

Corso di aggiornamento professionale

LA PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE IN LEGNO



prof. ing. Bruno Calderoni

Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura
Università di Napoli Federico II



prof. ing. Enzo Martinelli

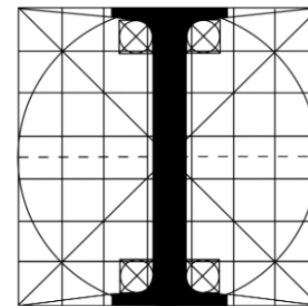
Dipartimento di Ingegneria Civile
Università di Salerno

Salerno – 15-16 maggio 2015

FONDAZIONE



ORDINE DEGLI
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA
DI SALERNO



ORDINE DEGLI
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA
DI SALERNO

Corso di aggiornamento
LA PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE IN LEGNO
15 – 16 maggio 2015
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno



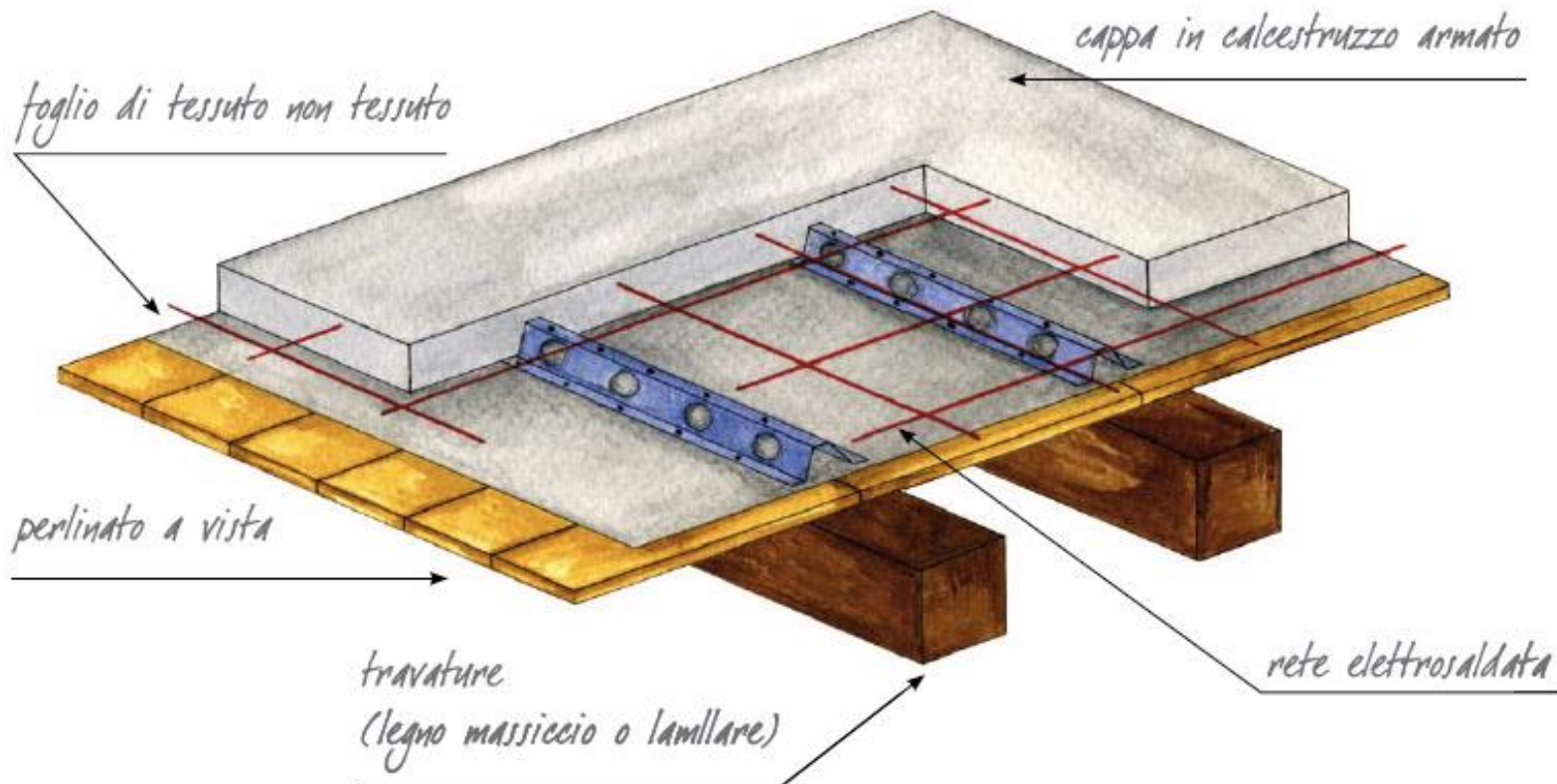
Prof. Ing. Enzo Martinelli
DICiv – Università di Salerno

Sommario

Solai composti legno-calcestruzzo

- ✓ Introduzione
- ✓ Soluzioni tecnologiche
- ✓ Fondamenti teorici
- ✓ Aspetti normativi
- ✓ Applicazione esemplificativa

Introduzione



Introduzione



<http://www.ethz.ch>

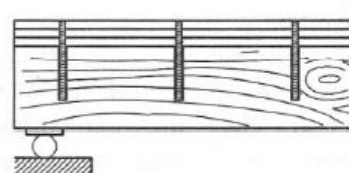
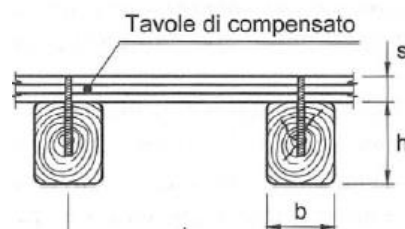
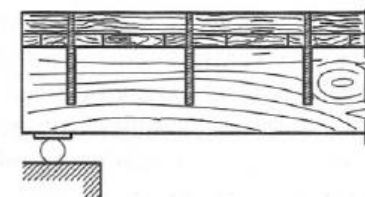
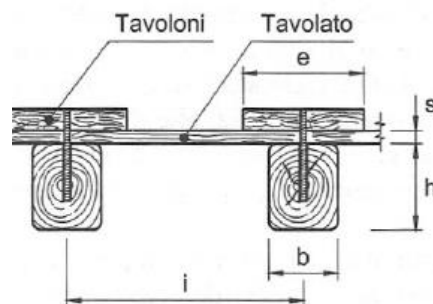
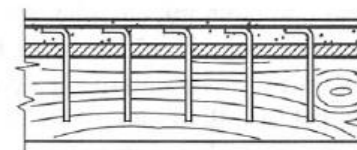
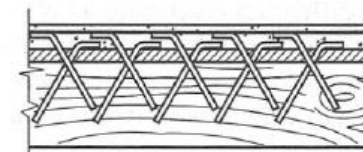
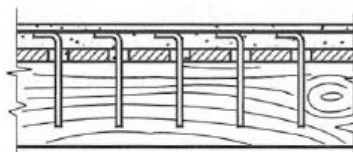
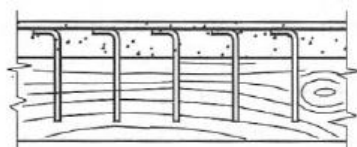
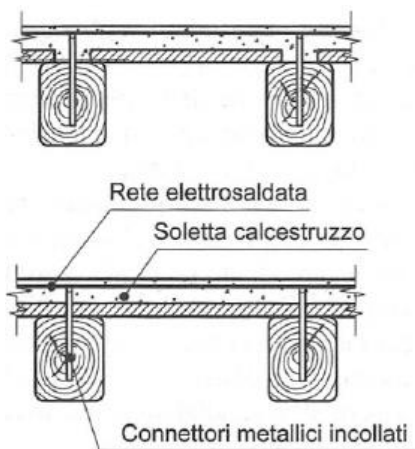
Introduzione



<http://www.haring.ch>

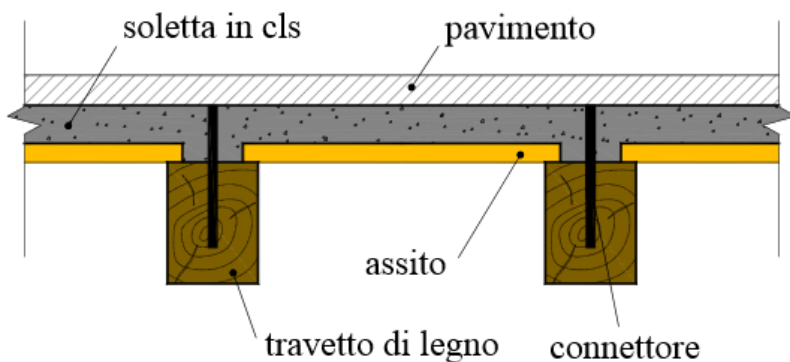
Soluzioni tecnologiche

Sistemi di connessione

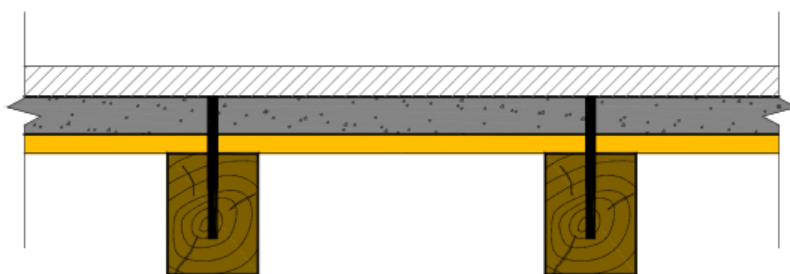
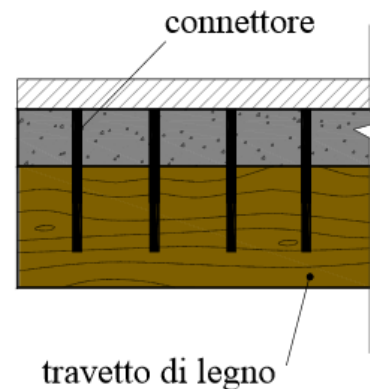


Soluzioni tecnologiche

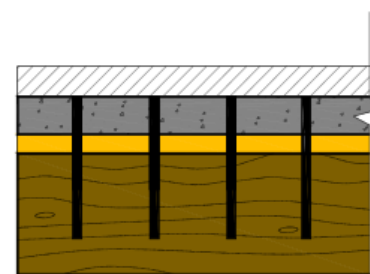
Sistemi di connessione



a) soletta e travetto a contatto diretto

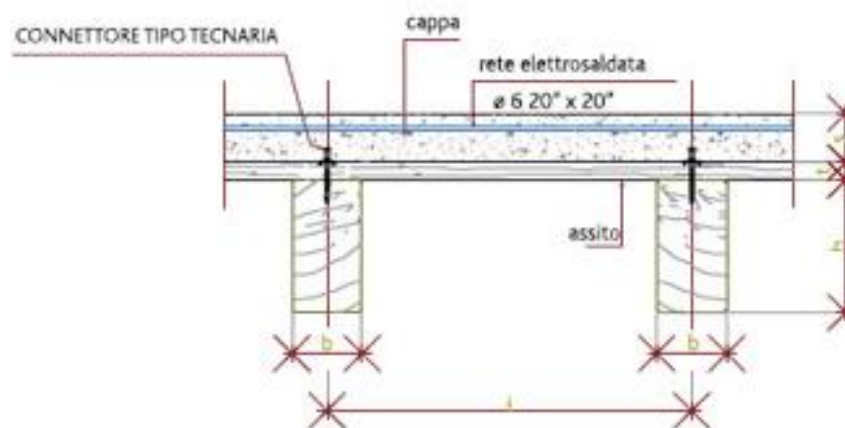
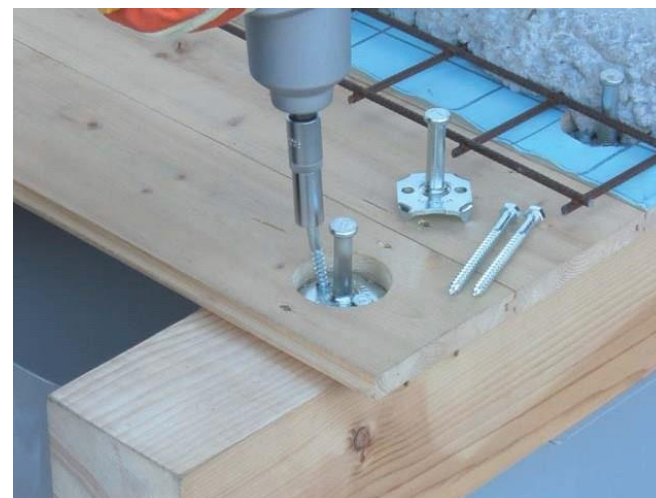
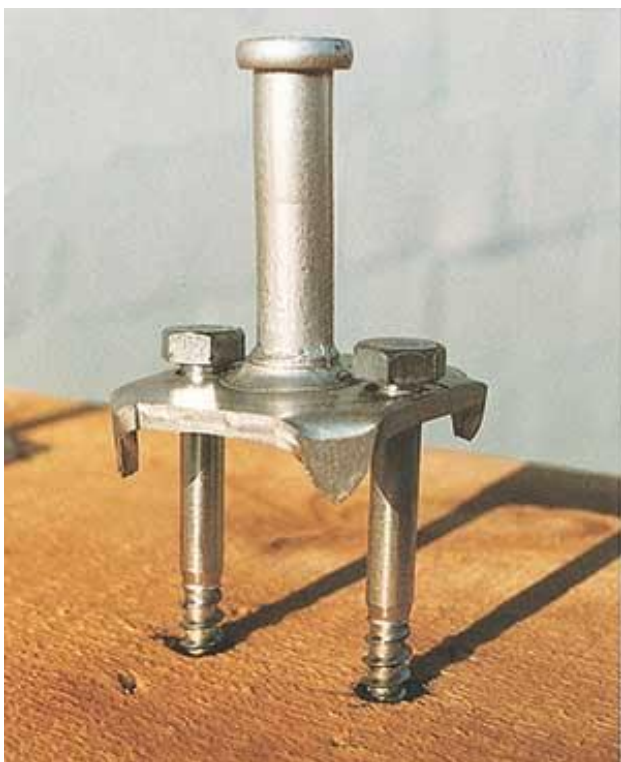


b) assito passante



Soluzioni tecnologiche

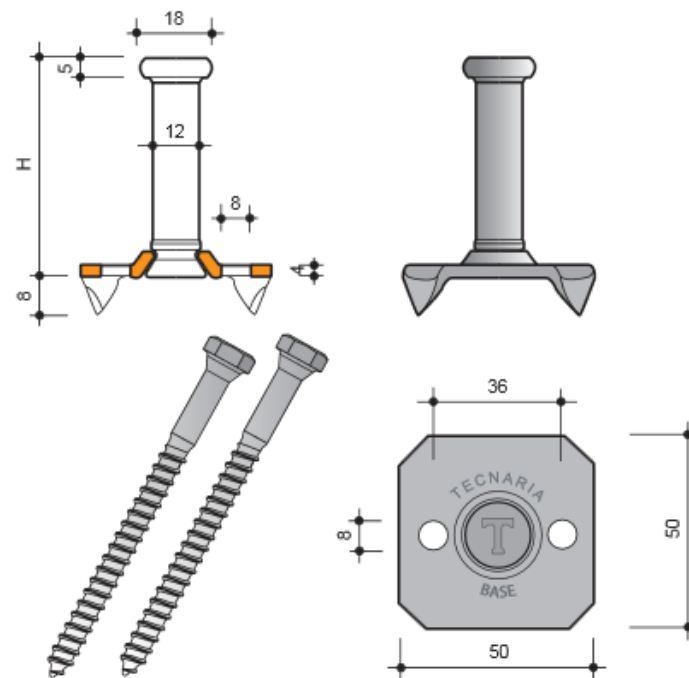
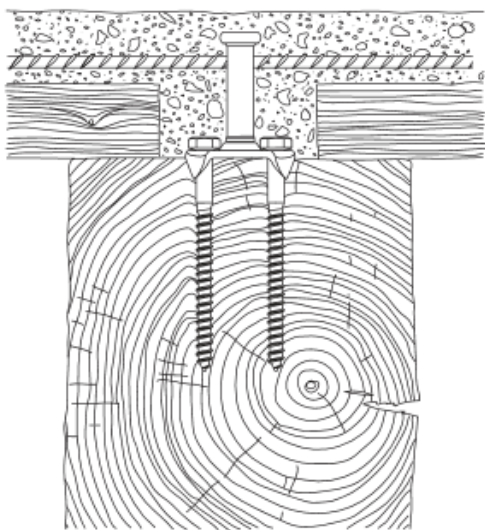
Sistemi di connessione: Connettori a piolo tipo «Tecnaria»



Soluzioni tecnologiche

Sistemi di connessione: Connettori a piolo tipo «Tecnaria»

Connettore BASE piastra di base 50 X 50 mm viti Ø 8 mm



Voce di capitolato: connettore a piolo composto da una piastra di base 50 X 50 X 4 mm, modellata a ramponi, avente due fori atti al passaggio di due viti tirafondi Ø 8 mm, con sottotesta tronco-conico, gambo in acciaio zincato Ø 12 mm, unito alla piastra tramite ricalco a freddo. Altezze gambo disponibili: 30, 40, 60, 70, 80, 105, 125, 150, 175 e 200 mm. Lunghezza viti disponibili: 70, 100 e 120 mm

Valori meccanici su legno di abete C16 (EN338) corrispondente alla classe S7 (DIN 4074) secondo il metodo delle:

TENSIONI AMMISSIBILI	direttamente su trave	su tavolato di 2 cm	su tavolato di 4 cm
RESISTENZA (carico ammissibile) [N]	7500	5100	3500
RIGIDEZZA (modulo di scorrimento di servizio) [N/mm]	20800	3140	1410

Valori meccanici su legno di abete C16 (EN338) corrispondente alla classe S7 (DIN 4074) secondo il metodo degli:

STATI LIMITE	direttamente su trave	su tavolato di 2 cm	su tavolato di 4 cm
RESISTENZA CARATTERISTICA R_k [N]	20900	14190	9760
MODULO DI SCORRIMENTO INIZIALE K_{ser} [N/mm]	17200	2740	1330
MODULO DI SCORRIMENTO ULTIMO K_u [N/mm]	7410	1730	970

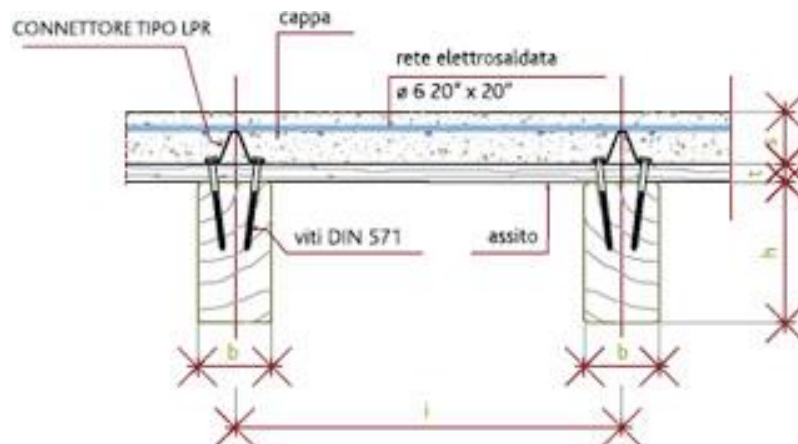
Soluzioni tecnologiche

Sistemi di connessione: traliccio tipo «LPR»



LPR®

Traliccio metallico continuo in barre lunghe
3 metri sovrapponibili con altezze variabili da
35 mm e 160 mm.



