

Travi in FRC e barre in FRP - Verifica a flessione allo SLU**Normativa di riferimento:**

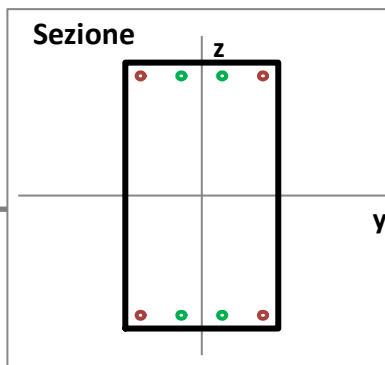
NTC2018 - D.M. 17/01/2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni

CNR-DT204/2006 - Strutture in calcestruzzo fibrorinforzato

CNR-DT203/2005 - Barre di materiale composito fibrorinforzato

Dati geometrici

Trave:	emerg.			Tipo di trave (emerg. o a spessore)
b =	30.00	cm		Base della sezione
h =	60.00	cm		Altezza della sezione
d' =	3.00	cm		Copriferro
$A_{s,sup}$ =	2	ϕ	16	Armatura superiore
$A_{s,inf}$ =	2	ϕ	16	Armatura inferiore
$A_{spig,sup.}$ =	1	ϕ	16	Armatura di spigolo superiore
$A_{spig,inf.}$ =	1	ϕ	16	Armatura di spigolo inferiore

**Strutture nuove o esistenti:**

Nuova costruzione

Barre di armatura

Tipo:	Barre in FRP		
<i>Barre di armatura in acciaio</i>			
Classe:	B450C		
E_s =	210'000	N/mm ²	modulo elastico dell'acciaio
<i>Barre di armatura in FRP</i>			
Esposiz.:	esposto ad ambiente umido		
Fibra:	Arammidica		
η_a =	0.80		Fattore di conversione ambientale
E_f =	380'000	N/mm ²	Modulo elastico in trazione delle barre di FRP
f_{fk} =	800.00	N/mm ²	tensione caratteristica di rottura in trazione

Calcestruzzo

Tipo:	Fibrorinforzato		
<i>Calcestruzzo tradizionale</i>			
Classe:	C25/30		
<i>Calcestruzzo fibrorinforzato FRC</i>			
Controllo:	Tipo B: elevato controllo di qualità		
γ_F =	1.30		coefficiente di sicurezza parziale per calcestruzzo fibrorinforzato
f_{FTu} =	6.00	N/mm ²	Resistenza ultima residua a trazione dell'FRC
Tipo:	incrud.		Tipo di legame costitutivo dell'FRC (incrudente o degradante)

Sollecitazioni

$M_{ed,y+}$ =	120.00	KNm	Momento sollecitante positivo (fibre inf. tese)
$M_{ed,y-}$ =	50.00	KNm	Momento sollecitante negativo (fibre sup. tese)
<i>Momenti resistenti</i>			
$M_{Rd,y+}$ =	334.89	kNm	Momento resistente positivo (tende le fibre inferiori)

$M_{Rd,y-} = 334.89$ kNm Momento resistente negativo (tende le fibre superiori)

Verifica a flessione retta						Ed/Rd	Esito
Flessione positiva							
$M_{ed,y+} =$	120.00	\leq	$M_{Rd,y+} =$	334.89	kNm	✓ 0.36	Positivo
Flessione negativa							
$M_{ed,y-} =$	50.00	\leq	$M_{Rd,y-} =$	334.89	kNm	✓ 0.15	Positivo

Verifica dei dettagli costruttivi - Zona non sismica						SF	Esito
Armatura minima							
$A_{s,sup} =$	804	\geq	$A_{s,min} =$	222	mm ²	✓ 0.28	Positivo
Armatura minima							
$A_{s,inf} =$	804	\geq	$A_{s,min} =$	222	mm ²	✓ 0.28	Positivo
Armatura massima							
$A_{s,sup} =$	804	\leq	$A_{s,max} =$	7'200	mm ²	✓ 0.11	Positivo
Armatura massima							
$A_{s,inf} =$	804	\leq	$A_{s,max} =$	7'200	mm ²	✓ 0.11	Positivo
Interferro netto sup.							
$i_{f,sup} =$	64	$>$	$i_{f,min} =$	25	mm	✓ 0.39	Positivo
Interferro netto inf.							
$i_{f,inf} =$	64	$>$	$i_{f,min} =$	25	mm	✓ 0.39	Positivo

