

# GUIDA & VALIDAZIONE

---

Guida all'uso, validazione e riferimenti normativi per il  
rinforzo con calcestruzzi FRC di elementi in C.A. e solai

*Leca*

 **RUREGOLD**



**Laterlite**

## INDICE

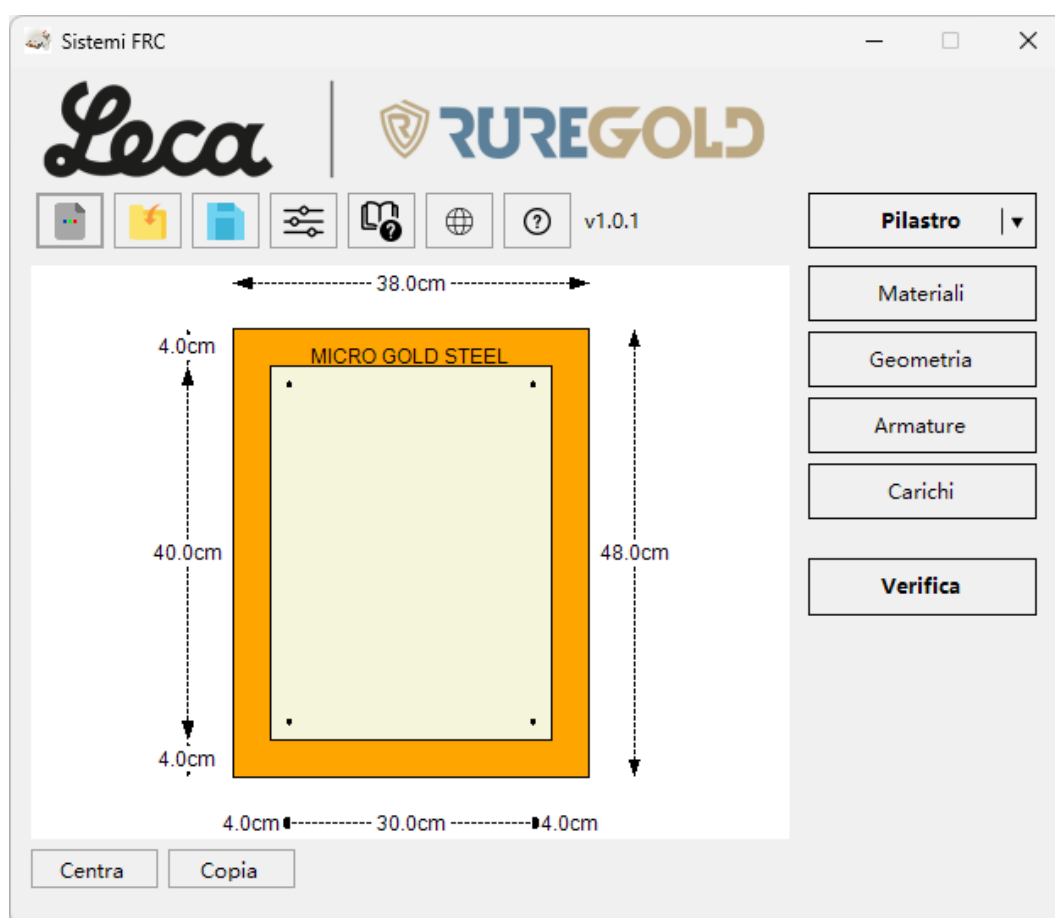
<b>1. GUIDA ALL'USO .....</b>	<b>3</b>
1.1. INTRODUZIONE .....	3
1.2. UTILIZZO DEL SOFTWARE .....	5
1.2.1. SCHERMATA PRINCIPALE .....	5
1.2.2. PARAMETRI UTENTE .....	6
1.2.3. MATERIALI .....	7
1.2.4. GEOMETRIA .....	13
1.2.5. ARMATURE .....	17
1.2.6. CARICHI .....	23
1.2.7. VERIFICA .....	27
<b>2. RIFERIMENTI DI CALCOLO .....</b>	<b>33</b>
2.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	33
2.2. CALCOLO DELLA RESISTENZA A FLESSIONE/PRESSOFLESSIONE SLU .....	33
2.3. CALCOLO DELLA RESISTENZA A TAGLIO ALLO SLU .....	35
2.4. VERIFICA A SCORRIMENTO SULLA SUPERFICIE DI CONTATTO CON LA NUOVA CAPP (CONNETTORE CHIMICO) .....	43
2.5. VERIFICA PER POSA IN ADERENZA AL SUPPORTO ESISTENTE (POSA IN ADERENZA AL SUPPORTO ESISTENTE) .....	45
2.6. VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA DI CALCOLO DI <i>MINI CONNETTORE CALCESTRUZZO</i> .....	48
2.6.1. LIMITI APPLICATIVI .....	48
2.6.2. ROTTURA DELL'ACCIAIO DELL'ANCORANTE $V_{RD,S}$ .....	49
2.6.3. ROTTURA PER PRY-OUT DEL CALCESTRUZZO $V_{RD,CP}$ .....	49
2.6.4. ROTTURA DEL BORDO DI CALCESTRUZZO $V_{RD,C}$ .....	52
2.7. CALCOLO DELLO SCORRIMENTO E DELL'ADERENZA ALL'INTERFACCIA (MINI CONNETTORE CALCESTRUZZO) .....	55
2.8. CALCOLO DEL PASSO E DELLA DISTRIBUZIONE DEI CONNETTORI (MINI CONNETTORE CALCESTRUZZO) .....	58
2.8.1. SPAZIATURA VARIABILE .....	58
2.8.2. SPAZIATURA COSTANTE PER CAMPATA .....	59
2.9. NOTE E OSSERVAZIONI .....	60
<b>3. VALIDAZIONE DEL CALCOLO .....</b>	<b>61</b>
3.1. CASO 1 – PILASTRO RINFORZATO .....	61
3.2. CASO 2 – SOLAIO CON NUOVA SOLETTA E CONNETTORE CENTROSTORICO CHIMICO .....	72
3.3. CASO 3 – TRAVE A T RINFORZATA ALL'INTRADOSSO .....	80
3.4. CASO 4 – SOLAIO CON NUOVA SOLETTA E MINI CONNETTORE CALCESTRUZZO .....	85

## 1. GUIDA ALL'USO

### 1.1. Introduzione

Il programma **Microcalcestruzzi FRC per il rinforzo di elementi in C.A. e solai** (Sistemi FRC) permette il calcolo del rinforzo mediante calcestruzzi fibrorinforzati di Laterlite S.p.A. (denominati **MICRO GOLD STEEL** e **MICRO Calcestruzzo CentroStorico**) di elementi in calcestruzzo armato e solai in laterocemento.

Nello specifico, è possibile dimensionare il ringrosso di pilastri, colonne e travi a sezione rettangolare o a T mediante **MICRO GOLD STEEL** e dimensionare la realizzazione di una nuova soletta collaborante su solai in laterocemento mediante **MICRO GOLD STEEL** o **MICRO Calcestruzzo CentroStorico**.



Il programma esegue le seguenti verifiche, differenziate per la tipologia di elemento da rinforzare:

#### PILASTRO / COLONNA:

- Calcolo del momento resistente in pressoflessione retta secondo i due assi y e z allo Stato Limite Ultimo (SLU) della sezione esistente e della sezione rinforzata e verifica a pressoflessione nelle due direzioni;
- Verifica a pressoflessione deviata secondo NTC2018 della sezione rinforzata;
- Calcolo della resistenza a taglio a Stato Limite Ultimo (SLU) per elementi con armature trasversali resistenti al taglio della sezione esistente e della sezione rinforzata nelle due direzioni y e z e verifica nelle due direzioni della sezione rinforzata;
- Costruzione dei domini di interazione  $NM_y$ ,  $NM_z$  e  $M_yM_z$ .

TRAVE:

- Calcolo del momento resistente positivo allo Stato Limite Ultimo (SLU) della sezione esistente e della sezione rinforzata e verifica a flessione positiva della sezione rinforzata;
- Calcolo della resistenza a taglio a Stato Limite Ultimo (SLU) per elementi con armature trasversali resistenti al taglio della sezione esistente e della sezione rinforzata e verifica della sezione rinforzata.

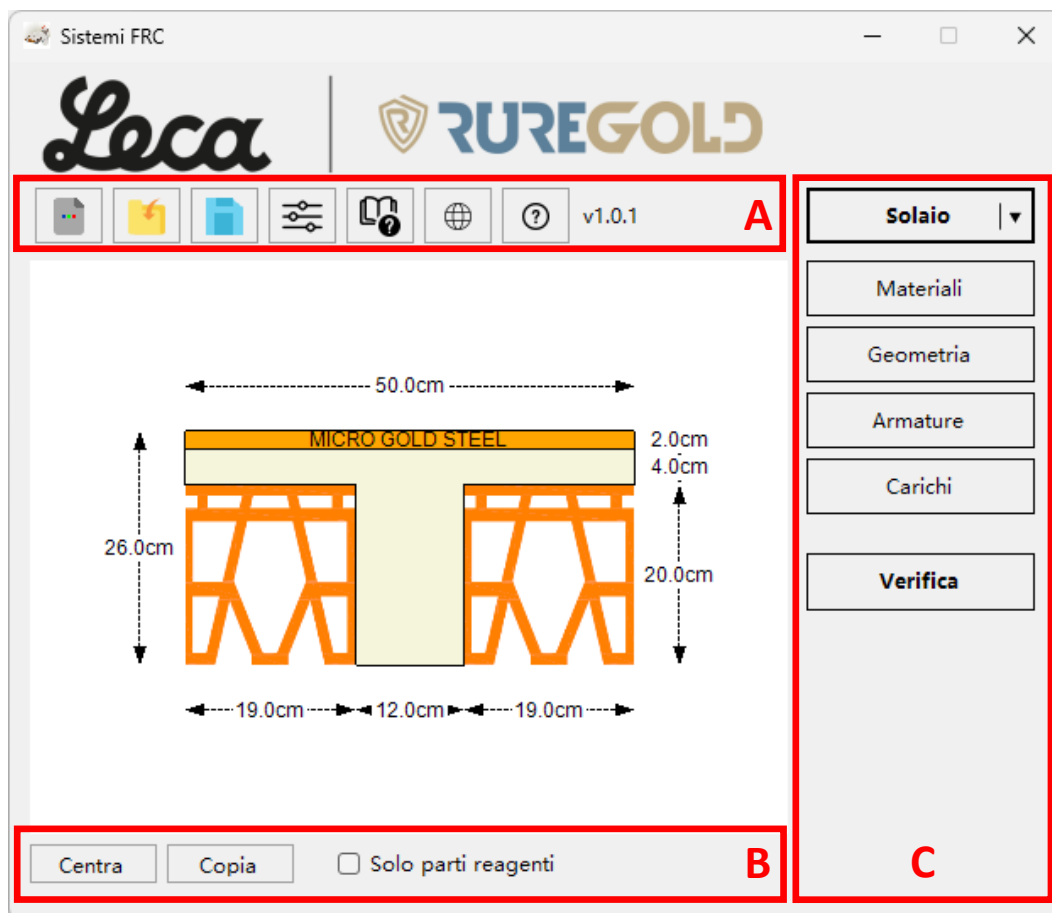
SOLAIO:

- Verifiche a flessione positiva e negativa allo Stato Limite Ultimo (SLU) del solaio esistente e del solaio rinforzato;
- Verifica a taglio a Stato Limite Ultimo (SLU) per elementi sprovvisti di specifica armatura a taglio del solaio esistente e del solaio rinforzato;
- Verifica allo scorrimento sulla superficie di contatto con la nuova cappa, qualora si preveda di utilizzare **Connettore CentroStorico Chimico** quale sistema di connessione tra il solaio esistente e la nuova cappa;
- Verifica per posa in aderenza al supporto esistente in accordo al paragrafo 6.2.5 UNI EN 1992-1-1:2015, qualora si preveda di realizzare la nuova soletta in aderenza al supporto esistente;
- Calcolo della resistenza di progetto di **Mini Connettore Calcestruzzo** e calcolo della spaziatura (variabile o costante per campata) dei connettori, qualora si preveda di utilizzare **Mini Connettore Calcestruzzo** quale sistema di connessione tra il solaio esistente e la nuova cappa.

## 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, quotata in *cm*.

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

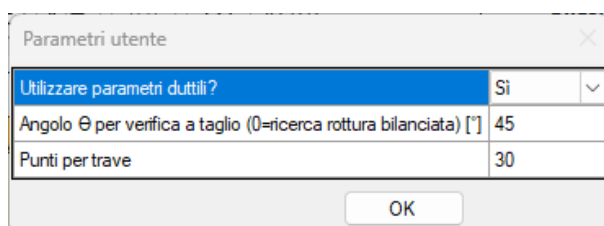
- **Nuovo** permette la creazione di un nuovo file;
- **Apri** consente l'apertura di un file esistente con estensione *.//2*;
- **Salva** consente il salvataggio del file corrente con estensione *.//2*;
- **Parametri utente** consente la modifica di alcune opzioni predefinite di calcolo;
- **Guida** apre il presente documento di guida e validazione;
- **Web** apre il sito [www.ruregold.it](http://www.ruregold.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 all'interno della schermata dedicata;
- **Copia** consente di copiare negli Appunti il disegno corrente come immagine;
- **Solo parti reagenti** mostra solo le parti reagenti della sezione (attivo solo per i solai).

I pulsanti del gruppo C consentono la scelta dell'elemento da rinforzare e l'inserimento delle informazioni necessarie al calcolo, secondo l'ordine suggerito di lavoro con il programma. In particolare, il primo pulsante in alto consente di scegliere tra Pilastro / Trave / Solaio e, in funzione della scelta operata, i menù di inserimento delle informazioni necessarie al calcolo vengono adeguati di conseguenza. Si rimanda ai paragrafi successivi per la descrizione dettagliata.

### 1.2.2. Parametri utente



Parametri utente	
Utilizzare parametri duttili?	Si
Angolo $\Theta$ per verifica a taglio (0=ricerca rottura bilanciata) [°]	45
Punti per trave	30

OK

La maschera permette di impostare le seguenti opzioni di calcolo:

- **Utilizzare parametri duttili?** permette di selezionare se eseguire la distinzione tra parametri duttili e fragili per il calcestruzzo e l'acciaio esistenti nel calcolo. Per impostazione predefinita, viene eseguita la distinzione (parametri duttili per le verifiche a flessione/pressoflessione e parametri fragili per le verifiche a taglio). Per adottare i parametri fragili per tutte le verifiche, selezionare *No* nel menù a tendina. Per ulteriore specifica, vedere il paragrafo *Materiali*;
- **Angolo  $\Theta$  per verifica a taglio** permette di specificare un angolo, in gradi, compreso fra 21.8° e 45° per la verifica a taglio degli elementi con armature trasversali resistenti al taglio (travi e pilastri/colonne). Di default è impostato a 45°. Se l'opzione è impostata a 0, il programma ricerca automaticamente la rottura bilanciata;
- **Punti per trave** (opzione valida solo per i solai) permette di scegliere in quanti punti discretizzare ogni campata di solaio analizzata (è possibile inserire un numero compreso tra 10 e 100).

### 1.2.3. Materiali

La maschera **Materiali** consente l'inserimento delle caratteristiche meccaniche di calcestruzzo e acciaio esistenti, oltre alla definizione dei Livelli di Conoscenza e corrispondenti Fattori di Confidenza. Per i solai, consente inoltre la scelta del calcestruzzo fibrorinforzato da impiegarsi per la nuova soletta e la tipologia di connessione tra **Connettore CentroStorico Chimico**, **Mini Connettore Calcestruzzo** e connessione per aderenza con il supporto esistente.

Si riportano di seguito le immagini della maschera **Materiali** nel caso dei solai e nel caso di travi/pilastri.

Solai:

**Materiali**

**Calcestruzzo**

Resistenza

fck [MPa]  Classe

Livello di Conoscenza

FC

**Acciaio da armatura**

Resistenza

fyk [MPa]  Classe

Livello di Conoscenza

FC

**Soluzioni di rinforzo**

Calcestruzzo FRC

Connessione

[Cambia parametri di default](#)

Travi e pilastri:

**Materiali**

**Calcestruzzo**

Resistenza Da relazione

fck [MPa]  Classe C20/25

Livello di Conoscenza LC2  FC

**Acciaio da armatura**

Resistenza Da relazione

fyk [MPa]  Classe FeB38k

Livello di Conoscenza LC1  FC

**Soluzioni di rinforzo**

Calcestruzzo FRC MICRO GOLD STEEL

[Cambia parametri di default](#)

Il riquadro Calcestruzzo permette l’inserimento delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo esistente, scegliendo tra le seguenti opzioni:

- **Da relazione** consente la scelta della classe resistente tra quelle proposte nel menù a tendina;
- **Da prove** consente di inserire il valore di resistenza media  $f_{cm}$  ottenuta da prove eseguite;
- **Da utente** consente l’inserimento diretto da parte dell’utente della resistenza di progetto  $f_{cd}$ .

Il riquadro Acciaio da armatura permette l’inserimento delle caratteristiche meccaniche dell’acciaio esistente, scegliendo tra le seguenti opzioni:

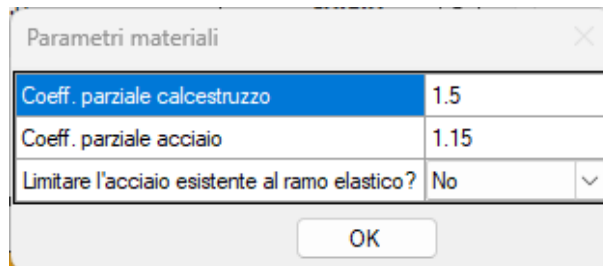
- **Da relazione** consente la scelta della classe resistente tra quelle proposte nel menù a tendina;
- **Da prove** consente di inserire il valore di resistenza media  $f_{ym}$  ottenuta da prove eseguite;
- **Da utente** consente l’inserimento diretto da parte dell’utente della resistenza di progetto  $f_{yd}$ .

Per ciascun materiale esistente, il riquadro Livello di Conoscenza permette la scelta, tramite menù a tendina, del Livello di Conoscenza raggiunto e definisce il corrispondente Fattore di Confidenza. Risulta possibile scegliere un Livello di Conoscenza “utente” e definire quindi il valore da assegnare al Fattore di Confidenza.

Infine, il riquadro Soluzioni di rinforzo, nel caso dei solai, permette la selezione del calcestruzzo fibrorinforzato da impiegare per la realizzazione della nuova soletta tra **MICRO GOLD STEEL** e **MICRO Calcestruzzo CentroStorico** e la selezione della tipologia di connessione tra **Connettore CentroStorico Chimico**, **Mini Connettore Calcestruzzo** e connessione per aderenza con il supporto esistente. Nel caso di travi e pilastri, invece, il riquadro Soluzioni di rinforzo, indica il prodotto **MICRO GOLD STEEL** da utilizzarsi per il ringrosso della sezione esistente.

L'opzione **Cambia parametri di default** consente la modifica dei coefficienti parziali per i materiali esistenti e, solo per i solai, la possibilità di scelta di limitare l'acciaio esistente al ramo elastico.

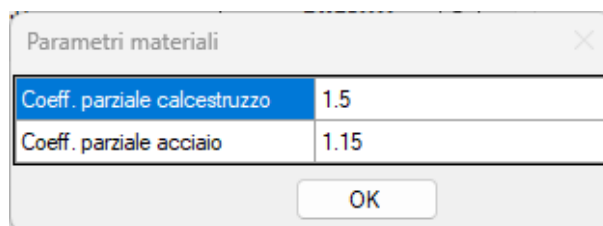
Solai:



Parametri materiali	
Coeff. parziale calcestruzzo	1.5
Coeff. parziale acciaio	1.15
Limitare l'acciaio esistente al ramo elastico?	No

OK

Travi e pilastri:

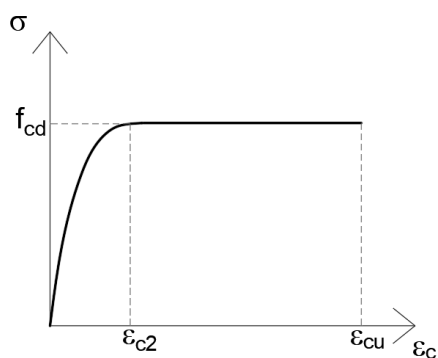


Parametri materiali	
Coeff. parziale calcestruzzo	1.5
Coeff. parziale acciaio	1.15

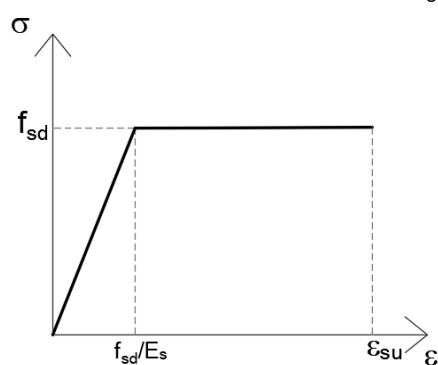
OK

I legami costitutivi implementati all'interno del software sono i seguenti:

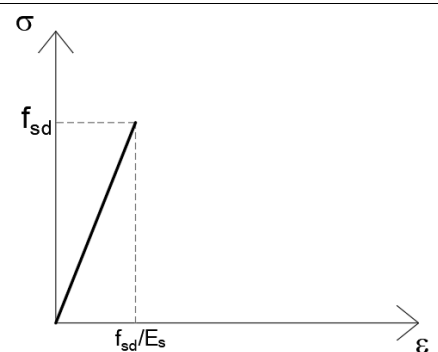
Calcestruzzo e acciaio esistenti:



Legame costitutivo del materiale calcestruzzo esistente

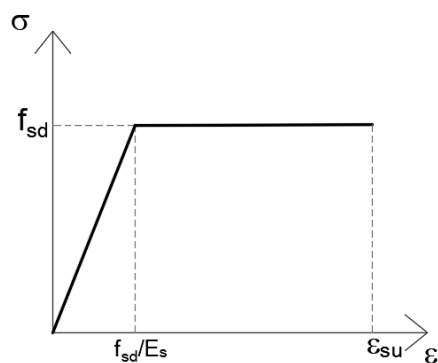


Legame costitutivo dell'acciaio esistente se non è stato limitato al ramo elastico

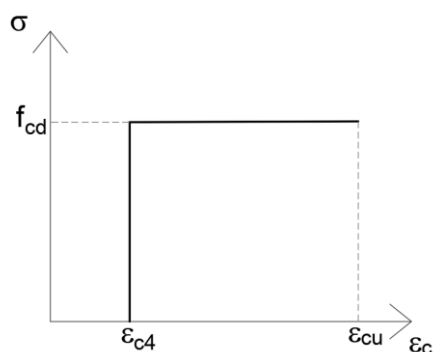


Legame costitutivo dell'acciaio esistente se è stato limitato al ramo elastico (funzione presente solo nel caso dei solai)

Acciaio B450C delle nuove armature integrative:



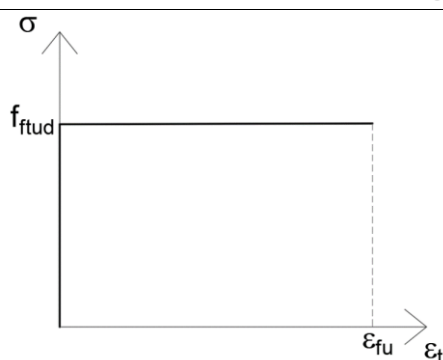
Legame costitutivo del materiale acciaio B450C

MICRO GOLD STEEL (C80/95):

Legame costitutivo in compressione del materiale calcestruzzo fibrorinforzato

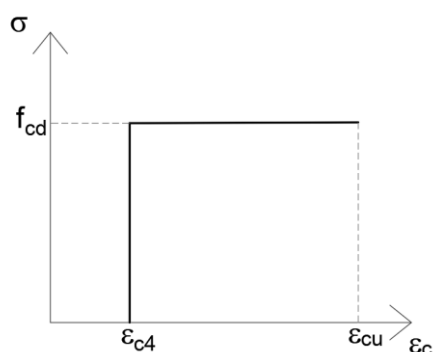
$$\varepsilon_{c4} = 0.52 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cu} = 2.60 \text{ ‰}$$



Legame costitutivo in trazione del materiale calcestruzzo fibrorinforzato

$$\varepsilon_{fu} = 20.00 \text{ ‰}$$

MICRO Calcestruzzo CentroStorico (C55/67):

Legame costitutivo in compressione del materiale calcestruzzo fibrorinforzato

$$\varepsilon_{c4} = 0.63 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cu} = 3.13 \text{ ‰}$$

Le deformazioni in compressione sopra riportate sono valutate in accordo al paragrafo §4.1.2.1.2.1 delle NTC2018 in funzione della classe di resistenza in compressione dei calcestruzzi fibrorinforzati. Sono inoltre implementati i coefficienti  $\eta$  e  $\lambda$  secondo il paragrafo §3.1.6(3) della UNI EN 1992-1-1. Il limite deformativo in trazione di **MICRO GOLD STEEL** risulta pari a  $\varepsilon_{fu} = 20.00 \text{ ‰}$ , ovvero la massima deformazione di trazione indicata al paragrafo §4.1.1 del CNR DT 204/2006 nel caso di legame costitutivo di tipo degradante.

In accordo alla *Linea guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC del CSLPP*, paragrafo §2.3.2, il fabbricante può far verificare e, in caso positivo, far certificare il comportamento incrudente attraverso l'esecuzione di apposite prove di trazione solo per materiali con resistenza nominale a flessione in fase fessurata  $f_{R1k}$  maggiore di 8 MPa e classe di resistenza residua "d" o "e" (ovvero classe di tenacità superiore a 8d). Poiché **MICRO GOLD STEEL** appartiene ad una classe di tenacità 7d, risulta non possibile certificare un comportamento di tipo incrudente e dunque viene utilizzato il limite deformativo massimo sopra indicato per legame costitutivo di tipo degradante.

La resistenza di progetto a trazione  $f_{ftud}$  di **MICRO GOLD STEEL** si ottiene con la seguente formula:

$$f_{ftud} = \frac{f_{R3,k}}{3 \cdot \gamma_m} = \frac{7.8 \text{ MPa}}{3 \cdot 1.5} = 1.73 \text{ MPa}$$

Viene trascurata la resistenza a trazione offerta da **MICRO Calcestruzzo CentroStorico**.

Le resistenze di progetto dei materiali esistenti sono determinate come da tabella seguente:

	<b>COMPORTAMENTO FRAGILE</b>	<b>COMPORTAMENTO DUTTILE</b>
<b>MATERIALE DA RELAZIONE</b>	$f_{cd} = \frac{0.85f_{ck}}{\gamma_c FC}$	$f_{cd} = \frac{0.85f_{ck}}{FC}$
<b>MATERIALE DA PROVE</b>	$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{\gamma_c FC}$	$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{FC}$
<b>RESISTENZA DA UTENTE</b>	\	\

Premere **Applica** per memorizzare le scelte operate.

### 1.2.4. Geometria

La maschera **Geometria** risulta differenziata in funzione della tipologia di elemento da rinforzare. Si analizza quindi nel seguito il format di tale maschera distinguendo tra solai, travi e pilastri.

