

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

RADDOPPIO TRATTA FIUME TORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1 + 2

LINEA

TRINCEA DI APPROCCIO ALLA GALLERIA

Opere di sostegno della trincea ferroviaria - Relazione di calcolo Fodere

SCALA:

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS3Z 00 D 26 CL TR0005 002 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. INTEGRA	Gennaio 2020	F. COPPINI	Gennaio 2020	A. BARRECA	Gennaio 2020	F. COPPINI Maggio 2020 ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD Det. Ing. Francesco Guzzon Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma n. 25372/Str.	
B	1° AGG. A CONSEGNA CSLLPP	C. INTEGRA	Maggio 2020	F. COPPINI	Maggio 2020	A. BARRECA	Maggio 2020		

File: RS3Z00D26CLTR0005002B

n. Elab.:

INDICE

1. PREMESSA	1
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	2
2.1 NORMATIVA E ISTRUZIONI.....	2
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI.....	3
3.1 CALCESTRUZZO.....	3
3.1.1 Classe C32/40 (Fodere)	3
3.2 ACCIAIO	3
3.2.1 Acciaio per cemento armato.....	3
4. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI.....	4
5. ANALISI DEI CARICHI	5
6. VERIFICHE STRUTTURALI FODERE.....	7
6.1.1 Sollecitazioni	7
6.1.2 Sintesi delle armature disposte.....	7
6.1.3 Verifiche SLU e SLV.....	8
6.1.4 Verifiche SLE.....	14

1. PREMESSA

La presente relazione si riferisce agli elementi di elevazione della trincea situata dal km 28+0.47 al km 28+259.

Il presente documento costituisce la relazione di calcolo delle fodere della fondazione del muro ad U della trincea.

In elevazione ci sono fodere di spessore 0,70 m e altezza variabile.

La palificata al di sotto della fondazione è costituita da pali di diametro 1000 mm posti ad interasse di 5 m sia longitudinalmente che trasversalmente.

Il plinto di fondazione ha un'altezza di 0.80 m e si sviluppa per 212m con una larghezza variabile da 24m a 30m circa.

