

Provincia di Sassari
COMUNE DI THIESI



Programma straordinario di edilizia per la locazione a canone sociale (recupero) approvato con Deliberazione di Giunta Regionale n.71/32 del 16.12.2008
RECUPERO DELL'IMMOBILE LOCALIZZATO IN VIA GARAU, 2 - Fg.22 - Mapp. 902 - Sub. 2
CUP G69G10000110002 (master) – CUP G69G10000120002 (collegato)

Il Direttore dei Lavori:

Arch. Ing. Andrea FONNESU
via Sassari, 94 - 07041 Alghero (SS)
T. (+39) 334 7386321 - fonnasu@gmail.com



PERIZIA nr.1

CONSOLIDAMENTO STRUTTURE RELAZIONE DI CALCOLO Solai esistenti (livello 0, livello 1 e livello 2)				
Questo elaborato grafico è di proprietà del Comune di Thiesi, pertanto non può essere riprodotto né integralmente, né in parte senza l'autorizzazione scritta della stessa. Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito	Ident. FILE -	Data 03 2025	Scala / Formato A4	Cod. Elab. E 01 01
Il Direttore dei Lavori Arch. Ing. Andrea FONNESU	Il RUP Ing. Francesco Mario SPANU			
		Il Sindaco Dott. Gianfranco SOLETTA		

SOLAIO PIANO TERRA

Quota +0.00 m

- Consolidamento soletta c.a.
- Consolidamento trave principale – rinforzo a flessione
- Consolidamento trave principale – rinforzo a taglio

SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE

PROGETTO: 24_51_solaio_PT

ELEMENTO: SOLETTA C.A.

INDICE

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI.....	3
2. IPOTESI DI CALCOLO.....	3
2.1. Dati del progetto.....	3
2.2. Geometria.....	3
2.3. Calcestruzzo.....	3
2.4. Acciaio per armature.....	3
2.5. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali.....	4
2.6. Coefficienti di combinazione di carico.....	4
3. RINFORZO DI FRP.....	4
3.1. Rinforzo principale di FRP.....	4
4. CARICHI.....	4
4.1. Carichi iniziali.....	4
4.2. Carichi previsti.....	4
5. RISULTATI.....	5
5.1. Riepilogo dei risultati.....	5
5.2. Stati limite ultimi.....	5
5.3. Stati limite di esercizio.....	9
5.4. Configurazione FRP.....	11
6. SPECIFICHE DI PRODOTTO.....	12
6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®.....	12
6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo.....	12
6.1.2. Tessuto SikaWrap®	13
6.1.3. Adesivo epossidico.....	13

6.1.4. Procedura di applicazione.....	14
7. INFORMAZIONI LEGALI.....	15
8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO.....	15

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI

Rinforzo a flessione con FRP, secondo:

Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. (CNR-DT 200 R1/2013)

Norme Tecniche per le Costruzioni. (17 gennaio 2018)

Paese: Italia

2. IPOTESI DI CALCOLO

2.1. Dati del progetto

Scelta dei valori delle resistenze

Input con valori caratteristici (Xk)

Condizione di esposizione

Interna

2.2. Geometria

Sezione trasversale = Piastra

Altezza = 150 mm



2.3. Calcestruzzo

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo

Valore caratteristico della resistenza a compressione (f_{ck}) = 20 MPa

Resistenza cilindrica = 20 MPa

Resistenza cubica = 24 MPa

2.4. Acciaio per armature

Armatura inferiore	d_1 mm	Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Diametro (mm)	Distanza d'interasse (mm)
1.	30	(Acciaio dolce) 230	200000	10.00	200

2.5. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali

Definito da (NTC 2018)

Calcestruzzo

γ_c (Combinazione fondamentale) = 1.50

γ_c (Eccezionali) = 1.00

γ_c (Incendio) = 1.00

α_{cc} (Combinazione fondamentale) = 0.85

α_{cc} (Eccezionali) = 0.85

α_{cc} (Incendio) = 1.00

Acciaio

γ_s (Combinazione fondamentale) = 1.30

γ_s (Eccezionali) = 1.00

γ_s (Incendio) = 1.00

2.6. Coefficienti di combinazione di carico

Combinazioni NTC 2018	Carichi permanenti portati	Carichi variabili
Combinazione fondamentale (SLU)	1.30	1.50
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici	1.00	0.30
Resistenza al fuoco	1.00	0.30
SLE, caratteristica	1.00	1.00
SLE, quasi permanente	1.00	0.30

A: Ambienti ad uso residenziale

$\psi_2 = 0.3$

$\eta_a = 0.75$

3. RINFORZO DI FRP

3.1. Rinforzo principale di FRP

Semplicemente aderente. SikaWrap® C

SikaWrap® 300C - 10 cm (IT)	Tipo di fibra	Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali	ϵ_f (%)	ϵ_{a_s} (%)	E_f (MPa)	E_{a_s} (MPa)	f_{ck} (MPa)	Spessore t_f (mm)	Distanza d'interasse (mm)	Larghezza (mm)	Classe
Strato: 1	Carbonio	$\gamma_{fa} = 1.00, \gamma_f = 1.10, \gamma_{fa} = 1.20, \eta_s = 0.75, \eta_f = 0.30$	1.59	1.46	225000.00	210000.00	3070.00	0.166	1400	100.00	-

4. CARICHI

4.1. Carichi iniziali

(Positivo) M_i : 1.22 kN·m/m

4.2. Carichi previsti

Carichi permanenti portati

(Positivo) M_g : 5.59 kN·m/m

Carichi variabili

(Positivo) M_q : 1.06 kN·m/m

5. RISULTATI

5.1. Riepilogo dei risultati

Combinazione fondamentale (SLU)			
carico	M _d (kN·m/m)	M _{Rd} (kN·m/m)	M _{Rd} ≥ M _d (N _d = N _{Rd})
S _{Ed} = 1.30 · S _G + 1.50 · S _Q	8.86	10.16	Sezione rinforzata 10.16 kN·m/m ≥ 8.86 kN·m/m 

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici			
carico	M _d (kN·m/m)	M _{Rd} (kN·m/m)	M _{Rd} ≥ M _d (N _d = N _{Rd})
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 0.30 · S _Q	5.91	10.54	Sezione non rinforzata 10.54 kN·m/m ≥ 5.91 kN·m/m 

Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 1.00 · S _Q	$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck}$ 3.32 MPa ≤ 12.00 MPa 	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$ 150.21 MPa ≤ 184.00 MPa 	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$ 173.36 MPa ≤ 689.85 MPa 
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 0.30 · S _Q	$\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck}$ 2.97 MPa ≤ 9.00 MPa 	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$ 133.55 MPa ≤ 184.00 MPa 	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$ 149.55 MPa ≤ 689.85 MPa 
Resistenza in caso di incendio (t=0 min.)			
carico	M _d (kN·m/m)	M _{Rd} (kN·m/m)	M _{Rd} ≥ M _d (N _d = N _{Rd})
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 0.30 · S _Q	5.91	10.57	Sezione non rinforzata 10.57 kN·m/m ≥ 5.91 kN·m/m 

5.2. Stati limite ultimi

Le ipotesi fondamentali su cui si basa l'analisi allo SLU delle sezioni di c.a. rinforzate con FRP sono le seguenti:

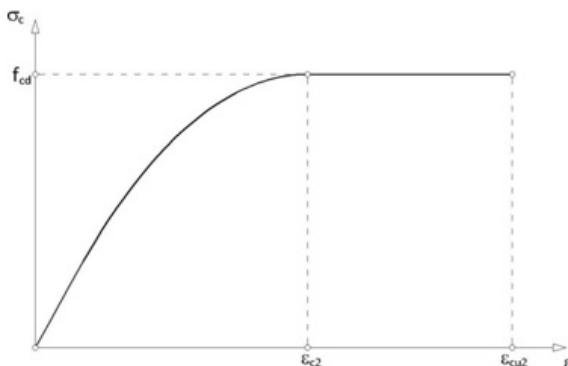
Conservazione della planarità delle sezioni rette fino a rottura, in modo che il diagramma delle deformazioni normali sia lineare.

Perfetta aderenza tra i materiali componenti (acciaio-calcestruzzo, FRP-calcestruzzo).

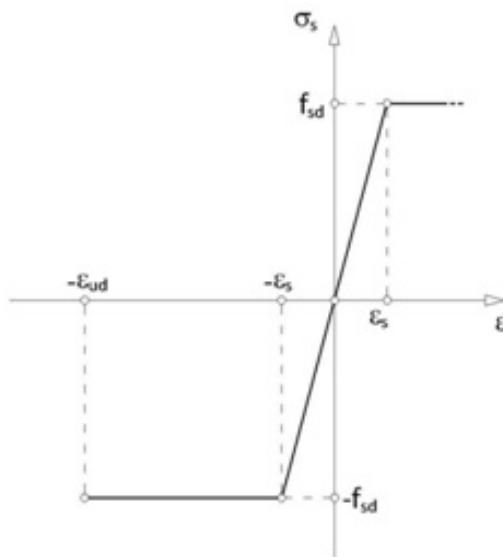
Resistenza a trazione nulla del calcestruzzo.

Legami costitutivi del calcestruzzo e dell'acciaio conformi alla Normativa vigente.

Legame costitutivo del composito fibrorinforzato elastico lineare fino a rottura.

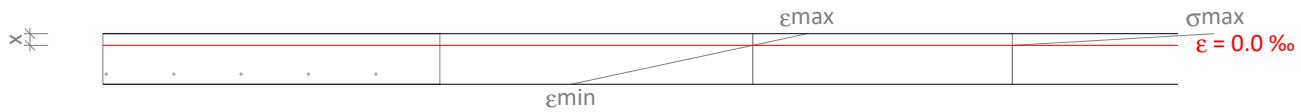


f_{cd} (MPa)	ε_{c0}	ε_{cu}	n
11.3	0.0020	0.0035	2



Carichi iniziali - Elemento senza rinforzi

$M_i = 1.22 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}$



Deformazione massima e minima

$$\varepsilon_{\max} = 0.06 \text{ \%}$$

$$\varepsilon_{\min} = -0.19 \text{ \%}$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 0.65 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

$$x = 34.58 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (%)
No. 10	-45	-28.65	-0.14

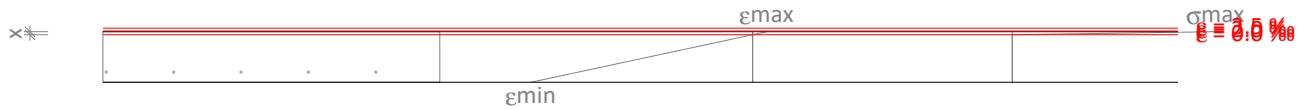
Azioni causate da atti vandalici - Elemento senza rinforzi.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$10.54 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m} \geq 5.91 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} : \underline{10.54} \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}$$



Deformazione massima e minima

$$\epsilon_{\max} = 1.61 \text{ \%}$$

$$\epsilon_{\min} = -25.28 \text{ \%}$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 16.37 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

$$x = 9.00 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ϵ (%)
No. 10	-45	-230.00	-19.90

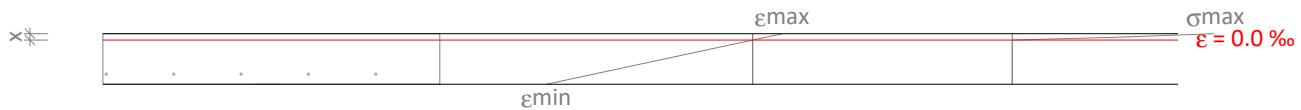
Carichi previsti - Elemento rinforzato

$$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$10.16 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m} \geq 8.86 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} : \underline{10.16} \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}$$



Deformazione massima e minima

$$\varepsilon_{\max} = 0.95 \text{ \%}$$

$$\varepsilon_{\min} = -6.58 \text{ \%}$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 8.19 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

$$x = 18.89 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (\%)
No. 10	-45	-176.92	-5.07
FRP	-75	-1341.10	-6.39

Resistenza al fuoco. Sezione non rinforzata.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$10.57 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m} \geq 5.91 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m} \quad \checkmark$$

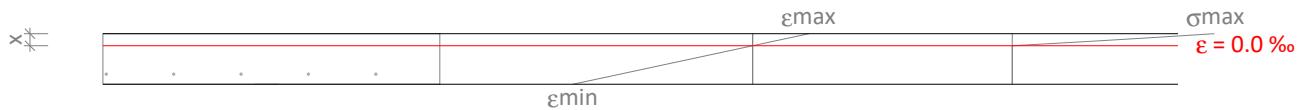
$$M_{Rd} : \underline{10.57} \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}$$

La resistenza dell'elemento senza rinforzo è sufficiente per resistere alla combinazione di carichi corrispondente alla situazione di incendio. Il rinforzo FRP non è, pertanto, necessario in caso di incendio, non precisando di protezione. In caso si voglia richiedere un tempo determinato di resistenza al fuoco, lo strutturista dovrà valutare la protezione dell'elemento di calcestruzzo armato in accordo con le normative locali vigenti.

5.3. Stati limite di esercizio

Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione caratteristica (SLE)

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 1.00 \cdot S_q$$



Deformazione massima e minima $\epsilon_{\max} = 0.32 \%$
 $\epsilon_{\min} = -1.02 \%$

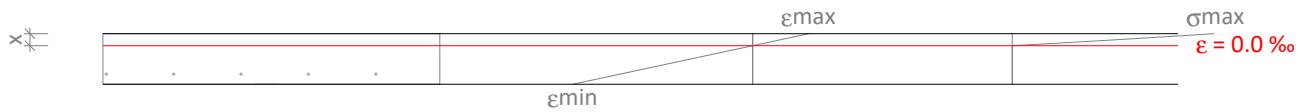
Tensione massima del calcestruzzo $f_c = 3.32 \text{ MPa}$

Profondità della fibra neutra $x = 35.73 \text{ mm}$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ϵ (%)
No. 10	-45	-150.21	-0.75
FRP	-75	-173.36	-0.83

Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione quasi permanente (SLE)

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$



Deformazione massima e minima

$\varepsilon_{\max} = 0.28 \%$

$\varepsilon_{\min} = -0.91 \%$

Tensione massima del calcestruzzo

$f_c = 2.97 \text{ MPa}$

Profondità della fibra neutra

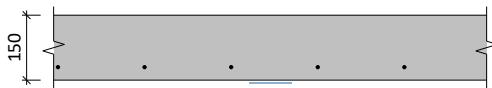
$x = 35.62 \text{ mm}$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (%)
No. 10	-45	-133.55	-0.67
FRP	-75	-149.55	-0.71

5.4. Configurazione FRP

I risultati precedenti corrispondono alla seguente configurazione di FRP:

Rinforzo principale di FRP: SikaWrap® 300C - 10 cm (IT). Distanza d'interasse: 1400 mm



6. SPECIFICHE DI PRODOTTO

6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®

Il rinforzo deve essere realizzato tramite un tessuto unidirezionale di fibra di carbonio, impregnato e legato esternamente alla struttura con adesivo epossidico Sikadur®-330

Il materiale deve essere una piastra CFRP pultruso, unidirezionale, con un contenuto volumetrico di fibra di carbonio >68%.

Le fibre devono essere allineate e libere da torsione.

Il materiale deve disporre di referenze di utilizzo (> 25 anni) nel rinforzo strutturale.

Il tessuto di fibre deve essere unidirezionale e fabbricato con fibre di carbonio a base di PAN.

Deve essere possibile procedere all'applicazione in un numero di strati maggiore di uno.

Il materiale deve avere un lungo registro cronologico per il rinforzo strutturale.

I valori misurati delle proprietà meccaniche del tessuto laminato devono essere fornite con una serie di almeno 20 provini.

6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo

Qualsiasi materiale in pessime condizioni deve essere rimosso e il calcestruzzo rimosso deve essere riparato come descritto sopra. Grandi cavità e granulosità devono essere riempite con una malta di ripristino appropriata.

I materiali di ripristino devono essere completamente compatibili con l'adesivo.

La resistenza attuale della struttura di calcestruzzo deve essere verificata con almeno tre test pull-off.

Il calcestruzzo deve essere maturato per almeno 28 giorni.

Lo strato superficiale di calcestruzzo deve essere rimosso e deve essere creata una superficie con porosità aperta.

La superficie del substrato deve essere pulita ed essere esente da olio, grasso e qualsiasi altro contaminante come parti distaccate e polvere.

Per l'applicazione del tessuto di fibra, tutti gli angoli devono essere arrotondati ad un minimo raggio di 20 mm e qualsiasi spigolo acuto deve essere rimosso.

Il contenuto di umidità del sottofondo deve essere minore del 4%.

6.1.2. Tessuto SikaWrap®

I materiali devono soddisfare le prestazioni caratteristiche descritte come segue

6.1.2.1. Proprietà tipiche del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT):

Proprietà tipiche di fibre secche:

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 230000 N/mm ² (MPa)
Resistenza a trazione	EN 2561/ASTM D3039	≈ 4900 N/mm ² (MPa)
Allungamento a rottura	EN 2561/ASTM D3039	2.1 %

Proprietà tipiche del laminato (in rapporto allo spessore della fibra):

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 225000 N/mm ² (MPa)
----------------------	--------------------	--

6.1.3. Adesivo epossidico

L'adesivo deve essere a base epossidica.

La primerizzazione del sottofondo e l'impregnazione del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT) verranno effettuate tramite Sikadur®-330

6.1.3.1. Proprietà tipiche dell'adesivo Sikadur®-330

L'adesivo deve soddisfare la norma EN 1504-4.

Base chimica		Resina epossidica
Densità		1.30 kg/l (a +23°C).
Viscosità (Velocità di taglio 50/S)	+10°C	≈ 10000 mPas
	+23°C	≈ 6000 mPas
	+35°C	≈ 5000 mPas
Coefficiente di dilatazione termica	-10°C a +40°C	4.5×10^{-5} per °C
Resistenza alla deformazione termica. HDT (ASTM D648)	Maturazione	
	7 giorni, +10°C	+36°C
	7 giorni, +23°C	+47°C
	7 giorni, +35°C	+53°C
Temperatura d'uso	23°C Maturazione	da -40°C a +45°C
Resistenza a trazione	DIN EN ISO 527-3	30 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Resistenza coesiva a trazione (struttura sabbiata)	DIN EN ISO 4624	Cedimento del calcestruzzo (> 4 N/mm ²)
Modulo di elasticità a flessione	DIN EN 1465	3800 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Modulo di elasticità a trazione	DIN EN ISO 527-3	4500 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Allungamento a rottura	DIN EN ISO 527-3	0.9% (7 giorni a +23°C)

6.1.4. Procedura di applicazione

Il tessuto deve essere tagliato a misura con speciali forbici.

Uno strato di primer di resina impregnante deve essere applicato sulla superficie della struttura, utilizzando un rullino a pelo corto.

Il tessuto deve essere applicato sulla struttura, pressato e l'impregnazione della resina deve essere eseguita con un rullino a pelo corto, fino a che il tessuto sia completamente saturo.

Gli strati addizionali devono essere installati come descritto sopra, preferibilmente fresco su fresco.

In caso di ricoprimento cementizio, la resina risultante deve essere sparsa con sabbia di quarzo.

L'impregnante deve sempre essere steso nella direzione delle fibre.

Dopo l'applicazione, il tessuto di fibra finito deve essere protetto dalla pioggia, sabbia, polvere e qualsiasi altro contaminante.

Se necessario, il sistema applicato deve essere protetto con un ricoprimento adeguato (prove di compatibilità tra il ricoprimento e il tessuto devono essere disponibili).

7. INFORMAZIONI LEGALI

L'USO E/O L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE E DEI RISPECTIVI RISULTATI DEVONO ESSERE DETERMINATI SOLAMENTE DALL'UTENTE PROFESSIONISTA CON CONOSCENZE SPECIALI NELL'AREA D'USO E/O NELL'APPLICAZIONE PREVISTO/A. GLI UTENTI DEVONO VERIFICARE INDIPENDENTEMENTE I RISULTATI OTTENUTI PRIMA DELL'UTILIZZO. INOLTRE DEVONO SEGUIRE RIGOROSAMENTE LE CONDIZIONI LOCALI D'USO E/O DELL'APPLICAZIONE, I DOCUMENTI DI DATI DI PRODOTTI E LA LETTERATURA RISPETTIVA, LO STATO DELLA TECNICA COSÌ COME LE NORMATIVE E LE REGOLAMENTAZIONI LOCALI.

Il software è disponibile "COSÌ COME È" E SENZA NESSUNA GARANZIA O INDENNIZZO DI ALCUN TIPO. Sika non consegna garanzie, condizioni, indennizzi, rappresentazioni o termini, espresi o impliciti, che sia per statuto, giurisprudenza, abitudine, uso o per qualsiasi altra forma in relazione all'uso del software.

In nessun caso Sika sarà responsabile prima del progettista per qualsiasi danno, reclamo o costi di qualsiasi natura, né di qualsiasi danno risultante, indiretto, accidentale, punitivo o speciale, né di contestazioni o perdite di guadagni o di qualsiasi altro problema che sorga in qualsiasi modo per colpa dell'installazione, utilizzo o manutenzione del software.

Queste informazioni e, in particolare, le raccomandazioni relative all'applicazione e all'uso finale del prodotto sono fornite in buona fede, basate sulla conoscenza attuale e l'esperienza di Sika dei prodotti quando sono correttamente archiviati, maneggiati e applicati, in situazioni normali, dentro della propria vita utile e d'accordo con le raccomandazioni di Sika. Nella pratica, le possibili differenze nei materiali, supporti e condizioni reali nel luogo di applicazione sono tali che non si può dedurre dalle informazioni del presente documento, né da qualsiasi altra raccomandazione scritta, né da alcun consiglio offerto, nessuna garanzia in termini di commercializzazione o idoneità per propositi individuali, né obbligo alcuno fuori da qualsiasi relazione legale che possa esistere. L'utente deve provare la convenienza dei prodotti per l'applicazione e la finalità desiderate. Sika si riserva il diritto di modificare le proprietà dei suoi prodotti. Si riservano i diritti di proprietà di terze parti. Gli ordini sono accettati in conformità con i termini delle nostre vigenti Condizioni Generali di Vendita e Somministrazione. Gli utenti devono conoscere e utilizzare l'ultima versione e aggiornata dei Fogli di Dati di Prodotti, copie delle quali si manderanno a chi lo richieda.

Salvo che venga indicato il contrario, tutte le informazioni, il testo, le immagini grafiche, le caratteristiche o le funzioni, e il disegno contenuto in questo software sono proprietà esclusiva di Sika e non possono essere copiate o distribuite, nella sua totalità o in parte, senza il consenso espresso o per iscritto dell'impresa.

Fornendo le informazioni a Sika, lei concede all'impresa la licenza non ristretta e irrevocabile per utilizzare, riprodurre, esporre, modificare, distribuire e riprodurre tale informazione. L'informazione personale sarà utilizzata da Sika solo per processare richieste d'informazione effettuate dall'utente o per la commercializzazione dei nostri prodotti e servizi.

© Copyright Sika Services AG 2016

8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO

Ingegnerizzato da:



CYPE Software - Eusebio Sempere, 5 - 03003 Alicante (Spagna)

www.cype.com

SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE

PROGETTO: 24_51_solaio_PT

ELEMENTO: TRAVE PRINCIPALE

INDICE

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI.....	3
2. IPOTESI DI CALCOLO.....	3
2.1. Dati della trave.....	3
2.2. Dati del progetto.....	3
2.3. Geometria.....	4
2.4. Calcestruzzo.....	4
2.5. Acciaio per armature.....	4
2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali.....	4
2.7. Coefficienti di combinazione di carico.....	5
3. RINFORZO DI FRP.....	5
3.1. Rinforzo principale di FRP.....	5
4. CARICHI.....	5
4.1. Carichi della trave.....	5
5. RISULTATI.....	7
5.1. Riepilogo dei risultati.....	7
5.2. Stati limite ultimi.....	8
5.3. Stati limite di esercizio.....	11
5.4. Verifica delaminazione di estremità FRP e progettazione dell'ancoraggio.....	13
5.5. Configurazione FRP.....	13
6. SPECIFICHE DI PRODOTTO.....	14
6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®.....	14
6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo.....	15
6.1.2. Tessuto SikaWrap®	15

6.1.3. Adesivo epossidico.....	15
6.1.4. Procedura di applicazione.....	16
7. INFORMAZIONI LEGALI.....	17
8. INFORMAZIONI SU SIKА® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO.....	17

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI

Rinforzo a flessione con FRP, secondo:

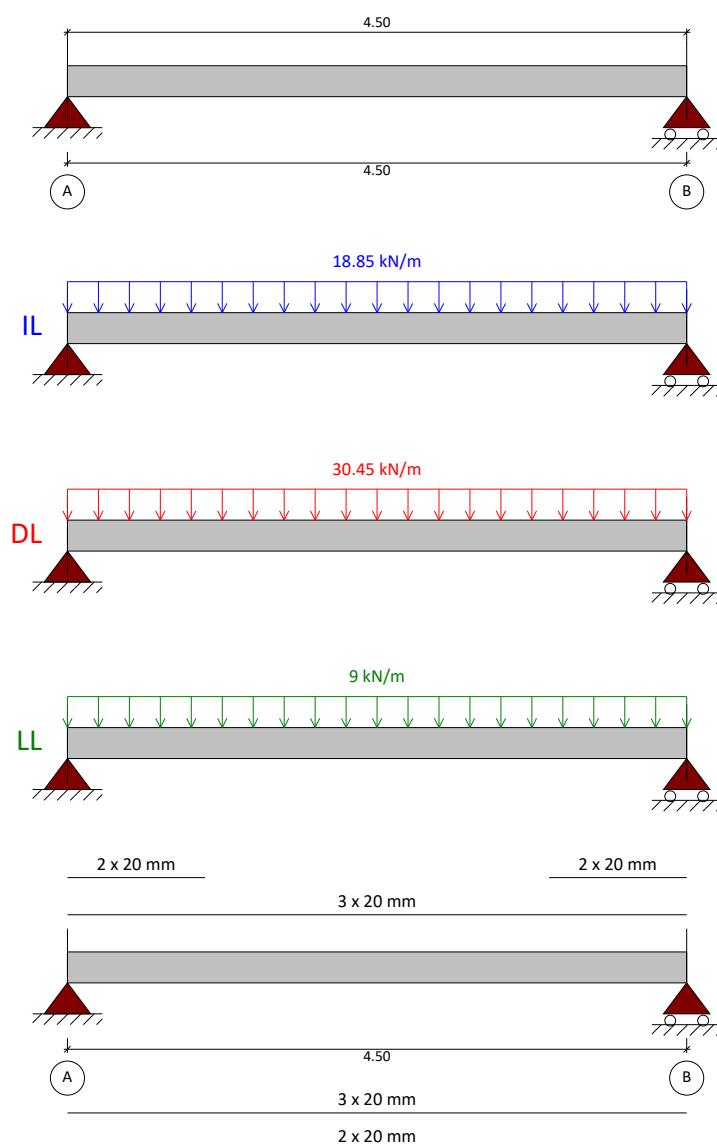
Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. (CNR-DT 200 R1/2013)

Norme Tecniche per le Costruzioni. (17 gennaio 2018)

Paese: Italia

2. IPOTESI DI CALCOLO

2.1. Dati della trave



2.2. Dati del progetto

Scelta dei valori delle resistenze

Input con valori caratteristici (Xk)

Condizione di esposizione

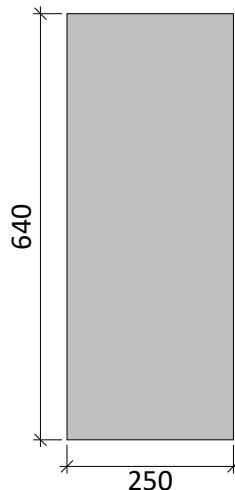
Interna

2.3. Geometria

Sezione trasversale = Rettangolare

Larghezza = 250 mm

Altezza = 640 mm



2.4. Calcestruzzo

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo

Valore caratteristico della resistenza a compressione (f_{ck}) = 20 MPa

Resistenza cilindrica = 20 MPa

Resistenza cubica = 24 MPa

2.5. Acciaio per armature

Armatura superiore	d_1 mm	Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \emptyset (mm)
1.	30	(Acciaio dolce) 230	200000	3 x 20.0
Armatura inferiore	d_1 mm	Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \emptyset (mm)
1.	30	(Acciaio dolce) 230	200000	3 x 20.0

2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali

Definito da (NTC 2018)

Calcestruzzo

γ_c (Combinazione fondamentale) = 1.50

γ_c (Eccezionali) = 1.00

γ_c (Incendio) = 1.00

α_{cc} (Combinazione fondamentale) = 0.85

α_{cc} (Eccezionali) = 0.85

α_{cc} (Incendio) = 1.00

Acciaio

γ_s (Combinazione fondamentale) = 1.30

γ_s (Eccezionali) = 1.00

γ_s (Incendio) = 1.00

2.7. Coefficienti di combinazione di carico

Combinazioni NTC 2018	Carichi permanenti portati	Carichi variabili
Combinazione fondamentale (SLU)	1.30	1.50
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici	1.00	0.30
Resistenza al fuoco	1.00	0.30
SLE, caratteristica	1.00	1.00
SLE, quasi permanente	1.00	0.30

A: Ambienti ad uso residenziale

$\psi_2 = 0.3$

$\eta_a = 0.75$

3. RINFORZO DI FRP

3.1. Rinforzo principale di FRP

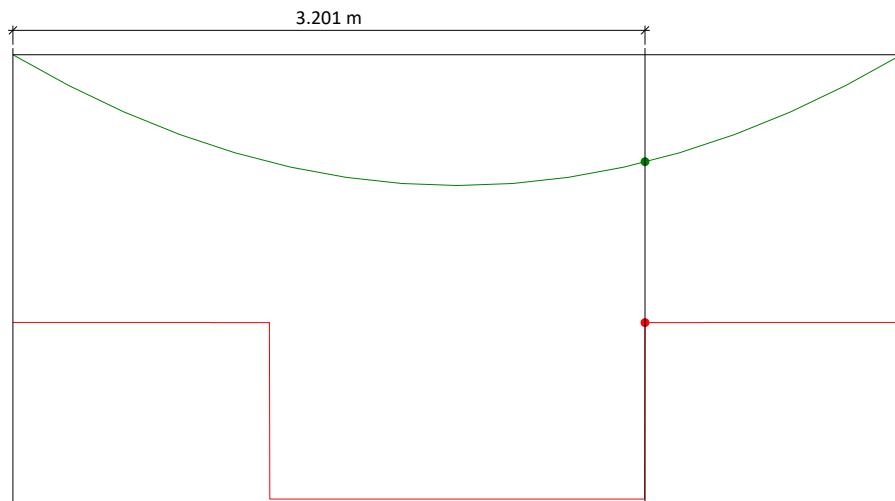
Semplicemente aderente. SikaWrap® C

SikaWrap® 300C - 10 cm (IT)	Tipo di fibra	Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali	ε_f (%)	ε_a (%)	E_f (MPa)	E_a (MPa)	f_a (MPa)	Spessore t_f (mm)	Numero	Larghezza (mm)	Classe
Strato: 1	Carbonio	γ_{fd} : 1.00, γ_f : 1.10, γ_a : 1.20, η_s : 0.75, η_a : 0.30	1.59	1.46	225000.00	210000.00	3070.00	0.166	2	100.00	-

4. CARICHI

4.1. Carichi della trave

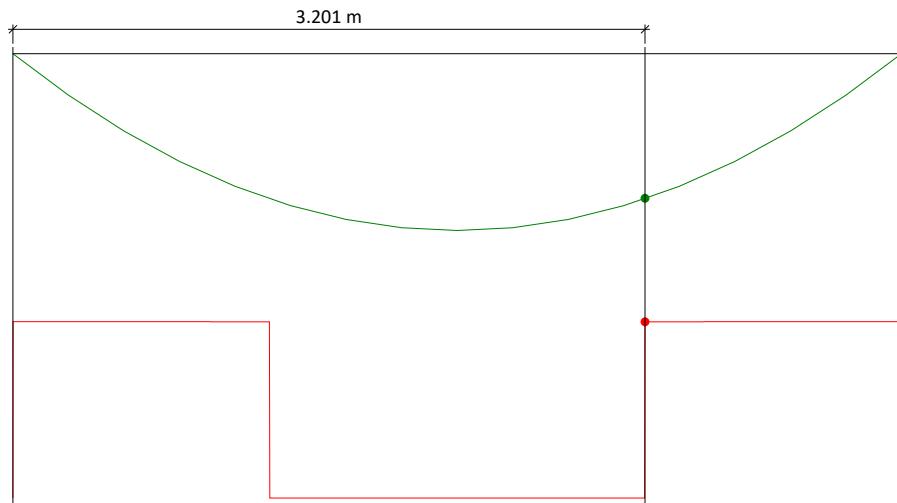
Carichi iniziali



● M_{Ed} (Carichi iniziali) = 39.01 kN·m

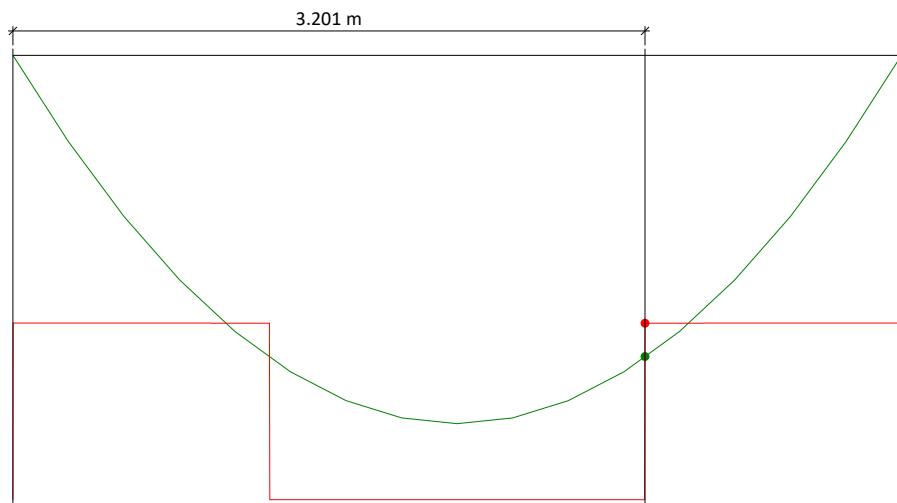
● M_{Rd} (Senza rinforzo) = 97.72 kN·m

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici



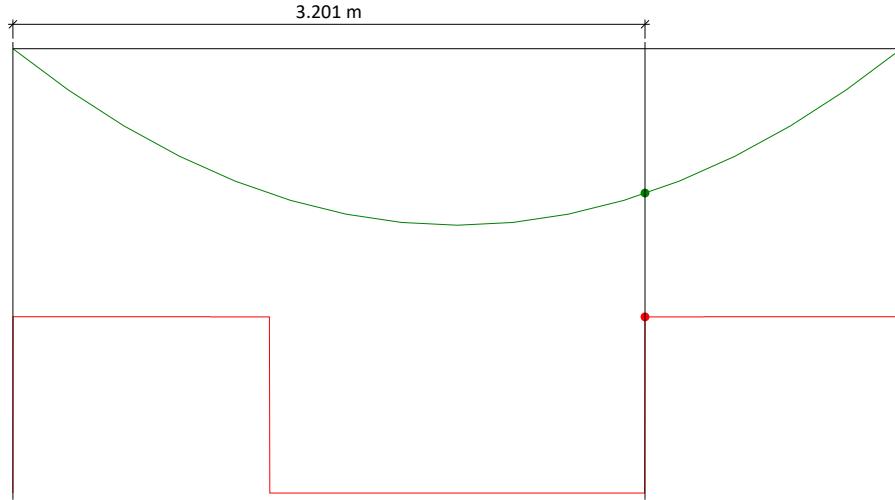
- M_{Ed} (Resistenza alle azioni causate da atti vandalici) = 68.61 kN·m
- MR_d (Senza rinforzo) = 127.26 kN·m

Combinazione fondamentale (SLU)



- M_{Ed} (Combinazione fondamentale (SLU)) = 109.87 kN·m
- MR_d (Senza rinforzo) = 97.72 kN·m

Resistenza al fuoco



- M_{Ed} (Resistenza al fuoco) = 68.61 kN·m
- M_{Rd} (Senza rinforzo) = 127.50 kN·m

5. RISULTATI

5.1. Riepilogo dei risultati

Combinazione fondamentale (SLU)			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d$ ($N_d = N_{Rd}$)
$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$	109.87	121.27	Sezione rinforzata 121.27 kN·m \geq 109.87 kN·m ✓

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d$ ($N_d = N_{Rd}$)
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	68.61	127.26	Sezione non rinforzata 127.26 kN·m \geq 68.61 kN·m ✓

Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 1.00 \cdot S_q$	$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck}$ 3.63 MPa \leq 12.00 MPa ✓	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$ 151.94 MPa \leq 184.00 MPa ✓	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$ 87.75 MPa \leq 689.85 MPa ✓

Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	$\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck}$ 3.09 MPa \leq 9.00 MPa ✓	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$ 128.10 MPa \leq 184.00 MPa ✓	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$ 60.89 MPa \leq 689.85 MPa ✓

Resistenza in caso di incendio (t=0 min.)			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d$ ($N_d = N_{Rd}$)
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	68.61	127.50	Sezione non rinforzata 127.50 kN·m \geq 68.61 kN·m ✓

5.2. Stati limite ultimi

Le ipotesi fondamentali su cui si basa l'analisi allo SLU delle sezioni di c.a. rinforzate con FRP sono le seguenti:

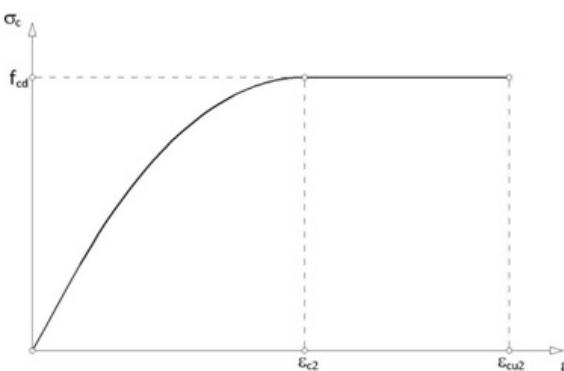
Conservazione della planarità delle sezioni rette fino a rottura, in modo che il diagramma delle deformazioni normali sia lineare.

Perfetta aderenza tra i materiali componenti (acciaio-calcestruzzo, FRP-calcestruzzo).

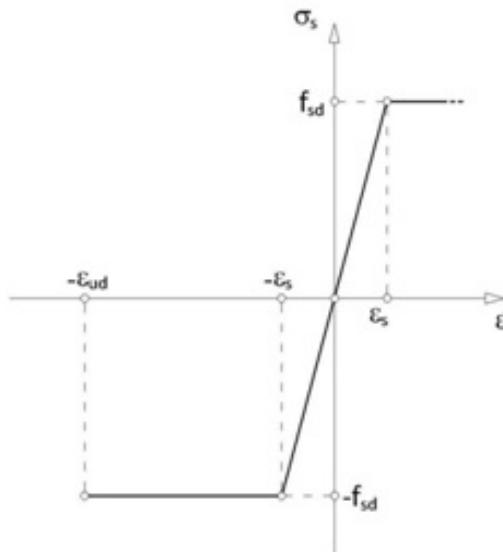
Resistenza a trazione nulla del calcestruzzo.

Legami costitutivi del calcestruzzo e dell'acciaio conformi alla Normativa vigente.

Legame costitutivo del composito fibrorinforzato elastico lineare fino a rottura.

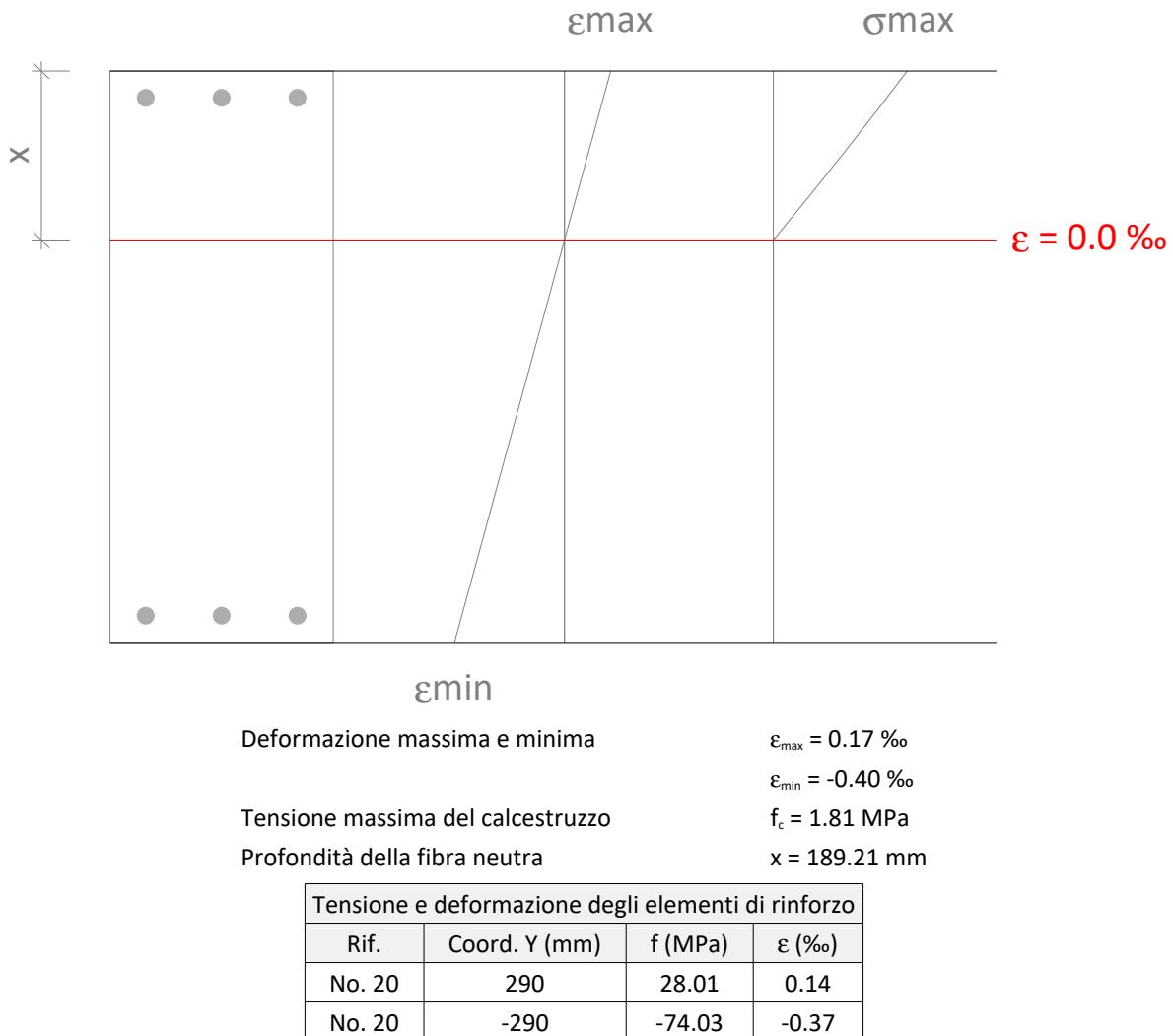


f_{cd} (MPa)	ε_{c0}	ε_{cu}	n
11.3	0.0020	0.0035	2



Carichi iniziali - Elemento senza rinforzi

$M_i = 39.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$

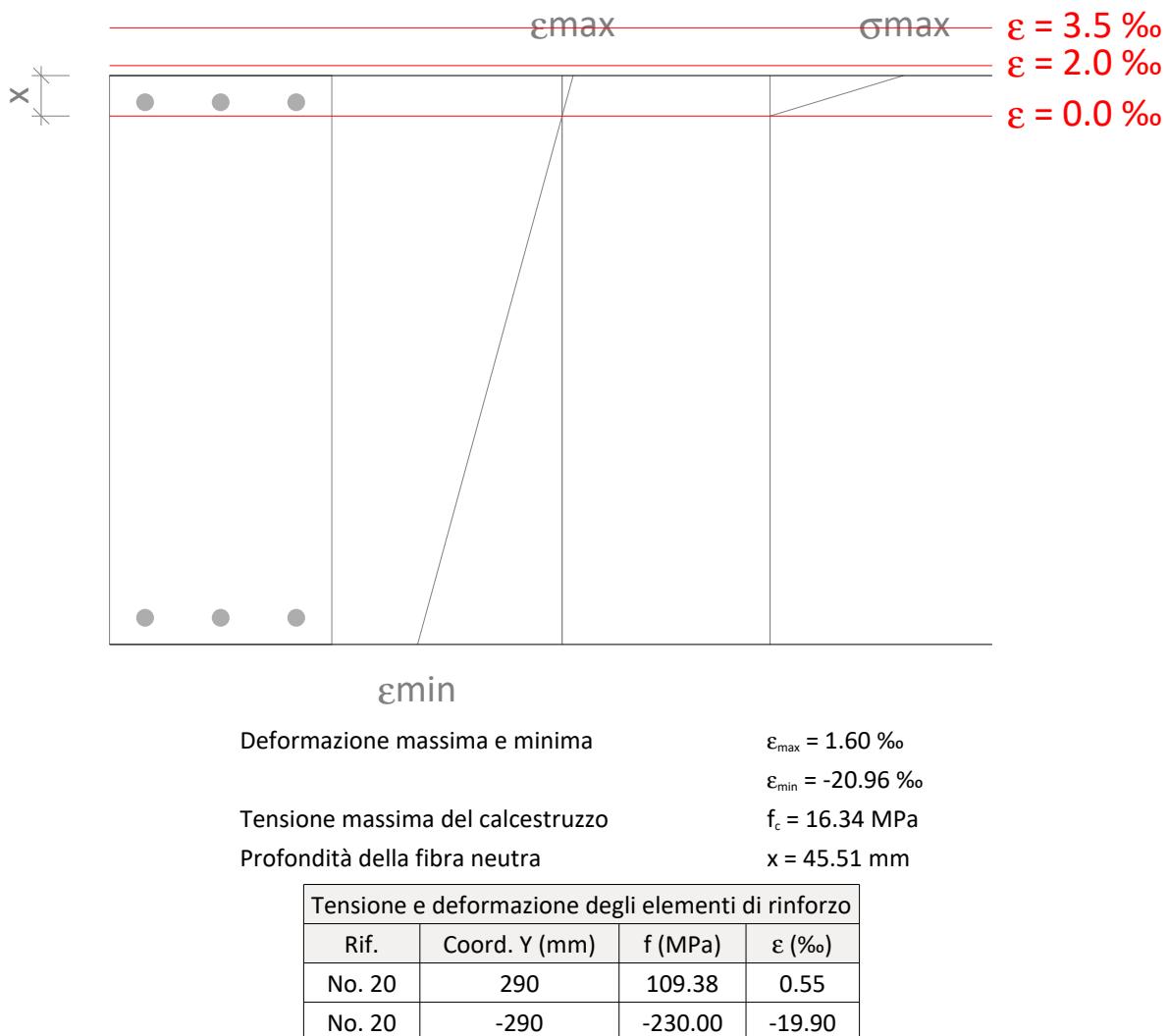


Azioni causate da atti vandalici - Elemento senza rinforzi.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

