

## AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA-BARI-TARANTO

TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO

POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA

"PASSANTE DI BOLOGNA"

### PROGETTO DEFINITIVO

#### VIABILITÀ INTERFERITA

82T - VIADOTTO NAVILE-BATTIFERRO AMPL. TANG.

PASSERELLA SUL CANALE NAVILE

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Umberto Mele  
Ord. Ingg. Milano n.18641  
RESPONSABILE STRUTTURE

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Raffaele Rinaldesi  
Ord. Ingg. Macerata N. A1068

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Andrea Tanzi  
Ord. Ingg. Parma N. 1154

PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI

#### CODICE IDENTIFICATIVO

RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				ORDINATORE
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	--
111465	0000	PD	IN	V82	PP001	00000	R	S T R	2198	0	SCALA -



PROJECT MANAGER:

Ing. Raffaele Rinaldesi  
Ord. Ingg. Macerata N. A1068

SUPPORTO SPECIALISTICO:

REVISIONE

n.	data
0	SETTEMBRE 2020
1	-
2	-
3	-
4	-

REDATTO:

VERIFICATO:

VISTO DEL COMMITTENTE



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
Ing. Fabio Visintin

VISTO DEL CONCEDENTE



**Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**  
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE  
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

## Sommario

<b>1</b>	<b>ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE .....</b>	<b>3</b>
1.1	CONDIZIONI D'USO E LIVELLI DI SICUREZZA DELLA COSTRUZIONE .....	4
1.2	DESCRIZIONE GENERALE DELLA STRUTTURA .....	5
1.3	NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO .....	5
1.4	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO.....	5
1.4.1	<i>Combinazioni di carico e carichi agenti</i> .....	5
1.4.2	<i>Azione sismica</i> .....	6
1.4.3	<i>Descrizione dei materiali</i> .....	6
<b>2</b>	<b>ILLUSTRAZIONE DEI CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>METODO DI ANALISI .....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>SINTESI DEI PRINCIPALI RISULTATI .....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>VERIFICA CLASSE DI FLESSIONE SEZIONE IN ACCIAIO.....</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>DISPOSITIVI DI APPOGGIO IMPALCATO.....</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>ALTRI RISULTATI SIGNIFICATIVI.....</b>	<b>28</b>
7.1	VERIFICA A PUNZONAMENTO DEL TAVOLATO IN LEGNO .....	28
<b>8</b>	<b>GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI .....</b>	<b>29</b>
<b>9</b>	<b>PIANO DI MANUTENZIONE DELLA PARTE STRUTTURALE DELL'OPERA .....</b>	<b>30</b>
<b>10</b>	<b>PIANO DI MANUTENZIONE DELLE STRUTTURE METALLICHE.....</b>	<b>37</b>
<b>11</b>	<b>RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA CONCERNENTE LA "PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE" DEL SITO DI COSTRUZIONE.....</b>	<b>43</b>
<b>12</b>	<b>ANALISI E VERIFICA DELLE SPALLE .....</b>	<b>46</b>
12.1	ANALISI PER CARICHI ORIZZONTALI.....	47
12.1.1	<i>Modello di calcolo</i> .....	48
12.1.2	<i>Azioni di progetto</i> .....	49
12.1.3	<i>Verifica strutturale pali</i> .....	50
12.1.4	<i>Stabilità dell'opera (resistenza del terreno a valle)</i> .....	53
12.1.5	<i>Verifica spostamenti</i> .....	54
12.2	ANALISI PER CARICHI VERTICALI.....	56



## 1 ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE

Nella presente relazione è illustrato il progetto relativo all' opera di nuova costruzione di un ponticello pedonale, di terza categoria, per l'attraversamento del canale Navile.

Per l'esecuzione dei calcoli si fa riferimento alla normativa "Nuove norme tecniche per le costruzioni", D.M. 17 Gennaio 2018.

Si riporta di seguito un estratto planimetrico di progetto nel quale viene evidenziato in rosso il ponticello di riferimento.

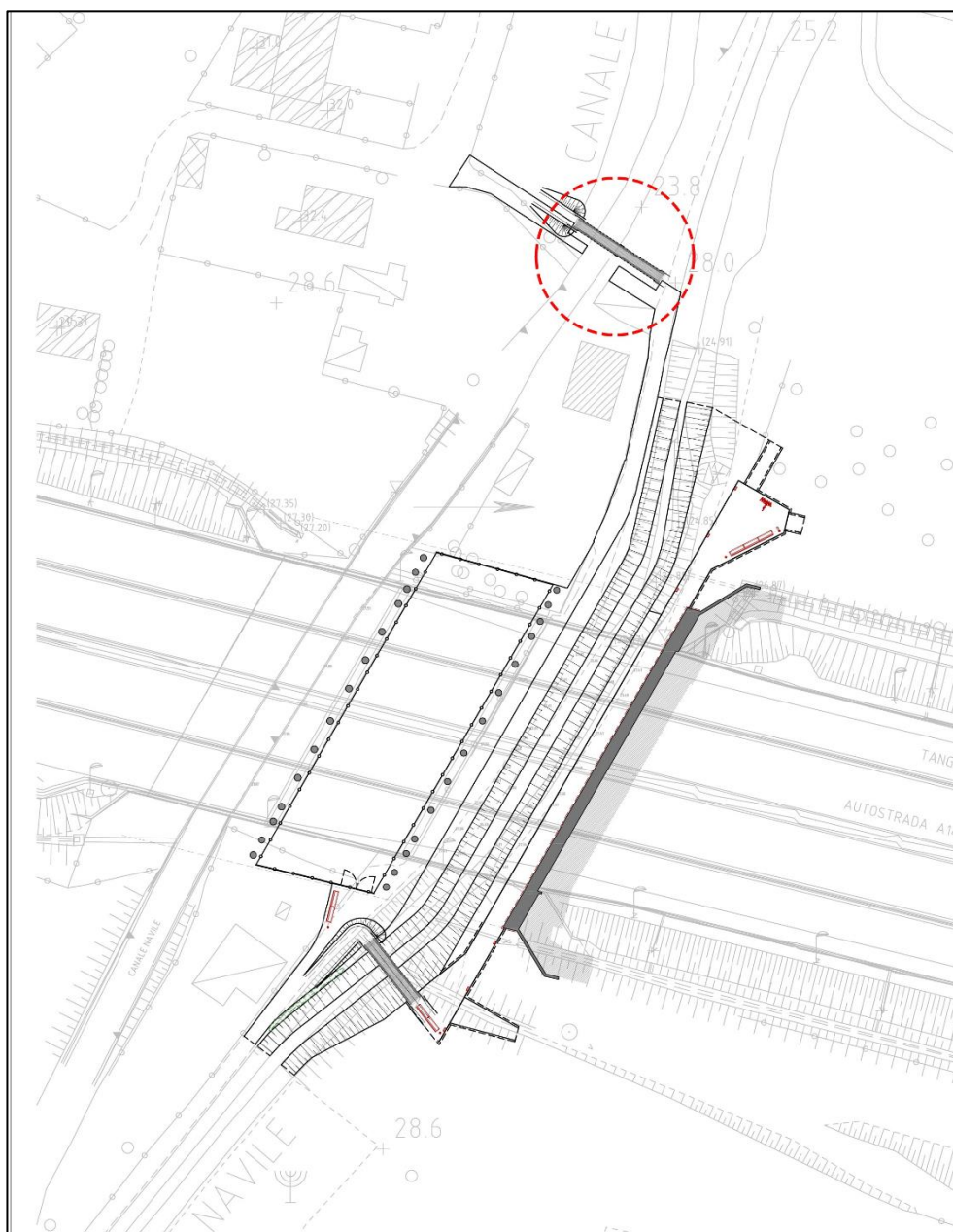
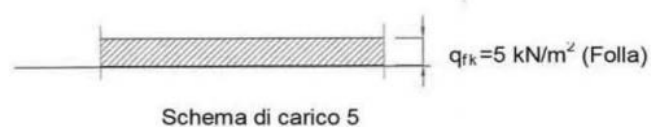


Figura 1: Inquadramento planimetrico di progetto

## 1.1 CONDIZIONI D'USO E LIVELLI DI SICUREZZA DELLA COSTRUZIONE

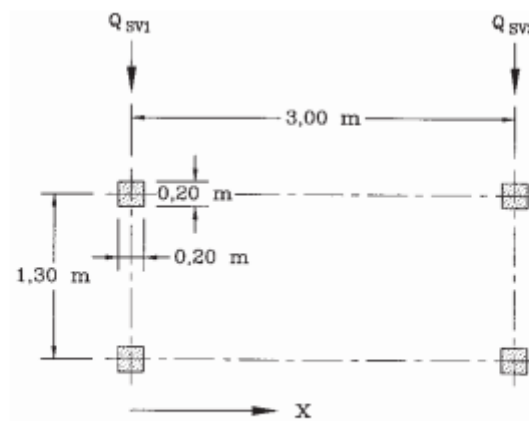
Per ciò che riguarda i carichi verticali variabili uniformemente distribuiti  $q_k$ , da attribuire all'impalcato di nuova costruzione si è considerato lo "Schema di carico 5", con  $q_k$  pari a  $5,00 \text{ kN/m}^2$ , essendo soggetto ad affollamento di persone (§5.1.3.3.3 delle NTC2018).

A favore di sicurezza, oltre a tale carico d'esercizio si è considerato un carico eccezionale da manutenzione tipico per ponti di terza categoria come riportato al §C5.1.8



**Fig. 5.1.2** - Schemi di carico 1 – 5 (dimensioni in m)

*Figura 2 Carico variabile folla da Schema di carico 5*



**Figura C5.1.2** *Veicolo di servizio per ponti di 3ª categoria*

*Figura 3 Schema di carico veicolo di servizio ponti di 3ª cat.*

Per ciò che riguarda la vita nominale della struttura si è adottata  $V_n = 50$  anni e classe d'uso II.

## 1.2 DESCRIZIONE GENERALE DELLA STRUTTURA

L'intervento in oggetto riguarda la realizzazione di una passerella ciclo-pedonale realizzata con elementi in acciaio e impalcato costituito da un doppio tavolato in legno. In particolare il ponticello è costituito da 2 travi principali a sezione composta saldata, aventi stessa altezza e larghezza della sezione HEB 550 ma con spessori maggiori e da un'orditura secondaria costituita da profili HEA 120 con interasse 1.2 m. Il tavolato di legno è di tipo incrociato con spessore 4+4cm.

## 1.3 NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

Decreto Ministeriale Infrastrutture 17 Gennaio 2018, "Norme tecniche per le costruzioni"

Circolare 21 Gennaio 2019, n° 7/C.S:LL.PP, "Circolare esplicativa delle norme tecniche per le costruzioni"

### 1.3.1.1 Altre norme e documenti tecnici integrativi

UNI-EN 206-1:2006 – Calcestruzzo – Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità

UNI 11104 - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

## 1.4 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO

### 1.4.1 Combinazioni di carico e carichi agenti

Le combinazioni utilizzate sono quelle previste dall'NTC 2018 al §2.5.3, in particolare si è considerato:

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$  (v. § 3.6):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

Nella verifica delle spalle del ponte sono state effettuate le verifiche seguendo l'Approccio 1.

