

**Verifica delle TRAVI - flessione retta allo SLU****Normativa di riferimento:**

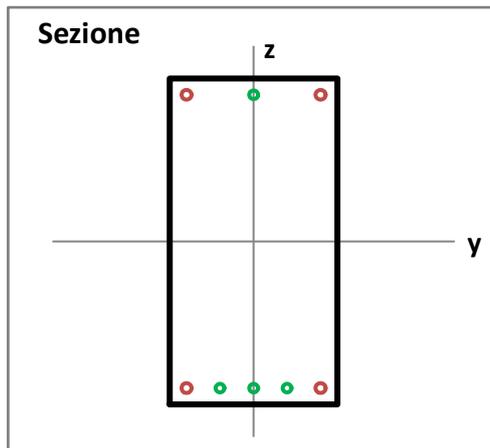
NTC2018 - D.M. 17/01/2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni

Circolare n.7 del 21/1/2019 - Istruzioni per l'applicazione delle NTC

**Dati geometrici**

Trave:	emerg.			Tipo di trave (emergente o a spessore)
b =	30.00	cm		Base della sezione
h =	60.00	cm		Altezza della sezione
d' =	3.00	cm		Copriferro

$A_{spig,sup.} =$	1	$\phi$	18	Armatura di spigolo superiore
$A_{s,sup} =$	1	$\phi$	16	Armatura superiore
$A_{spig,inf.} =$	1	$\phi$	18	Armatura di spigolo inferiore
$A_{s,inf} =$	3	$\phi$	16	Armatura inferiore

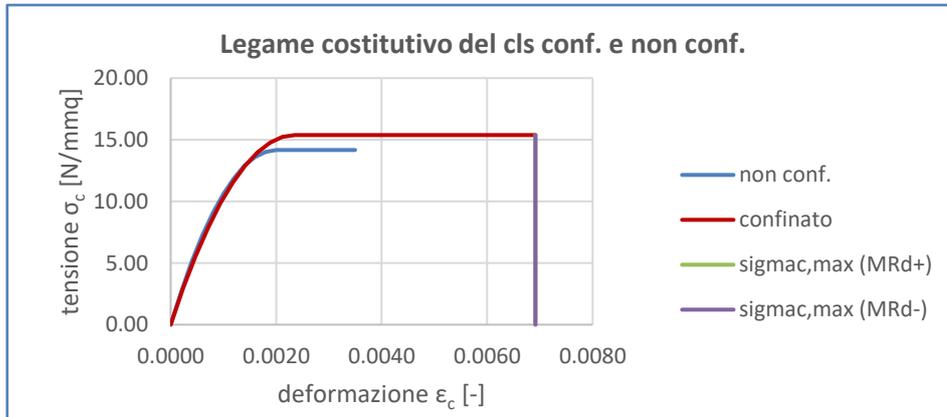
**Comportamento strutturale**

comportamento strutturale: dissipativo - calcolo plastico

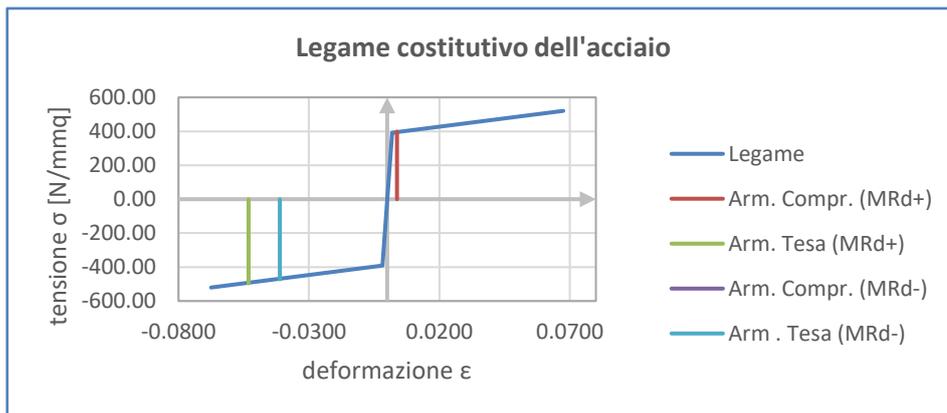
**Materiali****Calcestruzzo non confinato**

