



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1418A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Cetani

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.**

INFRASTRUTTURE VIARIE

STRADE

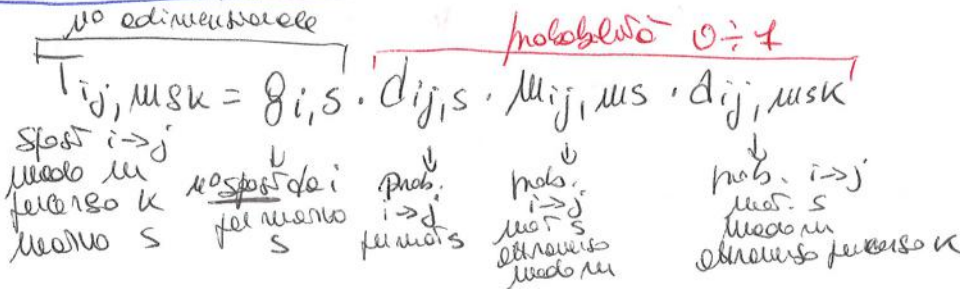
km italiani ~ 50000 km

CATEGORIE

- A Autostrade extraurbane e urbane
- B strade extraurbane principali
- C strade extraurbane secondarie
- D strade urbane di scorrimento
- E strade urbane di quartiere
- F strade locali urbane ed extraurbane

	V_{pmax}	V_{pmin}
E	140	80
U	140	80
B	120	70
C	100	60
D	80	50
E	60	40
F	100	40
U	60	25

Analisi della domanda



Categoria: elemento del graf che rappresenta tutti i costi di genere o è elemento un flusso.

DOMANDA: FLUSSO O PORTATA Q DI UNA CORRENTE

$$Q = \frac{1}{t_m} \left[\frac{veh}{s} \right] = \frac{3600}{t_m} \left[\frac{veh}{h} \right] = \frac{n \cdot N \cdot 3600}{t_m} \left[\frac{port}{h} \right]$$

tram distacco medio
temperale [s]

OFFERTA: CAPACITA' dell'infrastruttura: max no di spostamenti eseguibili nell'unità di tempo predef.

$$C = \frac{1}{t_m} \left[\frac{veh}{s} \right] = \frac{3600}{t_m} \left[\frac{veh}{h} \right] = \frac{n \cdot N \cdot 3600}{t_m} \left[\frac{port}{h} \right]$$

n: numero per esempio N: numero veicoli

tram distacco minimo
temperale [s]

NB: couplet nei setori: Fattore di carico FC e non si succedono con distacco minimo: Fattore di utilità FU.

CAPACITA' = f (geometria, caratteristiche correnti, assetti di controllo, spazio, tempo)

la natura puntuale e istantanea degli eventi

STRADE - CAPACITA' MEM

$$C = 1700 \frac{auto}{h} \text{ per direzione}$$

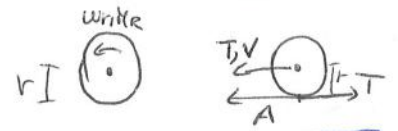
$$C = 1200 + 10 NFL \frac{auto}{h \cdot corsia}$$

$$C = 1800 + 5 VFC \frac{auto}{h \cdot corsia}$$

VFC: velocità di flusso libera è la velocità più alta che si ottiene in un flusso di pedale libero \rightarrow è la velocità media dei veicoli che viaggiano isolati

STRADA

MECCANICA DELLA LOCOMOTIONE



MOTORE → M_M → M_R → Ruote motrici $M_M > M_R$

POTENZA ALLE RUOTE $W_R = W_R \cdot M_R = 2\pi \cdot N_R \cdot M_R$ $W_R = W_R \cdot M_R = (W_R \cdot 10^3) \cdot r = T \cdot v$

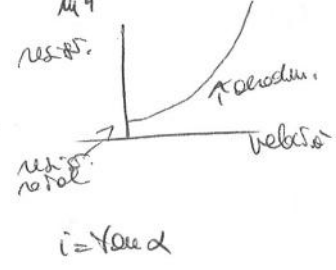
RESISTENZE AL RULLO → ORDINARIE: velocità inferiore alla normale, al rotolamento (pneumatici, def. pneumatici, irregolarità pneumatici), ordinamento
 → ADDIZIONALI: livelletto, curva

Resistenza al rotolamento $R_{RD} = P \cdot \frac{d}{F} = P \cdot t_{RD}$
 [N] [kN] [kN]

formula di Avelasco (sperimentale) $t_{RD} = \frac{10^{-3}}{p^{0.64}} \left(20 + \frac{v^{3.7}}{129 \cdot 4000 \cdot p^{1.44}} \right)$ [N/kN] $p = \left[\frac{kN}{cm^2} \right]$
 $v = \left[\frac{km}{h} \right]$

Resistenza AERODINAMICA $R_A = p \cdot S \cdot c = \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \right) c S$
 c coeff. d'inerzia, S = sup. frontale, $f = \rho = 1,226 \frac{Ns^2}{m^4}$ densità dell'aria

Resistenza ordinaria veicoli stradali
 FORMULA BINOMIA: $R_{os} = d + b v^2$
 rotolamento aerodinamico



RESISTENZE ADDIZIONALI: LIVELLETTI

$i [\%] = \left[\frac{N}{kN} \right]$

Resistenza add. curve; insalubrità

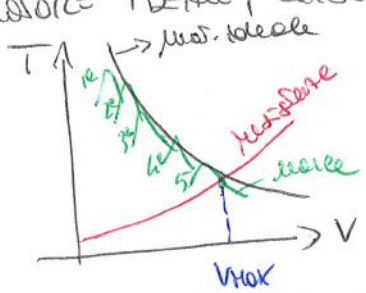
$R_i = P \cdot i$ ⇒ $t_i = i$
 [N] [kN] [%]

TRASMISSIONE

η_p : Rapporto di trasmissione → peso motore P_p motore motrice
 → peso aderente P_a motore motrice

trasmissione fatto: $i = \frac{W}{V} = \frac{M_T}{F} = \frac{C}{r}$ Coeff. motore

MOTORE IDEALE, COMBUSTIONE, res. al rullo



$T = \frac{\eta \cdot M \cdot M_M}{r}$
 η rendimento sistema motore in rapporto di trasmissione

FRETTATURA: sotto le ruote dello speciale

STABILIZZAMENTO: $\frac{P_a + P_p}{F} = A = P_a \cdot f_A$ parametro: $\frac{P_a + P_p}{F} < A = P_a \cdot f_A$
 come ottenuto al passo, coeff. frenata, aderente

STRADA

Equazione della motrice

MOTO VARIATO: $T = R_R + R_A + R_c + R_l + I$

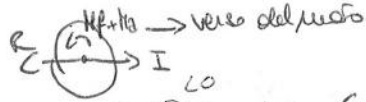
$1 = \text{minimo}$ $I = ma = \beta \frac{P}{g} \frac{dv}{dt} = P \left(\frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} \right) = P \cdot R_{IN}$ β dato alle masse rotanti

Per MOTO STRADALE n maseune R_c

$T = R_{RD} + R_A + R_l + R_{IN} \Rightarrow T = P \cdot \left(r_r \pm i + \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} \right) + \frac{1}{2} P v^2 \cdot c \cdot S$

$1,226 \frac{Ns^2}{m^4}$

SPAZIO DI FRENSATA



NB: se è in decelerazione

Eq. motrice $T = P_a \left(r_r \pm i - \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} \right) + \frac{1}{2} P c S v^2 \stackrel{\text{Fase frenata}}{=} 0 \rightarrow$ perché $T=0$ in frenata

Powerdo $\frac{dv}{dt} = A = P_a \cdot f_{A,L}$ e dividendo per P_a otteniamo

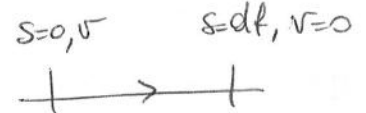
$r_r \pm i - \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} + \frac{1}{2} \frac{P c S v^2}{P_a} + f_{A,L} = 0$ eq. differenziale

si ottiene

$\frac{dv}{dt} = \frac{g}{\beta} \left[r_r \pm i + \frac{1}{2} \frac{P c S v^2}{P_a} + f_{A,L} \right]$ ma $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = v \frac{dv}{ds}$

