

PROVINCIA DI POTENZA
UFFICIO EDILIZIA E PATRIMONIO

TAV. N.

STR-C-R07

LAVORI DA REALIZZARSI PRESSO I LABORATORI ANNESSI ALL'ISTITUTO
"TEN. REMO RIGHETTI" DI MELFI DA ATTUARSI MEDIANTE:
OPCM N.171/2014 INTERVENTO DI ADEGUAMENTO
SISMICO DELL'EDIFICIO N.2.

P R O G E T T O E S E C U T I V O

DATA: FEB 2019

SCALA: COME INDICATO

TITOLO: ADEGUAMENTO BLOCCO LABORATORI ITIS
VERIFICHE LOCALI INTERVENTI CON FRP

RESPONSABILE UNICO
DEL PROCEDIMENTO:

ING. TIZIANA CAPPA

PROGETTISTA
ARCHITETTONICO
E IMPIANTI:

GEOM. DONATO MONETTA

PROGETTISTA
STRUTTURE:

ING. ANTONIO NARDUCCI

INQUADRAMENTO NORMATIVO

La progettazione con FRP non è espressamente normata nelle NTC 08, ma al cap. 8.6 delle stesse si sottolinea la possibilità di utilizzare per interventi sulle costruzioni esistenti “materiali non tradizionali, purché nel rispetto di normative e documenti di comprovata validità, ovvero quelli elencati al cap. 12”:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali o, in mancanza di esse, nella forma internazionale EN;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell’Unione Europea;
- Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, come licenziate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e ss. mm. ii.;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)."

Attualmente, di fatto in Italia, le norme di riferimento per la progettazione di rinforzi con materiali compositi sono il documento approvato dal CNR DT 200/2004: “Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati” e le “Linee guida per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di strutture di c.a., c.a.p. e murarie mediante FRP”, documento approvato il 24 luglio 2009 dall’assemblea Generale del CS.LL.PP.

Le Istruzioni CNR-DT 200/2004 e le Linee Guida del 24 luglio 2009, messe a punto unendo le conoscenze e l’esperienza dei produttori, degli utilizzatori (progettisti e costruttori), degli esponenti del mondo universitario e quelli delle professioni rispondono all’esigenza nazionale di conoscenza e di standardizzazione e forniscono un quadro normativo organico per il progetto di elementi e di strutture, sia di c.a. che di muratura, rinforzate con FRP, seguendo un approccio alla sicurezza congruente con l’assetto normativo degli Eurocodici.

IL RINFORZO DI ELEMENTI INFLESSI

Il rinforzo a flessione si rende necessario per elementi strutturali soggetti ad un momento flettente di progetto maggiore della corrispondente capacità flessionale. Il rinforzo a flessione con materiali compositi può essere eseguito applicando una o più lamine, ovvero uno o più strati di tessuto, al lembo teso dell’elemento da rinforzare (cfr. CNR DT 200/2004 par. 4.2 e Linee Guida Reluis par. 3.3.1.1).

Il progetto allo SLU richiede il dimensionamento del rinforzo di FRP in modo che il momento sollecitante di progetto, M_{sd} e quello resistente di progetto della sezione rinforzata, M_{rd} , soddisfino la disequazione:

$$M_{sd} \leq M_{rd}$$

Si considerano i momenti massimi in mezzzeria agenti per ciascuna condizione di carico, ed in particolare si è considerato il valore massimo agente sulle travi superiori ed inferiori dell’impalcato di copertura e sulle travi portanti del piano seminterrato, verificando l’efficacia del sistema di rinforzo previsto.

IL RINFORZO A TAGLIO

Il rinforzo a taglio si rende necessario nel caso di elementi strutturali per i quali il taglio sollecitante sia superiore alla corrispondente resistenza di calcolo.

Quest'ultima deve essere determinata considerando i contributi del calcestruzzo e dell'eventuale armatura trasversale presente (cfr. CNR DT 200/2004 par. 4.3).

$$V_{sd} \leq V_{rd}$$

Il rinforzo a taglio si realizza applicando strisce di tessuto, su uno o più strati, in aderenza alla superficie esterna dell'elemento da rinforzare. L'incollaggio del tessuto può avvenire ai due lati della trave, con configurazione ad U e in avvolgimento all'intera sezione della trave. Le strisce possono essere applicate in maniera discontinua, con spazi vuoti fra strisce consecutive oppure in maniera continua, con strisce adiacenti l'una all'altra.

Si considerano i tagli massimi agenti per ciascuna condizione di carico, ed in particolare si è considerato il valore massimo agente sulle travi superiori ed inferiori dell'impalcato di copertura, verificando l'efficacia del sistema di rinforzo previsto.

Si riportano di seguito le verifiche effettuate su travi e pilastri.

