

Guida & Validazione

Guida all'uso, validazione e riferimenti normativi
per il consolidamento dei solai misti
in acciaio - calcestruzzo

INDICE

1. GUIDA ALL'USO	3
1.1. INTRODUZIONE	3
1.2. UTILIZZO DEL SOFTWARE	4
1.2.1. SCHERMATA PRINCIPALE	4
1.2.2. PARAMETRI UTENTE	5
1.2.3. MATERIALI	6
1.2.4. GEOMETRIA	8
1.2.5. CARICHI	10
1.2.6. VERIFICA	12
2. RIFERIMENTI DI CALCOLO	13
2.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	13
2.2. ANALISI DELLE SEZIONI	13
2.3. RESISTENZE CARATTERISTICHE E DI PROGETTO DEI SISTEMI DI CONNESSIONE	13
2.4. SPAZIATURE MINIME E MASSIME AMMISSIBILI DEI CONNETTORI	15
2.4.1. SPAZIATURE MASSIME AMMISSIBILI	15
2.4.2. SPAZIATURE MINIME AMMISSIBILI	15
2.5. LARGHEZZA MINIMA DELL'ALA DELLA PUTRELLA PER L'INSTALLAZIONE DEI SISTEMI DI CONNESSIONE	16
2.6. CALCOLO DELLA BASE EFFICACE	16
2.7. CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO	16
2.7.1. ASSE NEUTRO NELLA TRAVE DI ACCIAIO	17
2.7.2. ASSE NEUTRO NELLA SOLETTA	18
2.7.3. ASSE NEUTRO NEL RACCORDO	19
2.8. CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO	20
2.9. CALCOLO DEL MASSIMO MOMENTO RESISTENTE ELASTICO	21
2.9.1. CASO PUNTELLATO	21
2.9.2. CASO NON PUNTELLATO	22
2.10. CALCOLO DEL MOMENTO RESISTENTE REALE E DEL RELATIVO NUMERO DI CONNETTORI	23
2.11. CALCOLO DELLA DISTRIBUZIONE DEI CONNETTORI	24
2.11.1. SPAZIATURA A PASSO VARIABILE	24
2.11.2. SPAZIATURA A PASSO COSTANTE	25
2.11.3. CONFRONTO CON SPAZIATURE MINIME E MASSIME AMMISSIBILI	26
2.12. VERIFICA A TAGLIO	26
2.13. VERIFICHE IN FASE 1	26
2.14. VERIFICHE A DEFORMABILITÀ (SLE)	27
2.14.1. CASO PUNTELLATO	27
2.14.2. CASO NON PUNTELLATO	28
2.15. CALCOLO TENSIONI SUI CONNETTORI	30
2.16. CALCOLO DELL'ARMATURA TRASVERSALE	31
2.17. CALCOLO DELLE STAFFE	32
3. VALIDAZIONE DEL CALCOLO	34
3.1. CASO 1	34
3.2. CASO 2	44



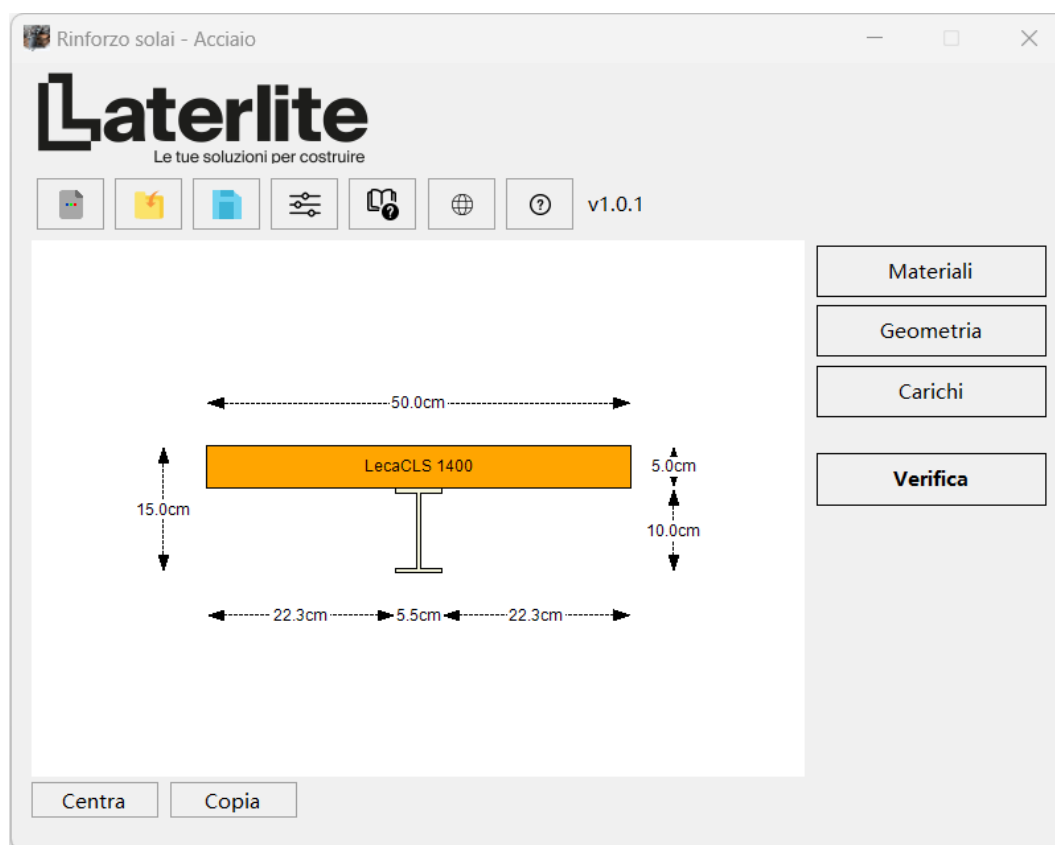
1. GUIDA ALL'USO

1.1. Introduzione

Il programma **Dimensionamento di solai in ACCIAIO con Connettori CentroStorico Acciaio e calcestruzzi strutturali leggeri Leca** permette il calcolo di solai in acciaio rinforzati con i calcestruzzi strutturali leggeri di Laterlite S.p.A. (denominati **LecaCLS 1400**, **LecaCLS 1600**, **LecaCLS 1800** e **Calcestruzzo CentroStorico**) e connettori di Laterlite S.p.A. (denominati **Connettore CentroStorico Acciaio Avvitato**, **Connettore CentroStorico Acciaio Saldato**, **Connettore CentroStorico Acciaio Incollato**).

Il programma esegue le seguenti verifiche e dimensionamenti:

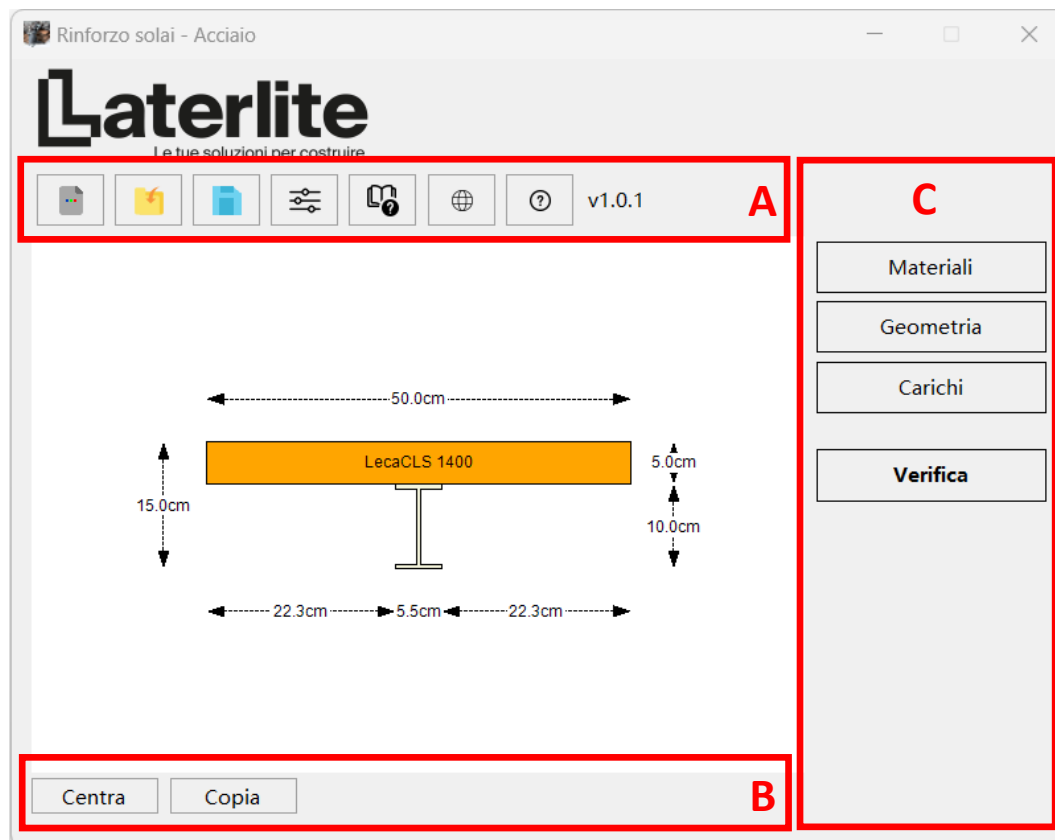
- Verifica a flessione positiva allo Stato Limite Ultimo (SLU);
- Calcolo della distribuzione dei connettori;
- Verifica a taglio a Stato Limite Ultimo (SLU);
- Eventuali verifiche in fase 1 (sola trave in acciaio);
- Verifica a deformabilità a Stato Limite di Esercizio (SLE);
- Verifica allo scorrimento sui connettori;
- Calcolo dell'armatura trasversale e delle eventuali staffe.



1.2. Utilizzo del software

Sono descritti nel seguito l'interfaccia e i comandi del programma.

1.2.1. Schermata principale



La schermata principale del programma si articola in 3 pulsantiere (superiore A, inferiore B e di destra C) e dal disegno della sezione del solaio, quotata in *cm*.

Per i pulsanti del gruppo A (in ordine da sinistra verso destra):

- **Nuovo** permette la creazione di un nuovo file;
- **Apri** consente l'apertura di un file esistente con estensione *.l/3*;
- **Salva** consente il salvataggio del file corrente con estensione *.l/3*;
- **Parametri utente** consente la modifica di alcune opzioni predefinite di calcolo;
- **Guida** apre il presente documento di guida e validazione;
- **Web** apre il sito www.leca.it;
- **Info** apre la schermata con le informazioni sul programma e sulle licenze.

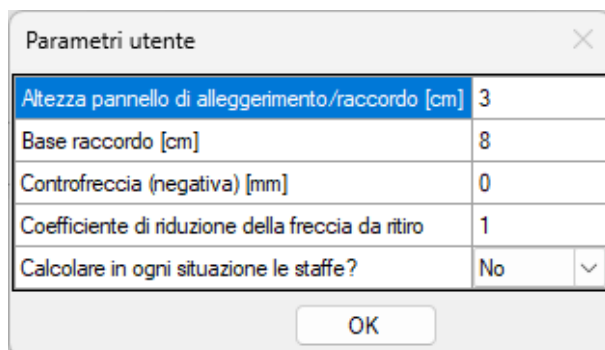
Per i pulsanti del gruppo B (in ordine da sinistra verso destra):

- **Centra** permette di centrare il disegno della sezione del solaio all'interno della schermata dedicata;
- **Copia** consente di copiare negli Appunti il disegno corrente come immagine.



I pulsanti del gruppo C consentono l'inserimento delle informazioni necessarie al calcolo, secondo l'ordine suggerito di lavoro con il programma. Si rimanda ai paragrafi successivi per la descrizione dettagliata.

1.2.2. Parametri utente



Parametri utente	
Altezza pannello di alleggerimento/raccordo [cm]	3
Base raccordo [cm]	8
Controfreccia (negativa) [mm]	0
Coefficiente di riduzione della freccia da ritiro	1
Calcolare in ogni situazione le staffe?	No

OK

La maschera permette di impostare le seguenti opzioni di calcolo:

- **Altezza pannello di alleggerimento/raccordo** permette di impostare lo spessore dell'eventuale pannello di alleggerimento in *cm*;
- **Base raccordo** permette di impostare la larghezza di separazione tra due pannelli di alleggerimento adiacenti ovvero, in altri termini, la larghezza del raccordo in calcestruzzo strutturale leggero da realizzare nel caso sia presente l'alleggerimento in *cm*;
- **Controfreccia (negativa) [mm]** permette di specificare una controfreccia (premonta) in *mm*, imputando un valore negativo;
- **Coefficiente di riduzione della freccia da ritiro** permette di inserire un coefficiente di riduzione da applicare nel calcolo della freccia da ritiro;
- **Calcolare in ogni situazione le staffe?** consente di definire se dimensionare sempre le staffe nel caso di posizionamento di un pannello di alleggerimento. Nello specifico, il programma esegue sempre il dimensionamento per spessori di pannello di alleggerimento superiori al minimo definito (si rimanda al capitolo successivo per il dettaglio); per spessori inferiori al minimo definito se l'opzione è impostata su "No" non viene eseguito il dimensionamento, viceversa selezionando "Sì" il dimensionamento viene eseguito.



1.2.3. Materiali

La maschera **Materiali** consente l'inserimento delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio esistente della putrella e la scelta della tipologia di connettore e del calcestruzzo leggero strutturale da impiegarsi per la realizzazione del consolidamento.