Differenziando e integrando:

$\int_0^v \frac{ds}{v} = \int_0^v \frac{v \cdot dv}{g \left[r_r \pm i + \frac{1}{2} \frac{P c S v^2}{P_a} + f_{A,L} \right]}$



$f_e(v) = \frac{r_r \pm f_{A,L}}{\beta} + \frac{1}{2} \frac{P c v^2 S}{P_a}$

\rightarrow Ho semplificato ma a parte il termine accelerato costante e non integrabile (però $f_e(v)$ cambia in funzione)

si ottiene
DISTANZA
FRENATA

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

DISTANZA DI
ARRESTO

$df = df + dpr = \frac{v^2}{2g [f_e(v) \pm i]} + [2,8 - 0,01 \cdot v] \cdot v$

MOTO SEME LIVELLATO

$a < 0$, in decellera $T = \frac{W}{v}$

MAX LIVELLA SOSPENSIONE

$i_{max} = \frac{T_{max}}{P} - \frac{1}{2} P c v^2 S - r_r - \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} = \frac{W_{max}}{v} - \frac{1}{2} P c v^2 S - r_r - \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt} = \frac{W_{max}}{P} - r_{coro} - \frac{\beta}{g} \frac{dv}{dt}$

Ip: Per condizione partenza da fermo su livello \rightarrow in fase di partenza I

si ottiene

PORENZA SPECIFICA

$\frac{W}{P} = v (R_{coro} + i)$

MAX LIVELLA SOSPENSIONE

bipede condizione di controllo!

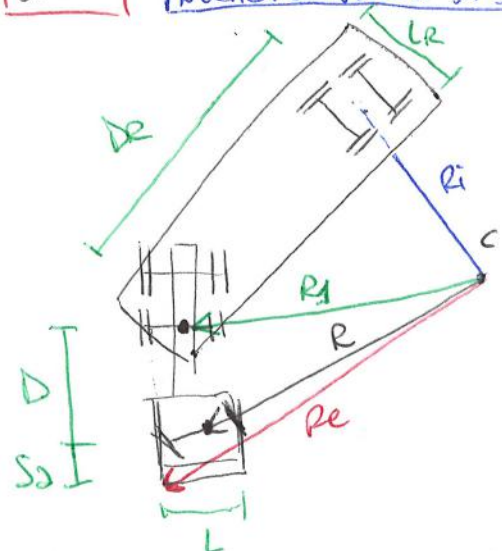
$T = A \leq f_A \cdot P_2$

$i_{max} = \min(i_{max}^{partenza}, i_{max}^{cond. controllo})$

$i_{max} \leq \frac{W_{max}}{v} - \frac{1}{2} P c v^2 S - r_r$
 $i_{max} \leq \frac{f_A \cdot P_a}{P} - \frac{1}{2} P c v^2 S - r_r$

STRADE

INGOMBRO VEICOLI A 3 ASSI (AUTORITENENTE: Motore + Semi-innechito)

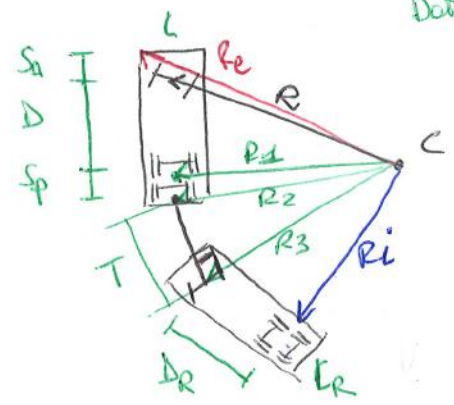


Dati: \$D, R_1, L, L_R, R\$ INCOGNITE: \$R_i, R_e, R_1\$

$$\begin{cases} R_1^2 + D^2 = R^2 \\ (R_1 + \frac{L}{2})^2 + (D + S_0)^2 = R_e^2 \\ (R_i + \frac{L_R}{2})^2 + D_R^2 = R_1^2 \end{cases}$$

INGOMBRO VEICOLI A 4 ASSI (AUTOTRENNO = AUTOMOTORE + INNACCHIO)

Dati: \$L, L_e, D, R_1, S_1, S_p, T\$ INCOGNITE: \$R_e, R_i, R_1, R_2, R_3\$



$$\begin{cases} (R_1 + \frac{L}{2})^2 + (S_1 + D)^2 = R_e^2 \\ D^2 + R_1^2 = R^2 \\ R_1^2 + S_p^2 = R_2^2 \\ R_3^2 + T^2 = R_2^2 \\ (R_i + \frac{L_R}{2})^2 + D_R^2 = R_3^2 \end{cases}$$

NOTO IN CURVA

Per l'autostrada \$F_e\$ bisogna inclinare la carreggiata.

CONDIZIONI DI EQUILIBRIO

- STRIBAMENTO sul piano di rotolamento (SUO)
- RIBALTAMENTO

EQUILIBRIO ALLO SUO

$$\begin{aligned} \sum F_{//} &\leq f_{A,T} \sum F_{\perp} \\ -P \sin \alpha + f_c \cos \alpha &\leq f_{A,T} (P \cos \alpha + f_c \sin \alpha) \\ -P \sin \alpha + \frac{P}{gR} v^2 \cos \alpha &\leq f_{A,T} (P \cos \alpha + \frac{P}{gR} v^2 \sin \alpha) \\ \sin \alpha + \frac{v^2}{gR} \cos \alpha &\leq f_{A,T} (\cos \alpha + \frac{v^2}{gR} \sin \alpha) \\ \tan \alpha + \frac{v^2}{gR} &\leq f_{A,T} (1 + \frac{v^2}{gR} \tan \alpha) \\ \frac{v^2}{gR} &\leq f_{A,T} + \tan \alpha \end{aligned}$$

$$\boxed{d_c = \frac{v^2}{R} \leq g (f_{A,T} + \tan \alpha)}$$

\$d_c, m_e\$
\$d_c, c\$
\$f_{A,T}\$
\$v^2\$
\$g\$
\$\tan \alpha\$
\$R\$

EQUILIBRIO AL RIBALTAMENTO rispetto O

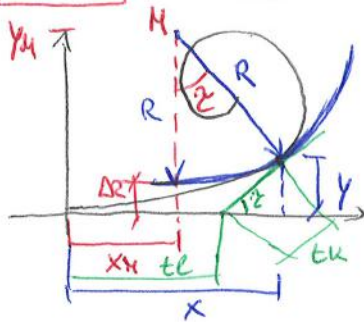
$$\begin{aligned} \sum M_S - \sum M_R &\geq 0 \\ P \sin \alpha h + P \cos \alpha s - f_c \cos \alpha h + f_c \sin \alpha s &\geq 0 \\ (P \cos \alpha + f_c \sin \alpha) s + (P \sin \alpha - f_c \cos \alpha) h &\geq 0 \\ (g \cos \alpha + \frac{v^2}{gR} \sin \alpha) s + (\sin \alpha - \frac{v^2}{gR} \cos \alpha) h &\geq 0 \\ (1 + \frac{v^2}{gR} \tan \alpha) s + (\tan \alpha - \frac{v^2}{gR}) h &\geq 0 \\ \tan \alpha - \frac{v^2}{gR} &\geq -\frac{s}{h} \Rightarrow -\frac{v^2}{gR} \geq -\frac{s}{h} - \tan \alpha \end{aligned}$$

$$\boxed{d_c = \frac{v^2}{R} \leq g (\frac{s}{h} + \tan \alpha)}$$

NB: Per veicoli ordinari evitare il ribaltamento!

STRADE

ELEMENTI GEOMETRICI CLOTOIDE



(X_H, Y_H) Centro del Cerchio
 $AR =$ spostamento
 $t_L =$ tangente lungo
 $t_U =$ tangente curva
 $X_H =$ offsetamento
 $Z =$ angolo di deviazione delle clotoide.

