



Rocco Petrosino
Ingegnere

COMUNE DI GROTTAGLIE

SETTORE LAVORI PUBBLICI

COMUNE DI GROTTAGLIE
PROVINCIA DI TARANTO

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

Lavori di messa in sicurezza della Depositeria Comunale
di via Martiri d'Ungheria

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE LAMINE IN
FIBRA DI CARBONIO

TAV. N°:

R12

DATA: NOVEMBRE 2019

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

IL PROGETTISTA

Geom. Davide CAPUTO

ing. Rocco PETROSINO

SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE

PROGETTO: VERIFICA TRAVE 19-31

ELEMENTO: TRAVE 19-31

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.....	7
5.3.- Stati limite di esercizio.....	11
5.4.- Resistenza in caso di incendio.....	13
5.5.- Verifica delaminazione di estremità FRP e progettazione dell'ancoraggio.....	14
5.6.- Configurazione FRP.....	14
6.- SPECIFICHE DI PRODOTTO.....	15
6.1.- Sika®CarboDur®M 1214 (Rinforzo principale di FRP).....	15

INDICE

7.- INFORMAZIONI LEGALI.....	17
8.- INFORMAZIONI SU SIKACARBODUR® SOFTWARE DI CALCOLO.....	17

1.- CRITERI DI CALCOLO E REGOLAMENTI

Rinforzo a flessione con FRP, secondo:

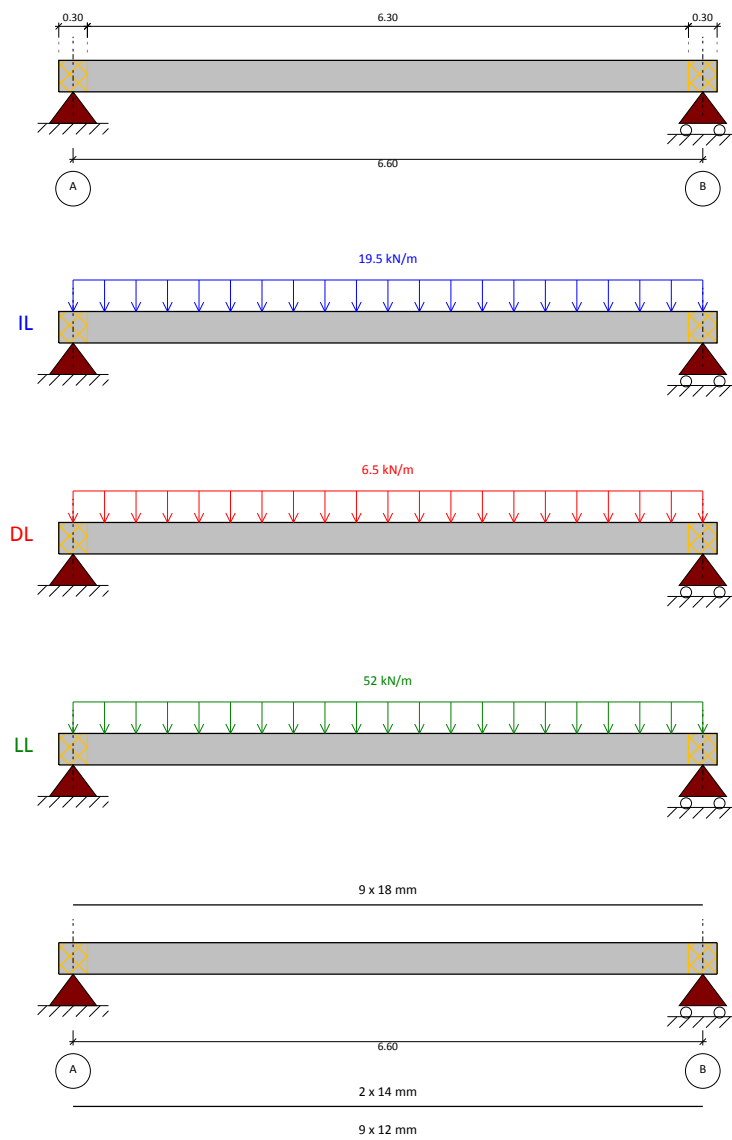
Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. (CNR-DT 200 R1/2013)

