

## Rinforzo a TAGLIO di un pilastro con FRP (CNR-DT200)

### Dati geometrici

$h =$	50.00	cm	Altezza della sezione
$b =$	30.00	cm	Base della sezione (larghezza minima della sezione)
$d' =$	3.00	cm	Copriferro

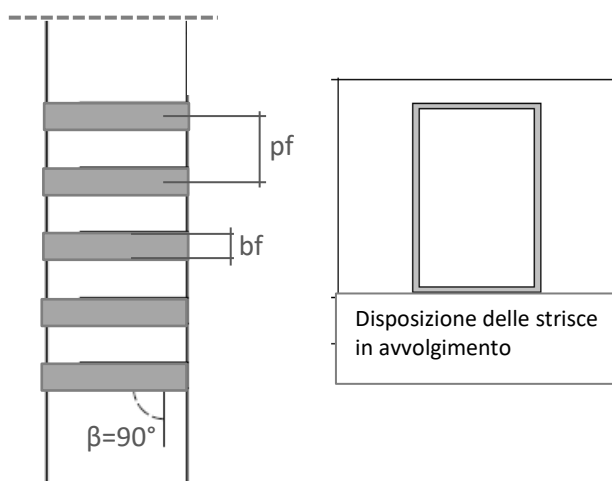
### Materiali e livello di conoscenza

Cl:  $f_{cm}=23.53$   
 Acciaio:  $f_{ym} = 380$   
 Livello di conoscenza per strutture esistenti  
 LC1 - Conosc. Limitata FC=1.35

### Armatura trasversale

$\Phi_{st} =$	8	mm	Diametro delle staffe o dei ferri piegati
$n_b =$	2		Numero di bracci delle staffe
$A_{sw} =$	1.01	$cm^2$	Area di armatura trasversale (staffe o ferri piegati)
$p_{st} =$	20.00	cm	Passo delle staffe
$\alpha =$	90.00	$^\circ$	Angolo di inclinazione delle staffe rispetto all'asse della trave

### RINFORZO IN FRP



$t_f =$	0.167	mm	spessore del sistema di rinforzo FRP
$b_f =$	100	mm	Larghezza delle strisce
$p_f =$	120	mm	Passo delle strisce
$n_f =$	1		numero di strati di FRP
$f_{fk} =$	2700.00	$N/mm^2$	Resis. Caratt. del tessuto
$E_f =$	270000	$N/mm^2$	modulo elastico del tessuto
$r_c =$	2.00	cm	raggio di curvatura

Applicazione, esposizione, tipo di composito

Applicaz. Tipo A: certificati sia i materiali che il sistema di rinforzo

$\gamma_f = 1.10$

$\gamma_{fd} = 1.20$

Tipo: Compositi imbracciati

RELAZIONE  
DI ESEMPIO

**Coefficienti parziali di sicurezza per cls e acciaio**

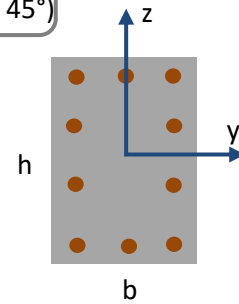
$\alpha_{cc} =$	0.85	Coefficiente riduttivo del cls per resistenze di lunga durata
$\gamma_c =$	1.50	Coefficiente di sicurezza del cls
$\gamma_s =$	1.15	Coefficiente di sicurezza dell'acciaio

**Inclinazione bielle compresse di cls**

$\theta_z =$	22.94	°	Taglio in direzione z (compreso fra 21.81° e 45°)
$\theta_y =$	21.81	°	Taglio in direzione y (compreso fra 21.81° e 45°)

**Sollecitazioni**

$V_{Ed,z} =$	148.00	kN	Taglio sollecitante direz. Z
$V_{Ed,y} =$	150.00	kN	Taglio sollecitante direz. Y
$N_{Ed} =$	500.00	kN	Sforzo normale (solo per i pilastri)



**Tagli resistenti in direzione Z**

*Tagli resistenti in direzione Z (in assenza di rinforzo)*

$V_{Rcd,z} =$	270.12	kN	Resistenza lato calcestruzzo ("Taglio compressione")
$V_{Rsd,z} =$	130.11	kN	Resistenza dell'armatura trasversale ("Taglio trazione")
$V_{Rd,z} =$	130.11	kN	$\min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$

