

**UTILIZZO DI LOCALI PRESSO Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale
(Livorno – Calata Carrara) AI FINI DELL'ATTIVITA' FORMATIVA**

CERTIFICAZIONE GIURATA DI IDONEITA' STATICA

1.0 Generalità

La presente certificazione di idoneità statica concerne l'utilizzo ai fini dell'attività formativa di locali (*Aule didattiche, uffici e servizi*) del complesso immobiliare Sede distaccata dell'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale, Calata Carrara, piazzale del Portuale n. 4, Livorno.

Evidenzio di seguito le considerazioni generali in base alle quali certifico in forma giurata l'idoneità strutturale delle superfici, ovvero dei piani di calpestio, interessati dal previsto utilizzo come locali ad uso di attività formative. Tali vani risultano tutti all'interno del citato corpo di fabbrica, noto come Sede distaccata dell'ADSP di cui sopra.

Più precisamente, con riferimento ai dati contrattuali ed agli sketches allegati, i vani oggetto della presente certificazione si trovano in parte al piano terra ed in parte al piano primo (v. planimetrie allegate) e sono identificati come:

- **Rif. A:** Aula formazione di mq 70,00 – Piano Terra
- **Rif. B:** Aula formazione di 49,45 mq – Piano Terra
- **Rif. C:** Aula formazione di 20,15 mq – Piano Terra
- **Rif. D:** Aula formazione di 22,80 mq – Piano Primo
- **Rif. E:** Aula formazione di 14,79 mq – Piano Primo
- **Rif. F:** Aula formazione di 28,56 mq – Piano Primo
- **Rif. G:** Aula formazione di 22,50 mq – Piano Primo
- **Rif. H:** Disimpegno e Servizi igienici di 17,70 mq – Piano Primo

2.0 Normativa di Riferimento

Per la Valutazione della Sicurezza delle strutture esistenti da adibire ad aule per la formazione si è fatto riferimento al D.M. 17.01.2018 (NTC 2018) e alla Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 – Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

Nel dettaglio si è fatto riferimento a quanto esposto al Cap. 2 e Cap. 8 per le Costruzioni Esistenti (§2.3 e §8.3) "Valutazione della Sicurezza", trattandosi di porzioni di fabbricato con assegnazione di uso a "aule di formazione", con variazione dei carichi variabili.

3.0 Valutazione della Sicurezza e Fattori di Confidenza

La geometria della strutture in esame risulta nota essendo stato condotto un accurato rilievo geometrico delle parti strutturali dell'edificio, operando saggi conoscitivi, mediante asportazione di porzioni di intonaco e di pavimentazione per la verifica delle effettive orditure e consistenza dei solai. Allo stesso tempo sono state condotte indagini limitate in situ, per cui, coerentemente con le assunzioni e con le indagini sopra sintetizzate, il livello di conoscenza raggiunto è **LC1** a cui corrisponde un Fattore di Confidenza **FC=1.35**.

4.0 Prove e saggi effettuati

Sono stati controllati, a vista, e con positivo esito, gli orizzontamenti che risultano direttamente impostati su massicciata su vespaio di riempimento al piano terreno e su solaio latero-cementizi al piano primo. Non sono stati rilevati avvallamenti o anomalie. E' stato valutato che le pavimentazioni risultano adeguate rispetto al sovraccarico previsto pari a 3.00 kN/m².

5.0 Caratteristiche costitutive dei piani di calpestio – Piano Terra

Sono stati controllati, a vista, e con positivo esito, gli orizzontamenti che risultano direttamente impostati su massicciata su vespaio di riempimento al piano terreno. Non sono stati rilevati avvallamenti o anomalie.

Rif. A: trattasi di un vano, sito al piano terra dell'edificio, impostato su vespaio di riempimento. Il sottofondo è costituito da massicciata, collegata da legante cementizio e superiormente pavimentato. Tale superficie di calpestio, in relazione alle sue caratteristiche è atta a supportare in sicurezza un carico di esercizio pari a 3.00 kN/m².

Rif. B: trattasi di un vano, sito al piano terra dell'edificio, impostato su vespaio di riempimento. Il sottofondo è costituito da massicciata, collegata da legante cementizio e superiormente pavimentato. Tale superficie di calpestio, in relazione alle sue caratteristiche è atta a supportare in sicurezza un carico di esercizio pari a 3.00 kN/m².

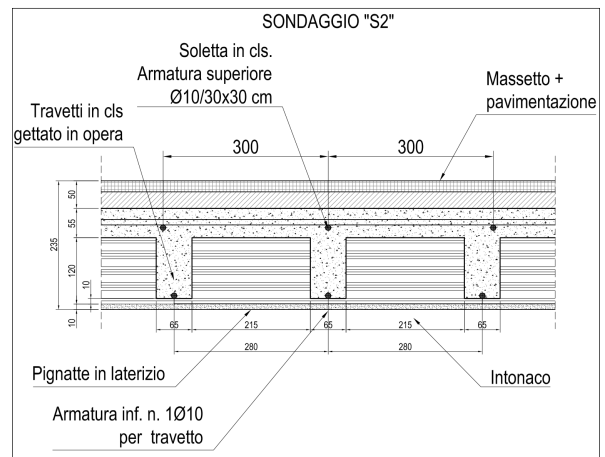
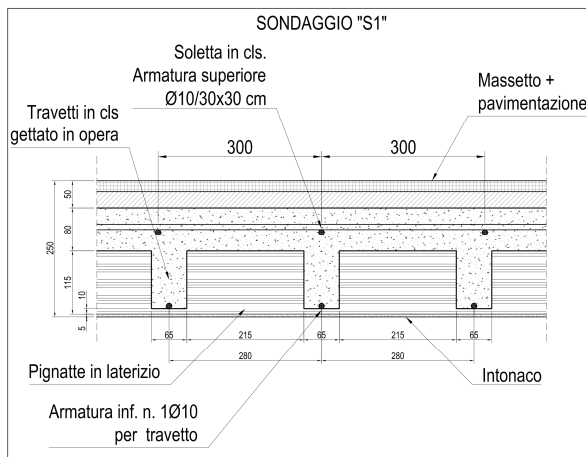
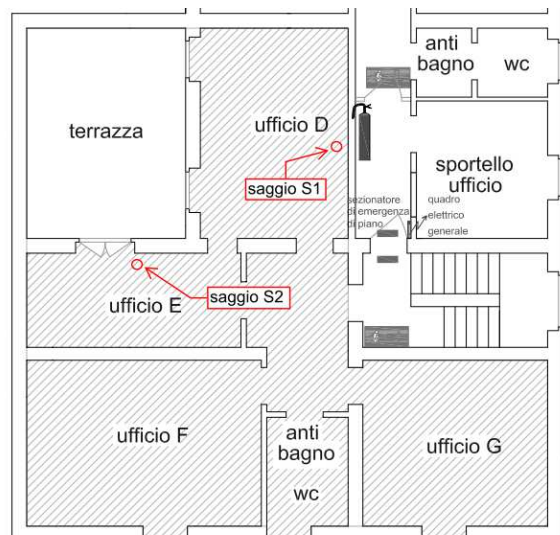
Rif. C: trattasi di un vano, sito al piano terra dell'edificio, impostato su vespaio di riempimento. Il sottofondo è costituito da massicciata, collegata da legante cementizio e superiormente pavimentato. Tale superficie di calpestio, in relazione alle sue caratteristiche è atta a supportare in sicurezza un carico di esercizio pari a 3.00 kN/m².

Complessivamente la superficie calpestabile dei locali ad uso "aula formazione" a Piano Terra è pari a 70,00+49,45+20,15=139,60 mq (Rif A + Rif B + Rif C).

6.0 Caratteristiche costitutive dei piani di calpestio – Piano Primo

Sono stati eseguiti due saggi esplorativi sugli orizzontamenti in esame con asportazione dell'intonaco e parziale demolizione del pavimento e massetto sovrastante al fine di indagare sull'effettiva geometria delle membrature strutturali. Nel dettaglio è

stato eseguito un saggio denominato "S1" in corrispondenza del locale "D" ed un saggio denominato "S2" in prossimità del locale "E" (v. pianta). Le porzioni di solaio indagate risultano costituite da travetti in calcestruzzo gettato in opera, ricavati nelle intercapedini tra file di pignatte in laterizio, con sovrastante soletta in c.a. Lo spessore complessivo delle sezioni resistenti è risultato pari 16.5 cm (11 cm travetti + 5.5 cm di soletta) per il saggio "S1" e 18.5 cm (10.5 cm travetti + 8.0 cm di soletta) per il saggio "S2", mentre lo spessore complessivo è risultato pari a 25.0 per il saggio "S1" e 23.5 cm per il saggio "S2".





7.0 Analisi dei carichi – Solaio Piano Primo

Carichi permanenti

Si riporta di seguito il dettaglio della stratigrafia e relativi pesi scaturita dalle risultanze dei saggi effettuati:

SONDAGGIO "S1"			
elemento	peso spec.	spessore	PESO
	<i>kN/m³</i>	<i>cm</i>	<i>kN/m²</i>
<i>intonaco</i>	18.00	1.0	0.18
<i>pignatte</i>	6.14	11.0	0.68
<i>travetti</i>	5.57	10.5	0.59
<i>soletta</i>	24.00	8.0	1.92
<i>massetto</i>	18.00	3.0	0.54
<i>pavimento</i>	24.00	2.0	0.48
<i>tramezzi</i>			0.00
	tot. G2:	26.0	4.39

SONDAGGIO "S2"			
elemento	peso spec.	spessore	PESO
	<i>kN/m³</i>	<i>cm</i>	<i>kN/m²</i>
<i>intonaco</i>	18.00	1.0	0.18
<i>pignatte</i>	6.14	11.0	0.68
<i>travetti</i>	5.57	11.0	0.61
<i>soletta</i>	24.00	5.5	1.32
<i>massetto</i>	18.00	3.0	0.54
<i>pavimento</i>	24.00	2.0	0.48
<i>tramezzi</i>			0.00
	tot. G2:	23.5	3.81

Si fa presente che, per le porzioni in oggetto, il carico delle eventuali tramezzature (ad oggi non presenti) uniformemente ripartite sul solaio non viene messo in conto in quanto incompatibile con la nuova destinazione d'uso dei locali (aule di formazione).

