

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

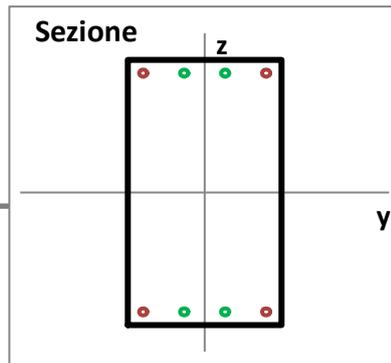
NTC2018 - D.M. 17/01/2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni

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*

tipo di rottura in trazione (barre in FRP o cls fibrorinforzato)

| | | |
|---------------------|--------|--|
| $\epsilon_{u,tr} =$ | 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 = $0.26 \cdot f_{ctm}/f_{yk} \cdot b \cdot d$ |
| $A_{smin,2} =$ | 222.30 | mm ² | Limite minimo = $0.0013 \cdot b \cdot d$ |
| $A_{smin} =$ | 222.30 | mm ² | Limite minimo per l'armatura tesa |
| $A_{smax} =$ | 7'200.00 | mm ² | Limite massimo per l'armatura compressa = $0.04 \cdot A_c$ |

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 ($k_1 \cdot \phi_{max}$) |
| $i_{f,3} =$ | 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 | ≥ | $1/2 * \rho =$ | 0.002 | ✔ 0.50 | Positivo |
| Nel resto della trave | | | | | | | |
| | $\rho_{comp} =$ | 0.004 | ≥ | $1/4 * \rho =$ | 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 | ≥ | $1/2 * \rho =$ | 0.002 | ✔ 0.50 | Positivo |
| Nel resto della trave | | | | | | | |
| | $\rho_{comp} =$ | 0.004 | ≥ | $1/4 * \rho =$ | 0.001 | ✔ 0.25 | Positivo |