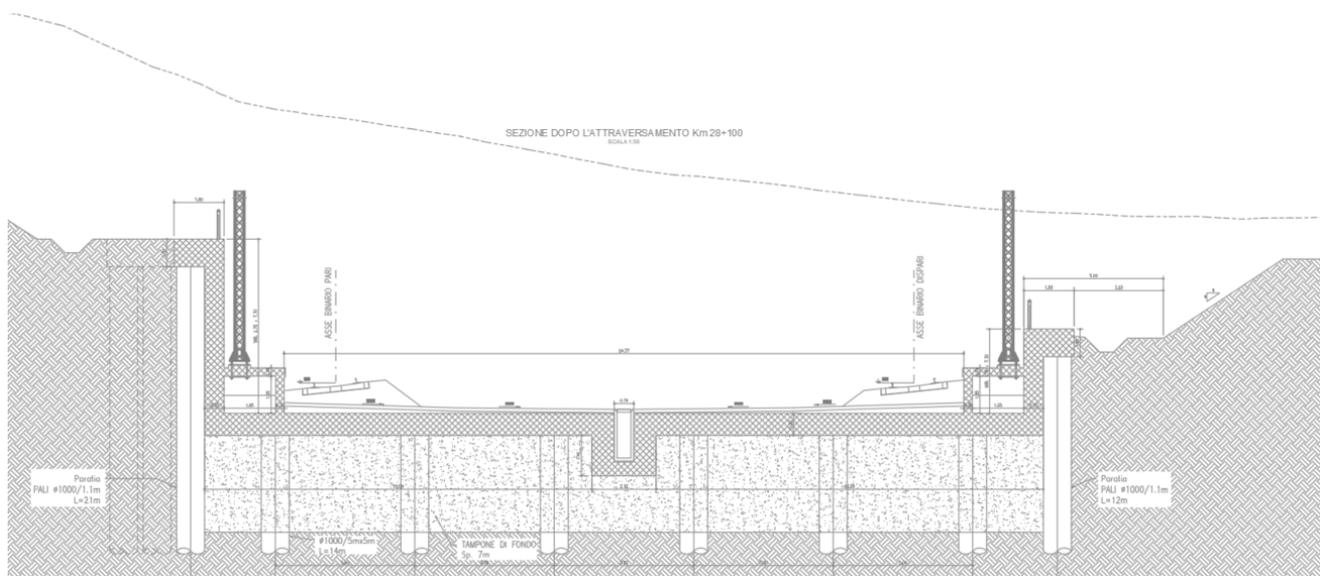


Figura 1: Sezione km 28+100

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa e istruzioni

La progettazione è conforme alle normative vigenti.

Ferrovie dello Stato hanno emanato nel tempo varie normative e linee guida riguardanti sia i sovraccarichi che le prescrizioni relative ai ponti ferroviari.

Le normative rilevanti per la redazione del progetto di messa in sicurezza sono ovviamente le normative ora vigenti per le strutture, e per i ponti ferroviari in particolare, elencate nel seguito.

- *DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC18);*
- *Circolare Applicativa delle NTC 2018, 27/07/2018 (Circ n.7)*
- *Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – parte 5 – Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;*
- *RFICTCSIMAIFS001_C: Manuale di progettazione delle opere civili, 21/12/2018*
- *Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;*
- *Regolamento (UE) 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi “controllo-comando e segnalamento” del sistema ferroviario nell’Unione europea.*

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

3.1 Calcestruzzo

3.1.1 Classe C32/40 (Fodere)

- Classe d'esposizione: XC4
- Copriferro netto minimo: $c = 40\text{mm}$
- $R_{ck} = 40\text{ N/mm}^2$
- $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 33,20\text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione: $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 33,20 \cdot 0,85 / 1,5 = 18,81\text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione: $f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 3,10\text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico: $E = 22000 [f_{cm}/10]^{0,3} = 33642,78\text{ MPa}$

3.2 Acciaio

3.2.1 Acciaio per cemento armato

Si utilizzano barre ad aderenza migliorata in acciaio con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Acciaio B450C

- | | |
|--|-----------------------------------|
| • tensione caratteristica di snervamento | $f_{yk} = 450\text{ N/mm}^2$; |
| • tensione caratteristica di rottura | $f_{tk} = 540\text{ N/mm}^2$; |
| • resistenza di calcolo a trazione | $f_{yd} = 391,30\text{ N/mm}^2$; |
| • modulo elastico | $E_s = 206.000\text{ N/mm}^2$. |

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
 Relazione di calcolo Fodere

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005002	B	4 di 18

4. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

Per i dettagli della stratigrafia e dei parametri geotecnici si rimanda ai seguenti elaborati:

GEOTECNICA																					
Relazione geotecnica generale linea ferroviaria	R	S	3	Z	0	0	D	2	6	G	E	O	C	0	0	0	0	0	0	0	1
Profilo longitudinale geotecnico linea ferroviaria - Tav. 1/2	R	S	3	Z	0	0	D	2	6	F	7	O	C	0	0	0	0	0	0	0	1
Profilo longitudinale geotecnico linea ferroviaria - Tav. 2/2	R	S	3	Z	0	0	D	2	6	F	7	O	C	0	0	0	0	0	0	0	2

Di seguito si riporta una sintesi dei parametri utilizzati:

ZONA	SONDAGGIO DI RIFERIMENTO	PROFONDITA'	UNITA' TERRENO	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ [°]			Cu [kPa]		
					max	min	di prog.	max	min	di prog.
1	2SGN01 2SGN01bis	da 0 a 24m	C sup	21	35	21	30	350	21	130
	2ST01 2SNV18	da 24 in poi	C inf	21	35	35	24	0	0	200

