

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Relazione per la prova finale

***«Studio dei carichi e dimensionamento strutturale del longherone
dell'ala di un aliante»***

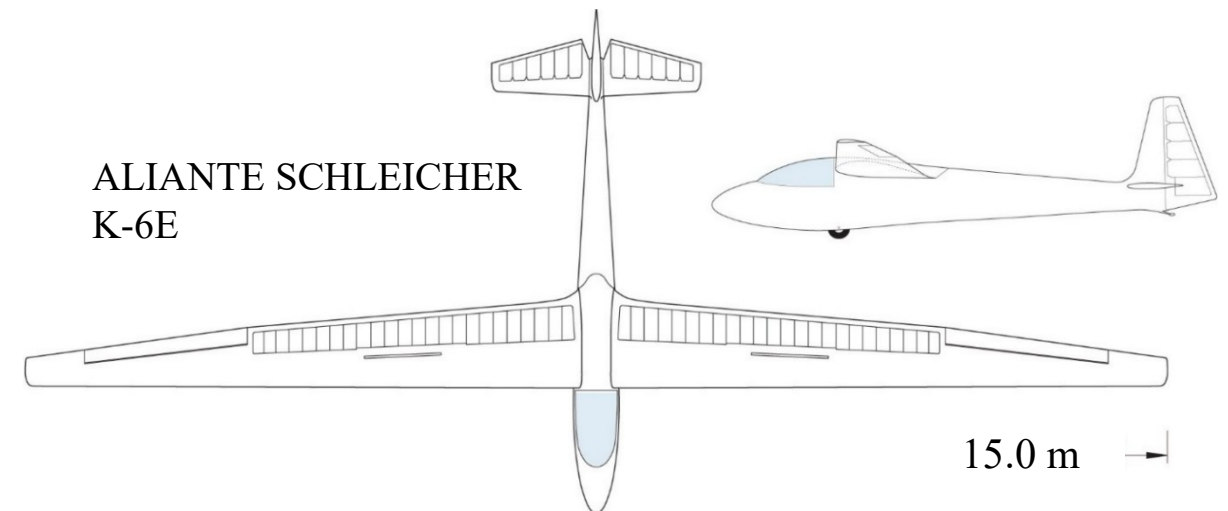
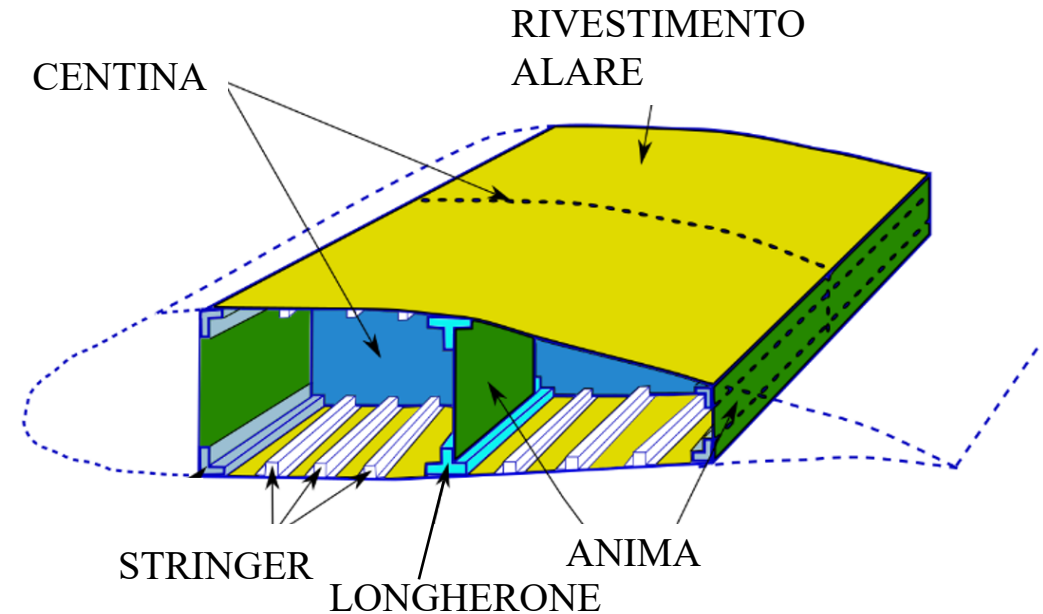
Tutor universitario: Prof. Ugo Galvanetto