*Tagli resistenti in direzione Z (con rinforzo in FRP)*

$V_{Rcd,z} =$	281.17	kN	Resistenza lato calcestruzzo ("Taglio compressione")
$V_{Rsd,z} =$	122.97	kN	Resistenza dell'armatura trasversale ("Taglio trazione")
$V_{Rsd+f,z} =$	281.17	kN	Resistenza dell'armatura trasversale e dell'FRP ("Taglio trazione")
$V_{Rd,z}^{(FRP)} =$	281.17	kN	$\min(V_{Rsd+f}; V_{Rcd})$

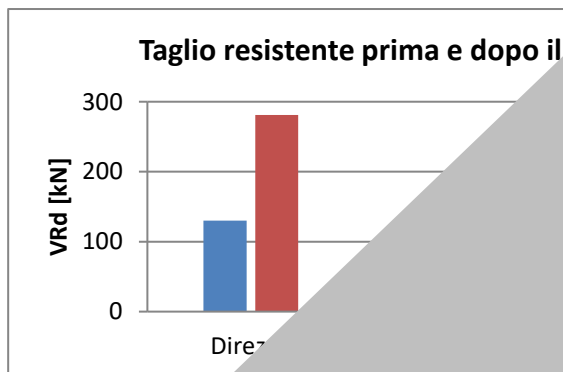
**Tagli resistenti in direzione Y**

*Tagli resistenti in direzione Y (in assenza di rinforzo)*

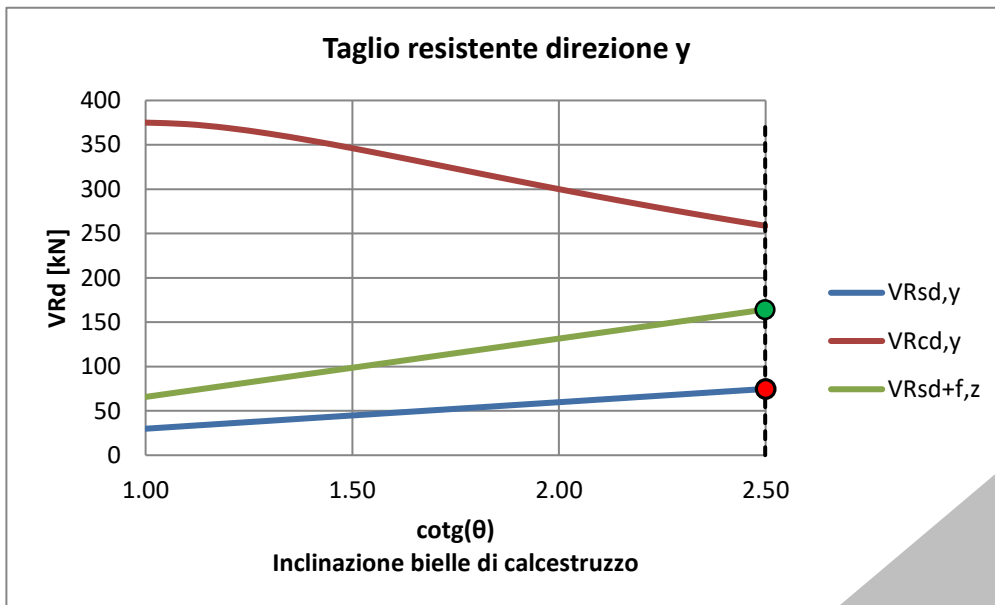
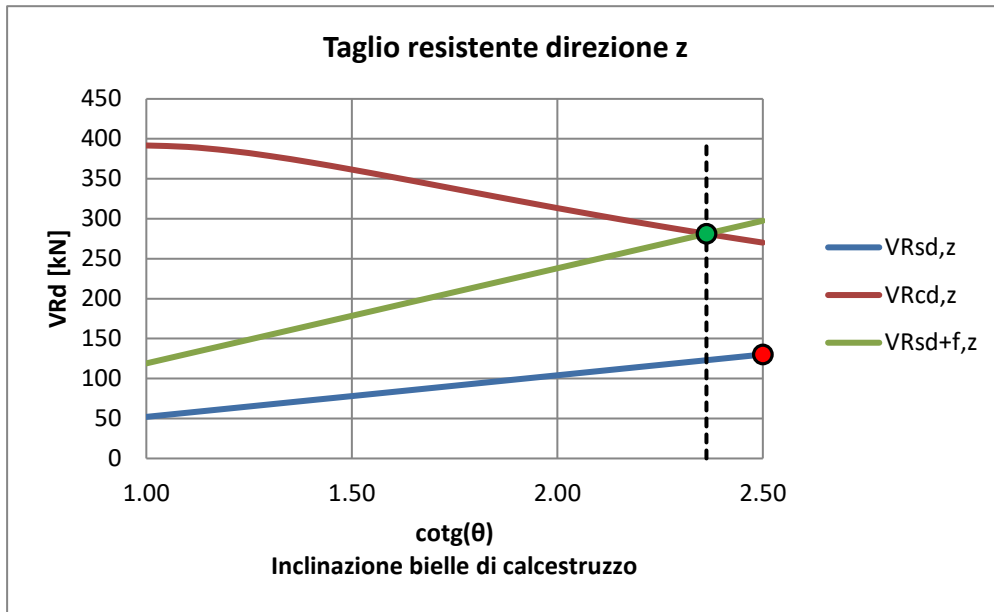
$V_{Rcd,y} =$	258.63	kN	Resistenza lato calcestruzzo ("Taglio compressione")
$V_{Rsd,y} =$	74.74	kN	Resistenza dell'armatura trasversale ("Taglio trazione")
$V_{Rd,y} =$	74.74	kN	$\min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$

