

Calcolo sovrastruttura

$$P := 50 \cdot \text{kN}$$

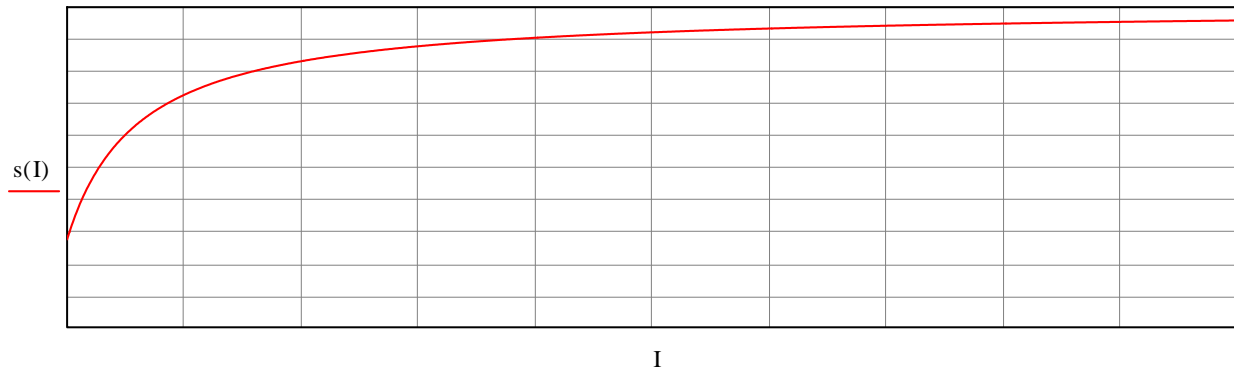
carico su ruota

$$q := 4.5 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

pressione di gonfiaggio

$$s(I) := \frac{100 + 150 \cdot \sqrt{\frac{P}{10 \cdot \text{kN}}}}{I + 5} \cdot \text{cm}$$

funzione spessore-CBR



$$I_s := 8$$

CBR terreno ($E < 300 \text{ daN/cm}^2$)

$$s(I_s) = 0.33 \text{ m}$$

$$s := 40 \cdot \text{cm}$$

spessore globale sovrastruttura

$$I_1 := 30$$

CBR fondazione ($P > 4.5 \text{ t}$)

$$I_2 := 63$$

CBR base ($P > 4.5 \text{ t}$)