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

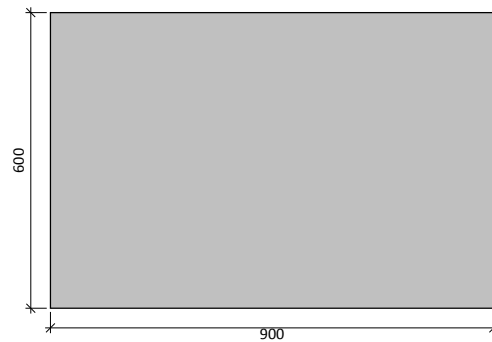
Esterna

2.3.- Geometria

Sezione trasversale = Rettangolare

Larghezza = 900 mm

Altezza = 600 mm



2.4.- Calcestruzzo

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo

Valore caratteristico della resistenza a compressione (f_{ck}) = 21 MPa

Resistenza cilindrica = 21 MPa

Resistenza cubica = 25 MPa

2.5.- Acciaio per armature

Armatura superiore	d_1 mm	Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \varnothing (mm)
1.	30	(FeB44k) 430	200000	9 x 18.0

Armatura inferiore	d_1 mm	Acciaio f_{yk} (MPa)	E_s (MPa)	Numero x \varnothing (mm)
1.	30	(FeB44k) 430	200000	2 x 14.0
2.	30	(FeB44k) 430	200000	9 x 12.0

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

$$\alpha_{cc} \text{ (Incendio)} = 1.00$$

Acciaio

$$\gamma_s \text{ (Combinazione fondamentale)} = 1.15$$

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

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

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
SLE, caratteristica	1.00	1.00
SLE, quasi permanente	1.00	0.30

G: Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (peso > 30 kN)

$$\psi_2 = 0.3$$

$$\eta_a = 0.75$$

3.- RINFORZO DI FRP

3.1.- Rinforzo principale di FRP

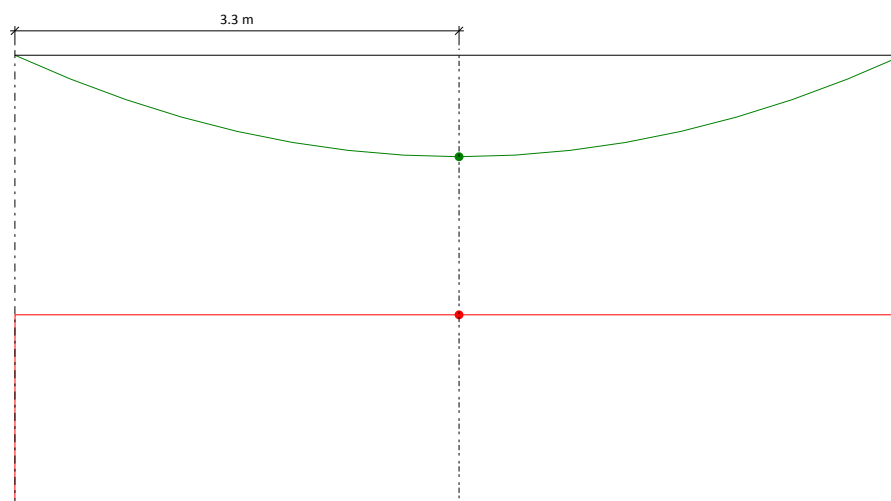
Semplicemente aderente. Sika CarboDur® M

Sika CarboDur® M1214	Tipo di fibra	Coefficienti di sicurezza parziale dei materiali	ϵ_r (%)	ϵ_{rk} (%)	E_r (MPa)	E_{rk} (MPa)	f_{rk} (MPa)	Spessore t_r (mm)	Numero	Larghezza (mm)	Classe
Strato: 1	Carbonio	$\gamma_{mat}: 1.00, \gamma_i: 1.10, \gamma_{fat}: 1.20, \eta_b: 0.75, \eta_i: 0.30$	1.67	1.56	210000.00	205000.00	3200.00	1.400	5	120.00	C190/2800