The screenshot shows a software interface titled "Materiali". It is divided into three main sections, each with a title bar and a list of parameters:

- Acciaio**:
 - Classe: S235 (dropdown menu)
 - fyk [MPa]: 235.0 (text input)
 - Ey [MPa]: 210000 (text input)
- Connettore**:
 - Spaziatura: A passo variabile (dropdown menu)
 - CentroStorico Acciaio: Avvitato (dropdown menu)
- Soluzioni di rinforzo**:
 - Calcestruzzo leggero strutturale: LecaCLS 1400 (dropdown menu)

At the bottom of the form, there is a blue link "Cambia parametri di default" and a button labeled "Applica".

Il riquadro Acciaio permette l'inserimento delle caratteristiche meccaniche della putrella metallica esistente, scegliendo tra le seguenti opzioni:

- **Classe** consente la scelta del materiale acciaio tra quelli proposti nel menù a tendina (S235 / S275 / S355 / Da utente);
- **f_{yk}** consente, nel caso di selezione "Da utente" nel menù Classe, di inserire il valore di resistenza caratteristica f_{yk} dell'acciaio in *MPa*;
- **E_y** consente, nel caso di selezione "Da utente" nel menù Classe, di inserire il modulo elastico dell'acciaio in *MPa*.

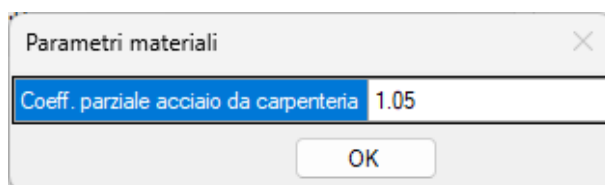
Il riquadro Connettore permette la scelta della tipologia di connettore da utilizzare e la sua disposizione:

- **Spaziatura** consente la scelta tra connettori a passo variabile lungo la luce della trave o a passo costante;
- **CentroStorico Acciaio** permette la selezione del tipo di connettore tra Avvitato, Saldato o Incollato.

Infine, il riquadro Soluzioni di rinforzo permette la selezione del calcestruzzo strutturale leggero da impiegare per la realizzazione della nuova soletta collaborante tra **LecaCLS 1400**, **LecaCLS 1600**, **LecaCLS1800** e **Calcestruzzo CentroStorico**.



L'opzione **Cambia parametri di default** consente la modifica del coefficiente parziale di sicurezza per il materiale acciaio.



Premere **Applica** per memorizzare le scelte operate. Il pulsante **Applica** si colora di rosso per segnalare la modifica effettuata sui parametri presenti nella maschera e ritorna di colore nero dopo essere stato premuto.



1.2.4. Geometria

La maschera **Geometria** consente l'impostazione delle dimensioni del solaio esistente e della nuova soletta.

Geometria

Profilo metallico: IPE 100

Spessore nuova soletta	5	cm
Interasse putrelle	50	cm
Luce campata	500	cm

☐ Prevedere pannello di alleggerimento

☒ Solaio tirantato/puntellato

Limite di deformabilità

Solai in generale

Freccia finale: L / 250

Freccia dei soli carichi variabili: L / 300

Applica

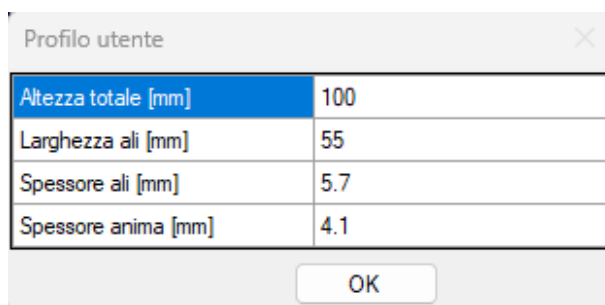
Nello specifico, i parametri da inserire sono:

- la geometria del profilo metallico, mediante selezione da menù a tendina;
- lo spessore della nuova soletta collaborante in calcestruzzo strutturale leggero (lo spessore minimo è pari a 5 cm*);
- l'interasse delle putrelle metalliche;
- la luce della campata.

* Nel caso di Connettore CentroStorico Acciaio Saldato, il software stabilisce in automatico se la posa deve essere eseguita in orizzontale o in verticale in funzione dello spessore della soletta (o di soletta e pannello di alleggerimento). Nello specifico, lo spessore minimo richiesto di soletta o di soletta + pannello è di 8 cm per la posa in verticale.

Nel menù a tendina relativo al profilo metallico, risulta possibile la selezione di un "Profilo utente" le cui dimensioni vanno inserite nella maschera seguente, che appare automaticamente a valle della scelta di un profilo utente:





Profilo utente	
Altezza totale [mm]	100
Larghezza ali [mm]	55
Spessore ali [mm]	5.7
Spessore anima [mm]	4.1

OK

L'opzione **Prevedere pannello di alleggerimento**, se attivata, inserisce un pannello (polistirolo, EPS, ...) tra il solaio esistente e la nuova soletta, realizzando una nuova sezione a T. La definizione dello spessore del pannello di alleggerimento e la base del raccordo avviene mediante il menù **Parametri Utente** (si veda il paragrafo 1.2.2.), il quale si apre in automatico alla prima apposizione della spunta sull'opzione.

L'opzione **Solaio tirantato/puntellato**, se attiva, considera il solaio come puntellato o tirantato ai fini del calcolo.

Il riquadro Limiti di deformabilità permette la scelta delle frecce limite da considerare per la verifica allo Stato Limite di Esercizio secondo NTC2018, in funzione della tipologia di solaio, come da tabella 4.2.XII delle NTC2018, o l'inserimento di valori limite da utente.

Premere **Applica** per memorizzare le scelte operate. Il pulsante **Applica** si colora di rosso per segnalare la modifica effettuata sui parametri presenti nella maschera e ritorna di colore nero dopo essere stato premuto.



1.2.5. Carichi

Nella maschera **Carichi** sono definiti tutti i carichi agenti sul solaio:

Carichi			
Peso putrella	0.16	kN/m ²	
Nuova soletta collaborante	0.78	kN/m ²	
Peso riempimento tra putrelle	1.00	kN/m ²	
Massetto	Lecamix Facile	10	kN/m ³
spessore [cm]	4.0	0.40	kN/m ²
Sottofondo	Sottofondo Cer	6.5	kN/m ³
spessore [cm]	5.0	0.33	kN/m ²
Altri permanenti	1.00	kN/m ²	
Variabili	A - Ambienti ad uso residenziale	2.00	kN/m ²
Carico in comb. SLU su singola trave	3.98	kN/m	
Cambia parametri di default		Applica	

Nello specifico, sono presenti le seguenti informazioni:

- **Peso putrella**, valutato in automatico dal software;
- **Nuova soletta collaborante**, il cui peso viene valutato in automatico dal software.

Risulta possibile agire sul peso del riempimento tra putrelle, sui carichi permanenti non strutturali e sui carichi variabili, come segue:

- **Peso riempimento tra putrelle**, che permette l'inserimento del peso del materiale di riempimento eventualmente presente tra le putrelle;
- **Massetto**, che permette la selezione di uno dei massetti di Laterlite S.p.A. e l'inserimento dello spessore previsto; se non previsto selezionare "Non presente";
- **Sottofondo**, che permette la selezione di uno dei sottofondi di Laterlite S.p.A. e l'inserimento dello spessore previsto; se non previsto selezionare "Non presente";
- **Altri permanenti**, che consente l'inserimento da utente del carico complessivo dato da eventuali altri carichi permanenti (es. tramezze, pavimento);
- **Variabili**, che consente la selezione attraverso il menù a tendina dei carichi variabili previsti da NTC2018 o, selezionando "Da utente", consente l'inserimento manuale di un valore arbitrario.

La combinazione di carico SLU finale viene valutata come segue:

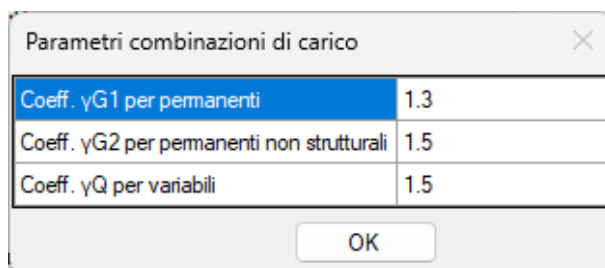
$$q = i \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta} + P_{massetto} + P_{sottofondo}) + \gamma_{G2} \cdot P_{altri} + \gamma_Q \cdot Q]$$



con i l'interasse dei travetti, $P_{putrella}$ il peso della putrella esistente, P_{riemp} il peso del riempimento presente tra le putrelle, $P_{soletta}$ il peso della nuova soletta in calcestruzzo strutturale leggero, $P_{massetto}$ il peso del massetto (se presente), $P_{sottofondo}$ il peso del sottofondo (se presente), P_{altri} il peso degli altri carichi permanenti e Q il peso dei carichi variabili.

Il calcolo di momento e taglio sollecitanti viene eseguito con uno schema statico di semplice appoggio in singola campata.

L'opzione **Cambia parametri di default** consente la definizione dei coefficienti di combinazione per carichi permanenti, permanenti non strutturali e variabili.



Parametri combinazioni di carico	
Coeff. $\gamma G1$ per permanenti	1.3
Coeff. $\gamma G2$ per permanenti non strutturali	1.5
Coeff. γQ per variabili	1.5

OK

Premere **Applica** per memorizzare le scelte operate. Il pulsante **Applica** si colora di rosso per segnalare la modifica effettuata sui parametri presenti nella maschera e ritorna di colore nero dopo essere stato premuto. Il carico sulla singola putrella in combinazione SLU viene aggiornato premendo il pulsante **Applica**.



1.2.6. Verifica

La maschera **Verifica** mostra i valori sollecitanti e resistenti per le verifiche svolte:

- le sollecitazioni flettenti e taglianti e le corrispondenti resistenze flessionali e taglianti;
- lo scorrimento all'interfaccia tra putrella e nuova soletta, confrontata con il valore di scorrimento massimo dato dalla resistenza di progetto del connettore;
- le frecce per carichi variabili e totali;
- le corrispondenti frecce limite.

Al fine di ottenere i risultati, è necessario premere **Calcola**.

Risultati

Fase I - Sola trave in acciaio

Msd,1	4.61	kNm	verificato
Mrd,1	56.40	kNm	
Vsd,1	3.69	kN	verificato
Vrd,1	205.21	kN	

Fase II - Sezione mista

Msd	10.72	kNm	verificato
Mrd	11.07	kNm	
Vsd	8.58	kN	verificato
Vrd	205.21	kN	
τ_b	27.79	kN/m	verificato
$\tau_{b,lim}$	49.23	kN/m	
δ_{tot}	6.1	mm	verificato
δ_{max}	20.0	mm	
δ_2	4.8	mm	verificato
$\delta_{2,lim}$	16.7	mm	

Calcola

Tabella connettori

Il pulsante **Tabella connettori** consente di visualizzare il numero di connettori da posare sulla putrella:

DISTRIBUZIONE VARIABILE					
	Spaziatura		N° connettori		
	cm	cm	effettivi	per trave	a m ²
L/4 =	137.5	22.9	6		
L/2 =	275.0	27.5	10	22	4.0
L/4 =	137.5	22.9	6		

Una volta eseguita la verifica, appare il pulsante **Relazione**, tramite il quale è possibile esportare il report di calcolo in formato DocX (Word®).



2. RIFERIMENTI DI CALCOLO

2.1. Normativa di riferimento

- **D.M. 17/01/2018 “Norme Tecniche per le costruzioni”**, pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n.42 del 20 febbraio 2018 – Supplemento ordinario n.8
- **CIRCOLARE 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17/01/2018**, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n.35 del 11 febbraio 2019 – Supplemento ordinario n.5
- **UNI EN 1994-1-1:2005 “Eurocodice 4 – Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”**

2.2. Analisi delle sezioni

Il calcolo delle sezioni avviene attraverso una procedura numerica di ricerca dell’asse neutro, che segue i seguenti passi:

- ogni sezione viene resa internamente al programma con una serie di punti, dalla quale si valutano aree, momenti statici e d’inerzia per via numerica;
- viene associato ad ogni figura della sezione il proprio materiale;
- vengono calcolate le proprietà geometriche di ogni parte di sezione e viene ricavato il baricentro;
- la sezione viene quindi analizzata trovando l’asse neutro elastico.

La procedura di calcolo viene riportata nel seguito mediante formulazione in forma chiusa per una migliore comprensione dei passaggi di calcolo.

2.3. Resistenze caratteristiche e di progetto dei sistemi di connessione

Si riportano di seguito le resistenze caratteristiche e di progetto dei sistemi di connessione presenti all’interno del software:

Connettore CentroStorico Acciaio Avvitato:

$$P_{Rk} = 25.5 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma} = 20.4 \text{ kN}$$

con γ pari a 1.25.

Secondo quanto riportato dall’ETA, inoltre, potrebbero essere necessarie delle riduzioni alla resistenza di progetto del connettore, nello specifico:



- Se lo spessore dell'ala della putrella è inferiore a 8 mm:

$$P_{Rd,red} = \frac{t_f}{8} \cdot P_{Rd}$$

con t_f spessore dell'ala.

- Se la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio è inferiore a 235 MPa:

$$P_{Rd,red} = 0.99 \cdot P_{Rd}$$

con tensione caratteristica minima di snervamento ammissibile pari a 170 MPa.

Se necessario, le riduzioni vengono applicate in forma moltiplicativa.

Connettore CentroStorico Acciaio Incollato:

$$P_{Rk} = 22.16 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma} = 14.77 \text{ kN}$$

con γ pari a 1.50.

Connettore CentroStorico Acciaio Saldato (posa in orizzontale):

$$P_{Rk} = 43.7 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma} = 29.2 \text{ kN}$$

con γ pari a 1.50.