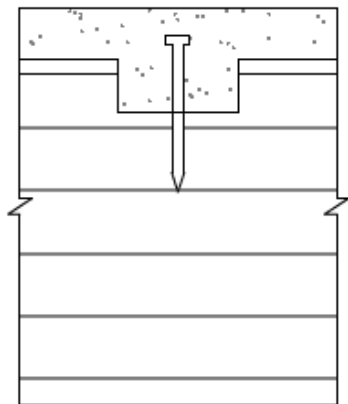
Soluzioni tecnologiche

Sistemi di connessione: traliccio tipo «LPR»

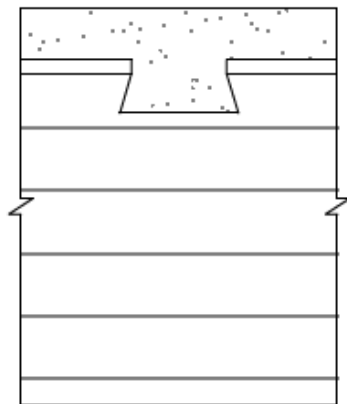


Soluzioni tecnologiche

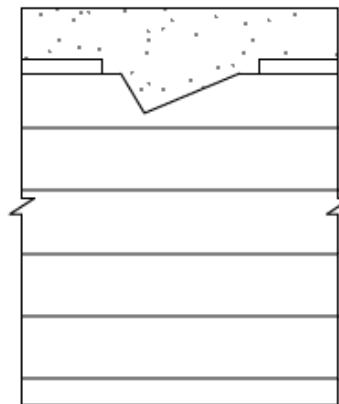
Sistemi di connessione: connessioni con intaglio



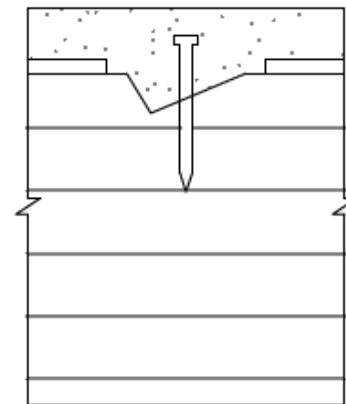
a) Rectangular Notch
with Coach Screw



b) Dovetail Notch



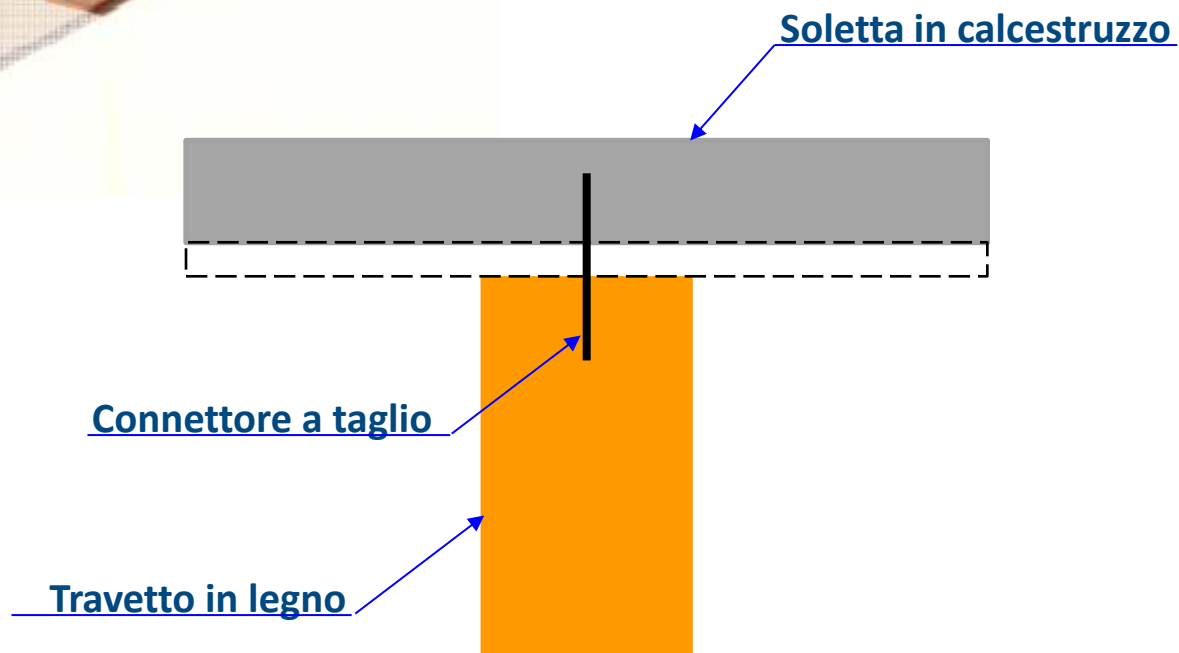
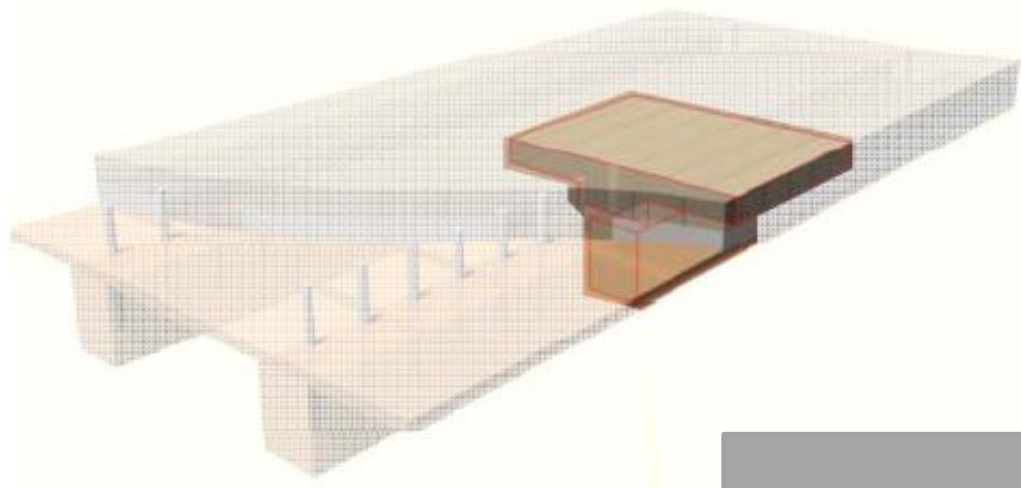
c) Triangular Notch



d) Triangular Notch with
Coach Screw

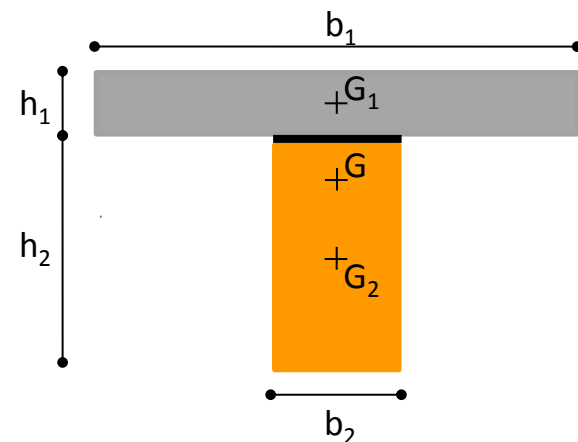
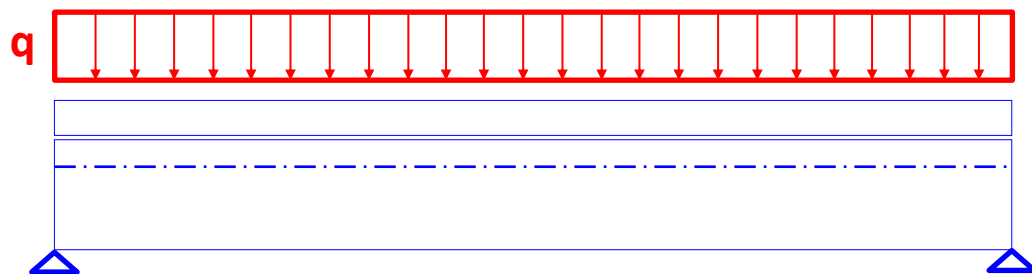
Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati



Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati



Termini di rigidezza della sezione trasversale

$$EA_1 = E_1 b_1 h_1$$

$$EA_2 = E_2 b_2 h_2$$

$$EI_1 = E_1 \frac{b_1 h_1^3}{12}$$

$$EI_2 = E_2 \frac{b_2 h_2^3}{12}$$

EA_1 Rigidezza assiale della soletta

EA_2 Rigidezza assiale del travetto

EI_1 Rigidezza flessionale della soletta

EI_2 Rigidezza flessionale del travetto

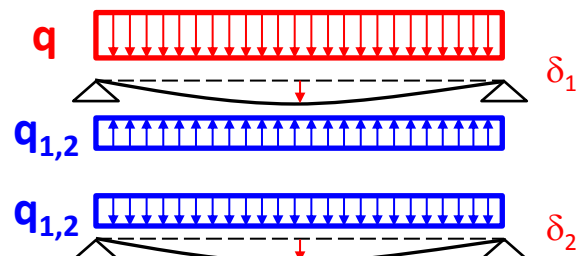
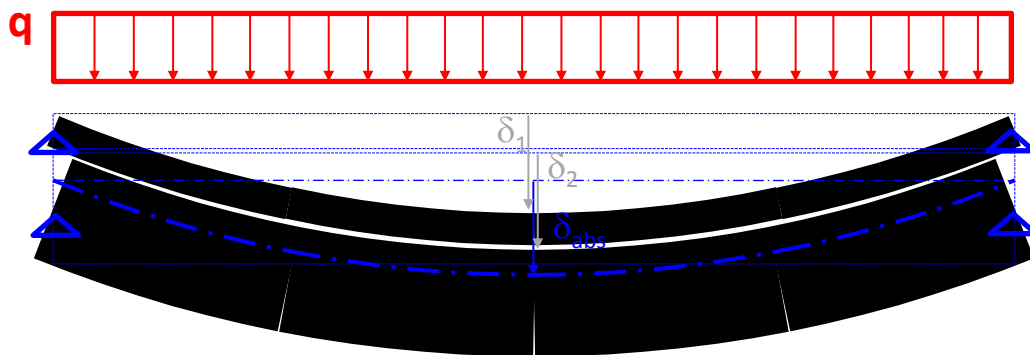
Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Caso 1: Interazione assente

- ✓ Scorrimenti d'interfaccia non vincolati
- ✓ Spostamenti normali relativi nulli

$$\delta_1 = \delta_2 = \delta_{abs}$$



$$\delta_1 = \frac{5}{384} \frac{(q - q_{1,2}) \cdot L^4}{EI_1} \quad \delta_2 = \frac{5}{384} \frac{q_{1,2} \cdot L^4}{EI_2}$$



$$q_{1,2} = \frac{EI_2}{EI_1 + EI_2} \cdot q$$



$$\delta_{abs} = \frac{5}{384} \frac{q \cdot L^4}{EI_1 + EI_2}$$



$$EI_{abs} = EI_1 + EI_2 = EI_2 \cdot \left[1 + \frac{EI_1}{EI_2} \right]$$

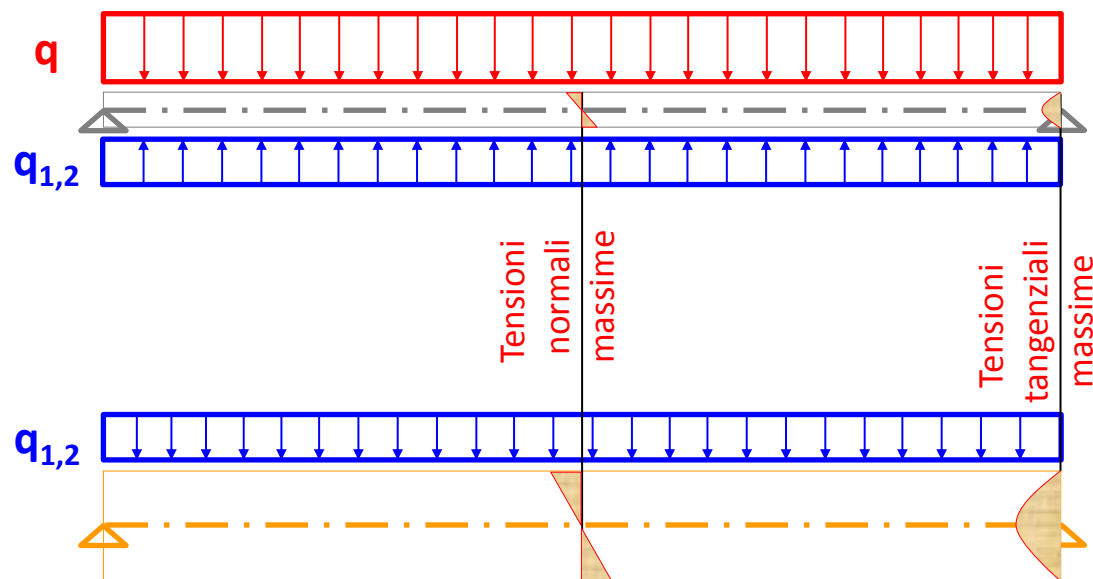
Contributo della soletta

Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Caso 1: Interazione assente

- ✓ Scorrimenti d'interfaccia non vincolati
- ✓ Spostamenti normali relativi nulli



Relazione momento curvatura

$$\chi_{abs} = \frac{M}{EI_{abs}}$$

$$\sigma_1 = \frac{EI_1}{EI_1 + EI_2} \cdot q \cdot \frac{L^2}{8} \cdot \frac{1/W_1}{b_1 h_1^2}$$

$$\tau_1 = \frac{EI_1}{EI_1 + EI_2} \cdot q \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{1.5}{A_1}$$

$$\sigma_2 = \frac{EI_2}{EI_1 + EI_2} \cdot q \cdot \frac{L^2}{8} \cdot \frac{1/W_2}{b_2 h_2^2}$$

$$\tau_2 = \frac{EI_2}{EI_1 + EI_2} \cdot q \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{1.5}{A_2}$$

HP

$$\left\{ \begin{array}{l} EA_1 = EA_2 \\ EI_1 = EI_2 \\ h_1 = h_2 \end{array} \right. \Rightarrow \delta_{abs} = \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{EI_2}$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qL^2}{8 \cdot W_2}$$

$$\tau_1 = \tau_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qL}{2A_2}$$

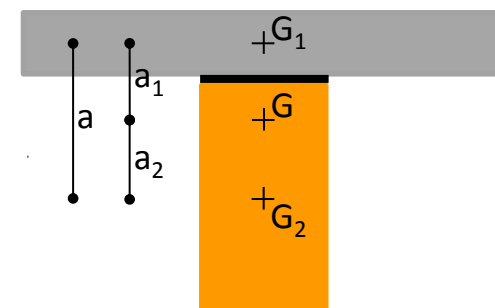
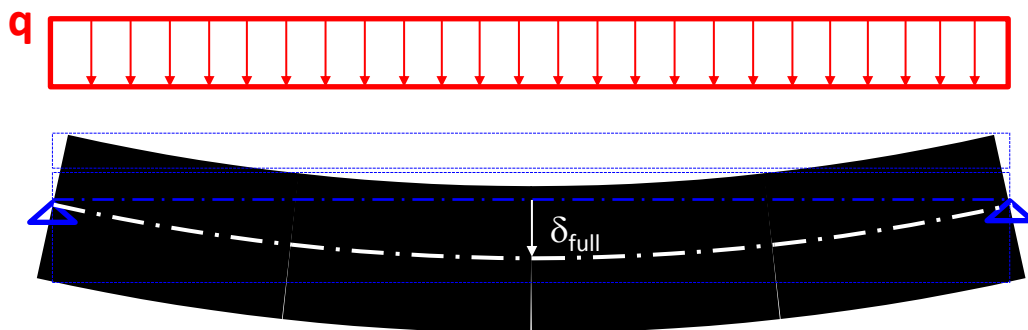
Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Caso 2: Interazione completa

✓ Scorrimenti d'interfaccia nulli

La sezione composta si conserva piana



Proprietà del baricentro della sezione composta

$$EA_1 \cdot a_1 - EA_2 \cdot a_2 = 0 \quad a_1 = \frac{EA_2}{EA_1} \cdot a_2 = \frac{EA_2}{EA_1 + EA_2} \cdot a$$

Rigidità flessionale della sezione composta

$$EI_{full} = EI_1 + EI_2 + EA_1 a_1^2 + EA_2 a_2^2$$

$$EI_{full} = EI_1 + EI_2 + \frac{EA_1 \cdot EA_2}{EA_1 + EA_2} a^2 = EI_{abs} + EA^* \cdot a^2$$

