

Esercitazione 4

STRUTTURE IN C.A. RINFORZATE CON MATERIALI COMPOSITI

- 1** Determinare la classe di un sistema CFRP con tessuto in fibra di carbonio e spessore equivalente $t_r=0.164\text{mm}$ a partire dai risultati delle prove di qualificazione raccolti in tabella, condotti su campioni contenenti 3 strati di tessuto e aventi larghezza 25mm.

	$F_{\max}$ [kN]	E_r [GPa]
Campione 1	37.9	213.2
Campione 2	39.2	214.4
Campione 3	38.9	216.0
Campione 4	40.3	213.9
Campione 5	43.0	217.9
Campione 6	38.9	211.8
Campione 7	38.8	219.1
Campione 8	39.4	216.1
Campione 9	40.1	215.3

- 2** Determinare la classe di un sistema SFRP con tessuto in acciaio e spessore equivalente $t_r=0.254\text{mm}$ a partire dai risultati delle prove di qualificazione raccolti in tabella, condotti su campioni contenenti 3 strati di tessuto e aventi larghezza 25mm (con F_y è indicata la forza corrispondente al limite elastico).

	F_y [kN]	E_r [GPa]
Campione 1	30.7	193.1
Campione 2	29.2	192.4
Campione 3	31.9	191.0
Campione 4	30.3	193.9
Campione 5	33.0	195.9
Campione 6	33.2	191.7
Campione 7	33.4	192.6
Campione 8	31.5	196.1
Campione 9	32.2	195.7

- 3** Determinare il valore medio della tensione e della forza di distacco di estremità di un rinforzo SFRP, di larghezza 15cm, realizzato con uno strato di tessuto Kerakoll GeoSteel G2000 (classe 190S), su un supporto in calcestruzzo con resistenze medie a compressione e a trazione $f_{cm}=18\text{MPa}$ e $f_{ctm}=1.9\text{MPa}$, di larghezza 30cm. Si assuma un livello di conoscenza adeguato. Si calcoli la lunghezza ottimale di ancoraggio.

- 4** Determinare i valori medio e di progetto della tensione e della forza di distacco di estremità di un rinforzo in CFRP, di larghezza 10cm, realizzato con uno strato di tessuto SikaWrap-600 C (classe 210C), applicato in doppio strato su un supporto di calcestruzzo con resistenze medie a compressione e a trazione $f_{cm}=21\text{MPa}$ e $f_{ctm}=2.4\text{MPa}$, di larghezza 25cm. Si assuma un livello di conoscenza limitato. Si calcoli la lunghezza ottimale di ancoraggio.

- 5** Determinare il valore di progetto della tensione e della forza di distacco intermedio di un rinforzo in CFRP, di larghezza 12cm, realizzato con uno strato tessuto Mapei MapeWrap C UNI-AX HM (classe 350/2800C, grammatura 300g/m²), applicato all'intradosso di una trave di cemento armato, comprendente calcestruzzo con resistenze medie a compressione e a trazione $f_{cm}=12\text{MPa}$ e $f_{ctm}=1.5\text{MPa}$, di larghezza 30cm, soggetta a carichi prevalentemente distribuiti. Si assuma un livello di conoscenza accurato. Si calcoli la lunghezza ottimale di ancoraggio.

- 6** Si progetti il rinforzo a flessione di una trave in c.a., con un sistema in CFRP, considerando i seguenti dati:

Sezione di c.a.

- Base: $b=35\text{cm}$
- Altezza: $h=55\text{cm}$
- Altezza utile: $d=52\text{cm}$

Calcestruzzo preesistente

- Resistenza a compressione media: $f_{cm}=18\text{MPa}$
- Resistenza a trazione media: $f_{ctm}=1.6\text{MPa}$

Acciaio preesistente

- Tensione di snervamento media: $f_{ym}=380\text{MPa}$
- Modulo elastico: $E_s=205\text{GPa}$
- Armatura inferiore (tesa): $A_s=3\emptyset 14$
- Armatura superiore (compressa): $A_s'=2\emptyset 14$

Rinforzo FRP

- CFRP Fibre Net
- Betontex FB-GV420U-HM

Sollecitazioni

- Momento agente carichi permanenti: $M_{gk}=34\text{kNm}$
- Momento agente di progetto (SLU): $M_{Ed}=130\text{kNm}$
- Carichi esterni prevalentemente distribuiti

Caratteristiche progetto

- Livello di conoscenza: adeguato
- Condizione di esposizione: esterna non aggressiva

Dopo aver completato le verifiche allo SLU della sezione rinforzata, si eseguano le verifiche agli SLE inerenti alla limitazione delle tensioni e delle frecce, assumendo che il momento agente prima della applicazione del rinforzo M_0 coincida con M_{gk} e che il momento flettente aggiuntivo dovuto a carichi distribuiti in combinazione quasi permanente che intervengono dopo l'applicazione del rinforzo sia $\Delta M=8\text{kNm}$, e considerando una luce $L=5.30\text{m}$ ed una freccia massima pari a $L/300$.