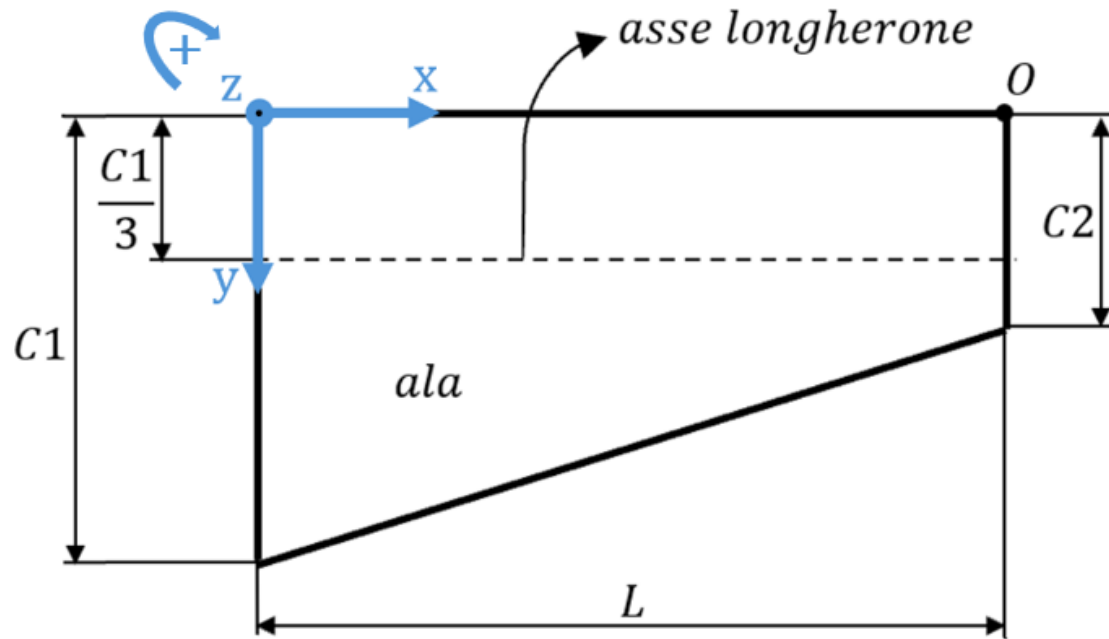
Laureando: *Lorenzo Dall'Agata*

Padova, 14/11/2025

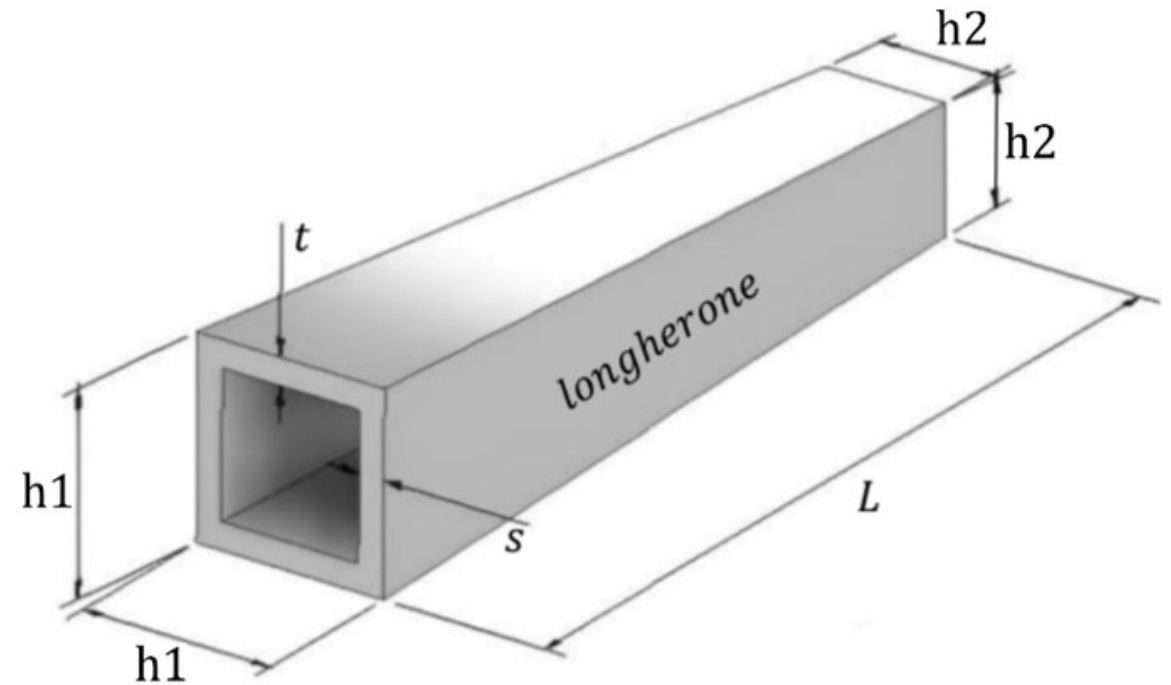
- Approfondimento delle specificità che caratterizzano l'aliante
- Definizione dei parametri geometrici per il caso in studio
- Studio dei carichi alari
- Calcolo degli sforzi: taglio, momento flettente e torcente
- Dimensionamento strutturale: ottimizzazione della sezione del longherone in relazione ai parametri geometrici dello stesso
- Discussione dei risultati ottenuti dal dimensionamento

- In questo studio si effettua il dimensionamento di massima del longherone principale, supponendo che tutti i carichi agenti sull'ala siano supportati dallo stesso
- Si considera il rivestimento dell'ala rigido e piano
- Viene considerata come superficie portante solo quella dell'ala, compresa la zona di attraversamento nella fusoliera
- Si considera che il longherone si deformi in modo trascurabile, al fine di utilizzare la teoria delle travi indeformabili.





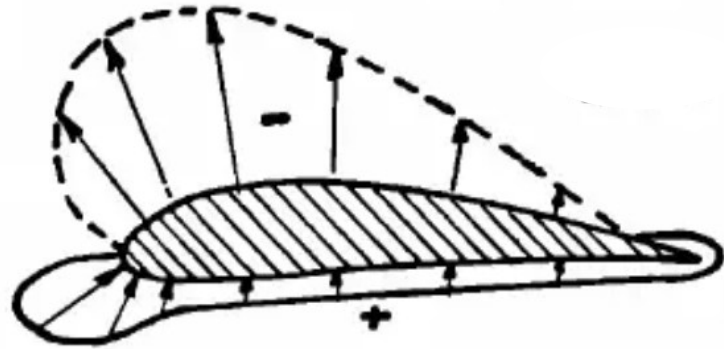
$$C(x) = C1 - \frac{C1 - C2}{L}x$$



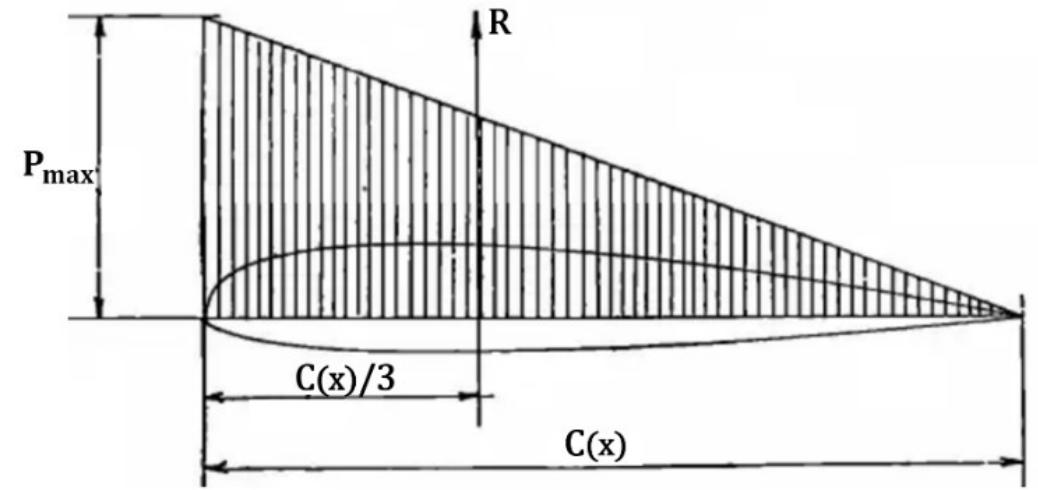
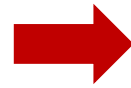
$$h(x) = h1 - \frac{h1 - h2}{L}x$$