127.26 kN·m \geq 68.61 kN·m ✓
 $M_{Rd} : \underline{127.26 \text{ kN·m}}$

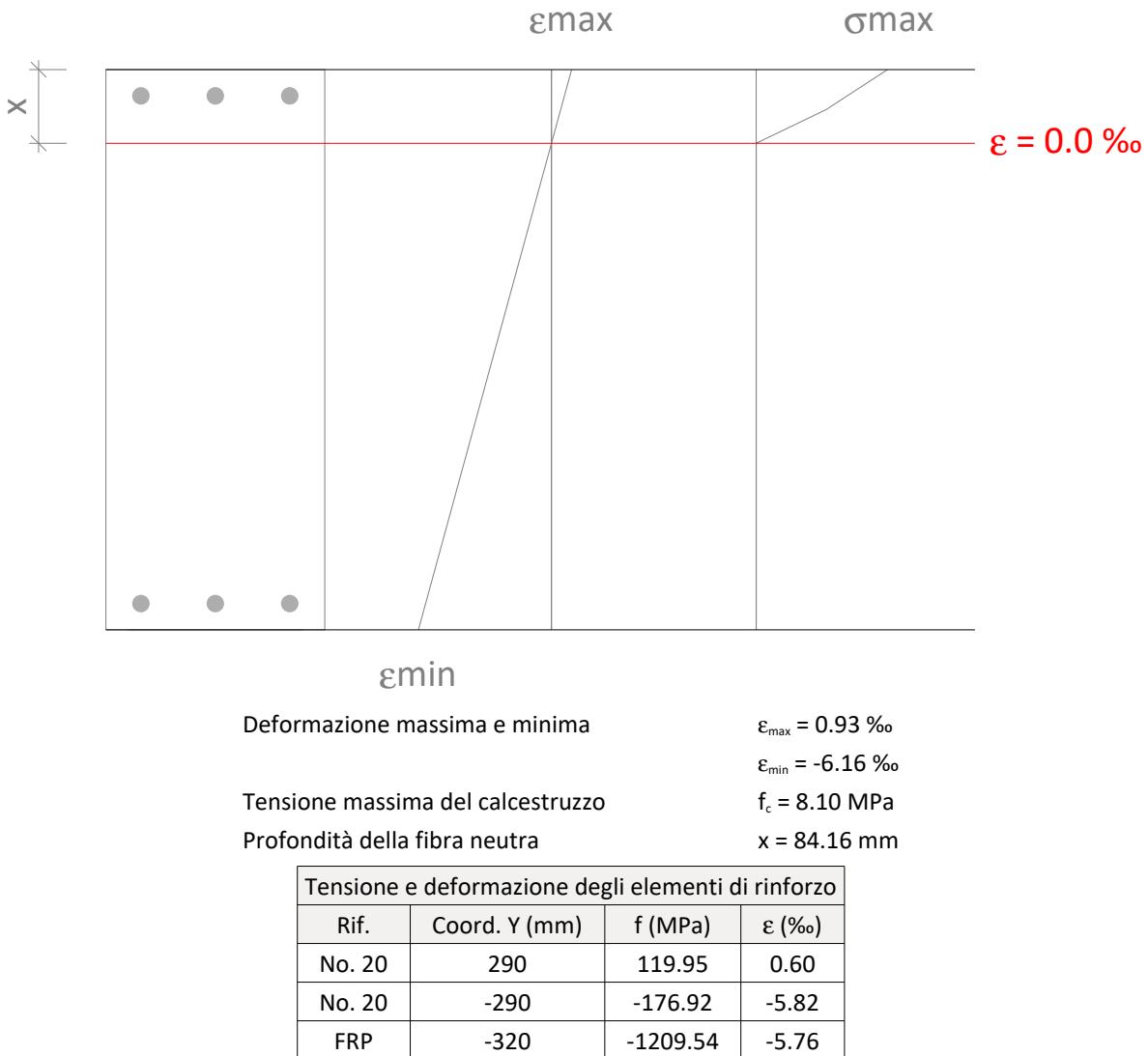


Carichi previsti - Elemento rinforzato

$$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

121.27 kN·m \geq 109.87 kN·m ✓
M_{Rd} : 121.27 kN·m



Resistenza al fuoco. Sezione non rinforzata.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$127.50 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq 68.61 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark$$

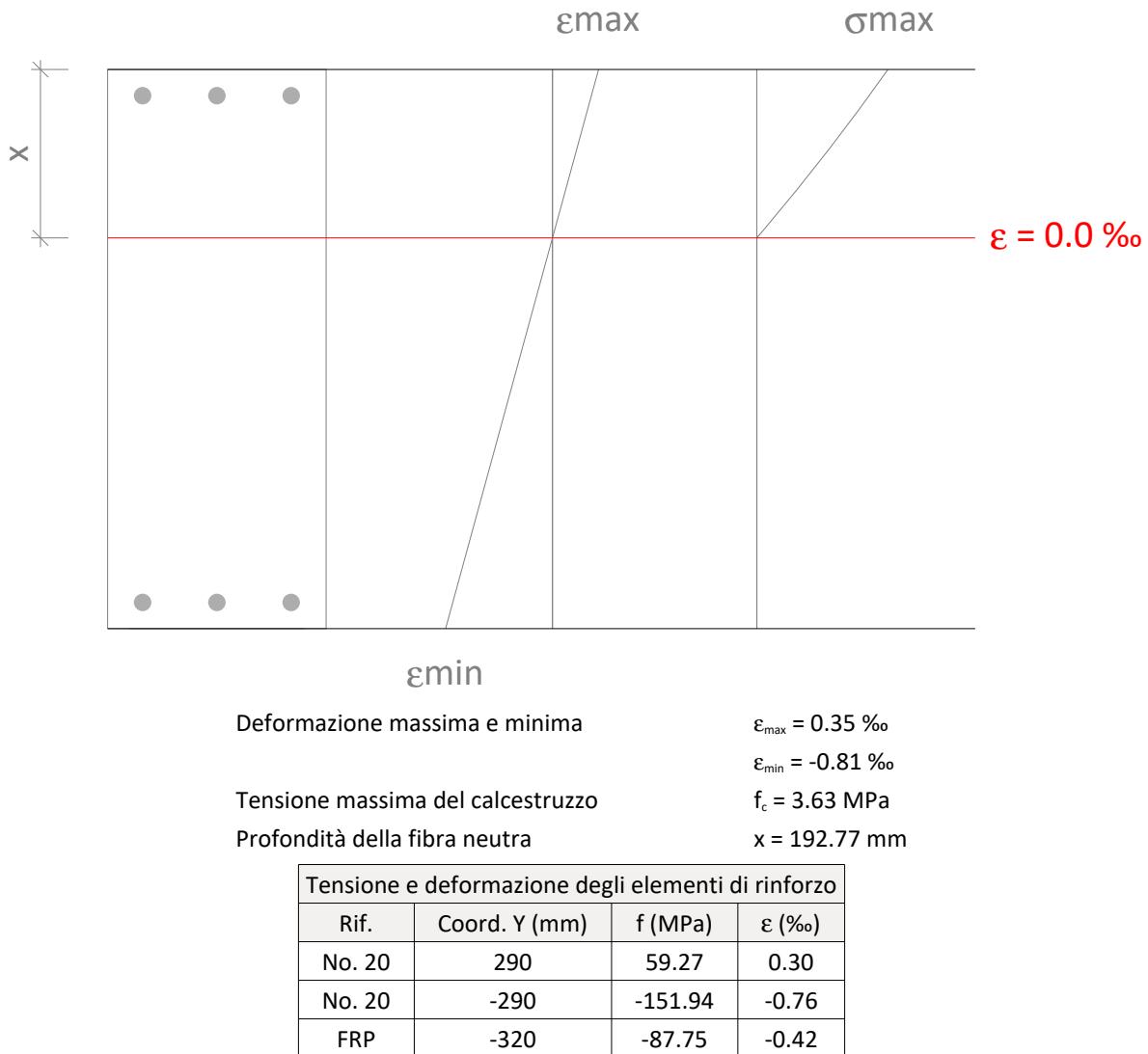
$$M_{Rd} : 127.50 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La resistenza dell'elemento senza rinforzo è sufficiente per resistere alla combinazione di carichi corrispondente alla situazione di incendio. Il rinforzo FRP non è, pertanto, necessario in caso di incendio, non precisando di protezione. In caso si voglia richiedere un tempo determinato di resistenza al fuoco, lo strutturista dovrà valutare la protezione dell'elemento di calcestruzzo armato in accordo con le normative locali vigenti.

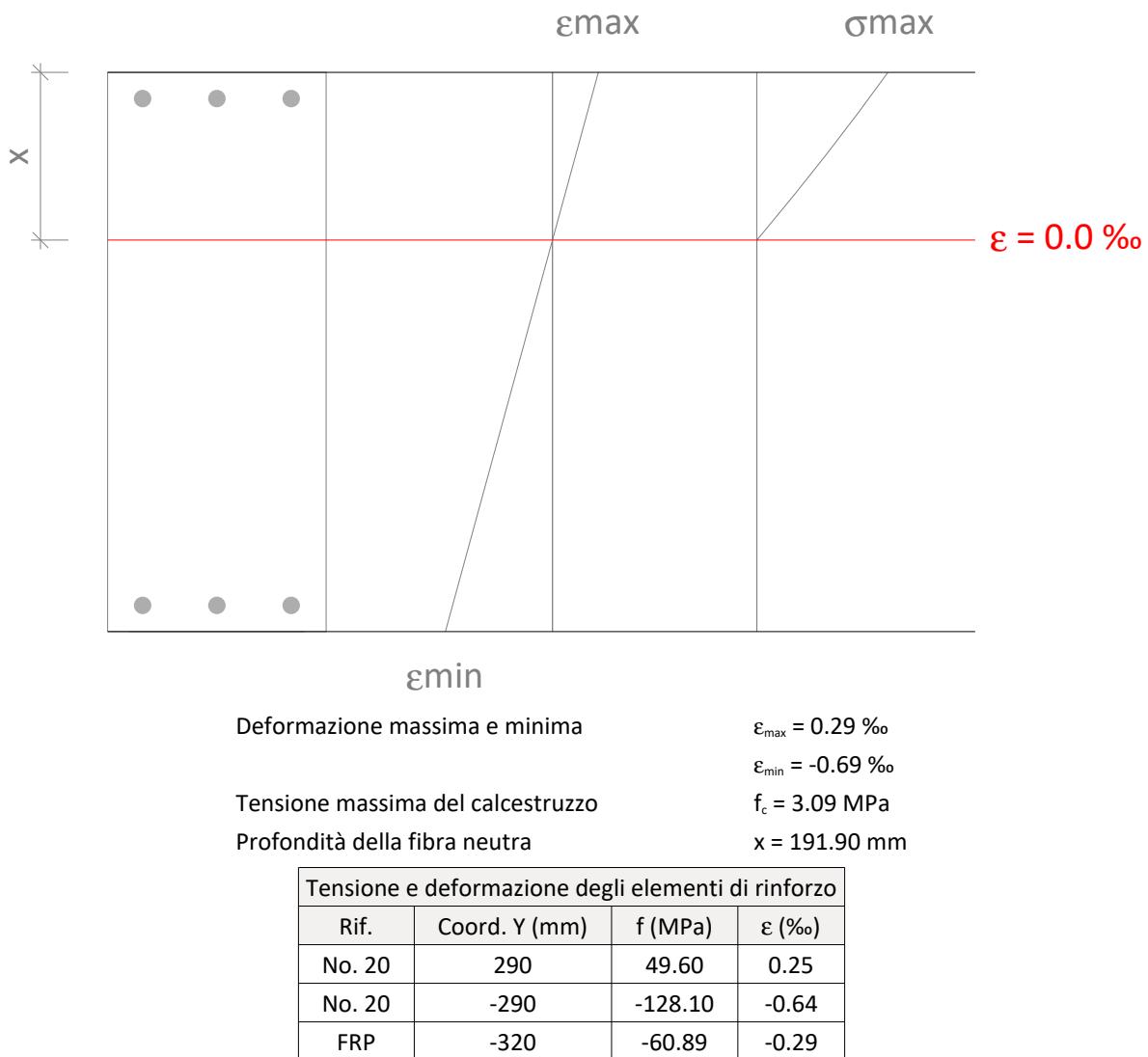
5.3. Stati limite di esercizio

Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione caratteristica (SLE)

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 1.00 \cdot S_q$$



Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione quasi permanente (SLE)
 $S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$



5.4. Verifica delaminazione di estremità FRP e progettazione dell'ancoraggio

SLE, caratteristica (Rinforzo principale di FRP)	$\tau_{be} \leq f_{bd}$	$0.01 \text{ MPa} \leq 0.46 \text{ MPa}$	✓	$x = [1.11, 1.12] \text{ m}$
SLE, frequente (Rinforzo principale di FRP)	$\tau_{be} \leq f_{bd}$	$0.01 \text{ MPa} \leq 0.39 \text{ MPa}$	✓	$x = [1.11, 1.12] \text{ m}$
Ancoraggio (Rinforzo principale di FRP)	$f_d \leq f_{fdd,rid}$	$679.09 \text{ MPa} \leq 715.15 \text{ MPa}$	✓	$x = 1.30 \text{ m}$

5.5. Configurazione FRP

I risultati precedenti corrispondono alla seguente configurazione di FRP:
 Rinforzo principale di FRP: 2 (SikaWrap® 300C - 10 cm (IT))



6. SPECIFICHE DI PRODOTTO

6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®

Il rinforzo deve essere realizzato tramite un tessuto unidirezionale di fibra di carbonio, impregnato e legato esternamente alla struttura con adesivo epossidico Sikadur®-330

Il materiale deve essere una piastra CFRP pultruso, unidirezionale, con un contenuto volumetrico di fibra di carbonio >68%.

Le fibre devono essere allineate e libere da torsione.

Il materiale deve disporre di referenze di utilizzo (> 25 anni) nel rinforzo strutturale.

Il tessuto di fibre deve essere unidirezionale e fabbricato con fibre di carbonio a base di PAN.

Deve essere possibile procedere all'applicazione in un numero di strati maggiore di uno.

Il materiale deve avere un lungo registro cronologico per il rinforzo strutturale.

I valori misurati delle proprietà meccaniche del tessuto laminato devono essere fornite con una serie di almeno 20 provini.

6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo

Qualsiasi materiale in pessime condizioni deve essere rimosso e il calcestruzzo rimosso deve essere riparato come descritto sopra. Grandi cavità e granulosità devono essere riempite con una malta di ripristino appropriata.

I materiali di ripristino devono essere completamente compatibili con l'adesivo.

La resistenza attuale della struttura di calcestruzzo deve essere verificata con almeno tre test pull-off.

Il calcestruzzo deve essere maturato per almeno 28 giorni.

Lo strato superficiale di calcestruzzo deve essere rimosso e deve essere creata una superficie con porosità aperta.

La superficie del substrato deve essere pulita ed essere esente da olio, grasso e qualsiasi altro contaminante come parti distaccate e polvere.

Per l'applicazione del tessuto di fibra, tutti gli angoli devono essere arrotondati ad un minimo raggio di 20 mm e qualsiasi spigolo acuto deve essere rimosso.

Il contenuto di umidità del sottofondo deve essere minore del 4%.

6.1.2. Tessuto SikaWrap®

I materiali devono soddisfare le prestazioni caratteristiche descritte come segue

6.1.2.1. Proprietà tipiche del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT):

Proprietà tipiche di fibre secche:

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 230000 N/mm ² (MPa)
Resistenza a trazione	EN 2561/ASTM D3039	≈ 4900 N/mm ² (MPa)
Allungamento a rottura	EN 2561/ASTM D3039	2.1 %

Proprietà tipiche del laminato (in rapporto allo spessore della fibra):

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 225000 N/mm ² (MPa)
----------------------	--------------------	--

6.1.3. Adesivo epossidico

L'adesivo deve essere a base epossidica.

La primerizzazione del sottofondo e l'impregnazione del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT) verranno effettuate tramite Sikadur®-330

6.1.3.1. Proprietà tipiche dell'adesivo Sikadur®-330

L'adesivo deve soddisfare la norma EN 1504-4.

Base chimica		Resina epossidica
Densità		1.30 kg/l (a +23°C).
Viscosità (Velocità di taglio 50/S)	+10°C	≈ 10000 mPas
	+23°C	≈ 6000 mPas
	+35°C	≈ 5000 mPas
Coefficiente di dilatazione termica	-10°C a +40°C	4.5 x 10-5 per °C
Resistenza alla deformazione termica. HDT (ASTM D648)	Maturazione	
	7 giorni, +10°C	+36°C
	7 giorni, +23°C	+47°C
	7 giorni, +35°C	+53°C
Temperatura d'uso	23°C Maturazione	da -40°C a +45°C
Resistenza a trazione	DIN EN ISO 527-3	30 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Resistenza coesiva a trazione (struttura sabbiata)	DIN EN ISO 4624	Cedimento del calcestruzzo (> 4 N/mm ²)
Modulo di elasticità a flessione	DIN EN 1465	3800 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Modulo di elasticità a trazione	DIN EN ISO 527-3	4500 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Allungamento a rottura	DIN EN ISO 527-3	0.9% (7 giorni a +23°C)

6.1.4. Procedura di applicazione

Il tessuto deve essere tagliato a misura con speciali forbici.

Uno strato di primer di resina impregnante deve essere applicato sulla superficie della struttura, utilizzando un rullino a pelo corto.

Il tessuto deve essere applicato sulla struttura, pressato e l'impregnazione della resina deve essere eseguita con un rullino a pelo corto, fino a che il tessuto sia completamente saturo.

Gli strati addizionali devono essere installati come descritto sopra, preferibilmente fresco su fresco.

In caso di ricoprimento cementizio, la resina risultante deve essere sparsa con sabbia di quarzo.

L'impregnante deve sempre essere steso nella direzione delle fibre.

Dopo l'applicazione, il tessuto di fibra finito deve essere protetto dalla pioggia, sabbia, polvere e qualsiasi altro contaminante.

Se necessario, il sistema applicato deve essere protetto con un ricoprimento adeguato (prove di compatibilità tra il ricoprimento e il tessuto devono essere disponibili).

7. INFORMAZIONI LEGALI

L'USO E/O L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE E DEI RISPECTIVI RISULTATI DEVONO ESSERE DETERMINATI SOLAMENTE DALL'UTENTE PROFESSIONISTA CON CONOSCENZE SPECIALI NELL'AREA D'USO E/O NELL'APPLICAZIONE PREVISTO/A. GLI UTENTI DEVONO VERIFICARE INDIPENDENTEMENTE I RISULTATI OTTENUTI PRIMA DELL'UTILIZZO. INOLTRE DEVONO SEGUIRE RIGOROSAMENTE LE CONDIZIONI LOCALI D'USO E/O DELL'APPLICAZIONE, I DOCUMENTI DI DATI DI PRODOTTI E LA LETTERATURA RISPETTIVA, LO STATO DELLA TECNICA COSÌ COME LE NORMATIVE E LE REGOLAMENTAZIONI LOCALI.

Il software è disponibile "COSÌ COME È" E SENZA NESSUNA GARANZIA O INDENNIZZO DI ALCUN TIPO. Sika non consegna garanzie, condizioni, indennizzi, rappresentazioni o termini, espresi o impliciti, che sia per statuto, giurisprudenza, abitudine, uso o per qualsiasi altra forma in relazione all'uso del software.

In nessun caso Sika sarà responsabile prima del progettista per qualsiasi danno, reclamo o costi di qualsiasi natura, né di qualsiasi danno risultante, indiretto, accidentale, punitivo o speciale, né di contestazioni o perdite di guadagni o di qualsiasi altro problema che sorga in qualsiasi modo per colpa dell'installazione, utilizzo o manutenzione del software.

Queste informazioni e, in particolare, le raccomandazioni relative all'applicazione e all'uso finale del prodotto sono fornite in buona fede, basate sulla conoscenza attuale e l'esperienza di Sika dei prodotti quando sono correttamente archiviati, maneggiati e applicati, in situazioni normali, dentro della propria vita utile e d'accordo con le raccomandazioni di Sika. Nella pratica, le possibili differenze nei materiali, supporti e condizioni reali nel luogo di applicazione sono tali che non si può dedurre dalle informazioni del presente documento, né da qualsiasi altra raccomandazione scritta, né da alcun consiglio offerto, nessuna garanzia in termini di commercializzazione o idoneità per propositi individuali, né obbligo alcuno fuori da qualsiasi relazione legale che possa esistere. L'utente deve provare la convenienza dei prodotti per l'applicazione e la finalità desiderate. Sika si riserva il diritto di modificare le proprietà dei suoi prodotti. Si riservano i diritti di proprietà di terze parti. Gli ordini sono accettati in conformità con i termini delle nostre vigenti Condizioni Generali di Vendita e Somministrazione. Gli utenti devono conoscere e utilizzare l'ultima versione e aggiornata dei Fogli di Dati di Prodotti, copie delle quali si manderanno a chi lo richieda.

Salvo che venga indicato il contrario, tutte le informazioni, il testo, le immagini grafiche, le caratteristiche o le funzioni, e il disegno contenuto in questo software sono proprietà esclusiva di Sika e non possono essere copiate o distribuite, nella sua totalità o in parte, senza il consenso espresso o per iscritto dell'impresa.

Fornendo le informazioni a Sika, lei concede all'impresa la licenza non ristretta e irrevocabile per utilizzare, riprodurre, esporre, modificare, distribuire e riprodurre tale informazione. L'informazione personale sarà utilizzata da Sika solo per processare richieste d'informazione effettuate dall'utente o per la commercializzazione dei nostri prodotti e servizi.

© Copyright Sika Services AG 2016

8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO

Ingegnerizzato da:



CYPE Software - Eusebio Sempere, 5 - 03003 Alicante (Spagna)

www.cype.com

SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE

PROGETTO: 24_51_solaio_PT

ELEMENTO: TRAVE PRINCIPALE

INDICE

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI.....	3
2. IPOTESI DI CALCOLO.....	3
2.1. Dati della trave.....	3
2.2. Dati del progetto.....	3
2.3. Geometria.....	4
2.4. Calcestruzzo.....	4
2.5. Acciaio di rinforzo a taglio.....	4
2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali.....	4
2.7. Coefficienti di combinazione di carico.....	5
2.8. Fattore di conversione ambientale.....	5
3. RINFORZO A TAGLIO CON FRP.....	5
3.1. Proprietà del rinforzo FRP.....	5
3.2. Resistenza di progetto a "taglio compressione".....	5
3.3. Resistenza di progetto a "taglio trazione".....	5
3.4. Capacità a taglio-trazione del sistema di rinforzo FRP.....	6
4. CARICHI.....	6
4.1. Carichi della trave.....	6
5. RISULTATI.....	8
5.1. Riepilogo dei risultati.....	8
5.2. Configurazione FRP.....	8
6. SPECIFICHE DI PRODOTTO.....	9
6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®.....	9
6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo.....	9

6.1.2. Tessuto SikaWrap®.....	10
6.1.3. Adesivo epossidico.....	10
6.1.4. Procedura di applicazione.....	11
7. INFORMAZIONI LEGALI.....	12
8. INFORMAZIONI SU SIKА® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO.....	12

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI

Rinforzo a taglio con FRP, secondo:

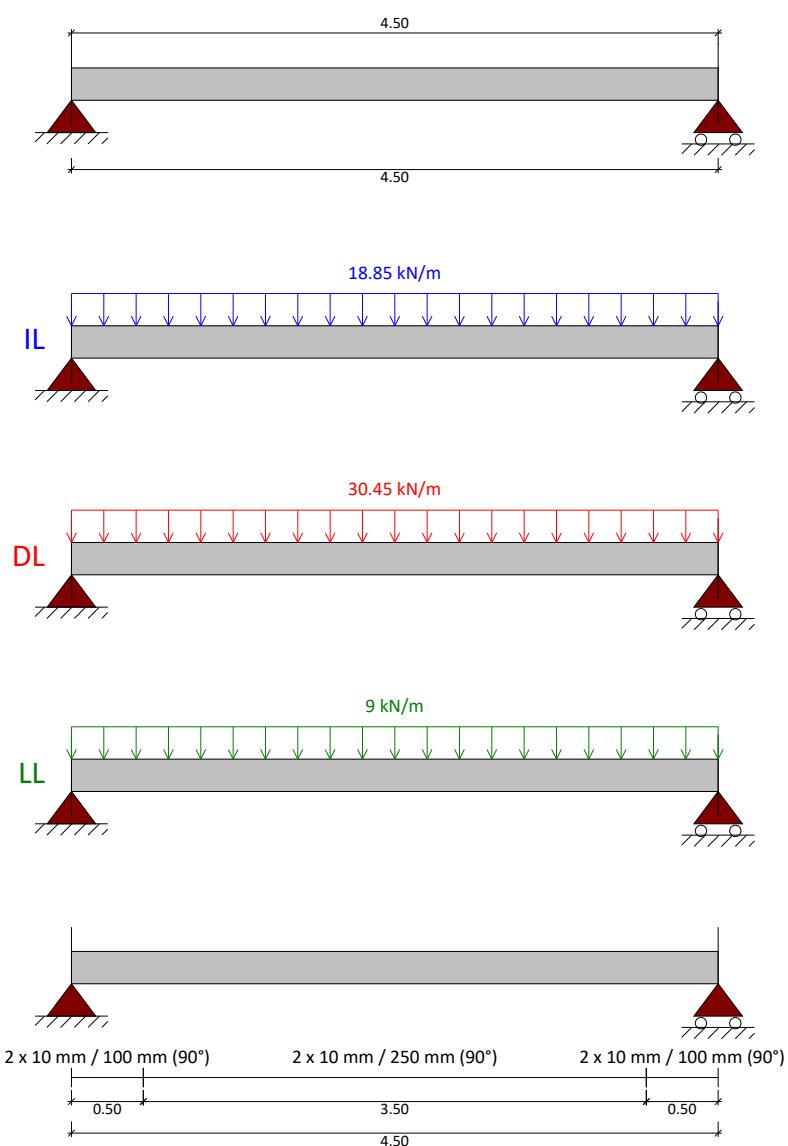
Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. (CNR-DT 200 R1/2013)

Norme Tecniche per le Costruzioni. (17 gennaio 2018)

Paese: Italia

2. IPOTESI DI CALCOLO

2.1. Dati della trave



2.2. Dati del progetto

Scelta dei valori delle resistenze

Input con valori caratteristici (Xk)

Condizione di esposizione

Interna

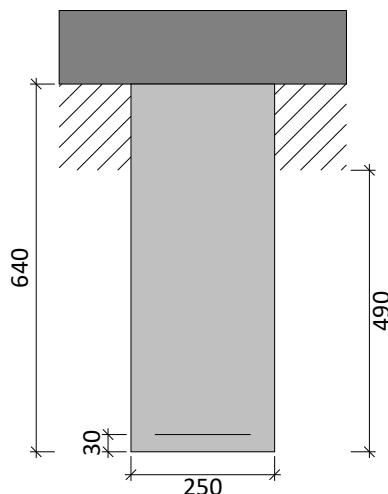
2.3. Geometria

Larghezza (b_w) = 250 mm

Altezza (h) = 640 mm

Distanza al baricentro delle armature (c) = 30 mm

Altezza disponibile (h_f) = 490 mm



2.4. Calcestruzzo

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo

Valore caratteristico della resistenza a compressione (f_{ck}) = 20.00 MPa

Resistenza cilindrica = 20.00 MPa

Resistenza cubica = 24.10 MPa

2.5. Acciaio di rinforzo a taglio

Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \emptyset (mm)	Distanza d'interasse (mm)	Angolo (°)
(Acciaio dolce) 230.00	200000.00	2 x 10.0	250	90.0

2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali

Definito da (NTC 2018)

Calcestruzzo

γ_c (Combinazione fondamentale) = 1.50

γ_c (Eccezionali) = 1.00

γ_c (Incendio) = 1.00

α_{cc} (Combinazione fondamentale) = 0.85

α_{cc} (Eccezionali) = 0.85

α_{cc} (Incendio) = 1.00

Acciaio

γ_s (Combinazione fondamentale) = 1.30

γ_s (Eccezionali) = 1.00

$$\gamma_s \text{ (Incendio)} = 1.00$$

2.7. Coefficienti di combinazione di carico

Combinazioni NTC 2018	Carichi permanenti portati	Carichi variabili
Combinazione fondamentale (SLU)	1.30	1.50
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici	1.00	0.30
Resistenza al fuoco	1.00	0.30

A: Ambienti ad uso residenziale

$$\psi_2 = 0.3$$

2.8. Fattore di conversione ambientale

Tipo di fibra: Carbonio

$$\eta_a = 0.95$$

3. RINFORZO A TAGLIO CON FRP

3.1. Proprietà del rinforzo FRP

Configurazione del cordolo: Cordolo ad "U" a 3 facce

Bande discrete

Coefficienti parziali per i modelli di resistenza	γ_{Rd}
Taglio	1.20

Coefficienti parziali per i materiali FRP	γ_f
SLU	1.10

Rinforzo FRP	ε_f (%)	ε_{fk} (%)	E_f (MPa)	E_{fk} (MPa)	f_{fk} (MPa)	Spessore t_f (mm)	Strati	Larghezza (mm)	Classe
SikaWrap® 300C - 10 cm (IT)	1.59	1.46	225000.00	210000.00	3070.00	0.166	1	100	-

3.2. Resistenza di progetto a "taglio compressione"

Con riferimento alla biella compressa di calcestruzzo, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con:

$$V_{Rd,c} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \frac{(\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta)}{(1 + \operatorname{ctg}^2\theta)} \quad V_{Rd,c} : 388.88 \text{ kN}$$

d (mm)	b_w (mm)	α_c	v	f_{cd} (MPa)	α (°)	θ (°)
610	250	1.0	0.5	11.33	90.0	45.0

3.3. Resistenza di progetto a "taglio trazione"

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rd,s} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad V_{Rd,s} : 61.03 \text{ kN}$$

A_{sw} (mm ²)	s (mm)	f_{yd} (MPa)
157	250	176.92

3.4. Capacità a taglio-trazione del sistema di rinforzo FRP

Il contributo del sistema di rinforzo FRP, può essere valutato in base al meccanismo a traliccio di Mörsch mediante la seguente formula:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{fed} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{b_f}{p_f}$$

$V_{Rd,f} : \underline{36.30}$ kN

Nel caso di disposizione ad U su una sezione rettangolare, la tensione efficace di calcolo del sistema di rinforzo è fornita dalla relazione:

$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_{ed} \cdot \sin \beta}{\min \{0,9 \cdot d, h_w\}} \right]$$

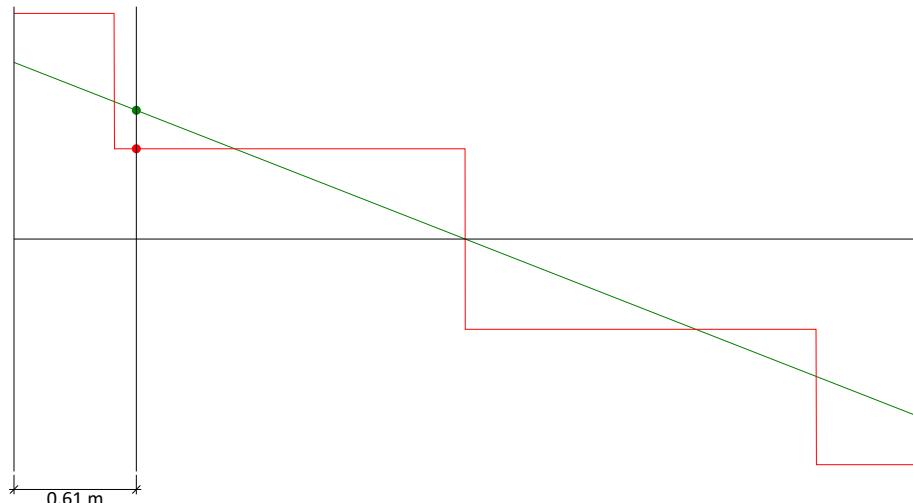
$f_{fed} : \underline{645.20}$ kN

$l_{ed,d}$ (mm)	f_{fdd} (MPa)	f_{fd} (MPa)	h_w (mm)	β	b_f (mm)	p_f (mm)
200.00	746.81	-	490	90.0	100	270

4. CARICHI

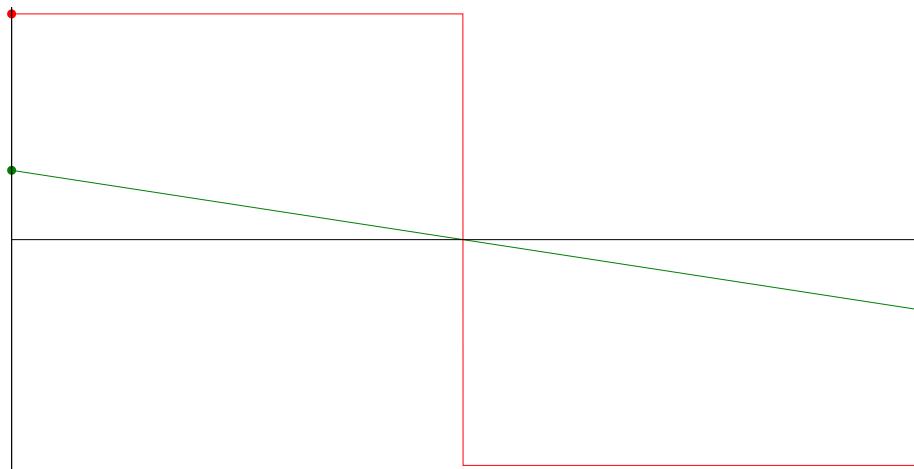
4.1. Carichi della trave

Combinazione fondamentale (SLU)



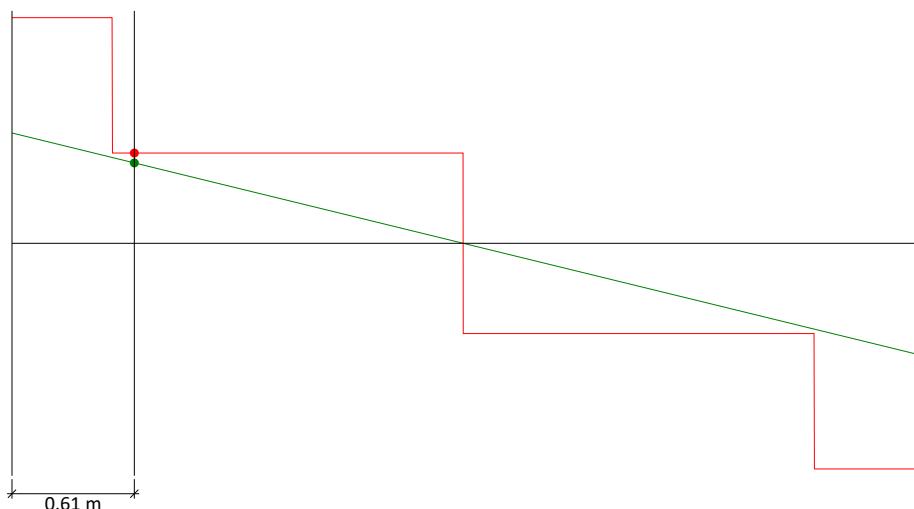
- V_{Ed} (Combinazione fondamentale (SLU)) = 87.06 kN
- V_{Rd} (Senza rinforzo) = 61.03 kN

Combinazione fondamentale (SLU) (Biella compressa di calcestruzzo)



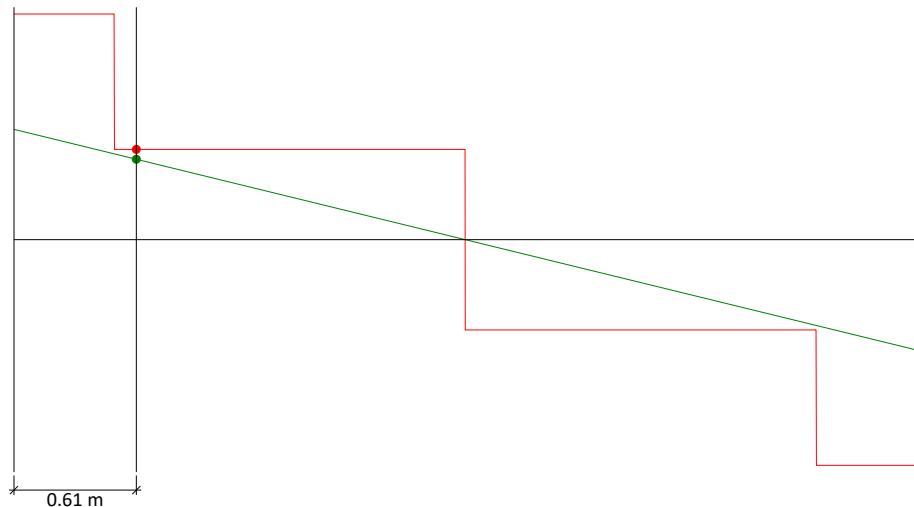
- VEd (Combinazione fondamentale (SLU)) = 119.44 kN
- VRd (Senza rinforzo) = 388.88 kN

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici



- VEd (Carichi iniziali) = 54.37 kN
- VRd (Senza rinforzo) = 79.34 kN

Resistenza al fuoco



- V_{Ed} (Resistenza al fuoco) = 54.37 kN
- V_{Rd} (Senza rinforzo) = 79.34 kN

5. RISULTATI

5.1. Riepilogo dei risultati

Combinazione fondamentale (SLU)					
carico	V_d (kN)	V_{Rcd} (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)	$V_{Rd,f}$ (kN)	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd} + V_{Rd,s} + V_{Rd,f}) = 97.33 \text{ kN}; V_{Rd} \geq V_d$
$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_G + 1.50 \cdot S_Q$	87.06	388.88	61.03	36.30	Sezione rinforzata ✓
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici					
carico	V_d (kN)	V_{Rcd} (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)	$V_{Rd,f}$ (kN)	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd} + V_{Rd,s}) = 79.34 \text{ kN}; V_{Rd} \geq V_d$
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_G + 0.30 \cdot S_Q$	54.37	583.31	79.34		Sezione non rinforzata ✓
Situazione di fuoco (istante iniziale)					
carico	V_d (kN)	V_{Rcd} (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)	$V_{Rd,f}$ (kN)	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd} + V_{Rd,s}) = 79.34 \text{ kN}; V_{Rd} \geq V_d$
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_G + 0.30 \cdot S_Q$	54.37	583.31	79.34		Sezione non rinforzata ✓

5.2. Configurazione FRP

I risultati precedenti corrispondono alla seguente configurazione di FRP:

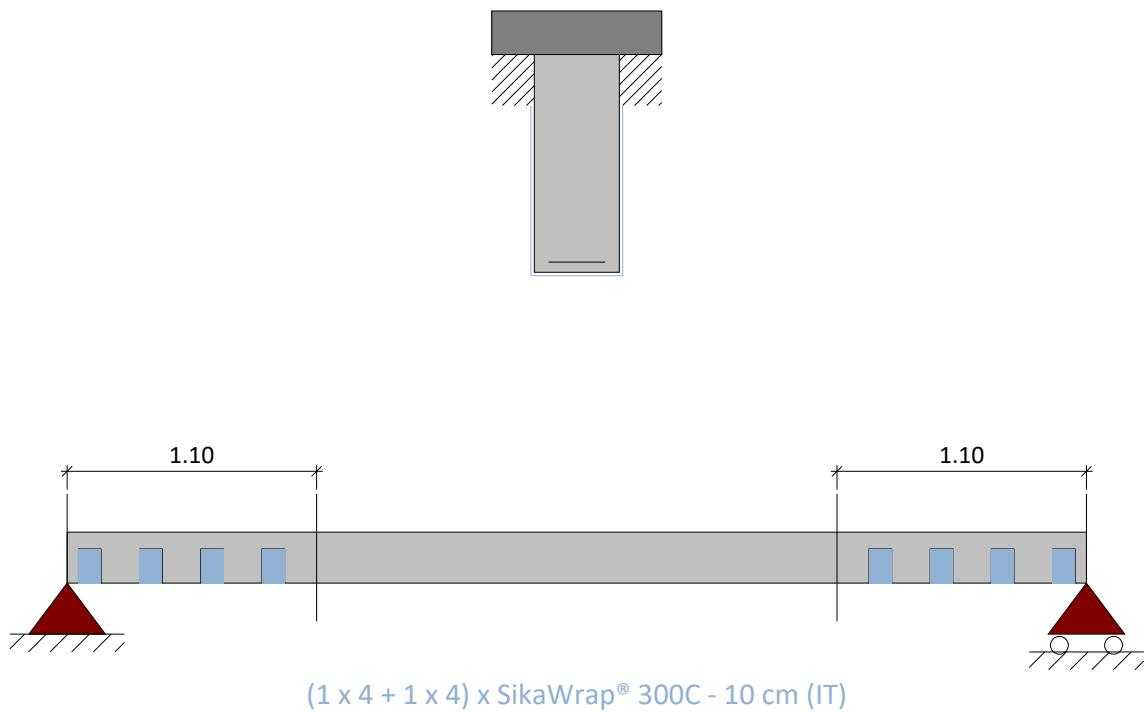
1 strato di SikaWrap® 300C - 10 cm (IT)

Configurazione del cordolo: Cordolo ad "U" a 3 facce

Bande discrete

Angolo: 90.0 °

Distanza d'interasse: 270 mm



6. SPECIFICHE DI PRODOTTO

6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap[®]

Il rinforzo deve essere realizzato tramite un tessuto unidirezionale di fibra di carbonio, impregnato e legato esternamente alla struttura con adesivo epossidico Sikadur[®]-330

Le fibre devono essere allineate e libere da torsione.

Il materiale deve disporre di referenze di utilizzo (> 25 anni) nel rinforzo strutturale.

Il tessuto di fibre deve essere unidirezionale e fabbricato con fibre di carbonio a base di PAN.

Deve essere possibile procedere all'applicazione in un numero di strati maggiore di uno.

I valori misurati delle proprietà meccaniche del tessuto laminato devono essere fornite con una serie di almeno 20 provini.

6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo

Qualsiasi materiale in pessime condizioni deve essere rimosso e il calcestruzzo rimosso deve essere riparato come descritto sopra. Grandi cavità e granulosità devono essere riempite con una malta di ripristino appropriata.

I materiali di ripristino devono essere completamente compatibili con l'adesivo.

La resistenza attuale della struttura di calcestruzzo deve essere verificata con almeno tre test pull-off.

Il calcestruzzo deve essere maturato per almeno 28 giorni.

Lo strato superficiale di calcestruzzo deve essere rimosso e deve essere creata una superficie con porosità aperta.

La superficie del substrato deve essere pulita ed essere esente da olio, grasso e qualsiasi altro contaminante come parti distaccate e polvere.

Per l'applicazione del tessuto di fibra, tutti gli angoli devono essere arrotondati ad un minimo raggio di 20 mm e qualsiasi spigolo acuto deve essere rimosso.

Il contenuto di umidità del sottofondo deve essere minore del 4%.

6.1.2. Tessuto SikaWrap®

I materiali devono soddisfare le prestazioni caratteristiche descritte come segue

6.1.2.1. Proprietà tipiche del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT):

Proprietà tipiche di fibre secche:

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 230000 N/mm ² (MPa)
Resistenza a trazione	EN 2561/ASTM D3039	≈ 4900 N/mm ² (MPa)
Allungamento a rottura	EN 2561/ASTM D3039	2.1 %

Proprietà tipiche del laminato (in rapporto allo spessore della fibra):

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 225000 N/mm ² (MPa)
----------------------	--------------------	--

6.1.3. Adesivo epossidico

L'adesivo deve essere a base epossidica.

La primerizzazione del sottofondo e l'impregnazione del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT) verranno effettuate tramite Sikadur®-330

6.1.3.1. Proprietà tipiche dell'adesivo Sikadur®-330

L'adesivo deve soddisfare la norma EN 1504-4.

Base chimica		Resina epossidica
Densità		1.30 kg/l (a +23°C).
Viscosità (Velocità di taglio 50/S)	+10°C	≈ 10000 mPas
	+23°C	≈ 6000 mPas
	+35°C	≈ 5000 mPas
Coefficiente di dilatazione termica	-10°C a +40°C	4.5 x 10-5 per °C
Resistenza alla deformazione termica. HDT (ASTM D648)	Maturazione	
	7 giorni, +10°C	+36°C
	7 giorni, +23°C	+47°C
	7 giorni, +35°C	+53°C
Temperatura d'uso	23°C Maturazione	da -40°C a +45°C
Resistenza a trazione	DIN EN ISO 527-3	30 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Resistenza coesiva a trazione (struttura sabbiata)	DIN EN ISO 4624	Cedimento del calcestruzzo (> 4 N/mm ²)
Modulo di elasticità a flessione	DIN EN 1465	3800 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Modulo di elasticità a trazione	DIN EN ISO 527-3	4500 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Allungamento a rottura	DIN EN ISO 527-3	0.9% (7 giorni a +23°C)

6.1.4. Procedura di applicazione

Il tessuto deve essere tagliato a misura con speciali forbici.

Uno strato di primer di resina impregnante deve essere applicato sulla superficie della struttura, utilizzando un rullino a pelo corto.

Il tessuto deve essere applicato sulla struttura, pressato e l'impregnazione della resina deve essere eseguita con un rullino a pelo corto, fino a che il tessuto sia completamente saturo.

Gli strati addizionali devono essere installati come descritto sopra, preferibilmente fresco su fresco.

In caso di ricoprimento cementizio, la resina risultante deve essere sparsa con sabbia di quarzo.

L'impregnante deve sempre essere steso nella direzione delle fibre.

Dopo l'applicazione, il tessuto di fibra finito deve essere protetto dalla pioggia, sabbia, polvere e qualsiasi altro contaminante.

Se necessario, il sistema applicato deve essere protetto con un ricoprimento adeguato (prove di compatibilità tra il ricoprimento e il tessuto devono essere disponibili).