VERIFICA A FLESSIONE TRAVI PORTANTE IN COPERTURA - MEZZERIA

Vers. 1.0 Gennaio 2016

Cliente:		Cantiere:		Rif. Strutt.:	
----------	--	-----------	--	---------------	--

Dati di Input Sezione		
Altezza (H)	600	mm
Base (B)	400	mm
Area di acciaio in trazione A_s	1406,72	mm ²
Area di acciaio in compressione A'_s	401,92	mm ²
Copriferro ($d_1=d_2$)	20	mm
Altezza utile (d)	580	mm
Area di lamina A_f	131,2	mm ²

Materiali					
	Resistenze		Moduli elastici		
	Medie	Calcolo			
Calcestruzzo f_{cm} [MPa]	18	15,14	26317	f_{td}	10,17 MPa
				f_{tm}	1,41 MPa
Acciaio f_{yk} [MPa]	220	183,3	210000	ϵ_{ty}	0,00087
Fattore di confidenza FC	1,2				

Momento iniziale agente in sezione prima dell'applicazione delle fibre M_0 [kNm]	60
--	----

Materiale	Tipo di fibra	Esposizione
MapeWrap C UNI-AR HM 300	Carbonio	2

CARATTERISTICHE FRP	
σ caratteristica di rottura	4410 MPa
ϵ caratteristica di rottura, ϵ_{Bk}	0,011
Modulo elastico	390000 MPa
Spessore equivalente tessuto secco (t_f)	0,164 mm
Coefficiente di sicurezza per distacco FRP (γ_{fd})	1,2
Coefficiente parziale del materiale (γ_f)	1,10
Fattore di conversione ambientale (η_d)	0,85
σ calcolo, f_{fd}	3124 MPa

Larghezza rinforzo (b_f)	400 mm
N° strati rinforzo (n)	2
Coefficiente per condizione di carico (k_q)	Carico distribuito

k_b	1,00
k_G	0,037
b_f / b	1,00
$f_{add,2}$ Resist. di prog al distacco FRP (mod 2)	834 MPa
$\epsilon_{f,dd}$ Deformazione max di distacco FRP	0,00214
ϵ_0 lembo teso CLS all'applicazione dell'FRP	0,00022
$\epsilon_{sy} - \epsilon_0$	0,00066
Γ_{fd} Energia specifica di frattura	0,156 MPa
f_{ad} Resist. di prog. adesione FRP-CLS	1,25 MPa
l_{ad} Lunghezza ottimale di ancoraggio	201,2 mm
f_{bd} Resist. di prog. al distacco FRP (mod 1)	508 MPa
ϵ calcolo, ϵ_{fd}	0,00214

$$\epsilon_{fd} = \frac{f_{add,2}}{E_f} \geq \epsilon_{sy} - \epsilon_0, \quad (4.7)$$

$$\epsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_d \cdot \frac{\epsilon_{Bk}}{\gamma_f}, \epsilon_{fd} \right\}$$

$$\epsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_d \cdot \frac{\epsilon_{Bk}}{\gamma_f}, \epsilon_{fd} \right\}$$

Output: calcolo dell'asse neutro a rottura e del momento ultimo (y_c, M_u)									
E' una procedura iterativa in cui si ipotizza un valore per y_c e si verifica che corrisponda $N_u=0$ (rottura in flessione semplice)									
y_c	regione	ψ	λ	σ'_s	σ_s	σ_t	Risolvi	eq. Traslazione	M_{Ra} kN m
mm		ad.	ad.	MPa	MPa	MPa			
72,14	1	0,80	0,416	44,37	183,33	834,34		0,00	204,41

Sezione non Rinforzata			
y_c	σ'_s	σ_s	M_{Ra}
mm	MPa	MPa	kN m
38,019	183,33	183,3	145,19

ϵ_c	0,00039
ϵ'_s	0,00030
ϵ_s	0,00227
ϵ_{fp}	0,00214

VERIFICA A FLESSIONE TRAVI PORTANTE IN COPERTURA - APPOGGIO

Vers. 1.0 Gennaio 2016

Cliente:		Cantiere:		Rif. Strutt.:	
----------	--	-----------	--	---------------	--

Dati di Input Sezione		
Altezza (H)	600	mm
Base (B)	400	mm
Area di acciaio in trazione A_s	803,84	mm ²
Area di acciaio in compressione A'_s	602,88	mm ²
Copriferro ($d_1=d_2$)	20	mm
Altezza utile (d)	580	mm
Area di lamina A_f	131,2	mm ²

Materiali					
	Resistenze		Moduli elastici		
	Medie	Calcolo			
Calcestruzzo f_{cm} [MPa]	18	15,14	26317	f_{ctk}	10,17 MPa
				f_{ctm}	1,41 MPa
Acciaio f_{ym} [MPa]	220	183,3	210000	ϵ_{yk}	0,00087
Fattore di confidenza FC	1,2				

Momento iniziale agente in sezione prima dell'applicazione delle fibre M_0 [kNm]	133
--	-----

Materiale	Tipo di fibra	Esposizione
MapleWrap C UNI-AK HM 300	Carbonio	Esterna

CARATTERISTICHE FRP	
σ caratteristica di rottura	4410 MPa
ϵ caratteristica di rottura, ϵ_{Rk}	0,011
Modulo elastico	390000 MPa
Spessore equivalente tessuto secco (t_f)	0,164 mm
Coefficiente di sicurezza per distacco FRP (γ_{fd})	1,2
Coefficiente parziale del materiale (γ_f)	1,10
Fattore di conversione ambientale (η_a)	0,85
σ calcolo, f_{ed}	3124 MPa