Relazione momento curvatura

$$\chi_{full} = \frac{M}{EI_{full}}$$

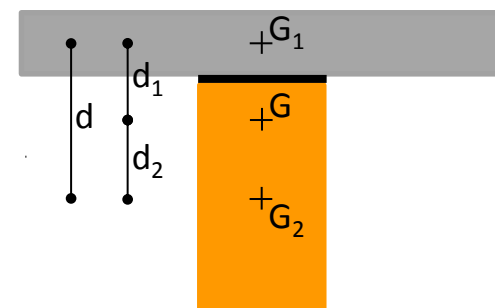
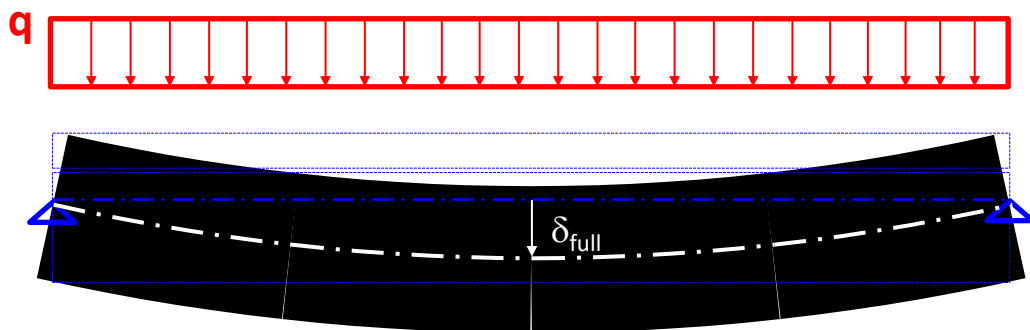
Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Caso 2: Interazione completa

✓ Scorrimenti d'interfaccia nulli

La sezione composta si conserva piana



Freccia massima

$$\delta_{full} = \frac{5}{384} \cdot \frac{qL^4}{EI_{full}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{qL^4}{EI_2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{EI_1}{EI_2} + \frac{EA_1a_1^2 + EA_2a_2^2}{EI_2}}$$

Ipotesi di travetto portante

Contributo della soletta

Contributo dell'azione composta

Fondamenti Teorici

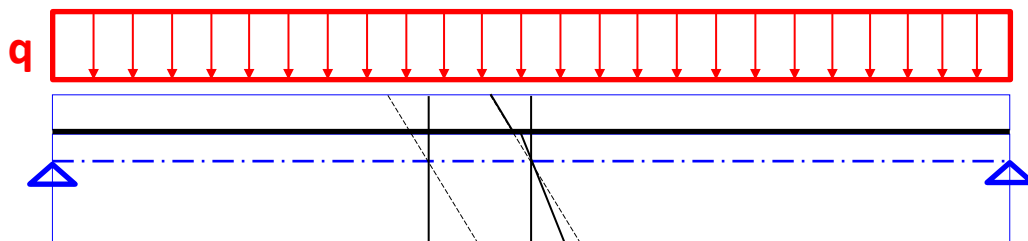
Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Caso 2: Interazione completa

✓ Scorrimenti d'interfaccia nulli

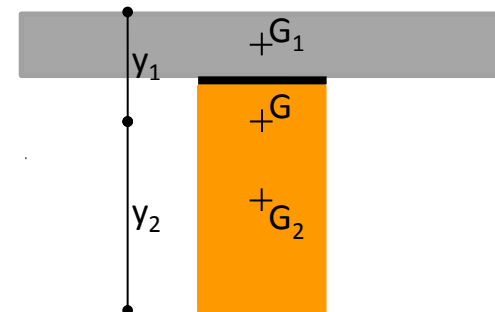
$$\varepsilon_1 = \frac{qL^2}{8 \cdot EI_{full}} \cdot y_1$$

$$\sigma_1 = E_1 \cdot \varepsilon_1$$



$$\varepsilon_2 = \frac{qL^2}{8 \cdot EI_{full}} \cdot y_2$$

$$\sigma_2 = E_2 \cdot \varepsilon_2$$



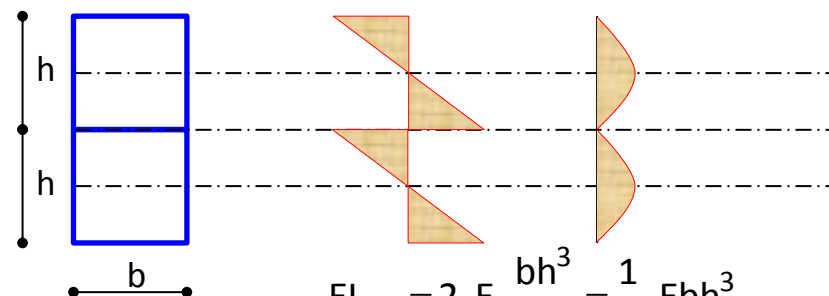
HP

$$\left\{ \begin{array}{l} EA_1 = EA_2 \\ EI_1 = EI_2 \\ h_1 = h_2 \end{array} \right. \rightarrow \delta_{full} = \frac{1}{2 \cdot \left(1 + \frac{EA_i a_i^2}{EI_i} \right)} \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{EI_2}$$

Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Caso 1: Interazione assente



$$EI_{abs} = 2 \cdot E \cdot \frac{bh^3}{12} = \frac{1}{6} \cdot Ebh^3$$

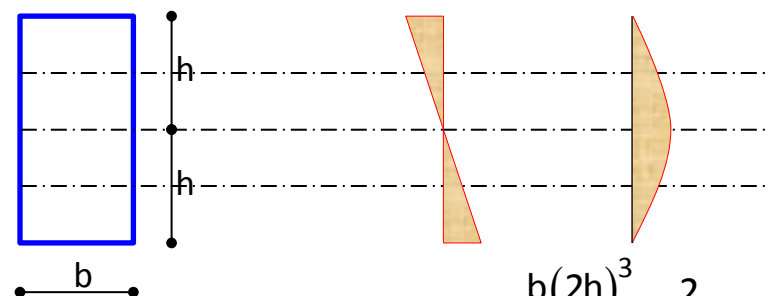
$$q_{1,2} = \frac{q}{2}$$

$$\delta_{abs} = \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{384} \frac{qL^4}{E \cdot bh^3/12}$$

$$\sigma_{abs} = \frac{qL^2}{16} \cdot \frac{6}{bh^2} = \frac{3}{8} \cdot \frac{qL^2}{bh^2}$$

$$\tau_{abs} = \frac{qL}{4} \cdot \frac{1.5}{bh} = \frac{3}{8} \cdot \frac{qL}{bh}$$

Caso 2: Interazione completa



$$EI_{full} = E \cdot \frac{b(2h)^3}{12} = \frac{2}{3} \cdot Ebh^3$$

$$\frac{EI_{full}}{EI_{abs}} = 4$$

$$\delta_{full} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{E \cdot b \cdot (2h)^3/12} = \frac{1}{8} \frac{5}{384} \frac{qL^4}{E \cdot b \cdot h^3/12} = \frac{1}{4} \cdot \delta_{abs}$$

$$\sigma_{full} = \frac{qL^2}{8} \cdot \frac{6}{b \cdot (2h)^2} = \frac{3}{16} \cdot \frac{qL^2}{bh^2} = \frac{\sigma_{abs}}{2}$$

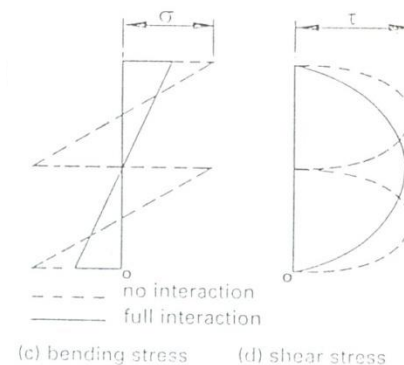
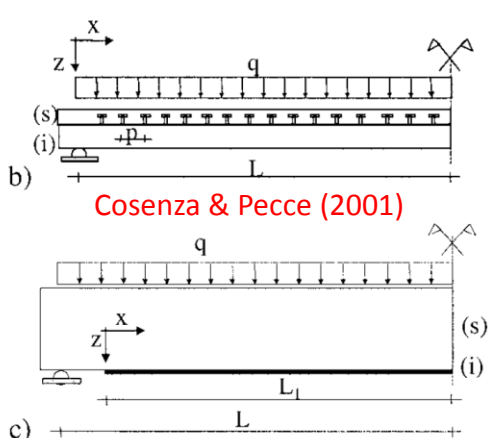
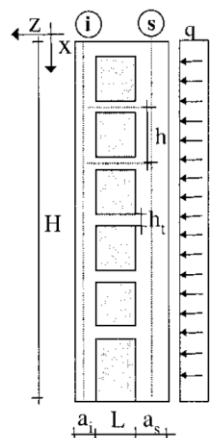
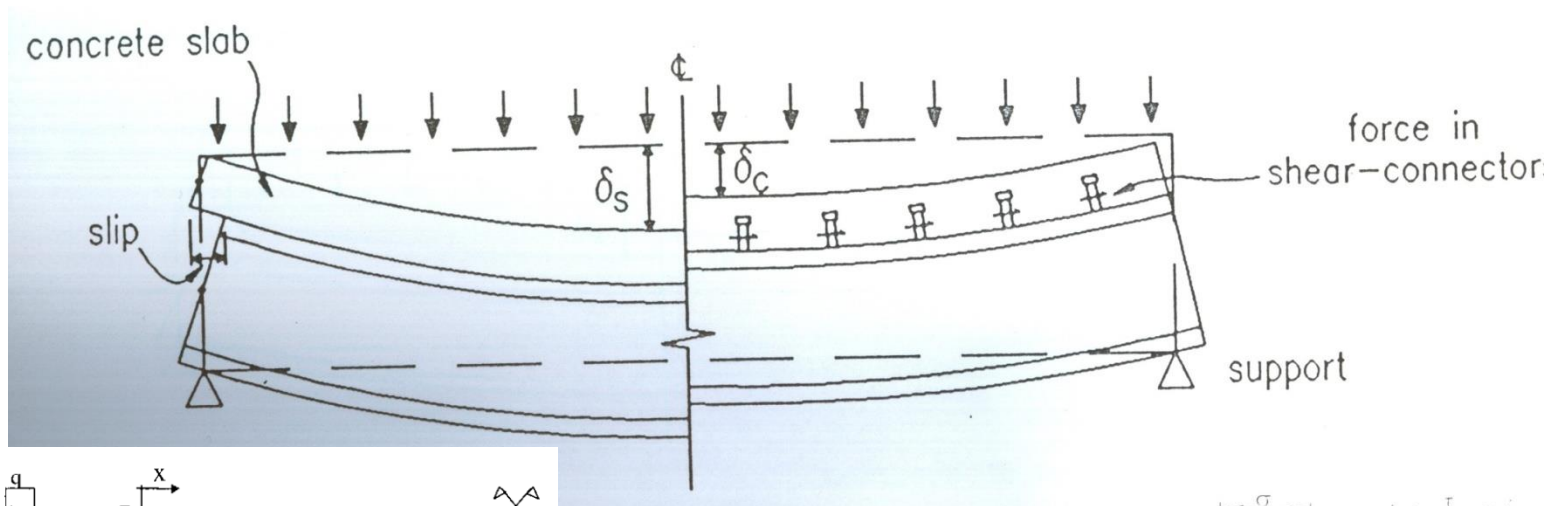
$$\tau_{full} = \frac{qL}{2} \cdot \frac{1.5}{b \cdot 2h} = \frac{3}{8} \cdot \frac{qL}{bh} = \tau_{abs}$$

Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Caso 1: Interazione assente

Caso 2: Interazione completa

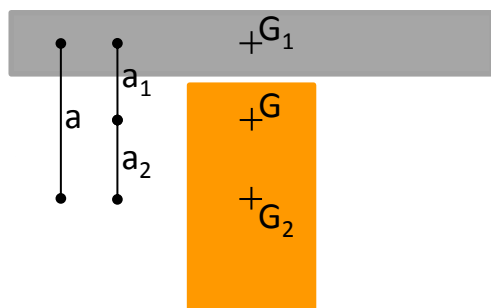


Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Caso 1: Interazione assente

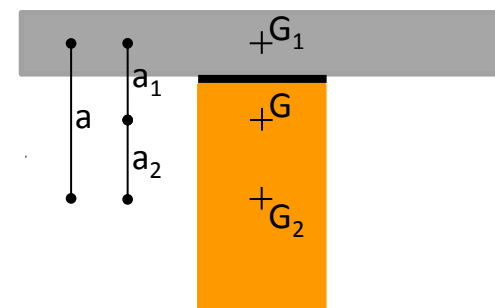
✓ Scorrimenti d'interfaccia non vincolati



$$EI_{abs} = EI_1 + EI_2$$

Caso 2: Interazione completa

✓ Scorrimenti d'interfaccia nulli

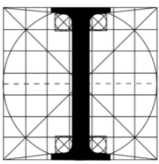


$$EI_{full} = EI_1 + EI_2 + EA_1 a_1^2 + EA_2 a_2^2$$

$$EI_{full} = EI_{abs} + EA^* \cdot a^2$$

Interazione parziale

← Gli scorrimenti di interfaccia sono legati
all'interazione tra i due elementi connessi →



Fattori di interazione

$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_1 \in [0,1] \\ \gamma_2 \in [0,1] \end{array} \right.$

Dipendono dalla rigidezza della connessione d'interfaccia

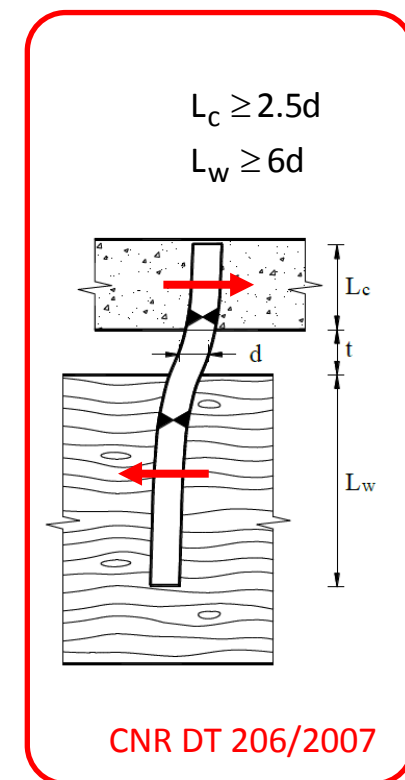
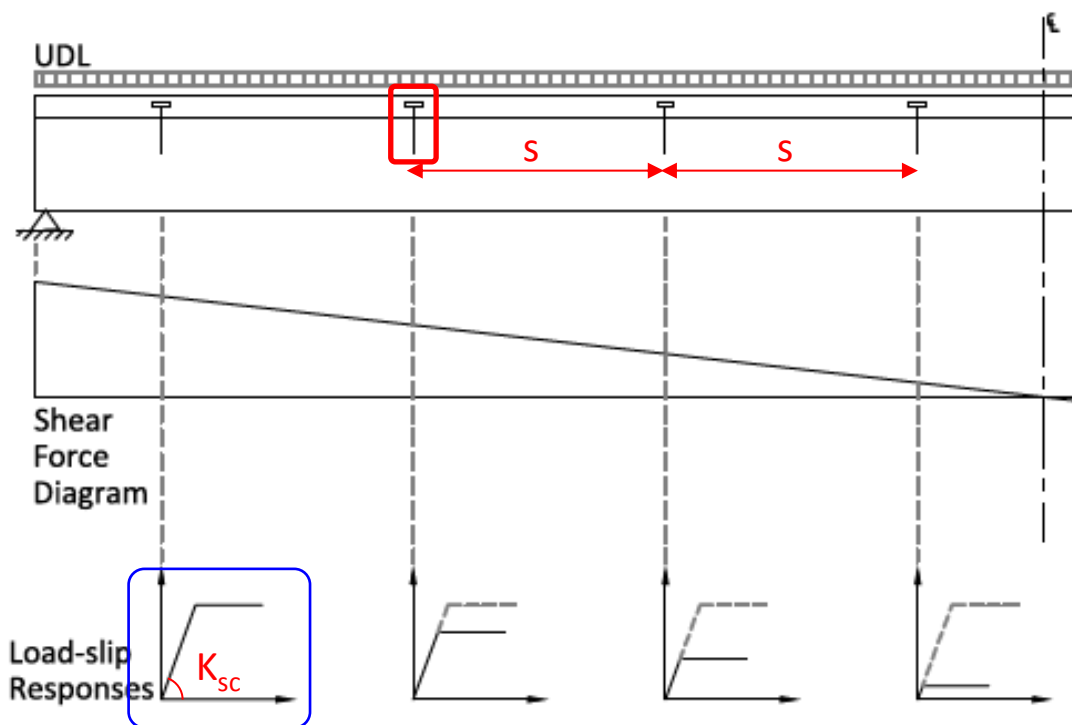
Rigidezza dei connettori Passo dei connettori

Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Interazione parziale: Teoria di Möhler (1956)

$$EI_{\text{eff}} = EI_1 + EI_2 + \gamma_1 \cdot EA_1 a_1^2 + \gamma_2 \cdot EA_2 a_2^2$$