## 1.4.2 Azione sismica

Per la determinazione dell'azione sismica si rimanda al paragrafo finale, *Relazione sulla modellazione sismica concernente la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione* in cui sono indicati i dati relativi agli spettri di risposta sismici.

## 1.4.3 Descrizione dei materiali

Nelle opere si utilizzeranno materiali di buona qualità, esenti da vizi di qualunque tipo, aventi le caratteristiche tecniche di seguito riportate:

### Legnami

- Cl.Serv. = classe di servizio per materiali di tipo "legno strutturale"
- $k_{mod,perm}$  = coefficiente di modificazione delle resistenze del legno strutturale in presenza di azioni permanenti
- $k_{mod,lung}$  = coefficiente di modificazione delle resistenze del legno strutturale in presenza di azioni di lunga durata
- $k_{mod,med}$  = coefficiente di modificazione delle resistenze del legno strutturale in presenza di azioni di media durata
- $k_{mod,brev}$  = coefficiente di modificazione delle resistenze del legno strutturale in presenza di azioni di breve durata
- $k_{mod,ist}$  = coefficiente di modificazione delle resistenze del legno strutturale in presenza di azioni istantanee
- $k_{def}$  = coefficiente per l'abbattimento delle caratteristiche di rigidità del legno strutturale per il calcolo delle deformazioni a lungo termine.
- $f_{m,k}$  = resistenza caratteristica del legno strutturale a flessione.
- $f_{t,0,k}$  = resistenza caratteristica del legno strutturale a trazione parallela alla fibratura.
- $f_{t,90,k}$  = resistenza caratteristica del legno strutturale a trazione perpendicolare alla fibratura.
- $f_{c,0,k}$  = resistenza caratteristica del legno strutturale a compressione parallela alla fibratura.
- $f_{c,90,k}$  = resistenza caratteristica del legno strutturale a compressione perpendicolare alla fibratura.
- $f_{v,k}$  = resistenza caratteristica del legno strutturale a taglio in direzione perpendicolare alla fibratura (cioè quello che agisce in un piano perpendicolare alla fibratura stessa).
- $f_{v,r,k}$  = resistenza caratteristica del legno strutturale a taglio di rotolamento (cioè quello che determina lo scorrimento delle fibre rispetto a quelle adiacenti agendo in un piano parallelo alla direzione di fibratura, con direzione perpendicolare alla fibratura).
- $f_{v,b,k}$  = resistenza caratteristica del legno strutturale a taglio da spacco (cioè quello che determina lo scorrimento delle fibre rispetto a quelle adiacenti agendo in un piano parallelo alla direzione di fibratura, con direzione parallela alla fibratura stessa).
- $E_{0,k}$  = modulo elastico caratteristico del legno strutturale in direzione parallela alla fibratura.
- $E_{90,k}$  = modulo elastico caratteristico del legno strutturale in direzione perpendicolare alla fibratura.
- $\rho_k$  = densità caratteristica del legno strutturale.

### Legno massello C24:

Proprietà reologiche:

- $E = 11000 \text{ N/mm}^2$
- $G = 690 \text{ N/mm}^2$
- $\nu = 6.971$
- $P_s = 4.20 \text{ kN/m}^3$

- 
- Parametri di verifica:

Tipologia del Materiale: Legno - Massiccio

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| • Cl.Serv. = 2                      | • $f_{t,0,k} = 14.000 \text{ N/mm}^2$  |
| • $\gamma_{M0,t} = 1.5$             | • $f_{t,90,k} = 0.5000 \text{ N/mm}^2$ |
| • $\gamma_{M,ecc} = 1$              | • $f_{c,0,k} = 21.000 \text{ N/mm}^2$  |
| • $k_{mod,perm} = 0.6$              | • $f_{c,90,k} = 2.5000 \text{ N/mm}^2$ |
| • $k_{mod,lung} = 0.7$              | • $f_{v,k} = 2.5000 \text{ N/mm}^2$    |
| • $k_{mod,med} = 0.8$               | • $f_{v,r,k} = 2.5000 \text{ N/mm}^2$  |
| • $k_{mod,brev} = 0.9$              | • $f_{v,b,k} = 2.5000 \text{ N/mm}^2$  |
| • $k_{mod,ist} = 1$                 | • $E_{0,k} = 7400.0 \text{ N/mm}^2$    |
| • $k_{def} = 0.8$                   | • $E_{90,m} = 370.00 \text{ N/mm}^2$   |
| • $f_{m,k} = 24.000 \text{ N/mm}^2$ | • $\rho_k = 3.e-10 \text{ N/mm}^4$     |

#### Acciaio per carpenteria TRAVI HEA120

Tipo	S235:
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 235 \text{ N/mm}^2$ ;
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 360 \text{ N/mm}^2$ ;
Modulo elastico	$E = 210000 \text{ N/mm}^2$ ;

#### Acciaio per carpenteria TRAVI HEB550 COMPOSTE

Tipo	Fe510-S355
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$ ;
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$ ;
Modulo elastico	$E = 210000 \text{ N/mm}^2$ ;

#### Acciaio per armature B450C

Proprietà reologiche:



- $E = 2e+005 \text{ N/mm}^2$
- $\nu = 0.300$
- $G = 76923 \text{ N/mm}^2$
- $P_s = 78.5 \text{ kN/m}^3$
- $\alpha = 1.2e-005 \text{ 1/}^\circ\text{C}$

Parametri di verifica:

- Tipologia del Materiale: Acciaio per Armature
- $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
- $\gamma_{M,c} = 1.15$
- $\gamma_{M,t} = 1.15$
- $\gamma_{M,ecc} = 1$
- $f_u = 540 \text{ N/mm}^2$
- $\varepsilon_{ud} = 0.0675$
- 
- Aderenza Migliorata = Si
- Tipo Armatura = armatura poco sensibile

Valori di progetto

- $f_{cd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ctd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$

Cls C28/35 per le SPALLE

Proprietà reologiche:

- $E = 32308 \text{ N/mm}^2$
- $\nu = 0.200$
- $G = 19385 \text{ N/mm}^2$
- $P_s = 25 \text{ kN/m}^3$
- $\alpha = 1e-005 \text{ 1/}^\circ\text{C}$

Parametri di verifica:

- Tipologia del Materiale: Calcestruzzo
- $\gamma_{M,c} = 1.5$
- $\gamma_{M,t} = 1.5$
- $\gamma_{M,ecc} = 1$
- $\alpha_{cc} = 0.85$
- $\alpha_{ct} = 1$

Valori di progetto

- $R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ck} = 28 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ctk} = 1.94 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ctm} = 2.77 \text{ N/mm}^2$
- $f_{cd} = 15.87 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ctd} = 1.29 \text{ N/mm}^2$
- $\alpha_{cc} = 0.85$

Cls C25/30 per i PALI

Proprietà reologiche:

- $E = 31476 \text{ N/mm}^2$
- $P_s = 25 \text{ kN/m}^3$

- $\nu = 0.200$
- $G = 13115 \text{ N/mm}^2$
- $\alpha = 1e-005 \text{ 1/}^\circ\text{C}$

Parametri di verifica:

- Tipologia del Materiale: Calcestruzzo
- $\gamma_{M,c} = 1.5$
- $\gamma_{M,t} = 1.5$
- $\gamma_{M,ecc} = 1$
- $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- $\alpha_{cc} = 0.85$
- $\alpha_{ct} = 1$

Valori di progetto

- $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ctk} = 1.7955 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ctm} = 2.565 \text{ N/mm}^2$
- $f_{cd} = 14.167 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ctd} = 1.197 \text{ N/mm}^2$
- $\alpha_{cc} = 0.85$

Legno lamellare GL24h:

Proprietà reologiche:

- $E = 11500 \text{ N/mm}^2$
- $\nu = 7.846$
- $G = 650 \text{ N/mm}^2$
- $P_s = 4.1188 \text{ kN/m}^3$
- Parametri di verifica:

Tipologia del Materiale: Legno - Lamellare incollato

- Cl.Serv. = 2
- $\gamma_{M0,t} = 1.45$
- $\gamma_{M,ecc} = 1$
- $k_{mod,perm} = 0.6$
- $k_{mod,lung} = 0.7$
- $k_{mod,med} = 0.8$
- $k_{mod,brev} = 0.9$
- $k_{mod,ist} = 1$
- $k_{def} = 0.8$
- $f_{m,k} = 24.000 \text{ N/mm}^2$
- $f_{t,0,k} = 19.200 \text{ N/mm}^2$
- $f_{t,90,k} = 0.5000 \text{ N/mm}^2$
- $f_{c,0,k} = 24.000 \text{ N/mm}^2$
- $f_{c,90,k} = 2.5000 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 3.5000 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,r,k} = 3.5000 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,b,k} = 3.5000 \text{ N/mm}^2$
- $E_{0,k} = 9600.0 \text{ N/mm}^2$
- $E_{90,m} = 300.00 \text{ N/mm}^2$
- $\rho_k = 4.e-10 \text{ N/mm}^4$

## 2 ILLUSTRAZIONE DEI CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE

Il calcolo delle sollecitazioni della trave principale della nuova struttura metallica è stato effettuato tramite l'utilizzo del software SAP, mentre le travi secondarie sono state calcolate con il software denominato eng8-engineering prodotto dalla SIGMAc soft. Le spalle sono state modellate utilizzando il software Max15 della Aztec Informatica.

Lo schema di calcolo del ponticello è considerato appoggio-appoggio.

Per quanto riguarda la scelta degli appoggi tra impalcato e spalla si rimanda al paragrafo "Dispositivi di appoggio impalcato".

Si riportano di seguito una sintesi delle analisi effettuate.

### 3 METODO DI ANALISI

Larghezza piano di calpestio: 2,10 m;

Luce di calcolo: 18.50 m;

Analisi dei carichi statici

ORDITURA SECONDARIA HEA120				
	$\gamma$ (kg/mc)	spessore (m)	peso (kg/mq)	
profilo HEA120 calcolato in automatico dal programma			0	G1
doppio tavolato in legno 4+4 cm	600,00	0,08	48	50 G2
cat. C3 - folla da "Schema di carico 5"			500	500 Q

ORDITURA PRINCIPALE TRAVE H550 COMPOSTA				
	$\gamma$ (kg/mc)	spessore (m)	peso (kg/mq)	
profilo HEB550 composta calcolato in automatico dal programma (225,1 kg/m)			0	G1
doppio tavolato in legno 4+4 cm	600,00	0,08	48	G1
HEA120 l=2,10 m i=1.20 m			19,90/1.20	17 G1
cat. C3 - folla da "Schema di carico 5"			500	Q

Analisi dei carichi sismici

Parametri del DM 17/01/2018:

Categoria suolo di fondazione: C

Categoria Topografica: T1

Coeff.smorzam.equivalente  $\xi$ : 5 %

Fattore di struttura  $q_0$ , in accordo con il § 7.3.1, Tab 7.3.II Spalle rigidamente connesse con l'impalcato, Strutture che si muovono con il terreno  $q_0=1.0$ .