Verifica dei dettagli costruttivi - Zona sismica - Armatura inferiore tesa						SF	Esito
Armatura tesa minima							
$\rho =$	0.004	$>$	$1.4/f_{yk} =$	0.003		✓ 0.70	Positivo
Armatura tesa massima							
$\rho =$	0.004	$<$	$\rho_{max} =$	0.012		✓ 0.36	Positivo
In zona critica							
$\rho_{comp} =$	0.004	\geq	$1/2*\rho =$	0.002		✓ 0.50	Positivo
Nel resto della trave							
$\rho_{comp} =$	0.004	\geq	$1/4*\rho =$	0.001		✓ 0.25	Positivo

Verifica dei dettagli costruttivi - Zona sismica - Armatura superiore tesa						SF	Esito
Armatura tesa minima							
$\rho =$	0.004	$>$	$1.4/f_{yk} =$	0.003		✓ 0.70	Positivo
Armatura tesa massima							
$\rho =$	0.004	$<$	$\rho_{max} =$	0.012		✓ 0.36	Positivo
In zona critica							
$\rho_{comp} =$	0.004	\geq	$1/2*\rho =$	0.002		✓ 0.50	Positivo
Nel resto della trave							
$\rho_{comp} =$	0.004	\geq	$1/4*\rho =$	0.001		✓ 0.25	Positivo

Sviluppo dei calcoli

Resistenza dei materiali*Calcestruzzo compresso*

$f_{ck} =$	25.00	N/mm^2	resistenza caratteristica cilindrica del cls
$f_{cd} =$	14.17	N/mm^2	resistenza di progetto cilindrica del cls
$f_{ctm} =$	2.56	N/mm^2	resistenza media a trazione semplice del cls

Calcestruzzo teso (fibrorinforzato)

$\gamma_F =$	1.30		coefficiente di sicurezza parziale per calcestruzzo fibrorinforzato
$f_{FTu} =$	6.00	N/mm^2	Resistenza ultima residua a trazione dell'FRC
$f_{FTu,d} =$	4.62	N/mm^2	Resistenza di progetto a trazione dell'FRC

Barre di armatura in acciaio

$f_{yk} =$	450.00	N/mm^2	tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio
$f_{yd} =$	391.30	N/mm^2	tensione di snervamento di progetto dell'acciaio

Barre di armatura in FRP

$\gamma_f =$	1.50		Coefficiente di sicurezze per barre in FRP
$\eta_a =$	0.80		Fattore di conversione ambientale
$f_{fk} =$	800.00	N/mm^2	tensione caratteristica di rottura in trazione
$f_{fd} =$	426.67	N/mm^2	tensione di rottura di progetto

Resistenze ridotte (solo per strutture esistenti)

LC =	Nuova costruzione		
FC =	1.00		Fattore di confidenza
$f_{cd}/FC =$	14.17		Resistenza del calcestruzzo ridotta
$f_{yd}/FC =$	391.30		Resistenza dell'acciaio ridotta
$f_{FTu,d}/FC =$	4.62	N/mm^2	Resistenza a trazione dell'FRC ridotta

Deformazioni dei materiali

$\epsilon_{cu} =$	0.0035		Deformazione ultima a compressione nel cls
-------------------	--------	--	--

Calcestruzzo fibrorinforzato

Tipo:	<i>includ.</i>		Tipo di legame costitutivo dell'FRC (includente o degradante)
$\epsilon_{fu,inc.} =$	0.0100		Deformazione ultima a trazione per legame includente
$\epsilon_{fu,deg.} =$	0.0200		Deformazione ultima a trazione per legame degradante
$\epsilon_{fu} =$	0.0100		deformazione ultima a trazione del calcestruzzo fibrorinforzato

Barre in FRP

$\epsilon_{fk} =$	0.0021		Deformazione ultima caratt. a trazione delle barre in FRP
$\epsilon_{fd} =$	0.0011		Deformazione ultima delle barre in FRP

rottura: *barre tese*

$\epsilon_{u,tr} =$	0.0014		Deformazione ultima in trazione (minimo fra rottura barre e cls teso)
---------------------	--------	--	---

Coefficienti di riduzione per lo stress-block

$\psi =$	0.800		coeff. di riduz. di γ_c (stress block)
$\lambda =$	0.400		coeff. di riduz. di γ_c per il calcolo del braccio

