

# **LE STRUTTURE IN LEGNO**

## Esercizio guidato

prof. Federica Caldi

# Il caso di studio: soppalco in legno

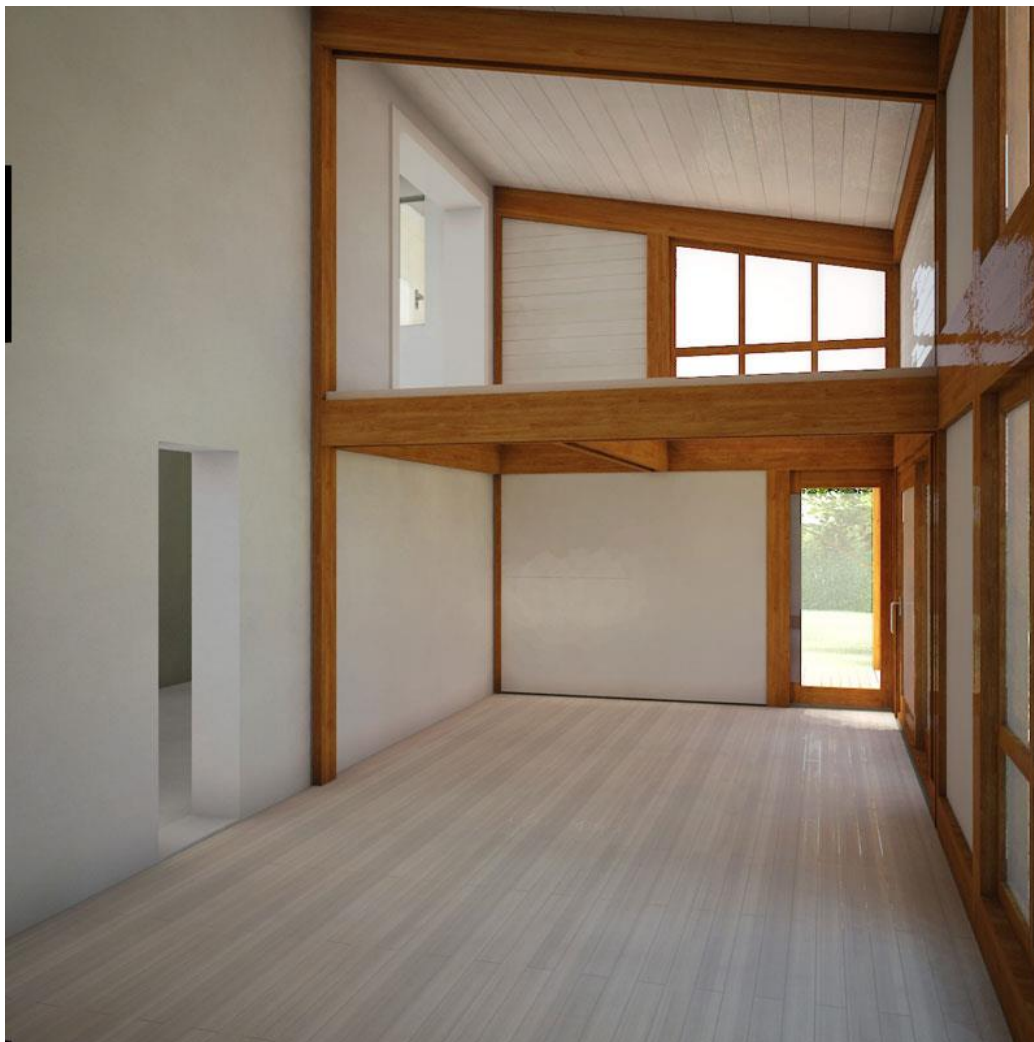
In una abitazione privata, si vuole realizzare un soppalco in parte di un soggiorno esistente.

La nuova struttura avrà una superficie di  $4,2 \times 3,2 \text{ m}^2$  e sarà sostenuta da quattro pilastri posti alle estremità.