Connettore CentroStorico Acciaio Saldato (posa in verticale):

$$P_{Rk} = 42.1 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma} = 28.1 \text{ kN}$$

con γ pari a 1.50.



2.4. Spaziature minime e massime ammissibili dei connettori

2.4.1. Spaziature massime ammissibili

Al paragrafo 6.6.5.5 (3) di UNI EN 1994-1-1 viene indicato che la distanza massima tra i connettori non deve essere maggiore di 6 volte lo spessore della soletta h_c o di 800 mm. Inoltre, il paragrafo 6.6.5.5 (2) richiede che, se la classe di appartenenza dell'ala in compressione è 3 o 4 (e viene portata in classe 1 o 2 grazie alla connessione), venga rispettata anche la distanza massima di:

$$22 \cdot t_f \cdot \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}}$$

Quindi riassumendo:

- Ala in classe 1 o 2: $D = \min(6 \cdot h_c; 800 \text{ mm})$
- Ala in classe 3 o 4: $D = \min\left(6 \cdot h_c; 800 \text{ mm}; 22 \cdot t_f \cdot \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}}\right)$

La classe di appartenenza dell'ala in compressione viene determinata in accordo alla Tab. 7.4 UNI EN 1993-1-1:2022 e in via semplificata c viene assunto pari a metà larghezza putrella:

- Classe 1 se $\frac{c}{t_f} \leq 9 \cdot \varepsilon$
- Classe 2 se $\frac{c}{t_f} \leq 10 \cdot \varepsilon$
- Classe 3 se $\frac{c}{t_f} \leq 14 \cdot \varepsilon$
- Classe 4 se non rientrante nelle condizioni precedenti

con $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}}$.

2.4.2. Spaziature minime ammissibili

Connettore CentroStorico Acciaio Avvitato: se la base della putrella ha dimensione inferiore a 73 mm, il passo minimo è 8 cm. Se la larghezza è maggiore o uguale a 73 mm, il passo minimo è 4 cm (in tal caso i connettori vengono disposti su più file).

Connettore CentroStorico Acciaio Incollato: se la base della putrella ha dimensione inferiore a 73 mm, il passo minimo è 8 cm. Se la larghezza è maggiore o uguale a 73 mm il passo minimo è 4 cm (in tal caso i connettori vengono disposti su più file).

Connettore CentroStorico Acciaio Saldato (posa in orizzontale): se la base della putrella ha dimensione inferiore a 100 mm, il passo minimo è 8 cm. Se la larghezza è maggiore o uguale a 100 mm il passo minimo è 4 cm (in tal caso i connettori vengono disposti su più file).



Connettore CentroStorico Acciaio Saldato (posa in verticale): la distanza minima ammissibile tra connettori sulla stessa "fila" è 5 cm.

2.5. Larghezza minima dell'ala della putrella per l'installazione dei sistemi di connessione

Si riportano di seguito le dimensioni minime dell'ala della putrella per l'installazione dei sistemi di connessione:

- Connettore CentroStorico Acciaio Avvitato: 28 mm;
- Connettore CentroStorico Acciaio Incollato: 36 mm;
- Connettore CentroStorico Acciaio Saldato: 46 mm.

Se la larghezza della putrella è inferiore al minimo il calcolo viene bloccato.

2.6. Calcolo della base efficace

La base efficace viene valutata in accordo a NTC2018, paragrafo 4.3.2.3 e UNI EN 1994-1-1, paragrafo 5.4.1.2:

$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{ei} = b_0 + b_{e1} + b_{e2}$$

con:

$$b_0 = 0$$

$$b_{ei} = \min\left(\frac{L_e}{8}; b_i\right)$$

dove L_e è pari alla luce di calcolo L poiché viene utilizzato lo schema statico di semplice appoggio, b_i è misurata dal centro dell'anima (in accordo al punto (9) di UNI EN 1994-1-1, paragrafo 5.4.1.2) ed è uguale alla metà dell'interasse del solaio.

2.7. Calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione omogeneizzata a tempo infinito

In accordo alle NTC2018, paragrafo 4.3.2.2.1 e a UNI EN 1994-1-1, paragrafo 5.4.2.2 (11), il coefficiente di omogeneizzazione a lungo termine è pari a:

$$n = \frac{E_a}{E_{cm}/2}$$

con E_a modulo elastico dell'acciaio della putrella, E_{cm} modulo elastico del calcestruzzo leggero strutturale.

L'asse neutro della sezione composta può ricadere all'interno della trave di acciaio, all'interno della soletta in calcestruzzo o all'interno del pannello di alleggerimento (se presente). Si riporta di seguito la valutazione dei tre diversi casi.



Il software verifica, di volta in volta, in quale condizione si ricade.

2.7.1. Asse neutro nella trave di acciaio

L'area di calcestruzzo omogeneizzata risulta:

$$A_{cls,omog} = \frac{1}{n} \cdot (b_{eff} \cdot h_c + b_r \cdot h_p)$$

con h_c spessore soletta in calcestruzzo, b_r larghezza raccordo in cls e h_p spessore pannello (se presente).

La posizione del baricentro del calcestruzzo rispetto al bordo inferiore della putrella di acciaio è pari a:

$$y_c = h_a + h_c + h_p - h_{bar,cls}$$

con h_a altezza del profilo in acciaio e con $h_{bar,cls}$ (posizione del baricentro della T di calcestruzzo) pari a:

$$h_{bar,cls} = \frac{b_{eff} \cdot h_c \cdot \frac{h_c}{2} + b_r \cdot h_p \cdot \left(h_c + \frac{h_p}{2}\right)}{b_{eff} \cdot h_c + b_r \cdot h_p}$$

L'area della putrella A_a è nota dai profilari oppure valutata in funzione della geometria utente inserita mentre il baricentro della sezione di acciaio dal lembo inferiore della putrella è:

$$y_a = \frac{h_a}{2}$$

L'area della sezione mista omogeneizzata è:

$$A_{mista,omog} = A_{cls,omog} + A_a$$

E la posizione asse neutro è valutata come segue:

$$y \text{ (asse neutro da sotto)} = \frac{A_{cls,omog} \cdot y_c + A_a \cdot y_a}{A_{mista,omog}}$$

$$x \text{ (asse neutro da sopra)} = h_a + h_c + h_p - y$$

L'inerzia della sezione omogeneizzata è il risultato della somma delle inerzie della putrella e del calcestruzzo e dei rispettivi momenti di trasporto:

$$J_{sez,omog} = J_a + J_c + J_{tras,a} + J_{tras,cls}$$

con:

$$J_a \text{ nota da profilari (o valutata per profilo utente)}$$



$$J_c = \frac{b_{eff}}{n} \cdot \frac{h_c^3}{12} + \frac{b_r}{n} \cdot \frac{h_p^3}{12} + \frac{b_{eff} \cdot h_c}{n} \cdot \left(h_{bar,cls} - \frac{h_c}{2} \right)^2 + \frac{b_r \cdot h_p}{n} \cdot \left(h_{bar,cls} - h_c - \frac{h_p}{2} \right)^2$$

$$J_{tras,a} = A_a \cdot (y_a - y)^2$$

$$J_{tras,cls} = A_{cls,omog} \cdot (y_c - y)^2$$

2.7.2. Asse neutro nella soletta

L'area di calcestruzzo omogeneizzata viene scritta in funzione dell'asse neutro x incognito e risulta:

$$A_{cls,omog} = \frac{1}{n} \cdot (b_{eff} \cdot x)$$

La posizione del baricentro del calcestruzzo compresso rispetto al bordo superiore della sezione composta è pari a:

$$x_c = \frac{x}{2}$$

L'area della putrella A_a è nota dai profilari oppure valutata in funzione della geometria utente inserita mentre il baricentro della sezione di acciaio dal lembo superiore della sezione composta è:

$$x_a = \frac{h_a}{2} + h_c + h_p$$

L'area della sezione mista omogeneizzata è:

$$A_{mista,omog} = A_{cls,omog} + A_a$$

E la posizione asse neutro è valutata come segue:

$$x \text{ (asse neutro da sopra)} = \frac{A_a \cdot x_a + A_{cls,omog} \cdot x_c}{A_{mista,omog}}$$

Sostituendo le espressioni di x_a , x_c , $A_{cls,omog}$ si ottiene un'equazione di secondo grado da cui si ricava x :

$$x^2 \cdot \left(\frac{b_{eff}}{2 \cdot n} \right) + x \cdot A_a - A_a \cdot x_a = 0$$

L'inerzia della sezione omogeneizzata è il risultato della somma delle inerzie della putrella e del calcestruzzo e dei rispettivi momenti di trasporto:

$$J_{sez,omog} = J_a + J_c + J_{tras,a} + J_{tras,cls}$$

con:

$$J_a \text{ nota da profilari (o valutata per profilo utente)}$$



$$J_c = \frac{b_{eff}}{n} \cdot \frac{x^3}{12}$$

$$J_{tras,a} = A_a \cdot (x_a - x)^2$$

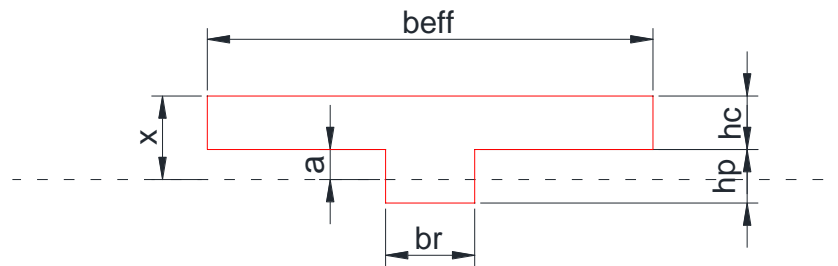
$$J_{tras,cls} = A_{cls,omog} \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2$$

2.7.3. Asse neutro nel raccordo

L'area di calcestruzzo omogeneizzata viene scritta in funzione della posizione dell'asse neutro incognito e risulta:

$$A_{cls,omog} = \frac{1}{n} \cdot (b_{eff} \cdot h_c + b_r \cdot a)$$

con h_c spessore della soletta in calcestruzzo, b_r larghezza del raccordo in calcestruzzo e a definita come nell'immagine di seguito (incognita):



La posizione del baricentro del calcestruzzo compresso rispetto al bordo superiore della sezione composta è pari a:

$$x_c = \frac{b_{eff} \cdot h_c \cdot \frac{h_c}{2} + b_r \cdot a \cdot \left(h_c + \frac{a}{2}\right)}{b_{eff} \cdot h_c + b_r \cdot a}$$

L'area della putrella A_a è nota dai profilari oppure valutata in funzione della geometria utente inserita mentre il baricentro della sezione di acciaio dal lembo superiore della sezione composta è:

$$x_a = \frac{h_a}{2} + h_c + h_p$$

L'area della sezione mista omogeneizzata è:

$$A_{mista,omog} = A_{cls,omog} + A_a$$

E la posizione asse neutro è valutata come segue:



$$x \text{ (asse neutro da sopra)} = \frac{A_a \cdot x_a + A_{cls,omog} \cdot x_c}{A_{mista,omog}}$$

con $x = a + h_c$.

Sostituendo le espressioni di x_c , x e $A_{cls,omog}$, si ottiene un'equazione di secondo grado in a da cui si ricava a e quindi x :

$$a^2 \cdot \left(\frac{b_r}{2 \cdot n} \right) + a \cdot \left(A_a + \frac{1}{n} \cdot b_{eff} \cdot h_c \right) + A_a \cdot (h_c - x_a) + \frac{1}{2 \cdot n} \cdot b_{eff} \cdot h_c^2 = 0$$

L'inerzia della sezione omogeneizzata è il risultato della somma delle inerzie della putrella e del calcestruzzo e dei rispettivi momenti di trasporto:

$$J_{sez,omog} = J_a + J_c + J_{tras,a} + J_{tras,cls}$$

con:

J_a nota da profilari (o valutata per profilo utente)

$$J_c = \frac{b_{eff}}{n} \cdot \frac{h_c^3}{12} + \frac{b_r}{n} \cdot \frac{a^3}{12}$$

$$J_{tras,a} = A_a (x_a - x)^2$$

$$J_{tras,cls} = \frac{b_{eff} \cdot h_c}{n} \cdot \left(\frac{h_c}{2} + a \right)^2 + \frac{b_r \cdot a}{n} \cdot \left(\frac{a}{2} \right)^2$$

2.8. Calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione omogeneizzata a tempo zero

La valutazione della posizione dell'asse neutro al tempo zero viene eseguita in modo analogo a quanto indicato per il tempo infinito, con la sola differenza che il coefficiente di omogeneizzazione a breve termine, in accordo alle NTC2018, paragrafo 4.3.2.2.1 e a UNI EN 1994-1-1, paragrafo 5.4.2.2 (11), è pari a:

$$n_{t0} = \frac{E_a}{E_{cm}}$$

con E_a modulo elastico dell'acciaio della putrella, E_{cm} modulo elastico del calcestruzzo leggero strutturale.

Nel tabulato del software le quantità calcolate al tempo zero sono definite con il pedice $t0$.



2.9. Calcolo del massimo momento resistente elastico

Il calcolo del massimo momento resistente elastico viene eseguito in accordo a UNI EN 1994-1-1, paragrafo 6.2.1.4., formula 6.2:

$$M_{Rd} = M_{a,Ed} + (M_{el,Rd} - M_{a,Ed}) \cdot \frac{N_c}{N_{c,el}}$$

È necessario distinguere tra caso puntellato e non puntellato.