4.- CARICHI

4.1.- Carichi della trave

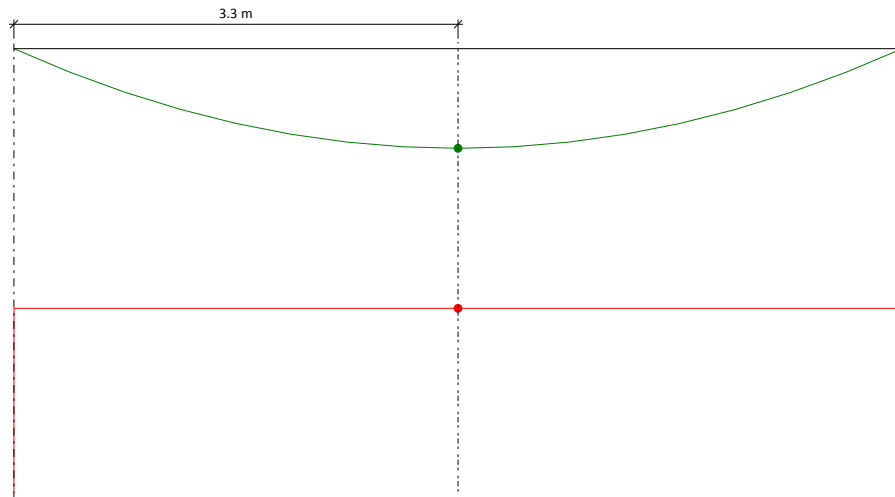
Carichi iniziali



● MEd (Carichi iniziali) = 106.18 kN-m

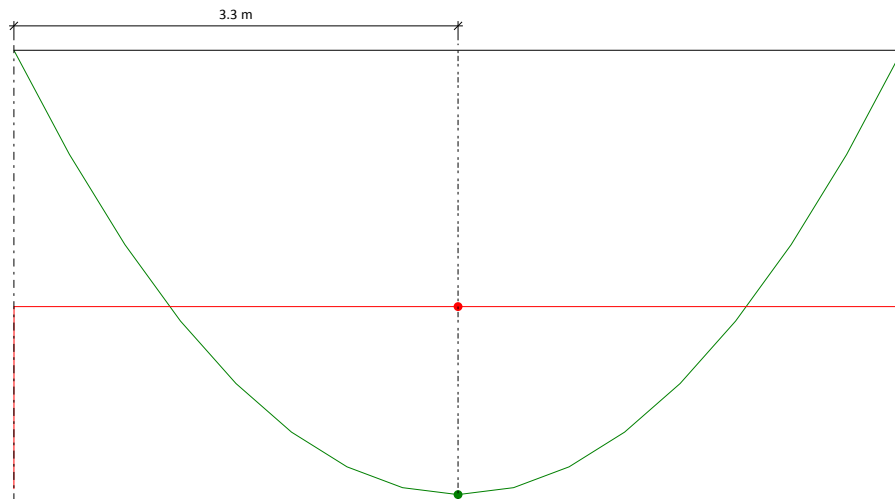
● MRd (Senza rinforzo) = 271.56 kN-m

Resistenza alle azioni causate da atti vandalici



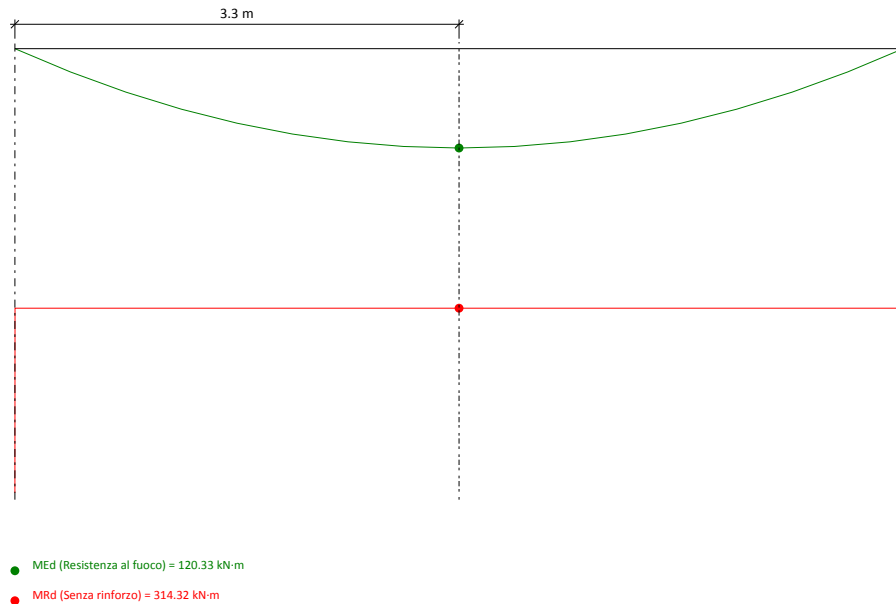
- MEd (Resistenza alle azioni causate da atti vandalici) = 120.33 kN-m
- MRd (Senza rinforzo) = 313.52 kN-m