Carichi variabili

Il sovraccarico variabile da attribuire ai nuovi ambienti è pari a **3.00 KN/m²**, assimilabili alla categoria C1 (Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, etc.) secondo Tab. 3.1.II delle NTC 2018.

Il sovraccarico variabile attribuito agli ambienti esistenti è invece pari a **2.00 KN/m²**, appartenenti alla categoria B1 (Uffici non aperti al pubblico) secondo Tab. 3.1.II delle NTC 2018.

In entrambi i casi la classe di destinazione d'uso della struttura rimane la classe d'uso II (Tab. 2.4.II – NTC 2018).

8.0 Caratterizzazione meccanica dei materiali

A seguito delle conoscenze acquisite e delle indagini effettuate, tenuto conto del Livello di Conoscenza, le caratteristiche di resistenza i materiali costituenti le membrature strutturali sono assimilabili ai seguenti valori:

Calcestruzzo: assimilabile alla classe di resistenza C20/25, a cui corrisponde una tensione resistente pari a $f_{cd}=8.4 \text{ MPa}$

Barre di armatura: assimilabile alla classe di resistenza FeB44k, a cui corrisponde una tensione resistente pari a $f_{yd}=277 \text{ MPa}$

Si ritiene che le resistenze assunte siano ampiamente compatibili con la tipologia costruttiva e l'epoca di costruzione delle strutture in esame.

9.0 Verifiche di sicurezza solai di Piano Primo

Le verifiche di resistenza sono state condotti nei confronti delle azioni gravitazionali.

Si ritiene che l'incremento delle masse sismiche, e della corrispondente azione sismica, dovuta all'assegnazione ad uso "aule di formazione" dei locali in esame, sia del tutto trascurabile in relazione al modesto incremento dei carichi variabili rispetto al valore dei carichi permanenti complessivi dell'edificio, ed all'estensione delle superfici da adibire ad aule di formazione rispetto alle superfici di calpestio dell'interno fabbricato.

In allegato si riportano le verifiche di resistenza relative alla sezione "S1" valide per la verifica dei locali "D" e le verifiche di resistenza relative alla sezione "S2" valide per la verifica dei locali "E", "F", "G", "H".

Le superfici di calpestio delle aule "D", "E", "F", "G", "H", in relazione alle loro caratteristiche, sono idonee a supportare in sicurezza un carico di esercizio pari a 3.00 kN/m^2 .

10.0 Certificazione

In relazione a quanto sopra esposto, il sottoscritto Tecnico,

considerato

che, per quanto è stato possibile verificare:

- le parti strutturali interessate risultano eseguite in conformità alle buone regole dell'arte;
- che, a tutt'oggi, le opere non evidenziano problemi statici di sorta;
- che sono rispondenti alle normative vigenti all'epoca della realizzazione;
- che le verifiche ed i saggi effettuati hanno dato esito positivo,

CERTIFICA

con il presente atto, la capacità delle superfici citate ai Riff. A-B-C-D-E-F-G-H (v. planimetrie allegate) di supportare in sicurezza carichi variabili verticali fino a **3.00 kN/m²** (oltre ai carichi permanenti effettivamente presenti)

Il Tecnico:

Ing. Andrea Cecconi

Allegati: sketches delle superfici oggetto della certificazione e le verifiche di resistenza dei solai del piano primo.

Livorno, 13 maggio 2019.

Il sottoscritto Dott. Ing. Andrea Cecconi, iscritto all'Albo degli Ingegneri della provincia di Livorno al n.1244-A, consapevole della propria responsabilità, assevera la veridicità del presente documento in ogni sua parte.

Il Tecnico:

Ing. Andrea Cecconi

TRIBUNALE DI LIVORNO










L'anno 2019 il giorno del mese di Maggio, negli Uffici del Tribunale di Livorno davanti al sottoscritto Cancelliere è personalmente comparso il Sig. Andrea Cecconi, nato a Livorno il 28/09/1963 e residente in Livorno, Scali D'Azeglio n.28, identificato con C.ID. n.3711599AA rilasciata a Livorno il 17/12/2011, che chiede di asseverare con giuramento la perizia che precede.

Il comparente presta giuramento di rito.

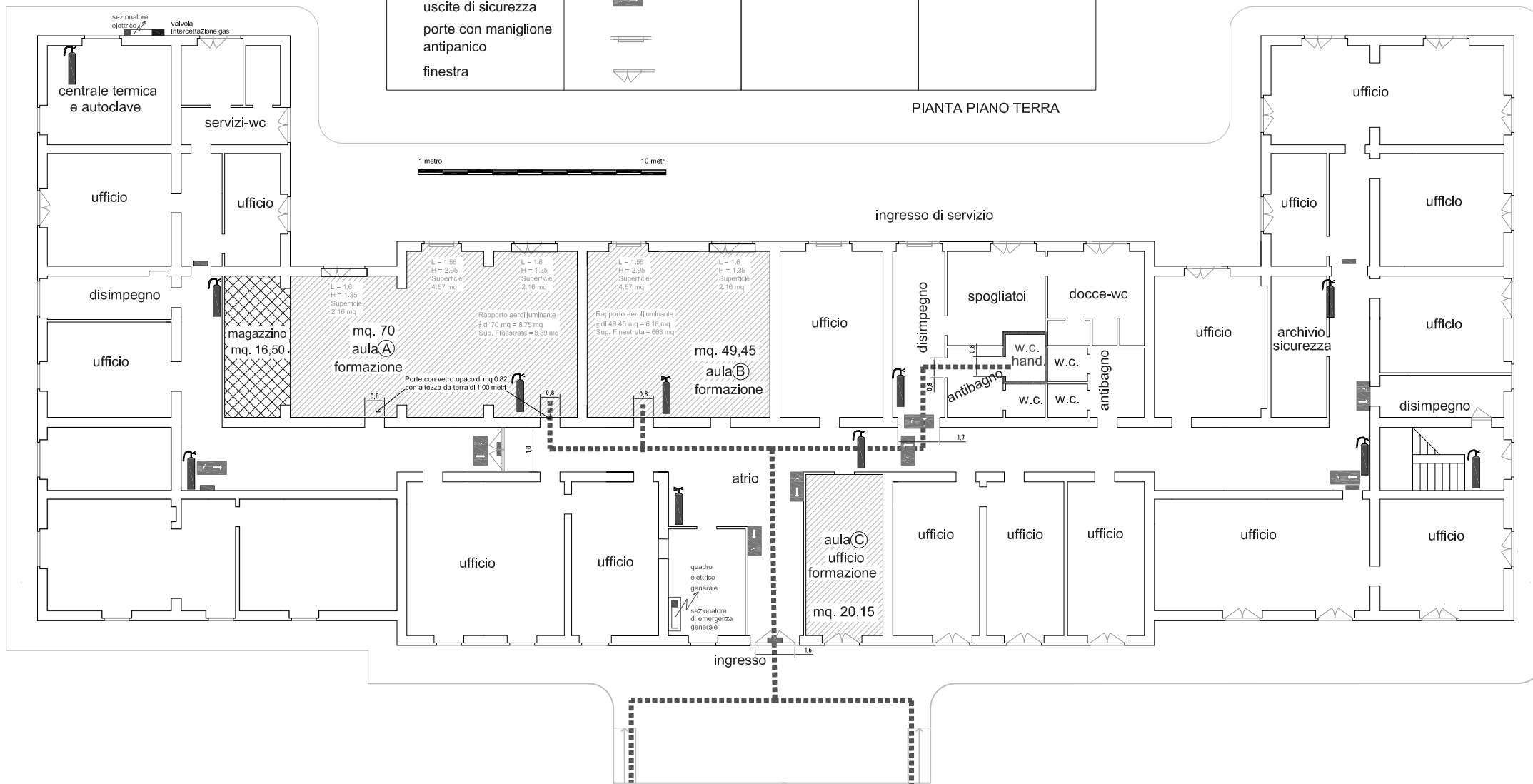
L.C.S.

Il Comparente:

Il Cancelliere

LEGENDA	SIMBOLI		SIMBOLI
luci di emergenza		aule formaizone	
tipi di estintori	 Co2  P6	wc disabili	
indicazioni uscite di sicurezza		percorso disabili	
porte con maniglione antipanico			
finestra			

PIANTA PIANO TERRA



PIANTA PIANO PRIMO
LATO SUD-EST

UFFICI FORMAZIONE



VERIFICA SEZIONE IN C.A. a T SECONDO NTC 2018

SOLAIO CORRENTE DI CALPESTIO (sondaggio "S1")



1.1) Caratteristiche meccaniche dei materiali

CLASSE = "C20/25" $f_{ck} = 20 \cdot \text{MPa}$ $R_{ck} = 25 \cdot \text{MPa}$ $f_{cm} = 28 \cdot \text{MPa}$

$E_{cm} = 29.96 \cdot \text{GPa}$ $f_{ctm} = 2.21 \cdot \text{MPa}$ $f_{ctk5\%} = 1.55 \cdot \text{MPa}$ $f_{ctk95\%} = 2.87 \cdot \text{MPa}$

ACCIAIO FeB44K $f_{yk} := 430 \text{MPa}$ $f_{tk} := 540 \text{MPa}$ $A_{gt.k} := \frac{7.5}{100}$ $FC \equiv 1.35$