2.9.1. Caso puntellato

$M_{a,Ed}$ rappresenta il momento flettente di progetto applicato al profilato di acciaio strutturale prima dell'azione composta; pertanto, nel caso di solaio puntellato risulta nullo:

$$M_{a,Ed} = 0$$

Quindi l'espressione del momento resistente viene semplificata in:

$$M_{Rd} = M_{el,Rd} \cdot \frac{N_c}{N_{c,el}}$$

Per determinare $M_{el,Rd}$, si valuta il momento corrispondente al raggiungimento del limite elastico sul calcestruzzo e sull'acciaio per determinare il minimo:

$$M_{el,cls} = n \cdot \frac{f_{cd} \cdot J_{sez,omog}}{x}$$

$$M_{el,acc} = \frac{f_{yd} \cdot J_{sez,omog}}{y}$$

$$M_{el,Rd} = \min(M_{el,cls}; M_{el,acc})$$

dove x rappresenta l'asse neutro della sezione composta misurato dall'estradosso del solaio (da sopra) mentre y è l'asse neutro della sezione composta misurato dall'intradosso del solaio (da sotto).

Il calcolo di $N_{c,el}$, denominato $N_{c,th,el}$, viene eseguito come segue:

$$\sigma_{sup} = \frac{M_{el,Rd} \cdot x}{n \cdot J_{sez,omog}}$$

$$\sigma_{inf} = \frac{M_{el,Rd} \cdot (x - h_c)}{n \cdot J_{sez,omog}}$$

dove σ_{sup} e σ_{inf} rappresentano gli sforzi al lembo superiore e al lembo inferiore della soletta in calcestruzzo.



Se σ_{inf} dovesse risultare negativo (possibile solo caso in cui l'asse neutro cada nella soletta), viene posto pari a 0.

Lo scorrimento teorico corrispondente al limite elastico risulta:

$$N_{c,th,el} = \frac{\sigma_{sup} + \sigma_{inf}}{2} \cdot b_{eff} \cdot \min(h_c; x)$$

Il numero di connettori teorico corrispondente al limite elastico è quindi pari a:

$$n_{conn,th,el} = \frac{2 \cdot N_{c,th,el}}{P_{Rd}}$$

Il valore che si ottiene non è intero, quindi viene approssimato per difetto all'intero. Il numero di connettori corrispondenti al limite elastico (valore approssimato) è denominato $n_{conn,el}$ e lo scorrimento corrispondente al limite elastico $N_{c,el}$ risulta:

$$N_{c,el} = P_{Rd} \cdot n_{conn,el}$$

2.9.2. Caso non puntellato

$M_{a,Ed}$ rappresenta il momento flettente di progetto applicato al profilato di acciaio strutturale prima dell'azione composta; pertanto, risulta:

$$M_{a,Ed} = q \cdot \frac{L^2}{8}$$

con q :

$$q = i \cdot \gamma_{G1} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta})$$

Per determinare $M_{el,Rd}$, si valuta il momento corrispondente al raggiungimento del limite elastico sul calcestruzzo e sull'acciaio per determinare il minimo:

$$M_{el,cls} = n \cdot \frac{f_{lcd} \cdot J_{sez,omog}}{x}$$

$$M_{el,acc} = \frac{\left(f_{yd} - \frac{M_{a,Ed}}{W_a}\right) \cdot J_{sez,omog}}{y}$$

$$M_{el,Rd} = M_{a,Ed} + \min(M_{el,cls}; M_{el,acc})$$

dove x rappresenta l'asse neutro della sezione composta misurato dall'estradosso del solaio (da sopra) mentre y è l'asse neutro della sezione composta misurato dall'intradosso del solaio (da sotto) e W_a è il modulo di resistenza della putrella.

Il calcolo di $N_{c,el}$, denominato $N_{c,th,el}$, viene eseguito come segue:



$$\sigma_{sup} = \frac{\min(M_{el,cls}; M_{el,acc}) \cdot x}{n \cdot J_{sez,omog}}$$

$$\sigma_{inf} = \frac{\min(M_{el,cls}; M_{el,acc}) \cdot (x - h_c)}{n \cdot J_{sez,omog}}$$

dove σ_{sup} e σ_{inf} rappresentano gli sforzi al lembo superiore e al lembo inferiore della soletta in calcestruzzo.

Qualora dovesse risultare che $M_{el,acc} \leq 0$, le formule precedenti si modificano nel seguente modo:

$$M_{el,Rd} = M_{a,Ed} + M_{el,cls}$$

$$\sigma_{sup} = \frac{M_{el,cls} \cdot x}{n \cdot J_{sez,omog}}$$

$$\sigma_{inf} = \frac{M_{el,cls} \cdot (x - h_c)}{n \cdot J_{sez,omog}}$$

Se σ_{inf} dovesse risultare negativo (possibile solo caso in cui l'asse neutro cada nella soletta), viene posto pari a 0.

Lo scorrimento teorico corrispondente al limite elastico risulta:

$$N_{c,th,el} = \frac{\sigma_{sup} + \sigma_{inf}}{2} \cdot b_{eff} \cdot \min(h_c; x)$$

Il numero di connettori teorico corrispondente al limite elastico è quindi pari a:

$$n_{conn,th,el} = \frac{2 \cdot N_{c,th,el}}{P_{Rd}}$$

Il valore che si ottiene non è intero, quindi viene approssimato per difetto all'intero. Il numero di connettori corrispondenti al limite elastico (valore approssimato) è denominato $n_{conn,el}$ e lo scorrimento corrispondente al limite elastico $N_{c,el}$ risulta:

$$N_{c,el} = P_{Rd} \cdot n_{conn,el}$$

2.10. Calcolo del momento resistente reale e del relativo numero di connettori

Poiché deve essere $M_{Rd} \geq M_{Sd}$, si impone che $M_{Rd} = M_{Sd}$ al fine di determinare N_c e quindi il numero di connettori teorico minimo:

$$M_{Sd} = M_{a,Ed} + (M_{el,Rd} - M_{a,Ed}) \cdot \frac{N_c}{N_{c,el}}$$

Il valore teorico di N_c ricavato dalla precedente uguaglianza è lo scorrimento teorico minimo e viene denominato $N_{c,th}$, il corrispondente numero di connettori è denominato $n_{conn,th}$:



$$n_{conn,th} = \frac{N_{c,th}}{P_{Rd}}$$

Il valore ottenuto non è intero, pertanto, viene approssimato per eccesso all'intero successivo e rappresenta il numero di connettori minimo affinché la disuguaglianza sia soddisfatta ed è denominato n_{conn} .

Il corrispondente scorrimento minimo vale:

$$N_c = P_{Rd} \cdot n_{conn}$$

Il momento resistente reale è quindi dato da:

$$M_{Rd} = M_{a,Ed} + (M_{el,Rd} - M_{a,Ed}) \cdot \frac{N_c}{N_{c,el}}$$

Si fa notare che il limite superiore di N_c è $N_{c,el}$, pertanto anche $n_{connettori} \leq n_{connettori,el}$. Nell'ipotesi in cui da calcolo dovesse risultare che $n_{connettori} > n_{connettori,el}$, il software impone $n_{connettori} = n_{connettori,el}$.

2.11. Calcolo della distribuzione dei connettori

La quantità determinata con n_{conn} rappresenta la quantità teorica di connettori da applicare alla trave nell'ipotesi di seguire perfettamente l'andamento del taglio sollecitante, modificando la spaziatura tra ogni connettore e il successivo.

Poiché la posa risulterebbe complicata, viene quindi eseguita un'approssimazione definendo un passo costante per zone ($L/4$ agli estremi e $L/2$ centrali) oppure un passo costante per l'intera luce della trave in modo tale che lo scorrimento garantito dai connettori così disposti sia maggiore o uguale a quello minimo necessario.

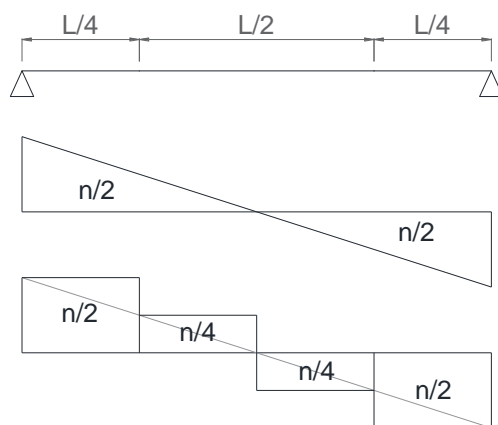
Si illustra di seguito la procedura nel caso di spaziatura a passo variabile e spaziatura a passo costante.

2.11.1. Spaziatura a passo variabile

Come spiegato simbolicamente nell'immagine sotto riportata, sui quarti esterni si posizionano $n_{conn}/2$ e il passo in tale zona è pari al rapporto tra la lunghezza della zona considerata e il numero di connettori previsti. Se n_{conn} è un numero dispari, $n_{conn}/2$ non è un numero intero, pertanto viene approssimato all'intero successivo per determinare il numero di connettori che dovranno effettivamente essere posati in $L/4$ e il corrispondente passo.

Sulla metà centrale in totale si devono posizionare $n_{conn}/2$. In questo campo, se $n_{conn}/2$ dovesse essere un numero dispari o un numero non intero, il numero di connettori da posare viene approssimato al pari successivo per garantire la disposizione simmetrica dei connettori. Il passo finale sarà pari al rapporto tra la lunghezza della zona considerata e il numero di connettori previsti.

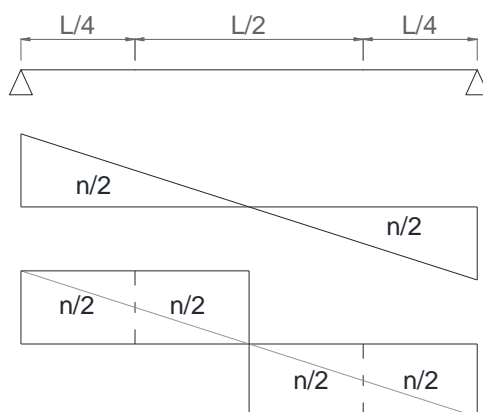




Il numero di connettori a m^2 viene determinato dividendo il numero di connettori totali a trave per l'interasse e per la luce del solaio.

2.11.2. Spaziatura a passo costante

Nel caso di scelta di posizionamento dei connettori con passo costante su tutta la trave, il numero totale di connettori da posare è pari a $2n_{conn}$ (con metà connettori disposti in un verso e l'altra metà nell'altro). Il passo finale è il rapporto tra la luce della trave e il numero di connettori previsti.



Il numero di connettori a m^2 viene determinato dividendo il numero di connettori totali a trave per l'interasse e per la luce del solaio.



2.11.3. Confronto con spaziatore minime e massime ammissibili

A valle della determinazione della spaziatura da calcolo, sia essa variabile o costante, viene eseguito il confronto con le spaziatore minime e massime ammissibili definite in precedenza al paragrafo 2.4. ed eventualmente viene corretto il passo e di conseguenza il numero di connettori per ogni tratto.

Per quanto riguarda la distanza minima ammissibile, nell'ipotesi in cui risultasse che il passo calcolato sia inferiore al minimo ammissibile, risulta necessario imporre come passo la spaziatura minima ammissibile. Viene quindi ricalcolato il numero di connettori associato a quel passo, eseguita l'eventuale approssimazione all'intero per difetto e calcolato il passo esatto e viene eseguito un procedimento all'inverso per ricalcolare n_{conn} e M_{Rd} di conseguenza.

Per quanto riguarda invece la distanza massima ammissibile, nell'ipotesi in cui risultasse che il passo calcolato sia superiore al massimo ammissibile, risulta necessario imporre come passo la spaziatura massima ammissibile.

Viene quindi ricalcolato il numero di connettori associato a quel passo, eseguita l'eventuale approssimazione all'intero per eccesso o al pari per eccesso (in funzione della zona in cui ci si trova) e ricalcolato il passo esatto.

2.12. Verifica a taglio

In accordo alle NTC2018 paragrafo 4.2.4.1.2.4 e a UNI EN 1994-1-1, paragrafo 6.2.2.2, la resistenza plastica a taglio verticale viene valutata come la resistenza della sola parte di acciaio strutturale, in accordo al punto 8.2.6 della EN 1993-1-1:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{ac,es}}$$

con A_v area resistente a taglio e $\gamma_{ac,es}$ coefficiente di sicurezza dell'acciaio della putrella (posto pari a 1.05 di default).

2.13. Verifiche in fase 1

Le verifiche in fase 1 vengono eseguite nel solo caso di solaio non puntellato e si riferiscono alla sola trave in acciaio.

Le azioni sollecitanti vengono valutate come segue:

$$M_{Sd,1} = i \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta})] \cdot \frac{L^2}{8}$$

$$V_{Sd,1} = i \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta})] \cdot \frac{L}{2}$$

Le azioni resistenti vengono valutate come segue:

$$M_{Rd,1} = W_a \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{ac,es}}$$



$$V_{Rd,1} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{ac,es}}$$

con A_v area resistente a taglio e $\gamma_{ac,es}$ coefficiente di sicurezza dell'acciaio della putrella (posto pari a 1.05 di default).

2.14. Verifiche a deformabilità (SLE)

Le NTC2018 al paragrafo 4.2.4.2.1. definiscono:

- δ_C freccia dovuta a premonta o calandratura;
- δ_1 freccia dovuta ai carichi permanenti;
- δ_2 freccia dovuta ai carichi variabili;
- δ_{max} freccia nello stato finale, depurata dell'eventuale premonta iniziale.

In accordo allo stesso paragrafo, la valutazione viene eseguita considerando la combinazione caratteristica delle azioni ed eseguendo il confronto con i limiti di deformabilità δ_2 e δ_{max} riportati in tabella Tab. 4.2.XII.

In via cautelativa si fa riferimento alle definizioni di UNI EN 1990 e si considera anche il termine di inflessione dovuto al ritiro del calcestruzzo.

Si esegue la distinzione tra caso puntellato e caso non puntellato.