ZONA	SONDAGGIO DI RIFERIMENTO	c'[kPa]	Vs[m/s]			Vs,eq [m/s]	Categoria di sottosuolo	Go [MPa]			Ei/Eu [MPa]	Ei[MPa]
		di prog.	max	min	di prog.			max	min	di prog.	di prog.	di prog.
1	2SGN01 2SGN01bis	27	511	101	277	547	B	532	21	100	104	87
	2ST01 2SNV18	24	422	422	422	547	B	364	364	150	160	130

La quota della falda è pari a 4.50 m da p.c.

5. ANALISI DEI CARICHI

Si riporta nel seguito l'analisi dei carichi con la quale si sono ricavate le sollecitazioni di taglio e momento agenti ad estradosso fondazione per le verifiche delle fodere e la formulazione adottata nel calcolo:

- $k_0 = (1 - \text{sen}\phi') * (1 + \text{sen}\beta)$ → coefficiente di spinta a riposo;
- $\phi' = 33^\circ$ → angolo di attrito del terreno;
- $\beta = 33.69^\circ$ → angolo di inclinazione del terreno;
- $\sigma_h = \gamma_t * H * k_0$ → tensione totale;
- H → altezza da intradosso fondazione;
- $\gamma_t = 20 \text{ kN/m}^3$ → peso specifico del terreno;
- $u = \gamma_w * H_w$ → pressione acqua;
- $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ → peso specifico dell'acqua;
- H_w → altezza falda da intradosso;
- $\sigma'_h = \sigma_h - u$ → tensioni efficaci;
- $\sigma_{\text{Wood}} = a_{\text{max}} * \gamma * H$ → tensione di Wood (condizioni sismiche);
- $I_{\text{sisma}} = S_{\text{fodere}} * H * a_{\text{max}} * \gamma_{\text{CLS}}$ → Inerzia dovuta al sisma;

Sollecitazioni Combo SLU:

- $T_{\text{SLU}} = \gamma * \sigma'_h * H/2 + u * H/2$ → Taglio Combo SLU
- $M_{\text{SLU}} = T * H/3$ → Momento Combo SLU

Sollecitazioni Combo SLV

- $T_{\text{SLV}} = T_{\text{SLU}}/\gamma + \sigma_{\text{Wood}} * H + I_{\text{sisma}}$ → Taglio Combo SLV
- $M_{\text{SLV}} = T_{\text{SLU}}/\gamma * H/3 + \sigma_{\text{Wood}} * H * H/2 + I_{\text{sisma}} * H/2$ → Momento Combo SLV

Sollecitazioni Combo RARA

- $T_{\text{RAR}} = T_{\text{SLU}}/\gamma$ → Taglio Combo Rara
- $M_{\text{RAR}} = M_{\text{SLU}}/\gamma$ → Momento Combo Rara

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
 Relazione di calcolo Fodere

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005002	B	6 di 18

Tipo Terreno	Lato Sx	Lato Dx		
	Sb,2	Sb,2		
H	7	4.65	[m]	Altezza totale da intradosso fondazione
H _w	4.5	4.5	[m]	Altezza falda da intradosso
H _{fond}	0.8	0.8	[m]	Altezza fondazione
S _{p,f}	0.7	0.7	[m]	Spessore fodere
γ _t	20	20	[KN/m ³]	Peso specifico terreno
φ	33	33	[°]	Angolo di attrito del terreno
β	0.59	0.59	[rad]	Angolo di inclinazione del terreno
β	33.69	33.69	[°]	Angolo di inclinazione del terreno
k ₀	0.71	0.71	[-]	Coefficiente di spinta a riposo
σ _{h,estr}	87.79	54.51	[KPa]	Tensioni tot estradosso fondazione
u _{estr}	37.00	37	[KPa]	Pressione acqua estradosso fondazione
σ ⁱ _{h,estr}	50.79	17.51	[KPa]	Tensioni efficaci estradosso fondazione
a _{max}	0.14	0.137	[g]	Accelerazione di picco
σ _w	19.18	12.741	[KPa]	Tensione di Wood
I _{sisma}	14.86	9.23	[KN]	Inerzia dovuta al sisma
γ	1.35	1.35	[-]	Coefficiente amplificativo azioni