Il soppalco sarà realizzato con una struttura composta da travi e travetti in legno massiccio di conifera, con classe di resistenza C24, e assito di spessore 4 cm, con finitura in listelli di legno di spessore 1 cm.

Progettare e verificare gli elementi resistenti.

# Il caso di studio: soppalco in legno



Dal momento che la struttura è realizzata in un ambiente interno, si assume la classe di servizio 2 e i carichi vengono assunti di lunga durata.

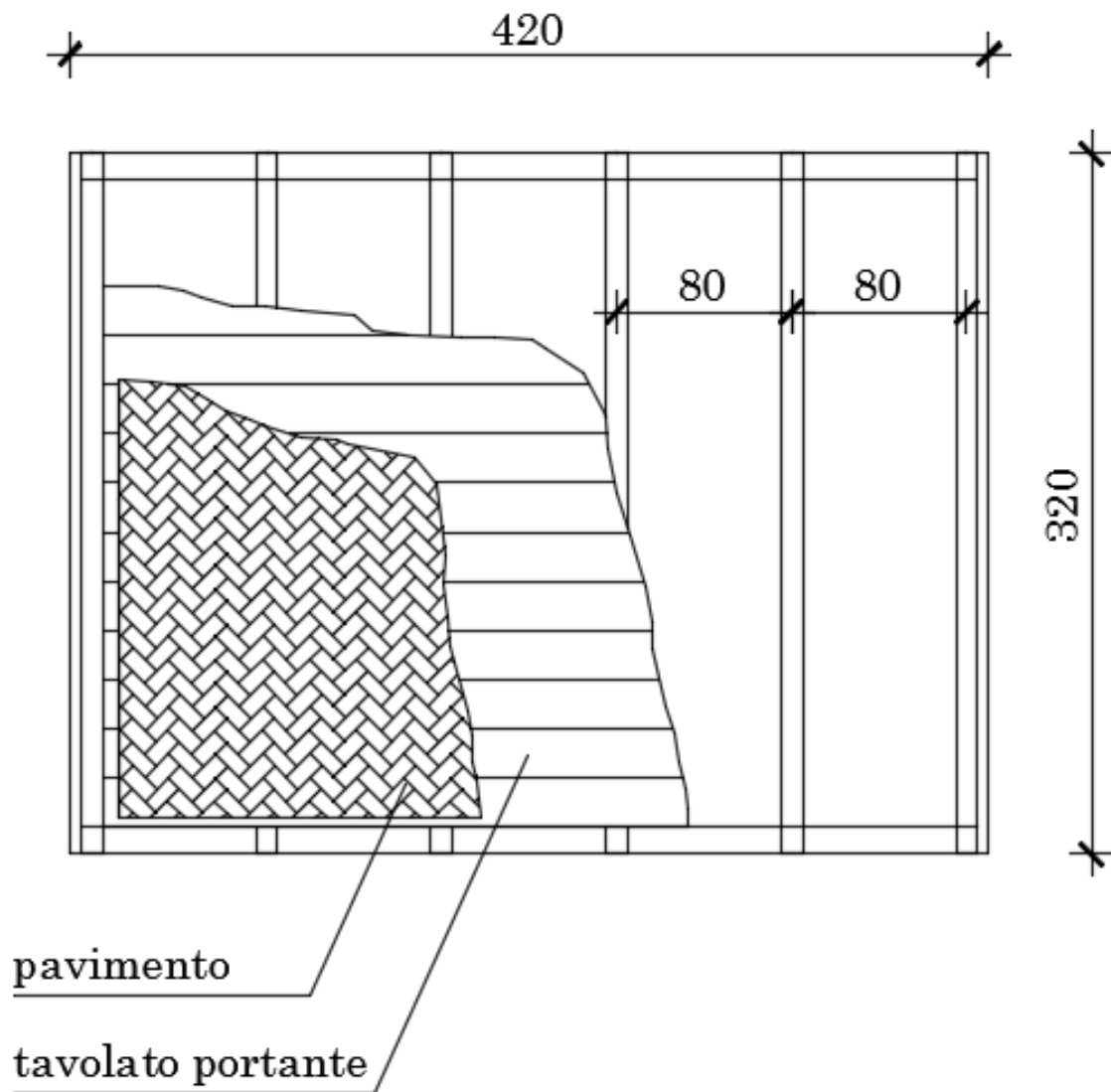
# Elementi da progettare

Travi secondarie → flessione  
taglio

Travi principali → flessione  
taglio

Pilastri → sforzo normale

# Schema soppalco



# Resistenze di calcolo

$$Resistenza\ di\ calcolo = \frac{k_{mod} \cdot f_{x,k}}{\gamma_M}$$

Classe di durata del carico	Durata del carico	Esempi di carico	Valori di $k_{mod}$	
			Classe di servizio	
			1 e 2	3
Permanente	più di 10 anni	Peso proprio, permanenti non rimovibili	0,60	0,50
Lunga durata	6 mesi + 10 anni	Permanenti rimovibili, variabili di magazzini e depositi	0,70	0,55
Media durata	1 settimana + 6 mesi	Carichi variabili di edifici	0,80	0,65
Breve durata	meno di 1 settimana	Neve fino a $q_{sk} = 2\text{ kN/m}^2$	0,90	0,70
Istantaneo	–	Vento e azioni eccezionali	1,00	0,90

Stati limite ultimi	$\gamma_M$
<i>Combinazioni fondamentali</i>	
Legno massiccio	1,50
Legno lamellare incollato	1,45
Pannelli di particelle o di fibre	1,50
Compensato	1,40
Unioni	1,50
<i>Combinazioni eccezionali</i>	1,00
<b>Stati limite di esercizio</b>	1,00

Classi di resistenza		C14	C16	C18	C20	C22	C24
Resistenze [N/mm²]							
flessione	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24
trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5
taglio	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5

# Resistenze di calcolo

## Sforzo normale

$$f_{n,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{n,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 21}{1,5} = 9,8 \frac{N}{mm^2}$$

## Flessione

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 24}{1,5} = 11,2 \frac{N}{mm^2}$$

## Taglio

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 2,5}{1,5} = 1,17 \frac{N}{mm^2}$$

