



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1007

DATA: 07/07/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Greppi

MATERIA: Infrastrutture Viarie Formule + Dimostraz. x Orale

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.

Formule
Infrastrutture

$$C_{max} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{2KJL}{2} + tR}}$$

velocità ideale:

$$V_{ideale} = \sqrt{\frac{2aL}{KJ}}$$

UNITA' DI MISURA DELLA CAPACITA':

$$C = \frac{3600}{t_{min}} \cdot FU \quad [\text{convogli/h}]$$

$$= \frac{n \cdot N \cdot 3600}{t_{min}} \cdot FU \cdot FC \quad \left[\frac{\text{pax}}{\text{h}} \right]$$

passaggeri

FU, fattore di utilizzazione (convogli)

FC, fattore di carico (vagoni)

n, num. pax per vagoni

N, num. vagoni.

Conversione delle unità di misura

Symbol	When You Know	Multiply By	To Find	Symbol
LENGTH				
in.	inches	25.4	millimeters	mm
ft	feet	0.305	meters	m
yd	yards	0.914	meters	m
mi	miles	1.61	kilometers	km
AREA				
in. ²	square inches	645.2	square millimeters	mm ²
ft ²	square feet	0.093	square meters	m ²
yd ²	square yards	0.836	square meters	m ²
ac	acres	0.405	hectares	ha
mi ²	square miles	2.59	square kilometers	km ²
VOLUME				
fl oz	fluid ounces	29.57	milliliters	mL
gal	gallons	3.785	liters	L
ft ³	cubic feet	0.028	cubic meters	m ³
yd ³	cubic yards	0.765	cubic meters	m ³
MASS				
oz	ounces	28.35	grams	g
lb	pounds	0.454	kilograms	kg
T	short tons (2,000 lb)	0.907	megagrams (or metric tons)	Mg (or t)
TEMPERATURE (exact conversion)				
°F	Fahrenheit	(F - 32)/1.8	Celsius	°C
ILLUMINATION				
fc	foot-candles	10.76	lux	lx
fl	foot-Lamberts	3.426	candela/square meter	cd/m ²
FORCE and PRESSURE or STRESS				
lbf	pound force	4.45	newtons	N
lbf/in. ²	pound force per square inch	6.89	kilopascals	kPa

Source: Federal Highway Administration (8).

FORMULE - DEFLUSSO VEICOLARE

Flusso o volume orario :

$$Q = VD$$

Densità :

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

Flusso veicolare :

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

Q , flusso veicolare
 D , densità veicolare
 V , velocità

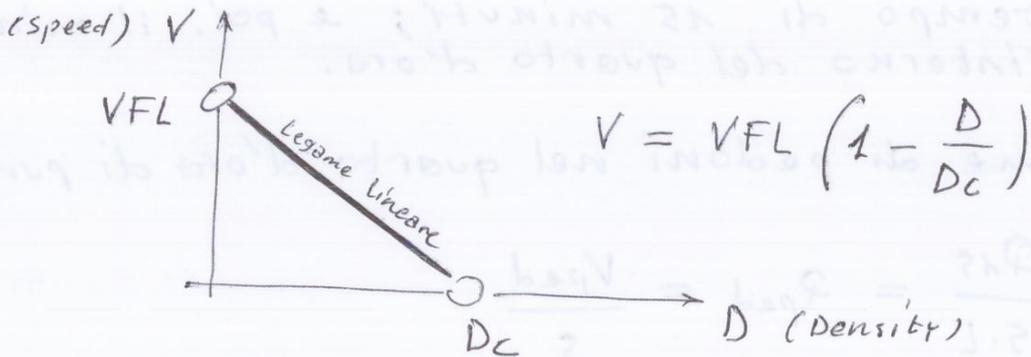
D_c , densità in condizioni di congestione (con $V \rightarrow 0$)

VFL , velocità di Flusso libero (con $D \rightarrow 0$)

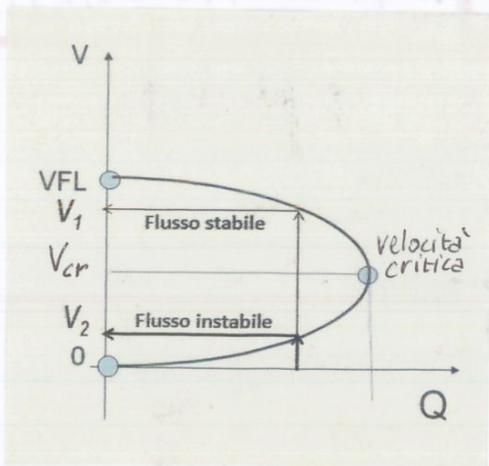
— LEGENDA —

Ipotesi di legame lineare tra V e D

IPOTESI DI GREENSHIELDS

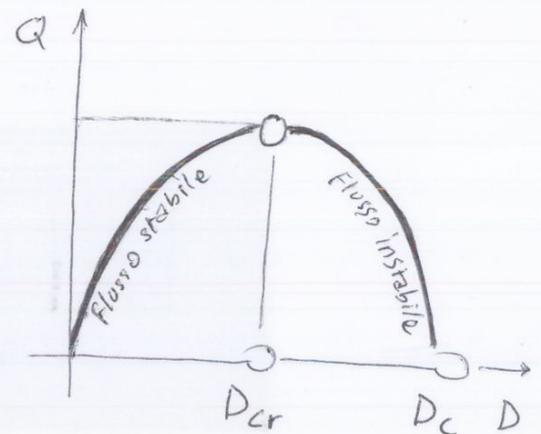


Rapporto portata e velocità :



$$VFL = 2V_{cr}$$

Rapporto portata e densità :



$$D_c = 2D_{cr}$$

f_{HV} è un fattore che consente di trasformare il numero di veicoli pesanti (Heavy Vehicles) in autovetture (PC, Passengers car).
 converte il flusso eterogeneo in uno omogeneo di sole autovetture.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)}$$

P_T, P_R sono le %
 E_T, E_R fattori di conversione

T, truck
 R, veicoli per trasporto, passeggeri, Recreational
 N, numero corsie
LEGENDA

Exhibit 11-10
 PCEs for Heavy Vehicles in General Terrain Segments

Vehicle	Level	PCE by Type of Terrain	
		Rolling	Mountainous
Trucks and buses, E_T	1.5	2.5	4.5
RVs, E_R	1.2	2.0	4.0

Tasso di flusso:

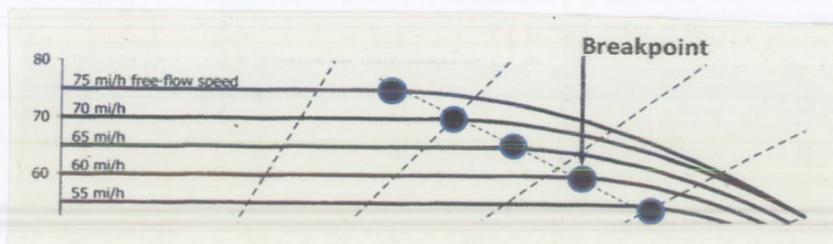
$$TF = \frac{VIT}{PHF \cdot N \cdot f_{HV} \cdot f_p} \quad \left[\frac{PC}{h \cdot Ln} \right]$$

passengers car Lane

f_p , coefficiente che tiene conto della capacità degli utenti di conoscere e utilizzare al meglio l'infrastruttura

$f_p = 1$ vuol dire che tutti i clienti sono abituali, conoscono bene l'infrastruttura.

calcolo della velocità S (Speed):



FORMULE - PROGETTO DI SEZIONE AUTOSTRADALE

f_{HV} è differente a seconda che il tratto considerato sia in salita o discesa o pianeggiante. Di conseguenza mi genererà un numero di corsie, in fase di progettazione, diverso. 

Upgrade (%)	Length (mi)	Proportion of Trucks and Buses								
		2%	4%	5%	6%	8%	10%	15%	20%	≥25%
≤2	All	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	0.00-0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.25-0.50	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.50-0.75	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.75-1.00	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>1.00-1.50	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
>2-3	>1.50	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	0.00-0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.25-0.50	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	>0.50-0.75	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	>0.75-1.00	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	>1.00-1.50	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
>3-4	>1.50	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
	0.00-0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.25-0.50	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	>0.50-0.75	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	>0.75-1.00	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	>1.00	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0
>4-5	>1.00	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0
	0.00-0.25	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.25-0.30	4.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	>0.30-0.50	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	>0.50-0.75	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	>0.75-1.00	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
>5-6	>1.00	6.0	5.0	5.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
	0.00-0.25	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	1.0
	>0.25-0.30	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	>0.30-0.50	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	>0.50-0.75	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0
	>0.75-1.00	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5
>6	>1.00	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0

Exhibit 11-11
PCEs for Trucks and Buses
(E_i) on Upgrades

Note: Interpolation for percentage of trucks and buses is recommended to the nearest 0.1.

Numero di corsie necessarie :

$$N = \frac{VIt}{PItF \cdot TF_{max,i} \cdot f_{HV} \cdot f_p}$$

Tabella con gli $TF_{max,i}$

FFS mi/h	LOS				
	A	B	C	D	E
75	820	1310	1750	2110	2400
70	770	1250	1690	2080	2400
65	710	1170	1630	2030	2350
60	660	1080	1560	2010	2300
55	600	990	1430	1900	2250

$TF_{max,i}$ in base al livello di servizio che voglio garantire

FORMULE - RESISTENZE AL MOTO

Resistenza al rotolamento:

$$R_{RD} = P \cdot r_{RD} \quad [N]$$

Per esprimere il peso in kN:

$$m = \dots \text{ Kg}$$

$$P = \frac{m \cdot g \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = N \right]}{1000 \left[\frac{N}{kN} \right]} \quad [kN]$$

P , peso e v
espresso in kN
 r_{RD} , coeff. di resist.
al rotolamento

LEGENDA

Resistenza aerodinamica:

$$R_a = p \cdot c \cdot S$$

$$= \left(\frac{1}{2} \rho V^2 \right) \cdot c \cdot S \quad [N]$$

p , pressione cinetica
 c , coeff. di resist.
aerodinamica
 S , area proiezione,
superficie investita
su un piano \perp al
moto
 ρ , densità aria
 V , velocità veicolo

LEGENDA

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

Resistenze ordinarie:

$$R_{ORD} = R_a + R_{RD} \quad [N]$$

$$R_{ORD} = P \cdot r_{ORD}$$

nel caso ferroviario

$$R_{ORD} = N_L \cdot P_L \cdot r_{ORD,L} + N_V \cdot P_V \cdot r_{ORD,V} \quad [N]$$

L = locomotore
 V = vagoni

conoscendo la resistenza posso ricavare r_{ORD}

$$r_{ORD} = \frac{R_{ORD}}{P} \quad \left[\frac{N}{kN} \right]$$

$$R_c = P \cdot r_c \quad [N]$$

relazione di Van Roekl :

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

$$\left. \begin{matrix} m = 650 \\ n = 55 \end{matrix} \right\} \text{ per ferrovie ordinarie}$$

r_c , coeff. di resist. in curva.

R , raggio di curvatura

m, n , costanti sperimentali

LEGENDA

Livelletta fittizia σ pendenza compensata :

$$i_c = (i + r_c)$$

i_c , somma resist. specifiche accidentali

($r_{\text{livelletta}} + r_{\text{in curva}}$)

Grado di prestazione	$i + r_c$						
1	4,5	9	9,2	17	17	25	27,8
2	5	10	10	18	18,4	26	29,3
3	5,5	11	11	19	19,8	27	30,8
4	6	12	12	20	20,9	28	32,5
5	6,5	13	12,9	21	21,9	29	34,2
6	7	14	13,8	22	22,7	30	37,5
7	7,7	15	14,6	23	24,6	31	40,5
8	8,4	16	15,8	24	25,7		

EQUAZIONE DELLA TRAZIONE

Trazione nel moto uniforme :

$$\begin{aligned} T &= R_{ORD} + R_i + R_c \\ &= R_a + R_{RD} + R_i + R_c \\ &= P \cdot (r_{ORD} \pm i + r_c) \end{aligned}$$

Trazione nel moto vario (unif. acceler./decel.):

$$T = P \cdot \left(r_{ORD} \pm i + r_c \pm \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} \right)$$

β , coeff. tiene conto che parti del veicolo sono in moto relativo

Ambito Ferroviario - num. locomotori necessari

$$T = R_{ORD} + R_i + R_c$$

$$\frac{n_L \cdot W_{\max, L}}{V} = P \cdot r_{ORD} + P \cdot (i + r_c)$$

sapendo che:

$$P = n_L \cdot P_L + n_V \cdot P_V$$

L, locomotori,
V, vagoni.

$$\begin{aligned} \frac{n_L \cdot W_{\max, L}}{V} &= n_L \cdot P_L \cdot r_{ORD, L} + \\ &+ n_V \cdot P_V \cdot r_{ORD, V} + \\ &+ (n_V \cdot P_V + n_L \cdot P_L) (i + r_c) \end{aligned}$$

raccogliendo ottengo:

$$\frac{n_L \cdot W_{\max, L}}{V} = n_L \cdot P_L (r_{ORD, L} + i + r_c) + n_V \cdot P_V (r_{ORD, V} + i + r_c)$$

come per la pendenza max, ho due condizioni:

$$n_L^I = \frac{n_V \cdot P_V \cdot (r_{ORD, V} + i + r_c)}{\frac{W_{\max, L}}{V} - P_L \cdot (r_{ORD, L} + i + r_c)}$$

$$n_L^{II} = \frac{n_V \cdot P_V \cdot (r_{ORD, V} + i + r_c)}{P_L \cdot f_a - P_L \cdot (r_{ORD, L} + i + r_c)}$$

numero di locomotori necessario:

$$n_{L, \min} = \max(n_L^I, n_L^{II})$$

Come procedere :

Supponiamo di avere un tratto con pendenza $i = +4\%$, di lunghezza $L = 1400\text{ m}$, con velocità iniziale del veicolo $V_0 = 60\text{ km/h}$.
 quanto sarà la velocità finale V_f ?