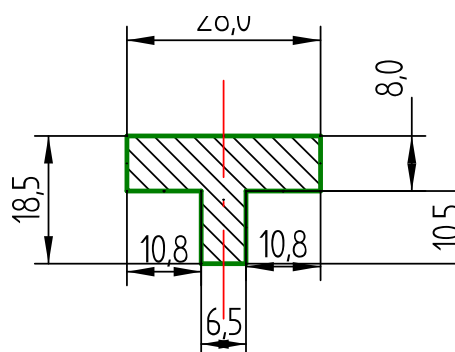
1.2) Caratteristiche geometriche della sezione

altezza totale della sezione $h_c := 18.5 \text{cm}$

altezza della soletta collaborante $\delta_c := 8 \text{cm}$

larghezza della soletta collaborante $b := 28 \text{cm}$

larghezza della nervatura $b_w := 6.5 \text{cm}$



1.3) Armature nella sezione

1.3.1 Armature a momento positivo

[mm]		[cm]	
10	1	18	Armatura inferiore
10	1	3	Armatura soletta
0	0	0	

1.3.2 Armature a momento negativo - Appoggio

[mm]		[cm]	
10	1	0.5	
10	1	16	
0	0		



1.4) Legami costitutivi dei materiali

$\alpha_{cc} = 0.85$ pari a 0.85 per carichi di lunga durata ed 1.00 per quelli di breve durata

$\gamma_c = 1.5$ coefficiente di sicurezza parziale

$f_{cd,p} = 8.395 \cdot \text{MPa}$ tensione massima di progetto ds a flessione per momento positivo

$f_{cd,n} = 8.395 \cdot \text{MPa}$ tensione massima di progetto ds a flessione per momento negativo

$\varepsilon_{c2} \cdot 100 = 0.2$ $\varepsilon_{cu} \cdot 100 = 0.35$ deformazioni relative al diagramma parabola rettangolo
valide per classi inferiori a C 50/60 - **NTC 4.1.2.1.2.2**

$\gamma_s = 1.15$ coefficiente di sicurezza parziale

dati relativi al diagramma bilineare finito con incrudimento **NTC 4.1.2.1.2.3**

$\varepsilon_{el} \cdot 100 = 0.187$ $f_{yd} = 276.973 \cdot \text{MPa}$ deformazione e tensione allo snervamento di progetto

$$\epsilon_{ud} \cdot 100 = 6.75 \quad f_{ud} = 318.519 \cdot \text{MPa} \quad \text{deformazione e tensione a rottura di progetto}$$



1.5) Momento Resistente a flessione pura

1.5.1) Momento positivo

svolgendo i calcoli si ottiene

$$\epsilon_{cd,p} \cdot 100 = -0.35 \quad \text{deformazione ultima nel calcestruzzo - fibra compressa} \quad \epsilon_{cu} \cdot 100 = 0.35$$

$$\epsilon_{sd,p} \cdot 100 = 2.636 \quad \text{deformazione ultima nell'acciaio teso inferiore} \quad \epsilon_{ud} \cdot 100 = 6.75$$

$$x_{pl,p} = 21.1 \cdot \text{mm} \quad \text{posizione asse neutro}$$

$$C = -40.15 \cdot \text{kN} \quad d_c = 8.8 \cdot \text{mm} \quad \text{risultante del ds - compresso e posizione}$$

$$Z_t = 40.15 \cdot \text{kN} \quad d_{zt} = 115.8 \cdot \text{mm} \quad \text{risultante relativa alle armature tese}$$

$$Z_c = 0 \cdot \text{kN} \quad d_{zc} = 0 \cdot \text{mm} \quad \text{risultante relativa alle armature compresse}$$

Verifica equilibrio alla traslazione (Sforzo normale nullo)

$$SN_{Rd} := C + Z_t + Z_c \quad |SN_{Rd}| = 0 \cdot \text{kN}$$

Calcolo del momento flettente resistente

$$M_{Rd,p} := Z_t \cdot d_{zt} + C \cdot d_c + Z_c \cdot d_{zc} - SN_{Rd} \cdot 0.5 \cdot h_c \quad M_{Rd,p} = 4.298 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

1.5.2) Momento negativo

svolgendo i calcoli si ottiene

$$\epsilon_{cdn} \cdot 100 = -0.35 \quad \text{deformazione ultima nel calcestruzzo - fibra compressa} \quad \epsilon_{cu} \cdot 100 = 0.35$$

$$\epsilon_{sdn} \cdot 100 = 5.354 \quad \text{deformazione ultima nell'acciaio teso inferiore} \quad \epsilon_{ud} \cdot 100 = 6.75$$

$$x_{pln} = 9.818 \cdot \text{mm} \quad \text{posizione asse neutro}$$

$$C_n = -4.337 \cdot \text{kN} \quad d_{c,n} = 4.1 \cdot \text{mm} \quad \text{risultante del ds - compresso e posizione}$$

$$Z_{t,n} = 24.322 \cdot \text{kN} \quad d_{zt,n} = 160 \cdot \text{mm} \quad \text{risultante relativa alle armature tese}$$

$$Z_{c.n} = -19.985 \cdot \text{kN} \quad d_{zc.n} = 5 \cdot \text{mm} \quad \text{risultante relativa alle armature compresse}$$

Verifica equilibrio alla traslazione (Sforzo normale nullo)

$$SN_{Rd.n} := C_n + Z_{t.n} + Z_{c.n} \quad |SN_{Rd.n}| = 0 \cdot \text{kN}$$

Calcolo del momento flettente resistente

$$M_{Rd.n} := Z_{t.n} \cdot d_{zt.n} + C_n \cdot d_{c.n} + Z_{c.n} \cdot d_{zc.n} - SN_{Rd.n} \cdot 0.5 \cdot h_c \quad M_{Rd.n} = 3.774 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

1.6) Resistenza a taglio

1.6.1) Resistenza a taglio - in presenza di apposite armature (eventuali)

In corrispondenza del travetto vengono inserite delle apposite armature a taglio

$$p_{sw} := 20 \text{ cm} \quad \text{passo delle armature [eventualmente indinate]}$$

$$\phi_v := 0 \text{ mm} \quad \text{diametro delle armature [eventualmente indinate]}$$

$$n_v := 0 \quad \text{numero delle sezioni delle armature a taglio}$$

$$\eta := 1 \quad \text{per barre con diametro inferiore a 32 mm}$$

$$f_{bd} := \frac{2.25 \cdot \eta \cdot f_{ctk5\%}}{\gamma_c} \quad f_{bd} = 2.325 \cdot \text{MPa} \quad \text{tensione di aderenza di progetto}$$

$$L_{bd} := 40 \cdot \phi_v \quad \text{lunghezza del tratto aderente delle armature a taglio}$$

$$\sigma_{sy} := \min \left(\frac{L_{bd} \cdot f_{bd} \cdot 4}{\phi_v}, \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \right) \quad \sigma_{sy} = 0 \cdot \text{MPa} \quad \text{tensione di progetto armatura a taglio}$$

$$A_{sw} := n_v \cdot \frac{\pi \cdot \phi_v^2}{4} \quad A_{sw} = 0 \cdot \text{cm}^2$$

$$\alpha := 90^\circ \text{deg} \quad \text{indinazione sull'orizzontale [per staffe non indinate inserire il valore 90^\circ]}$$

$$\theta := 45^\circ \text{deg} \quad \text{indinazione del puntone compresso [limite tra 21.801^\circ e 45^\circ]}$$

$$\cot(45^\circ \text{deg}) = 1 \quad \cot(21.801^\circ \text{deg}) = 2.5$$

Rottura delle armature a taglio

$$V_{Rsd} := \frac{A_{sw}}{p_{sw}} \cdot 0.9 \cdot d_f \cdot \sigma_{sy} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) \cdot \sin(\alpha) \quad V_{Rsd} = 0 \cdot \text{kN}$$

verifica del passo

$$p_{\max} := 0.9 \cdot d_f \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) \quad p_{\max} = 16.2 \cdot \text{cm} \quad \text{maggiore di} \quad p_{sw} = 20 \cdot \text{cm}$$

Rottura del puntone compresso

$$\alpha_{cw} := 1 \quad \text{in assenza di precompressione}$$

$$\nu_1 := 0.5 \quad \text{valore indicato nella NTC 2008 - rapporto tra la } f_{cd} \text{ della sezione e quella dell'anima}$$

$$f_{cd,n} = 8.395 \cdot \text{MPa} \quad \text{valore base della resistenza di progetto del calcestruzzo}$$

$$V_{Rcd} := 0.9 \cdot d_f \cdot b_w \cdot \alpha_{cw} \cdot (\nu_1 \cdot f_{cd,n}) \cdot \frac{\cot(\theta) + \cot(\alpha)}{1 + \cot(\theta)^2} \quad V_{Rcd} = 22.1 \cdot \text{kN}$$

Resistenza a taglio del tratto con armature inclinate

$$V_{Rd} := \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) \quad V_{Rd} = 0 \cdot \text{kN}$$

1.6.2) Resistenza a taglio - in assenza di apposite armature

All'interno del travetto, trascurando il tralicco ed i ferri piegati abbiamo:

$$A_{si} = 0.785 \cdot \text{cm}^2$$

$$d_{fi} = 180 \cdot \text{mm} \quad \text{altezza utile della sezione}$$

$$b_w = 65 \cdot \text{mm} \quad \text{larghezza minima della sezione}$$

$$\rho := \min\left(\frac{A_{si}}{b_w \cdot d_f}, 0.02\right) \quad \rho = 0.007 \quad \begin{array}{l} \text{rapporto geometrico armatura longitudinale} \\ \text{valore massimo 2\%} \end{array}$$

$$k = 2 \quad \text{coefficiente funzione della altezza utile della sezione}$$

$\sigma_{cp} := 0 \text{ MPa}$ tensione media di compressione della sezione

$f_{ck.ad} = 20$ tensione cilindrica caratteristica del CLS in MPa [1MPa = 1N/mm²]

$\gamma_c = 1.5$ coefficiente parziale di sicurezza

$v_{min} := 0.035 \cdot \text{MPa} \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{f_{ck.ad}}$ resistenza a taglio minima dovuta al solo CLS $v_{min} = 0.443 \cdot \text{MPa}$