# Procedimento

Calcolo TRAVI SECONDARIE



Calcolo TRAVI PRINCIPALI



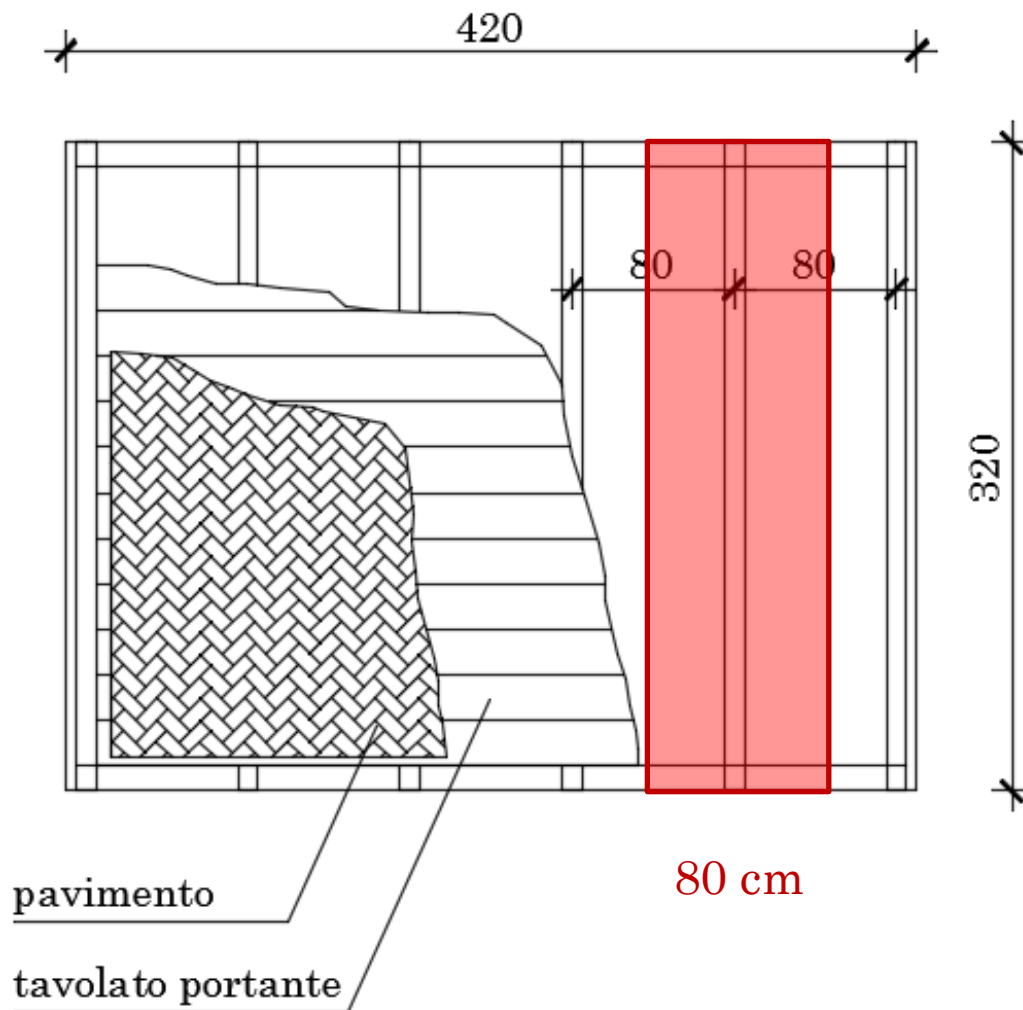
Calcolo PILASTRI

L'ordine con cui vengono calcolati gli elementi segue quello di «scarico»:  
la travi secondarie scaricano il peso sulle principali, che a loro volta  
scaricano il peso sui pilastri.



# Calcolo travi secondarie

Il carico distribuito dell'impalcato che grava su ogni singolo travetto è quello compreso nella superficie definita dalla mezzeria dei travetti.



# Calcolo travi secondarie

Si ipotizza che i travetti abbiano sezione pari a 12x16 cm<sup>2</sup>.

ANALISI DEI CARICHI per mq di solaio

$G_1$ Perm. strutturale	Tavolato	$0,04 \times 4,6 = 0,18 \text{ kN/m}^2$
	Travetti	$\frac{0,12 \times 0,16}{0,8} \times 3,8 = 0,09 \text{ kN/m}^2$
$G_2$ Perm. non strutturale	Pavimento	$0,01 \times 4,2 = 0,04 \text{ kN/m}^2$
$Q$ Accidentale		$2 \text{ kN/m}^2$

Per il calcolo della trave secondaria:

$$G_1 = 0,27 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 0,04 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