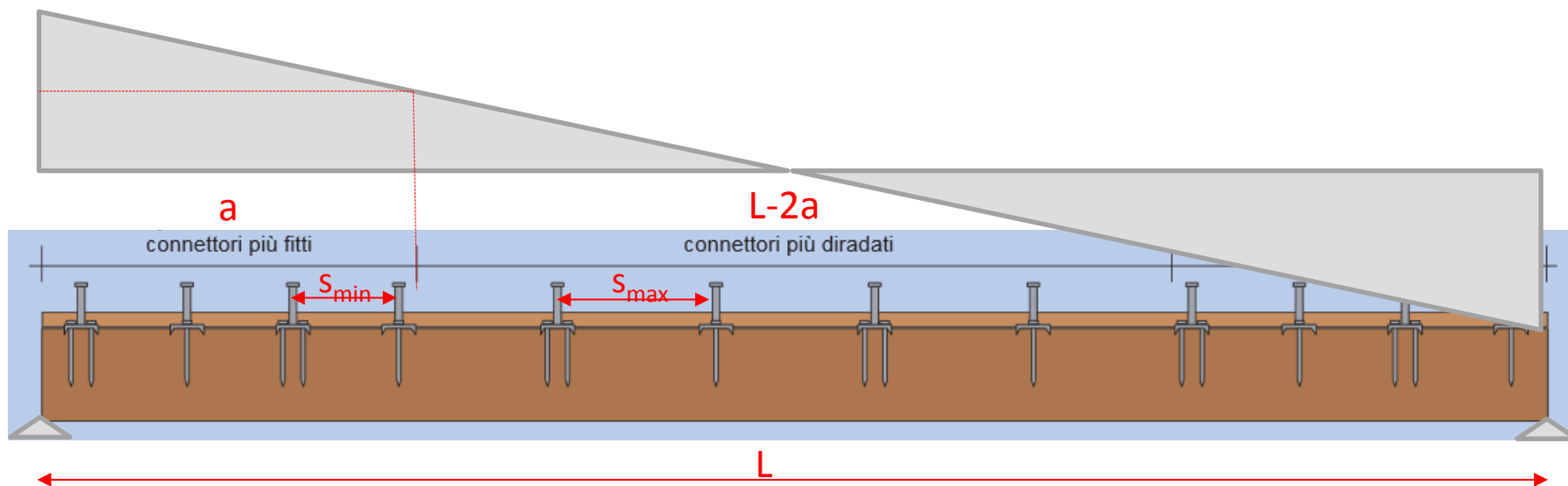


Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Interazione parziale: Teoria di Möhler (1956)

$$EI_{\text{eff}} = EI_1 + EI_2 + \gamma_1 \cdot EA_1 a_1^2 + \gamma_2 \cdot EA_2 a_2^2$$



Se $a \leq L/4$

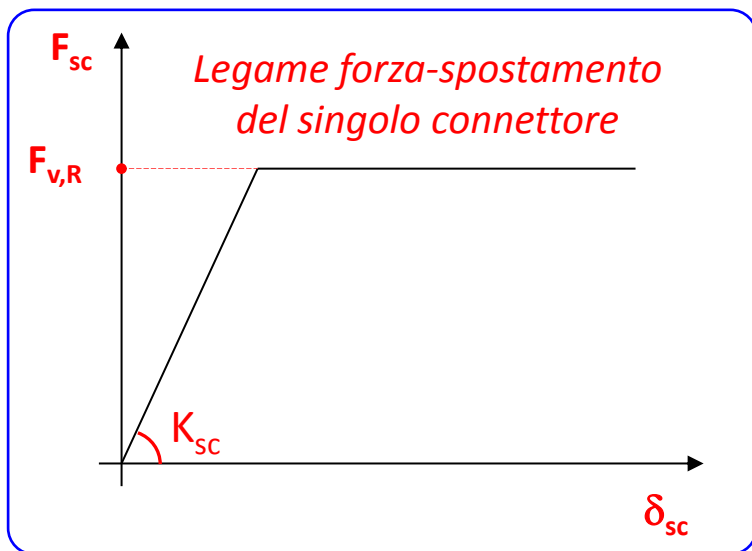
$$s_{\text{eq}} = 0.75 \cdot s_{\text{min}} + 0.25 \cdot s_{\text{max}}$$

Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

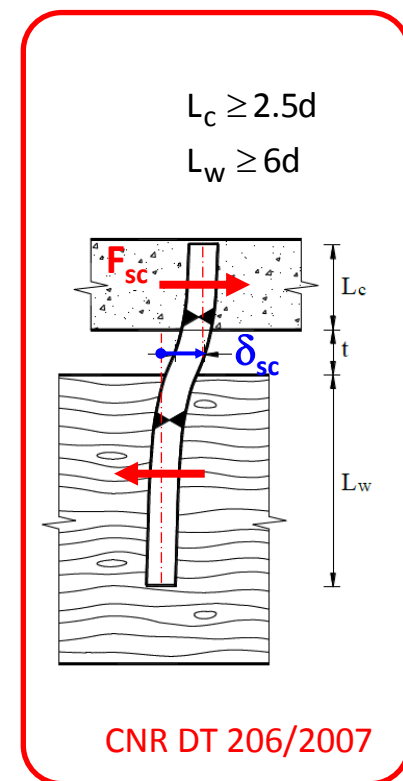
Interazione parziale: Teoria di Möhler (1956)

$$EI_{\text{eff}} = EI_1 + EI_2 + \gamma_1 \cdot EA_1 a_1^2 + \gamma_2 \cdot EA_2 a_2^2$$



$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_1 A_1 s_{eq}}{K_{sc} L^2}}$$

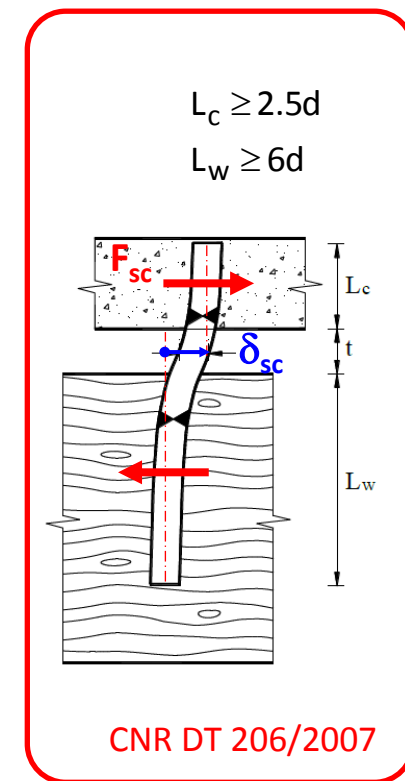
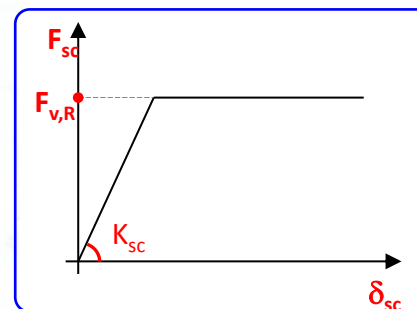
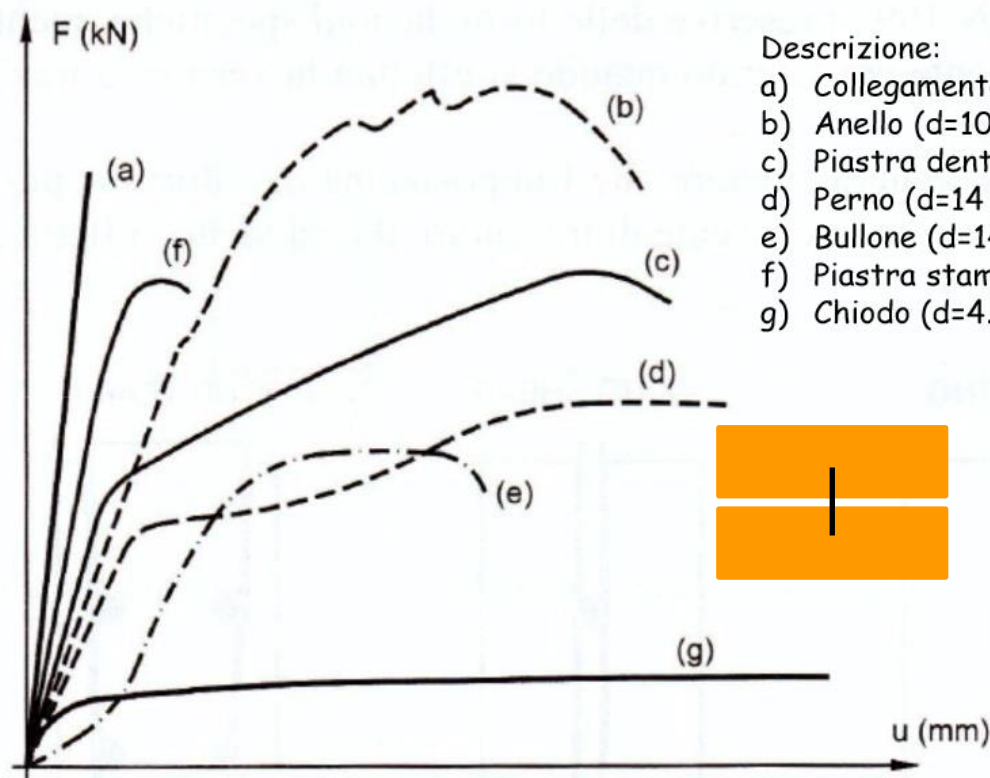
$$\gamma_2 = 1$$



Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Interazione parziale: Teoria di Möhler (1956)



Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Interazione parziale: Teoria di Möhler (1956)

Rigidità della connessione legno-legno (EN 1995:2004)

$$K_{ser} = \rho_m^{1.5} \cdot \frac{d}{23} \quad K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser}$$

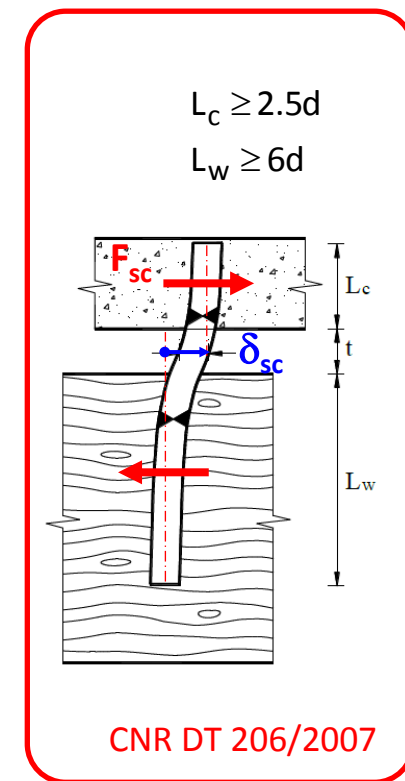
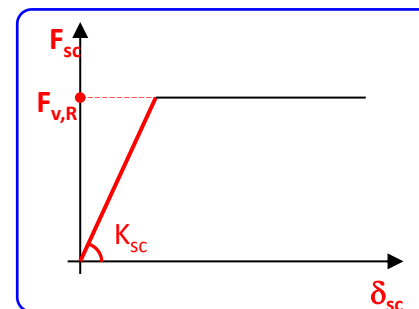
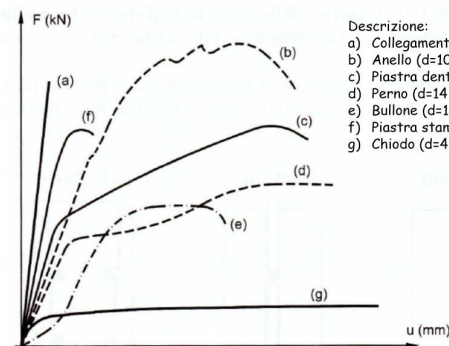
Esempio: spinotto $\phi 14$ in legno di abete

$$K_{ser} = 500^{1.5} \cdot \frac{14}{23} = 6805 \text{ N/mm}$$

Rigidità della connessione legno-calcestruzzo

$$K_{sc,SLE} = 2 \cdot K_{ser}$$

$$K_{sc,SLU} = 2 \cdot K_u$$

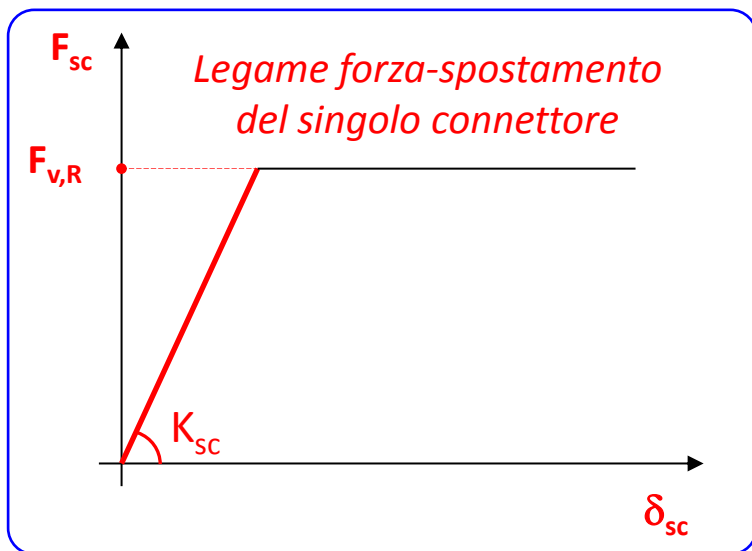


Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

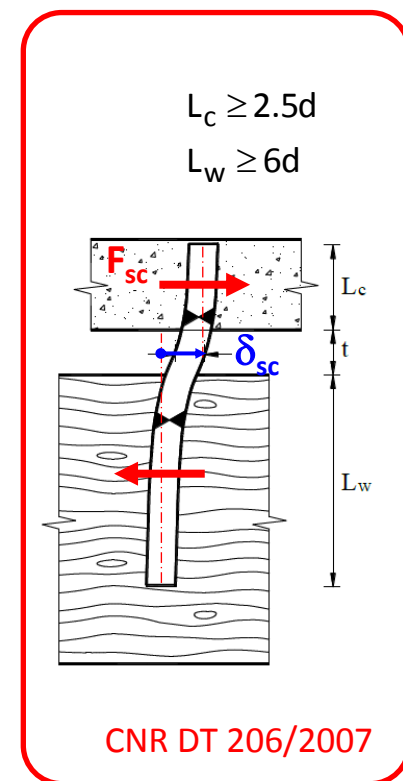
Interazione parziale: Teoria di Möhler (1956)

$$EI_{\text{eff}} = EI_1 + EI_2 + \gamma_1 \cdot EA_1 a_1^2 + \gamma_2 \cdot EA_2 a_2^2$$



$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_1 A_1 s_{eq}}{K_{sc} L^2}}$$

$$\gamma_2 = 1$$

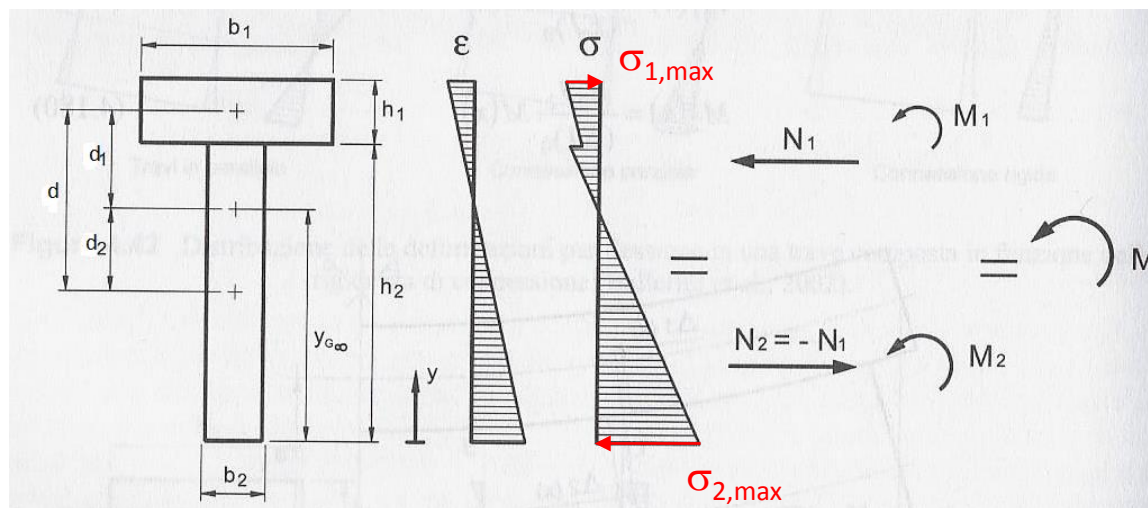


Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Interazione parziale: Teoria di Möhler (1956)

$$EI_{\text{eff}} = EI_1 + EI_2 + \gamma_1 \cdot EA_1 a_1^2 + \gamma_2 \cdot EA_2 a_2^2$$



$$M_1 = \frac{EI_1}{EI_{\text{eff}}} \cdot M$$

$$M_2 = \frac{EI_2}{EI_{\text{eff}}} \cdot M$$

$$N_1 = \frac{M - M_1 - M_2}{a}$$

$$\sigma_{1,\text{max}} = \frac{N_1}{A_1} + \frac{M_1}{W_1} \quad (\text{compressione})$$

$$\sigma_{2,\text{max}} = \frac{N_2}{A_2} + \frac{M_2}{W_2} \quad (\text{trazione})$$

Fondamenti Teorici

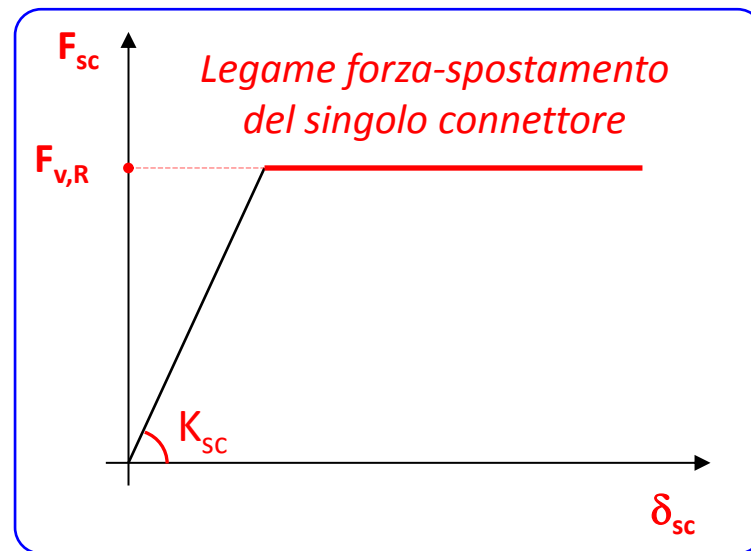
Verifica a tranciamento degli elementi di connessione: sollecitazione di calcolo