Sollecitazioni di calcolo Combo SLU:

T _{estr,SLU}	367.38	[-]	[KN]	Taglio estradosso-Combo SLU
M _{estr,SLU}	759.26	[-]	[KN m]	Momento estradosso-Combo SLU

Sollecitazioni di calcolo Combo SLV:

T _{estr,SLV}	405.92	[-]	[KN]	Taglio estradosso-Combo SLV
M _{estr,SLV}	977.13	[-]	[KN m]	Momento estradosso-Combo SLV

Sollecitazioni di calcolo Combo RARA:

T _{estr,RARA}	272.14	[-]	[KN]	Taglio estradosso-Combo RARA
M _{estr,RARA}	562.41	[-]	[KN m]	Momento estradosso-Combo RARA

6. VERIFICHE STRUTTURALI FODERE

6.1.1 Sollecitazioni

Di seguito, in riferimento a quanto riportato al §5 della presente, si riportano sollecitazioni utilizzate per le verifiche:

	N [KN]	M [KN m]	T [KN]
SLU	0	759.26	367.38
SLV	0	977.13	405.92
RARA	0	562.41	272.14

6.1.2 Sintesi delle armature disposte

Si dispongono come armatura longitudinale tesa 2 file di 10Φ22 a passo 10 cm e come armatura longitudinale compressa 1 fila di 5Φ20 di passo 20 cm.

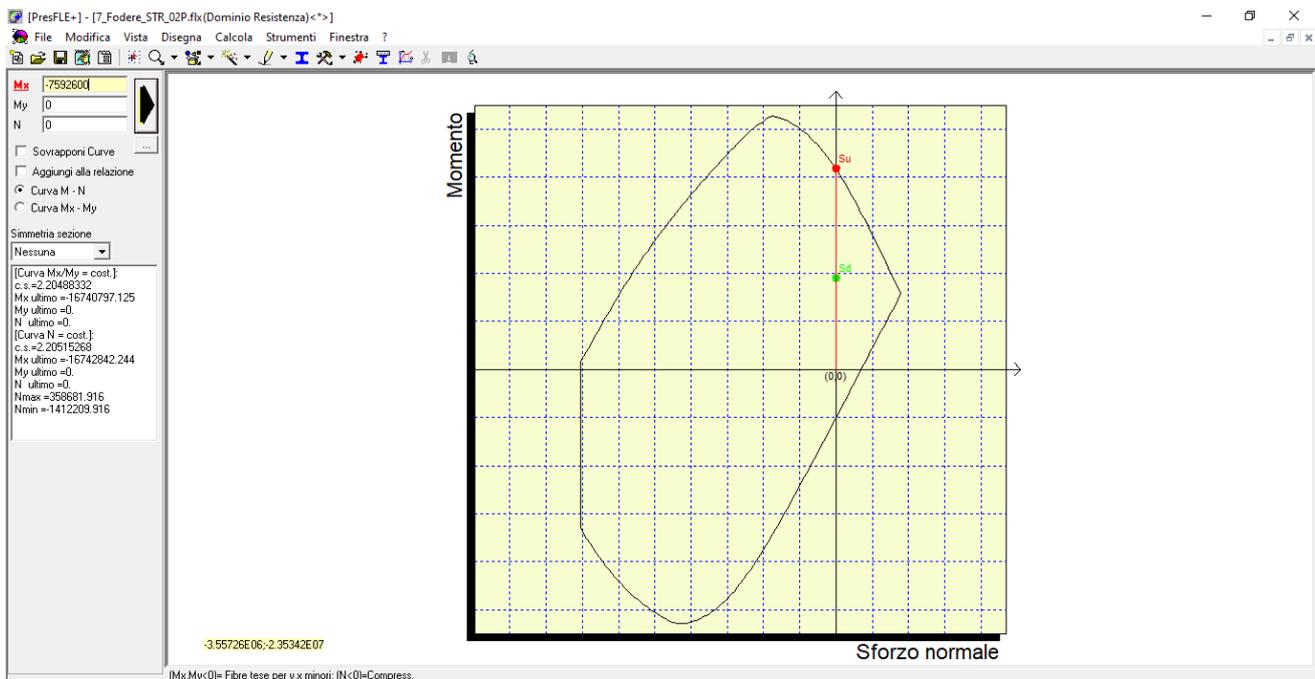
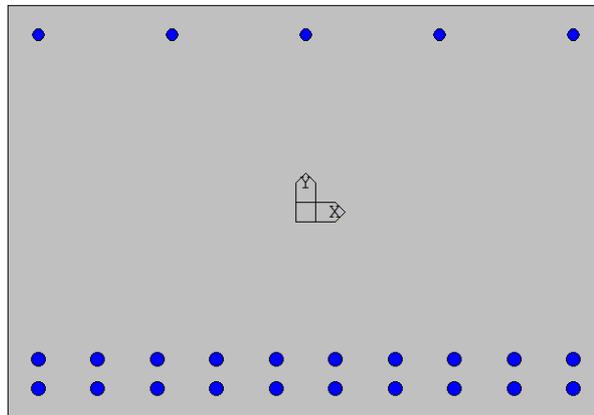
		φ	passo	As	As,tot	As,min	Verifica As,min
		mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²	
Tesa	Intradosso	22	100	3801.3	7602.7	2177.8	Verificato
	Intradosso	22	100	3801.3			
Compressa	Estradosso	20	200	1570.8	1570.8	-	
	Estradosso	-	-	-		-	

