac{\delta}{v_2} + \gamma \cdot \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) \quad \text{per } v_2 < v_1$$

Se l'aereo che segue è il più lento, il solo delta applicato di ingresso della pista.

veicoli dello stesso tipo hanno + o - la stessa velocità quindi posso raggruppare i veicoli in famiglie di veicoli con velocità di riferimento \neq .

Devo vedere tutti i vari casi di relazione tra le diverse famiglie. Devo però tenere conto della probabilità del presentarsi di un determinato veicolo.

la probabilità che uno fam. si presenti nella combinazione dipende dal nr. di veicoli presenti nella famiglia.

la probabilità totale è data dal prodotto delle singole probabilità $\rightarrow P_{ij}$ è un fattore peso.

$$t_{\text{medio}} = \sum_{ij} P_{ij} \cdot t_{ij}$$

i: veicolo che precede

j: veicolo che segue.

$$C = 3600 / t_{\text{medio}}$$

→ Volume orario di progetto per direzione
 Per calcolare la 30^a ora uso il traffico medio giornaliero
 su base annua (TGMA)

$$VHP = TGMA \times K \times D$$

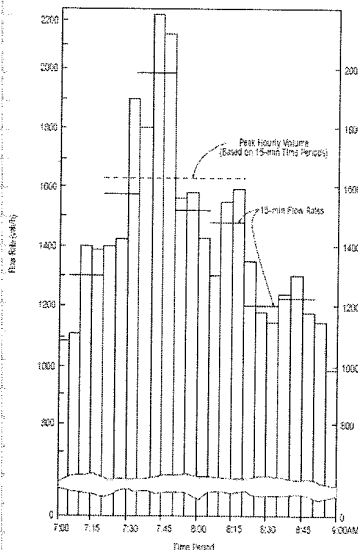
↑
 nr. di
 movimenti
 dell'ora
 di punta
 ~ 0,1

↑ coefficiente di
 distribuzione
 nelle 2 direz.
 > 0,5

le 10% del traffico giornaliero passa nell'ora di punta
 D computata la percentuale di veicoli in ingresso e quello
 dei veicoli in uscita

→ variazioni orarie

Demo fare il conto su qnt veicoli transitato in ora,
 ma nell'arco dell'ora le cose non restano costanti



le dato che ho è di tipo orario.

Registro il dato per 5 minuti e
 poi lo moltiplico per 12 (5x12=60)

$$TF = VH / PHF \quad PHF: \text{fattore dell'ora di punta}$$

$$PHF = VH / 4 \cdot V_{15}$$

le fluttuazioni interessano porzioni
 più piccole dell'ora

Sto analizzando un'ora di punta
 (7,20 - 8,20)

I 5 minuti critici sono quelli tra le 7,40 e le 7,45.

Non prendo né la media, né il picco. Il quarto
 d'ora di picco è il tempo da usare per contare i
 veicoli dell'ora di picco, e poi lo spalmato nell'ora.

ORA DI PICCO: 7,20 - 8,20

Nell'ora di picco ho 4 gradienti e di questi considero
 quello più alto

Posso dal volume dell'ora di punta (VH) il tasso
 di flusso (TF) (rate of flow). PHF: peak hour factor

$$4 \cdot V_{15} = 2000 \quad (\text{tassa nel grafico})$$

$$VH = 1650$$

$\frac{\partial N}{\partial x}$ è la quantità riferita allo spazio, è la densità veicolare (D)

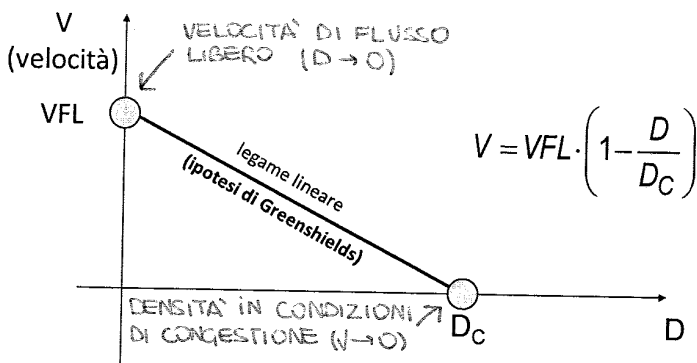
$$Q = \frac{\partial N}{\partial t} \quad D = \frac{\partial N}{\partial x} \quad V = \frac{\partial x}{\partial t}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\partial N}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial t} \rightarrow \boxed{Q = D \cdot V} \quad \underline{\text{LEGGIE FONDAMENTALE}}$$

La legge è intesa per veicoli medi.

D e V sono indipendenti tra loro?

Pipato su un grafico velocità V e densità D. Posto D a zero come se i veicoli fossero molto lontani tra loro. Siamo in condiz. di veicolo isolato o flusso libero.



Immagino poi di rendere massimo la densità (veicoli uno attaccato all'altro) e quindi la velocità è quasi nulla.

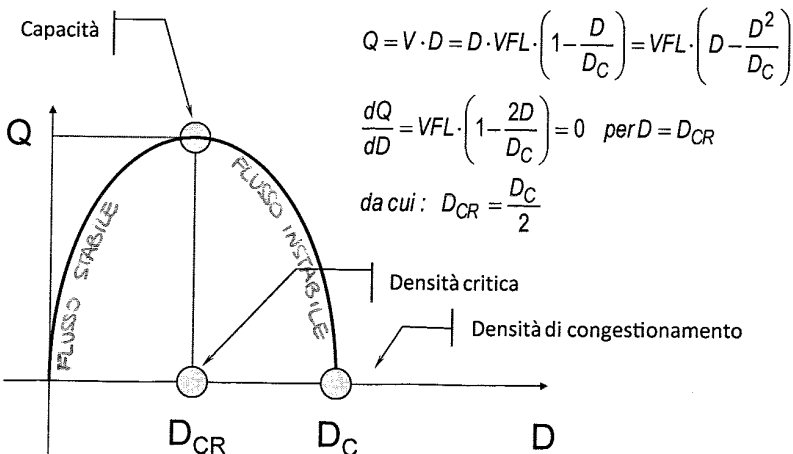
→ CONGESTIONE

Da V e D c'è una relazione di tipo lineare che passa tra i 2 punti individuati (ipotesi di Greenshields)

$$V = VFL \left(1 - \frac{D}{D_c} \right)$$

La velocità V dipende dalla densità D

inserendo l'eq di V in quella di $Q = D \cdot V$:



$$Q = V \cdot D = D \cdot VFL \cdot \left(1 - \frac{D}{D_c} \right) = VFL \cdot \left(D - \frac{D^2}{D_c} \right)$$

$$\frac{dQ}{dD} = VFL \cdot \left(1 - \frac{2D}{D_c} \right) = 0 \quad \text{per } D = D_{CR}$$

$$\text{da cui: } D_{CR} = \frac{D_c}{2}$$

otengo un parabola del 2° ordine

↑ D → ↑ Q → si arriva al MAX (che trovo facendo $\frac{dQ}{dD} = 0$)

se però D continuo a

↑ → ↓ Q fino che si arriva al congestionamento e Q=0.

Nella parte superiore ho un flusso stabile che è quello che voglio ottenere.

C'è la capacità voluta con la teoria del deflusso. Quel progetto deve garantire il comfort quindi con alte velocità e basse densità.

Le lettere rappresentano le 4 categorie di strada. Quel progetto mi autostituisce cerco di farlo rimanendo nei tratti A o B. (A è ideale)

A ciascun punto della curva posso conoscere le D (densità) tracciando per quel punto una retta con origine O e calcolando il coefficiente angolare.

- LdS A : flusso libero
- LdS B : flusso stabile ad alte velocità
- LdS C : flusso stabile a medie velocità
- LdS D : flusso in avvicinamento a condiz. di instabilità
- LdS E : flusso instabile a basse velocità
- LdS F : flusso forzato (instabile)

↑ D → ↓ V

Nel tratto F una piccola perturbazione (es. cambio di corsia) può provocare il blocco del flusso → code

LdS esprime una qualità di movimento (LOS: level of service).

Negli USA si viaggia per file parallele e il sorpasso si effettua a dx o a sx.

In Europa si viaggia per file parallele ma in condizione di flusso libero si può sorpassare solo a sx.

Questo influisce sulle equazioni.

Tipo di strada		LOS minimo
Autostrade	extraurbane	B
	urbane	C
Strade extraurbane principali		B
Strade extraurbane secondarie		C
Strade urbane di scorrimento		E
Strade urbane di quartiere		E
Strade locali	extraurbane	C
	urbane	E

(*)

(*)

(*)

Le diverse tipologie di infrastrutture sono progettate in base ad uno specifico livello di servizio. Per le strade di livello E si progetta alla capacità dell'infrastruttura.

I "corsi" hanno un nr. di corsie variabile.