7. INFORMAZIONI LEGALI

L'USO E/O L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE E DEI RISPECTIVI RISULTATI DEVONO ESSERE DETERMINATI SOLAMENTE DALL'UTENTE PROFESSIONISTA CON CONOSCENZE SPECIALI NELL'AREA D'USO E/O NELL'APPLICAZIONE PREVISTO/A. GLI UTENTI DEVONO VERIFICARE INDIPENDENTEMENTE I RISULTATI OTTENUTI PRIMA DELL'UTILIZZO. INOLTRE DEVONO SEGUIRE RIGOROSAMENTE LE CONDIZIONI LOCALI D'USO E/O DELL'APPLICAZIONE, I DOCUMENTI DI DATI DI PRODOTTI E LA LETTERATURA RISPETTIVA, LO STATO DELLA TECNICA COSÌ COME LE NORMATIVE E LE REGOLAMENTAZIONI LOCALI.

Il software è disponibile "COSÌ COME È" E SENZA NESSUNA GARANZIA O INDENNIZZO DI ALCUN TIPO. Sika non consegna garanzie, condizioni, indennizzi, rappresentazioni o termini, espresi o impliciti, che sia per statuto, giurisprudenza, abitudine, uso o per qualsiasi altra forma in relazione all'uso del software.

In nessun caso Sika sarà responsabile prima del progettista per qualsiasi danno, reclamo o costi di qualsiasi natura, né di qualsiasi danno risultante, indiretto, accidentale, punitivo o speciale, né di contestazioni o perdite di guadagni o di qualsiasi altro problema che sorga in qualsiasi modo per colpa dell'installazione, utilizzo o manutenzione del software.

Queste informazioni e, in particolare, le raccomandazioni relative all'applicazione e all'uso finale del prodotto sono fornite in buona fede, basate sulla conoscenza attuale e l'esperienza di Sika dei prodotti quando sono correttamente archiviati, maneggiati e applicati, in situazioni normali, dentro della propria vita utile e d'accordo con le raccomandazioni di Sika. Nella pratica, le possibili differenze nei materiali, supporti e condizioni reali nel luogo di applicazione sono tali che non si può dedurre dalle informazioni del presente documento, né da qualsiasi altra raccomandazione scritta, né da alcun consiglio offerto, nessuna garanzia in termini di commercializzazione o idoneità per propositi individuali, né obbligo alcuno fuori da qualsiasi relazione legale che possa esistere. L'utente deve provare la convenienza dei prodotti per l'applicazione e la finalità desiderate. Sika si riserva il diritto di modificare le proprietà dei suoi prodotti. Si riservano i diritti di proprietà di terze parti. Gli ordini sono accettati in conformità con i termini delle nostre vigenti Condizioni Generali di Vendita e Somministrazione. Gli utenti devono conoscere e utilizzare l'ultima versione e aggiornata dei Fogli di Dati di Prodotti, copie delle quali si manderanno a chi lo richieda.

Salvo che venga indicato il contrario, tutte le informazioni, il testo, le immagini grafiche, le caratteristiche o le funzioni, e il disegno contenuto in questo software sono proprietà esclusiva di Sika e non possono essere copiate o distribuite, nella sua totalità o in parte, senza il consenso espresso o per iscritto dell'impresa.

Fornendo le informazioni a Sika, lei concede all'impresa la licenza non ristretta e irrevocabile per utilizzare, riprodurre, esporre, modificare, distribuire e riprodurre tale informazione. L'informazione personale sarà utilizzata da Sika solo per processare richieste d'informazione effettuate dall'utente o per la commercializzazione dei nostri prodotti e servizi.

© Copyright Sika Services AG 2016

8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO

Ingegnerizzato da:



CYPE Software - Eusebio Sempere, 5 - 03003 Alicante (Spagna)

www.cype.com

Sika Services AG
Corporate Tech. Dept.
Tüffewies 16
8048 Zürich (Svizzera)
www.sika.com

Elemento: TRAVE PRINCIPALE
Data: 12/09/2024
Editore: AF
Progetto: 24_51_solaio_PT
Note: VERIFICA A TAGLIO

12/12

BUILDING TRUST

The Sika logo, featuring the word "Sika" in a bold, yellow, sans-serif font inside a red, right-angled triangle. Below the triangle, the words "BUILDING TRUST" are written in a smaller, yellow, sans-serif font.

SOLAIO PIANO PRIMO

Quota +4.16 m

- Consolidamento travetto – rinforzo a flessione
- Consolidamento trave principale – rinforzo a flessione
- Consolidamento trave principale – rinforzo a taglio

SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE

PROGETTO: 24_51_solaio P1

ELEMENTO: TRAVETTO

INDICE

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI.....	3
2. IPOTESI DI CALCOLO.....	3
2.1. Dati del progetto.....	3
2.2. Geometria.....	3
2.3. Calcestruzzo.....	3
2.4. Acciaio per armature.....	4
2.5. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali.....	4
2.6. Coefficienti di combinazione di carico.....	4
3. RINFORZO DI FRP.....	4
3.1. Rinforzo principale di FRP.....	4
4. CARICHI.....	4
4.1. Carichi iniziali.....	4
4.2. Carichi previsti.....	4
5. RISULTATI.....	5
5.1. Riepilogo dei risultati.....	5
5.2. Stati limite ultimi.....	5
5.3. Stati limite di esercizio.....	9
5.4. Configurazione FRP.....	11
6. SPECIFICHE DI PRODOTTO.....	12
6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®.....	12
6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo.....	12
6.1.2. Tessuto SikaWrap®	13
6.1.3. Adesivo epossidico.....	13

6.1.4. Procedura di applicazione.....	14
7. INFORMAZIONI LEGALI.....	15
8. INFORMAZIONI SU SIKА® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO.....	15

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI

Rinforzo a flessione con FRP, secondo:

Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. (CNR-DT 200 R1/2013)

Norme Tecniche per le Costruzioni. (17 gennaio 2018)

Paese: Italia

2. IPOTESI DI CALCOLO

2.1. Dati del progetto

Scelta dei valori delle resistenze

Input con valori caratteristici (Xk)

Condizione di esposizione

Interna

2.2. Geometria

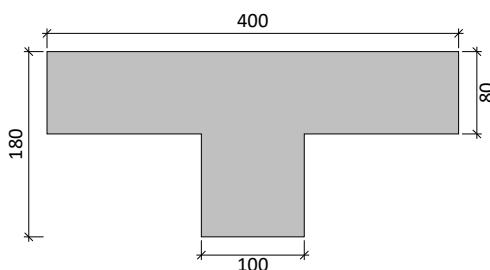
Sezione trasversale = Trave a T

Larghezza dell'anima = 100 mm

Altezza totale = 180 mm

Larghezza dell'ala = 400 mm

Altezza dell'ala = 80 mm



2.3. Calcestruzzo

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo

Valore caratteristico della resistenza a compressione (f_{ck}) = 20 MPa

Resistenza cilindrica = 20 MPa

Resistenza cubica = 24 MPa

2.4. Acciaio per armature

Armatura inferiore	d ₁ mm	Acciaio f _{yk} (MPa)	E _s (MPa)	Numero x Ø (mm)
1.	30	(Acciaio dolce) 230	200000	2 x 10.0

2.5. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali

Definito da (NTC 2018)

Calcestruzzo

γ_c (Combinazione fondamentale) = 1.50

γ_c (Eccezionali) = 1.00

γ_c (Incendio) = 1.00

α_{cc} (Combinazione fondamentale) = 0.85

α_{cc} (Eccezionali) = 0.85

α_{cc} (Incendio) = 1.00

Acciaio

γ_s (Combinazione fondamentale) = 1.30

γ_s (Eccezionali) = 1.00

γ_s (Incendio) = 1.00

2.6. Coefficienti di combinazione di carico

Combinazioni NTC 2018	Carichi permanenti portati	Carichi variabili
Combinazione fondamentale (SLU)	1.30	1.50
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici	1.00	0.30
Resistenza al fuoco	1.00	0.30
SLE, caratteristica	1.00	1.00
SLE, quasi permanente	1.00	0.30

A: Ambienti ad uso residenziale

$\psi_2 = 0.3$

$\eta_a = 0.75$

3. RINFORZO DI FRP

3.1. Rinforzo principale di FRP

Semplicemente aderente. SikaWrap® C

1/2 SikaWrap® 300C - 10 cm (5 cm) (IT)	Tipo di fibra	Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali	ε_s (%)	ε_{ik} (%)	E_i (MPa)	E_{ik} (MPa)	f_{ik} (MPa)	Spessore t _i (mm)	Numero	Larghezza (mm)	Classe
Strato: 1	Carbonio	$\gamma_{fa} = 1.00, \gamma_i = 1.10, \gamma_{fa} = 1.20, \eta_s = 0.75, \eta_i = 0.30$	1.59	1.46	225000.00	210000.00	3070.00	0.166	2	50.00	-
Strato: 2	Carbonio	$\gamma_{fa} = 1.00, \gamma_i = 1.10, \gamma_{fa} = 1.20, \eta_s = 0.75, \eta_i = 0.30$	1.59	1.46	225000.00	210000.00	3070.00	0.166	2	50.00	-

4. CARICHI

4.1. Carichi iniziali

(Positivo) M_i : 3.20 kN·m

4.2. Carichi previsti

Carichi permanenti portati

(Positivo) M₆ : 3.73 kN·m

Carichi variabili

(Positivo) M_Q : 2.03 kN·m

5. RISULTATI

5.1. Riepilogo dei risultati

Combinazione fondamentale (SLU)			
carico	M _d (kN·m)	M _{Rd} (kN·m)	M _{Rd} ≥ M _d (N _d = N _{Rd})
S _{Ed} = 1.30 · S _G + 1.50 · S _Q	7.89	8.54	Sezione rinforzata 8.54 kN·m ≥ 7.89 kN·m ✓
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici			
carico	M _d (kN·m)	M _{Rd} (kN·m)	M _{Rd} ≥ M _d (N _d = N _{Rd})
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 0.30 · S _Q	4.34	5.29	Sezione non rinforzata 5.29 kN·m ≥ 4.34 kN·m ✓
Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 1.00 · S _Q	$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck}$	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$
	5.60 MPa ≤ 12.00 MPa ✓	176.92 MPa ≤ 184.00 MPa ✓	340.11 MPa ≤ 689.85 MPa ✓
Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 0.30 · S _Q	$\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck}$	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$
	3.90 MPa ≤ 9.00 MPa ✓	176.92 MPa ≤ 184.00 MPa ✓	95.84 MPa ≤ 689.85 MPa ✓
Resistenza in caso di incendio (t=0 min.)			
carico	M _d (kN·m)	M _{Rd} (kN·m)	M _{Rd} ≥ M _d (N _d = N _{Rd})
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 0.30 · S _Q	4.34	5.30	Sezione non rinforzata 5.30 kN·m ≥ 4.34 kN·m ✓

5.2. Stati limite ultimi

Le ipotesi fondamentali su cui si basa l'analisi allo SLU delle sezioni di c.a. rinforzate con FRP sono le seguenti:

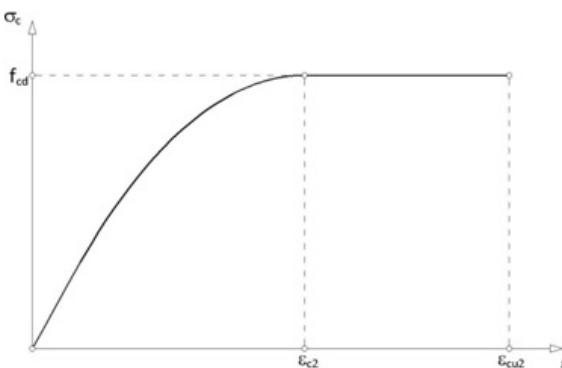
Conservazione della planarità delle sezioni rette fino a rottura, in modo che il diagramma delle deformazioni normali sia lineare.

Perfetta aderenza tra i materiali componenti (acciaio-calcestruzzo, FRP-calcestruzzo).

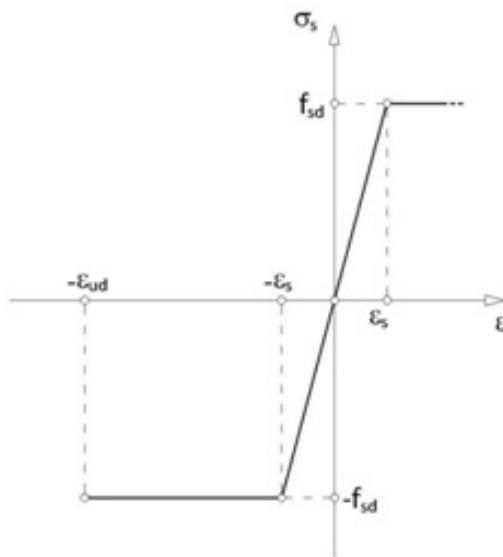
Resistenza a trazione nulla del calcestruzzo.

Legami costitutivi del calcestruzzo e dell'acciaio conformi alla Normativa vigente.

Legame costitutivo del composito fibrorinforzato elastico lineare fino a rottura.

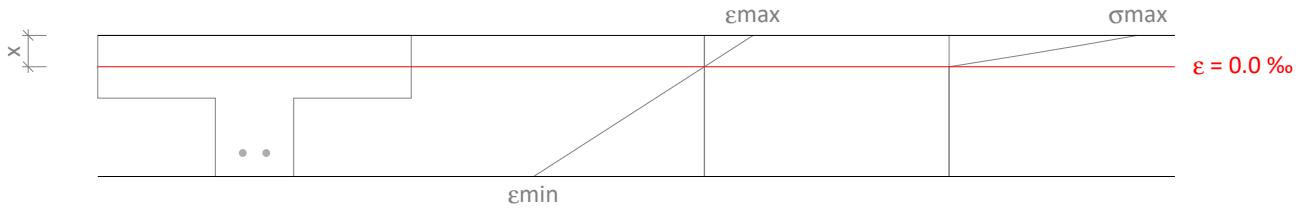


f_{cd} (MPa)	ε_{c0}	ε_{cu}	n
11.3	0.0020	0.0035	2



Carichi iniziali - Elemento senza rinforzi

$M_i = 3.20 \text{ kN}\cdot\text{m}$



Deformazione massima e minima

$$\varepsilon_{\max} = 0.27 \text{ \%}$$

$$\varepsilon_{\min} = -0.95 \text{ \%}$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 2.86 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

$$x = 39.97 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (%)
No. 10	-60	-149.22	-0.75

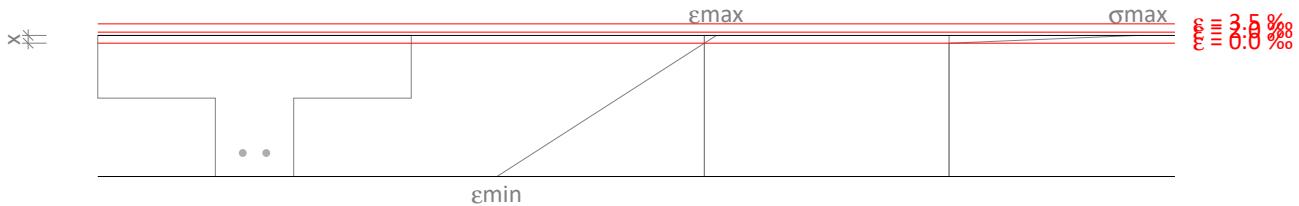
Azioni causate da atti vandalici - Elemento senza rinforzi.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$5.29 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 4.34 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} : \underline{5.29} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Deformazione massima e minima

$$\varepsilon_{\max} = 1.40 \text{ \%}$$

$$\varepsilon_{\min} = -24.16 \text{ \%}$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 15.49 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

$$x = 9.88 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (\%)
No. 10	-60	-230.00	-19.90

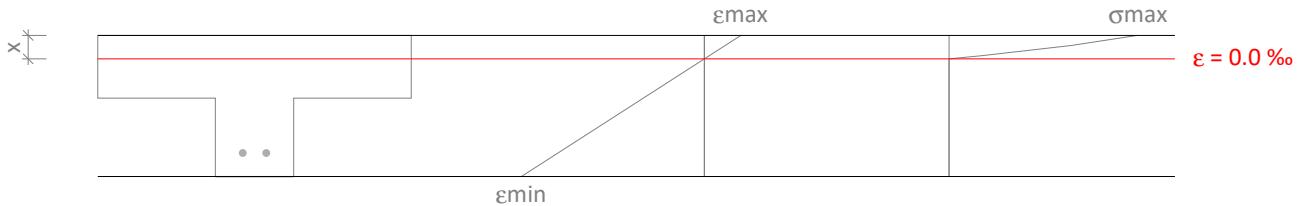
Carichi previsti - Elemento rinforzato

$$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$8.54 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 7.89 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} : \underline{8.54} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Deformazione massima e minima $\epsilon_{\max} = 0.97 \%$
 $\epsilon_{\min} = -4.88 \%$

Tensione massima del calcestruzzo $f_c = 8.34 \text{ MPa}$

Profondità della fibra neutra $x = 29.90 \text{ mm}$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (%)
No. 10	-60	-176.92	-3.91
FRP	-90	-826.29	-3.93
FRP	-90	-827.19	-3.94

Resistenza al fuoco. Sezione non rinforzata.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$5.30 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 4.34 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

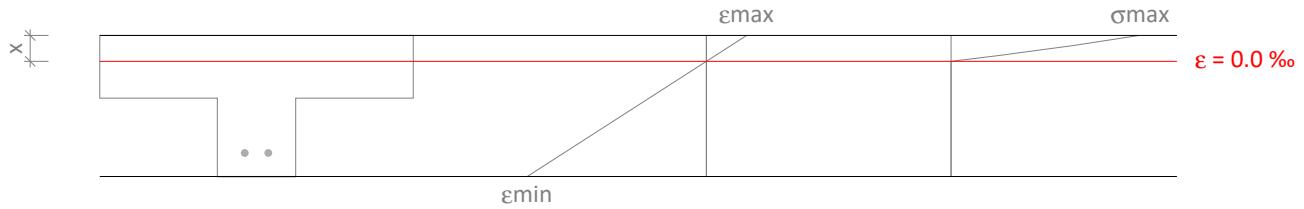
$$M_{Rd} : 5.30 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistenza dell'elemento senza rinforzo è sufficiente per resistere alla combinazione di carichi corrispondente alla situazione di incendio. Il rinforzo FRP non è, pertanto, necessario in caso di incendio, non precisando di protezione. In caso si voglia richiedere un tempo determinato di resistenza al fuoco, lo strutturista dovrà valutare la protezione dell'elemento di calcestruzzo armato in accordo con le normative locali vigenti.

5.3. Stati limite di esercizio

Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione caratteristica (SLE)

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 1.00 \cdot S_q$$



Deformazione massima e minima $\epsilon_{\max} = 0.58 \%$
 $\epsilon_{\min} = -2.57 \%$

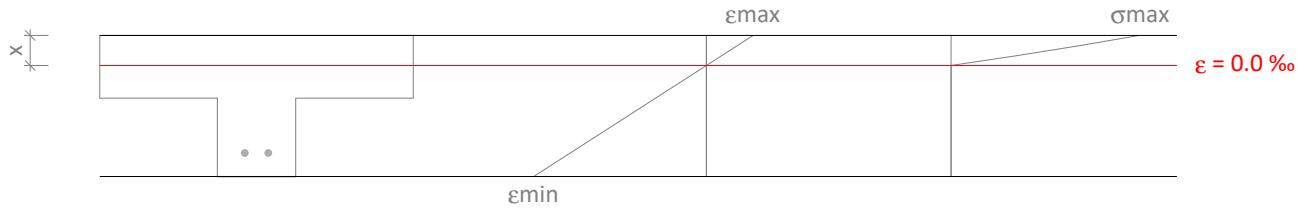
Tensione massima del calcestruzzo $f_c = 5.60 \text{ MPa}$

Profondità della fibra neutra $x = 33.05 \text{ mm}$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ϵ (%)
No. 10	-60	-176.92	-2.04
FRP	-90	-339.74	-1.62
FRP	-90	-340.11	-1.62

Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione quasi permanente (SLE)

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$



Deformazione massima e minima $\epsilon_{\max} = 0.38 \%$
 $\epsilon_{\min} = -1.41 \%$

Tensione massima del calcestruzzo $f_c = 3.90 \text{ MPa}$

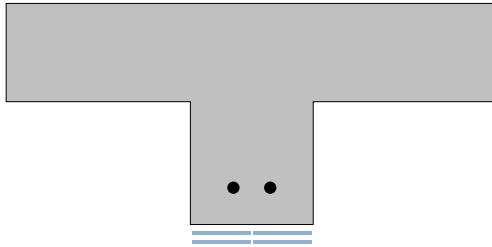
Profondità della fibra neutra $x = 38.35 \text{ mm}$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ϵ (%)
No. 10	-60	-176.92	-1.11
FRP	-90	-95.73	-0.46
FRP	-90	-95.84	-0.46

5.4. Configurazione FRP

I risultati precedenti corrispondono alla seguente configurazione di FRP:

Rinforzo principale di FRP: Numero di strati: 2, 2 + 2 (1/2 SikaWrap® 300C - 10 cm (5 cm) (IT))



6. SPECIFICHE DI PRODOTTO

6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®

Il rinforzo deve essere realizzato tramite un tessuto unidirezionale di fibra di carbonio, impregnato e legato esternamente alla struttura con adesivo epossidico Sikadur®-330

Il materiale deve essere una piastra CFRP pultruso, unidirezionale, con un contenuto volumetrico di fibra di carbonio >68%.

Le fibre devono essere allineate e libere da torsione.

Il materiale deve disporre di referenze di utilizzo (> 25 anni) nel rinforzo strutturale.

Il tessuto di fibre deve essere unidirezionale e fabbricato con fibre di carbonio a base di PAN.

Deve essere possibile procedere all'applicazione in un numero di strati maggiore di uno.

Il materiale deve avere un lungo registro cronologico per il rinforzo strutturale.

I valori misurati delle proprietà meccaniche del tessuto laminato devono essere fornite con una serie di almeno 20 provini.

6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo

Qualsiasi materiale in pessime condizioni deve essere rimosso e il calcestruzzo rimosso deve essere riparato come descritto sopra. Grandi cavità e granulosità devono essere riempite con una malta di ripristino appropriata.

I materiali di ripristino devono essere completamente compatibili con l'adesivo.

La resistenza attuale della struttura di calcestruzzo deve essere verificata con almeno tre test pull-off.

Il calcestruzzo deve essere maturato per almeno 28 giorni.

Lo strato superficiale di calcestruzzo deve essere rimosso e deve essere creata una superficie con porosità aperta.

La superficie del substrato deve essere pulita ed essere esente da olio, grasso e qualsiasi altro contaminante come parti distaccate e polvere.

Per l'applicazione del tessuto di fibra, tutti gli angoli devono essere arrotondati ad un minimo raggio di 20 mm e qualsiasi spigolo acuto deve essere rimosso.

Il contenuto di umidità del sottofondo deve essere minore del 4%.

6.1.2. Tessuto SikaWrap®

I materiali devono soddisfare le prestazioni caratteristiche descritte come segue

6.1.2.1. Proprietà tipiche del tessuto 1/2 SikaWrap® 300C - 10 cm (5 cm) (IT):

Proprietà tipiche di fibre secche:

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 230000 N/mm ² (MPa)
Resistenza a trazione	EN 2561/ASTM D3039	≈ 4900 N/mm ² (MPa)
Allungamento a rottura	EN 2561/ASTM D3039	2.1 %

Proprietà tipiche del laminato (in rapporto allo spessore della fibra):

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 225000 N/mm ² (MPa)
----------------------	--------------------	--

6.1.3. Adesivo epossidico

L'adesivo deve essere a base epossidica.

La primerizzazione del sottofondo e l'impregnazione del tessuto 1/2 SikaWrap® 300C - 10 cm (5 cm) (IT) verranno effettuate tramite Sikadur®-330

6.1.3.1. Proprietà tipiche dell'adesivo Sikadur®-330

L'adesivo deve soddisfare la norma EN 1504-4.

Base chimica		Resina epossidica
Densità		1.30 kg/l (a +23°C).
Viscosità (Velocità di taglio 50/S)	+10°C	≈ 10000 mPas
	+23°C	≈ 6000 mPas
	+35°C	≈ 5000 mPas
Coefficiente di dilatazione termica	-10°C a +40°C	4.5×10^{-5} per °C
Resistenza alla deformazione termica. HDT (ASTM D648)	Maturazione	
	7 giorni, +10°C	+36°C
	7 giorni, +23°C	+47°C
	7 giorni, +35°C	+53°C
Temperatura d'uso	23°C Maturazione	da -40°C a +45°C
Resistenza a trazione	DIN EN ISO 527-3	30 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Resistenza coesiva a trazione (struttura sabbiata)	DIN EN ISO 4624	Cedimento del calcestruzzo (> 4 N/mm ²)
Modulo di elasticità a flessione	DIN EN 1465	3800 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Modulo di elasticità a trazione	DIN EN ISO 527-3	4500 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Allungamento a rottura	DIN EN ISO 527-3	0.9% (7 giorni a +23°C)

6.1.4. Procedura di applicazione

Il tessuto deve essere tagliato a misura con speciali forbici.

Uno strato di primer di resina impregnante deve essere applicato sulla superficie della struttura, utilizzando un rullino a pelo corto.

Il tessuto deve essere applicato sulla struttura, pressato e l'impregnazione della resina deve essere eseguita con un rullino a pelo corto, fino a che il tessuto sia completamente saturo.

Gli strati addizionali devono essere installati come descritto sopra, preferibilmente fresco su fresco.

In caso di ricoprimento cementizio, la resina risultante deve essere sparsa con sabbia di quarzo.

L'impregnante deve sempre essere steso nella direzione delle fibre.

Dopo l'applicazione, il tessuto di fibra finito deve essere protetto dalla pioggia, sabbia, polvere e qualsiasi altro contaminante.

Se necessario, il sistema applicato deve essere protetto con un ricoprimento adeguato (prove di compatibilità tra il ricoprimento e il tessuto devono essere disponibili).

7. INFORMAZIONI LEGALI

L'USO E/O L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE E DEI RISPECTIVI RISULTATI DEVONO ESSERE DETERMINATI SOLAMENTE DALL'UTENTE PROFESSIONISTA CON CONOSCENZE SPECIALI NELL'AREA D'USO E/O NELL'APPLICAZIONE PREVISTO/A. GLI UTENTI DEVONO VERIFICARE INDIPENDENTEMENTE I RISULTATI OTTENUTI PRIMA DELL'UTILIZZO. INOLTRE DEVONO SEGUIRE RIGOROSAMENTE LE CONDIZIONI LOCALI D'USO E/O DELL'APPLICAZIONE, I DOCUMENTI DI DATI DI PRODOTTI E LA LETTERATURA RISPETTIVA, LO STATO DELLA TECNICA COSÌ COME LE NORMATIVE E LE REGOLAMENTAZIONI LOCALI.

Il software è disponibile "COSÌ COME È" E SENZA NESSUNA GARANZIA O INDENNIZZO DI ALCUN TIPO. Sika non consegna garanzie, condizioni, indennizzi, rappresentazioni o termini, espresi o impliciti, che sia per statuto, giurisprudenza, abitudine, uso o per qualsiasi altra forma in relazione all'uso del software.

In nessun caso Sika sarà responsabile prima del progettista per qualsiasi danno, reclamo o costi di qualsiasi natura, né di qualsiasi danno risultante, indiretto, accidentale, punitivo o speciale, né di contestazioni o perdite di guadagni o di qualsiasi altro problema che sorga in qualsiasi modo per colpa dell'installazione, utilizzo o manutenzione del software.

Queste informazioni e, in particolare, le raccomandazioni relative all'applicazione e all'uso finale del prodotto sono fornite in buona fede, basate sulla conoscenza attuale e l'esperienza di Sika dei prodotti quando sono correttamente archiviati, maneggiati e applicati, in situazioni normali, dentro della propria vita utile e d'accordo con le raccomandazioni di Sika. Nella pratica, le possibili differenze nei materiali, supporti e condizioni reali nel luogo di applicazione sono tali che non si può dedurre dalle informazioni del presente documento, né da qualsiasi altra raccomandazione scritta, né da alcun consiglio offerto, nessuna garanzia in termini di commercializzazione o idoneità per propositi individuali, né obbligo alcuno fuori da qualsiasi relazione legale che possa esistere. L'utente deve provare la convenienza dei prodotti per l'applicazione e la finalità desiderate. Sika si riserva il diritto di modificare le proprietà dei suoi prodotti. Si riservano i diritti di proprietà di terze parti. Gli ordini sono accettati in conformità con i termini delle nostre vigenti Condizioni Generali di Vendita e Somministrazione. Gli utenti devono conoscere e utilizzare l'ultima versione e aggiornata dei Fogli di Dati di Prodotti, copie delle quali si manderanno a chi lo richieda.

Salvo che venga indicato il contrario, tutte le informazioni, il testo, le immagini grafiche, le caratteristiche o le funzioni, e il disegno contenuto in questo software sono proprietà esclusiva di Sika e non possono essere copiate o distribuite, nella sua totalità o in parte, senza il consenso espresso o per iscritto dell'impresa.

Fornendo le informazioni a Sika, lei concede all'impresa la licenza non ristretta e irrevocabile per utilizzare, riprodurre, esporre, modificare, distribuire e riprodurre tale informazione. L'informazione personale sarà utilizzata da Sika solo per processare richieste d'informazione effettuate dall'utente o per la commercializzazione dei nostri prodotti e servizi.

© Copyright Sika Services AG 2016

8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO

Ingegnerizzato da:



CYPE Software - Eusebio Sempere, 5 - 03003 Alicante (Spagna)

www.cype.com

Sika Services AG
Corporate Tech. Dept.
Tüffenvies 16
8048 Zürich (Svizzera)
www.sika.com

Elemento: TRAVETTO
Editore: AF
Note:

Data: 12/09/2024
Progetto: 24_51_solaio P1

BUILDING TRUST



SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE

PROGETTO: 24_51_solaio_P1

ELEMENTO: TRAVE PRINCIPALE

INDICE

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI.....	3
2. IPOTESI DI CALCOLO.....	3
2.1. Dati della trave.....	3
2.2. Dati del progetto.....	3
2.3. Geometria.....	4
2.4. Calcestruzzo.....	4
2.5. Acciaio per armature.....	4
2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali.....	4
2.7. Coefficienti di combinazione di carico.....	5
3. RINFORZO DI FRP.....	5
3.1. Rinforzo principale di FRP.....	5
3.2. Rinforzo laterale di FRP.....	5
4. CARICHI.....	6
4.1. Carichi della trave.....	6
5. RISULTATI.....	7
5.1. Riepilogo dei risultati.....	7
5.2. Stati limite ultimi.....	8
5.3. Stati limite di esercizio.....	12
5.4. Verifica delaminazione di estremità FRP e progettazione dell'ancoraggio.....	14
5.5. Configurazione FRP.....	14
6. SPECIFICHE DI PRODOTTO.....	15
6.1. Piastre Sika CarboDur® legate.....	15
6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo.....	16

6.1.2. Piastre Sika CarboDur®	16
6.1.3. Adesivo epossidico.....	16
6.1.4. Procedura di applicazione.....	17
7. INFORMAZIONI LEGALI.....	19
8. INFORMAZIONI SU SIKА® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO.....	19

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI

Rinforzo a flessione con FRP, secondo:

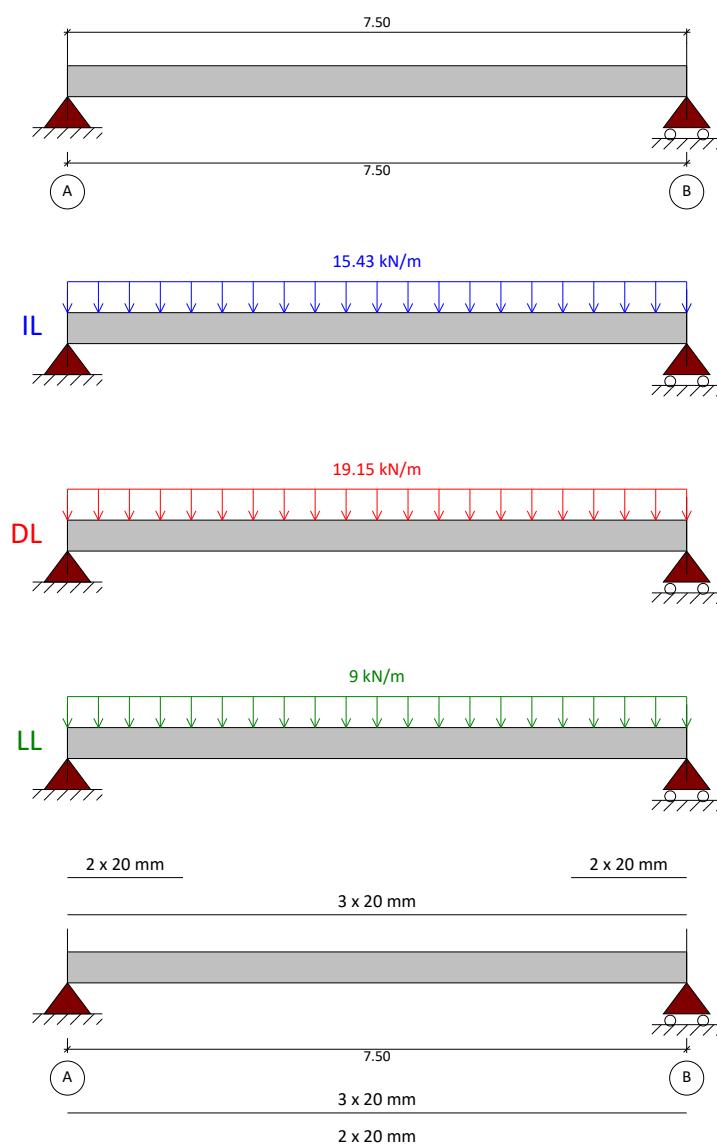
Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. (CNR-DT 200 R1/2013)

Norme Tecniche per le Costruzioni. (17 gennaio 2018)

Paese: Italia

2. IPOTESI DI CALCOLO

2.1. Dati della trave



2.2. Dati del progetto

Scelta dei valori delle resistenze

Input con valori caratteristici (Xk)

Condizione di esposizione

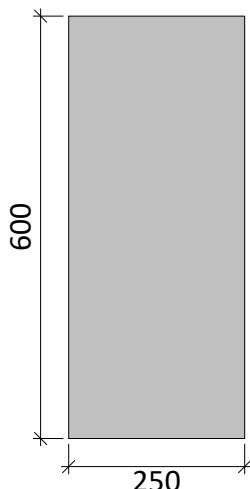
Interna

2.3. Geometria

Sezione trasversale = Rettangolare

Larghezza = 250 mm

Altezza = 600 mm



2.4. Calcestruzzo

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo

Valore caratteristico della resistenza a compressione (f_{ck}) = 20 MPa

Resistenza cilindrica = 20 MPa

Resistenza cubica = 24 MPa

2.5. Acciaio per armature

Armatura superiore	d_1 mm	Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \emptyset (mm)
1.	30	(Acciaio dolce) 230	200000	3 x 20.0

Armatura inferiore	d_1 mm	Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \emptyset (mm)
1.	30	(Acciaio dolce) 230	200000	3 x 20.0
2.	30	(Acciaio dolce) 230	200000	2 x 20.0

2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali

Definito da (NTC 2018)

Calcestruzzo

γ_c (Combinazione fondamentale) = 1.50

γ_c (Eccezionali) = 1.00

γ_c (Incendio) = 1.00

α_{cc} (Combinazione fondamentale) = 0.85

α_{cc} (Eccezionali) = 0.85

α_{cc}

Sika Services AG
Corporate Tech. Dept.
Tüffenvies 16
8048 Zürich (Svizzera)
www.sika.com

Elemento: TRAVE PRINCIPALE
Editore: AF
Note: VERIFICA A FLESSIONE

Data: 12/09/2024
Progetto: 24_51_solaio_P1

BUILDING TRUST



(Incendio) = 1.00

Acciaio

γ_s (Combinazione fondamentale) = 1.30

γ_s (Eccezionali) = 1.00

γ_s (Incendio) = 1.00

2.7. Coefficienti di combinazione di carico

Combinazioni NTC 2018	Carichi permanenti portati	Carichi variabili
Combinazione fondamentale (SLU)	1.30	1.50
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici	1.00	0.30
Resistenza al fuoco	1.00	0.30
SLE, caratteristica	1.00	1.00
SLE, quasi permanente	1.00	0.30

A: Ambienti ad uso residenziale

$\psi_2 = 0.3$

$\eta_a = 0.75$

3. RINFORZO DI FRP

3.1. Rinforzo principale di FRP

Semplicemente aderente. Sika CarboDur® M

Sika® CarboDur® M614	Tipo di fibra	Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali	ε_f (%)	ε_u (%)	E_f (MPa)	E_u (MPa)	f_u (MPa)	Spessore t_f (mm)	Numero	Larghezza (mm)	Classe
Strato: 1	Carbonio	$\gamma_{sd}: 1.00, \gamma_i: 1.10, \gamma_{u0}: 1.20, \eta_s: 0.75, \eta_f: 0.30$	1.67	1.56	210000.00	205000.00	3200.00	1.400	4	60.00	-

3.2. Rinforzo laterale di FRP

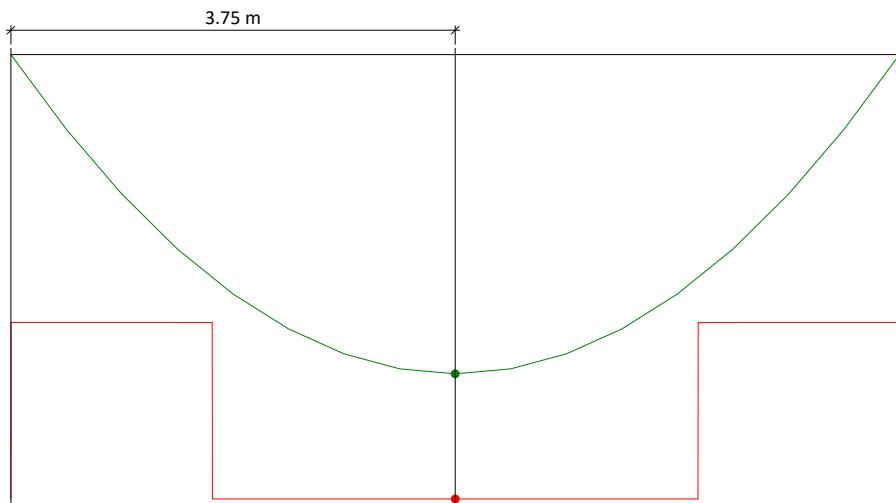
Semplicemente aderente. Sika CarboDur® M

Sika® CarboDur® M614	Tipo di fibra	Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali	ε_f (%)	ε_u (%)	E_f (MPa)	E_u (MPa)	f_u (MPa)	Spessore t_f (mm)	Numero	Larghezza (mm)	Classe
Anima	Carbonio	$\gamma_{sd}: 1.00, \gamma_i: 1.10, \gamma_{u0}: 1.20, \eta_s: 0.75, \eta_f: 0.30$	1.67	1.56	210000.00	205000.00	3200.00	1.400	2 x 2	60.00	-

4. CARICHI

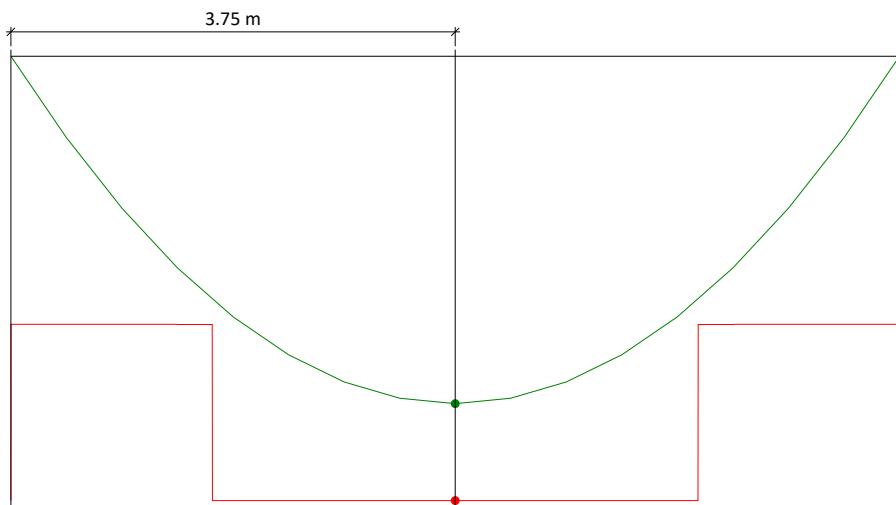
4.1. Carichi della trave

Carichi iniziali



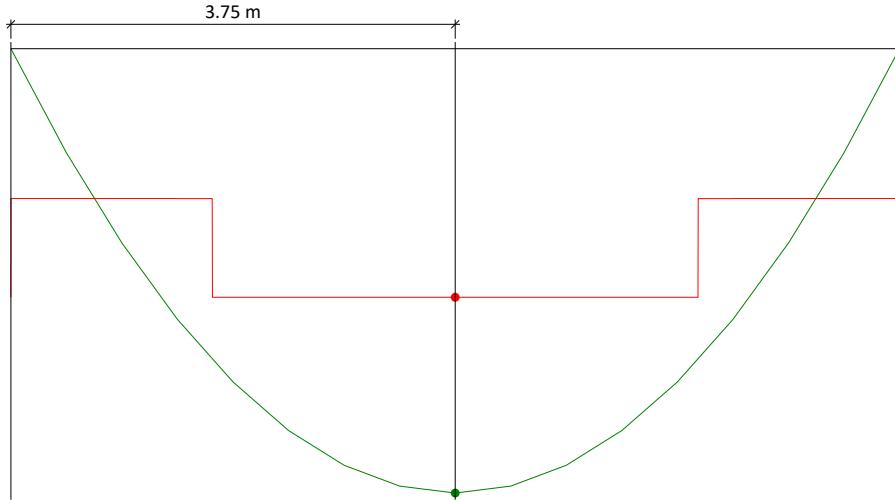
- M_{Ed} (Carichi iniziali) = 108.49 kN·m
- M_{Rd} (Senza rinforzo) = 151.02 kN·m

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici



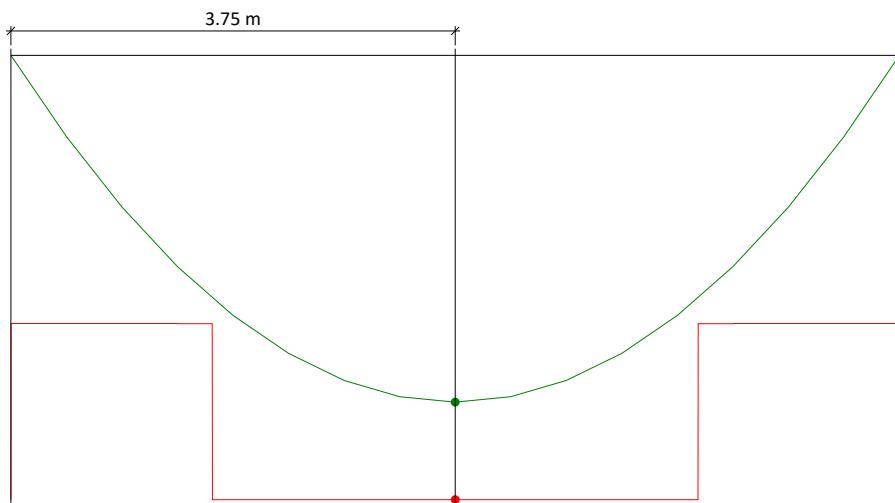
- M_{Ed} (Resistenza alle azioni causate da atti vandalici) = 153.63 kN·m
- M_{Rd} (Senza rinforzo) = 196.51 kN·m

Combinazione fondamentale (SLU)



- M_{Ed} (Combinazione fondamentale (SLU)) = 269.96 kN·m
- M_{Rd} (Senza rinforzo) = 151.02 kN·m

Resistenza al fuoco



- M_{Ed} (Resistenza al fuoco) = 153.63 kN·m
- M_{Rd} (Senza rinforzo) = 196.85 kN·m

5. RISULTATI

5.1. Riepilogo dei risultati

Combinazione fondamentale (SLU)			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d$ ($N_d = N_{Rd}$)
$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$	269.96	275.33	Sezione rinforzata 275.33 kN·m \geq 269.96 kN·m

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d (N_d = N_{Rd})$
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	153.63	196.51	Sezione non rinforzata 196.51 kN·m \geq 153.63 kN·m ✓

Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 1.00 \cdot S_q$	$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck}$	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$
	7.96 MPa \leq 12.00 MPa ✓	176.92 MPa \leq 184.00 MPa ✓	176.49 MPa \leq 719.55 MPa ✓

Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	$\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck}$	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$
	6.14 MPa \leq 9.00 MPa ✓	175.86 MPa \leq 184.00 MPa ✓	45.38 MPa \leq 719.55 MPa ✓

Resistenza in caso di incendio (t=0 min.)			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d (N_d = N_{Rd})$
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	153.63	196.85	Sezione non rinforzata 196.85 kN·m \geq 153.63 kN·m ✓

5.2. Stati limite ultimi

Le ipotesi fondamentali su cui si basa l'analisi allo SLU delle sezioni di c.a. rinforzate con FRP sono le seguenti:

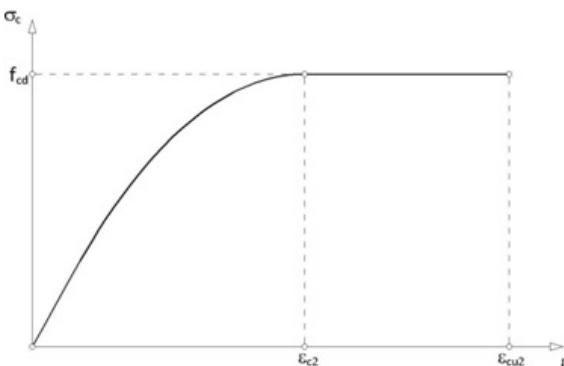
Conservazione della planarità delle sezioni rette fino a rottura, in modo che il diagramma delle deformazioni normali sia lineare.

Perfetta aderenza tra i materiali componenti (acciaio-calcestruzzo, FRP-calcestruzzo).

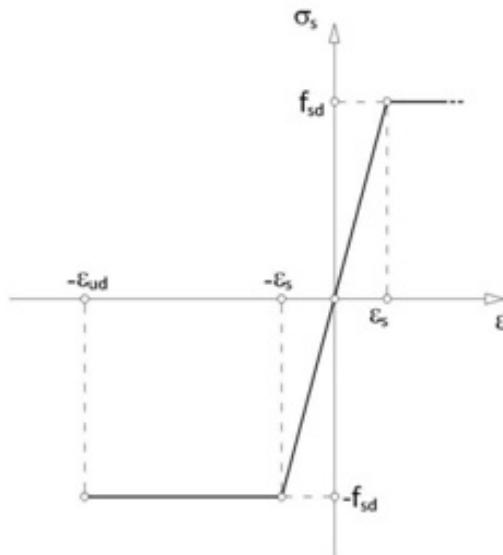
Resistenza a trazione nulla del calcestruzzo.