## 4 SINTESI DEI PRINCIPALI RISULTATI

### Orditura principale-Schema di calcolo

Per la verifica della trave principale la combinazione di calcolo agli SLU è risultata più gravosa di quella agli SLV. Le combinazioni agli SLE sono state utilizzate per il calcolo della freccia.

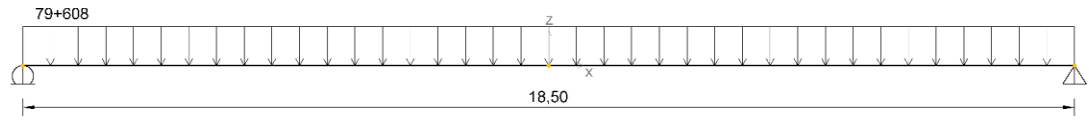


Figura 4 Schema di calcolo orditura principale SLU

### Orditura principale-Sollecitazioni SLU

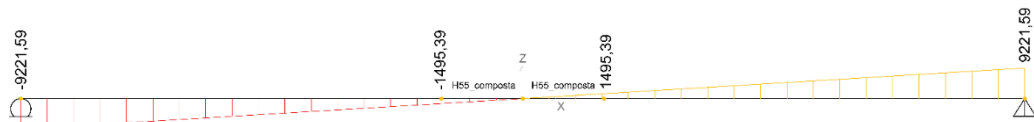
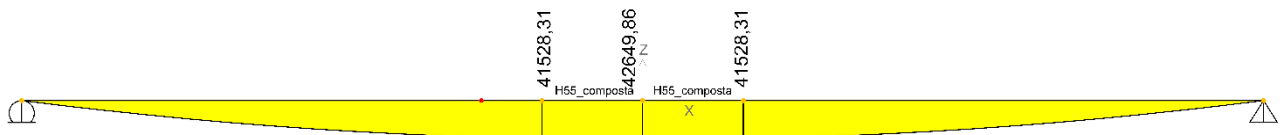


Figura 5 Involucro taglio SLU



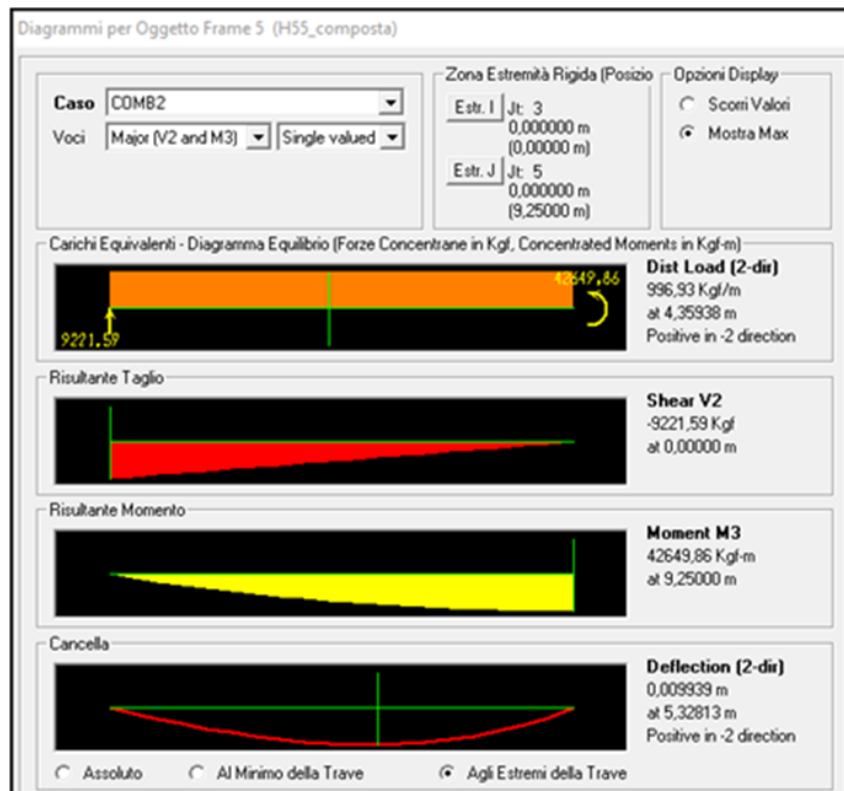


Figura 6 Involuppo momento SLU

Orditura principale-Sollecitazioni SLE

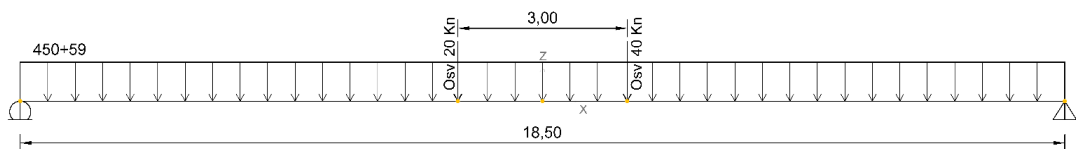


Figura 7 Schema di calcolo orditura principale SLE

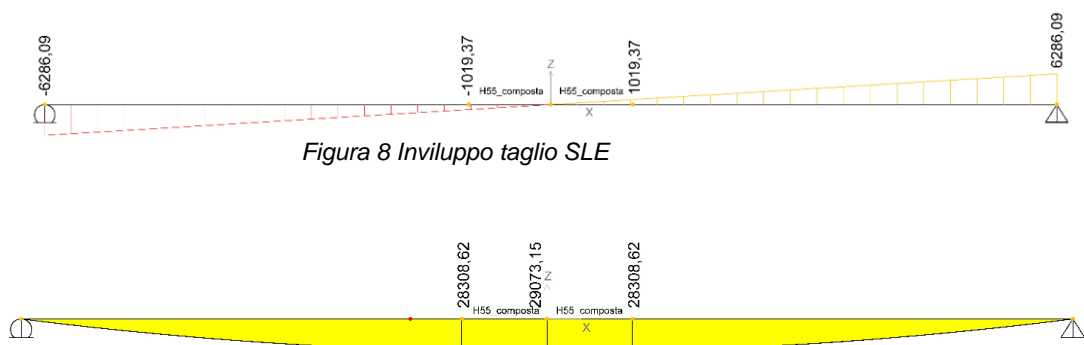


Figura 8 Involuppo taglio SLE

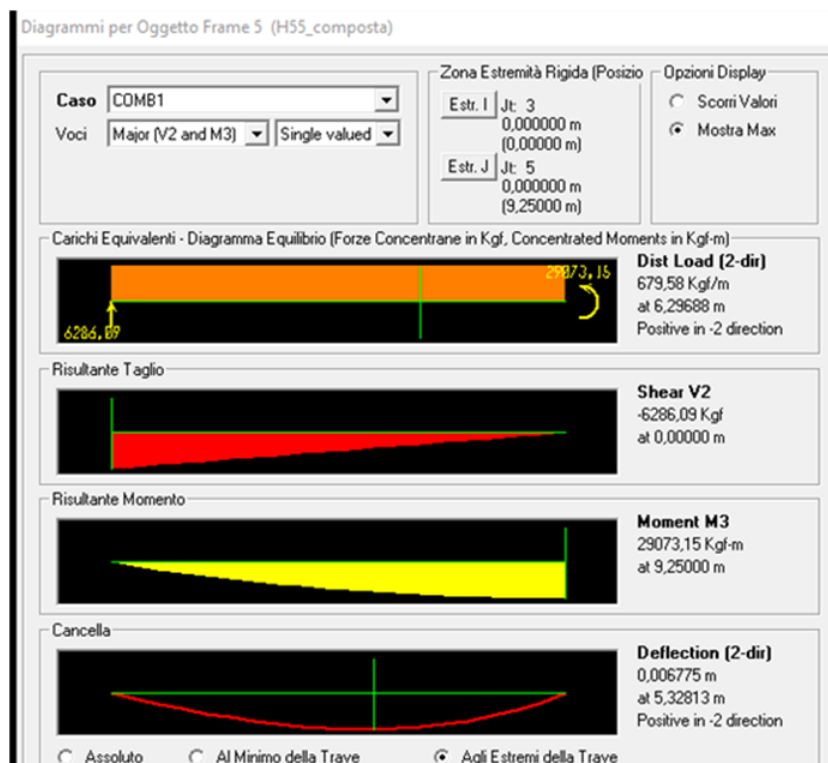


Figura 9 Involuppo momento SLE

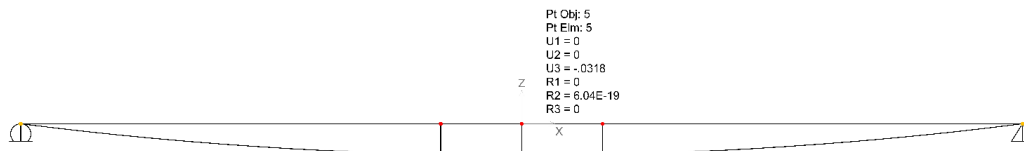


Figura 10 Involuppo freccia SLE

PROFILO	HEB 550 composto	
Tipo di acciaio	S355	
Classe di flessione sezione	I	
$\gamma M_0$	1.05	
$f_{yk}$	355	Mpa
Luce di calcolo	18.50	L (m)
Interasse	1.80	i (m)
qG1 peso proprio		(kg/m)
qG1 permanenti	59	(kg/m)
qQ	450	(kg/m)
Area	286.8	A (cm <sup>2</sup> )
base del profilo	300.00	b (mm <sup>2</sup> )
altezza profilo	550.00	h (mm <sup>2</sup> )
spessore ali	35.00	tf (mm <sup>2</sup> )

spessore anima	16.00	tw (mm2)
raccordo	0.00	r (mm)
Area di taglio	71.20	Aw (cm2)
Modulo di resistenza plastico	6329	Wplx(cm3)
Momento d'inerzia	154203	Jx (cm4)
Momento resistente ultimo	2140.00	Mrd_u (kNm)
Max momento sollecitante	426.50	Msd (kNm)
Taglio resistente ultimo	4099.00	Vs,rd (kN)
Max taglio sollecitante	92.22	Vs,rd (kN)
Freccia limite (f/L)	37.00	f (mm)
Freccia SLE	31.20	f (mm)

Con:

- $M_{Rd} = W_{Plx} * f_{yk} / \gamma_{yM0}$
- $V_{s,rd} = A_v * f_{yk} / \sqrt{3} \gamma_{yM0}$

Si ottiene:

- $M_{Ed} < M_{Rd} \rightarrow 426.50 \text{ kNm} < 2140.00 \text{ kNm}$  ;
- $V_{Ed} < V_{Rd} \rightarrow 92.22 \text{ kN} < 4099.00 \text{ kN}$  ;
- $V_{Ed} < 1/2 V_{Rd} \rightarrow$  Influenza del taglio su resistenza a flessione trascurabile
- $f_{SLE} < f_u \rightarrow 5/384 qL^4/EI < 18500/500 \rightarrow 31.2 \text{ mm} < 37 \text{ mm}$

Verifica frequenza di oscillazione trave:

- $f_0 = \frac{17.75}{\sqrt{\sigma_0}} (\text{Hz}) > 5 \text{ Hz} \rightarrow 4.83 - 5 \text{ Hz}$  Si ritiene accettabile la verifica. La freccia sotto i soli carichi permanenti vale 13.5 mm. In sede di Progettazione esecutiva si valuteranno le accelerazioni verticali per la verifica di confort.