$$s_3 := 10 \cdot \text{cm}$$

spessore manto bituminoso

$$s_2 := \frac{s - s_3}{1 + \frac{I_2}{I_1}} = 9.68 \cdot \text{cm}$$

$$s_2 := 0 \cdot \text{cm}$$

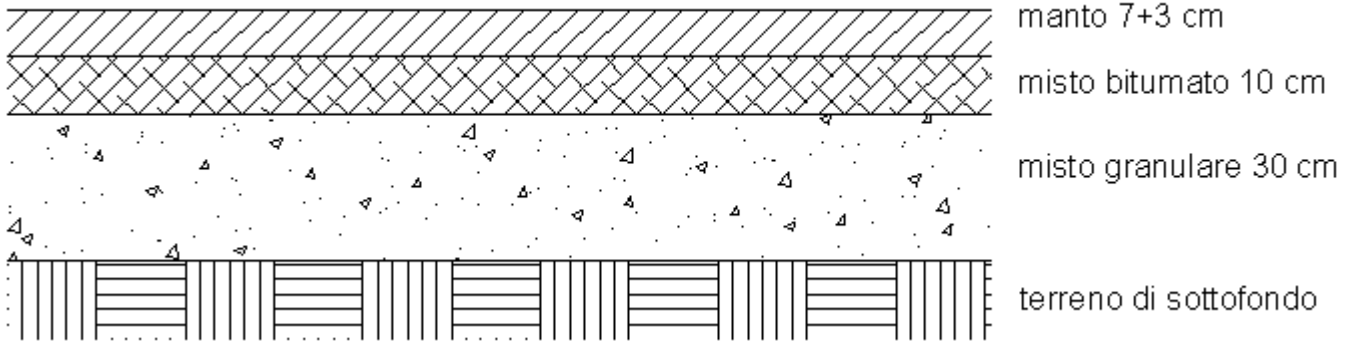
spessore base

$$s_1 := s - s_3 - s_2 = 30 \cdot \text{cm}$$

spessore fondazione

L'utilizzo del metodo CBR consente il dimensionamento della sovrastruttura. Utilizzando il metodo di Jeuffroy si può ottenere l'indice CBR del terreno di sottofondo e di conseguenza gli spessori della piattaforma. Dal calcolo deriva la possibilità di eliminare lo strato di base e porre in opera una fondazione (CBR 30%) di 30 cm. Rispetto a tali indicazioni, si porrà in opera uno strato di fondazione costituito da 30 cm di misto granulare (tout venant). Il dimensionamento della sovrastruttura viene quindi verificato mediante l'applicazione di metodi razionali (Jeuffroy - Bachelez e Biroulia-Ivanov), i quali consentono anche il confronto tra le prestazioni della sovrastruttura proposta dalla impresa rispetto alla sovrastruttura relativa al progetto posto a base di gara.

• Calcolo dei cedimenti sulla sovrastruttura proposta col progetto a base di gara - Jeuffroy-Bachelez



$$a := \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot q}} = 0.19 \text{ m} \quad \text{raggio dell'impronta di carico}$$

$$E_0 := 65 \cdot I_s^{0.65} = 251.14 \quad \text{modulo per sottofondo con CBR 8\%} \quad E_0 := 250 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad \text{modulo imposto per sottofondo}$$

$$E_1 := 3000 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad s_1 := 30 \cdot \text{cm} \quad \text{modulo misto granulare}$$

$$E_2 := 10000 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad s_2 := 10 \cdot \text{cm} \quad \text{modulo misto bitumato (} t > 30^\circ\text{C)}$$

$$E_3 := 15000 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad s_3 := 7 \cdot \text{cm} \quad \text{modulo conglomerato bituminoso collegamento (} t > 30^\circ\text{C)}$$

$$E_4 := 17000 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad s_4 := 3 \cdot \text{cm} \quad \text{modulo conglomerato bituminoso manto (} t > 30^\circ\text{C)}$$

$$\beta_1 := \sqrt{1 + \left(0.8 \cdot \frac{s_4}{a}\right)^2} \quad \beta_2 := \sqrt{1 + \left(0.8 \cdot \frac{s_4}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_4}{E_3}}\right)^2}$$

$$\beta_3 := \sqrt{1 + \left(0.8 \cdot \frac{s_4}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_4}{E_3}} + 0.8 \cdot \frac{s_3}{a}\right)^2} \quad \beta_4 := \sqrt{1 + \left(0.8 \cdot \frac{s_4}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_4}{E_2}} + 0.8 \cdot \frac{s_3}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_3}{E_2}}\right)^2}$$

$$\beta_5 := \sqrt{1 + \left(0.8 \cdot \frac{s_4}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_4}{E_2}} + 0.8 \cdot \frac{s_3}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_3}{E_2}} + 0.8 \cdot \frac{s_2}{a}\right)^2} \quad \beta_6 := \sqrt{1 + \left(0.8 \cdot \frac{s_4}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_4}{E_1}} + 0.8 \cdot \frac{s_3}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_3}{E_1}} + 0.8 \cdot \frac{s_2}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}}\right)^2}$$

$$\beta_7 := \sqrt{1 + \left(0.8 \cdot \frac{s_4}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_4}{E_1}} + 0.8 \cdot \frac{s_3}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_3}{E_1}} + 0.8 \cdot \frac{s_2}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}} + 0.8 \cdot \frac{s_1}{a}\right)^2}$$