Combinazione fondamentale (SLU)



- MEd (Combinazione fondamentale (SLU)) = 470.72 kN-m
- MRd (Senza rinforzo) = 271.56 kN-m

Resistenza al fuoco



5.- RISULTATI

5.1.- Riepilogo dei risultati

Combinazione fondamentale (SLU)			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d$ ($N_d = N_{Rd}$)
$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_G + 1.50 \cdot S_Q$	470.72	476.84	Sezione rinforzata $476.84 \text{ kN·m} \geq 470.72 \text{ kN·m}$ ✓
Resistenza alle azioni causate da atti vandalici			
carico	M_d (kN·m)	M_{Rd} (kN·m)	$M_{Rd} \geq M_d$ ($N_d = N_{Rd}$)
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_G + 0.30 \cdot S_Q$	120.33	313.52	Sezione non rinforzata $313.52 \text{ kN·m} \geq 120.33 \text{ kN·m}$ ✓

Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_G + 1.00 \cdot S_Q$	$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck}$	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$
	$5.67 \text{ MPa} \leq 12.48 \text{ MPa}$ ✓	$326.03 \text{ MPa} \leq 344.00 \text{ MPa}$ ✓	$193.73 \text{ MPa} \leq 719.55 \text{ MPa}$ ✓
Stati limite di esercizio			
carico	Tensione di esercizio		
$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_G + 0.30 \cdot S_Q$	$\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck}$	$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$	$\sigma_f \leq \eta \cdot f_{fk}$
	$2.54 \text{ MPa} \leq 9.36 \text{ MPa}$ ✓	$161.97 \text{ MPa} \leq 344.00 \text{ MPa}$ ✓	$12.86 \text{ MPa} \leq 719.55 \text{ MPa}$ ✓

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:

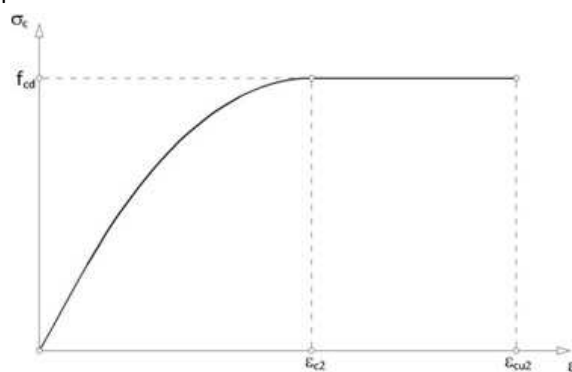
Conservazione della planarità delle sezioni rette fino a rottura, in modo che il diagramma delle deformazioni normali sia lineare.

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

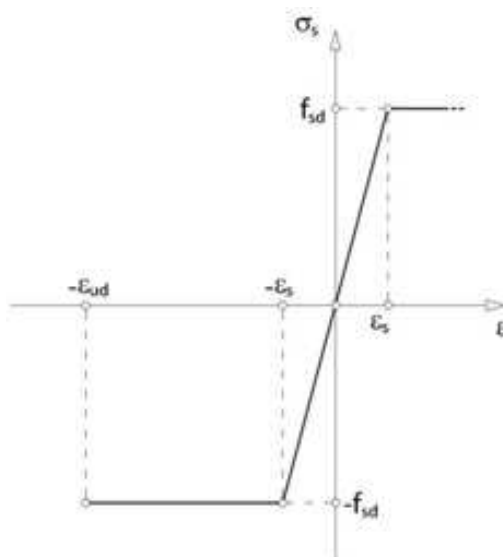
Resistenza a trazione nulla del calcestruzzo.

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

Legame costitutivo del composito fibrorinforzato elastico lineare fino a rottura.

