

**Analisi non lineare del telaio di cerchiatura - calcolo rigidezza, resistenza e spostamento ultimo**

Normativa: NTC2018 - D.M. 17/01/2018; Circolare 21/1/2019, n. 7

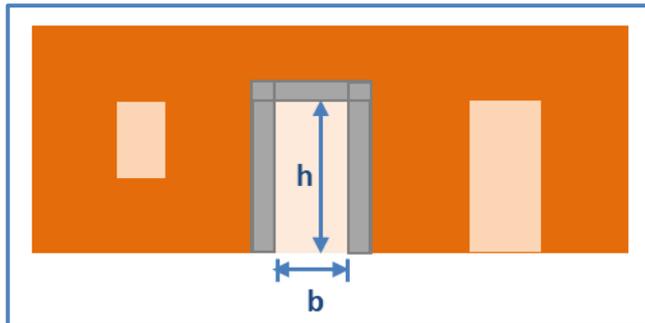
**Tipologia costruttiva di montanti e architrave**

Montanti: calcestruzzo armato

Architrave: acciaio

**Dimensioni nette dell'apertura**

$i_{ap} =$	4		Indice dell'apertura in cui è presente il telaio
$h =$	2.10	m	Altezza netta dell'apertura
$b =$	0.90	m	Larghezza netta dell'apertura

**Acciaio strutturale - caratteristiche di resistenza**

$E =$	210000	$N/mm^2$	Modulo elasticodell'acciaio
$f_{yk} =$	275.00	$N/mm^2$	Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio
$\gamma_M =$	1.05		Coefficiente parziale di sicurezza

**Architrave in acciaio - sezione**

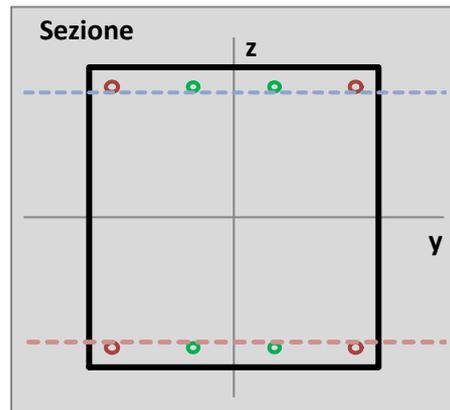
Sezione:	HE120A	Nome sezione
$n_p =$	2	Numero profili

**Calcestruzzo - caratteristiche di resistenza**

$f_{ck} =$	25.00	$N/mm^2$	resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo
$\gamma_c =$	1.50		Coefficiente parziale di sicurezza
$\alpha_{cc} =$	0.85		Coefficiente per effetti di lunga durata
Fessuraz.	50.00	%	Riduz. perc. del mod. elastico per fessuraz. (val. consigliato = 50%)
$E_{cm} =$	31476	$N/mm^2$	Modulo elastico del calcestruzzo
$E_{cm,fess} =$	15738	$N/mm^2$	Modulo elastico del calcestruzzo fessurato

**Acciaio d'armatura - caratteristiche di resistenza**

$f_{yk} =$	450.00	$N/mm^2$	Resistenza caratteristica allo snervamento
$E_s =$	210000	$N/mm^2$	Modulo elastico dell'acciaio
$\gamma_s =$	1.15		Fattore parziale di sicurezza

**Montanti in calcestruzzo armato - sezione**

$b =$	38.00	cm	Base della sezione
$h =$	46.00	cm	Altezza sezione
$d' =$	3.00	cm	Copriferro

**Armatura longitudinale**

$A_{s,spigolo} =$	1	$\phi$	16	Armatura di spigolo
$A_{s,sup} =$	2	$\phi$	14	Armatura superiore
$A_{s,inf} =$	2	$\phi$	14	Armatura inferiore

**Momento resistente intorno ad y**

$M_{Rd,y} =$	114.74	kNm	Momento resistente
$y_c =$	38.69	mm	Profondità dell'asse neutro

**Armatura trasversale**

$\phi_{st} =$	8	mm	Diametro delle staffe
$p_{st} =$	5.00	cm	Passo delle staffe
$n_b =$	2		Numero di bracci delle staffe

**Taglio resistente in direzione Z**

$V_{Rd,z} =$	473.77	kN	Taglio resistente in direzione Z
--------------	--------	----	----------------------------------