$$\beta_8 := \sqrt{1 + \left(0.8 \cdot \frac{s_4}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_4}{E_0}} + 0.8 \cdot \frac{s_3}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_3}{E_0}} + 0.8 \cdot \frac{s_2}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_0}} + 0.8 \cdot \frac{s_1}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_0}}\right)^2}$$

$$f_{es} := \frac{1.5 \cdot q \cdot a}{E_0} \cdot \left[\left(1 - \frac{1}{\beta_1}\right) \cdot \frac{E_0}{E_4} + \left(\frac{1}{\beta_2} - \frac{1}{\beta_3}\right) \cdot \frac{E_0}{E_3} + \left(\frac{1}{\beta_4} - \frac{1}{\beta_5}\right) \cdot \frac{E_0}{E_2} + \left(\frac{1}{\beta_6} - \frac{1}{\beta_7}\right) \cdot \frac{E_0}{E_1} + \frac{1}{\beta_8} \right] = 0.95 \cdot \text{mm}$$

- **Calcolo dello stato tensionale sulla sovrastruttura proposta col progetto a base di gara Jeuffroy-Bachelez**
Il metodo prevede la presenza di tre soli strati: manto, base e fondazione. I valori P e D si estrapolano dall'abaco allegato.

$$E_{\text{sott}} := 250 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad \text{modulo elastico sottofondo}$$

$$E_{\text{fond}} := E_1 \quad s_{\text{fond}} := s_1$$

$$E_{\text{base}} := E_2 \quad s_{\text{base}} := s_2$$

$$\alpha := \frac{s_{\text{fond}}}{a} = 1.6 \quad \beta := \frac{s_{\text{base}}}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{\text{base}}}{6 \cdot E_{\text{fond}}}} = 0.44$$

$$D := 1.2 \quad P_1 := 0.1$$

$$\sigma_{\text{es}} := \frac{D \cdot q}{\frac{2}{\left(\frac{E_{\text{fond}}}{E_{\text{base}}}\right)^3}} = 12.05 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad \text{flessione sul manto}$$

$$p_{\text{max.es}} := q \cdot P_1 = 0.45 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad \text{pressione all'interfaccia sottofondo - fondazione}$$

- **Calcolo modulo elastico, sovrastruttura proposta col progetto a base di gara, Biroulia-Ivanov**

$$\gamma := \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 = 2.47 \quad n := \left(\frac{E_1}{E_0}\right)^{\frac{1}{2.5}} = 2.7$$

$$E1_e := \frac{E_0}{1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right) \cdot \text{atan}\left(\frac{s_1}{2 \cdot a} \cdot n \cdot \sqrt{\gamma}\right)} = 1201.56 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad n_1 := \left(\frac{E_2}{E1_e}\right)^{\frac{1}{2.5}} = 2.33$$

$$E2_e := \frac{E1_e}{1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{n_1^{3.5}}\right) \cdot \text{atan}\left(\frac{s_2}{2 \cdot a} \cdot n_1\right)} = 1807.85 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad n_2 := \left(\frac{E_3}{E2_e}\right)^{\frac{1}{2.5}} = 2.33$$

$$E3_e := \frac{E2_e}{1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{n_2^{3.5}}\right) \cdot \text{atan}\left(\frac{s_3}{2 \cdot a} \cdot n_2\right)} = 2401.25 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad n_3 := \left(\frac{E_4}{E3_e}\right)^{\frac{1}{2.5}} = 2.19$$

$$E4_e := \frac{E3_e}{1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{n_3^{3.5}}\right) \cdot \text{atan}\left(\frac{s_4}{2 \cdot a} \cdot n_3\right)} = 2676.62 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad \boxed{E4_{e.es} := E4_e}$$

- **Calcolo dello stato tensionale, sovrastruttura proposta col progetto a base di gara Biroulia-Ivanov**

$$s_{e4} := s_4 \cdot \left(\frac{E_4}{E_3} \right)^{\frac{1}{2.5}} = 3.15 \cdot \text{cm}$$