$Y_H = R + AR$

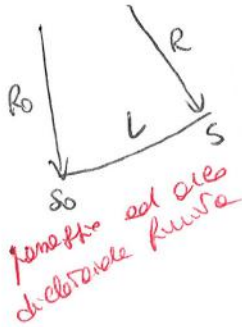
FATTORE DI SCALIA

$R_s = A^2$

in so: $R_0 s_0 = A^2$ in s: $R_s = A^2$

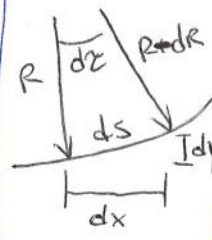
$\frac{1}{R_0} = \frac{s_0}{A^2} \leftarrow \frac{1}{R} = \frac{s}{A^2}$
 differenziale
 $\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0} = \frac{s - s_0}{A^2} = \frac{L}{A^2}$

$A = \sqrt{\frac{L}{\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0}}}$



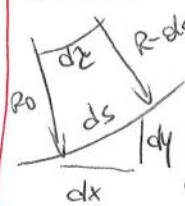
RELAZIONE A-Z

Z-S



Per def. $ds = R dZ$
 $\Rightarrow R = \frac{ds}{dZ}$ ma $R = \frac{A^2}{s}$
 $s = \frac{A^2}{R}$ $R = f(Z, s)$
 $dZ = \frac{ds}{R} = \frac{ds s}{A^2} = \frac{s ds}{A^2}$
 $\int dZ = \int \frac{s ds}{A^2} \Rightarrow Z = \frac{1}{2} \frac{s^2}{A^2}$
 $\Rightarrow Z = \frac{s^2}{2A^2} = \frac{A^4}{2R^2} = \frac{A^2}{2R^2}$

EQUAZIONI CARTESIANE CLOTOIDE



$dx = ds \cos Z$
 $dy = ds \sin Z$
 legame $Z-s = Z = \frac{s^2}{2A^2}$

da cui $s = A\sqrt{2Z} \Rightarrow ds = \frac{A}{\sqrt{2Z}} dZ$
 sostituzione $ds = \frac{A}{\sqrt{2Z}} dZ$

$X = \int_0^Z \frac{A \cos Z}{\sqrt{2Z}} dZ = A\sqrt{2Z} \left(1 - \frac{Z^2}{10} + \frac{Z^4}{216} \right)$
 $Y = \int_0^Z \frac{A \sin Z}{\sqrt{2Z}} dZ = A\sqrt{2Z} \left(\frac{Z^3}{3} - \frac{Z^5}{42} + \frac{Z^7}{1320} \right)$

RELAZIONI X_H, Y_H, AR

semplificate Zonclive

ARRETRAMENTO $X_H = X - R \sin Z \approx A\sqrt{2Z} - RZ$

$Y_H = Y + R \cos Z = R + AR$

SCOSTAMENTO $AR = Y_H - R = Y + R(\cos Z - 1) \approx \frac{A^4}{24R^2}$

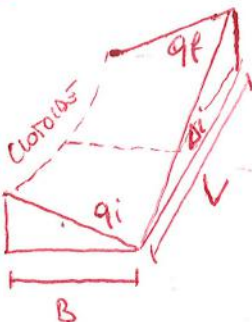
VINECHI NORMATIVA 6752/01

CRITERI

① LIMITAZIONE DEL CONTRACCORPO

$A \geq A_{MIN} = 0,021 V^2$ $v_{MAX} = 50,4$

② LIMITAZIONE DEL ROLLO



$q_i =$ tang. di pendenza
 $q_e =$ tang. di del. esplo

$B =$ distanza asse rotazione e ciglio!

$\Delta_i =$ fenditura laterale del ciglio

$\Delta_i = 100 \frac{B (|q_f| + |q_e|)}{L}$
 $L_{MIN} = 100 \frac{B (|q_f| + |q_e|)}{\Delta_{iMAX}}$

$\Delta_{iMAX} = 18 \cdot \frac{B}{V}$

NORMA: COPPIA 5 $\leq 0,05 \frac{m}{s} \uparrow$

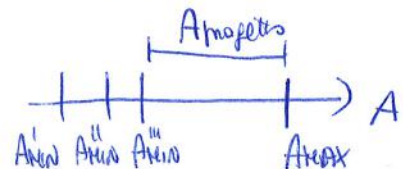
③ OTTE FLESSIONE CLOTOIDE

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

④ OTTE FLESSIONE CURVA ARC.

$A < A_{MAX} = R$

$A_{MIN} = \max \{ A'_{MIN}, A''_{MIN}, A'''_{MIN} \}$



LIMITAZIONE DEL CONTRACCORPO ①

LIMITAZIONE DEL ROLLO ②

OTTE \Leftrightarrow USIBILITA' CLOTOIDE ③

USIBILITA' CURVA ARCADE ④

deterrina zone di A

PER CT e CF

$A_{MIN} = \sqrt{\frac{R}{\Delta_{iMAX}} 100 B (|q_f| + |q_e|)}$

PER CC

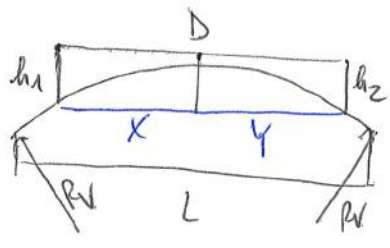
$A_{MIN} = \sqrt{\frac{B (|q_f| + |q_e|)}{\Delta_{iMAX} \left(\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_e} \right)}}$

STRADE

RACCORDI VERTICALI CONVESSI

verifica dell'elemento $h_1 = 1,10 \text{ m}$ - $h_2 = 0,10 \text{ m}$
 • al raso $h_1 = h_2 = 1,10 \text{ m}$

CASO $D < L$



$$D = X + Y$$

$$\begin{cases} h_1 = aX^2 \\ h_2 = aY^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X = \sqrt{\frac{h_1}{a}} \\ Y = \sqrt{\frac{h_2}{a}} \end{cases}$$

$$D = \sqrt{\frac{h_1}{a}} + \sqrt{\frac{h_2}{a}} = \frac{1}{\sqrt{a}} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2Rv}}} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) = \sqrt{2Rv} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

$$\Rightarrow D^2 = 2Rv (h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 h_2}) \Rightarrow Rv = \frac{D^2}{2(h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 h_2})}$$

$D < L$

CASO $D > L$ (vedi dati sul foglio)

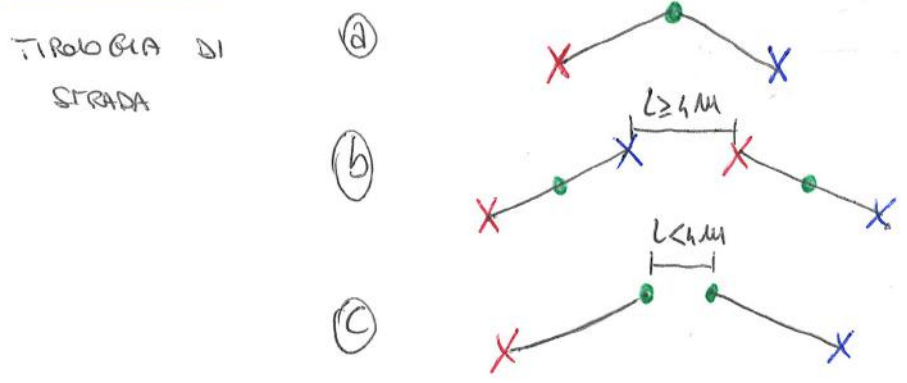
$$Rv = \frac{200}{\Delta i} \left[D - \frac{(h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 h_2})}{\frac{\Delta i}{100}} \right] \quad D > L$$

NORMA TECNICA - CRITERI

• CRITERIO : ENTRATA CURVA
 DSSP $Rv \geq R_{vmin} = 20 \text{ m}$ SREMS $Rv \geq R_{vmin} = 40 \text{ m}$

• CRITERIO DEL COMFORT $a_v = \frac{V_p^2}{Rv} \leq a_{lim} \quad a_{lim} = 96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad Rv > 0,125 V_p^2$