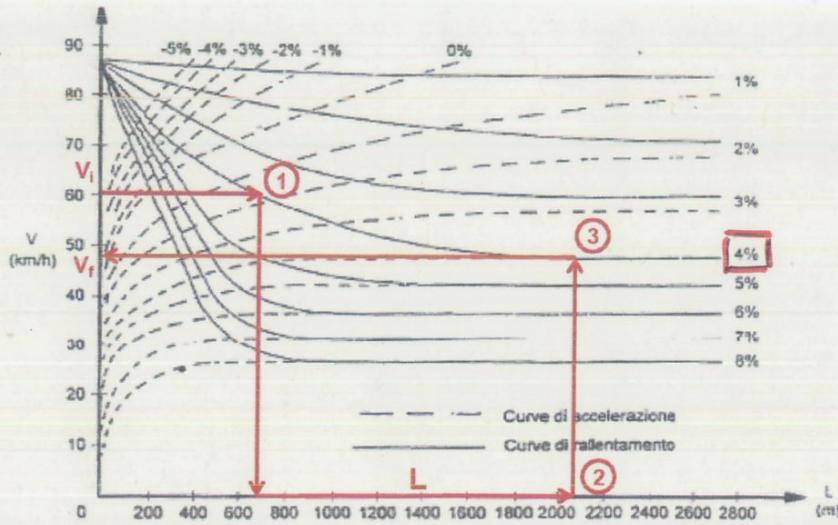
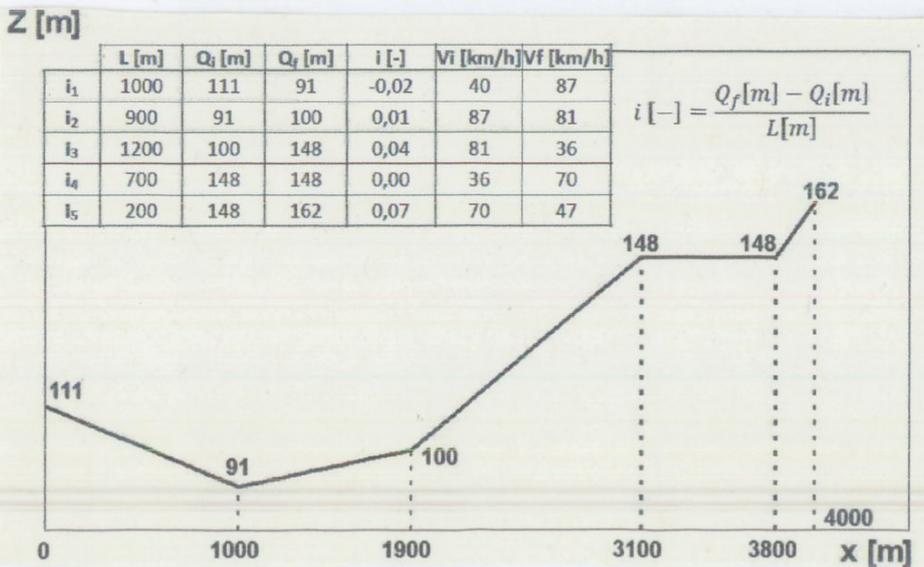


Fig.3c - Variazione della velocità in funzione della pendenza e della lunghezza della livelletta per autocarro pesante ($W/N=0.83$ pari a 11 CV/h) [4]

Abaco per mezzi pesanti con potenza specifica $W/N = 0,83$

- ① considero la velocità iniziale e mi muovo orizzontalmente fino alla curva della pendenza desiderata (in questo caso $i = 4\%$)
- ② mi muovo su tale curva per un tratto di lunghezza L (in questo caso $L = 1400\text{ m}$)
- ③ ricavo la velocità finale sul tratto di livelletta considerato.



ESEMPIO DI UN TRACCIATO ALTIMETRICO con velocità finali ricavate.

quindi

$$\frac{W}{P} - V(i + r_{ORD}) = V^2 \cdot \frac{\beta}{g} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta X}$$

da cui e' possibile ricavare il ΔV :

$$\Delta V = \frac{g}{\beta \cdot V^2} \left[\frac{W}{P} - V(i + r_{ORD}) \right] \cdot \Delta X$$

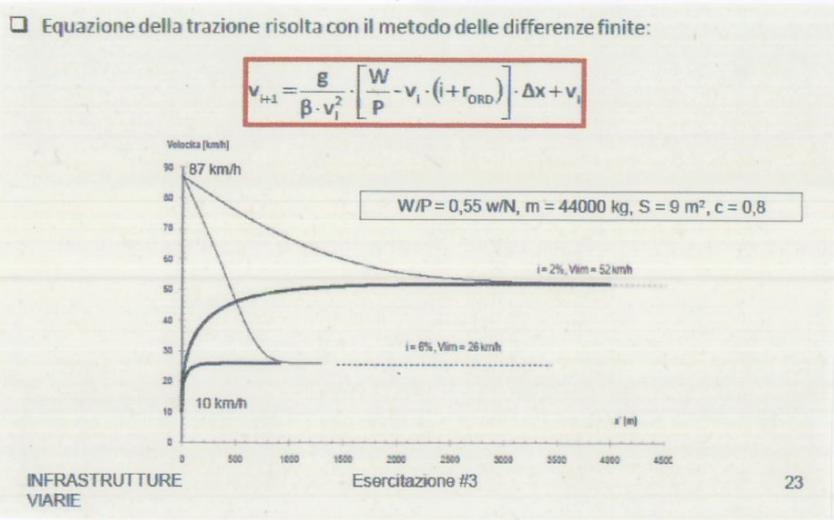
conoscendo la velocita' iniziale V_i posso ricavare la velocita' V_{i+1} :

$$V_{i+1} = \frac{g}{\beta \cdot V_i^2} \left[\frac{W}{P} - V_i(i + r_{ORD}) \right] \cdot \Delta X + V_i$$

! espresso in $\frac{N}{N}$

! espresso in N

si ricava un'espressione dell'equazione della trazione risolta con il metodo delle differenze finite:



- 1) calcolo le resistenze ordinarie $R_{ORD} = R_a + R_{RD}$ e le rispettive resistenze specifiche r_{ORD} .
- 2) si suppone un Δx sufficientemente piccolo (generalmente 5 m) e si risolve l'equazione (trovando la velocita') fino alla fine della livelletta.

FORMULE - SPAZIO DI ARRESTO

Spazio di arresto :

$$d_a = d_{pr} + d_f$$

Tempo di percezione e reaz. :

$$t_{pr} = 2,8 - 0,01 \cdot (V)$$

! velocità in km/h

d_{pr} , spazio di percezione e reazione

d_f , spazio di frenatura

LEGENDA

Spazio di percezione e reazione :

$$d_{pr} = v \cdot t_{pr}$$

! velocità in m/s

Spazio di frenatura :

$$d_f = \frac{v^2}{2g \cdot (f_e(v) \pm i)}$$

f_e , coeff. di aderenza longitudinale equivalente

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

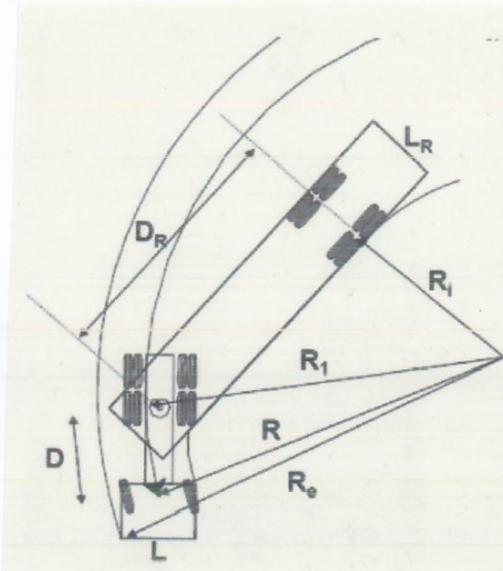
Lo spazio di arresto risulta :

$$d_a = v (2,8 - 0,01 v) + \frac{v^2}{2g (f_e(v) \pm i)}$$

Coefficiente f_e :

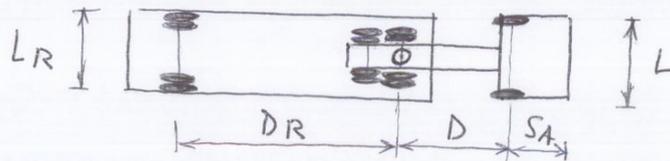
$$f_e = \frac{f_{a,L} + r_{RD}}{\beta} + \frac{\frac{1}{2} \rho v^2 \cdot c \cdot s}{\beta \cdot P_a} \quad \underline{P_a \text{ in NEWTON}}$$

VEICOLI A TRE ASSI (Autoarticolati = motrice + semirimorchio)



Le incognite R_i ed R_e derivano dalla soluzione di questo sistema di equazioni:

$$\begin{cases} \left(R_i + \frac{L_R}{2}\right)^2 + D_R^2 = R_1^2 \\ \left(R_i + \frac{L}{2}\right)^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2 \\ R_1^2 + D^2 = R^2 \end{cases}$$



il pedice R indica il rimorchio

Da sopra ricavo:

$$\begin{cases} R_1 = \sqrt{R^2 - D^2} \quad [m] \\ R_i = \sqrt{R^2 - D^2 - D_R^2} - \frac{L_R}{2} \quad [m] \\ R_e = \sqrt{\left(R_1 + \frac{L}{2}\right)^2 + (D + S_A)^2} \quad [m] \end{cases}$$

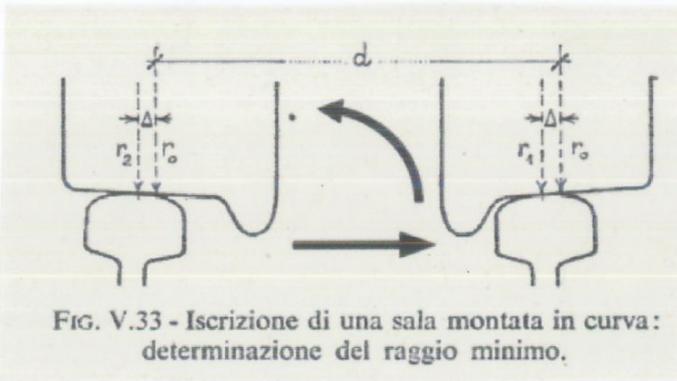
FORMULE - RAGGIO MIN. FERROVIARIO



IN AMBITO FERROVIARIO DEVO AVERE UNA PRECISIONE AL MM.

Nelle ferrovie e' indispensabile garantire sempre il corretto accoppiamento tra binario e sala montata. Si impone l'uso di raggi superiori ad un certo valore limite. Questo per:

1. Evitare strisciamento ruota-rotolo sul bordino.
2. Consentire l'inserimento dei carrelli



Es: nella curva sinistrorsa, la ruota esterna deve fare più strada

condizione 1

$$R_{min}^I = \frac{(r_0 - \Delta \cdot \tan \gamma)}{2\Delta \cdot \tan \gamma} \cdot d \quad [m]$$

$d = 1,500 \text{ m}$ nello scartamento ordinario

condizione 2

$$R_{min}^{II} = \frac{P_1^2}{2 \cdot \Delta} \quad [m]$$

$$P_1 = p + r_0 \quad [m]$$

r_0 , raggio ruota
 p , passo tra carrelli
 Δ , max escursione trasversale
 $\tan \gamma$, coeff. di conicità

LEGENDA

Questo perché $f_{a,T}$ dipende dalla velocità.
Devo procedere per tentativi:

1. suppongo una velocità di partenza V_0 e associo il $f_{a,T}$.
2. calcolo la velocità con la formula, inserendo $f_{a,T}$ ricavato.
3. ripeto il punto 2 fino a quando due iterazioni successive diano valori discordanti al massimo di 1 Km/h.