Legami costitutivi del calcestruzzo e dell'acciaio conformi alla Normativa vigente.

Legame costitutivo del composito fibrorinforzato elastico lineare fino a rottura.

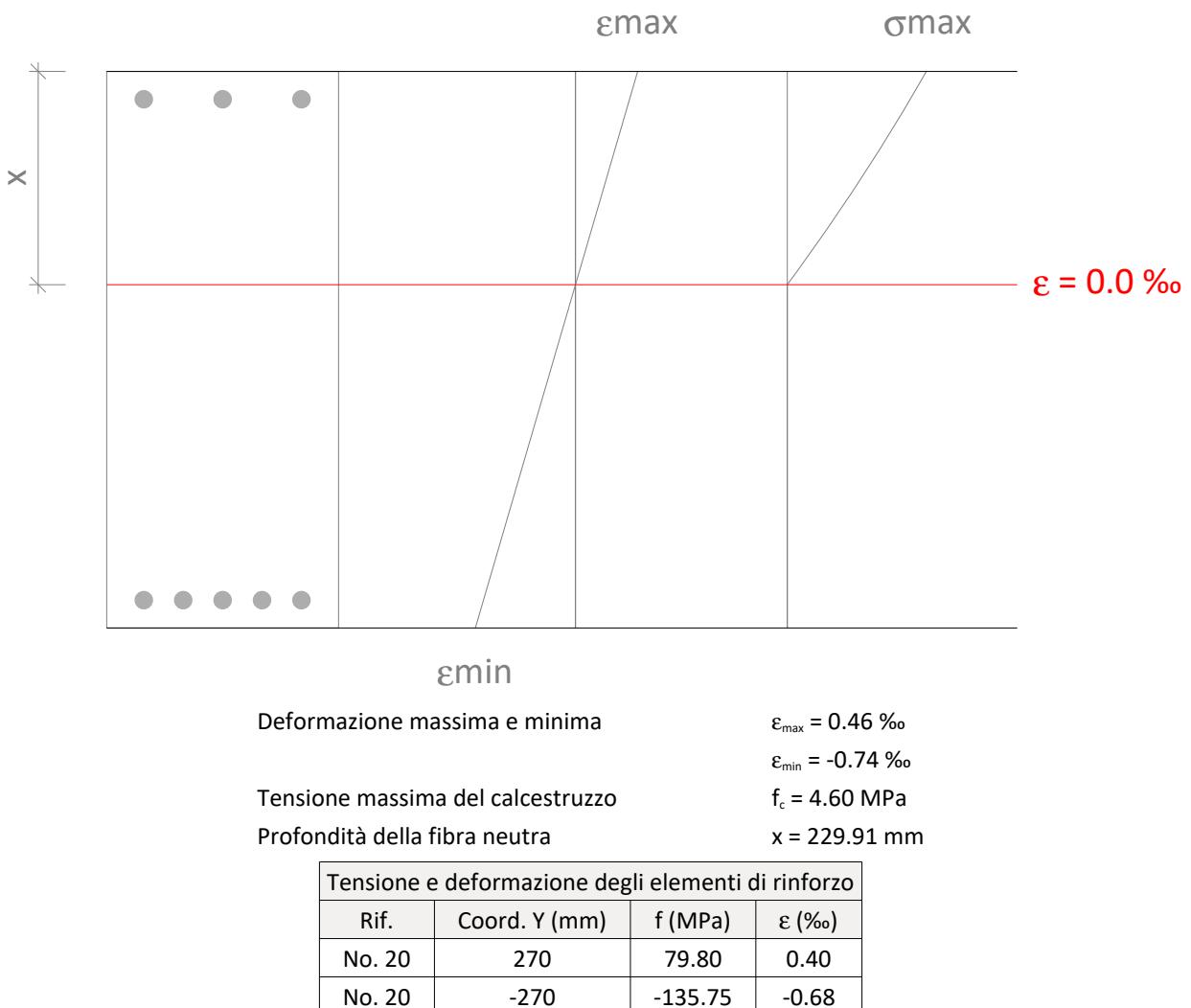


f_{cd} (MPa)	ε_{c0}	ε_{cu}	n
11.3	0.0020	0.0035	2



Carichi iniziali - Elemento senza rinforzi

M_i = 108.49 kN·m

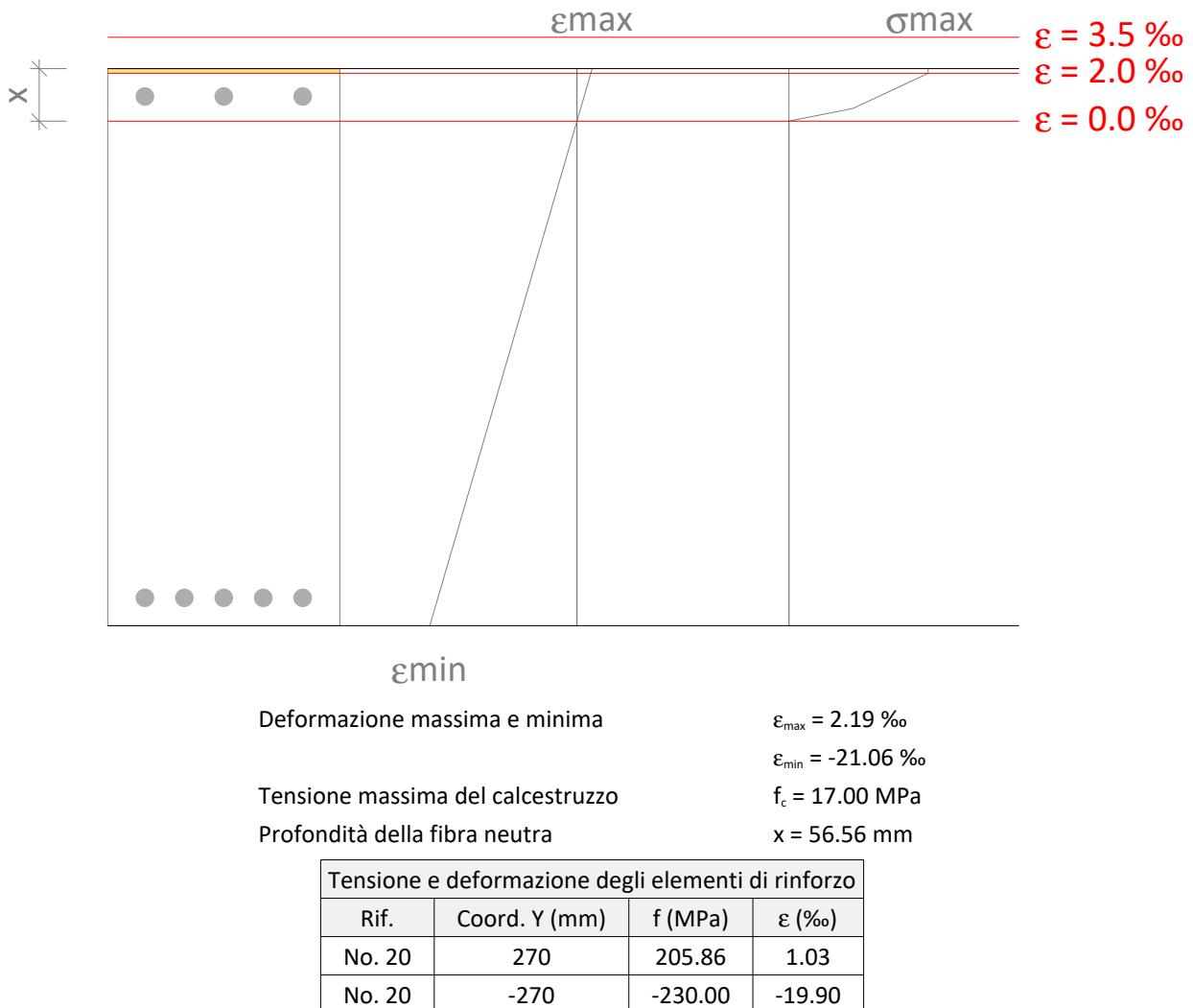


Azioni causate da atti vandalici - Elemento senza rinforzi.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

196.51 kN·m \geq 153.63 kN·m ✓
 $M_{Rd} : \underline{196.51 \text{ kN·m}}$

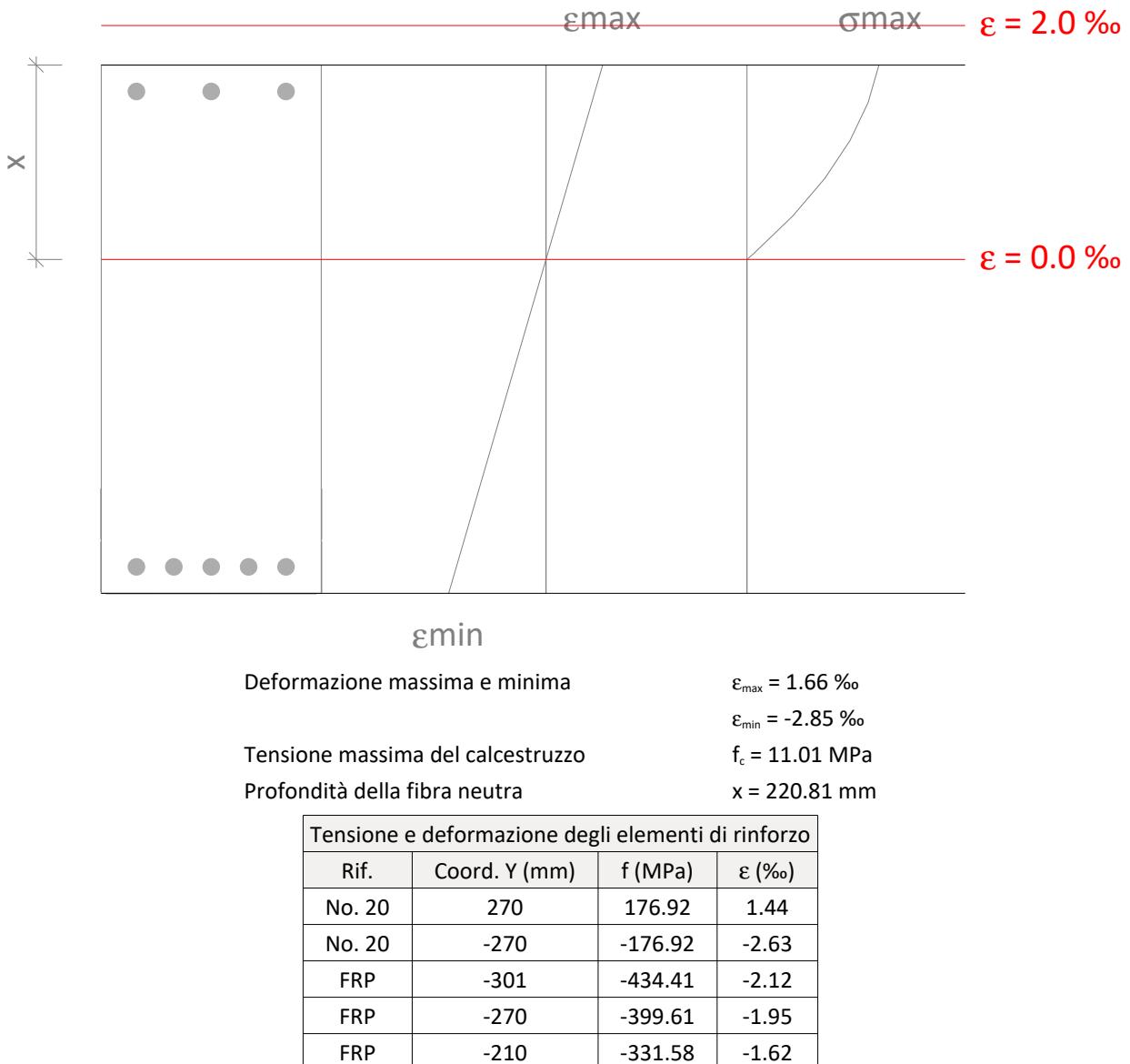


Carichi previsti - Elemento rinforzato

$$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

275.33 kN·m \geq 269.96 kN·m ✓
M_{Rd} : 275.33 kN·m



Resistenza al fuoco. Sezione non rinforzata.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$196.85 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 153.63 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

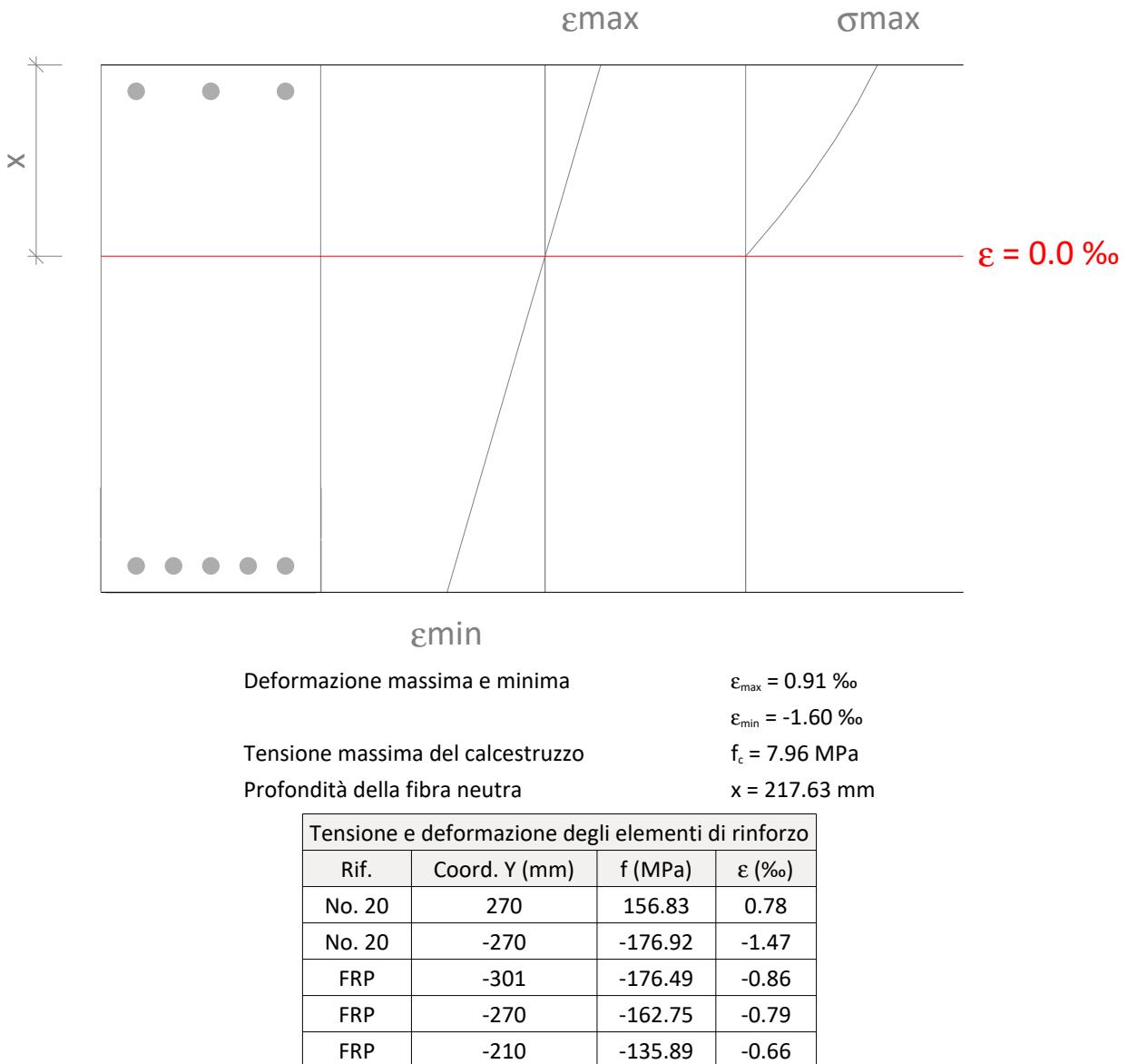
$$M_{Rd} : \underline{196.85} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistenza dell'elemento senza rinforzo è sufficiente per resistere alla combinazione di carichi corrispondente alla situazione di incendio. Il rinforzo FRP non è, pertanto, necessario in caso di incendio, non precisando di protezione. In caso si voglia richiedere un tempo determinato di resistenza al fuoco, lo strutturista dovrà valutare la protezione dell'elemento di calcestruzzo armato in accordo con le normative locali vigenti.

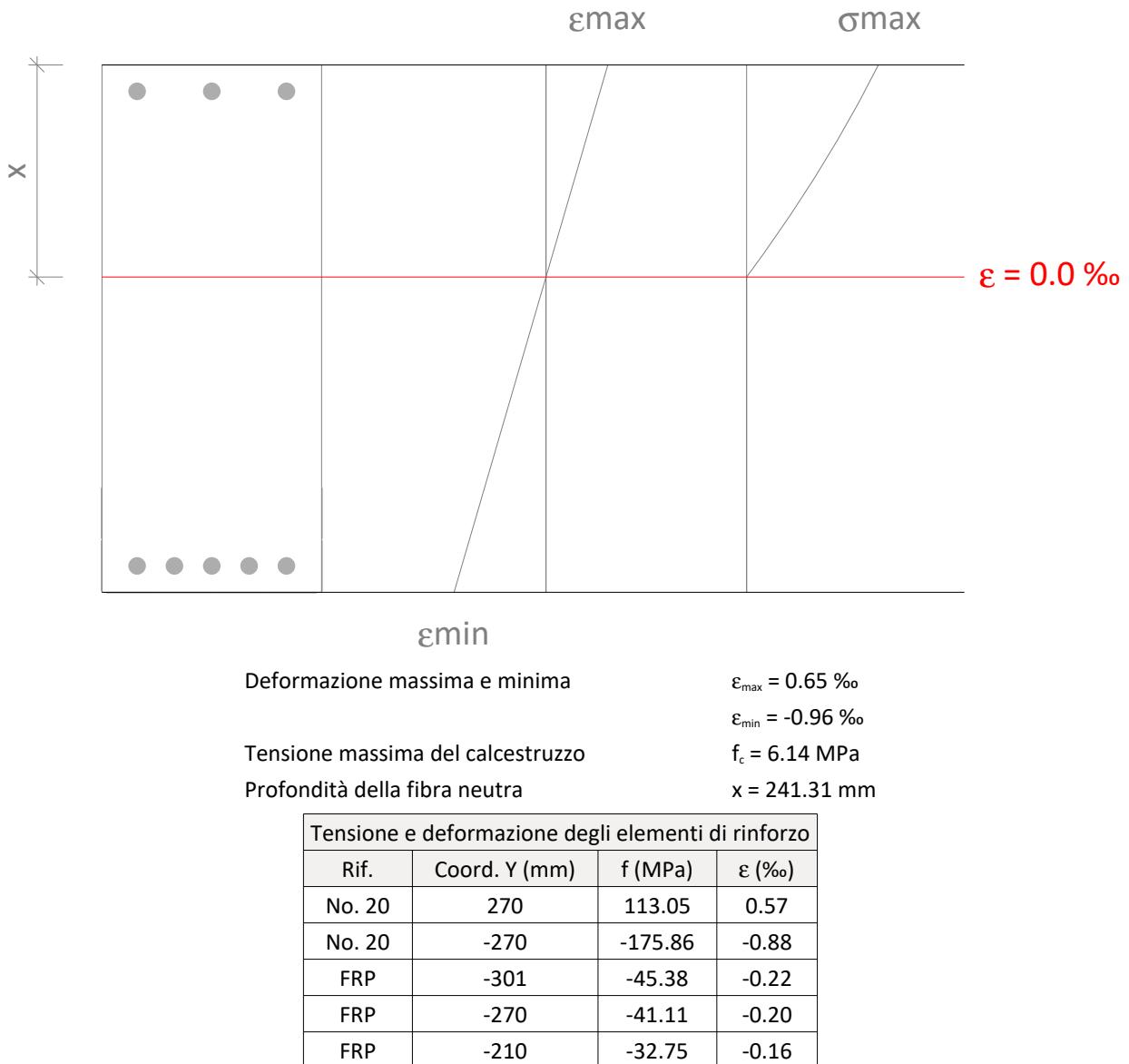
5.3. Stati limite di esercizio

Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione caratteristica (SLE)

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 1.00 \cdot S_q$$



Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione quasi permanente (SLE)
 $S_{\text{ed}} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$



5.4. Verifica delaminazione di estremità FRP e progettazione dell'ancoraggio

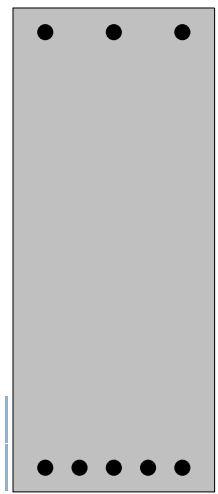
SLE, caratteristica (Rinforzo principale di FRP)	$\tau_{be} \leq f_{bd}$	$0.23 \text{ MPa} \leq 0.46 \text{ MPa}$	✓	$x = [5.98, 6.39] \text{ m}$
SLE, frequente (Rinforzo principale di FRP)	$\tau_{be} \leq f_{bd}$	$0.09 \text{ MPa} \leq 0.39 \text{ MPa}$	✓	$x = [5.98, 6.39] \text{ m}$
Ancoraggio (Rinforzo principale di FRP)	$f_d \leq f_{fdd,rid}$	$71.54 \text{ MPa} \leq 191.83 \text{ MPa}$	✓	$x = 0.71 \text{ m}$

5.5. Configurazione FRP

I risultati precedenti corrispondono alla seguente configurazione di FRP:

Rinforzo principale di FRP: 4 (Sika® CarboDur® M614)

Rinforzo laterale di FRP: Anima 2 x 2 (Sika® CarboDur® M614)



6. SPECIFICHE DI PRODOTTO

6.1. Piastre Sika CarboDur® legate

Il rinforzo deve essere raggiunto utilizzando piastre pultruse CarboDur rinforzate con fibre di polimeri, legate esternamente alla struttura con adesivo epossidico Sikadur®-30.

Il materiale deve essere una piastra CFRP pultruso, unidirezionale, con un contenuto volumetrico di fibra di carbonio >68%.

Le piastre devono essere dritte, piatte e prive di torsione.

Il materiale deve disporre di referenze di utilizzo (> 25 anni) nel rinforzo strutturale.

Devono essere fornite le relazioni dei test riguardanti la reazione del giunto d'unione agli agenti atmosferici artificiali dopo 100 giorni.

6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo

qualsiasi materiale in pessime condizioni deve essere rimosso e il calcestruzzo rimosso deve essere riparato come descritto sopra. Grandi cavità e granulosità devono essere riempite con una malta di ripristino appropriata.

I materiali di ripristino devono essere completamente compatibili con l'adesivo.

La resistenza attuale della struttura di calcestruzzo deve essere verificata con almeno tre test pull-off.

Il calcestruzzo deve essere maturato per almeno 28 giorni.

Lo strato superficiale di calcestruzzo deve essere rimosso e deve essere creata una superficie con porosità aperta.

La superficie del substrato deve essere pulita ed essere esente da olio, grasso e qualsiasi altro contaminante come parti distaccate e polvere.

Il contenuto di umidità del sottofondo deve essere minore del 4%.

6.1.2. Piastre Sika CarboDur®

I materiali devono soddisfare le prestazioni caratteristiche descritte come segue

6.1.2.1. Proprietà tipiche delle piastre Sika CarboDur® M:

Densità della fibra		> 68%
Temperatura di transizione vitrea.		> 100°C
Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 210000 N/mm ² (MPa)
Resistenza a trazione	EN 2561/ASTM D3039	≈ 3500 N/mm ² (MPa)
Allungamento a rottura	EN 2561/ASTM D3039	> 1.6%

6.1.2.2. Proprietà tipiche delle piastre Sika CarboDur® M:

Densità della fibra		> 68%
Temperatura di transizione vitrea.		> 100°C
Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 210000 N/mm ² (MPa)
Resistenza a trazione	EN 2561/ASTM D3039	≈ 3500 N/mm ² (MPa)
Allungamento a rottura	EN 2561/ASTM D3039	> 1.6%

6.1.3. Adesivo epossidico

Il materiale deve essere a base epossidica e combinare primer, stucco e adesivo in un prodotto.

Il materiale non deve rilasciare sostanze pericolose per la salute, per l'igiene e l'ambiente.

Il materiale deve essere resistente allo scorrimento viscoso verificato da una relazione indipendente.

Il materiale deve soddisfare i requisiti della norma EN 1504-4 come prodotto di legame strutturale per l'adesione di piastre di rinforzo.

6.1.3.1. Proprietà tipiche dell'adesivo Sikadur®-30:

L'adesivo deve soddisfare la norma EN 1504-4.

Densità (mix delle parti A+B) a +23°C	1.65 kg/l + 0.1 kg/l
Resistenza a taglio obliquo sull'acciaio:	50° ≥ 50 N/mm ²
	60° ≥ 60 N/mm ²
	70° ≥ 70 N/mm ²
Resistenza di legame/adesione:	≥ 14 N/mm ²
Resistenza a taglio:	≥ 12 N/mm ²
Resistenza a compressione:	≥ 30 N/mm ²
Ritiro / espansione:	≤ 0.1%
Lavorabilità:	85 min. a 23°C
Reazione all'acqua	Passa
Modulo d'elasticità:	≥ 2000 N/mm ²
Coefficiente di espansione termica:	≤ 100 x 10 ⁻⁶
Temperatura di transizione vitrea:	≥ 40°C
Durabilità	Passa

Soddisfacimento dei requisiti FIP

Scorrimento	Senza scorrimento fino a 3-5 mm in verticale
Comprimibilità	4000 m ² a +15°C a 15 kg
Cambiamento di volume	0.04%
Resistenza a taglio a 15°C	>14 N/mm ²
Resistenza a taglio a 35°C	>26 N/mm ²
Modulo d'elasticità in compressione	9600 N/mm ²
Modulo di elasticità a trazione	11200 N/mm ²

6.1.4. Procedura di applicazione

Le piastre devono essere tagliate a misura usando un cutter a disco rotante o un seghetto.

Le piastre devono essere pulite e sgrassate con Sika® Colma® Cleaner o con un pulitore a base di alcol isopropilico.

L'adesivo deve essere applicato alle piastre in modo tale che sia approssimativamente 1 mm di spessore nei lati e 2 mm di spessore nel centro della piastra.

Uno strato molto sottile dell'adesivo deve essere applicato alla superficie della struttura per riempire qualsiasi piccolo vuoto e irregolarità.

La piastra deve essere posizionata nell'area preparata e spinta nella struttura, prima cautamente a mano e poi con un rullo di gomma duro, fino a che il materiale adesivo è buttato fuori in entrambi i lati della piastra. Il materiale di eccesso deve essere rimosso.

Nel caso di intersezioni fra piastre, la superficie della piastra sottostante deve essere pulita dallo sporco e dal grasso e un ulteriore adesivo deve essere applicato su entrambi i lati della piastra sottostante in modo che la piastra superiore sia connessa con la struttura nell'interezza della sua superficie.

Il sistema appena unito non deve essere toccato per almeno 24 ore e qualsiasi vibrazione deve essere mantenuta al minimo durante il periodo di maturazione dell'adesivo.

Se necessario, il sistema applicato deve essere protetto con un rivestimento adeguato (prove di compatibilità tra il rivestimento e il laminato devono essere disponibili).

Sika Services AG
Corporate Tech. Dept.
Tüffenvies 16
8048 Zürich (Svizzera)
www.sika.com

Elemento: TRAVE PRINCIPALE
Data: 12/09/2024
Editore: AF
Progetto: 24_51_solaio_P1
Note: VERIFICA A FLESSIONE

18/19



7. INFORMAZIONI LEGALI

L'USO E/O L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE E DEI RISPECTIVI RISULTATI DEVONO ESSERE DETERMINATI SOLAMENTE DALL'UTENTE PROFESSIONISTA CON CONOSCENZE SPECIALI NELL'AREA D'USO E/O NELL'APPLICAZIONE PREVISTO/A. GLI UTENTI DEVONO VERIFICARE INDIPENDENTEMENTE I RISULTATI OTTENUTI PRIMA DELL'UTILIZZO. INOLTRE DEVONO SEGUIRE RIGOROSAMENTE LE CONDIZIONI LOCALI D'USO E/O DELL'APPLICAZIONE, I DOCUMENTI DI DATI DI PRODOTTI E LA LETTERATURA RISPETTIVA, LO STATO DELLA TECNICA COSÌ COME LE NORMATIVE E LE REGOLAMENTAZIONI LOCALI.

Il software è disponibile "COSÌ COME È" E SENZA NESSUNA GARANZIA O INDENNIZZO DI ALCUN TIPO. Sika non consegna garanzie, condizioni, indennizzi, rappresentazioni o termini, espresi o impliciti, che sia per statuto, giurisprudenza, abitudine, uso o per qualsiasi altra forma in relazione all'uso del software.

In nessun caso Sika sarà responsabile prima del progettista per qualsiasi danno, reclamo o costi di qualsiasi natura, né di qualsiasi danno risultante, indiretto, accidentale, punitivo o speciale, né di contestazioni o perdite di guadagni o di qualsiasi altro problema che sorga in qualsiasi modo per colpa dell'installazione, utilizzo o manutenzione del software.

Queste informazioni e, in particolare, le raccomandazioni relative all'applicazione e all'uso finale del prodotto sono fornite in buona fede, basate sulla conoscenza attuale e l'esperienza di Sika dei prodotti quando sono correttamente archiviati, maneggiati e applicati, in situazioni normali, dentro della propria vita utile e d'accordo con le raccomandazioni di Sika. Nella pratica, le possibili differenze nei materiali, supporti e condizioni reali nel luogo di applicazione sono tali che non si può dedurre dalle informazioni del presente documento, né da qualsiasi altra raccomandazione scritta, né da alcun consiglio offerto, nessuna garanzia in termini di commercializzazione o idoneità per propositi individuali, né obbligo alcuno fuori da qualsiasi relazione legale che possa esistere. L'utente deve provare la convenienza dei prodotti per l'applicazione e la finalità desiderate. Sika si riserva il diritto di modificare le proprietà dei suoi prodotti. Si riservano i diritti di proprietà di terze parti. Gli ordini sono accettati in conformità con i termini delle nostre vigenti Condizioni Generali di Vendita e Somministrazione. Gli utenti devono conoscere e utilizzare l'ultima versione e aggiornata dei Fogli di Dati di Prodotti, copie delle quali si manderanno a chi lo richieda.

Salvo che venga indicato il contrario, tutte le informazioni, il testo, le immagini grafiche, le caratteristiche o le funzioni, e il disegno contenuto in questo software sono proprietà esclusiva di Sika e non possono essere copiate o distribuite, nella sua totalità o in parte, senza il consenso espresso o per iscritto dell'impresa.

Fornendo le informazioni a Sika, lei concede all'impresa la licenza non ristretta e irrevocabile per utilizzare, riprodurre, esporre, modificare, distribuire e riprodurre tale informazione. L'informazione personale sarà utilizzata da Sika solo per processare richieste d'informazione effettuate dall'utente o per la commercializzazione dei nostri prodotti e servizi.

© Copyright Sika Services AG 2016

8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO

Ingegnerizzato da:



CYPE Software - Eusebio Sempere, 5 - 03003 Alicante (Spagna)

www.cype.com

Sika Services AG
Corporate Tech. Dept.
Tüffenvies 16
8048 Zürich (Svizzera)
www.sika.com

Elemento: TRAVE PRINCIPALE
Data: 12/09/2024
Editore: AF
Progetto: 24_51_solaio_P1
Note: VERIFICA A FLESSIONE

19/19

BUILDING TRUST

The Sika logo, featuring the word "Sika" in a bold, yellow, sans-serif font inside a red, right-angled triangle.

SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE

PROGETTO: 24_51_solaio_P1

ELEMENTO: TRAVE PRINCIPALE

INDICE

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI.....	3
2. IPOTESI DI CALCOLO.....	3
2.1. Dati della trave.....	3
2.2. Dati del progetto.....	3
2.3. Geometria.....	4
2.4. Calcestruzzo.....	4
2.5. Acciaio di rinforzo a taglio.....	4
2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali.....	4
2.7. Coefficienti di combinazione di carico.....	5
2.8. Fattore di conversione ambientale.....	5
3. RINFORZO A TAGLIO CON FRP.....	5
3.1. Proprietà del rinforzo FRP.....	5
3.2. Resistenza di progetto a "taglio compressione".....	5
3.3. Resistenza di progetto a "taglio trazione".....	5
3.4. Capacità a taglio-trazione del sistema di rinforzo FRP.....	6
4. CARICHI.....	6
4.1. Carichi della trave.....	6
5. RISULTATI.....	8
5.1. Riepilogo dei risultati.....	8
5.2. Configurazione FRP.....	8
6. SPECIFICHE DI PRODOTTO.....	9
6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®.....	9
6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo.....	9

6.1.2. Tessuto SikaWrap®.....	10
6.1.3. Adesivo epossidico.....	10
6.1.4. Procedura di applicazione.....	11
7. INFORMAZIONI LEGALI.....	12
8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO.....	12

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI

Rinforzo a taglio con FRP, secondo:

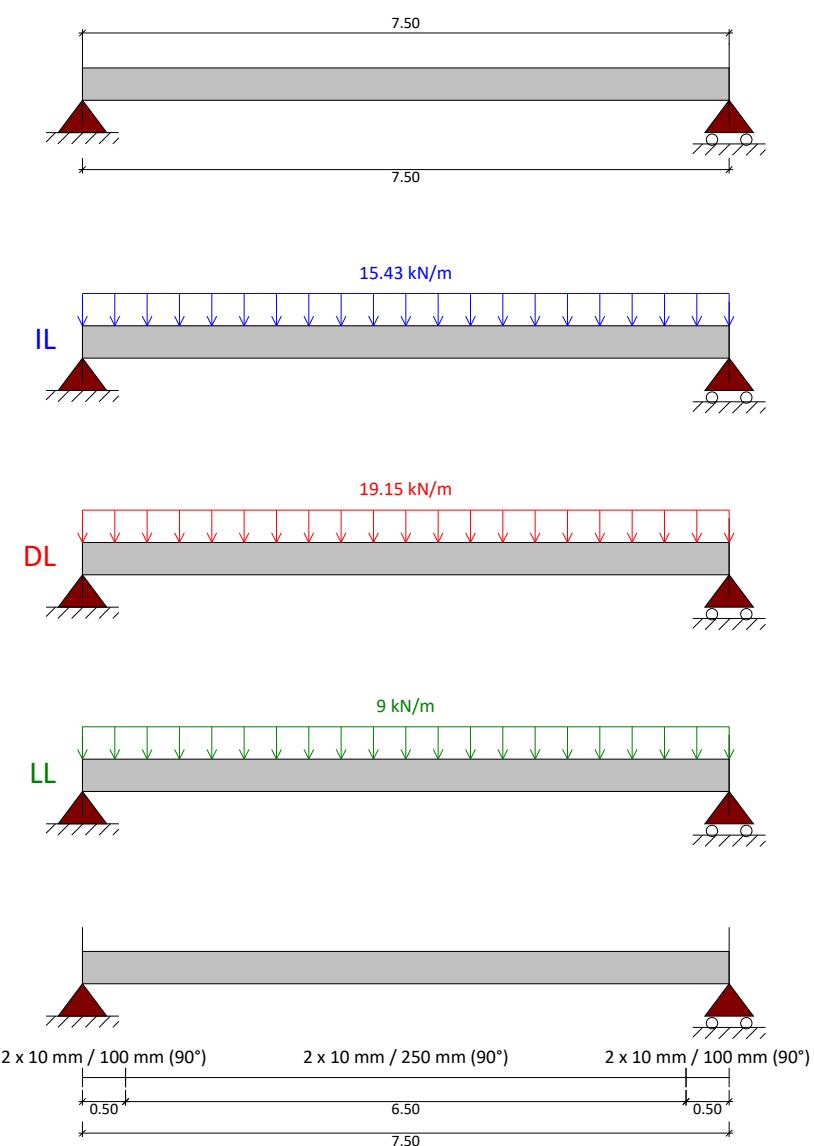
Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. (CNR-DT 200 R1/2013)

Norme Tecniche per le Costruzioni. (17 gennaio 2018)

Paese: Italia

2. IPOTESI DI CALCOLO

2.1. Dati della trave



2.2. Dati del progetto

Scelta dei valori delle resistenze

Input con valori caratteristici (Xk)

Condizione di esposizione

Interna

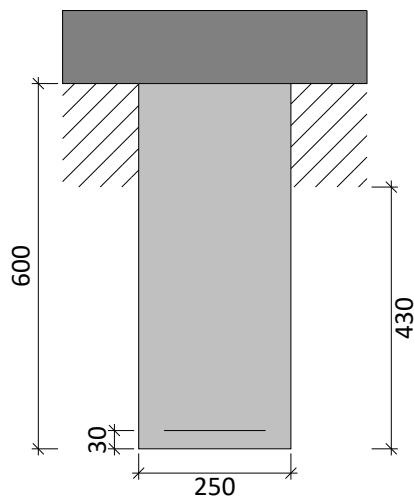
2.3. Geometria

Larghezza (b_w) = 250 mm

Altezza (h) = 600 mm

Distanza al baricentro delle armature (c) = 30 mm

Altezza disponibile (h_f) = 430 mm



2.4. Calcestruzzo

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo

Valore caratteristico della resistenza a compressione (f_{ck}) = 20.00 MPa

Resistenza cilindrica = 20.00 MPa

Resistenza cubica = 24.10 MPa

2.5. Acciaio di rinforzo a taglio

Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \emptyset (mm)	Distanza d'interasse (mm)	Angolo (°)
(Acciaio dolce) 230.00	200000.00	2 x 10.0	250	90.0

2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali

Definito da (NTC 2018)

Calcestruzzo

γ_c (Combinazione fondamentale) = 1.50

γ_c (Eccezionali) = 1.00

γ_c (Incendio) = 1.00

α_{cc} (Combinazione fondamentale) = 0.85

α_{cc} (Eccezionali) = 0.85

α_{cc} (Incendio) = 1.00

Acciaio

γ_s (Combinazione fondamentale) = 1.30

γ_s (Eccezionali) = 1.00

$$\gamma_s (\text{Incendio}) = 1.00$$

2.7. Coefficienti di combinazione di carico

Combinazioni NTC 2018	Carichi permanenti portati	Carichi variabili
Combinazione fondamentale (SLU)	1.30	1.50
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici	1.00	0.30
Resistenza al fuoco	1.00	0.30

A: Ambienti ad uso residenziale

$$\psi_2 = 0.3$$

2.8. Fattore di conversione ambientale

Tipo di fibra: Carbonio

$$\eta_a = 0.95$$

3. RINFORZO A TAGLIO CON FRP

3.1. Proprietà del rinforzo FRP

Configurazione del cordolo: Cordolo ad "U" a 3 facce

Bande discrete

Coefficienti parziali per i modelli di resistenza	γ_{Rd}
Taglio	1.20

Coefficienti parziali per i materiali FRP	γ_f
SLU	1.10

Rinforzo FRP	ε_f (%)	ε_{fk} (%)	E_f (MPa)	E_{fk} (MPa)	f_{fk} (MPa)	Spessore t_f (mm)	Strati	Larghezza (mm)	Classe
SikaWrap® 300C - 10 cm (IT)	1.59	1.46	225000.00	210000.00	3070.00	0.166	1	100	-

3.2. Resistenza di progetto a "taglio compressione"

Con riferimento alla biella compressa di calcestruzzo, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con:

$$V_{Rd,c} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \frac{(\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta)}{(1 + \text{ctg}^2\theta)} \quad V_{Rd,c} : 363.38 \text{ kN}$$

d (mm)	b_w (mm)	α_c	v	f_{cd} (MPa)	α (°)	θ (°)
570	250	1.0	0.5	11.33	90.0	45.0

3.3. Resistenza di progetto a "taglio trazione"

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rd,s} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad V_{Rd,s} : 57.03 \text{ kN}$$

A_{sw} (mm ²)	s (mm)	f_{yd} (MPa)
157	250	176.92

3.4. Capacità a taglio-trazione del sistema di rinforzo FRP

Il contributo del sistema di rinforzo FRP, può essere valutato in base al meccanismo a traliccio di Mörsch mediante la seguente formula:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{fed} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{b_f}{p_f}$$

$V_{Rd,f} : \underline{65.97}$ kN

Nel caso di disposizione ad U su una sezione rettangolare, la tensione efficace di calcolo del sistema di rinforzo è fornita dalla relazione:

$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_{ed} \cdot \sin \beta}{\min \{0,9 \cdot d, h_w\}} \right]$$

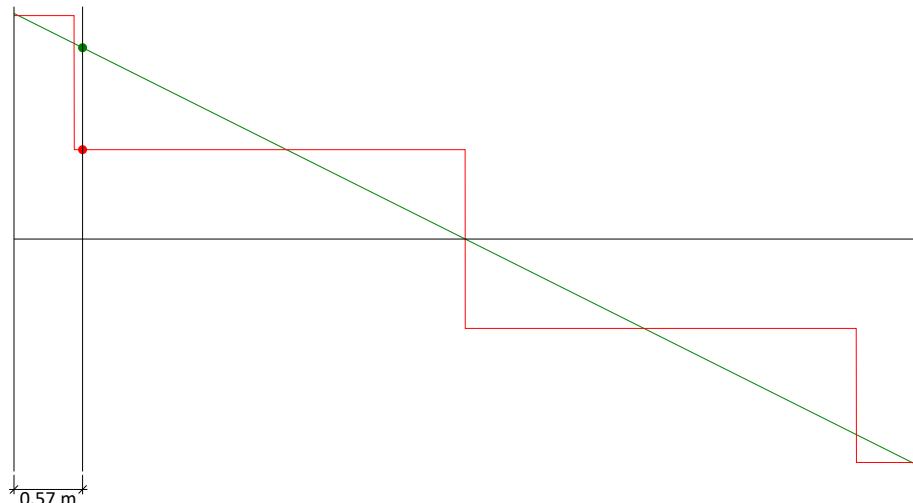
$f_{fed} : \underline{604.28}$ kN

$l_{ed,d}$ (mm)	f_{fdd} (MPa)	f_{fd} (MPa)	h_w (mm)	β	b_f (mm)	p_f (mm)
200.00	715.15	-	430	90.0	100	130

4. CARICHI

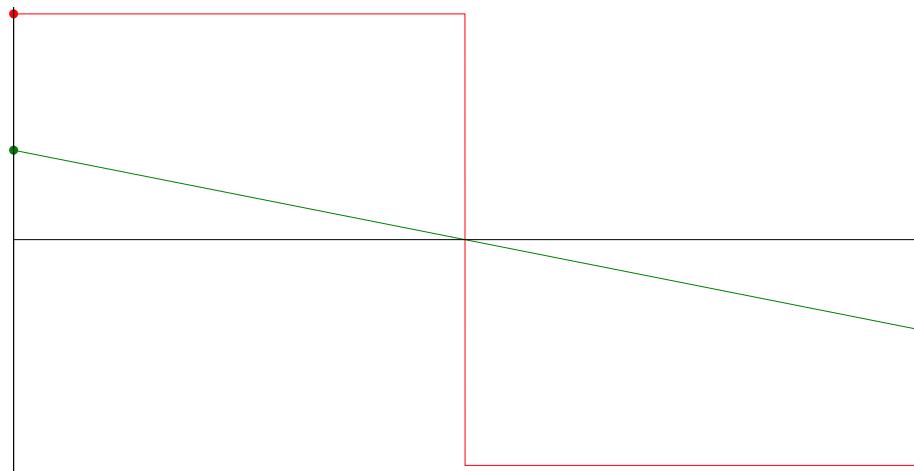
4.1. Carichi della trave

Combinazione fondamentale (SLU)



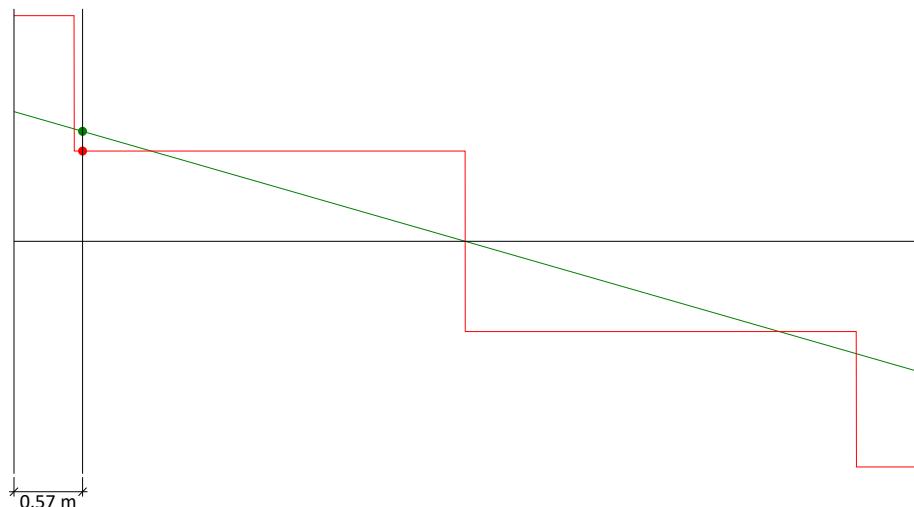
- V_{Ed} (Combinazione fondamentale (SLU)) = 122.10 kN
- V_{Rd} (Senza rinforzo) = 57.03 kN

Combinazione fondamentale (SLU) (Biella compressa di calcestruzzo)



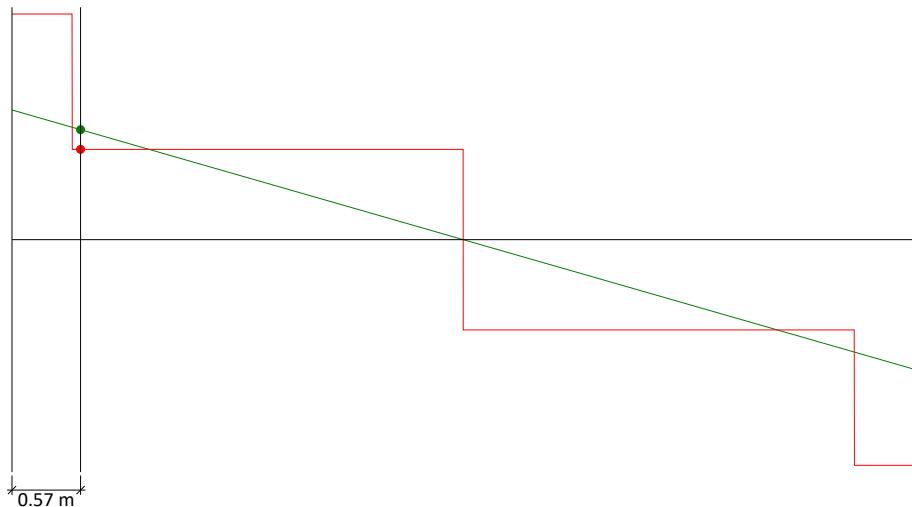
- VEd (Combinazione fondamentale (SLU)) = 143.98 kN
- VRd (Senza rinforzo) = 363.38 kN

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici



- VEd (Carichi iniziali) = 69.48 kN
- VRd (Senza rinforzo) = 74.14 kN

Resistenza al fuoco



- V_{Ed} (Resistenza al fuoco) = 69.48 kN
- V_{Rd} (Senza rinforzo) = 74.14 kN

5. RISULTATI

5.1. Riepilogo dei risultati

Combinazione fondamentale (SLU)					
carico	V_d (kN)	V_{Rcd} (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)	$V_{Rd,f}$ (kN)	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd} + V_{Rd,s} + V_{Rd,f}) = 123.00$ kN; $V_{Rd} \geq V_d$
$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$	122.10	363.38	57.03	65.97	Sezione rinforzata ✓
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici					
carico	V_d (kN)	V_{Rcd} (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)	$V_{Rd,f}$ (kN)	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd} + V_{Rd,s}) = 74.14$ kN; $V_{Rd} \geq V_d$
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	69.48	545.06	74.14		Sezione non rinforzata ✓
Situazione di fuoco (istante iniziale)					
carico	V_d (kN)	V_{Rcd} (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)	$V_{Rd,f}$ (kN)	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd} + V_{Rd,s}) = 74.14$ kN; $V_{Rd} \geq V_d$
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	69.48	545.06	74.14		Sezione non rinforzata ✓

5.2. Configurazione FRP

I risultati precedenti corrispondono alla seguente configurazione di FRP:

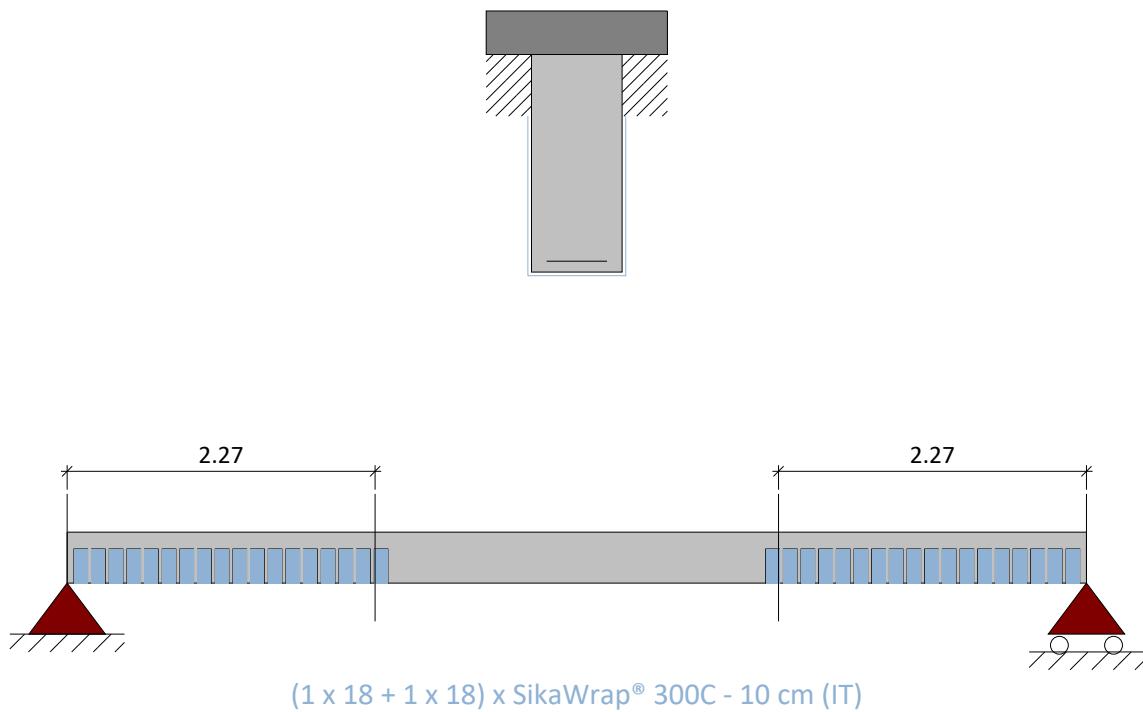
1 strato di SikaWrap® 300C - 10 cm (IT)

Configurazione del cordolo: Cordolo ad "U" a 3 facce

Bande discrete

Angolo: 90.0 °

Distanza d'interasse: 130 mm



6. SPECIFICHE DI PRODOTTO

6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®

Il rinforzo deve essere realizzato tramite un tessuto unidirezionale di fibra di carbonio, impregnato e legato esternamente alla struttura con adesivo epossidico Sikadur®-330

Le fibre devono essere allineate e libere da torsione.