$v_s := \frac{0.18 \text{ MPa}}{\gamma_c} \cdot k \cdot \sqrt{100 \cdot \rho \cdot f_{ck.ad}}$ resistenza a taglio minima dovuta alle armature $v_s = 0.57 \cdot \text{MPa}$

$v_{Rd} := \max(v_s + 0.15 \cdot \sigma_{cp}, v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp})$ $v_{Rd} = 0.57 \cdot \text{MPa}$

$V_{Rd.c} := b_w \cdot d_f \cdot v_{Rd}$ $V_{Rd.c} = 6.674 \cdot \text{kN}$ resistenza a taglio della sezione

1.7) Controllo delle tensioni in esercizio

Sviluppando i calcoli in campo lineare e supponendo un rapporto tra i moduli elastici si ottiene: $\alpha_e := 15$



posizione asse neutro $x_e = 34.456 \cdot \text{mm}$

momento di inerzia sezione parzializzata $J_i = 2879.705 \cdot \text{cm}^4$

modulo di resistenza fibra compressa ds $W_c := \frac{J_i}{x_e}$ $W_c = 835.753 \cdot \text{cm}^3$

modulo di resistenza fibra tesa acciaio $W_f := \frac{J_i}{(y_{f,max} - x_e) \cdot \alpha_e}$ $W_f = 13.191 \cdot \text{cm}^3$

punto 4.1.2.2.5.1 - tensioni in esercizio CLS per combinazione caratteristica RARA

$\sigma_c := 0.6 \cdot f_{ck.eff}$ $\sigma_c = 12 \cdot \text{MPa}$

ovvero abbiamo un momento esterno che deve essere al più pari a: $\sigma_c \cdot W_c = 10.029 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

punto 4.1.2.2.5.1 - tensioni in esercizio CLS per combinazione caratteristica quasi permanente

$$\sigma_c := 0.45 \cdot f_{ck,eff} \quad \sigma_c = 9 \cdot \text{MPa}$$

ovvero abbiamo un momento esterno che deve essere al più pari a:

$$\sigma_c \cdot W_c = 7.522 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

punto 4.1.2.2.5.2 - tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

$$\sigma_s := 0.8 \cdot f_{yk} \quad \sigma_s = 344 \cdot \text{MPa}$$

ovvero abbiamo un momento esterno che deve essere al più pari a:

$$\sigma_s \cdot W_f = 4.538 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

1.8) Verifiche a fessurazioneCalcolo delle sollecitazioni che provocano una apertura delle fessure nota [formulazione EC2]

$$h_c = 185 \cdot \text{mm} \quad \text{altezza lorda della sezione}$$

$$d_f = 180 \cdot \text{mm} \quad \text{posizione delle barre di armatura rispetto al lembo compresso}$$

$$x_e = 34.456 \cdot \text{mm} \quad \text{posizione asse neutro rispetto al lembo compresso}$$

$$0.5 \cdot h_c = 92.5 \cdot \text{mm} \quad \frac{h_c - x_e}{3} = 50.181 \cdot \text{mm}$$

$$2.5 \cdot (h_c - d_f) = 12.5 \cdot \text{mm}$$

$$h_{c,eff} := \min \left[0.5 \cdot h_c, \frac{h_c - x_e}{3}, 2.5 \cdot (h_c - d_f) \right] \quad h_{c,eff} = 12.5 \cdot \text{mm}$$

$$A_{c,eff} := h_{c,eff} \cdot b_w \quad A_{c,eff} = 8.125 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_s = 0.785 \cdot \text{cm}^2 \quad \text{armature tese}$$

$$\rho_{eff} := \frac{A_s}{A_{c,eff}} \quad \rho_{eff} \cdot 100 = 9.666$$

$$\alpha_{ef} := \frac{E_s}{E_{cm}} \quad \alpha_e = 6.676$$

$$f_{ct,eff} := f_{ctm} \quad \text{tensione alla quale si presuppone che insorgano le prime fessure}$$

$$k_t = 0.4 \quad \text{coefficiente che tiene conto del tipo di carico}$$

La differenza di deformazione può essere valutata con la formula :

$$\frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s}$$

tale formula può essere vista come:

$$A_{id} := A_{c,eff} + \alpha_e \cdot A_s \quad A_{id} = 13.368 \cdot \text{cm}^2 \quad \text{area ideale intorno alle barre}$$

$$f_{ct,red} := k_t \cdot f_{ct,eff} \quad f_{ct,red} = 0.884 \cdot \text{MPa} \quad \text{tensione effettiva a trazione (tenendo conto della durata del carico)}$$

di conseguenza in termini di diminuzione di tensione nella barra si valuta un contributo del calcestruzzo teso pari a:

$$\Delta F := f_{ct,red} \cdot A_{id} \quad \Delta F = 1.182 \cdot \text{kN}$$

ovvero una diminuzione di tensione pari a:

$$\Delta \sigma_{sm} := \frac{\Delta F}{A_s} \quad \Delta \sigma_{sm} = 15.046 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{ovviamente coincidente con:} \quad k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff}) = 15.046 \cdot \text{MPa}$$

di conseguenza indicato con M_f il momento agente nella sezione, l'incremento di deformazione vale

$$\frac{M_f}{W_f \cdot E_s} - \frac{\Delta \sigma_{sm}}{E_s} \quad \text{con un valore minimo pari a:} \quad \frac{0.6 \cdot \sigma_s}{E_s}$$

Con le posizioni:

$$\Delta M_{f,s} := \Delta \sigma_{sm} \cdot W_f \quad \Delta M_{f,s} = 0.198 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{riduzione di momento dovuta al tension - stiffening}$$

$$M_{f,1} := \frac{\Delta \sigma_{sm} \cdot W_f}{0.4} \quad M_{f,1} = 0.496 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{valore del momento ove l'effetto del tension -stiffening viene ad assumere come minimo il 60\%}$$

la corretta espressione che lega la deformazione media al momento flettente è:

$$\Delta\varepsilon_{sm}(M_f) := \begin{cases} 0.6 \cdot \frac{M_f}{W_f \cdot E_s} & \text{if } M_f \leq M_{f,1} \\ \frac{M_f - \Delta M_{f,s}}{W_f \cdot E_s} & \text{otherwise} \end{cases}$$

La distanza massima tra le fessure è:

$k_1 := 0.8$ 0.8 per barre ad aderenza migliorata [1.6 per barre lisce]

$k_2 := 0.5$ 0.5 per flessione [1.0 per trazione pura]

$k_3 := 3.4$ valore raccomandato al punto 7.3.2.4 [vedi EC2 non essendo segnalato nell'appendice naz.]

$k_4 := 0.425$ valore raccomandato al punto 7.3.2.4 [vedi EC2 non essendo segnalato nell'appendice naz.]

$c = 4.337 \times 10^{-15} \cdot \rho_{eff}$ ~~coefficiente~~ ^{coefficiente} di proporzionalità tra la distanza massima delle barre tese e la distanza massima delle fessure

$\phi_{eq} = 10 \cdot \text{mm}$ diametro equivalente delle armature tese

Formula 7.11 : $\Delta_{sm} := k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{eq}}{\rho_{eff}}$ $\Delta_{sm} = 17.587 \cdot \text{mm}$

Di conseguenza abbiamo le seguenti sollecitazioni di calcolo:

Tenendo conto che i valori delle fessure di calcolo sono da intendersi già come valori caratteristici applicando la procedura dell'EC2

dato un valore della ampiezza di progetto delle fessure, invertendo le formulazioni sopracitate risulta:

$$w_{d,lim} := \Delta_{sm} \cdot \left(\frac{0.6}{0.4} \cdot \frac{\Delta M_{f,s}}{W_f \cdot E_s} \right) \quad w_{d,lim} = 0.002 \cdot \text{mm}$$

$$M_{f,EC2}(w_d) := \begin{cases} \frac{w_d}{0.6 \cdot \Delta_{sm}} \cdot (W_f \cdot E_s) & \text{if } w_d \leq w_{d,lim} \\ \Delta M_{f,s} + \frac{w_d}{\Delta_{sm}} \cdot (W_f \cdot E_s) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Onde tenr conto poi dello snervamento del materiale si pone poi:

$$M_y := f_{yd} \cdot W_f \quad M_y = 3.653 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_f(w_d) := \min(M_y, M_{f,EC2}(w_d))$$

Per il livello di apertura delle fessure $w_1=0.2\text{mm}$

$$M_f(0.2\text{mm}) = 3.653 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Per il livello di apertura delle fessure $w_2=0.3\text{mm}$

$$M_f(0.3\text{mm}) = 3.653 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Per il livello di apertura delle fessure $w_3=0.4\text{mm}$

$$M_f(0.4\text{mm}) = 3.653 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

1 - ANALISI DEI CARICHI

$G_1 := 4.39 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$\gamma_{G1} := 1.3$	carichi permanenti strutturali
$G_2 := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$\gamma_{G2} := 1.5$	carichi permanenti portati uniformemente distribuiti
$Q := 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$\gamma_Q := 1.5$	sovraccarichi variabili uniforme distribuiti
$\psi_{0,k} := 0.7$	$\psi_{1,k} := 0.7$	$\psi_{2,k} := 0.6$

2 - Dati relativi allo schema statico di progetto

$L_n := 4.0\text{m}$ Luce di calcolo del solaio - interasse appoggi

Sollecitazioni sul singolo travetto

$p_x := b = 0.28\text{ m}$ passo del travetto

3 - Carichi di progetto

carico sul travetto tipo

$$q_o := (\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + Q \cdot \gamma_Q) = 10.21 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{o,r} := (G_1 + G_2 + Q) = 7.39 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{o,\text{freq}} := (G_1 + G_2 + \psi_{1,k} \cdot Q) = 6.49 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{o,\text{qp}} := (G_1 + G_2 + \psi_{2,k} \cdot Q) = 6.19 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

carico distribuito costante

$$q := q_o \cdot p_x = 2.86 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_r := q_{o,r} \cdot p_x = 2.07 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad q_{\text{freq}} := q_{o,\text{freq}} \cdot p_x = 1.82 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad q_{\text{qp}} := q_{o,\text{qp}} \cdot p_x = 1.73 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