Larghezza rinforzo (b_f)	400 mm
N° strati rinforzo (n)	2
Coefficiente per condizione di carico (k_q)	Carico distribuito

k_b	1,00
k_G	0,037
b_f/b	1,00
$f_{add,2}$ Resist. di prog al distacco FRP (mod 2)	834 MPa
$\epsilon_{f,add}$ Deformazione max di distacco FRP	0,00214
ϵ_0 lembo teso CLS all'applicazione dell'FRP	0,00081
$\epsilon_{yk} - \epsilon_0$	0,00006
Γ_{fd} Energia specifica di frattura	0,156 MPa
f_{ad} Resist. di prog. adesione FRP-CLS	1,25 MPa
l_{ad} Lunghezza ottimale di ancoraggio	201,2 mm
f_{ad} Resist. di prog. al distacco FRP (mod 1)	508 MPa
ϵ calcolo, ϵ_{fd}	0,00214

$$\epsilon_{f,add} = \frac{f_{f,add,2}}{E_f} \geq \epsilon_{yk} - \epsilon_0 \quad (4.7)$$

$$\epsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\epsilon_{Rk}}{\gamma_f}, \epsilon_{f,add} \right\}$$

Output: calcolo dell'asse neutro a rottura e del momento ultimo (y_c, M_u)									
E' una procedura iterativa in cui si ipotizza un valore per y_c e si verifica che corrisponda $Nu=0$ (rottura in flessione semplice)									
y_c	regione	ψ	λ	σ'_s	σ_s	σ_f	Risolvi	eq. Traslazione	M_{Rd}
mm		ad.	ad.	MPa	MPa	MPa			kN m
49,96	1	0,80	0,416	24,47	183,33	834,34		0,00	145,83

Sezione non Rinforzata			
y_c	σ'_s	σ_s	M_{Rd}
mm	MPa	MPa	kN m
7,604	183,33	183,3	83,15

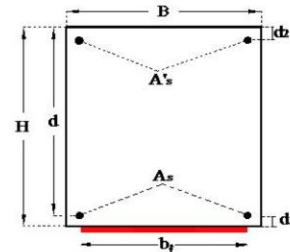
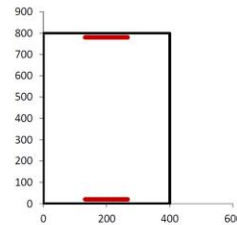
ϵ_c	0,00045
ϵ'_s	0,00034
ϵ_s	0,00284
$\epsilon_{f,fd}$	0,00214

VERIFICA A FLESSIONE TRAVE PORTANTE PIANO SEMITERRATO - MEZZERIA

Vers. 1.0 Gennaio 2016

Cliente: Cantiere: Rif. Strutt.:

Dati di Input Sezione		
Altezza (H)	800	mm
Base (B)	400	mm
Area di acciaio in trazione A_s	1406,72	mm ²
Area di acciaio in compressione A'_s	401,92	mm ²
Copriferro ($d_1=d_2$)	20	mm
Altezza utile (d)	780	mm
Area di lamina A_f	560,0	mm ²



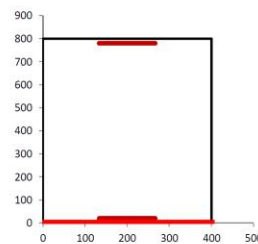
Materiali					
	Resistenze		Moduli elastici		
	Medie	Calcolo			
Calcestruzzo f_{cm} [MPa]	18	15,14	26317	f_{ck}	10,17 MPa
				f_{ctm}	1,41 MPa
Acciaio f_{ym} [MPa]	220	183,3	210000	E_{sp}	0,00087
Fattore di confidenza FC	1,2				

Momento iniziale agente in sezione prima dell'applicazione delle fibre M_0 [kNm]	120
--	-----

Materiale	Tipo di fibra	Esposizione
Carbonato E 170	Carbonio	2

CARATTERISTICHE FRP	
σ caratteristica di rottura	3100 MPa
ϵ caratteristica di rottura, ϵ_R	0,018
Modulo elastico	170000 MPa
Spessore equivalente tessuto secco (t_f)	1,400 mm
Coefficiente di sicurezza per distacco FRP (γ_{fd})	1,2
Coefficiente parziale del materiale (γ_f)	1,10
Fattore di conversione ambientale (η_a)	0,85
σ calcolo, f_{fd}	2196 MPa

Larghezza rinforzo (b_f)	400 mm
N° strati rinforzo (n)	1
Coefficiente per condizione di carico (k_q)	Carico distribuito



k_b	1,00
k_G	0,023
b_f/b	1,00
$f_{adm,2}$ Resist. di prog al distacco FRP (mod 2)	267 MPa
$\epsilon_{f,ad}$ Deformazione max di distacco FRP	0,00157
ϵ_0 lembo teso CLS all'applicazione dell'FRP	0,00032
$\epsilon_{sy} - \epsilon_0$	0,00056
Γ_{fd} Energia specifica di frattura	0,097 MPa
f_{ad} Resist. di prog. adesione FRP-CLS	0,78 MPa
l_{ad} Lunghezza ottimale di ancoraggio	348,1 mm
f_{adm} Resist. di prog. al distacco FRP (mod 1)	128 MPa
ϵ calcolo, ϵ_{fd}	0,00157

$$\epsilon_{adm} = \frac{f_{adm,2}}{E_f} \geq \epsilon_{sy} - \epsilon_0 \quad (4.7)$$

$$\epsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\epsilon_R}{\gamma_f}, \epsilon_{adm} \right\}$$