ANDAMENTO DEI CIGLI



- one di ristrettezza dei cigli
- X ciglio destro
- X ciglio sinistro

CRITERI

• SIMMETRIA ALCANT \rightarrow ① $\Delta i \geq \Delta i_{min} = 0,1 \cdot B_i [\%]$

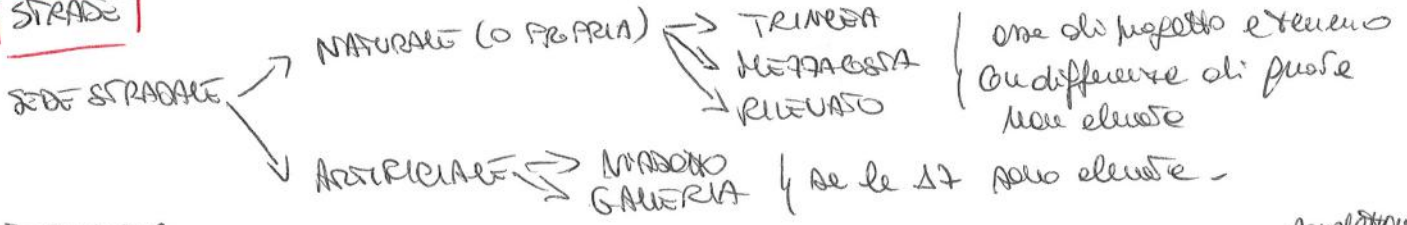
$$\Delta i = \frac{h^*}{L}$$

$$h^* = H_f + h_i$$

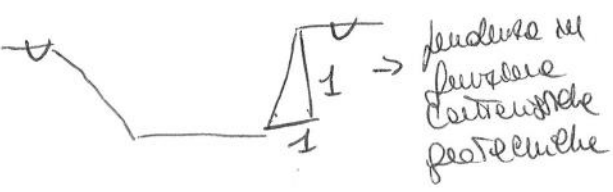
• LIMITAZIONE BUIO \rightarrow ② $\Delta i \leq \Delta i_{max} = 1\% \frac{B}{V} [\%]$ [Già verificato per le cloache]

Se criterio ① non verificato: CT \rightarrow si ferma ciglio est per $L=50 \text{ m}$ prevedendo $\Delta i = \Delta i_{min}$
 CF \rightarrow in corrispondenza del piano F sempre $p=0$; rispetto ai curvanti i cigli in corrispondenza di $L=25+25 \text{ m}$ o intorno del piano riferendo $\Delta i = \Delta i_{min}$
 CC \rightarrow Anche se non verificato non si fermano, perché collegate 2 curve più verificate.

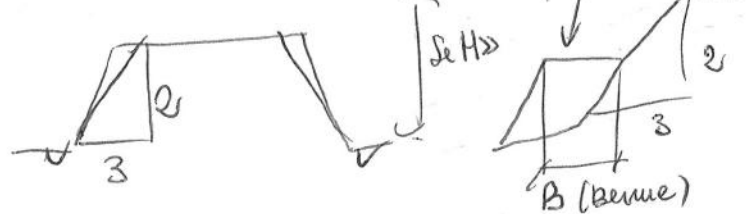
STRADE



TRINCEA

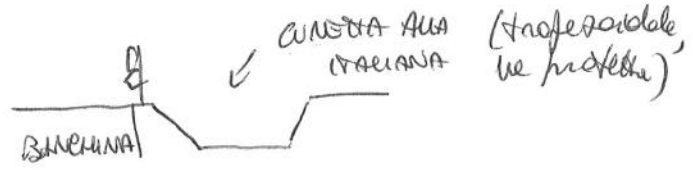


CCARPATA



Nel medesimo estremo si possono le cunette:

CUNETA ALLA FRANCESE (inscavata e convesca)



Calcolo analitico del volume

SEZIONI

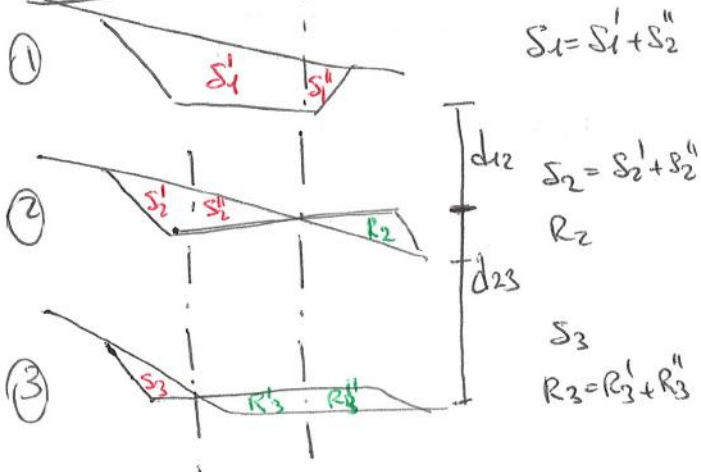
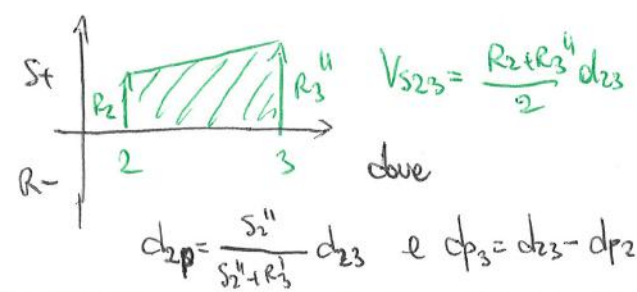
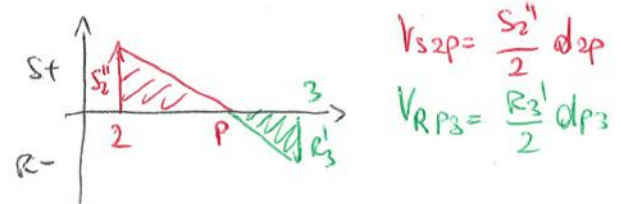
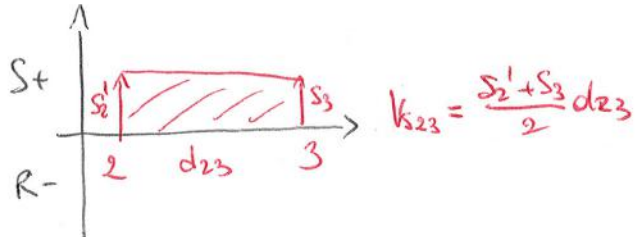
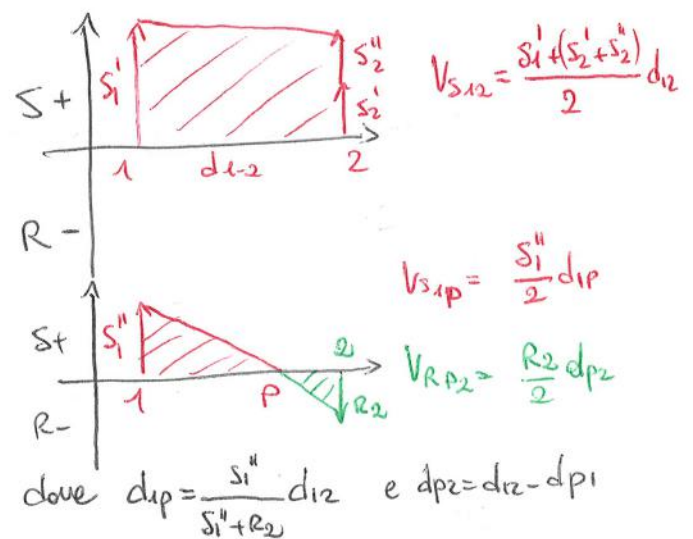
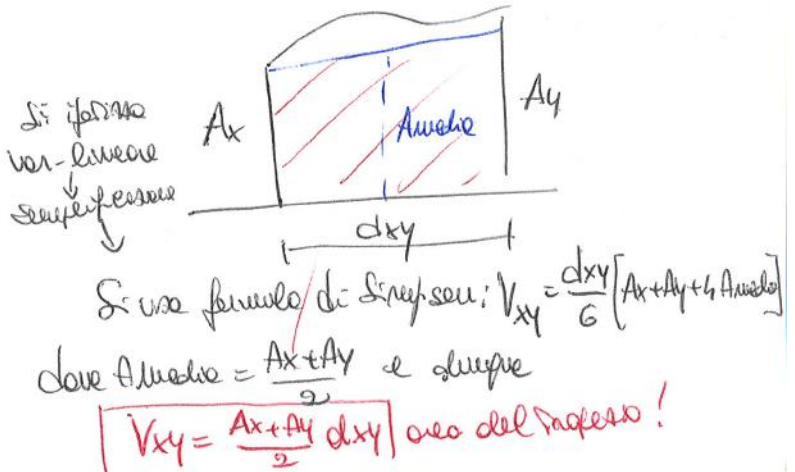