**Altri dati del telaio**

Base:	incastro	Vincolo alla base dei montanti
$\mu =$	2.50	Duttilità del telaio di cerchiatura
$\gamma_{Rd} =$	1.30	Fattore di sovraresistenza per gerarchia architrave-montante

**Dati del solaio**

$H_s =$	0.50	m	Distanza del piano di scarico del solaio dall'intrad. dell'apertura
orditura: ortogonale all'architrave			
$L_{inf} =$	3.00	m	Metà luce del solaio
$g_{1k} =$	2.50	kN/m <sup>2</sup>	Peso proprio del solaio
$g_{2k} =$	2.50	kN/m <sup>2</sup>	Carico permanente del solaio
$q_k =$	2.00	kN/m <sup>2</sup>	Carico accidentale del solaio
$g_{altro} =$	0.00	kN/m <sup>2</sup>	Altri carichi perm.
$q_{d,non-lin} =$	8.73	kN/m	Carico sull'architrave per analisi non lineare

**Abbassamenti limite in funzione della luce dell'architrave**

L / 250	Abbassamento limite per i carichi caratteristici
L / 300	Abbassamento limite per i soli carichi variabili

**Coefficienti parziali e di combinazione**

$\gamma_g =$	1.30	Coefficiente parziale per carichi permanenti
$\gamma_q =$	1.50	Coefficiente parziale per carichi accidentali
$\psi_2 =$	0.35	Coefficiente di combinazione

**Risultati dell'analisi****Telaio di cerchiatura**

$K_c =$	38499	kN/m	Rigidezza del telaio
$F_{\text{cerch}} =$	162.65	kN	Resistenza del telaio
$F(d''_u) =$	145.01	kN	Tagliante in corrispond. dello spost. ultimo della parete
$d_{e,c} =$	3.289	mm	Spostamento al limite elastico del telaio
$d_{u,c} =$	12.133	mm	Spostamento ultimo del telaio

**Parete allo stato di fatto**

$K' =$	219243	kN/m	Rigidezza della parete
$F' =$	376.55	kN	Resistenza della parete allo stato di fatto
$d'_{e} =$	1.221	mm	Spostamento al limite elastico della parete
$d'_{u} =$	8.089	mm	Spostamento ultimo della parete

**Parete allo stato di progetto**

$K'' =$	186530	kN/m	Rigidezza della parete
$F'' =$	315.35	kN	Resistenza della parete
$d''_{e} =$	1.295	mm	Spostamento al limite elastico della parete
$d''_{u} =$	7.803	mm	Spostamento ultimo della parete

**Parete allo stato di progetto con telaio di cerchiatura**

$K''+K_{\text{cerch}} =$	186382	kN/m	Rigidezza della parete con cerchiature metalliche
$F''+F_{\text{cerch}} =$	422.83	kN	Resistenza della parete con cerchiature metalliche
$d_{u,p+c} =$	8.089	mm	Spostamento ultimo della parete con cerchiatura

Parete allo stato di progetto con cerchiatura						Esito	
Variazione di rigidezza							
	-15.00	≤	$\Delta K [\%] =$	-14.99	≤	15.00	✔ Positivo
Variazione di resistenza							
	-15.00	≤	$\Delta F [\%] =$	12.29	≤	15.00	✔ Positivo
Variaz. dello spostamento ultimo							
	-15.00	≤	$\Delta d_u [\%] =$	0.00	≤	15.00	✔ Positivo

Verifica del telaio di cerchiatura						Ed/Rd	Esito
Spessore telaio e muratura							
	$t_{tel} =$	380.00	≤	$t_{mur} =$	380.00	mm	✔ 1.00 Positivo
Altezza totale del telaio							
	$h_{tel} =$	2.21	≤	$H_{par} =$	3.50	m	✔ 0.63 Positivo
Gerarchia resist. architrave/montante							
	$V_{Rd} M_{Rd,a} =$	81.37	≤	$M_{Rd,m} =$	114.74	kNm	✔ 0.71 Positivo
Trascurabilità del mom. per car. verticale							
	$M_{max,a} =$	1.29	≤	$0.1 \cdot M_{Rd,a} =$	6.26	kNm	✔ 0.21 Positivo
Spostam. ultimo parete ( $d''_u$ ) vs telaio ( $d_{u,c}$ )							
	$d''_u =$	7.80	≤	$d_{u,c} =$	12.13	mm	✔ 0.64 Positivo