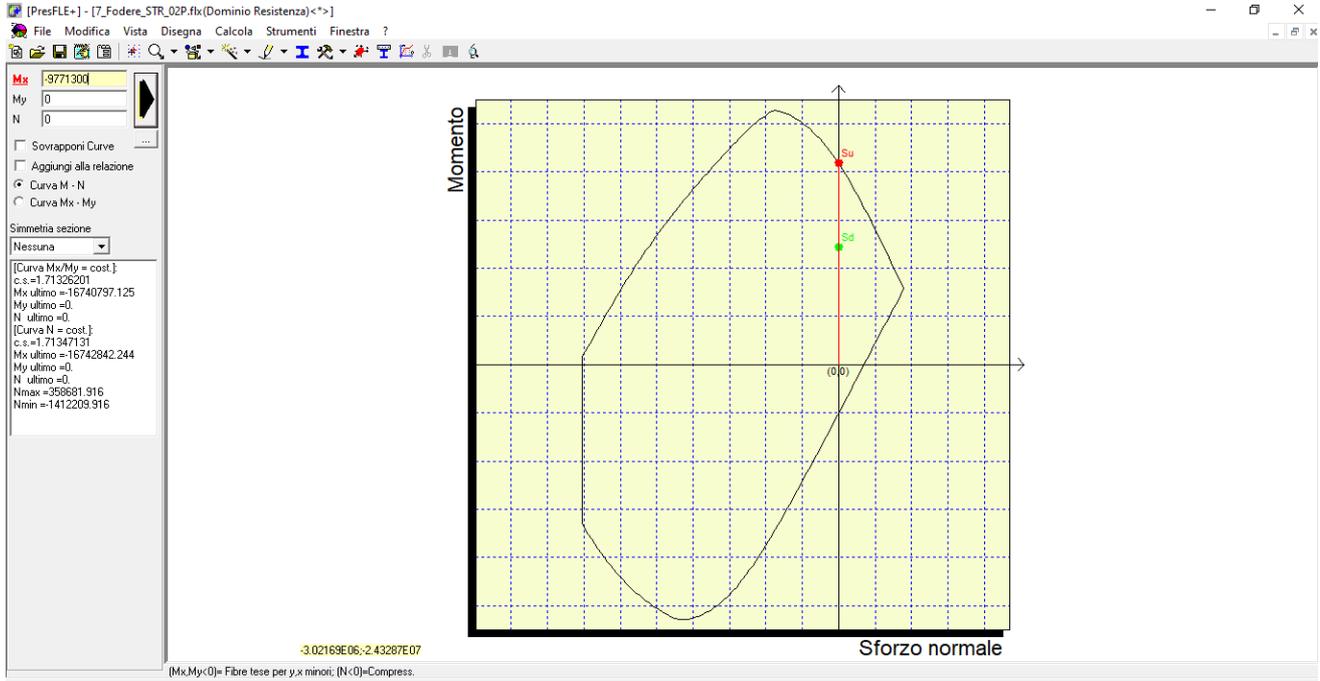
Si dispongono staffe φ10/15 a 5 bracci.