3.1) Reazioni e sollecitazioni per il singolo travetto - condizione di appoggio

$$R_{Aa} := 0.5 \cdot q \cdot L_n = 5.72 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ba} := q \cdot L_n - R_{Aa} = 5.72 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Aa.r} := 0.5 \cdot q_r \cdot L_n = 4.14 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ba.r} := q_r \cdot L_n - R_{Aa.r} = 4.14 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Aa.freq} := 0.5 \cdot q_{freq} \cdot L_n = 3.63 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ba.freq} := q_{freq} \cdot L_n - R_{Aa.freq} = 3.63 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Aa.qp} := 0.5 \cdot q_{qp} \cdot L_n = 3.47 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ba.qp} := q_{qp} \cdot L_n - R_{Aa.qp} = 3.47 \cdot \text{kN}$$

$$x_v := \frac{L_n}{2} = 2 \text{ m}$$

$$y_v := L_n - x_v = 2 \text{ m}$$

$$V_{Eda} := \max(R_{Aa}, R_{Ba}) = 5.716 \cdot \text{kN}$$

$$M_{f.Eda} := R_{Aa} \cdot x_v - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x_v^2 = 5.72 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Eda.r} := R_{Aa.r} \cdot x_v - \frac{1}{2} \cdot q_r \cdot x_v^2 = 4.14 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Eda.freq} := R_{Aa.freq} \cdot x_v - \frac{1}{2} \cdot q_{freq} \cdot x_v^2 = 3.63 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Eda.qp} := R_{Aa.qp} \cdot x_v - \frac{1}{2} \cdot q_{qp} \cdot x_v^2 = 3.47 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

3.2) Reazioni e sollecitazioni per il singolo travetto - condizione di incastro

$$R_{Ai} := R_{Aa} = 5.72 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bi} := q \cdot L_n - R_{Ai} = 5.72 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ai.r} := R_{Aa.r} = 4.14 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bi.r} := q_r \cdot L_n - R_{Ai.r} = 4.14 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ai.freq} := R_{Aa.freq} = 3.63 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bi.freq} := q_{freq} \cdot L_n - R_{Ai.freq} = 3.63 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ai.qp} := R_{Aa.qp} = 3.47 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bi.qp} := q_{qp} \cdot L_n - R_{Ai.qp} = 3.47 \cdot \text{kN}$$

$$x_{vi} := \frac{L_n}{2} = 2 \text{ m}$$

$$V_{Edi} := \max(R_{Ai}, R_{Bi}) = 5.72 \cdot \text{kN}$$

$$\alpha_{Mn} := -\frac{1}{12} = -0.083$$

$$M_{i.neg} := \alpha_{Mn} \cdot q \cdot L_n^2 = -3.81 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{i.neg.r} := \alpha_{Mn} \cdot q_r \cdot L_n^2 = -2.76 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{i.neg.freq} := \alpha_{Mn} \cdot q_{freq} \cdot L_n^2 = -2.42 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{i.neg.qp} := \alpha_{Mn} \cdot q_{qp} \cdot L_n^2 = -2.31 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Edi} := M_{i.neg} + R_{Ai} \cdot x_{vi} - \frac{1}{2} \cdot (q) \cdot x_{vi}^2 = 1.91 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Edi.r} := M_{i.neg.r} + R_{Ai.r} \cdot x_{vi} - \frac{1}{2} \cdot (q_r) \cdot x_{vi}^2 = 1.38 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Edi.freq} := M_{i.neg.freq} + R_{Ai.freq} \cdot x_{vi} - \frac{1}{2} \cdot (q_{freq}) \cdot x_{vi}^2 = 1.21 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Edi.qp} := M_{i.neg.qp} + R_{Ai.qp} \cdot x_{vi} - \frac{1}{2} \cdot (q_{qp}) \cdot x_{vi}^2 = 1.16 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

3.3) Reazioni e sollecitazioni per il singolo travetto - condizione di semincastro con redistribuzione

$M_{inc} := M_{i.neg}$	$M_{inc} = -3.811 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
$M_{Ed.i} := 0.7 \cdot M_{inc}$	$M_{Ed.i} = -2.667 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	Momento di verifica in appoggio
$M_{Ed.c} := M_{f.Eda} + M_{Ed.i}$	$M_{Ed.c} = 3.048 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	Momento di verifica in campata
$V_{A.Ed} := R_{Aa} - 0.05m \cdot (q)$	$V_{A.Ed} = 5.573 \cdot \text{kN}$	Taglio di verifica all'appoggio A
$V_{B.Ed} := R_{Ba} - 0.05m \cdot (q)$	$V_{B.Ed} = 5.573 \cdot \text{kN}$	Taglio di verifica all'appoggio B
$M_{inc.r} := \frac{M_{i.neg.r}}{2} = -1.38 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{Ed.i.r} := 0.7 \cdot M_{inc.r} = -0.97 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
$M_{inc.freq} := \frac{M_{i.neg.freq}}{2} = -1.21 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{Ed.i.freq} := 0.7 \cdot M_{inc.freq} = -0.85 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
$M_{inc.qp} := \frac{M_{i.neg.qp}}{2} = -1.16 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{Ed.i.qp} := 0.7 \cdot M_{inc.qp} = -0.81 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
	$M_{Ed.c.r} := M_{f.Eda.r} + M_{Ed.i.r} = 3.17 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
	$M_{Ed.c.freq} := M_{f.Eda.freq} + M_{Ed.i.freq} = 2.79 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
	$M_{Ed.c.qp} := M_{f.Eda.qp} + M_{Ed.i.qp} = 2.66 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	

RIEPILOGO GENERALE DELLE CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

MATERIALI DI PROGETTO DELLA SEZIONE

CLASSE = "C20/25"

ESPOSIZIONE = "XC1"

Diametri inerti: 20 mm

ACCIAIO B450C

Gruppo	Condizioni Ambientali		combinazione	stato limite	w _d	
a	X0, XC1, XC2, XC3, XF1	ordinarie	frequente	ap. fessure	w ₃	0.4mm
			quasi permanente	ap. fessure	w ₂	0.3mm
b	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3	aggressive	frequente	ap. fessure	w ₂	0.3mm
			quasi permanente	ap. fessure	w ₁	0.2mm
c	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4	molto aggressive	frequente	ap. fessure	w ₁	0.2mm
			quasi permanente	ap. fessure	w ₁	0.2mm

TABELLA VALIDA PER ARMATURE POCO SENSIBILI

Verifiche agli stati limite ultimi

momento flettente resistente - positivo	4.3 kNxm
momento flettente resistente - negativo	-3.8 kNxm
azione di taglio resistente - in presenza di armature	0.0 kN
azione di taglio resistente in assenza di armature	6.7 kN

Verifiche tensioni in esercizio - valida per momenti positivi

compressione cls - rare - NTC 4.1.2.2.5.1	10.0 kNxm	non significativo
compressione cls - quasi perman. - NTC 4.1.2.2.5.1	7.5 kNxm	non significativo
tensione massima nelle armature - NTC 4.1.2.2.5.2	4.5 kNxm	

EC2 - fessurazione - Momenti Flettenti - valida per momenti positivi

per fessure fino a 0.2mm	3.7 kNxm
per fessure fino a 0.3mm	3.7 kNxm
per fessure fino a 0.4mm	3.7 kNxm
snervamento delle barre di armatura	3.7 kNxm

Sintesi delle verifiche per SLU

$$M_{Rd,p} = 4.298 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,c} = 3.048 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{Ed,c}}{M_{Rd,p}} = 0.71$$

$$M_{Rd,n} = 3.774 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,i} = -2.667 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{|M_{Ed,i}|}{M_{Rd,n}} = 0.71$$

$$V_{Rd,c} = 6.674 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Ed} := \max(V_{A,Ed}, V_{B,Ed}) = 5.573 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} = 0.84$$

Sintesi delle verifiche per SLE

Controllo delle tensioni in esercizio:

$$M_{f,sle,r} = 10.029 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{\max(|M_{Ed,i,r}|, M_{Ed,c,r})}{M_{f,sle,r}} = 0.32$$

$$M_{f,sle,s} = 4.538 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{\max(|M_{Ed,i,r}|, M_{Ed,c,r})}{M_{f,sle,s}} = 0.7$$

$$M_{f,sle,qp} = 7.522 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{\max(|M_{Ed,i,qp}|, M_{Ed,c,qp})}{M_{f,sle,qp}} = 0.35$$

Verifica a fessurazione:

$$M_{freq,Rd} := M_{f04} = 3.653 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{\max(|M_{Ed,i,freq}|, M_{Ed,c,freq})}{M_{freq,Rd}} = 0.76$$

$$M_{qp,Rd} := M_{f03} = 3.653 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{\max(|M_{Ed,i,qp}|, M_{Ed,c,qp})}{M_{qp,Rd}} = 0.73$$

VERIFICA SEZIONE IN C.A. a T SECONDO NTC 2018

SOLAIO CORRENTE DI CALPESTIO (sondaggio "S2")