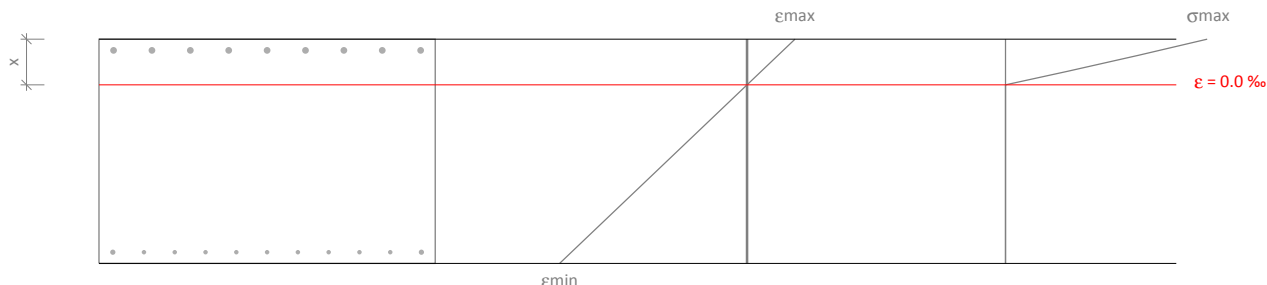


f_{cd} (MPa)	ϵ_{c0}	ϵ_{cu}	n
11.8	0.0020	0.0035	2



Carichi iniziali - Elemento senza rinforzi

$M_i = 106.18 \text{ kN-m}$



Deformazione massima e minima

$$\varepsilon_{\max} = 0.21 \text{ ‰}$$

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

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 2.29 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

$$x = 122.20 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
No. 18	270	30.95	0.15
No. 14, No. 12	-270	-150.30	-0.75

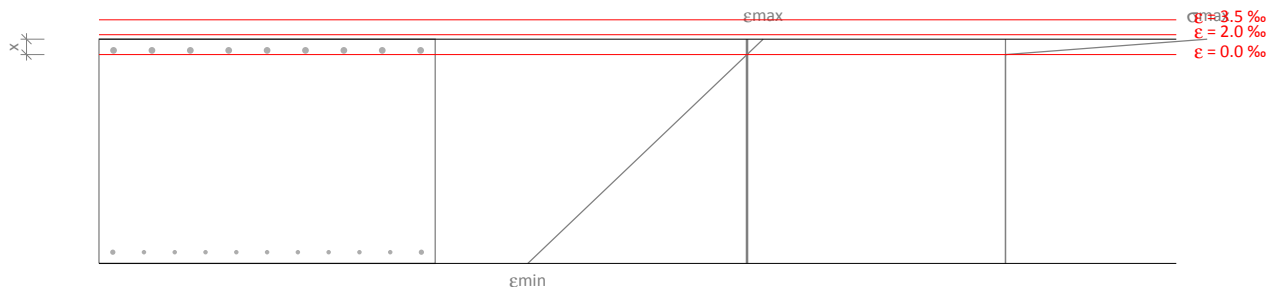
Azioni causate da atti vandalici - Elemento senza rinforzi.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_G + 0.30 \cdot S_Q$$

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

$$313.52 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 120.33 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} : \underline{313.52} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Deformazione massima e minima

$$\epsilon_{\max} = 1.55 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{\min} = -21.03 \text{ ‰}$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 16.79 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

$$x = 41.20 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
No. 18	270	84.33	0.42
No. 14, No. 12	-270	-430.00	-19.90

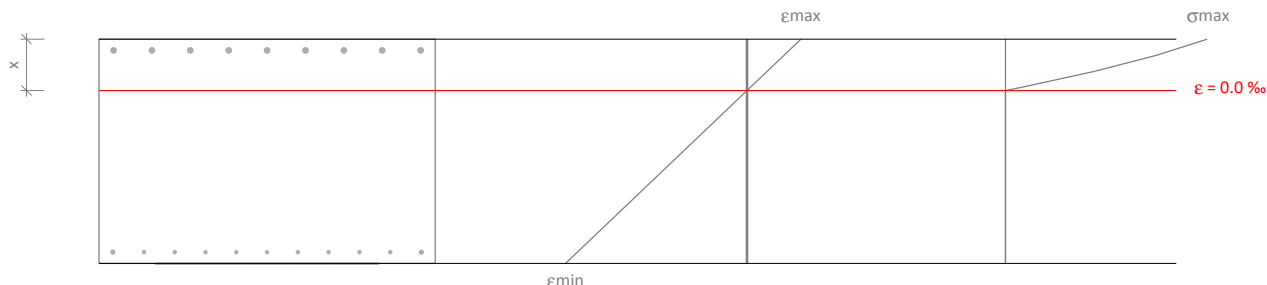
Carichi previsti - Elemento rinforzato

$$S_{Ed} = 1.30 \cdot S_G + 1.50 \cdot S_Q$$

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

$$476.84 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 470.72 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} : 476.84 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Deformazione massima e minima

$$\varepsilon_{\max} = 0.90 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{\min} = -3.03 \text{ ‰}$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 8.22 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