Output: calcolo dell'asse neutro a rottura e del momento ultimo (y_c, M_u)

E' una procedura iterativa in cui si ipotizza un valore per y_c e si verifica che corrisponda $N_u=0$ (rottura in flessione semplice)

y_c	regione	ψ	λ	σ'_s	σ_s	σ_t	Risolvi	eq. Traslazione	M_{Rd}
mm		ad.	ad.	MPa	MPa	MPa			kN m
81,70	1	0,80	0,416	28,29	183,33	266,63		0,00	306,93
Sezione non Rinforzata									
y_c	σ'_s	σ_s	M_{Rd}						
mm	MPa	MPa	kN m						
38,019	183,33	183,3	196,77						
								ϵ_c	0,00030
								ϵ'_s	0,00025
								ϵ_s	0,00183
								ϵ_{fp}	0,00157

VERIFICA A FLESSIONE TRAVE PORTANTE PIANO SEMITERRATO – APPOGGIO

Vers. 1.0 Gennaio 2016

Cliente:		Cantiere:		Rif. Strutt.:	
----------	--	-----------	--	---------------	--

Dati di Input Sezione		
Altezza (H)	800	mm
Base (B)	400	mm
Area di acciaio in trazione A _s	803,84	mm ²
Area di acciaio in compressione A' _s	602,88	mm ²
Copriferro (d ₁ =d ₂)	20	mm
Altezza utile (d)	780	mm
Area di lamina A _f	560,0	mm ²

Materiali					
	Resistenze		Moduli elastici		
	Medie	Calcolo			
Calcestruzzo f _{cm} [MPa]	18	15,14	26317	f _{td}	10,17 MPa
				f _{tdm}	1,41 MPa
Acciaio f _{ym} [MPa]	220	183,3	210000	ε _{sy}	0,00087
Fattore di confidenza FC	1,2				

Momento iniziale agente in sezione prima dell'applicazione delle fibre M ₀ [kNm]	200
---	-----

Materiale	Tipo di fibra	Esposizione
Carboplate E 170	Carbonio	Esterna

CARATTERISTICHE FRP	
σ caratteristica di rottura	3100 MPa
ε caratteristica di rottura, ε _R	0,018
Modulo elastico	170000 MPa
Spessore equivalente tessuto secco (t _f)	1,400 mm
Coefficiente di sicurezza per distacco FRP (γ _{td})	1,2
Coefficiente parziale del materiale (γ _f)	1,10
Fattore di conversione ambientale (η _d)	0,85
σ calcolo, f _{td}	2196 MPa

Larghezza rinforzo (b _f)	400 mm
N° strati rinforzo (n)	1
Coefficiente per condizione di carico (k _q)	Carico distribuito

k _b	1,00
k _G	0,023
b _f / b	1,00
f _{td,2} Resist. di prog al distacco FRP (mod 2)	267 MPa
ε _{td} Deformazione max di distacco FRP	0,00157
ε ₀ lembo teso CLS all'applicazione dell'FRP	0,00089
ε _{sy} - ε ₀	-0,00002
Γ _{td} Energia specifica di frattura	0,097 MPa
f _{td} Resist. di prog. adesione FRP-CLS	0,78 MPa
l _{ad} Lunghezza ottimale di ancoraggio	348,1 mm
f _{td} Resist. di prog. al distacco FRP (mod 1)	128 MPa
ε calcolo, ε _{td}	0,00157

$$\varepsilon_{td} = \frac{f_{td,2}}{E_f} \geq \varepsilon_{sy} - \varepsilon_0, \quad (4.7)$$

$$\varepsilon_{td} = \min \left\{ \eta_d \cdot \frac{\varepsilon_R}{\gamma_f}, \varepsilon_{td} \right\}$$

Output: calcolo dell'asse neutro a rottura e del momento ultimo (y _c , M _u)									
E' una procedura iterativa in cui si ipotizza un valore per y _c e si verifica che corrisponda Nu=0 (rottura in flessione semplice)									
y _c	regione	ψ	λ	σ' _s	σ _s	σ _f	Risolvi	eq. Traslazione	M _{u,d} kN m
mm		ad.	ad.	MPa	MPa	MPa			
59,07	1	0,80	0,416	17,37	183,33	266,63		0,00	227,16

Sezione non Rinforzata			
y _c	σ' _s	σ _s	M _{u,d}
mm	MPa	MPa	kN m
7,604	183,33	183,3	112,62