- 7** Si progetti il rinforzo a flessione di una trave in c.a., con un sistema in SFRP, considerando i seguenti dati:

Sezione di c.a.

- Base: $b=30\text{cm}$
- Altezza: $h=50\text{cm}$
- Altezza utile: $d=47\text{cm}$

Calcestruzzo preesistente

- Resistenza a compressione media: $f_{cm}=15\text{MPa}$
- Resistenza a trazione media: $f_{ctm}=1.3\text{MPa}$

Acciaio preesistente

- Tensione di snervamento media: $f_{ym}=380\text{MPa}$
- Modulo elastico: $E_s=205\text{GPa}$
- Armatura inferiore (tesa): $A_s=3\emptyset 16$
- Armatura superiore (compressa): $A_s'=2\emptyset 12$

Rinforzo FRP

- SFRP Kerakoll
- GeoSteel G3300

Sollecitazioni

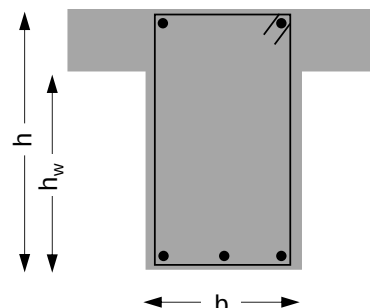
- Momento agente carichi permanenti: $M_{gk}=36\text{kNm}$
- Momento agente di progetto (SLU): $M_{Ed}=132\text{kNm}$
- Carichi esterni prevalentemente distribuiti

Caratteristiche progetto

- Livello di conoscenza: accurato
- Condizione di esposizione: interna

Dopo aver completato le verifiche allo SLU della sezione rinforzata, si eseguano le verifiche agli SLE inerenti alla limitazione delle tensioni e delle frecce, assumendo che il momento agente prima della applicazione del rinforzo M_0 coincida con M_{gk} e che il momento flettente aggiuntivo dovuto a carichi distribuiti in combinazione rara che intervengono dopo l'applicazione del rinforzo sia $\Delta M=12\text{kNm}$, e considerando una luce $L=6.40\text{m}$ ed una freccia massima pari a $L/500$. Per la determinazione del coefficiente di conversione per effetti di lunga durata, si assuma lo stesso valore delle fibre di carbonio.

- 8** Si progetti il rinforzo a taglio della trave in c.a. a T in figura, considerando i seguenti dati di progetto:



Sezione di c.a.

- Base: $b=30\text{cm}$
- Altezza: $h=45\text{cm}$
- Altezza utile: $d=42\text{cm}$
- Altezza dell'anima: $h_w=28\text{cm}$

Calcestruzzo preesistente

- Resistenza a compressione media: $f_{cm}=17\text{MPa}$
- Resistenza a trazione media: $f_{ctm}=1.3\text{MPa}$

Acciaio preesistente

- Tensione di snervamento media: $f_{ym}=380\text{MPa}$
- Modulo elastico: $E_s=205\text{GPa}$
- Staffe $\varnothing 8/20$ 2br.

Rinforzo FRP

- CFRP Mapei
- C UNI-AX 300

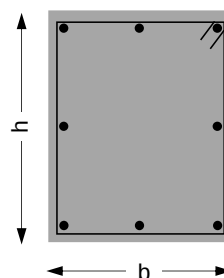
Sollecitazioni

- Taglio agente di progetto (SLU): $V_{Ed}=60\text{kN}$

Caratteristiche progetto

- Livello di conoscenza: limitato
- Condizione di esposizione: aggressiva

- 9** Si progetti il rinforzo a taglio del pilastro in c.a. in figura, considerando i seguenti dati di progetto.



Sezione di c.a.

- Base: $b=30\text{cm}$
- Altezza: $h=40\text{cm}$
- Altezza utile: $d=37\text{cm}$

Calcestruzzo preesistente

- Resistenza a compressione media: $f_{cm}=22\text{MPa}$
- Resistenza a trazione media: $f_{ctm}=1.9\text{MPa}$

Acciaio preesistente

- Tensione di snervamento media: $f_{ym}=380\text{MPa}$
- Modulo elastico: $E_s=205\text{GPa}$
- Staffe $\varnothing 8/15$ 2br.