#### Solai:

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

The screenshot shows the 'Geometria' window with the following components:

- Table 1: Dimensions**

Parametro	Valore	Unità
Spessore nuova soletta	2	cm
Spessore caldana esistente	4	cm
Base travetto	12	cm
Altezza travetto	20	cm
Interasse travetti	50	cm
- Schema statico del solaio**
  - Numero campate:** 1 (with up/down arrows)
  - Table 2: Span Data**

n.	Luce [cm]
1	500
  - Grado di rigidità agli estremi** (ql²/):
    - Sinistra: Rigidità nulla (dropdown), 0.0 (input)
    - Destra: Rigidità nulla (dropdown), 0.0 (input)
- Applica** button

Nello specifico, i parametri da inserire sono:

- lo spessore della nuova soletta in calcestruzzo fibrorinforzato;
- lo spessore della caldana esistente (se presente);
- la base del travetto esistente;
- l'altezza del travetto esistente;
- l'interasse dei travetti esistenti.

Il riquadro Schema statico del solaio contiene le impostazioni sul numero e sulla luce  $L$  delle campate di solaio e il grado di rigidità da adottare agli estremi sinistro e destro.

Risulta possibile modellare solai aventi al più quattro campate; il numero di campate viene definito sfruttando l'apposito menù mentre l'inserimento della luce di ogni campata in *cm* avviene da tastiera nell'apposita tabella.

Le opzioni per la rigidità agli estremi sono:

- Rigidità nulla (momento applicato all'estremo pari a 0);
- Rigidità molto bassa (momento applicato all'estremo considerato pari a  $-qL^2/48$ , con  $q$  carico a metro lineare in combinazione allo Stato Limite Ultimo e  $L$  luce della campata a cui si applica il vincolo);
- Rigidità bassa (momento applicato all'estremo considerato pari a  $-qL^2/36$ , con  $q$  carico a metro lineare in combinazione allo Stato Limite Ultimo e  $L$  luce della campata a cui si applica il vincolo);
- Rigidità a semi-incastro (momento applicato all'estremo considerato pari a  $-qL^2/24$ , con  $q$  carico a metro lineare in combinazione allo Stato Limite Ultimo e  $L$  luce della campata a cui si applica il vincolo);
- Rigidità a incastro (momento applicato all'estremo considerato pari a  $-qL^2/12$ , con  $q$  carico a metro lineare in combinazione allo Stato Limite Ultimo e  $L$  luce della campata a cui si applica il vincolo)\*;
- Estremo libero;
- Rigidità utente (consente di definire da utente il denominatore  $X$  del momento da applicare all'estremo considerato pari a  $-qL^2/X$ , con  $q$  carico a metro lineare in combinazione allo Stato Limite Ultimo e  $L$  luce della campata a cui si applica il vincolo).

\*Solo nel caso di solaio a singola campata, con selezione di un "estremo libero" ad un estremo, all'altro estremo risulta necessario selezionare "rigidità ad incastro" e viene applicato un momento di  $-qL^2/2$ , al fine di assicurare l'isostaticità della struttura.

Premere **Applica** per memorizzare le scelte operate.

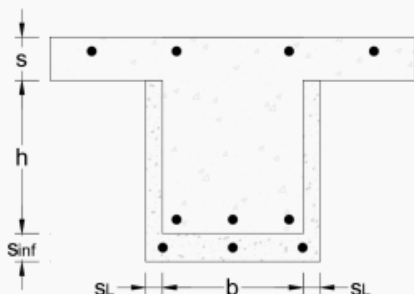
Travi:

La maschera consente la selezione della tipologia di sezione tra rettangolare e a T e di conseguenza l'inserimento della geometria della trave esistente e gli spessori di ringrosso previsti mediante **MICRO GOLD STEEL**.

**Trave**

Sezione A T

Spessore soletta	10	cm
Base trave	12	cm
Altezza trave	20	cm
Base superiore trave	50	cm
Spessore ringrosso inferiore	4	cm
Spessore ringrosso laterale	4	cm

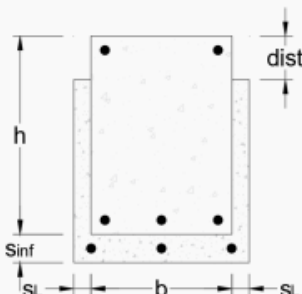


**Applica**

**Trave**

Sezione Rettangolare

Base	30	cm
Altezza	40	cm
Spessore ringrosso inferiore	4	cm
Spessore ringrosso laterale	4	cm
Distanza da lembo superiore	0	cm



**Applica**

Nel caso di sezione a T, i parametri da inserire sono:

- lo spessore della soletta  $s$ ;
- la base della trave  $b$ ;
- l'altezza della trave  $h$  (come raffigurato nell'immagine che appare sotto alla tabella di inserimento dati, si intende l'altezza al netto dello spessore della soletta/ala superiore);
- la base superiore della trave;
- lo spessore del ringrosso inferiore  $s_{inf}$ ;
- lo spessore del ringrosso laterale  $s_L$ .

Nel caso di sezione rettangolare, i parametri da inserire sono:

- la base della trave  $b$ ;
- l'altezza della trave  $h$ ;
- lo spessore del ringrosso inferiore  $s_{inf}$ ;
- lo spessore del ringrosso laterale  $s_L$ ;
- la distanza  $dist$  del ringrosso dal lembo superiore della trave.

Premere **Applica** per memorizzare le scelte operate.

Pilastri:

La maschera consente la selezione della tipologia di sezione tra rettangolare e circolare e di conseguenza l'inserimento della geometria del pilastro esistente e gli spessori di ringrosso previsti mediante **MICRO GOLD STEEL**.

**Pilastro**

Sezione Rettangolare

Base	30	cm
Altezza	40	cm
Spessore ringrosso inf./sup.	4	cm
Spessore ringrosso laterale	4	cm

**Applica**

**Pilastro**

Sezione Circolare

Diametro esterno	30	cm
Diametro del foro	0	cm
Spessore ringrosso	4	cm

**Applica**

Nel caso di sezione rettangolare, i parametri da inserire sono:

- la base della sezione del pilastro  $b$ ;
- l'altezza della sezione del pilastro  $h$ ;
- lo spessore del ringrosso inferiore e superiore  $S_{inf} = S_{sup}$ ;
- lo spessore del ringrosso laterale  $S_L$ .

Nel caso di sezione circolare, i parametri da inserire sono:

- il diametro esterno  $D_e$ ;
- il diametro del foro  $D_i$  (se non presente inserire 0);
- lo spessore del ringrosso  $s$ .

Premere **Applica** per memorizzare le scelte operate.

### 1.2.5. Armature

La maschera **Armature** risulta differenziata in funzione della tipologia di elemento da rinforzare. Si analizza quindi nel seguito il format di tale maschera distinguendo tra solai, travi e pilastri.

Solai:

La maschera consente l'inserimento delle armature, esistenti e nuove (se previste), per ogni campata.

Armatura	Area [cm²]			d
campata 1	sx	centro	dx	[cm]
Nuova		0		2
Sup. esistente		0		2
Inf. esistente		0		2
Estensione [cm]				
Zona piena [cm]	0		0	

Risulta necessario selezionare dapprima il numero della campata per la quale si devono inserire le armature mediante il menù **Campata n.**. La scelta consente di far apparire la tabella di input relativa alla campata in esame.

L'opzione **Armatura diversa agli appoggi** permette di definire armature differenti tra la zona in campata (**centro**) e la zona agli appoggi (**sx** e **dx**) e di specificare l'**Estensione** dagli estremi, in *cm*, delle zone con armatura differente:

Armatura	Area [cm²]			d
campata 1	sx	centro	dx	[cm]
Nuova	0	0	0	2
Sup. esistente	0	0	0	2
Inf. esistente	0	0	0	2
Estensione [cm]	0		0	
Zona piena [cm]	0		0	

Per ciascuna casella compilabile, è possibile inserire l'area in  $\text{cm}^2$  di armatura:

- **Nuova** per l'armatura eventualmente prevista in soletta;
- **Sup. esistente** per l'armatura superiore del travetto esistente (se presente);
- **Inf. esistente** per l'armatura inferiore del travetto esistente.

Per inserire le armature è possibile utilizzare i comandi del riquadro Barre, scegliendo numero e diametro dei ferri e premendo **Inserisci**. Il valore presente nella casella **Area** verrà inserito nella cella selezionata. Il comando è valido solo per le celle attive e che possono contenere aree di armature.

La riga **Zona piena** permette di specificare l'estensione dell'eventuale fascia piena (es. trave di appoggio del solaio) in calcestruzzo presente alle estremità della campata considerata. Quest'opzione influenza la resistenza a taglio del tratto in cui è presente la zona piena poiché influisce sul valore di  $b_w$  utilizzato nella formula di resistenza a taglio per elementi sprovvisti di specifica armatura a taglio e la resistenza a flessione poiché modifica la sezione resistente di calcestruzzo. Viene trascurato l'incremento di peso determinato dalla zona piena.

L'ultima colonna **d** indica il copriferro, definito come in figura nella maschera, per ogni livello di armatura.

Infine, il menu **Plot** permette di vedere le armature nel disegno della sezione, selezionando la porzione appropriata.

Premere **Applica** per memorizzare le scelte operate, al termine dell'inserimento delle informazioni per la singola campata considerata prima di passare alla campata successiva.

**L'iter descritto deve essere ripetuto per tutte le campate del solaio in esame.**

Travi:

La maschera consente l'inserimento delle armature, esistenti e nuove (se previste) e si aggiorna in automatico in funzione della scelta eseguita in geometria tra trave con sezione a T (immagine a sinistra) e trave con sezione rettangolare (immagine a destra).

The image shows two identical software interfaces side-by-side, titled 'Armature trave'. Each interface contains the following fields:

- Armatura esistente intradosso:** Number of bars (n.) and diameter (φ) in mm, each with a spinner and a dropdown menu.
- Armatura esistente estradosso:** Number of bars (n.) and diameter (φ) in mm, each with a spinner and a dropdown menu.
- Armatura estradosso ali:** Number of bars (n.) and diameter (φ) in mm, each with a spinner and a dropdown menu.
- Copriferro [cm]:** A spinner for the cover value.
- Nuova armatura intradosso:** Number of bars (n.) and diameter (φ) in mm, each with a spinner and a dropdown menu.
- Copriferro [cm]:** A spinner for the cover value.
- Braccia staffe esistenti:** A spinner for the number of stirrup legs.
- φ staffe esistenti [mm]:** A dropdown menu for the diameter of existing stirrups.
- Passo staffe esist. [cm]:** A spinner for the spacing of existing stirrups.
- Applica:** A button to apply the changes.

Nel caso di sezione a T, i parametri da inserire sono:

- l'armatura esistente all'intradosso della trave;
- l'armatura esistente all'estradosso della trave (nella zona dell'anima);
- l'armatura esistente all'estradosso delle ali;
- il copriferro, misurato dall'estremo della sezione esistente al baricentro delle armature longitudinali (il valore di copriferro inseribile è unico, pertanto, la misurazione è equivalente se eseguita dall'estremo superiore o dall'estremo inferiore della sezione);
- l'eventuale nuova armatura da inserire all'interno del ringrosso in calcestruzzo fibrorinforzato all'intradosso e il relativo copriferro, misurato dall'estremo intradossale della sezione ringrossata al baricentro dell'armatura nuova;
- il numero di braccia, il diametro e il passo delle staffe esistenti.

Nel caso di sezione rettangolare, i parametri da inserire sono:

- l'armatura esistente all'intradosso della trave;
- l'armatura esistente all'estradosso della trave;
- il copriferro, misurato dall'estremo della sezione esistente al baricentro delle armature longitudinali (il valore di copriferro inseribile è unico, pertanto, la misurazione è equivalente se eseguita dall'estremo superiore o dall'estremo inferiore della sezione);
- l'eventuale nuova armatura da inserire all'interno del ringrosso in calcestruzzo fibrorinforzato all'intradosso e il relativo copriferro, misurato dall'estremo intradossale della sezione ringrossata al baricentro dell'armatura nuova;
- il numero di braccia, il diametro e il passo delle staffe esistenti.

Per inserire le armature, è necessario selezionare il numero e il diametro dei ferri, sfruttando gli appositi menù, con la possibilità di scegliere, per le armature intradossali ed estradossali, anche una combinazione di ferri di diametro differente.

Premere **Applica** per memorizzare le scelte operate. Dopo aver premuto tale tasto, le armature longitudinali vengono disegnate nella sezione. Il disegno delle armature longitudinali rispetta il numero totale di barre inserite; **si specifica che, qualora siano state selezionate armature di diametro differente all'interno dello stesso layer, il software disegna le armature con cerchi della stessa dimensione**, pari ad un diametro equivalente fittizio che determina la medesima area totale in  $\text{cm}^2$  di armatura inserita.

Pilastri:

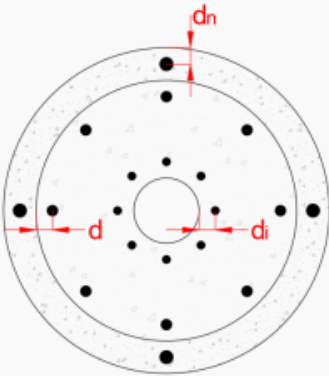
La maschera consente l'inserimento delle armature, esistenti e nuove (se previste) e si aggiorna in automatico in funzione della scelta eseguita in geometria tra sezione rettangolare - pilastro (immagine a sinistra) e sezione circolare - colonna (immagine a destra).

### Armature pilastro

	n.	$\phi$ [mm]	d [cm]
Armatura esistente lungo b	2	5	2.0
Armatura esistente lungo h	2		
Braccia staffe esistenti	verticali 2		
	orizzontali 2		
$\phi$ staffe esist. [mm]	5	Passo [cm]	33.0
Nuova armatura lungo b	0	5	2.0
Nuova armatura lungo h	0		2.0

[Istruzioni posizionamento arm.](#) Applica

### Armature colonna



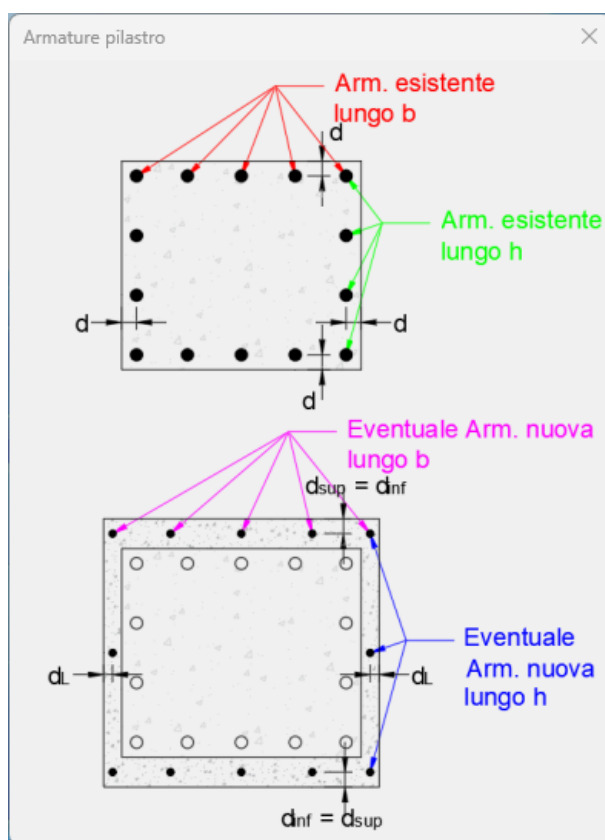
	n.	$\phi$ [mm]	d [cm]
Armatura esistente	0	5	2.0
Armatura esistente interna	0	6	2.0
Nuova armatura	0	5	2.0
$\phi$ staffe esistenti [mm]	5	Passo staffe esist. [cm]	20.0

Applica

Nel caso di sezione rettangolare (pilastro), i parametri da inserire sono:

- l'armatura esistente lungo b;
- l'armatura esistente lungo h;
- il copriferro, misurato dall'estremo della sezione esistente al baricentro delle armature longitudinali (unico per le armature lungo b e lungo h);
- il numero di braccia verticali e orizzontali, il diametro e il passo delle staffe esistenti;
- l'eventuale nuova armatura da inserire all'interno del ringrosso in calcestruzzo fibrorinforzato lungo b e lungo h. Qualora si preveda l'inserimento di armatura all'interno del ringrosso il numero minimo di armatura è pari a due barre lungo b e due barre lungo h (ovvero quattro armature angolari), un apposito alert ricorda questo aspetto;
- il copriferro della nuova armatura lungo b e della nuova armatura lungo h, misurato dall'estremo della sezione ringrossata al baricentro dell'armatura nuova.

La funzione **Istruzioni posizionamento arm.** apre una finestra che illustra la modalità di inserimento delle armature all'interno del pilastro esistente e, se previste, nel ringrosso in **MICRO GOLD STEEL**.



Si specifica che le armature devono essere inserite considerando il totale delle armature presenti lungo i lati orizzontale b e verticale h rispettivamente, incluse le armature presenti negli angoli. Il software riconosce in automatico che due barre lungo b e due barre lungo h inserite rappresentano gli elementi d'angolo.

Nel caso di sezione circolare (colonna), i parametri da inserire sono:

- l'armatura esistente (nel layer esterno);
- l'armatura esistente interna (se presente). Tale funzionalità appare solo nel caso di colonna con foro;
- il copriferro, misurato, nel caso dell'armatura esistente, dal lembo esterno della sezione esistente al baricentro delle armature (simbolo d nell'immagine) e, nel caso dell'armatura interna, dal bordo del foro al baricentro dell'armatura interna (simbolo  $d_i$  nell'immagine);
- il diametro e il passo delle staffe esistenti;
- l'eventuale nuova armatura da inserire all'interno del ringrosso in calcestruzzo fibrorinforzato e il relativo copriferro (simbolo  $d_n$  nell'immagine), misurato dall'estremo della sezione ringrossata al baricentro dell'armatura nuova.

Per inserire le armature, è necessario scegliere il numero e il diametro dei ferri, sfruttando gli appositi menù.

Premere **Applica** per memorizzare le scelte operate. Dopo aver premuto tale tasto, le armature longitudinali vengono disegnate nella sezione.

### 1.2.6. Carichi

La maschera **Carichi** risulta differenziata in funzione della tipologia di elemento da rinforzare. Si analizza quindi nel seguito il format di tale maschera distinguendo tra solai, travi e pilastri.

#### Solai:

Nella maschera sono definiti tutti i carichi agenti sul solaio:

Parametro	Valore	Unità
Peso proprio solaio esistente	3.11	kN/m <sup>2</sup>
Nuova soletta collaborante	0.69	kN/m <sup>2</sup>
Massetto	Lecamix Facile	10 kN/m <sup>3</sup>
spessore [cm]	5.0	0.50 kN/m <sup>2</sup>
Sottofondo	Non presente	0 kN/m <sup>3</sup>
spessore [cm]	0.0	0.00 kN/m <sup>2</sup>
Altri permanenti	0.19	kN/m <sup>2</sup>
Variabili	A - Ambienti ad uso residenziale	2.00 kN/m <sup>2</sup>
Carico in comb. SLU su singolo travetto	4.44	kN/m

[Cambia parametri di default](#) **Applica**

Nello specifico, sono presenti le seguenti informazioni:

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

Risulta possibile agire sui carichi permanenti non strutturali e variabili, come segue:

- **Massetto**, che permette la selezione di uno dei massetti Leca o Gras Calce e l'inserimento dello spessore previsto; se non previsto selezionare "Non presente";
- **Sottofondo**, che permette la selezione di uno dei sottofondi Leca 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.

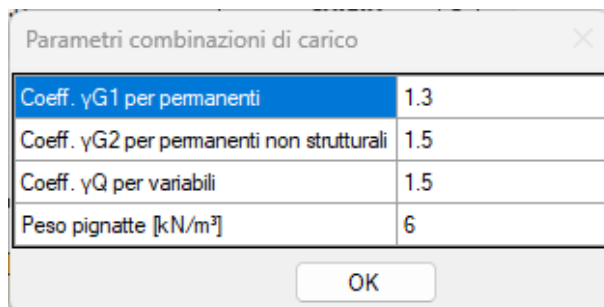
Il carico sul singolo travetto in combinazione SLU viene aggiornato premendo il pulsante **Applica**.

La combinazione di carico SLU viene valutata come segue:

$$q = i_{tr} \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{solaio} + P_{soletta} + P_{massetto} + P_{sottofondo}) + \gamma_{G2} \cdot P_{altri} + \gamma_Q \cdot Q_{var}]$$

con  $i_{tr}$  l'interasse dei travetti,  $P_{solaio}$  il peso del solaio esistente,  $P_{soletta}$  il peso della nuova soletta in calcestruzzo fibrorinforzato,  $P_{massetto}$  il peso del massetto (se presente),  $P_{sottofondo}$  il peso del sottofondo (se presente),  $P_{altri}$  il peso degli altri carichi permanenti e  $Q_{var}$  il peso dei carichi variabili.

L'opzione **Cambia parametri di default** consente la definizione dei coefficienti di combinazione per carichi permanenti, permanenti non strutturali e variabili, oltre che l'impostazione del peso delle pignatte.



Parametri combinazioni di carico	
Coeff. $\gamma_{G1}$ per permanenti	1.3
Coeff. $\gamma_{G2}$ per permanenti non strutturali	1.5
Coeff. $\gamma_Q$ per variabili	1.5
Peso pignatte [kN/m²]	6

OK

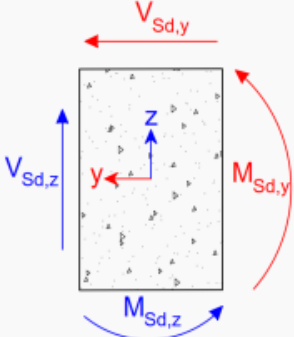
Travi:

La maschera consente l'inserimento delle sollecitazioni agenti nella sezione di verifica e nello specifico:

- il momento sollecitante  $M_{sd,y}$  in  $kNm$  da inserire con segno positivo, coerentemente con la convenzione indicata nell'immagine;
- il taglio sollecitante  $V_{sd,z}$  in  $kN$ .

Carichi in sezione

Nsd [kN]	0.0	N positivo se di compressione
Msd,y [kNm]	0.0	
Msd,z [kNm]	0.0	
Vsd,y [kN]	0.0	
Vsd,z [kN]	0.0	



Applica

Premere **Applica** per memorizzare le scelte operate.

Pilastri:

La maschera consente l'inserimento delle sollecitazioni agenti nella sezione di verifica e nello specifico:

- l'azione assiale sollecitante  $N_{sd}$  in  $kN$ , positiva se di compressione;
- il momento sollecitante  $M_{sd,y}$  in  $kNm$ ;
- il momento sollecitante  $M_{sd,z}$  in  $kNm$ ;
- il taglio sollecitante  $V_{sd,y}$  in  $kN$ ;
- il taglio sollecitante  $V_{sd,z}$  in  $kN$ .

Si consiglia di fare riferimento all'immagine sulla nomenclatura inserita nella maschera per assicurare il corretto inserimento dei dati. **Inserire inoltre i momenti e tagli sollecitanti in valore assoluto.**

Carichi in sezione

$N_{sd}$  [kN]  N positivo se di compressione

$M_{sd,y}$  [kNm]

$M_{sd,z}$  [kNm]

$V_{sd,y}$  [kN]

$V_{sd,z}$  [kN]

Applica

Premere **Applica** per memorizzare le scelte operate.

### 1.2.7. Verifica

La maschera **Verifica** risulta differenziata in funzione della tipologia di elemento da rinforzare. Si analizza quindi nel seguito il format di tale maschera distinguendo tra solai, travi e pilastri.

#### Solai:

La maschera mostra, per il punto in cui la verifica risulta più gravosa:

- le sollecitazioni flettenti e taglianti derivanti dallo schema statico impostato;
- le corrispondenti resistenze flessionali (a momento positivo e a momento negativo);
- il taglio resistente;
- la tensione tangenziale all'interfaccia tra solaio esistente e nuova soletta, confrontandola con il valore di resistenza di progetto di **Connettore CentroStorico Chimico**, pari a 0.72 MPa, qualora nella maschera Materiali sia stato selezionato tale connettore;
- l'azione tagliente all'interfaccia tra solaio esistente e nuova soletta  $\tau_{sd}b$ , confrontandola con la resistenza dell'aderenza allo scorrimento  $v_{rdi}L$  qualora nella maschera Materiali sia stata selezionata la posa in aderenza al supporto esistente.

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

Risultati			
Risultati del calcolo			
Msd+	9.78	kNm	verificato
Mrd+	9.79	kNm	
Msd-	-8.88	kNm	verificato
Mrd-	-13.57	kNm	
Vsd	12.87	kN	verificato
Vrd	15.87	kN	
$\tau_{sd}$	0.12	MPa	verificato
$\tau_{rd}$	0.72	MPa	
<b>Calcola</b>		Diagrammi M, V	

Risultati			
Risultati del calcolo			
Msd+	9.78	kNm	verificato
Mrd+	9.79	kNm	
Msd-	-8.88	kNm	verificato
Mrd-	-13.57	kNm	
Vsd	12.87	kN	verificato
Vrd	15.87	kN	
$\tau_{sd} \cdot b$	59.85	N/mm	verificato
$v_{rdi} \cdot L$	173.61	N/mm	
<b>Calcola</b>		Diagrammi M, V	

Il pulsante **Tabella connettori** consente di visualizzare la tabella contenente il numero e la spaziatura variabile di **Mini Connettore Calcestruzzo**, qualora nella maschera Materiali sia stato selezionato tale connettore.