Tipo: C25/30

Legame: Parabola-rettangolo

 $\epsilon_{c2} = 0.0020$  deformazione associata alla tensione massima $\epsilon_{cu} = 0.0035$  deformazione ultima $f_{cd} = 14.17$  N/mmq Tensione cilindrica di compressione del calcestruzzo**Acciaio**

Classe: B450C

 $E_s = 210'000$  N/mm<sup>2</sup> modulo elastico dell'acciaioLegame: bilineare finito con incrudimento Modello  $\sigma$ - $\epsilon$  per l'acciaio $(A_{gt})_k = 7.50$  % Allungamento al massimo sforzo $k = 1.33$  Rapporto di sovrarresistenza  $k = (f_v/f_y)_k$  - fra 1.15 e 1.35**Strutture nuove o esistenti:** Nuova costruzione**Coefficienti parziali di sicurezza** $\alpha_{cc} = 0.85$  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**Effetto del confinamento generato da staffe chiuse e legature interne**Considera effetto del confinamento:  si $\phi_{st} = 6.00$  mm diametro delle staffe $n_{b,x} = 2$  numero di bracci delle staffe in direzione x

$n_{b,y} =$	2		numero di bracci delle staffe in direzione y
$s =$	5.00	cm	passo delle staffe
$b_x =$	24.00	cm	dimensioni del nucleo confinato
$b_y =$	54.00	cm	dimensioni del nucleo confinato
$f_{yk,st} =$	450.00	N/mm <sup>2</sup>	Tensione di snervamento caratteristica dell'acciaio delle staffe

#### Distanza fra barre consecutive contenute da staffe o legature

barra	$b_i$	barra	$b_i$
	[cm]		[cm]
1	24.00	11	0.00
2	44.00	12	0.00
3	24.00	13	0.00
4	44.00	14	0.00
5	0.00	15	0.00
6	0.00	16	0.00
7	0.00	17	0.00
8	0.00	18	0.00
9	0.00	19	0.00
10	0.00	20	0.00

#### Parametri del calcestruzzo confinato

$\epsilon_{c2,c} =$	0.0024		Deformazione di picco del cls confinato
$\epsilon_{cu2,c} =$	0.0069		Deformazione ultima del cls cofinato
$f_{cd,c} =$	15.38	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto cilindrica del cls confinato

#### Incrementi percentuali rispetto al calcestruzzo non confinato

$\epsilon_{c2,c} =$	17.8%		Deformazione di picco del cls confinato
$\epsilon_{cu2,c} =$	97.8%		Deformazione ultima del cls confinato
$f_{cd,c} =$	8.5%		Resistenza di progetto cilindrica del cls confinato

#### Sollecitazioni

$M_{ed,y+} =$	121.00	KNm	Momento sollecitante positivo (fibre inf. tese)
$M_{ed,y-} =$	150.00	KNm	Momento sollecitante negativo (fibre sup. tese)

#### Momento resistente positivo

$M_{Rd,y+} =$	297.97	kNm	Momento resistente positivo (tende le fibre inferiori)
$y_c =$	65.63	mm	Profondità dell'asse neutro dal lembo compresso della sezione
$\sigma_{c,max} =$	15.38	N/mm <sup>2</sup>	Tensione di compressione massima nel calcestruzzo
$\epsilon_{c,max} =$	0.0069		Deformazione massima nel calcestruzzo compresso
$\sigma_{s,sup} =$	398.69	N/mm <sup>2</sup>	Tensione nell'armatura superiore
$\sigma_{s,inf} =$	-495.86	N/mm <sup>2</sup>	Tensione nell'armatura inferiore
$\epsilon_{s,sup} =$	0.0038		Deformazione nell'armatura inferiore
$\epsilon_{s,inf} =$	-0.0531		Deformazione nell'armatura superiore