Equazione di equilibrio limite allo strisciamento:

$$\frac{V^2}{R} = g \cdot \tan \alpha + g \cdot f_{a,T}$$

Velocità al limite di sbandamento:

$$V_S = \sqrt{R \cdot g \cdot (\tan \alpha + f_{a,T})} \quad [\text{m/s}]$$

Velocità al limite di ribaltamento:

$$V_R = \sqrt{R \cdot g \cdot \left(\tan \alpha + \frac{S}{h} \right)} \quad [\text{m/s}]$$

S , semi carreggiata del veicolo ($\frac{2S}{2} = s$)

h , altezza del baricentro (da terra)

DIAGRAMMA CURVATURE

Sintetizza caratteristiche geometriche dell'asse planimetrico.

Elementi a curvatura nulla: RETTIFILI

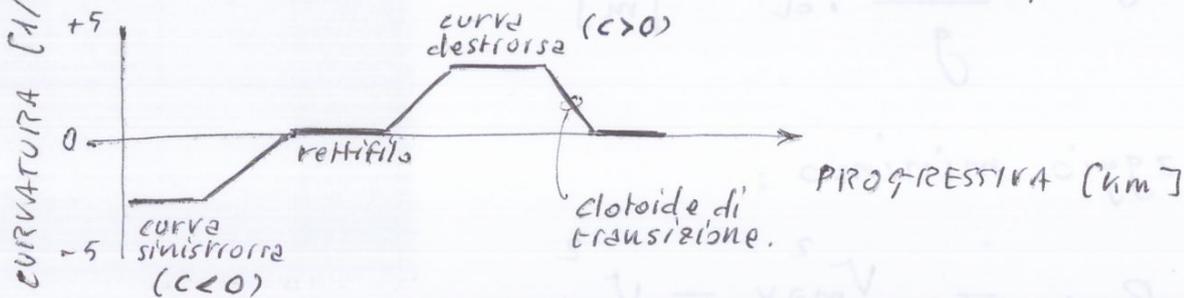
Elementi a curvatura costante: ARCHI CIRCOLARI

Elementi a curvatura variabili: CLOTOIDI

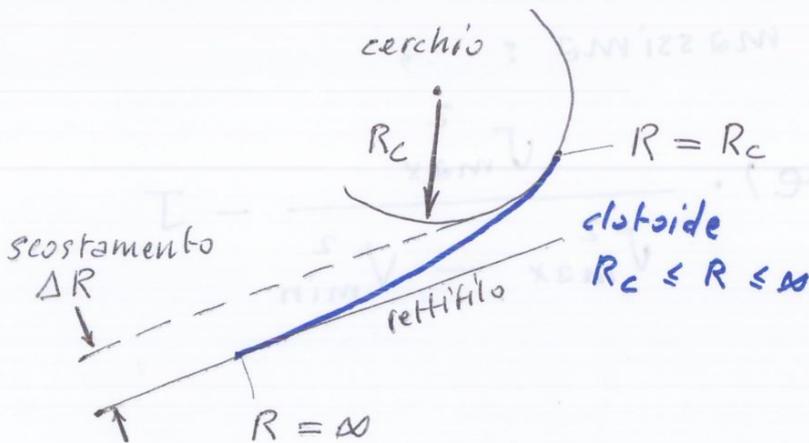
Curvatura:

$$C = \frac{1}{R} \cdot 10^3$$

• 10^3 lo inserisco per avere un ordine di grandezza rappresentabile.

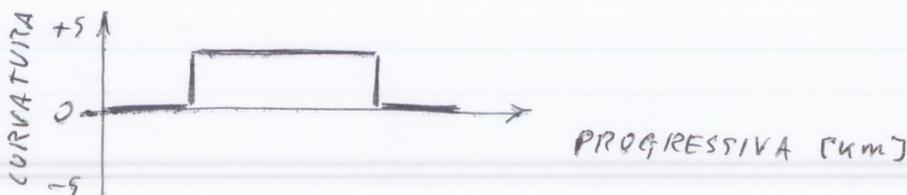


clotoide:



la clotoide è un elemento di raccordo, favorisce guidabilità e sicurezza.

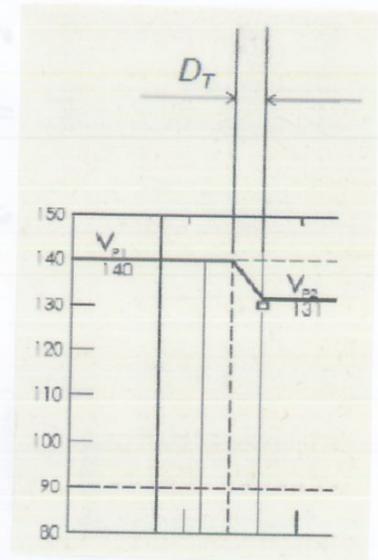
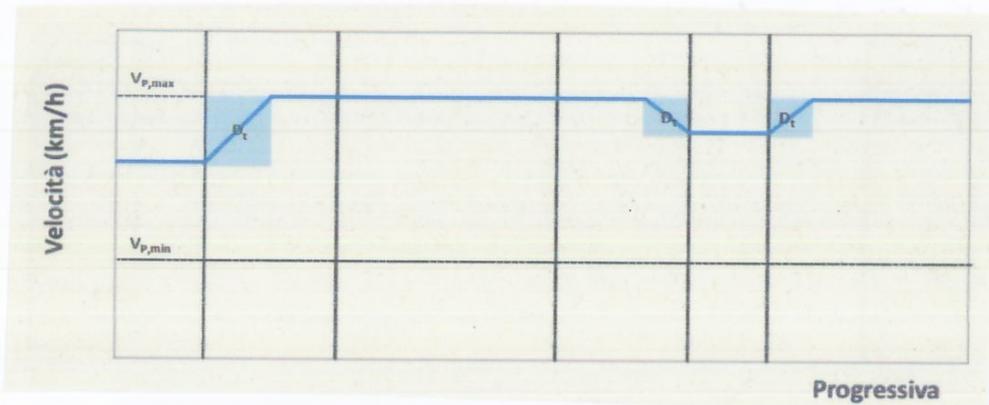
In tracciati vecchi è possibile non trovare elementi di raccordo:



Nelle zone di transizione dobbiamo tener conto della Distanza di transizione, in modo da garantire la corretta accelerazione o decelerazione:

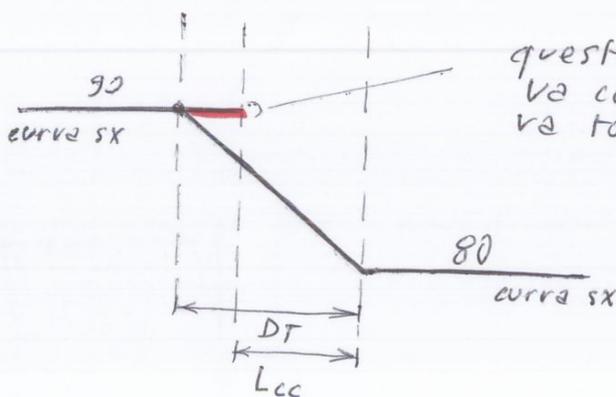
$$D_T = \frac{V_f^2 - V_i^2}{2 \cdot a} \quad [m]$$

Quando abbiamo una clotoide di transizione:



quando abbiamo una CC, clotoide di continuità^c, abbiamo due casi:

CASO 1 - $D_T > L_{CC}$



questo tratto va corretto, va tolto

L_{CC} , lunghezza clotoide di continuità^c.

CASO 2 - $D_T < L_{CC}$

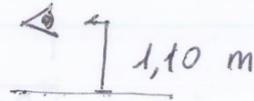
Noi stiamo passando da una curva ad un'altra con R minore, quindi con curvatura C maggiore. Questo implica velocità più basse, devo decelerare.

VISIBILITÀ

Nelle norme tecniche italiane sono considerati ostacoli alla visibilità, elementi in pianta con dimensioni superiori a 80 cm.

Per garantire lo spazio di arresto, devo tener conto di:

ALTEZZA CONDUCENTE :

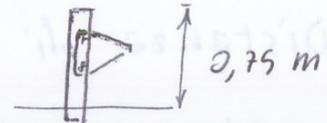


ALTEZZA OSTACOLO FISSO :

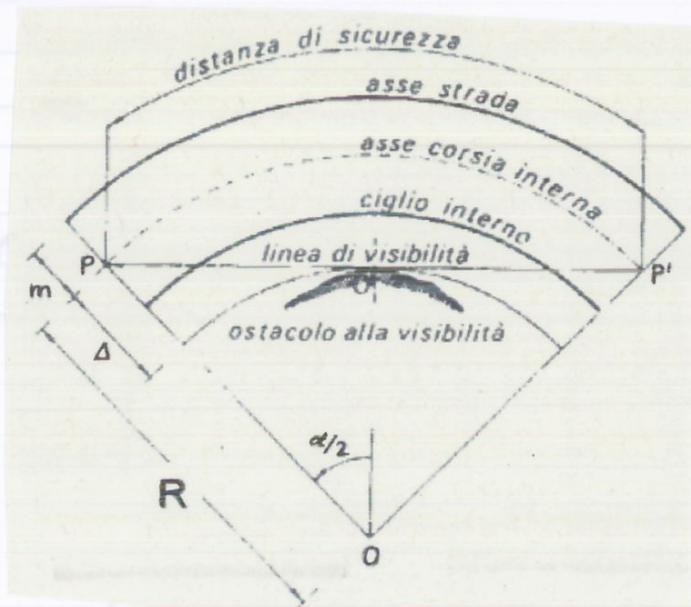


Devo poter sempre riuscire a vedere un ostacolo a 10 cm. Limite imposto dalla normativa.

ALTEZZA BARRIERA SEMPLICE :



Nel caso del sorpasso non è necessario tener conto dell'ostacolo fisso, ma solo di ostacoli con $h \geq 1,10$ m.



condizione di sicurezza :

$$PPI \geq d$$

⚠ d , PPI arco di cerchio

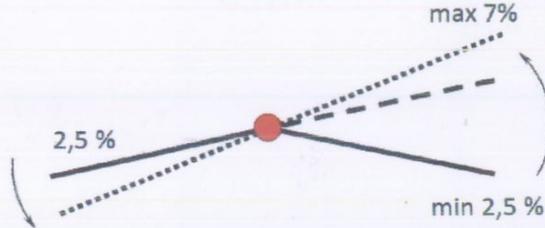
Ci si può anche avvalere degli abachi:

RACCORDI A RAGGIO VARIABILE - CLOTOIDE

Range pendenze trasversale, stabilito dalla normativa:

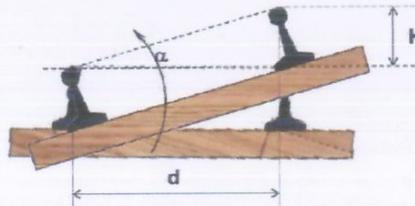
Nel passaggio da un rettilo ad una curva in cui è presente un elemento a curvatura variabile è possibile raccordare la pavimentazione stradale tra rettilo e curva.