Risultati

Risultati del calcolo

Msd+
4.05
kNm

Mrd+
4.55
kNm

Msd-
0.00
kNm

Mrd-
-3.34
kNm

Vsd
4.05
kN

Vrd
8.40
kN

verificato

verificato

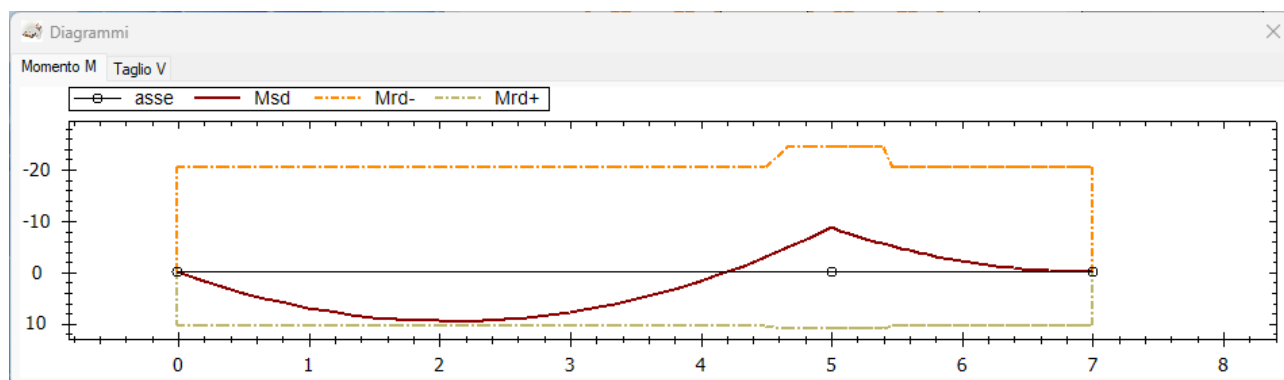
Calcola

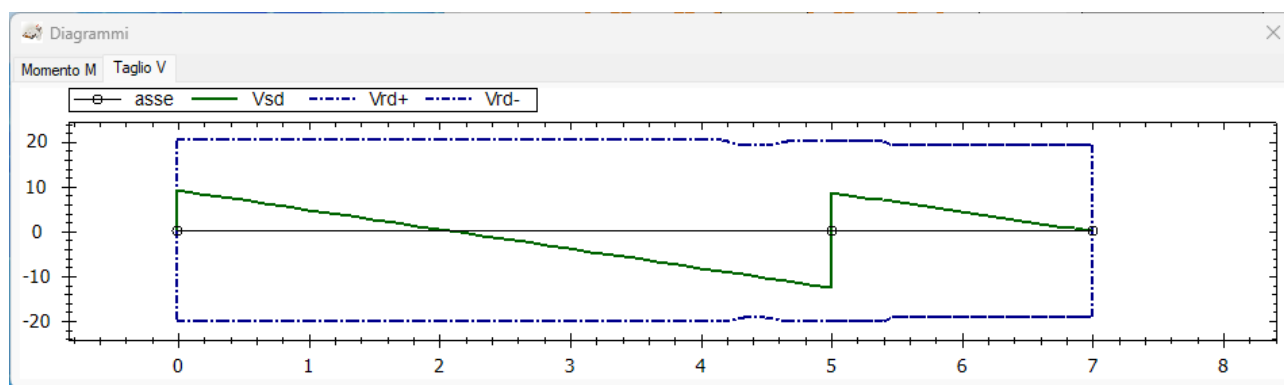
Diagrammi M, V

Tabella connettori

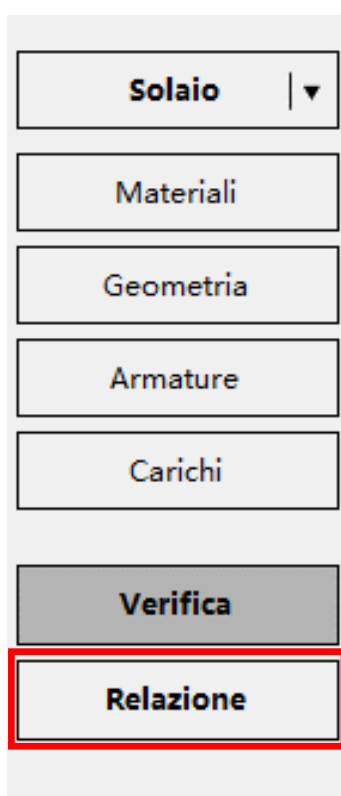
SPAZIATURA VARIABILE			
Campata 1			
	L/4	L/2	L/4
Lunghezza [cm]	100.0	200.0	100.0
N° conn. [-]	5	4	5
Spaziatura [cm]	20.0	50.0	20.0
N° conn. a m²	13.0		
N° conn. tot [-]	14		
	-		

Il pulsante **Diagrammi M, V** consente di visualizzare i diagrammi sollecitanti e resistenti del solaio analizzato.





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



Travi:

La maschera mostra le sollecitazioni flettenti e taglianti inserite e le corrispondenti resistenze flessionali e taglianti.

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

Risultati sezione

Risultati del calcolo

Msdy	24.0	kNm	verificato
Mrdy	58.6	kNm	
Vsdz	66.0	kN	verificato
Vrdz	71.4	kN	

Calcola

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

Pilastri:

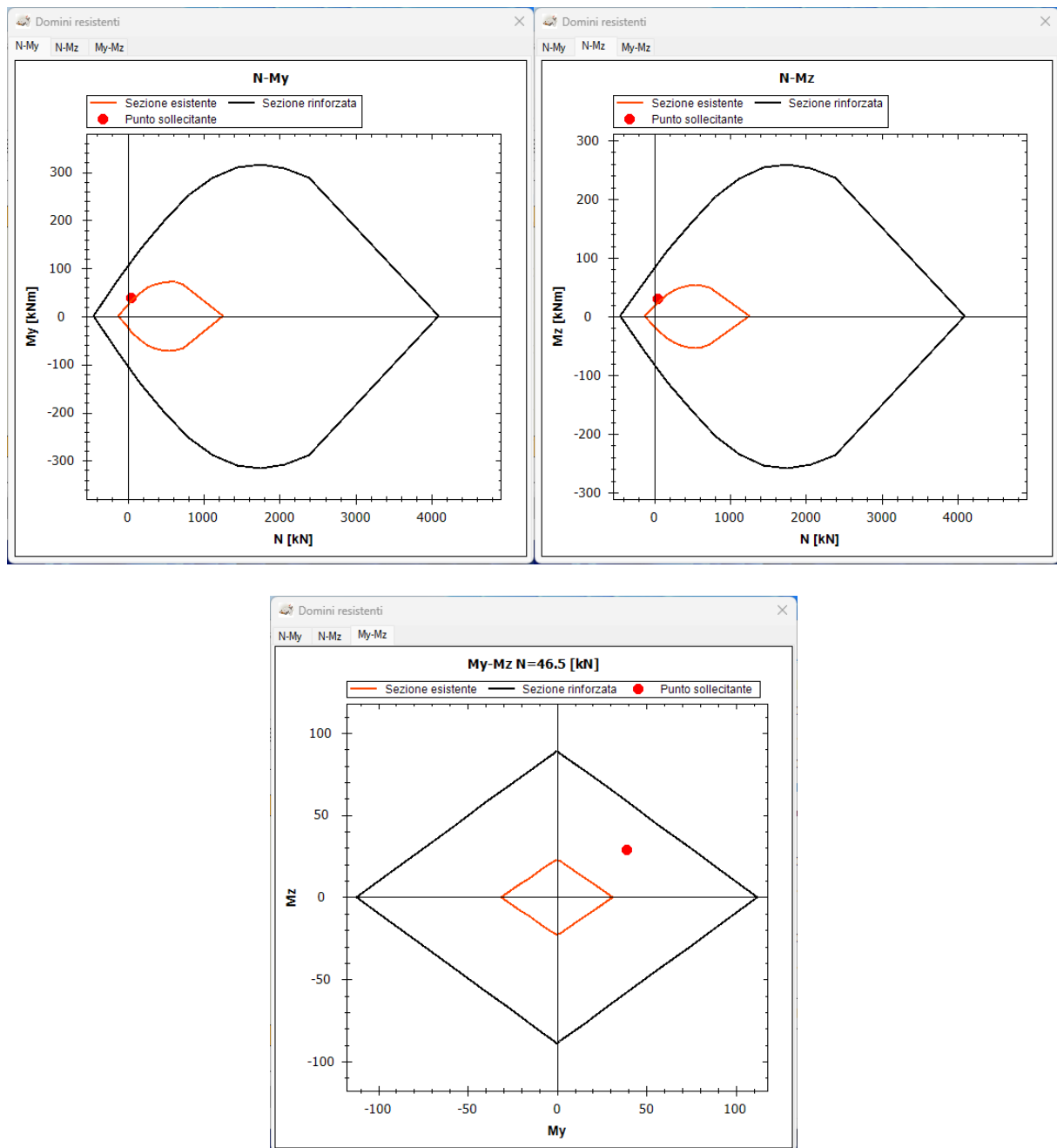
La maschera mostra le sollecitazioni flettenti e taglianti inserite e le corrispondenti resistenze flessionali e taglianti e il risultato della verifica a pressoflessione deviata in accordo alla formula 4.1.19 delle NTC2018.

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

Risultati sezione			
Risultati del calcolo			
Msdy	39.0	kNm	verificato
Mrdy	112.1	kNm	
Msdz	29.0	kNm	verificato
Mrdz	89.1	kNm	
Pressoflessione deviata	0.67		verificato ?
Vsdz	21.0	kN	verificato
Vrdz	173.9	kN	
Vsdy	27.0	kN	verificato
Vrdy	170.9	kN	

**Calcola** Domini

Il pulsante **Domini** consente di visualizzare i domini di interazione  $NM_y$ ,  $NM_z$  e  $M_yM_z$ .



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 1992-1-1:2015 “Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”**
- **CNR – DT 204/2006: “Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato”** – indicati come documenti di comprovata validità secondo Cap. 12 NTC 2018.
- **UNI EN 1992-4:2018 “Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 4: Progettazione degli attacchi per utilizzo nel calcestruzzo”**

### 2.2. Calcolo della resistenza a flessione/pressoflessione SLU

Il calcolo delle sezioni avviene attraverso una procedura numerica di ricerca dell’asse neutro plastico, 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. Dallo stesso materiale vengono assunti i valori di  $FC$  (Fattore di Confidenza) e  $\gamma_m$  del materiale, oltre alle deformazioni e alle resistenze. Si rimanda alla guida d’uso per legami costitutivi assunti in fase di calcolo;
- vengono calcolate le proprietà geometriche di ogni parte di sezione e viene ricavato il baricentro;
- la sezione viene quindi analizzata traslando l’asse neutro plastico lungo l’altezza e verificando l’equilibrio fra trazione e compressione. Per il calcolo allo SLU viene imposta la deformazione ultima compatibile con materiale, geometria ed armatura e calcolato il piano rappresentante la deformazione congruente in tutti i punti della sezione;
- la ricerca avviene con il metodo di bisezione e, alla convergenza del metodo, vengono forniti i momenti resistenti, la deformazione massima del calcestruzzo e le deformazioni dell’acciaio.

Si rimanda alla sezione dedicata alla verifica a scorrimento per la specifica del calcolo della sezione in campo elastico e della valutazione delle proprietà geometriche.

Nel caso di pilastri e colonne, viene inoltre eseguita la verifica a pressoflessione deviata in accordo alla formula 4.1.19 delle NTC2018:

$$\left(\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{Sd,z}}{M_{Rd,z}}\right)^{\alpha} \leq 1$$

dove  $M_{Sd,y}$  e  $M_{Sd,z}$  sono i valori di progetto delle due componenti di flessione retta della sollecitazione attorno agli assi y e z,  $M_{Rd,y}$  e  $M_{Rd,z}$  sono i valori di progetto dei momenti resistenti di pressoflessione retta corrispondenti a  $N_{Sd}$  valutati separatamente attorno agli assi y e z.

Il valore di  $\alpha$  è posto pari a 2 per sezioni circolari ed è valutato, mediante interpolazione lineare e senza estrapolazione (ovvero vengono utilizzati i valori estremi di  $\alpha$  se il rapporto  $N_{Sd}/N_{Rcd}$  risulta inferiore a 0.1 o superiore a 1.0), in funzione del rapporto  $N_{Sd}/N_{Rcd}$ , secondo la seguente tabella:

$N_{Sd}/N_{Rcd}$	0.1	0.7	1.0
$\alpha$	1.0	1.5	2.0

Il valore di  $N_{Rcd}$ , nel post-intervento, viene valutato come segue:

$$N_{Rcd} = A_c f_{cd} + A_{frc} f_{cd,frc}$$

### 2.3. Calcolo della resistenza a taglio allo SLU

La resistenza a taglio viene calcolata con le relazioni di seguito illustrate, distinte per elementi sprovvisti di specifica armatura a taglio (solai) e per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (travi e pilastri).

Solai:

Per elementi sprovvisti di specifica armatura a taglio (in accordo al paragrafo §4.1.2.3.5.1 delle *Norme tecniche per le costruzioni*) secondo la relazione seguente:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ \frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0.15 \sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds; (v_{min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w \cdot ds \right\}$$

con:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{ds}} \leq 2$$

$$v_{min} = 0.035 k^{1.5} f_{ck}^{0.5}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot ds} \leq 0.02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

e  $ds$  altezza utile della sezione,  $A_{sl}$  area dell'armatura longitudinale tesa,  $b_w$  base minima della sezione reagente.

Nello specifico, in funzione della scelta delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo esistente tra “**Da relazione**”, “**Da prove**” e “**Da utente**”, il software sostituisce al termine  $f_{ck}$  indicato nelle formule precedenti le seguenti formulazioni:

- Da relazione:  $f_{ck}/FC$ ;
- Da prove:  $f_{cm}/FC$ ;
- Da utente:  $f_{cd}$ .

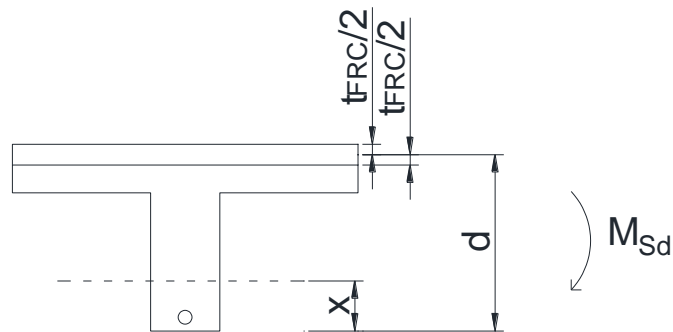
con FC Fattore di Confidenza.

Nel caso in cui  $f_{ck,FRC} < f_{ck,cls esistente}/FC$  o  $f_{ck,FRC} < f_{cm,cls esistente}/FC$  o  $f_{ck,FRC} < f_{cd,cls esistente}$  in funzione della scelta eseguita sul calcestruzzo esistente, viene assunta la resistenza del calcestruzzo fibrorinforzato  $f_{ck,FRC}$  nella formula precedente per il calcolo della resistenza a taglio post-intervento (essendo la minima tra le resistenze dei due calcestruzzi coinvolti).

Il contributo offerto dal calcestruzzo fibrorinforzato teso **MICRO GOLD STEEL** alla resistenza a taglio post-intervento viene considerato nel termine relativo all'area di armatura longitudinale tesa come armatura equivalente e dunque in  $\rho_l$ .

Nello specifico, nelle zone soggette a momento negativo con asse neutro ricadente nel solaio esistente, l'area equivalente risulta:

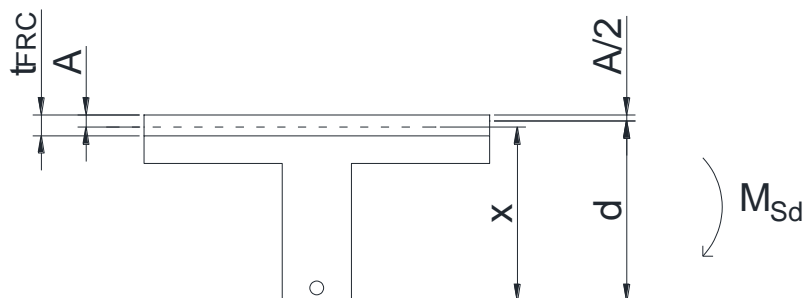
$$A_{sl,eq,FRC} = i_{solaio} t_{FRC} \frac{f_{ftud}}{f_{yd,acciaio\ esistente}} [mm^2]$$



L'altezza utile dell'armatura equivalente è misurata dall'estremo lembo compresso (intradosso) sino al baricentro della nuova soletta in calcestruzzo fibrorinforzato. Qualora nella nuova soletta sia presente armatura integrativa, il software valuta l'altezza utile maggiore tra quella relativa all'armatura integrativa e quella relativa all'armatura equivalente del calcestruzzo fibrorinforzato.

Nelle zone soggette a momento negativo con asse neutro ricadente nella nuova soletta, l'area equivalente, data dalla sola porzione tesa del calcestruzzo FRC, risulta:

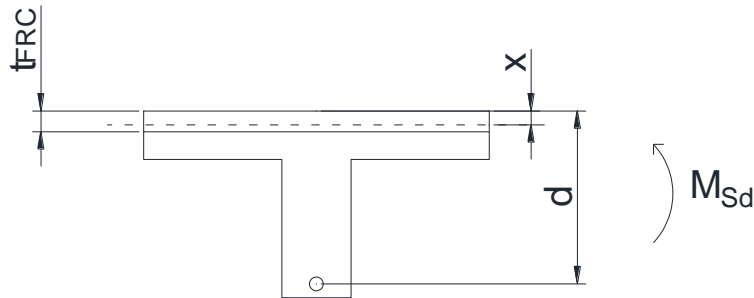
$$A_{sl,eq,FRC} = i_{solaio} A \frac{f_{ftud}}{f_{yd,acciaio\ esistente}} [mm^2]$$



L'altezza utile dell'armatura equivalente è misurata dall'estremo lembo compresso (intradosso) sino al baricentro della porzione tesa della nuova soletta in calcestruzzo fibrorinforzato. Qualora nella nuova soletta sia presente armatura integrativa, il software valuta l'altezza utile maggiore tra quella relativa all'armatura integrativa e quella relativa all'armatura equivalente del calcestruzzo fibrorinforzato.

Nelle zone soggette a momento positivo con asse neutro ricadente nella nuova soletta, l'area equivalente, data dalla sola porzione tesa del calcestruzzo FRC, risulta:

$$A_{sl,eq,FRC} = i_{solaio}(t_{FRC} - x) \frac{f_{ftud}}{f_{yd,acciaio esistente}} [mm^2]$$



Nelle zone soggette a momento positivo con asse neutro ricadente nel solaio esistente, il calcestruzzo fibrorinforzato risulta interamente compresso; pertanto, non vi è un contributo di armatura equivalente.

#### Travi:

Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio, vengono utilizzate le formule seguenti in accordo al paragrafo §4.1.2.3.5.2 delle *Norme tecniche per le costruzioni* per la valutazione della resistenza a taglio trazione e a taglio compressione della sezione esistente:

$$V_{Rsd} = 0.9d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{(1 + \cot^2\theta)}$$

con  $d$  altezza utile della sezione,  $A_{sw}$  area dell'armatura trasversale (staffe),  $s$  passo staffe,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ ,  $b_w$  larghezza minima della sezione esistente,  $v = 0.5$  e  $\alpha_c$  coefficiente maggiorativo pari a:

- 1 per membrature non compresse;
- $1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$  per  $0 \leq \sigma_{cp} < 0.25f_{cd}$
- 1.25 per  $0.25f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0.50f_{cd}$
- $2.5 \cdot (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$  per  $0.50f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

con  $\sigma_{cp} = N_{sd}/A_c$  tensione media di compressione nella sezione.

Di default, l'angolo  $\theta$  è impostato a  $45^\circ$ ; intervenendo sui parametri utente è possibile inserire un angolo desiderato purché ricadente all'interno del range consentito dalla Normativa oppure selezionare di ricercare la rottura bilanciata.

Nel pre-intervento, la resistenza a taglio quindi risulta:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

Nel post-intervento, la resistenza a taglio è valutata come:

$$V_{Rd,PO} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd} + V_{Rdf})$$

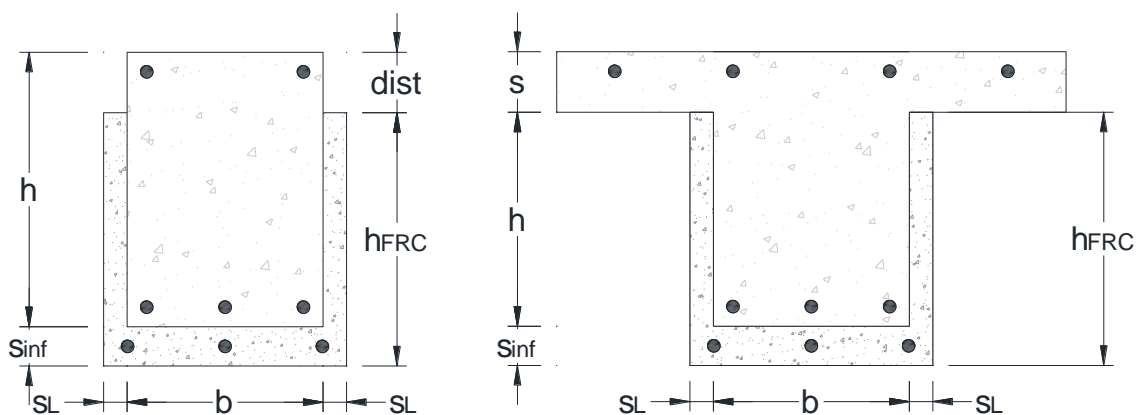
con  $V_{Rcd}$  e  $V_{Rsd}$  valutati precedentemente e  $V_{Rdf}$  contributo del calcestruzzo fibrorinforzato valutato con la seguente formula:

$$V_{Rdf} = 0.9 d_{FRC} \frac{A_{eq,FRC}}{1000} f_{yd,acciaio esistente} \operatorname{ctg} \vartheta$$

con l'angolo  $\vartheta$  sempre posto pari a 45° e:

$$A_{eq,FRC} = 2s_L \cdot 1000 \cdot \frac{f_{ftud}}{f_{yd,acciaio esistente}} [mm^2]$$

$$d_{FRC} = h_{FRC} - \frac{s_{inf}}{2}$$



#### Pilastri:

Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio, vengono utilizzate le formule seguenti in accordo al paragrafo §4.1.2.3.5.2 delle *Norme tecniche per le costruzioni* per la valutazione della resistenza a taglio trazione e a taglio compressione della sezione esistente, analizzando la sezione nelle due direzioni y e z. Si rimanda al paragrafo relativo alle travi per il dettaglio delle formule implementate.

Nel post-intervento e nelle due direzioni y e z, la resistenza a taglio è valutata come:

$$V_{Rd,PO} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd} + V_{Rdf})$$

con  $V_{Rcd}$  e  $V_{Rsd}$  valutati precedentemente e  $V_{Rdf}$  contributo del calcestruzzo fibrorinforzato valutato con le seguenti formule:

Taglio parallelo a z:

$$V_{Rdf,z} = 0.9 d_{FRC,z} \frac{A_{eq,FRC,z}}{1000} f_{yd,acciaio esistente} ctg \vartheta$$

con l'angolo  $\vartheta$  sempre posto pari a  $45^\circ$  e:

$$A_{eq,FRC,z} = 2s_L \cdot 1000 \cdot \frac{f_{ftud}}{f_{yd,acciaio esistente}} [mm^2]$$

$$d_{FRC,z} = h + \frac{3}{2} s_{inf}$$

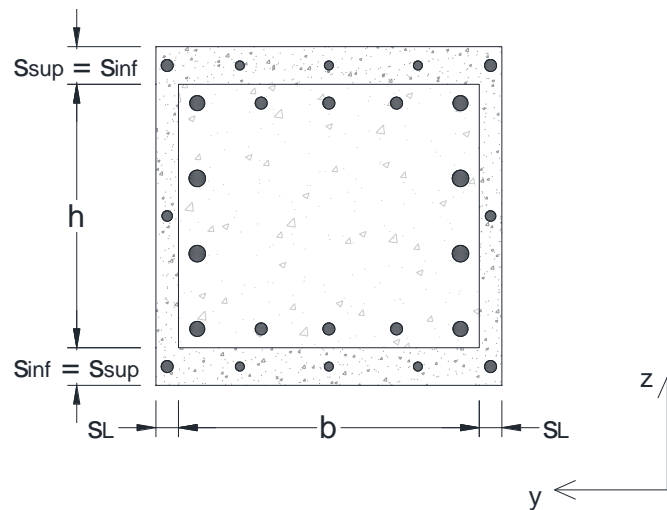
Taglio parallelo a y:

$$V_{Rdf,y} = 0.9 d_{FRC,y} \frac{A_{eq,FRC,y}}{1000} f_{yd,acciaio esistente} ctg \vartheta$$

con l'angolo  $\vartheta$  sempre posto pari a  $45^\circ$  e:

$$A_{eq,FRC,y} = 2s_{inf} \cdot 1000 \cdot \frac{f_{ftud}}{f_{yd,acciaio esistente}} [mm^2]$$

$$d_{FRC,y} = b + \frac{3}{2} s_L$$



Colonne:

Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio, vengono utilizzate le formule seguenti in accordo al paragrafo §4.1.2.3.5.2 delle *Norme tecniche per le costruzioni* per la valutazione della resistenza a taglio trazione e a taglio compressione della sezione esistente:

$$V_{Rsd} = z \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = z \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{(1 + \cot^2\theta)}$$

con  $s$  passo staffe,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ ,  $b_w$  larghezza minima della sezione esistente,  $\nu = 0.5$  e  $\alpha_c$  coefficiente maggiorativo pari a:

- 1 per membrature non compresse;
- $1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$  per  $0 \leq \sigma_{cp} < 0.25f_{cd}$
- 1.25 per  $0.25f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0.50f_{cd}$
- $2.5 \cdot (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$  per  $0.50f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

con  $\sigma_{cp} = N_{sd}/A_c$  tensione media di compressione nella sezione.

Di default, l'angolo  $\theta$  è impostato a  $45^\circ$ ; intervenendo sui parametri utente è possibile inserire un angolo desiderato purché ricadente all'interno del range consentito dalla Normativa oppure selezionare di ricercare la rottura bilanciata.

Si considera nel calcolo una sezione rettangolare equivalente:

Colonna piena:

$$h = D$$

$$b_w = \frac{\pi}{4} D$$

$$A_{sw} = n \frac{\pi}{2} A_{staffa}$$

$$A_{staffa} = \frac{\pi}{4} \varphi^2$$

$$d = D - 2c$$

con  $D$  diametro della colonna,  $c$  copriferro misurato rispetto all'asse della barra longitudinale,  $\varphi$  diametro della staffa e  $n$  numero di staffe o spirali raggruppate in un passo pari a 2 per sezioni circolari piene.

A  $z$  si assegna il valore di  $0.75d$  per sezioni circolari piene in accordo a quanto indicato al paragrafo §7.9.5.1.

Colonna cava:

$$h = D_{est}$$

$$b_w = \frac{\pi}{4} D_{est}$$

$$A_{sw} = n \frac{\pi}{2} A_{staffa}$$

$$A_{staffa} = \frac{\pi}{4} \varphi^2$$

$$d = D_{est} - 2c$$

con  $D_{est}$  diametro esterno della colonna,  $c$  copriferro misurato rispetto all'asse della barra longitudinale,  $\varphi$  diametro della staffa e  $n$  numero di staffe o spirali raggruppate in un passo pari a 2 per sezioni circolari piene.

A  $z$  si assegna il valore di  $0.60d$  per sezioni circolari cave in accordo a quanto indicato al paragrafo §7.9.5.1.

Nel post-intervento, la resistenza a taglio è valutata come:

$$V_{Rd,PO} = \min (V_{Rcd}; V_{Rsd} + V_{Rdf})$$

con  $V_{Rcd}$  e  $V_{Rsd}$  valutati precedentemente e  $V_{Rdf}$  contributo del calcestruzzo fibrorinforzato valutato con le seguenti formule:

Colonna piena:

$$V_{Rdf} = z_{FRC} \frac{A_{eq,FRC}}{1000} f_{yd,acciaio esistente} ctg \vartheta$$

con l'angolo  $\vartheta$  sempre posto pari a  $45^\circ$  e:

$$A_{staffa,eq} = t_{FRC} \cdot 1000 \cdot \frac{f_{ftud}}{f_{yd,acciaio esistente}} [mm^2]$$

$$A_{eq,FRC} = 2 \frac{\pi}{2} A_{staffa,eq} = \pi t_{FRC} \cdot 1000 \cdot \frac{f_{ftud}}{f_{yd,acciaio esistente}} [mm^2]$$

$$d_{FRC} = D + \frac{3}{2} t_{FRC}$$

A  $z_{FRC}$  si assegna il valore di  $0.75d_{FRC}$ .