Interazione parziale: Teoria di Möhler (1956)

$$EI_{\text{eff}} = EI_1 + EI_2 + \gamma_1 \cdot EA_1 a_1^2 + \gamma_2 \cdot EA_2 a_2^2$$

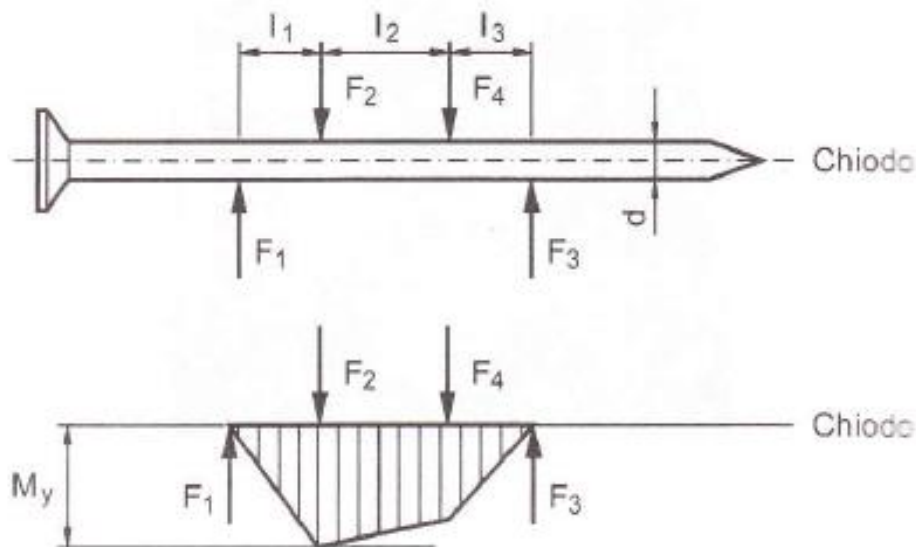
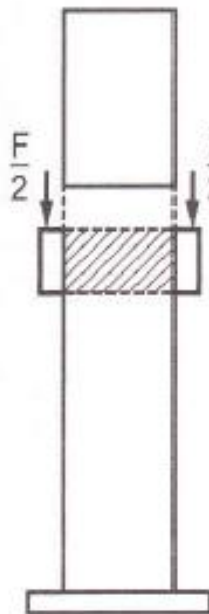
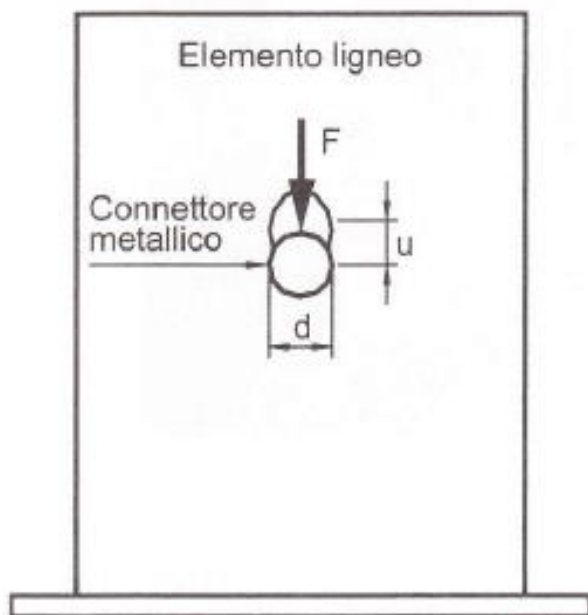
Verifica a taglio della connessione

$$F_{\text{sc,Ed}}(x) = \frac{dN_1(x)}{dx} \approx \frac{\gamma_1 EA_1 a_1 \cdot s_{\text{eq}}}{EI_{\text{eff}}} \cdot V_{\text{Ed}}(x)$$



Fondamenti Teorici

Verifica a tranciamento degli elementi di connessione: resistenza di calcolo



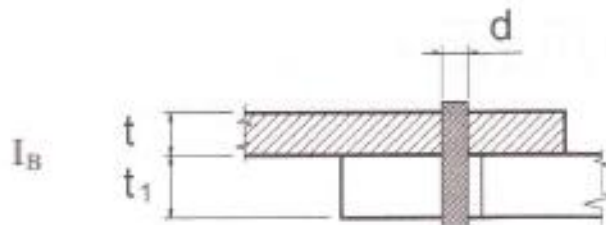
$$f_{h,k} = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad [\text{MPa}]$$

$$M_{y,k} = W_{pl} \cdot f_{y,k} \approx 0.1 \cdot f_u \cdot d^3$$

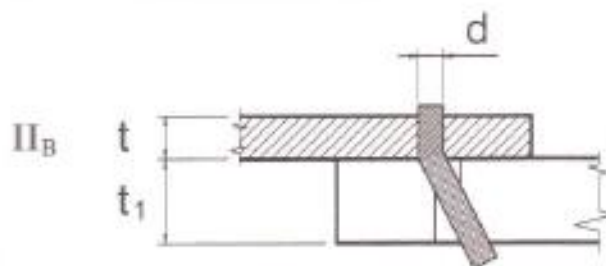
Fondamenti Teorici

Verifica a tranciamento degli elementi di connessione: resistenza di calcolo

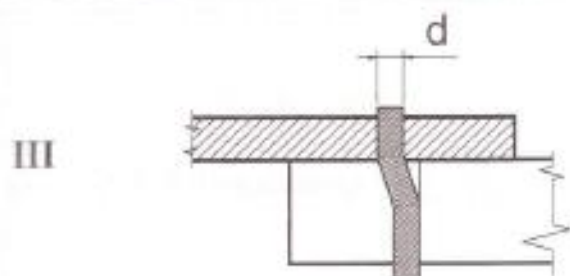
Piastre spesse ($t \geq d$)



$$R_k = f_{h,1,k} t_1 d$$



$$R_k = f_{h,1,k} d t_1 \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right]$$



$$R_k = 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,1,k} d}$$

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} R_k}{\gamma_M}$$

Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Interazione parziale: Teoria di Möhler (1956) – Comportamento differito

$$EI_{\text{eff}} = EI_1 + EI_2 + \gamma_1 \cdot EA_1 a_1^2 + \gamma_2 \cdot EA_2 a_2^2$$

$t=0$ comportamento elastico (valori istantanei di E_1 e E_2)

$t \rightarrow \infty$ comportamento visco-elastico (valori ridotti di E_1 e E_2):

$$E_{1,\text{eff}} = \frac{E_{c,m}}{1 + \phi}$$

$$E_{2,\text{eff}} = \frac{E_{0,m}}{1 + k_{\text{def}}}$$

N.B.: Effetti differiti derivano soltanto dalle sollecitazioni derivanti dall'applicazione dei carichi definiti della combinazione Quasi-Permanente.

Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Interazione parziale: Teoria di Möhler (1956) – Comportamento differito

$$EI_{\text{eff}} = EI_1 + EI_2 + \gamma_1 \cdot EA_1 a_1^2 + \gamma_2 \cdot EA_2 a_2^2$$

$t=0$ comportamento elastico (valori istantanei di E_1 e E_2)

$t \rightarrow \infty$ comportamento visco-elastico (valori ridotti di E_1 e E_2):

Soletta di calcestruzzo

$$E_{1,\text{eff}} = \frac{E_{c,m}}{1 + \phi}$$

Trave in legno

$$E_{2,\text{eff}} = \frac{E_{0,m}}{1 + k_{\text{def}}}$$

Sezione composta

$$EI_{\text{eff},0} \quad EI_{\text{eff},\infty}$$

Fondamenti Teorici

Comportamento meccanico di sistemi composti a due strati

Interazione parziale: Teoria di Möhler (1956)

$$EI_{\text{eff}} = EI_1 + EI_2 + \gamma_1 \cdot EA_1 a_1^2 + \gamma_2 \cdot EA_2 a_2^2$$

Stati Limite di Esercizio: verifica di deformabilità

$$\eta = \frac{EI_{\text{full}} - EI_{\text{abs}}}{EI_{\text{eff}} - EI_{\text{abs}}} \in [0,1]$$

*Parametro di efficienza
della connessione*

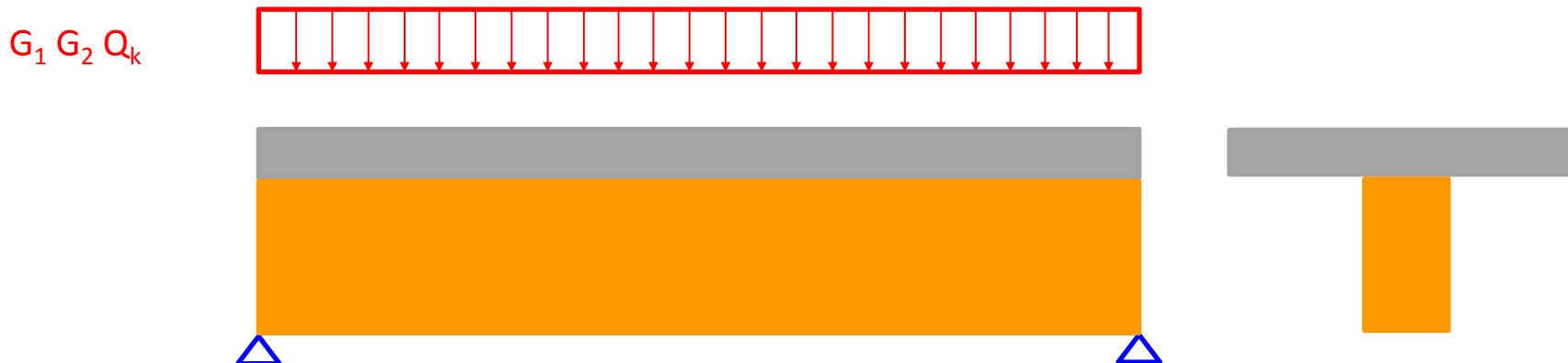
Nelle applicazioni “pratiche” il rapporto η è generalmente compreso tra 0,4 e 0,7.

$$u_{\text{max}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{qL^4}{EI_{\text{eff}}} \leq \delta_{\text{SLE}}$$

Fondamenti Teorici

Modalità di esecuzione: struttura puntellata in fase di getto

Solaio puntellato in fase di getto

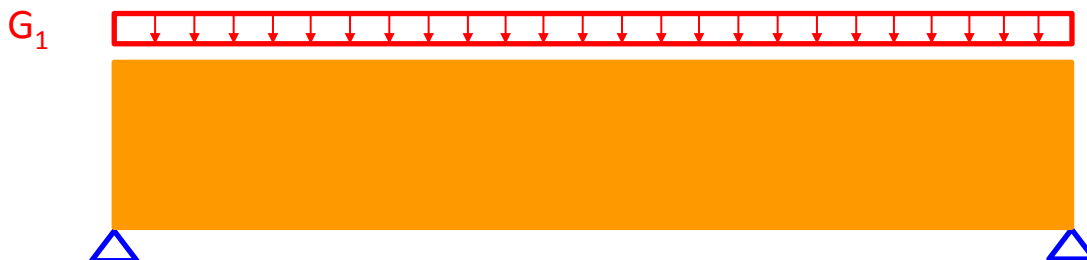


Fondamenti Teorici

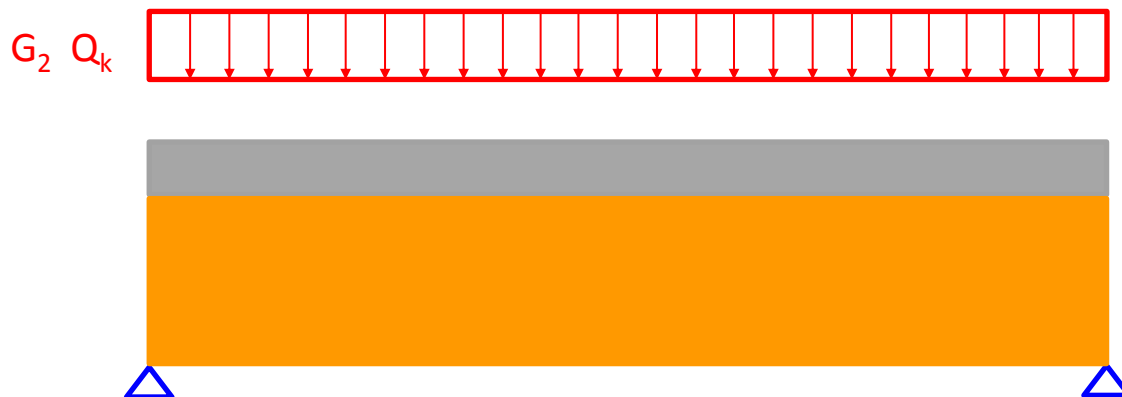
Modalità di esecuzione: struttura puntellata in fase di getto

Solaio non puntellato in fase di getto

Fase I: getto



Fase II: esercizio



Aspetti normativi

Valori di calcolo della resistenza - Classi di durata del carico

$$X_d = \frac{k_{mod} X_k}{\gamma_M}$$

Diagram illustrating the calculation of design resistance X_d based on the characteristic resistance X_k and the partial safety factor γ_M . The modification factor k_{mod} is influenced by the duration of the load and the humidity conditions.

Durata dei carichi

Condizioni di umidità

Classe di durata del carico

- Permanente (maggiore di 10 anni)
- Lunga durata (da 6 mesi a 10 anni)
- Media durata (da 1 settimana a 6 mesi)
- Breve durata (meno di una settimana)
- Istantaneo

- il peso proprio e i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della struttura, appartengono alla classe di durata permanente;
- i carichi permanenti suscettibili di cambiamenti durante il normale esercizio della struttura e i carichi variabili relativi a magazzini e depositi, appartengono alla classe di lunga durata;
- i carichi variabili degli edifici, ad eccezione di quelli relativi a magazzini e depositi, appartengono alla classe di media durata;
- il sovraccarico da neve riferito al suolo q_{sk} , calcolato in uno specifico sito ad una certa altitudine, è da considerare in relazione alle caratteristiche del sito: ($< 0 > 1000$ m s.l.m.)
- l'azione del vento e le azioni eccezionali in genere, appartengono alla classe di durata istantanea.

Aspetti normativi

Valori di calcolo della resistenza - Classi di servizio della struttura

Classe di servizio della struttura

Classe di servizio 1: umidità del materiale inferiore al 65% in equilibrio con ambiente a temperatura di 20°C

(elementi protetti dalle intemperie come quelli interni ad edifici in ambienti condizionati)

Classe di servizio 2: umidità del materiale inferiore al 85% in equilibrio con ambiente a temperatura di 20°C

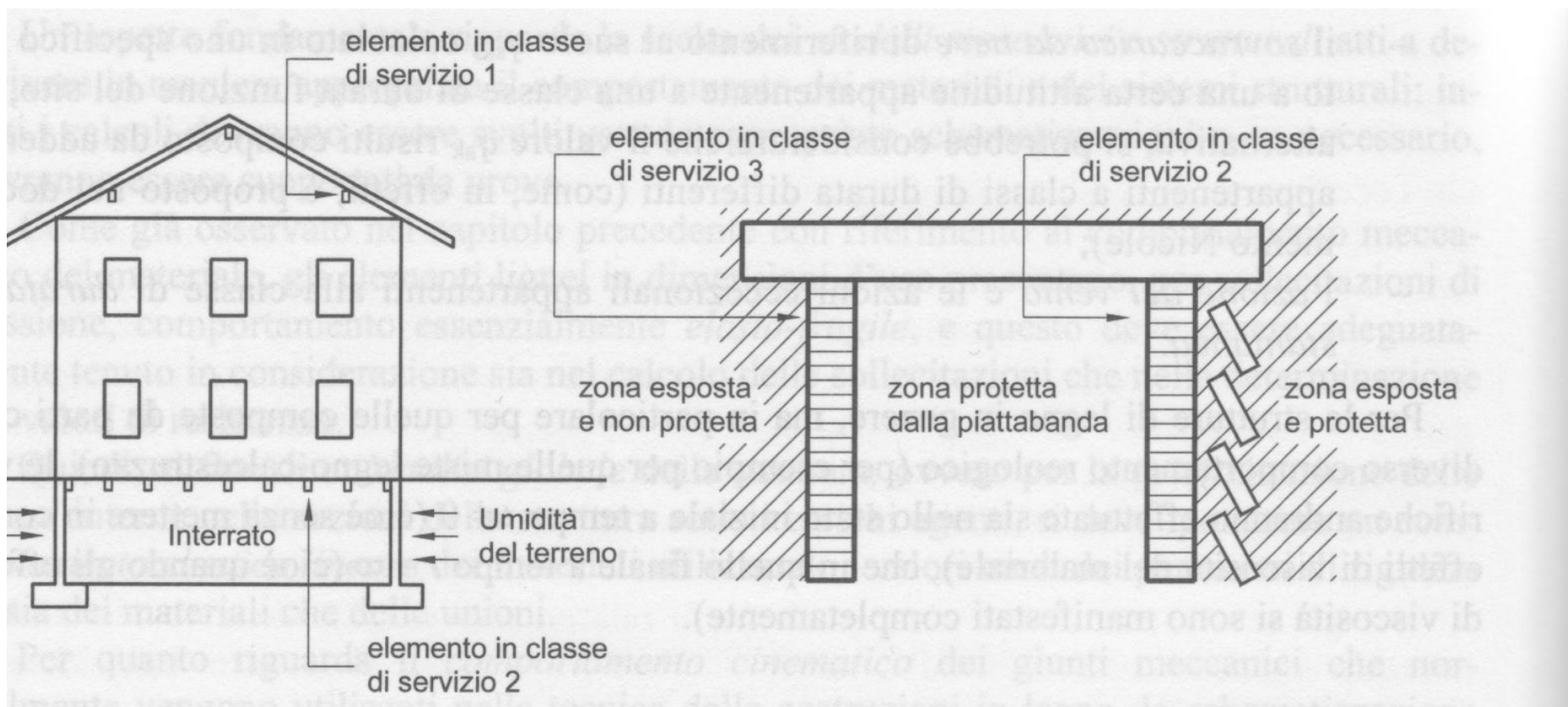
(elementi esterni ma protetti almeno parzialmente da intemperie ed irraggiamento diretto)

Classe di servizio 3: umidità del materiale maggiore al 85% in equilibrio con ambiente a temperatura di 20°C

(elementi esterni per i quali non siano rispettati i requisiti di protezione della classe 2)

Aspetti normativi

Valori di calcolo della resistenza - Classi di servizio della struttura



Aspetti normativi

Valori di calcolo della resistenza: Coefficienti parziali di sicurezza

$$X_d = \frac{k_{mod} X_k}{\gamma_M}$$

D.M. 14/01/2008

Stati limite ultimi	γ_M
- combinazioni fondamentali	
legno massiccio	1,50
legno lamellare incollato	1,45
pannelli di particelle o di fibre	1,50
compensato, pannelli di scaglie orientate	1,40
unioni	1,50
- combinazioni eccezionali	1,00

Aspetti normativi

Valori di calcolo della resistenza: valori di k_{mod}

$$X_d = \frac{k_{mod} X_k}{\gamma_M}$$

D.M. 14/01/2008

Materiale	Riferimento		Classe di servizio	Classe di durata del carico				
				Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea
Legno massiccio Legno lamellare incollato	EN 14081-1 EN 14080		1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
			2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
			3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Compensato	EN 636	Parti 1, 2, 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parti 2, 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parte 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Pannello di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		OSB/3 - OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
			2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90

k_{mod} è un coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto, sui parametri di resistenza, sia della durata del carico sia dell'umidità della struttura. I valori di k_{mod} sono forniti nella Tab. 4.4.IV. Se una combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata del carico si dovrà scegliere un valore di k_{mod} che corrisponde all'azione di minor durata.