Scarico del solaio sull'architrave						Esito	
Scarico del solaio							
	$h' =$	0.39	≤	$h =$	0.78	m	Presente

Verifica dell'architrave in acciaio						Ed/Rd	Esito
Verifica a flessione allo SLU							
	$M_{Ed} =$	3.11	≤	$M_{Rd,pl} =$	114.74	kNm	✔ 0.03 Positivo
Verifica a taglio allo SLU							
	$V_{Ed} =$	9.14	≤	$V_{c,Rd} =$	255.85	kN	✔ 0.04 Positivo
Spostam. in mezzeria allo SLE							
	$\delta_{max} =$	0.17	≤	$\delta_{lim,1} =$	5.44	mm	✔ 0.03 Positivo
Spostam. in mezzeria allo SLE							
	$\delta_2 =$	0.04	≤	$\delta_{lim,2} =$	4.53	mm	✔ 0.01 Positivo

Montante in c.a. - Verifica dello sforzo normale						SF	Esito
Sforzo normale - CD"A"							
	$N_{Ed} =$	5.94	≤	$N_{max,CDA} =$	1'361.98	kN	✔ 0.00 Positivo
Sforzo normale - CD"B"							
	$N_{Ed} =$	5.94	≤	$N_{max,CDB} =$	1'609.62	kN	✔ 0.00 Positivo

Montante in c.a. - Verifica dei dett. Costr. per armatura longitudinale						SF	Esito
Armatura minima							
	$A_s =$	1'420	≥	$A_{smin,1} =$	2	mm <sup>2</sup>	✔ 0.00 Positivo
Armatura minima							
	$A_s =$	1'420	≥	$A_{smin,2} =$	524	mm <sup>2</sup>	✔ 0.37 Positivo
Armatura massima							
	$A_s =$	1'420	≤	$A_{smax} =$	6'992	mm <sup>2</sup>	✔ 0.20 Positivo