Colonna cava:

$$V_{Rdf} = z_{FRC} \frac{A_{eq,FRC}}{1000} f_{yd,acciaio esistente} ctg \vartheta$$

con l'angolo  $\vartheta$  sempre posto pari a 45° e:

$$A_{staffa,eq} = t_{FRC} \cdot 1000 \cdot \frac{f_{ftud}}{f_{yd,acciaio esistente}} [mm^2]$$

$$A_{eq,FRC} = 2 \frac{\pi}{2} A_{staffa,eq} = \pi t_{FRC} \cdot 1000 \cdot \frac{f_{ftud}}{f_{yd,acciaio esistente}} [mm^2]$$

$$d_{FRC} = D_{est} + \frac{3}{2} t_{FRC}$$

A  $z_{FRC}$  si assegna il valore di  $0.60 d_{FRC}$ .

## 2.4. Verifica a scorrimento sulla superficie di contatto con la nuova cappa (Connettore Chimico)

Per il calcolo della perfetta adesione tra la nuova soletta in calcestruzzo fibrorinforzato e il solaio esistente, si confronta la tensione tagliante presente all'interfaccia soletta-solaio esistente con il valore di progetto del Connettore CentroStorico Chimico, necessaria per la corretta collaborazione tra le due parti.

Coefficiente di omogeneizzazione per zone soggette a momento positivo:

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,FRC}}{2}}$$

Coefficiente di omogeneizzazione per zone soggette a momento negativo:

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,esistente}}{2}}$$

$$\tau_{interfaccia} = \frac{V_{sd,max} \cdot S_{int}}{J_n \cdot b} < 0.72 \text{ MPa}$$

dove 0.72 MPa rappresenta il valore di confronto considerato per il Connettore CentroStorico Chimico, ottenuto mediante prove sperimentali al Politecnico di Milano.

I termini della formula di Jourawsky indicano:

- **V<sub>sd,max</sub>**: valore massimo della forza di taglio agente in combinazione SLU;
- **S<sub>int</sub>**: momento statico (sezione parzializzata) della porzione al di sopra della corda rispetto alla quale calcolare lo sforzo di taglio. Viene considerato il contributo del calcestruzzo fibrorinforzato compresso e/o dell'armatura sopra la corda e/o il contributo del calcestruzzo fibrorinforzato teso (solo per **MICRO GOLD STEEL**, trascurato per **MICRO Calcestruzzo CentroStorico**);
- **J<sub>n</sub>**: inerzia dell'intera sezione parzializzata rispetto all'asse neutro;
- **b**: larghezza della corda da considerare, pari all'interasse del solaio analizzato.

Il programma restituisce i valori sollecitanti e resistenti in corrispondenza del massimo rapporto di utilizzazione.

La ricerca dell'asse neutro elastico viene condotta come segue:

- 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. Dallo stesso materiale vengono assunti i valori di *FC* (Fattore di Confidenza) e  $\gamma_m$  del materiale, oltre alle deformazioni e alle resistenze;
- vengono calcolate le proprietà geometriche di ogni parte di sezione e viene ricavato il baricentro;

- la sezione viene quindi analizzata valutando le deformazioni conseguenti all'applicazione del momento sollecitante. Vengono quindi individuate le parti reagenti calcolando le tensioni di ogni materiale presente (calcestruzzo, barre);
- viene restituita la posizione dell'asse neutro.

In particolare, viene descritto il calcolo dell'area e del momento statico di una sezione definita da  $N$  punti  $x_i, y_i$ .

$$A = \frac{1}{2} \sum_i (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$S_x = \frac{1}{6} \sum_i (x_{i+1} - x_i)(y_i^2 + y_i y_{i+1} + y_{i+1}^2)$$

Analogamente si procede per il momento d'inerzia.

In particolare, per il momento statico della sezione parzializzata, si procede nel modo seguente:

- viene acquisita la parte di sezione reagente;
- si trasla l'asse orizzontale della sezione in corrispondenza dell'asse neutro;
- si calcola il momento statico della sezione parzializzata considerando solo le parti al di sopra della corda di verifica, posizionata all'interfaccia solaio esistente-nuova soletta.

Analogamente si procede per il momento d'inerzia.

Si rimanda infine al capitolo di validazione seguente per l'illustrazione delle formule analitiche nei vari casi.

## 2.5. Verifica per posa in aderenza al supporto esistente (Posa in aderenza al supporto esistente)

La posa in aderenza al supporto esistente è una soluzione applicabile solo se la superficie presenta una scabrezza di almeno 5 mm.

Si confronta la tensione tagliante presente all'interfaccia tra la nuova soletta in calcestruzzo fibrorinforzato e il solaio esistente (valutata con la formula di Jourawsky) con la resistenza offerta dall'aderenza nei confronti dello scorrimento  $v_{Rdi}$ , valutata in accordo al paragrafo §6.2.5 UNI EN 1992-1-1:2015.

Coefficiente di omogeneizzazione per zone soggette a momento positivo:

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,FRC}}{2}}$$

Coefficiente di omogeneizzazione per zone soggette a momento negativo:

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,esistente}}{2}}$$

$$\tau_{interfaccia} \cdot b = \frac{V_{sd,max} \cdot S_{int}}{J_n} < v_{Rdi} \cdot L$$

I termini della formula di Jourawsky indicano:

- $V_{sd,max}$ : valore massimo della forza di taglio agente in combinazione SLU;
- $S_{int}$ : momento statico (sezione parzializzata) della porzione al di sopra della corda rispetto alla quale calcolare lo sforzo di taglio. Viene considerato il contributo del calcestruzzo fibrorinforzato compresso e/o dell'armatura sopra la corda e/o il contributo del calcestruzzo fibrorinforzato teso (solo per **MICRO GOLD STEEL**, trascurato per **MICRO Calcestruzzo CentroStorico**);
- $J_n$ : inerzia dell'intera sezione parzializzata rispetto all'asse neutro;
- $b$ : larghezza della corda da considerare, pari all'interasse del solaio analizzato.

La resistenza offerta dall'aderenza viene valutata in accordo al paragrafo §6.2.5 UNI EN 1992-1-1:2015, utilizzando i parametri per superficie scabra, con la seguente formula:

$$v_{Rdi} = \min(c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha); 0.5 \cdot v \cdot f'_{cd})$$

dove:

- $c$  e  $\mu$  per superficie scabra valgono rispettivamente 0.4 e 0.7;
- $f_{ctd}$  è il valore della resistenza di trazione di progetto (valutata come segue);
- $\sigma_n$  è la tensione di compressione prodotta dalla forza esterna minima agente all'interfaccia che può agire simultaneamente con la forza di taglio (valutata come segue);
- $\rho$  è il rapporto tra l'area di armatura specifica trasversale che attraversa l'interfaccia e l'area del giunto (pari a 0 nel caso specifico);
- $v$  è un coefficiente di riduzione della resistenza (valutato come segue).

La resistenza a trazione di progetto  $f_{ctd}$  viene valutata come la minima tra la resistenza a trazione del calcestruzzo esistente e quella del calcestruzzo fibrorinforzato:

$$f_{ctd} = \min\left(f_{ctd,esistente}; \frac{0.8 \cdot f_{ctk,FRC}}{1.5}\right)$$

con:

$$f_{ctd,esistente} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{0.7 \cdot 0.3 f_{ck}^{2/3}}{FC \cdot \gamma_c} & \text{da relazione} \\ \frac{0.7 \cdot 0.3 f_{cm}^{2/3}}{FC \cdot \gamma_c} & \text{da prove} \\ 0.7 \cdot 0.3 f_{cd}^{2/3} & \text{da utente} \end{array} \right\}$$

$$f_{ctk,FRC} = 0.7 \cdot 2.12 \ln\left(1 + \frac{(f_{ck,FRC} + 8)}{10}\right)$$

La tensione di compressione prodotta dalla forza esterna minima agente all'interfaccia che può agire simultaneamente con la forza di taglio risulta:

$$\sigma_n = \min(q_{slu}^*; 0.6f'_{cd})$$

con:

$$q_{slu}^* = \gamma_{G1} \cdot [P_{soletta} + P_{massetto} + P_{sottofondo}] + \gamma_{G2} \cdot P_{altri} + \gamma_Q \cdot Q_{var}$$

$$f'_{cd} = \min(f_{cd,esistente,parametri fragili}; f_{cd,FRC})$$

Il coefficiente  $\nu$  risulta:

$$\nu = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{\min(f_{ck,FRC}; f_{ck,esistente})}{250}\right]$$

dove per  $f_{ck,esistente}$ , in funzione della scelta delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo esistente nella maschera Materiali, il software utilizza il valore di  $f_{ck}$  se viene selezionato **“Da relazione”**, il valore di  $f_{cm}$  se viene selezionato **“Da prove”** e il valore di  $f_{cd}$  se viene selezionato **“Da utente”**.

Il termine  $L$  rappresenta la larghezza di pertinenza cui viene affidato lo scorrimento per aderenza, pari a:

$$L = \begin{cases} b_t & \text{se } h_c < 20\text{mm} \\ i_{tr} & \text{se } h_c \geq 20\text{mm} \end{cases}$$

con  $b_t$  base del travetto,  $i_{tr}$  interasse del solaio e  $h_c$  spessore della caldana esistente.

La ricerca dell'asse neutro elastico viene condotta come segue:

- 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. Dallo stesso materiale vengono assunti i valori di  $FC$  (Fattore di Confidenza) e  $\gamma_m$  del materiale, oltre alle deformazioni e alle resistenze;
- vengono calcolate le proprietà geometriche di ogni parte di sezione e viene ricavato il baricentro;
- la sezione viene quindi analizzata valutando le deformazioni conseguenti all'applicazione del momento sollecitante. Vengono quindi individuate le parti reagenti calcolando le tensioni di ogni materiale presente (calcestruzzo, barre);
- viene restituita la posizione dell'asse neutro.

In particolare, viene descritto il calcolo dell'area e del momento statico di una sezione definita da  $N$  punti  $x_i, y_i$ .

$$A = \frac{1}{2} \sum_i (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$S_x = \frac{1}{6} \sum_i (x_{i+1} - x_i)(y_i^2 + y_i y_{i+1} + y_{i+1}^2)$$

Analogamente si procede per il momento d'inerzia.

In particolare, per il momento statico della sezione parzializzata, si procede nel modo seguente:

- viene acquisita la parte di sezione reagente;
- si trasla l'asse orizzontale della sezione in corrispondenza dell'asse neutro;
- si calcola il momento statico della sezione parzializzata considerando solo le parti al di sopra della corda di verifica, posizionata all'interfaccia solaio esistente-nuova soletta.

Analogamente si procede per il momento d'inerzia.

## 2.6. Valutazione della resistenza di calcolo di *Mini Connettore Calcestruzzo*

La resistenza del connettore viene valutata secondo quanto espresso da UNI EN 1992-4:2018:

$$P_{Rd} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,cp}; V_{Rd,c})$$

dove:

- $V_{Rd,s}$  è la resistenza di un ancorante per le caratteristiche meccaniche dell'acciaio che lo compone;
- $V_{Rd,cp}$  è la resistenza di un ancorante per rottura per pry-out del calcestruzzo;
- $V_{Rd,c}$  è la resistenza di un ancorante nei confronti della rottura del bordo del calcestruzzo.

Inoltre, la resistenza del sistema di connessione dipende fortemente dallo stato di sollecitazione del calcestruzzo in cui è inserito, pertanto, si calcolano due diversi valori di  $P_{Rd}$ :

- $P_{Rd,ck}$ : resistenza di progetto da impiegare ai fini del calcolo nelle porzioni di solaio laddove il calcestruzzo esistente sia fessurato;
- $P_{Rd,ucl}$ : resistenza di progetto da impiegare ai fini del calcolo nelle porzioni di solaio laddove il calcestruzzo esistente sia non fessurato.

**La valutazione e le specifiche dei paragrafi successivi sono riferite alla UNI EN 1992-4:2018 con gli adattamenti relativi al caso di travetti di solaio.**

### 2.6.1. Limiti applicativi

Le dimensioni minime del solaio ai fini della possibile installazione di *Mini Connettore Calcestruzzo* sono:

- Base del travetto:  $b_t \geq 7 \text{ cm}$ , riportato nella Specifica norma tecnica europea di prodotto (ETA20/0830);
- Spessore del solaio (pari alla somma dell'altezza del travetto  $h_t$  e della caldana esistente  $h_c$ , se presente):  $h_t + h_c \geq 10 \text{ cm}$ ;
- Spessore nuova soletta:  $s_n \geq 2 \text{ cm}$ .

Se i limiti geometrici sopra indicati non risultano rispettati, il calcolo con *Mini Connettore Calcestruzzo* non è consentito e si suggerisce di passare a *Connettore CentroStorico Chimico*.

### 2.6.2. Rottura dell'acciaio dell'ancorante $V_{Rd,s}$

La resistenza caratteristica di un ancorante per rottura dell'acciaio che lo compone viene valutata in accordo al paragrafo §7.2.2.1 UNI EN 1992-4:2018:

$$V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$$

dove:

- $V_{Rk,s}$  è la resistenza di un ancorante per le caratteristiche meccaniche dell'acciaio che lo compone nei confronti di carichi di taglio ed è riportato nella Specifica norma tecnica europea di prodotto (ETA20/0830) pari a 7.5 kN;
- $\gamma_{Ms}$  è il fattore parziale di sicurezza riportato nella Specifica norma tecnica europea di prodotto (ETA20/0830) pari a 1.25.

### 2.6.3. Rottura per pry-out del calcestruzzo $V_{Rd,cp}$

Il riferimento per il calcolo di  $V_{Rd,cp}$  è il paragrafo §7.2.2.4 UNI EN 1992-4:2018. Per ricavare la resistenza nei confronti della rottura per pry-out del calcestruzzo, occorre conoscere la resistenza caratteristica di un ancoraggio per sforzi di trazione nei confronti di una rottura conica del calcestruzzo. Tale modalità di rottura dipende fortemente dallo stato di compressione/trazione del calcestruzzo nel quale viene inserito il connettore e, per tale ragione, si calcolano due valori di  $N_{Rk,c}$  (uno per la condizione di calcestruzzo fessurato e uno per la condizione di calcestruzzo non fessurato), in accordo al paragrafo §7.2.1.4 UNI EN 1992-4:2018:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N}$$

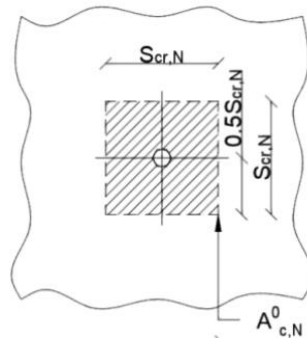
$N_{Rk,c}^0$  è la resistenza caratteristica del singolo ancorante non influenzato da ancoranti adiacenti o bordi del calcestruzzo in cui è inserito, e si valuta come:

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5}$$

dove:

- $k_1$  è pari a 7.7 per calcestruzzo fessurato ( $k_{1,cr}$ ) e pari a 11 per calcestruzzo non fessurato ( $k_{1,ucr}$ );
- $f_{ck}$  è la resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo (riferito a quello in cui si inserisce il connettore ovvero quello esistente). Nello specifico, in funzione della scelta delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo esistente nella maschera Materiali, il software utilizza il valore di  $f_{ck}$  se viene selezionato "Da relazione", il valore di  $f_{cm}$  se viene selezionato "Da prove" e il valore di  $f_{cd}$  se viene selezionato "Da utente";
- $h_{ef}$  è la lunghezza effettiva di ancoraggio ed è un valore riportato nella Specifica tecnica di prodotto europea (ETA20/0830), pari a 42 mm nel caso specifico.

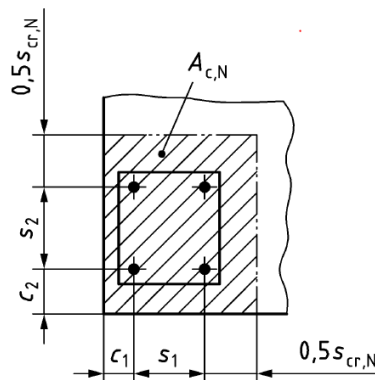
$A_{c,N}^0$  è l'area di proiezione di riferimento che valuta l'influenza della posizione dell'installazione dell'ancorante nei confronti del bordo del calcestruzzo, e si valuta come:



$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}$$

dove  $s_{cr,N}$  è la spaziatura critica nei confronti del cono di rottura del calcestruzzo ed è un valore riportato nella Specifica tecnica di prodotto europea (ETA20/0830), pari a 126 mm nel caso specifico.

$A_{c,N}$  è l'area di proiezione effettiva limitata dalla sovrapposizione dei coni di rottura degli ancoranti adiacenti e si valuta come:

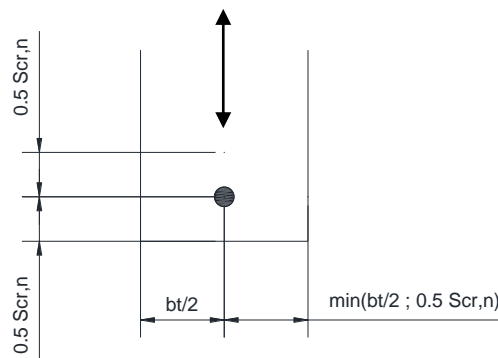


$$A_{c,N} = (c_1 + s_1 + 0.5s_{cr,N}) \cdot (c_2 + s_2 + 0.5s_{cr,N})$$

Nel caso dei solai, se  $h_{ef} \leq h_c$  (con  $h_c$  spessore della caldana esistente) oppure se  $s_{cr,N} \leq b_t$  (con  $b_t$  base del travetto),  $A_{c,N} = A_{c,N}^0$ , altrimenti si segue la formulazione illustrata nel seguito.

Nel caso specifico dei solai non si impegnano né ancoranti di gruppo né in doppia fila: questo significa che  $s_1$  e  $s_2$  sono pari 0;  $c_1$  è la distanza dal bordo ed è pari a  $b_t/2$  e  $c_2$  è la distanza dal bordo nella direzione di orditura del travetto, assimilata a  $0.5s_{cr,N}$  (con  $s_{cr,N} = 126 \text{ mm}$ ) vista l'estensione dei travetti all'interno delle murature.

In riferimento all'immagine precedente, nella situazione in esame diventa:



Pertanto, la formula precedente diventa:

$$A_{c,N} = \left( \frac{b_t}{2} + \min \left( \frac{b_t}{2}; 0.5s_{cr,N} \right) \right) \cdot s_{cr,N}$$

$\psi_{s,N}$  è il fattore riduttivo che tiene conto della distorsione della distribuzione delle sollecitazioni nel calcestruzzo a causa della vicinanza con il bordo dell'elemento in cui viene installato il sistema di connessione e viene valutato come:

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1$$

dove:

- $c$  è la distanza effettiva dell'ancorante rispetto al bordo (pari a  $b_t/2$  poiché **Mini Connettore Calcestruzzo** viene installato nella mezzera del travetto);
- $c_{cr,N}$  è la distanza critica dal bordo nei confronti di rottura del cono del calcestruzzo ed è un valore riportato nella Specifica tecnica di prodotto europea (ETA20/0830), pari a 63 mm.

$\psi_{re,N}$  è il fattore di spalling che valuta l'effetto delle armature, tra cui è installato il connettore quando  $h_{ef} < 100 \text{ mm}$  e viene valutato come:

$$\psi_{re,N} = 0.5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1$$

con  $h_{ef}$  lunghezza effettiva di ancoraggio ed è un valore riportato nella Specifica tecnica di prodotto europea (ETA20/0830), pari a 42 mm nel caso specifico.

$\psi_{ec,N}$  e  $\psi_{M,N}$  sono rispettivamente il coefficiente che considera l'effetto di gruppo e il coefficiente che tiene conto dell'effetto di una forza di compressione tra ancorante e calcestruzzo nel caso di momenti flettenti: non sono da considerare nel caso specifico in quanto non previsti dalle applicazioni di **Mini Connettore Calcestruzzo**.

È quindi possibile determinare la resistenza di un ancorante nei confronti di sforzi di taglio per rottura per pry-out del calcestruzzo su lato opposto alla direzione di carico. Tale resistenza viene valutata come:

$$V_{Rd,cp} = \frac{k_8 \cdot N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$$

dove:

- $k_8$  è lo specifico fattore pari a 1.0 ed è riportato nella Specifica norma tecnica europea di prodotto (ETA20/0830);
- $N_{Rk,c}$  è la resistenza di un ancorante sottoposto a trazione in caso di rottura per cono del calcestruzzo precedentemente calcolata;
- $\gamma_{Mc}$  è il fattore parziale di sicurezza riportato nella Specifica norma tecnica europea di prodotto (ETA20/0830) pari a 1.50.

#### 2.6.4. Rottura del bordo di calcestruzzo $V_{Rd,c}$

Il riferimento per il calcolo di  $V_{Rd,c}$  è il paragrafo §7.2.2.5 UNI EN 1992-4:2018. Tale modalità di rottura dipende fortemente dallo stato di compressione/trazione del calcestruzzo nel quale viene inserito il connettore e, per tale motivo, si calcolano due valori di  $V_{Rk,c}$  (uno per la condizione di calcestruzzo fessurato e uno per la condizione di calcestruzzo non fessurato). La resistenza caratteristica di un ancoraggio caricato verso il bordo è valutabile come:

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{re,V}$$

$V_{Rk,c}^0$  è la resistenza iniziale caratteristica del singolo ancorante caricato perpendicolarmente al bordo e si valuta come:

$$V_{Rk,c}^0 = k_9 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1.5}$$

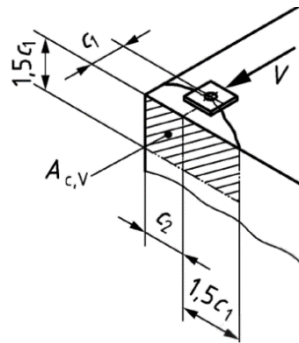
dove:

- $k_9$  è pari a 1.7 per calcestruzzo fessurato ( $k_{9,cr}$ ) e pari a 2.4 per calcestruzzo non fessurato ( $k_{9,ucr}$ );
- $d_{nom}$  è il diametro esterno dell'ancorante ed è riportato nella pertinente Specifica tecnica di prodotto europea (ETA20/0830) ed è pari a 7.5 mm;
- $l_f$  (nel caso di connettori con diametro uniforme) è pari a  $h_{ef}$  ovvero la lunghezza effettiva di ancoraggio, valore riportato nella Specifica tecnica di prodotto europea (ETA20/0830) pari a 42 mm;
- $f_{ck}$  è la resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo (riferito a quello in cui si inserisce il connettore ovvero quello esistente). Nello specifico, in funzione della scelta delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo esistente nella maschera Materiali, il software utilizza il valore di  $f_{ck}$  se viene selezionato "Da relazione", il valore di  $f_{cm}$  se viene selezionato "Da prove" e il valore di  $f_{cd}$  se viene selezionato "Da utente";
- $c_1$  è la distanza minima dal bordo pari a  $b_t/2$ ;
- $\alpha$  e  $\beta$  sono dei parametri numerici adimensionali e si valutano come:

$$\alpha = 0.1 \cdot \left( \frac{l_f}{c_1} \right)^{0.5}$$

$$\beta = 0.1 \cdot \left( \frac{d_{nom}}{c_1} \right)^{0.2}$$

$A_{c,v}$  è l'area del corpo di rottura del calcestruzzo idealizzato, limitata dai coni di calcestruzzo sovrapposti degli ancoranti adiacenti, dalla vicinanza dal bordo e dallo spessore dell'elemento in cui è installato:



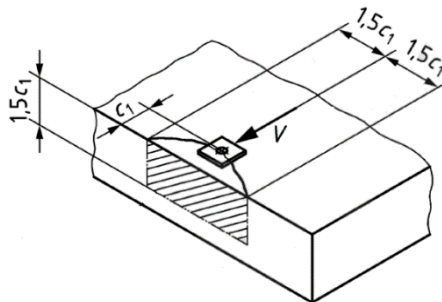
$$A_{c,v} = 1.5c_1 \cdot (c_2 + 1.5c_1)$$

Nel caso specifico dei solai  $c_2$  è pari a  $b_t/2$  e  $c_1$  è la distanza del primo connettore rispetto a filo muro (30 mm), trascurando a favore di sicurezza che il travetto prosegue all'interno della muratura/parete. Essendo  $A_{c,v}$  un'area effettiva, si deve verificare che si possa sviluppare effettivamente all'interno della geometria specifica del solaio in esame. Pertanto, la formula sopra indicata diventa:

$$A_{c,v} = \min(h_t + h_c; 1.5c_1) \cdot \min(3c_1; b_t)$$

con  $h_t$  altezza del travetto,  $h_c$  spessore della caldana esistente (se presente),  $b_t$  base del travetto.

$A_{c,v}^0$  è l'area di proiezione di riferimento per il campo di rottura idealizzato di un singolo ancorante:



$$A_{c,v}^0 = 1.5c_1 \cdot (1.5c_1 + 1.5c_1) = 4.5c_1^2$$

Nel caso specifico dei solai  $c_1$  è la distanza del primo connettore rispetto a filo muro (30 mm).

$\psi_{s,v}$  è il fattore riduttivo che tiene conto della distorsione della distribuzione delle sollecitazioni nel calcestruzzo dovute ad altri bordi dell'elemento di calcestruzzo sulla resistenza a taglio e viene valutato come:

$$\psi_{s,v} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_2}{1.5c_1} \leq 1$$

Nel caso specifico di  $\psi_{s,v}$ ,  $c_1$  e  $c_2$  sono equivalenti in quanto i connettori vengono posizionati al centro del travetto e quindi assumono entrambi il valore di  $b_t/2$ .

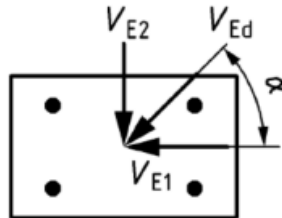
$\psi_{h,V}$  è il fattore che tiene conto che la resistenza del bordo di calcestruzzo non decresce proporzionalmente allo spessore dell'elemento assunto dal rapporto  $\frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0}$  e viene valutato come:

$$\psi_{h,V} = \left( \frac{1.5c_1}{h} \right)^{0.5} = \left( \frac{1.5 \cdot \frac{b_t}{2}}{h_t + h_c} \right)^{0.5} \geq 1$$

dove  $h$  rappresenta l'altezza dell'elemento in cui è installato il sistema di ancoraggio e coincide con l'altezza del travetto se il solaio è rasato altrimenti con la somma dell'altezza del travetto e dello spessore della caldana esistente,  $c_1$  è pari a  $b_t/2$ .

$\psi_{ec,V}$  è il coefficiente che considera l'effetto di gruppo, non risulta essere rilevante per le modalità applicative di **Mini Connettore Calcestruzzo**.

$\psi_{\alpha,V}$  è il fattore che tiene conto che la resistenza del bordo di calcestruzzo non decresce proporzionalmente allo spessore dell'elemento assunto dal rapporto  $\frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0}$  e viene valutato come:



$$\psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + (0.5 \sin \alpha_V)^2}} \geq 1$$

dove  $\alpha_V$  è l'angolo compreso tra un carico di taglio sollecitante di progetto  $V_{Ed}$  e una retta perpendicolare al bordo verificato, nel caso di ancoranti singoli disposti su solai:  $\alpha_V = 90^\circ$ .