Il materiale deve disporre di referenze di utilizzo (> 25 anni) nel rinforzo strutturale.

Il tessuto di fibre deve essere unidirezionale e fabbricato con fibre di carbonio a base di PAN.

Deve essere possibile procedere all'applicazione in un numero di strati maggiore di uno.

I valori misurati delle proprietà meccaniche del tessuto laminato devono essere fornite con una serie di almeno 20 provini.

6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo

Qualsiasi materiale in pessime condizioni deve essere rimosso e il calcestruzzo rimosso deve essere riparato come descritto sopra. Grandi cavità e granulosità devono essere riempite con una malta di ripristino appropriata.

I materiali di ripristino devono essere completamente compatibili con l'adesivo.

La resistenza attuale della struttura di calcestruzzo deve essere verificata con almeno tre test pull-off.

Il calcestruzzo deve essere maturato per almeno 28 giorni.

Lo strato superficiale di calcestruzzo deve essere rimosso e deve essere creata una superficie con porosità aperta.

La superficie del substrato deve essere pulita ed essere esente da olio, grasso e qualsiasi altro contaminante come parti distaccate e polvere.

Per l'applicazione del tessuto di fibra, tutti gli angoli devono essere arrotondati ad un minimo raggio di 20 mm e qualsiasi spigolo acuto deve essere rimosso.

Il contenuto di umidità del sottofondo deve essere minore del 4%.

6.1.2. Tessuto SikaWrap®

I materiali devono soddisfare le prestazioni caratteristiche descritte come segue

6.1.2.1. Proprietà tipiche del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT):

Proprietà tipiche di fibre secche:

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 230000 N/mm ² (MPa)
Resistenza a trazione	EN 2561/ASTM D3039	≈ 4900 N/mm ² (MPa)
Allungamento a rottura	EN 2561/ASTM D3039	2.1 %

Proprietà tipiche del laminato (in rapporto allo spessore della fibra):

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 225000 N/mm ² (MPa)
----------------------	--------------------	--

6.1.3. Adesivo epossidico

L'adesivo deve essere a base epossidica.

La primerizzazione del sottofondo e l'impregnazione del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT) verranno effettuate tramite Sikadur®-330

6.1.3.1. Proprietà tipiche dell'adesivo Sikadur®-330

L'adesivo deve soddisfare la norma EN 1504-4.

Base chimica		Resina epossidica
Densità		1.30 kg/l (a +23°C).
Viscosità (Velocità di taglio 50/S)	+10°C	≈ 10000 mPas
	+23°C	≈ 6000 mPas
	+35°C	≈ 5000 mPas
Coefficiente di dilatazione termica	-10°C a +40°C	4.5 x 10-5 per °C
Resistenza alla deformazione termica. HDT (ASTM D648)	Maturazione	
	7 giorni, +10°C	+36°C
	7 giorni, +23°C	+47°C
	7 giorni, +35°C	+53°C
Temperatura d'uso	23°C Maturazione	da -40°C a +45°C
Resistenza a trazione	DIN EN ISO 527-3	30 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Resistenza coesiva a trazione (struttura sabbiata)	DIN EN ISO 4624	Cedimento del calcestruzzo (> 4 N/mm ²)
Modulo di elasticità a flessione	DIN EN 1465	3800 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Modulo di elasticità a trazione	DIN EN ISO 527-3	4500 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Allungamento a rottura	DIN EN ISO 527-3	0.9% (7 giorni a +23°C)

6.1.4. Procedura di applicazione

Il tessuto deve essere tagliato a misura con speciali forbici.

Uno strato di primer di resina impregnante deve essere applicato sulla superficie della struttura, utilizzando un rullino a pelo corto.

Il tessuto deve essere applicato sulla struttura, pressato e l'impregnazione della resina deve essere eseguita con un rullino a pelo corto, fino a che il tessuto sia completamente saturo.

Gli strati addizionali devono essere installati come descritto sopra, preferibilmente fresco su fresco.

In caso di ricoprimento cementizio, la resina risultante deve essere sparsa con sabbia di quarzo.

L'impregnante deve sempre essere steso nella direzione delle fibre.

Dopo l'applicazione, il tessuto di fibra finito deve essere protetto dalla pioggia, sabbia, polvere e qualsiasi altro contaminante.

Se necessario, il sistema applicato deve essere protetto con un ricoprimento adeguato (prove di compatibilità tra il ricoprimento e il tessuto devono essere disponibili).

7. INFORMAZIONI LEGALI

L'USO E/O L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE E DEI RISPECTIVI RISULTATI DEVONO ESSERE DETERMINATI SOLAMENTE DALL'UTENTE PROFESSIONISTA CON CONOSCENZE SPECIALI NELL'AREA D'USO E/O NELL'APPLICAZIONE PREVISTO/A. GLI UTENTI DEVONO VERIFICARE INDIPENDENTEMENTE I RISULTATI OTTENUTI PRIMA DELL'UTILIZZO. INOLTRE DEVONO SEGUIRE RIGOROSAMENTE LE CONDIZIONI LOCALI D'USO E/O DELL'APPLICAZIONE, I DOCUMENTI DI DATI DI PRODOTTI E LA LETTERATURA RISPETTIVA, LO STATO DELLA TECNICA COSÌ COME LE NORMATIVE E LE REGOLAMENTAZIONI LOCALI.

Il software è disponibile "COSÌ COME È" E SENZA NESSUNA GARANZIA O INDENNIZZO DI ALCUN TIPO. Sika non consegna garanzie, condizioni, indennizzi, rappresentazioni o termini, espresi o impliciti, che sia per statuto, giurisprudenza, abitudine, uso o per qualsiasi altra forma in relazione all'uso del software.

In nessun caso Sika sarà responsabile prima del progettista per qualsiasi danno, reclamo o costi di qualsiasi natura, né di qualsiasi danno risultante, indiretto, accidentale, punitivo o speciale, né di contestazioni o perdite di guadagni o di qualsiasi altro problema che sorga in qualsiasi modo per colpa dell'installazione, utilizzo o manutenzione del software.

Queste informazioni e, in particolare, le raccomandazioni relative all'applicazione e all'uso finale del prodotto sono fornite in buona fede, basate sulla conoscenza attuale e l'esperienza di Sika dei prodotti quando sono correttamente archiviati, maneggiati e applicati, in situazioni normali, dentro della propria vita utile e d'accordo con le raccomandazioni di Sika. Nella pratica, le possibili differenze nei materiali, supporti e condizioni reali nel luogo di applicazione sono tali che non si può dedurre dalle informazioni del presente documento, né da qualsiasi altra raccomandazione scritta, né da alcun consiglio offerto, nessuna garanzia in termini di commercializzazione o idoneità per propositi individuali, né obbligo alcuno fuori da qualsiasi relazione legale che possa esistere. L'utente deve provare la convenienza dei prodotti per l'applicazione e la finalità desiderate. Sika si riserva il diritto di modificare le proprietà dei suoi prodotti. Si riservano i diritti di proprietà di terze parti. Gli ordini sono accettati in conformità con i termini delle nostre vigenti Condizioni Generali di Vendita e Somministrazione. Gli utenti devono conoscere e utilizzare l'ultima versione e aggiornata dei Fogli di Dati di Prodotti, copie delle quali si manderanno a chi lo richieda.

Salvo che venga indicato il contrario, tutte le informazioni, il testo, le immagini grafiche, le caratteristiche o le funzioni, e il disegno contenuto in questo software sono proprietà esclusiva di Sika e non possono essere copiate o distribuite, nella sua totalità o in parte, senza il consenso espresso o per iscritto dell'impresa.

Fornendo le informazioni a Sika, lei concede all'impresa la licenza non ristretta e irrevocabile per utilizzare, riprodurre, esporre, modificare, distribuire e riprodurre tale informazione. L'informazione personale sarà utilizzata da Sika solo per processare richieste d'informazione effettuate dall'utente o per la commercializzazione dei nostri prodotti e servizi.

© Copyright Sika Services AG 2016

8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO

Ingegnerizzato da:



CYPE Software - Eusebio Sempere, 5 - 03003 Alicante (Spagna)

www.cype.com

Sika Services AG
Corporate Tech. Dept.
Tüffewies 16
8048 Zürich (Svizzera)
www.sika.com

Elemento: TRAVE PRINCIPALE
Data: 12/09/2024
Editore: AF
Progetto: 24_51_solaio_P1
Note: VERIFICA A TAGLIO

12/12

BUILDING TRUST

The Sika logo, featuring the word "Sika" in a bold, yellow, sans-serif font inside a red, right-angled triangle. Below the triangle, the tagline "BUILDING TRUST" is written in a smaller, yellow, sans-serif font.

SOLAIO PIANO COPERTURA

Quota +8.49 m

- Consolidamento travetto – rinforzo a flessione
- Consolidamento trave principale – rinforzo a flessione
- Consolidamento trave principale – rinforzo a taglio
- Consolidamento trave secondaria – rinforzo a flessione
- Consolidamento trave secondaria – rinforzo a taglio

SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE

PROGETTO: 24_51_solaio copertura

ELEMENTO: TRAVETTO

INDICE

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI.....	3
2. IPOTESI DI CALCOLO.....	3
2.1. Dati del progetto.....	3
2.2. Geometria.....	3
2.3. Calcestruzzo.....	3
2.4. Acciaio per armature.....	4
2.5. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali.....	4
2.6. Coefficienti di combinazione di carico.....	4
3. RINFORZO DI FRP.....	4
3.1. Rinforzo principale di FRP.....	4
4. CARICHI.....	4
4.1. Carichi iniziali.....	4
4.2. Carichi previsti.....	4
5. RISULTATI.....	5
5.1. Riepilogo dei risultati.....	5
5.2. Stati limite ultimi.....	5
5.3. Stati limite di esercizio.....	9
5.4. Configurazione FRP.....	11
6. SPECIFICHE DI PRODOTTO.....	12
6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®.....	12
6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo.....	12
6.1.2. Tessuto SikaWrap®	13
6.1.3. Adesivo epossidico.....	13

6.1.4. Procedura di applicazione.....	14
7. INFORMAZIONI LEGALI.....	15
8. INFORMAZIONI SU SIKА® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO.....	15

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI

Rinforzo a flessione con FRP, secondo:

Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. (CNR-DT 200 R1/2013)

Norme Tecniche per le Costruzioni. (17 gennaio 2018)

Paese: Italia

2. IPOTESI DI CALCOLO

2.1. Dati del progetto

Scelta dei valori delle resistenze

Input con valori caratteristici (Xk)

Condizione di esposizione

Interna

2.2. Geometria

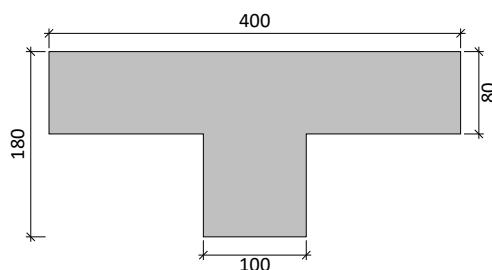
Sezione trasversale = Trave a T

Larghezza dell'anima = 100 mm

Altezza totale = 180 mm

Larghezza dell'ala = 400 mm

Altezza dell'ala = 80 mm



2.3. Calcestruzzo

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo

Valore caratteristico della resistenza a compressione (f_{ck}) = 20 MPa

Resistenza cilindrica = 20 MPa

Resistenza cubica = 24 MPa

2.4. Acciaio per armature

Armatura inferiore	d ₁ mm	Acciaio f _{yk} (MPa)	E _s (MPa)	Numero x Ø (mm)
1.	30	(Acciaio dolce) 230	200000	3 x 10.0

2.5. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali

Definito da (NTC 2018)

Calcestruzzo

γ_c (Combinazione fondamentale) = 1.50

γ_c (Eccezionali) = 1.00

γ_c (Incendio) = 1.00

α_{cc} (Combinazione fondamentale) = 0.85

α_{cc} (Eccezionali) = 0.85

α_{cc} (Incendio) = 1.00

Acciaio

γ_s (Combinazione fondamentale) = 1.30

γ_s (Eccezionali) = 1.00

γ_s (Incendio) = 1.00

2.6. Coefficienti di combinazione di carico

Combinazioni NTC 2018	Carichi permanenti portati	Carichi variabili
Combinazione fondamentale (SLU)	1.30	1.50
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici	1.00	0.30
Resistenza al fuoco	1.00	0.30
SLE, caratteristica	1.00	1.00
SLE, quasi permanente	1.00	0.30

A: Ambienti ad uso residenziale

$\psi_2 = 0.3$

$\eta_a = 0.75$

3. RINFORZO DI FRP

3.1. Rinforzo principale di FRP

Semplicemente aderente. SikaWrap® C

SikaWrap® 300C - 10 cm (IT)	Tipo di fibra	Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali	ε_f (%)	ε_n (%)	E _f (MPa)	E _n (MPa)	f _{rk} (MPa)	Spessore t _r (mm)	Numero	Larghezza (mm)	Classe
Strato: 1	Carbonio	$\gamma_{sf}: 1.00, \gamma_f: 1.10, \gamma_n: 1.20, \eta_s: 0.75, \eta_f: 0.30$	1.59	1.46	225000.00	210000.00	3070.00	0.166	1	100.00	-

4. CARICHI

4.1. Carichi iniziali

(Positivo) M_i : 3.81 kN·m

4.2. Carichi previsti

Carichi permanenti portati

(Positivo) M_g : 3.38 kN·m

Carichi variabili

(Positivo) M_q : 1.50 kN·m

5. RISULTATI

5.1. Riepilogo dei risultati

Combinazione fondamentale (SLU)			
carico	M _d (kN·m)	M _{Rd} (kN·m)	M _{Rd} ≥ M _d (N _d = N _{Rd})
S _{Ed} = 1.30 · S _G + 1.50 · S _Q	6.64	9.14	Sezione rinforzata 9.14 kN·m ≥ 6.64 kN·m ✓
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici			
carico	M _d (kN·m)	M _{Rd} (kN·m)	M _{Rd} ≥ M _d (N _d = N _{Rd})
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 0.30 · S _Q	3.83	7.88	Sezione non rinforzata 7.88 kN·m ≥ 3.83 kN·m ✓
Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 1.00 · S _Q	$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck}$	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$
	3.67 MPa ≤ 12.00 MPa ✓	151.22 MPa ≤ 184.00 MPa ✓	41.81 MPa ≤ 689.85 MPa ✓
Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 0.30 · S _Q	$\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck}$	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$
	2.94 MPa ≤ 9.00 MPa ✓	121.21 MPa ≤ 184.00 MPa ✓	0.78 MPa ≤ 689.85 MPa ✓
Resistenza in caso di incendio (t=0 min.)			
carico	M _d (kN·m)	M _{Rd} (kN·m)	M _{Rd} ≥ M _d (N _d = N _{Rd})
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 0.30 · S _Q	3.83	7.90	Sezione non rinforzata 7.90 kN·m ≥ 3.83 kN·m ✓

5.2. Stati limite ultimi

Le ipotesi fondamentali su cui si basa l'analisi allo SLU delle sezioni di c.a. rinforzate con FRP sono le seguenti:

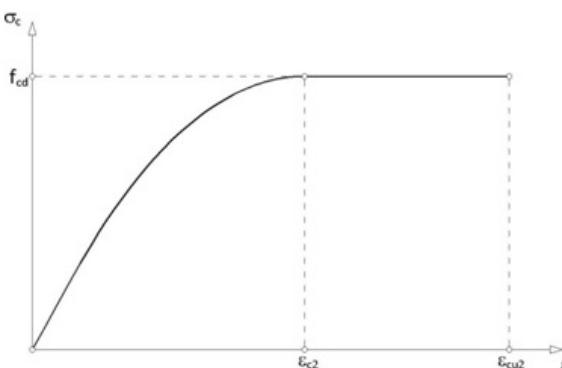
Conservazione della planarità delle sezioni rette fino a rottura, in modo che il diagramma delle deformazioni normali sia lineare.

Perfetta aderenza tra i materiali componenti (acciaio-calcestruzzo, FRP-calcestruzzo).

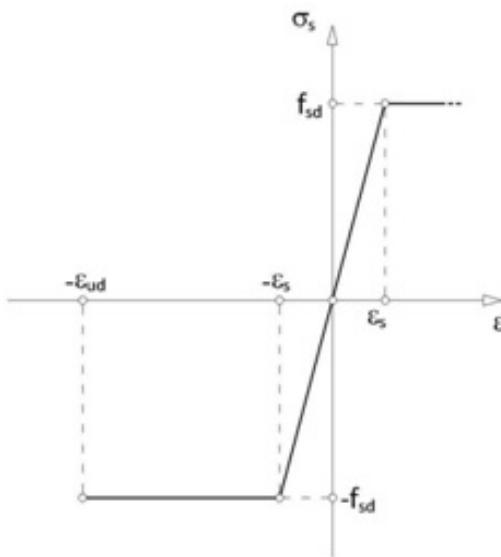
Resistenza a trazione nulla del calcestruzzo.

Legami costitutivi del calcestruzzo e dell'acciaio conformi alla Normativa vigente.

Legame costitutivo del composito fibrorinforzato elastico lineare fino a rottura.

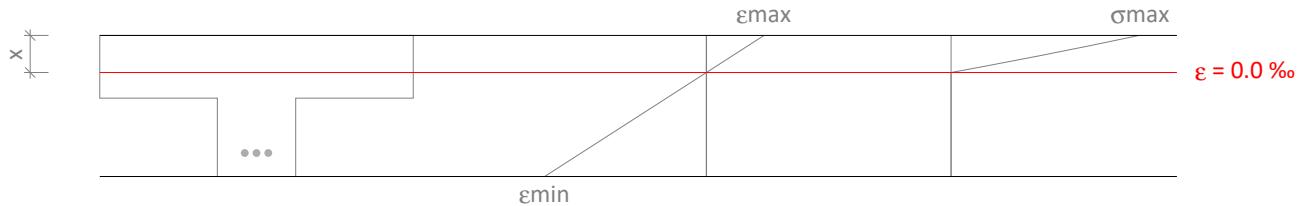


f_{cd} (MPa)	ε_{c0}	ε_{cu}	n
11.3	0.0020	0.0035	2



Carichi iniziali - Elemento senza rinforzi

$M_i = 3.81 \text{ kN}\cdot\text{m}$



Deformazione massima e minima

$$\epsilon_{\max} = 0.28 \text{ \%}$$

$$\epsilon_{\min} = -0.78 \text{ \%}$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 2.93 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

$$x = 47.31 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (%)
No. 10	-60	-120.64	-0.60

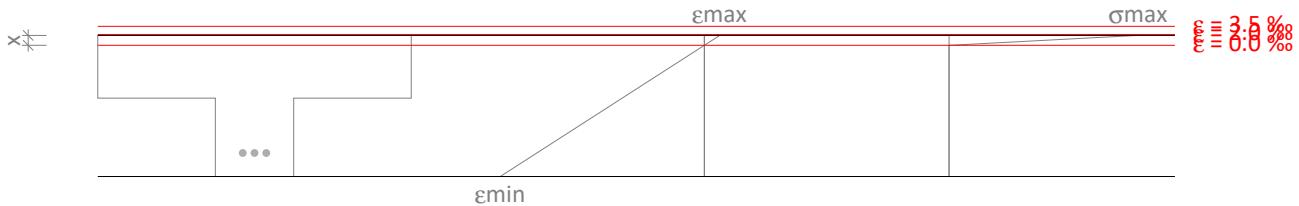
Azioni causate da atti vandalici - Elemento senza rinforzi.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$7.88 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 3.83 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} : \underline{7.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Deformazione massima e minima

$$\varepsilon_{\max} = 1.82 \text{ \%}$$

$$\varepsilon_{\min} = -24.24 \text{ \%}$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 16.86 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

$$x = 12.57 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (\%)
No. 10	-60	-230.00	-19.90

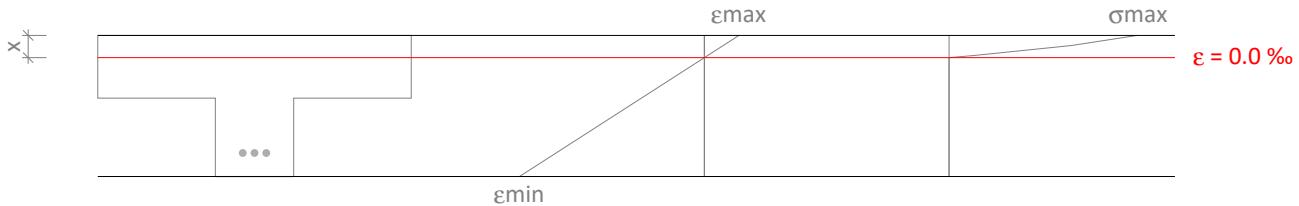
Carichi previsti - Elemento rinforzato

$$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$9.14 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 6.64 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} : \underline{9.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Deformazione massima e minima $\epsilon_{\max} = 1.19 \%$
 $\epsilon_{\min} = -6.35 \%$

Tensione massima del calcestruzzo $f_c = 9.45 \text{ MPa}$

Profondità della fibra neutra $x = 28.33 \text{ mm}$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (%)
No. 10	-60	-176.92	-5.09
FRP	-90	-1169.82	-5.57

Resistenza al fuoco. Sezione non rinforzata.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$7.90 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq 3.83 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark$$

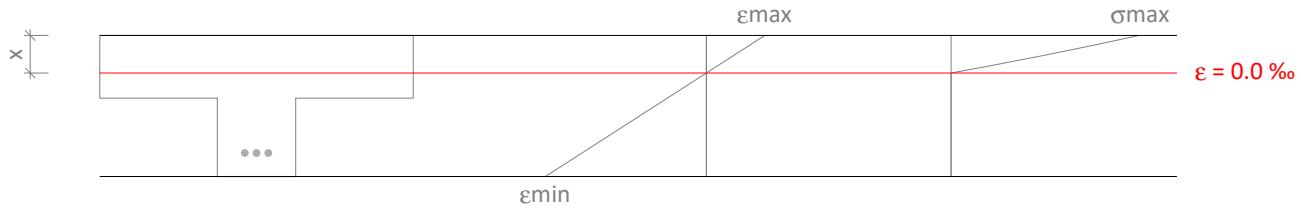
$$M_{Rd} : 7.90 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La resistenza dell'elemento senza rinforzo è sufficiente per resistere alla combinazione di carichi corrispondente alla situazione di incendio. Il rinforzo FRP non è, pertanto, necessario in caso di incendio, non precisando di protezione. In caso si voglia richiedere un tempo determinato di resistenza al fuoco, lo strutturista dovrà valutare la protezione dell'elemento di calcestruzzo armato in accordo con le normative locali vigenti.

5.3. Stati limite di esercizio

Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione caratteristica (SLE)

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 1.00 \cdot S_q$$



Deformazione massima e minima $\epsilon_{\max} = 0.36 \%$
 $\epsilon_{\min} = -0.98 \%$

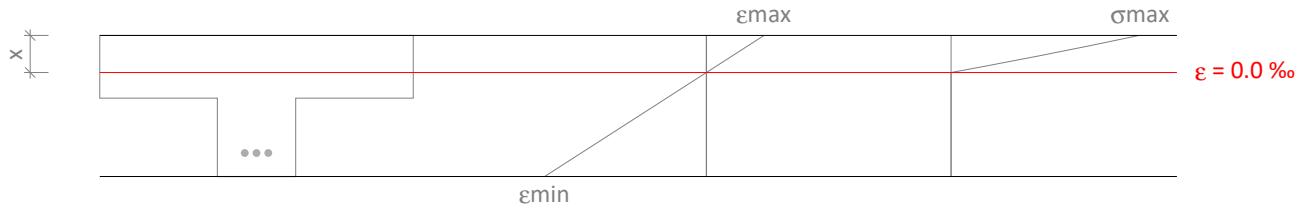
Tensione massima del calcestruzzo $f_c = 3.67 \text{ MPa}$

Profondità della fibra neutra $x = 47.95 \text{ mm}$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ϵ (%)
No. 10	-60	-151.22	-0.76
FRP	-90	-41.81	-0.20

Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione quasi permanente (SLE)

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$



Deformazione massima e minima $\epsilon_{\max} = 0.28 \%$
 $\epsilon_{\min} = -0.78 \%$

Tensione massima del calcestruzzo $f_c = 2.94 \text{ MPa}$

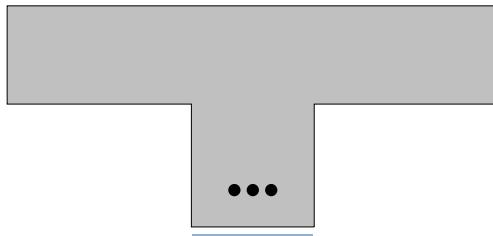
Profondità della fibra neutra $x = 47.33 \text{ mm}$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ϵ (%)
No. 10	-60	-121.21	-0.61
FRP	-90	-0.78	0.00

5.4. Configurazione FRP

I risultati precedenti corrispondono alla seguente configurazione di FRP:

Rinforzo principale di FRP: 1 (SikaWrap® 300C - 10 cm (IT))



6. SPECIFICHE DI PRODOTTO

6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®

Il rinforzo deve essere realizzato tramite un tessuto unidirezionale di fibra di carbonio, impregnato e legato esternamente alla struttura con adesivo epossidico Sikadur®-330

Il materiale deve essere una piastra CFRP pultruso, unidirezionale, con un contenuto volumetrico di fibra di carbonio >68%.

Le fibre devono essere allineate e libere da torsione.

Il materiale deve disporre di referenze di utilizzo (> 25 anni) nel rinforzo strutturale.

Il tessuto di fibre deve essere unidirezionale e fabbricato con fibre di carbonio a base di PAN.

Deve essere possibile procedere all'applicazione in un numero di strati maggiore di uno.

Il materiale deve avere un lungo registro cronologico per il rinforzo strutturale.

I valori misurati delle proprietà meccaniche del tessuto laminato devono essere fornite con una serie di almeno 20 provini.

6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo

Qualsiasi materiale in pessime condizioni deve essere rimosso e il calcestruzzo rimosso deve essere riparato come descritto sopra. Grandi cavità e granulosità devono essere riempite con una malta di ripristino appropriata.

I materiali di ripristino devono essere completamente compatibili con l'adesivo.

La resistenza attuale della struttura di calcestruzzo deve essere verificata con almeno tre test pull-off.

Il calcestruzzo deve essere maturato per almeno 28 giorni.

Lo strato superficiale di calcestruzzo deve essere rimosso e deve essere creata una superficie con porosità aperta.

La superficie del substrato deve essere pulita ed essere esente da olio, grasso e qualsiasi altro contaminante come parti distaccate e polvere.

Per l'applicazione del tessuto di fibra, tutti gli angoli devono essere arrotondati ad un minimo raggio di 20 mm e qualsiasi spigolo acuto deve essere rimosso.

Il contenuto di umidità del sottofondo deve essere minore del 4%.

6.1.2. Tessuto SikaWrap®

I materiali devono soddisfare le prestazioni caratteristiche descritte come segue

6.1.2.1. Proprietà tipiche del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT):

Proprietà tipiche di fibre secche:

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 230000 N/mm ² (MPa)
Resistenza a trazione	EN 2561/ASTM D3039	≈ 4900 N/mm ² (MPa)
Allungamento a rottura	EN 2561/ASTM D3039	2.1 %

Proprietà tipiche del laminato (in rapporto allo spessore della fibra):

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 225000 N/mm ² (MPa)
----------------------	--------------------	--

6.1.3. Adesivo epossidico

L'adesivo deve essere a base epossidica.

La primerizzazione del sottofondo e l'impregnazione del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT) verranno effettuate tramite Sikadur®-330

6.1.3.1. Proprietà tipiche dell'adesivo Sikadur®-330

L'adesivo deve soddisfare la norma EN 1504-4.

Base chimica		Resina epossidica
Densità		1.30 kg/l (a +23°C).
Viscosità (Velocità di taglio 50/S)	+10°C	≈ 10000 mPas
	+23°C	≈ 6000 mPas
	+35°C	≈ 5000 mPas
Coefficiente di dilatazione termica	-10°C a +40°C	4.5×10^{-5} per °C
Resistenza alla deformazione termica. HDT (ASTM D648)	Maturazione	
	7 giorni, +10°C	+36°C
	7 giorni, +23°C	+47°C
	7 giorni, +35°C	+53°C
Temperatura d'uso	23°C Maturazione	da -40°C a +45°C
Resistenza a trazione	DIN EN ISO 527-3	30 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Resistenza coesiva a trazione (struttura sabbiata)	DIN EN ISO 4624	Cedimento del calcestruzzo (> 4 N/mm ²)
Modulo di elasticità a flessione	DIN EN 1465	3800 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Modulo di elasticità a trazione	DIN EN ISO 527-3	4500 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Allungamento a rottura	DIN EN ISO 527-3	0.9% (7 giorni a +23°C)

6.1.4. Procedura di applicazione

Il tessuto deve essere tagliato a misura con speciali forbici.

Uno strato di primer di resina impregnante deve essere applicato sulla superficie della struttura, utilizzando un rullino a pelo corto.

Il tessuto deve essere applicato sulla struttura, pressato e l'impregnazione della resina deve essere eseguita con un rullino a pelo corto, fino a che il tessuto sia completamente saturo.

Gli strati addizionali devono essere installati come descritto sopra, preferibilmente fresco su fresco.

In caso di ricoprimento cementizio, la resina risultante deve essere sparsa con sabbia di quarzo.

L'impregnante deve sempre essere steso nella direzione delle fibre.

Dopo l'applicazione, il tessuto di fibra finito deve essere protetto dalla pioggia, sabbia, polvere e qualsiasi altro contaminante.

Se necessario, il sistema applicato deve essere protetto con un ricoprimento adeguato (prove di compatibilità tra il ricoprimento e il tessuto devono essere disponibili).

7. INFORMAZIONI LEGALI

L'USO E/O L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE E DEI RISPECTIVI RISULTATI DEVONO ESSERE DETERMINATI SOLAMENTE DALL'UTENTE PROFESSIONISTA CON CONOSCENZE SPECIALI NELL'AREA D'USO E/O NELL'APPLICAZIONE PREVISTO/A. GLI UTENTI DEVONO VERIFICARE INDIPENDENTEMENTE I RISULTATI OTTENUTI PRIMA DELL'UTILIZZO. INOLTRE DEVONO SEGUIRE RIGOROSAMENTE LE CONDIZIONI LOCALI D'USO E/O DELL'APPLICAZIONE, I DOCUMENTI DI DATI DI PRODOTTI E LA LETTERATURA RISPETTIVA, LO STATO DELLA TECNICA COSÌ COME LE NORMATIVE E LE REGOLAMENTAZIONI LOCALI.

Il software è disponibile "COSÌ COME È" E SENZA NESSUNA GARANZIA O INDENNIZZO DI ALCUN TIPO. Sika non consegna garanzie, condizioni, indennizzi, rappresentazioni o termini, espresi o impliciti, che sia per statuto, giurisprudenza, abitudine, uso o per qualsiasi altra forma in relazione all'uso del software.

In nessun caso Sika sarà responsabile prima del progettista per qualsiasi danno, reclamo o costi di qualsiasi natura, né di qualsiasi danno risultante, indiretto, accidentale, punitivo o speciale, né di contestazioni o perdite di guadagni o di qualsiasi altro problema che sorga in qualsiasi modo per colpa dell'installazione, utilizzo o manutenzione del software.

Queste informazioni e, in particolare, le raccomandazioni relative all'applicazione e all'uso finale del prodotto sono fornite in buona fede, basate sulla conoscenza attuale e l'esperienza di Sika dei prodotti quando sono correttamente archiviati, maneggiati e applicati, in situazioni normali, dentro della propria vita utile e d'accordo con le raccomandazioni di Sika. Nella pratica, le possibili differenze nei materiali, supporti e condizioni reali nel luogo di applicazione sono tali che non si può dedurre dalle informazioni del presente documento, né da qualsiasi altra raccomandazione scritta, né da alcun consiglio offerto, nessuna garanzia in termini di commercializzazione o idoneità per propositi individuali, né obbligo alcuno fuori da qualsiasi relazione legale che possa esistere. L'utente deve provare la convenienza dei prodotti per l'applicazione e la finalità desiderate. Sika si riserva il diritto di modificare le proprietà dei suoi prodotti. Si riservano i diritti di proprietà di terze parti. Gli ordini sono accettati in conformità con i termini delle nostre vigenti Condizioni Generali di Vendita e Somministrazione. Gli utenti devono conoscere e utilizzare l'ultima versione e aggiornata dei Fogli di Dati di Prodotti, copie delle quali si manderanno a chi lo richieda.

Salvo che venga indicato il contrario, tutte le informazioni, il testo, le immagini grafiche, le caratteristiche o le funzioni, e il disegno contenuto in questo software sono proprietà esclusiva di Sika e non possono essere copiate o distribuite, nella sua totalità o in parte, senza il consenso espresso o per iscritto dell'impresa.

Fornendo le informazioni a Sika, lei concede all'impresa la licenza non ristretta e irrevocabile per utilizzare, riprodurre, esporre, modificare, distribuire e riprodurre tale informazione. L'informazione personale sarà utilizzata da Sika solo per processare richieste d'informazione effettuate dall'utente o per la commercializzazione dei nostri prodotti e servizi.

© Copyright Sika Services AG 2016

8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO

Ingegnerizzato da:



CYPE Software - Eusebio Sempere, 5 - 03003 Alicante (Spagna)

www.cype.com

SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE

PROGETTO: 24_51_solaio_P2

ELEMENTO: TRAVE PRINCIPALE

INDICE

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI.....	3
2. IPOTESI DI CALCOLO.....	3
2.1. Dati della trave.....	3
2.2. Dati del progetto.....	3
2.3. Geometria.....	4
2.4. Calcestruzzo.....	4
2.5. Acciaio per armature.....	4
2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali.....	4
2.7. Coefficienti di combinazione di carico.....	5
3. RINFORZO DI FRP.....	5
3.1. Rinforzo principale di FRP.....	5
3.2. Rinforzo laterale di FRP.....	5
4. CARICHI.....	6
4.1. Carichi della trave.....	6
5. RISULTATI.....	7
5.1. Riepilogo dei risultati.....	7
5.2. Stati limite ultimi.....	8
5.3. Stati limite di esercizio.....	12
5.4. Verifica delaminazione di estremità FRP e progettazione dell'ancoraggio.....	14
5.5. Configurazione FRP.....	14
6. SPECIFICHE DI PRODOTTO.....	15
6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®.....	15
6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo.....	16

6.1.2. Tessuto SikaWrap®.....	16
6.1.3. Adesivo epossidico.....	17
6.1.4. Adesivo epossidico.....	17
6.1.5. Procedura di applicazione.....	18
6.1.6. Procedura di applicazione.....	18
7. INFORMAZIONI LEGALI.....	20
8. INFORMAZIONI SU SIKА® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO.....	20

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI

Rinforzo a flessione con FRP, secondo:

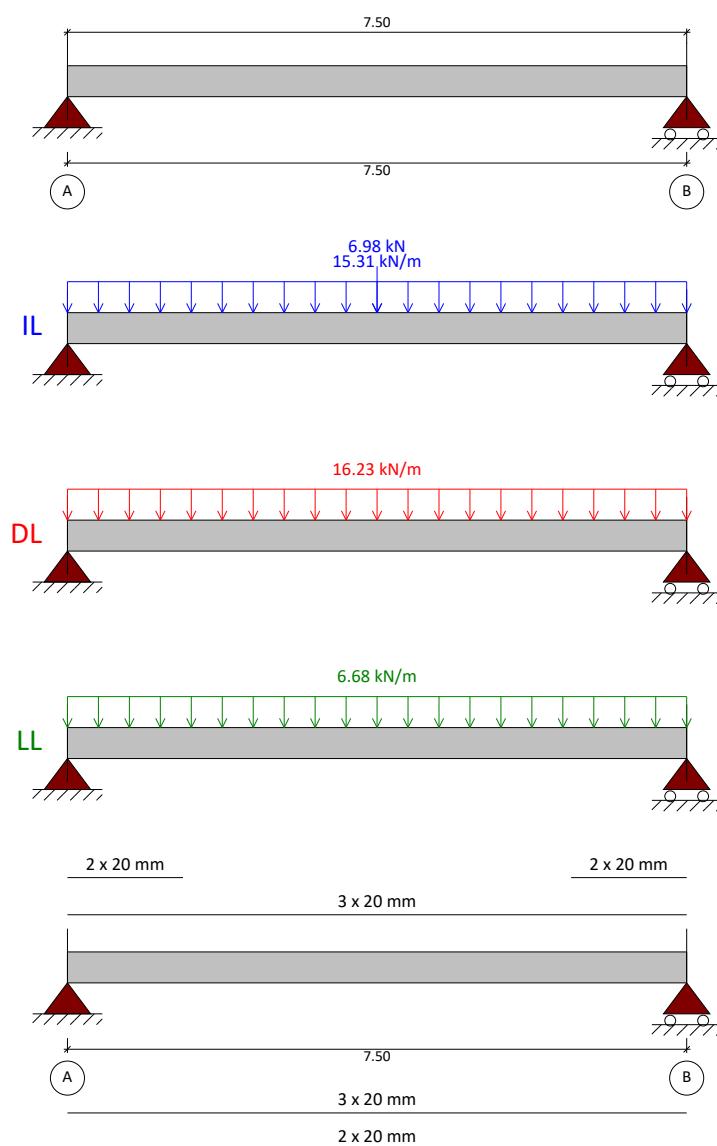
Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. (CNR-DT 200 R1/2013)

Norme Tecniche per le Costruzioni. (17 gennaio 2018)

Paese: Italia

2. IPOTESI DI CALCOLO

2.1. Dati della trave



2.2. Dati del progetto

Scelta dei valori delle resistenze

Input con valori caratteristici (Xk)

Condizione di esposizione

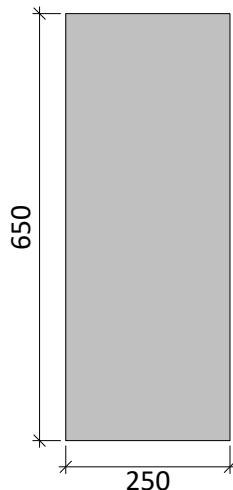
Interna

2.3. Geometria

Sezione trasversale = Rettangolare

Larghezza = 250 mm

Altezza = 650 mm



2.4. Calcestruzzo

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo

Valore caratteristico della resistenza a compressione (f_{ck}) = 20 MPa

Resistenza cilindrica = 20 MPa

Resistenza cubica = 24 MPa

2.5. Acciaio per armature

Armatura superiore	d_1 mm	Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \emptyset (mm)
1.	30	(Acciaio dolce) 230	200000	3 x 20.0

Armatura inferiore	d_1 mm	Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \emptyset (mm)
1.	30	(Acciaio dolce) 230	200000	3 x 20.0
2.	30	(Acciaio dolce) 230	200000	2 x 20.0

2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali

Definito da (NTC 2018)

Calcestruzzo

γ_c (Combinazione fondamentale) = 1.50

γ_c (Eccezionali) = 1.00

γ_c (Incendio) = 1.00

α_{cc} (Combinazione fondamentale) = 0.85

α_{cc} (Eccezionali) = 0.85

α_{cc}

Sika Services AG
Corporate Tech. Dept.
Tüffenvies 16
8048 Zürich (Svizzera)
www.sika.com

Elemento: TRAVE PRINCIPALE
Editore:
Note: VERIFICA A FLESSIONE

Data: 12/09/2024
Progetto: 24_51_solaio_P2

BUILDING TRUST



(Incendio) = 1.00

Acciaio

γ_s (Combinazione fondamentale) = 1.30

γ_s (Eccezionali) = 1.00

γ_s (Incendio) = 1.00

2.7. Coefficienti di combinazione di carico

Combinazioni NTC 2018	Carichi permanenti portati	Carichi variabili
Combinazione fondamentale (SLU)	1.30	1.50
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici	1.00	0.30
Resistenza al fuoco	1.00	0.30
SLE, caratteristica	1.00	1.00
SLE, quasi permanente	1.00	0.30

A: Ambienti ad uso residenziale

$\psi_2 = 0.3$

$\eta_a = 0.75$

3. RINFORZO DI FRP

3.1. Rinforzo principale di FRP

Semplicemente aderente. SikaWrap® C

1/2 SikaWrap® 300C - 10 cm (5 cm) (IT)	Tipo di fibra	Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali	ε_f (%)	ε_a (%)	E_f (MPa)	E_a (MPa)	f_a (MPa)	Spessore t_f (mm)	Numero	Larghezza (mm)	Classe
Strato: 1	Carbonio	$\gamma_{fa} = 1.00, \gamma_f = 1.10, \gamma_a = 1.20, \eta_a = 0.75, \eta_f = 0.30$	1.59	1.46	225000.00	210000.00	3070.00	0.166	5	50.00	-
Strato: 2	Carbonio	$\gamma_{fa} = 1.00, \gamma_f = 1.10, \gamma_a = 1.20, \eta_a = 0.75, \eta_f = 0.30$	1.59	1.46	225000.00	210000.00	3070.00	0.166	5	50.00	-