- Si sceglie materiale AlCu4Ti ENAC211000

$$\sigma_{amm} = 146.67 \frac{N}{mm^2}$$



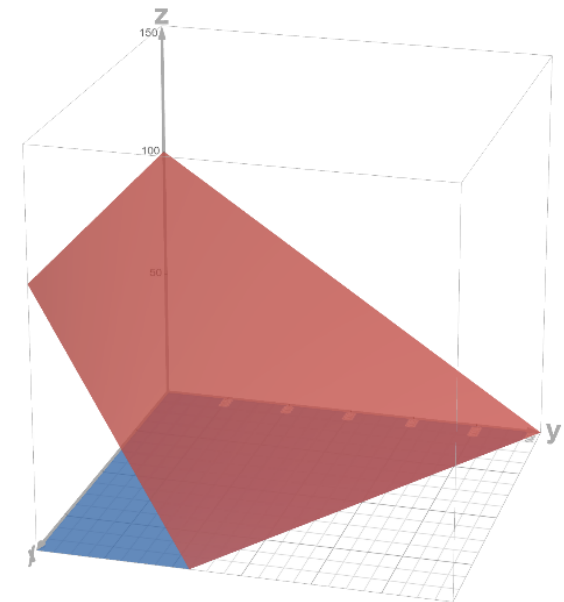
approssimazione

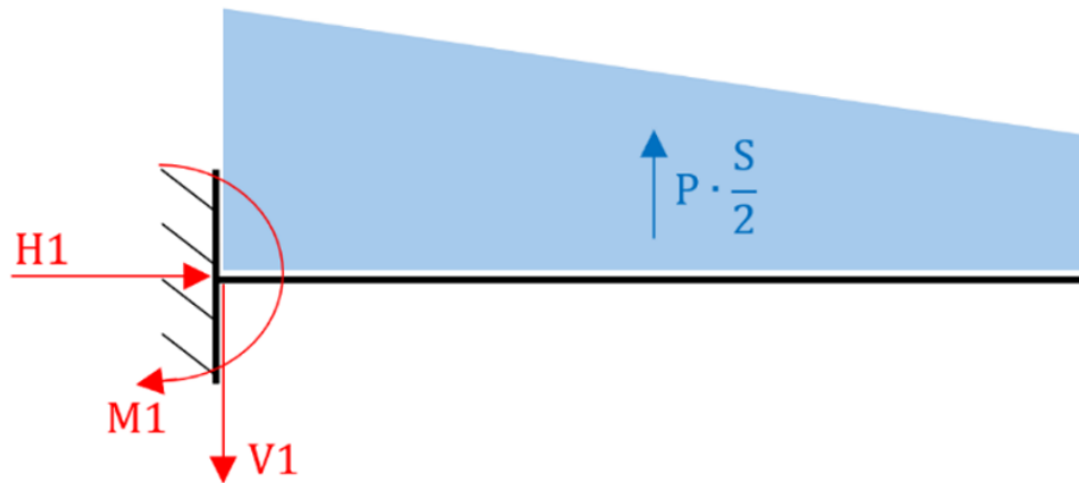


$$p(x, y) = p_{max} \cdot \left(\frac{C(x) - y}{C(x)} \right) = p_{max} \cdot \left(1 - \frac{y}{C(x)} \right)$$

$$\frac{F_{max}}{2} = \int_A p(x, y) dA = \int_0^L \int_0^{C(x)} p_{max} \left(1 - \frac{y}{C(x)} \right) dx dy = \frac{p_{max}}{4} L(C_2 + C_1)$$

$$p_{max} = \frac{2F_{max}}{L(C_2 + C_1)} = 2220 \text{ Pa}$$

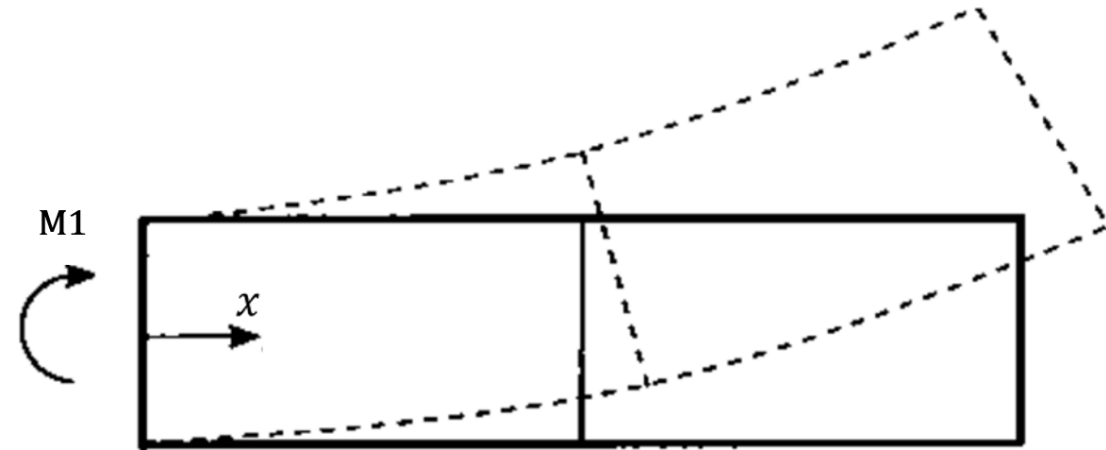




- Si può considerare il longherone come una trave incastrata nella fusoliera.
- Lo sforzo di taglio calcolato su ogni sezione è trascurabile al fine del dimensionamento.
- Si calcola la reazione vincolare V_1 , che coincide con il taglio nella sezione $x=0$