$\psi_{re,V}$  è il fattore che tiene conto dell'effetto dell'armatura situata lungo il bordo ed è pari a 1.0 sia in condizione di calcestruzzo fessurato che non fessurato.

È quindi possibile determinare la resistenza di un ancorante nei confronti di sforzi di taglio per rottura del bordo del calcestruzzo. Tale resistenza viene valutata come:

$$V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$$

dove:

- $V_{Rk,c}$  è la resistenza di un ancorante nei confronti della rottura rispetto al bordo del calcestruzzo precedentemente calcolata;
- $\gamma_{Mc}$  è il fattore parziale di sicurezza riportato nella Specifica norma tecnica europea di prodotto (ETA20/0830), pari a 1.50.

## 2.7. Calcolo dello scorrimento e dell'aderenza all'interfaccia (Mini Connettore Calcestruzzo)

Il numero di connettori da impiegare è quello necessario a trasmettere lo scorrimento tra il solaio esistente e la nuova soletta in calcestruzzo fibrorinforzato. Lo scorrimento si calcola tramite la formula di Jourawsky.

Coefficiente di omogeneizzazione per zone soggette a momento positivo:

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,FRC}}{2}}$$

Coefficiente di omogeneizzazione per zone soggette a momento negativo:

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,esistente}}{2}}$$

$$\tau_{interfaccia} \cdot b = \frac{V_{sd} \cdot S_{int}}{J_n}$$

I termini della formula di Jourawsky indicano:

- **V<sub>sd</sub>**: valore della forza di taglio agente in combinazione SLU nella sezione considerata;
- **S<sub>int</sub>**: momento statico (sezione parzializzata) della porzione al di sopra della corda rispetto alla quale calcolare lo sforzo di taglio. Viene considerato il contributo del calcestruzzo fibrorinforzato compresso e/o dell'armatura sopra la corda e/o il contributo del calcestruzzo fibrorinforzato teso (solo per **MICRO GOLD STEEL**, trascurato per **MICRO Calcestruzzo CentroStorico**);
- **J<sub>n</sub>**: inerzia dell'intera sezione parzializzata rispetto all'asse neutro;
- **b**: larghezza della corda da considerare, pari all'interasse del solaio analizzato.

Tale scorrimento ( $\tau_{interfaccia} \cdot b$ ) viene confrontato con la resistenza di progetto del connettore  $P_{Rd}$  (in zona fessurata o in zona non fessurata in funzione della sezione considerata), come illustrato al paragrafo seguente. Si considera inoltre il contributo offerto dall'aderenza allo scorrimento  $v_{Rdi}$ , valutato in accordo al paragrafo §6.2.5 UNI EN 1992-1-1:2015, utilizzando i parametri per superficie liscia, con la seguente formula:

$$v_{Rdi} = \min(c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha); 0.5 \cdot v \cdot f'_{cd})$$

dove:

- **c** e **μ** per superficie liscia valgono rispettivamente 0.2 e 0.6;
- **f<sub>ctd</sub>** è il valore della resistenza di trazione di progetto (valutata come segue);
- **σ<sub>n</sub>** è la tensione di compressione prodotta dalla forza esterna minima agente all'interfaccia che può agire simultaneamente con la forza di taglio (valutata come segue);
- **ρ** è il rapporto tra l'area di armatura specifica trasversale che attraversa l'interfaccia e l'area del giunto (pari a 0 nel caso specifico);
- **v** è un coefficiente di riduzione della resistenza (valutato come segue).

La resistenza a trazione di progetto  $f_{ctd}$  viene valutata come la minima tra la resistenza a trazione del calcestruzzo esistente e quella del calcestruzzo fibrorinforzato:

$$f_{ctd} = \min \left( f_{ctd,esistente} ; \frac{0.8 \cdot f_{ctk,FRC}}{1.5} \right)$$

con:

$$f_{ctd,esistente} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{0.7 \cdot 0.3 f_{ck}^{2/3}}{FC \cdot \gamma_c} & \text{da relazione} \\ \frac{0.7 \cdot 0.3 f_{cm}^{2/3}}{FC \cdot \gamma_c} & \text{da prove} \\ 0.7 \cdot 0.3 f_{cd}^{2/3} & \text{da utente} \end{array} \right\}$$

$$f_{ctk,FRC} = 0.7 \cdot 2.12 \ln \left( 1 + \frac{(f_{ck,FRC} + 8)}{10} \right)$$

La tensione di compressione prodotta dalla forza esterna minima agente all'interfaccia che può agire simultaneamente con la forza di taglio risulta:

$$\sigma_n = \min(q_{slu}^* ; 0.6f'_{cd})$$

con:

$$q_{slu}^* = \gamma_{G1} \cdot [P_{soletta} + P_{massetto} + P_{sottofondo}] + \gamma_{G2} \cdot P_{altri} + \gamma_Q \cdot Q_{var}$$

$$f'_{cd} = \min(f_{cd,esistente,parametri fragili}; f_{cd,FRC})$$

Il coefficiente  $\nu$  risulta:

$$\nu = 0.6 \cdot \left[ 1 - \frac{\min(f_{ck,FRC}; f_{ck,esistente})}{250} \right]$$

dove per  $f_{ck,esistente}$ , in funzione della scelta delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo esistente nella maschera Materiali, il software utilizza il valore di  $f_{ck}$  se viene selezionato **“Da relazione”**, il valore di  $f_{cm}$  se viene selezionato **“Da prove”** e il valore di  $f_{cd}$  se viene selezionato **“Da utente”**.

Il termine  $\nu_{Rdi}$  viene poi moltiplicato per il termine  $L$ , al fine di ottenere una quantità confrontabile con  $\tau_{interfaccia} \cdot b$ . Il termine  $L$  rappresenta la larghezza di pertinenza cui viene affidato lo scorrimento per aderenza, pari a:

$$L = \begin{cases} b_t & \text{se } h_c < 20\text{mm} \\ i_{tr} & \text{se } h_c \geq 20\text{mm} \end{cases}$$

con  $b_t$  base del travetto,  $i_{tr}$  interasse del solaio e  $h_c$  spessore della caldana esistente.

La ricerca dell'asse neutro elastico viene condotta come segue:

- 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. Dallo stesso materiale vengono assunti i valori di  $FC$  (Fattore di Confidenza) e  $\gamma_m$  del materiale, oltre alle deformazioni e alle resistenze;
- vengono calcolate le proprietà geometriche di ogni parte di sezione e viene ricavato il baricentro;
- la sezione viene quindi analizzata valutando le deformazioni conseguenti all'applicazione del momento sollecitante. Vengono quindi individuate le parti reagenti calcolando le tensioni di ogni materiale presente (calcestruzzo, barre);
- viene restituita la posizione dell'asse neutro.

In particolare, viene descritto il calcolo dell'area e del momento statico di una sezione definita da  $N$  punti  $x_i, y_i$ .

$$A = \frac{1}{2} \sum_i (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$S_x = \frac{1}{6} \sum_i (x_{i+1} - x_i)(y_i^2 + y_i y_{i+1} + y_{i+1}^2)$$

Analogamente si procede per il momento d'inerzia.

In particolare, per il momento statico della sezione parzializzata, si procede nel modo seguente:

- viene acquisita la parte di sezione reagente;
- si trasla l'asse orizzontale della sezione in corrispondenza dell'asse neutro;
- si calcola il momento statico della sezione parzializzata considerando solo le parti al di sopra della corda di verifica, posizionata all'interfaccia solaio esistente-nuova soletta.

Analogamente si procede per il momento d'inerzia.

## 2.8. Calcolo del passo e della distribuzione dei connettori (Mini Connettore Calcestruzzo)

Ai fini del calcolo del passo e della distribuzione dei connettori, risulta necessario conoscere:

- lo scorrimento all'interfaccia  $\tau_{interfaccia} \cdot b$ , con  $b$  larghezza della corda da considerare pari all'interasse del solaio analizzato;
- la resistenza allo scorrimento offerta dall'aderenza  $v_{Rdi} \cdot L$ ;
- la resistenza di calcolo di **Mini Connettore Calcestruzzo** in zona fessurata  $P_{Rd,ck}$  e in zona non fessurata  $P_{Rd,uck}$ ;
- il verso del momento sollecitante nella condizione pre-intervento, di seguito denominato  $M_{sd,pre-int}$ ;
- l'affondamento dell'asse neutro a momento positivo nella condizione pre-intervento, di seguito denominato  $A_{N,pre-int}^+$ .

Per ogni punto in cui è stato discretizzato il solaio analizzato, si calcola il passo (denominato PC = passo calcolato) dei connettori nella coordinata considerata come segue:

$$PC [mm] = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{P_{Rd,ck}}{(\tau_{interfaccia} \cdot b) - (v_{Rdi} \cdot L)} & se M_{sd,pre-int} < 0 \\ \frac{P_{Rd,ck}}{(\tau_{interfaccia} \cdot b) - (v_{Rdi} \cdot L)} & se M_{sd,pre-int} \geq 0 e A_{N,pre-int}^+ < 0.9h_{ef} \\ \frac{P_{Rd,uck}}{(\tau_{interfaccia} \cdot b) - (v_{Rdi} \cdot L)} & se M_{sd,pre-int} \geq 0 e A_{N,pre-int}^+ \geq 0.9h_{ef} \end{array} \right\}$$

Per ogni coordinata, qualora il passo calcolato  $PC$  risulti inferiore o pari a zero o superiore alla spaziatura massima, si impone la spaziatura massima pari a 500 mm, ottenendo così il passo calcolato corretto  $PCC$ :

$$PCC [mm] = \begin{cases} s_{max} = 500 \text{ mm} & se PC \leq 0 o PC > s_{max} \\ PC & se 0 < PC \leq s_{max} \end{cases}$$

Il software calcola sempre sia la posa con spaziatura variabile sia la posa con spaziatura costante per campata, riportando entrambe le opzioni di posa all'interno della relazione e la sola opzione di posa con spaziatura variabile cliccando sul pulsante **Tabella connettori** nell'interfaccia del software.

### 2.8.1. Spaziatura variabile

Per ogni campata, il software identifica i punti in cui è stato discretizzato il solaio appartenenti a  $L/4$  di sinistra, a  $L/4$  di destra e a  $L/2$  centrali e determina il passo teorico di posa nel tratto considerato nel modo seguente:

$$passo \text{ teorico} = \begin{cases} \min(PCC) \text{ in } \frac{L}{4} \text{ di sinistra} \\ \min(PCC) \text{ in } \frac{L}{2} \text{ centrali} \\ \min(PCC) \text{ in } \frac{L}{4} \text{ di destra} \end{cases}$$

Noto il passo teorico, è possibile calcolare il numero teorico di connettori per il tratto considerato:

$$N.\text{conn teorico} = \frac{L_i}{\text{passo teorico}}$$

con  $L_i$  pari alla lunghezza del tratto considerato.

$N.\text{conn teorico}$  risulta essere un numero non intero, si procede quindi ad arrotondare il numero di connettori teorico al primo intero successivo, trovando così  $N.\text{connettori}$  e quindi il passo reale cui andranno posati i connettori nel tratto considerato:

$$\text{passo} = \frac{L_i}{N.\text{connettori}}$$

Se in uno dei tratti  $\text{passo}$  risulta minore della spaziatura critica  $s_{cr,N}$  (pari a 126 mm), il software segnala, con un apposito alert, che la spaziatura calcolata risulta inferiore alla spaziatura critica secondo ETA.

Il numero di connettori a  $m^2$  si ottiene facendo la somma di  $N.\text{connettori}$  sui diversi tratti e dividendo il totale per la somma delle luci delle campate e l'interasse.

Qualora in una campata sia presente l'estremo libero, in tale campata il software restituisce la posa con spaziatura costante (calcolata come indicato al paragrafo seguente), mantenendo la posa con spaziatura variabile nelle altre campate del solaio (se presenti).

### 2.8.2. Spaziatura costante per campata

Per ogni campata, il software determina il passo teorico di posa nel modo seguente:

$$\text{passo teorico} = \min(PCC)$$

Noto il passo teorico, è possibile calcolare il numero teorico di connettori per la campata considerata:

$$N.\text{conn teorico} = \frac{L_i}{\text{passo teorico}}$$

con  $L_i$  pari alla lunghezza della campata considerata.

$N.\text{conn teorico}$  risulta essere un numero non intero, si procede quindi ad arrotondare il numero di connettori teorico al primo intero successivo, trovando così  $N.\text{connettori}$  e quindi il passo reale cui andranno posati i connettori:

$$\text{passo} = \frac{L_i}{N.\text{connettori}}$$

Se in una delle campate  $\text{passo}$  risulta minore della spaziatura critica  $s_{cr,N}$  (pari a 126 mm), il software segnala, con un apposito alert, che la spaziatura calcolata risulta inferiore alla spaziatura critica secondo ETA.

Il numero di connettori a  $m^2$  si ottiene facendo la somma di  $N.\text{connettori}$  sulle diverse campate e dividendo il totale per la somma delle luci delle campate e l'interasse.

## 2.9. Note e osservazioni

Si riportano di seguito alcune note e osservazioni ulteriori:

- il rinforzo è progettato con stato deformativo iniziale nullo;
- si ricorda che la realizzazione di un ringrosso determina una modifica della rigidità dell'elemento e quindi può determinare una variazione della distribuzione delle sollecitazioni all'interno del fabbricato analizzato in schemi iperstatici e quindi sui singoli elementi (travi/pilastri). È opportuno dunque eseguire la verifica sezionale, mediante il software Sistemi FRC, a valle del ricalcolo delle sollecitazioni nel modello post-operam con il ringrosso applicato agli elementi.

### 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 – Pilastro rinforzato

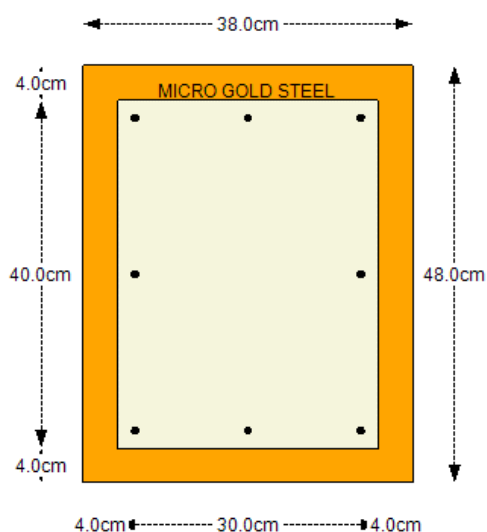
Si analizza una sezione di un pilastro esistente, con le caratteristiche di seguito descritte, rinforzato mediante ringrosso della sezione originaria con calcestruzzo fibrorinforzato HPFRC **MICRO GOLD STEEL**.

Si adottano i seguenti materiali esistenti:

- per il calcestruzzo esistente, si seleziona “**Da relazione**” la classe C20/25 e un Livello di Conoscenza LC2 corrispondente ad un Fattore di Confidenza pari a 1.20;
- per l'acciaio esistente, si seleziona “**Da relazione**” la classe FeB44k e un Livello di Conoscenza LC2 corrispondente ad un Fattore di Confidenza pari a 1.20.

Il calcolo viene svolto assumendo un comportamento fragile dei materiali esistenti sia nelle verifiche a taglio che nelle verifiche a pressoflessione.

Viene adottata la seguente geometria:

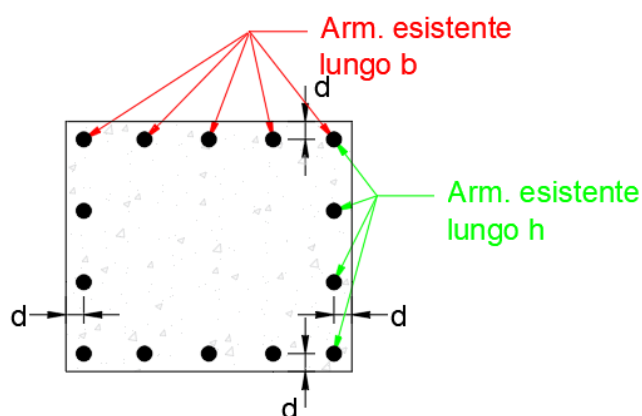


GEOMETRIA	
Base b	30.0 cm
Altezza h	40.0 cm
Spessore ringrosso inf./sup. $S_{inf}$	4.0 cm
Spessore ringrosso laterale $S_L$	4.0 cm

I carichi agli SLU sono i seguenti (N positivo se di compressione):

Azione assiale sollecitante	$N_{Sd}$	46.5 kN
Momento sollecitante (direzione y)	$M_{Sd,y}$	27.00 kNm
Momento sollecitante (direzione z)	$M_{Sd,z}$	27.00 kNm
Taglio sollecitante z	$V_{Sd,z}$	21.00 kN
Taglio sollecitante y	$V_{Sd,y}$	27.00 kN

Le armature in sezione sono definite come segue:



ARMATURE	
Armatura esistente lungo b	3Ø8*
Armatura esistente lungo h	3Ø8*
Copriferro [cm]	2.0
Diametro staffe	Ø8
Braccia staffe verticali	2
Braccia staffe orizzontali	2
Passo staffe [cm]	20.0

Per FeB44k (parametri fragili):

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_m \cdot FC} = \frac{430 \text{ MPa}}{1.15 \cdot 1.2} = 311.59 \text{ MPa}$$

\*Il pilastro è armato con 8Ø8 complessivi, ovvero quattro ferri angolari e un ulteriore ferro interno ad ogni lato (come visibile nelle immagini di seguito riportate); ciò si traduce in 3 armature lungo b e 3 armature lungo h (modalità di inserimento delle armature all'interno del software).

### Verifica a pressoflessione

Si procede quindi al calcolo della resistenza a pressoflessione allo SLU della sezione di pilastro rinforzato mediante ringrosso con calcestruzzo fibrorinforzato HPFRC **MICRO GOLD STEEL**.

La verifica viene svolta secondo le indicazioni del paragrafo §4.1.2.3.4.2 delle NTC2018, che consente il calcolo in pressoflessione retta nelle due direzioni. Una volta ottenute le resistenze flessionali per ogni direzione, si verifica che la coppia sollecitante ( $M_{sd,y}$ ,  $M_{sd,z}$ ) sia all'interno del dominio fornito dall'espressione [4.1.19] delle NTC, riportata di seguito:

$$\left( \frac{M_{sd,y}}{M_{Rd,y}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{sd,z}}{M_{Rd,z}} \right)^\alpha \leq 1$$

Si procede quindi alla valutazione della resistenza a pressoflessione retta in direzione y.

Le distanze dall'estradosso della sezione rinforzata delle armature presenti e le relative aree risultano:

$$\begin{aligned} c_1 &= 6 \text{ cm} & A_{s1} &= 3 \cdot A_s = 1.51 \text{ cm}^2 \\ c_2 &= 24 \text{ cm} & A_{s2} &= 2 \cdot A_s = 1.01 \text{ cm}^2 \\ c_3 &= 42 \text{ cm} & A_{s3} &= 3 \cdot A_s = 1.51 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

con  $A_s$  area di una singola barra di diametro 8 mm.

Al fine di determinare la posizione dell'asse neutro, si ipotizza che ricada all'interno dello spessore del rinforzo, considerando quindi tutte le armature all'interno della sezione esistente tese oltre lo snervamento. La rottura ipotizzata avviene per raggiungimento della deformazione ultima a trazione del calcestruzzo fibrorinforzato. **Tali ipotesi devono poi essere verificate a posteriori.**

L'equazione di equilibrio alla traslazione dunque risulta:

$$N_s = \lambda \cdot \eta \cdot f_{fcd} \cdot b_r \cdot y - f_{sd} \cdot A_{s1} - f_{sd} \cdot A_{s2} - f_{sd} \cdot A_{s3} - f_{ftud} \cdot (A_r - b_r \cdot y)$$

con  $\eta = 0.85$  e  $\lambda = 0.725$ ,  $b_r$  la base della sezione rinforzata (38 cm),  $f_{fcd}$  la resistenza a compressione di progetto del calcestruzzo fibrorinforzato (45.33 MPa),  $f_{ftud}$  la resistenza a trazione di progetto del calcestruzzo fibrorinforzato (1.73 MPa),  $N_s$  la forza assiale sollecitante in sezione e  $A_r$  area complessiva del calcestruzzo fibrorinforzato pari a  $b_r h_r - b h$ , con  $h_r$  l'altezza della sezione rinforzata (48 cm).

Risolvendo l'equazione si ottiene un asse neutro pari a:

$$y = 2.48 \text{ cm}$$

Si verificano ora che le deformazioni nei tre livelli armatura siano coerenti con le ipotesi definite, utilizzando la similitudine fra triangoli nel diagramma lineare delle deformazioni in sezione:

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{fu}}{h_r - y} (c_1 - y) = 1.55 \text{ ‰} > 1.48 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{fu}}{h_r - y} (c_2 - y) = 9.45 \text{ ‰} > 1.48 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{\varepsilon_{fu}}{h_r - y} (c_3 - y) = 17.36 \text{ ‰} > 1.48 \text{ ‰}$$

Si verifica inoltre che la deformazione all'estremo lembo compresso del calcestruzzo fibrorinforzato sia inferiore alla deformazione limite pari a 2.60 ‰:

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fu}}{h_r - y} y = 1.09 \text{ ‰} < 2.60 \text{ ‰}$$

Le ipotesi risultano verificate e si procede pertanto alla valutazione del momento resistente, scrivendo l'equazione di equilibrio alla rotazione rispetto al baricentro della sezione:

$$M_{rdy} = \lambda \cdot \eta \cdot f_{fcd} \cdot b_r \cdot y \cdot \left( \frac{h_r}{2} - \frac{\lambda}{2} \cdot y \right) - f_{sd} \cdot A_{s1} \cdot \left( \frac{h_r}{2} - c_1 \right) + f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot \left( \frac{h_r}{2} - c_2 \right) + f_{sd} \cdot A_{s3} \cdot \left( c_3 - \frac{h_r}{2} \right) - f_{ftud} \cdot A_{frc1} \cdot b_1 - f_{ftud} \cdot A_{frc2} \cdot b_2 + f_{ftud} \cdot A_{frc3} \cdot b_3 + f_{ftud} \cdot A_{frc4} \cdot b_4$$

$$M_{rdy} = 64.61 \text{ kNm}$$

con:

$$A_{frc1} = b_r \cdot (s_{inf} - y)$$

$$b_1 = \frac{h_r}{2} - y - \frac{s_{inf} - y}{2}$$

$$A_{frc2} = 2 \cdot s_L \cdot \frac{h}{2}$$

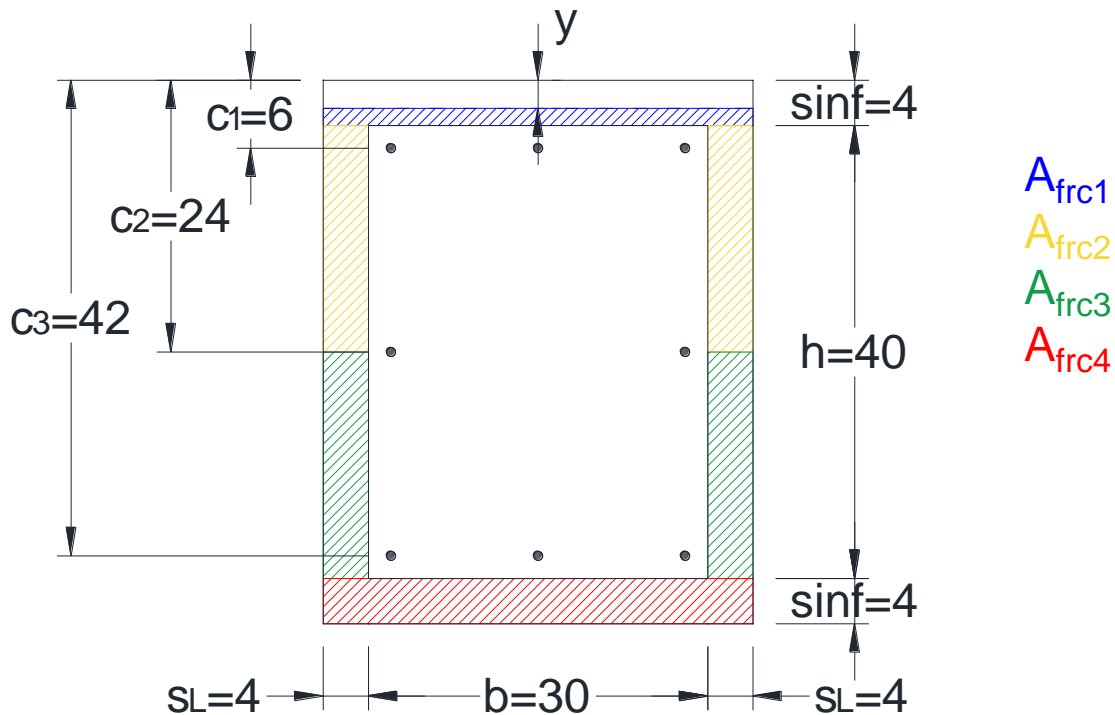
$$b_2 = \frac{h}{4}$$

$$A_{frc3} = 2 \cdot s_L \cdot \frac{h}{2}$$

$$b_3 = \frac{h}{4}$$

$$A_{frc4} = b_r \cdot s_{inf}$$

$$b_4 = \frac{h_r}{2} - \frac{s_{inf}}{2}$$



Le piccole differenze in termini di momento resistente sono dovute al procedimento numerico iterativo implementato nel programma.

Si procede quindi alla valutazione della resistenza a pressoflessione retta per l'asse  $z$ .

Le distanze dal lato destro della sezione delle armature presenti nella sezione e le relative aree risultano:

Le distanze dal lato destro della sezione rinforzata delle armature presenti e le relative aree risultano:

$$e_1 = 32 \text{ cm} \quad A_{s1} = 3 \cdot A_s = 1.51 \text{ cm}^2$$

$$e_2 = 19 \text{ cm} \quad A_{s2} = 2 \cdot A_s = 1.01 \text{ cm}^2$$

$$e_3 = 6 \text{ cm} \quad A_{s3} = 3 \cdot A_s = 1.51 \text{ cm}^2$$

Al fine di determinare la posizione dell'asse neutro, si ipotizza che ricada all'interno dello spessore del rinforzo, considerando quindi tutte le armature all'interno della sezione esistente tese oltre lo snervamento. La rottura ipotizzata avviene per raggiungimento della deformazione ultima a trazione del calcestruzzo fibrorinforzato. **Tali ipotesi devono poi essere verificate a posteriori.**

L'equazione di equilibrio alla traslazione dunque risulta:

$$N_s = \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot h_r \cdot z - f_{sd} \cdot A_{s1} - f_{sd} \cdot A_{s2} - f_{sd} \cdot A_{s3} - f_{tud} \cdot (A_r - h_r \cdot z)$$

con  $\eta = 0.85$  e  $\lambda = 0.725$ ,  $h_r$  l'altezza della sezione rinforzata (48 cm),  $f_{fcd}$  la resistenza a compressione di progetto del calcestruzzo fibrorinforzato (45.33 MPa),  $f_{ftud}$  la resistenza a trazione di progetto del calcestruzzo fibrorinforzato (1.73 MPa),  $N_s$  la forza assiale sollecitante in sezione e  $A_r$  area complessiva del calcestruzzo fibrorinforzato pari a  $b_r h_r - b h$ , con  $b_r$  la base della sezione rinforzata (38 cm).