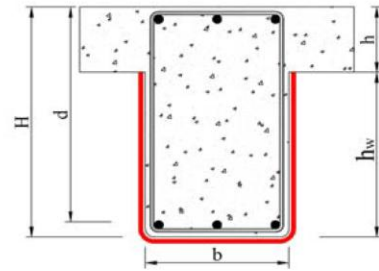
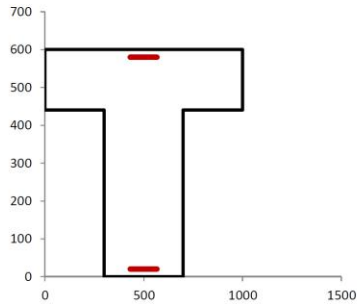
ε _c	0,00037
ε _s	0,00030
ε _s	0,00239
ε _{FRP}	0,00157

VERIFICA A TAGLIO TRAVE PORTANTE IN COPERTURA

Vers. 1.0 Gennaio 2016

Cliente: - Cantiere: - Rif. Strutt.: Trave

Dati di Input	
Base (B)	400 mm
Altezza Totale (H)	600 mm
Altezza Soletta (h)	160 mm
Altezza utile (d)	580 mm
Copriferro ($c_1=c_2$)	20 mm
D staffe	Φ 6
A staffe	28 mm ²
Passo	200 mm
Bracci staffe	2
Rc	20 mm
Sforzo Normale Sollecitante N	0 kN



Materiali				
	Tensioni Medie	Tensioni di Calcolo	FC	1,20
Calcestruzzo	18,17 MPa	10,09	f_{ct}	10,17 MPa
			f_{ctm}	1,41 MPa
Acciaio	220 MPa	159	γ_s	1,5
			γ_c	1,15

Scelta FRP	
MapeWrap C UNI-AX HM 300	Carbonio
Tipologia di rinforzo longitudinale	Continuo
Tipologia di rinforzo trasversale	ad U
Esposizione	Esterna

CARATTERISTICHE FRP		GEOMETRIA FRP	
σ rottura	4410 MPa	$\eta_{r,d}$ Coefficiente parziale per i materiali	1,2
Modulo elastico	390 GPa	numero di strati [n _r]	1
ϵ rottura, $\epsilon_{RP,U}$	0,011		
spessore [t_f]	0,164 mm		
min {0,5d; 3b _f ; b _f +200}	3 mm	β	90°
θ inclinazione fessure da Taglio	45°		

Fase di calcolo	
A_w	57 mm ²
ω_w	0,0112
cot θ (di calcolo) NTC 2008	1,000
v	0,50
α_c	1,000
$\eta_{R,d}$ Coefficiente parziale per i modelli	1,2
η_a Fattore di conversione ambientale	0,85
f_{fd} Tensione ultima di delaminazione	3408 MPa
k_G	0,0370
k_b	1,00
Φ_R	0,280
min {0,9d; h _w }	440 mm
Spessore Totale [$t_{rx} n_r$]	0,164 mm
η_r Coefficiente parziale	1,1
$\eta_{f,d}$ Coefficiente parziale per i materiali	1,2
f_{fd} Resistenza di prog. alla delaminazione	718 MPa
Γ_{fd} Energia Specifica di Frattura	0,1560
s_n	0,25
f_{fd}	1,25
l_e lunghezza efficace di ancoraggio	200,0 mm
f_{fd} Resistenza efficace di calcolo	609 MPa
$f_{fd,rid}$ Resistenza di progetto ridotta	718 MPa
$V_{Rd,f} =$	86,9 kN

Calcolo Taglio resistente della sezione non rinforzata con FRP	
$V_{Rsd} = 23,52$ kN	Contributo dell'armatura trasversale di acciaio
$V_{Rcd} = 527$ kN	Contributo del calcestruzzo
$V_{Rd,sezione non rinforzata} = 23,52$ kN	Resistenza della sezione non rinforzata
$V_{Rd} = 110,41$ kN	Resistenza a taglio della sezione rinforzata

$$k_b = \sqrt{\frac{2 \cdot \frac{b_f}{b}}{1 + \frac{b_f}{b}}} \geq 1 \quad 4.3$$

$$\phi_s = 0.2 + 1.6 \cdot \frac{f_c}{b}, \quad 0 \leq \frac{f_c}{b} \leq 0.5, \quad 4.23$$

$$\Gamma_{fd} = \frac{k_b \cdot k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}} \quad 4.2$$

$$f_{sd} = \frac{1}{\gamma_{fd}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{fd}}{t_f}} \quad 4.4$$

$$l_d = \max \left\{ \frac{1}{\gamma_{sd} \cdot f_{sd}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot \Gamma_{fd}}{2}}, 200 \text{ mm} \right\} \quad 4.1$$

$$f_{fd} = f_{sd} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_d \cdot \sin \beta}{\min \{0.9 \cdot d, h_w\}} \right] \quad 4.21$$

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{fd} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{b_f}{p_f} \quad 4.19$$