Tutte le verifiche effettuate hanno dato esito positivo.



## 5 VERIFICA CLASSE DI FLESSIONE SEZIONE IN ACCIAIO

### Normativa di riferimento

- NTC 2018 e Circolare 7 del 2019
- UNI EN 1993-1-5: 2006

### Geometria della sezione

#### Legenda:

- NL: numero del lato
- $X_i$ : coordinata X del nodo iniziale
- $Y_i$ : coordinata Y del nodo iniziale
- $X_f$ : coordinata X del nodo finale
- $Y_f$ : coordinata Y del nodo finale
- L: lunghezza del lato
- $\alpha$ : angolo di inclinazione del lato

Lato	$X_i$ [cm]	$Y_i$ [cm]	$X_f$ [cm]	$Y_f$ [cm]	L [cm]	$\alpha$ [°]
1	30,0000	0,0000	0,0000	0,0000	30,0000	180,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	3,5000	3,5000	90,0000
3	0,0000	3,5000	14,2000	3,5000	14,2000	0,0000
4	14,2000	3,5000	14,2000	51,5000	48,0000	90,0000
5	14,2000	51,5000	0,0000	51,5000	14,2000	180,0000
6	0,0000	51,5000	0,0000	55,0000	3,5000	90,0000
7	0,0000	55,0000	30,0000	55,0000	30,0000	0,0000
8	30,0000	55,0000	30,0000	51,5000	3,5000	270,0000
9	30,0000	51,5000	15,8000	51,5000	14,2000	180,0000
10	15,8000	51,5000	15,8000	3,5000	48,0000	270,0000
11	15,8000	3,5000	30,0000	3,5000	14,2000	0,0000
12	30,0000	3,5000	30,0000	0,0000	3,5000	270,0000

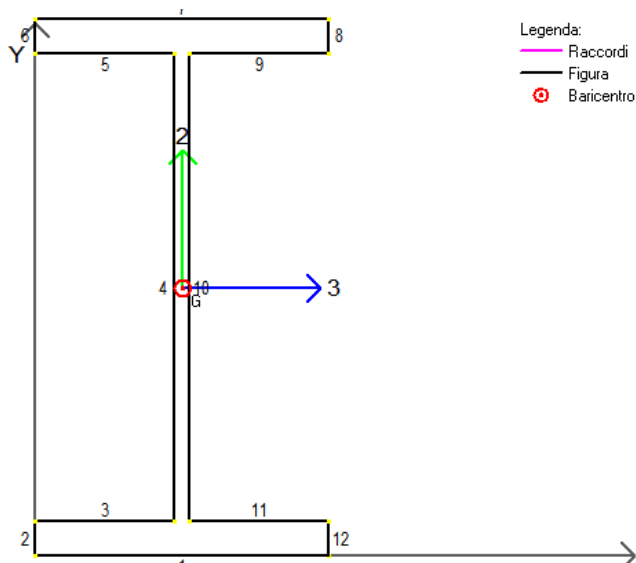


Figura 11 Geometria della sezione e numerazione nodi

Proprietà della sezione

Area	$A = 286,80 \text{ cm}^2$
Coordinata X del baricentro	$X_G = 15,00 \text{ cm}$
Coordinata Y del baricentro	$Y_G = 27,50 \text{ cm}$
Momento di inerzia rispetto all'asse baricentrico orizzontale	$J_3 = 154203,11 \text{ cm}^4$
Momento di inerzia rispetto all'asse baricentrico verticale	$J_2 = 15766,38 \text{ cm}^4$
Modulo di resistenza minimo rispetto all'asse baricentrico orizzontale	$W_{\min,3} = 5607,39 \text{ cm}^3$
Modulo di resistenza minimo rispetto all'asse baricentrico verticale	$W_{\min,2} = 1051,09 \text{ cm}^3$
Modulo di resistenza plastico rispetto all'asse baricentrico orizzontale	$W_{pl,3} = 5607,39 \text{ cm}^3$
Modulo di resistenza plastico rispetto all'asse baricentrico verticale	$W_{pl,2} = 1051,09 \text{ cm}^3$

Proprietà dell'acciaio

Tipo di acciaio: Fe510-S355

Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{M0} = 1,050$
Tensione a rottura	$\sigma_t = 5100,0 \text{ daN/cm}^2$
Tensione a snervamento	$\sigma_y = 3550,0 \text{ daN/cm}^2$
Tensione di progetto	$\sigma_d = 3381,0 \text{ daN/cm}^2$
Modulo Elastico	$E = 2100000,0 \text{ daN/cm}^2$
Modulo di Taglio	$G = 807690,0 \text{ daN/cm}^2$

Geometria dei tratti

Il software individua in automatico i tratti di sezione che possono instabilizzarsi e che sono necessari per la classificazione della sezione (Tab 4.2.I e Tab 4.2.II delle NTC 18)

Legenda:

- N<sub>T</sub>: numero del tratto
- b: lunghezza del tratto
- b<sub>c</sub>: lunghezza di calcolo del tratto
- t: spessore del tratto
- X<sub>G</sub>: coordinata X del baricentro del tratto
- Y<sub>G</sub>: coordinata Y del baricentro del tratto
- α: angolo d'inclinazione del tratto

N <sub>T</sub>	b [cm]	b <sub>c</sub> [cm]	t [cm]	X <sub>G</sub> [cm]	Y <sub>G</sub> [cm]	Posizione	α [°]
1	14,2000	14,2000	3,5000	7,1000	1,7500	Esterna	0,0000
2	48,0000	48,0000	1,6000	15,0000	27,5000	Interna	90,0000
3	14,2000	14,2000	3,5000	7,1000	53,2500	Esterna	0,0000
4	14,2000	14,2000	3,5000	22,9000	53,2500	Esterna	0,0000
5	14,2000	14,2000	3,5000	22,9000	1,7500	Esterna	0,0000

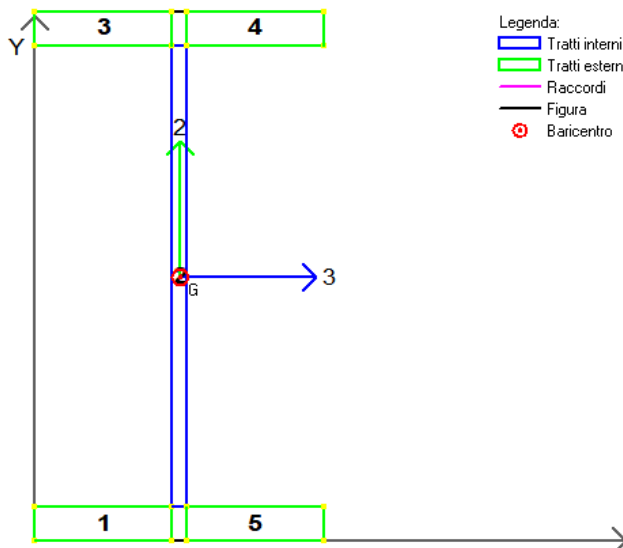


Figura 12 Geometria dei tratti e loro numerazione

Classificazione sezione

Di seguito vengono mostrate, per ogni combinazione, le caratteristiche della sollecitazione e la classe della sezione, valutata calcolando il limite della classe 3 **considerando** il regime tensionale effettivo (formula [C4.2.1] Circ. 21 gennaio 2019, n.7).

CMB	Tipo	N [daN]	V2 [daN]	V3 [daN]	M2 [daN cm]	M3 [daN cm]	T [daN cm]	Classe
1	SLU	0,00	0,00	0,00	0,00	4265000,00	0,00	1
2	SLU	0,00	9222,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1

La sezione non risulta mai in classe 4.

Orditura secondaria-Schema di calcolo

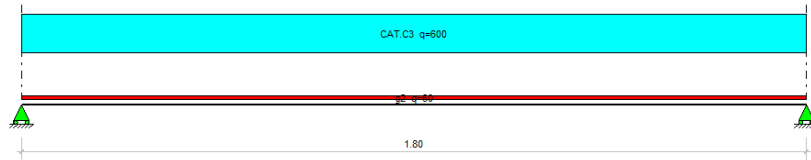


Figura 13 -schema di calcolo orditura secondaria

Orditura secondaria-Sollecitazioni SLV

Unità di misura: T[kgf];M[kgfm];

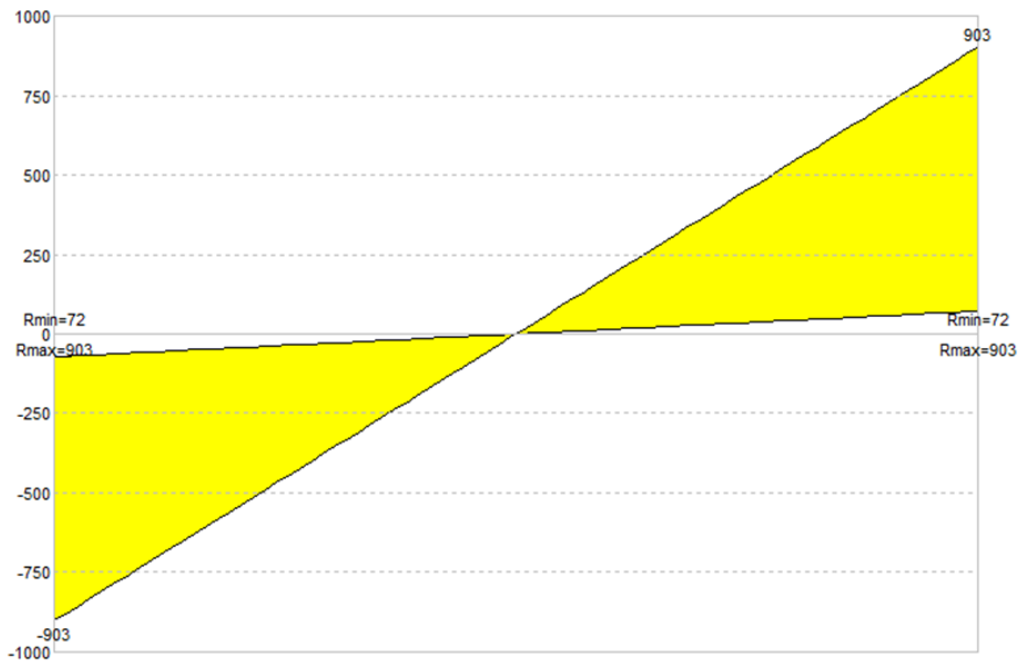


Figura 14 Involucro taglio SLV

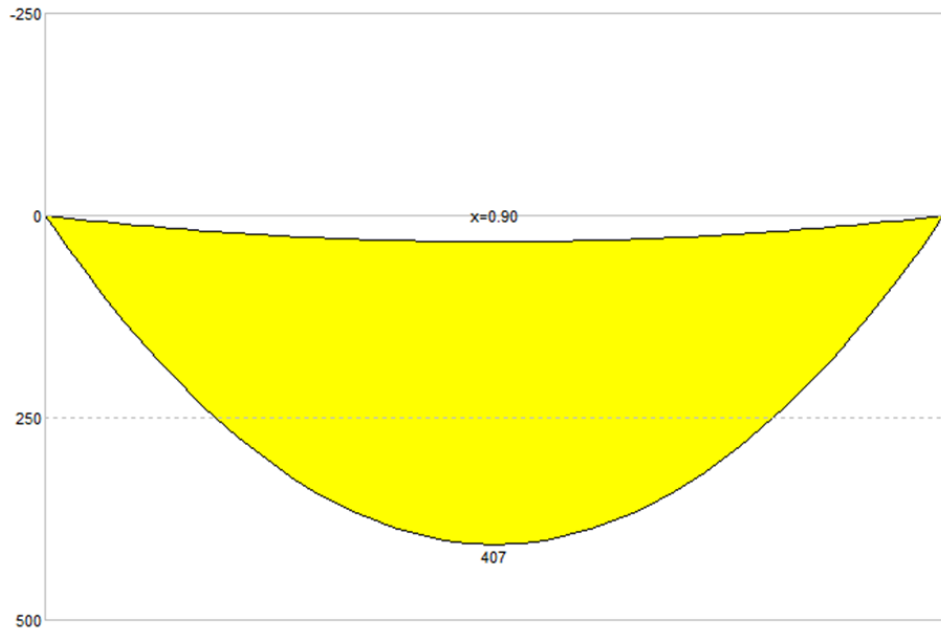


Figura 15 Inviluppo momento SLV

Orditura secondaria-Spostamenti SLE

Unità di misura: f[m]