Risolvendo l'equazione si ottiene un asse neutro pari a:

$$z = 1.97 \text{ cm}$$

Si verificano ora che le deformazioni nei tre livelli armatura siano coerenti con le ipotesi definite, utilizzando la similitudine fra triangoli nel diagramma lineare delle deformazioni in sezione:

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{fu}}{b_r - z} (e_1 - z) = 16.67 \text{ ‰} > 1.48 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{fu}}{b_r - z} (e_2 - z) = 9.45 \text{ ‰} > 1.48 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{\varepsilon_{fu}}{b_r - z} (e_3 - z) = 2.24 \text{ ‰} > 1.48 \text{ ‰}$$

Si verifica inoltre che la deformazione all'estremo lembo compresso del calcestruzzo fibrorinforzato sia inferiore alla deformazione limite pari a 2.60 ‰:

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fu}}{b_r - z} z = 1.09 \text{ ‰} < 2.60 \text{ ‰}$$

Le ipotesi risultano verificate e si procede pertanto alla valutazione del momento resistente, scrivendo l'equazione di equilibrio alla rotazione rispetto al baricentro della sezione:

$$M_{rdz} = \lambda \cdot \eta \cdot f_{fcd} \cdot h_r \cdot z \cdot \left( \frac{b_r}{2} - \frac{\lambda}{2} \cdot z \right) - f_{sd} \cdot A_{s3} \cdot \left( \frac{b_r}{2} - e_3 \right) + f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot \left( \frac{b_r}{2} - e_2 \right) + f_{sd} \cdot A_{s1} \cdot \left( e_1 - \frac{b_r}{2} \right) - f_{ftud} \cdot A_{frc1} \cdot b_1 - f_{ftud} \cdot A_{frc2} \cdot b_2 + f_{ftud} \cdot A_{frc3} \cdot b_3 + f_{ftud} \cdot A_{frc4} \cdot b_4$$

$$M_{rdz} = 51.15 \text{ kNm}$$

con:

$$A_{frc1} = h_r \cdot (s_L - z)$$

$$b_1 = \frac{b_r}{2} - z - \frac{s_L - z}{2}$$

$$A_{frc2} = 2 \cdot s_{inf} \cdot \frac{b}{2}$$

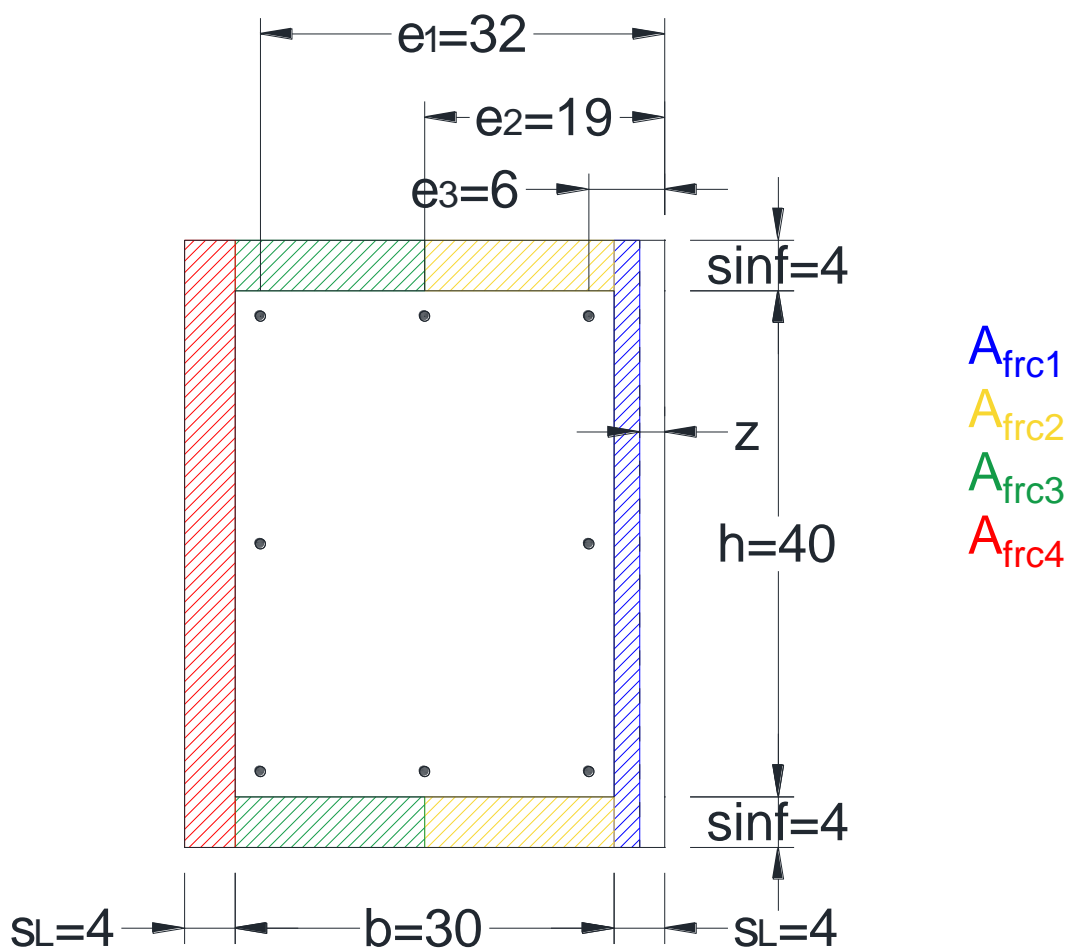
$$b_2 = \frac{b}{4}$$

$$A_{frc3} = 2 \cdot s_{inf} \cdot \frac{b}{2}$$

$$b_3 = \frac{b}{4}$$

$$A_{frc4} = h_r \cdot s_L$$

$$b_4 = \frac{b_r}{2} - \frac{s_L}{2}$$



Le piccole differenze in termini di momento resistente sono dovute al procedimento numerico iterativo implementato nel programma.

Si procede quindi alla valutazione del dominio della sezione rinforzata:

$$N_{Rcd} = b \cdot h \cdot f_{cd} + A_r \cdot f_{fcd} = 3962.13 \text{ kN}$$

con  $f_{cd}$  resistenza a compressione di progetto del calcestruzzo esistente.

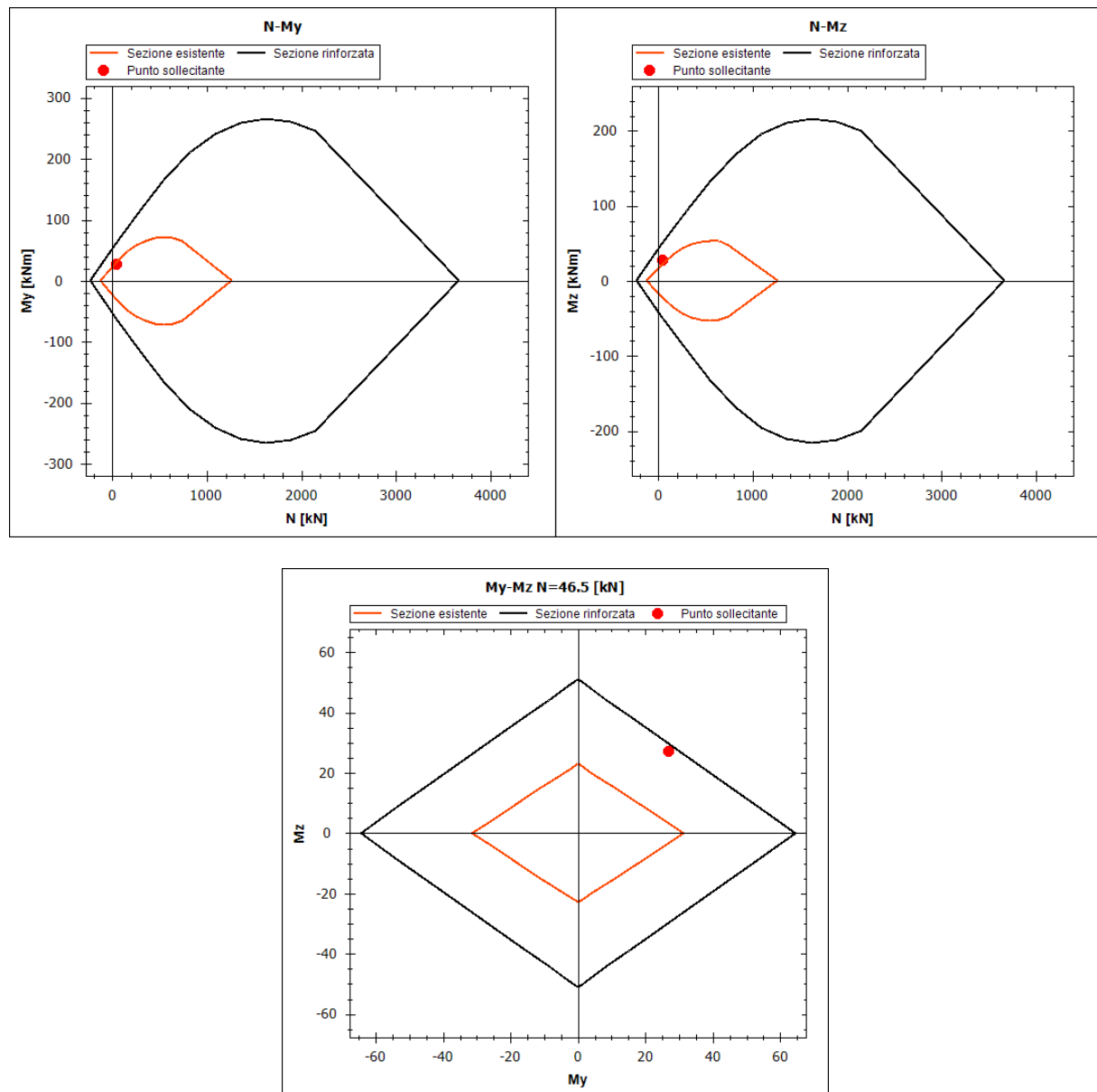
$$v = \frac{N_{Sd}}{N_{Rcd}} = \frac{46.5 \text{ kN}}{3962.13 \text{ kN}} = 0.0117$$

Poiché  $\nu$  risulta inferiore a 0.1, il coefficiente  $\alpha$  risulta pari a 1.

$$C = \left(\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{Sd,z}}{M_{Rd,z}}\right)^{\alpha} = \left(\frac{27 \text{ kNm}}{64.61 \text{ kNm}}\right)^1 + \left(\frac{27 \text{ kNm}}{51.15 \text{ kNm}}\right)^1 = 0.95$$

La verifica a pressoflessione è soddisfatta poiché  $C \leq 1$ .

Si riportano i grafici elaborati dal software:



### Verifica a taglio

Si valuta la resistenza a taglio della sezione rinforzata. Il contributo del calcestruzzo fibrorinforzato viene calcolato con le seguenti espressioni:

Taglio parallelo a z:

$$V_{Rdf,z} = 0.9d_{FRC,z} \frac{A_{eq,FRC,z}}{1000} f_{yd,acciaio esistente} \operatorname{ctg} \vartheta = 57.41 \text{ kN}$$

con l'angolo  $\vartheta$  sempre posto pari a  $45^\circ$  e:

$$A_{eq,FRC,z} = 2s_L \cdot 1000 \cdot \frac{f_{ftud}}{f_{yd,acciaio esistente}} [\text{mm}^2] = 445 \text{ mm}^2$$

$$d_{FRC,z} = h + \frac{3}{2}s_{inf} = 460 \text{ mm}$$

Taglio parallelo a y:

$$V_{Rdf,y} = 0.9d_{FRC,y} \frac{A_{eq,FRC,y}}{1000} f_{yd,acciaio esistente} \operatorname{ctg} \vartheta = 44.93 \text{ kN}$$

con l'angolo  $\vartheta$  sempre posto pari a  $45^\circ$  e:

$$A_{eq,FRC,y} = 2s_{inf} \cdot 1000 \cdot \frac{f_{ftud}}{f_{yd,acciaio esistente}} [\text{mm}^2] = 445 \text{ mm}^2$$

$$d_{FRC,y} = b + \frac{3}{2}s_L = 360 \text{ mm}$$

Si valuta la resistenza a taglio trazione e a taglio compressione della sezione esistente:

Taglio parallelo a z:

$$V_{Rsd,z} = 0.9d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{sd,f} \cdot (\operatorname{cota} + \operatorname{cot}\theta) \cdot \sin\alpha = 133.91 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd,z} = 0.9d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot \nu \cdot f_{cd,f} \cdot \frac{(\operatorname{cota} + \operatorname{cot}\theta)}{(1 + \operatorname{cot}^2\theta)} = 173.92 \text{ kN}$$

con  $d$  altezza utile della sezione pari a 380 mm,  $s$  passo staffe pari a 200 mm,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $b_w$  pari a 300 mm,  $\nu = 0.5$ ,  $A_{sw}$  area dell'armatura trasversale (staffe):

$$A_{sw,z} = \frac{n_b \cdot \pi \cdot \phi_{st}^2}{4} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2}{4} = 100.53 \text{ mm}^2$$

Relativamente all'angolo  $\theta$ , si è ricercata la rottura bilanciata ottenendo che l'angolo per il quale si verifica è inferiore a  $21.8^\circ$ . Si impone pertanto  $\theta = 21.8^\circ$ .

Il coefficiente maggiorativo  $\alpha_c$  risulta:

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{sd}}{A_c} = 0.39 \text{ MPa} < 0.25 f_{cd} = 2.36 \text{ MPa}$$

$$\alpha_c = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1.04$$

Taglio parallelo a y:

$$V_{Rsd,y} = 0.9d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{sd,f} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sin\alpha = 98.67 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd,y} = 0.9d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot \nu \cdot f_{cd,f} \cdot \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{(1 + \cot^2\theta)} = 170.87 \text{ kN}$$

con  $d$  altezza utile della sezione pari a 280 mm,  $s$  passo staffe pari a 200 mm,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $b_w$  pari a 400 mm,  $\nu = 0.5$ ,  $A_{sw}$  area dell'armatura trasversale (staffe):

$$A_{sw,z} = \frac{n_b \cdot \pi \cdot \phi_{st}^2}{4} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2}{4} = 100.53 \text{ mm}^2$$

Relativamente all'angolo  $\theta$ , si è ricercata la rottura bilanciata ottenendo che l'angolo per il quale si verifica è inferiore a  $21.8^\circ$ . Si impone pertanto  $\theta = 21.8^\circ$ .

Il coefficiente maggiorativo  $\alpha_c$  risulta:

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{sd}}{A_c} = 0.39 \text{ MPa} < 0.25 f_{cd} = 2.36 \text{ MPa}$$

$$\alpha_c = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1.04$$

Nel pre-intervento, la resistenza a taglio quindi risulta:

$$V_{Rd,z} = \min(V_{Rsd,z}; V_{Rcd,z}) = 133.91 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,y} = \min(V_{Rsd,y}; V_{Rcd,y}) = 98.67 \text{ kN}$$

Nel post-intervento, la resistenza a taglio è valutata come:

$$V_{Rd,PO,z} = \min(V_{Rcd,z}; V_{Rsd,z} + V_{Rdf,z}) = 173.92 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,PO,y} = \min(V_{Rcd,y}; V_{Rsd,y} + V_{Rdf,y}) = 143.60 \text{ kN}$$

La verifica a taglio è soddisfatta.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti nel software:

Risultati sezione

Risultati del calcolo

M <sub>sd<sub>y</sub></sub>	27.0	kNm	verificato	
M <sub>rd<sub>y</sub></sub>	64.4	kNm		
M <sub>sd<sub>z</sub></sub>	27.0	kNm	verificato	
M <sub>rd<sub>z</sub></sub>	51.0	kNm		
Pressoflessione deviate	0.95		verificato	?
V <sub>sd<sub>z</sub></sub>	21.0	kN	verificato	
V <sub>rd<sub>z</sub></sub>	173.9	kN		
V <sub>sd<sub>y</sub></sub>	27.0	kN	verificato	
V <sub>rd<sub>y</sub></sub>	143.6	kN		

Calcola
Domini

### Resistenza a pressoflessione pre-intervento

Le distanze dal lembo superiore della sezione esistente delle armature presenti e le relative aree risultano:

$$c_1 = 2 \text{ cm} \quad A_{s1} = 3 \cdot A_s = 1.51 \text{ cm}^2$$

$$c_2 = 20 \text{ cm} \quad A_{s2} = 2 \cdot A_s = 1.01 \text{ cm}^2$$

$$c_3 = 38 \text{ cm} \quad A_{s3} = 3 \cdot A_s = 1.51 \text{ cm}^2$$

In maniera analoga a quanto indicato in precedenza, si ricava la posizione dell'asse neutro in direzione  $y$  scrivendo l'equazione di equilibrio alla traslazione (ipotizzando che le armature nel livello intermedio e inferiore siano tese snervate e le armature nel livello superiore siano compresse ed elastiche con  $E_s$  pari a 210000 MPa):

$$N_{sd} = 0.8 \cdot y \cdot f_{cd} \cdot b + \sigma_{s1} \cdot A_{s1} - f_{sd} \cdot A_{s2} - f_{sd} \cdot A_{s3}$$

$$N_{sd} = 0.8 \cdot y \cdot f_{cd} \cdot b + E_s \cdot \frac{\varepsilon_{cu}(y - c_1)}{y} \cdot A_{s1} - f_{sd} \cdot A_{s2} - f_{sd} \cdot A_{s3}$$

$$y = 3.45 \text{ cm}$$

Il momento resistente in direzione y risulta:

$$M_{Rd,y} = 0.8 \cdot y \cdot f_{cd} \cdot b \cdot \left( \frac{h}{2} - 0.4 \cdot y \right) + f_{sd} \cdot A_{s3} \cdot \left( c_3 - \frac{h}{2} \right) + f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot \left( \frac{h}{2} - c_2 \right) + \sigma_{s1} \cdot A_{s1} \cdot \left( \frac{h}{2} - c_1 \right) = 31.41 \text{ kNm}$$

Le distanze dal lato destro della sezione esistente delle armature presenti e le relative aree risultano:

$$\begin{aligned} e_1 &= 28 \text{ cm} & A_{s1} &= 3 \cdot A_s = 1.51 \text{ cm}^2 \\ e_2 &= 15 \text{ cm} & A_{s2} &= 2 \cdot A_s = 1.01 \text{ cm}^2 \\ e_3 &= 2 \text{ cm} & A_{s3} &= 3 \cdot A_s = 1.51 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Si ricava la posizione dell'asse neutro in direzione z scrivendo l'equazione di equilibrio alla traslazione (ipotizzando che le armature nel livello intermedio e a sinistra siano tese snervate e le armature nel livello a destra siano compresse ed elastiche con  $E_s$  pari a 210000 MPa):

$$\begin{aligned} N_{sd} &= 0.8 \cdot z \cdot f_{cd} \cdot h + \sigma_{s3} \cdot A_{s3} - f_{sd} \cdot A_{s2} - f_{sd} \cdot A_{s1} \\ N_{sd} &= 0.8 \cdot z \cdot f_{cd} \cdot h + E_s \cdot \frac{\varepsilon_{cu}(z - e_3)}{z} \cdot A_{s3} - f_{sd} \cdot A_{s2} - f_{sd} \cdot A_{s1} \\ z &= 2.95 \text{ cm} \end{aligned}$$

Il momento resistente in direzione z risulta:

$$M_{Rd,z} = 0.8 \cdot z \cdot f_{cd} \cdot h \cdot \left( \frac{b}{2} - 0.4 \cdot z \right) + f_{sd} \cdot A_{s1} \cdot \left( e_1 - \frac{b}{2} \right) + f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot \left( \frac{b}{2} - e_2 \right) + \sigma_{s3} \cdot A_{s3} \cdot \left( \frac{b}{2} - e_3 \right) = 23.07 \text{ kNm}$$

Le piccole differenze sono dovute al procedimento numerico iterativo implementato nel programma e all'utilizzo nel calcolo manuale del modello costitutivo di tipo stress-block per il calcestruzzo esistente.

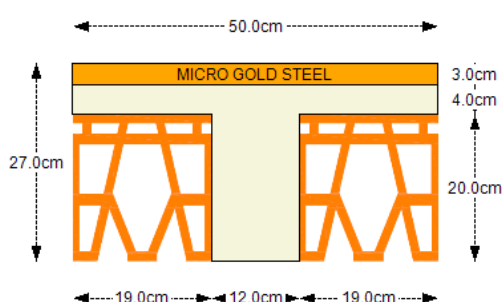
### 3.2. Caso 2 – Solaio con nuova soletta e Connettore CentroStorico Chimico

Si analizza un solaio esistente, con le caratteristiche di seguito descritte, consolidato mediante realizzazione di una nuova soletta in calcestruzzo fibrorinforzato HPFRC **MICRO GOLD STEEL**, interconnessa al solaio esistente mediante **Connettore CentroStorico Chimico**.

Si adottano i seguenti materiali esistenti, con parametri fragili:

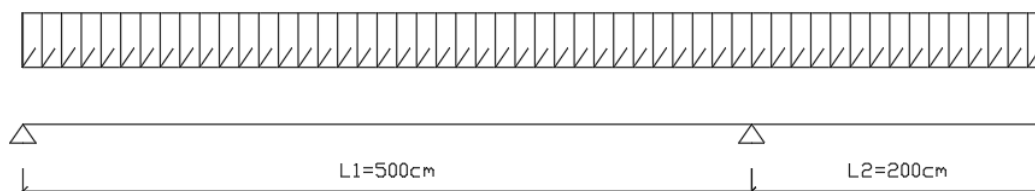
- per il calcestruzzo esistente, si seleziona “Da relazione” la classe C20/25 e un Livello di Conoscenza LC2 corrispondente ad un Fattore di Confidenza pari a 1.20;
- per l'acciaio esistente, si seleziona “Da relazione” la classe FeB32k e un Livello di Conoscenza LC2 corrispondente ad un Fattore di Confidenza pari a 1.20.

Viene adottata la seguente geometria:



GEOMETRIA		
Spessore nuova soletta	3.0	cm
Spessore caldana esistente	4.0	cm
Base travetto	12.0	cm
Altezza travetto	20.0	cm
Interasse travetti	50.0	cm
Lunghezza campata 1	500.0	cm
Lunghezza campata 2	200.0	cm

Lo schema statico del solaio è costituito da 2 campate, la prima da 500 cm e la seconda da 200 cm con grado di rigidezza nulla all'estremità sinistra mentre l'altra estremità è libera:



Il carico allo Stato Limite Ultimo è determinato come segue:

Coefficienti di sicurezza	Carichi permanenti strutturali	$\gamma_{G1}$	1.3	-
	Altri carichi permanenti non strutturali	$\gamma_{G2}$	1.5	-
	Carichi variabili	$\gamma_Q$	1.5	-
Peso proprio	Solaio esistente	$G_1$	3.11	kN/m <sup>2</sup>
	Soletta collaborante (3 cm)		0.69	kN/m <sup>2</sup>
Permanenti	Lecamix Facile (5.00 cm)	$G_2$	0.50	kN/m <sup>2</sup>
	Altri permanenti		0.19	kN/m <sup>2</sup>
Variabili		$Q$	2.00	kN/m <sup>2</sup>

La combinazione di carico agli SLU considerata è:

$$q = i_{tr} \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{solaio} + P_{soletta} + P_{massetto}) + \gamma_{G2} \cdot P_{altri} + \gamma_Q \cdot Q_{var}]$$

dove il peso proprio del solaio è valutato considerando una densità del calcestruzzo del travetto esistente di 25 kN/m<sup>3</sup> e delle pignatte di 6 kN/m<sup>3</sup>, il peso della soletta viene valutato considerando la densità del calcestruzzo fibrorinforzato pari a 23 kN/m<sup>3</sup>.

Il carico per travetto risulta pertanto:

$$q = 50 \text{ cm} \cdot [1.3 \cdot (3.11 + 0.69 + 0.50) + 1.5 \cdot 0.19 + 1.5 \cdot 2.00] = 4.44 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Si procede con il calcolo delle sollecitazioni della trave continua così formata:

$$V_A = \frac{q \cdot (L1^2 - L2^2)}{2 \cdot L1} = 9.32 \text{ kN}$$

$$V_{B1} = -\left(\frac{q}{2 \cdot L1} \cdot (L1 + L2)^2 - q \cdot L2\right) = -12.87 \text{ kN}$$

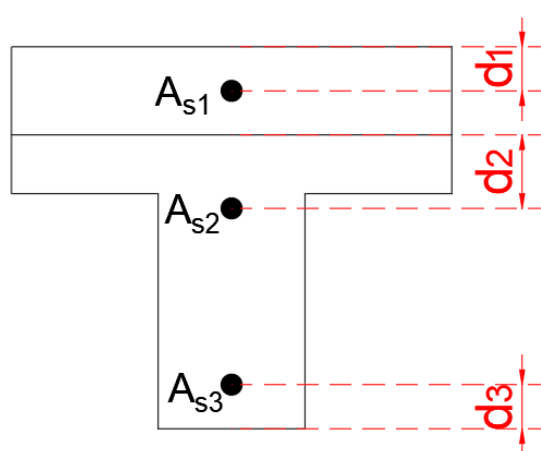
$$V_{B2} = q \cdot L2 = 8.88 \text{ kN}$$

$$x_0 = \frac{L1^2 - L2^2}{2 \cdot L1} = 2.1 \text{ m}$$

$$M_{max} = \frac{q}{2 \cdot L1} \cdot (L1^2 - L2^2) \cdot x_0 - \frac{q \cdot x_0^2}{2} = 9.79 \text{ kNm}$$

$$M_{min} = \frac{-q \cdot L2^2}{2} = -8.88 \text{ kNm}$$

Le armature in sezione sono definite come segue:

	<p> <math>A_{s1} = 0.57 \text{ cm}^2 \quad d_1 = 2.7 \text{ cm (B450C) (*)}</math>  <math>A_{s2} = 0.50 \text{ cm}^2 \quad d_2 = 2 \text{ cm (FeB32k)}</math>  <math>A_{s3} = 1.57 \text{ cm}^2 \quad d_3 = 2 \text{ cm (FeB32k)}</math> </p> <p>Per FeB32k:</p> $f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_m FC} = \frac{315}{1.15 \cdot 1.2} = 228.26 \text{ MPa}$ <p>Per B450C:</p> $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_m} = \frac{450}{1.15} = 391.30 \text{ MPa}$
-------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(\*) L'armatura  $A_{s1}$  non è presente per l'intero sviluppo del solaio ma solamente in corrispondenza dell'appoggio centrale B per un'estensione di 40 cm nella campata di destra e 40 cm nella campata di sinistra.

### Verifica a flessione

Si procede quindi al calcolo della resistenza a flessione positiva e negativa allo SLU del solaio consolidato mediante la nuova soletta in calcestruzzo fibrorinforzato HPFRC **MICRO GOLD STEEL**, connessa al solaio esistente mediante **Connettore CentroStorico Chimico**.