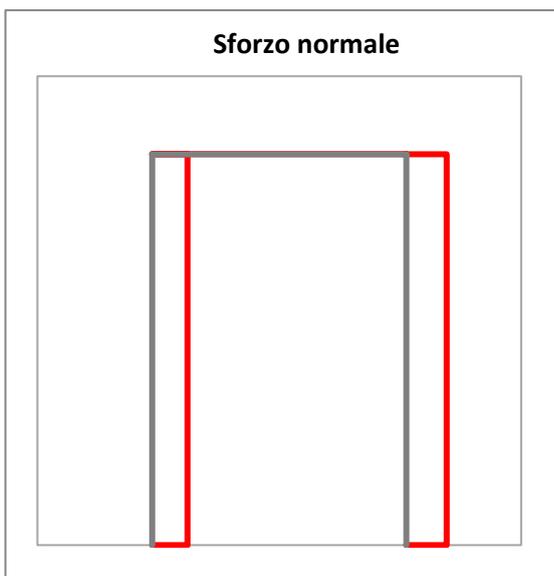
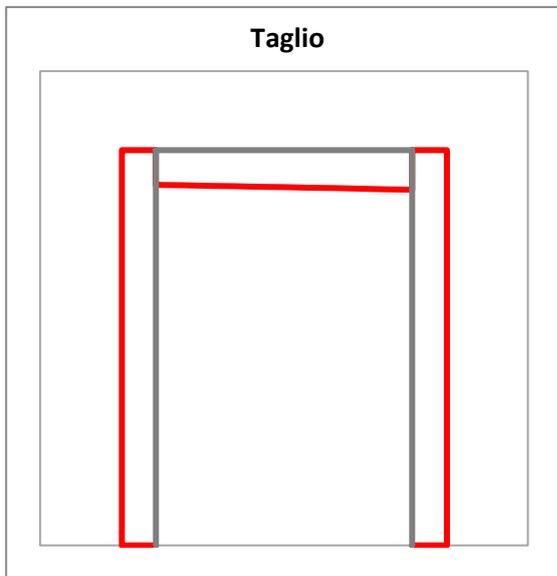
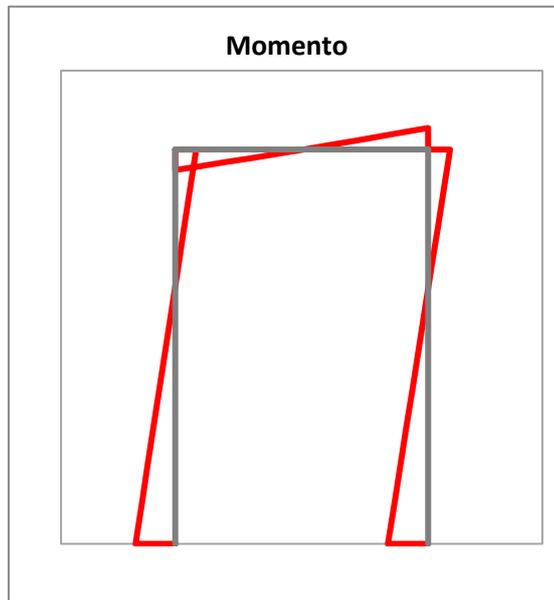
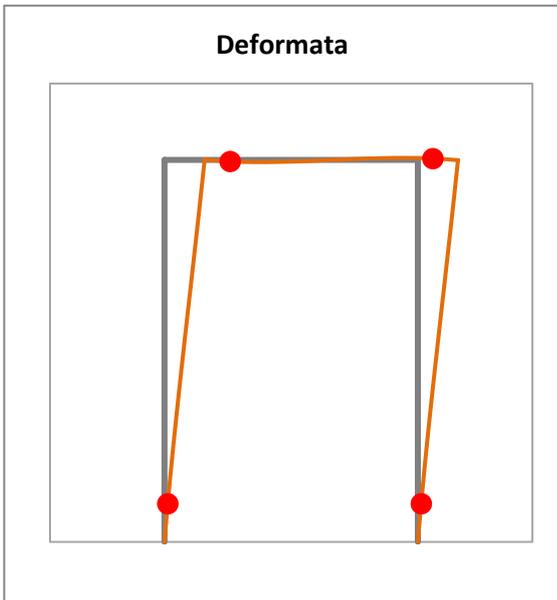
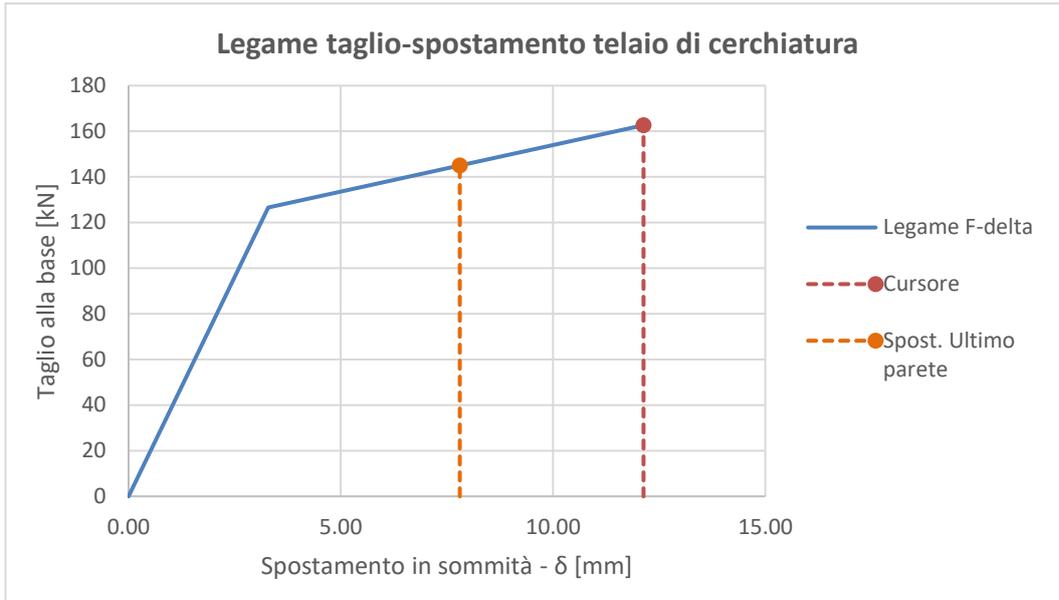
Interferro netto sup.								
	$i_{f,sup} =$	92	$\geq$	$i_{f,min} =$	25	mm	✔ 0.27	Positivo
Interferro netto inf.								
	$i_{f,inf} =$	92	$\geq$	$i_{f,min} =$	25	mm	✔ 0.27	Positivo
Interferro netto laterale								
	$i_{f,lat} =$	384	$\geq$	$i_{f,min} =$	25	mm	✔ 0.07	Positivo