*Tagli resistenti in direzione Y (con rinforzo in FRP)*

$V_{Rcd,y} =$	258.71	kN	Resistenza lato calcestruzzo ("Taglio compressione")
$V_{Rsd,y} =$	74.71	kN	Resistenza dell'armatura trasversale ("Taglio trazione")
$V_{Rsd+f,y} =$	164.29	kN	Resistenza dell'armatura trasversale e dell'FRP ("Taglio trazione")
$V_{Rd,y}^{(FRP)} =$	164.29	kN	$\min(V_{Rsd+f}; V_{Rcd})$



**RELAZIONE  
DI ESEMPIO**



Verifica di resistenza a taglio	Ed/Rd	Esito
Prima del rinforzo - direz. Z	✘ 1.14	Negativo
Dopo il rinforzo - direz. Z	✔ 0.53	Positivo
Prima del rinforzo - direz. Y	✘ 2.01	Negativo
Dopo il rinforzo - direz. Y	✔ 0.91	Positivo

Limitaz. geometriche del rinforzo	Ed/Rd
Fattibilità del rinforzo	✔ 0.74
Passo delle strisce minimo	✔ 0.8
Passo delle strisce massimo	✔
Larghezza min delle strisce	
Larghezza max delle strisce	

RELAZIONE  
DI ESEMPIO

## Dettaglio delle verifiche

Verifica di resistenza a taglio						
Prima del rinforzo - direz. Z	$V_{Ed,z} =$	148.00	>	$V_{Rd,z} =$	130.11	kN
Dopo il rinforzo - direz. Z	$V_{Ed,z} =$	148.00	$\leq$	$V_{Rd,z}^{(FRP)} =$	281.17	kN
Prima del rinforzo - direz. Y	$V_{Ed,y} =$	150.00	>	$V_{Rd,y} =$	74.74	kN
Dopo il rinforzo - direz. Y	$V_{Ed,y} =$	150.00	$\leq$	$V_{Rd,y}^{(FRP)} =$	164.29	kN

Limitazioni geometriche del rinforzo						
Fattibilità del rinforzo	$p_{f,min} =$	100	$\leq$	$p_{f,max} =$	135	mm
Passo delle strisce minimo	$p_f =$	120	$\geq$	$p_{f,min} =$	100	mm
Passo delle strisce massimo	$p_f =$	120	$\leq$	$p_{f,max} =$	135	mm
Larghezza min delle strisce	$b_f =$	100	$\geq$	$b_{f,min} =$	50	mm
Larghezza max delle strisce	$b_f =$	100	$\leq$	$b_{f,max} =$	250	mm