Rinforzo FRP

- SFRP Kerakoll GeoSteel G2000

Sollecitazioni

- Taglio agente di progetto (SLU): $V_{Ed}=98\text{kN}$
- Sforzo normale agente (SLU): $N_{Ed}=580\text{kN}$

Caratteristiche progetto

- Livello di conoscenza: limitato
- Condizione di esposizione: interna

- 10** Si progetti il rinforzo a taglio di un pilastro in c.a., considerando i seguenti dati di progetto.

Sezione di c.a.

- Base: $b=40\text{cm}$
- Altezza: $h=60\text{cm}$
- Altezza utile: $d=56\text{cm}$

Calcestruzzo preesistente

- Resistenza a compressione media: $f_{cm}=18\text{MPa}$
- Resistenza a trazione media: $f_{ctm}=1.6\text{MPa}$

Acciaio preesistente

- Tensione di snervamento media: $f_{ym}=380\text{MPa}$
- Modulo elastico: $E_s=205\text{GPa}$
- Staffe $\varnothing 10/25$ 2br.

Rinforzo FRP

- CFRP Sika
- SikaWrap-300 C

Sollecitazioni

- Taglio agente di progetto (SLU): $V_{Ed}=125\text{kN}$
- Sforzo normale agente (SLU): $N_{Ed}=720\text{kN}$

Caratteristiche progetto

- Livello di conoscenza: adeguato
- Condizione di esposizione: aggressiva

11 Si progetti il confinamento di un pilastro in c.a. con un sistema CFRP, considerando i seguenti dati. Si calcoli la resistenza ultima di progetto a compressione del pilastro confinato e la deformazione ultima del calcestruzzo.

Sezione di c.a.

- Base: $b=25\text{cm}$
- Altezza: $h=30\text{cm}$

Calcestruzzo preesistente

- Resistenza a compressione media: $f_{cm}=16.5\text{MPa}$

Acciaio preesistente

- Tensione di snervamento media: $f_{ym}=380\text{MPa}$
- Modulo elastico: $E_s=205\text{GPa}$
- Armatura longitudinale: $A_s=4\phi 16$

Rinforzo FRP

- CFRP Sika
- SikaWrap-400 C HM

Sollecitazioni

- Sforzo normale di progetto (SLU): $N_{Ed}=1550\text{kNm}$

Caratteristiche progetto

- Livello di conoscenza: adeguato
- Condizione di esposizione: esterna non aggressiva

12 Si progetti il confinamento di un pilastro in c.a. con un sistema SFRP, considerando i seguenti dati. Si calcoli la resistenza ultima di progetto a compressione del pilastro confinato e la deformazione ultima del calcestruzzo.

Sezione di c.a.

- Circolare con diametro $D=40\text{cm}$

Calcestruzzo preesistente

- Resistenza a compressione media: $f_{cm}=13\text{MPa}$

Acciaio preesistente

- Tensione di snervamento media: $f_{ym}=380\text{MPa}$
- Modulo elastico: $E_s=205\text{GPa}$
- Armatura longitudinale: $A_s=8\phi 14$

Rinforzo FRP

- SFRP Kerakoll
- GeoSteel G3300

Sollecitazioni

- Sforzo normale di progetto (SLU): $N_{Ed}=1910\text{kNm}$

Caratteristiche progetto

- Livello di conoscenza: limitato
- Condizione di esposizione: interna

13 Si progetti il rinforzo a flessione di una trave in c.a. con un sistema FRCM, considerando i seguenti dati:

Sezione di c.a.

- Base: $b=60\text{cm}$
- Altezza: $h=30\text{cm}$
- Altezza utile: $d=27\text{cm}$

Calcestruzzo preesistente

- Resistenza a compressione media: $f_{cm}=12\text{MPa}$

Acciaio preesistente

- Tensione di snervamento media: $f_{ym}=380\text{MPa}$
- Modulo elastico: $E_s=210\text{GPa}$
- Armatura inferiore (tesa): $A_s=4\phi 14$
- Armatura superiore (compressa): $A_s'=4\phi 14$

Rinforzo FRCM

- SRG Kerakoll GeoSteel G1200
- $\sigma_{lim,conv}=841\text{MPa}$
- $E_f=195\text{GPa}$
- $\sigma_u=2650\text{MPa}$
- $t_{FRCM}=8\text{mm}$

Sollecitazioni

- Momento agente carichi permanenti: $M_{gk}=20\text{kNm}$
- Momento agente di progetto (SLU): $M_{Ed}=52\text{kNm}$

Caratteristiche progetto

- Livello di conoscenza: limitato
- Condizione di esposizione: interna

14 Si progetti il rinforzo a flessione di una trave in c.a. con un sistema FRCM, considerando i seguenti dati:

Sezione di c.a.