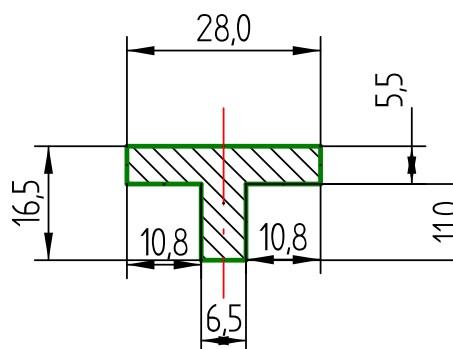


1.1) Caratteristiche meccaniche dei materiali

CLASSE = "C20/25"	$f_{ck} = 20 \cdot \text{MPa}$	$R_{ck} = 25 \cdot \text{MPa}$	$f_{cm} = 28 \cdot \text{MPa}$
$E_{cm} = 29.96 \cdot \text{GPa}$	$f_{ctm} = 2.21 \cdot \text{MPa}$	$f_{ctk5\%} = 1.55 \cdot \text{MPa}$	$f_{ctk95\%} = 2.87 \cdot \text{MPa}$
ACCIAIO FeB44K	$f_{yk} := 430 \text{MPa}$	$f_{tk} := 540 \text{MPa}$	$A_{gt.k} := \frac{7.5}{100}$

1.2) Caratteristiche geometriche della sezione

altezza totale della sezione	$h_c := 16.5 \text{cm}$
altezza della soletta collaborante	$\delta_c := 5.5 \text{cm}$
larghezza della soletta collaborante	$b := 28 \text{cm}$
larghezza della nervatura	$b_w := 6.5 \text{cm}$



1.3) Armature nella sezione

1.3.1 Armature a momento positivo

[mm]		[cm]	
10	1	16	Armatura inferiore
10	1	3	Armatura soletta
0	0	0	

1.3.2 Armature a momento negativo - Appoggio

[mm]		[cm]	
10	1	0.5	
10	1	14	
0	0		



1.4) Legami costitutivi dei materiali

$\alpha_{cc} = 0.85$ pari a 0.85 per carichi di lunga durata ed 1.00 per quelli di breve durata

$\gamma_c = 1.5$ coefficiente di sicurezza parziale

$f_{cd,p} = 8.395 \cdot \text{MPa}$ tensione massima di progetto ds a flessione per momento positivo

$f_{cd,n} = 8.395 \cdot \text{MPa}$ tensione massima di progetto ds a flessione per momento negativo

$\varepsilon_{c2} \cdot 100 = 0.2$ $\varepsilon_{cu} \cdot 100 = 0.35$ deformazioni relative al diagramma parabola rettangolo
valide per classi inferiori a C 50/60 - **NTC 4.1.2.1.2.2**

$\gamma_s = 1.15$ coefficiente di sicurezza parziale

dati relativi al diagramma bilineare finito con incrudimento **NTC 4.1.2.1.2.3**

$\varepsilon_{el} \cdot 100 = 0.187$ $f_{yd} = 276.973 \cdot \text{MPa}$ deformazione e tensione allo snervamento di progetto

$$\epsilon_{ud} \cdot 100 = 6.75 \quad f_{ud} = 318.519 \cdot \text{MPa} \quad \text{deformazione e tensione a rottura di progetto}$$



1.5) Momento Resistente a flessione pura

1.5.1) Momento positivo

svolgendo i calcoli si ottiene

$$\epsilon_{cd,p} \cdot 100 = -0.35 \quad \text{deformazione ultima nel calcestruzzo - fibra compressa} \quad \epsilon_{cu} \cdot 100 = 0.35$$

$$\epsilon_{sd,p} \cdot 100 = 2.309 \quad \text{deformazione ultima nell'acciaio teso inferiore} \quad \epsilon_{ud} \cdot 100 = 6.75$$

$$x_{pl,p} = 21.064 \cdot \text{mm} \quad \text{posizione asse neutro}$$

$$C = -40.083 \cdot \text{kN} \quad d_c = 8.8 \cdot \text{mm} \quad \text{risultante del ds - compresso e posizione}$$

$$Z_t = 40.083 \cdot \text{kN} \quad d_{zt} = 104 \cdot \text{mm} \quad \text{risultante relativa alle armature tese}$$

$$Z_c = 0 \cdot \text{kN} \quad d_{zc} = 0 \cdot \text{mm} \quad \text{risultante relativa alle armature compresse}$$

Verifica equilibrio alla traslazione (Sforzo normale nullo)

$$SN_{Rd} := C + Z_t + Z_c \quad |SN_{Rd}| = 0 \cdot \text{kN}$$

Calcolo del momento flettente resistente

$$M_{Rd,p} := Z_t \cdot d_{zt} + C \cdot d_c + Z_c \cdot d_{zc} - SN_{Rd} \cdot 0.5 \cdot h_c \quad M_{Rd,p} = 3.816 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

1.5.2) Momento negativo

svolgendo i calcoli si ottiene

$$\epsilon_{cdn} \cdot 100 = -0.35 \quad \text{deformazione ultima nel calcestruzzo - fibra compressa} \quad \epsilon_{cu} \cdot 100 = 0.35$$

$$\epsilon_{sdn} \cdot 100 = 4.705 \quad \text{deformazione ultima nell'acciaio teso inferiore} \quad \epsilon_{ud} \cdot 100 = 6.75$$

$$x_{pln} = 9.693 \cdot \text{mm} \quad \text{posizione asse neutro}$$

$$C_n = -4.282 \cdot \text{kN} \quad d_{c,n} = 4 \cdot \text{mm} \quad \text{risultante del ds - compresso e posizione}$$

$$Z_{t,n} = 24 \cdot \text{kN} \quad d_{zt,n} = 140 \cdot \text{mm} \quad \text{risultante relativa alle armature tese}$$

$$Z_{c,n} = -19.718 \cdot \text{kN} \quad d_{zc,n} = 5 \cdot \text{mm} \quad \text{risultante relativa alle armature compresse}$$

Verifica equilibrio alla traslazione (Sforzo normale nullo)

$$SN_{Rd,n} := C_n + Z_{t,n} + Z_{c,n} \quad |SN_{Rd,n}| = 0 \cdot \text{kN}$$

Calcolo del momento flettente resistente

$$M_{Rd,n} := Z_{t,n} \cdot d_{zt,n} + C_n \cdot d_{c,n} + Z_{c,n} \cdot d_{zc,n} - SN_{Rd,n} \cdot 0.5 \cdot h_c \quad M_{Rd,n} = 3.244 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

1.6) Resistenza a taglio

1.6.1) Resistenza a taglio - in presenza di apposite armature (eventuali)

In corrispondenza del travetto vengono inserite delle apposite armature a taglio

$$p_{sw} := 20 \text{ cm} \quad \text{passo delle armature [eventualmente indinate]}$$

$$\phi_v := 0 \text{ mm} \quad \text{diametro delle armature [eventualmente indinate]}$$

$$n_v := 0 \quad \text{numero delle sezioni delle armature a taglio}$$

$$\eta := 1 \quad \text{per barre con diametro inferiore a 32 mm}$$

$$f_{bd} := \frac{2.25 \cdot \eta \cdot f_{ctk5\%}}{\gamma_c} \quad f_{bd} = 2.325 \cdot \text{MPa} \quad \text{tensione di aderenza di progetto}$$

$$L_{bd} := 40 \cdot \phi_v \quad \text{lunghezza del tratto aderente delle armature a taglio}$$

$$\sigma_{sy} := \min \left(\frac{L_{bd} \cdot f_{bd} \cdot 4}{\phi_v}, \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \right) \quad \sigma_{sy} = 0 \cdot \text{MPa} \quad \text{tensione di progetto armatura a taglio}$$

$$A_{sw} := n_v \cdot \frac{\pi \cdot \phi_v^2}{4} \quad A_{sw} = 0 \cdot \text{cm}^2$$

$$\alpha := 90^\circ \text{deg} \quad \text{indinazione sull'orizzontale [per staffe non indinate inserire il valore 90°]}$$

$$\theta := 45^\circ \text{deg} \quad \text{indinazione del puntone compresso [limite tra 21.801° e 45°]}$$

$$\cot(45^\circ \text{deg}) = 1 \quad \cot(21.801^\circ \text{deg}) = 2.5$$

Rottura delle armature a taglio

$$V_{Rsd} := \frac{A_{sw}}{p_{sw}} \cdot 0.9 \cdot d_f \cdot \sigma_{sy} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) \cdot \sin(\alpha) \quad V_{Rsd} = 0 \cdot \text{kN}$$

verifica del passo

$$p_{\max} := 0.9 \cdot d_f \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) \quad p_{\max} = 14.4 \cdot \text{cm} \quad \text{maggiore di} \quad p_{sw} = 20 \cdot \text{cm}$$

Rottura del puntone compresso

$$\alpha_{cw} := 1 \quad \text{in assenza di precompressione}$$

$$\nu_1 := 0.5 \quad \text{valore indicato nella NTC 2008 - rapporto tra la } f_{cd} \text{ della sezione e quella dell'anima}$$

$$f_{cd,n} = 8.395 \cdot \text{MPa} \quad \text{valore base della resistenza di progetto del calcestruzzo}$$

$$V_{Rcd} := 0.9 \cdot d_f \cdot b_w \cdot \alpha_{cw} \cdot (\nu_1 \cdot f_{cd,n}) \cdot \frac{\cot(\theta) + \cot(\alpha)}{1 + \cot(\theta)^2} \quad V_{Rcd} = 19.644 \cdot \text{kN}$$

Resistenza a taglio del tratto con armature inclinate

$$V_{Rd} := \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) \quad V_{Rd} = 0 \cdot \text{kN}$$