Aspetti normativi

Valori di calcolo della resistenza: valori di k_{mod}

Materiale	Riferimento		Classe di servizio	Classe di durata del carico				
				Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea
Legno massiccio Legno lamellare incollato	EN 14081-1 EN 14080		1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
			2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
			3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Compensato	EN 636	Parti 1, 2, 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parti 2, 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parte 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Pannello di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		OSB/3 - OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
			2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312	Parti 4, 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		Parte 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		Parti 6, 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
		Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, alta densità	EN 622-2	HB.LA, HB.HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		HB.HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80

D.M. 14/01/2008

Aspetti normativi

Valori di calcolo della resistenza: valori di k_{def}

La deformazione a lungo termine può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore $1/(1 + k_{def})$, per le membrature, e utilizzando un valore ridotto nello stesso modo del modulo di scorrimento dei collegamenti. Il coefficiente k_{def} tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale.

$$E_{\infty} = E_0 \cdot \frac{1}{1 + k_{def}}$$

Materiale	Riferimento	Classe di servizio		
		1	2	3
Legno massiccio	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Legno lamellare incollato	EN 14080	0,60	0,80	2,00
Compensato	EN 636	Parte 1	0,80	-
		Parte 2	0,80	1,00
		Parte 3	0,80	1,00
Pannelli di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	2,25	-
		OSB/3 OSB/4	1,50	2,25
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312	Parte 4	2,25	-
		Parte 5	2,25	3,00
		Parte 6	1,50	-
		Parte 7	1,50	2,25
Pannelli di fibre, alta densità	EN 622-2	HB.LA	2,25	-
		HB.HLA1, HB.HLA2	2,25	3,00
Pannelli di fibre, media densità (MDF)	EN 622-3	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	-
		MBH.HLS1, MBH.HLS2	3,00	4,00
	EN 622-5	MDF.LA	2,25	-
		MDF.HLS	2,25	3,00

Per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0.

Aspetti normativi

Valori di calcolo della resistenza: valori del coefficiente di viscosità per il calcestruzzo

In sede di progettazione, se lo stato tensionale del calcestruzzo, al tempo $t_0 = j$ di messa in carico, non è superiore a $0,45 \cdot f_{ckj}$, il coefficiente di viscosità $\phi(\infty, t_0)$, a tempo infinito, a meno di valutazioni più precise (per es. § 3.1.4 di UNI EN 1992-1-1), può essere dedotto dalle seguenti Tab. 11.2.VI e 11.2.VII dove h_0 è la dimensione fittizia definita in § 11.2.10.6:

Tabella 11.2.VI – Valori di $\phi(\infty, t_0)$. Atmosfera con umidità relativa di circa il 75%

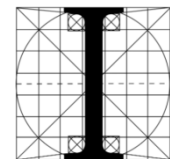
t_0	$h_0 \leq 75 \text{ mm}$	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	3,5	3,2	3,0	2,8
7 giorni	2,9	2,7	2,5	2,3
15 giorni	2,6	2,4	2,2	2,1
30 giorni	2,3	2,1	1,9	1,8
≥ 60 giorni	2,0	1,8	1,7	1,6

Tabella 11.2.VII - Valori di $\phi(\infty, t_0)$. Atmosfera con umidità relativa di circa il 55%

t_0	$h_0 \leq 75 \text{ mm}$	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	4,5	4,0	3,6	3,3
7 giorni	3,7	3,3	3,0	2,8
15 giorni	3,3	3,0	2,7	2,5
30 giorni	2,9	2,6	2,3	2,2
≥ 60 giorni	2,5	2,3	2,1	1,9

Per valori intermedi è ammessa una interpolazione lineare.

$$h_0 = \frac{2A_c}{u}$$



Aspetti normativi

Valori di calcolo della resistenza: verifiche in tenso-flessione della trave in legno

Nel caso di sforzo normale di trazione accompagnato da sollecitazioni di flessione attorno ai due assi principali dell'elemento strutturale, devono essere soddisfatte entrambe le seguenti condizioni:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1.$$

I valori di k_m da utilizzare sono quelli riportati al § 4.4.8.1.6.

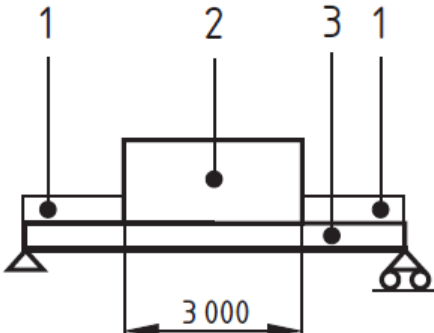
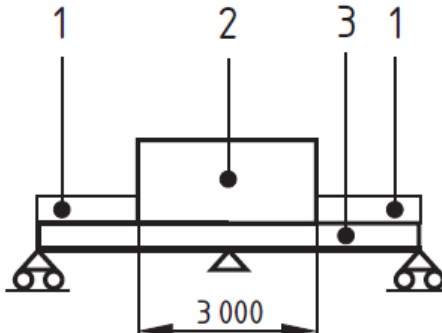
Deve essere inoltre effettuata la verifica di instabilità allo svergolamento (flesso-torsionale) per gli elementi inflessi

Aspetti normativi

Sequenza realizzativa

UNI EN 1991-1-6

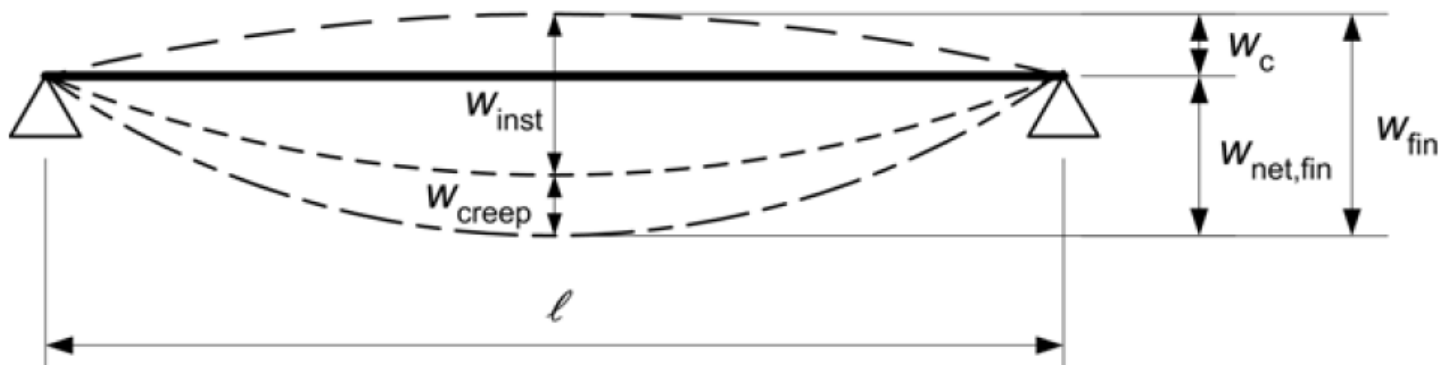
Action	Loaded area	Load in kN/m ²
(1)	Outside the working area	0,75 covering Q_{ca}
(2)	Inside the working area 3 m x 3 m (or the span length if less)	10 % of the self-weight of the concrete but not less than 0,75 and not more than 1,5 Includes Q_{ca} and Q_{cf}
(3)	Actual area	Self-weight of the formwork, load-bearing element (Q_{cc}) and the weight of the fresh concrete for the design thickness (Q_{cf})

Aspetti normativi

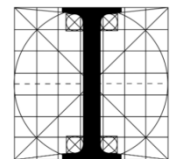
SLE: limiti di inflessione

UNI EN 1995-1-1



$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c$$

	w_{inst}	$w_{net,fin}$	w_{fin}
Beam on two supports	$l/300$ to $l/500$	$l/250$ to $l/350$	$l/150$ to $l/300$
Cantilevering beams	$l/150$ to $l/250$	$l/125$ to $l/175$	$l/75$ to $l/150$



Esempio applicativo

Introduzione

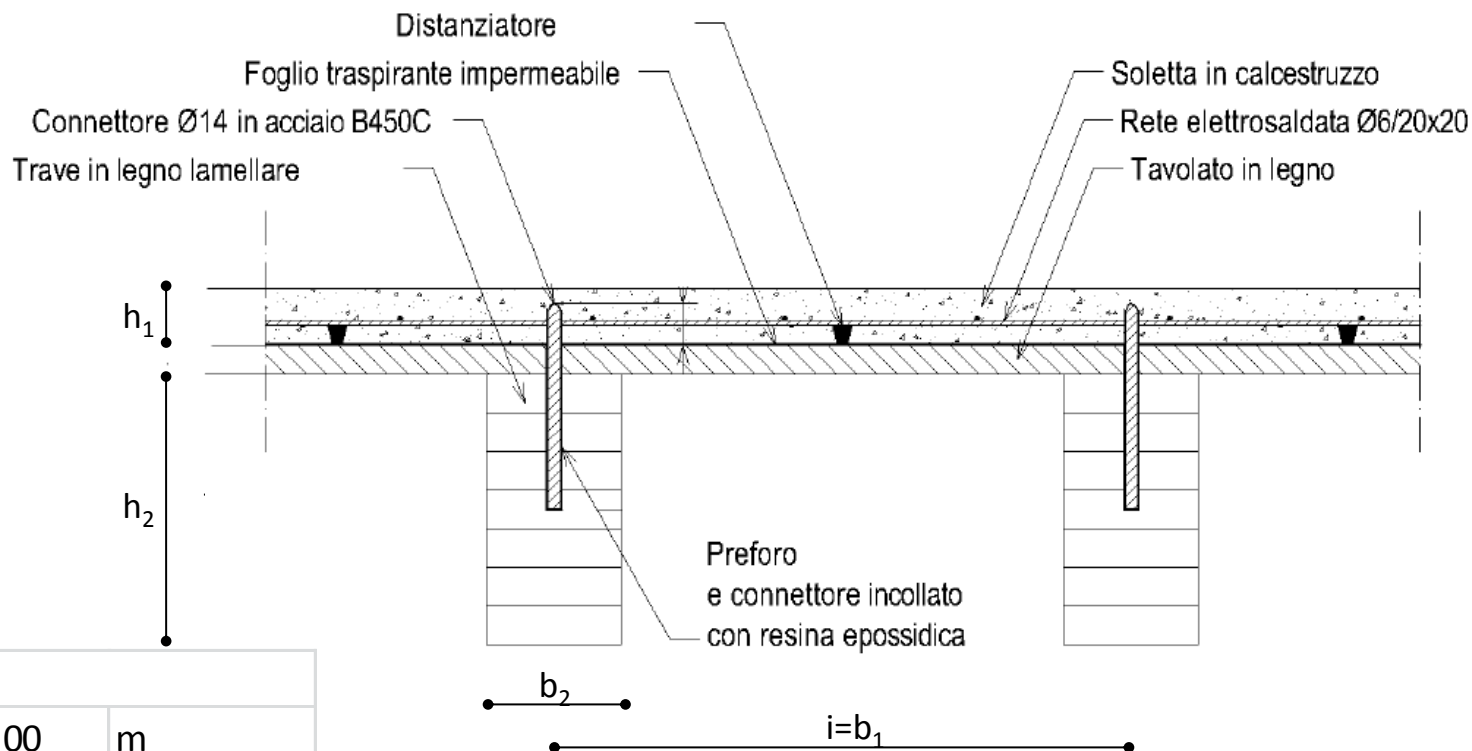
Sezione e Materiali

Analisi dei carichi

Verifiche allo SLU

Verifiche allo SLE





Geometria

L=	5.00	m
h=	310	mm
i=	600	mm
b_2 =	100	mm
h_1 =	50	mm
h_2 =	230	mm
h_3 =	30	mm

Sezione e materiali

Caso 1: interazione assente

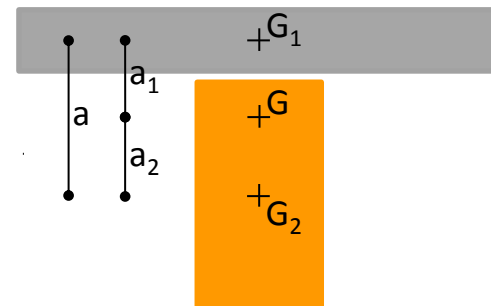
$$(EI)_0 = \sum_i EI_i = \frac{1}{12} \cdot (E_1 \cdot b_1 \cdot h_1^3 + E_2 \cdot b_2 \cdot h_2^3)$$

$$w_1'' = w_2'' = w'' = -\frac{M_1}{E_1 I_1} = -\frac{M_2}{E_2 I_2} = -\frac{M}{(EI)_0}$$

$$M_1(x) = \frac{E_1 I_1}{(EI)_0} \cdot M(x)$$

$$M_2(x) = \frac{E_2 I_2}{(EI)_0} \cdot M(x)$$

$$(EA)_0 = \frac{E_1 A_1 E_2 A_2}{\sum_i E_i A_i}$$



Sezione e materiali

Caso 2: interazione completa

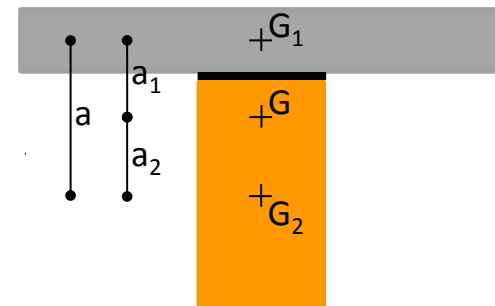
$$y_{G\infty} = \frac{E_1 A_1 \cdot \left(h_2 + \frac{h_1}{2} \right) + E_2 A_2 \cdot \frac{h_2}{2}}{\sum_i E_i A_i} = \frac{h_2}{2} + \frac{E_1 A_1}{\sum_i E_i A_i} \cdot a$$

$$a = \frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2}$$

$$a_1 = h_2 + \frac{h_1}{2} - y_{G\infty}$$

$$a_2 = y_{G\infty} - \frac{h_2}{2}$$

$$(EI)_{\infty} = \sum_i EI_i + \sum_i EA_i a_i^2 = (EI)_0 + (EI)_0 \cdot a^2$$



$$M_1(x) = \frac{E_1 I_1}{(EI)_{\infty}} \cdot M(x)$$

$$M_2(x) = \frac{E_2 I_2}{(EI)_{\infty}} \cdot M(x)$$

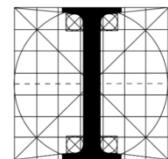
$$M(x) = M_1(x) + M_2(x) + N(x) \cdot a$$

$$N(x) = N_{\infty}(x) = \frac{(EA)_0 \cdot a}{(EI)_{\infty}} \cdot M(x)$$

Sezione e materiali

Legno lamellare

		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
<i>Proprietà di resistenza in N/mm²</i>									
Flessione	$f_{m,k}$	24	28	32	36	24	28	32	36
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	0,40	0,45	0,50	0,60	0,35	0,40	0,45	0,50
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6	2,4	2,7	3,0	3,3
Taglio	$f_{v,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,2	3,8
<i>Proprietà di rigidezza in kN/mm²</i>									
Modulo di elasticità medio parallelo	$E_{0,mean}$	11,6	12,6	13,7	14,7	11,6	12,6	13,7	14,7
Modulo di elasticità parallelo	E_k	9,4	10,2	11,1	11,9	9,4	10,2	11,1	11,9
Modulo di elasticità medio perp.	$E_{90,mean}$	0,39	0,42	0,46	0,49	0,32	0,39	0,42	0,46
Modulo di taglio medio	G_{mean}	0,72	0,78	0,85	0,91	0,59	0,72	0,78	0,85
<i>Massa volumica in kg/m³</i>									
Massa volumica	ρ_k	380	410	430	450	350	380	410	430