* COMPOSIZIONE FISSA

HCM. highway capacity manual

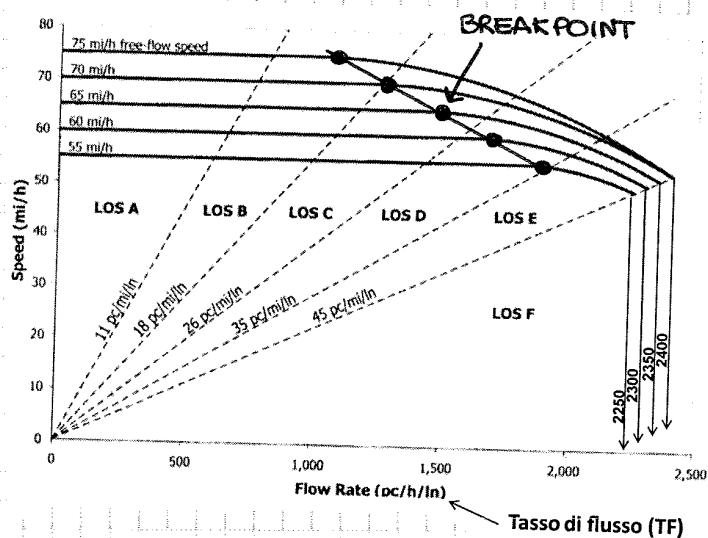
L'HCM per il calcolo delle sezioni usa dei modelli di riferimento che ci dicono come interagiscono entità e infrastruttura. Uso dei fattori correttivi per riportare i modelli ai casi reali.

Se abbiamo un flusso di sole autovetture, la scelta è con la situazione di riferimento → non servono i fattori correttivi.

I fattori correttivi sono divisibili in 3 categorie:

- geometria dell'infrastruttura
- composizione e caratteristiche della corrente
- sistemi di controllo.

↳ Autostrade: velocità - tasso di flusso - LOS - densità



Le fasce di rete identifica le densità. Nel tratto C, D, E le rete diventano curve. Se ↑ la tortuosità ↓ la velocità. La curva teorica è una sola e si adatta alle diverse velocità di flusso libero.

Le curve si interrompono alla capacità (al di sotto non posso progettare). La velocità critica non è poi alla metà di VFL ma è maggiore.

Dove passo dal tratto rettilineo a quello curvo, cambia la velocità. (quel punto si chiama BREAK POINT)

La 2ª colonna ci dice il valore di flusso, superato il quale la velocità diminuisce.

FFS (mi/h)	Breakpoint (pc/h/ln)	Flow Rate Range	
		≥ 0 ≤ Breakpoint	> Breakpoint ≤ Capacity
75	1,000	75	$75 - 0.00001107 (v_f - 1,000)^2$
70	1,200	70	$70 - 0.00001160 (v_f - 1,200)^2$
65	1,400	65	$65 - 0.00001418 (v_f - 1,400)^2$
60	1,600	60	$60 - 0.00001816 (v_f - 1,600)^2$
55	1,800	55	$55 - 0.00002469 (v_f - 1,800)^2$

Notes: FFS = free-flow speed, v_f = demand flow rate (pc/h/ln) under equivalent base conditions. Maximum flow rate for the equations is capacity: 2,400 pc/h/ln for 70- and 75-mph FFS; 2,350 pc/h/ln for 65-mph FFS; 2,300 pc/h/ln for 60-mph FFS; and 2,250 pc/h/ln for 55-mph FFS.

Le strade ext-urbane secondarie e locali hanno come di marcia che serve anche al sorpasso (doppia funzione), non possiamo procedere per file parallele, se non possiamo superare, ci dobbiamo accodare. la capacità è di 1700 pc/h.

Calcolo il tasso di flusso, entro nel diagramma e mi fermo sulla curva caratterizzata dalla mia velocità di flusso libero e vedo in che categoria mi trovo (questo vale in generale)

Il livello di servizio LOS è indicata tenendo conto di 2 parametri fondamentali:

- velocità media di viaggio (ATS)
- % di PSL raggiunte lungo la strada (PFFS)
- % di tempo accodati (PTSF)

PSL: posted speed limit (limite di velocità)

Per le strade ext-urbane secondarie e locali, per calcolare LOS devo quindi tenere conto dei parametri scritti sopra.

Per la classe 1 devo combinare i primi 2 valori

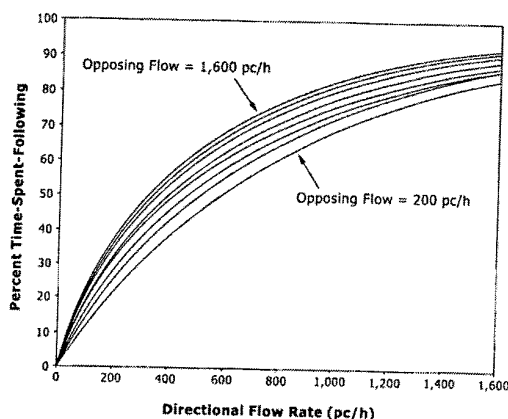
Per la classe 2 devo considerare solo la 3^a colonna

Per la classe 3 devo considerare solo la 4^a colonna.

LOS	Class I Highways		Class II Highways PTSF (%)	Class III Highways PFFS (%)
	ATS (mi/h)	PTSF (%)		
A	>55	≤35	≤40	>91.7
B	>50-55	>35-50	>40-55	>83.3-91.7
C	>45-50	>50-65	>55-70	>75.0-83.3
D	>40-45	>65-80	>70-85	>66.7-75.0
E	≤40	>80	>85	≤66.7

ATS: average travel speed

PTSF: % time spent following

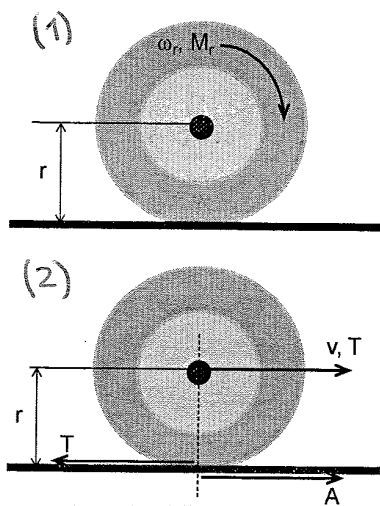


Il fascio di curve rappresenta il tasso di flusso della corsia opposta.

↑ nr di veicoli in direz. opposta

→ ↓ possibilità di sorpasso → ↑ tempo passato in coda.

Le ruote, interagendo con lo strada trasmissano una coppia di forze in movimento.



La ruota, rotola con velocità angolare ω_r e con coppia motrice M_r .

$$W_r = \omega_r \cdot M_r = 2 \pi N_r \cdot M_r$$

W_r : potenza disponibile alle ruote

ω_r : velocità angolare della ruota

N_r : nr di giri al sec delle ruote

M_r : coppia motrice messa a disposiz. degli organi di trasmissione alla ruota.

la coppia possiamo vederla come 2 forze separate, uguali ma di verso opposto. Le braccia delle coppie è il raggio della ruota

$$W_r = \omega_r M_r = (\omega_r \cdot r) \cdot T = T \cdot v$$

T : caratteristica di trazione

v : velocità periferica del battistrada \sim velocità di avanzamento

r : raggio della ruota

$$\rightarrow T = W_r / v$$

la resistenza al moto è una somma di singole resistenze che si incontrano nella fase di moto.

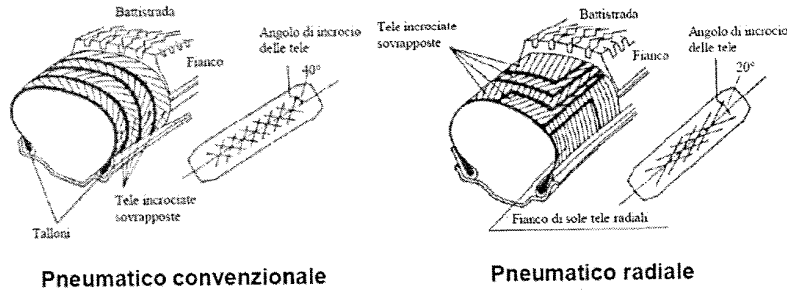
(Nei veicoli a motori sono suddivisi dalle ruote e la parte deriva dallo spostamento d'aria generato dalla turbina, non ci sono coppie motrici).

→ RESISTENZE

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1: resistenza al rotolamento | } <u>ORDINARIE</u> (ci sono sempre) |
| 2: resistenza di aria | |
| 3: resistenza di livellata (pendenza) | } <u>ADDITIONALI</u> (ci sono in certi particolari) |
| 4: resistenza in curva | |

Se $\downarrow \delta \rightarrow \downarrow \Gamma_{RD}$ Ho δ piccoli in campo ferroviario, ho δ + importanti con la ruota spinnata. Ruotando, l'aria viene messa in moto - dissipa energia. Perdo energia in calore.

Per contrastare la deformazione le ruote hanno subito un'evoluzione: sotto il battistrada c'è una maglia di acciaio con angolo di 20° .



Pneumatico convenzionale

Pneumatico radiale

Si diminuisce così la deformabilità della ruota.

Prendendo, la resistenza al rotolamento per deformabilità dipende dalla tessitura e dalle cedevolezza della pavimentazione.