Montante in c.a. - Verifica dei dett. Costr. per arm. long. - Zona sismica						SF	Esito	
Armatura minima								
	$\rho =$	0.008	$<$	$\rho_{min} =$	0.010		✘ 1.23	Negativo
Armatura massima								
	$\rho =$	0.008	$\leq$	$\rho_{max} =$	0.040		✔ 0.20	Positivo

Montante in c.a. - Verifica di resistenza a taglio						Ed/Rd	Esito	
Verifica a taglio direz. Z								
	$V_{Ed,z} =$	82.21	$\leq$	$V_{Rd,z} =$	473.77	kN	✔ 0.17	Positivo

Montante in c.a. - Verifica dei dettagli costruttivi per armatura trasversale						SF	Esito	
Zona non sismica								
	$\rho_{st} =$	5.00	$\leq$	$\rho_{st,max} =$	16.80	cm	✔ 0.30	Positivo
Zona non sismica								
	$\phi_{st} =$	8.00	$\geq$	$\phi_{st,min} =$	6.00	mm	✔ 0.75	Positivo
Zona sismica, CD"A"								
	$\rho_{st} =$	5.00	$\leq$	$\rho_{st,max} =$	8.40	cm	✔ 0.60	Positivo
Zona sism. CD"A" e zona crit.								
	$\rho_{st} =$	5.00	$\leq$	$\rho_{st,max} =$	5.79	cm	✔ 0.86	Positivo
Zona sismica e CD"B"								
	$\rho_{st} =$	5.00	$\leq$	$\rho_{st,max} =$	11.20	cm	✔ 0.45	Positivo

Grafici di output



## Sollecitazioni massime nel telaio di cerchiatura

## Montante

	M	T	N
	[kNm]	[kN]	[kN]
piede	114.74	82.21	96.09
testa	62.60	82.21	96.09

## Architrave

	M	T	N
	[kNm]	[kN]	[kN]
sinistra	62.60	96.09	0.89
destra	62.60	96.09	0.89

## Legame taglio-spostamento del telaio di cerchiatura

$\delta$	F
mm	kN
0.00	0.00
3.29	126.63
12.13	162.65
12.13	162.65



**Ordine di formazione delle cerniere plastiche**  
prima alla base dei montanti e poi nell'architrave

## Dettaglio dei calcoli

## Montanti in calcestruzzo armato - sezione

b =	38.00	cm	Base della sezione
h =	46.00	cm	Altezza sezione
d' =	3.00	cm	Copriferro
A =	1'748.00	cm <sup>2</sup>	Area
I <sub>y</sub> =	308'231	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia

## Armatura longitudinale

A <sub>s,spig</sub> =	1	φ 16	Armatura di spigolo
A <sub>s,sup</sub> =	2	φ 14	Armatura superiore
A <sub>s,inf</sub> =	2	φ 14	Armatura inferiore

M <sub>Rd,y</sub> =	114.74	kNm	Momento resistente intorno ad y
---------------------	--------	-----	---------------------------------

## Architrave in acciaio - Singolo profilo

h <sub>p</sub> =	114	mm	Altezza del profilo
b <sub>p</sub> =	120	mm	Base sezione
g =	0.20	kN/m	Peso del profilo
A =	25.34	cm <sup>2</sup>	Area
I <sub>y</sub> =	606.20	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia
W <sub>y,pl</sub> =	119.50	cm <sup>3</sup>	Modulo di resistenza plastico
M <sub>Rd,pl</sub> =	31.30	kNm	Momento resistente plastico

## Architrave in acciaio - Profilo composto

n <sub>p</sub> =	2	Numero profili per ciascun montante
------------------	---	-------------------------------------

$b_p =$	240	mm	Base sezione composta
$A =$	50.68	cm <sup>2</sup>	Area
$I_y =$	1212.40	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia
$M_{Rd,pl} =$	62.60	kNm	Momento resistente plastico

**Rigidezza traslante del telaio**

$\delta =$	0.260	mm	Spostamento orizzontale dei nodi di sommità
$F =$	10	kN	Forza orizzontale
$K =$	38499	kN/m	Rigidezza traslante