2.14.1. Caso puntellato

Si utilizza la seguente simbologia:

- δ_C freccia dovuta a premonta o calandratura (valore eventualmente inserito dall'utente con segno negativo);
- δ_1 freccia dovuta ai carichi permanenti;
- δ_2 freccia dovuta ai carichi variabili + freccia ulteriore rispetto a δ_1 dovuto agli effetti viscosi dei carichi permanenti + freccia dovuta al ritiro del calcestruzzo;
- δ_{tot} freccia nello stato finale, depurata dell'eventuale premonta iniziale:

$$\delta_{tot} = \delta_C + \delta_1 + \delta_2$$

δ_1 freccia dovuta ai carichi permanenti:

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a \cdot J_{sez,omog,t0}} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta} + P_{altri} + P_{massetto} + P_{sottofondo}) \cdot i$$



δ_2 freccia dovuta ai carichi variabili + freccia ulteriore rispetto a δ_1 dovuto agli effetti viscosi dei carichi permanenti + freccia dovuta al ritiro del calcestruzzo:

$$\delta_2 = -\delta_1 + \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a \cdot J_{sez,omog}} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta} + P_{altri} + P_{massetto} + P_{sottofondo}) \cdot i + \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a \cdot J_{sez,omog}} \cdot Q \cdot i + \delta_{cls,ritiro}$$

con $\delta_{cls,ritiro}$ valutato come segue.

In accordo all'appendice C di UNI EN 1994-1-1, in ambiente secco, per i calcestruzzi strutturali leggeri, il valore nominale finale del ritiro libero è $\varepsilon_{cm} = 500 \cdot 10^{-6}$.

L'azione assiale e il momento associati al ritiro sono pari a:

$$N_{sh} = \frac{E_{cm}}{2} \varepsilon_{cm} h_c b_{eff}$$

$$M_{sh} = N_{sh} \left(x - \frac{h_c}{2} \right)$$

Utilizzando il metodo di Mohr della trave ausiliaria, la freccia da ritiro risulta:

$$\delta_{cls,ritiro} = \frac{M_{sh} l^2}{8 E_a J_{sez,omog}}$$

L'eventuale *Coefficiente di riduzione della freccia da ritiro* inserito in parametri utente viene applicato in forma moltiplicativa a $\delta_{cls,ritiro}$.

2.14.2. Caso non puntellato

Si utilizza la seguente simbologia:

- δ_C freccia dovuta a premonta o calandratura (valore eventualmente inserito dall'utente con segno negativo);
- $\delta_1(1^\circ \text{ fase})$ freccia dovuta ai pesi propri e ai carichi permanenti di 1° fase agenti sulla sola trave in acciaio;
- $\delta_1(2^\circ \text{ fase})$ freccia iniziale dovuta ai carichi permanenti ulteriori agenti sulla sezione mista;
- δ_2 freccia dovuta ai carichi variabili + freccia ulteriore rispetto a $\delta_1(2^\circ \text{ fase})$ dovuta agli effetti viscosi dei carichi permanenti agenti in fase mista + freccia dovuta al ritiro del calcestruzzo
- δ_{tot} freccia nello stato finale, depurata dell'eventuale premonta iniziale:

$$\delta_{tot} = \delta_C + \delta_1(1^\circ \text{ fase}) + \delta_1(2^\circ \text{ fase}) + \delta_2$$



$\delta_1(1^\circ \text{ fase})$ freccia dovuta ai pesi propri e ai carichi permanenti di 1° fase agenti sulla sola trave in acciaio:

$$\delta_1(1^\circ \text{ fase}) = \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a \cdot J_{acciaio}} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta}) \cdot i$$

$\delta_1(2^\circ \text{ fase})$ freccia iniziale dovuta ai carichi permanenti ulteriori agenti sulla sezione mista:

$$\delta_1(2^\circ \text{ fase}) = \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a \cdot J_{sez,omog,t0}} \cdot (P_{altri} + P_{massetto} + P_{sottofondo}) \cdot i$$

δ_2 freccia dovuta ai carichi variabili + freccia ulteriore rispetto a $\delta_1(2^\circ \text{ fase})$ dovuta agli effetti viscosi dei carichi permanenti agenti in fase mista + freccia dovuta al ritiro del calcestruzzo:

$$\begin{aligned} \delta_2 = -\delta_1(2^\circ \text{ fase}) + \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a \cdot J_{sez,omog}} \cdot (P_{altri} + P_{massetto} + P_{sottofondo}) \cdot i \\ + \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a \cdot J_{sez,omog}} \cdot Q \cdot i + \delta_{cls,ritiro} \end{aligned}$$

con $\delta_{cls,ritiro}$ valutato come segue.

In accordo all'appendice C di UNI EN 1994-1-1, in ambiente secco, per i calcestruzzi strutturali leggeri, il valore nominale finale del ritiro libero è $\varepsilon_{cm} = 500 \cdot 10^{-6}$.

L'azione assiale e il momento associati al ritiro sono pari a:

$$N_{sh} = \frac{E_{cm}}{2} \cdot \varepsilon_{cm} \cdot h_c \cdot b_{eff}$$

$$M_{sh} = N_{sh} \cdot \left(x - \frac{h_c}{2} \right)$$

Utilizzando il metodo di Mohr della trave ausiliaria, la freccia da ritiro risulta:

$$\delta_{cls,ritiro} = \frac{M_{sh} \cdot l^2}{8 \cdot E_a \cdot J_{sez,omog}}$$

L'eventuale *Coefficiente di riduzione della freccia da ritiro* inserito in parametri utente viene applicato in forma moltiplicativa a $\delta_{cls,ritiro}$.



2.15. Calcolo tensioni sui connettori

Il calcolo delle tensioni sui connettori viene eseguito con la formula di Jourawsky:

$$\tau b = \frac{V \cdot S}{J_{sez, omog, t0}}$$

dove il taglio sollecitante V viene valutato utilizzando la seguente combinazione allo Stato Limite di Esercizio, distinta per il caso puntellato e non puntellato:

Caso puntellato:

$$q_{SLE} = (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta} + P_{massetto} + P_{sottofondo} + P_{altri} + Q_{var}) \cdot i$$

Caso non puntellato:

$$q_{SLE} = (P_{massetto} + P_{sottofondo} + P_{altri} + Q_{var}) \cdot i$$

Il momento statico della parte collegata rispetto all'asse neutro x_{t0} (al tempo zero) viene valutato come segue in funzione della posizione dell'asse neutro:

Asse neutro nella trave in acciaio:

$$S = (b_{eff} \cdot h_c) \cdot \frac{\left(x_{t0} - \frac{h_c}{2}\right)}{n_{t0}} + (b_r \cdot h_p) \cdot \frac{\left(x_{t0} - h_c - \frac{h_p}{2}\right)}{n_{t0}}$$

Asse neutro nella soletta:

$$S = (b_{eff} \cdot x_{t0}) \cdot \frac{\left(\frac{x_{t0}}{2}\right)}{n_{t0}}$$

Asse neutro nel raccordo:

$$S = (b_{eff} \cdot h_c) \cdot \frac{\left(x_{t0} - \frac{h_c}{2}\right)}{n_{t0}} + (b_r \cdot a) \cdot \frac{\left(\frac{a}{2}\right)}{n_{t0}}$$

τb rappresenta lo scorrimento sollecitante nella sezione di appoggio e tale valore deve essere confrontato con lo scorrimento massimo τb_{lim} ottenuto dividendo il P_{Rd} del connettore per il passo dei connettori calcolato in $L/4$.

La verifica è soddisfatta se τb è inferiore a τb_{lim} .

La verifica a scorrimento sui connettori risulta in genere meno gravosa rispetto alla verifica a flessione; nell'ipotesi in cui la verifica a scorrimento risultasse non verificata, il software determina a ritroso il passo in $L/4$ che consente di soddisfare la verifica. Con questo valore viene calcolato il corrispondente numero di connettori, eseguita l'approssimazione all'intero successivo e ricalcato il passo (eseguendo sempre i necessari



controlli sulle distanze minime e massime ammissibili). Noto il numero di connettori in $L/4$ è possibile a ritroso determinare n_{conn} e M_{Rd} di conseguenza.

2.16. Calcolo dell'armatura trasversale

L'armatura trasversale è calcolata come la massima tra le seguenti espressioni (considerando un acciaio B450C con tensione caratteristica di snervamento f_{sk} di 450 MPa e tensione di progetto f_{sd} di 391.3 MPa):

1. Al paragrafo 6.6.6.3 di UNI EN 1994-1-1 viene indicato di considerare un'armatura minima trasversale in conformità al punto 9.2.2.(5) di UNI EN 1992-1-1.
Si applica quindi la formula 9.5N per calcolare $\rho_{w,min}$ e tale valore viene poi moltiplicato per lo spessore della soletta in calcestruzzo h_c :

$$\rho_{w,min} = \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{lck}}}{f_{sk}}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \rho_{w,min} \cdot h_c \text{ [mm}^2\text{/mm]}$$

2. Al paragrafo 9.2.1. di UNI EN 1994-1-1 viene indicata un'armatura minima di 80 mm²/m;
3. Al paragrafo 4.3.4.3.5 delle NTC2018 si dice di prevedere un'area minima di armatura trasversale pari a 0.002 volte l'area del calcestruzzo:

$$\frac{A_{sw}}{s} = 0.002 \cdot h_c \text{ [mm}^2\text{/mm]}$$

4. Al paragrafo 6.2.4 (formula 6.21) di UNI EN 1992-1-1 e al paragrafo C4.3.4.3.5 (formula C4.3.8) della Circolare alle NTC2018, si indica di considerare un'area minima di armatura trasversale pari a:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{v_{Ed} \cdot h_c}{f_{sd}} \text{ [mm}^2\text{/mm]}$$

con v_{Ed} pari a:

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \cdot \Delta x} = \frac{1}{h_c} \cdot \left(\frac{P_{Rd} \cdot n_{conn}}{L} \right) \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Il software, a fronte del valore calcolato, restituisce l'equivalenza in rete di diametro 6 mm e maglia 10/15/20 cm e in rete di diametro 8 mm e maglia 10/15/20/25 cm.



2.17. Calcolo delle staffe

Le staffe sono calcolate come massimo tra le seguenti espressioni (considerando un acciaio B450C con tensione caratteristica di snervamento f_{sk} di 450 MPa e tensione di progetto f_{sd} di 391.3 MPa):

1. Al paragrafo 6.6.6.3 di UNI EN 1994-1-1 viene indicato di considerare un'armatura minima trasversale in conformità al punto 9.2.2.(5) di UNI EN 1992-1-1.
Si applica la formula 9.5N al punto 9.2.2.(5) di UNI EN 1992-1-1 per calcolare $\rho_{w,min}$ e tale valore viene poi moltiplicato per la larghezza del raccordo in calcestruzzo b_r :

$$\rho_{w,min} = \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{lck}}}{f_{sk}}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \rho_{w,min} \cdot b_r [mm^2/mm]$$

2. Al paragrafo 4.3.4.3.5 delle NTC2018 si dice di prevedere un'area minima di armatura trasversale pari a 0.002 volte l'area del calcestruzzo. Questa prescrizione viene estesa per le staffe:

$$\frac{A_{sw}}{s} = 0.002 \cdot b_r [mm^2/mm]$$

3. Al paragrafo 6.2.4 (formula 6.21) di UNI EN 1992-1-1 e al paragrafo C4.3.4.3.5 (formula C4.3.8) della Circolare alle NTC2018, si indica di considerare un'area minima di armatura trasversale pari a:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{v_{Ed} \cdot b_r}{f_{sd}} [mm^2/mm]$$

con v_{Ed} pari a:

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \cdot \Delta x} = \frac{1}{b_r} \cdot \left(\frac{P_{Rd} \cdot n_{conn}}{L} \right) [N/mm^2]$$

Nel caso di *Connettore CentroStorico Acciaio Avvitato o Incollato o Saldato* con posa in orizzontale, in funzione dello spessore del pannello di alleggerimento h_p , il software procede al calcolo delle staffe nel modo seguente:

- a. Se $h_p \leq 2 \text{ cm}$: di default non calcola le staffe; se in parametri utente in *Calcolare in ogni situazione le staffe?* viene selezionato "sì", il software esegue il dimensionamento delle staffe con le formule sopra indicate;
- b. Se $2 \text{ cm} < h_p \leq 5 \text{ cm}$: il software calcola sempre $\frac{A_{sw}}{s}$ come massima tra le tre formule sopra indicate (non vi è la possibilità di scelta in parametri utente di non calcolare le staffe);
- c. Se $h_p > 5 \text{ cm}$: il software calcola sempre $\frac{A_{sw}}{s}$ come massima tra le tre formule sopra indicate (non vi è la possibilità di scelta in parametri utente di non calcolare le staffe) e restituisce l'equivalenza in staffe a due braccia di diametro 6 mm e 8 mm (ovvero calcola il passo delle staffe di diametro 6 mm e 8 mm a due braccia che soddisfano l'armatura minima calcolata).



Nel caso di *Connettore CentroStorico Acciaio Saldato* con posa in verticale, in funzione dello spessore del pannello di alleggerimento h_p , il software procede al calcolo delle staffe nel modo seguente:

- a. Se $h_p \leq 5 \text{ cm}$: di default non mette le staffe; se in parametri utente in *Calcolare in ogni situazione le staffe?* viene selezionato “sì”, il software esegue il dimensionamento delle staffe con le formule sopra indicate;
- b. Se $h_p > 5 \text{ cm}$: il software calcola sempre $\frac{A_{sw}}{s}$ come massima tra le tre formule sopra indicate (non vi è la possibilità di scelta in parametri utente di non calcolare le staffe) e restituisce l'equivalenza in staffe a due braccia di diametro 6 mm e 8 mm (ovvero calcola il passo delle staffe di diametro 6 mm e 8 mm a due braccia che soddisfano l'armatura minima calcolata).