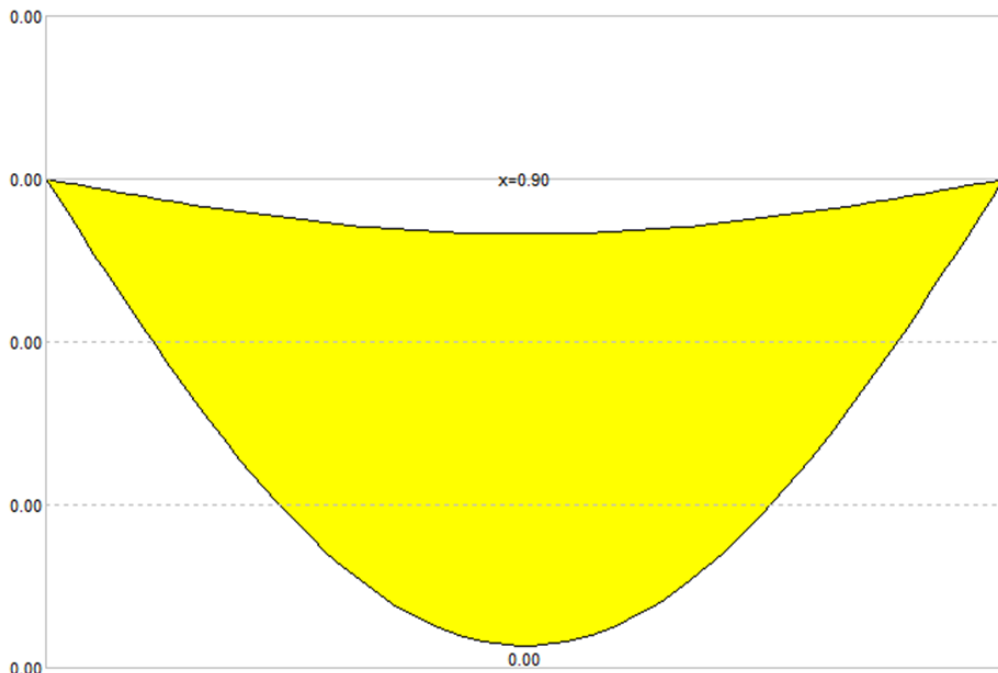


Figura 16 Inviluppo freccia SLE

Orditura secondaria-Verifiche

PROFILO		HEA 120
Tipo di acciaio		S235
Classe di flessione sezione	I	
$\gamma_{M0}$	1.05	
$f_{yk}$	235	Mpa
Luce di calcolo	1.8	L (m)
Interasse	1.2	i (m)
qG1		(kg/m)
qG2	60	(kg/m)
qQ	600	(kg/m)
Area	25.34	A (cm <sup>2</sup> )
base del profilo	120.00	b (mm <sup>2</sup> )
altezza profilo	114.00	h (mm <sup>2</sup> )
spessore ali	8.00	tf (mm <sup>2</sup> )
spessore anima	5.00	tw (mm <sup>2</sup> )
raccordo	12.00	r (mm)
Area di taglio	8.46	Aw (cm <sup>2</sup> )
Modulo di resistenza plastico	120	Wplx(cm <sup>3</sup> )
Momento d'inerzia	606	Jx (cm <sup>4</sup> )
Momento resistente ultimo	26.75	Mrd_u (kNm)
Max momento sollecitante	4.07	Msd (kNm)
Taglio resistente ultimo	109.32	Vs,rd (kN)
Max taglio sollecitante	9.03	Vs,rd (kN)
Freccia limite (f/L)	1/300	f
Freccia SLE	1/2513	f

Con:

- $M_{Rd} = W_{Plx} * f_{yk} / \gamma_{yM0}$
- $V_{s,rd} = A_v * f_{yk} / \sqrt{3} \gamma_{yM0}$

Si ottiene:

- $M_{Ed} < M_{Rd} \rightarrow 4.07 \text{ kNm} < 26.75 \text{ kNm} ;$
- $V_{Ed} < V_{Rd} \rightarrow 9.03 \text{ kN} < 109.32 \text{ kN} ;$

- $V_{Ed} < 1/2 V_{Rd} \rightarrow$  Influenza del taglio su resistenza a flessione trascurabile
- $f_{SLE} < f_u \rightarrow 1/2513 < 1/300$

Tutte le verifiche effettuate hanno dato esito positivo.

## 6 DISPOSITIVI DI APPOGGIO IMPALCATO

Il collegamento tra impalcato e spalle viene realizzato con dispositivi di appoggio armati del tipo indicato in figura seguente, e con le modalità di installazione (collegamento fisso su spalla A, collegamento mobile su spalla B) indicate nelle specifiche tavole grafiche di progetto.



Figura 17 Appoggi armati

Gli appoggi armati sono progettati per l'uso in ponti ed edifici per trasmettere carichi verticali e permettere movimenti orizzontali in ogni direzione, fornendo insieme capacità rotazionale. Gli appoggi elastomerici armati con armatura semplice sono costituiti da molteplici strati di elastomero separati da lamiere d'armatura in acciaio e con essi successivamente vulcanizzati. Possono essere costruiti in forma rettangolare o circolare per soddisfare i particolari requisiti ingegneristici

Questi prodotti sono semplici, robusti ed esenti da corrosione poiché gli elementi in acciaio sono interamente coperti dalla gomma. Facili da installare, forniscono un servizio duraturo e senza problemi.

Le caratteristiche tecniche dei prodotti prescelti sono le seguenti:

- a = lunghezza dell'appoggio (asse longitudinale) 200 mm
- b = larghezza dell'appoggio (asse trasversale) 250 mm
- h = altezza totale dell'appoggio 19 mm
- hrt = spessore totale gomma 13 mm
- W = peso dell'appoggio 2.8 kg
- N = carico verticale 750 kN
- vxy = spostamento orizzontale 8 mm
- V = carico orizzontale 45 kN
- $\alpha_y$  = rotazione intorno all'asse trasversale 5 mrad
- $K_{eq}$  = rigidità orizzontale 3.5 kN/mm



Di seguito si riporta la verifica degli appoggi:

### VERIFICA APPOGGI NAVILE

Si considerano appoggi in neoprene aventi la funzione di assorbire il carico verticale e le azioni orizzontali derivanti dalle dilatazioni termiche, dalla forza di frenamento e dal vento.

$L_{long} =$	19,24	m	Lunghezza longitudinale viadotto
$L_{trasv} =$	2,10	m	Lunghezza trasversale viadotto (larghezza soletta)
$d_{traviext} =$	1,8	m	Distanza tra le travi esterne
$n_{sx} =$	2		Numero appoggi spalla/pila sx
$n_{dx} =$	2		Numero appoggi spalla/pila dx
$n_{tot} =$	4		Numero appoggi totale

### Azioni Verticali

#### - Carichi permanenti, traffico e vento

$V_{G1} =$	26,7	kN	Taglio dato dai carichi $G_1$
$V_{G2} =$	0	kN	Taglio dato dai carichi $G_2$
$V_{Qtraff} =$	41,63	kN	Taglio dato dai carichi mobili da traffico
$V_{Qtraff} \times \Psi_1 =$	16,652		Taglio dato dai carichi mobili da traffico in comb freq 40,0 %
$V_{Qvento} =$	0,00	kN	Taglio dato dal carico vento
$V_{SLU} =$	92,25	kN	Massima azione verticale su un singolo appoggio

#### - Azione sismica

$F_{Ez} =$	106,8	kN	Azione sismica verticale su tutto impalcato 1 campata
$V_{sism,z} =$	26,70	kN	Azione sismica verticale su un appoggio

### Azioni orizzontali

#### - Azione di frenamento

$L_{long} =$	19,24	m	Lunghezza longitudinale viadotto
$q_3 =$	0,00	kN	Forza di frenamento o accelerazine
$H_{fren,long} =$	0,00	kN	Azione di frenamento long su un appoggio

Si considera l'azione di frenamento disposta sulla corsia più esterna. In tal caso si genera un momento torcente dell'impalcato, che induce azioni trasversali sugli appoggi.