$$V_1 = P \cdot \frac{S}{2} = \frac{F_{max}}{2} = 6870 \text{ N}$$

$$p(x) = \int_0^{c(x)} p(x, y) dy = \frac{p_{max}}{2} C(x)$$



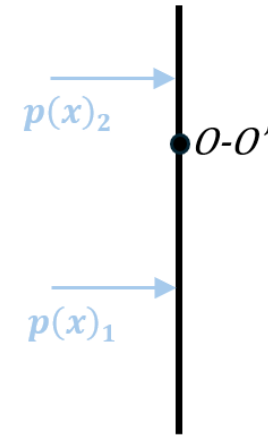
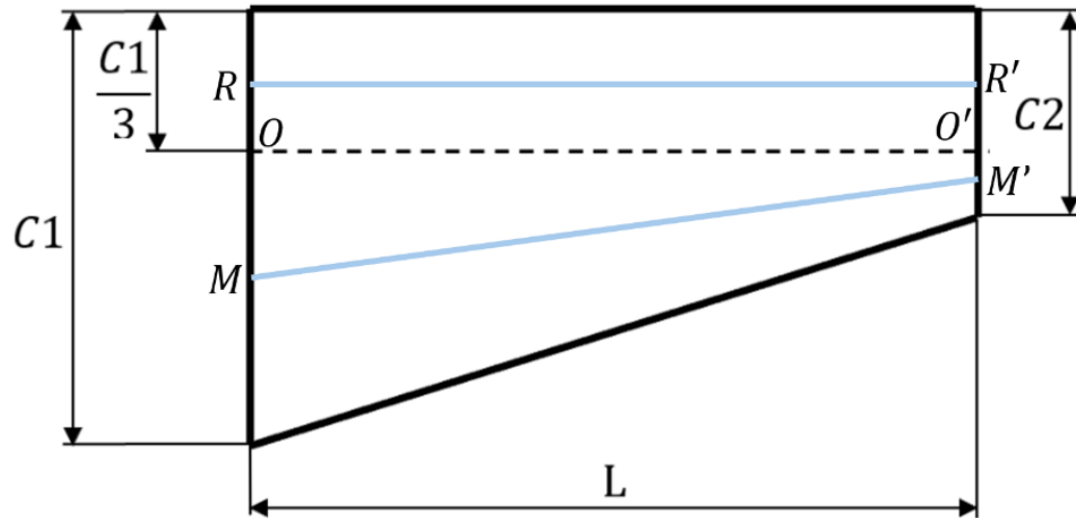
$$Mf(x) = - \int p(x)(L - x) dx$$

$$= - \int \frac{p_{max}}{2} C(x)(L - x) dx = - \frac{p_{max}}{2} \left[C1Lx - C1x^2 + C2 \frac{x^2}{2} + \frac{C1 - C2}{3L} x^3 \right] + k1$$

$$Mf(x) = 0 \leftrightarrow x = L$$

$$0 = - \frac{p_{max}}{2} \left[C1L^2 - C1L^2 + C2 \frac{L^2}{2} + \frac{C1 - C2}{3} L^2 \right] + k1$$

$$k1 = \frac{p_{max}}{2} \left[C2 \frac{L^2}{6} + C1 \frac{L^2}{3} \right] = 29656 \text{ N} \cdot \text{m}$$



$$M - M' = \left(C(x) - \frac{C1}{3} \right) \frac{1}{2}$$

$$R - R' = \frac{C1}{3} \frac{1}{2}$$

$$Mt(x) = \int p(x)_1 \cdot \left(C(x) - \frac{C1}{3} \right) \cdot \frac{1}{2} dx - \int p(x)_2 \cdot \left(\frac{C1}{3} \frac{1}{2} \right) dx$$

distribuzione pressioni triangolare

$$Mt(x) = \frac{p_{max}}{2} \left[\frac{(C1 - C2)^2 x^3}{6L^2} + \frac{(C1C2 - C1^2)x^2}{4L} + \frac{C1^2 x}{18} \right] + k2$$

distribuzione pressioni uniforme

$$Mt_{unif}(x) = \frac{p_{max}}{2} \left[\frac{(C1 - C2)^2 x^3}{6L^2} + \frac{(C1C2 - C1^2)x^2}{3L} + \frac{C1^2 x}{6} \right] + K2_{unif}$$

- Ricerca costanti integrazione per i 2 casi

$$Mt(x) = 0 \leftrightarrow x = L$$

$$k_2 = \frac{p_{max}}{2} \left[\frac{(C_1 - C_2)^2 L}{6} + \frac{(C_1 C_2 - C_1^2) L}{4} + \frac{C_1^2 L}{18} \right] = 426.25 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$K_{2_{unif}} = -\frac{p_{max}}{2} \left[\frac{(C_1 - C_2)^2 L}{6} + \frac{(C_1 C_2 - C_1^2) L}{3} + \frac{C_1^2 L}{6} \right] = -280.97 \text{ N} \cdot \text{m}$$