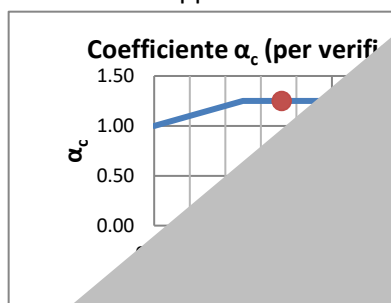
## Sviluppo dei calcoli

$h =$	500.00	mm	Altezza della sezione
$h' =$	470.00	mm	Altezza utile della sezione
$b_w =$	300.00	mm	Base della sezione (larghezza minima della sezione)
$b'_w =$	270.00	mm	Base utile della sezione
$A_{sw} =$	100.53	mm <sup>2</sup>	Area di armatura trasversale
$p_{st} =$	200.00	mm	Passo delle staffe
$f_{ck} =$	23.53	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza cilindrica caratteristica del calcestruzzo
$f_{cd} =$	13.33	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

## Solo per strutture esistenti

LC =	LC1 - Conosc. Limitata	FC=1.35	
FC =	1.35	Fattore di confidenza	
$f_{cd}/FC =$	9.88	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza ridotta del calcestruzzo

$f'_{cd} =$	4.94	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione ridotta
$\sigma_{cp} =$	3.55	N/mm <sup>2</sup>	Tensione di compressione nell'...
$\sigma_{cp}/f'_{cd} =$	0.36		Rapporto fra tensione ag...



$$\alpha_c = 1.25$$

RELAZIONE  
DI ESEMPIO

$f_{yk} =$	380.00	$\text{N/mm}^2$	Resistenza caratteristica di snervamento dell'acciaio
$f_{yd} =$	330.43	$\text{N/mm}^2$	Resistenza di calcolo allo snervamento dell'acciaio

**Solo per strutture esistenti**

LC =	LC1 - Conosc. Limitata	FC=1.35	
FC =	1.35		Fattore di confidenza
$f_{yd}/FC =$	244.77	$\text{N/mm}^2$	Resistenza ridotta del calcestruzzo

$\cotg(\alpha) =$	0.00	
$\sin(\alpha) =$	1.00	
$\cotg(\theta)_z =$	2.50	Compresa fra 1 e 2.5
$\cotg(\theta)_y =$	2.50	Compresa fra 1 e 2.5

$V_{Rsd,z} =$	130.11	kN	Resistenza dell'armatura trasversale dir. z ("Taglio trazione")
$V_{Rcd,z} =$	270.12	kN	Resistenza lato calcestruzzo dir. z ("Taglio compressione")
$V_{Rsd,y} =$	74.74	kN	Resistenza dell'armatura trasversale dir. y ("Taglio trazione")
$V_{Rcd,y} =$	258.63	kN	Resistenza lato calcestruzzo dir. y ("Taglio compressione")
$V_{Rd,z} =$	130.11	kN	Resistenza a taglio della trave dir. Z
$V_{Rd,y} =$	74.74	kN	Resistenza a taglio del pilastro dir. Y

**Verifica del pilastro con rinforzo in FRP****Contributo della biella compressa di calcestruzzo e dell'armatura trasversale**

$\cotg(\theta)_z =$	2.36	Compresa fra 1 e 2.5
$\cotg(\theta)_y =$	2.50	Compresa fra 1 e 2.5

$V_{Rsd,z} =$	122.97	kN	Resistenza dell'armatura trasversale dir. z ("Taglio trazione")
$V_{Rcd,z} =$	281.17	kN	Resistenza lato calcestruzzo dir. z ("Taglio compressione")
$V_{Rsd,y} =$	74.71	kN	Resistenza dell'armatura trasversale dir. y ("Taglio trazione")
$V_{Rcd,y} =$	258.71	kN	Resistenza lato calcestruzzo dir. y ("Taglio compressione")

**Contributo del rinforzo in FRP***Dati geometrici della sezione*

$h' =$	470.00	mm	Altezza utile della sezione
$b' =$	270.00	mm	Base utile della sezione

*Dati geometrici del rinforzo in FRP*

$t_f =$	0.167	mm	Spessore equivalente
$n_f =$	1		numero di strati
$b_f =$	100	mm	Larghezza
$p_f =$	120	mm	Passo
$\beta =$	90.00	°	Inclinazione
$\cotg(\beta) =$	0.00		