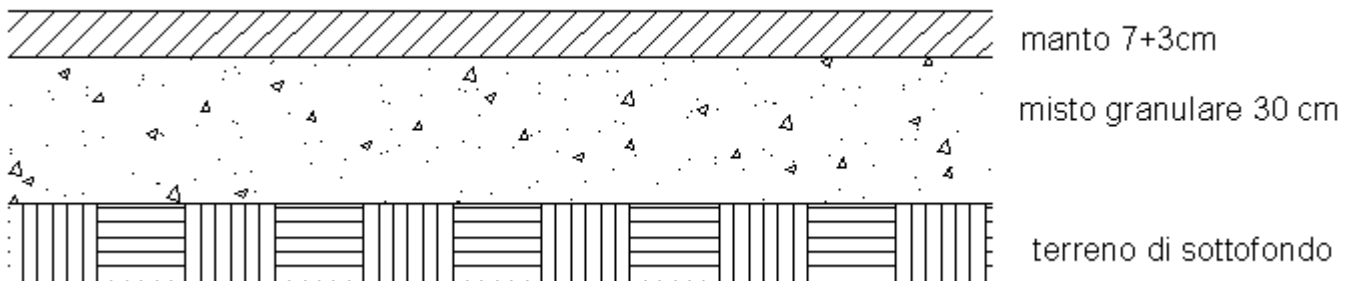
$$s_{e3} := (s_{e4} + s_3) \cdot \left(\frac{E_3}{E_2} \right)^{\frac{1}{2.5}} = 11.94 \cdot \text{cm}$$

$$s_{e2} := (s_{e3} + s_2) \cdot \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{\frac{1}{2.5}} = 35.52 \cdot \text{cm}$$

$$s_{e1} := (s_{e2} + s_1) \cdot \left(\frac{E_1}{E_0} \right)^{\frac{1}{2.5}} = 177.02 \cdot \text{cm}$$

$$\sigma_{1.es} := \frac{q}{1 + \left(\frac{s_{e1}}{2 \cdot a} \right)^2} = 0.19 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

- **Calcolo dei cedimenti sulla sovrastruttura a proposta dalla impresa, Jeuffroy-Bachelez**



Rieseguendo il calcolo con i valori relativi agli strati della sovrastruttura proposta dalla impresa si ottiene:

$$f_{\text{mig}} = 1.24 \cdot \text{mm}$$

Indicando col pedice es le deformazioni relative alla pavimentazione proposta col progetto esecutivo e col pedice mig quelle della sovrastruttura proposta dalla impresa si ha:

$$f_{\text{mig}} - f_{\text{es}} = 0.28 \cdot \text{mm}$$

L'incremento di deformazioni derivante dalla eliminazione dello strato di base è pari a 0.28 mm.

- **Calcolo dello stato tensionale, sovrastruttura proposta dalla impresa, Jeuffroy-Bachelez**

Rieseguendo il calcolo con i valori relativi agli strati della sovrastruttura relativa al progetto proposto dalla impresa si ottiene:

$$\sigma_{\text{mig}} = 13.16 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \text{ flessione sul manto}$$

$$p_{\text{max.mig}} = 0.5 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \text{ pressione sul sottofondo}$$

Indicando col pedice es gli sforzi relativi alla pavimentazione proposta col progetto a base di gara e col pedice mig quelle della sovrastruttura proposta dall'impresa si ha:

$$\left(\sigma_{\text{mig}} - \sigma_{\text{es}}\right) = 1.11 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

$$\left(p_{\text{max.mig}} - p_{\text{max.es}}\right) = 0.05 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

L'incremento degli sforzi dovuto alla diversa stratigrafia della sovrastruttura, calcolato mediante il metodo Jeuffroy-Bachelez, all'interfaccia sottofondo - strato di fondazione è pari a 0.05 daN/cm², sul manto 1.11 daN/cm².