- diminuisce con l'aumentare della pressione di spuffaggio delle ruote.
- \uparrow con la velocità del veicolo
- dipende dalla temperatura

valori tipici su strada Γ_{RD} [N/kN]

- 15-20 (autoveicoli) \uparrow di peso del veicolo
- 20-30 (autocarri)

Devo applicare una forza di 15-20 N per spostare un'auto che pesa 1 kN (un'utilitaria)

FORMULA DI ANDREAU:

$$\Gamma_R = \frac{10^{-3}}{p_{0,15}} \left(20 + \frac{V^{3,7}}{1294000 p_{1,144}} \right) \quad [N/N]$$

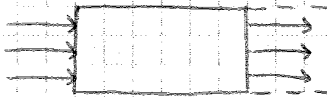
p: pressione di spuffaggio in kg/cm^2 a $15^\circ C$

V: velocità in km/h.

$\uparrow \Gamma_R \rightarrow \downarrow p$ $\uparrow \Gamma_R \rightarrow \uparrow V$

Tipo di veicolo	S [m ²]	c
automobile	2,2	0,30-0,60
automobile da corsa	1,5	0,40-0,90
autobus	4-6	0,50-0,70
autocarro	3-7	0,80-1,00
motociclo+guidatore	-	0,90-1,80
Automotrice a 2 unità carenate	6,5-9,0	0,40-0,45
ogni unità aggiuntiva	-	0,08-0,10

Più la forma è aerodinamica minore è la resistenza. La resistenza di aria è determinata anche dalla pressione laterale e dalla depressione posteriore.



qui si genera un vuoto - depressione.

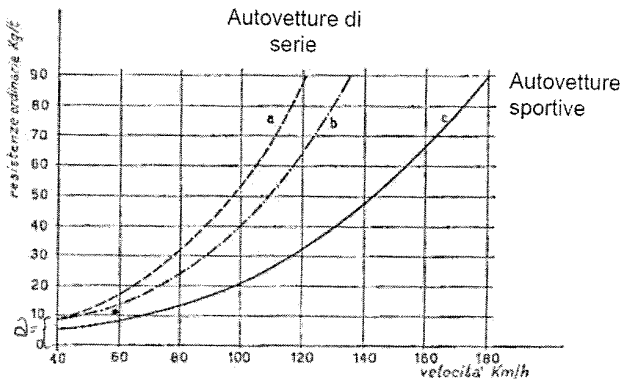
Il coeff. c include quindi anche fenomeni secondari oltre che la forma del veicolo.

→ RESISTENZE ORDINARIE

- Per veicoli stabili

Eq. BINOMIA: $R_{os} = a + b V^2$

$V = [km/h]$



Da punto di vista sperimentale si vanno a calcolare la resistenza al rotolamento e quella aerodinamica.

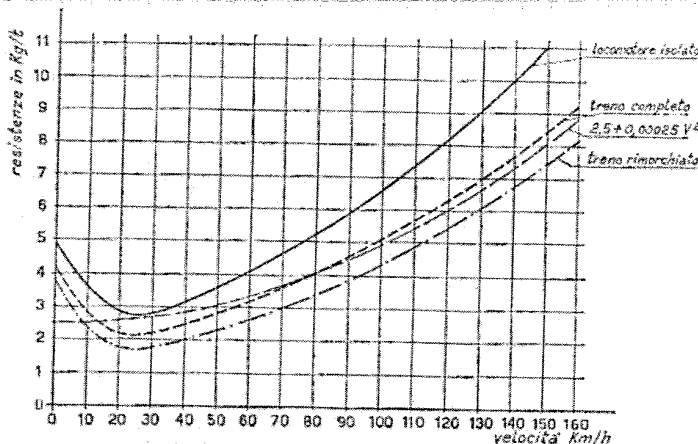
$R_{os} = R / \text{peso} = \frac{R_R + R_A}{P}$

$R = R_R + R_A$

$a = 20 \text{ N/kN} \quad \text{max } 0,0095 = b$

- per veicoli precaricati

Eq. TRINOMIA: $R_{of} = a + b \cdot V^2 + cV$



$a = 2,5 \div 30 \text{ N/kN}$

$b = 0,0025 \div 0,00053$

Il termine cV è dovuto alla resistenza alla

spinta (fenomeno visto prima).

Se si trattano opt

fenomeno posso usare la formula binomia.

Nei tornanti ↑ la resistenza in curva ma scende quella di livellata, per qst motivo durante la progettazione non teng conto della resistenza in curva sulle strade. Nei tornanti (con raggio minore di 40-50 m) la pendenza longitudinale è al max del 2%, nelle altre parti delle strade di montagna la pendenza ~~trasversale~~ ^{longitudinale} è pari al 10%.
 Adottando qst stratagemma poss trascurare le resistenze in curva.

→ Resistenza in curva del veicolo ferroviario.

sotto i 1000 m di raggi la resistenza in curva non è trascurabile. Il carrello di un convoglio è un corpo rigido che sul si accoppia al binario che è curva → si generano strisciamenti reciproci tra ruota e sede.

$$r_c = \frac{m}{R-n}$$

formula di VAN ROCKE
 (m=650 n=55)

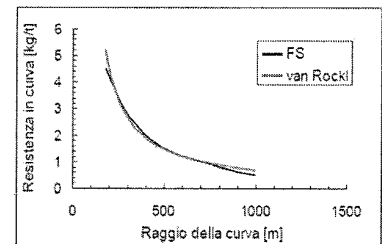
↑ R → ↓ r_c

R: raggio delle curve [m]

m, n: costanti sperimentali

Nelle ferrovie a scartamento ridotto m è piccolo → si usano qst ferrovie per ridurre le resistenze in curva.

$$[kg/t] = [N/kN]$$

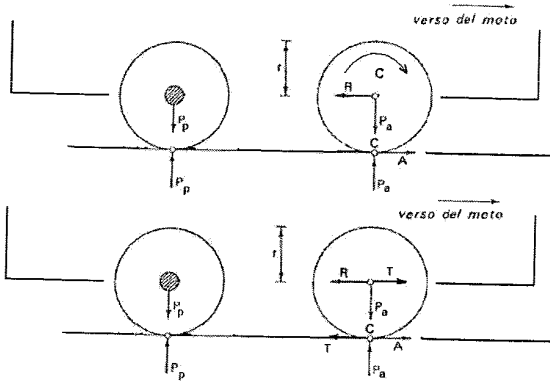


P_a : peso aderente (graino sulle ruote che danno aderenza)

$A = T$ per equilibrio della ruota

P_p : peso portato

In R è inclusa la resistenza al rotolamento.



T: forza che la ruota trasferisce alla strada

A: aderenza, uguale e contraria a T, è la forza che la strada trasferisce alla ruota

$$T = \frac{C}{r} \quad (C = Mr)$$

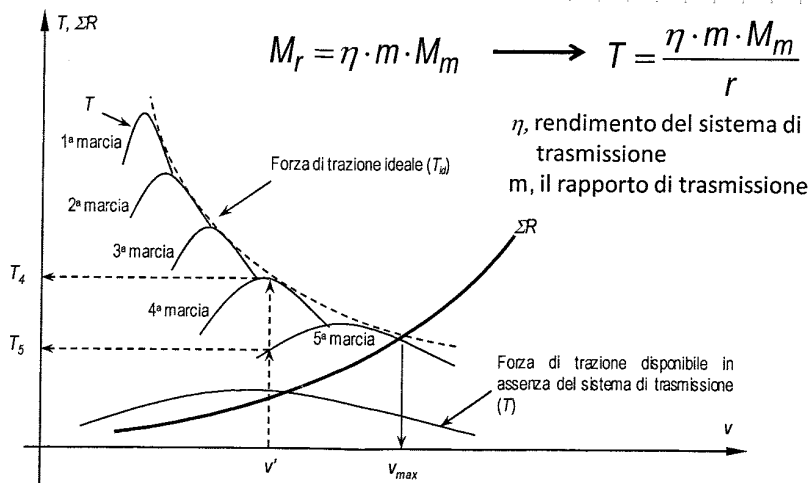
$$T = \frac{W}{v}$$

Un motore che trasferisce una coppia costante W genererebbe una forza T con andamento iperbolico.

Alcuni motori trasferiscono una coppia motrice costante $v \uparrow \rightarrow T \downarrow$ (caratteristico dei motori elettrici)

$$T = \frac{W_r}{v} = \frac{M_r}{r}$$

I motori termici con un solo tipo di rapporto hanno un andamento del genere:



Le marce consentono di $\uparrow m$ e di conseguenza $\uparrow T$, è la differenza tra T ed R che ci fa partire. con le marce il motore termico si comporta come quello elettrico.

di contatto e dipende dai materiali di contatto (Es d'incubo meteo le f_s spume da neve e così $\uparrow f_s$ e $\uparrow A$).

I vincoli di riferimento sono il perno della ruota e il punto di contatto. Se non cedono a causa della coppia motrice, la ruota sta ferma.

- rotolamento (cede vincolo in O) (C sta fermo) è la condizione ideale.

$$\frac{M_r}{r} = T = R < f_s \cdot P_a$$

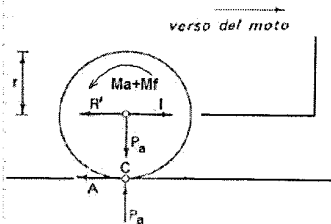
↑
trazione (spinta)

- slittamento (cede il vincolo in C)

$$\frac{M_r}{r} = T = f_s \cdot P_a$$

Come progettisti dobbiamo far sì che f_s sia il + grande possibile per consentire alla ruota di ruotare e non slittare. Dobbiamo garantire il defluire dell'acqua dalla pavimentaz. con un'inclinaz. del marci del 2,5% almeno.