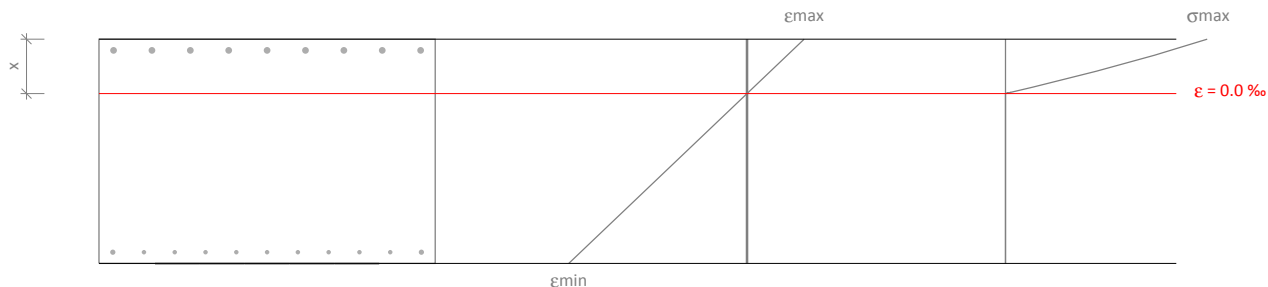
$$x = 137.44 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
No. 18	270	140.66	0.70
No. 14, No. 12	-270	-373.91	-2.83
FRP	-301	-457.04	-2.23

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

$$\epsilon_{\max} = 0.56 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{\min} = -1.75 \text{ ‰}$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 5.67 \text{ MPa}$$

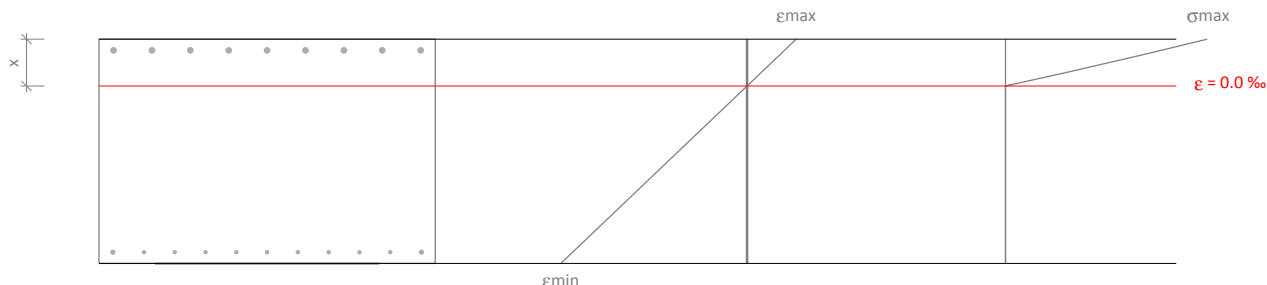
Profondità della fibra neutra

$$x = 145.59 \text{ mm}$$

Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
No. 18	270	88.80	0.44
No. 14, No. 12	-270	-326.03	-1.63
FRP	-301	-193.73	-0.95

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

$$S_{\text{Ed}} = 1.00 \cdot S_G + 0.30 \cdot S_Q$$



Deformazione massima e minima

$$\varepsilon_{\max} = 0.23 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{\min} = -0.86 \text{ ‰}$$