Le distanze dall'estradosso delle armature presenti nella sezione risultano:

$$c_1 = 2.7 \text{ cm (solo appoggio)}$$

$$c_2 = 5 \text{ cm}$$

$$c_3 = 25 \text{ cm}$$

La posizione dell'asse neutro è ricavata imponendo l'equilibrio alla traslazione per la sezione caratterizzata dal momento sollecitante massimo (pertanto  $A_{s1}$  non risulta presente in tale sezione), ipotizzando che entrambi i livelli di armatura siano snervati e che l'asse neutro cada all'interno della nuova soletta in calcestruzzo fibrorinforzato (tali ipotesi vanno verificate a posteriori):

$$f_{sd} \cdot A_{s2} + f_{sd} \cdot A_{s3} - \lambda \cdot \eta \cdot f_{fcd} \cdot x \cdot i_{tr} + f_{ftud} \cdot (s_n - x) \cdot i_{tr} = 0$$

dove  $s_n$  è lo spessore della soletta in calcestruzzo fibrorinforzato,  $f_{fcd}$  la resistenza a compressione di progetto del calcestruzzo fibrorinforzato pari a 45.33 MPa,  $f_{ftud}$  la resistenza a trazione di progetto del calcestruzzo fibrorinforzato pari a 1.73 MPa.

Risolvendo l'equazione si ottiene un asse neutro (a flessione positiva) pari a:

$$x = 0.49 \text{ cm}$$

Si verificano le ipotesi di partenza e si procede pertanto alla valutazione del momento resistente, scrivendo l'equazione di equilibrio alla rotazione:

$$M_{rdp} = f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot \left( c_2 - \frac{\lambda}{2} \cdot x \right) + f_{sd} \cdot A_{s3} \cdot \left( c_3 - \frac{\lambda}{2} \cdot x \right) + f_{ftud} \cdot (s_n - x) \cdot i_{tr} \cdot \left( x + \frac{s_n - x}{2} - \frac{\lambda}{2} \cdot x \right) = 9.79 \text{ kNm}$$

Le piccole differenze sono dovute al procedimento numerico iterativo implementato nel programma.

La verifica a flessione positiva quindi risulta soddisfatta.

Si procede con la valutazione della resistenza a flessione negativa in corrispondenza dell'appoggio centrale; si considerano pertanto anche gli spezzoni di armatura inseriti all'interno della nuova soletta.

Le distanze dall'intradosso delle armature presenti nella sezione risultano:

$$e_1 = 24.3 \text{ cm}$$

$$e_2 = 22 \text{ cm}$$

$$e_3 = 2 \text{ cm}$$

La posizione dell'asse neutro è ricavata imponendo l'equilibrio alla traslazione, effettuando un'ipotesi sullo stato deformativo della sezione (rottura per raggiungimento della massima deformazione di trazione nel calcestruzzo fibrorinforzato, armature  $A_{s1}$  e  $A_{s2}$  snervate e tese, armatura  $A_{s3}$  elastica e compressa):

$$f_{yd} \cdot A_{s1} + f_{sd} \cdot A_{s2} - \sigma_{s3} \cdot A_{s3} - 0.8 \cdot f_{cd} \cdot x_n \cdot b + f_{ftud} \cdot s_n \cdot i_{tr} = 0$$

con  $\sigma_{s3} = E_s \varepsilon_{s3} = E_s \frac{\varepsilon_{fu}(x_n - e_3)}{h_{es} + s_n - x_n}$ , con  $h_{es}$  altezza totale del solaio esistente ed  $E_s$  pari a 210000 MPa.

La profondità dell'asse neutro a momento negativo è pari a:

$$x_n = 3.13 \text{ cm}$$

Si verificano le ipotesi di partenza e si procede pertanto alla valutazione del momento resistente, scrivendo l'equazione di equilibrio alla rotazione:

$$M_{rdn} = f_{yd} \cdot A_{s1} \cdot (e_1 - 0.4 \cdot x_n) + f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot (e_2 - 0.4 \cdot x_n) - \sigma_{s3} \cdot A_{s3} \cdot (e_3 - 0.4 \cdot x_n) + f_{ftd} \cdot s_n \cdot i_{tr} \cdot \left( h_{es} + s_n - \frac{s_n}{2} - 0.4 \cdot x_n \right) = 13.57 \text{ kNm}$$

Le piccole differenze sono dovute al procedimento numerico iterativo implementato nel programma e all'utilizzo nel calcolo manuale del modello costitutivo di tipo stress-block per il calcestruzzo esistente.

La verifica a flessione negativa quindi risulta soddisfatta.

### Verifica a taglio

Si valuta la resistenza a taglio in corrispondenza della coordinata  $x=5$  m nella prima campata, dove il taglio sollecitante risulta massimo.

Poiché  $f_{fck,FRC} > f_{ck,cls esistente}/FC$ , si procede con la verifica a taglio allo SLU, per elementi sprovvisti di specifica armatura a taglio, in accordo al paragrafo §4.1.2.3.5.1 delle *Norme tecniche per le costruzioni*, secondo la relazione seguente:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ \frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot \left( 100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d_p; (v_{min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w \cdot d_p \right\} = \max (V_{r1}; V_{r2})$$

con:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_p}} = 1.89 \leq 2$$

$$v_{min} = 0.035k^{1.5} \left( \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{0.5} = 0.37$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl} + A_{sl,eq,FRC}}{b_w \cdot d_p} = \frac{A_{s1} + A_{s2} + A_{sl,eq,FRC}}{b_w \cdot d_p} = 0.0072 \leq 0.02$$

$$A_{sl,eq,FRC} = i_{solaio} t_{FRC} \frac{f_{ftud}}{f_{yd,acciaio esistente}} [mm^2] = 113.69 mm^2$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

e  $d_p$  altezza utile della sezione pari a 25.5 cm pari al baricentro del calcestruzzo FRC teso,  $A_{sl}$  area dell'armatura longitudinale tesa (somma delle armature  $A_{s1}$  e  $A_{s2}$ ),  $A_{sl,eq,FRC}$  area equivalente del rinforzo in calcestruzzo fibrorinforzato,  $b_w$  base minima della sezione reagente pari a 12 cm e  $\gamma_m$  pari a 1.5.

Risulta quindi:

$$V_{r1} = \left[ \frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot \left( 100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{\frac{1}{3}} + 0.15\sigma_{cp} \right] b_w \cdot d_p = 15.87 kN$$

$$V_{r2} = (v_{min} + 0.15\sigma_{cp}) b_w \cdot d_p = 11.32 kN$$

$$V_{Rd} = \max(V_{r1}; V_{r2}) = 15.87 kN$$

La verifica a taglio risulta quindi soddisfatta.

### Verifica allo scorrimento sulla superficie di contatto con la nuova cappa

Per il calcolo della perfetta adesione tra la nuova soletta in calcestruzzo fibrorinforzato HPFRC **MICRO GOLD STEEL** e il solaio esistente, si confronta la tensione tagliante presente all'interfaccia soletta-solaio esistente (valutata con la formula di Jourawsky) con il valore di progetto del **Connettore CentroStorico Chimico** pari a 0.72 MPa, necessaria per la corretta collaborazione tra le due parti.

Coefficiente di omogeneizzazione per zone soggette a momento positivo:

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,FRC}}{2}} = \frac{210000 MPa}{\left( \frac{42420 MPa}{2} \right)} = 9.9$$

Coefficiente di omogeneizzazione per zone soggette a momento negativo:

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,esistente}}{2}} = \frac{210000 MPa}{\left( \frac{29962 MPa}{2} \right)} = 14.0$$

A titolo di esempio per le zone soggette a momento negativo con armatura integrativa nella nuova soletta in FRC, si valuta la posizione dell'asse neutro da calcolo elastico della sezione, imponendo che il momento statico dell'intera sezione parzializzata rispetto all'asse neutro sia nullo (ipotesi di asse neutro nel travetto esistente):

$$b \cdot x_n \cdot \frac{x_n}{2} + n^- \cdot (A_{s1} \cdot (x_n - e_1) + A_{s2} \cdot (x_n - e_2) + A_{s3} \cdot (x_n - e_3)) + s_n \cdot i_{tr} \cdot \left( x_n - \left( h_r - \frac{s_n}{2} \right) \right) = 0$$

con  $h_r$  altezza complessiva del solaio rinforzato (27 cm) e  $b$  base del travetto (12 cm).

Si ricava:

$$x_n = 15.17 \text{ cm}$$

Si valuta quindi il momento statico della porzione al di sopra della corda considerata posta all'interfaccia tra solaio esistente e nuova soletta, che in tal caso coinvolge l'armatura presente in soletta e la parte di calcestruzzo FRC tesa:

$$S_{int} = n^- \cdot A_{s1} \cdot (e_1 - x_n) + s_n \cdot i_{tr} \cdot \left( h_r - \frac{s_n}{2} - x_n \right) = 1622.58 \text{ cm}^3$$

Il momento d'inerzia dell'intera sezione parzializzata rispetto all'asse neutro viene valutato come segue:

$$J_n = \frac{b \cdot x_n \cdot x_n^2}{12} + b \cdot x_n \cdot \left( \frac{x_n}{2} \right)^2 + n^- \cdot (A_{s1} \cdot (e_1 - x_n)^2 + A_{s2} \cdot (e_2 - x_n)^2 + A_{s3} \cdot (e_3 - x_n)^2) + \frac{i_{tr} \cdot s_n^3}{12} + s_n \cdot i_{tr} \cdot \left( h_r - \frac{s_n}{2} - x_n \right)^2 = 34893.29 \text{ cm}^4$$

Si calcola infine la tensione tangenziale all'interfaccia utilizzando la formula di Jourawsky nell'appoggio centrale dove si ha il taglio massimo per le zone soggette a momento negativo:

$$\tau_{interfaccia} = \frac{V_{B1} \cdot S_{int}}{J_n \cdot b_c} = 0.12 \text{ MPa} < 0.72 \text{ MPa}$$

con  $b_c = i_{tr} = 50 \text{ cm}$ .

La verifica è soddisfatta poiché la tensione è inferiore a quella di progetto di Connettore CentroStorico Chimico.

Si riportano i diagrammi dei momenti flettenti e del taglio, comprensivi dei valori resistenti.

Diagramma del momento:

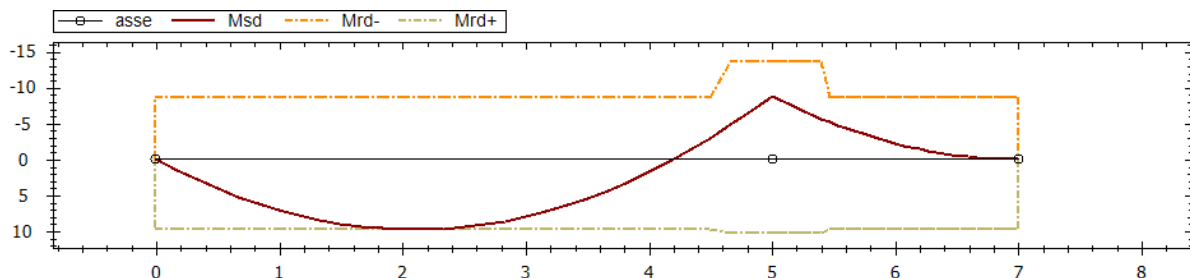
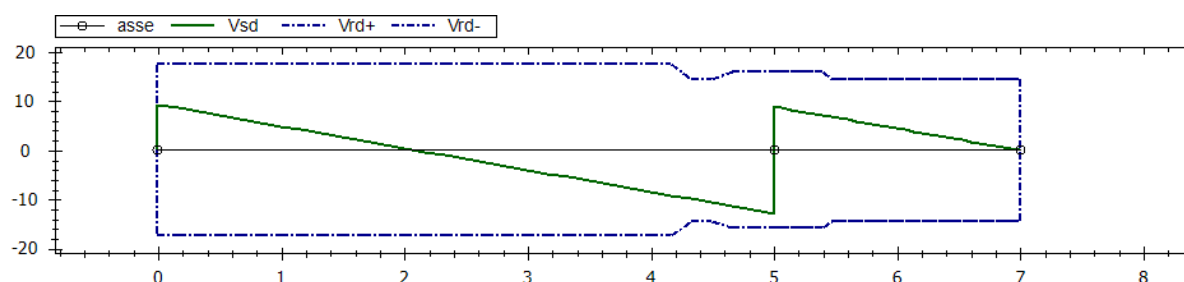


Diagramma del taglio:



Si riportano di seguito i risultati ottenuti nel software:

Risultati			
Risultati del calcolo			
Msd+	9.78	kNm	verificato
Mrd+	9.79	kNm	
Msd-	-8.88	kNm	verificato
Mrd-	-13.57	kNm	
Vsd	12.87	kN	verificato
Vrd	15.87	kN	
$\tau_{sd}$	0.12	MPa	verificato
$\tau_{rd}$	0.72	MPa	

Calcola

Diagrammi M, V

### Resistenze pre-intervento

In maniera analoga a quanto indicato in precedenza, si ricava la posizione dell'asse neutro a momento positivo scrivendo l'equazione di equilibrio alla traslazione (ipotizzando che le armature siano tutte tese e snervate, che si raggiunga la rottura all'estremo lembo compresso della sezione esistente e che l'asse neutro cada nella soletta esistente). In via semplificata, si utilizza un legame costitutivo di tipo stress-block per il calcestruzzo esistente (nel programma il legame implementato è il parabola-rettangolo):

$$f_{sd} \cdot A_{s2} + f_{sd} \cdot A_{s3} - f_{cd} \cdot i_{tr} \cdot 0.8 \cdot x = 0$$

$$x = 1.25 \text{ cm}$$

Le ipotesi risultano verificate e il momento resistente positivo risulta (equazione alla traslazione scritta rispetto al baricentro del calcestruzzo compresso):

$$M_{rdp} = f_{sd} \cdot A_2 \cdot (c_2 - s_n - 0.4 \cdot x) + f_{sd} \cdot A_3 \cdot (c_3 - s_n - 0.4 \cdot x) = 7.88 \text{ kNm}$$

Si ricava la posizione dell'asse neutro a momento negativo scrivendo l'equazione di equilibrio alla traslazione (ipotizzando che l'armatura estradosale sia tesa e snervata mentre quella intradosale sia tesa e in fase elastica con  $E_s$  pari a 210000 MPa, che si raggiunga la rottura all'estremo lembo compresso della sezione esistente e che l'asse neutro cada nel travetto esistente). In via semplificata, si utilizza un legame costitutivo di tipo stress-block per il calcestruzzo esistente (nel programma il legame implementato è il parabola-rettangolo):

$$f_{sd} \cdot A_{s2} + \sigma_{s3} \cdot A_{s3} - f_{cd} \cdot b \cdot 0.8 \cdot x = 0$$

$$f_{sd} \cdot A_{s2} + \frac{\varepsilon_{cu}(e_3 - x)}{x} \cdot E_s \cdot A_{s3} - f_{cd} \cdot b \cdot 0.8 \cdot x = 0$$

$$x = 1.90 \text{ cm}$$

Il momento resistente negativo risulta:

$$M_{rdn} = f_{sd} \cdot A_2 \cdot (e_2 - 0.4 \cdot x) + \sigma_{s3} \cdot A_3 \cdot (e_3 - 0.4 \cdot x) = 2.50 \text{ kNm}$$

Per la verifica al taglio si procede analogamente a quanto esposto per la sezione rinforzata, senza il contributo dell'FRC in termini di area tesa equivalente  $A_{sl,eq,FRC}$ .

$$d_p = 22 \text{ cm}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_p}} = 1.95 \leq 2$$

$$v_{min} = 0.035k^{1.5} \left( \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{0.5} = 0.39$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d_p} = \frac{A_{s2} + A_{s3}}{b_w \cdot d_p} = 0.0078 \leq 0.02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

Risulta quindi:

$$V_{r1} = \left[ \frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot \left( 100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{\frac{1}{3}} + 0.15\sigma_{cp} \right] b_w \cdot d_p = 14.58 \text{ kN}$$

$$V_{r2} = (v_{min} + 0.15\sigma_{cp}) b_w \cdot d_p = 10.30 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \max(V_{r1}; V_{r2}) = 14.58 \text{ kN}$$

### 3.3. Caso 3 – Trave a T rinforzata all'intradosso

Si analizza una sezione di una trave a T esistente, con le caratteristiche di seguito descritte, consolidata mediante ringrosso della sezione originaria con calcestruzzo fibrorinforzato HPFRC **MICRO GOLD STEEL**.

Si adottano i seguenti materiali esistenti:

- per il calcestruzzo esistente, si seleziona “**Da relazione**” la classe C20/25 e un Livello di Conoscenza LC2 corrispondente ad un Fattore di Confidenza pari a 1.20;
- per l'acciaio esistente, si seleziona “**Da relazione**” la classe FeB44k e un Livello di Conoscenza LC1 corrispondente ad un Fattore di Confidenza pari a 1.35.

Il calcolo viene svolto eseguendo la distinzione tra meccanismi duttili e meccanismi fragili ovvero assumendo un comportamento duttile dei materiali esistenti per le verifiche a flessione, fragile per il taglio.

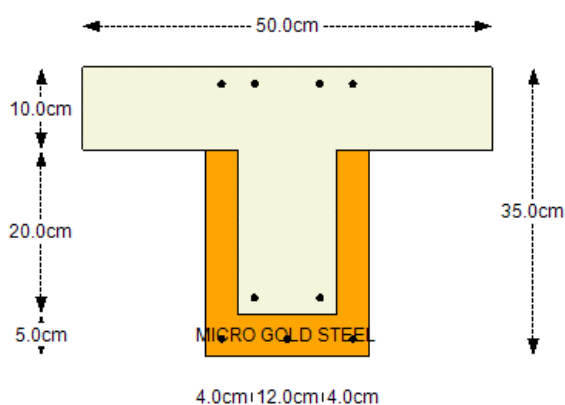
$$f_{cd} = \frac{f_{ck} \cdot 0.85}{FC} = \frac{20 \text{ MPa} \cdot 0.85}{1.2} = 14.17 \text{ MPa} \quad \text{per i meccanismi duttili (flessione)}$$

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{FC} = \frac{430 \text{ MPa}}{1.35} = 318.52 \text{ MPa} \quad \text{per i meccanismi duttili (flessione)}$$

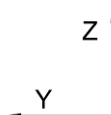
$$f_{cdf} = \frac{f_{ck} \cdot 0.85}{\gamma_c \cdot FC} = \frac{20 \text{ MPa} \cdot 0.85}{1.5 \cdot 1.2} = 9.44 \text{ MPa} \quad \text{per i meccanismi fragili (taglio)}$$

$$f_{sdf} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s \cdot FC_{acc}} = \frac{430 \text{ MPa}}{1.15 \cdot 1.35} = 276.97 \text{ MPa} \quad \text{per i meccanismi fragili (taglio)}$$

Viene adottata la seguente geometria:



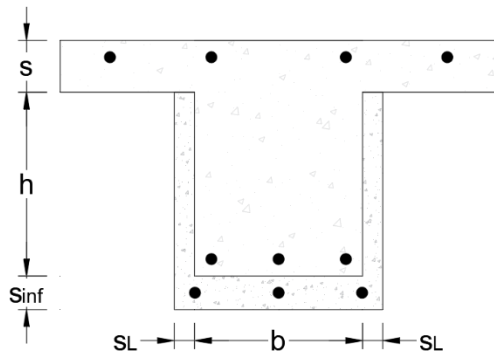
GEOMETRIA	
Spessore soletta	10.0 cm
Base trave	12.0 cm
Altezza trave	20.0 cm
Base superiore trave	50.0 cm
Spessore ringrosso inferiore $s_{inf}$	5.0 cm
Spessore ringrosso laterale $s_L$	4.0 cm



I carichi agli SLU sono i seguenti:

Momento sollecitante (direzione y)	$M_{Sd,y}$	24.00 kNm
Taglio sollecitante z	$V_{Sd,z}$	56.00 kN

Le armature in sezione sono definite come segue:



ARMATURE	
Armatura esistente intradosso	2Ø8
Armatura esistente estradosso anima	2Ø8
Armatura esistente estradosso ali	2Ø8
Copriferro [cm]	2.0
Diametro staffe	Ø8
Braccia staffe	2
Passo staffe [cm]	25.0
Nuova armatura intradosso	3Ø8
Copriferro intradosso [cm]	2.0

Per B450C:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_m} = \frac{450}{1.15} = 391.30 \text{ MPa}$$

### Verifica a flessione

Si procede quindi al calcolo della resistenza a flessione allo SLU della sezione della trave ringrossata mediante calcestruzzo fibrorinforzato HPFRC **MICRO GOLD STEEL**.

Le distanze dall'estradosso delle armature presenti nella sezione e le relative aree risultano:

$$c_1 = 2 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = 4 \cdot A_s = 2.01 \text{ cm}^2$$

$$c_2 = 28 \text{ cm}$$

$$A_{s2} = 2 \cdot A_s = 1.01 \text{ cm}^2$$

$$c_3 = 33 \text{ cm}$$

$$A_{s3} = 3 \cdot A_s = 1.51 \text{ cm}^2$$

con  $A_s$  area di una singola barra di diametro 8 mm.

Al fine di determinare la posizione dell'asse neutro, si ipotizza che ricada all'interno della soletta e che l'armatura estradosale sia elastica. Tali ipotesi devono poi essere verificate a posteriori.

L'equazione di equilibrio alla traslazione dunque risulta:

$$A_r \cdot f_{ftud} - \sigma_{s1} \cdot A_{s1} + f_{sd} \cdot A_{s2} + f_{yd} \cdot A_{s3} - f_{cd} \cdot i_{tr} \cdot 0.8 \cdot x = 0$$

con  $A_r$  l'area del rinforzo in **MICRO GOLD STEEL** pari a 260 cm<sup>2</sup>,  $f_{ftud}$  la resistenza a trazione di progetto del calcestruzzo fibrorinforzato (1.73 MPa) e  $i_{tr}$  base superiore della trave e  $\sigma_{s1}$  pari a:

$$\sigma_{s1} = \frac{\varepsilon_{fu}(x - c_1)}{h_{tot} - x} E_s$$

con  $h_{tot}$  altezza complessiva della trave rinforzata ed  $E_s$  pari a 210000 MPa.

Risolvendo l'equazione si ottiene un asse neutro pari a:

$$x = 2.28 \text{ cm}$$

Si verifica ora che la deformazione nel primo livello di armatura sia coerente con l'ipotesi definita, utilizzando la similitudine fra triangoli nel diagramma lineare delle deformazioni in sezione.

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{fu}(x - c_1)}{h_{tot} - x} = 0.17 < 1.52 \text{ ‰}$$

Viene calcolato il baricentro della porzione tesa di calcestruzzo fibrorinforzato, valutando dapprima il momento statico e in seguito l'altezza del baricentro dall'estradosso:

$$h_{FRC} = h + s_{inf} = 20 \text{ cm} + 5 \text{ cm} = 25 \text{ cm}$$

$$G_{rinf} = h_{tot} - \frac{\frac{s_{inf} \cdot b \cdot s_{inf}}{2} + h_{FRC} \cdot s_L \cdot 2 \cdot \frac{h_{FRC}}{2}}{A_r} = 24.81 \text{ cm}$$

Le ipotesi risultano verificate e si procede pertanto alla valutazione del momento resistente, scrivendo l'equazione di equilibrio alla rotazione:

$$M_{rdz} = A_r \cdot f_{ftd} \cdot (G_{rinf} - 0.4 \cdot x) + \sigma_{s1} \cdot (c_1 - 0.4 \cdot x) \cdot A_{s1} + f_{sd} \cdot (c_2 - 0.4 \cdot x) \cdot A_{s2} + f_{yd} \cdot (c_3 - 0.4 \cdot x) \cdot A_{s3} = 38.30 \text{ kNm}$$

Le piccole differenze in termini di asse neutro e momento resistente sono dovute all'implementazione numerica iterativa presente nel programma e all'utilizzo del legame costitutivo di tipo stress-block per il calcestruzzo esistente.

La verifica a flessione è soddisfatta.

### Verifica a taglio

Si valuta la resistenza a taglio della sezione rinforzata. Il contributo del calcestruzzo fibrorinforzato viene calcolato con le seguenti espressioni:

$$V_{Rdf} = 0.9 d_{FRC} \frac{A_{eq,FRC}}{1000} f_{sd,f} \text{ctg} \vartheta = 28.08 \text{ kN}$$

con l'angolo  $\vartheta$  sempre posto pari a  $45^\circ$  e:

$$A_{eq,FRC} = 2s_L \cdot 1000 \cdot \frac{f_{ftud}}{f_{sd,f}} [\text{mm}^2] = 500.65 \text{ mm}^2$$

$$d_{FRC} = h_{FRC} - \frac{s_{inf}}{2} = 250 - \frac{50}{2} = 225 \text{ mm}$$

dove  $h_{FRC}$  è l'altezza complessiva del rinforzo in FRC.

Si valuta la resistenza a taglio trazione e a taglio compressione della sezione esistente:

$$V_{Rsd} = 0.9 d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{sd,f} \cdot (\text{cota} + \text{cot}\theta) \cdot \sin\alpha = 28.07 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} = 0.9d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd,f} \cdot \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{(1 + \cot^2\theta)} = 71.40 \text{ kN}$$

con  $d$  altezza utile della sezione pari a 280 mm,  $s$  passo staffe pari a 250 mm,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\theta = 45^\circ$ ,  $b_w$  larghezza minima della sezione esistente pari a 120 mm,  $v = 0.5$ ,  $\alpha_c$  pari a 1 e  $A_{sw}$  area dell'armatura trasversale (staffe):

$$A_{sw} = \frac{n_b \cdot \pi \cdot \phi_{st}^2}{4} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2}{4} = 100.53 \text{ mm}^2$$

Nel pre-intervento, la resistenza a taglio quindi risulta:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd}) = 28.07 \text{ kN}$$

Nel post-intervento, la resistenza a taglio è valutata come:

$$V_{Rd,PO} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd} + V_{Rdf}) = 56.15 \text{ kN}$$

Si riportano di seguito i risultati ottenuti nel software:

Risultati sezione

Risultati del calcolo

Msd <sub>y</sub>	24.0	kNm	verificato
Mr <sub>d</sub> <sub>y</sub>	38.1	kNm	
Vsd <sub>z</sub>	56.0	kN	verificato
Vrd <sub>z</sub>	56.1	kN	

Calcola

### Resistenza a flessione pre-intervento

In maniera analoga a quanto indicato in precedenza, si ricava la posizione dell'asse neutro scrivendo l'equazione di equilibrio alla traslazione (ipotizzando che le armature siano tutte tese, quelle estradosali elastiche con  $E_s$  pari a 210000 MPa mentre quelle intradosali snervate):

$$\sigma_{s1} \cdot A_{s1} + f_{sd} \cdot A_{s2} - f_{cd} \cdot i_{tr} \cdot 0.8 \cdot x = 0$$

$$E_s \cdot \frac{\varepsilon_{cu}(c_1 - x)}{x} \sigma_{s1} \cdot A_{s1} + f_{sd} \cdot A_{s2} - f_{cd} \cdot i_{tr} \cdot 0.8 \cdot x = 0$$

$$x = 1.48 \text{ cm}$$

Il momento resistente risulta:

$$M_{rd} = f_{sd} \cdot A_2 \cdot (c_2 - 0.4 \cdot x) + \sigma_{s1} \cdot A_{s1} \cdot (c_1 - 0.4 \cdot x) = 9.55 \text{ kNm}$$

Le piccole differenze sono dovute al procedimento numerico iterativo implementato nel programma e all'utilizzo nel calcolo manuale del modello costitutivo di tipo stress-block per il calcestruzzo esistente.