3.2. Rinforzo laterale di FRP

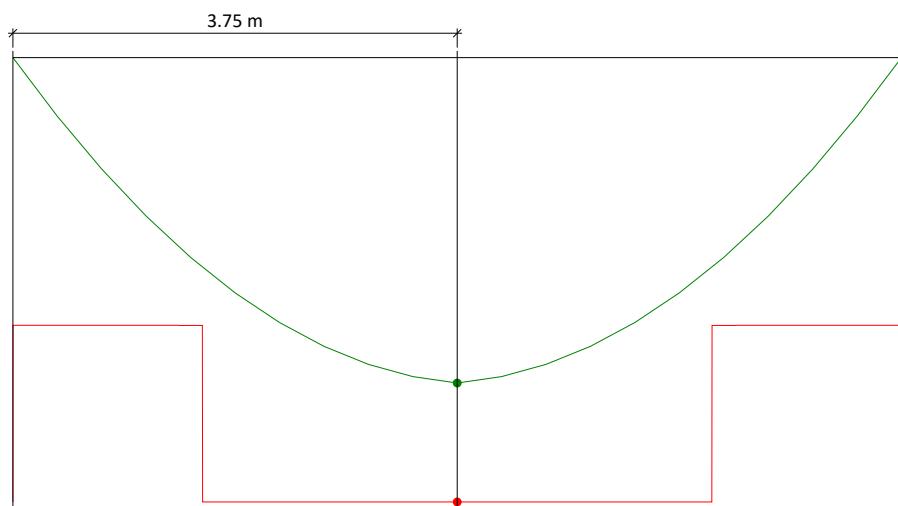
Semplicemente aderente. SikaWrap® C

SikaWrap® 300C - 10 cm (IT)	Tipo di fibra	Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali	ε_f (%)	ε_a (%)	E_f (MPa)	E_a (MPa)	f_a (MPa)	Spessore t_f (mm)	Numero	Larghezza (mm)	Classe
Anima	Carbonio	$\gamma_{fa} = 1.00, \gamma_f = 1.10, \gamma_a = 1.20, \eta_a = 0.75, \eta_f = 0.30$	1.59	1.46	225000.00	210000.00	3070.00	0.166	2 x 1	100.00	-

4. CARICHI

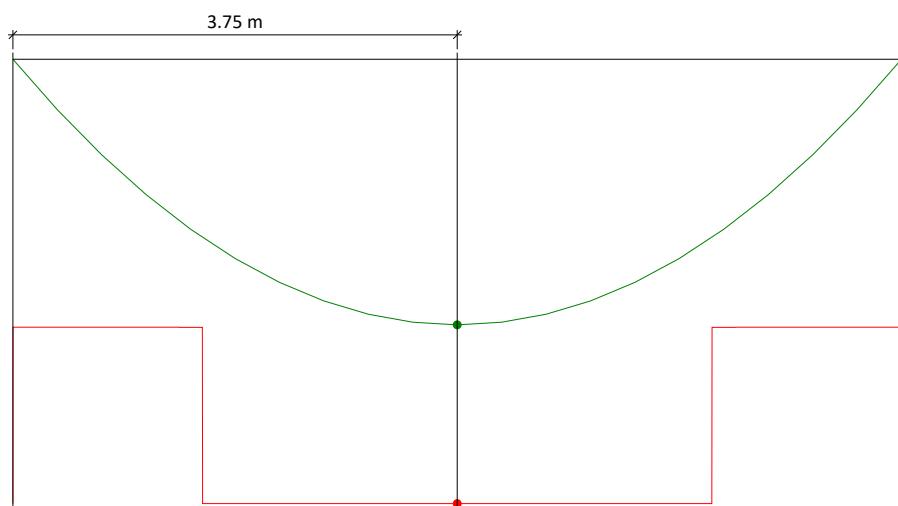
4.1. Carichi della trave

Carichi iniziali



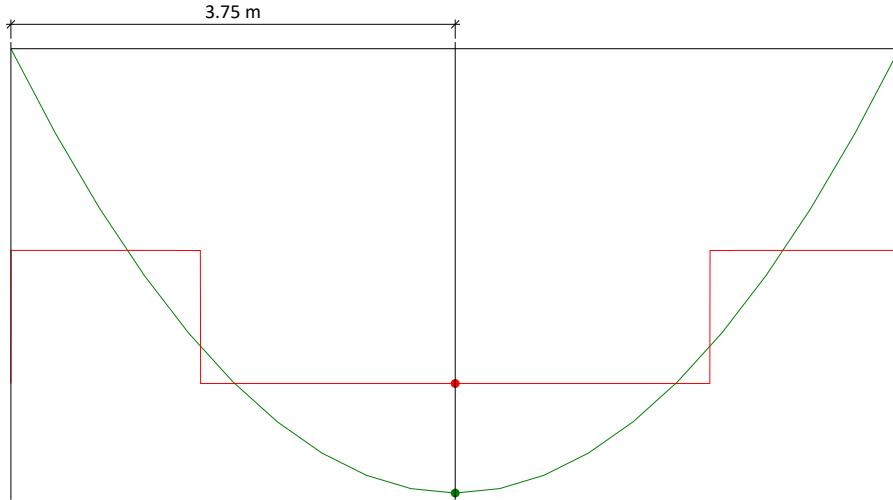
- M_{Ed} (Carichi iniziali) = 120.74 kN·m
- M_{Rd} (Senza rinforzo) = 164.87 kN·m

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici



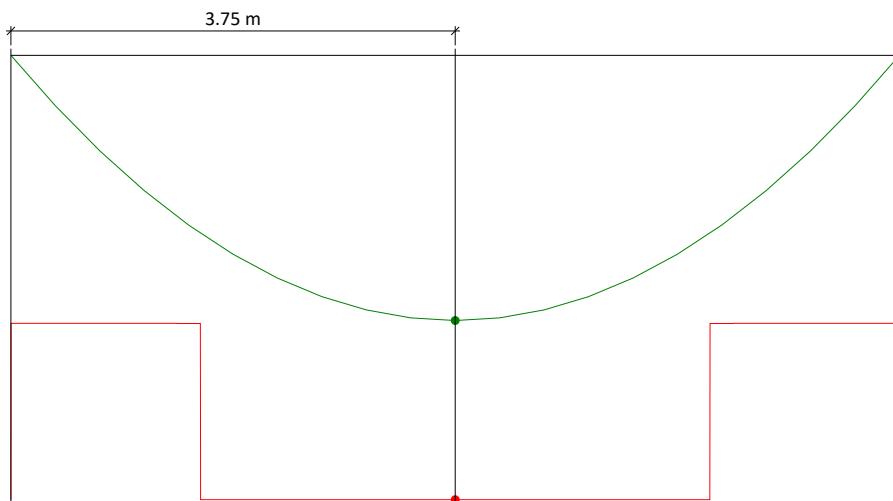
- M_{Ed} (Resistenza alle azioni causate da atti vandalici) = 128.21 kN·m
- M_{Rd} (Senza rinforzo) = 214.49 kN·m

Combinazione fondamentale (SLU)



- M_{Ed} (Combinazione fondamentale (SLU)) = 218.81 kN·m
- M_{Rd} (Senza rinforzo) = 164.87 kN·m

Resistenza al fuoco



- M_{Ed} (Resistenza al fuoco) = 128.21 kN·m
- M_{Rd} (Senza rinforzo) = 214.83 kN·m

5. RISULTATI

5.1. Riepilogo dei risultati

Combinazione fondamentale (SLU)			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d$ ($N_d = N_{Rd}$)
$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$	218.81	222.14	Sezione rinforzata 222.14 kN·m \geq 218.81 kN·m 

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d (N_d = N_{Rd})$
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	128.21	214.49	Sezione non rinforzata 214.49 kN·m \geq 128.21 kN·m ✓

Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 1.00 \cdot S_q$	$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck}$	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$
	6.05 MPa \leq 12.00 MPa ✓	176.92 MPa \leq 184.00 MPa ✓	88.71 MPa \leq 689.85 MPa ✓

Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	$\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck}$	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$
	4.76 MPa \leq 9.00 MPa ✓	146.42 MPa \leq 184.00 MPa ✓	9.06 MPa \leq 689.85 MPa ✓

Resistenza in caso di incendio (t=0 min.)			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d (N_d = N_{Rd})$
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	128.21	214.83	Sezione non rinforzata 214.83 kN·m \geq 128.21 kN·m ✓

5.2. Stati limite ultimi

Le ipotesi fondamentali su cui si basa l'analisi allo SLU delle sezioni di c.a. rinforzate con FRP sono le seguenti:

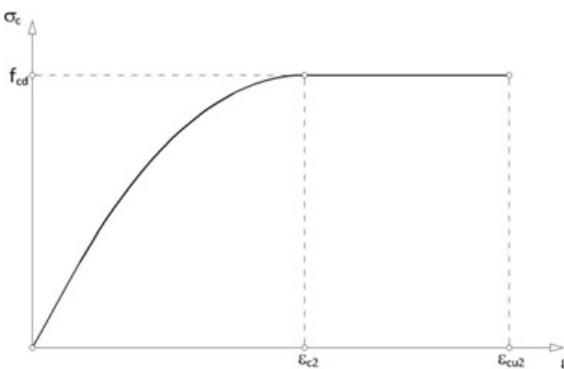
Conservazione della planarità delle sezioni rette fino a rottura, in modo che il diagramma delle deformazioni normali sia lineare.

Perfetta aderenza tra i materiali componenti (acciaio-calcestruzzo, FRP-calcestruzzo).

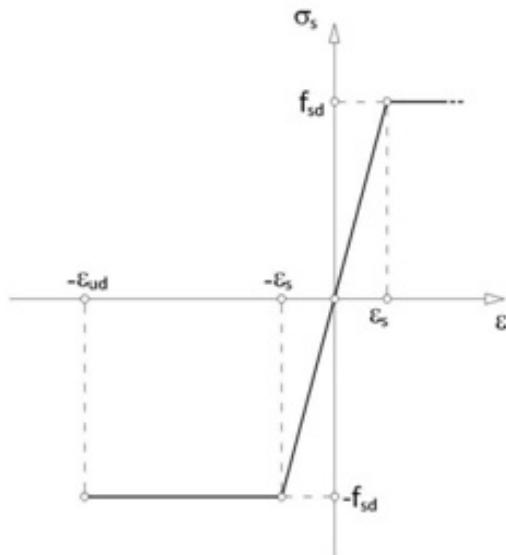
Resistenza a trazione nulla del calcestruzzo.

Legami costitutivi del calcestruzzo e dell'acciaio conformi alla Normativa vigente.

Legame costitutivo del composito fibrorinforzato elastico lineare fino a rottura.

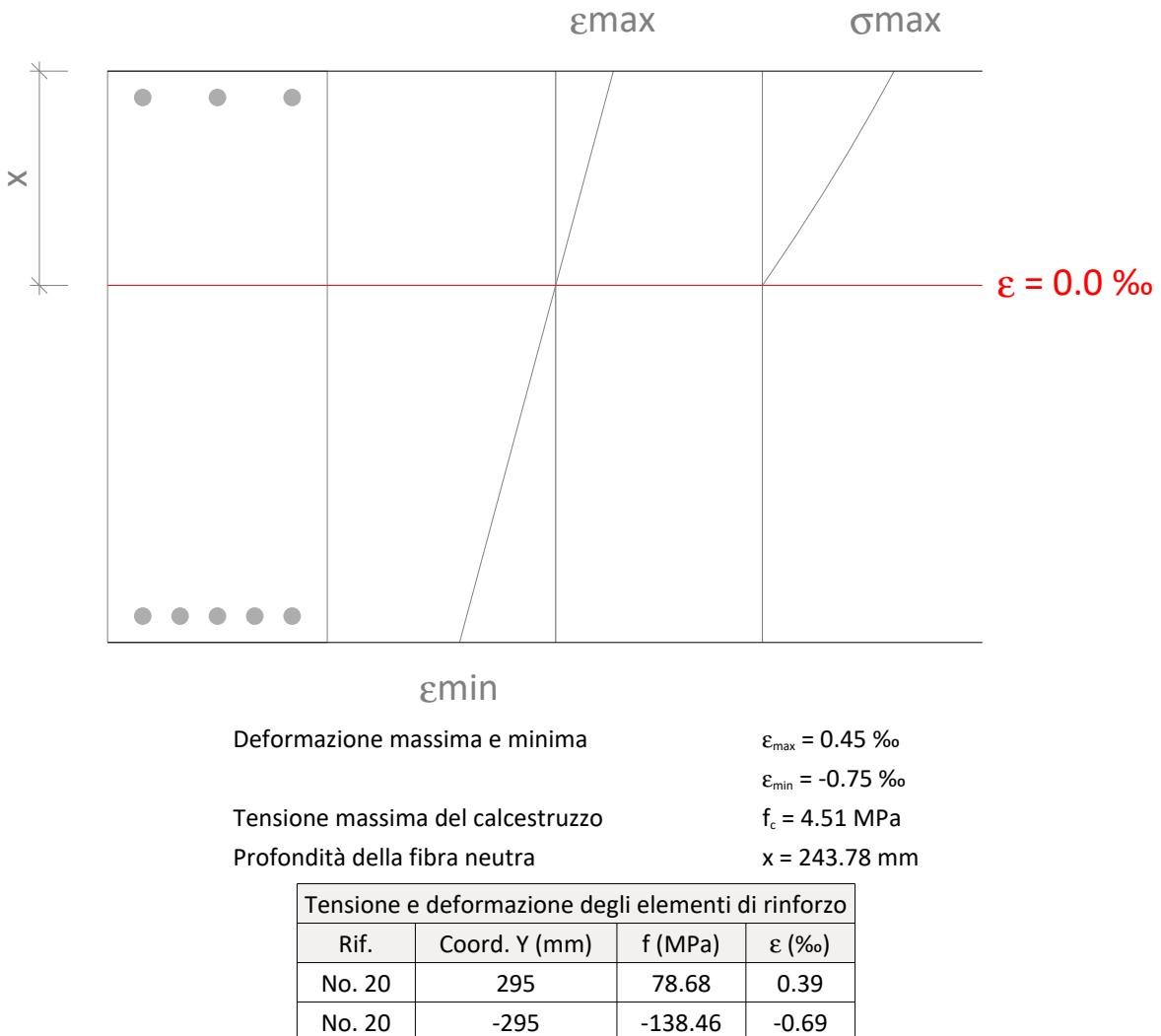


f_{cd} (MPa)	ε_{c0}	ε_{cu}	n
11.3	0.0020	0.0035	2



Carichi iniziali - Elemento senza rinforzi

M_i = 120.74 kN·m

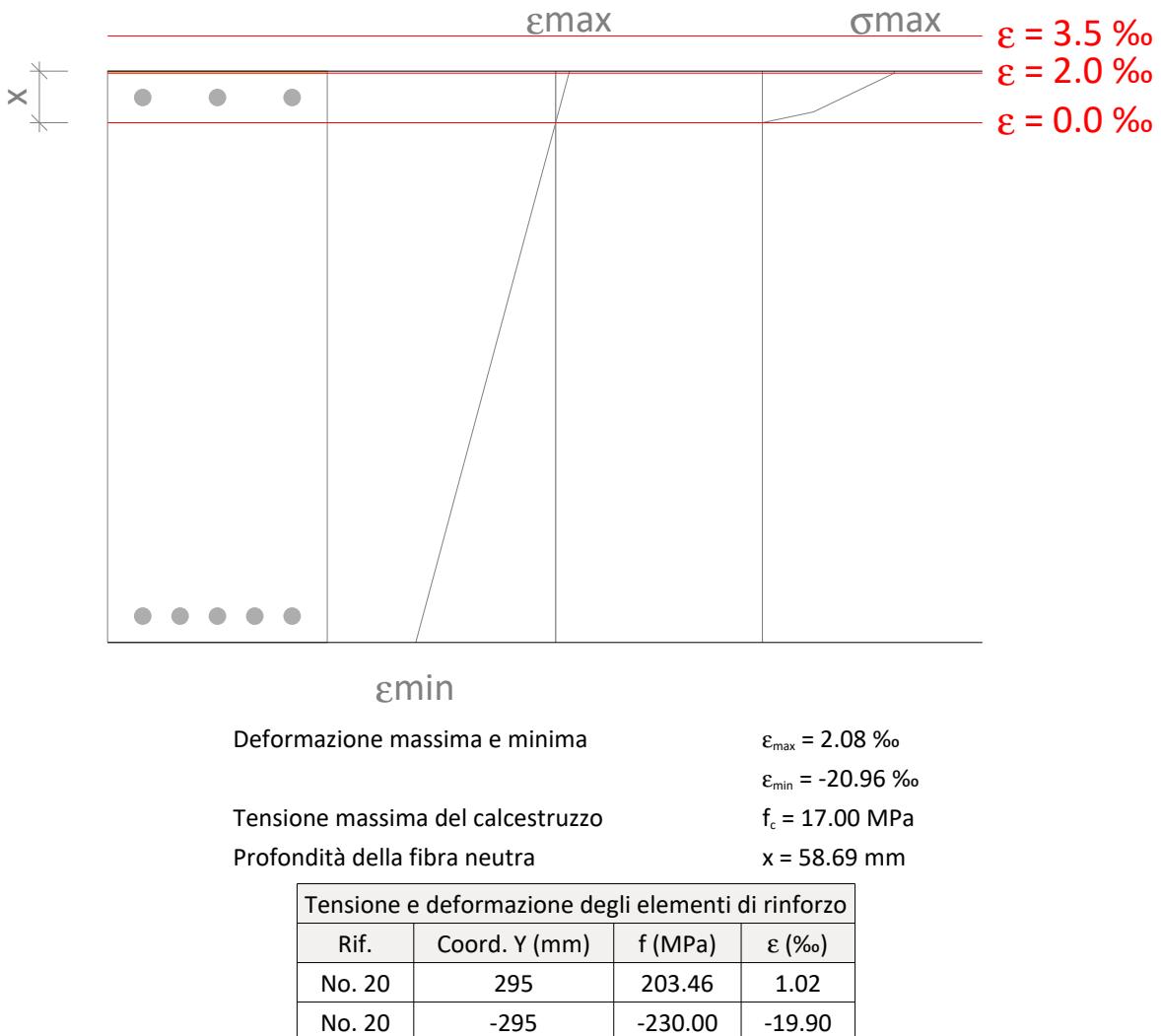


Azioni causate da atti vandalici - Elemento senza rinforzi.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

214.49 kN·m \geq 128.21 kN·m ✓
M_{Rd} : 214.49 kN·m

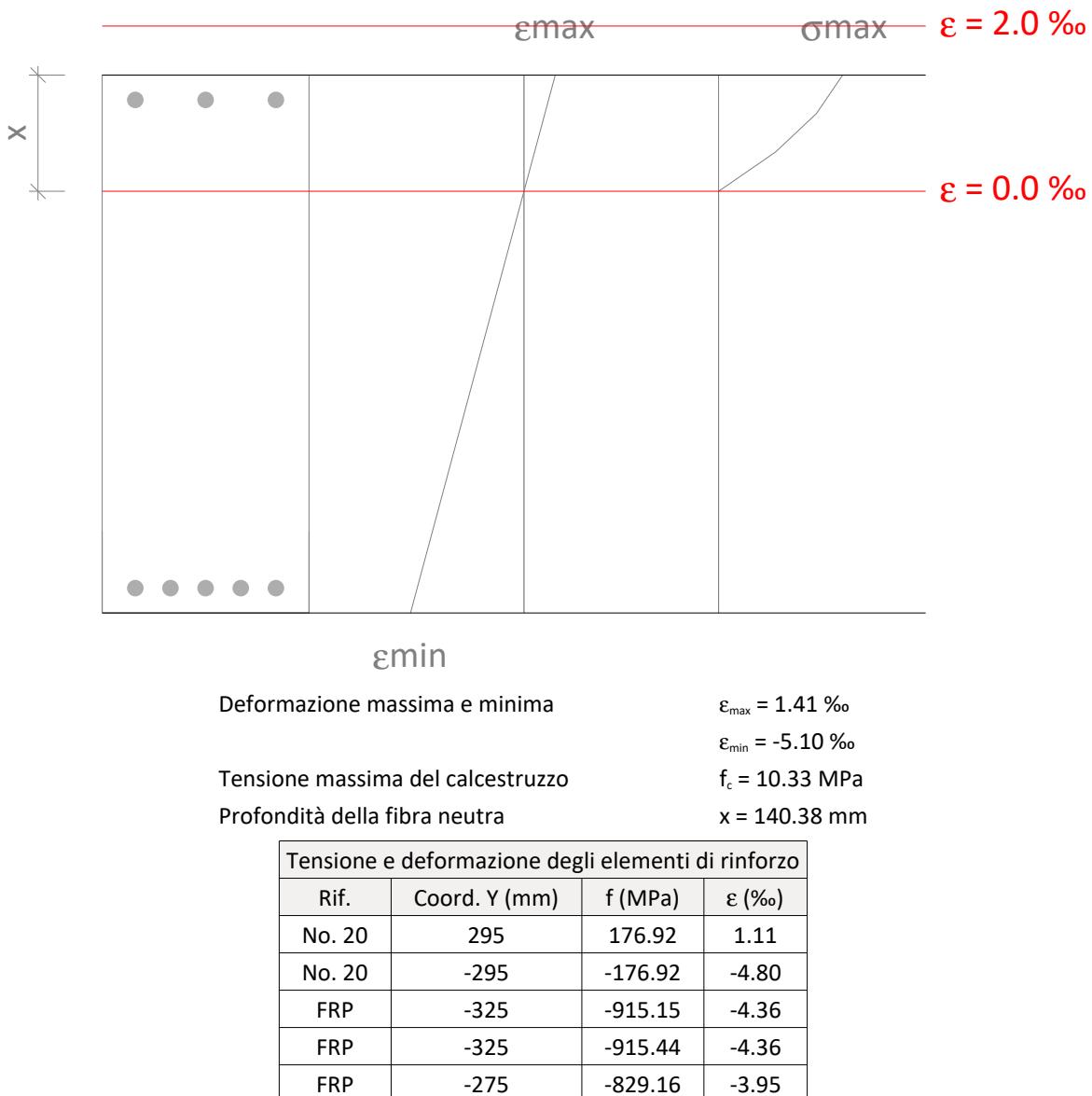


Carichi previsti - Elemento rinforzato

$$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

222.14 kN·m \geq 218.81 kN·m ✓
M_{Rd} : 222.14 kN·m



Resistenza al fuoco. Sezione non rinforzata.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$214.83 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq 128.21 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark$$

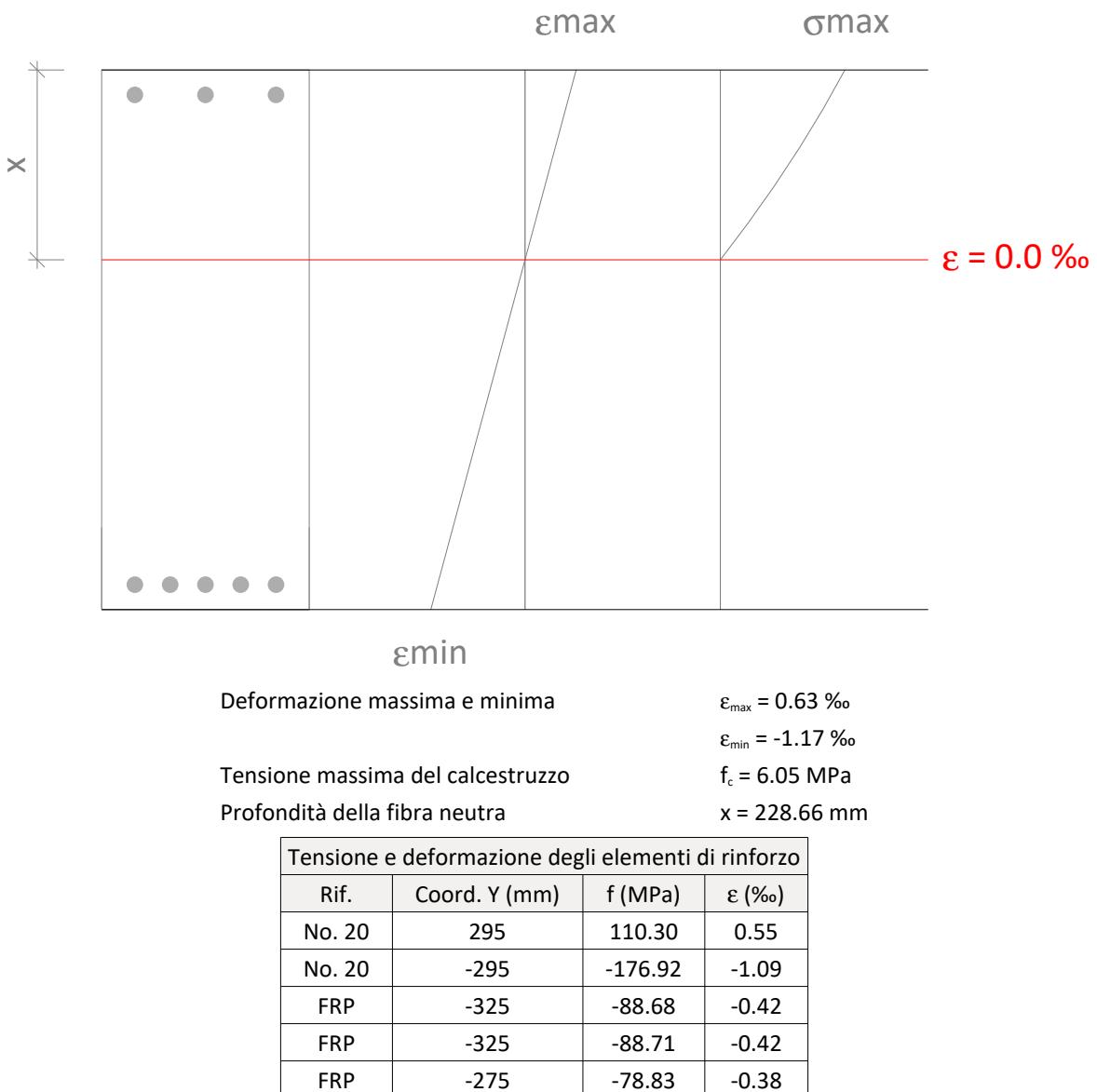
$$M_{Rd} : 214.83 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La resistenza dell'elemento senza rinforzo è sufficiente per resistere alla combinazione di carichi corrispondente alla situazione di incendio. Il rinforzo FRP non è, pertanto, necessario in caso di incendio, non precisando di protezione. In caso si voglia richiedere un tempo determinato di resistenza al fuoco, lo strutturista dovrà valutare la protezione dell'elemento di calcestruzzo armato in accordo con le normative locali vigenti.

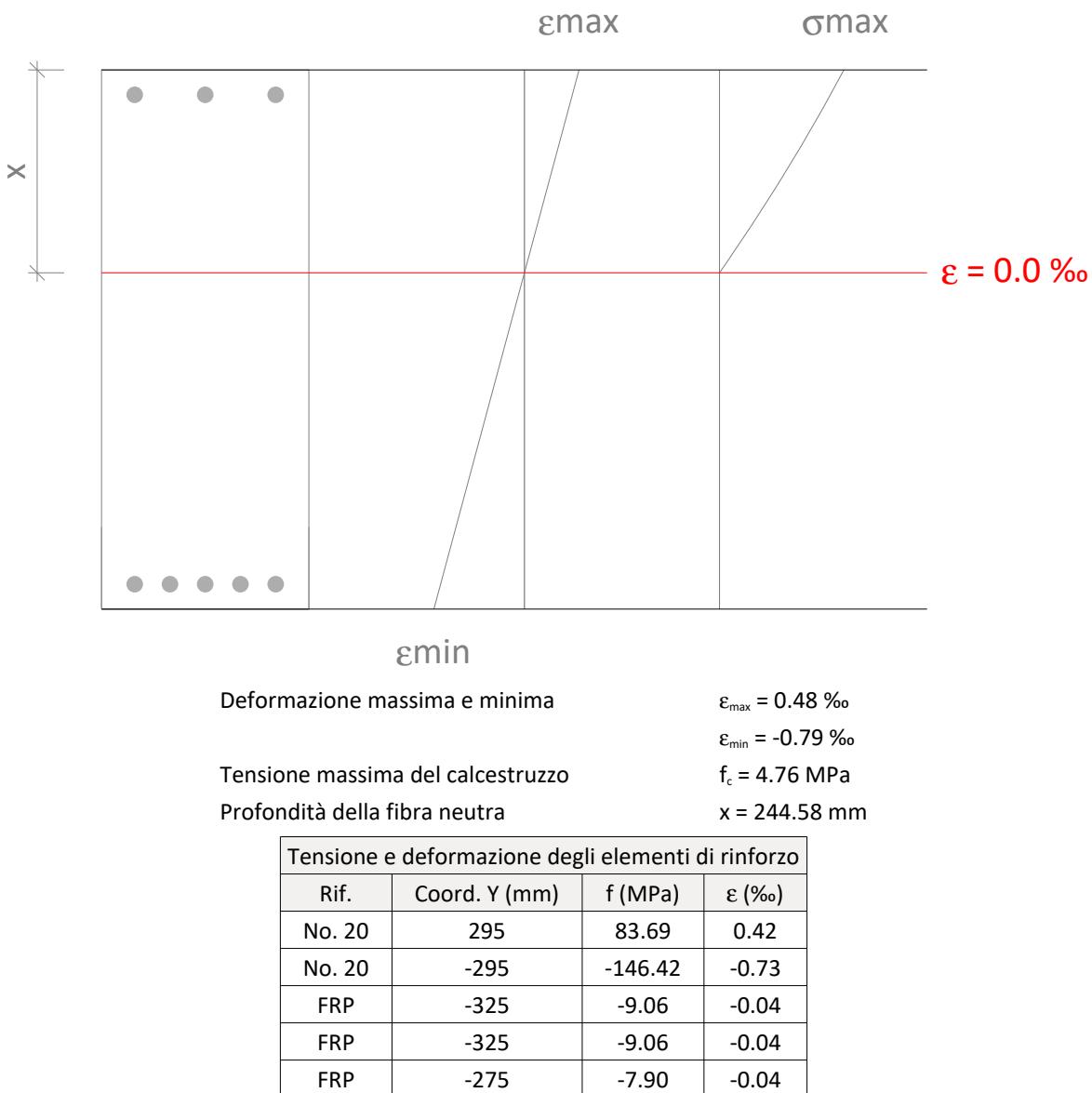
5.3. Stati limite di esercizio

Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione caratteristica (SLE)

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 1.00 \cdot S_q$$



Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione quasi permanente (SLE)
 $S_{ed} = 1.00 \cdot S_c + 0.30 \cdot S_q$



5.4. Verifica delaminazione di estremità FRP e progettazione dell'ancoraggio

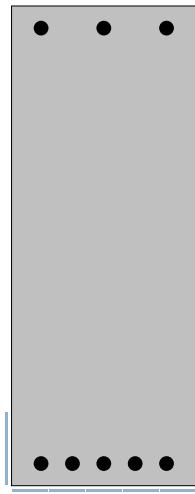
SLE, caratteristica (Rinforzo principale di FRP)	$\tau_{be} \leq f_{bd}$	$0.23 \text{ MPa} \leq 0.46 \text{ MPa}$	✓	$x = [6.02, 6.06] \text{ m}$
SLE, frequente (Rinforzo principale di FRP)	$\tau_{be} \leq f_{bd}$	$0.01 \text{ MPa} \leq 0.39 \text{ MPa}$	✓	$x = [1.40, 1.44] \text{ m}$
Ancoraggio (Rinforzo principale di FRP)	$f_d \leq f_{rid,rid}$	$720.91 \text{ MPa} \leq 505.69 \text{ MPa}$	✗	$x = 1.60 \text{ m}$

5.5. Configurazione FRP

I risultati precedenti corrispondono alla seguente configurazione di FRP:

Rinforzo principale di FRP: Numero di strati: 2, 5 + 5 (1/2 SikaWrap® 300C - 10 cm (5 cm) (IT))

Rinforzo laterale di FRP: Anima 2 x 1 (SikaWrap® 300C - 10 cm (IT))



6. SPECIFICHE DI PRODOTTO

6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®

Il rinforzo deve essere realizzato tramite un tessuto unidirezionale di fibra di carbonio, impregnato e legato esternamente alla struttura con adesivo epossidico Sikadur®-330

Il materiale deve essere una piastra CFRP pultruso, unidirezionale, con un contenuto volumetrico di fibra di carbonio >68%.

Le fibre devono essere allineate e libere da torsione.

Il materiale deve disporre di referenze di utilizzo (> 25 anni) nel rinforzo strutturale.

Il tessuto di fibre deve essere unidirezionale e fabbricato con fibre di carbonio a base di PAN.

Deve essere possibile procedere all'applicazione in un numero di strati maggiore di uno.

Il materiale deve avere un lungo registro cronologico per il rinforzo strutturale.

I valori misurati delle proprietà meccaniche del tessuto laminato devono essere fornite con una serie di almeno 20 provini.

6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo

Qualsiasi materiale in pessime condizioni deve essere rimosso e il calcestruzzo rimosso deve essere riparato come descritto sopra. Grandi cavità e granulosità devono essere riempite con una malta di ripristino appropriata.

I materiali di ripristino devono essere completamente compatibili con l'adesivo.

La resistenza attuale della struttura di calcestruzzo deve essere verificata con almeno tre test pull-off.

Il calcestruzzo deve essere maturato per almeno 28 giorni.

Lo strato superficiale di calcestruzzo deve essere rimosso e deve essere creata una superficie con porosità aperta.

La superficie del substrato deve essere pulita ed essere esente da olio, grasso e qualsiasi altro contaminante come parti distaccate e polvere.

Per l'applicazione del tessuto di fibra, tutti gli angoli devono essere arrotondati ad un minimo raggio di 20 mm e qualsiasi spigolo acuto deve essere rimosso.

Il contenuto di umidità del sottofondo deve essere minore del 4%.

6.1.2. Tessuto SikaWrap®

I materiali devono soddisfare le prestazioni caratteristiche descritte come segue

6.1.2.1. Proprietà tipiche del tessuto 1/2 SikaWrap® 300C - 10 cm (5 cm) (IT):

Proprietà tipiche di fibre secche:

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	$\approx 230000 \text{ N/mm}^2$ (MPa)
Resistenza a trazione	EN 2561/ASTM D3039	$\approx 4900 \text{ N/mm}^2$ (MPa)
Allungamento a rottura	EN 2561/ASTM D3039	2.1 %

Proprietà tipiche del laminato (in rapporto allo spessore della fibra):

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	$\approx 225000 \text{ N/mm}^2$ (MPa)
----------------------	--------------------	---------------------------------------

6.1.2.2. Proprietà tipiche del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT):

Proprietà tipiche di fibre secche:

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	$\approx 230000 \text{ N/mm}^2$ (MPa)
Resistenza a trazione	EN 2561/ASTM D3039	$\approx 4900 \text{ N/mm}^2$ (MPa)
Allungamento a rottura	EN 2561/ASTM D3039	2.1 %

Proprietà tipiche del laminato (in rapporto allo spessore della fibra):

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	$\approx 225000 \text{ N/mm}^2$ (MPa)
----------------------	--------------------	---------------------------------------

6.1.3. Adesivo epossidico

L'adesivo deve essere a base epossidica.

La primerizzazione del sottofondo e l'impregnazione del tessuto 1/2 SikaWrap® 300C - 10 cm (5 cm) (IT) verranno effettuate tramite Sikadur®-330

6.1.3.1. Proprietà tipiche dell'adesivo Sikadur®-330

L'adesivo deve soddisfare la norma EN 1504-4.

Base chimica		Resina epossidica
Densità		1.30 kg/l (a +23°C).
Viscosità (Velocità di taglio 50/S)	+10°C	≈ 10000 mPas
	+23°C	≈ 6000 mPas
	+35°C	≈ 5000 mPas
Coefficiente di dilatazione termica	-10°C a +40°C	4.5 x 10-5 per °C
Resistenza alla deformazione termica. HDT (ASTM D648)	Maturazione	
	7 giorni, +10°C	+36°C
	7 giorni, +23°C	+47°C
	7 giorni, +35°C	+53°C
Temperatura d'uso	23°C Maturazione	da -40°C a +45°C
Resistenza a trazione	DIN EN ISO 527-3	30 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Resistenza coesiva a trazione (struttura sabbiata)	DIN EN ISO 4624	Cedimento del calcestruzzo (> 4 N/mm ²)
Modulo di elasticità a flessione	DIN EN 1465	3800 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Modulo di elasticità a trazione	DIN EN ISO 527-3	4500 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Allungamento a rottura	DIN EN ISO 527-3	0.9% (7 giorni a +23°C)

6.1.4. Adesivo epossidico

L'adesivo deve essere a base epossidica.

La primerizzazione del sottofondo e l'impregnazione del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT) verranno effettuate tramite Sikadur®-330

6.1.4.1. Proprietà tipiche dell'adesivo Sikadur®-330

L'adesivo deve soddisfare la norma EN 1504-4.

Base chimica		Resina epossidica
Densità		1.30 kg/l (a +23°C).
Viscosità (Velocità di taglio 50/S)	+10°C	≈ 10000 mPas
	+23°C	≈ 6000 mPas
	+35°C	≈ 5000 mPas
Coefficiente di dilatazione termica	-10°C a +40°C	4.5 x 10-5 per °C
Resistenza alla deformazione termica. HDT (ASTM D648)	Maturazione	
	7 giorni, +10°C	+36°C
	7 giorni, +23°C	+47°C
	7 giorni, +35°C	+53°C
Temperatura d'uso	23°C Maturazione	da -40°C a +45°C
Resistenza a trazione	DIN EN ISO 527-3	30 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Resistenza coesiva a trazione (struttura sabbiata)	DIN EN ISO 4624	Cedimento del calcestruzzo (> 4 N/mm ²)
Modulo di elasticità a flessione	DIN EN 1465	3800 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Modulo di elasticità a trazione	DIN EN ISO 527-3	4500 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Allungamento a rottura	DIN EN ISO 527-3	0.9% (7 giorni a +23°C)

6.1.5. Procedura di applicazione

Il tessuto deve essere tagliato a misura con speciali forbici.

Uno strato di primer di resina impregnante deve essere applicato sulla superficie della struttura, utilizzando un rullino a pelo corto.

Il tessuto deve essere applicato sulla struttura, pressato e l'impregnazione della resina deve essere eseguita con un rullino a pelo corto, fino a che il tessuto sia completamente saturo.

Gli strati addizionali devono essere installati come descritto sopra, preferibilmente fresco su fresco.

In caso di ricoprimento cementizio, la resina risultante deve essere sparsa con sabbia di quarzo.

L'impregnante deve sempre essere steso nella direzione delle fibre.

Dopo l'applicazione, il tessuto di fibra finito deve essere protetto dalla pioggia, sabbia, polvere e qualsiasi altro contaminante.

Se necessario, il sistema applicato deve essere protetto con un ricoprimento adeguato (prove di compatibilità tra il ricoprimento e il tessuto devono essere disponibili).

6.1.6. Procedura di applicazione

Il tessuto deve essere tagliato a misura con speciali forbici.

Uno strato di primer di resina impregnante deve essere applicato sulla superficie della struttura, utilizzando un rullino a pelo corto.

Il tessuto deve essere applicato sulla struttura, pressato e l'impregnazione della resina deve essere eseguita con un rullino a pelo corto, fino a che il tessuto sia completamente saturo.

Gli strati addizionali devono essere installati come descritto sopra, preferibilmente fresco su fresco.

In caso di ricoprimento cementizio, la resina risultante deve essere sparsa con sabbia di quarzo.

L'impregnante deve sempre essere steso nella direzione delle fibre.

Dopo l'applicazione, il tessuto di fibra finito deve essere protetto dalla pioggia, sabbia, polvere e qualsiasi altro contaminante.

Se necessario, il sistema applicato deve essere protetto con un ricoprimento adeguato (prove di compatibilità tra il ricoprimento e il tessuto devono essere disponibili).

7. INFORMAZIONI LEGALI

L'USO E/O L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE E DEI RISPECTIVI RISULTATI DEVONO ESSERE DETERMINATI SOLAMENTE DALL'UTENTE PROFESSIONISTA CON CONOSCENZE SPECIALI NELL'AREA D'USO E/O NELL'APPLICAZIONE PREVISTO/A. GLI UTENTI DEVONO VERIFICARE INDIPENDENTEMENTE I RISULTATI OTTENUTI PRIMA DELL'UTILIZZO. INOLTRE DEVONO SEGUIRE RIGOROSAMENTE LE CONDIZIONI LOCALI D'USO E/O DELL'APPLICAZIONE, I DOCUMENTI DI DATI DI PRODOTTI E LA LETTERATURA RISPETTIVA, LO STATO DELLA TECNICA COSÌ COME LE NORMATIVE E LE REGOLAMENTAZIONI LOCALI.

Il software è disponibile "COSÌ COME È" E SENZA NESSUNA GARANZIA O INDENNIZZO DI ALCUN TIPO. Sika non consegna garanzie, condizioni, indennizzi, rappresentazioni o termini, espresi o impliciti, che sia per statuto, giurisprudenza, abitudine, uso o per qualsiasi altra forma in relazione all'uso del software.

In nessun caso Sika sarà responsabile prima del progettista per qualsiasi danno, reclamo o costi di qualsiasi natura, né di qualsiasi danno risultante, indiretto, accidentale, punitivo o speciale, né di contestazioni o perdite di guadagni o di qualsiasi altro problema che sorga in qualsiasi modo per colpa dell'installazione, utilizzo o manutenzione del software.

Queste informazioni e, in particolare, le raccomandazioni relative all'applicazione e all'uso finale del prodotto sono fornite in buona fede, basate sulla conoscenza attuale e l'esperienza di Sika dei prodotti quando sono correttamente archiviati, maneggiati e applicati, in situazioni normali, dentro della propria vita utile e d'accordo con le raccomandazioni di Sika. Nella pratica, le possibili differenze nei materiali, supporti e condizioni reali nel luogo di applicazione sono tali che non si può dedurre dalle informazioni del presente documento, né da qualsiasi altra raccomandazione scritta, né da alcun consiglio offerto, nessuna garanzia in termini di commercializzazione o idoneità per propositi individuali, né obbligo alcuno fuori da qualsiasi relazione legale che possa esistere. L'utente deve provare la convenienza dei prodotti per l'applicazione e la finalità desiderate. Sika si riserva il diritto di modificare le proprietà dei suoi prodotti. Si riservano i diritti di proprietà di terze parti. Gli ordini sono accettati in conformità con i termini delle nostre vigenti Condizioni Generali di Vendita e Somministrazione. Gli utenti devono conoscere e utilizzare l'ultima versione e aggiornata dei Fogli di Dati di Prodotti, copie delle quali si manderanno a chi lo richieda.

Salvo che venga indicato il contrario, tutte le informazioni, il testo, le immagini grafiche, le caratteristiche o le funzioni, e il disegno contenuto in questo software sono proprietà esclusiva di Sika e non possono essere copiate o distribuite, nella sua totalità o in parte, senza il consenso espresso o per iscritto dell'impresa.

Fornendo le informazioni a Sika, lei concede all'impresa la licenza non ristretta e irrevocabile per utilizzare, riprodurre, esporre, modificare, distribuire e riprodurre tale informazione. L'informazione personale sarà utilizzata da Sika solo per processare richieste d'informazione effettuate dall'utente o per la commercializzazione dei nostri prodotti e servizi.

© Copyright Sika Services AG 2016

8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO

Ingegnerizzato da:



CYPE Software - Eusebio Sempere, 5 - 03003 Alicante (Spagna)

www.cype.com

SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE

PROGETTO: 24_51_solaio_P2

ELEMENTO: TRAVE PRINCIPALE

INDICE

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI.....	3
2. IPOTESI DI CALCOLO.....	3
2.1. Dati della trave.....	3
2.2. Dati del progetto.....	3
2.3. Geometria.....	4
2.4. Calcestruzzo.....	4
2.5. Acciaio di rinforzo a taglio.....	4
2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali.....	4
2.7. Coefficienti di combinazione di carico.....	5
2.8. Fattore di conversione ambientale.....	5
3. RINFORZO A TAGLIO CON FRP.....	5
3.1. Proprietà del rinforzo FRP.....	5
3.2. Resistenza di progetto a "taglio compressione".....	5
3.3. Resistenza di progetto a "taglio trazione".....	5
3.4. Capacità a taglio-trazione del sistema di rinforzo FRP.....	6
4. CARICHI.....	6
4.1. Carichi della trave.....	6
5. RISULTATI.....	8
5.1. Riepilogo dei risultati.....	8
5.2. Configurazione FRP.....	8
6. SPECIFICHE DI PRODOTTO.....	9
6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®.....	9
6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo.....	9

6.1.2. Tessuto SikaWrap®.....	10
6.1.3. Adesivo epossidico.....	10
6.1.4. Procedura di applicazione.....	11
7. INFORMAZIONI LEGALI.....	12
8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO.....	12

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI

Rinforzo a taglio con FRP, secondo:

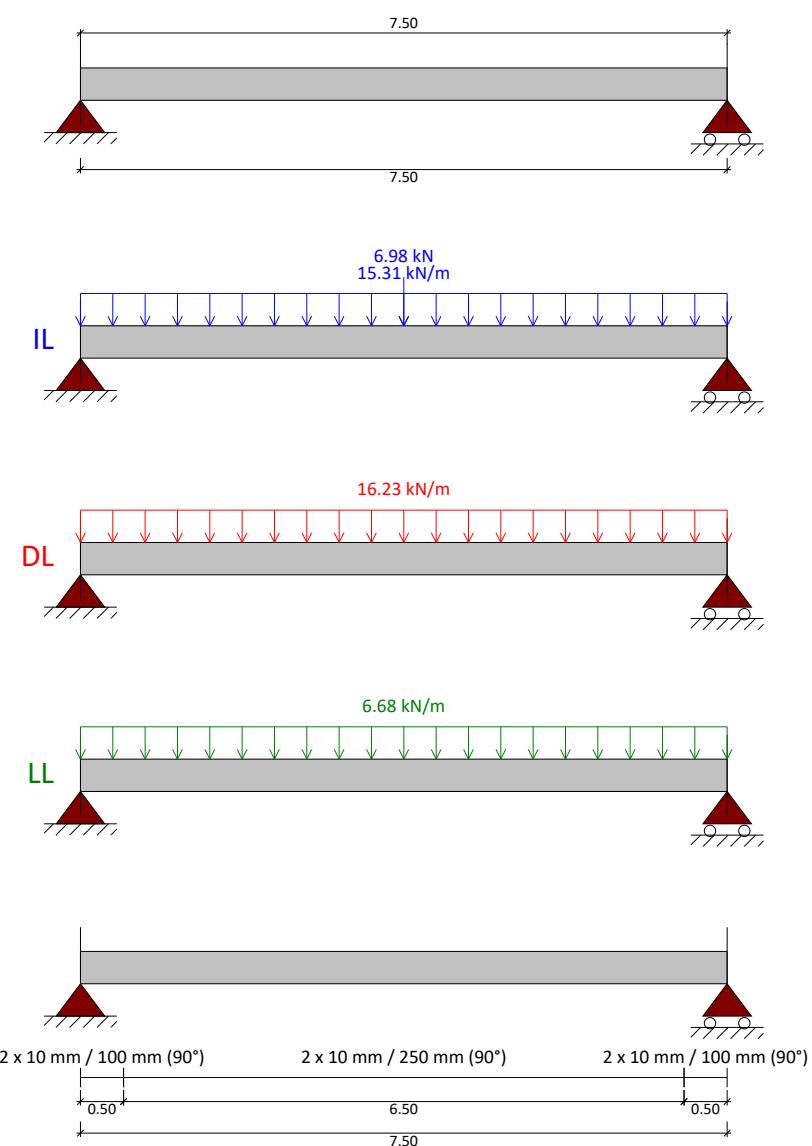
Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. (CNR-DT 200 R1/2013)

Norme Tecniche per le Costruzioni. (17 gennaio 2018)

Paese: Italia

2. IPOTESI DI CALCOLO

2.1. Dati della trave



2.2. Dati del progetto

Scelta dei valori delle resistenze

Input con valori caratteristici (Xk)

Condizione di esposizione

Interna

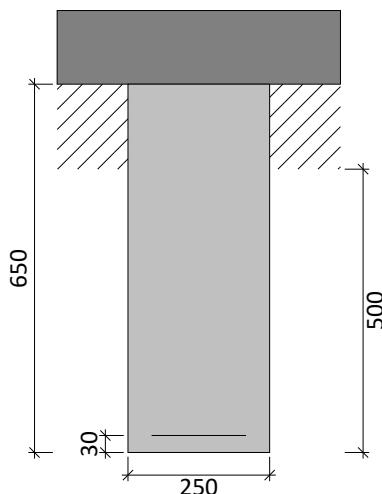
2.3. Geometria

Larghezza (b_w) = 250 mm

Altezza (h) = 650 mm

Distanza al baricentro delle armature (c) = 30 mm

Altezza disponibile (h_f) = 500 mm



2.4. Calcestruzzo

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo

Valore caratteristico della resistenza a compressione (f_{ck}) = 20.00 MPa

Resistenza cilindrica = 20.00 MPa

Resistenza cubica = 24.10 MPa

2.5. Acciaio di rinforzo a taglio

Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \emptyset (mm)	Distanza d'interasse (mm)	Angolo (°)
(Acciaio dolce) 230.00	200000.00	2 x 10.0	250	90.0

2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali

Definito da (NTC 2018)

Calcestruzzo

γ_c (Combinazione fondamentale) = 1.50

γ_c (Eccezionali) = 1.00

γ_c (Incendio) = 1.00

α_{cc} (Combinazione fondamentale) = 0.85

α_{cc} (Eccezionali) = 0.85

α_{cc} (Incendio) = 1.00

Acciaio

γ_s (Combinazione fondamentale) = 1.30

γ_s (Eccezionali) = 1.00

Sika Services AG

Elemento: TRAVE PRINCIPALE

Data: 12/09/2024

Corporate Tech. Dept.