Tensione massima del calcestruzzo

$$f_c = 2.54 \text{ MPa}$$

Profondità della fibra neutra

$$x = 125.34 \text{ mm}$$

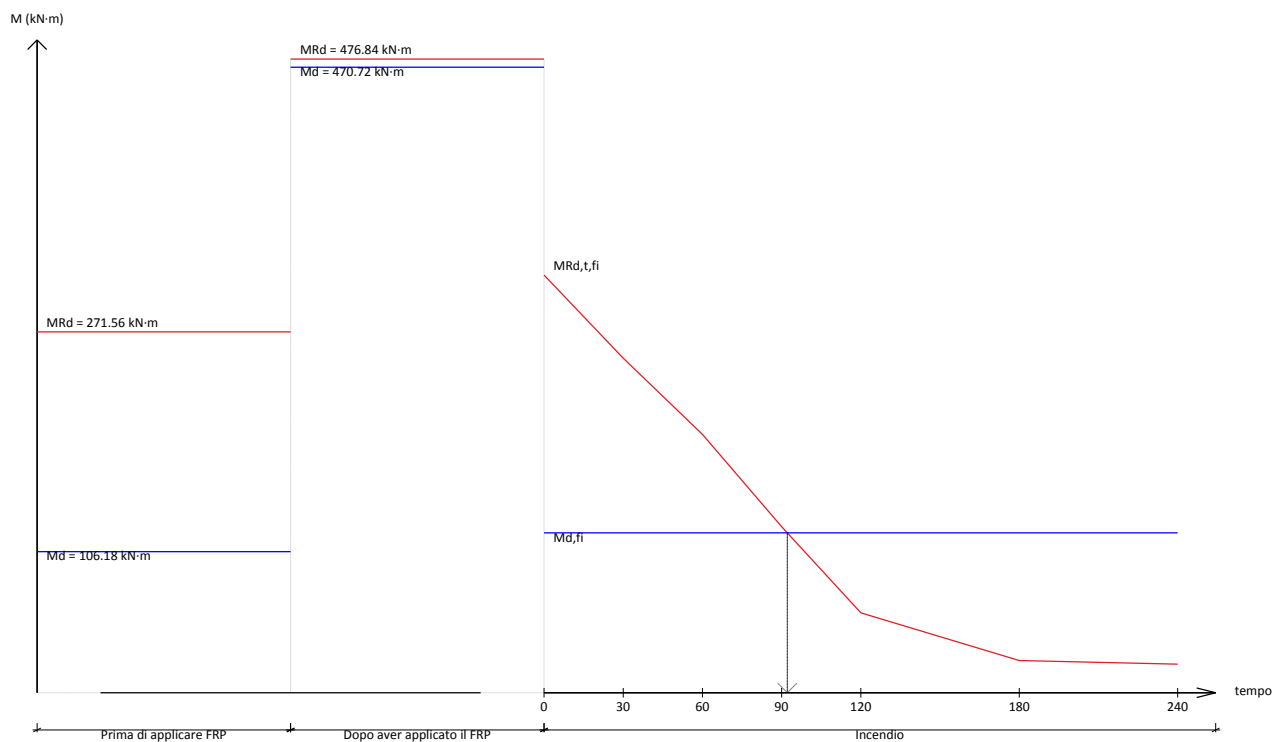
Tensione e deformazione degli elementi di rinforzo			
Rif.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
No. 18	270	34.73	0.17
No. 14, No. 12	-270	-161.97	-0.81
FRP	-301	-12.86	-0.06

5.4.- Resistenza in caso di incendio

Situazione successiva all'evento eccezionale, in assenza di rinforzo (CNR-DT 200 R1/2013, 3.6(3)). Le verifiche di resistenza al fuoco potranno eseguirsi con riferimento a UNI EN 1992-1-2. (Norme tecniche per le costruzioni, 4.1.13)

Facce esposte	
	1. Non esposto
	2. Non esposto
	3. Esposto

$$M_{d,fi} = 120.33 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Tempo di resistenza al fuoco (92.1 min.) \geq 90 min. Classe di resistenza al fuoco: R90

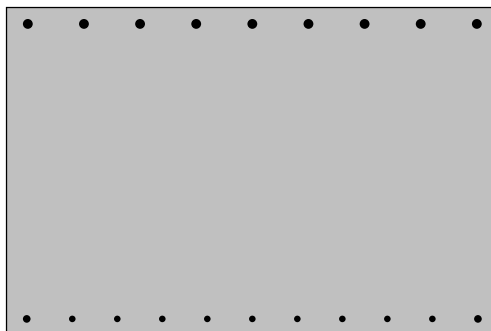
5.5.- Verifica delaminazione di estremità FRP e progettazione dell'ancoraggio

SLE, caratteristica (Rinforzo principale di FRP)	$\tau_{be} \leq f_{bd}$	$0.10 \text{ MPa} \leq 0.48 \text{ MPa}$	✓	$x = [1.16, 1.44] \text{ m}$
SLE, frequente (Rinforzo principale di FRP)	$\tau_{be} \leq f_{bd}$	$0.03 \text{ MPa} \leq 0.40 \text{ MPa}$	✓	$x = [1.16, 1.44] \text{ m}$
Ancoraggio (Rinforzo principale di FRP)	$f_d \leq f_{dd,rid}$	$191.78 \text{ MPa} \leq 194.45 \text{ MPa}$	✓	$x = 1.16 \text{ m}$