1.6.2) Resistenza a taglio - in assenza di apposite armature

All'interno del travetto, trascurando il traliccio ed i ferri piegati abbiamo:

$$A_{si} = 0.785 \cdot \text{cm}^2$$

$$d_{fi} = 160 \cdot \text{mm} \quad \text{altezza utile della sezione}$$

$$b_w = 65 \cdot \text{mm} \quad \text{larghezza minima della sezione}$$

$$\rho := \min\left(\frac{A_{si}}{b_w \cdot d_f}, 0.02\right) \quad \rho = 0.008 \quad \text{rapporto geometrico armatura longitudinale valore massimo 2\%}$$

$$k = 2 \quad \text{coefficiente funzione della altezza utile della sezione}$$

$$\sigma_{cp} := 0 \text{MPa} \quad \text{tensione media di compressione della sezione}$$

$$f_{ck,ad} = 20 \quad \text{tensione cilindrica caratteristica del CLS in MPa [1MPa = 1N/mmq]}$$

$$\gamma_c = 1.5 \quad \text{coefficiente parziale di sicurezza}$$

$$v_{\min} := 0.035 \cdot \text{MPa} \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{f_{ck,ad}} \quad \text{resistenza a taglio minima dovuta al solo CLS} \quad v_{\min} = 0.443 \cdot \text{MPa}$$

$$v_s := \frac{0.18 \text{MPa}}{\gamma_c} \cdot k \cdot \sqrt{100 \cdot \rho \cdot f_{ck,ad}} \quad \text{resistenza a taglio minima dovuta alle armature} \quad v_s = 0.593 \cdot \text{MPa}$$

$$v_{Rd} := \max(v_s + 0.15 \cdot \sigma_{cp}, v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \quad v_{Rd} = 0.593 \cdot \text{MPa}$$

$$V_{Rd,c} := b_w \cdot d_f \cdot v_{Rd} \quad V_{Rd,c} = 6.17 \cdot \text{kN} \quad \text{resistenza a taglio della sezione}$$

1.7) Controllo delle tensioni in esercizio

Sviluppando i calcoli in campo lineare e supponendo un rapporto tra i moduli elastici si ottiene:

$$\alpha_e := 15$$



posizione asse neutro	$x_e = 32.446 \cdot \text{mm}$	
momento di inerzia sezione parzializzata	$J_i = 2236.273 \cdot \text{cm}^4$	
modulo di resistenza fibra compressa ds	$W_c := \frac{J_i}{x_e}$	$W_c = 689.219 \cdot \text{cm}^3$
modulo di resistenza fibra tesa acciaio	$W_f := \frac{J_i}{(y_{f.\text{max}} - x_e) \cdot \alpha_e}$	$W_f = 11.688 \cdot \text{cm}^3$

punto 4.1.2.2.5.1 - tensioni in esercizio CLS per combinazione caratteristica RARA

$$\sigma_c := 0.6 \cdot f_{ck.\text{eff}} \quad \sigma_c = 12 \cdot \text{MPa}$$

ovvero abbiamo un momento esterno che deve essere al più pari a: $\sigma_c \cdot W_c = 8.271 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

punto 4.1.2.2.5.1 - tensioni in esercizio CLS per combinazione caratteristica quasi permanente

$$\sigma_c := 0.45 \cdot f_{ck.\text{eff}} \quad \sigma_c = 9 \cdot \text{MPa}$$

ovvero abbiamo un momento esterno che deve essere al più pari a: $\sigma_c \cdot W_c = 6.203 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

punto 4.1.2.2.5.2 - tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

$$\sigma_s := 0.8 \cdot f_{yk} \quad \sigma_s = 344 \cdot \text{MPa}$$

ovvero abbiamo un momento esterno che deve essere al più pari a: $\sigma_s \cdot W_f = 4.021 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

1.8) Verifiche a fessurazione

Calcolo delle sollecitazioni che provocano una apertura delle fessure nota [formulazione EC2]

$h_c = 165 \cdot \text{mm}$	altezza lorda della sezione
$d_f = 160 \cdot \text{mm}$	posizione delle barre di armatura rispetto al lembo compresso
$x_e = 32.446 \cdot \text{mm}$	posizione asse neutro rispetto al lembo compresso

$$0.5 \cdot h_c = 82.5 \cdot \text{mm} \quad \frac{h_c - x_e}{3} = 44.185 \cdot \text{mm}$$

$$2.5 \cdot (h_c - d_f) = 12.5 \cdot \text{mm}$$

$$h_{c,ef} := \min \left[0.5 \cdot h_c, \frac{h_c - x_e}{3}, 2.5 \cdot (h_c - d_f) \right] \quad h_{c,ef} = 12.5 \cdot \text{mm}$$

$$A_{c,eff} := h_{c,ef} \cdot b_w \quad A_{c,eff} = 8.125 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_s = 0.785 \cdot \text{cm}^2 \quad \text{armature tese}$$

$$\rho_{eff} := \frac{A_s}{A_{c,eff}} \quad \rho_{eff} \cdot 100 = 9.666$$

$$\alpha_e := \frac{E_s}{E_{cm}} \quad \alpha_e = 6.676$$

$$f_{ct,eff} := f_{ctm} \quad \text{tensione alla quale si presuppone che insorgano le prime fessure}$$

$$k_t = 0.4 \quad \text{coefficiente che tiene conto del tipo di carico}$$

La differenza di deformazione può essere valutata con la formula :

$$\frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s}$$

tale formula può essere vista come:

$$A_{id} := A_{c,eff} + \alpha_e \cdot A_s \quad A_{id} = 13.368 \cdot \text{cm}^2 \quad \text{area ideale intorno alle barre}$$

$$f_{ct,red} := k_t \cdot f_{ct,eff} \quad f_{ct,red} = 0.884 \cdot \text{MPa} \quad \text{tensione effettiva a trazione (tenendo conto della durata del carico)}$$

di conseguenza in termini di diminuzione di tensione nella barra si valuta un contributo del calcestruzzo teso pari a:

$$\Delta F := f_{ct,red} \cdot A_{id} \quad \Delta F = 1.182 \cdot \text{kN}$$

ovvero una diminuzione di tensione pari a:

$$\Delta \sigma_{sm} := \frac{\Delta F}{A_s} \quad \Delta \sigma_{sm} = 15.046 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{ovviamente coincidente con:} \quad k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff}) = 15.046 \cdot \text{MPa}$$

di conseguenza indicato con M_f il momento agente nella sezione, l'incremento di deformazione vale

$$\frac{M_f}{W_f \cdot E_s} - \frac{\Delta \sigma_{sm}}{E_s} \quad \text{con un valore minimo pari a:} \quad \frac{0.6 \cdot \sigma_s}{E_s}$$

Con le posizioni:

$$\Delta M_{f,s} := \Delta \sigma_{sm} \cdot W_f \quad \Delta M_{f,s} = 0.176 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{riduzione di momento dovuta al tension - stiffening}$$

$$M_{f,1} := \frac{\Delta \sigma_{sm} \cdot W_f}{0.4} \quad M_{f,1} = 0.44 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{valore del momento ove l'effetto del tension -stiffening viene ad assumere come minimo il 60\%}$$

la corretta espressione che lega la deformazione media al momento flettente è:

$$\Delta \varepsilon_{sm}(M_f) := \begin{cases} 0.6 \cdot \frac{M_f}{W_f \cdot E_s} & \text{if } M_f \leq M_{f,1} \\ \frac{M_f - \Delta M_{f,s}}{W_f \cdot E_s} & \text{otherwise} \end{cases}$$

La distanza massima tra le fessure è:

$$k_1 := 0.8 \quad 0.8 \text{ per barre ad aderenza migliorata [1.6 per barre lisce]}$$

$$k_2 := 0.5 \quad 0.5 \text{ per flessione [1.0 per trazione pura]}$$

$$k_3 := 3.4 \quad \text{valore raccomandato al punto 7.3.2.4 [vedi EC2 non essendo segnalato nell'appendice naz.]}$$

$$k_4 := 0.425 \quad \text{valore raccomandato al punto 7.3.2.4 [vedi EC2 non essendo segnalato nell'appendice naz.]}$$

$$c = 4.337 \times 10^{-15} \quad \text{coefficiente minimo delle barre tese}$$

$$\phi_{eq} = 10 \cdot \text{mm} \quad \text{diametro equivalente delle armature tese}$$

$$\text{Formula 7.11 :} \quad \Delta_{sm} := k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_{eq}}{\rho_{eff}} \quad \Delta_{sm} = 17.587 \cdot \text{mm}$$

Di conseguenza abbiamo le seguenti sollecitazioni di calcolo:

Tenendo conto che i valori delle fessure di calcolo sono da intendersi già come valori caratteristici applicando la procedura dell'EC2

dato un valore della ampiezza di progetto delle fessure, invertendo le formulazioni sopracitate risulta:

$$w_{d,lim} := \Delta_{sm} \cdot \left(\frac{0.6}{0.4} \cdot \frac{\Delta M_{f,s}}{W_f \cdot E_s} \right) \quad w_{d,lim} = 0.002 \cdot \text{mm}$$

$$M_{f,EC2}(w_d) := \begin{cases} \frac{w_d}{0.6 \cdot \Delta_{sm}} \cdot (W_f \cdot E_s) & \text{if } w_d \leq w_{d,lim} \\ \Delta M_{f,s} + \frac{w_d}{\Delta_{sm}} \cdot (W_f \cdot E_s) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Onde tener conto poi dello snervamento del materiale si pone poi:

$$M_y := f_{yd} \cdot W_f \quad M_y = 3.237 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_f(w_d) := \min(M_y, M_{f,EC2}(w_d))$$

Per il livello di apertura delle fessure $w_1=0.2\text{mm}$

$$M_f(0.2\text{mm}) = 3.237 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Per il livello di apertura delle fessure $w_2=0.3\text{mm}$

$$M_f(0.3\text{mm}) = 3.237 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Per il livello di apertura delle fessure $w_3=0.4\text{mm}$

$$M_f(0.4\text{mm}) = 3.237 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

1 - ANALISI DEI CARICHI

$G_1 := 3.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$\gamma_{G1} := 1.3$	carichi permanenti strutturali
$G_2 := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$\gamma_{G2} := 1.5$	carichi permanenti portati uniformemente distribuiti
$Q := 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$\gamma_Q := 1.5$	sovraccarichi variabili uniformemente distribuiti
$\psi_{0,k} := 0.7$	$\psi_{1,k} := 0.7$	$\psi_{2,k} := 0.6$