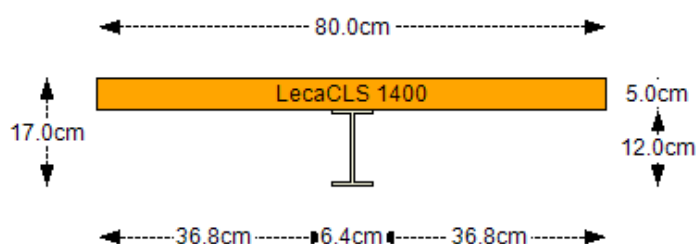
3. VALIDAZIONE DEL CALCOLO

Nel presente capitolo, si riportano degli esempi di calcolo quale validazione delle procedure di calcolo adottate nel programma.

3.1. Caso 1

Si analizza un solaio con putrelle IPE120 in S235, avente luce $L = 350 \text{ cm}$ e interasse $i = 80 \text{ cm}$. Il solaio viene consolidato mediante nuova soletta in **LecaCLS 1400** di spessore $h_c = 5 \text{ cm}$, interconnessa al solaio esistente mediante **Connettore CentroStorico Acciaio Avvitato**.

Il solaio non viene puntellato e si sceglie come limite di deformabilità “Solai in generale” della tabella Tab. 4.2.XII delle NTC2018, ovvero $\delta_{max} = L/250$ e $\delta_{2,lim} = L/300$.



Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche principali del profilo metallico:

Putrella IPE 120	Altezza profilo	h_a	120.0 mm
	Base ala	b_f	64.0 mm
	Spessore ala	t_f	6.3 mm
	Spessore anima	t_w	4.4 mm
	Raggio anima-ala	r	7.0 mm
	Area totale	A_a	13.21 cm ²
	Area resistente a taglio	A_v	6.31 cm ²
	Momento d'inerzia	J_a	317.75 cm ⁴
	Modulo di resistenza elastico	W_a	52.96 cm ³



Si riportano inoltre le caratteristiche dei materiali esistenti e previsti da progetto:

Acciaio putrella	S235	Tensione caratteristica a snervamento	f_{yk}	235.0	MPa
		Modulo elastico	E_a	210000	MPa
		Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{ac,es}$	1.05	-
		Tensione a snervamento di progetto	f_{yd}	223.8	MPa
Calcestruzzo soletta	LecaCLS 1400	Resistenza a compressione cilindrica	f_{lck}	22.5	MPa
		Modulo elastico	E_{cm}	15000	MPa
		Peso specifico	ρ	15.5	kN/m ³
		Coefficiente di sicurezza	γ_c	1.50	-
		Resistenza a compressione di progetto	f_{lcd}	12.8	MPa
Armatura nuova	B450C	Tensione a snervamento	f_{sk}	450	MPa
		Modulo elastico	E_s	210000	MPa
		Coefficiente di sicurezza	γ_{ac}	1.15	-
		Tensione a snervamento di progetto	f_{sd}	391.3	MPa

Si riportano di seguito i carichi previsti da progetto, con i relativi coefficienti di sicurezza:

Coefficienti di sicurezza	Carichi permanenti strutturali	γ_{G1}	1.3	-
	Altri carichi permanenti non strutturali	γ_{G2}	1.5	-
	Carichi variabili	γ_Q	1.5	-
Peso proprio	Peso putrella	G_1	0.13	kN/m ²
	Peso riempimento tra putrelle		0.90	kN/m ²
	Soletta collaborante (5 cm)		0.78	kN/m ²
Permanenti	Lecamix Facile (6.00 cm)	G_2	0.60	kN/m ²
	-		0.00	kN/m ²
	Altri permanenti		0.30	kN/m ²
Variabili		Q	2.00	kN/m ²

La combinazione di carico SLU finale viene valutata come segue:

$$q = i \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta} + P_{massetto}) + \gamma_{G2} \cdot P_{altri} + \gamma_Q \cdot Q]$$

$$q = 0.80 \cdot [1.3 \cdot (0.13 + 0.90 + 0.77 + 0.60) + 1.5 \cdot 0.30 + 1.5 \cdot 2] = 5.26 \text{ kN/m}$$

I corrispondenti momento e taglio sollecitanti valgono:

$$M_{sd} = q \frac{L^2}{8} = 8.05 \text{ kNm}$$



$$V_{sd} = q \frac{L}{2} = 9.20 \text{ kN}$$

Per le verifiche in fase 1, le azioni sollecitanti risultano:

$$M_{sd,1} = i \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta})] \cdot \frac{L^2}{8}$$

$$M_{sd,1} = 0.80 \cdot [1.3 \cdot (0.13 + 0.90 + 0.77)] \cdot \frac{3.50^2}{8} = 2.87 \text{ kNm}$$

$$V_{sd,1} = i \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta})] \cdot \frac{L}{2}$$

$$V_{sd,1} = 0.80 \cdot [1.3 \cdot (0.13 + 0.90 + 0.77)] \cdot \frac{3.50}{2} = 3.28 \text{ kN}$$

Si valuta di seguito la resistenza di progetto di **Connettore CentroStorico Acciaio Avvitato** a partire dalla sua resistenza caratteristica $P_{Rk} = 25.5 \text{ kN}$. Applicando il coefficiente di sicurezza di 1.25, la resistenza di progetto (prima della valutazione della necessità di applicare le riduzioni previste da ETA) è $P_{Rd} = 20.4 \text{ kN}$.

Lo spessore dell'ala della putrella è pari a 6.3 mm, pertanto, deve essere applicata la riduzione al P_{Rd} :

$$P_{Rd,red} = \frac{t_f}{8} P_{Rd} = \frac{6.3}{8} \cdot 20.4 \text{ kN} = 16.07 \text{ kN}$$

Nel seguito il valore di $P_{Rd,red}$ viene indicato con P_{Rd} .

La spaziatura minima ammissibile è pari a 8 cm e la spaziatura massima ammissibile risulta:

$$D = \min(6h_c; 800 \text{ mm}) = \min(300 \text{ mm}; 800 \text{ mm}) = 30 \text{ cm}$$

poiché l'ala del profilo è in classe 1 in quanto $\frac{c}{t_f} = \frac{32}{6.3} = 5.08 \leq 9\varepsilon = 9\sqrt{\frac{235}{235}} = 9$

Calcolo della base efficace

La base efficace risulta pari a:

$$b_{eff} = b_0 + b_{e1} + b_{e2} = 40 + 40 = 80 \text{ cm}$$

con:

$$b_0 = 0$$

$$b_{e1} = b_{e2} = \min\left(\frac{L}{8}; b_i\right) = \min(43.75 \text{ cm}; 40 \text{ cm}) = 40 \text{ cm}$$



Calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione omogeneizzata a tempo infinito

Il coefficiente di omogeneizzazione a lungo termine è pari a:

$$n = \frac{E_a}{E_{cm}/2} = 28$$

Si ipotizza che l'asse neutro cada nella trave di acciaio (tale ipotesi deve poi essere confermata a valle del calcolo).

L'area di calcestruzzo omogeneizzata risulta:

$$A_{cls,omog} = \frac{1}{n} (b_{eff} h_c) = 14.29 \text{ cm}^2$$

Il baricentro della T di calcestruzzo è a metà dello spessore della soletta, per cui la posizione del baricentro del calcestruzzo rispetto al bordo inferiore della putrella di acciaio è pari a:

$$y_c = h_a + h_c - \frac{h_c}{2} = 14.5 \text{ cm}$$

L'area della putrella A_a è pari a 13.21 cm^2 mentre il baricentro della sezione di acciaio dal lembo inferiore della putrella è:

$$y_a = \frac{h_a}{2} = 6 \text{ cm}$$

L'area della sezione mista omogeneizzata è:

$$A_{mista,omog} = A_{cls,omog} + A_a = 27.50 \text{ cm}^2$$

E la posizione asse neutro è valutata come segue:

$$y \text{ (asse neutro da sotto)} = \frac{A_{cls,omog} y_c + A_a y_a}{A_{mista,omog}} = 10.42 \text{ cm}$$

$$x \text{ (asse neutro da sopra)} = h_a + h_c - y = 6.58 \text{ cm}$$

L'inerzia della sezione omogeneizzata è il risultato della somma delle inerzie della putrella e del calcestruzzo e dei rispettivi momenti di trasporto:

$$J_{sez,omog} = J_a + J_c + J_{tras,a} + J_{tras,cls} = 843.40 \text{ cm}^4$$

con

$$J_a = 317.75 \text{ cm}^4$$



$$J_c = \frac{b_{eff}}{n} \cdot \frac{h_c^3}{12} = 29.76 \text{ cm}^4$$

$$J_{tras,a} = A_a(y_a - y)^2 = 257.64 \text{ cm}^4$$

$$J_{tras,cls} = A_{cls,omog}(y_c - y)^2 = 238.24 \text{ cm}^4$$

Calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione omogeneizzata a tempo zero

Il coefficiente di omogeneizzazione a breve termine è pari a:

$$n_{t0} = \frac{E_a}{E_{cm}} = 14$$

Si ipotizza che l'asse neutro cada nella trave di acciaio (tale ipotesi deve poi essere confermata a valle del calcolo).

L'area di calcestruzzo omogeneizzata risulta:

$$A_{cls,omog,t0} = \frac{1}{n_{t0}}(b_{eff}h_c) = 28.57 \text{ cm}^2$$

L'area della sezione mista omogeneizzata è:

$$A_{mista,omog,t0} = A_{cls,omog,t0} + A_a = 41.78 \text{ cm}^2$$

E la posizione asse neutro è valutata come segue:

$$y_{t0} \text{ (asse neutro da sotto)} = \frac{A_{cls,omog,t0}y_c + A_a y_a}{A_{mista,omog,t0}} = 11.81 \text{ cm}$$

$$x_{t0} \text{ (asse neutro da sopra)} = h_a + h_c - y_{t0} = 5.19 \text{ cm}$$

L'inerzia della sezione omogeneizzata è il risultato della somma delle inerzie della putrella e del calcestruzzo e dei rispettivi momenti di trasporto:

$$J_{sez,omog,t0} = J_a + J_{c,t0} + J_{tras,a,t0} + J_{tras,cls,t0} = 1029.95 \text{ cm}^4$$

con

$$J_a = 317.75 \text{ cm}^4$$

$$J_{c,t0} = \frac{b_{eff}}{n_{t0}} \cdot \frac{h_c^3}{12} = 59.52 \text{ cm}^4$$

$$J_{tras,a,t0} = A_a(y_a - y_{t0})^2 = 446.31 \text{ cm}^4$$

$$J_{tras,cls,t0} = A_{cls,omog,t0}(y_c - y_{t0})^2 = 206.36 \text{ cm}^4$$



Calcolo del massimo momento resistente elastico

Poiché il solaio è non puntellato, il momento resistente viene scritto come:

$$M_{Rd} = M_{a,Ed} + (M_{el,Rd} - M_{a,Ed}) \cdot \frac{N_c}{N_{c,el}}$$

con $M_{a,Ed}$ che rappresenta il momento flettente di progetto applicato al profilato di acciaio strutturale prima dell'azione composta e risulta:

$$M_{a,Ed} = q \cdot \frac{L^2}{8} = 2.87 \text{ kNm}$$

con q :

$$q = i \cdot \gamma_{G1} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta}) = 0.80 \cdot 1.3 \cdot (0.13 + 0.90 + 0.77) = 1.87 \text{ kN/m}$$

Per determinare $M_{el,Rd}$, si valuta il momento corrispondente al raggiungimento del limite elastico sul calcestruzzo e sull'acciaio per determinare il minimo:

$$M_{el,cls} = n \cdot \frac{f_{lcd} \cdot J_{sez,omog}}{x} = 45.73 \text{ kNm}$$

$$M_{el,acc} = \frac{\left(f_{yd} - \frac{M_{a,Ed}}{W_a}\right) \cdot J_{sez,omog}}{y} = 13.73 \text{ kNm}$$

$$M_{el,Rd} = M_{a,Ed} + \min(M_{el,cls}; M_{el,acc}) = 16.60 \text{ kNm}$$

Il calcolo di $N_{c,el}$, denominato $N_{c,th,el}$, viene eseguito come segue:

$$\sigma_{sup} = \frac{\min(M_{el,cls}; M_{el,acc}) \cdot x}{n \cdot J_{sez,omog}} = 3.83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{inf} = \frac{\min(M_{el,cls}; M_{el,acc}) \cdot (x - h_c)}{n \cdot J_{sez,omog}} = 0.92 \text{ MPa}$$

Lo scorrimento teorico corrispondente al limite elastico risulta:

$$N_{c,th,el} = \frac{\sigma_{sup} + \sigma_{inf}}{2} \cdot b_{eff} \cdot h_c = 95.00 \text{ kN}$$