Sezione e materiali

Interazione parziale

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot s_{eq}}{K \cdot L^2}}$$

$$\gamma_2 = 1.00$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a}{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 + \gamma_2 \cdot E_2 \cdot A_2}$$

$$a_1 = a - a_2$$

$$EI_{eff} = E_1 I_1 + E_2 I_2 + \gamma_1 \cdot E_1 A_1 \cdot a_1^2 + \gamma_2 \cdot E_2 A_2 \cdot a_2^2$$

$$N_{i,d} = \frac{\gamma_i E_i a_i A_i}{(EI)_{eff}} \cdot M_d$$

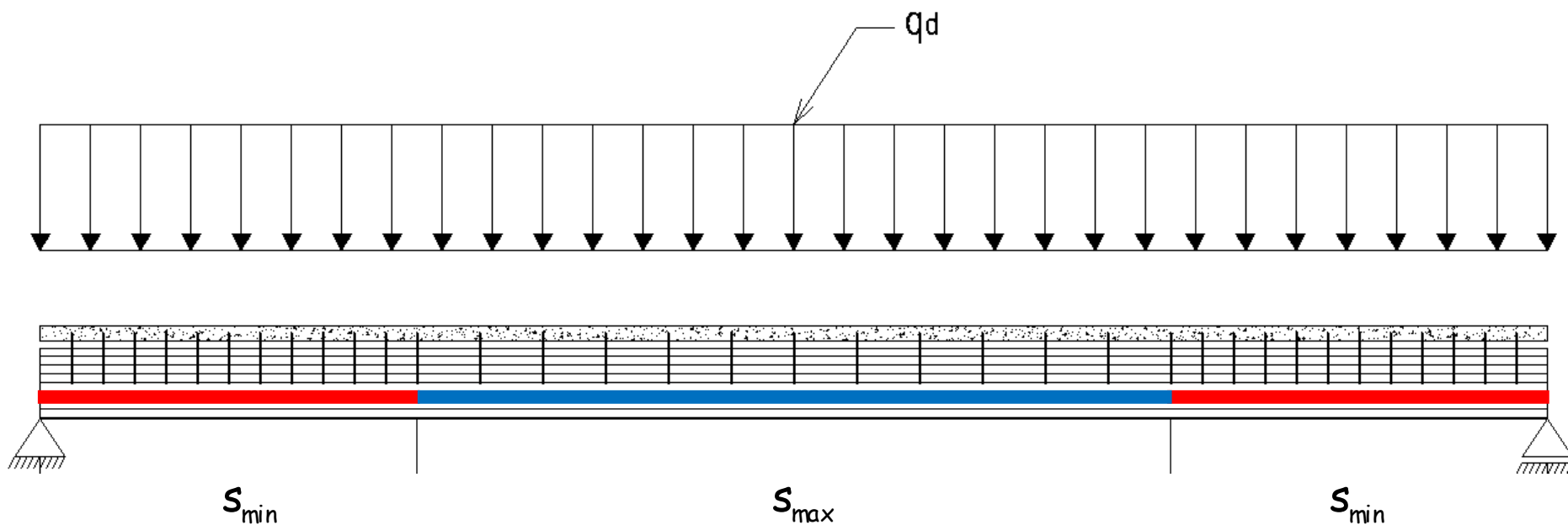
$$M_{i,d} = \frac{E_i I_i}{(EI)_{eff}} \cdot M_d$$

$$\sigma_i \pm \sigma_{m,i} = \frac{N_{i,d}}{A_i} \pm \frac{0.5 \cdot h_i \cdot M_{i,d}}{I_i}$$



Sezione e materiali

Schema strutturale e sistema di connessione



$$s_{eq} = 0.75 \cdot s_{min} + 0.25 \cdot s_{max}$$

$$s_{max} \leq 4 \cdot s_{min}$$

Sezione e materiali

Connettori e connessione

$$f_{h,k} = 0.082 \cdot (1 - 0.01d) \cdot \rho_k$$

$$M_{y,k} = 0.1 \cdot f_u \cdot d^3$$

$$F_{sc,Rk,1} = f_{h,k} \cdot L_w \cdot d = 34002N$$

$$F_{sc,Rk,2} = f_{h,k} \cdot L_w \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d \cdot L_w^2}} - 1 \right]$$

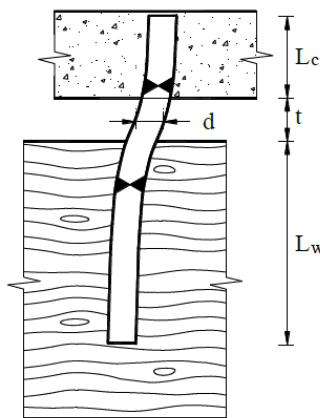
$$F_{sc,Rk,3} = 2.30 \cdot \sqrt{M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d}$$

$$F_{sc,Rk} = \min \{ F_{V,Rk,1}; F_{V,Rk,2}; F_{V,Rk,3} \}$$

$$F_{sc,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{V,Rk}}{\gamma_{conn}}$$

$$K_{ser} = 2 \cdot \rho_k^{1.5} \cdot \frac{d}{20}$$

$$K_{SLU} = \frac{2}{3} K_{ser}$$



$d = 14 \text{ mm}$

Infissione pioli:

- Nel legno $> 6d = 84 \text{ mm} = L_w$
- Nella soletta $> 2.5d = 35 \text{ mm} = L_c$

$$L_{piolo} = L_w + L_c + h_0$$

Sezione e materiali

Materiali: calcestruzzo – valori numerici

Calcestruzzo		
C 25/30		
$f_{ck} =$	25.00	MPa
$f_{cm} =$	33.00	MPa
$E_{cm} =$	31475.81	MPa
$\gamma_{cls} =$	25.00	kN/m ³
$\varphi_t =$	2.00	
$f_{cd} =$	14.17	MPa
$f_{ctm} =$	2.56	MPa
$f_{ctk} =$	1.80	MPa
$f_{ctd} =$	1.20	MPa

Sezione e materiali

Sistema di connessione: valori numerici

Proprietà connettori

$f_{h,k}$	26.80	MPa
$M_{y,k}$	148176	Nmm
$F_{v,Rk,1}$	31513.98	N
$F_{v,Rk,2}$	15482.02	N
$F_{v,Rk,3}$	17148.60	N
$F_{v,Rk}$	15.48	kN
$F_{v,Rd}$	8.26	kN
γ_M	1.50	

Connettori (Barre B450C)

f_{yk}	450.00	MPa
γ_{conn}	1.50	
f_{uk}	540.00	MPa
d	14	mm
s_{min}	100	mm
s_{max}	200	mm
L_c	35	mm
L_w	84	mm
s_{eq}	125	mm

Rigidezza dei connettori

K_{ser}	10370.59	N/mm
K_u	6913.73	N/mm

d_{eff}	18	mm
-----------	----	----

$F_{sc,Rk,1}$	40.52	kN
$F_{sc,Rk,2}$	19.23	kN
$F_{sc,Rk,2}$	19.44	kN

Sezione e materiali

Materiali: legno – valori numerici

Legno								
GL24h			$k_{mod}= 0.60$			$k_{mod}= 0.90$		
$f_{m,k}=$	24.00	MPa	$f_{m,d}=$	10.92	MPa	f_{md}	16.39	MPa
$f_{t,0,k}=$	16.50	MPa	$f_{t,0,d}=$	7.51	MPa	f_{t0d}	11.27	MPa
$f_{t,90,k}=$	0.40	MPa	$f_{t,90,d}=$	0.17	MPa	f_{t90d}	0.25	MPa
$f_{c,0,k}=$	24.00	MPa	$f_{c,0,d}=$	9.93	MPa	f_{c0d}	14.90	MPa
$f_{c,90,k}=$	2.70	MPa	$f_{c,90,d}=$	1.12	MPa	f_{c90d}	1.68	MPa
$f_{v,k}=$	2.70	MPa	$f_{v,d}=$	1.12	MPa	f_{vd}	1.68	MPa
$E_{0,mean}=$	11600	MPa						
$E_{0,05}=$	9400	MPa						
$G_{mean}=$	720	MPa						
$\rho_{k,trade}=$	380	kg/m ³						
$\gamma_M=$	1.45							
$k_h=$	1.10	(cfr. NTC - D.M. 14/01/2008 - Punto 11.7.1.1)						

Sezione e materiali

Interazione parziale: valori numerici

<u>Condizioni iniziali (t=0)</u>								
$E_1 =$	31476	MPa	$E_2 =$	11600	MPa			
$EA_1 =$	9.44E+08	N	$EA_2 =$	2.67E+08	N			
$EI_1 =$	1.97E+11	Nmm ²	$EI_2 =$	1.18E+12	Nmm ²			
$a_1 =$	116.66	mm	$a_2 =$	53.34	mm			
$K_u =$	6913.73	N/mm	$\gamma_1 =$	0.129		$\gamma_2 =$	1.000	
$EI_{abs} =$	1.37E+12	Nmm ²	$EI_{eff} =$	3.79E+12	Nmm ²	$EI_{full} =$	7.38E+12	Nmm ²
			$\eta =$	0.402				

Sezione e materiali

Classe di durata e classe di servizio

Classe di durata del carico	Durata del carico
Combinazione II → Permanente	più di 10 anni
Lunga durata	6 mesi -10 anni
Media durata	1 settimana – 6 mesi
Combinazione I → Breve durata	meno di 1 settimana
Istantaneo	--

Classe di servizio 1	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 2	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 3	È caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2.

Sezione e materiali

Fattori di sicurezza

Stati limite ultimi	γ_M
- combinazioni fondamentali	
legno massiccio	1,50
legno lamellare incollato	1,45
pannelli di particelle o di fibre	1,50
compensato, pannelli di scaglie orientate	1,40
unioni	1,50
- combinazioni eccezionali	1,00

Sezione e materiali

Valori del fattore k_{mod}

Materiale	Riferimento		Classe di servizio	Classe di durata del carico				
				Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea
Legno massiccio Legno lamellare incollato	EN 14081-1 EN 14080		1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
			2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
			3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Compensato	EN 636	Parti 1, 2, 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parti 2, 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parte 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Pannello di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		OSB/3 - OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
			2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312	Parti 4, 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		Parte 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		Parti 6, 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
		Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, alta densità	EN 622-2	HB.LA, HB.HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		HB.HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Pannello di fibre, media densità (MDF)	EN 622-3	MBH.LA1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		MBH.HLS1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
			2	-	-	-	0,45	0,80
	EN 622-5	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		MDF.HLS	2	-	-	-	0,45	0,80

Legno lamellare
Gl24h

Classe di Servizio
1

Carichi variabili
Breve Durata
 $k_{mod}=0.90$

Carichi
permanenti
 $k_{mod}=0.60$

Sezione e materiali

Valori del fattore k_{def}

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} ; 1.1 \right\}$$

Materiale	Riferimento		Classe di servizio		
			1	2	3
Legno massiccio	EN 14081-1		0,60	0,80	2,00
Legno lamellare incollato	EN 14080		0,60	0,80	2,00
Compensato	EN 636	Parte 1	0,80	-	-
		Parte 2	0,80	1,00	-
		Parte 3	0,80	1,00	2,50
Pannelli di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	2,25	-	-
		OSB/3 OSB/4	1,50	2,25	-
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312	Parte 4	2,25	-	-
		Parte 5	2,25	3,00	-
		Parte 6	1,50	-	-
		Parte 7	1,50	2,25	-
Pannelli di fibre, alta densità	EN 622-2	HB.LA	2,25	-	-
		HB.HLA1, HB.HLA2	2,25	3,00	-
Pannelli di fibre, media densità (MDF)	EN 622-3	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	-	-
		MBH.HLS1, MBH.HLS2	3,00	4,00	-
	EN 622-5	MDF.LA	2,25	-	-
		MDF.HLS	2,25	3,00	-

Per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0.

Analisi

Analisi dei carichi

Combinazioni SLU

$$q_{Ed,I} = \left[1.3 \cdot (g_{1,k} + g_{2,k}) + 1.5 \cdot q_k \right] \cdot i \Rightarrow k_{mod} = 0.8$$

$$q_{Ed,II} = \left[1.3 \cdot (g_{1,k} + g_{2,k}) \right] \cdot i \Rightarrow k_{mod} = 0.6$$

Combinazioni SLE

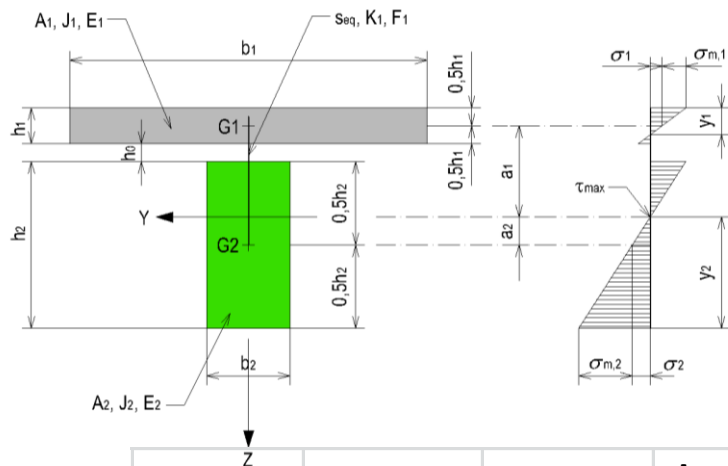
$$q_{Ed,RARA} = \left[g_{1,k} + g_{2,k} + q_k \right] \cdot i$$

$$q_{Ed,QP} = \left[g_{1,k} + g_{2,k} + 0.3 \cdot q_k \right] \cdot i$$

<u>Carichi</u>									
$g_1 =$	0.95	kN/m	$g_1 =$	0.95	kN/m				
$g_2 =$	0.95	kN/m ²	$g_2 =$	0.57	kN/m				
$q_k =$	2.00	kN/m ²	$q_k =$	1.20	kN/m				
<u>Combinazioni di carico</u>									
<u>Stato Limite Ultimo (SLU)</u>					<u>Stato Limite di Esercizio (SLE)</u>				
$q_{Ed,I} =$	3.78	kN/m	$M_{Ed,I} =$	11.81	kNm	$q_{Ed,R} =$	2.72	kN/m	
			$V_{Ed,I} =$	9.45	kN				
$q_{Ed,II} =$	1.98	kN/m	$M_{Ed,II} =$	6.19	kNm	$q_{Ed,F} =$	2.12	kN/m	$\psi_1 = 0.5$
			$V_{Ed,II} =$	4.95	kN	$q_{Ed,QP} =$	1.76	kN/m	$\psi_2 = 0.2$

Verifiche allo SLU

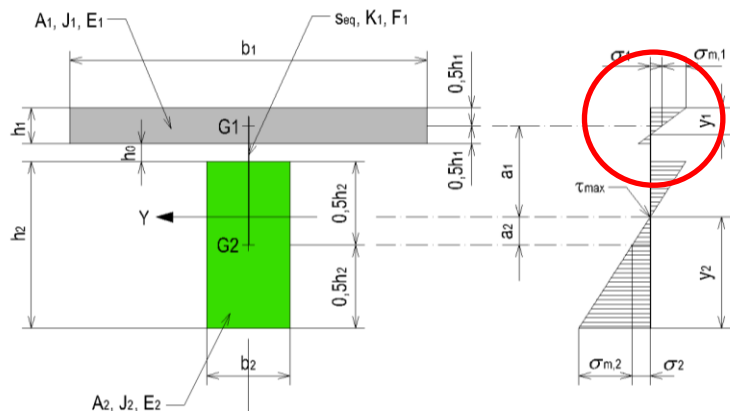
Verifiche a $t=0$



			Flessione					
<u>Combinazione I</u>						<u>Combinazione II</u>		
$M_{Ed} =$	11.81	kNm				$M_{Ed} =$	6.19	kNm
$M_1 =$	0.35	kNm				$M_1 =$	0.18	kNm
$M_2 =$	2.10	kNm				$M_2 =$	1.10	kNm
$N =$	55.04	kN				$N =$	28.82	kN
$F_{sc,Ed} =$	0.55	kN				$F_{sc,Ed} =$	0.29	kN

Verifiche allo SLU

Verifiche a t=0 (Calcestruzzo)



Calcestruzzo

$$\sigma_1 = \gamma_1 \cdot E_1 \cdot a_1 \cdot \frac{M_{Ed}}{(EI)_{eff}}$$

$$\sigma_{1,m} = 0.5 \cdot E_1 \cdot h_1 \cdot \frac{M_{Ed}}{(EI)_{eff}}$$

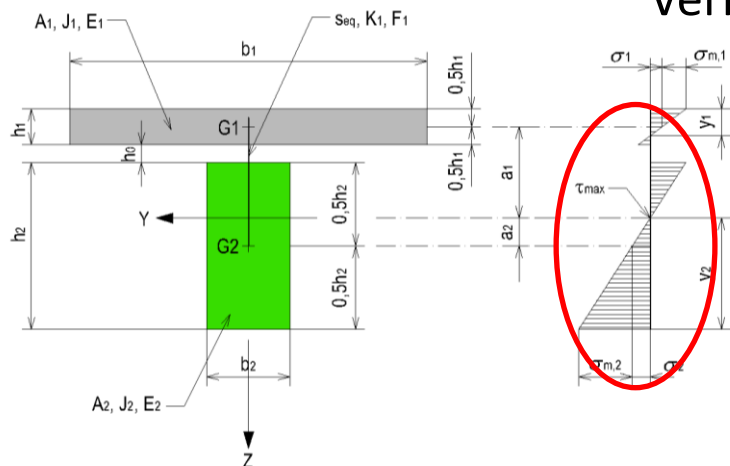
$$\sigma_{1,c} = \sigma_{1,m} + \sigma_1$$

$$\sigma_{1,c} = \sigma_{1,m} - \sigma_1$$

Combinazione I			Combinazione II		
$\sigma_{1,c} =$	1.48	MPa	$\sigma_{1,c} =$	0.77	MPa
$\sigma_{1,m} =$	2.45	MPa	$\sigma_{1,m} =$	1.28	MPa
$\sigma_c =$	3.93	MPa	$\sigma_c =$	2.06	MPa
$f_{cd} =$	14.17	MPa	$f_{cd} =$	14.17	MPa
	0.277			0.145	
		(<i>lembo superiore compresso</i>)			
$\sigma_{ct} =$	-0.97	MPa	$\sigma_{ct} =$	-0.51	MPa
$f_{ctd} =$	1.20	MPa	$f_{ctd} =$	1.20	MPa
	0.813			0.426	
		(<i>lembo inferiore teso</i>)			

Verifiche allo SLU

Verifiche a t=0 (Legno)



Legno

$$\sigma_2 = \gamma_2 \cdot E_2 \cdot a_2 \cdot \frac{M_{Ed}}{EI_{eff}}$$

$$\sigma_{2,m} = 0.5 \cdot E_2 \cdot h_2 \cdot \frac{M_{Ed}}{EI_{eff}} =$$

$$\frac{\sigma_2}{f_{0,t,d}} + \frac{\sigma_{m,2}}{f_{m,d}} \leq 1 \rightarrow \text{verifica soddisfatta}$$

$$\tau_{max} = \gamma_2 \cdot E_2 \cdot \gamma_2^2 \cdot \frac{V_{Ed}}{(EI)_{eff}} \leq f_{v,d}$$