2 - Dati relativi allo schema statico di progetto

$L_n := 4.5\text{m}$ Luce di calcolo del solaio - interasse appoggi

Sollecitazioni sul singolo travetto

$p_x := b = 0.28\text{ m}$ passo del travetto

3 - Carichi di progetto

carico sul travetto tipo

$$q_o := (\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + Q \cdot \gamma_Q) = 9.45 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{o,r} := (G_1 + G_2 + Q) = 6.81 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{o,\text{freq}} := (G_1 + G_2 + \psi_{1,k} \cdot Q) = 5.91 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{o,\text{qp}} := (G_1 + G_2 + \psi_{2,k} \cdot Q) = 5.61 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

carico distribuito costante

$$q := q_o \cdot p_x = 2.65 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_r := q_{o,r} \cdot p_x = 1.91 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad q_{\text{freq}} := q_{o,\text{freq}} \cdot p_x = 1.65 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad q_{\text{qp}} := q_{o,\text{qp}} \cdot p_x = 1.57 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

3.1) Reazioni e sollecitazioni per il singolo travetto - condizione di appoggio

$$R_{Aa} := 0.5 \cdot q \cdot L_n = 5.96 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ba} := q \cdot L_n - R_{Aa} = 5.96 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Aa.r} := 0.5 \cdot q_r \cdot L_n = 4.29 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ba.r} := q_r \cdot L_n - R_{Aa.r} = 4.29 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Aa.freq} := 0.5 \cdot q_{freq} \cdot L_n = 3.72 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ba.freq} := q_{freq} \cdot L_n - R_{Aa.freq} = 3.72 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Aa.qp} := 0.5 \cdot q_{qp} \cdot L_n = 3.53 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ba.qp} := q_{qp} \cdot L_n - R_{Aa.qp} = 3.53 \cdot \text{kN}$$

$$x_v := \frac{L_n}{2} = 2.25 \text{ m}$$

$$y_v := L_n - x_v = 2.25 \text{ m}$$

$$V_{Eda} := \max(R_{Aa}, R_{Ba}) = 5.955 \cdot \text{kN}$$

$$M_{f.Eda} := R_{Aa} \cdot x_v - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x_v^2 = 6.7 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Eda.r} := R_{Aa.r} \cdot x_v - \frac{1}{2} \cdot q_r \cdot x_v^2 = 4.83 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Eda.freq} := R_{Aa.freq} \cdot x_v - \frac{1}{2} \cdot q_{freq} \cdot x_v^2 = 4.19 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Eda.qp} := R_{Aa.qp} \cdot x_v - \frac{1}{2} \cdot q_{qp} \cdot x_v^2 = 3.98 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

3.2) Reazioni e sollecitazioni per il singolo travetto - condizione di incastro

$$R_{Ai} := R_{Aa} = 5.96 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bi} := q \cdot L_n - R_{Ai} = 5.96 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ai.r} := R_{Aa.r} = 4.29 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bi.r} := q_r \cdot L_n - R_{Ai.r} = 4.29 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ai.freq} := R_{Aa.freq} = 3.72 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bi.freq} := q_{freq} \cdot L_n - R_{Ai.freq} = 3.72 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Ai.qp} := R_{Aa.qp} = 3.53 \cdot \text{kN}$$

$$R_{Bi.qp} := q_{qp} \cdot L_n - R_{Ai.qp} = 3.53 \cdot \text{kN}$$

$$x_{vi} := \frac{L_n}{2} = 2.25 \text{ m}$$

$$V_{Edi} := \max(R_{Ai}, R_{Bi}) = 5.96 \cdot \text{kN}$$

$$\alpha_{Mn} := -\frac{1}{12} = -0.083$$

$$M_{i.neg} := \alpha_{Mn} \cdot q \cdot L_n^2 = -4.47 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{i.neg.r} := \alpha_{Mn} \cdot q_r \cdot L_n^2 = -3.22 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{i.neg.freq} := \alpha_{Mn} \cdot q_{freq} \cdot L_n^2 = -2.79 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{i.neg.qp} := \alpha_{Mn} \cdot q_{qp} \cdot L_n^2 = -2.65 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Edi} := M_{i.neg} + R_{Ai} \cdot x_{vi} - \frac{1}{2} \cdot (q) \cdot x_{vi}^2 = 2.23 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Edi.r} := M_{i.neg.r} + R_{Ai.r} \cdot x_{vi} - \frac{1}{2} \cdot (q_r) \cdot x_{vi}^2 = 1.61 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Edi.freq} := M_{i.neg.freq} + R_{Ai.freq} \cdot x_{vi} - \frac{1}{2} \cdot (q_{freq}) \cdot x_{vi}^2 = 1.4 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{f.Edi.qp} := M_{i.neg.qp} + R_{Ai.qp} \cdot x_{vi} - \frac{1}{2} \cdot (q_{qp}) \cdot x_{vi}^2 = 1.33 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

3.3) Reazioni e sollecitazioni per il singolo travetto - condizione di semincastro con redistribuzione

$M_{inc} := M_{i.neg}$	$M_{inc} = -4.467 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
$M_{Ed.i} := 0.7 \cdot M_{inc}$	$M_{Ed.i} = -3.127 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	Momento di verifica in appoggio
$M_{Ed.c} := M_{f.Eda} + M_{Ed.i}$	$M_{Ed.c} = 3.573 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	Momento di verifica in campata
$V_{A.Ed} := R_{Aa} - 0.05 \text{m} \cdot (q)$	$V_{A.Ed} = 5.823 \cdot \text{kN}$	Taglio di verifica all'appoggio A
$V_{B.Ed} := R_{Ba} - 0.05 \text{m} \cdot (q)$	$V_{B.Ed} = 5.823 \cdot \text{kN}$	Taglio di verifica all'appoggio B
$M_{inc.r} := \frac{M_{i.neg.r}}{2} = -1.61 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{Ed.i.r} := 0.7 \cdot M_{inc.r} = -1.13 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
$M_{inc.freq} := \frac{M_{i.neg.freq}}{2} = -1.4 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{Ed.i.freq} := 0.7 \cdot M_{inc.freq} = -0.98 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
$M_{inc.qp} := \frac{M_{i.neg.qp}}{2} = -1.33 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	$M_{Ed.i.qp} := 0.7 \cdot M_{inc.qp} = -0.93 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
	$M_{Ed.c.r} := M_{f.Eda.r} + M_{Ed.i.r} = 3.7 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
	$M_{Ed.c.freq} := M_{f.Eda.freq} + M_{Ed.i.freq} = 3.21 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
	$M_{Ed.c.qp} := M_{f.Eda.qp} + M_{Ed.i.qp} = 3.05 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	

RIEPILOGO GENERALE DELLE CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

MATERIALI DI PROGETTO DELLA SEZIONE

CLASSE = "C20/25"

ESPOSIZIONE = "XC1"

Diametri inerti: 20 mm

ACCIAIO B450C

Gruppo	Condizioni Ambientali		combinazione	stato limite	w _d	
a	X0, XC1, XC2, XC3, XF1	ordinarie	frequente	ap. fessure	w ₃	0.4mm
			quasi permanente	ap. fessure	w ₂	0.3mm
b	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3	aggressive	frequente	ap. fessure	w ₂	0.3mm
			quasi permanente	ap. fessure	w ₁	0.2mm
c	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4	molto aggressive	frequente	ap. fessure	w ₁	0.2mm
			quasi permanente	ap. fessure	w ₁	0.2mm

TABELLA VALIDA PER ARMATURE POCO SENSIBILI

Verifiche agli stati limite ultimi

<i>momento flettente resistente - positivo</i>	3.8 kN×m
<i>momento flettente resistente - negativo</i>	-3.2 kN×m
<i>azione di taglio resistente - in presenza di armature</i>	0.0 kN
<i>azione di taglio resistente in assenza di armature</i>	6.2 kN

Verifiche tensioni in esercizio - valida per momenti positivi

<i>compressione cls - rare - NTC 4.1.2.2.5.1</i>	8.3 kN×m	non significativo
<i>compressione cls - quasi perman. - NTC 4.1.2.2.5.1</i>	6.2 kN×m	non significativo
<i>tensione massima nelle armature - NTC 4.1.2.2.5.2</i>	4.0 kN×m	

EC2 - fessurazione - Momenti Flettenti - valida per momenti positivi

<i>per fessure fino a 0.2mm</i>	3.2 kN×m
<i>per fessure fino a 0.3mm</i>	3.2 kN×m
<i>per fessure fino a 0.4mm</i>	3.2 kN×m
<i>snervamento delle barre di armatura</i>	3.2 kN×m

Sintesi delle verifiche per SLU

$$M_{Rd,p} = 3.816 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,c} = 3.573 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{Ed,c}}{M_{Rd,p}} = 0.94$$

$$M_{Rd,n} = 3.244 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,i} = -3.127 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{|M_{Ed,i}|}{M_{Rd,n}} = 0.96$$

$$V_{Rd,c} = 6.17 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Ed} := \max(V_{A,Ed}, V_{B,Ed}) = 5.823 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} = 0.94$$

Sintesi delle verifiche per SLE

Controllo delle tensioni in esercizio:

$$M_{f,sle,r} = 8.271 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{\max(|M_{Ed,i,r}|, M_{Ed,c,r})}{M_{f,sle,r}} = 0.45$$

$$M_{f,sle,s} = 4.021 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{\max(|M_{Ed,i,r}|, M_{Ed,c,r})}{M_{f,sle,s}} = 0.92$$

$$M_{f,sle,qp} = 6.203 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{\max(|M_{Ed,i,qp}|, M_{Ed,c,qp})}{M_{f,sle,qp}} = 0.49$$

Verifica a fessurazione:

$$M_{freq,Rd} := M_{f04} = 3.237 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{\max(|M_{Ed,i,freq}|, M_{Ed,c,freq})}{M_{freq,Rd}} = 0.99$$

$$M_{qp,Rd} := M_{f03} = 3.237 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{\max(|M_{Ed,i,qp}|, M_{Ed,c,qp})}{M_{qp,Rd}} = 0.94$$