Nel caso di curva sinistrorsa:

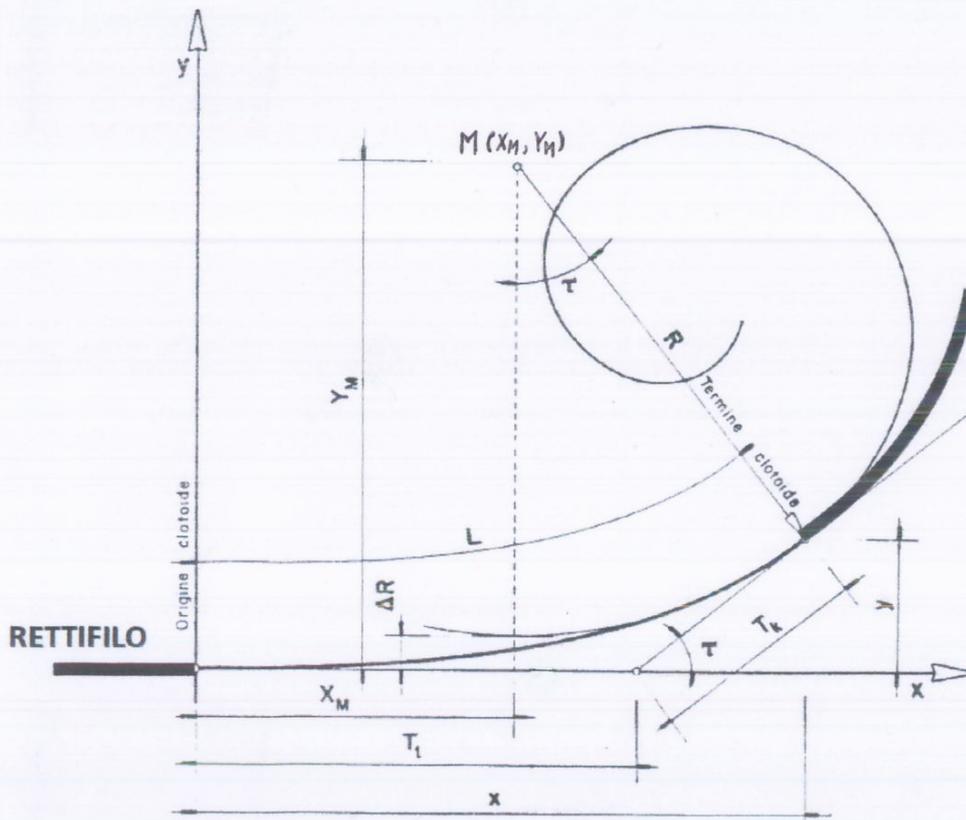


Rettilo 2,5%
In curva massimo 7%

In campo ferroviario si realizza la sopraelevazione della rotaia esterna. Sempre nel caso di curva sinistrorsa:



Elementi geometrici caratterizzanti la clotoide:



CURVA CIRCOLARE

Elementi geometrici di interesse per la progettazione:

x_M : arretramento (ascissa del centro curva circolare)

T_L : tangente lunga

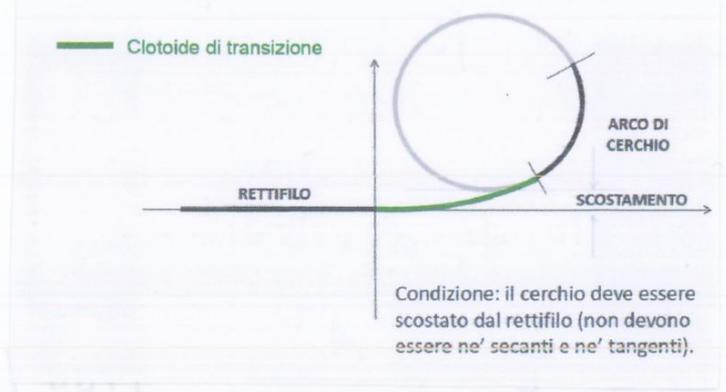
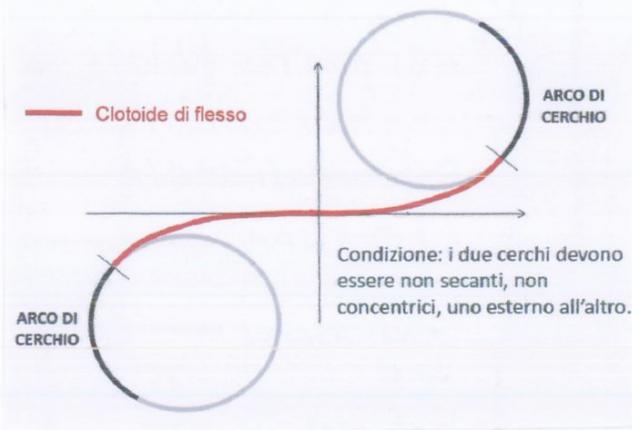
T_k : tangente corta

τ : angolo di deviazione della clotoide

ΔR : scostamento rettilo-cerchio

L: sviluppo della clotoide

Altre tipologie di clotoide:



Equazioni cartesiane della clotoide:

$$\begin{cases} X = A\sqrt{2T} \left(1 - \frac{T^2}{10} + \frac{T^4}{216} \right) \\ Y = A\sqrt{2T} \left(\frac{T}{3} - \frac{T^3}{42} + \frac{T^5}{1320} \right) \end{cases}$$

Lo sviluppo di Taylor è accorciato al terzo termine, per rispettare le precisioni del centimetro.

Coordinate del centro della curva:

$$\begin{cases} X_M = X - R \cdot \sin T \approx A\sqrt{2T} - RT \\ Y_M = Y + R \cos T \end{cases}$$



T espresso in gradi sulla calcolatr.

Scostamento:

$$\begin{aligned} \Delta R &= Y_M - R = Y + R(\cos T - 1) \\ &= \dots \approx \frac{A^4}{24 \cdot R^3} \end{aligned}$$

3) Percettività ottica della clotoide:

$$A \geq A_{\min} = \frac{R}{3}$$

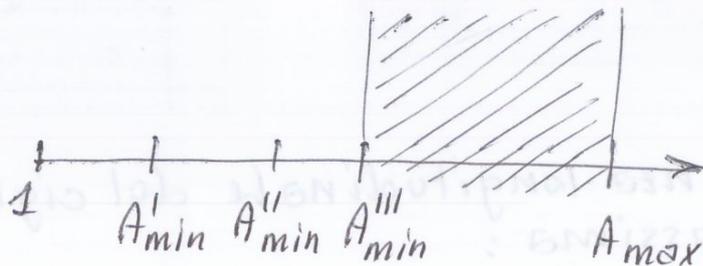
⚠ nel caso di clotoidi di continuità prendere il R più piccolo

4) Percettività ottica del raccordo circolare:

$$A \leq A_{\max} = R$$

clotoide di continuità: prendo il R più grande.

4 condizioni, range per il fattore di scala:



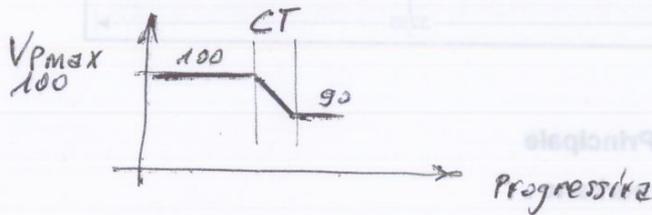
⚠ In caso di scelta arbitraria del fattore di scala conviene prenderne uno molto vicino al limite inferiore imposto dai 4 criteri. In questo modo evito errori.

VERIFICA FATTORE DI SCALA in base a Normative

La velocità da inserire nel criterio 1 e 2 è la velocità massima che posso assumere sulla clotoide. In questo modo saremo a favore di sicurezza.

Es. clotoide di transizione

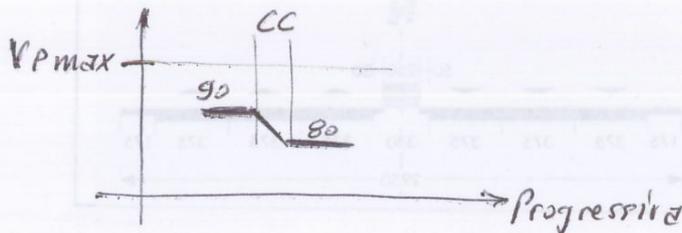
DIAGRAMMA VELOCITA'



Prendero'
 $V = 100 \text{ km/h}$

Es. clotoide di continuità

DIAGRAMMA VELOCITA'



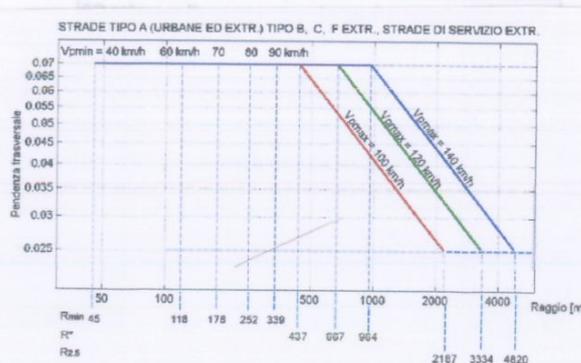
Prendero'
 $V = 90 \text{ km/h}$

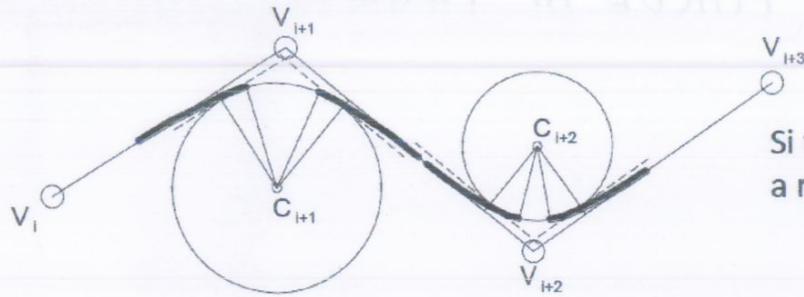
Scelta di q_i e q_f :

pendenza rettilineo $q = 2,5 \%$

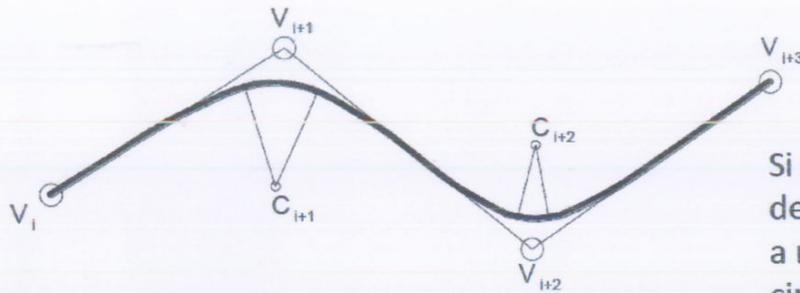
pendenza del flessa $q = 0 \%$

Le altre le ricavo dall'abaco conoscendo il raggio:





Si tracciano i tratti di curva a raggio variabile



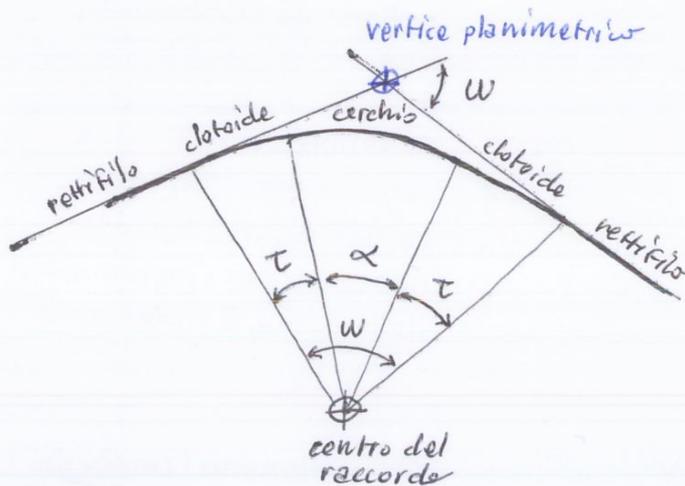
Si collegano gli elementi del tracciato (rettifili, curve a raggio variabile, archi di circonferenza)



VINCOLI NORMATIVA :

- Tempo di percorrenza del solo tratto circolare, di almeno 2,5 secondi
- variazione della velocità di progetto tra rettilineo e tratto circolare del raccordo non superiore a 10 km/h.
- rettilineo massima velocità di progetto

caso generale:



$$w = \alpha + 2\tau$$

Lunghezza cerchio:

$$L = R \cdot \alpha$$

Tempo di percorrenza:

$$t = \frac{L}{v}$$

v, velocità [m/s]

$$R_{min} = \frac{V_{max}^2 - V_{min}^2}{g(e + \gamma)} \cdot d$$

NORMATIVA, criteri per raccordo:

1) contraccollo massimo

$$L_1 = \frac{e_{nc} \cdot V_{max}}{c_{max}} \text{ in m/s}$$

2) velocità di rotolamento massima

$$L_2 = \frac{H \cdot V_{max}}{d \cdot \omega_{max}}$$

c , contraccollo
 ω , vel. di innalzamento rotale esterna
LEGENDA

$$L_{min} = \max(L_1, L_2)$$

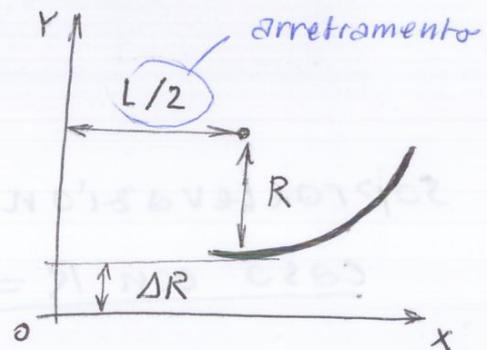
andrà a prendere il massimo tra i due

Tracciamento del raccordo:

Posso utilizzare l'equazione della parabola cubica

$$Y = \frac{1}{6RL} \cdot X^3$$

$$= \frac{1}{6A^2} \cdot X^3$$



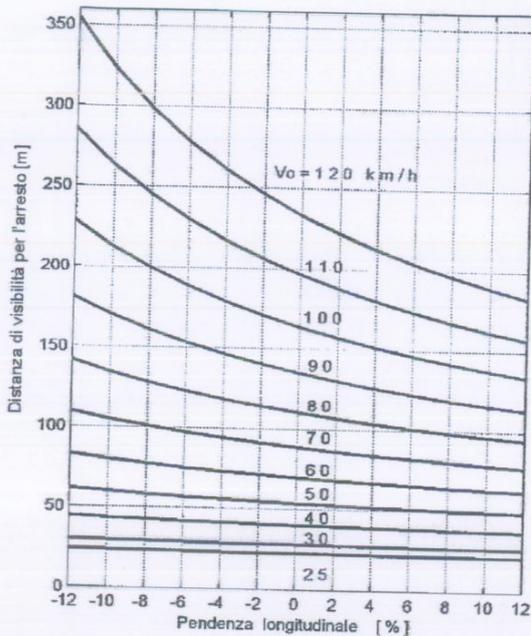
$$\Delta R = \frac{L^2}{24 R}$$

Dimensionamento - METODO GRAFICO

- Ricavo le distanze da garantire:

DISTANZA DI ARRESTO

DISTI. DI SORPASSO



$$d_s = 5,5 \cdot V \quad [Km/h]$$

$$= 20 \cdot v \quad [m/s]$$

$$i_{media} = \frac{i_1 - i_2}{2}$$

$dx \rightarrow sx$
 $sx \rightarrow dx$

come pendenza longitudinale considero quella media. Ovviamente ne avrò due a seconda del verso di percorrenza. ⚠ Andrà a considerare la condizione peggiore, ovvero quella negativa.

- scelgo la velocità di percorrenza. Per sicurezza considero la massima possibile sulla strada di quella categoria.

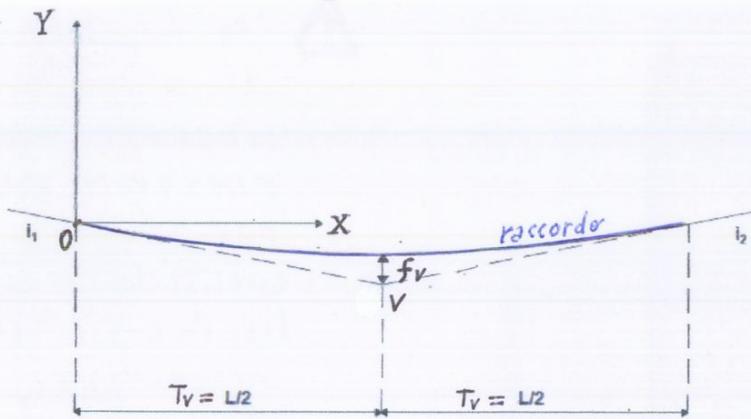
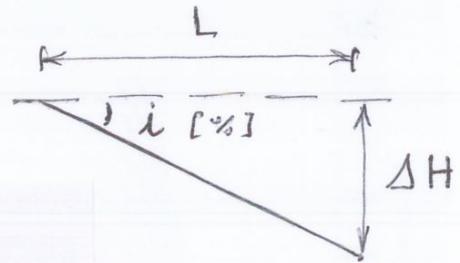
In questo modo ho i_{media} e velocità e posso ricavare da dall'abaco.

- Ricavo R_v , raggio verticale, mediante gli abachi:

Altri elementi geometrici.

Differenza di quota tra inizio e fine livellata:

$$\Delta H = L \cdot i$$

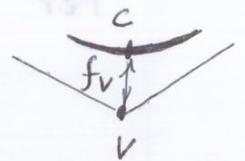


$$T_v = \frac{L}{2}$$

L, lunghezza raccordo

$$f_v = \frac{L \cdot \Delta i}{800}$$

oppure $f_v = z_c - z_v$



Tracciamento per punti del raccordo:

$$Y = \frac{\Delta i}{200 \cdot L} X^2 + \frac{i_1}{100} X$$



con questa eq. ricaviamo i punti del raccordo nel sistema locale (X, Y).

Per ottenerli nel sistema (X, Z) dovremo sommare alle X dei punti X_0 dell'origine e alle Y dei punti Y_0 .

Raccordo convesso - CASO $D > L$

$$R_v = \frac{2 \cdot 100}{|\Delta i|} \left(D - 100 \frac{h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 h_2}}{|\Delta i|} \right)$$

Raccordo convesso - CASO $D < L$

$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 h_2})}$$

con $h_1 = 1,10 \text{ m}$

$h_2 = \begin{cases} 1,10 \text{ m} & \text{SORPASSO} \\ 0,10 \text{ m} & \text{ARRESTO} \end{cases}$

RACCORDI VERTICALI - FERROVIE

L'unico criterio da rispettare riguarda l'azione centrifuga verticale.

$$a_v = \frac{v_p^2}{R_v} \leq a_{\text{lim}} = 0,5 \text{ m/s}^2$$

quindi $R_v \geq 2 v_p^2$

$$R_v = 2 v^2$$

Lunghezza raccordo:

$$L = R_v \frac{\Delta i}{1000}$$

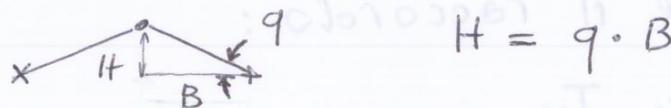


in ambito ferroviario abbiamo pendenze espresse in %

FORMULE - ANDAMENTO DEI CIGLI

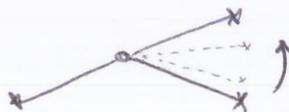
È una verifica finale del tracciato stradale. Si necessita del diagramma delle curvature. Per l'andamento dei cigli si utilizza un sistema di riferimento (S, H), progressiva, soprelevazione.

ES: CARREGGIATA UNICA



Nelle strade a carreggiata unica il passaggio da rettilineo a curva circolare avviene in due fasi:

FASE 1



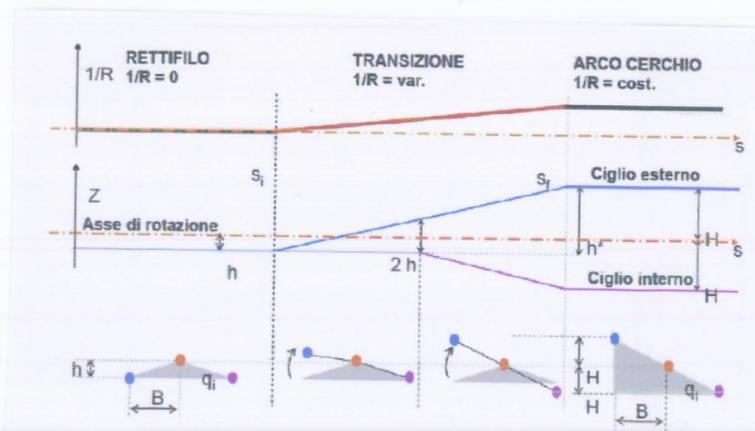
rotazione ciglio esterno fino ad arrivare ad una superficie piana

FASE 2



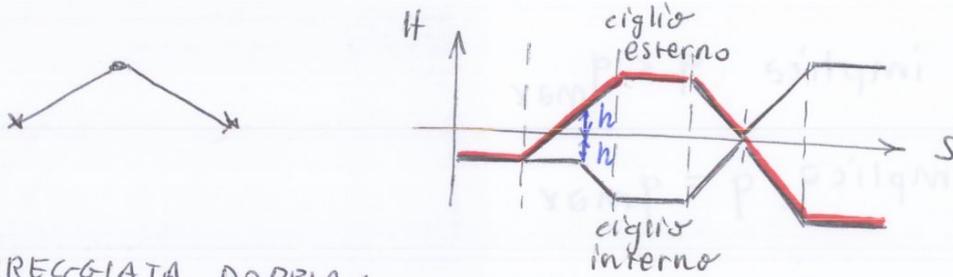
rotazione dell'interno carreggiata attorno al proprio asse.

Andamento:

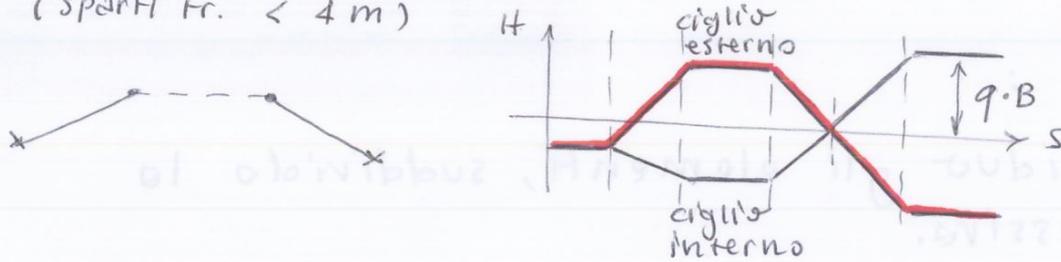


differenti, uno per ogni carreggiata.

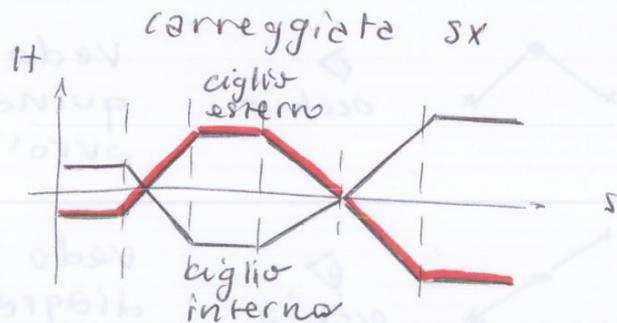
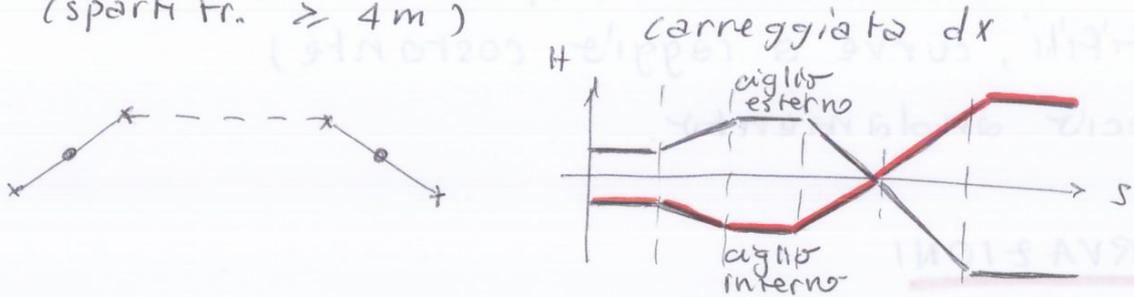
ES - CARREGGIATA UNICA :



ES - CARREGGIATA DOPPIA :
(spazi tr. < 4 m)



ES - CARREGGIATA DOPPIA :
(spazi tr. ≥ 4 m)



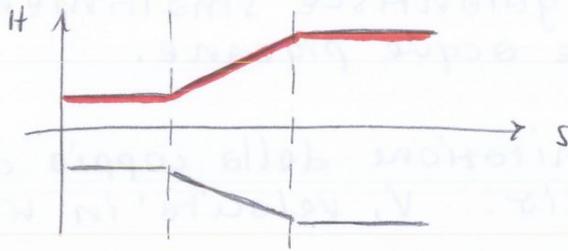
Nel flesso abbiamo sempre un'inversione dei cigli.



VERIFICHE - NORMATIVA

sono vincoli legati alle sovrappendenze longitudinali i .