Aree di armatura

$A_{s,sup} =$	402.12	mm^2	Armatura superiore
---------------	--------	--------	--------------------

$A_{s,inf}$	=	402.12	mm ²	Armatura inferiore
$A_{spig.sup.}$	=	201.06	mm ²	Armatura di spigolo superiore
$A_{spig.inf.}$	=	201.06	mm ²	Armatura di spigolo inferiore
$A_{s,lat}$	=	0.00	mm ²	Armatura laterale

Calcolo del momento resistente positivo MRd,y intorno ad y

b	=	300.00	mm	Base della sezione
h	=	600.00	mm	Altezza sezione
d'	=	30.00	mm	Copriferro
y_c	=	253.34	mm	Asse neutro
$y_{c,lim}$	=	431.56	mm	Asse neutro limite fra rottura a trazione o a compressione
rottura:	trazione			Tipo di rottura (cls compresso - cls teso o barre tese)
ϵ'_s	=	0.0009		deformazione dell'armatura compressa
ϵ_s	=	-0.0012		deformazione dell'armatura tesa

Tensioni nell'armatura

Armatura:	Barre in FRP		Tipologia di armatura selezionata
σ'_s	=	0.00	N/mm ² tensione nell'armatura compressa
σ_s	=	-474.20	N/mm ² tensione nell'armatura tesa
y'_c	=	253.34	mm Asse neutro per l'equilibrio alla traslazione (compreso fra 0 e h)
A'_s	=	804.25	mm ² Armatura compressa
A_s	=	804.25	mm ² Armatura tesa
N'_s	=	0.00E+00	N Sforzo nell'armatura compressa
N_s	=	-3.81E+05	N Sforzo nell'armatura tesa
N_c	=	8.61E+05	N Sforzo nel calcestruzzo compresso
$N_{c,t}$	=	-4.80E+05	N Sforzo nel calcestruzzo teso
$\Delta N(y_c)$	=	-2.63E-06	N equilibrio alla traslazione
$M_{Rd,y+}$	=	334.89	kNm momento resistente positivo allo SLU

Calcolo del momento resistente negativo MRd,y intorno ad y

y_c	=	253.34	mm	Asse neutro
$y_{c,lim}$	=	431.56	mm	Asse neutro limite fra rottura a trazione o a compressione
rottura:	trazione			Tipo di rottura del calcestruzzo
ϵ'_s	=	0.0009		deformazione dell'armatura compressa
ϵ_s	=	-0.0012		deformazione dell'armatura tesa

Tensioni nell'armatura

Armatura:	Barre in FRP		Tipologia di armatura selezionata
σ'_s	=	0.00	N/mm ² tensione nell'armatura compressa
σ_s	=	-474.20	N/mm ² tensione nell'armatura tesa

$y'_c =$	253.34	mm	Asse neutro per l'equilibrio alla traslazione (compreso fra 0 e h)
$A'_s =$	804.25	mm ²	Armatura compressa
$A_s =$	804.25	mm ²	Armatura tesa
$N'_s =$	0.00E+00	N	Sforzo nell'armatura compressa
$N_s =$	-3.81E+05	N	Sforzo nell'armatura tesa
$N_c =$	8.61E+05	N	Sforzo nel calcestruzzo compresso
$N_{c,t} =$	-4.80E+05	N	Sforzo nel calcestruzzo teso
$\Delta N(y_c) =$	-2.63E-06	N	equilibrio alla traslazione
$M_{Rd,y-} =$	334.89	kNm	momento resistente negativo allo SLU

Verifica a flessione retta						Ed/Rd	Esito	
Flessione positiva								
	$M_{ed,y+} =$	120.00	≤	$M_{Rd,y+} =$	334.89	kNm	✔ 0.36	Positivo
Flessione negativa								
	$M_{ed,y-} =$	50.00	≤	$M_{Rd,y-} =$	334.89	kNm	✔ 0.15	Positivo

Dettagli costruttivi - Zona non sismica

$A_s =$	1'608	mm ²	Armatura longitudinale totale
$A_c =$	180'000	mm ²	Area di solo calcestruzzo
$f_{ctm}/f_{yk} =$	0.0057		
$b_t =$	300.00	mm	Larghezza media della zona tesa
$d =$	570.00	mm	Altezza utile
$A_{smin,1} =$	253.42	mm ²	Limite minimo = 0.26*fctm/fyk*b*d
$A_{smin,2} =$	222.30	mm ²	Limite minimo = 0.0013*b*d
$A_{smin} =$	222.30	mm ²	Limite minimo per l'armatura tesa
$A_{smax} =$	7'200.00	mm ²	Limite massimo per l'armatura compressa = 0.04*Ac