#### Momento resistente negativo

$M_{Rd,y-} =$	178.84	kNm	Momento resistente negativo (tende le fibre superiori)
$y_c =$	82.00	mm	Profondità dell'asse neutro dal lembo compresso della sezione
$\sigma_{c,max} =$	15.38	N/mm <sup>2</sup>	Tensione di compressione massima nel calcestruzzo

$\epsilon_{c,max}$ =	0.0069		Deformazione massima nel calcestruzzo compresso
$\sigma_{s,sup}$ =	-472.28	N/mm <sup>2</sup>	Tensione nell'armatura superiore
$\sigma_{s,inf}$ =	0.00	N/mm <sup>2</sup>	Tensione nell'armatura inferiore
$\epsilon_{s,sup}$ =	-0.0412		Deformazione nell'armatura inferiore
$\epsilon_{s,inf}$ =	0.0038		Deformazione nell'armatura superiore

## Esito delle verifiche

Verifica a flessione retta						Ed/Rd	Esito
Flessione positiva							
	$M_{ed,y+} =$	121.00	$\leq$	$M_{Rd,y+} =$	297.97	kNm	0.41 Positivo
Flessione negativa							
	$M_{ed,y-} =$	150.00	$\leq$	$M_{Rd,y-} =$	178.84	kNm	0.84 Positivo
Duttilità sezione (fless. +)							
	$(y_c/h)_+ =$	0.11	$\leq$	0.25		0.44	Positivo
Duttilità sezione (fless. -)							
	$(y_c/h)_- =$	0.14	$\leq$	0.25		0.55	Positivo

Verifica dei dettagli costruttivi - cap. 4 NTC						SF	Esito
Armatura minima							
	$A_{s,sup} =$	710	$\geq$	$A_{s,min} =$	222	mm <sup>2</sup>	0.31 Positivo
Armatura minima							
	$A_{s,inf} =$	1'112	$\geq$	$A_{s,min} =$	222	mm <sup>2</sup>	0.20 Positivo
Armatura massima							
	$A_{s,sup} =$	710	$\leq$	$A_{s,max} =$	7'200	mm <sup>2</sup>	0.10 Positivo
Armatura massima							
	$A_{s,inf} =$	1'112	$\leq$	$A_{s,max} =$	7'200	mm <sup>2</sup>	0.15 Positivo
Interferro netto sup.							
	$i_{f,sup} =$	103	$>$	$i_{f,min} =$	25	mm	0.24 Positivo
Interferro netto inf.							
	$i_{f,inf} =$	43	$>$	$i_{f,min} =$	25	mm	0.58 Positivo

Verifica dei dettagli costruttivi - cap. 7 NTC - Armatura inferiore tesa						SF	Esito
Armatura tesa minima							
	$\rho =$	0.006	$>$	$1.4/f_{yk} =$	0.003		0.50 Positivo
Armatura tesa massima							
	$\rho =$	0.006	$<$	$\rho_{max} =$	0.012		0.53 Positivo
In zona critica							
	$\rho_{comp} =$	0.004	$\geq$	$1/2*\rho =$	0.003		0.78 Positivo
Nel resto della trave							
	$\rho_{comp} =$	0.004	$\geq$	$1/4*\rho =$	0.002		0.39 Positivo

Verifica dei dettagli costruttivi - cap. 7 NTC - Armatura superiore tesa						SF	Esito
Armatura tesa minima							
	$\rho =$	0.004	0.000	$1.4/f_{yk} =$	0.003		0.79 Positivo
Armatura tesa massima							
	$\rho =$	0.004	0.000	$\rho_{max} =$	0.014		0.28 Positivo
In zona critica							
	$\rho_{comp} =$	0.006	0.000	$1/2*\rho =$	0.002		0.32 Positivo
Nel resto della trave							
	$\rho_{comp} =$	0.006	0.000	$1/4*\rho =$	0.001		0.16 Positivo