Il numero di connettori teorico corrispondente al limite elastico è quindi pari a:

$$n_{conn,th,el} = \frac{2N_{c,th,el}}{P_{Rd}} = 11.83$$

Il valore che si ottiene non è intero, quindi viene approssimato per difetto all'intero ovvero ad $n_{conn,el} = 11$.
Lo scorrimento corrispondente al limite elastico $N_{c,el}$ risulta:



$$N_{c,el} = P_{Rd} \cdot n_{conn,el} = 176.72 \text{ kN}$$

Calcolo del momento resistente reale e del relativo numero di connettori

Poiché deve essere $M_{Rd} \geq M_{Sd}$, si impone che $M_{Rd} = M_{Sd}$ al fine di determinare N_c e quindi il numero di connettori teorico minimo:

$$M_{Sd} = M_{a,Ed} + (M_{el,Rd} - M_{a,Ed}) \cdot \frac{N_{c,th}}{N_{c,el}}$$

$$N_{c,th} = 66.67 \text{ kN}$$

Il corrispondente numero di connettori è denominato $n_{conn,th}$:

$$n_{conn,th} = \frac{N_{c,th}}{P_{Rd}} = 4.15$$

Il valore ottenuto non è intero, pertanto, viene approssimato per eccesso all'intero successivo $n_{conn} = 5$. Il corrispondente scorrimento minimo vale:

$$N_c = P_{Rd} \cdot n_{conn} = 80.33 \text{ kN}$$

Il momento resistente reale è quindi dato da:

$$M_{Rd} = M_{a,Ed} + (M_{el,Rd} - M_{a,Ed}) \cdot \frac{N_c}{N_{c,el}} = 9.11 \text{ kNm}$$

Calcolo della distribuzione dei connettori – spaziatura variabile

Sui quarti esterni si posizionano $n_{conn}/2 = 2.5$. Tale numero, non essendo intero, viene approssimato all'intero per eccesso ovvero a 3 connettori, il cui passo risulta:

$$\text{passo in } \frac{L}{4} = \frac{87.5 \text{ cm}}{3} = 29.2 \text{ cm}$$

Sulla metà centrale in totale si devono posizionare $n_{conn}/2 = 2.5$. Tale numero non essendo intero e pari, viene approssimato al pari successivo ovvero a 4 connettori. Il passo quindi risulta:

$$\text{passo in } \frac{L}{2} = \frac{175.0 \text{ cm}}{4} = 43.75 \text{ cm}$$

La distanza minima ammissibile è pari a 8 cm, pertanto è rispettata in entrambe le zone. La spaziatura massima ammissibile è pari a 30 cm, pertanto è rispettata in $L/4$ ma non in $L/2$. Nella zona centrale quindi si deve ricalcolare il numero di connettori:

$$\text{numero connettori} = \frac{175.0 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 5.83$$



Poiché tale numero non è intero, viene approssimato al pari successivo ovvero a 6, per cui il passo finale in $L/2$ risulta:

$$\text{passo in } \frac{L}{2} = \frac{175.0 \text{ cm}}{6} = 29.2 \text{ cm}$$

Il numero totale di connettori a trave è 12 e il numero di connettori a metro quadro è 4.3.

Verifica a taglio

In accordo alle NTC2018 paragrafo 4.2.4.1.2.4 e a UNI EN 1994-1-1, paragrafo 6.2.2.2, la resistenza plastica a taglio verticale viene valutata come la resistenza della sola parte di acciaio strutturale, in accordo al punto 8.2.6 della EN 1993-1-1:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{ac,es}} = 81.48 \text{ kN}$$

Verifiche in fase 1

Le azioni resistenti vengono valutate come segue:

$$M_{Rd,1} = W_a \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{ac,es}} = 11.85 \text{ kNm}$$

$$V_{Rd,1} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{ac,es}} = 81.48 \text{ kN}$$

Verifiche a deformabilità (SLE)

$\delta_1(1^\circ \text{ fase})$ freccia dovuta ai pesi propri e ai carichi permanenti di 1° fase agenti sulla sola trave in acciaio:

$$\delta_1(1^\circ \text{ fase}) = \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a J_{acciaio}} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta}) \cdot i = 4.22 \text{ mm}$$

$\delta_1(2^\circ \text{ fase})$ freccia iniziale dovuta ai carichi permanenti ulteriori agenti sulla sezione mista:

$$\delta_1(2^\circ \text{ fase}) = \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a J_{sez,omog,t0}} \cdot (P_{altri} + P_{massetto}) \cdot i = 0.65 \text{ mm}$$

δ_2 freccia dovuta ai carichi variabili + freccia ulteriore rispetto a $\delta_1(2^\circ \text{ fase})$ dovuta agli effetti viscosi dei carichi permanenti agenti in fase mista + freccia dovuta al ritiro del calcestruzzo:

$$\begin{aligned} \delta_2 = & -\delta_1(2^\circ \text{ fase}) + \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a J_{sez,omog}} \cdot (P_{altri} + P_{massetto}) \cdot i \\ & + \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a J_{sez,omog}} \cdot Q \cdot i + \delta_{cls,ritiro} = 7.20 \text{ mm} \end{aligned}$$

con $\delta_{cls,ritiro}$ valutato come segue:



$$N_{sh} = \frac{E_{cm}}{2} \varepsilon_{cm} h_c b_{eff} = 150 \text{ kN}$$

$$M_{sh} = N_{sh} \left(x - \frac{h_c}{2} \right) = 6.13 \text{ kNm}$$

Utilizzando il metodo di Mohr della trave ausiliaria, la freccia da ritiro risulta:

$$\delta_{cls,ritiro} = \frac{M_{sh} l^2}{8 E_a J_{sez,omog}} = 5.30 \text{ mm}$$

La freccia totale quindi risulta:

$$\delta_{tot} = \delta_c + \delta_1(1^\circ \text{ fase}) + \delta_1(2^\circ \text{ fase}) + \delta_2 = 12.08 \text{ mm}$$

con $\delta_c = 0$.

Calcolo tensioni sui connettori

Il calcolo delle tensioni sui connettori viene eseguito con la formula di Jourawsky:

$$\tau_b = \frac{VS}{J_{sez,omog,t0}} = 30.27 \text{ kN/m}$$

dove il taglio sollecitante V viene valutato utilizzando la seguente combinazione allo Stato Limite di Esercizio:

$$q_{SLE} = (P_{massetto} + P_{altri} + Q_{var}) \cdot i = (0.60 + 0.30 + 2.00) \cdot 0.80 = 2.32 \text{ kN/m}$$

$$V = q_{SLE} \frac{L}{2} = 4.06 \text{ kN}$$

Il momento statico della parte collegata rispetto all'asse neutro $x_{t0} = 5.19 \text{ cm}$ vale:

$$S = (b_{eff} h_c) \cdot \frac{\left(x_{t0} - \frac{h_c}{2} \right)}{n_{t0}} = 76.78 \text{ cm}^3$$

Lo scorrimento massimo τ_{lim} ottenuto dividendo il P_{Rd} del connettore per il passo dei connettori calcolato in L/4 vale 55.08 kN/m.

Calcolo dell'armatura trasversale

L'armatura trasversale è calcolata come la massima tra le espressioni precedentemente riportate (considerando un acciaio B450C con tensione caratteristica di snervamento f_{sk} di 450 MPa e tensione di progetto f_{sd} di 391.3 MPa):

$$\frac{A_{sw}}{s} = \max \left(\rho_{w,min} h_c; 80 \frac{mm^2}{m}; 0.002 \cdot h_c; \frac{v_{Ed} \cdot h_c}{f_{sd}} \right) = \max(0.42; 0.80; 1.00; 0.59) \frac{cm^2}{m}$$



dove:

$$\rho_{w,min} = \frac{0.08\sqrt{f_{lck}}}{f_{sk}} = 0.00084$$

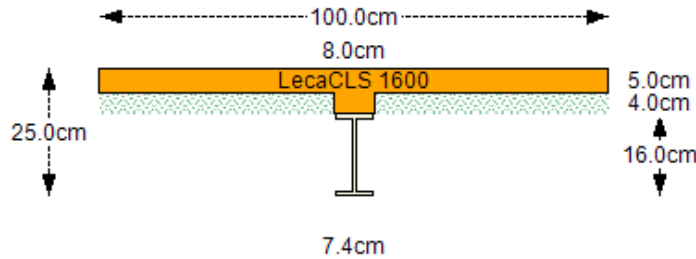
$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \Delta x} = \frac{1}{h_c} \cdot \left(\frac{P_{Rd} \cdot n_{conn}}{L} \right) = 0.46 \frac{N}{mm^2}$$



3.2. Caso 2

Si analizza un solaio con putrelle IPN160 in S235, avente luce $L = 550\text{ cm}$ e interasse $i = 100\text{ cm}$. Il solaio viene consolidato mediante nuova soletta in **LecaCLS 1600** di spessore $h_c = 5\text{ cm}$, con interposto un pannello di alleggerimento di spessore 4 cm e larghezza 92 cm , interconnessa al solaio esistente mediante **Connettore CentroStorico Acciaio Saldato**. Visto lo spessore complessivo di pannello e soletta, il connettore viene posato in verticale.

Il solaio viene puntellato e si sceglie come limite di deformabilità “Solai in generale” della tabella Tab. 4.2.XII delle NTC2018, ovvero $\delta_{max} = L/250$ e $\delta_{2,lim} = L/300$.



Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche principali del profilo metallico e del raccordo:

Putrella IPN 160	Altezza profilo	h_a	160.0 mm
	Base ala	b_f	74.0 mm
	Spessore ala	t_f	9.5 mm
	Spessore anima	t_w	6.3 mm
	Raggio anima-ala	r	6.3 mm
	Area totale	A_a	22.80 cm ²
	Area resistente a taglio	A_v	10.54 cm ²
	Momento d'inerzia	J_a	935.00 cm ⁴
	Modulo di resistenza elastico	W_a	117.00 cm ³
	Classe dell'ala della sezione	c	1 -
	Luce	L	550.00 cm
	Interasse	i	100 cm
Pannello alleggerimento	Base raccordo in calcestruzzo	b_r	8.00 cm
	Altezza raccordo/pannello	h_p	4.00 cm
	Larghezza pannello	L_p	92.0 cm



Si riportano inoltre le caratteristiche dei materiali esistenti e previsti da progetto:

Acciaio putrella	S235	Tensione caratteristica a snervamento	f_{yk}	235.0	MPa
		Modulo elastico	E_a	210000	MPa
		Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{ac,es}$	1.05	-
		Tensione a snervamento di progetto	f_{yd}	223.8	MPa
Calcestruzzo soletta	LecaCLS 1600	Resistenza a compressione cilindrica	f_{lck}	31.5	MPa
		Modulo elastico	E_{cm}	20000	MPa
		Peso specifico	ρ	17.5	kN/m ³
		Coefficiente di sicurezza	γ_c	1.50	-
		Resistenza a compressione di progetto	f_{lcd}	17.9	MPa
Connettore	Connettore CentroStorico Acciaio Saldato con posa in verticale	Resistenza caratteristica	P_{Rk}	42.10	kN
		Coefficiente di sicurezza	γ	1.50	-
		Resistenza di progetto	P_{Rd}	28.10	kN
Armatura nuova	B450C	Tensione a snervamento	f_{sk}	450	MPa
		Modulo elastico	E_s	210000	MPa
		Coefficiente di sicurezza	γ_{ac}	1.15	-
		Tensione a snervamento di progetto	f_{sd}	391.3	MPa

La spaziatura minima ammissibile è pari a 5 cm e la spaziatura massima ammissibile risulta:

$$D = \min(6h_c; 800 \text{ mm}) = \min(300 \text{ mm}; 800 \text{ mm}) = 30 \text{ cm}$$

poiché l'ala del profilo è in classe 1 in quanto $\frac{c}{t_f} = \frac{37}{9.5} = 3.89 \leq 9\varepsilon = 9\sqrt{\frac{235}{235}} = 9$

Si riportano di seguito i carichi previsti da progetto, con i relativi coefficienti di sicurezza:

Coefficienti di sicurezza	Carichi permanenti strutturali	γ_{G1}	1.3	-
	Altri carichi permanenti non strutturali	γ_{G2}	1.5	-
	Carichi variabili	γ_Q	1.5	-
Peso proprio	Peso putrella	G_1	0.18	kN/m ²
	Peso riempimento tra putrelle		1.34	kN/m ²
	Soletta collaborante (5 cm)		0.93	kN/m ²
Permanenti	-	G_2	0.00	kN/m ²
	-		0.00	kN/m ²
	Altri permanenti		2.00	kN/m ²
Variabili		Q	2.00	kN/m ²



La combinazione di carico SLU finale viene valutata come segue:

$$q = i \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta}) + \gamma_{G2} \cdot P_{altri} + \gamma_Q \cdot Q]$$

$$q = 1.00 \cdot [1.3 \cdot (0.18 + 1.34 + 0.93) + 1.5 \cdot 2.00 + 1.5 \cdot 2.00] = 9.18 \text{ kN/m}$$

I corrispondenti momento e taglio sollecitanti valgono:

$$M_{sd} = q \frac{L^2}{8} = 34.71 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = q \frac{L}{2} = 25.25 \text{ kN}$$

Calcolo della base efficace

La base efficace risulta pari a:

$$b_{eff} = b_0 + b_{e1} + b_{e2} = 50 + 50 = 100 \text{ cm}$$

con:

$$b_0 = 0$$

$$b_{e1} = b_{e2} = \min\left(\frac{L}{8}; b_i\right) = \min(68.75 \text{ cm}; 50 \text{ cm}) = 50 \text{ cm}$$

Calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione omogeneizzata a tempo infinito

Il coefficiente di omogeneizzazione a lungo termine è pari a:

$$n = \frac{E_a}{E_{cm}/2} = 21$$

Si ipotizza che l'asse neutro cada nella trave di acciaio (tale ipotesi deve poi essere confermata a valle del calcolo).