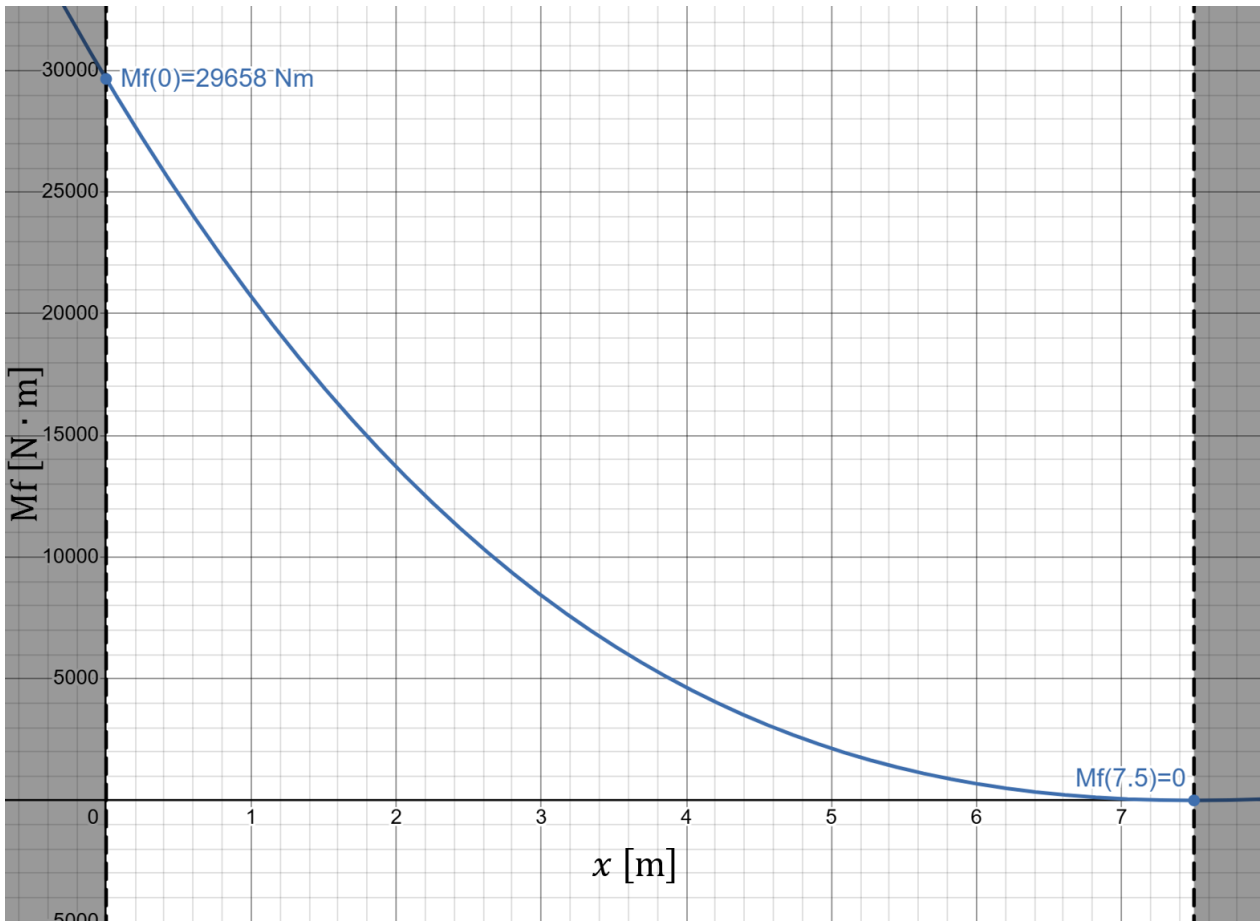


Diagramma momento flettente

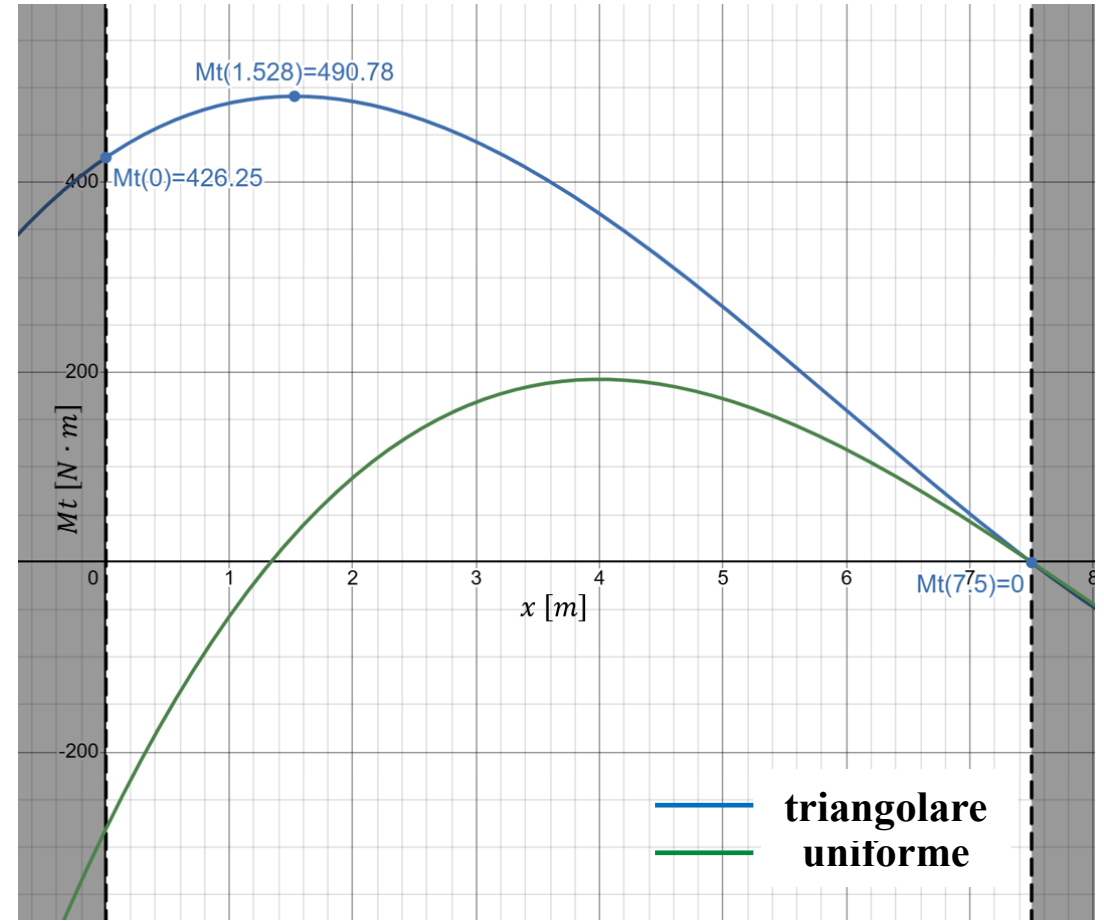
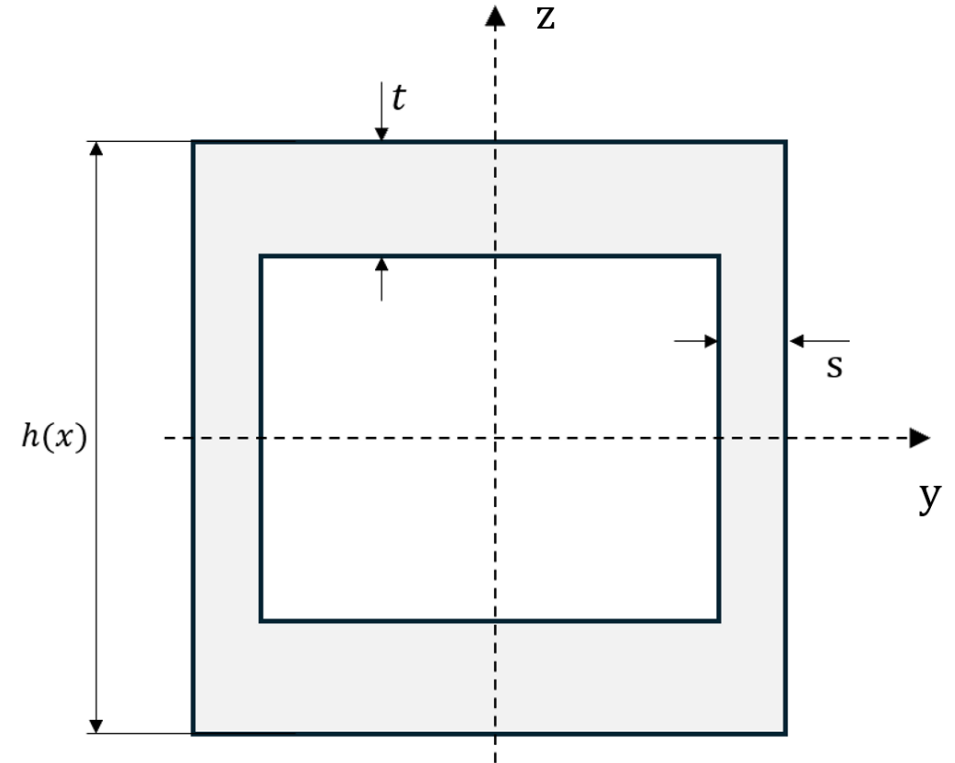