# Calcolo travi secondarie

## COMBINAZIONE FONDAMENTALE

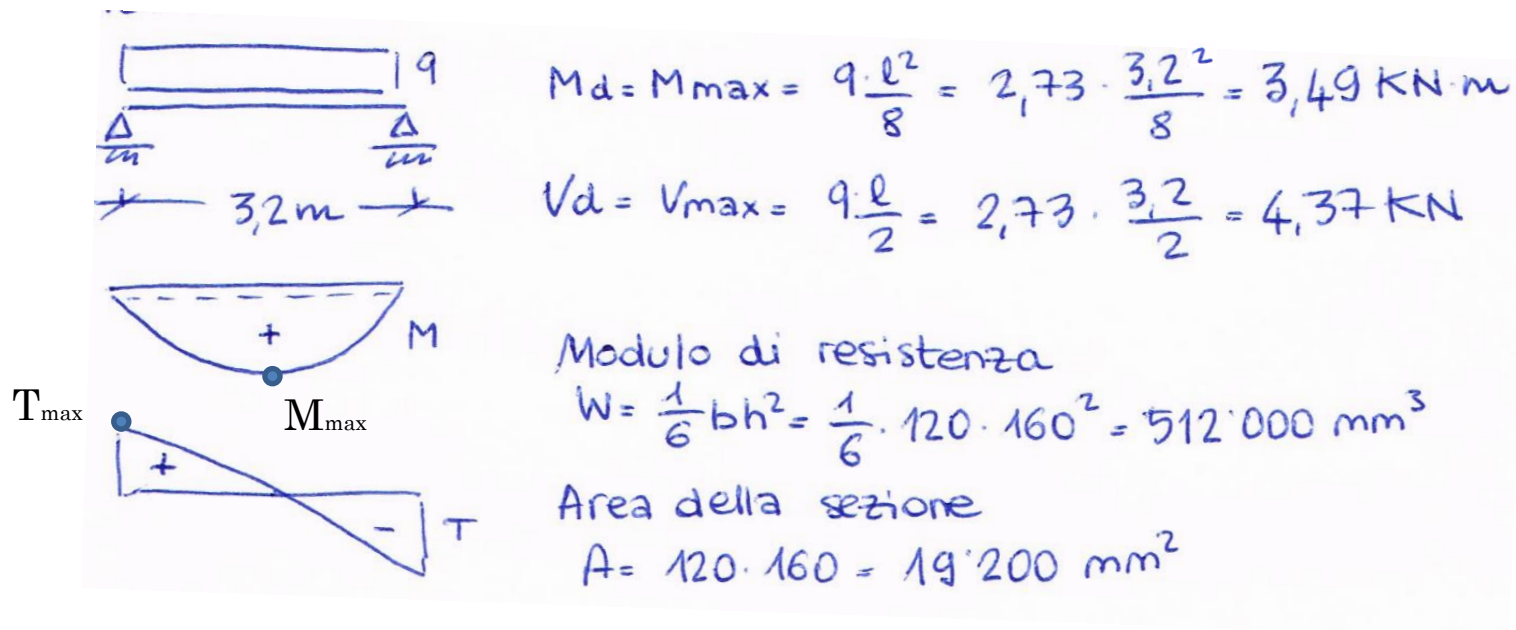
$$\begin{aligned} F_d &= 1,3 G_1 + 1,5 G_2 + 1,5 Q = \\ &= 1,3 \cdot 0,27 + 1,5 \cdot 0,04 + 1,5 \cdot 2 = 0,35 + 0,06 + 3 = 3,41 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Per determinare il carico agente su ciascun travetto, si moltiplica  $F_d$  per l'interasse dei travetti.

$$q = F_d \cdot i = 3,41 \cdot 0,8 = 2,73 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

# Calcolo travi secondarie

## CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI



Il Momento è massimo nella mezzaria del travetto, mentre il Taglio è massimo agli appoggi.