→ Interazione tra ruota frenata e strada.



la ruota frenata è quello su cui non è applicata una spinta motrice (viene tolta la T).

La T non c'è → non c'è differenza tra ruota & matrice e trainata.

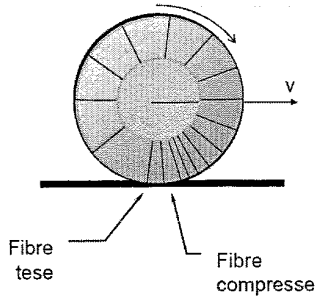
Tutte le 4 ruote sono = fra di loro

e il peso aderente diventa uguale al peso totale del veicolo. A' cambia direzione. Tutte le ruote diventano aderenti. Su ciascuna ruota si applica M_f che beneficia della quota parte generata dall'attrito ai perni M_a .

STRISCIAMENTO: $\frac{M_a + M_f}{r} = A = f_s \cdot P_a$

ROTOLAMENTO: $\frac{M_a + M_f}{r} = A < f_s \cdot P_a$

Poiché l'attrito si esplica solo quando c'è scorrimento, quest'ci deve essere tra ruota e strada.



Nella parte di distacco della ruota dal battistrada, le fibre sono tese per effetto dello coppia motrice, le fibre del battistrada nel punto di contatto sono compresse.

→ nell'area di contatto c'è slittamento, la fibra prima è tesa, poi è compressa.

SCORRIMENTO ψ misura qu't scorre il battistrada rispetto al sp. la velocità est della ruota è \neq da quella di avanzamento perché c'è slittamento.

$$\psi = \frac{\omega r - v}{\omega r} = 1 - \frac{v}{\omega r}$$

ωr : velocità periferica della ruota

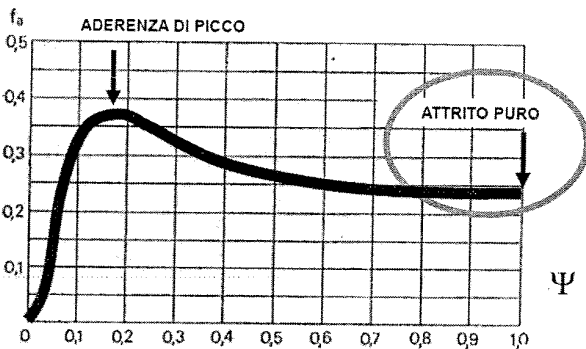
v : velocità di avanzamento del veicolo.

$\uparrow (\omega r - v) \rightarrow \uparrow$ scorrimento

$\psi = 0$ $v = \omega r$: rotolamento puro

$\psi = 1$ $\omega r \gg v$: scorrimento puro

Se c'è scorrimento, c'è di sicuro l'attrito. Quando $\psi = 1$ l'unica componente scambiata tra ruota e strada è l'attrito.



L'adesione per esplicarsi ha bisogno che le molecole abbiano tempo per attrarsi.

L'aderenza di picco si ottiene per $0,1 < \psi < 0,2$.

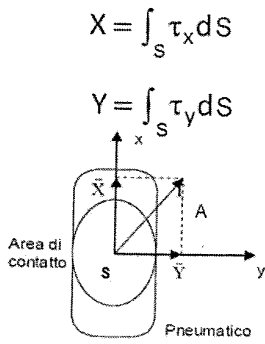
Ci vuole un po' di attrito e dare modo

scorrimento per generare alle particelle di attrarsi.

L'ABS cerca di limitare il bloccaggio delle ruote.

l'attrito ed evitare il

Abbiamo 2 tipi di aderenze: trasversale e longitudinale.



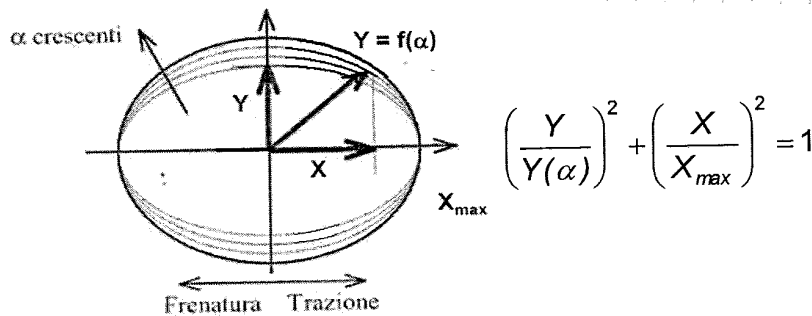
L'interazione avviene scambiandosi delle funzioni: quelle tangenziali sono dette di aderenza.

L'A però non è sempre orientata nella direz. di movimento perché è impegnata sia trasversalmente che longitudinalmente.

Coef. di aderenza longitudinale: $f_{a,L} = \frac{X}{P_a}$

Coef. di aderenza trasversale: $f_{a,T} = \frac{Y}{P_a}$

L'aderenza trasversale dipende dall'angolo di deriva formato da A e dalla direz. di marcia. Al variare dell'angolo variano i 2 tipi di aderenza.



↑ aderenza trasversale → ↓ aderenza longitudinale

L'A.L. mi serve per frenare, e A.T. mi serve

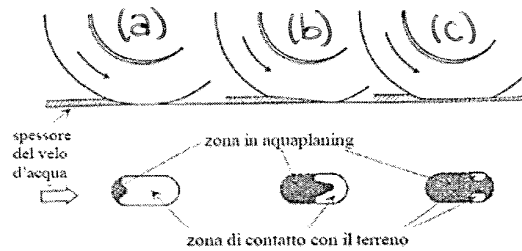
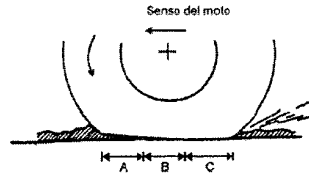
quad. pieno ma curvo per non scivolare x la tg.

(la forza centrifuga non sarebbe contrastata senza Y (A.T.))
 L'AT entra in gioco anche quad. e' in vento forte, o se la sp. è irregolare, entra in gioco anche a causa della "compattazione" delle ruote.

→ Aderenza in condizioni bagnate
 la ruota batte su una sup. d' H₂O di un certo spessore
 la ruota sposta la pellicola d' H₂O e il contatto
 è osciuto (a). la ruota sposta l' H₂O e dopo arrivo
 al contatto (b). la ruota resta sospesa sull' H₂O (c)

Fenomeno della perdita di aderenza
 per idroscivolamento (aquaplaning):

- A) zona di evacuazione;
- B) zona di attrito;
- C) zona di contatto

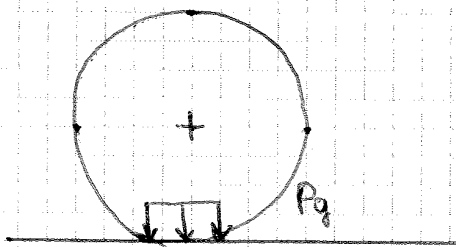


le battistrada non deve mai essere liscio perché se
 no la ruota non riesce a far defluire l' H₂O nei
 canali stessi del battistrada.

Anche la strada deve avere dei canali in
 modo che l' H₂O vada lì e le asperità dei
 grani siano osciute per garantire la presa
 ferma della ruota sulla strada.

la pressione di gapfoggio è
quella che la ruota
scambia con lo sup. stradale

la pressione di gapfoggio
deve vincere la pressione
della pellicola d' acqua



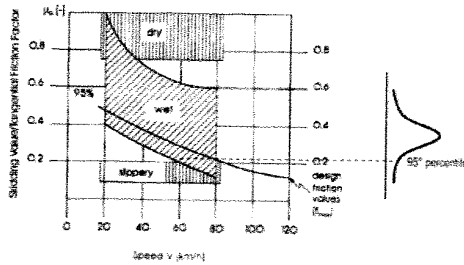
qnd ruota e pellicola entrano in contatto.

Se la pressione del velo idrico è > di P_g → la
 ruota non tocca la strada. ↑ scarpatura del
 battistrada → ↑ la P_g.

Le condiz. intermedie si distinguono 3 zone:

- A: P_g < P_{H₂O}
- B: P_g = P_{H₂O}
- C: P_g > P_{H₂O}

→ coefficiente di aderenza longitudinale



Coefficiente di aderenza longitudinale - Norme Italiane							
Velocità di progetto [km/h]	25	40	60	80	100	120	140
Strade tipo A e relative strade di servizio	-	-	-	0,44	0,40	0,36	0,34
Strade tipo B, C, F extraurbane, D, E, F urbane e relative strade di servizio	0,45	0,43	0,35	0,30	0,25	0,21	-

Audamento delle curve decrescente in funzione delle velocità. Quel progettiamo facciamo riferimento a condizione di pavimentazione bagnata. Ci riferiamo alla banda che dipende fortemente dalla velocità. Facciamo il Hip di distribuzione normale delle curve ma per il progetto consideriamo il 95 percentile (una delle curve più spioventi). L'A decresce al ↑ della velocità. Nella progettaz. ci dobbiamo riferire ad una A differenziata tra le strade con alte e basse velocità di progetto. Le autostrade non hanno di solito inquinanti fisci come invece accade per le altre tipologie di strade.