DIAGRAMMA DELLE AREE



Dove d_{1P} si trova dalla area e nuovo attraverso il Metodo delle sezioni rabattute



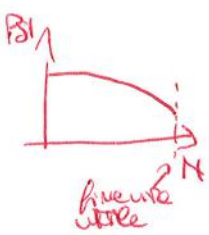
STRADE

DURABILITÀ → ANNI → ASSICURAZIONE PER FATICHE
 MORFOMETRICO (ARCHITOLLO DI DEFORMATION)

AASHTO Road Test 1360 → circuiti di prova → valutazione defetto strutturale e funzionale

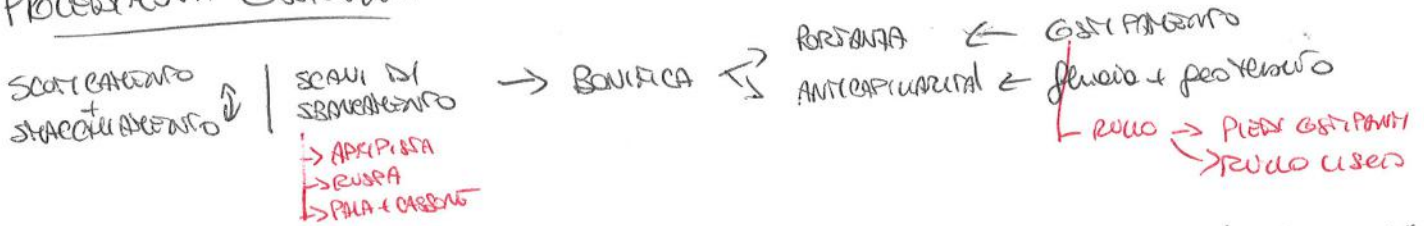
PSI Present Serviceability Index: indicatore della funzionalità della strada in modo oggettivo; determinato in base a ripetuto profilo longitudinale e condizioni deterioramento superficiale

$$0 < PSI < 5 \quad \left[PSI = 5,03 - 1,84 \cdot \log(1+SV) - 1,38 RD^2 - 0,01 \sqrt{C+P} \right]$$



SV = media delle variazioni dipendente dal profilo longitudinale
 RD = profondità delle ondate [in inches!]
 C = superficie fessurata
 P = superficie buche e irregolarità

PROCEDIMENTI COSTRUTTIVI



CORPO DEL RILIEVO → COSTRUITO a strati orizzontali, usuali, $S \geq 2 D_{MAX}$, pendenza $\geq 4\%$.
 ↳ UVERSALITÀ
 ↳ Se pendenza $> 15\%$ → vanno eseguite prodotture



RIBONIFICAMENTO MATERIALI GRANULARI:

in base: u_B, v_B scelta: u_S, v_S con $v_S > v_B$
 $\gamma_B = \frac{u_B}{v_B}$ $\gamma_S = \frac{u_S}{v_S}$ FATTORE DI CORREZIONE $f_c = \frac{\gamma_S}{\gamma_B}$ FATTORE DI RIBONIFICAMENTO $F_R = 100 \frac{\gamma_B - \gamma_S}{\gamma_S}$

MISCELE BITUMINOSE → MISCELE BITUMINOSE → COSTRUTTIVO → PAVIMENTO → RULLO COSTRUTTIVO (STATI IDEALI, PG RIPETIBILE)

INTERAZIONE TERRA-H2O: SOLUZIONE $\Delta u = u_{ATH} - u_w$ Differenza di pressione tra H2O e atmosfera (dopo H2O è attratta dalle particelle)
 $\psi = \frac{u_{ATH} - u_w}{\pi}$ $\Delta u = \frac{T}{R}$ T = tensione superficiale
 ↳ dato ai processi che entrano in soluzione -

RISERVA H2O nei capillari $h_{max} = 1,2 \mu$ per ϕ zomeron.
 PRINCIPIO SCORRI EFFICACI per terreni permeabili sotto $\sigma' < \sigma - u_{ATH} + \chi(u_{ATH} - u_w)$
 Tenere → letto SISTEMA A FASI: Ansa, H2O, Tenere, H2O adsorbito, pollicolare → MONTE SEMPLICE 3 FASI: Ansa, H2O, Tenere

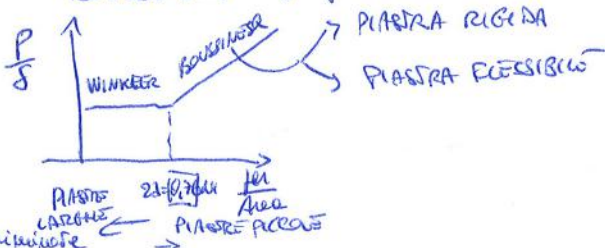
STRADE CONTROLLO BENEFITA' IN SITO

Se sono buca e si essano
tutte confettate → Mu, W

si una bottiglia, l'acqua e mesata; allora colata.
Volume buca $V = \frac{M_{solida\ usata} - M_{solida\ in\ situ} - M_{prova}}{\rho_s, colata}$
BENEFITA' $\rho_{eff} = \rho_s = \frac{Mu}{V(1 + \frac{W}{100})}$

PORTAUA

WINKLER → sottopiede costituito da malle → sovrastuttura PLOVA
BOUSSINESQ → sottopiede rappresento continuo, elastico, omogeneo, isotropo → sovrastuttura PLOVA
Sottopiede con
SEMI-RIGIDA
PASTIGLIE



Controlli di PORTAUA

METODI

- EMPIRICI - Trave di Benkelman
- PROVA CBR
- RAZIONALI - PROVA DI PIASTRA
 - STATICA (Carico costante nel tempo)
 - DINAMICA
- PROVA DI MODULO RESISTENTE

PROVA CBR

- Comprende confetto di dischi Pb per simulare fessure delle pavimentazioni.
- Prova a velocità di deformazione costante
- Si misurano carichi P e cedimenti dell'ago δ
- Si disegna P- δ

CORRELAZIONE COSTIPAMENTO - PORTAUA
Il max delle curve CBR è poco influenzato
dalla curva P- δ → una piccola diminuzione
W durante COSTIPAMENTO non produce effetti negativi!

PROVA DI PIASTRA STATICA IN SITU

COSTANTE DI REAZIONE K (morta 76cm)

$K = \frac{\Delta p}{\Delta s} \left[\frac{N}{mm^3} \Rightarrow 10^3 \frac{MN}{m^3} \right]$ $\Delta s = \text{cedimenti differenziali}$

mediante 10kPa - carico 30kPa → $\Delta p = 0,70 \text{ MPa}$

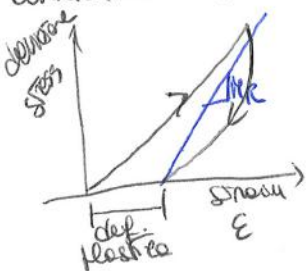
MODULO DI DEFORMABILITA' M_d

$M_d = \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot d \text{ [MPa]} \quad | \quad d = 30 \text{ cm}$

M_d è una misura effettiva della rigidezza E a mezzo di una costante!