# Calcolo travi secondarie

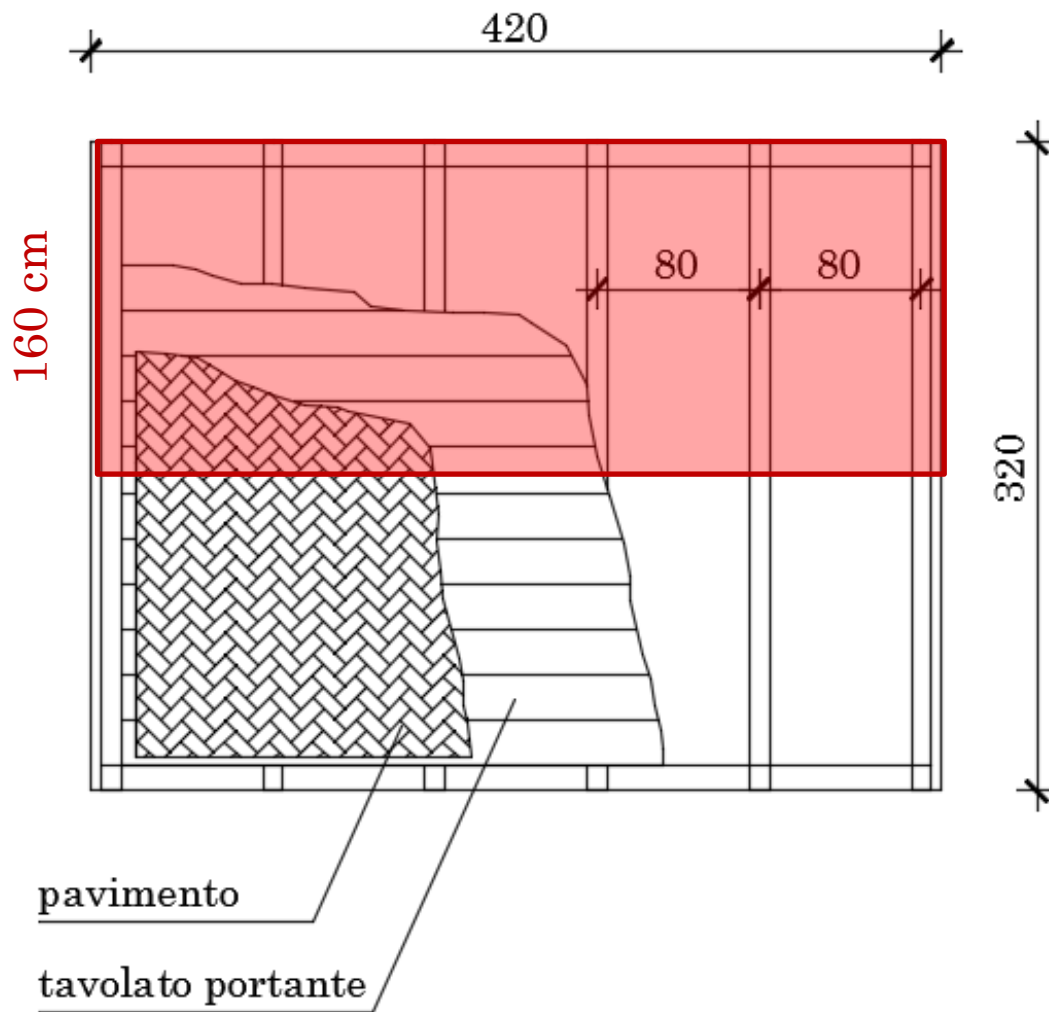
## VERIFICA DELLA TRAVE SECONDARIA

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{349 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{512 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 6,81 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{m,d} \rightarrow \text{ok}$$
$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{V}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4,37 \cdot 10^3 \text{ N}}{19,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^2} = 0,22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} \rightarrow \text{ok}$$

La sezione inizialmente ipotizzata (12x16 cm<sup>2</sup>) è quindi confermata.

# Calcolo travi principali

Il carico distribuito dell'impalcato che grava sulle travi principali è definito dall'area di influenza, definita dalla mezzzeria tra le due travi.



# Calcolo travi principali

Si ipotizza che le travi abbiano sezione pari a 12x36 cm<sup>2</sup>.

ANALISI DEI CARICHI per mq di solaio

$G_1$  Perm. strutturale Trave:  $\frac{0,12 \times 0,36}{3,2/2} \times 3,8 = 0,10 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$

Travetti  $0,09 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$

Tavolato  $0,18 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$

$G_2$  Perm. non strutturale Pavimento  $0,04 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$

$Q$  Accidentale:  $2 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$

Per il calcolo della trave principale:

$$G_1 = 0,37 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 0,04 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

# Calcolo travi principali

## COMBINAZIONE FONDAMENTALE

$$\begin{aligned} F_d &= 1,3 G_1 + 1,5 G_2 + 1,5 Q = \\ &= 1,3 \cdot 0,27 + 1,5 \cdot 0,04 + 1,3 \cdot 0,37 + 1,5 \cdot 0,04 + 1,5 \cdot 2 = 3,54 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