Editore: AF

Progetto: 24_51_solaio_P2

Tüffenvies 16

Note: VERIFICA A TAGLIO

8048 Zürich (Svizzera)

www.sika.com

$$\gamma_s \text{ (Incendio)} = 1.00$$

2.7. Coefficienti di combinazione di carico

Combinazioni NTC 2018	Carichi permanenti portati	Carichi variabili
Combinazione fondamentale (SLU)	1.30	1.50
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici	1.00	0.30
Resistenza al fuoco	1.00	0.30

A: Ambienti ad uso residenziale

$$\psi_2 = 0.3$$

2.8. Fattore di conversione ambientale

Tipo di fibra: Carbonio

$$\eta_a = 0.95$$

3. RINFORZO A TAGLIO CON FRP

3.1. Proprietà del rinforzo FRP

Configurazione del cordolo: Cordolo ad "U" a 3 facce

Bande discrete

Coefficienti parziali per i modelli di resistenza	γ_{Rd}
Taglio	1.20

Coefficienti parziali per i materiali FRP	γ_f
SLU	1.10

Rinforzo FRP	ε_f (%)	ε_{fk} (%)	E_f (MPa)	E_{fk} (MPa)	f_{fk} (MPa)	Spessore t_f (mm)	Strati	Larghezza (mm)	Classe
SikaWrap® 300C - 10 cm (IT)	1.59	1.46	225000.00	210000.00	3070.00	0.166	1	100	-

3.2. Resistenza di progetto a "taglio compressione"

Con riferimento alla biella compressa di calcestruzzo, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con:

$$V_{Rd,c} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \frac{(\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta)}{(1 + \operatorname{ctg}^2\theta)} \quad V_{Rd,c} : 395.25 \text{ kN}$$

d (mm)	b_w (mm)	α_c	v	f_{cd} (MPa)	α (°)	θ (°)
620	250	1.0	0.5	11.33	90.0	45.0

3.3. Resistenza di progetto a "taglio trazione"

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rd,s} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad V_{Rd,s} : 62.03 \text{ kN}$$

A_{sw} (mm ²)	s (mm)	f_{yd} (MPa)
157	250	176.92

3.4. Capacità a taglio-trazione del sistema di rinforzo FRP

Il contributo del sistema di rinforzo FRP, può essere valutato in base al meccanismo a traliccio di Mörsch mediante la seguente formula:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{fed} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{b_f}{p_f}$$

$V_{Rd,f} : \underline{35.84}$ kN

Nel caso di disposizione ad U su una sezione rettangolare, la tensione efficace di calcolo del sistema di rinforzo è fornita dalla relazione:

$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_{ed} \cdot \sin \beta}{\min \{0,9 \cdot d, h_w\}} \right]$$

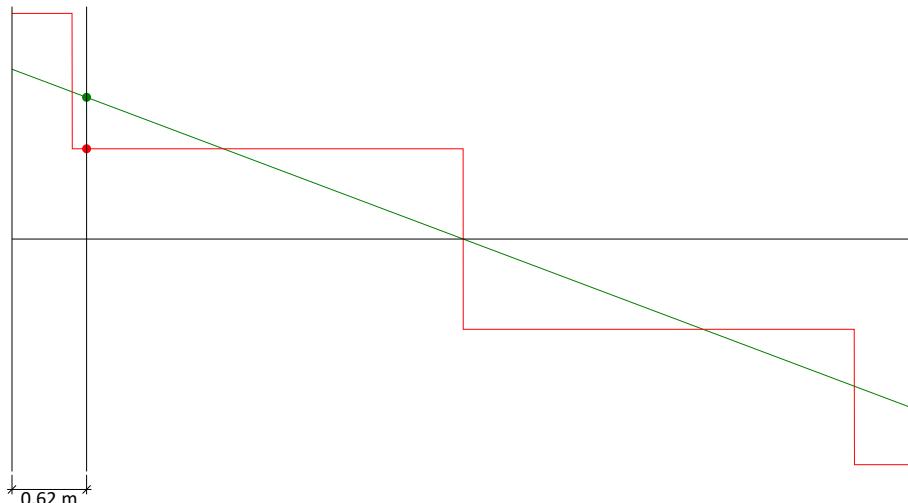
$f_{fed} : \underline{650.12}$ kN

$l_{ed,d}$ (mm)	f_{fdd} (MPa)	f_{fd} (MPa)	h_w (mm)	β	b_f (mm)	p_f (mm)
200.00	750.14	-	500	90.0	100	280

4. CARICHI

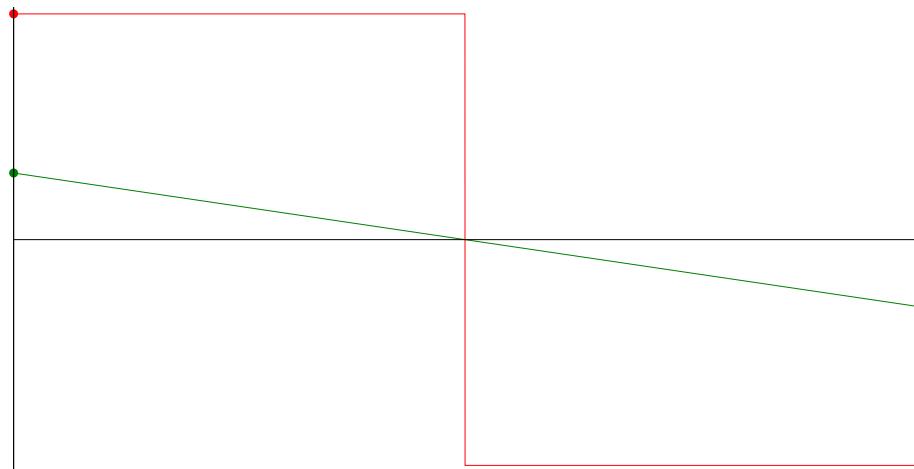
4.1. Carichi della trave

Combinazione fondamentale (SLU)



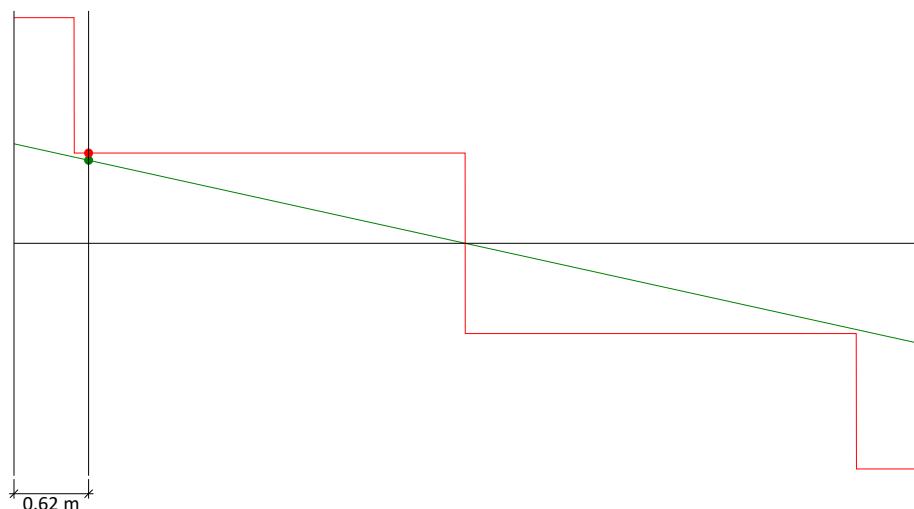
- V_{Ed} (Combinazione fondamentale (SLU)) = 97.40 kN
- V_{Rd} (Senza rinforzo) = 62.03 kN

Combinazione fondamentale (SLU) (Biella compressa di calcestruzzo)



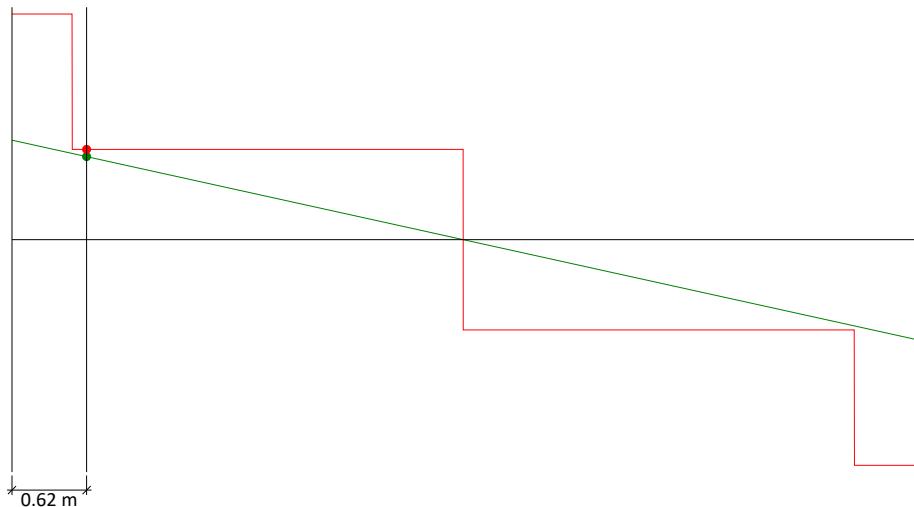
- VEd (Combinazione fondamentale (SLU)) = 116.70 kN
- VRd (Senza rinforzo) = 395.25 kN

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici



- VEd (Carichi iniziali) = 57.07 kN
- VRd (Senza rinforzo) = 80.64 kN

Resistenza al fuoco



- V_{Ed} (Resistenza al fuoco) = 57.07 kN
- V_{Rd} (Senza rinforzo) = 80.64 kN

5. RISULTATI

5.1. Riepilogo dei risultati

Combinazione fondamentale (SLU)					
carico	V_d (kN)	V_{Rcd} (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)	$V_{Rd,f}$ (kN)	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd} + V_{Rd,s} + V_{Rd,f}) = 97.87$ kN; $V_{Rd} \geq V_d$
$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$	97.40	395.25	62.03	35.84	Sezione rinforzata ✓
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici					
carico	V_d (kN)	V_{Rcd} (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)	$V_{Rd,f}$ (kN)	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd} + V_{Rd,s}) = 80.64$ kN; $V_{Rd} \geq V_d$
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	57.07	592.88	80.64		Sezione non rinforzata ✓
Situazione di fuoco (istante iniziale)					
carico	V_d (kN)	V_{Rcd} (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)	$V_{Rd,f}$ (kN)	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd} + V_{Rd,s}) = 80.64$ kN; $V_{Rd} \geq V_d$
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	57.07	592.88	80.64		Sezione non rinforzata ✓

5.2. Configurazione FRP

I risultati precedenti corrispondono alla seguente configurazione di FRP:

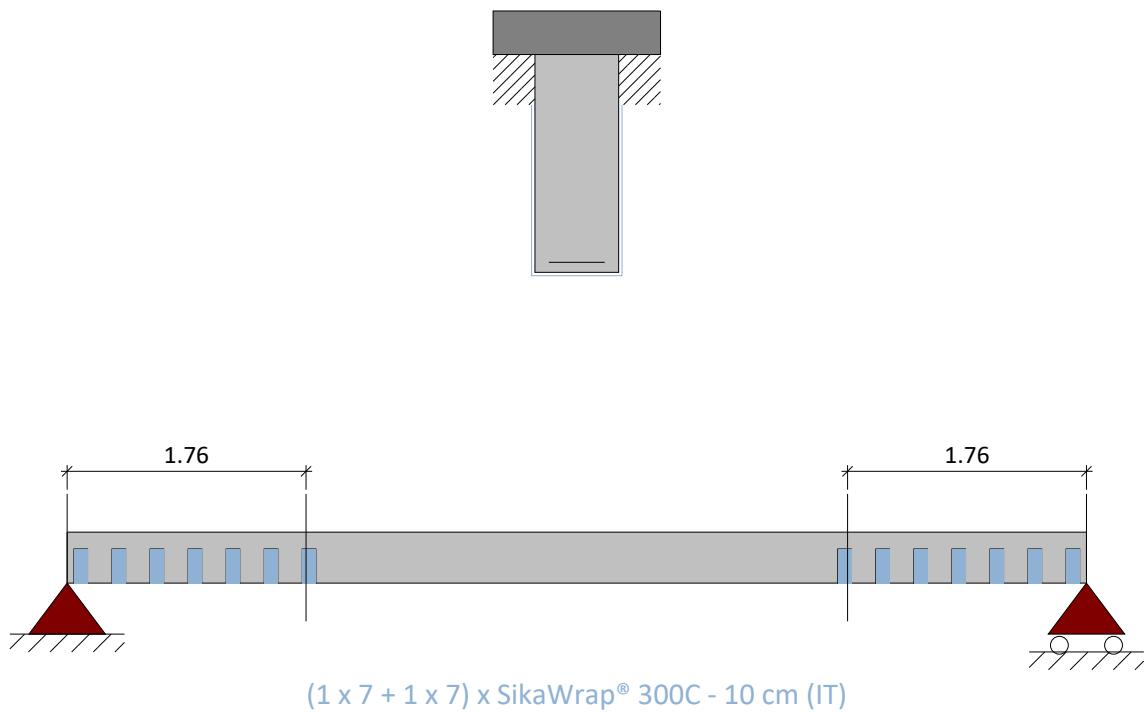
1 strato di SikaWrap® 300C - 10 cm (IT)

Configurazione del cordolo: Cordolo ad "U" a 3 facce

Bande discrete

Angolo: 90.0 °

Distanza d'interasse: 280 mm



6. SPECIFICHE DI PRODOTTO

6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®

Il rinforzo deve essere realizzato tramite un tessuto unidirezionale di fibra di carbonio, impregnato e legato esternamente alla struttura con adesivo epossidico Sikadur®-330

Le fibre devono essere allineate e libere da torsione.

Il materiale deve disporre di referenze di utilizzo (> 25 anni) nel rinforzo strutturale.

Il tessuto di fibre deve essere unidirezionale e fabbricato con fibre di carbonio a base di PAN.

Deve essere possibile procedere all'applicazione in un numero di strati maggiore di uno.

I valori misurati delle proprietà meccaniche del tessuto laminato devono essere fornite con una serie di almeno 20 provini.

6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo

Qualsiasi materiale in pessime condizioni deve essere rimosso e il calcestruzzo rimosso deve essere riparato come descritto sopra. Grandi cavità e granulosità devono essere riempite con una malta di ripristino appropriata.

I materiali di ripristino devono essere completamente compatibili con l'adesivo.

La resistenza attuale della struttura di calcestruzzo deve essere verificata con almeno tre test pull-off.

Il calcestruzzo deve essere maturato per almeno 28 giorni.

Lo strato superficiale di calcestruzzo deve essere rimosso e deve essere creata una superficie con porosità aperta.

La superficie del substrato deve essere pulita ed essere esente da olio, grasso e qualsiasi altro contaminante come parti distaccate e polvere.

Per l'applicazione del tessuto di fibra, tutti gli angoli devono essere arrotondati ad un minimo raggio di 20 mm e qualsiasi spigolo acuto deve essere rimosso.

Il contenuto di umidità del sottofondo deve essere minore del 4%.

6.1.2. Tessuto SikaWrap®

I materiali devono soddisfare le prestazioni caratteristiche descritte come segue

6.1.2.1. Proprietà tipiche del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT):

Proprietà tipiche di fibre secche:

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 230000 N/mm ² (MPa)
Resistenza a trazione	EN 2561/ASTM D3039	≈ 4900 N/mm ² (MPa)
Allungamento a rottura	EN 2561/ASTM D3039	2.1 %

Proprietà tipiche del laminato (in rapporto allo spessore della fibra):

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 225000 N/mm ² (MPa)
----------------------	--------------------	--

6.1.3. Adesivo epossidico

L'adesivo deve essere a base epossidica.

La primerizzazione del sottofondo e l'impregnazione del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT) verranno effettuate tramite Sikadur®-330

6.1.3.1. Proprietà tipiche dell'adesivo Sikadur®-330

L'adesivo deve soddisfare la norma EN 1504-4.

Base chimica		Resina epossidica
Densità		1.30 kg/l (a +23°C).
Viscosità (Velocità di taglio 50/S)	+10°C	≈ 10000 mPas
	+23°C	≈ 6000 mPas
	+35°C	≈ 5000 mPas
Coefficiente di dilatazione termica	-10°C a +40°C	4.5 x 10-5 per °C
Resistenza alla deformazione termica. HDT (ASTM D648)	Maturazione	
	7 giorni, +10°C	+36°C
	7 giorni, +23°C	+47°C
	7 giorni, +35°C	+53°C
Temperatura d'uso	23°C Maturazione	da -40°C a +45°C
Resistenza a trazione	DIN EN ISO 527-3	30 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Resistenza coesiva a trazione (struttura sabbiata)	DIN EN ISO 4624	Cedimento del calcestruzzo (> 4 N/mm ²)
Modulo di elasticità a flessione	DIN EN 1465	3800 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Modulo di elasticità a trazione	DIN EN ISO 527-3	4500 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Allungamento a rottura	DIN EN ISO 527-3	0.9% (7 giorni a +23°C)

6.1.4. Procedura di applicazione

Il tessuto deve essere tagliato a misura con speciali forbici.

Uno strato di primer di resina impregnante deve essere applicato sulla superficie della struttura, utilizzando un rullino a pelo corto.

Il tessuto deve essere applicato sulla struttura, pressato e l'impregnazione della resina deve essere eseguita con un rullino a pelo corto, fino a che il tessuto sia completamente saturo.

Gli strati addizionali devono essere installati come descritto sopra, preferibilmente fresco su fresco.

In caso di ricoprimento cementizio, la resina risultante deve essere sparsa con sabbia di quarzo.

L'impregnante deve sempre essere steso nella direzione delle fibre.

Dopo l'applicazione, il tessuto di fibra finito deve essere protetto dalla pioggia, sabbia, polvere e qualsiasi altro contaminante.

Se necessario, il sistema applicato deve essere protetto con un ricoprimento adeguato (prove di compatibilità tra il ricoprimento e il tessuto devono essere disponibili).

7. INFORMAZIONI LEGALI

L'USO E/O L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE E DEI RISPECTIVI RISULTATI DEVONO ESSERE DETERMINATI SOLAMENTE DALL'UTENTE PROFESSIONISTA CON CONOSCENZE SPECIALI NELL'AREA D'USO E/O NELL'APPLICAZIONE PREVISTO/A. GLI UTENTI DEVONO VERIFICARE INDIPENDENTEMENTE I RISULTATI OTTENUTI PRIMA DELL'UTILIZZO. INOLTRE DEVONO SEGUIRE RIGOROSAMENTE LE CONDIZIONI LOCALI D'USO E/O DELL'APPLICAZIONE, I DOCUMENTI DI DATI DI PRODOTTI E LA LETTERATURA RISPETTIVA, LO STATO DELLA TECNICA COSÌ COME LE NORMATIVE E LE REGOLAMENTAZIONI LOCALI.

Il software è disponibile "COSÌ COME È" E SENZA NESSUNA GARANZIA O INDENNIZZO DI ALCUN TIPO. Sika non consegna garanzie, condizioni, indennizzi, rappresentazioni o termini, espresi o impliciti, che sia per statuto, giurisprudenza, abitudine, uso o per qualsiasi altra forma in relazione all'uso del software.

In nessun caso Sika sarà responsabile prima del progettista per qualsiasi danno, reclamo o costi di qualsiasi natura, né di qualsiasi danno risultante, indiretto, accidentale, punitivo o speciale, né di contestazioni o perdite di guadagni o di qualsiasi altro problema che sorga in qualsiasi modo per colpa dell'installazione, utilizzo o manutenzione del software.

Queste informazioni e, in particolare, le raccomandazioni relative all'applicazione e all'uso finale del prodotto sono fornite in buona fede, basate sulla conoscenza attuale e l'esperienza di Sika dei prodotti quando sono correttamente archiviati, maneggiati e applicati, in situazioni normali, dentro della propria vita utile e d'accordo con le raccomandazioni di Sika. Nella pratica, le possibili differenze nei materiali, supporti e condizioni reali nel luogo di applicazione sono tali che non si può dedurre dalle informazioni del presente documento, né da qualsiasi altra raccomandazione scritta, né da alcun consiglio offerto, nessuna garanzia in termini di commercializzazione o idoneità per propositi individuali, né obbligo alcuno fuori da qualsiasi relazione legale che possa esistere. L'utente deve provare la convenienza dei prodotti per l'applicazione e la finalità desiderate. Sika si riserva il diritto di modificare le proprietà dei suoi prodotti. Si riservano i diritti di proprietà di terze parti. Gli ordini sono accettati in conformità con i termini delle nostre vigenti Condizioni Generali di Vendita e Somministrazione. Gli utenti devono conoscere e utilizzare l'ultima versione e aggiornata dei Fogli di Dati di Prodotti, copie delle quali si manderanno a chi lo richieda.

Salvo che venga indicato il contrario, tutte le informazioni, il testo, le immagini grafiche, le caratteristiche o le funzioni, e il disegno contenuto in questo software sono proprietà esclusiva di Sika e non possono essere copiate o distribuite, nella sua totalità o in parte, senza il consenso espresso o per iscritto dell'impresa.

Fornendo le informazioni a Sika, lei concede all'impresa la licenza non ristretta e irrevocabile per utilizzare, riprodurre, esporre, modificare, distribuire e riprodurre tale informazione. L'informazione personale sarà utilizzata da Sika solo per processare richieste d'informazione effettuate dall'utente o per la commercializzazione dei nostri prodotti e servizi.

© Copyright Sika Services AG 2016

8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO

Ingegnerizzato da:



CYPE Software - Eusebio Sempere, 5 - 03003 Alicante (Spagna)

www.cype.com

Sika Services AG
Corporate Tech. Dept.
Tüffewies 16
8048 Zürich (Svizzera)
www.sika.com

Elemento: TRAVE PRINCIPALE
Data: 12/09/2024
Editore: AF
Progetto: 24_51_solaio_P2
Note: VERIFICA A TAGLIO

12/12

BUILDING TRUST

The Sika logo, featuring the word "Sika" in a bold, yellow, sans-serif font inside a red, right-angled triangle. Below the triangle, the words "BUILDING TRUST" are written in a smaller, yellow, sans-serif font.

SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE

PROGETTO: 24_51_solaio_P2

ELEMENTO: TRAVE SECONDARIA

INDICE

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI.....	3
2. IPOTESI DI CALCOLO.....	3
2.1. Dati della trave.....	3
2.2. Dati del progetto.....	3
2.3. Geometria.....	4
2.4. Calcestruzzo.....	4
2.5. Acciaio per armature.....	4
2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali.....	4
2.7. Coefficienti di combinazione di carico.....	5
3. RINFORZO DI FRP.....	5
3.1. Rinforzo principale di FRP.....	5
4. CARICHI.....	5
4.1. Carichi della trave.....	5
5. RISULTATI.....	7
5.1. Riepilogo dei risultati.....	7
5.2. Stati limite ultimi.....	8
5.3. Stati limite di esercizio.....	11
5.4. Verifica delaminazione di estremità FRP e progettazione dell'ancoraggio.....	13
5.5. Configurazione FRP.....	13
6. SPECIFICHE DI PRODOTTO.....	14
6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®.....	14
6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo.....	15
6.1.2. Tessuto SikaWrap®	15

6.1.3. Adesivo epossidico.....	15
6.1.4. Procedura di applicazione.....	16
7. INFORMAZIONI LEGALI.....	17
8. INFORMAZIONI SU SIKА® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO.....	17

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI

Rinforzo a flessione con FRP, secondo:

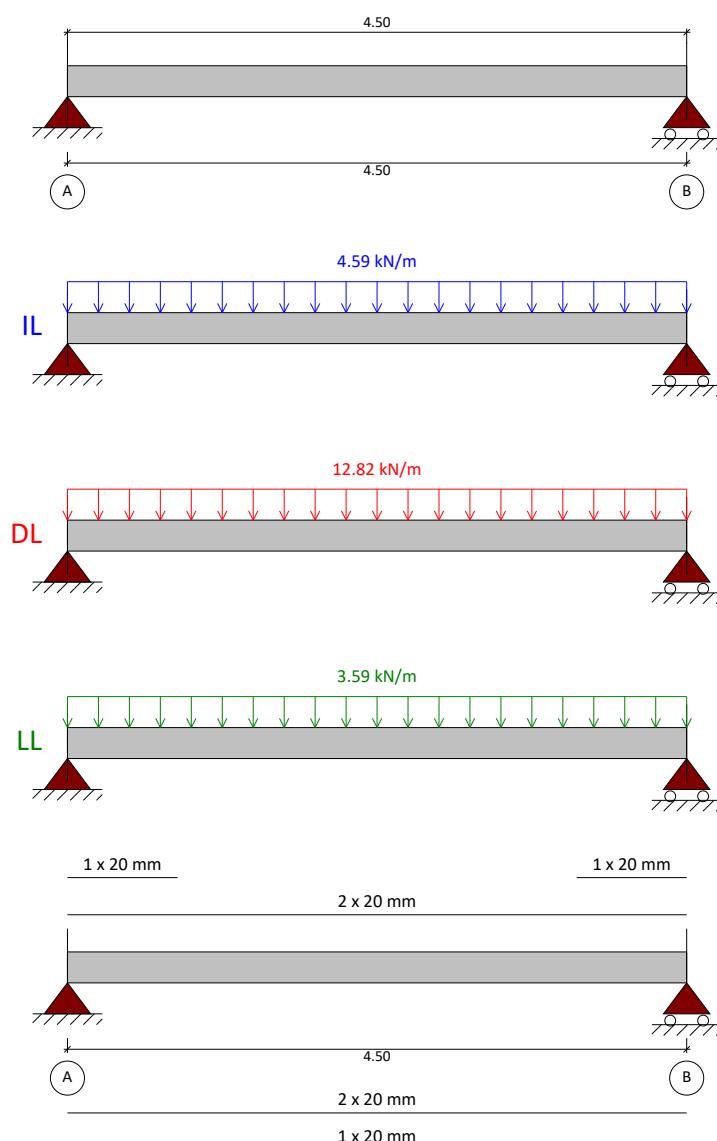
Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. (CNR-DT 200 R1/2013)

Norme Tecniche per le Costruzioni. (17 gennaio 2018)

Paese: Italia

2. IPOTESI DI CALCOLO

2.1. Dati della trave



2.2. Dati del progetto

Scelta dei valori delle resistenze

Input con valori caratteristici (Xk)

Condizione di esposizione

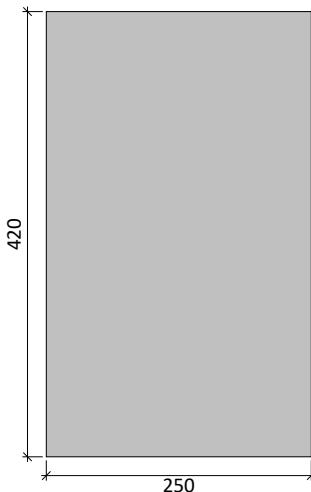
Interna

2.3. Geometria

Sezione trasversale = Rettangolare

Larghezza = 250 mm

Altezza = 420 mm



2.4. Calcestruzzo

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo

Valore caratteristico della resistenza a compressione (f_{ck}) = 20 MPa

Resistenza cilindrica = 20 MPa

Resistenza cubica = 24 MPa

2.5. Acciaio per armature

Armatura superiore	d_1 mm	Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \emptyset (mm)
1.	30	(Acciaio dolce) 230	200000	2 x 20.0
Armatura inferiore	d_1 mm	Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \emptyset (mm)
1.	30	(Acciaio dolce) 230	200000	2 x 20.0

2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali

Definito da (NTC 2018)

Calcestruzzo

γ_c (Combinazione fondamentale) = 1.50

γ_c (Eccezionali) = 1.00

γ_c (Incendio) = 1.00

α_{cc} (Combinazione fondamentale) = 0.85

α_{cc} (Eccezionali) = 0.85

α_{cc} (Incendio) = 1.00

Acciaio

γ_s (Combinazione fondamentale) = 1.30

γ_s (Eccezionali) = 1.00

γ_s (Incendio) = 1.00

2.7. Coefficienti di combinazione di carico

Combinazioni NTC 2018	Carichi permanenti portati	Carichi variabili
Combinazione fondamentale (SLU)	1.30	1.50
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici	1.00	0.30
Resistenza al fuoco	1.00	0.30
SLE, caratteristica	1.00	1.00
SLE, quasi permanente	1.00	0.30

A: Ambienti ad uso residenziale

$\psi_2 = 0.3$

$\eta_a = 0.75$

3. RINFORZO DI FRP

3.1. Rinforzo principale di FRP

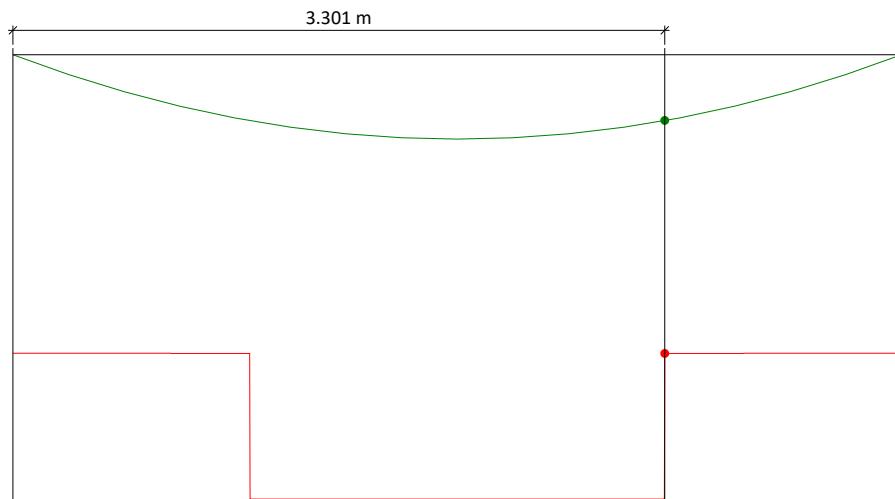
Semplicemente aderente. SikaWrap® C

SikaWrap® 300C - 10 cm (IT)	Tipo di fibra	Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali	ε_f (%)	ε_u (%)	E_f (MPa)	E_u (MPa)	f_u (MPa)	Spessore t_f (mm)	Numero	Larghezza (mm)	Classe
Strato: 1	Carbonio	$\gamma_{rd}: 1.00, \gamma_f: 1.10, \gamma_u: 1.20, \eta_s: 0.75, \eta_a: 0.30$	1.59	1.46	225000.00	210000.00	3070.00	0.166	1	100.00	-

4. CARICHI

4.1. Carichi della trave

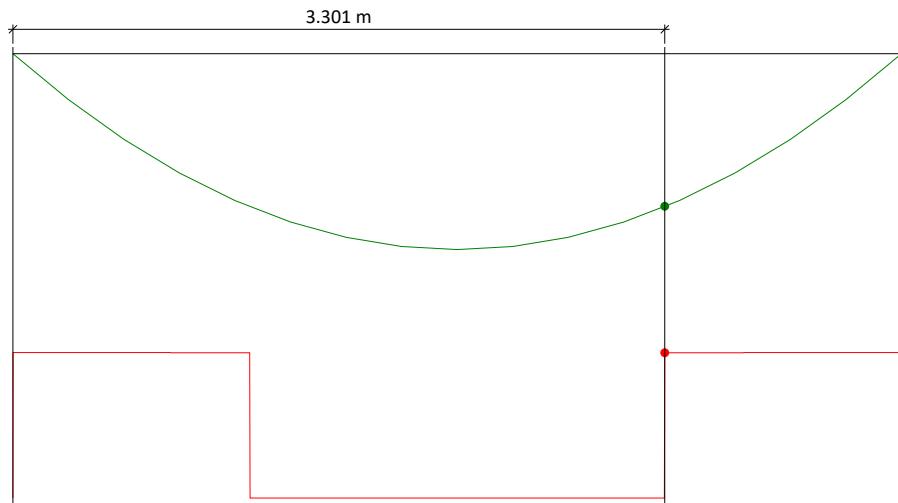
Carichi iniziali



● ME_d (Carichi iniziali) = 9.05 kN·m

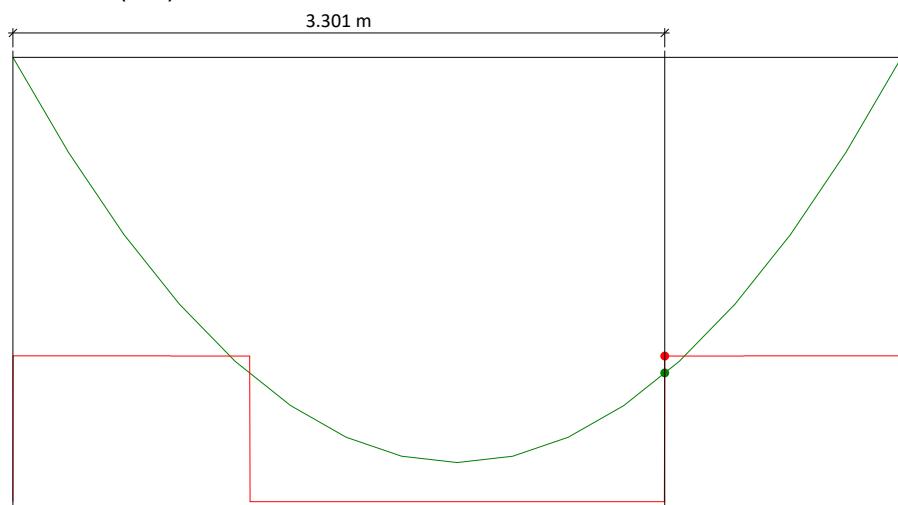
● MR_d (Senza rinforzo) = 41.15 kN·m

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici



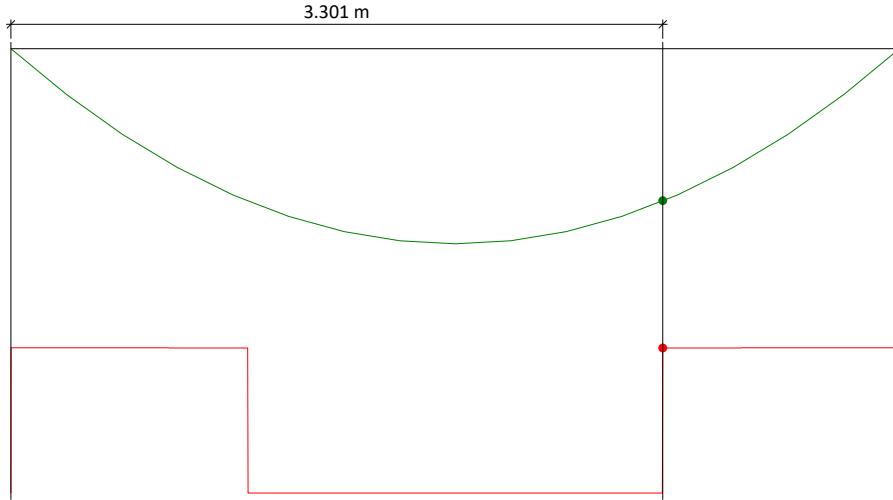
- M_{Ed} (Resistenza alle azioni causate da atti vandalici) = 27.39 kN·m
- M_{Rd} (Senza rinforzo) = 53.71 kN·m

Combinazione fondamentale (SLU)



- M_{Ed} (Combinazione fondamentale (SLU)) = 43.47 kN·m
- M_{Rd} (Senza rinforzo) = 41.15 kN·m

Resistenza al fuoco



- M_{Ed} (Resistenza al fuoco) = 27.39 kN·m
- M_{Rd} (Senza rinforzo) = 53.96 kN·m

5. RISULTATI

5.1. Riepilogo dei risultati

Combinazione fondamentale (SLU)			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d$ ($N_d = N_{Rd}$)
$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$	43.47	48.49	Sezione rinforzata 48.49 kN·m \geq 43.47 kN·m ✓

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d$ ($N_d = N_{Rd}$)
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	27.39	53.71	Sezione non rinforzata 53.71 kN·m \geq 27.39 kN·m ✓

Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 1.00 \cdot S_q$	$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck}$ 3.58 MPa \leq 12.00 MPa ✓	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$ 142.96 MPa \leq 184.00 MPa ✓	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$ 119.54 MPa \leq 689.85 MPa ✓

Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	$\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck}$ 3.06 MPa \leq 9.00 MPa ✓	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$ 121.23 MPa \leq 184.00 MPa ✓	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$ 94.08 MPa \leq 689.85 MPa ✓

Resistenza in caso di incendio (t=0 min.)			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d$ ($N_d = N_{Rd}$)
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	27.39	53.96	Sezione non rinforzata 53.96 kN·m \geq 27.39 kN·m ✓

5.2. Stati limite ultimi

Le ipotesi fondamentali su cui si basa l'analisi allo SLU delle sezioni di c.a. rinforzate con FRP sono le seguenti:

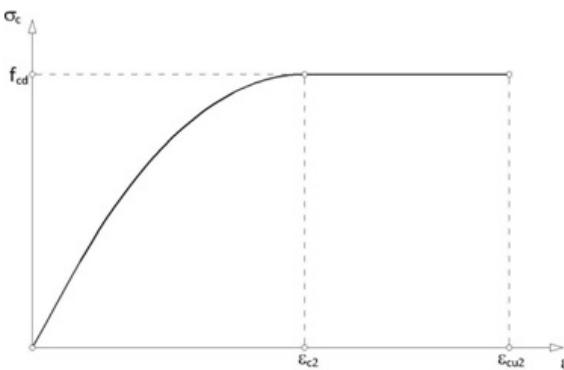
Conservazione della planarità delle sezioni rette fino a rottura, in modo che il diagramma delle deformazioni normali sia lineare.

Perfetta aderenza tra i materiali componenti (acciaio-calcestruzzo, FRP-calcestruzzo).

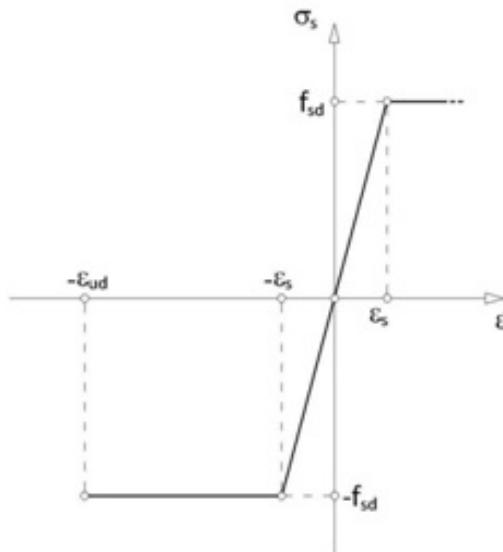
Resistenza a trazione nulla del calcestruzzo.

Legami costitutivi del calcestruzzo e dell'acciaio conformi alla Normativa vigente.

Legame costitutivo del composito fibrorinforzato elastico lineare fino a rottura.