PROVA DI MODULO RESISTENTE M_R

COMPRESAMENTO MECCANICO INTERIAMI GRANULARI →



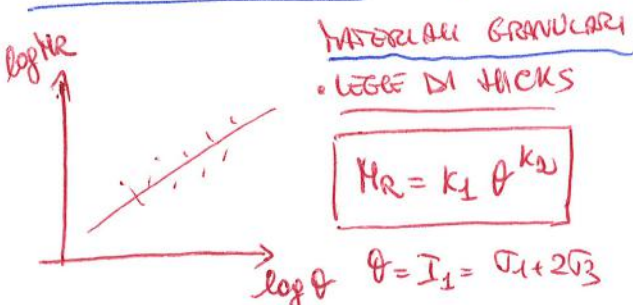
M_R è un modulo secante si misura sullo stress-def. recuperata = def. permanente. Ad ogni ciclo la parte elastica aumenta → cedimenti eccessivi

ELASTO-PLASTIC (NON-LINEAR!)

Prove in celle triassiali. Si applica deviatore $\Delta q = \sigma_1 - \sigma_3 = \Delta \sigma_d$. Si eseguono 500-1000 cicli carichi e scarichi. Ogni almeno 5 cicli si misura M_R

$M_R = \frac{\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)}{\epsilon_{1,2,3}} = \frac{\Delta \sigma_d}{\epsilon_{1,2,3}} = \frac{\text{tenore deviatorico}}{\text{def. verticale residue}}$

MODULO COSTITUTIVO della prova



STRADE PROPRIETA' LEGANTI BITUMINOSI

LEGANTI BITUMINOSI:

- **BITUME**: miscela di idrocarburi paraffinici e aromatici, derivata dal greggio di petrolio, emette fumi oleosi, solubile nel solfuro di carbonio CS₂.
- **ASFALTO**: materiale naturale derivato dalla frantumazione di rocce o spalmate che contengono, o sono impregnate di bitume naturale (alcune impregnate di bitume).
- **ASTRANE**: derivato dalla distillazione secca del carbon fossile con idrocarburi aromatici, emette fumi aromatici → CANCEROGENO (la Pece è un carbone). Usato in Italia.

PRODUZIONE: sono il residuo del residuo della lavorazione del greggio - in particolare sono il residuo della lavorazione retro-ovato.

COMPOSIZIONE DEI BITUMI:

SISTEMA COLLOIDALE DI NEUSTEYIN:

SAPORI
AROMATICI + metalli pesanti
RESINE che conferiscono proprietà
e comportamenti differenti
ASFALTENI ↳ dipendenti dal greggio!

PROPRIETA' BITUMI:
• Buona lavorabilità alle alte T 130°C - 180°C
• Comportamento viscoso
• Capacità di autolubrificazione
• Viscosità

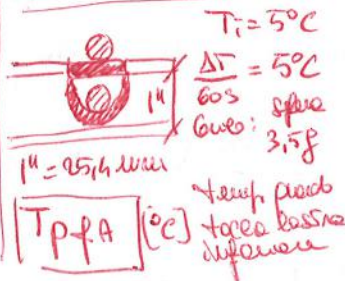
PENETRAZIONE

PENETROMETRO: T = 25°C cost
Carico = 100g
t. di carico = 5s

pen (mm) affievolimento dell'agg.
Bitume pen ↑ → Tenerezza + basso
pen ↓ → Tenerezza + alta

RANFOLLAMENTO

PROVA PUNA E ANICO



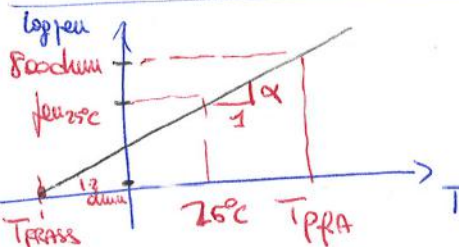
FRAGURA

PROVA FRASS

pesa di metallo metallica
da 9,4g di bitume
T_i = 10°C
ΔT = -1°C
60s

TFRASS temperatura prob. prob. campione fessura.

SUSCETTIVITA' TERMICA DEI BITUMI



SUSCETTIVITA'

$$\alpha = \frac{\log pen_{25^\circ C} - \log pen_{T}}{T_{PPA} - 25^\circ C} = \frac{\log pen_{25^\circ C} - \log pen_T}{T_{PPA} - T}$$

INDICE DI PENETRAZIONE

$$IP = \frac{20 - 500\alpha}{500\alpha + 1} \quad -2 \leq IP \leq 2$$

MODULO DI RIGIDEZZA del BITUME (STIFFNESS)

$S_b = \frac{\sigma}{\epsilon(t, T)}$
Comp. viscosità

ABACO DI VAN DER POEL

- ① Tempo di carico [s o Hz]
- ② Differenza T_{PPA} e T (che rivale accendere) S_b
- ③ Indice di penetrazione IP
→ S_b [Pa]

RESTITUZIONE ANALITICA

$$S_b [Pa] = 1,157 \cdot 10^{-7} \cdot t^{-0,368} \cdot e^{-IP} \cdot (T_{PPA} - T)^5$$

vale solo se -1 < IP < +1
0,01 s ≤ t ≤ 0,1 s
10°C ≤ ΔT ≤ 70°C

STRADI METODO DEGLI SPessori EQUIVALENTI - TEORIA DI OSBARK

21.000000 Flessione di uno strato $\propto \frac{h^3 E}{1-\nu^2}$ 2 strati sono equivalenti se $\frac{h_1^3 E_1}{1-\nu_1^2} = \frac{h_2^3 E_2}{1-\nu_2^2}$

Se invece $H_{eq} = h_1 \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}}$ $\frac{h_1, E_1, \nu_1}{h_2, E_2, \nu_2} \rightarrow \frac{H_{eq}, E_2, \nu_2}{h_2, E_2, \nu_2} \rightarrow$ Sono due strati omogenei \rightarrow uno strato di fatto \hookrightarrow si possono usare eq. Bernoulli.

In generale $H_m = \sum_{i=1}^m \mu_i h_i \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_{m+1}}}$

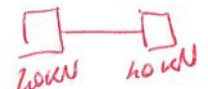
- NOTE:
- $E_i > E_{i+1} > \dots > E_m$
 - $E_i > 2 \cdot E_{i+1}$
 - if μ calcolato con Bernoulli vale solo nell'interno dell'interfaccia degli strati.
 - $H_{eq} > d$ (rapporto spessore di base)
 - $\mu_i = 0,8$ mat. pannello e ceph. \hookrightarrow Bernoulli
 - $\mu_i = 0,8$ materiali misti e cemento
 - $\mu_i = 1,1 \left(\frac{d}{h_i}\right)^{0,3}$ per il 1° strato

NB Ripetizioni di base le considero

E_1	STRATI DI BASE $E_i > 2 E_{i+1}$ non viene scollato
E_2	
E_3	Si considera $H = h_1 + h_2 + h_3$ e $E = E_3$ della base.

CARICHI E OMOGENEIZZAZIONE

si considera caso di riferimento \rightarrow dati proprio carico \rightarrow danno elementare
 danno elementare in termini di \rightarrow RESSURAZIONE \rightarrow danno per fessura
 \rightarrow INTEGRAMENTO \rightarrow Carico netto $\frac{1}{2} = \frac{254}{2}$

H_p : unità di riferimento ASSE STANDARD 20kN  1 kips = 4,5 kN

- effetti prodotti espressi in termini di danno
- il danno è una funzione relativa
- il danno unitario d_s è riferito all'asse standard.
- i danni si sommano su modo lineare fino a raggiungimento condizione di insostenibilità per fessurazione o scorrimento.