**Sviluppo dei calcoli****Proprietà dei materiali - calcestruzzo**

$\alpha_{cc}$ =	0.85	Coefficiente riduttivo del cls per resistenze di lunga durata
$\gamma_c$ =	1.50	Coefficiente di sicurezza del cls (= 1 per costruzioni esistenti)
$f_{ck}$ =	25.00	N/mm <sup>2</sup> resistenza caratteristica cilindrica del cls
$f_{cd}$ =	14.17	N/mm <sup>2</sup> resistenza di progetto cilindrica del cls
$f_{ctm}$ =	2.56	N/mm <sup>2</sup> resistenza media a trazione semplice del cls
$\epsilon_{c2}$ =	0.0024	deformazione associata alla tensione massima
$\epsilon_{cu}$ =	0.0069	deformazione ultima nel cls

**Proprietà dei materiali - acciaio di armatura**

$\gamma_s$ =	1.15	Coefficiente di sicurezza dell'acciaio (= 1 per costruzioni esistenti)
$f_{yk}$ =	450.00	N/mm <sup>2</sup> tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio
$f_{yd}$ =	391.30	N/mm <sup>2</sup> tensione di snervamento di progetto dell'acciaio
$\epsilon_{0s}$ =	0.0019	deformaz. al limite elastico dell'acciaio

Legame: bilineare finito con incrudimento

$(A_{gt})_k$ =	7.50	%	Allungamento al massimo sforzo
$k$ =	1.33		Rapporto di sovrarresistenza $k = (f_t/f_y)_k$
$\epsilon_{uk}$ =	0.0750		Deformazione ultima caratteristica
$\epsilon_{ud}$ =	0.0675		Deformazione ultima di progetto
$f_{td}/FC$ =	520.43	N/mm <sup>2</sup>	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

**Aree di armatura**

$A_{s,sup}$ =	201.06	mm <sup>2</sup>	Armatura superiore
$A_{s,inf}$ =	603.19	mm <sup>2</sup>	Armatura inferiore
$A_{spig.sup.}$ =	254.47	mm <sup>2</sup>	Armatura di spigolo superiore
$A_{spig.inf.}$ =	254.47	mm <sup>2</sup>	Armatura di spigolo inferiore
$A_{s,lat}$ =	0.00	mm <sup>2</sup>	Armatura laterale

**Calcolo del momento resistente positivo MRd,y intorno ad y**

$b$ =	300	mm	Base della sezione
$h$ =	600	mm	Altezza sezione
$d'$ =	30	mm	Copriferro
$y_c$ =	65.63	mm	Asse neutro

**Deformazioni nell'acciaio usate nel calcolo**

$\epsilon'_s$ =	0.0038		deformazione dell'armatura compressa
$\epsilon_s$ =	-0.0531		deformazione dell'armatura tesa
$\sigma'_s$ =	398.69	N/mm <sup>2</sup>	tensione nell'armatura compressa

$\sigma_s =$	-495.86	N/mm <sup>2</sup>	tensione nell'armatura tesa
$y'_c =$	65.63	mm	Asse neutro per l'equilibrio alla traslazione (compreso fra 0 e h)
$A'_s =$	710.00	mm <sup>2</sup>	Armatura compressa
$A_s =$	1'112.12	mm <sup>2</sup>	Armatura tesa
$N'_s =$	2.83E+05	N	Sforzo nell'armatura compressa
$N_s =$	-5.51E+05	N	Sforzo nell'armatura tesa
$\sigma_c(y_c)$	894.63	N/mm	Area sottesa dal diagramma delle tensioni nel cls
$N_c =$	2.68E+05	N	Sforzo nel calcestruzzo compresso
$\Delta N(y_c)$	5.05E-05	N	equilibrio alla traslazione
$y'_G =$	29.33	mm	Distanza del punto di applicazione della risultante dal lembo compres
$M_{Rd,y+} =$	297.97	kNm	momento resistente positivo allo SLU