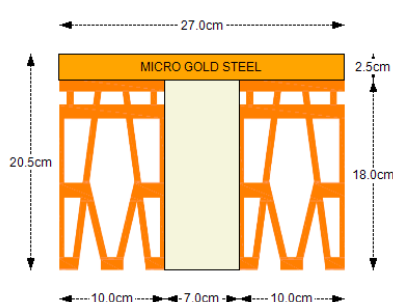
### 3.4. Caso 4 – Solaio con nuova soletta e Mini Connettore Calcestruzzo

Si analizza un solaio esistente, con le caratteristiche di seguito descritte, consolidato mediante realizzazione di una nuova soletta in calcestruzzo fibrorinforzato HPFRC **MICRO GOLD STEEL**, interconnessa al solaio esistente mediante **Mini Connettore Calcestruzzo**.

Si adottano i seguenti materiali esistenti, con parametri duttili:

- per il calcestruzzo esistente, si seleziona “**Da relazione**” la classe C20/25 e un Livello di Conoscenza LC2 corrispondente ad un Fattore di Confidenza pari a 1.20;
- per l'acciaio esistente, si seleziona “**Da relazione**” la classe FeB38k e un Livello di Conoscenza LC1 corrispondente ad un Fattore di Confidenza pari a 1.35.

Viene adottata la seguente geometria:



**GEOMETRIA**

Spessore nuova soletta	2.5	cm
Spessore caldana esistente	0.0	cm
Base travetto	7.0	cm
Altezza travetto	18.0	cm
Interasse travetti	27.0	cm
Lunghezza campata 1	400.0	cm

Il grado di rigidità è pari a rigidità nulla ad entrambi gli estremi.

Il carico allo Stato Limite Ultimo è determinato come segue:

Coefficienti di sicurezza	Carichi permanenti strutturali	$\gamma_{G1}$	1.3 -
	Altri carichi permanenti non strutturali	$\gamma_{G2}$	1.5 -
	Carichi variabili	$\gamma_Q$	1.5 -
Peso proprio	Solaio esistente	$G_1$	1.97 kN/m <sup>2</sup>
	Soletta collaborante (2.5 cm)		0.58 kN/m <sup>2</sup>
Permanenti	Altri permanenti	$G_2$	0.80 kN/m <sup>2</sup>
Variabili		$Q$	2.00 kN/m <sup>2</sup>

La combinazione di carico agli SLU considerata è:

$$q = i_{tr} \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{solaio} + P_{soletta}) + \gamma_{G2} \cdot P_{altri} + \gamma_Q \cdot Q_{var}]$$

dove il peso proprio del solaio è valutato considerando una densità del calcestruzzo del travetto esistente di 25 kN/m<sup>3</sup> e delle pignatte di 6 kN/m<sup>3</sup>, il peso della soletta viene valutato considerando la densità del calcestruzzo fibrorinforzato pari a 23 kN/m<sup>3</sup>.

Il carico per travetto risulta pertanto:

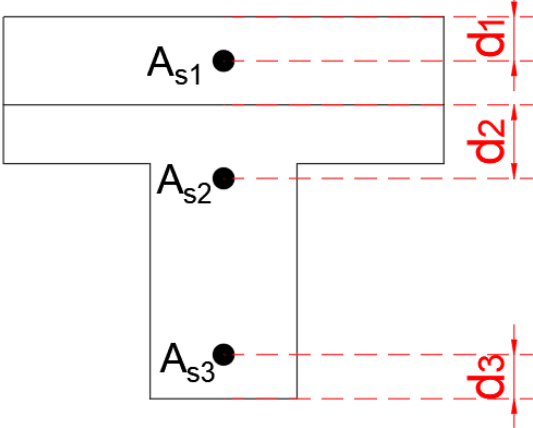
$$q = 27 \text{ cm} \cdot [1.3 \cdot (1.97 + 0.58) + 1.5 \cdot 0.80 + 1.5 \cdot 2.00] = 2.03 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Ai fini del calcolo della spaziatura dei connettori, risulta necessario conoscere il verso del momento sollecitante pre-intervento (che nel caso in esame risulta essere sempre positivo  $M_{sd,pre-int} \geq 0$ ) e l'andamento del taglio sollecitante post-intervento:

$$V(x) = q \cdot \left( \frac{L}{2} - x \right)$$

Il valore massimo del taglio sollecitante si ha agli appoggi e risulta pari a 4.05 kN.

Le armature in sezione sono definite come segue:

	$A_{s2} = 0.28 \text{ cm}^2 \quad d_2 = 1.5 \text{ cm (FeB38k)}$ $A_{s3} = 0.79 \text{ cm}^2 \quad d_3 = 1.5 \text{ cm (FeB38k)}$ <p>Per FeB38k – parametri duttili:</p> $f_{sd} = \frac{f_{sk}}{FC} = \frac{375}{1.35} = 277.78 \text{ MPa}$ <p>Per C20/25 – parametri duttili:</p> $f_{cd} = \frac{0.85 \cdot f_{ck}}{FC} = \frac{0.85 \cdot 20}{1.20} = 14.17 \text{ MPa}$
------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### Calcolo asse neutro positivo pre-intervento

Le distanze dall'estradosso della sezione esistente delle armature presenti risultano:

$$c_2 = 1.5 \text{ cm}$$

$$c_3 = 16.5 \text{ cm}$$

La posizione dell'asse neutro è ricavata imponendo l'equilibrio alla traslazione, ipotizzando che l'armatura superiore sia compressa ed elastica e che quella inferiore sia tesa e snervata (tali ipotesi vanno verificate a posteriori). In via semplificata, si utilizza un legame costitutivo di tipo stress-block per il calcestruzzo esistente (nel programma il legame implementato è il parabola-rettangolo):

$$-\frac{\varepsilon_{cu}(x - c_2)}{x} \cdot E_s \cdot A_{s2} + f_{sd} \cdot A_{s3} - f_{cd} \cdot b_t \cdot 0.8 \cdot x = 0$$

dove  $b_t$  è la larghezza del travetto pari a 7 cm ed  $E_s$  pari a 210000 MPa.

Risolvendo l'equazione si ottiene un asse neutro (a flessione positiva) pari a:

$$x = 2.05 \text{ cm}$$

Si verifica ora che le deformazioni nei livelli di armatura siano coerenti con le ipotesi definite, utilizzando la similitudine fra triangoli nel diagramma lineare delle deformazioni in sezione:

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu}(x - c_2)}{x} = 0.94 < 1.32 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{\varepsilon_{cu}(c_3 - x)}{x} = 24.7 > 1.32 \text{ ‰}$$

Le ipotesi risultano soddisfatte.

### Calcolo dello scorrimento all'interfaccia

Il numero di connettori da impiegare è quello necessario a trasmettere lo scorrimento tra il solaio esistente e la nuova soletta in calcestruzzo fibrorinforzato. Lo scorrimento si calcola tramite la formula di Jourawsky.

Coefficiente di omogeneizzazione per zone soggette a momento positivo:

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,FRC}}{2}} = \frac{210000 \text{ MPa}}{\left(\frac{42420 \text{ MPa}}{2}\right)} = 9.9$$

Si valuta la posizione dell'asse neutro da calcolo elastico della sezione, imponendo che il momento statico dell'intera sezione parzializzata rispetto all'asse neutro sia nullo (ipotesi di asse neutro nel travetto esistente):

$$i_{tr} \cdot s_n \cdot \left(x_p - \frac{s_n}{2}\right) + b_t \cdot (x_p - s_n) \cdot \left[x_p - \left(s_n + \frac{x_p - s_n}{2}\right)\right] + n^+ \cdot (A_{s2} \cdot (x_p - c_2) + A_{s3} \cdot (x_p - c_3)) = 0$$

dove  $s_n$  è lo spessore della soletta in calcestruzzo fibrorinforzato e  $i_{tr}$  è l'interasse del solaio.

Si ricava:

$$x_p = 3.11 \text{ cm}$$

Si valuta quindi il momento statico della porzione al di sopra della corda considerata posta all'interfaccia tra solaio esistente e nuova soletta, che in tal caso coinvolge tutta la soletta in FRC compressa:

$$S_{int} = i_{tr} \cdot s_n \cdot \left(x_p - \frac{s_n}{2}\right) = 125.47 \text{ cm}^3$$

Il momento d'inerzia dell'intera sezione parzializzata rispetto all'asse neutro viene valutato come segue:

$$J_n = \frac{i_{tr} \cdot s_n^3}{12} + s_n \cdot i_{tr} \cdot \left(x_p - \frac{s_n}{2}\right)^2 + b_t \cdot \frac{(x_p - s_n)^3}{12} + b_t \cdot (x_p - s_n) \cdot \left[x_p - \left(s_n + \frac{x_p - s_n}{2}\right)\right]^2 + n^+ \cdot (A_{s2} \cdot (x_p - c_2)^2 + A_{s3} \cdot (x_p - c_3)^2) = 2246.34 \text{ cm}^4$$

È quindi possibile calcolare, per ogni punto in cui è stato discretizzato il solaio, la tensione tangenziale all'interfaccia:

$$\tau_{interfaccia} \cdot b = \frac{V_{sd} \cdot S_{int}}{J_n}$$

Si riporta nella seguente tabella il taglio sollecitante e il corrispondente valore di  $\tau_{interfaccia} \cdot b$  nei punti di discretizzazione del solaio:

Camp.	Progr. [m]	V <sub>sd</sub> [kN]	S <sub>int</sub> [cm <sup>3</sup> ]	J <sub>n</sub> [cm <sup>4</sup> ]	τ <sub>sd</sub> b [N/mm]
1	0.00	4.05	125.47	2246.34	22.63
1	0.13	3.78	125.47	2246.34	21.12
1	0.27	3.51	125.47	2246.34	19.62
1	0.40	3.24	125.47	2246.34	18.11
1	0.53	2.97	125.47	2246.34	16.6
1	0.67	2.70	125.47	2246.34	15.09
1	0.80	2.43	125.47	2246.34	13.58
1	0.93	2.16	125.47	2246.34	12.07
1	1.07	1.89	125.47	2246.34	10.56
1	1.20	1.62	125.47	2246.34	9.05
1	1.33	1.35	125.47	2246.34	7.54
1	1.47	1.08	125.47	2246.34	6.04
1	1.60	0.81	125.47	2246.34	4.53
1	1.73	0.54	125.47	2246.34	3.02
1	1.87	0.27	125.47	2246.34	1.51
1	2.00	0	125.47	2246.34	0
1	2.13	-0.27	125.47	2246.34	1.51
1	2.27	-0.54	125.47	2246.34	3.02
1	2.40	-0.81	125.47	2246.34	4.53
1	2.53	-1.08	125.47	2246.34	6.04
1	2.67	-1.35	125.47	2246.34	7.54
1	2.80	-1.62	125.47	2246.34	9.05
1	2.93	-1.89	125.47	2246.34	10.56
1	3.07	-2.16	125.47	2246.34	12.07
1	3.20	-2.43	125.47	2246.34	13.58
1	3.33	-2.70	125.47	2246.34	15.09
1	3.47	-2.97	125.47	2246.34	16.6
1	3.60	-3.24	125.47	2246.34	18.11
1	3.73	-3.51	125.47	2246.34	19.62
1	3.87	-3.78	125.47	2246.34	21.12
1	4.00	-4.05	125.47	2246.34	22.63

### Calcolo dell'aderenza all'interfaccia

Si valuta il contributo offerto dall'aderenza allo scorrimento  $v_{Rdi}$ , in accordo al paragrafo §6.2.5 UNI EN 1992-1-1:2015, utilizzando i parametri per superficie liscia, con la seguente formula:

$$v_{Rdi} = \min(c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n; 0.5 \cdot v \cdot f'_{cd})$$

dove:

$$c = 0.2$$

$$\mu = 0.6$$

$$f_{ctd,esistente} = \frac{0.7 \cdot 0.3 f_{ck}^{2/3}}{FC \cdot \gamma_c} = 0.86 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,Micro} = 0.7 \cdot 2.12 \ln \left( 1 + \frac{(f_{ck,FRC} + 8)}{10} \right) = 3.39 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \min \left( f_{ctd,esistente}; \frac{0.8 \cdot f_{ctk,FRC}}{1.5} \right) = \min (0.86 \text{ MPa}; 1.81 \text{ MPa}) = 0.86 \text{ MPa}$$

$$f'_{cd} = \min(f_{cd,esistente,parametri fragili}; f_{cd,FRC}) = \min(9.44 \text{ MPa}; 45.33 \text{ MPa}) = 9.44 \text{ MPa}$$

$$q_{slu}^* = \gamma_{G1} \cdot P_{soletta} + \gamma_{G2} \cdot P_{altri} + \gamma_Q \cdot Q_{var} = 1.3 \cdot 0.58 + 1.5 \cdot 0.80 + 1.5 \cdot 2.00 = 0.005 \text{ MPa}$$

$$\sigma_n = \min(q_{slu}^*; 0.6 f'_{cd}) = \min(0.005 \text{ MPa}; 5.667 \text{ MPa}) = 0.005 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0.6 \cdot \left[ 1 - \frac{\min(f_{ck,FRC}; f_{ck,esistente})}{250} \right] = 0.6 \cdot \left[ 1 - \frac{\min(80 \text{ MPa}; 20 \text{ MPa})}{250} \right] = 0.552$$

Risulta quindi:

$$\nu_{Rdi} = \min(c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n; 0.5 \cdot \nu \cdot f'_{cd}) = \min(0.17489 \text{ MPa}; 2.60667 \text{ MPa}) = 0.17489 \text{ MPa}$$

Il termine  $\nu_{Rdi}$  viene poi moltiplicato per il termine  $L$ , al fine di ottenere una quantità confrontabile con  $\tau_{interfaccia} \cdot b$ . Il termine  $L$  risulta pari alla base del travetto  $L = b_t = 70 \text{ mm}$ .

Pertanto, risulta:

$$\nu_{Rdi} \cdot L = 12.24 \frac{N}{mm}$$

### Valutazione della resistenza di calcolo di Mini Connettore Calcestruzzo

Si procede al calcolo dei termini che concorrono alla determinazione della resistenza di progetto del connettore da impiegare ai fini del calcolo nelle porzioni di solaio dove il calcestruzzo esistente sia fessurato ( $P_{Rd,ck}$ ) e dove il calcestruzzo esistente sia non fessurato ( $P_{Rd,ucl}$ ).

#### Rottura dell'acciaio dell'ancorante:

La resistenza caratteristica per rottura dell'acciaio dell'ancorante, comune sia al caso fessurato che al caso non fessurato, risulta:

$$V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}} = \frac{7.5 \text{ kN}}{1.25} = 6.00 \text{ kN}$$

Rottura per pry-out del calcestruzzo:

Tale modalità di rottura dipende fortemente dallo stato di compressione/trazione del calcestruzzo nel quale viene inserito il connettore e, per tale ragione, si calcolano due valori di  $N_{Rk,c}^0$  e quindi di  $N_{Rk,c}$  (uno per la condizione di calcestruzzo fessurato e uno per la condizione di calcestruzzo non fessurato).

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5} = \begin{cases} 7.7 \cdot \sqrt{20} \cdot 42^{1.5} = 9373.02 \text{ N (ck)} \\ 11 \cdot \sqrt{20} \cdot 42^{1.5} = 13390.03 \text{ N (uck)} \end{cases}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} = 126 \cdot 126 = 15876 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,N} = \left( \frac{b_t}{2} + \min \left( \frac{b_t}{2}; 0.5s_{cr,N} \right) \right) \cdot s_{cr,N} = \left( \frac{70}{2} + \min \left( \frac{70}{2}; 0.5 \cdot 126 \right) \right) \cdot 126 = 8820 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{35}{63} = 0.867 \leq 1$$

$$\psi_{re,N} = 0.5 + \frac{h_{ef}}{200} = 0.5 + \frac{42}{200} = 0.71 \leq 1$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} = \begin{cases} 9373.02 \cdot \frac{8820}{15876} \cdot 0.867 \cdot 0.71 = 3204.19 \text{ N (ck)} \\ 13390.03 \cdot \frac{8820}{15876} \cdot 0.867 \cdot 0.71 = 4577.41 \text{ N (uck)} \end{cases}$$

$$V_{Rd,cp} = \frac{k_8 \cdot N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \begin{cases} \frac{1 \cdot 3204.19}{1.5} = 2136.12 \text{ N (ck)} \\ \frac{1 \cdot 4577.41}{1.5} = 3051.60 \text{ N (uck)} \end{cases}$$

Rottura del bordo di calcestruzzo:

Tale modalità di rottura dipende fortemente dallo stato di compressione/trazione del calcestruzzo nel quale viene inserito il connettore e, per tale motivo, si calcolano due valori di  $V_{Rk,c}^0$  e quindi di  $V_{Rk,c}$  (uno per la condizione di calcestruzzo fessurato e uno per la condizione di calcestruzzo non fessurato).

$$\alpha = 0.1 \cdot \left( \frac{l_f}{c_1} \right)^{0.5} = 0.1 \cdot \left( \frac{42}{35} \right)^{0.5} = 0.110$$

$$\beta = 0.1 \cdot \left( \frac{d_{nom}}{c_1} \right)^{0.2} = 0.1 \cdot \left( \frac{7.5}{35} \right)^{0.2} = 0.073$$

$$V_{Rk,c}^0 = k_9 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1.5} = \begin{cases} 1.7 \cdot 7.5^{0.110} \cdot 42^{0.073} \cdot \sqrt{20} \cdot 35^{1.5} = 2583.50 \text{ N (ck)} \\ 2.4 \cdot 7.5^{0.110} \cdot 42^{0.073} \cdot \sqrt{20} \cdot 35^{1.5} = 3647.30 \text{ N (uck)} \end{cases}$$

$$A_{c,v}^0 = 1.5c_1 \cdot (1.5c_1 + 1.5c_1) = 4.5c_1^2 = 4.5 \cdot 30^2 = 4050 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,v} = \min(h_t + h_c; 1.5c_1) \cdot \min(3c_1; b_t) = \min(180; 45) \cdot \min(90; 70) = 3150 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,V} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_2}{1.5c_1} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{35}{1.5 \cdot 35} = 0.90 \leq 1$$

$$\psi_{h,V} = \left( \frac{1.5c_1}{h} \right)^{0.5} = \left( \frac{1.5 \cdot \frac{b_t}{2}}{h_t + h_c} \right)^{0.5} = \left( \frac{1.5 \cdot 35}{180} \right)^{0.5} = 0.54 < 1 \rightarrow \psi_{h,V} = 1$$

$$\psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + (0.5 \sin \alpha_V)^2}} = \sqrt{\frac{1}{(\cos 90^\circ)^2 + (0.5 \sin 90^\circ)^2}} = 2 \geq 1$$

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V} = \begin{cases} 2583.50 \cdot \frac{3150}{4050} \cdot 0.90 \cdot 1 \cdot 2 = 3616.90 \text{ N (ck)} \\ 3647.30 \cdot \frac{3150}{4050} \cdot 0.90 \cdot 1 \cdot 2 = 5106.21 \text{ N (uck)} \end{cases}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \begin{cases} \frac{3616.90}{1.5} = 2411.27 \text{ N (ck)} \\ \frac{5106.21}{1.5} = 3404.14 \text{ N (uck)} \end{cases}$$

È quindi possibile valutare la resistenza di progetto del connettore:

$$P_{Rd,ck} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,cp}; V_{Rd,c}) = \min(6000 \text{ N}; 2136.12 \text{ N}; 2411.27 \text{ N}) = 2.14 \text{ kN}$$

$$P_{Rd,uck} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,cp}; V_{Rd,c}) = \min(6000 \text{ N}; 3051.60 \text{ N}; 3404.14 \text{ N}) = 3.05 \text{ kN}$$

### Calcolo del passo e della distribuzione dei connettori

Per ogni punto in cui è stato discretizzato il solaio analizzato, si calcola il passo (denominato PC = passo calcolato) dei connettori nella coordinata considerata. Il valore di progetto di **Mini Connettore Calcestruzzo** risulta essere  $P_{Rd,ck}$  in ogni coordinata poiché si ha un momento sollecitante pre-intervento sempre positivo e l'asse neutro rispetta la condizione seguente:

$$A_{N,pre-int}^+ = 2.05 \text{ cm} < 0.9h_{ef} = 3.78 \text{ cm}$$

A titolo di esempio, si riporta il calcolo di PC in corrispondenza del punto in cui lo scorrimento risulta massimo:

$$PC = \frac{P_{Rd}}{(\tau_{interfaccia} \cdot b) - (v_{Rdi} \cdot L)} = 205.6 \text{ mm}$$

Per ogni coordinata, qualora il passo calcolato  $PC$  risulti inferiore o pari a zero oppure superiore alla spaziatura massima, si impone la spaziatura massima pari a 500 mm, ottenendo così il passo calcolato corretto  $PCC$ .

Si riporta nella seguente tabella i passi calcolati e i passi calcolati corretti per ogni punto di discretizzazione del solaio:

Camp.	Progr. [m]	PC [cm]	PCC [cm]
1	0.00	20.56	20.56
1	0.13	24.05	24.05
1	0.27	28.97	28.97
1	0.40	36.42	36.42
1	0.53	49.04	49.04
1	0.67	75.03	50
1	0.80	159.65	50
1	0.93	-1249.71	50
1	1.07	-127.16	50
1	1.20	-66.99	50
1	1.33	-45.47	50
1	1.47	-34.42	50
1	1.60	-27.69	50
1	1.73	-23.16	50
1	1.87	-19.9	50
1	2.00	-17.45	50
1	2.13	-19.9	50
1	2.27	-23.16	50
1	2.40	-27.69	50
1	2.53	-34.42	50
1	2.67	-45.47	50
1	2.80	-66.99	50
1	2.93	-127.16	50
1	3.07	-1249.71	50
1	3.20	159.65	50
1	3.33	75.03	50
1	3.47	49.04	49.04
1	3.60	36.42	36.42
1	3.73	28.97	28.97
1	3.87	24.05	24.05
1	4.00	20.56	20.56

Si determina quindi la disposizione dei connettori, sia nell'ipotesi di spaziatura costante per campata che variabile.

#### Spaziatura costante per campata

Il passo teorico di posa risulta essere il minimo dei passi calcolati corretti:

$$\text{passo teorico} = \min(PCC) = 20.56 \text{ cm}$$

Noto il passo teorico, è possibile calcolare il numero teorico di connettori per la campata considerata:

$$N. \text{ conn teorico} = \frac{L_i}{\text{passo teorico}} = \frac{400}{20.56} = 19.45$$

Il *N. conn teorico* viene arrotondato all'intero successivo, trovando così *N. connettori* (pari a 20) e quindi il passo reale con cui andranno posati i connettori:

$$\text{passo} = \frac{L_i}{N. \text{ connettori}} = \frac{400}{20} = 20 \text{ cm}$$

Infine, il numero di connettori a metro quadro viene determinato dividendo il numero totale di connettori per la luce totale e l'interasse dei travetti.

$$N. \text{ conn. a m}^2 = \frac{N. \text{ connettori}}{L_i \cdot i_{tr}} = \frac{20}{4.0 \cdot 0.27} = 18.5$$

Si ottiene dunque:

Campata 1	
L	
Lunghezza [cm]	400.0
N° conn. [-]	20
Spaziatura [cm]	20.0
N° conn. a m <sup>2</sup>	18.5
N° conn. tot [-]	20

### Spaziatura variabile

La spaziatura variabile viene calcolata considerando i quarti estremi di trave e la mezzeria centrale. Si identificano i punti in cui è stato discretizzato il solaio appartenenti a  $L/4$  di sinistra, a  $L/4$  di destra e a  $L/2$  centrali e per ognuno dei tratti il passo teorico di posa risulta essere il minimo dei passi calcolati corretti dei punti appartenenti a quel tratto:

$$\text{passo teorico} = \begin{cases} \min(PCC) \text{ in } \frac{L}{4} \text{ di sinistra} = 20.56 \text{ cm} \\ \min(PCC) \text{ in } \frac{L}{2} \text{ centrali} = 50 \text{ cm} \\ \min(PCC) \text{ in } \frac{L}{4} \text{ di destra} = 20.56 \text{ cm} \end{cases}$$

Noto il passo teorico, è possibile calcolare il numero teorico di connettori per il tratto considerato:

$$N. \text{ conn teorico} = \frac{L_i}{\text{passo teorico}} = \begin{cases} \frac{100}{20.56} = 4.86 \text{ in } \frac{L}{4} \text{ di sinistra} \\ \frac{200}{50} = 4 \text{ in } \frac{L}{2} \text{ centrali} \\ \frac{100}{20.56} = 4.86 \text{ in } \frac{L}{4} \text{ di destra} \end{cases}$$

con  $L_i$  pari alla lunghezza del tratto considerato.

Nei quarti estremi di trave,  $N. \text{ conn teorico}$  risulta essere un numero non intero, si procede quindi ad arrotondare il numero di connettori teorico al primo intero successivo, trovando così  $N. \text{ connettori}$  (pari a 5 per i quarti di travi) e quindi il passo reale con cui andranno posati i connettori:

$$\text{passo} = \frac{L_i}{N. \text{ connettori}} = \begin{cases} \frac{100}{5} = 20 \text{ cm in } \frac{L}{4} \text{ di sinistra} \\ \frac{200}{4} = 50 \text{ cm in } \frac{L}{2} \text{ centrali} \\ \frac{100}{5} = 20 \text{ cm in } \frac{L}{4} \text{ di destra} \end{cases}$$

Infine, il numero di connettori a metro quadro viene determinato dividendo il numero totale di connettori per la luce totale e l'interasse dei travetti.

$$N. \text{ conn. a m}^2 = \frac{N. \text{ connettori totale}}{L_{tot} \cdot i_{tr}} = \frac{5 + 4 + 5}{4.0 \cdot 0.27} = 13.0$$

Si ottiene dunque:

Campata 1			
	L/4	L/2	L/4
<b>Lunghezza [cm]</b>	100.0	200.0	100.0
<b>N° conn. [-]</b>	5	4	5
<b>Spaziatura [cm]</b>	20.0	50.0	20.0
<b>N° conn. a m<sup>2</sup></b>	13.0		
<b>N° conn. tot [-]</b>	14		

Distinti saluti.

### Assistenza Tecnica



# Laterlite



#### Assistenza Tecnica

via Correggio, 3 | 20149 Milano  
02.48011962 | [calcolo.strutturale@laterlite.it](mailto:calcolo.strutturale@laterlite.it)  
[Leca.it](http://Leca.it) | [LecaSistemi.it](http://LecaSistemi.it) | [GrasCalce.it](http://GrasCalce.it) | [Ruregold.it](http://Ruregold.it)