TEMA OMOGENEIZZAZIONE DEI CARICHI

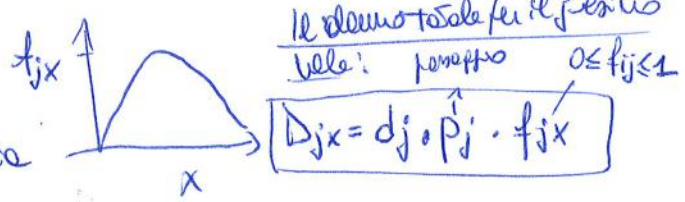
N_j n° di applicazioni del j-esimo carico che fanno a ridurre il momento

$d_j = \frac{1}{N_j}$ danno elementare di un carico del j-esimo carico

$F_j = \frac{d_j}{d_s}$ COEFFICIENTE DI EQUIVALENZA tra j-esimo carico e uno standard (S)

Esempio $N_1 = 1000000 \Rightarrow d_1 = 10^{-6}$ $N_2 = 2000000 \Rightarrow d_2 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ $F_1 = \frac{d_1}{d_s} = 2$

Nel caso di circolazione libera i carichi variano in modo casuale lungo le corsie e verso e secondo della direzione dell'asse centrale via



GRABE DIMENSIONAMENTO STRUTTURA

- > Metodi Empirici
- > Metodi Razionali
- ↳ Temperature locali -> n divisioni per mese (t medio mensile) T_k
- > s: numero giorni festivi (T+ altre componenti di interesse specifico per mercato) F_k -> n medio per stagione f_j -> n determinato temperature medie ore per stagione T_{ij}

Temperature per mese

FORMULA DI WITZGAB
 z_i in velocità $\frac{e}{3} h$ dello stato a bitume.

$$T_{ij}(z) = (1,467 + 0,043 \cdot z_i) + (1,362 - 0,005 \cdot z_i) \cdot T_j$$

z_i in cm $i =$ strada $j =$ stagione

SETTO FONDO

Modulo di riporto $E_s = 10 \cdot CBR = 2 Md$ [MPa]
 $E_s = M_r$ [MPa]

FONDAZIONE

Misto granulare FORMULA DI KLOPP

$$E_f = 0,206 \cdot h^{0,45} \cdot E_s$$

[MN/m²]

VERIFICA

FESSURAZIONE PER FATICA

$$N_{FA} = f_1 \cdot (E_{1,A})^{f_2}$$

no di fessure per standard che perdono o collano per fatica (50% ore fessure)

$f_1 = 1,92 \cdot 10^{-14}$ $f_2 = -1,76$

verifica



ACCUMULO DI DEFORMAZIONE PERMANENTE

$$N_{DP} = f_3 \cdot (E_{3,V})^{f_4}$$

no fessure per standard che perdono ed oltre una h dell'umidità per $\frac{1}{2} h$

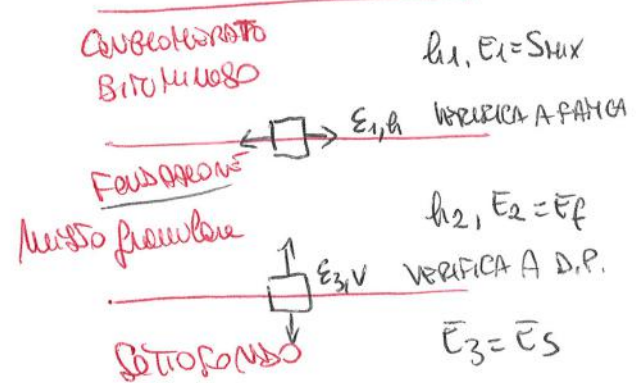
$f_3 = 1,05 \cdot 10^{-7}$ $f_4 = -4$

VERIFICA legge di accumulo lineare del danno

LEGGE DI MULLER

$$\sum_{i=1}^k \frac{M_i}{N_i} \leq 1$$

no di standard nelle i-lesioni stagione $M_i = \frac{M_s}{h}$
 no di standard FA ODP nelle stagione considerate



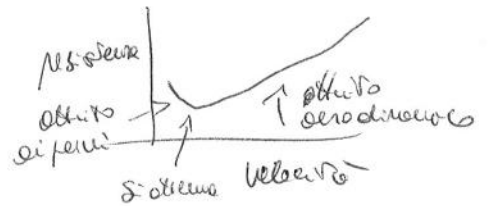
MECCANICA DELLA LOCOMOTIONE

Rotonda alle ruote $[W_R = w_R \cdot H_R = 2\pi N \cdot H_R = w_R \cdot r \cdot T = T \cdot V]$

RESISTENZE ORDINARIE VEICOLI FERROVIARI

Formula Rimowa $t_{ord, F} = a + bV^2 + cV$

o Formula Brnoia $t_{ord} = a + b \left[\frac{V}{KN} \right]^2$



RESISTENZE ADDIZIONALI:

• LIVELLATA

$R_i = \frac{P \cdot i}{N \cdot KN \cdot \%0}$

$t_r = i$ $i = \text{fond}$ α

LIVELLATA
Pendenza

$i_c = t_c + t_i = t_c + i$

Pendenza
Compensata

• CURVA

VAN ROCKE

$t_c = \frac{M}{R - M}$
 $\left(\frac{N}{KN} \right) \quad \left(\frac{M}{CM} \right)$

Linee divise in sezioni decise e $i_c = \text{costante} \Rightarrow$ 31 GRADI DI PRESTAZIONE

Soluzioni di compensazione
Compensazione

TRAZIONE

$T = \frac{W - \text{forzi}}{V} = \frac{H_r}{T} = \frac{C - \text{Costo}}{T} \text{ Meccanica}$

ADERENZA

$A \leq f_a \cdot P_a$ f_a molto piccolo per le ferrovie

Valore la relazione

$f_{a, \text{sicuro}} = 0,8 f_a, \text{Asciutto}$

f_a , sicuro da usare in progetto

MASSO SU LIVELLATE

$i_{max} = \min(i'_{max}, i''_{max}) = \begin{cases} i'_{max} = \frac{W_{max}}{V} - R_{ord} \\ i''_{max} = f_{a, \text{sicuro}} \cdot P_L - R_{ord} \end{cases}$

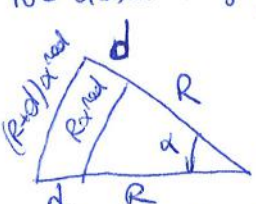
$P_c = \text{peso carrello}$
 $P_L = \text{peso locomotore}$

RISERVA MINIMO FERROVIARIO

Criteri:
• P_c insufficiente bordo
• insufficiente carichi

ANTISFREGAMENTO BORDINO

$t_1 = t_0 + \Delta t_{aug}$ $t_2 = t_0 - \Delta t_{aug}$
 $t_0 = 0,5 m$ $\Delta t_{aug} = \frac{1}{20}$ $d = 1,5 m$ $\Delta = 15 mm$



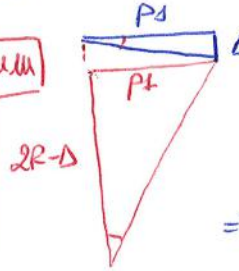
Spazio per carichi a
neve di ghiaccio;
 $M \cdot 2R \cdot t_1 = (R \cdot d) / \alpha \cdot \text{rad}$
 $M \cdot 2R \cdot t_2 = R \cdot \alpha \cdot \text{rad}$

$\Rightarrow \frac{t_1}{t_2} = 1 + \frac{d}{R} \Rightarrow \frac{t_0 + \Delta t_{aug}}{t_0 - \Delta t_{aug}} - 1 = \frac{d}{R}$
 $\frac{t_0 + \Delta t_{aug} - t_0 + \Delta t_{aug}}{t_0 - \Delta t_{aug}} = \frac{d}{R} \Rightarrow \frac{2 \Delta t_{aug}}{t_0 - \Delta t_{aug}} = \frac{d}{R}$

$R_{min} = \frac{t_0 - \Delta t_{aug}}{2 \Delta t_{aug}} \cdot d$ $R_{min, \text{min}} = 430 m$

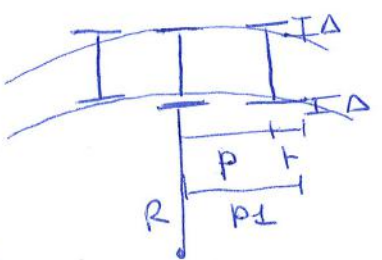
INSERIMENTO CARRELLI

Carro e 3 sole ruote
SINCRONIZZAZIONE TRA TRIANGOLI



$\frac{\Delta}{P1} = \frac{P1}{2R - \Delta}$
 $\Rightarrow \Delta = \frac{P1^2}{2R - \Delta} \approx \frac{P1^2}{2R}$

$R_{min} = \frac{P1^2}{2\Delta}$



$R_{min} = 533 m$ Compensato

$R_{min} = 375 m$ $\text{con } \Delta_s = \Delta_{s, \text{max}} = 30 mm$

Popolo minimo con senescenza in curva.