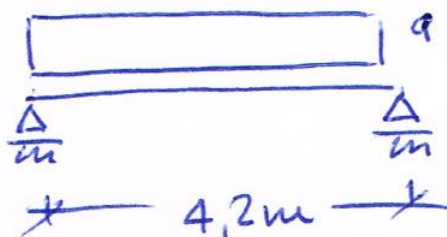
Per determinare il carico agente su ciascuna trave, si moltiplica  $F_d$  per la metà dell'interasse delle travi.

$$q = F_d \cdot i = 3,54 \cdot (3,2/2) = 5,66 \text{ KN/m}$$



# Calcolo travi principali

## CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI



$$M_d = M_{max} = q \cdot \frac{l^2}{8} = 12,48 \text{ kN} \cdot m$$

$$V_d = V_{max} = q \cdot \frac{l}{2} = 11,89 \text{ kN}$$

$$W = \frac{1}{6} b h^2 = 2'592'000 \text{ mm}^3$$

$$A = b \cdot h = 43'200 \text{ mm}^2$$

Come nel caso delle travi secondarie, anche qui il momento è massimo nella sezione centrale, mentre il taglio lo è in corrispondenza degli appoggi.

# Calcolo travi principali

## VERIFICA DELLA TRAVE PRINCIPALE

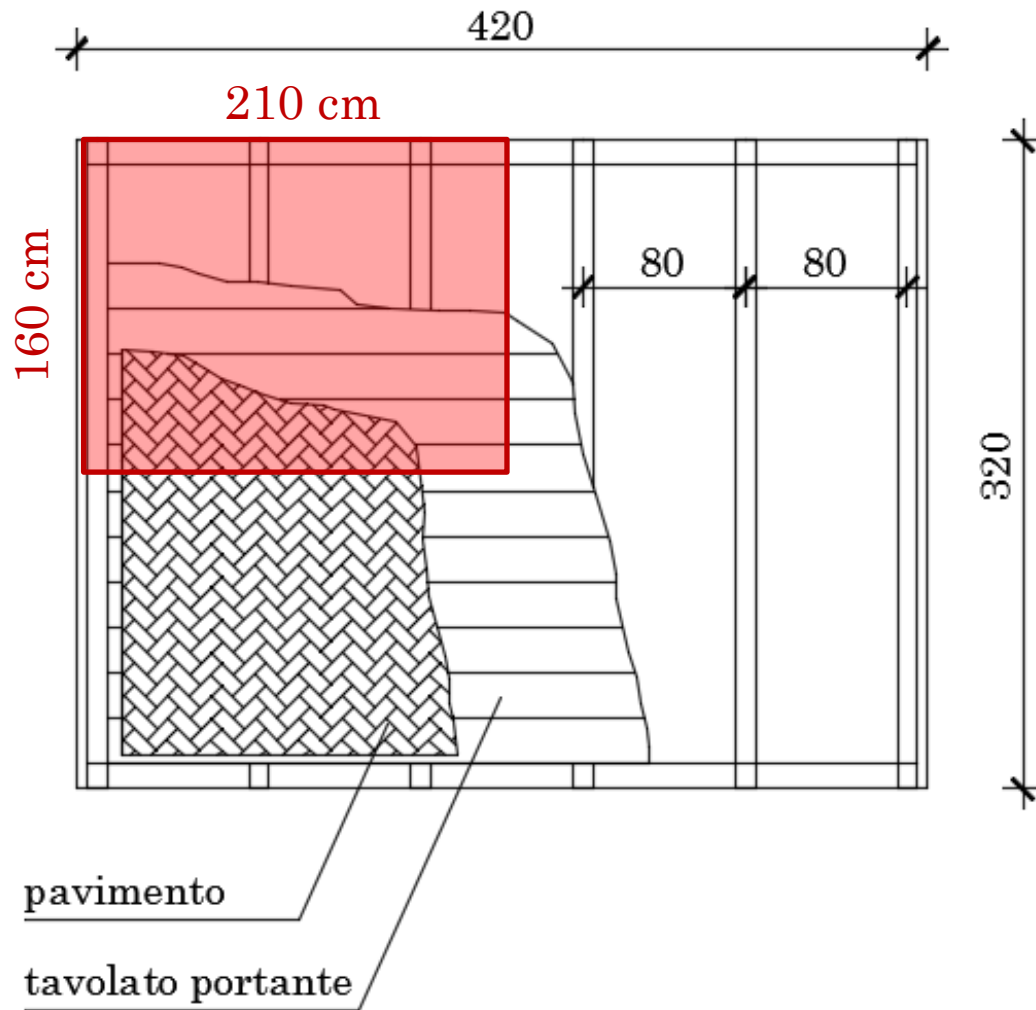
$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{12,48 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}}{2592 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 4,81 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{m,d} \rightarrow \text{OK}$$