• **Calcolo modulo, sovrastruttura proposta dalla impresa, Biroulia-Ivanov**

Rieseguendo il calcolo con i valori relativi agli strati della sovrastruttura del progetto definitivo si ottiene:

$$E4_{\text{e.mig}} := E4_{\text{e}} = 1922.33 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

• **Calcolo dello stato tensionale, sovrastruttura proposta dalla impresa, Biroulia-Ivanov**

Rieseguendo il calcolo con i valori relativi agli strati della sovrastruttura proposta dalla impresa:

$$\sigma_{1.\text{mig}} = 0.33 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

Nel metodo Biroulia - Ivanov il modulo equivalente della sovrastruttura deve essere maggiore di un modulo elastico di progetto, calcolato rispetto all'entità di traffico pesante. Nel caso specifico si farà riferimento al peggiore tra i dati seguenti:

$$N := 750$$

assi (13 ton) / giorno, per corsia

$$f := (0.17 - 0.026 \cdot \log(N)) \cdot \text{cm} = 0.95 \cdot \text{mm}$$

freccia massima consentita

$$E_{\text{prog}} := \frac{q \cdot 2 \cdot a}{f} = 1777 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

modulo elastico di progetto

La letteratura fornisce, per i nostri climi, con valori di traffico pesante considerati come autocarri aventi a vuoto peso superiore a 2.5 ton., i valori del modulo di progetto non inferiori ai seguenti:

$$E_p = 1500 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

traffico pesante limitato, < 300 veicoli / giorno

$$E_p = 2000 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

traffico pesante medio, 300 - 1000 veicoli / giorno

$$E_p = 2500 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

traffico pesante elevato, 1000 - 3000 veicoli / giorno

$$E_p = 3000 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

traffico pesante notevole, > 3000 veicoli / giorno

Indicando col pedice es le deformazioni relative alla pavimentazione proposta col progetto esecutivo e col pedice mig quelle della sovrastruttura posta a base di gara col progetto definitivo si ha:

$$f_{\text{es}} := \frac{q \cdot 2 \cdot a}{E4_{\text{e.es}}} = 0.63 \cdot \text{mm}$$

$$f_{\text{mig}} := \frac{q \cdot 2 \cdot a}{E4_{\text{e.mig}}} = 0.88 \cdot \text{mm}$$

$$f_{\text{mig}} - f_{\text{es}} = 0.25 \cdot \text{mm}$$

L'incremento delle deformazioni dovuto alla diversa stratigrafia della sovrastruttura, calcolato mediante il metodo Biroulia - Ivanov è pari a 0.28 mm.

Si noti che la verifica del modulo equivalente, rispetto a quello necessario per limitare la deflessione a 0.95 mm è soddisfatta con la pavimentazione proposta dalla impresa nonostante la severità del numero e del carico degli assi previsti nel dimensionamento.

Indicando col pedice es gli sforzi relativi alla sovrastruttura proposta col progetto posto a base di gara e col pedice mig quelle della sovrastruttura proposta dalla impresa si ha:

$$\sigma_{1.\text{mig}} - \sigma_{1.\text{es}} = 0.14 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

L'incremento degli sforzi dovuto alla diversa stratigrafia della sovrastruttura, calcolato mediante il metodo Biroulia - Ivanov, all'interfaccia sottofondo - strato di fondazione è pari al 0.12 daN/cm².

La modifica della stratigrafia della sovrastruttura provoca l'incremento dei valori tensionali e deformativi di seguito riassunti:

	Jeuffry - Bachelez	Biroulia - Ivanov
deformazione	0.28 mm	0.25 mm
σ flessione manto	1.1 daN/cm ²	-----
σ compressione sottofondo	0.05 daN/cm ²	0.14 daN/cm ²

Da quanto su esposto si desume la fattibilità della pavimentazione senza lo strato di base in misto bitumato, viste le minime variazioni di sollecitazione e deformazione sulla sovrastruttura.