**Legame taglio-spostamento del telaio di cerchiatura**

$d''_u =$	7.803	mm	Spostamento ultimo della parete
$F(d''_u) =$	145.01	kN	Tagliante in corrispond. dello spost. ultimo della parete

**Verifica dell'architrave in acciaio****Dati geometrici e peso muratura**

$L =$	0.90	m	Larghezza netta dell'apertura
$t =$	0.38	m	Spessore della muratura
$g_{mur} =$	15.00	kN/m <sup>3</sup>	Peso per unità di volume della muratura sovrastante l'architrave

**Proprietà dell'architrave in acciaio**

$L =$	1.36	m	Lunghezza di calcolo dell'architrave
$n_p =$	2		Numero profili
$h =$	114	mm	Altezza del profilo
$g =$	0.40	kN/m	Peso del profilo

**Scarico del solaio sull'architrave**

$h =$	0.78	m	Altezza del triangolo equilatero
$h' =$	0.39	m	Altezza del piano di scarico del solaio
$h'' =$	0.39	m	Altezza del triangolo al di sopra del piano del solaio
$L_s =$	0.45	m	Lunghezza del piano di scarico del solaio
$g_k =$	5.01	kN/m	Carico permanente del solaio sull'architrave
$q_k =$	2.00	kN/m	Carico accidentale del solaio sull'architrave

Scarico del solaio sull'architrave						Esito	
Scarico del solaio							
	$h' =$	0.39	$\leq$	$h =$	0.78	m	Presente

**Peso della muratura sull'architrave**

$g_{mur} =$	15.00	kN/m <sup>3</sup>	Peso della muratura sovrastante l'architrave
$A =$	0.53	m <sup>2</sup>	Area del triangolo isoscele
$V =$	0.20	m <sup>3</sup>	Volume della muratura che scarica sul solaio
$g_{k,muro} =$	2.22	kN/m	Carico del muro sull'architrave

**Carichi sull'architrave in acciaio**

$\gamma_g =$	1.30		Coefficiente parziale per carichi permanenti
$\gamma_q =$	1.50		Coefficiente parziale per carichi accidentali

$\psi_2 =$	0.35		Coefficiente di combinazione
$q_{d,non-lin} =$	8.73	kN/m	Carico sull'architrave per analisi non lineare
$q_{d,SLU} =$	13.44	kN/m	Carico allo Stato Limite Ultimo

**Verifica allo Stato Limite Ultimo***Schema statico: trave appoggiata-appoggiata*

$M_{Ed} =$	3.11	kNm	Momento sollecitante massimo in mezzeria
$V_{Ed} =$	9.14	kN	Taglio sollecitante massimo all'appoggio
$M_{Rd,pl} =$	114.74	kNm	Momento resistente plastico dei profili
$A_v =$	846	mm <sup>2</sup>	Area resistente a taglio del singolo profilo
$V_{c,Rd} =$	255.85	kN	Taglio resistente dei profili

**Abbassamenti allo Stato Limite di Esercizio - Combinazione quasi permanente***Schema statico: trave appoggiata-appoggiata*

$q_{d,SLE} =$	9.63	kN/m	Carico totale in combinazione SLE
$I_y =$	606	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia
$\delta_{max} =$	0.17	mm	Abbassamento in mezzeria per i carichi caratteristici
$\delta_2 =$	0.04	mm	Abbassamento in mezzeria per i carichi variabili
	L / 250		Abbassamento limite per $\delta_{max}$
	L / 300		Abbassamento limite per $\delta_2$
$\delta_{lim,1} =$	5.44	mm	Abbassamento limite per $\delta_{max}$
$\delta_{lim,2} =$	4.53	mm	Abbassamento limite per $\delta_2$

Verifica dell'architrave in acciaio						Ed/Rd	Esito	
Verifica a flessione allo SLU								
	$M_{Ed} =$	3.11	≤	$M_{Rd,pl} =$	114.74	kNm	✔ 0.03	Positivo
Verifica a taglio allo SLU								
	$V_{Ed} =$	9.14	≤	$V_{c,Rd} =$	255.85	kN	✔ 0.04	Positivo
Spostam. in mezzeria allo SLE								
	$\delta_{max} =$	0.17	≤	$\delta_{lim,1} =$	5.44	mm	✔ 0.03	Positivo
Spostam. in mezzeria allo SLE								
	$\delta_2 =$	0.04	≤	$\delta_{lim,2} =$	4.53	mm	✔ 0.01	Positivo