- Base: $b=35\text{cm}$
- Altezza: $h=45\text{cm}$
- Altezza utile: $d=42\text{cm}$

Calcestruzzo preesistente

- Resistenza a compressione media: $f_{cm}=11\text{MPa}$

Acciaio preesistente

- Tensione di snervamento media: $f_{ym}=380\text{MPa}$
- Modulo elastico: $E_s=210\text{GPa}$
- Armatura inferiore (tesa): $A_s=4\phi 12$
- Armatura superiore (compressa): $A_s'=4\phi 12$

Rinforzo FRCM

- Ruregold PBO Mesh 88
- $\sigma_{lim,conv}=1120\text{MPa}$
- $E_f=254\text{GPa}$
- $\sigma_u=3150\text{MPa}$
- $t_{FRCM}=10\text{mm}$

Sollecitazioni

- Momento agente carichi permanenti: $M_{gk}=28\text{kNm}$
- Momento agente di progetto (SLU): $M_{Ed}=59\text{kNm}$

Caratteristiche progetto

- Livello di conoscenza: adeguato
- Condizione di esposizione: esterna

- 15** Si progetti il rinforzo a taglio della trave in c.a. a T in figura con un sistema FRCM, considerando i seguenti dati:

Sezione di c.a.

- Base: $b=30\text{cm}$
- Altezza: $h=55\text{cm}$
- Altezza utile: $d=52\text{cm}$
- Altezza dell'anima: $h_w=42\text{cm}$

Calcestruzzo preesistente

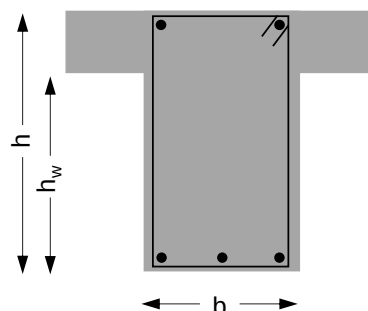
- Resistenza a compressione media: $f_{cm}=13\text{MPa}$

Acciaio preesistente

- Tensione di snervamento media: $f_{ym}=380\text{MPa}$
- Modulo elastico: $E_s=205\text{GPa}$
- Staffe $\varnothing 8/25$ 2br.

Rinforzo FRCM

- Ruregold XT Calcestruzzo
- $\sigma_{lim,conv}=1100\text{MPa}$
- $E_r=270\text{GPa}$
- $\sigma_u=3200\text{MPa}$
- $t_{FRCM}=8\text{mm}$



Sollecitazioni

- Taglio agente di progetto (SLU): $V_{Ed}=55\text{kN}$

Caratteristiche progetto

- Livello di conoscenza: adeguato
- Condizione di esposizione: esterna

- 16** Si progetti il rinforzo a taglio della trave in c.a. a T in figura con un sistema FRCM, considerando i seguenti dati:

Sezione di c.a.

- Base: $b=35\text{cm}$
- Altezza: $h=60\text{cm}$
- Altezza dell'anima: $h_w=45\text{cm}$
- Altezza utile: $d=57\text{cm}$

Calcestruzzo preesistente

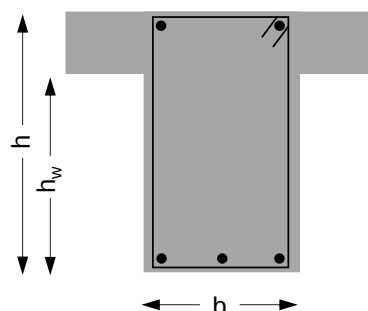
- Resistenza a compressione media: $f_{cm}=11.5\text{MPa}$

Acciaio preesistente

- Tensione di snervamento media: $f_{ym}=380\text{MPa}$
- Modulo elastico: $E_s=205\text{GPa}$
- Staffe $\varnothing 8/30$ 2br.

Rinforzo FRCM

- Mapei MapeGrid C200
- $\sigma_{lim,conv}=1380\text{MPa}$
- $E_r=252\text{GPa}$
- $\sigma_u=2790\text{MPa}$
- $t_{FRCM}=8\text{mm}$



Sollecitazioni

- Taglio agente di progetto (SLU): $V_{Ed}=64\text{kN}$

Caratteristiche progetto

- Livello di conoscenza: accurato
- Condizione di esposizione: interna