Spaziatura netta fra le barre longitudinali EC2 2004 - par.8.2

$\phi_{max} =$	16.00	mm	Diametro massimo delle barre longitudinali
$k_1 =$	1.00		Coefficiente di amplificazione EC2 2004 - par.8.2
$k_2 =$	5.00	mm	Fattore EC2 2004 - par.8.2
$d_g =$	20.00	mm	Dimensione massima dell'aggregato del cls
$i_{f,1} =$	20.00	mm	Interferro netto minimo (valore da normativa EC2)
$i_{f,2} =$	16.00	mm	Interferro netto minimo ($k_1*\phi_{max}$)
$i_{f,3} =$	25.00	mm	Interferro netto minimo ($d_g + k_2$)
$i_{f,min} =$	25.00	mm	Interferro minimo da Normativa
$i_{f,sup} =$	64.00	mm	Interferro netto superiore
$i_{f,inf} =$	64.00	mm	Interferro netto inferiore

Verifica dei dettagli costruttivi - Zona non sismica						SF	Esito	
Armatura minima								
	$A_{s,sup} =$	804	0	$A_{smin} =$	222	mm ²	✔ 0.28	Positivo
Armatura minima								
	$A_{s,inf} =$	804	0	$A_{smin} =$	222	mm ²	✔ 0.28	Positivo
Armatura massima								

	$A_{s,sup} =$	804	0	$A_{s,max} =$	7'200	mm ²	✔ 0.11	Positivo
Armatura massima								
	$A_{s,inf} =$	804	0	$A_{s,max} =$	7'200	mm ²	✔ 0.11	Positivo
Interferro netto sup.								
	$i_{f,sup} =$	64	0	$i_{f,min} =$	25	mm	✔ 0.39	Positivo
Interferro netto inf.								
	$i_{f,inf} =$	64	0	$i_{f,min} =$	25	mm	✔ 0.39	Positivo

Dettagli costruttivi - Zona sismica*Caso di armatura tesa inferiore*

$\rho =$	0.00	Percentuale geometrica di armatura tesa = $A_{s,tesa}/(bxh)$
$\rho_{comp} =$	0.00	Percentuale geometrica di armatura compressa = $A_{s,comp}/(bxh)$
$\rho_{max} =$	0.01	Limite massimo = $\rho_{comp} + 3.5/f_{yk}$

Verifica dei dettagli costruttivi - Zona sismica - Armatura inferiore tesa						SF	Esito
Armatura tesa minima							
	$\rho =$	0.004	>	$1.4/f_{yk} =$	0.003	✔ 0.70	Positivo
Armatura tesa massima							
	$\rho =$	0.004	<	$\rho_{max} =$	0.012	✔ 0.36	Positivo
In zona critica							
	$\rho_{comp} =$	0.004	\geq	$1/2 * \rho =$	0.002	✔ 0.50	Positivo
Nel resto della trave							
	$\rho_{comp} =$	0.004	\geq	$1/4 * \rho =$	0.001	✔ 0.25	Positivo

Caso di armatura tesa superiore

$\rho =$	0.0045	Percentuale geometrica di armatura tesa = $A_{s,tesa}/(bxh)$
$\rho_{comp} =$	0.0045	Percentuale geometrica di armatura compressa = $A_{s,comp}/(bxh)$
$\rho_{max} =$	0.0122	Limite massimo = $\rho_{comp} + 3.5/f_{yk}$

Verifica dei dettagli costruttivi - Zona sismica - Armatura superiore tesa						SF	Esito
Armatura tesa minima							
	$\rho =$	0.004	>	$1.4/f_{yk} =$	0.003	✔ 0.70	Positivo
Armatura tesa massima							
	$\rho =$	0.004	<	$\rho_{max} =$	0.012	✔ 0.36	Positivo
In zona critica							
	$\rho_{comp} =$	0.004	\geq	$1/2 * \rho =$	0.002	✔ 0.50	Positivo
Nel resto della trave							
	$\rho_{comp} =$	0.004	\geq	$1/4 * \rho =$	0.001	✔ 0.25	Positivo