VELOCITA' DI RIFORMAMENTO PER LA PROFITA SECONDA

Se mescoliamo due tipi dell'ep. di equilibrio otteniamo una serie di velocità in velocità gli elementi.

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

sostituendo

VELOCITA' LIMITE V_{UH} : per una curva di raggio R , dove $H = H_{max}$ e $a_{c,me}$

$$V_{UH} = \sqrt{R \left(\frac{g}{d} H_{max} + a_{c,me} \right)} \Rightarrow V_{UH} = 4,62 \sqrt{R} \left[\frac{km}{h} \right]$$

VELOCITA' DI PASSEGGIO V_E : per curve di $R = R_{min}$ di una tratta [tratta: $L > 2000m$ e $\Delta V_{tratta} < 60 \frac{km}{h}$]

$$V_E = \sqrt{R_{min} \left(\frac{g}{d} H_{max} + 0,6 \frac{m}{s^2} \right)} \Rightarrow V_E = 4,62 \sqrt{R_{min,t}} \left[\frac{km}{h} \right]$$

VELOCITA' DI RANGO A, B, C, P : velocità potenziali per cui può essere percorsa una tratta con valori prefissati dei notabili senza sollecitazioni nocive sull'infrastruttura

RANGO	$a_{c,me}$	V_R
A	0,6	$V_A = V_E$
B	0,8	$V_B = 1,06 \cdot V_E$
C	1,0	$V_C = 1,11 \cdot V_E$
P	1,8	$V_P = 1,31 \cdot V_E$

$$V_R = \sqrt{R \left(\frac{g}{d} H_{max} + a_{c,me} \right)} \sim V_R = k \cdot V_E$$

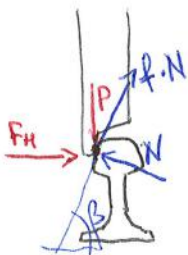
VELOCITA' DI FIANCATA V_C : velocità max ed effettive per una tratta, e diverse a seconda del tipo del notabile, in relazione allo stato di manutenzione linea e caratteristiche costruttive (convenimento e capo strada)

$$V_C \leq V_R$$

VELOCITA' DI ORARIO V_o : velocità di percorrenza dei treni $V_o < V_C$ affinché sia possibile un numero discreto di treni di accumulo.

Risultano sempre $V_o < V_C \leq V_R \geq V_E$

VERIFICA ALLO SVI



F_H = forza orizzontale (F_c)
 N = reazione della rotaia
 $f \cdot N$ = attrito ruota-rotaie
 β = angolo basale con orizzontale $\beta \approx 65^\circ$

Eg. equilibrio lungo piano di scivolamento:

$$F_H \cdot \cos \beta + f \cdot N \leq P \cdot \cos (90 - \beta)$$

$$N = P \cdot \sin \beta + F_H \cdot \cos (90 - \beta)$$

$$F_H \cdot \cos \beta + f \cdot P \cdot \sin \beta + f \cdot F_H \cdot \sin \beta \leq P \cdot \sin \beta$$

$$F_H + f \cdot P + f \cdot F_H \cdot \tan \beta \leq P \cdot \tan \beta$$

$$F_H (1 + f \cdot \tan \beta) + P (f - \tan \beta) \leq 0$$

Da cui si ricava
EQUAZIONE DI POULST

$$\frac{F_H}{P} \leq \frac{\tan \beta - f}{1 + f \cdot \tan \beta}$$

$\beta = 65^\circ$
 $f = 0,25$ acciaio
 $f = 0,15$ legno

$$\frac{F_H}{P} \leq \begin{matrix} 1,03 & \text{acciaio acciaio} \\ 1,25 & \text{acciaio legno} \end{matrix}$$

VELOCITA' DI DERAGLIAMENTO
 $F_H < P \Rightarrow v_s = \sqrt{gR} \Rightarrow v_s = 11,27 \sqrt{R}$

INFRASTRUTTURE VIARIE

AEROPORTI

Nome ICAO International Civil Aviation Organization
 FAA Federal Aviation Administration.

Area di volo Runway
 Pista di rullo Taxiway
 Area di attesa
 Pista

CARATTERISTE VEICOLI

- Dimensioni:
 - Sp. dala
 - apertura dala
 - lunghezza
 - peso

ROSS:

MTOW Maximum Take off Weight.

GRUPPE di FASE: Canello posteriore (posteriore) + canello secondario (anteriore)

OSS. ang. d'attacco di sterozono $\alpha_{max} = 70^\circ$

TIPOLGIE: mesolo, puledro, fento volo.

CLASSIFICAZIONE AEROPORTI ICAO

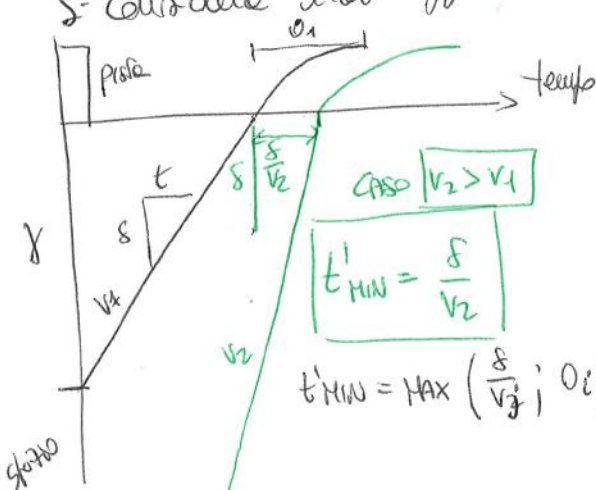
lunghezza di corsa caratteristica: è la minima distanza di decollo richiesta dall'aereo curvo al massimo carico, a livello mare, in assenza di vento, condizioni atmosferiche standard (15°C) e con procedure piste longitudinali parallele!
 2 distese: • Pare (T, alternative sol mare)
 • Federa longitudinali piste

CARICE: Alzamento: 1:4 lunghezza cort. piste
 A: F manome rullo e perleppo

Area curvo: è l'area che più contrasta le permeare delle infrastrutture di volo.

CARRERA

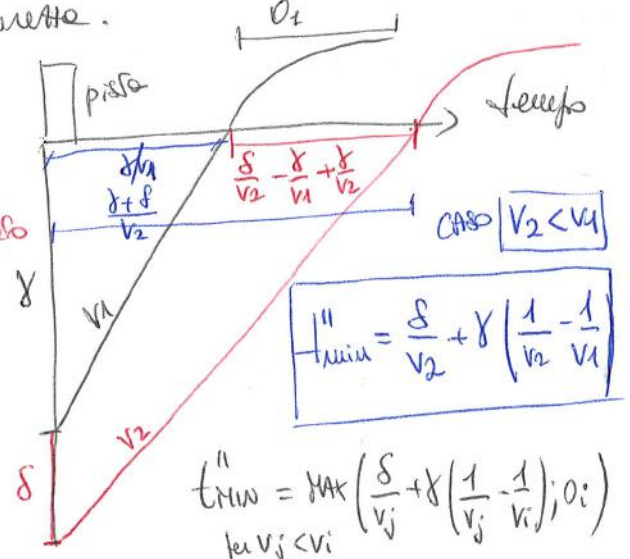
minimo no di operazioni (atterraggio; decollo) nell'unità di tempo.
 S: Considera l'atterraggio → a fine di semita.



$$t'_{MIN} = \frac{s}{v_2}$$

$$t'_{MIN} = \max\left(\frac{s}{v_2}; 0; \right) \text{ per } v_2 > v_1$$

f = lunghezza minima di accelerazione
 s = distanza minima tra velocità



$$t''_{MIN} = \frac{s}{v_2} + \gamma \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right)$$

$$t''_{MIN} = \max\left(\frac{s}{v_2} + \gamma \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right); 0; \right) \text{ per } v_2 < v_1$$