**Calcolo del momento resistente negativo MRd,y intorno ad y**

$y_c =$	82.00	mm	Asse neutro
$\epsilon'_s =$	0.0044		deformazione dell'armatura compressa
$\epsilon_s =$	-0.0412		deformazione dell'armatura tesa
$\sigma'_s =$	0.00	N/mm <sup>2</sup>	tensione nell'armatura compressa
$\sigma_s =$	-472.28	N/mm <sup>2</sup>	tensione nell'armatura tesa
$y'_c =$	82.00	mm	Asse neutro per l'equilibrio alla traslazione (compreso fra 0 e h)
$A'_s =$	1'112.12	mm <sup>2</sup>	Armatura compressa
$A_s =$	710.00	mm <sup>2</sup>	Armatura tesa
$N'_s =$	0.00E+00	N	Sforzo nell'armatura compressa
$N_s =$	-3.35E+05	N	Sforzo nell'armatura tesa
$\sigma_c(y_c)$	1117.72	N/mm	Area sottesa dal diagramma delle tensioni nel cls
$N_c =$	3.35E+05	N	Sforzo nel calcestruzzo compresso
$\Delta N(y_c)$	3.46E-08	N	Equilibrio alla traslazione
$y'_G =$	36.64	mm	Distanza del punto di applicazione della risultante dal lembo compres
$M_{Rd,y-} =$	178.84	kNm	Momento resistente negativo allo SLU

**Dettagli costruttivi - cap. 4 NTC**

$A_s =$	1'822	mm <sup>2</sup>	Armatura longitudinale totale
$A_c =$	180'000	mm <sup>2</sup>	Area di solo calcestruzzo
$f_{ctm}/f_{yk} =$	0.0057		
$b_t =$	300	mm	Larghezza media della zona tesa
$d =$	570	mm	Altezza utile
$A_{smin,1} =$	253	mm <sup>2</sup>	Limite minimo = 0.26*fctm/fyk*b*d
$A_{smin,2} =$	222	mm <sup>2</sup>	Limite minimo = 0.0013*b*d
$A_{smin} =$	222	mm <sup>2</sup>	Limite minimo per l'armatura tesa
$A_{smax} =$	7'200	mm <sup>2</sup>	Limite massimo per l'armatura compressa = 0.04*Ac

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

$\phi_{max} =$	18	mm	Diametro massimo delle barre longitudinali
$k_1 =$	1		Coefficiente di amplificazione EC2 2004 - par.8.2
$k_2 =$	5	mm	Fattore EC2 2004 - par.8.2
$d_g =$	20	mm	Dimensione massima dell'aggregato del cls
$i_{f,1} =$	20	mm	Interferro netto minimo (valore da normativa EC2)

$i_{f,2} =$	18	mm	Interferro netto minimo ( $k1 \cdot \phi_{max}$ )
$i_{f,3} =$	25	mm	Interferro netto minimo ( $d_g + k2$ )
$i_{f,min} =$	25	mm	Interferro minimo da Normativa
$i_{f,sup} =$	103	mm	Interferro netto superiore
$i_{f,inf} =$	43	mm	Interferro netto inferiore

**Dettagli costruttivi - cap. 7 NTC***Caso di armatura tesa inferiore*

$\rho =$	0.006	Percentuale geometrica di armatura tesa = $A_{s,tesa}/(b \cdot x_h)$
$\rho_{comp} =$	0.004	Percentuale geometrica di armatura compressa = $A_{s,comp}/(b \cdot x_h)$
$\rho_{max} =$	0.012	Limite massimo = $\rho_{comp} + 3.5/f_{yk}$

*Caso di armatura tesa superiore*

$\rho =$	0.004	Percentuale geometrica di armatura tesa = $A_{s,tesa}/(b \cdot x_h)$
$\rho_{comp} =$	0.006	Percentuale geometrica di armatura compressa = $A_{s,comp}/(b \cdot x_h)$
$\rho_{max} =$	0.014	Limite massimo = $\rho_{comp} + 3.5/f_{yk}$