6.1.3 Verifiche SLU e SLV

6.1.3.1 Verifica a pressoflessione

Si riportano di seguito le verifiche a pressoflessione sia per le combinazioni SLU che per le combinazioni SLV:





	M_{Ed} [KN m]	M_{Rdv} [KN m]	C.S.
SLU	759.26	1674.08	2.20
SLV	977.13	1674.08	1.71

Il minimo coefficiente di sicurezza è pari a 1.71, la verifica risulta essere soddisfatta.

6.1.3.2 Verifica a taglio SLU

VERIFICA A TAGLIO SECONDO NTC2018 SENZA ARMATURE A TAGLIO

$V_{Ed} = T_{SLU}$	367.38	kN
$V_{Ed} = T_{SLU}$	367380	N
R_{ck}	40	MPa
f_{ck}	33.2	MPa
c netto	50	mm
\varnothing staffa	10	mm
\varnothing arm tesa	22	mm
Hsezione	700	mm
d	629.00	mm
k	1.564	-
b_w	1000.00	mm
\varnothing	20	mm
n	6	-
strati	2	-
A_{sl}	1885	mm ²
ρ_l	0.002997	-
N_{Ed}	0	kN
N_{Ed}	0	N
A_c	700000.0	mm ²
σ_{cp}	0	MPa
f_{cd}	21.053	MPa
γ_c	1.5	-
$C_{Rd,c}$	0.12	-
V_{min}	0.394406	-
$V_{Rd,c}$	253882.4	N
$V_{Rd,c min}$	248081.6	N
$V_{Rd,c}$ effettivo	253882.4	N
Verifica	NO	
T.S.	1.447	
C.S.	0.691062	

**VERIFICA A TAGLIO
SECONDO NTC2018
CON ARMATURE A TAGLIO**

$V_{Ed} = T_{SLU}$	367.38	kN
$V_{Ed} = T_{SLU}$	367380	N
ϕ	10	mm
A_{ϕ}	78.53982	mm ²
bracci	5	-
A_{sw}	392.70	mm ²
s	150	mm
f_{ywd}	391.30	MPa
$\cot \theta$	1	-
α_c	1	-
$z = 0.9d$	566.1	mm
v	0.52032	-
$V_{Rd,s}$	579931.2	N
$V_{Rd,s \max}$	3100559	N
$V_{Rd,c \text{ effettivo}}$	579931.2	N
Verifica	OK	
T.S.	0.63	
C.S.	1.58	