Diagramma momento torcente

$$z_{max} = \frac{h(x)}{2} \quad I_y(x, s, t) = \frac{h(x)^4}{12} - \frac{(h(x) - 2s)(h(x) - 2t)^3}{12}$$

$$\sigma_x(x, s, t) = \frac{Mf(x) \cdot z_{max}}{I_y(x, s, t)} = \frac{Mf(x) \frac{h(x)}{2}}{\frac{h(x)^4}{12} - \frac{(h(x) - 2s)(h(x) - 2t)^3}{12}}$$

$$\tau_x(x, s, t) = \frac{Mt(x)}{2\Omega\delta} = \frac{Mt(x)}{2(h(x) - s)(h(x) - t)\delta}$$



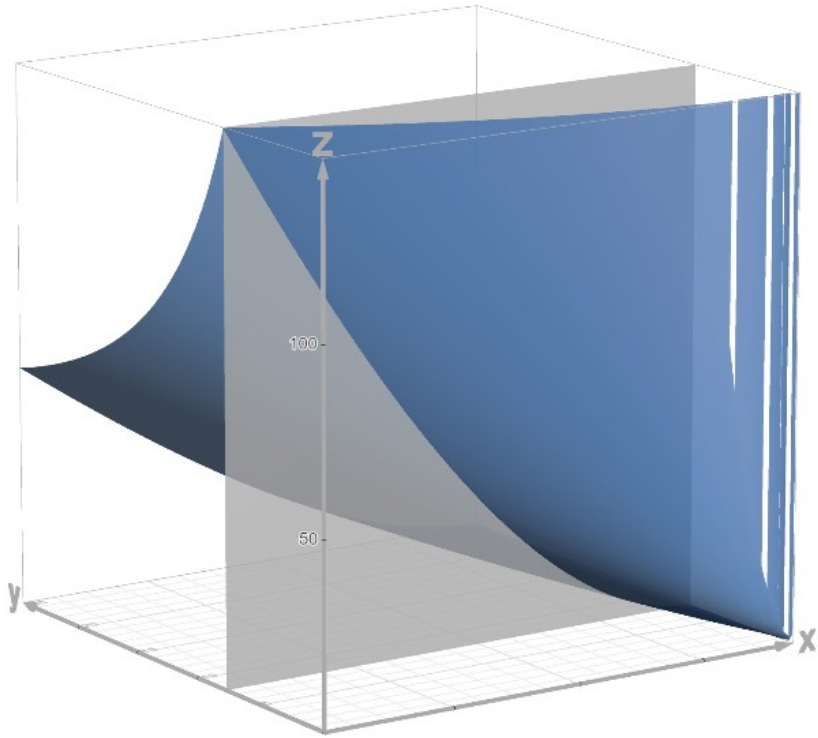
$$\sigma_{id,VM} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_x^2} = \sqrt{\left(\frac{Mf(x) \frac{h(x)}{2}}{\frac{h(x)^4}{12} - \frac{(h(x) - 2s)(h(x) - 2t)^3}{12}}\right)^2 + 3\left(\frac{Mt(x)}{2(h(x) - s)(h(x) - t)\delta}\right)^2}$$

$$\sigma_{id,VM} = \sqrt{\left(\frac{\left(-\frac{p_{max}}{2} \left(C1Lx - C1x^2 + C2\frac{x^2}{2} + \frac{C1-C2}{3L}x^3 \right) + k1 \right) \cdot \frac{h1 - \frac{h1-h2}{L}x}{2}}{\frac{(h1 - \frac{h1-h2}{L}x)^4}{12} - \frac{(h1 - \frac{h1-h2}{L}x - 2s)(h1 - \frac{h1-h2}{L}x - 2t)^3}{12}} \right)^2 + 3 \left(\frac{\frac{p_{max}}{2} \left[\frac{(C1-C2)^2x^3}{6L^2} + \frac{(C1C2 - C1^2)x^2}{4L} + \frac{C1^2x}{18} \right] + k2}{2 \left(h1 - \frac{h1-h2}{L}x - s \right) \left(h1 - \frac{h1-h2}{L}x - t \right) \delta}} \right)^2}$$

- si introduce il parametro $k = \frac{t}{s}$ e si studiano i casi $k=1$, $k<1$ e $k>1$
- Si calcola il volume del longherone al fine di confrontare i vari casi e trovare la configurazione più vantaggiosa.