→ coefficiente di aderenza trasversale

con ellisse di aderenza:

$$\left(\frac{y}{y_{max}}\right)^2 + \left(\frac{x}{x_{max}}\right)^2 = 1$$

x: aderenza longitudinale
y: aderenza trasversale

divido per f_a:

$$\frac{f_{aT}^2}{f_{aT}^2} + \frac{f_{aL}^2}{f_{aL}^2} = 1 \quad f_a = f_{aT} = f_{aL}$$

ipotesizziamo che il 90% di f_a sia impiegata in direz. longitudinale:

MOTO UNIFORME ($v = \text{cost}$, $a = 0$)

$$T = R_r + R_a + R_l + R_c$$

\uparrow rotolamento \uparrow aerodinamico \uparrow resistenza \uparrow curvatura

MOTO VARIO ($v = \text{VAR}$, $a > 0 < 0$)

$$T = R_r + R_a + R_l + R_c + I$$

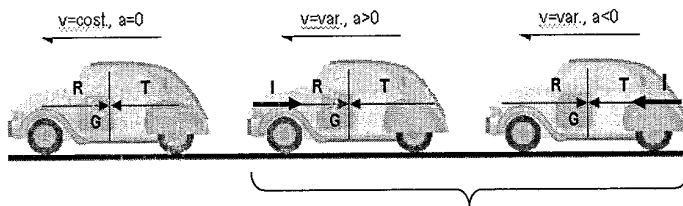
\uparrow inerzia < 0 perché $a > 0$

$$I = m a = \beta \frac{P}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = P \left(\frac{\beta}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \right) = P \cdot \Gamma_{in}$$

↑
 coeff. che tiene conto dell'effetto che nel veicolo ci sono elementi con moto relativo rispetto al veicolo e qst ↑ I.

- β : 1-1,1 (veicoli stradali)
- 1,2-1,4 (locomotori elettrici)
- 1,25 (Tramvie e trolleybus)

- a : 1 (acceleraz); 2-3 (deceleraz) : AUTOTREME
- 0,35 : AUTOCARRI
- 0,10 ÷ 0,15 : CONVOCI FERROVIARI



Moto uniforme :

Moto vario :

MOTO UNIFORME:

$$T = R_r + R_a + R_l + R_c$$

$$T = P (\Gamma_{rot} \pm i + \Gamma_c)$$

MOTO VARIO:

$$T = R_r + R_a + R_l + R_c + I$$

$$T = P (\Gamma_{rot} \pm i) + R_c + \frac{\beta}{g} \cdot \frac{dv}{dt}$$

Il moto è vario.

$$I = T - (R_r + R_a + R_l) \quad (T: spinta - R: resistenza)$$

$$\frac{P}{g} \cdot \frac{dV}{dt} = T - \left[(P-L) \cdot (r_r \pm i) + \frac{1}{2} \delta \cdot c \cdot S V^2 \right]$$

$$\frac{P}{g} \cdot \frac{dV}{dt} = T - \left[\left(P - \frac{1}{2} \delta \cdot c_p \cdot S_A V^2 \right) \cdot (r_r \pm i) + \frac{1}{2} \delta \cdot c \cdot S V^2 \right] \quad (1)$$

R_r, R_l sono condizionate dal peso scaricato a terra.
La portanza alare la posso considerare

c_p : coeff. di portanza alare (tiene conto solo della sup. alare)

c : coeff. di forma o resistenza aerodinamica dell'intero velivolo.

S : sup. movente

S_A : sup. alare

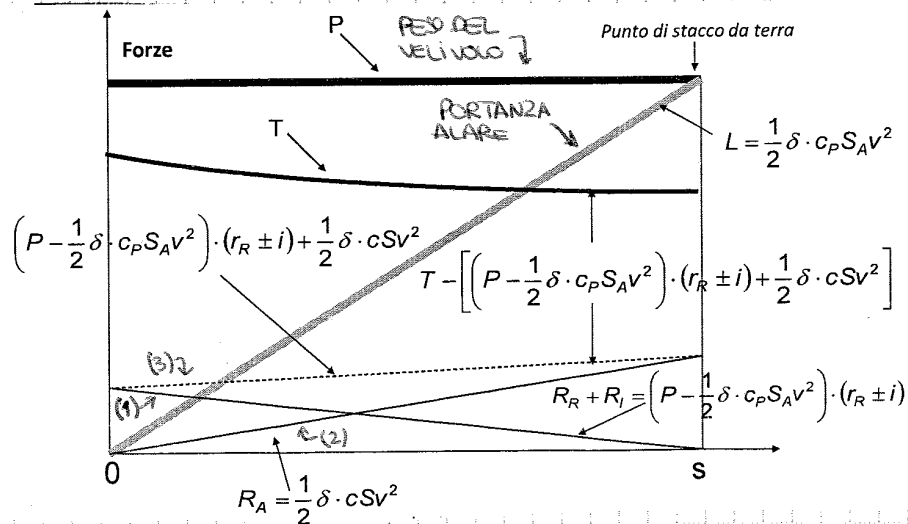
$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dt} \cdot \frac{ds}{ds} = \frac{dV}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = V \cdot \frac{dV}{ds}$$

Da qst ultima eq mi ricavo s che è la lunghezza della pista che mi serve per dimensionare dalle (1).

$$V \cdot \frac{dV}{ds} = \left[\dots \right] \quad \text{2 MEMBRO}$$

$$\int ds = \int \frac{V dV}{\left[\dots \right]} \quad \text{2 MEMBRO}$$

→ DIA GRAMMA DELLE FORZE IN FASE DI DECOLO DEL VELIVOLO



$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = v \cdot \frac{dv}{ds} = \frac{g}{\beta} \left[(r_R \pm 1) + \frac{1}{2} \frac{\delta \cdot c \cdot s \cdot v^2}{P_a} + f_{a,L} \right]$$

↑
decelerazione → $dv/dt < 0$

$$\int_0^{df} ds = \int_v^0 \frac{v \cdot dv}{\frac{g}{\beta} \left(r_R + \frac{1}{2} \frac{\delta \cdot c \cdot s \cdot v^2}{P_a} + f_{a,L} \pm 1 \right)} = \int_v^0 \frac{v \cdot dv}{g [f_e(v) \pm 1]}$$

$s=0, v$ $s=df, v=0$
ESTREMI DI INTEGRAZIONE

↑ qui c'è velocità
↑ velocità
↑ qui compare la velocità, qst termine è quel che pesa di più
↑ livellata

I termini che dipendono dalla velocità vengono inglobati in f_e : coeff. di aderenza equivalente. β viene introdotto ed inglobato da f_e perché ~ 1 .

$$df = \frac{v^2}{2g [f_e(v) \pm 1]} \quad \text{SPAZIO DI FRENATURA}$$

Se considero $f_{a,L}$ costante da $s=0$ a $s=df$, vado a fuore di sicurezza in qut minimizzo il coeff. di aderenza ($f_{a,L}$ cresce da $s=0$ a $s=df$ ma lo considero costante e = a quel che ho allo spazio $s=0$) che è il denominatore quindi rendo massimo lo spazio di frenatura.

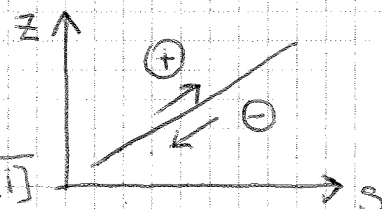
$f_{a,L}$ è di un ordine di grandezza superiore rispetto alla resistenza al rotolamento.

→ coefficiente di aderenza equivalente $f_e(v)$ dipende dalla velocità ma lo considero costante. Se ho pendenza > 0 solo in salita. Evid progetto devo considerare

Velocità [km/h]	Pavimentazione asciutta	Pavimentazione bagnata
50	0,62	0,36
65	0,60	0,33
80	0,58	0,31
95	0,56	0,30
110	0,55	0,29

Coefficiente di aderenza longitudinale equivalente, f_e

sia il tratto in salita che quello in discesa



$$f_e = \frac{f_{a,L} + r_R}{\beta} + \frac{1}{2} \frac{\delta c s v^2}{\beta P_a}$$

$$df = \frac{v^2}{2g [f_e(v) \pm 1]}$$

Nella progettaz. si considero sempre l'ultima colonna

la massima pendenza superabile da un veicolo
 la posso calcolare così:

$$i_{MAX} = \frac{\frac{W_{MAX}}{V} - \frac{1}{2} \delta c S V^2}{P} - r_R - \frac{\beta}{g} \frac{dV}{dt}$$

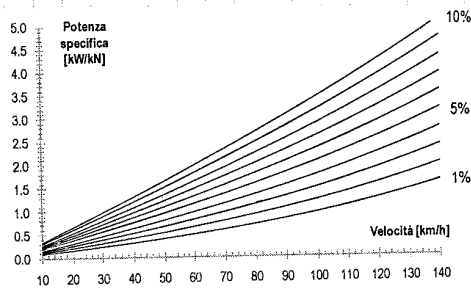
$$i_{MAX} = \frac{\frac{W_{MAX}}{V}}{P} - r_0 - \frac{\beta}{g} \frac{dV}{dt}$$

↑ se ipotizzo velocità costante: $dV/dt = 0$

W : potenza specifica (per unità di peso)

r_0 : resistenza ordinaria

$$\frac{W}{P} = V(r_0 + i)$$



Entro nell'asse verticale conosco W/P . Proseguo fino ad intersecare la retta corrispondente alla pendenza del tratto, stando sul tratto orizzontale → ricavo la velocità max a cui posso andare.