5.6.- Configurazione FRP

I risultati precedenti corrispondono alla seguente configurazione di FRP:

Rinforzo principale di FRP: 5 (Sika CarboDur® M1214)





6.- SPECIFICHE DI PRODOTTO

6.1.- Sika® CarboDur® M 1214 (Rinforzo principale di FRP)

RINFORZO STRUTTURALE CON SISTEMA CFRP PREFORMATO CON LAMINE PULTRUSE IN FIBRA DI CARBONIO AD ALTA RESISTENZA E MEDIO MODULO, SIKAR® CARBODUR® M 1214

Fornitura e posa opera di sistema di rinforzo strutturale per formato da lamine pultruse in fibra di carbonio ad alta resistenza e medio modulo con larghezza di 120mm e spessore di 1,4mm, realizzate con matrice epossidica e applicate con resina epossidica bicomponente Sikadur®-30, qualificato in Classe C190/1800 secondo le linee Guida Ministeriali ed in possesso di CVT.

Applicazione:

1. Pulizia delle lamine con un panno pulito, imbevuto di Sika Colma® Cleaner (o un altro pulitore a base di isopropanolo) o dell'alcool disinfettante;
2. Applicazione, per mezzo di una spatola, una stuccatura 'a zero' di Sikadur®-30, precedentemente miscelato, sulla superficie del sottofondo adeguatamente preparata;
3. Applicazione del Sikadur®-30 sulle lamine Sika® CarboDur®, in modo da avere approssimativamente 1 mm di adesivo sui bordi laterali e circa 2 mm di adesivo al centro della lamina;
4. Posizionamento ed incollaggio della lamina Sika® CarboDur® al sottofondo partendo da un estremo e procedendo fino alla fine della lamina. Utilizzando un rullo di gomma, pressare la lamina per tutta la lunghezza fino a che il Sikadur®-30 in eccesso refluisce lateralmente;
5. rimozione delle eventuali parti eccedenti di resina.

Il materiale di rinforzo deve garantire le caratteristiche minime prestazionali di progetto, che dovranno essere adeguatamente certificate da laboratori riconosciuti. Il sistema di rinforzo dovrà essere in possesso di referenze nazionali o estere di almeno 20 anni.

E' compresa la fornitura e posa in opera di tutti i materiali sopra descritti e quanto altro occorre per dare il lavoro finito. Sono esclusi: l'eventuale trattamento di ripristino delle superfici ammalorate; preparazione del sottofondo; i trattamenti filmogeni protettivi necessari; le indagini e le prove pre e post intervento; tutti i sussidi necessari per l'esecuzione dei lavori (bybridge, etc).

Prestazioni e caratteristiche dei singoli componenti e del sistema:

Valori tabellari Classe C190/ 1800

Modulo elastico a trazione nella direzione delle fibre	190.000 MPa
Resistenza a trazione nella direzione delle fibre	1.800 MPa

Sika® CarboDur® M 1214

Densità delle fibre	~ 1,81 g/cm ³
Densità della matrice	~ 1,20 g/cm ³
Densità della lamina	~ 1,61 g/cm ³
Spessore lamina	1,4 mm
Larghezze standard	120mm
Lunghezza	Fino a 250 m
Contenuto fibra in volume	~ 68%
Contenuto fibra in peso	~ 76%

Sikadur®30

Densità	~ 1,65 g/cm ³
Modulo elastico a flessione (ASTM D695)	~ 9.600 mPas (+23°C)
Modulo elastico a flessione (ISO 527)	~ 11.200 mPa (+23°C)
Modulo elastico a flessione (EN 1542)	> 4 MPa
Adesione su acciaio	> 21 MPa
Modulo elastico a flessione (EN 12614)	+52°C
Potlife	~ 90 minuti (+20°C)

Sika® CarboDur® M 1214 + Sikadur®30

Temperature di servizio (esposizione continua)	-40°C - +37°C
Modulo elastico a trazione (EN 13706-1-2-3)	~ 190.000 MPa
Modulo elastico a trazione nella direzione delle fibre (EN 13706-1-2-3)	~ 3.500 MPa
Deformazione a rottura, ϵ_{fib} (EN 13706-1-2-3)	~ 1,85%

7.- INFORMAZIONI LEGALI

L'USO E/O L'APPLICAZIONE DEL SOFTWARE E DEI RISPETTIVI 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, ESPRESSI 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

Ingegnierizzato da:



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

www.cype.com