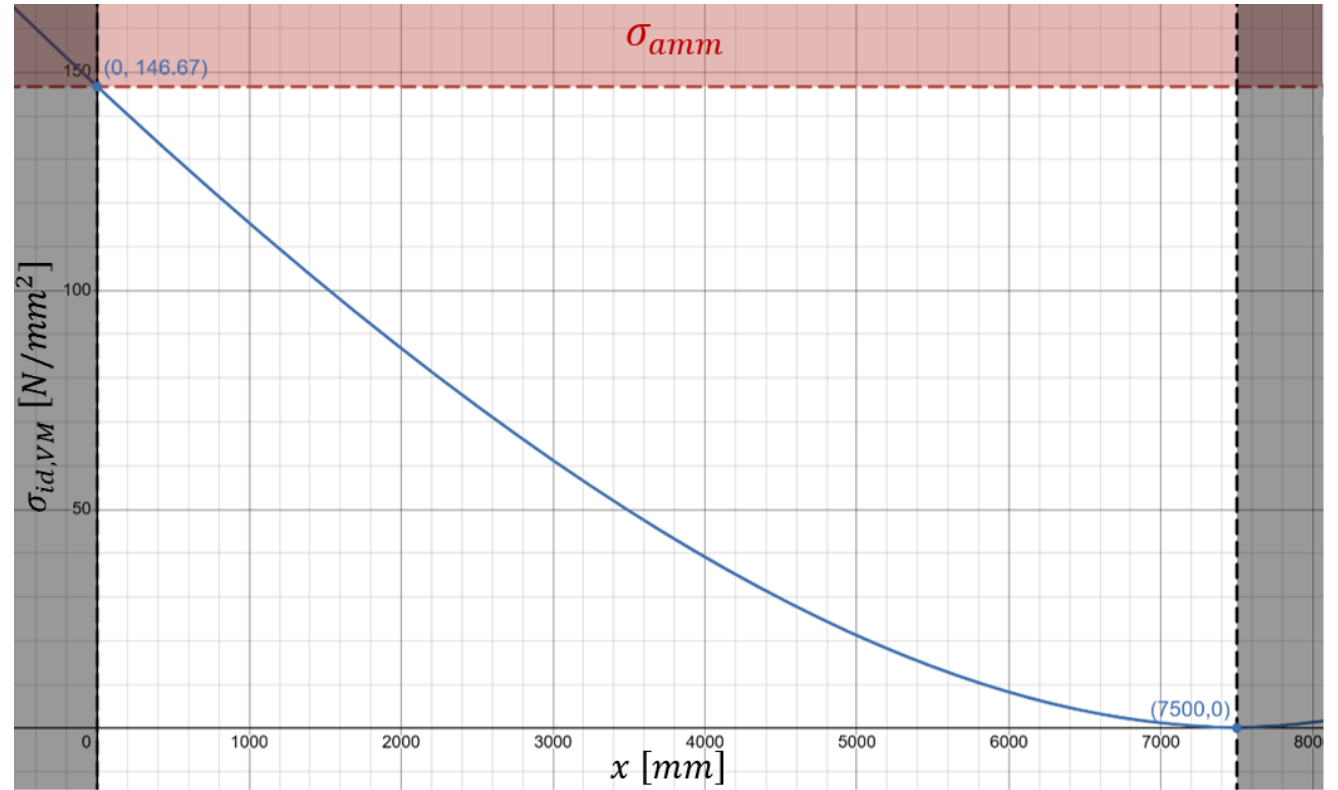
$$V = \int_0^{7500} h(x)^2 - (h(x) - 2s)(h(x) - 2t)dx = (1807500 - 30000s)t + 1807500s$$

- caso $k=1$



$$s = t = 7.77 \text{ mm}$$

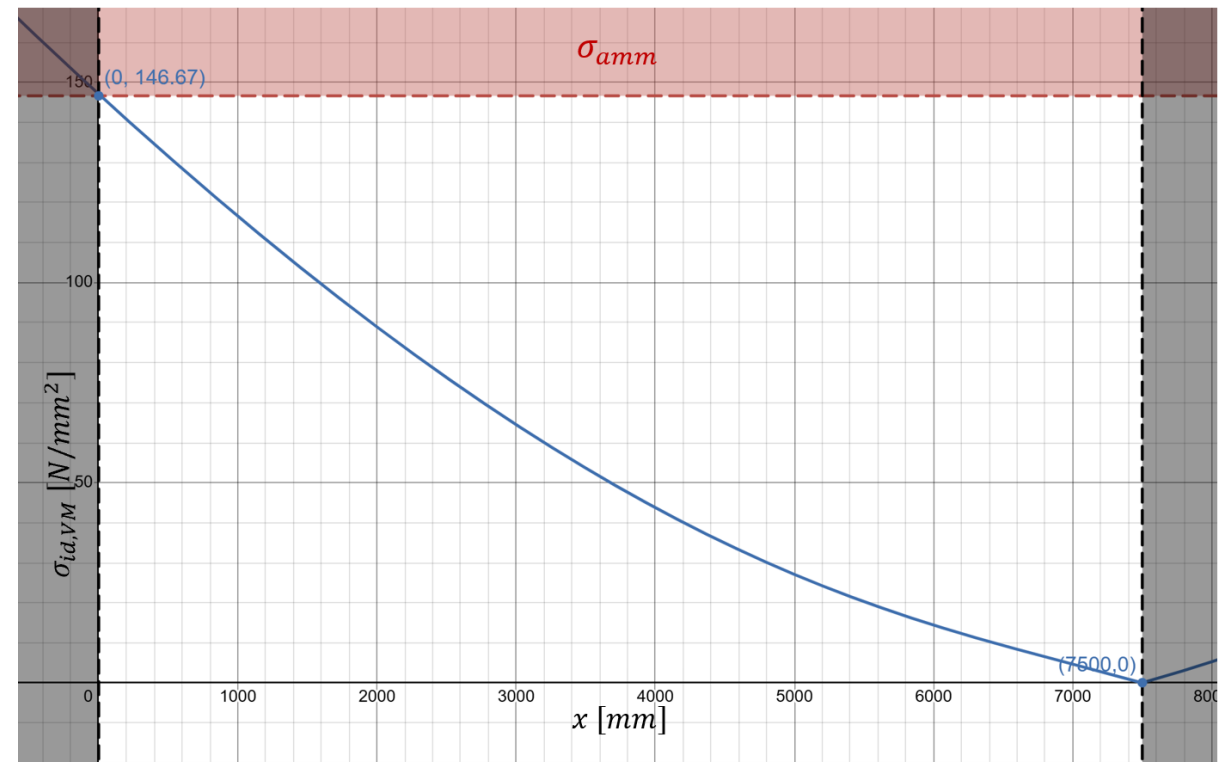
$$V_1 = 2.623 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$



• caso $k > 1$

1) $k = 12$	$s = 0.90 \text{ mm}$	$t = 10.8 \text{ mm}$	$V = 2.085 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$
2) $k = 10$	$s = 1.00 \text{ mm}$	$t = 10.0 \text{ mm}$	$V = 1.988 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$
3) $k = 8$	$s = 1.23 \text{ mm}$	$t = 9.84 \text{ mm}$	$V = 1.964 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$
4) $k = 6$	$s = 1.62 \text{ mm}$	$t = 9.72 \text{ mm}$	$V = 2.002 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$
5) $k = 4$	$s = 2.37 \text{ mm}$	$t = 9.48 \text{ mm}$	$V = 2.074 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$
6) $k = 2$	$s = 4.43 \text{ mm}$	$t = 8.86 \text{ mm}$	$V = 2.284 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$