Per mezzi commerciali $0,5 < W/P < 1,5$ quindi le velocità a cui possono andare sono molto basse.

la spinta T , dipendente dalla potenza, non può essere maggiore di $f_a P_a$, cioè non può superare l'aderenza media in spico della strada.

la pendenza max superabile dipende quindi anche dalle condizioni di contatto tra ruota e strada.

$$T = A \leq f_a P_a$$

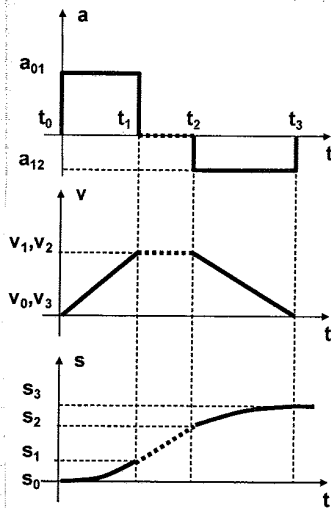
$$i_{MAX} = \left\{ \begin{array}{l} i''_{MAX} = \frac{f_a \cdot P_a - \frac{1}{2} \delta c S V^2}{P} - r_R - \frac{\beta}{g} \frac{dV}{dt} \\ i'_{MAX} = \frac{\frac{W_{MAX}}{V} - \frac{1}{2} \delta c S V^2}{P} - r_R - \frac{\beta}{g} \frac{dV}{dt} \end{array} \right\} = \min(i'_{MAX}, i''_{MAX})$$

la pendenza massima superabile sarà pari alla più piccola tra i'_{MAX} e i''_{MAX} ,
 si esclude sempre l'inerzia (dV/dt).

Non si possono progettare dei rettili sui quali la permanenza sia maggiore di un tempo stabilito. I rettili troppo lunghi portano ad un obbligo di un troppo lungo di notte.

L'hip di moto uniforme era stata più per il calcolo della capacità lungo le linee ferroviarie.

→ Moto uniformemente accelerato



questi diagrammi sono di tipo trapezio

In termini generali:

$$a_{01} = v/t$$

$$v = a_{01} \cdot t$$

$$s = \int_0^t v dt = \int_0^t a_{01} \cdot t dt = \frac{a_{01} t^2}{2} = \frac{v t}{2}$$

$$s = \frac{v^2}{2 a_{01}}$$

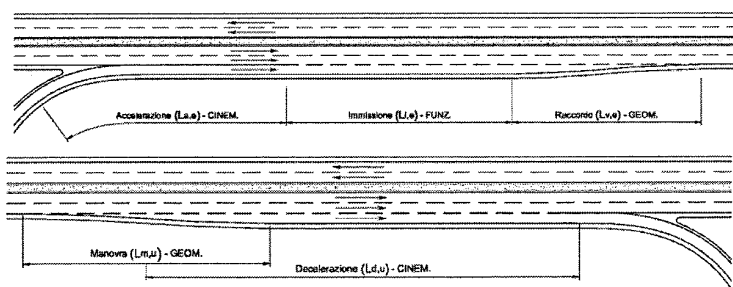
← abbiamo tolto il tempo x' qui si progetta si considera solo la variaz. di spazio

In particolare per $t = t_1$

$$v_{12} = a_{01} \cdot t_1$$

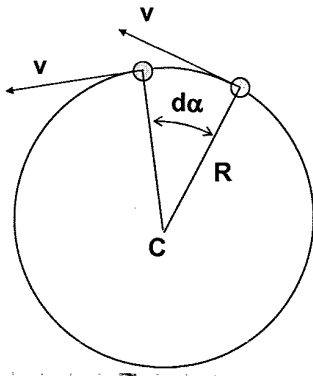
$$t_1 = \frac{v_{12}}{a_{01}}$$

$$s_1 = \frac{a_{01} t_1^2}{2} = \frac{v_{12} t_1}{2} = \frac{v_{12}^2}{2 a_{01}}$$



In questi tratti il guidatore deve adeguare la sua velocità. In alto il guidatore deve accelerare per raggiungere

una velocità adeguata a quella che c'è su quel particolare tratto di strada. Lo stesso vale per le curve di decelerazione.



$$dv = v \cdot d\alpha \quad \downarrow \text{divido per } dt$$

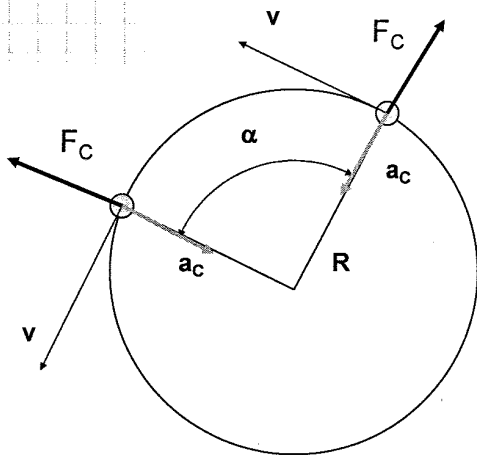
$$\frac{dv}{dt} = ac = v \frac{d\alpha}{dt} = \frac{v^2}{R}$$

la differenza tra i 2 vettori v mi dà dv



$$ac = \frac{v^2}{R}$$

v : velocità tangenziale



ac corrisponde a una F_c diretta in verso opposto. v è la velocità di progetto.

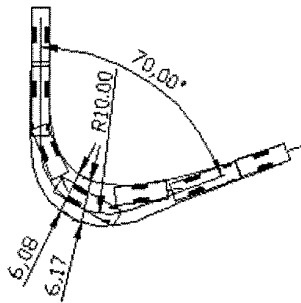
$$|F_c| = m \frac{v^2}{R}$$

- Manovre a bassa velocità

Le forze in gioco, per basse velocità, sono a loro volta basse. Dobbiamo capire quali sono gli spazi occupati dai veicoli a bassa velocità le cui F_c sono molto basse. Un veicolo composto da più parti occupa in curva molto spazio.



la deviazione α in questa manovra è pari a $180 - 70 = 110^\circ$

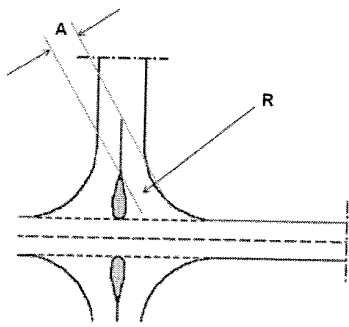


Una matrice è collegata con un timone ad un rinvio. L'asse posteriore della matrice e il punto al cui il timone si attacca alla matrice, seguirà la linea base.

la trattoria di (3) la considero come linea di base per disegnare la trattoria di (4).

Disegno la trattoria del punto A e la considero come linea base del punto B.

- Applicazione della trattoria



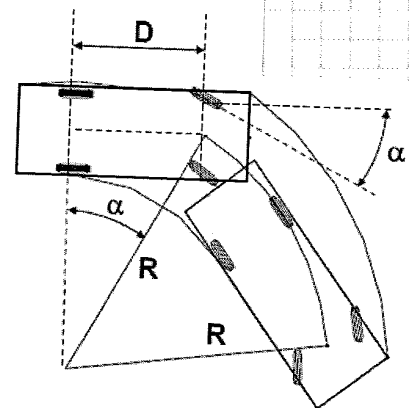
Le linee curve sono le linee di ciglio tali da consentire la sterzata del veicolo, senza la sua fuoriuscita dall'asse stradale.

La traiettoria non può seguire un raggio di curva minore di quello minimo stabilito.

$$R \cdot \operatorname{tg} \alpha = D$$

$$R = \frac{D}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$\rightarrow R_{\min} = \frac{D}{\operatorname{tg} \alpha_{\max}}$$

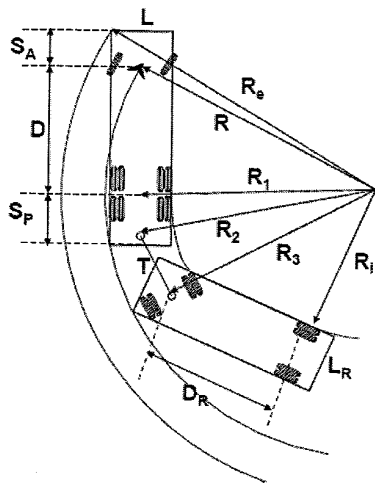


Nel campo stradale, α è volutamente = mente piccolo: $\alpha \sim 30^\circ \text{ max}$.

α corrisponde anche al raggio di centro.