$$\tau = \frac{3}{2} \frac{V}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{11,89 \cdot 10^3 \text{ N}}{43,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^2} = 0,27 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} \rightarrow \text{OK}$$

La sezione inizialmente ipotizzata (12x36 cm<sup>2</sup>) è quindi confermata.

# Calcolo pilastri

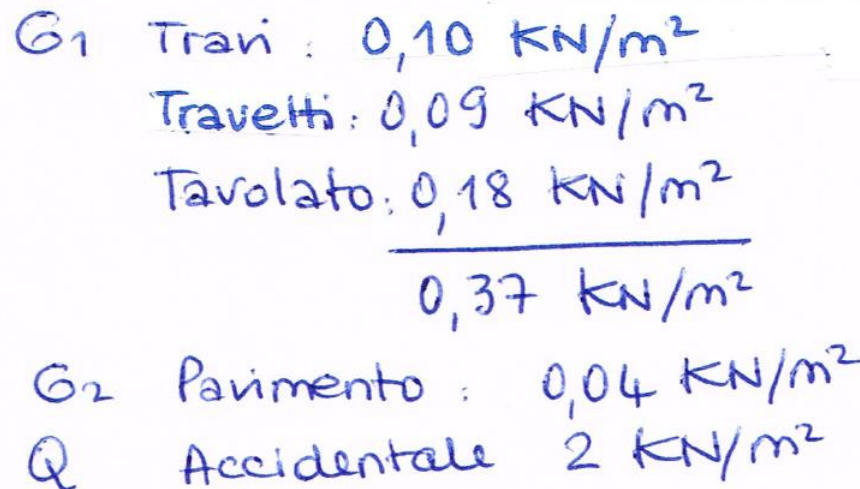
Il soppalco è sorretto da quattro pilastri posti agli spigoli. L'area di influenza di ciascun pilastro è quindi pari a un quarto della superficie totale dell'impalcato.



# Calcolo pilastri

Si ipotizza che i pilastri abbiano sezione pari a  $12 \times 12 \text{ cm}^2$ .

ANALISI DEI CARICHI per mq di solaio



Handwritten calculation of floor loads (G1, G2, Q) in  $\text{kN/m}^2$ :

$$\begin{array}{l} G_1 \text{ Travi : } 0,10 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Travetti : } 0,09 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Tavolato : } 0,18 \text{ kN/m}^2 \\ \hline 0,37 \text{ kN/m}^2 \\ \\ G_2 \text{ Pavimento : } 0,04 \text{ kN/m}^2 \\ Q \text{ Accidentale } 2 \text{ kN/m}^2 \end{array}$$

Per il calcolo del pilastro:

$$G_1 = 0,37 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = 0,04 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

# Calcolo pilastri

## CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

$$N_d = [1,3 G_1 + 1,5 G_2 + 1,5 Q] \cdot A_k = 3,54 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \cdot 3,36 \text{ m}^2 = 11,89 \text{ KN}$$

## VERIFICA

$$\sigma_n = \frac{N}{A} = \frac{11,89 \cdot 10^3 \text{ N}}{120 \times 120 \text{ mm}^2} = 0,82 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{n,d} \rightarrow \text{OK}$$

Si conferma la sezione (12x12 cm<sup>2</sup>) ipotizzata per i pilastri.