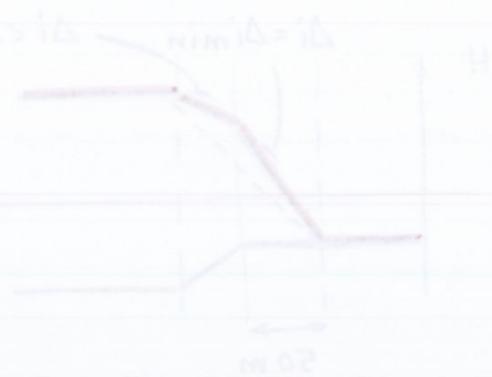
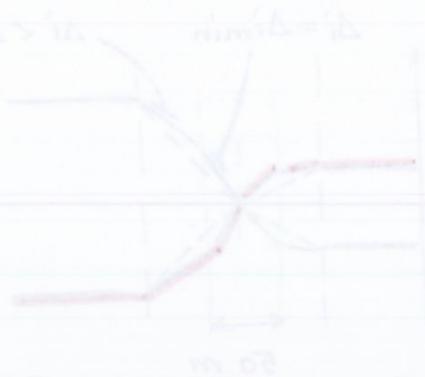
nel caso di continuità non devo spezzare, e' già verificato in fase di progettazione. Le curve hanno almeno il 2,5% di pendenza.



non devo spezzare, poiché' passo da una pendenza del 2,5% ad una pendenza maggiore.

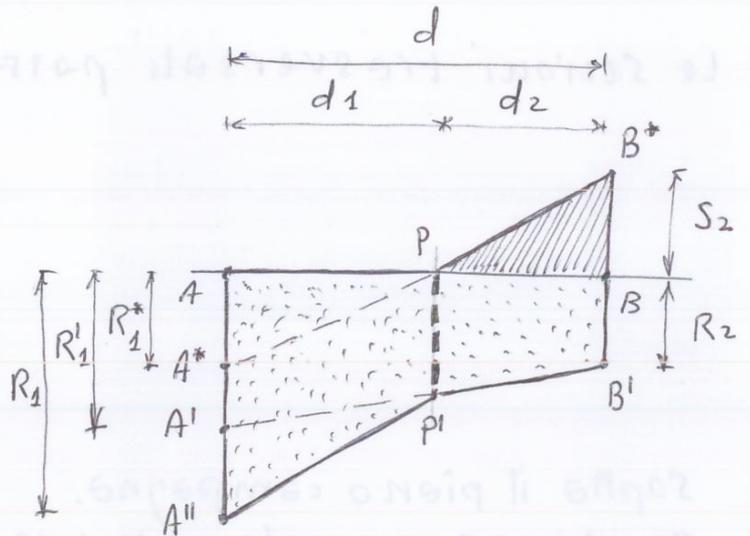
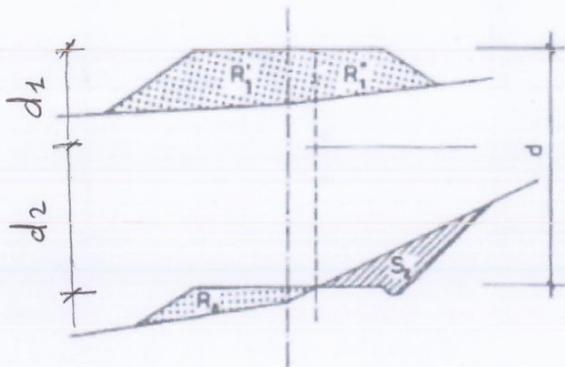


$$\Delta l = \frac{(P_f + P_i) \cdot B}{L}$$



Esempio:

Sezioni consecutive di trincea o rilevato e mista



- volume di riporto
- volume di sterro

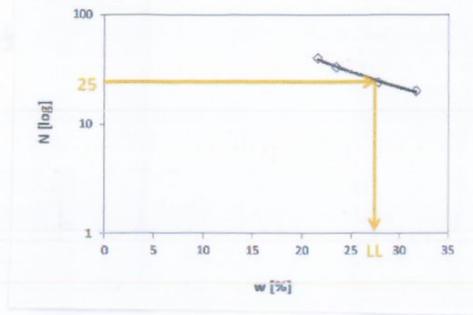
come costruire il diagramma:

- R_1^* diventa, con l'avanzare della progressiva, sterro S_2 . Allora collego con una retta A^* e B^* .
- R_1' diventa R_2 , quindi collego con una retta A' e B' . Poi collego A'' e P' .
- Fino a distanza d_1 avrò solo riporto, dopo si presenterà la sezione mista.

$$\text{vol. di riporto: } V_R = \frac{(R_1' + R_2) \cdot d + R_1^* \cdot d_1}{2}$$

$$\text{vol. di sterro: } V_S = \frac{S_2 \cdot d_2}{2}$$

Il contenuto d'acqua a 25 colpi rappresenta il limite liquido:
Liquido:



N, numero colpi
w, % contenuto d'acqua
m_u, massa umida
m_s, massa secca
LEGENDA

Determinazione del limite plastico (LP)

m _u [g]	m _s [g]	w [%]
m _{u,1}	m _{s,1}	w ₁
m _{u,2}	m _{s,2}	w ₂

LP | media (w₁, w₂)

Indice di plasticità (IP)

$$IP = LL - LP \quad [%]$$

Indice di gruppo I_g:

Indicatore sintetico di qualità di una terra da costruzione:

$$I_g = 0,2 a + 0,005 a \cdot c + 0,01 b \cdot d$$

$$0 \leq I_g \leq 20$$

$$a = P_{0,075} - 35$$

(se P_{0,075} fosse maggiore di 75 si indica 75, se minore di 35 si indica 35)

$$b = P_{0,075} - 15$$

(se P_{0,075} fosse maggiore di 55 si indica 55, se minore di 15 si indica 15)

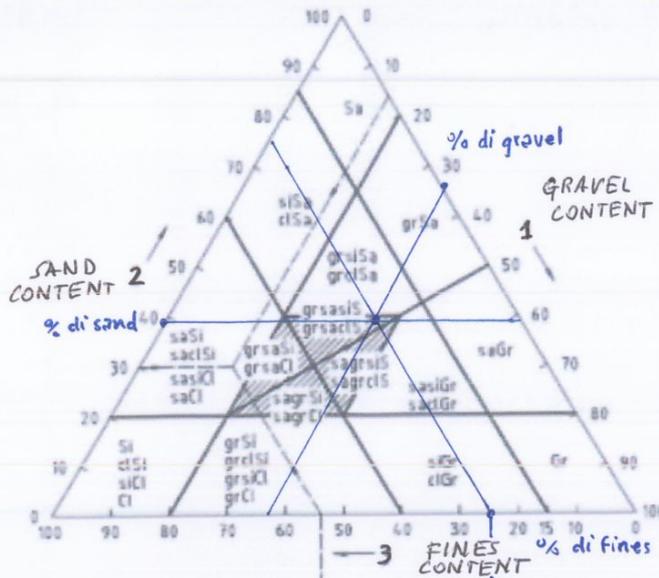
$$c = LL - 40$$

(se LL fosse maggiore di 60 si indica 60, se minore di 40 si indica 40)

$$d = IP - 10$$

(se IP fosse maggiore di 30 si indica 30, se minore di 10 si indica 10)

I dati ricavati mi permettono di utilizzare la tabella e classificare il terreno.



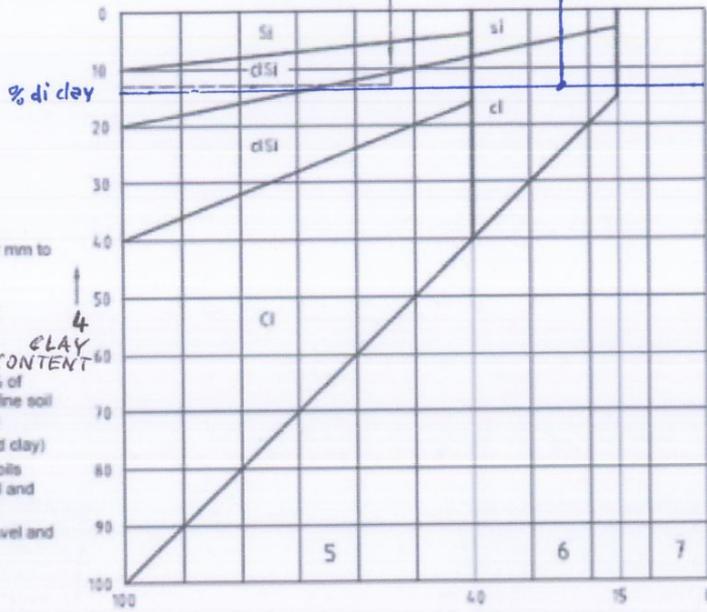
Esempio, ricavo come terreno:

grsaClS

lo ricavo mediante la % di clay,

NOMENCLATURA:

- sandy gravel (saGr),
- coarse sandy fine gravel (csaFGr),
- medium sandy silt (msaSi),
- fine gravelly coarse sand (fgrCSa),
- silty fine sand (siFSa),
- fine gravelly, coarse sandy silt (fgrcsaSi),
- medium sandy clay (msaCl).



Key
 1 gravel content (2 mm to 63 mm)
 2 sand content (0.063 mm to 2 mm)
 3 fines content (< 0.063 mm)
 4 clay content in % of mass of coarse and fine soil (grain size < 63 mm)
 5 fine soils (silt and clay)
 6 mixed-grained soils (silty or clayey gravel and sand)
 7 coarse soils (gravel and sand)
 S soil
 See also Table A.1.

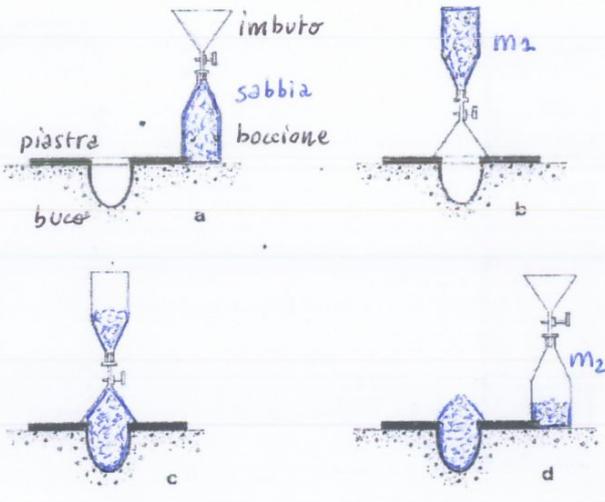
CLASSIFICAZIONE - CURVA DI COMPATTAZIONE PROCTOR

Il materiale e' costipato con differenti percentuali di umidità. Per ciascuna determiniamo la densità del secco.

m_u [g]	w [%]	m_s [g]	V [cm ³]	γ_s [g/cm ³]
$m_{u,1}$	w_1	$m_{s,1} = \frac{m_{u,1}}{1 + \frac{w_1}{100}}$	V_1	$\gamma_{s,1} = \frac{m_{s,1}}{V_1}$

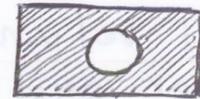
DENSITA' IN SITO

E' una prova che viene effettuata in cantiere,



con uno scalpello
creo un buco il piu
regolare possibile,
e appoggio sopra
una piastra forata.

in pianta



Si riempie il foro mediante un boccione
con un imbuto attaccato in cima.
E si ricava il volume del buco. Conoscendo
il volume posso ricavare la densita' del
secco in sito ($\gamma_{s, sito}$)

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\gamma_{SABBIA}} - V_{CONO} - V_{PIASTRA} \quad [cm^3]$$

m_1 , massa nel boccione pieno
 m_2 , massa rimasta nel boccione
(dopo averlo svuotato nel buco)



imbuto $\rightarrow V_{CONO}$
spessore
piastra $\rightarrow V_{PIASTRA}$

$$\gamma_{s, sito} = \frac{m_s}{V} \quad [g/cm^3]$$

$$\theta = \sigma_1 + 2\sigma_3$$

$$\epsilon_{1,r} = \frac{\Delta h_r}{H}$$

H, altezza campione

Modelli costitutivi:

Log M_R



$$M_R = K_1 \theta^{K_2}$$

andamento lineare.

SUSCETTIVITA' TERMICA DEI BITUMI

Suscettività termica:

$$\alpha = \frac{\log(800) - \log(\text{PEN})_{25^\circ\text{C}}}{T_{P\&A} - 25^\circ\text{C}}$$

PEN, valore della penetraz.