Il raggio min dei veicoli stradali è $D / \operatorname{tg} \alpha_{\max}$

- Ingombro dei veicoli a 4 assi



$$\begin{cases} R_1^2 + D^2 = R^2 \\ (R_1 + \frac{L}{2})^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2 \\ R_1^2 + S_P^2 = R_2^2 \\ R_2^2 + T^2 = R_3^2 \\ (R_i + \frac{L_R}{2})^2 + D_R^2 = R_3^2 \end{cases}$$

L'area occupata dai veicoli deve sempre essere interna alla corsia anche in caso di manovre a corto raggio, non si può usare la banchina.

- Raggio minimo permesso

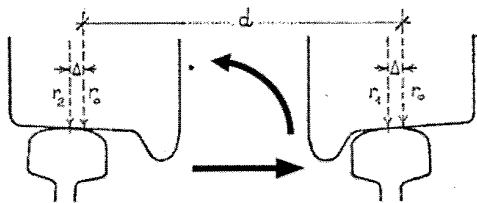


FIG. V.33 - Inserzione di una sala montata in curva: determinazione del raggio minimo.

Si impone l'uso di raggi superiore ad un certo valore limite per

1. evitare che si verifichino strisciamento tra ruota e rotaia sul banchina.
2. conservare inserimento dei carrelli

caso 1:

$$\begin{cases} r_1 = r_0 + \Delta \operatorname{tg} \gamma \\ r_2 = r_0 - \Delta \operatorname{tg} \gamma \end{cases}$$

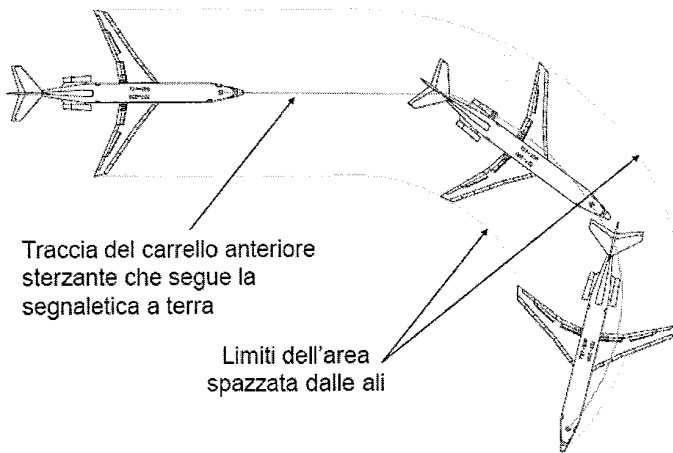
$r_1(\text{ext}) > r_2(\text{int})$ perché la ruota ext deve fare più strada. La sp della ruota è conica di $1/20$. Δ rappresenta la max escursione per uno spostamento trasversale in curva.

Le ferrovie italiane adottano per i vagoni di raggio inferiore a 750 m un sovrascaricamento ΔS che va sommato allo scaricamento $S = 1435$ mm. (lo scaricamento è la distanza tra i lembi interni della ruota).

Δs	Intervallo
0 mm	$R > 750$ m
5 mm	$700 \text{ m} < R < 750$ m
10 mm	$650 \text{ m} < R < 700$ m
15 mm	$600 \text{ m} < R < 650$ m
20 mm	$500 \text{ m} < R < 600$ m
25 mm	$375 \text{ m} < R < 500$ m
30 mm	$R < 375$ m

Per uno scaricamento di 1435 mm $D = 1500$ m. Se sovrascarico cambia D e devo ripare il calcolo del raggio.

Manovre dei velivoli



È ammesso che le di sbordino delle linee di volo.

Bisogna tenere conto dell'ingombro del carrello principale.

I velivoli per compensare l'elevato ingombro, hanno grandi angoli di

sterzata (anche $70^\circ - 80^\circ$), molto maggiori di quelli dei veicoli.

Il carrello principale non segue la traccia del carrello anteriore sterzante. Per questo nei raccordi delle piste viene allargata la pista stessa.

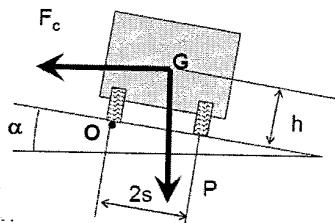
I velivoli sono dotati di schede tecniche. Per la partenza da fermo il raggio di manovra dipende dall'angolo α di sterzata.

Per contrastare l'azione centrifuga a cui è sottoposto il veicolo (F_c) è necessario inclinare la carreggiata strada verso l'interno della curva (C).

F_c può causare ribaltamento e lo può fare solo 2 situazioni di pericolo.

$$F_c = m \cdot a_c = \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{R}$$

→ Moto in curva: condizioni di equilibrio



Ipotesi semplificative:

- veicolo rigido privo di sospensioni (in curva il veicolo rimane rigido, non ruota rispetto all'asse baricentrico passante per G, non ho radio)
- ripartizione simmetrica delle forze al contatto ruota - strada (in realtà P si scarica di più sulle ruote esterne quando è in curva)

L'inclinazione α esiste sempre soprattutto in curva perché serve per l'equilibrio.

Condizioni di equilibrio da verificare

— staccamento sul piano di rotolamento:

$$\sum F_{\text{TRA}} \leq f_{a,T} \sum F_{\text{TRP}}$$

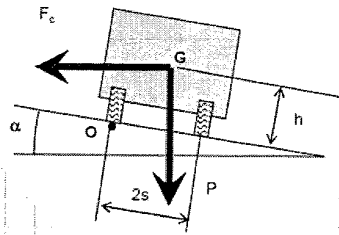
\uparrow \uparrow
 forze // coeff di
 al piano ADERENZA
 di rotolamento stradale

(da lez. precedente $f_{a,T} = \frac{1}{2} f_{a,L}$ in modo che sia sempre garantito il 90% di aderenza complessiva che ci serve in caso di frenata)

— ribaltamento rispetto al punto O

- P: forza stabilizzante
- F_c : forza ribaltante

Moto in curva (coso stordole). Equilibrio al RIBALTAMENTO.



Per quanto riguarda la verifica al ribaltamento:

Relazione di equilibrio:

$$\sum Ms \geq \sum MR$$

$$(F_c \cdot s \sin \alpha + P \cos \alpha) \cdot s \geq (F_c \cos \alpha - P \sin \alpha) \cdot h$$

$$\left(\frac{V^2}{gR} \cdot \tan \alpha + 1 \right) \cdot s \geq \left(\frac{V^2}{gR} - \tan \alpha \right) \cdot h$$

$$\frac{V^2}{R} \leq g \left(\frac{s}{h} + \tan \alpha \right)$$

$$V = \sqrt{gR \left(\frac{s}{h} + \tan \alpha \right)}$$

velocità per equilibrio di ribaltamento

s: semicarrospina

h: altezza del veicolo

Moto in curva

Quale delle 2 possibili situazioni limite si verifica prima dell'altra?

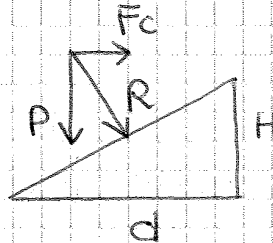
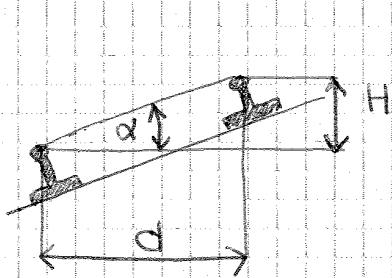
$$\left. \begin{aligned} \frac{V^2}{gR} - \tan \alpha &= f_{a,T} \\ \frac{V^2}{gR} - \tan \alpha &= \frac{s}{h} \end{aligned} \right\} f_{a,T} < \frac{s}{h} \quad \tan \alpha = g$$

Il valore più piccolo tra $f_{a,T}$ e s/h è sempre $f_{a,T} \sim 0,1 - 0,2$, $s/h \sim 1$. Lo strisciamento in caso stordole avviene prima del ribaltamento.

Solo se ci sono ostacoli sulla sede che impediscono lo strisciamento o se si considerano veicoli snelli (cioè con bassi valori di s/h $h \gg s$), il ribaltamento può avvenire prima dello strisciamento anche su pavimentazione asciutta.

Così non serve l'aderenza trasversale perché il veicolo viene schiacciato a terra l'accelerazione è compensata dalla spiroelevazione (H).

H è la differenza di quota tra la rotia esterna spiroelevata e quella interna. La traccia viene ruotata.



R è perpendicolare al piano quando c'è similitudine tra i 2 triangoli:

$$F_c : P = H : d$$

$$F_c = m a = \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$\frac{\frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{R}}{P} = \frac{H}{d}$$

$$\boxed{\frac{v^2}{R} = g \cdot \frac{H}{d} = g \cdot \tan \alpha}$$

v [m/s]

↑ EQ di PROGETTO simile all'eq che avevo in campo stradale ma non compare l'aderenza trasversale.