$p_{f,min} =$	100.00
$p_{f,max} =$	135.00

**RELAZIONE  
DI ESEMPIO**

**Proprietà dei materiali**

$f_{ck} =$	23.53	N/mm <sup>2</sup>	resistenza caratteristica cilindrica del cls
$f_{ctm} =$	2.46	N/mm <sup>2</sup>	resistenza media a trazione semplice del cls

**Moduli elastici**

$E_f =$	270000	N/mm <sup>2</sup>	modulo elastico dell'FRP
---------	--------	-------------------	--------------------------

**Resistenze ridotte (solo per strutture esistenti)**

LC =	LC1 - Conosc. Limitata	FC=1.35	
FC =	1.35		Fattore di confidenza

**Resistenza del composito in FRP per distacco di estremità (modo 1)**

$b =$	120.00	mm	Denominatore del rapporto di forma
$b_f/b =$	0.83		Rapporto fra larghezza del rinforzo e larghezza del pilastro
$k_b =$	1.00		fattore geometrico
$k_G =$	0.037	mm	
$\gamma_{fd} =$	1.20		coefficiente parziale per rottura per delaminazione
$\Gamma_{Fd} =$	0.209	N/mm <sup>2</sup>	Energia specifica di frattura
$f_{fdd,1} =$	684.51	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza per distacco di estremità (modo 1)

**Calcolo della lunghezza ottimale di ancoraggio**

$\gamma_{Rd} =$	1.25		coefficiente correttivo
$s_u =$	0.25	mm	scorrimento ultimo fra FRP e supporto
$f_{bd} =$	1.67	N/mm <sup>3</sup>	
$l_{ed,1} =$	103.26	mm	Lunghezza di ancoraggio minima da calcolo

**Resistenza efficace dell'FRP (disposizione in avvolgimento)**

$\sin(\beta) =$	1.00		Seno dell'angolo Beta
$0.9 \cdot h' =$	423.00	mm	
$0.9 \cdot b' =$	243.00	mm	
$r_c =$	2.00	cm	raggio di curvatura dello spigolo del pilastro
$r_c/b =$	0.07		rapporto fra raggio e lato del pilastro
$r_c/h =$	0.04		
$\phi_{R,z} =$	0.31		per taglio in direzione Z
$\phi_{R,y} =$	0.26		per taglio in direzione Y
$\gamma_f =$	1.10		coefficiente parziale per rottura
$f_{fd} =$	2454.55	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza per distacco di estremità (modo 1)
$term_{1,z} =$	656.66	N/mm <sup>2</sup>	Primo termine della resistenza efficace
$term_{2,z} =$	25.78	N/mm <sup>2</sup>	Secondo termine della resistenza efficace
$f_{fed,z} =$	682.44	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza per distacco di estremità (modo 1)
$term_{1,y} =$	636.03	N/mm <sup>2</sup>	Primo termine della resistenza efficace
$term_{2,y} =$	0.00	N/mm <sup>2</sup>	Secondo termine della resistenza efficace
$f_{fed,y} =$	636.03	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza per distacco di estremità (modo 1)

**RELAZIONE  
DI ESEMPIO**

## Rinforzo a TAGLIO

## Taglio resistente del pilastro rinforzato

$V_{Rd} =$	1.20		Coefficiente parziale per taglio-torsione
$V_{Rsd,z} =$	122.97	kN	Resistenza dell'armatura trasversale dir. z ("Taglio trazione")
$V_{Rcd,z} =$	281.17	kN	Resistenza lato calcestruzzo dir. z ("Taglio compressione")
$V_{Rd,f,z} =$	158.20	kN	Capacità a taglio-trazione del rinforzo in FRP in direzione z
$V_{Rsd+f,z} =$	281.17	kN	Somma del contributo resistente dell'armatura e dell'FRP
$V_{Rd,z}^{(FRP)} =$	281.17	kN	Resistenza a taglio del pilastro rinforzato in dir. Z -
$V_{Rsd,y} =$	74.71	kN	Resistenza dell'armatura trasversale dir.
$V_{Rcd,y} =$	258.71	kN	Resistenza lato calcestruzzo dir. y ("
$V_{Rd,f,y} =$	89.58	kN	Capacità a taglio-trazione del ri
$V_{Rsd+f,y} =$	164.29	kN	Somma del contributo resis
$V_{Rd,y}^{(FRP)} =$	164.29	kN	Resistenza a taglio d

Fine della verifica

RELAZIONE  
DI ESEMPIO