$T_{P\&A}$, temp. di rammolimento =

LEGENDA-

$$T_{P\&A} = \text{media}(T_{P\&A,1}; T_{P\&A,2})$$

$$\text{PEN} = \text{media}(\text{PEN}_1, \text{PEN}_2, \dots)$$

Indice di penetrazione:

$$IP = \frac{20 - 900\alpha}{50\alpha + 1} \quad -2 \leq IP \leq 2 \quad \triangle!$$

$$\alpha = 0,02 \frac{20 - IP}{10 - IP}$$

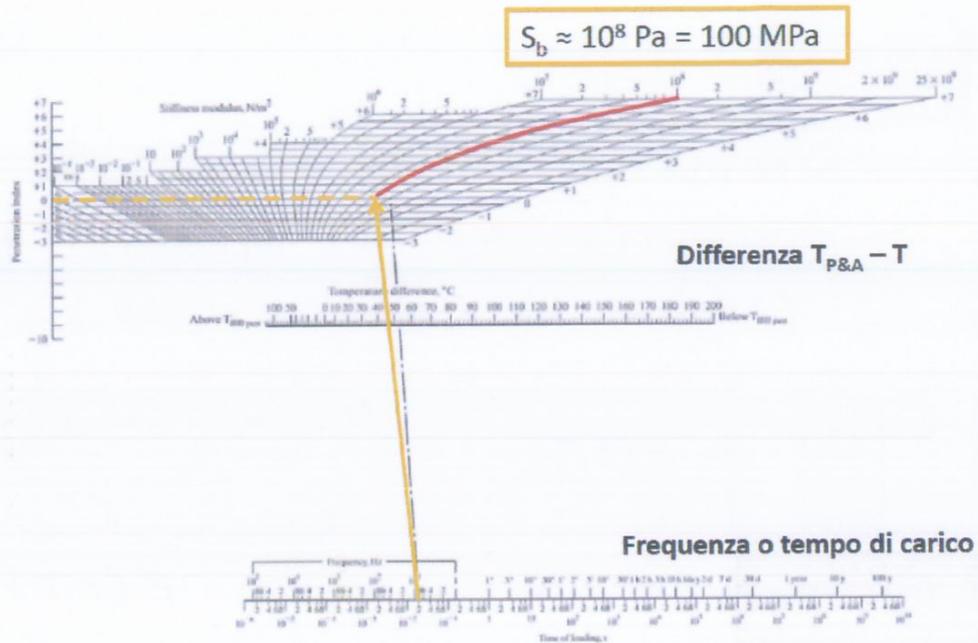
metodo grafico:

si usa grafico di Van Der Poel:

Esempio di utilizzo:

- IP = 0
- $T_{P\&A} = 56^\circ\text{C}$
- $T = 10^\circ\text{C}$
- $t = 0,016\text{ s}$

Indice di penetrazione



MODULO DI RIGIDEZZA - CONGLOMERATI BITUMINOSI

Si utilizza il diagramma di Bonnaure. Permette di ricavare il modulo di rigidità del conglomerato (S_{mix}) a partire dalla rigidità del bitume (S_b), noti volume di legante (V_b , bitume) e quello degli aggregati (V_g)

Riceviamo S_b da Van Der Poel

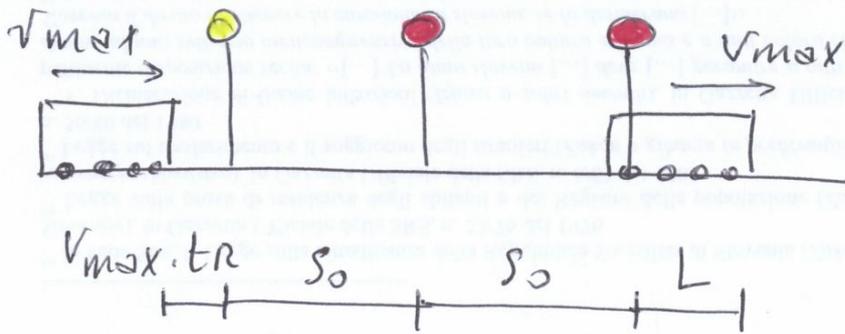
$$V_b [\%] = P_b \frac{\gamma_c}{\gamma_b}$$

$$V_g [\%] = \frac{(100 - P_b) \gamma_c}{\gamma_g}$$

LEGENDA

- P_b , % bitume
- γ_c , massa vol. campione compatto
- γ_b , massa vol. bitume

CAPACITÀ MAX FERROVIARIA (J sezioni di blocco)



$$V = \frac{S}{t}$$

$$S = t \cdot v$$

eguagliando le spazio:

J, numero
generico di
sez. di
blocco

$$v_{max} \cdot t = v_{max} \cdot t_r + J S_0 + L$$

$$t_{min} = \frac{J S_0 + L}{v_{max}} + t_r$$

capacità:

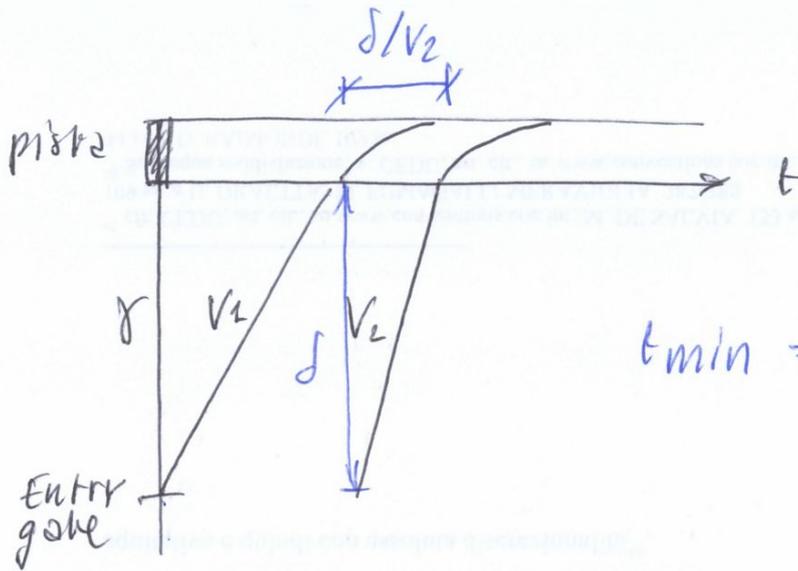
$$C = \frac{3600}{t_{min}} = \frac{3600}{\frac{J S_0 + L}{v_{max}} + t_r}$$

controllo, moto unif. decelerato

$$S_0 = k \frac{v_{max}^2}{2a}$$

denominatore

$$D = \frac{J k v_{max}^2}{2a} + \frac{L}{v_{max}} + t_r$$



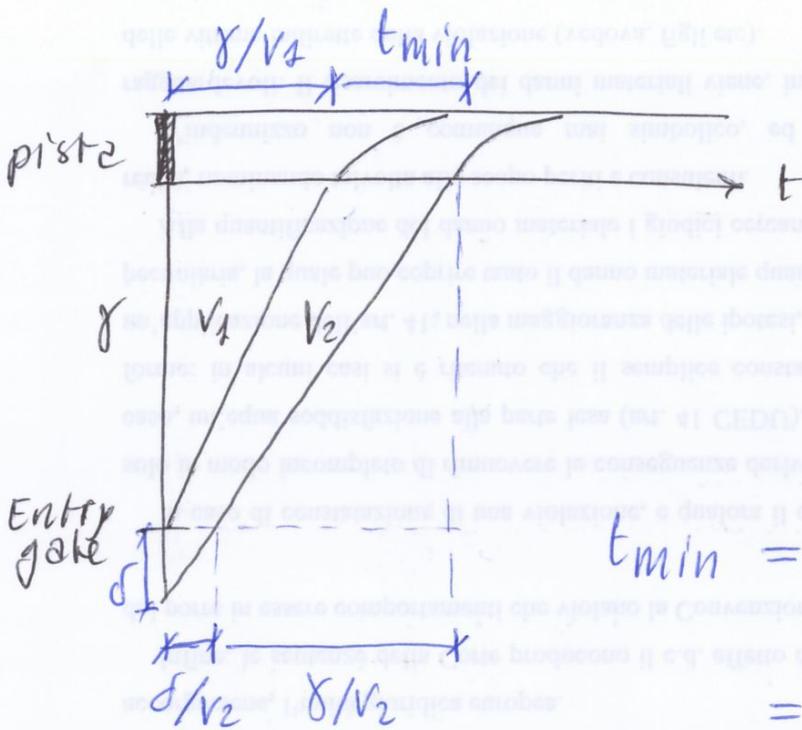
$$V = \frac{S}{t}$$

$$t = \frac{S}{V}$$

CASO 1:

$$v_2 \geq v_1$$

$$t_{min} = \frac{\delta}{v_2}$$



CASO 2:

$$v_2 < v_1$$

$$t_{min} = \frac{\delta}{v_2} + \frac{\delta}{v_2} - \frac{\delta}{v_1}$$

$$= \frac{\delta}{v_2} + \delta \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right)$$



CASO 1: δ applicato dall'ingresso della pista.

CASO 2: δ applicato dall'Entry gate.

$$t_{ij} \quad \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{bmatrix}$$

$$t_{min} = \sum P_{iS} \cdot t_{iS} \quad P_{iS} = P_i \cdot P_S$$

$$Q = DV$$

sostituendo V , otteniamo:

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

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

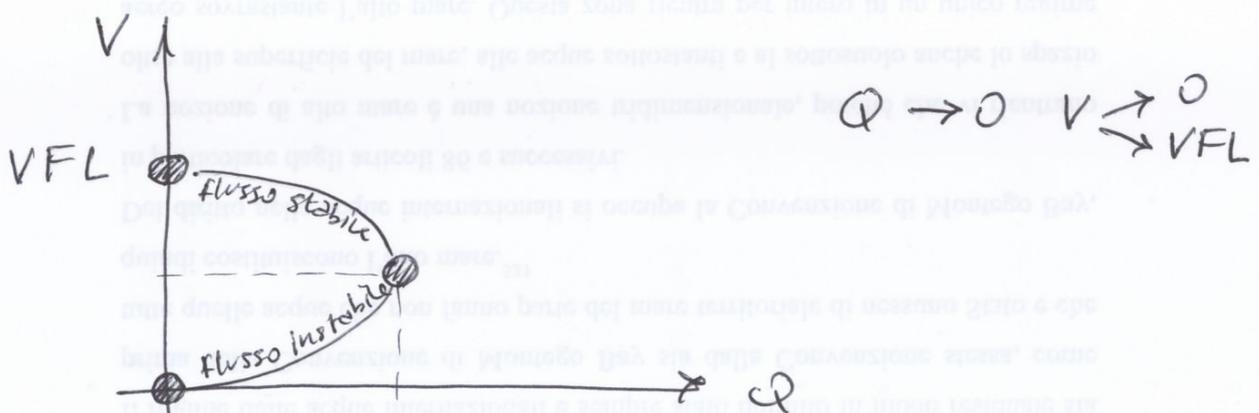
Andiamo alla ricerca di D_{CR} :

$$\frac{dQ}{dD} = 0$$

$$VFL \left(1 - \frac{2D}{D_c}\right) = 0$$

$$\left(1 - \frac{2D}{D_c}\right) = 0 \quad D = D_{CR} = \frac{D_c}{2}$$

Analizzando vel - flusso:



$$Q = VD$$

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

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

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

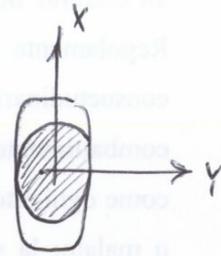
$$C_{MAX} = \frac{3600 \cdot V_{max}}{2S_0 + L + t_R \cdot V_{max}}$$

$$\text{con } V_{max} = \sqrt{\frac{dL}{k}}$$

DIMOSTR. COEFF. DI ADERENZA TRASVERSALE

ellisse di aderenza

$$\left(\frac{X}{X_{max}}\right)^2 + \left(\frac{Y}{Y(\alpha)}\right)^2 = 1$$



sapendo che $f_{a,L} = \frac{X}{P_a}$ $f_{a,T} = \frac{Y}{P_a}$

$$\left(\frac{f_{a,L}}{f_{UM,L}}\right)^2 + \left(\frac{f_{a,T}}{f_{UM,T}}\right)^2$$

ponendo $f_a = f_{UM,L} = f_{UM,T}$

supponendo $f_{a,L} = 0,9 f_a$

$$\left(\frac{0,9 f_a}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{f_{a,T}}{f_a}\right)^2 = 1$$