$b_{trasv} =$	0,9	m	Distanza tra centro carreggiata e baricentro della corsia più esterna
---------------	-----	---	---

$M_{imp} = 0,00$  kNm Momento generato da eccentricità di  $q_3$   
 $H_{fren, trasv} = 0,00$  kN Azione di frenamento trasv su un singolo appoggio

**- Azione del vento**

Zona: 2 Zona vento  
 Rugosità: B Classe di rugosità  
 Esp.: IV Classe di esposizione  
 $C_e = 1,63$  Coefficiente di esposizione  
 $C_{f,x,o} = 2,4$  Coefficiente di forma  
 $q_r = 390,625$  N/mq  
 $C_r = 3,912$   
 $H_v = 1,9$  m Altezza su cui agisce vento (H trave + soletta+pavimentazione + 3m)  
 $Q_{v1} = 2,90$  kN/m Azione del vento su trave esterna  
 $H_{vento, trasv} = 13,97$  kN Azione del vento trasversale su un singolo appoggio

**- Azione sismica**

$F_{y, Ex} = 6,48$  kN Azione trasversale del sisma trasversale ( $E_y$ )

**Dilatazioni termiche**

$\Delta T_{comp} = -20$  °C Differenza di Temp. Che comporta accorciamento  
 $\Delta T_{exp} = 20$  °C Differenza di Temp. Che comporta allungamento  
 $\alpha = 0,000012$  Coeff di dilatazione [Tab. 3.5.III NTC 2018]  
 $L_{long} = 1924$  cm Lunghezza impalcato  
 $\Delta L_{long, comp} = -4,62$  mm Accorciamento impalcato  
 $\Delta L_{long, exp} = 4,62$  mm Allungamento impalcato  
 $\Delta L_{long} = 2,31$  mm Dilatazione termica longitudinale un appoggio  
 $L_{trasv} = 2,1$  cm Larghezza impalcato  
 $\Delta L_{trasv, comp} = -0,01$  mm Accorciamento trasversale impalcato  
 $\Delta L_{trasv, exp} = 0,01$  mm Allungamento trasversale impalcato  
 $\Delta L_{trasv} = 0,00$  mm Dilatazione termica trasversale un appoggio

S <sub>long,spalla</sub> =	0	mm	Spostamento longitudinale testa spalla/pila
S <sub>trasv,spalla</sub> =	0	mm	Spostamento trasversale testa spalla/pila

### Verifica appoggio

Appoggio: **E-Link B 200x250x19**

	Combo 1	Combo 2	
V <sub>Rd</sub> [kN] =	517	750	Massima azione verticale
H <sub>Rd</sub> [kN] =	30	45	Massima azione orizzontale
s* [mm] =	5	8,0	Spostamento massimo
K <sub>h</sub> [kN/mm] =	3,5	3,5	Rigidezza orizzontale appoggio

### Azioni da combinazioni SLU

Le azioni caratteristiche si combinano tra loro secondo le combinazioni che massimizzano o l'azione verticale o quella orizzontale

$$\text{Comb } V_{max} : 1,35 \times G_1 + 1,35 \times G_2 + 1,35 \times Q_{traff} + 1,5 \times 0,6 \times Q_{vento} + 0 \times Q_{frenat} + 1,2 \times 0,6 \times \epsilon_{termico}$$

$$\text{Comb } H_{max1} : G_1 + G_2 + 1,35 \times \Psi_1 \times Q_{traff} + 1,5 \times 0,6 \times Q_{vento} + 1,35 \times Q_{frenat} + 1,2 \times 0,6 \times \epsilon_{termico}$$

$$\text{Comb } H_{max2} : G_1 + G_2 + 1,35 \times \Psi_1 \times Q_{traff} + 1,5 \times 0,6 \times Q_{vento} + 0 \times Q_{frenat} + 1,2 \times \epsilon_{termico}$$

	Comb V <sub>max</sub>	Comb H <sub>max1</sub>	Comb H <sub>max2</sub>	
V [kN] =	92,25	49,18	49,18	Carico verticale
H [kN] =	12,57	12,57	12,57	Carico orizzontale
s [mm] =	1,66	1,66	2,77	Spostamento
H <sub>Ed</sub> =	18,39	18,39	22,27	Carico orizzontale equivalente
s* <sub>equiv</sub> =	5,25	5,25	6,36	Spostamento equivalente
H <sub>Ed</sub> /V =	0,136	0,256	0,256	
Valori da:	Combo 2	Combo 2	Combo 2	
V/V <sub>Rd</sub> =	0,12	0,07	0,07	
H <sub>Ed</sub> /H <sub>Rd</sub> =	0,41	0,41	0,49	
s* <sub>equiv</sub> /s* =	0,66	0,66	0,80	
	OK	OK	OK	

Le verifiche sono soddisfatte

### Azioni da combinazioni SLU sismiche

Le azioni caratteristiche si combinano tra loro secondo la comb. sismica

$$\text{Comb. 1: } G_1 + G_2 + E_x + 0,3 \times E_y + 0,3 \times E_z + 0,5 \times \epsilon_{termico}$$

$$\text{Comb. 2: } G_1 + G_2 + E_x + 0,3 \times E_y - 0,3 \times E_z + 0,5 \times \epsilon_{termico}$$

Comb. 3:  $G_1 + G_2 + 0.3 \times E_x + E_y + 0.3 \times E_z + 0.5 \times \epsilon_{termico}$

Comb. 4:  $G_1 + G_2 + 0.3 \times E_x + E_y - 0.3 \times E_z + 0.5 \times \epsilon_{termico}$

Comb. 5:  $G_1 + G_2 + 0.3 \times E_x + 0.3 \times E_y + E_z + 0.5 \times \epsilon_{termico}$

	Comb 1	Comb 2	Comb 3	Comb 4	Comb 5	
V [kN] =	34,71	18,69	34,71	18,69	53,40	Spostamento
H [kN] =	1,94	1,94	6,48	6,48	1,94	Carico orizzontale equivalente
s [mm] =	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	Spostamento equivalente
H <sub>Ed</sub> =	5,98	5,98	10,52	10,52	5,98	
S* <sub>equiv</sub> =	1,71	1,71	3,00	3,00	1,71	
H <sub>Ed</sub> /V =	0,056	0,104	0,187	0,346	0,036	
Valori da:	Combo 2	Combo 2	Combo 2	Combo 2	Combo 2	
V/V <sub>Rd</sub> =	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>	<b>0,07</b>	
H <sub>Ed</sub> /H <sub>Rd</sub> =	<b>0,13</b>	<b>0,13</b>	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>	<b>0,13</b>	
S* <sub>equiv</sub> /S* =	<b>0,21</b>	<b>0,21</b>	<b>0,38</b>	<b>0,38</b>	<b>0,21</b>	
	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	

**Le verifiche sono soddisfatte.**

## 7 ALTRI RISULTATI SIGNIFICATIVI

### 7.1 VERIFICA A PUNZONAMENTO DEL TAVOLATO IN LEGNO

Si verifica il punzonamento del tavolato lungo il perimetro d'impronta del carico Qsv2 dei veicoli di servizio per i ponti di terza categoria.

Ved= Qsv2= 40 kN  
A impronta = 20x20cm;  
u0 = 800mm;  
d=80mm;

#### Caratteristiche del materiale

Materiale :

Classe di resistenza (Gruppo EN338 / EN 11035) :

Classe di servizio :

- Classe di servizio 2: è caratterizzata da un'umidità dei materiali in equilibrio con ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno. Possono appartenere a tale classe gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici ma protetti, almeno parzialmente, dalle intemperie e dall'irraggiamento solare

Coefficiente parziale per il materiale :  $\gamma_M = 1.50$  [-]

Coefficiente di deformazione :  $k_{def} = 0.80$  [-]

**Combinazione I - perm. + acc.**   
 $k_{mod,I} = 1.00$

**Combinazione II - perm.**   
 $k_{mod,II} = 0.60$

Valori caratteristici	Valori di progetto	$k_{mod,I}$ 1.00	$k_{mod,II}$ 0.60	
$f_{m,k}$ [MPa] 24.00	$f_{m,d}$ [MPa] 16.00		9.60	Flessione
$f_{t,0,k}$ [MPa] 14.00	$f_{t,0,d}$ [MPa] 9.33		5.60	Trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$ [MPa] 0.50	$f_{t,90,d}$ [MPa] 0.33		0.20	Trazione ortogonale alle fibre
$f_{c,0,k}$ [MPa] 21.00	$f_{c,0,d}$ [MPa] 14.00		8.40	Compress. parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$ [MPa] 2.50	$f_{c,90,d}$ [MPa] 1.67		1.00	Compress. ortogonale alle fibre
$f_{v,k}$ [MPa] 2.50	$f_{v,d}$ [MPa] 1.67		1.00	Taglio

#### Rigidezza

Modulo elastico parallelo medio  $E_{0,mean} = 11000$  [MPa]

Modulo elastico ortogonale medio  $E_{90,mean} = 370$  [MPa]

Modulo elastico parallelo caratteristico  $E_{0,05} = 7400$  [MPa]

Modulo elastico tangenziale medio  $G_{mean} = 690$  [MPa]

#### Massa

Massa volumica caratteristica  $\rho_k = 3.50$  [kN/m<sup>3</sup>]

$$v_{ed} = \beta V_{ed} / (u_0 d) = 1.15 * 40000 / (800 * 80) = 0.7125 \text{ Mpa}$$

$$f_{v,k} = 1.67 \text{ Mpa};$$

$$v_{ed} < f_{v,k} \rightarrow 0.7125 \text{ Mpa} < 1.67 \text{ Mpa}$$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

## 8 GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

Le verifiche sono state eseguite attraverso l'uso di un software di documentate caratteristiche e che ha disponibilità di un manuale di validazione dei risultati. L'analisi svolta risulta conforme alle norme NTC18, cap. 7.3 "metodi di analisi e criteri di verifica".

## 9 PIANO DI MANUTENZIONE DELLA PARTE STRUTTURALE DELL'OPERA

### OPERE IN CEMENTO ARMATO

#### **Ispezione annuale:**

##### **Modalità**

- eventuali fenomeni di deterioramento e di degrado dei materiali;
- eventuali fenomeni di dissesto delle strutture dovuti a cedimenti differenziali;
- presenza di un quadro fessurativo che esuli dalle normali fessure dovute al ritiro del calcestruzzo in fase di maturazione;
- presenza di distacchi di parte superficiale delle opere in calcestruzzo che comportino l'esposizione all'ambiente aggressivo dei ferri di armatura;
- presenza di fenomeni di risalita dell'umidità;
- presenza di avvallamenti della superficie di calpestio;
- presenza di eccesso di vibrazioni o emissioni sonore delle strutture sotto carico.

L'esito di ogni ispezione deve formare oggetto di uno specifico rapporto da conservare insieme alla relativa documentazione tecnica. A conclusione di ogni ispezione, inoltre, il tecnico incaricato deve, se necessario, indicare gli eventuali interventi a carattere manutentorio da eseguire ed esprimere un giudizio riassuntivo sullo stato d'opera.

#### **Interventi di manutenzione**

- riparazioni localizzate superficiali delle parti strutturali, da effettuare anche con materiali speciali;
- ripristino di parti strutturali in calcestruzzo armato da eseguire anche con materiali speciali;
- protezione dei calcestruzzi da azione disgreganti (gelo, Sali solventi, ambiente aggressivo, ecc.) con eventuale applicazione di film protettivi;
- protezione delle armature da azioni disgreganti (gelo, ambiente aggressivo, ecc.);
- consultare tecnico abilitato in caso di quadro fessurativo in rapida evoluzione o interventi che vadano a variare dimensioni strutturali o carichi applicati.

### **FONDAZIONI IN C.A.**

#### **Livello minimo delle prestazioni**

##### **Stabilità**

**-Descrizione:** Capacità dell'elemento di permetterne l'uso pur in presenza di lesioni.

**-Norme:** D.M. 17 gennaio 2018

##### **Struttura – resistenza meccanica e stabilità:**

**-Descrizione:** Capacità dell'opera di sopportare i carichi prevedibili senza dar luogo a crollo totale o parziale, deformazioni inammissibili, deterioramenti di sue parti o degli impianti fissi, danneggiamenti anche conseguenti ad eventi accidentali ma comunque prevedibili.

**-Livello minimo delle prestazioni:** Stabilito dal progettista in fase di progetto e dichiarato sulla relazione generale di progetto in funzione della concezione strutturale dell'opera e della vita utile stabilita per la struttura.

**-Norme:** D.M. 17/01/2018 Norme Tecniche per le costruzioni; DPR 246/93 (Regolamento di attuazione della direttiva in Italia) sui prodotti da costruzione.