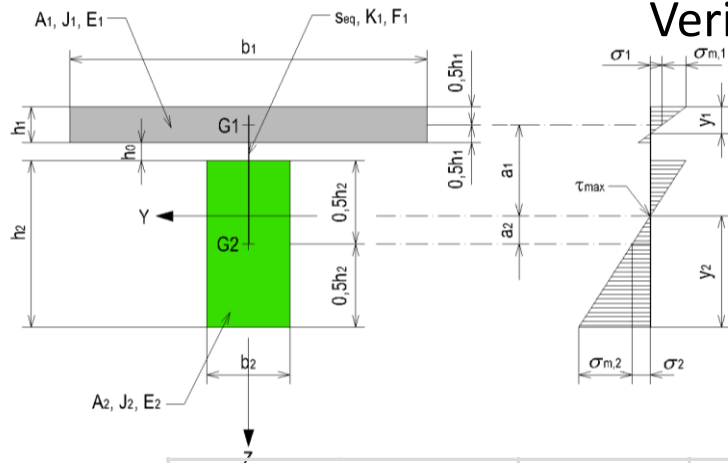
Combinazione I

$\sigma_{2,t} =$	1.93	MPa	$\sigma_{2,m} =$	4.15	MPa	$\sigma_{2,t} =$	1.01	MPa	$\sigma_{2,m} =$	2.18	MPa
$f_{t,0,d} =$	11.27	MPa	$f_{m,d} =$	16.39	MPa	$f_{t,0,d} =$	7.51	MPa	$f_{m,d} =$	10.92	MPa
	<u>0.171</u>			<u>0.254</u>			<u>0.134</u>			<u>0.199</u>	
				0.425						0.334	
Taglio											
$\tau_d =$	0.41	MPa				$\tau_d =$	0.21	MPa			
$f_{v,d} =$	1.68	MPa				$f_{v,d} =$	1.12	MPa			
	0.244						0.192				



Verifiche allo SLU

Verifiche a t=0 (Connettori)



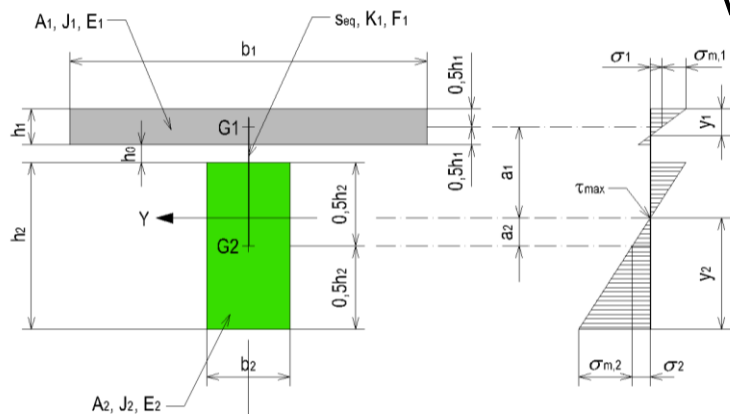
Connettori

$$F_{sc,Ed} = \gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s_{eq} \cdot \frac{V_{Ed}}{E I_{eff}} \leq F_{sc,Rd}$$

Combinazione I			Combinazione II		
			Connessione		
			$F_{sc,Rk,1} =$	40.52	kN
			$F_{sc,Rk,2} =$	19.23	kN
			$F_{sc,Rk,2} =$	19.44	kN
$F_{sc,Ed} =$	4.43	kN			
$F_{sc,Rd} =$	11.54	kN			
	0.384				
			$F_{sc,Ed} =$	2.32	kN
			$F_{sc,Rd} =$	7.69	kN
				0.302	

Verifiche allo SLU

Verifiche a $t \rightarrow \infty$



$$k_{ser,\infty} = \frac{k_{ser}}{1 + k_{def}} \quad k_{u,\infty} = \frac{k_u}{1 + k_{def}}$$

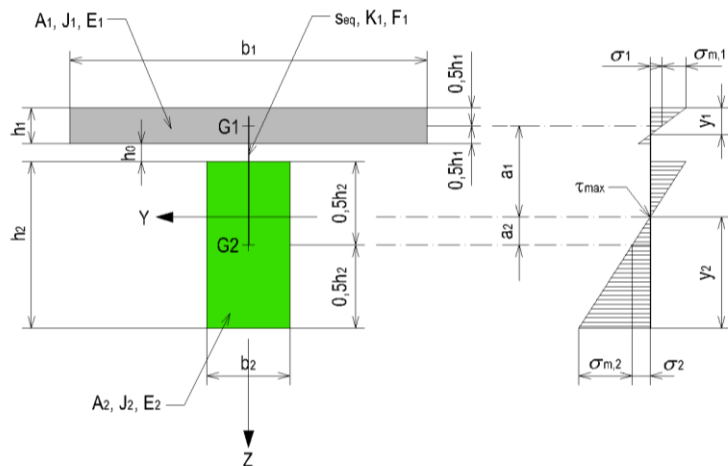
$$E_{1,\infty} = \frac{E_1}{1 + \phi_t} \quad E_{2,\infty} = \frac{E_2}{1 + k_{def}}$$

Condizioni iniziali ($t \rightarrow \infty$)

$E_1 =$	10492	MPa	$E_2 =$	7250	MPa		
$EA_1 =$	3.15E+08	N	$EA_2 =$	1.67E+08	N		
$EI_1 =$	6.56E+10	Nmm ²	$EI_2 =$	7.35E+11	Nmm ²		
$a_1 =$	120.50	mm	$a_2 =$	49.50	mm		
$K_u =$	4321.08	N/mm	$\gamma_1 =$	0.218		$\gamma_2 =$	1.000
$EI_{abs} =$	8.01E+11	Nmm ²	$EI_{eff} =$	2.20E+12	Nmm ²	$EI_{full} =$	3.95E+12 Nmm ²
			$\eta =$	0.445			

Verifiche allo SLU

Verifiche a $t \rightarrow \infty$



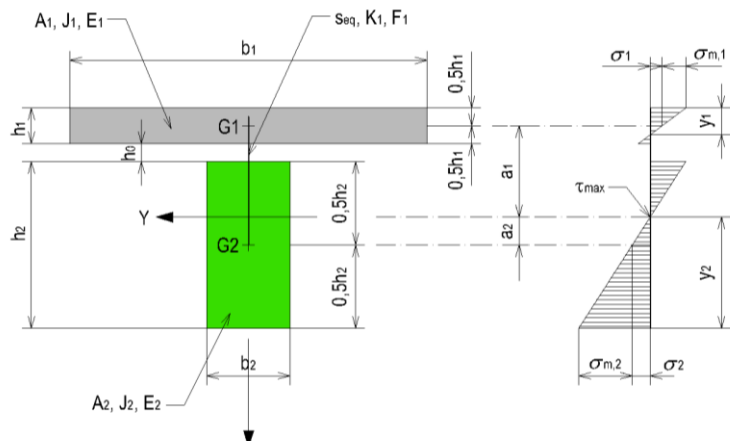
$$k_{ser,\infty} = \frac{k_{ser}}{1 + k_{def}} \quad k_{u,\infty} = \frac{k_u}{1 + k_{def}}$$

$$E_{1,\infty} = \frac{E_1}{1 + \phi_t} \quad E_{2,\infty} = \frac{E_2}{1 + k_{def}}$$

Combinazione I			Combinazione II		
$M_{Ed} =$	11.81	kNm	$M_{Ed} =$	6.19	kNm
$M_1 =$	0.35	kNm	$M_1 =$	0.18	kNm
$M_2 =$	3.94	kNm	$M_2 =$	2.06	kNm
$N =$	44.23	kN	$N =$	23.17	kN
$F_{sc,Ed} =$	0.00	kN	$F_{sc,Ed} =$	0.00	kN

Verifiche allo SLU

Verifiche a $t \rightarrow \infty$ (Calcestruzzo)



Calcestruzzo

$$\sigma_1 = \gamma_1 \cdot E_1 \cdot a_1 \cdot \frac{M_{Ed}}{(EI)_{eff}}$$

$$\sigma_{1,m} = 0.5 \cdot E_1 \cdot h_1 \cdot \frac{M_{Ed}}{(EI)_{eff}}$$

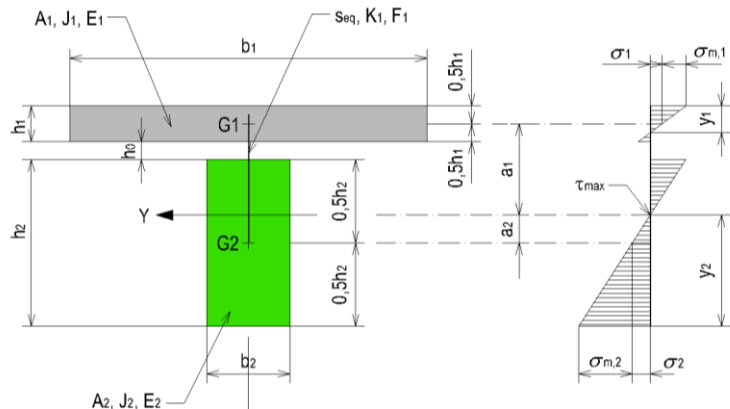
$$\sigma_{1,c} = \sigma_{1,m} + \sigma_1$$

$$\sigma_{1,c} = \sigma_{1,m} - \sigma_1$$

Combinazione I			Combinazione II		
$\sigma_{1,c} =$	1.47	MPa	$\sigma_{1,c} =$	0.77	MPa
$\sigma_{1,m} =$	1.41	MPa	$\sigma_{1,m} =$	0.74	MPa
$\sigma_c =$	2.88	MPa	$\sigma_c =$	1.51	MPa
$f_{cd} =$	14.17	MPa	$f_{cd} =$	14.17	MPa
	0.203			0.106	
		(<i>lembo superiore compresso</i>)			
$\sigma_{ct} =$	0.07	MPa	$\sigma_{ct} =$	0.04	MPa
$f_{ctd} =$	1.20	MPa	$f_{ctd} =$	1.20	MPa
	0.058			0.030	
		(<i>lembo inferiore teso</i>)			

Verifiche allo SLU

Verifiche a $t \rightarrow \infty$ (Legno)



Combinazione I

$\sigma_{2,t} =$	1.92	MPa
$f_{t,0,d} =$	11.27	MPa
	<u>0.171</u>	

$\sigma_{2,m} =$	4.47	MPa
$f_{m,d} =$	16.39	MPa
	<u>0.273</u>	
	0.443	

Taglio

$\tau_d =$	0.42	MPa
$f_{v,d} =$	1.68	MPa
	0.251	

Combinazione II

$\sigma_{2,t} =$	1.01	MPa
$f_{t,0,d} =$	7.51	MPa
	<u>0.134</u>	
	0.214	

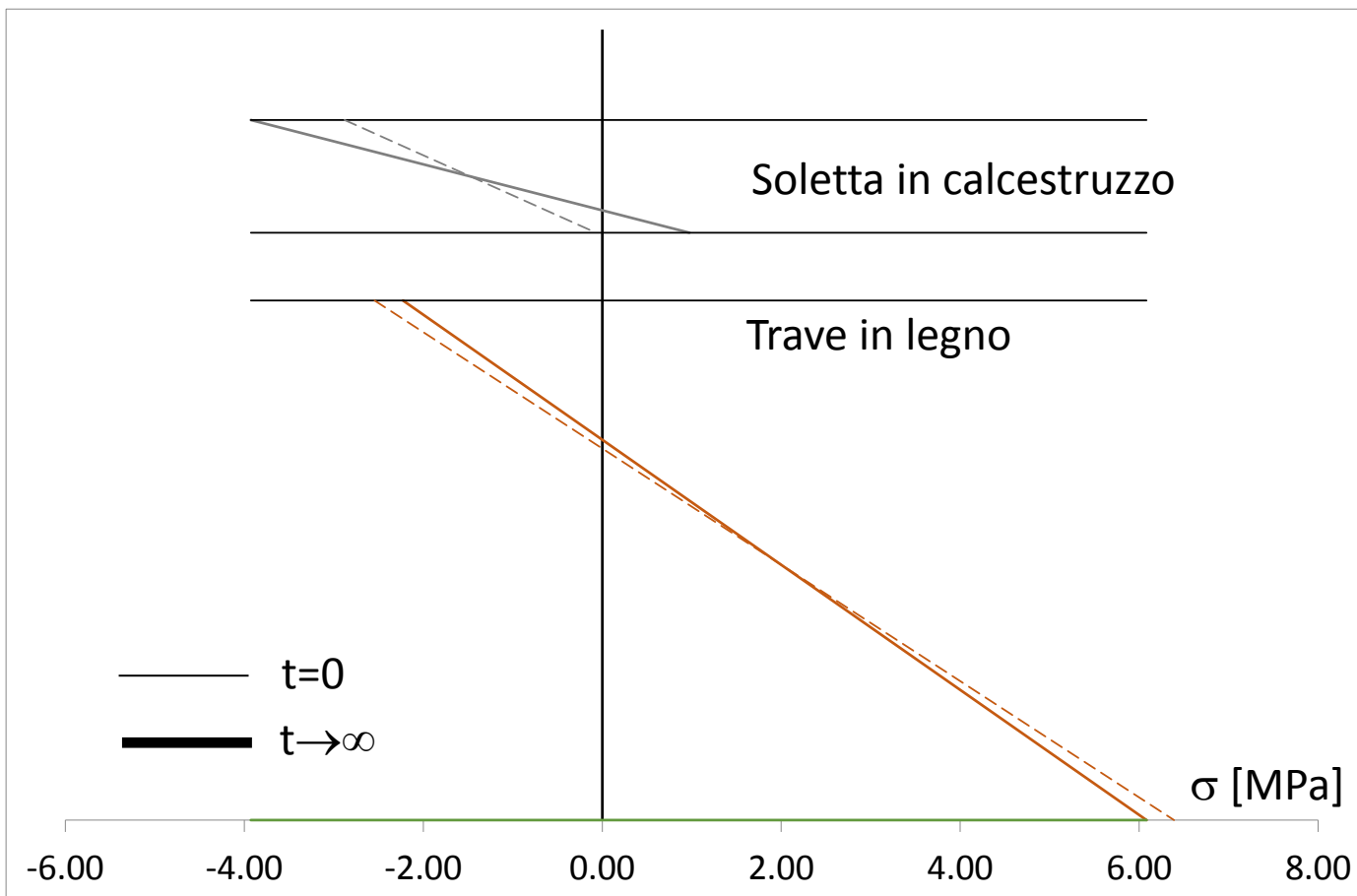
$\tau_d =$	0.22	MPa
$f_{v,d} =$	1.12	MPa
	0.197	

Verifiche a $t \rightarrow \infty$ (Connettori)



Verifiche allo SLU

Verifiche: $t=0$ vs. a $t \rightarrow \infty$ (Combinazione I)



Verifiche allo SLE

Massima freccia istantanea

$$u_{\max, \text{ist}} = 1.10 \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{EI_{\text{eff}}|_{t=0}} \leq \frac{L}{500}$$

- freccia istantanea dovuta ai carichi variabili

$E_1 =$	31476	MPa	$E_2 =$	11600	MPa			
$EA_1 =$	9.44E+08	N	$EA_2 =$	2.67E+08	N			
$EI_1 =$	1.97E+11	Nmm ²	$EI_2 =$	1.18E+12	Nmm ²			
$a_1 =$	37.45	N	$a_2 =$	132.55	N			
$K_{\text{ser}} =$	10370.59	N/mm	$\gamma_1 =$	0.182		$\gamma_2 =$	1.000	
$EI_{\text{abs}} =$	1.37E+12	Nmm ²	$EI_{\text{eff}} =$	6.30E+12	Nmm ²	$EI_{\text{full}} =$	7.38E+12	Nmm ²
$u_{q, \text{ist}} =$	2.84	mm	$u_{q, \text{ist, lim}} =$	10.00	mm			

Verifiche allo SLE

Massima freccia a lungo termine

$$u_{fin} = 1.10 \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ed,QP} \cdot L^4}{EI_{eff}|_{t \rightarrow \infty}} + 1.10 \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{(q_{Ed,R} - q_{Ed,QP}) \cdot L^4}{EI_{eff}|_{t \rightarrow 0}} \leq \frac{L}{350}$$

- freccia massima differita ($t \rightarrow \infty$)					
$E_1 =$	10492	MPa	$E_2 =$	7250	MPa
$EA_1 =$	3.15E+08	N	$EA_2 =$	1.67E+08	N
$EI_1 =$	6.56E+10	Nmm ²	$EI_2 =$	7.35E+11	Nmm ²
$a_1 =$	58.87	mm	$a_2 =$	111.13	mm
$K_{ser} =$	6481.62	N/mm	$\gamma_1 =$	0.294	
$EI_{abs} =$	8.01E+11	Nmm ²	$EI_{eff} =$	3.18E+12	Nmm ²
					$\gamma_2 =$ 1.000
					$EI_{full} =$ 3.95E+12 Nmm ²
$u_{QP,v} =$	4.96	mm	$u_{(R-QP),ist} =$	0.27	mm
$u_{fin} =$	5.23	mm	$u_{fin,lim} =$	14.29	mm

Verifiche allo SLE

Massima freccia a lungo termine per le verifiche degli elementi secondari

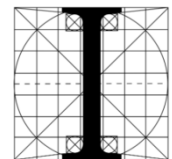
$$u_{g,ist} = 1.10 \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_1 + g_2) \cdot L^4}{EI_{eff}|_{t \rightarrow 0}}$$

$$u_{fin,2} = u_{fin} - u_{g,ist} \leq \frac{L}{400}$$

- freccia massima differita per la verifica degli elementi secondari ($t \rightarrow \infty$)

$u_{fin,2} =$	3.07	mm	$u_{fin,2} =$	12.50	mm	





Fine

Grazie per la cortese attenzione