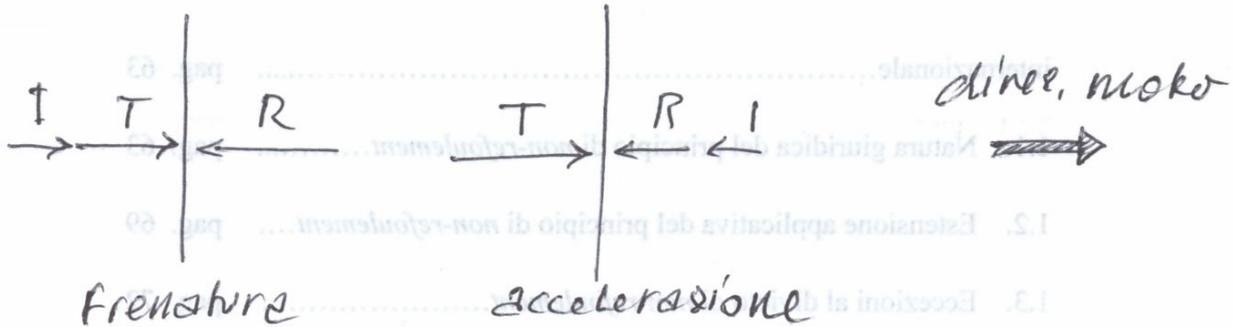
$$f_{a,T}^2 = f_a^2 - (0,9 f_a)^2$$

$$f_{a,T} = 0,44 f_a$$

$$f_{a,T} = 0,44 \frac{1}{0,9} f_{a,L} = 0,49 f_{a,L}$$

$$a < 0$$

$$a > 0$$



Equazione della trazione:

$$T = R + I$$

L'inerzia β incrementata di β

- inerzia del mov. del veicolo
- inerzia del movim. del motore e della trasmissione.

$$I = ma = \beta \frac{P}{g} \frac{dV}{dt} = P \cdot r_{in}$$

$$\begin{aligned} P &= mg \\ m &= \frac{P}{g} \end{aligned}$$

$$\beta = 1 \div 1,1 \text{ sovoletture}$$

Trazione:

$$T = P (r_{ORD} + r_c \pm i + \beta \frac{1}{g} \frac{dV}{dt})$$

$$T = P (r_{RD} \pm i + \beta \frac{1}{g} \frac{dV}{dt}) + \frac{1}{2} \rho \sigma S V^2$$

nel caso di un velivolo:

$$T = (P-L) (r_{RD} \pm i) + \beta \frac{P}{g} \frac{dV}{dt} + \frac{1}{2} \rho \sigma S V^2$$

$$df = \frac{\int_0^V v dv}{\frac{g}{\beta}(\dots)}$$

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

distanza di
frenatura

$$f_e(v) = \frac{1}{\beta} (r_{RD} + \frac{1}{2} \frac{c d s v}{\rho a} + f_{a,L})$$

Moto su livelle

Resist. di pendenza non deve essere troppo ampia, T deve vincere

$$T = P \left(r_{RD} \pm i + \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} \right) + \frac{1}{2} \rho c s v^2$$

$$i_{max} = \frac{T_{max} - \frac{1}{2} \rho c s v^2}{P} - r_{RD} - \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt}$$

componenti a favore $\leftarrow T_{max}$
 \leftarrow Inerzia $\left(\frac{dv}{dt} < 0 \right)$

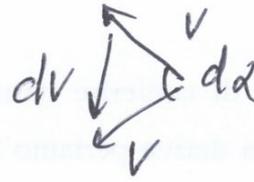
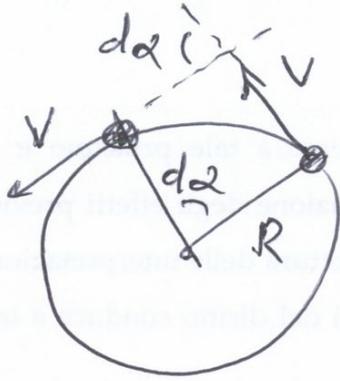
a sfavore $\leftarrow P_a$
 $\leftarrow r_{RD}$
 $\leftarrow P$

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

$$T = A \leq P_a \cdot f_a$$

$$\left\{ \begin{aligned} i'_{max} &= \frac{\frac{W_{max}}{v} - \frac{1}{2} \rho c s v^2}{P} - r_{RD} \\ i''_{max} &= \frac{P_a \cdot f_a - \frac{1}{2} \rho c s v^2}{P} - r_{RD} \end{aligned} \right.$$

$\frac{dv}{dt} = 0$ quindi $I = 0$ perché dobbiamo garantire una velocità costante.



$$dV = d\alpha V$$

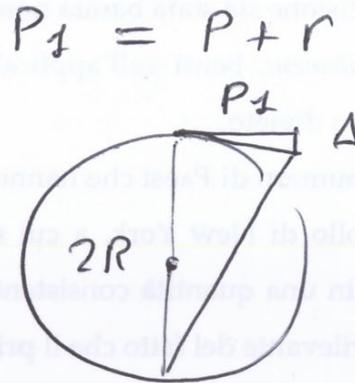
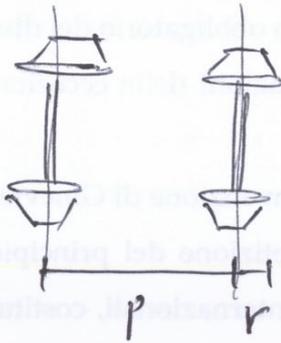
$$a_c = \frac{dV}{dt} = v \frac{d\alpha}{dt} = \frac{v^2}{R}$$

$$ds = R d\alpha$$

$$\underbrace{\left(\frac{ds}{dt}\right)}_v dt = R d\alpha \quad \frac{v}{R} = \frac{d\alpha}{dt}$$

$$R'_{min} = \frac{d(r_0 - \Delta \tan \delta)}{2 \Delta \tan \delta}$$

2) inserimento dei carrelli



similitudine

$$2R : P_1 = P_1 : \Delta$$

$$P_1^2 = 2R\Delta$$

$$R''_{min} = \frac{P_1^2}{2\Delta}$$

$$R_{min} = \max(R'_{min}, R''_{min})$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{R+d}{R}$$

$$R \frac{r_0 + \Delta \tan \gamma}{r_0 - \Delta \tan \gamma} = R+d$$

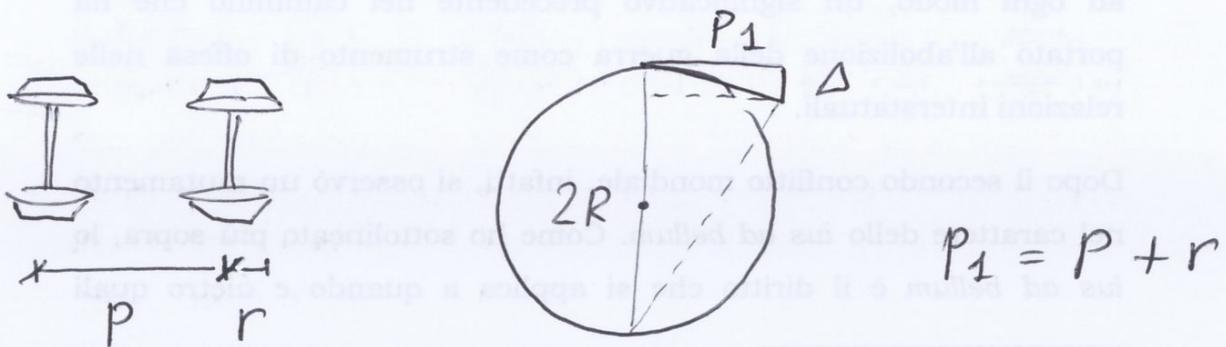
$$R \left(\frac{r_0 + \Delta \tan \gamma}{r_0 - \Delta \tan \gamma} - 1 \right) = d$$

$$R \left(\frac{r_0 + \Delta \tan \gamma - r_0 + \Delta \tan \gamma}{r_0 - \Delta \tan \gamma} \right) = d$$

$$R'_{\min} = \frac{r_0 - \Delta \tan \gamma}{2 \Delta \tan \gamma} \cdot d$$

$d = 1500 \text{ mm}$
 $\tan \gamma$ coeff. di
 attrito

2) consentire l'inserimento dei carrelli?



similitudine tra triangoli

$$\frac{\Delta}{P_1} = \frac{P_1}{2R - \Delta}$$

trascurabile
 $\Delta \ll R$

$$R = \frac{P_1^2}{2\Delta} = R''_{\min}$$

$$\textcircled{+} \Sigma M_R = F_c \cos \alpha \cdot h - P \sin \alpha h$$

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

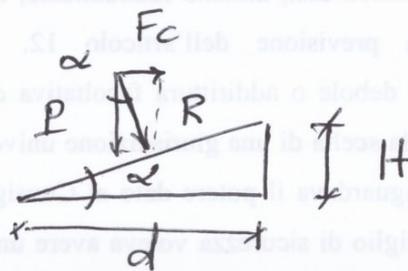
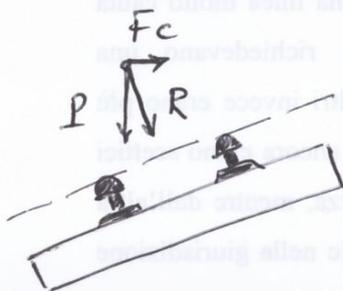
$$s \left(\frac{P}{g} \frac{V^2}{R} \tan \alpha + P \right) \geq h \left(\frac{P}{g} \frac{V^2}{R} - P \tan \alpha \right)$$

no fattore di sicurezza

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

DIMOSTR. MOTO IN CURVA - FERROVIARIO

1) CIRCOLAZIONE OMOTACHICA
stessa velocità per i convogli



$R \perp$ al piano di rotolamento.

$$\frac{H}{d} = \frac{F_c}{P}$$

$$\frac{V^2}{gR} = \frac{H}{d} \quad \text{quindi} \quad H = \frac{d}{g} \frac{V^2}{R}$$

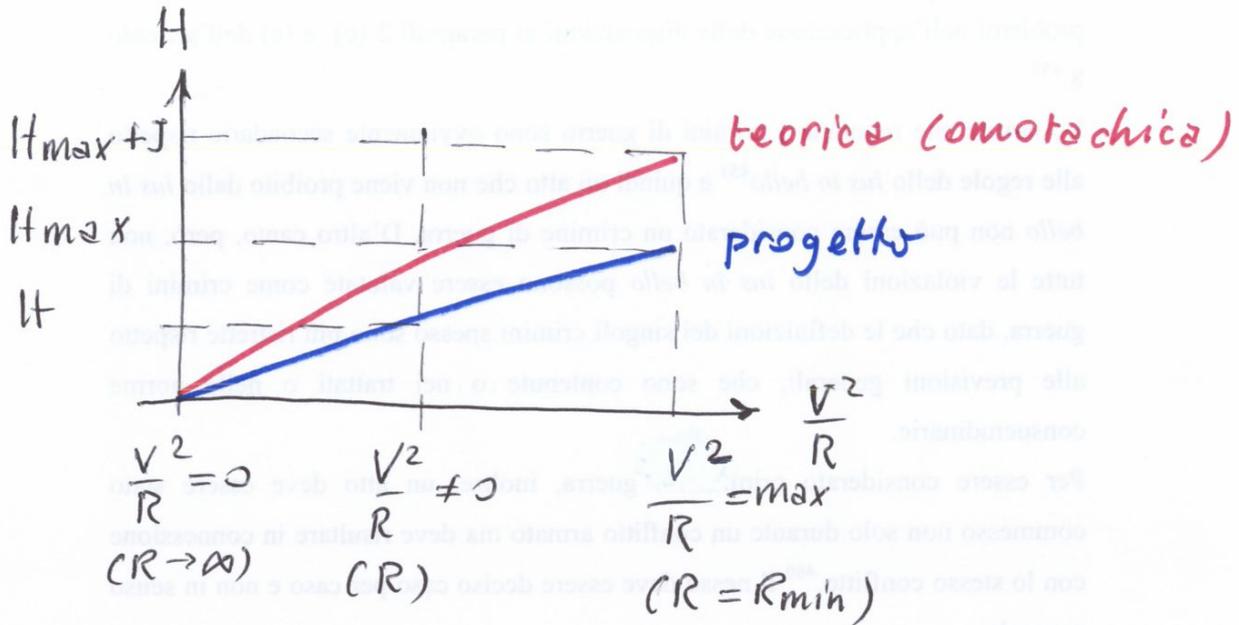
$$H = 11,8 \frac{V^2}{R}$$

generalmente
 $H = 160 \text{ mm}$

sostituendo R_{min} in H ottengo:

$$H_{max} = \frac{v_{max}^2}{(v_{max}^2 - v_{min}^2)} (J+e) - J$$

SOPRAELEVAZIONE DI PROGETTO



$$H : H_{max} = H_{max} : H_{max} + J$$

$$H : 11,8 \frac{v^2}{R} = H_{max} : \underbrace{H_{max}}_{160 \text{ mm}} + \underbrace{J}_{92 \text{ mm}}$$

$$\frac{H}{H_{max}} = \frac{11,8 \frac{v^2}{R}}{H_{max} + J}$$

$$H = 7,49 \frac{v^2}{R}$$