### Struttura-durabilità

**-Descrizione:** Capacità di materiali e strutture di conservare le caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture si ottiene utilizzando materiali di ridotto degrado ovvero con dimensioni strutturali maggiorate necessarie a compensare il deterioramento prevedibile dei materiali durante la vita utile di progetto ovvero mediante procedure di manutenzione programmata.

**-Livello minimo delle prestazioni:** Stabilito dal progettista in funzione della vita utile indicata per l'edificio, delle condizioni ambientali e delle caratteristiche dei materiali messi in opera nonché delle dimensioni minime degli elementi.

### Anomalie riscontrabili

#### Corrosione

**-Guasti, alterazioni ed irregolarità visibili:** Degradazione che implica l'evolversi di un processo chimico; rigonfiamenti del copriferro.

**-Effetto degli inconvenienti:** Distacco del copriferro e lesioni in corrispondenza all'attacco degli elementi verticali portanti insistenti sulla fondazione con formazione di striature di ruggine per colature, aspetto degradato.

**-Cause possibili:** fattori esterni (ambientali o climatici), incompatibilità dei materiali e dei componenti, mancata/carente/cattiva manutenzione, cause accidentali

**-Criterio di intervento:** rimozione delle parti di calcestruzzo ammalorato, rimozione della ruggine con energica spazzolatura, protezione con idoneo passivante e ricostruzione dei copriferri.

#### Danneggiamento

**-Guasti, alterazioni ed irregolarità visibili:** Diminuzione più o meno grave ed evidente di efficienza e di consistenza di un elemento .

**-Effetto degli inconvenienti:** Presenza di lesioni, aspetto degradato.

**-Cause possibili:** Cause accidentali, atti di vandalismo.

**-Criterio di intervento:** Rimozione delle parti di calcestruzzo ammalorato, rimozione della ruggine con energica spazzolatura, protezione con idoneo passivante e ricostruzione dei copriferri.

#### Deformazione

**-Guasti, alterazioni ed irregolarità visibili:** Alterazione duratura dell'aspetto e della configurazione, misurabile dalla variazione delle distanze tra i suoi punti.

**-Effetto degli inconvenienti:** Inflessione visibile; rigonfiamenti; distacchi; lesioni.

**-Cause possibili:** Presenza di carichi superiori a quelli di calcolo, cedimenti del terreno al di sotto del piano di posa

**-Criterio di intervento:** Rimozione di carichi e/o ripristino strutturale, progettazione di rinforzi, sottofondazioni locali, eliminazione delle cause delle eventuali modifiche geomorfologiche del terreno.



## Lesione

**-Guasti, alterazioni ed irregolarità visibili:** Rottura che si manifesta in una qualsiasi struttura quando lo sforzo a cui è sottoposta supera la resistenza corrispondente del materiale.

**-Effetto degli inconvenienti:** Fenditure interne più o meno ramificate (es. lesione isolata, diffusa, a croce, cantonale, a martello, verticale, a 45°, ecc.) e profonde (es. lesione capillare, macroscopica, ecc.).

**-Cause possibili:** Assestamento differenziale delle fondazioni per cedimenti del terreno (es. traslazione verticale, traslazione orizzontale, rotazione). Schiacciamento per carico localizzato. Schiacciamento dovuto al peso proprio. Ritiro dell'intonaco per granulometria troppo piccola dell'inerte o per eccesso di legante. Cicli di gelo e disgelo. Penetrazione di acqua.

**-Criterio di intervento:** Ispezione tecnico specializzato, progettazione di rinforzi, sottofondazioni locali, eliminazione delle cause delle eventuali modifiche geomorfologiche del terreno.

## Rottura

**-Guasti, alterazioni ed irregolarità visibili:** Menomazione dell'integrità di un elemento e danneggiamento grave.

**-Effetto degli inconvenienti:** Perdita delle capacità portanti, aspetto degradato.

**-Cause possibili:** Cause accidentali, atti di vandalismo, superamento dei carichi di progetto, cambiamenti delle condizioni locali del terreno di fondazione – variazioni del livello di falda, delle condizioni meccaniche del terreno

**-Criterio di intervento:** progettazione di rinforzi, sottofondazioni locali, eliminazione delle cause delle eventuali modifiche geomorfologiche del terreno.

### Controlli eseguibili direttamente dall'utente

#### Ispezione visiva

**-Modalità di ispezione:** Valutazione della lesione, in termini di dimensione e andamento o della situazione che ha messo a nudo porzioni della fondazione

**-Raccomandazioni:** Nel caso si fosse creata una fessurazione o sia rimasta scoperta parte della fondazione, rivolgersi alle strutture preposte per una verifica di stabilità dello stesso.

**-Frequenza:** quando occorre

**-Requisiti da verificare:** Stabilità; Struttura – resistenza meccanica e stabilità.

**-Anomalie riscontrabili:** Danneggiamento; Deformazione; Lesione; Rottura.

### Controlli da eseguire a cura di personale specializzato

#### Strutturale

**-Modalità di ispezione:** Verifica integrità della struttura.

**-Frequenza:** 10 anni

**-Qualifica operatori:** Tecnico specializzato

**-Requisiti da verificare:** Stabilità; Struttura – resistenza meccanica e stabilità; Struttura-durabilità.

**-Anomalie riscontrabili:** Corrosione; Danneggiamento; Deformazione; Rottura.

### Controllo con strumento

**-Modalità di ispezione:** Verificare con lo strumento quale sia la classe di resistenza e confrontarla con quanto riportato in relazione di calcolo. Fare più valutazioni a campione di modo che si possa avere un valore medio.

**-Frequenza:** quando occorre

**-Qualifica operatori:** Tecnico specializzato

**-Requisiti da verificare:** Stabilità; Struttura – resistenza meccanica e stabilità.

**-Anomalie riscontrabili:** Corrosione; Danneggiamento; Deformazione; Lesione; Rottura.

### Manutenzioni da eseguire a cura di personale specializzato

#### Resine bicomponenti

**-Modalità di esecuzione:** Utilizzo di resine bicomponenti, al fine di ripristinare l'eventuale lesione e riconferire alla struttura le caratteristiche statiche iniziali.

**-Frequenza:** quando occorre

**-Qualifica operatori:** Tecnico specializzato

#### Ripristino

**-Modalità di esecuzione:** Eventuali lavori di ripristino integrità del materiale attraverso: applicazione di stucchi specifici sulle lesioni; trattamento superficiale con resine specifiche per il fenomeno dell'efflorescenza; stilatura giunti con malta cementizia.

**-Frequenza:** quando occorre

**-Qualifica operatori:** Impresa specializzata

**-Disturbi a terzi causabili dagli interventi:** Possibili interruzioni traffico veicolare e pedonale.

#### Utilizzo di malte

**-Modalità di esecuzione:** Stesa di malte del tipo tixotropica, epossidica.

**-Frequenza:** quando occorre

**-Qualifica operatori:** Operaio specializzato

**-Disturbi a terzi causabili dagli interventi:** Impossibilità di transitare in adiacenza all'area d'intervento.

## *STRUTTURE IN C.A.*

### Livello minimo delle prestazioni

#### Struttura – resistenza meccanica e stabilità

**-Descrizione:** Capacità dell'opera di sopportare i carichi prevedibili senza dar luogo a crollo totale o parziale, deformazioni inammissibili, deterioramenti di sue parti o degli impianti fissi, danneggiamenti anche conseguenti ad eventi accidentali ma comunque prevedibili.

**-Livello minimo delle prestazioni:** Stabilito dal progettista in fase di progetto e dichiarato sulla relazione generale di progetto in funzione della concezione strutturale dell'opera e della vita utile stabilita per la struttura.

## Struttura-durabilità

**-Descrizione:** Capacità di materiali e strutture di conservare le caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture si ottiene utilizzando materiali di ridotto degrado ovvero con dimensioni strutturali maggiorate necessarie a compensare il deterioramento prevedibile dei materiali durante la vita utile di progetto ovvero mediante procedure di manutenzione programmata.

**-Livello minimo delle prestazioni:** Stabilito dal progettista in funzione della vita utile indicata per l'edificio, delle condizioni ambientali e delle caratteristiche dei materiali messi in opera nonché delle dimensioni minime degli elementi.

## Anomalie riscontrabili

### Lesione

**-Guasti, alterazioni ed irregolarità visibili:** Rottura che si manifesta in una qualsiasi struttura quando lo sforzo a cui è sottoposta supera la resistenza corrispondente del materiale

**-Effetto degli inconvenienti:** Fenditure interne più o meno ramificate (es. lesione isolata, diffusa, a croce, cantonale, a martello, verticale, a 45°, ecc.) e profonde (es. lesione capillare, macroscopica, ecc.).

**-Cause possibili:** Assestamento differenziale delle fondazioni per cedimenti del terreno (es. traslazione verticale, traslazione orizzontale, rotazione). Schiacciamento per carico localizzato. Schiacciamento dovuto al peso proprio. Ritiro dell'intonaco per granulometria troppo piccola dell'inerte o per eccesso di legante. Cicli di gelo e disgelo. Penetrazione di acqua.

**-Criterio di intervento:** Ispezione tecnico specializzato.

Ripristino integrità blocchi.

### Rottura

**-Guasti, alterazioni ed irregolarità visibili:** Menomazione dell'integrità di un elemento (vetro) e danneggiamento grave

**-Effetto degli inconvenienti:** Perdita del potere isolante. Mancato isolamento acustico. Aspetto degradato.

**-Cause possibili:** Cause accidentali. Atti di vandalismo

**-Criterio di intervento:** Sostituzione

## Controlli eseguibili direttamente dall'utente

**-Modalità di ispezione:** Verificare l'integrità della struttura controllando in modo indiretto l'assenza di lesioni, scagliature, efflorescenze, macchie, sporco e fenomeni di umidità sugli elementi portati dalla struttura

**-Raccomandazioni:** In caso di riscontro problematiche: contattare tecnico specializzato in modo da individuare la causa e procedere all'eliminazione della stessa.

**-Frequenza:** 10 anni

**-Requisiti da verificare:** Struttura – resistenza meccanica e stabilità;  
Struttura-durabilità.

**-Anomalie riscontrabili:** Lesione; Rottura.

## Controlli da eseguire a cura di personale specializzato

### Strutturale

-**Modalità di ispezione:** Verifica integrità della struttura.

-**Frequenza:** 10 anni

-**Qualifica operatori:** Tecnico specializzato

-**Requisiti da verificare:** Struttura – resistenza meccanica e stabilità; Struttura-durabilità.

-**Anomalie riscontrabili:**

**a) Alveolizzazione**

Degradazione che si manifesta con la formazione di cavità di forme e dimensioni variabili. Gli alveoli sono spesso interconnessi e hanno distribuzione non uniforme. Nel caso particolare in cui il fenomeno si sviluppa essenzialmente in profondità con andamento a diverticoli si può usare il termine alveolizzazione a caratura.

**b) Bolle d'aria**

Alterazione della superficie del calcestruzzo caratterizzata dalla presenza di fori di grandezza e distribuzione irregolare, generati dalla formazione di bolle d'aria al momento del getto.

**c) Cavillature superficiali**

Sottile trama di fessure sulla superficie del calcestruzzo.