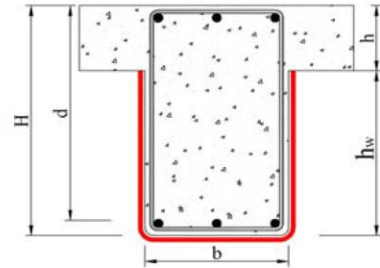
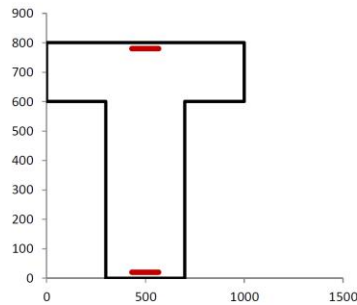
$$V_{Rd} = \min \{ V_{Rd,s} + V_{Rd,f}, V_{Rd,c} \} \quad 4.18$$

VERIFICA A TAGLIO TRAVE PORTANTE PIANO SEMITERRATO

Vers. 1.0 Gennaio 2016

Cliente: - Cantiere: - Rif. Strutt.: Trave

Dati di Input	
Base (B)	400 mm
Altezza Totale (H)	800 mm
Altezza Soletta (h)	200 mm
Altezza utile (d)	780 mm
Copriferro ($c_1=c_2$)	20 mm
D staffe	Φ 6
A staffe	28 mm ²
Passo	200 mm
Bracci staffe	2
Rc	20 mm
Sforzo Normale Sollecitante N	0 kN



Materiali				
	Tensioni Medie	Tensioni di Calcolo	FC	
Calcestruzzo	18,17 MPa	10,09	f_{ck}	10,17 MPa
			f_{ctm}	1,41 MPa
Acciaio	220 MPa	159	γ_s	1,5
			γ_c	1,15

Scelta FRP	
MapeWrap C UNI-AX HM 300	Carbonio
Tipologia di rinforzo longitudinale	Continuo
Tipologia di rinforzo trasversale	ad U
Esposizione	Esterna

CARATTERISTICHE FRP		GEOMETRIA FRP	
σ rottura	4410 MPa	$\gamma_{f,d}$ Coefficiente parziale per i materiali	1,2
Modulo elastico	390 GPa	numero di strati $[n_f]$	1
ϵ rottura, $\epsilon_{fip,u}$	0,011		
spessore $[t_f]$	0,164 mm		
$\min\{0,5d; 3b_f; b_f+200\}$	3 mm	β	90°
θ inclinazione fessure da Taglio	45°		

Fase di calcolo	
Λ_{wv}	57 mm ²
α_{wv}	0,0112
$\cot \theta$ (di calcolo) NTC 2008	1,000
v	0,50
α_c	1,000
$\gamma_{R,d}$ Coefficiente parziale per i modelli	1,2
η_a Fattore di conversione ambientale	0,85
f_{td} Tensione ultima di delaminazione	3408 MPa
k_G	0,0370
k_b	1,00
Φ_R	0,280
$\min\{0,9d; h_w\}$	600 mm
Spessore Totale $[t_f \times n_f]$	0,164 mm
γ_f Coefficiente parziale	1,1
$\gamma_{f,d}$ Coefficiente parziale per i materiali	1,2
f_{td} Resistenza di prog. alla delaminazione	718 MPa
Γ_{fd} Energia Specifica di Frattura	0,1560
s_a	0,25
f_{td}	1,25
l_e lunghezza efficace di ancoraggio	200,0 mm
f_{td} Resistenza efficace di calcolo	638 MPa
$f_{td,rid}$ Resistenza di progetto ridotta	718 MPa
$V_{Rd,f}$	122,4 kN

Calcolo Taglio resistente della sezione non rinforzata con FRP	
$V_{Rsd} = 31,63$ kN	Contributo dell'armatura trasversale di acciaio
$V_{Rcd} = 709$ kN	Contributo del calcestruzzo
$V_{Rd,sezione non rinforzata} = 31,63$ kN	Resistenza della sezione non rinforzata
$V_{Rd} = 154,04$ kN	Resistenza a taglio della sezione rinforzata

$$k_b = \sqrt{\frac{2 - \frac{b_f}{b}}{1 + \frac{b_f}{b}}} \geq 1 \quad 4.3$$

$$\phi_n = 0.2 + 1.6 \cdot \frac{r}{b}, \quad 0 \leq \frac{r}{b} \leq 0.5, \quad 4.23$$

$$\Gamma_{fd} = \frac{k_s \cdot k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}} \quad 4.2$$

$$f_{td} = \frac{1}{\gamma_{f,d}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot f_{td}}{t_f}} \quad 4.4$$

$$l_a = \max \left\{ \frac{1}{\gamma_{f,d} \cdot f_{td}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot f_{td}}{2}}, 200 \text{ mm} \right\} \quad 4.1$$

$$f_{td} = f_{td} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_{ed} \cdot \sin \beta}{\min\{0.9 \cdot d; h_w\}} \right] \quad 4.21$$

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{td} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{b_f}{p_f} \quad 4.19$$