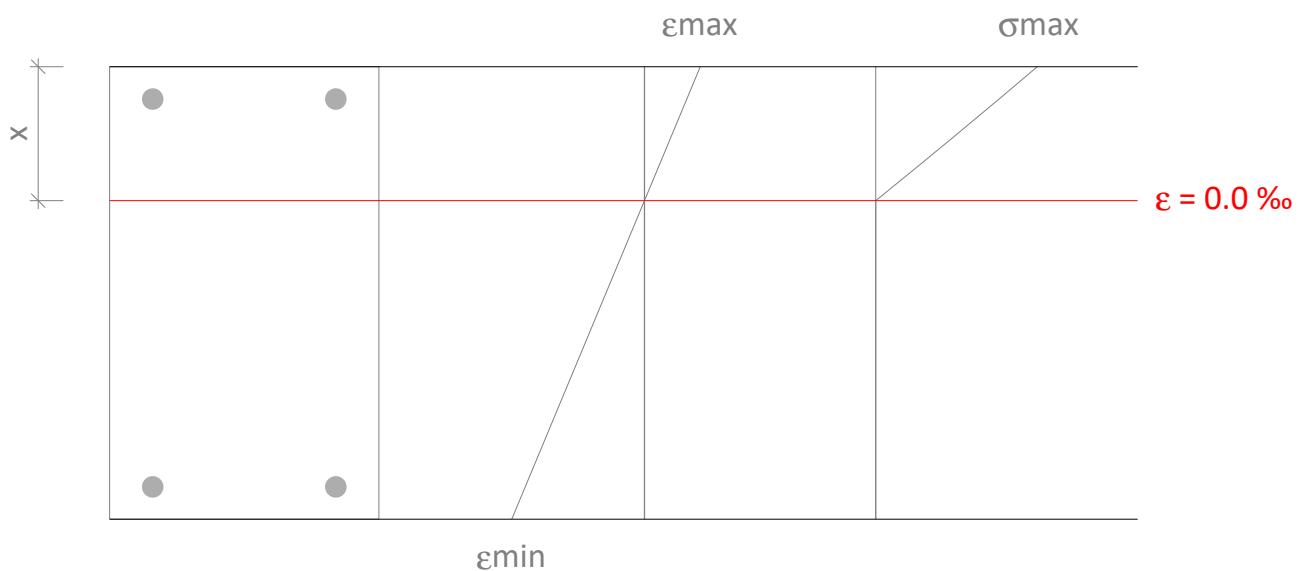


f_{cd} (MPa)	ε_{c0}	ε_{cu}	n
11.3	0.0020	0.0035	2



Carichi iniziali - Elemento senza rinforzi

$M_i = 9.05 \text{ kN} \cdot \text{m}$



Deformazione massima e minima

$$\varepsilon_{\max} = 0.10 \text{ \%}$$

$$\varepsilon_{\min} = -0.23 \text{ \%}$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 1.06 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

$$x = 124.30 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (%)
No. 20	180	14.50	0.07
No. 20	-180	-40.85	-0.20

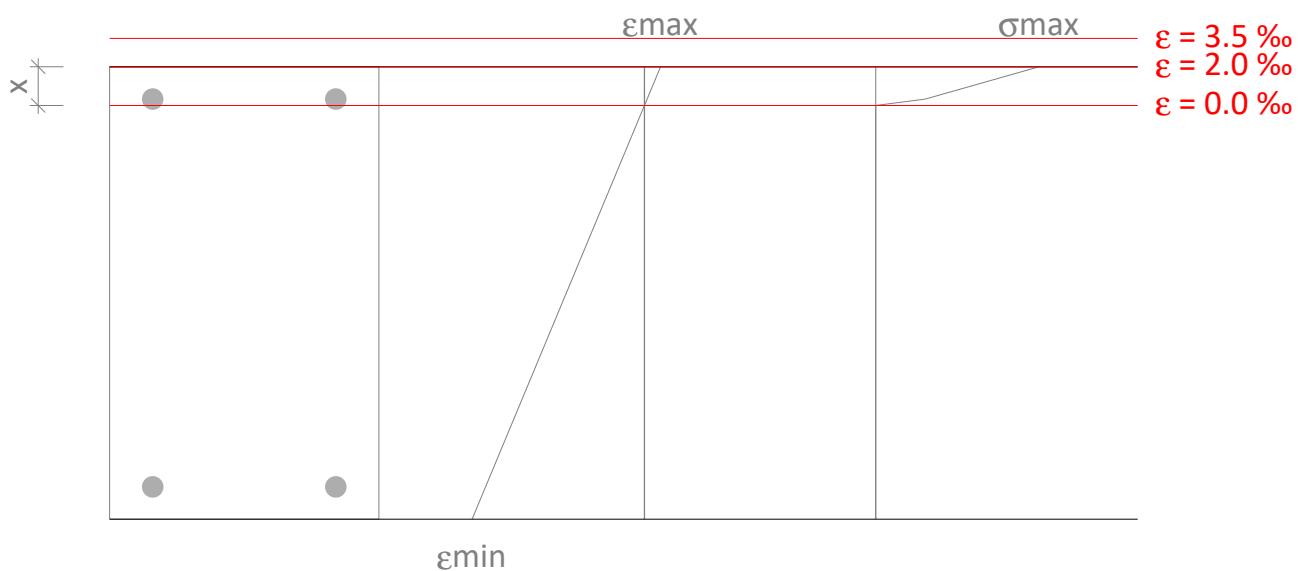
Azioni causate da atti vandalici - Elemento senza rinforzi.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$53.71 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 27.39 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} : \underline{53.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Deformazione massima e minima

$\varepsilon_{\max} = 2.02 \text{ \%}$

$\varepsilon_{\min} = -21.59 \text{ \%}$

Tensione massima del calcestruzzo

$f_c = 17.00 \text{ MPa}$

Profondità della fibra neutra

$x = 35.96 \text{ mm}$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (%)
No. 20	180	66.99	0.33
No. 20	-180	-230.00	-19.90

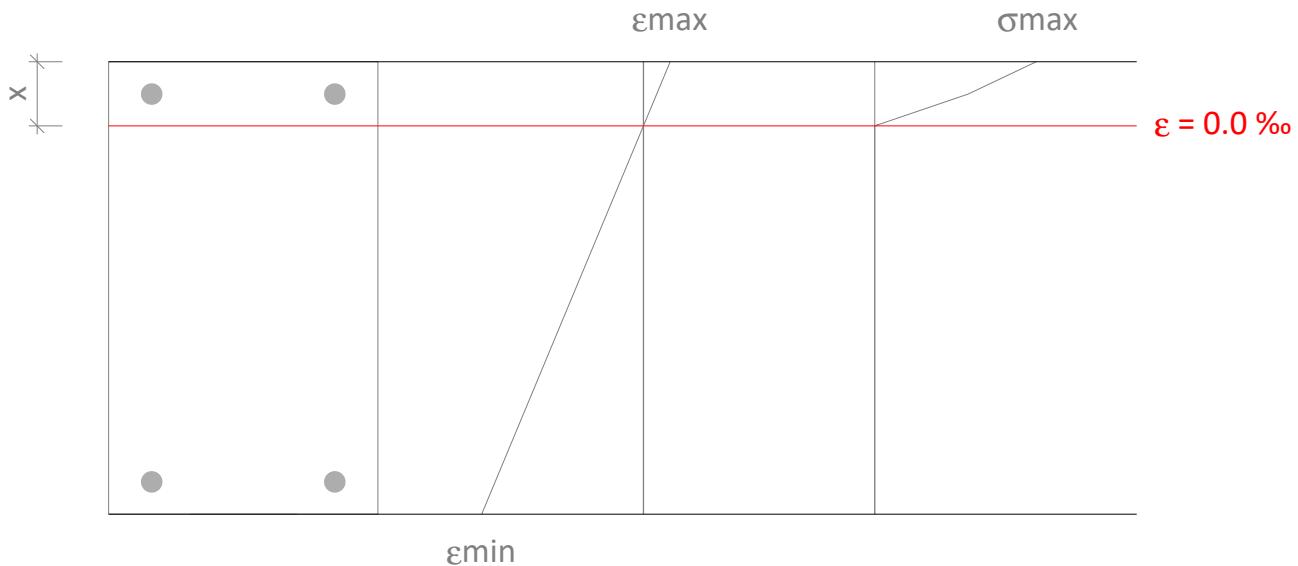
Carichi previsti - Elemento rinforzato

$$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$48.49 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 43.47 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} : \underline{48.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Deformazione massima e minima

$$\varepsilon_{\max} = 0.99 \%$$

$$\varepsilon_{\min} = -5.99 \%$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 8.43 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

$$x = 59.53 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (%)
No. 20	180	98.06	0.49
No. 20	-180	-176.92	-5.49
FRP	-210	-1209.54	-5.76

Resistenza al fuoco. Sezione non rinforzata.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$53.96 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq 27.39 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark$$

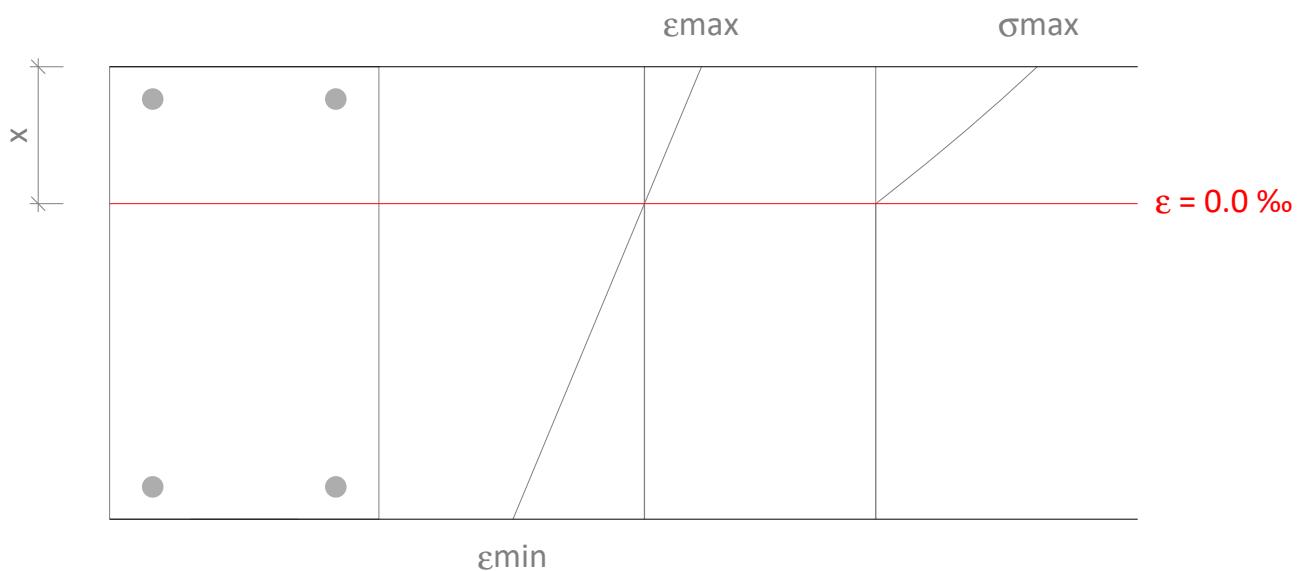
$$M_{Rd} : \underline{53.96} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La resistenza dell'elemento senza rinforzo è sufficiente per resistere alla combinazione di carichi corrispondente alla situazione di incendio. Il rinforzo FRP non è, pertanto, necessario in caso di incendio, non precisando di protezione. In caso si voglia richiedere un tempo determinato di resistenza al fuoco, lo strutturista dovrà valutare la protezione dell'elemento di calcestruzzo armato in accordo con le normative locali vigenti.

5.3. Stati limite di esercizio

Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione caratteristica (SLE)

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 1.00 \cdot S_q$$



Deformazione massima e minima

$\varepsilon_{\max} = 0.35 \text{ \%}$

$\varepsilon_{\min} = -0.80 \text{ \%}$

Tensione massima del calcestruzzo

$f_c = 3.58 \text{ MPa}$

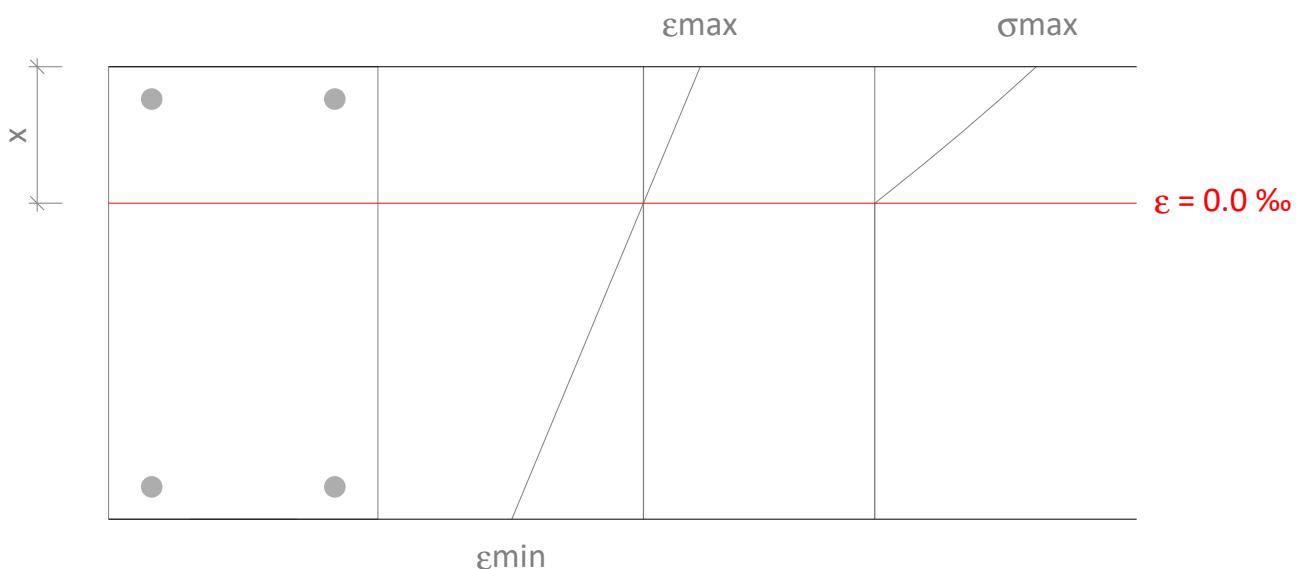
Profondità della fibra neutra

$x = 127.10 \text{ mm}$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (%)
No. 20	180	52.80	0.26
No. 20	-180	-142.96	-0.71
FRP	-210	-119.54	-0.57

Equilibrio delle forze nella sezione. Combinazione quasi permanente (SLE)

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$$



Deformazione massima e minima

$$\varepsilon_{\max} = 0.29 \text{ \%o}$$

$$\varepsilon_{\min} = -0.68 \text{ \%o}$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 3.06 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

$$x = 126.66 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (\%)
No. 20	180	44.50	0.22
No. 20	-180	-121.23	-0.61
FRP	-210	-94.08	-0.45

5.4. Verifica delaminazione di estremità FRP e progettazione dell'ancoraggio

SLE, caratteristica (Rinforzo principale di FRP)	$\tau_{be} \leq f_{bd}$	$0.01 \text{ MPa} \leq 0.50 \text{ MPa}$	✓	$x = [1.11, 1.12] \text{ m}$
SLE, frequente (Rinforzo principale di FRP)	$\tau_{be} \leq f_{bd}$	$0.01 \text{ MPa} \leq 0.41 \text{ MPa}$	✓	$x = [1.10, 1.11] \text{ m}$
Ancoraggio (Rinforzo principale di FRP)	$f_d \leq f_{fdd,rid}$	$515.07 \text{ MPa} \leq 739.43 \text{ MPa}$	✓	$x = 1.20 \text{ m}$

5.5. Configurazione FRP

I risultati precedenti corrispondono alla seguente configurazione di FRP:

Rinforzo principale di FRP: 1 (SikaWrap® 300C - 10 cm (IT))



6. SPECIFICHE DI PRODOTTO

6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®

Il rinforzo deve essere realizzato tramite un tessuto unidirezionale di fibra di carbonio, impregnato e legato esternamente alla struttura con adesivo epossidico Sikadur®-330

Il materiale deve essere una piastra CFRP pultruso, unidirezionale, con un contenuto volumetrico di fibra di carbonio >68%.

Le fibre devono essere allineate e libere da torsione.

Il materiale deve disporre di referenze di utilizzo (> 25 anni) nel rinforzo strutturale.

Il tessuto di fibre deve essere unidirezionale e fabbricato con fibre di carbonio a base di PAN.

Deve essere possibile procedere all'applicazione in un numero di strati maggiore di uno.

Il materiale deve avere un lungo registro cronologico per il rinforzo strutturale.

I valori misurati delle proprietà meccaniche del tessuto laminato devono essere fornite con una serie di almeno 20 provini.

6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo

Qualsiasi materiale in pessime condizioni deve essere rimosso e il calcestruzzo rimosso deve essere riparato come descritto sopra. Grandi cavità e granulosità devono essere riempite con una malta di ripristino appropriata.

I materiali di ripristino devono essere completamente compatibili con l'adesivo.

La resistenza attuale della struttura di calcestruzzo deve essere verificata con almeno tre test pull-off.

Il calcestruzzo deve essere maturato per almeno 28 giorni.

Lo strato superficiale di calcestruzzo deve essere rimosso e deve essere creata una superficie con porosità aperta.

La superficie del substrato deve essere pulita ed essere esente da olio, grasso e qualsiasi altro contaminante come parti distaccate e polvere.

Per l'applicazione del tessuto di fibra, tutti gli angoli devono essere arrotondati ad un minimo raggio di 20 mm e qualsiasi spigolo acuto deve essere rimosso.

Il contenuto di umidità del sottofondo deve essere minore del 4%.

6.1.2. Tessuto SikaWrap®

I materiali devono soddisfare le prestazioni caratteristiche descritte come segue

6.1.2.1. Proprietà tipiche del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT):

Proprietà tipiche di fibre secche:

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 230000 N/mm ² (MPa)
Resistenza a trazione	EN 2561/ASTM D3039	≈ 4900 N/mm ² (MPa)
Allungamento a rottura	EN 2561/ASTM D3039	2.1 %

Proprietà tipiche del laminato (in rapporto allo spessore della fibra):

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 225000 N/mm ² (MPa)
----------------------	--------------------	--

6.1.3. Adesivo epossidico

L'adesivo deve essere a base epossidica.

La primerizzazione del sottofondo e l'impregnazione del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT) verranno effettuate tramite Sikadur®-330

6.1.3.1. Proprietà tipiche dell'adesivo Sikadur®-330

L'adesivo deve soddisfare la norma EN 1504-4.

Base chimica		Resina epossidica
Densità		1.30 kg/l (a +23°C).
Viscosità (Velocità di taglio 50/S)	+10°C	≈ 10000 mPas
	+23°C	≈ 6000 mPas
	+35°C	≈ 5000 mPas
Coefficiente di dilatazione termica	-10°C a +40°C	4.5 x 10-5 per °C
Resistenza alla deformazione termica. HDT (ASTM D648)	Maturazione	
	7 giorni, +10°C	+36°C
	7 giorni, +23°C	+47°C
	7 giorni, +35°C	+53°C
Temperatura d'uso	23°C Maturazione	da -40°C a +45°C
Resistenza a trazione	DIN EN ISO 527-3	30 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Resistenza coesiva a trazione (struttura sabbiata)	DIN EN ISO 4624	Cedimento del calcestruzzo (> 4 N/mm ²)
Modulo di elasticità a flessione	DIN EN 1465	3800 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Modulo di elasticità a trazione	DIN EN ISO 527-3	4500 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Allungamento a rottura	DIN EN ISO 527-3	0.9% (7 giorni a +23°C)

6.1.4. Procedura di applicazione

Il tessuto deve essere tagliato a misura con speciali forbici.

Uno strato di primer di resina impregnante deve essere applicato sulla superficie della struttura, utilizzando un rullino a pelo corto.

Il tessuto deve essere applicato sulla struttura, pressato e l'impregnazione della resina deve essere eseguita con un rullino a pelo corto, fino a che il tessuto sia completamente saturo.

Gli strati addizionali devono essere installati come descritto sopra, preferibilmente fresco su fresco.

In caso di ricoprimento cementizio, la resina risultante deve essere sparsa con sabbia di quarzo.

L'impregnante deve sempre essere steso nella direzione delle fibre.

Dopo l'applicazione, il tessuto di fibra finito deve essere protetto dalla pioggia, sabbia, polvere e qualsiasi altro contaminante.

Se necessario, il sistema applicato deve essere protetto con un ricoprimento adeguato (prove di compatibilità tra il ricoprimento e il tessuto devono essere disponibili).

7. INFORMAZIONI LEGALI

L'USO E/O L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE E DEI RISPECTIVI RISULTATI DEVONO ESSERE DETERMINATI SOLAMENTE DALL'UTENTE PROFESSIONISTA CON CONOSCENZE SPECIALI NELL'AREA D'USO E/O NELL'APPLICAZIONE PREVISTO/A. GLI UTENTI DEVONO VERIFICARE INDIPENDENTEMENTE I RISULTATI OTTENUTI PRIMA DELL'UTILIZZO. INOLTRE DEVONO SEGUIRE RIGOROSAMENTE LE CONDIZIONI LOCALI D'USO E/O DELL'APPLICAZIONE, I DOCUMENTI DI DATI DI PRODOTTI E LA LETTERATURA RISPETTIVA, LO STATO DELLA TECNICA COSÌ COME LE NORMATIVE E LE REGOLAMENTAZIONI LOCALI.

Il software è disponibile "COSÌ COME È" E SENZA NESSUNA GARANZIA O INDENNIZZO DI ALCUN TIPO. Sika non consegna garanzie, condizioni, indennizzi, rappresentazioni o termini, espresi o impliciti, che sia per statuto, giurisprudenza, abitudine, uso o per qualsiasi altra forma in relazione all'uso del software.

In nessun caso Sika sarà responsabile prima del progettista per qualsiasi danno, reclamo o costi di qualsiasi natura, né di qualsiasi danno risultante, indiretto, accidentale, punitivo o speciale, né di contestazioni o perdite di guadagni o di qualsiasi altro problema che sorga in qualsiasi modo per colpa dell'installazione, utilizzo o manutenzione del software.

Queste informazioni e, in particolare, le raccomandazioni relative all'applicazione e all'uso finale del prodotto sono fornite in buona fede, basate sulla conoscenza attuale e l'esperienza di Sika dei prodotti quando sono correttamente archiviati, maneggiati e applicati, in situazioni normali, dentro della propria vita utile e d'accordo con le raccomandazioni di Sika. Nella pratica, le possibili differenze nei materiali, supporti e condizioni reali nel luogo di applicazione sono tali che non si può dedurre dalle informazioni del presente documento, né da qualsiasi altra raccomandazione scritta, né da alcun consiglio offerto, nessuna garanzia in termini di commercializzazione o idoneità per propositi individuali, né obbligo alcuno fuori da qualsiasi relazione legale che possa esistere. L'utente deve provare la convenienza dei prodotti per l'applicazione e la finalità desiderate. Sika si riserva il diritto di modificare le proprietà dei suoi prodotti. Si riservano i diritti di proprietà di terze parti. Gli ordini sono accettati in conformità con i termini delle nostre vigenti Condizioni Generali di Vendita e Somministrazione. Gli utenti devono conoscere e utilizzare l'ultima versione e aggiornata dei Fogli di Dati di Prodotti, copie delle quali si manderanno a chi lo richieda.

Salvo che venga indicato il contrario, tutte le informazioni, il testo, le immagini grafiche, le caratteristiche o le funzioni, e il disegno contenuto in questo software sono proprietà esclusiva di Sika e non possono essere copiate o distribuite, nella sua totalità o in parte, senza il consenso espresso o per iscritto dell'impresa.

Fornendo le informazioni a Sika, lei concede all'impresa la licenza non ristretta e irrevocabile per utilizzare, riprodurre, esporre, modificare, distribuire e riprodurre tale informazione. L'informazione personale sarà utilizzata da Sika solo per processare richieste d'informazione effettuate dall'utente o per la commercializzazione dei nostri prodotti e servizi.

© Copyright Sika Services AG 2016

8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO

Ingegnerizzato da:



CYPE Software - Eusebio Sempere, 5 - 03003 Alicante (Spagna)

www.cype.com

SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE

PROGETTO: 24_51_solaio_P2

ELEMENTO: TRAVE SECONDARIA

INDICE

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI.....	3
2. IPOTESI DI CALCOLO.....	3
2.1. Dati della trave.....	3
2.2. Dati del progetto.....	3
2.3. Geometria.....	4
2.4. Calcestruzzo.....	4
2.5. Acciaio di rinforzo a taglio.....	4
2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali.....	4
2.7. Coefficienti di combinazione di carico.....	5
2.8. Fattore di conversione ambientale.....	5
3. RINFORZO A TAGLIO CON FRP.....	5
3.1. Proprietà del rinforzo FRP.....	5
3.2. Resistenza di progetto a "taglio compressione".....	5
3.3. Resistenza di progetto a "taglio trazione".....	5
3.4. Capacità a taglio-trazione del sistema di rinforzo FRP.....	6
4. CARICHI.....	6
4.1. Carichi della trave.....	6
5. RISULTATI.....	8
5.1. Riepilogo dei risultati.....	8
5.2. Configurazione FRP.....	8
6. SPECIFICHE DI PRODOTTO.....	9
6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®.....	9
6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo.....	9

6.1.2. Tessuto SikaWrap®.....	10
6.1.3. Adesivo epossidico.....	10
6.1.4. Procedura di applicazione.....	11
7. INFORMAZIONI LEGALI.....	12
8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO.....	12

1. CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI

Rinforzo a taglio con FRP, secondo:

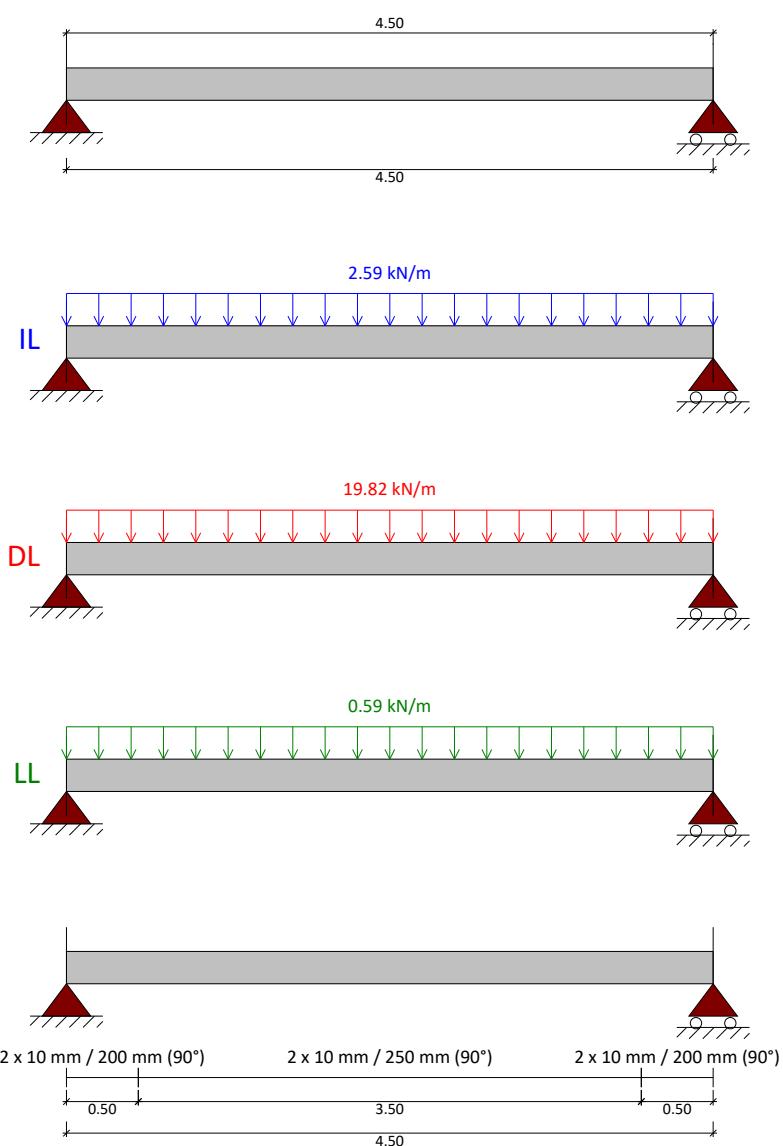
Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. (CNR-DT 200 R1/2013)

Norme Tecniche per le Costruzioni. (17 gennaio 2018)

Paese: Italia

2. IPOTESI DI CALCOLO

2.1. Dati della trave



2.2. Dati del progetto

Scelta dei valori delle resistenze

Input con valori caratteristici (Xk)

Condizione di esposizione

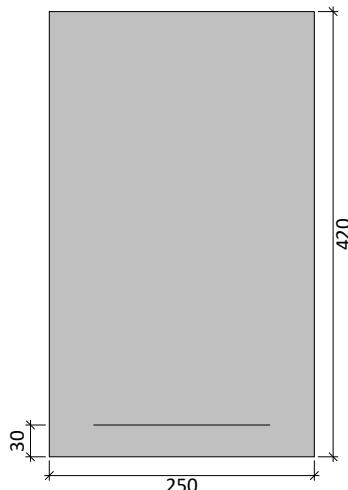
Interna

2.3. Geometria

Larghezza (b_w) = 250 mm

Altezza (h) = 420 mm

Distanza al baricentro delle armature (c) = 30 mm



2.4. Calcestruzzo

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo

Valore caratteristico della resistenza a compressione (f_{ck}) = 20.00 MPa

Resistenza cilindrica = 20.00 MPa

Resistenza cubica = 24.10 MPa

2.5. Acciaio di rinforzo a taglio

Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \emptyset (mm)	Distanza d'interasse (mm)	Angolo (°)
(Acciaio dolce) 230.00	200000.00	2 x 10.0	250	90.0

2.6. Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali

Definito da (NTC 2018)

Calcestruzzo

γ_c (Combinazione fondamentale) = 1.50

γ_c (Eccezionali) = 1.00

γ_c (Incendio) = 1.00

α_{cc} (Combinazione fondamentale) = 0.85

α_{cc} (Eccezionali) = 0.85

α_{cc} (Incendio) = 1.00

Acciaio

γ_s (Combinazione fondamentale) = 1.30

γ_s (Eccezionali) = 1.00

γ_s (Incendio) = 1.00

2.7. Coefficienti di combinazione di carico

Combinazioni NTC 2018	Carichi permanenti portati	Carichi variabili
Combinazione fondamentale (SLU)	1.30	1.50
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici	1.00	0.30
Resistenza al fuoco	1.00	0.30

A: Ambienti ad uso residenziale

$$\psi_2 = 0.3$$

2.8. Fattore di conversione ambientale

Tipo di fibra: Carbonio

$$\eta_a = 0.95$$

3. RINFORZO A TAGLIO CON FRP

3.1. Proprietà del rinforzo FRP

Configurazione del cordolo: Cordolo ad "U" a 3 facce

Bandie discrete

Coefficienti parziali per i modelli di resistenza	γ_{Rd}
Taglio	1.20

Coefficienti parziali per i materiali FRP	γ_f
SLU	1.10

Rinforzo FRP	ε_f (%)	ε_{fk} (%)	E_f (MPa)	E_{fk} (MPa)	f_{fk} (MPa)	Spessore t_f (mm)	Strati	Larghezza (mm)	Classe
SikaWrap® 300C - 10 cm (IT)	1.59	1.46	225000.00	210000.00	3070.00	0.166	1	100	-

3.2. Resistenza di progetto a "taglio compressione"

Con riferimento alla biella compressa di calcestruzzo, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con:

$$V_{Rd,c} : 248.63 \text{ kN}$$

d (mm)	b_w (mm)	α_c	v	f_{cd} (MPa)	α (°)	θ (°)
390	250	1.0	0.5	11.33	90.0	45.0

3.3. Resistenza di progetto a "taglio trazione"

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rd,s} : 39.02 \text{ kN}$$

A_{sw} (mm ²)	s (mm)	f_{yd} (MPa)
157	250	176.92

3.4. Capacità a taglio-trazione del sistema di rinforzo FRP

Il contributo del sistema di rinforzo FRP, può essere valutato in base al meccanismo a traliccio di Mörsch mediante la seguente formula:

$$V_{Rd,f} : 29.61 \text{ kN}$$

Nel caso di disposizione ad U su una sezione rettangolare, la tensione efficace di calcolo del sistema di rinforzo è fornita dalla relazione:

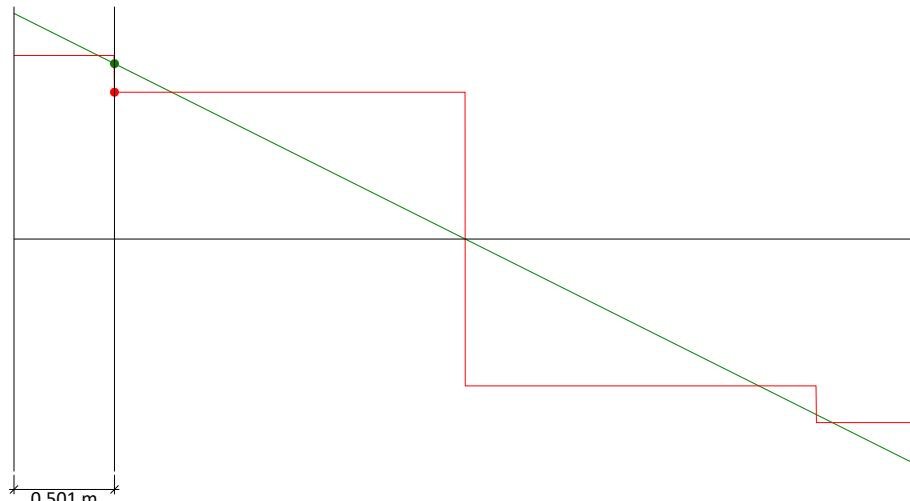
$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_{ed} \cdot \sin \beta}{\min \{0, 9 \cdot d, h_w\}} \right] \quad f_{fed} : 579.32 \text{ kN}$$

$l_{ed,d}$ (mm)	f_{fdd} (MPa)	f_{fd} (MPa)	h_w (mm)	β	b_f (mm)	p_f (mm)
200.00	715.15	-	420	90.0	100	190

4. CARICHI

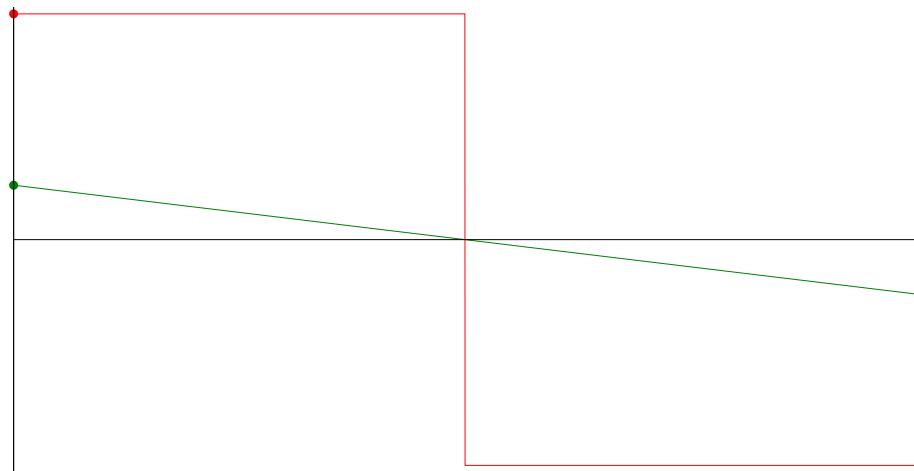
4.1. Carichi della trave

Combinazione fondamentale (SLU)



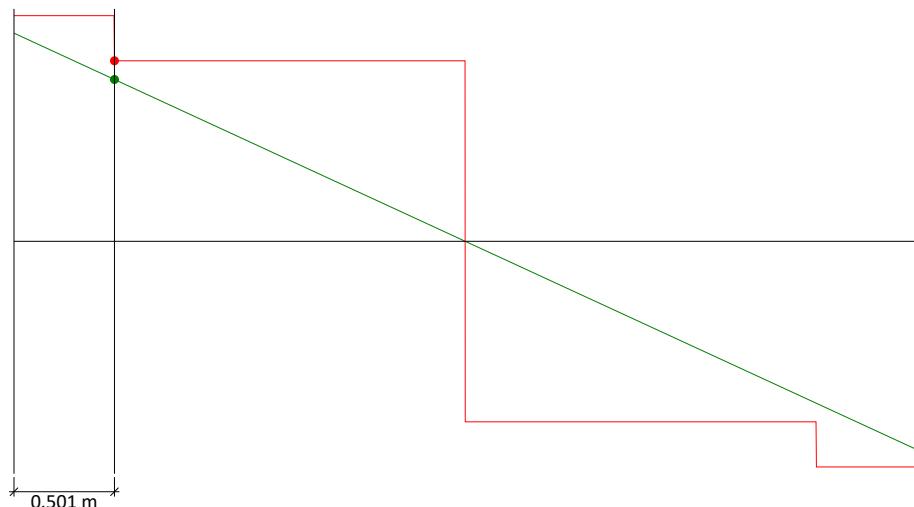
- V_{Ed} (Combinazione fondamentale (SLU)) = 46.61 kN
- VR_d (Senza rinforzo) = 39.02 kN

Combinazione fondamentale (SLU) (Biella compressa di calcestruzzo)



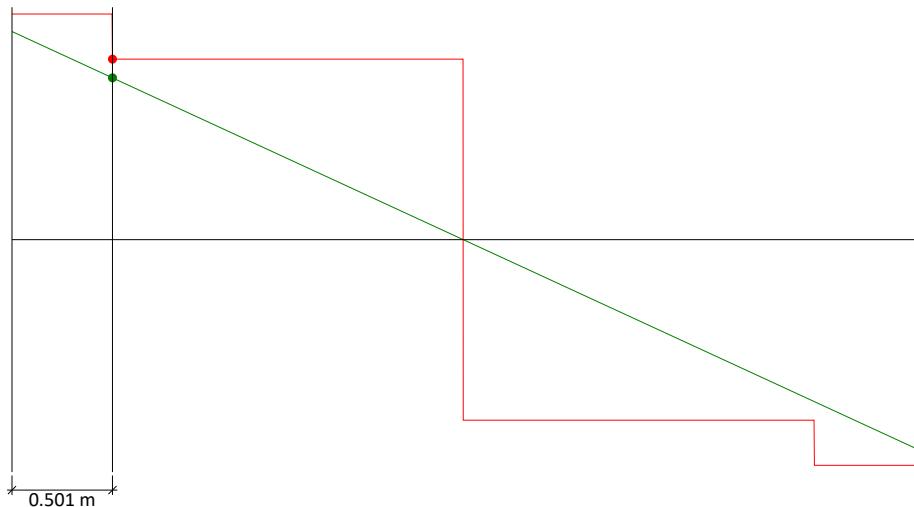
- V_{Ed} (Combinazione fondamentale (SLU)) = 59.96 kN
- VR_d (Senza rinforzo) = 248.63 kN

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici



- V_{Ed} (Carichi iniziali) = 34.97 kN
- VR_d (Senza rinforzo) = 50.72 kN

Resistenza al fuoco



- V_{Ed} (Resistenza al fuoco) = 34.97 kN
- V_{Rd} (Senza rinforzo) = 50.72 kN

5. RISULTATI

5.1. Riepilogo dei risultati

Combinazione fondamentale (SLU)					
carico	V_d (kN)	V_{Rcd} (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)	$V_{Rd,f}$ (kN)	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd} + V_{Rd,s} + V_{Rd,f}) = 68.63 \text{ kN}; V_{Rd} \geq V_d$
$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_g + 1.50 \cdot S_q$	46.61	248.63	39.02	29.61	Sezione rinforzata ✓
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici					
carico	V_d (kN)	V_{Rcd} (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)	$V_{Rd,f}$ (kN)	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd} + V_{Rd,s}) = 50.72 \text{ kN}; V_{Rd} \geq V_d$
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	34.97	372.94	50.72		Sezione non rinforzata ✓
Situazione di fuoco (istante iniziale)					
carico	V_d (kN)	V_{Rcd} (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)	$V_{Rd,f}$ (kN)	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd} + V_{Rd,s}) = 50.72 \text{ kN}; V_{Rd} \geq V_d$
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_g + 0.30 \cdot S_q$	34.97	372.94	50.72		Sezione non rinforzata ✓

5.2. Configurazione FRP

I risultati precedenti corrispondono alla seguente configurazione di FRP:

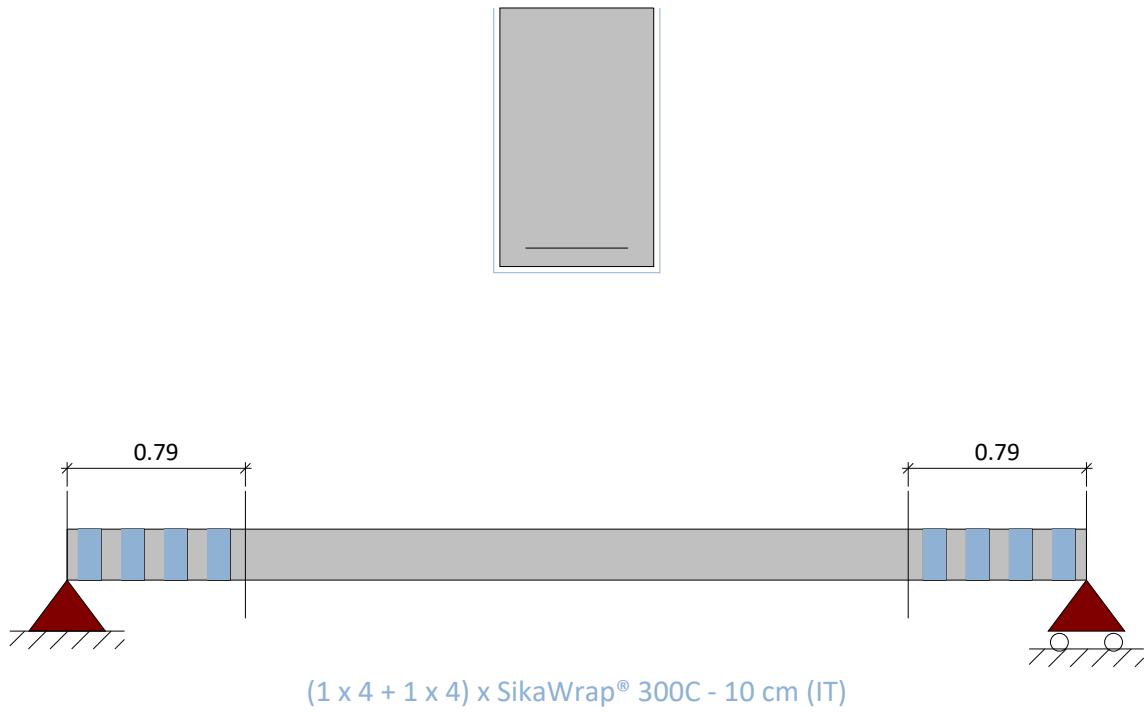
1 strato di SikaWrap® 300C - 10 cm (IT)

Configurazione del cordolo: Cordolo ad "U" a 3 facce

Bande discrete

Angolo: 90.0 °

Distanza d'interasse: 190 mm



6. SPECIFICHE DI PRODOTTO

6.1. Sistema di rinforzo realizzato in situ SikaWrap®

Il rinforzo deve essere realizzato tramite un tessuto unidirezionale di fibra di carbonio, impregnato e legato esternamente alla struttura con adesivo epossidico Sikadur®-330

Le fibre devono essere allineate e libere da torsione.

Il materiale deve disporre di referenze di utilizzo (> 25 anni) nel rinforzo strutturale.

Il tessuto di fibre deve essere unidirezionale e fabbricato con fibre di carbonio a base di PAN.

Deve essere possibile procedere all'applicazione in un numero di strati maggiore di uno.

I valori misurati delle proprietà meccaniche del tessuto laminato devono essere fornite con una serie di almeno 20 provini.

6.1.1. Preparazione della superficie di calcestruzzo

Qualsiasi materiale in pessime condizioni deve essere rimosso e il calcestruzzo rimosso deve essere riparato come descritto sopra. Grandi cavità e granulosità devono essere riempite con una malta di ripristino appropriata.

I materiali di ripristino devono essere completamente compatibili con l'adesivo.

La resistenza attuale della struttura di calcestruzzo deve essere verificata con almeno tre test pull-off.

Il calcestruzzo deve essere maturato per almeno 28 giorni.

Lo strato superficiale di calcestruzzo deve essere rimosso e deve essere creata una superficie con porosità aperta.

La superficie del substrato deve essere pulita ed essere esente da olio, grasso e qualsiasi altro contaminante come parti distaccate e polvere.

Per l'applicazione del tessuto di fibra, tutti gli angoli devono essere arrotondati ad un minimo raggio di 20 mm e qualsiasi spigolo acuto deve essere rimosso.

Il contenuto di umidità del sottofondo deve essere minore del 4%.

6.1.2. Tessuto SikaWrap®

I materiali devono soddisfare le prestazioni caratteristiche descritte come segue

6.1.2.1. Proprietà tipiche del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT):

Proprietà tipiche di fibre secche:

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 230000 N/mm ² (MPa)
Resistenza a trazione	EN 2561/ASTM D3039	≈ 4900 N/mm ² (MPa)
Allungamento a rottura	EN 2561/ASTM D3039	2.1 %

Proprietà tipiche del laminato (in rapporto allo spessore della fibra):

Modulo di elasticità	EN 2561/ASTM D3039	≈ 225000 N/mm ² (MPa)
----------------------	--------------------	--

6.1.3. Adesivo epossidico

L'adesivo deve essere a base epossidica.

La primerizzazione del sottofondo e l'impregnazione del tessuto SikaWrap® 300C - 10 cm (IT) verranno effettuate tramite Sikadur®-330

6.1.3.1. Proprietà tipiche dell'adesivo Sikadur®-330

L'adesivo deve soddisfare la norma EN 1504-4.

Base chimica		Resina epossidica
Densità		1.30 kg/l (a +23°C).
Viscosità (Velocità di taglio 50/S)	+10°C	≈ 10000 mPas
	+23°C	≈ 6000 mPas
	+35°C	≈ 5000 mPas
Coefficiente di dilatazione termica	-10°C a +40°C	4.5 x 10-5 per °C
Resistenza alla deformazione termica. HDT (ASTM D648)	Maturazione	
	7 giorni, +10°C	+36°C
	7 giorni, +23°C	+47°C
	7 giorni, +35°C	+53°C
Temperatura d'uso	23°C Maturazione	da -40°C a +45°C
Resistenza a trazione	DIN EN ISO 527-3	30 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Resistenza coesiva a trazione (struttura sabbiata)	DIN EN ISO 4624	Cedimento del calcestruzzo (> 4 N/mm ²)
Modulo di elasticità a flessione	DIN EN 1465	3800 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Modulo di elasticità a trazione	DIN EN ISO 527-3	4500 N/mm ² (7 giorni a +23°C)
Allungamento a rottura	DIN EN ISO 527-3	0.9% (7 giorni a +23°C)

6.1.4. Procedura di applicazione

Il tessuto deve essere tagliato a misura con speciali forbici.

Uno strato di primer di resina impregnante deve essere applicato sulla superficie della struttura, utilizzando un rullino a pelo corto.

Il tessuto deve essere applicato sulla struttura, pressato e l'impregnazione della resina deve essere eseguita con un rullino a pelo corto, fino a che il tessuto sia completamente saturo.

Gli strati addizionali devono essere installati come descritto sopra, preferibilmente fresco su fresco.

In caso di ricoprimento cementizio, la resina risultante deve essere sparsa con sabbia di quarzo.

L'impregnante deve sempre essere steso nella direzione delle fibre.

Dopo l'applicazione, il tessuto di fibra finito deve essere protetto dalla pioggia, sabbia, polvere e qualsiasi altro contaminante.

Se necessario, il sistema applicato deve essere protetto con un ricoprimento adeguato (prove di compatibilità tra il ricoprimento e il tessuto devono essere disponibili).

7. INFORMAZIONI LEGALI

L'USO E/O L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE E DEI RISPECTIVI RISULTATI DEVONO ESSERE DETERMINATI SOLAMENTE DALL'UTENTE PROFESSIONISTA CON CONOSCENZE SPECIALI NELL'AREA D'USO E/O NELL'APPLICAZIONE PREVISTO/A. GLI UTENTI DEVONO VERIFICARE INDIPENDENTEMENTE I RISULTATI OTTENUTI PRIMA DELL'UTILIZZO. INOLTRE DEVONO SEGUIRE RIGOROSAMENTE LE CONDIZIONI LOCALI D'USO E/O DELL'APPLICAZIONE, I DOCUMENTI DI DATI DI PRODOTTI E LA LETTERATURA RISPETTIVA, LO STATO DELLA TECNICA COSÌ COME LE NORMATIVE E LE REGOLAMENTAZIONI LOCALI.

Il software è disponibile "COSÌ COME È" E SENZA NESSUNA GARANZIA O INDENNIZZO DI ALCUN TIPO. Sika non consegna garanzie, condizioni, indennizzi, rappresentazioni o termini, espresi o impliciti, che sia per statuto, giurisprudenza, abitudine, uso o per qualsiasi altra forma in relazione all'uso del software.

In nessun caso Sika sarà responsabile prima del progettista per qualsiasi danno, reclamo o costi di qualsiasi natura, né di qualsiasi danno risultante, indiretto, accidentale, punitivo o speciale, né di contestazioni o perdite di guadagni o di qualsiasi altro problema che sorga in qualsiasi modo per colpa dell'installazione, utilizzo o manutenzione del software.

Queste informazioni e, in particolare, le raccomandazioni relative all'applicazione e all'uso finale del prodotto sono fornite in buona fede, basate sulla conoscenza attuale e l'esperienza di Sika dei prodotti quando sono correttamente archiviati, maneggiati e applicati, in situazioni normali, dentro della propria vita utile e d'accordo con le raccomandazioni di Sika. Nella pratica, le possibili differenze nei materiali, supporti e condizioni reali nel luogo di applicazione sono tali che non si può dedurre dalle informazioni del presente documento, né da qualsiasi altra raccomandazione scritta, né da alcun consiglio offerto, nessuna garanzia in termini di commercializzazione o idoneità per propositi individuali, né obbligo alcuno fuori da qualsiasi relazione legale che possa esistere. L'utente deve provare la convenienza dei prodotti per l'applicazione e la finalità desiderate. Sika si riserva il diritto di modificare le proprietà dei suoi prodotti. Si riservano i diritti di proprietà di terze parti. Gli ordini sono accettati in conformità con i termini delle nostre vigenti Condizioni Generali di Vendita e Somministrazione. Gli utenti devono conoscere e utilizzare l'ultima versione e aggiornata dei Fogli di Dati di Prodotti, copie delle quali si manderanno a chi lo richieda.

Salvo che venga indicato il contrario, tutte le informazioni, il testo, le immagini grafiche, le caratteristiche o le funzioni, e il disegno contenuto in questo software sono proprietà esclusiva di Sika e non possono essere copiate o distribuite, nella sua totalità o in parte, senza il consenso espresso o per iscritto dell'impresa.

Fornendo le informazioni a Sika, lei concede all'impresa la licenza non ristretta e irrevocabile per utilizzare, riprodurre, esporre, modificare, distribuire e riprodurre tale informazione. L'informazione personale sarà utilizzata da Sika solo per processare richieste d'informazione effettuate dall'utente o per la commercializzazione dei nostri prodotti e servizi.

© Copyright Sika Services AG 2016

8. INFORMAZIONI SU SIKA® CARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO

Ingegnerizzato da:



CYPE Software - Eusebio Sempere, 5 - 03003 Alicante (Spagna)

www.cype.com