Ricordo ora H:

$$\boxed{H = \frac{d v^2}{g R} = 11,8 \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$\frac{1500}{9,81} = \frac{v^2}{3,5^2} \cdot \frac{1}{R} =$$

← H necessaria ad avere R
L al piano di rotolamento

d = 1,5 m (per lo scartamento ordinario)

H_{max} = 160 mm questo valore è dovuto al fatto che in caso di frenata del treno, le merci non si muovono al suo interno.

$$\frac{V^2}{R} = g \frac{H}{d} = g \cdot \tan \alpha$$

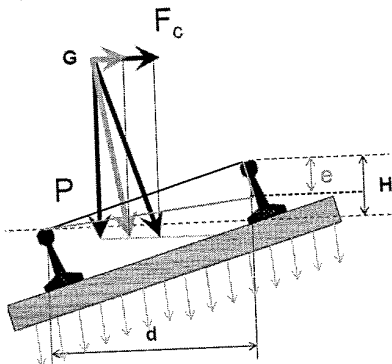
$$\frac{V_{MAX}^2}{R} = g \frac{H}{d} + a_{c,nc}$$

↑ accelerazio. centripeta non compensata (al posto di H uso j)
 ↑ accelerazio. compensata dalla sproeluz.

$$\boxed{\frac{V_{MAX}^2}{R} = g \frac{H}{d} + g \frac{j}{d}} \quad (1)$$

Altro verso l'eq (1) posso calcolarmi j

Il treno più lento invece ha la V_{min} e F_c è minore rispetto al caso precedente. La risultante è quindi meno inclinata, abbiamo così un excesso di sproeluzione "e" (avremmo bisogno di una sproeluzioni pari a $(H+e)$)



$$\frac{V_{min}^2}{R} = g \frac{H}{d} - a'c \leftarrow \text{accelerazio. sottoncompensata}$$

$$\boxed{\frac{V_{min}^2}{R} = g \frac{H}{d} - g \frac{e}{d}} \quad (2)$$

Risolvendo la (1) e la (2) rispetto ad H:

$$H = \frac{d \cdot V_{MAX}^2}{gR} - j \quad (3)$$

$$H = \frac{d \cdot V_{min}^2}{gR} + e$$

si determinano così la V_{MAX} e la R_{min} sulla linea.

$$\frac{d \cdot V_{MAX}^2}{gR} - j = \frac{d \cdot V_{min}^2}{gR} + e \rightarrow \begin{cases} V_{MAX} = \sqrt{\frac{(e+j)gR}{d} + V_{min}^2} \\ R_{min} = \frac{V_{MAX}^2 - V_{min}^2}{g(e+j)} \cdot d \end{cases}$$

Stabilito il modello di esercizio, si calcolano il raggio minimo R_{min} e la soprelevazione massima H_{max} .

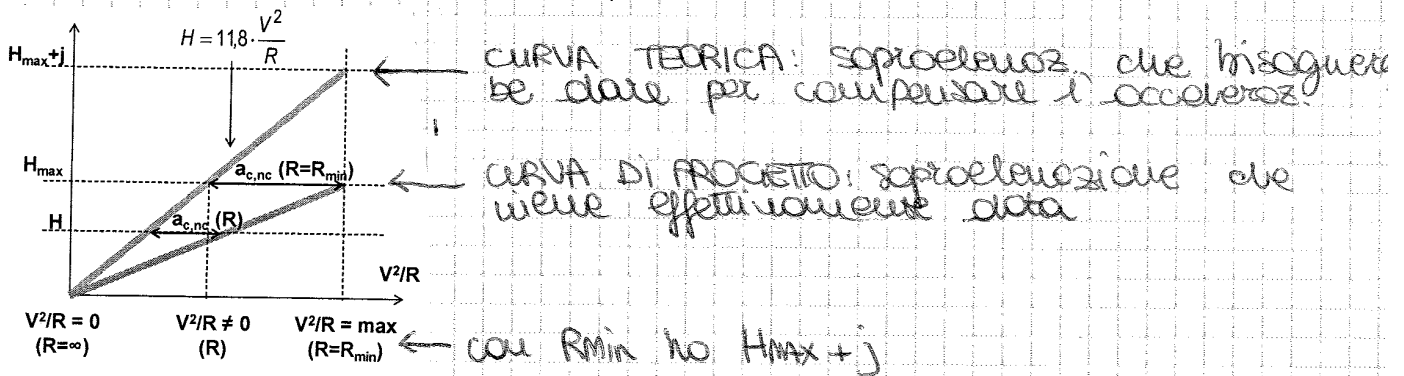
(NB: I valori di R_{min} sono diversi da quelli della lezione precedente perché qui i valori derivano da pioni dinamici)

Rete tradizionale FS ORDINARIA				
$V_{max} = 160 \text{ km/h}$	$a_{c,nc} = 0,6 \text{ m/s}^2$	$j = 91,7 \text{ mm}$	$a_c = 1,67 \text{ m/s}^2$	$R_{min} = 1185 \text{ m}$
$V_{min} = 80 \text{ km/h}$	$a'_c = 0,65 \text{ m/s}^2$	$e = 99,4 \text{ mm}$	$a_c = 0,42 \text{ m/s}^2$	$H_{max} = 160 \text{ mm}$
Direttissima Roma - Firenze FS 1^a TRATTA ALTA VELOCITA'				
$V_{max} = 250 \text{ km/h}$	$a_{c,nc} = 0,8 \text{ m/s}^2$	$j = 122,3 \text{ mm}$	$a_c = 1,61 \text{ m/s}^2$	$R_{min} = 3000 \text{ m}$
$V_{min} = 80 \text{ km/h}$	$a'_c = 0,65 \text{ m/s}^2$	$e = 99,4 \text{ mm}$	$a_c = 0,16 \text{ m/s}^2$	$H_{max} = 125 \text{ mm}$
Rete AVIAC - TAV NOVA				
$V_{max} = 300 \text{ km/h}$	$a_{c,nc} = 0,6 \text{ m/s}^2$	$j = 91,7 \text{ mm}$	$a_c = 1,29 \text{ m/s}^2$	$R_{min} = 5361 \text{ m}$
$V_{min} = 80 \text{ km/h}$	$a'_c = 0,65 \text{ m/s}^2$	$e = 99,4 \text{ mm}$	$a_c = 0,09 \text{ m/s}^2$	$H_{max} = 105 \text{ mm}$

NOTO \rightarrow NOTO \rightarrow NOTO \rightarrow NOTO \rightarrow NOTO \rightarrow NOTO
 segue x garantire comfort \rightarrow ricavati dall'eq della pag. precedente

Quando c'è una $a_{c,nc}$ o a'_c il veicolo è soggetto ad una F_c che porta il bordino a toccare la rotaia (e c'è una sovrocompensazione), ho un onere nella manutenzione rispetto alla linee autentiche

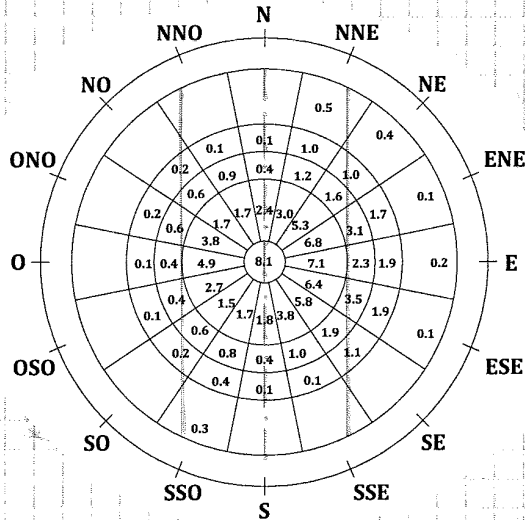
↳ calcolo della soprelevazione di progetto
 Per il calcolo delle soprelevazioni per raggi maggiori di R_{min} si fa variare l'acceleraz. non compensata in modo proporzionale alla soprelevazione H



$$\frac{H}{H_{max}} = \frac{11,8 \cdot \frac{V^2}{R}}{H_{max} + j}$$

$$H = \frac{H_{max}}{H_{max} + j} \cdot 11,8 \cdot \frac{V^2}{R} \quad \leftarrow \text{si usa per calcolare } H \text{ quando } R = R_{min}$$

- si costruisce la rosa dei venti che considera
- 16 settori che indicano le direzioni lungo le quali spira il vento
- i 4 valori di velocità con i quali sono stati individuati i 5 intervalli di cui sono note le percentuali di tempo operativo in cui il vento spira in quella direzione e con un'intensità compresa nell'intervallo.



L'apertura degli archi è di $22,5^\circ$.

Si parte a cavallo del nord, costruito dei cerchi concentrici con raggio proporzionale all'intensità del vento.

Si suppone una direzione iniziale della pista alla quale si affiancano 2 rette parallele

distanti da quella principale distanti di una quantità pari alla massima velocità trasversale ammessa dalle norme tecniche.

Si sommano tutti i valori all'interno della fascia e ricavò così la percentuale di tempo in cui il vento spira lungo quella direzione. Il complemento a 100 di questo valore mi dà la percentuale di utilizzo.

Bisogna poi ruotare la direzione della pista di 10° in 10° e calcolo la percentuale di utilizzo per ogni posizione. Si considera la direzione in cui è maggiore la somma dei valori che ricadono nella fascia. Lungo questa direzione sarà massimo il tempo in cui la pista sarà operativa, tempo nel corso del quale i venti spireranno con un'intensità compatibile con il moto dei velivoli.