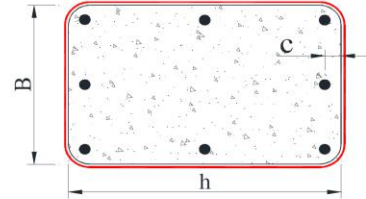
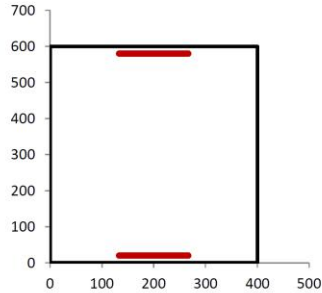
$$V_{Rd} = \min \{ V_{Rd,s} + V_{Rd,f}, V_{Rd,c} \} \quad 4.18$$

VERIFICA A TAGLIO PILASTRI PIANO TERRA CENTRALI E LATERALI

TRATTI IN DOPPIO AVVOLGIMENTO

Cliente:	Cantiere:	Rif. Strutt.:
----------	-----------	---------------

Dati di Input	
Base (B)	400 mm
Altezza (h)	600 mm
Altezza utile (d)	580 mm
Copriferro ($c_1=c_2$)	20 mm
D staffe	Φ 6
A staffe	28,27
Passo	200 mm
Bracci staffe	2
Rc	20 mm
Sforzo Normale Sollecitante N	114 kN



Materiali				
	Medie	Tensione di Calcolo	FC	
Calcestruzzo [MPa]	29,6	16,44	f_{ck}	21,60 MPa
			f_{ctm}	2,33 MPa
Acciaio [MPa]	220	159	γ_c	1,5
			γ_s	1,15

Scelta FRP	
MapeWrap C UNI-AX 300 - E 256	Carbonio
Tipologia di rinforzo longitudinale	Continuo
Tipologia di rinforzo trasversale	in avvolgimento
Esposizione	Esterna

CARATTERISTICHE FRP		GEOMETRIA FRP	
σ rottura	5340 MPa	$\gamma_{r,d}$ Coefficiente parziale per i materiali	1,2
Modulo elastico	256 GPa	numero di strati (n_f)	2
ϵ rottura, $\epsilon_{frp,u}$	0,021		
spessore	0,164 mm		
min {0,5d; 3b _c ; b _f +200}	3 mm		
θ inclinazione fessure da Taglio	45°		

Fase di calcolo	
A_{sw}	57 mm ²
ω_{sw}	0,0068
cot θ (di calcolo) NTC 2008	1,000
v	0,50
α_c	1,029
$\gamma_{R,d}$ Coefficiente parziale per i modelli	1,2
η_a Fattore di conversione ambientale	0,85
f_{ld} Tensione ultima di delaminazione	4126 MPa
k_G	0,0370
k_b	1,00
Φ_R	0,280
min {0,9d; h_w }	522 mm
t_f Spessore Totale	0,328
γ_f Coefficiente parziale	1,1
$\gamma_{r,d}$ Coefficiente parziale per i materiali	1,2
f_{ld} Resistenza di prog. alla delaminazione	526,7 MPa
Γ_{fd} Energia Specifica di Frattura	0,256
s_u	0,25
f_{bd}	2,05
l_a lunghezza efficace di ancoraggio	200,00 mm
f_{ed} Resistenza efficace di calcolo	686,95 MPa
$V_{Rd,f}$	196,0 kN

$$k_b = \sqrt{\frac{2 - \frac{b_f}{b}}{1 + \frac{b_f}{b}}} \geq 1 \quad 4.3$$

$$\phi_b = 0.2 + 1.6 \cdot \frac{r_s}{b}, \quad 0 \leq \frac{r_s}{b} \leq 0.5, \quad 4.23$$

$$\Gamma_{fd} = \frac{k_b \cdot k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{cm}} \quad 4.1$$

$$f_{ld} = \frac{1}{\gamma_{ld}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{fd}}{t_f}} \quad 4.4$$

$$l_{ad} = \max \left\{ \frac{1}{\gamma_{Rd} \cdot f_{ed}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot \Gamma_{fd}}{2}}, 200 \text{ mm} \right\} \quad 4.1$$

$$f_{ed} = f_{ed} \left[1 - \frac{1}{6} \cdot \frac{l_e \cdot \sin \beta}{\min \{0.9 \cdot d, h_e\}} \right] + \frac{1}{2} (\phi_b \cdot f_{ed} - f_{ed}) \cdot \left[1 - \frac{l_e \cdot \sin \beta}{\min \{0.9 \cdot d, h_e\}} \right] \quad 4.22$$

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{ed} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{b_f}{p_f} \quad 4.19$$

Calcolo Taglio resistente della sezione non rinforzata con FRP	
$V_{Rsd} = 23,5 \text{ kN}$	Contributo dell'armatura trasversale di acciaio
$V_{Rcd} = 883,2 \text{ kN}$	Contributo del calcestruzzo
$V_{Rd, \text{sezione non rinforzata}} = 23,52 \text{ kN}$	Resistenza della sezione non rinforzata
$V_{Rd} = 219,55 \text{ kN}$	Resistenza a taglio della sezione rinforzata