L'area di calcestruzzo omogeneizzata risulta:

$$A_{cls,omog} = \frac{1}{n} (b_{eff} h_c + b_r h_p) = 25.33 \text{ cm}^2$$

Il baricentro della T di calcestruzzo è pari a:

$$h_{bar,cls} = \frac{b_{eff} h_c \cdot \frac{h_c}{2} + b_r h_p \cdot \left(h_c + \frac{h_p}{2}\right)}{b_{eff} h_c + b_r h_p} = 2.77 \text{ cm}$$

La posizione del baricentro del calcestruzzo rispetto al bordo inferiore della putrella di acciaio è pari a:



$$y_c = h_a + h_c + h_p - h_{bar,cls} = 22.23 \text{ cm}$$

L'area della putrella A_a è pari a 22.80 cm^2 mentre il baricentro della sezione di acciaio dal lembo inferiore della putrella è:

$$y_a = \frac{h_a}{2} = 8 \text{ cm}$$

L'area della sezione mista omogeneizzata è:

$$A_{mista,omog} = A_{cls,omog} + A_a = 48.13 \text{ cm}^2$$

E la posizione asse neutro è valutata come segue:

$$y \text{ (asse neutro da sotto)} = \frac{A_{cls,omog}y_c + A_a y_a}{A_{mista,omog}} = 15.49 \text{ cm}$$

$$x \text{ (asse neutro da sopra)} = h_a + h_c + h_p - y = 9.51 \text{ cm}$$

L'inerzia della sezione omogeneizzata è il risultato della somma delle inerzie della putrella e del calcestruzzo e dei rispettivi momenti di trasporto:

$$J_{sez,omog} = J_a + J_c + J_{tras,a} + J_{tras,cls} = 3445.32 \text{ cm}^4$$

con

$$J_a = 935.00 \text{ cm}^4$$

$$J_c = \frac{b_{eff}}{n} \cdot \frac{h_c^3}{12} + \frac{b_r}{n} \cdot \frac{h_p^3}{12} + \frac{b_{eff}h_c}{n} \left(h_{bar,cls} - \frac{h_c}{2} \right)^2 + \frac{b_r h_p}{n} \left(h_{bar,cls} - h_c - \frac{h_p}{2} \right)^2 = 80.64 \text{ cm}^4$$

$$J_{tras,a} = A_a (y_a - y)^2 = 1278.78 \text{ cm}^3$$

$$J_{tras,cls} = A_{cls,omog} (y_c - y)^2 = 1150.90 \text{ cm}^3$$

Calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione omogeneizzata a tempo zero

Il coefficiente di omogeneizzazione a breve termine è pari a:

$$n_{t0} = \frac{E_a}{E_{cm}} = 10.50$$

Si ipotizza che l'asse neutro cada nel raccordo (tale ipotesi deve poi essere confermata a valle del calcolo).

L'area di calcestruzzo omogeneizzata viene scritta in funzione della posizione dell'asse neutro incognito e risulta:



$$A_{cls,omog,t0} = \frac{1}{n_{t0}} (b_{eff} h_c + b_r a)$$

La posizione del baricentro del calcestruzzo compresso rispetto al bordo superiore della sezione composta è pari a:

$$x_{c,t0} = \frac{b_{eff} h_c \cdot \frac{h_c}{2} + b_r a \cdot \left(h_c + \frac{a}{2}\right)}{b_{eff} h_c + b_r a}$$

Il baricentro della sezione di acciaio dal lembo superiore della sezione composta è:

$$x_{a,t0} = \frac{h_a}{2} + h_c + h_p$$

L'area della sezione mista omogeneizzata è:

$$A_{mista,omog,t0} = A_{cls,omog,t0} + A_a$$

E la posizione asse neutro è valutata come segue:

$$x_{t0} \text{ (asse neutro da sopra)} = \frac{A_a x_{a,t0} + A_{cls,omog,t0} x_c}{A_{mista,omog,t0}}$$

con $x_{t0} = a + h_c$.

Sostituendo le espressioni di $x_{c,t0}$, x_{t0} e $A_{cls,omog,t0}$, si ottiene un'equazione di secondo grado in a da cui si ricava a e quindi x :

$$a^2 \cdot \left(\frac{b_r}{2n_{t0}}\right) + a \cdot \left(A_a + \frac{1}{n_{t0}} b_{eff} h_c\right) + A_a (h_c - x_{a,t0}) + \frac{1}{2n_{t0}} b_{eff} h_c^2 = 0$$

$$a = 2.17 \text{ cm}$$

$$x_{t0} = 7.17 \text{ cm}$$

Quindi le quantità precedentemente espresse in funzione di a , risultano pari a:

$$A_{cls,omog,t0} = 49.27 \text{ cm}^2$$

$$A_{mista,omog,t0} = 72.07 \text{ cm}^2$$

$$x_{a,t0} = 17 \text{ cm}$$

$$x_{c,t0} = 2.62 \text{ cm}$$

L'inerzia della sezione omogeneizzata è il risultato della somma delle inerzie della putrella e del calcestruzzo e dei rispettivi momenti di trasporto:



$$J_{sez,omog} = J_a + J_c + J_{tras,a} + J_{tras,cls} = 4278.46 \text{ cm}^4$$

con

$$J_a = 935.00 \text{ cm}^4$$

$$J_c = \frac{b_{eff}}{n_{t0}} \cdot \frac{h_c^3}{12} + \frac{b_r}{n_{t0}} \cdot \frac{a^3}{12} = 99.85 \text{ cm}^4$$

$$J_{tras,a} = A_a(x_a - x)^2 = 2203.45 \text{ cm}^4$$

$$J_{tras,cls} = \frac{b_{eff}h_c}{n} \left(\frac{h_c}{2} + a \right)^2 + \frac{b_r a}{n} \left(\frac{a}{2} \right)^2 = 1040.15 \text{ cm}^4$$

Calcolo del massimo momento resistente elastico

Poiché il solaio è puntellato, il momento resistente viene scritto come:

$$M_{Rd} = M_{el,Rd} \cdot \frac{N_c}{N_{c,el}}$$

Per determinare $M_{el,Rd}$, si valuta il momento corrispondente al raggiungimento del limite elastico sul calcestruzzo e sull'acciaio per determinare il minimo:

$$M_{el,cls} = n \cdot \frac{f_{cd} \cdot J_{sez,omog}}{x} = 135.79 \text{ kNm}$$

$$M_{el,acc} = \frac{f_{yd} \cdot J_{sez,omog}}{y} = 49.78 \text{ kNm}$$

$$M_{el,Rd} = \min(M_{el,cls}; M_{el,acc}) = 49.78 \text{ kNm}$$

Il calcolo di $N_{c,el}$, denominato $N_{c,th,el}$, viene eseguito come segue:

$$\sigma_{sup} = \frac{M_{el,Rd} \cdot x}{n \cdot J_{sez,omog}} = 6.54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{inf} = \frac{M_{el,Rd} \cdot (x - h_c)}{n \cdot J_{sez,omog}} = 3.10 \text{ MPa}$$

Lo scorrimento teorico corrispondente al limite elastico risulta:

$$N_{c,th,el} = \frac{\sigma_{sup} + \sigma_{inf}}{2} \cdot b_{eff} \cdot h_c = 241.20 \text{ kN}$$

Il numero di connettori teorico corrispondente al limite elastico è quindi pari a:

$$n_{conn,th,el} = \frac{2N_{c,th,el}}{P_{Rd}} = 17.17$$



Il valore che si ottiene non è intero, quindi viene approssimato per difetto all'intero ovvero ad $n_{conn,el} = 17$.
Lo scorrimento corrispondente al limite elastico $N_{c,el}$ risulta:

$$N_{c,el} = P_{Rd} \cdot n_{conn,el} = 477.70 \text{ kN}$$

Calcolo del momento resistente reale e del relativo numero di connettori

Poiché deve essere $M_{Rd} \geq M_{Sd}$, si impone che $M_{Rd} = M_{Sd}$ al fine di determinare N_c e quindi il numero di connettori teorico minimo:

$$M_{Sd} = M_{el,Rd} \cdot \frac{N_{c,th}}{N_{c,el}}$$

$$N_{c,th} = 333.10 \text{ kN}$$

Il corrispondente numero di connettori è denominato $n_{conn,th}$:

$$n_{conn,th} = \frac{N_{c,th}}{P_{Rd}} = 11.85$$

Il valore ottenuto non è intero, pertanto, viene approssimato per eccesso all'intero successivo $n_{conn} = 12$.
Il corrispondente scorrimento minimo vale:

$$N_c = P_{Rd} \cdot n_{conn} = 337.20 \text{ kN}$$

Il momento resistente reale è quindi dato da:

$$M_{Rd} = M_{el,Rd} \cdot \frac{N_c}{N_{c,el}} = 35.14 \text{ kNm}$$

Calcolo della distribuzione dei connettori – spaziatura variabile

Sui quarti esterni si posizionano $n_{conn}/2 = 6$, il cui passo risulta:

$$\text{passo in } \frac{L}{4} = \frac{137.5 \text{ cm}}{6} = 22.9 \text{ cm}$$

Sulla metà centrale in totale si devono posizionare $n_{conn}/2 = 6$. Il passo quindi risulta:

$$\text{passo in } \frac{L}{2} = \frac{275.0 \text{ cm}}{6} = 45.8 \text{ cm}$$

La distanza minima ammissibile è pari a 5 cm, pertanto è rispettata in entrambe le zone. La spaziatura massima ammissibile è pari a 30 cm, pertanto è rispettata in L/4 ma non in L/2. Nella zona centrale quindi si deve ricalcolare il numero di connettori:

$$\text{numero connettori} = \frac{275.0 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 9.17$$



Poiché tale numero non è intero, viene approssimato al pari successivo ovvero a 10, per cui il passo finale in $L/2$ risulta:

$$\text{passo in } \frac{L}{2} = \frac{275.0 \text{ cm}}{10} = 27.5 \text{ cm}$$

Il numero totale di connettori a trave è 22 e il numero di connettori a metro quadro è 4.0.

Verifica a taglio

In accordo alle NTC2018 paragrafo 4.2.4.1.2.4 e a UNI EN 1994-1-1, paragrafo 6.2.2.2, la resistenza plastica a taglio verticale viene valutata come la resistenza della sola parte di acciaio strutturale, in accordo al punto 8.2.6 della EN 1993-1-1:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{ac,es}} = 136.14 \text{ kN}$$

Verifiche a deformabilità (SLE)

δ_1 freccia dovuta ai carichi permanenti:

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a J_{sez,omog,t0}} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta} + P_{altri}) \cdot i = 5.90 \text{ mm}$$

δ_2 freccia dovuta ai carichi variabili + freccia ulteriore rispetto a δ_1 dovuto agli effetti viscosi dei carichi permanenti + freccia dovuta al ritiro del calcestruzzo:

$$\begin{aligned} \delta_2 = & -\delta_1 + \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a J_{sez,omog}} \cdot (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta} + P_{altri}) \cdot i \\ & + \frac{5}{384} \cdot \frac{l^4}{E_a J_{sez,omog}} \cdot Q \cdot i + \delta_{cls,ritiro} = 13.88 \text{ mm} \end{aligned}$$

con $\delta_{cls,ritiro}$ valutato come segue:

$$N_{sh} = \frac{E_{cm}}{2} \varepsilon_{cm} h_c b_{eff} = 250 \text{ kN}$$

$$M_{sh} = N_{sh} \left(x - \frac{h_c}{2} \right) = 17.53 \text{ kN}$$

Utilizzando il metodo di Mohr della trave ausiliaria, la freccia da ritiro risulta:

$$\delta_{cls,ritiro} = \frac{M_{sh} l^2}{8 E_a J_{sez,omog}} = 9.16 \text{ mm}$$

La freccia totale quindi risulta:

$$\delta_{tot} = \delta_c + \delta_1 + \delta_2 = 19.78 \text{ mm}$$



con $\delta_c = 0$.

Calcolo tensioni sui connettori

Il calcolo delle tensioni sui connettori viene eseguito con la formula di Jourawsky:

$$\tau_b = \frac{VS}{J_{sez,omog,t0}} = 92.87 \text{ kN/m}$$

dove il taglio sollecitante V viene valutato utilizzando la seguente combinazione allo Stato Limite di Esercizio:

$$q_{SLE} = (P_{putrella} + P_{riemp} + P_{soletta} + P_{altri} + Q_{var}) \cdot i = 6.45 \text{ kN/m}$$

$$V = q_{SLE} \frac{L}{2} = 17.73 \text{ kN}$$

Il momento statico della parte collegata rispetto all'asse neutro $x_{t0} = 7.17 \text{ cm}$ vale:

$$S = (b_{eff} h_c) \cdot \frac{(x_{t0} - \frac{h_c}{2})}{n_{t0}} + (b_r a) \cdot \frac{(\frac{a}{2})}{n_{t0}} = 224.14 \text{ cm}^3$$

Lo scorrimento massimo τ_{lim} ottenuto dividendo il P_{Rd} del connettore per il passo dei connettori calcolato in $L/4$ vale 122.62 kN/m.

Calcolo dell'armatura trasversale

L'armatura trasversale è calcolata come la massima tra le espressioni precedentemente riportate (considerando un acciaio B450C con tensione caratteristica di snervamento f_{sk} di 450 MPa e tensione di progetto f_{sd} di 391.3 MPa):

$$\frac{A_{sw}}{s} = \max \left(\rho_{w,min} h_c; 80 \frac{mm^2}{m}; 0.002 \cdot h_c; \frac{v_{Ed} \cdot h_c}{f_{sd}} \right) = \max(0.50; 0.80; 1.00; 1.57) \frac{cm^2}{m}$$

dove:

$$\rho_{w,min} = \frac{0.08 \sqrt{f_{lck}}}{f_{sk}} = 0.000998$$

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \Delta x} = \frac{1}{h_c} \cdot \left(\frac{P_{Rd} \cdot n_{conn}}{L} \right) = 1.23 \frac{N}{mm^2}$$



Distinti saluti.

Assistenza Tecnica

Laterlite



Laterlite SpA



Assistenza tecnica
via Correggio 3
20149 Milano
tel. 02 48011962
Laterlite@laterlite.it
Laterlite.it