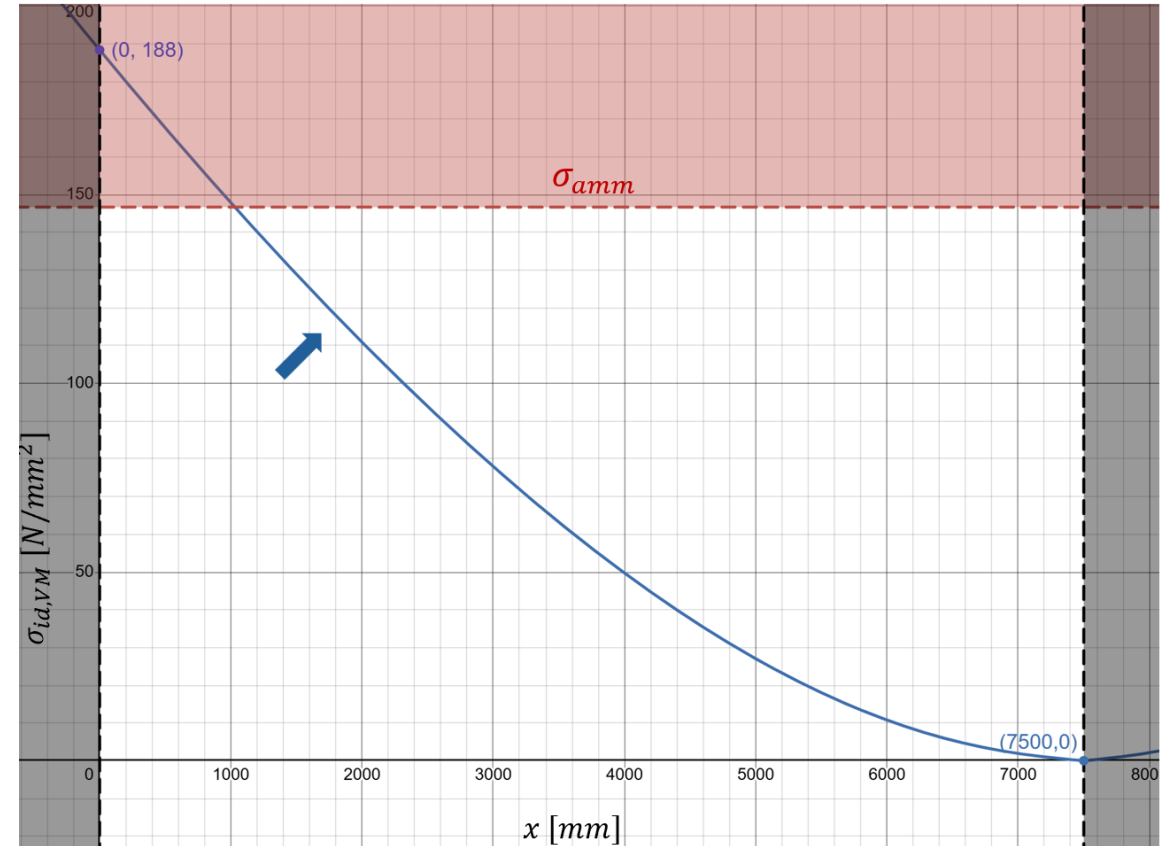
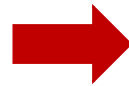
$k = 8$
 $s = 1.23 \text{ mm}$
 $t = 9.84 \text{ mm}$
 $V_1 = 1.964 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$



• caso $k < 1$

1) $k = 0.8$	$s = 9.14 \text{ mm}$	$t = 7.31 \text{ mm}$	$V = 2.773 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$
2) $k = 0.7$	$s = 10.0 \text{ mm}$	$t = 7.00 \text{ mm}$	$V = 2.853 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$
3) $k = 0.6$	$s = 11.1 \text{ mm}$	$t = 6.66 \text{ mm}$	$V = 2.988 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$
4) $k = 0.5$	$s = 12.4 \text{ mm}$	$t = 6.20 \text{ mm}$	$V = 3.131 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$

$k = 0.44$
 $s = 10.0 \text{ mm}$
 $t = 4.4 \text{ mm}$



- La configurazione del Caso $k > 1$ è quella più vantaggiosa
- Ciò è in accordo con il significato fisico del problema in quanto ottimizza resistenza a flessione
- standardizzo i valori ottenuti dal dimensionamento Caso $k > 1$ con serie Rénard R5

$$s = 4 \text{ mm} \quad t = 10 \text{ mm}$$

ASPETTI DA APPROFONDIRE

- resistenza a fatica
- flessione sotto carico del longherone

1. **Stelio Frati - L'ALIANTE**, Hoepli, 1948
2. **Stefano Lenci – LEZIONI DI MECCANICA STRUTTURALE**, Pitagora Editrice Bologna, 2004.
3. **T.H.G. Megson - AIRCRAFT STRUCTURES FOR ENGINEERING STUDENTS**, Seventh Edition, Butterworth-Heinemann, 2022.
4. **Caligaris Luigi, Fava Stefano, Tomasello Carlo – MANUALE DI MECCANICA**, Hoepli, 2016
5. **Graziani Giorgio – AERODINAMICA**, Università La Sapienza, 2010.
6. **Alexander Schleicher - sito produttore aliante K-6e**, (online) <https://www.alexander-schleicher.de/en/flugzeuge/k-6-e/>
7. **Alexander Schleicher - sito produttore aliante ASK-21b**, (online) <https://www.alexander-schleicher.de/en/flugzeuge/ask-21-b/>
8. **Chimica online – Aliante**, (online) <https://www.chimica-online.it/download/aliante.htm>
9. **Wikipedia – Aliante**, (online) <https://it.wikipedia.org/wiki/Aliante>
10. **Wikipedia - George Cayley**, (online) https://it.wikipedia.org/wiki/George_Cayley
11. **volareflyfree – Alianti**, (online) <https://www.volareflyfree.com/alianti.html>
12. **Wikipedia – Cassone alare**, (online) https://it.wikipedia.org/wiki/Cassone_alare
13. **Desmos – calcolatore grafici 2D e 3D** (online) <https://www.desmos.com/calculator?lang=it>
14. **Thiago de Souza Siqueira Versiani, Gust load alleviation in a flexible smart idealized wing** (online) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1270963818320868>