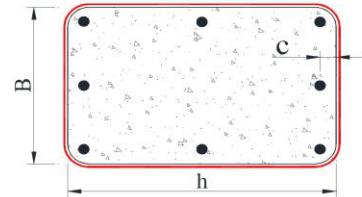
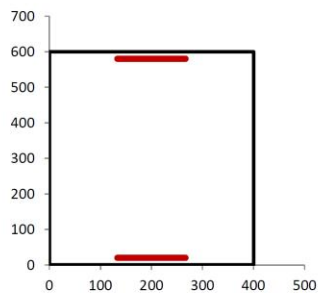
$$V_{Rd} = \min \{ V_{Rds}, V_{Rd,f}, V_{Rdc} \} \quad 4.18$$

VERIFICA A TAGLIO PILASTRI PIANO TERRA E SIMINTERRATO CENTRALI E LATERALI

TRATTI IN SINGOLO AVVOLGIMENTO

Cliente:	Cantiere:	ADEGUAMENTO LABORATORI ITIS MELFI	Rif. Strutt	PIL-TRAT
----------	-----------	-----------------------------------	-------------	----------

Dati di Input	
Base (B)	400 mm
Altezza (h)	600 mm
Altezza utile (d)	580 mm
Copriferro ($c_1=c_2$)	20 mm
D staffe	Φ 6
A staffe	28,27
Passo	200 mm
Bracci staffe	2
Rc	20 mm
Sforzo Normale Sollecitante N	274 kN



Materiali				
	Medie	Tensione di Calcolo	FC	1,20
Calcestruzzo [MPa]	29,6	16,44	f_{ck}	21,60 MPa
			f_{ctm}	2,33 MPa
Acciaio [MPa]	220	159	γ_s	1,5
			γ_{sc}	1,15

Scelta FRP	
MapeWrap C UNI-AX 300 - E 256	Carbonio
Tipologia di rinforzo longitudinale	Continuo
Tipologia di rinforzo trasversale	in avvolgimento
Esposizione	Esterna

CARATTERISTICHE FRP		GEOMETRIA FRP	
σ rottura	5340 MPa	γ_{fd} Coefficiente parziale per i materiali	1,2
Modulo elastico	256 GPa	numero di strati (n_f)	1
ϵ rottura, $\epsilon_{fp,u}$	0,021		
spessore	0,164 mm		
$\min\{0,5d; 3b_f; b_f \neq 200\}$	3 mm		
θ inclinazione fessure da Taglio	45°		

Fase di calcolo	
A_{sv}	57 mm ²
ω_{sv}	0,0068
$\cot \theta$ (di calcolo) NTC 2008	1,000
ν	0,50
α_c	1,069
$\gamma_{R,d}$ Coefficiente parziale per i modelli	1,2
η_a Fattore di conversione ambientale	0,85
f_{ld} Tensione ultima di delaminazione	4126 MPa
k_G	0,0370
k_b	1,00
Φ_R	0,280
$\min\{0,9d; h_w\}$	522 mm
t_f Spessore Totale	0,164
γ_f Coefficiente parziale	1,1
γ_{fd} Coefficiente parziale per i materiali	1,2
f_{ld} Resistenza di prog. alla delaminazione	744,8 MPa
I_{fd} Energia Specifica di Frattura	0,256
s_u	0,25
f_{fd}	2,05
l_e lunghezza efficace di ancoraggio	200,00 mm
f_{fd} Resistenza efficace di calcolo	823,89 MPa
$V_{Rd,f}$	117,6 kN

$$k_b = \sqrt{\frac{2 - \frac{b_f}{b}}{1 + \frac{b_f}{b}}} \geq 1 \quad 4.3$$

$$\phi_k = 0.2 + 1.6 \cdot \frac{r_c}{b}, \quad 0 \leq \frac{r_c}{b} \leq 0.5, \quad 4.23$$

$$\Gamma_{fd} = \frac{k_b \cdot k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}} \quad 4.1$$

$$f_{fd} = \frac{1}{\gamma_{fd}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_t \cdot \Gamma_{fd}}{t_f}} \quad 4.4$$

$$l_{ef} = \max \left\{ \frac{1}{\gamma_{Rd} \cdot f_{fd}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot t_f \cdot \Gamma_{fd}}{2}}, 200 \text{ mm} \right\} \quad 4.1$$

$$f_{fd} = f_{fd} \left[1 - \frac{1}{6} \cdot \frac{l_e \cdot \sin \beta}{\min\{0.9 \cdot d, h_w\}} \right] + \frac{1}{2} (\phi_k \cdot f_{ctm} - f_{fd}) \cdot \left[1 - \frac{l_e \cdot \sin \beta}{\min\{0.9 \cdot d, h_w\}} \right] \quad 4.22$$

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{fd} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{b_f}{p_t} \quad 4.19$$

Calcolo Taglio resistente della sezione non rinforzata con FRP	
$V_{Rsd} = 23,5 \text{ kN}$	Contributo dell'armatura trasversale di acciaio
$V_{Rcd} = 918,0 \text{ kN}$	Contributo del calcestruzzo
$V_{Rd, \text{sezione non rinforzata}} = 23,52 \text{ kN}$	Resistenza della sezione non rinforzata

$V_{Rd} = 141,07 \text{ kN}$	Resistenza a taglio della sezione rinforzata	$V_{Rd} = \min \{ V_{Rds} + V_{Rdf}, V_{Rdc} \}$	4.18
------------------------------	--	--	------