6.1.3.3 Verifica a taglio SLV

VERIFICA A TAGLIO SECONDO NTC2018 SENZA ARMATURE A TAGLIO

$V_{Ed} = T_{SLU}$	405.92	kN
$V_{Ed} = T_{SLU}$	405920	N
R_{ck}	40	MPa
f_{ck}	33.2	MPa
c netto	50	mm
\varnothing staffa	10	mm
\varnothing arm tesa	22	mm
Hsezione	700	mm
d	629.00	mm
k	1.564	-
b_w	1000.00	mm
\varnothing	20	mm
n	6	-
strati	2	-
A_{sl}	1885	mm ²
ρ_l	0.002997	-
N_{Ed}	0	kN
N_{Ed}	0	N
A_c	700000.0	mm ²
σ_{cp}	0	MPa
f_{cd}	21.053	MPa
γ_c	1.5	-
$C_{Rd,c}$	0.12	-
V_{min}	0.394	-
$V_{Rd,c}$	253882.4	N
$V_{Rd,c min}$	248081.6	N
$V_{Rd,c}$ effettivo	253882.4	N
Verifica	NO	
T.S.	1.60	
C.S.	0.62	

**VERIFICA A TAGLIO
SECONDO NTC2018
CON ARMATURE A TAGLIO**

$V_{Ed} = T_{SLU}$	405.92	kN
$V_{Ed} = T_{SLU}$	405920	N
ϕ	10	mm
A_{ϕ}	78.53982	mm ²
bracci	5	-
A_{sw}	392.70	mm ²
s	150	mm
f_{ywd}	391.30	MPa
$\cot \theta$	1	-
α_c	1	-
$z = 0.9d$	566.1	mm
v	0.52032	-
$V_{Rd,s}$	579931.2	N
$V_{Rd,s \max}$	3100559	N
$V_{Rd,c \text{ effettivo}}$	579931.2	N
Verifica	OK	
T.S.	0.70	
C.S.	1.43	

6.1.4 Verifiche SLE

6.1.4.1 Sollecitazioni per le verifiche

	N	M
	KN	KN m
rara	0	562.41
q_perm	0	562.41

6.1.4.2 Verifica a fessurazione

fck	33.2	N/mm ²
fctm	3.10	N/mm ²
fyk	450	N/mm ²

	σ_t max	σ_t	U.d.m.	Verifica
Combo Rara	-2.58	-4.81	N/mm ²	Verificare ampiezza fessure
Combo Quasi Permanente		-4.81	N/mm ²	Verificare ampiezza fessure

È necessario verificare l'apertura delle fessure.

Combinazione Rara		
c	60	mm
s	100	mm
k ₂	0.4	-
k ₃	0.125	-
φ	22	mm
A _s	3839.3	mm ²
h _{eff}	217.6	mm
A _{eff}	217600	mm ²
ρ	0.01764	-
s _{rm}	202.3	mm
f _{ctm}	-25.82	kg/cm ²
σ _s	1470.0	kg/cm ²
σ _{sr}	947.1	kg/cm ²
β ₁	1	-
β ₂	0.5	-
(1-β ₁ β ₂ (σ _{sr} /σ _s) ²)	0.79	-
E	2100000	kg/cm ²
ε _{sr}	0.0005547	-
w _m	0.1122	mm
w _k	0.1908	mm
w limite	0.2	mm
Verifica	OK	

6.1.4.3 Verifica tensioni di esercizio

	$\sigma_c \text{ max [N/mm}^2\text{]}$	$\sigma_c \text{ [N/mm}^2\text{]}$	U.d.m.	Verifica
Comb rara	18.26	7.13	N/mm ²	Verifica soddisfatta
Comb quasi perm	13.28	7.13	N/mm ²	Verifica soddisfatta

	$\sigma_s \text{ max [N/mm}^2\text{]}$	$\sigma_s \text{ [N/mm}^2\text{]}$	U.d.m.	Verifica
Comb rara	-337.50	-147.00	N/mm ²	Verifica soddisfatta
Comb quasi perm	-337.50	-147.00	N/mm ²	Verifica soddisfatta