**d) Crosta**

Deposito superficiale di spessore variabile, duro e fragile, generalmente di colore nero.

**e) Decolorazione**

Alterazione cromatica della superficie.

**f) Deposito superficiale**

Accumulo di pulviscolo atmosferico o di altri materiali estranei, di spessore variabile, poco coerente e poco aderente alla superficie del rivestimento.

**g) Disgregazione**

Decoesione caratterizzata da distacco di granuli o cristalli sotto minime sollecitazioni meccaniche.

**h) Efflorescenze**

Formazione di sostanze, generalmente di colore biancastro e di aspetto cristallino o pulverulento o filamentoso, sulla superficie del manufatto. Nel caso di efflorescenze saline, la cristallizzazione può talvolta avvenire all'interno del materiale provocando spesso il distacco delle parti più superficiali: il fenomeno prende allora il nome di criptoefflorescenza e subefflorescenza.

**i) Erosione superficiale**

Asportazione di materiale dalla superficie dovuta a processi di natura diversa. Quando sono note le cause di degrado, possono essere utilizzati anche termini come erosione per abrasione e erosione per corrosione (anche meccaniche), erosione per corrosione (cause chimiche e biologiche), erosione per usura (cause antropiche).

**j) Esfoliazione**

Degradazione che si manifesta con distacco, spesso seguito da caduta, di uno o più strati superficiali subparalleli fra loro, generalmente causata dagli effetti del gelo.

**k) Esposizione dei ferri di armatura**

Distacchi di parte di calcestruzzo (copriferro) e relativa esposizione dei ferri di armatura a fenomeni di corrosione per l'azione degli agenti atmosferici.

**l) Fessurazioni**

Presenza di rotture singole, ramificate, ortogonale o parallele all'armatura che possono interessare l'intero spessore del manufatto.

**m) Macchie e graffi**

Imbrattamento della superficie con sostanze macchianti in grado di aderire e penetrare nel materiale.

**n) Mancanza**

Caduta e perdita di parti del materiale del manufatto.

**o) Patina biologica**

Strato sottile, morbido e omogeneo, aderente alla superficie e di evidente natura biologica, di colore variabile, per lo più verde. La patina biologica è costituita prevalentemente da microrganismi cui possono aderire polvere, terriccio.

**p) Penetrazione di umidità**

Comparsa di macchie di umidità dovute all'assorbimento di acqua.

**q) Polverizzazione**

Decoesione che si manifesta con la caduta spontanea dei materiali sotto forma di polvere o granuli.

**r) Presenza di vegetazione**

Presenza di vegetazione caratterizzata dalla formazione di muschi, licheni e piante lungo la superficie.

**s) Rigonfiamento**

Variatione della sagoma che interessa l'intero spessore del materiale e che si manifesta soprattutto in elementi nastriformi. Ben riconoscibile essendo dato dal tipico andamento "a bolla" combinato all'azione della gravità.

**t) Scheggiature**

Distacco di piccole parti di materiale lungo i bordi e gli spigoli degli elementi in calcestruzzo.

**Manutenzioni da eseguire a cura di personale specializzato**

**Verifica**

**-Modalità di esecuzione:** Controllare l'efficacia delle giunzioni e la solidarizzazione fra gli elementi della struttura.

**-Frequenza:** 10 anni

**-Qualifica operatori:** Operaio qualificato

## 10 PIANO DI MANUTENZIONE DELLE STRUTTURE METALLICHE

Si riportano le indicazioni generali per il piano di manutenzione delle strutture metalliche nel caso vengano lasciate a giorno. Nel caso vengano ricoperte con dell'intonaco si raccomanda una manutenzione ordinaria dell'intonaco almeno ogni due anni o nel caso di disfacimento dell'intonaco.

### SORVEGLIANZA E MANUTENZIONE

Durante la loro vita le opere metalliche devono essere ispezionate periodicamente da tecnici qualificati incaricati di ciò dal committente.

Una prima visita di controllo deve essere fatta ad un anno dell'entrata in esercizio della struttura. In tale occasione deve essere stabilito un intervallo tempo massimo tra due ispezioni consecutive di dipendenza della natura, delle caratteristiche dell'opera e delle località in cui essa sorge; in ogni caso tale intervallo di tempo può essere maggiore di 10 anni per le strutture ed al massimo annuale per coperture e tamponamenti. Devono essere programmate anche delle ispezioni straordinarie in caso di urti accidentali, calamità naturali ed altri eventi non riportati ma recanti danni all'edificio.

Le ispezioni devono essere estese per quanto possibile a tutte le parti dell'opera per accertarne lo stato generale di conservazione e disporre, se del caso, i lavori di manutenzione. In particolare, devono essere verificati l'efficienza delle bullonature e saldature dei collegamenti, l'integrità delle murature di sostegno, l'integrità dei fissaggi e giunti di lamiere bordature e gronde.

### **PARTI METALLICHE**

#### CONTROLLI

L'ispezione delle strutture metalliche è finalizzata a verificare:

- presenza di zone soggette ad aggressione chimica (fenomeni ossidazione /corrosione)
- integrità delle giunzioni bullonate
- integrità delle giunzioni saldate
- presenza di eventuali cricche/ lesioni.

#### MANUTENZIONE

In assenza di indicazioni specifiche determinate dall'attività ispettiva, la manutenzione periodica riguarda sostanzialmente il ripristino della vernice superficiale ed il serraggio delle giunzioni bullonate.

Essendo i bulloni progettati per lavorare a taglio e serrati con coppia pari al 70% della coppia di serraggio prevista dalla CNR UNI 10011 con tolleranza del  $\pm 10\%$ , si ritiene necessario un controllo dei principali giunti (flage e giunti travi e colonne con coprigiunti) con cadenza decennale.

La sostituzione invece dei singoli bulloni non comporta problemi particolari, perché i fori presentano un gioco sufficiente per eseguire l'operazione senza difficoltà.

Sole se si dovesse verificare che sia avvenuto uno scorrimento relativo tra i diversi elementi significativo, in questo caso, il danneggiamento sarà tale da giustificare una riparazione di tutto il nodo.

### Manutenzione della protezione delle strutture zincate

Per quanto riguarda la manutenzione della protezione della struttura metallica mediante zincatura, si potrà fare riferimento alle specifiche contenute nella normativa UNI EN ISO 1461 07/2009 "Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo su prodotti finiti ferrosi e articoli di acciaio- Specificazioni e metodi di prova".

### RIPARAZIONE

Le aree complessive non rivestite da riparare da parte dello zincatore non devono essere maggiori dello 0,5% dell'area di superficie totale di un componente. Ciascuna area non rivestita da riparare non deve essere maggiore di 10 cm<sup>2</sup>. Se le aree non rivestite sono più grandi, l'articolo contenente tali aree deve essere nuovamente zincato, se non diversamente concordato tra committente e zincatore.

La riparazione deve avvenire mediante spruzzatura a caldo di zinco (la EN 22063 è pertinente) o mediante una vernice ricca di zinco, tenendo conto dei limiti pratici di tali sistemi. E' inoltre ammesso l'uso di una lega di zinco in barrette (vedere appendice c.5). Il committente o utilizzatore finale devono essere messi al corrente dallo zincatore circa il metodo di riparazione.

Se sono comunicate dal committente particolari requisiti, per esempio verniciature da applicare successivamente, il procedimento di riparazione proposto deve prima essere comunicato al committente da parte della zincatura.

Il trattamento deve includere la rimozione di ogni irregolarità, la pulitura ed ogni pretrattamento necessario per garantire l'aderenza.

### MANUTENZIONE DELLA PROTEZIONE DELLE STRUTTURE VERNICIATE

Programma di manutenzione per la protezione anticorrosiva delle strutture e degli elementi in acciaio esteso a tutta la durata in servizio della struttura (secondo UNI EN ISO 12944-8).

Si deve prevedere per la struttura in oggetto, una manutenzione ordinaria, da tenersi con cadenza regolare, e una manutenzione straordinaria, da effettuarsi quando si manifestino le condizioni previste dalle norme.

### La manutenzione ordinaria

Per prolungare la durata del rivestimento protettivo per tutta la vita nominale della struttura, è necessario eseguire una ordinaria manutenzione, prima che si manifesti qualsiasi traccia di ruggine e preferibilmente ogni qualvolta vengano riscontrate alterazioni del rivestimento protettivo (come sfarinamenti, screpolature, vescicamento, danneggiamenti, ecc..)

I committenti, la direzione lavori, i costruttori ed i controllori dei rivestimenti devono essere a conoscenza di informazioni condivise e precise circa il sistema protettivo utilizzato per proteggere la struttura.

Queste informazioni devono essere complete, non devono presentare ambiguità e devono essere facilmente comprensibili per permettere a tutti i coinvolti di interpretare correttamente le indicazioni, al fine di consentire le verifiche e le successive operazioni manutentive.

Le vernici che compongono il sistema protettivo necessitano di regolare manutenzione e pulizia per assicurare la continuità delle proprietà decorative e protettive della superficie.

Il procedimento di pulizia deve essere effettuato attraverso un regolare lavaggio della superficie utilizzando una soluzione di acqua calda e detergente delicato (pH 5-8) tutte le superfici vanno pulite utilizzando uno strofinaccio morbido o una spugna, non usare nessuna spazzola, se non di origine naturale.

Per un ambiente non particolarmente aggressivo di tipo urbano-rurale, come quello in cui è collocata la struttura in oggetto, la normale frequenza di pulizia può essere di 12 mesi.

## MANUTENZIONE STRAORDINARIA

La manutenzione straordinaria è da effettuarsi quando si manifestano le condizioni previste dalle norme UNI EN ISO 4628-3 e precisamente quando viene raggiunto il grado di arrugginimento Ri3 (1% della superficie della struttura) o nell'eventualità di particolari danneggiamenti al rivestimento protettivo.

Lo stato di un rivestimento di protezione può essere verificato secondo la UNI EN ISO 4628 (parti da 1 a 6).

## STRUTTURE METALLICHE IN ELEVAZIONE

Si definiscono strutture in elevazione gli insiemi degli elementi tecnici del sistema edilizio aventi la funzione di resistere alle azioni di varia natura agenti sulla parte di costruzione fuori terra, trasmettendole alle strutture di fondazione e quindi al terreno.

## REQUISITI E PRESTAZIONI

### Resistenza agli agenti aggressivi

Classe dei requisiti: Protezione dagli agenti chimici ed organici

Classe di esigenza: Sicurezza

Le strutture di elevazione non debbono subire dissoluzioni o disgregazioni e mutamenti di aspetto a causa dell'azione di agenti aggressivi chimici (non sono previste azioni di tale genere).

### **Prestazioni:**

le strutture di elevazione dovranno conservare nel tempo, sotto l'azione di agenti chimici (anidride carbonica, solfati, ecc.) presenti in ambiente, le proprie caratteristiche funzionali.

### Resistenza agli attacchi biologici



Classe dei requisiti: Protezione dagli agenti chimici ed organici

Classe di esigenza: Sicurezza

Le strutture in elevazione ,a seguito della presenza do organismi viventi (animali, vegetali, microrganismi), non dovranno subire riduzioni di prestazioni.

### **Livello minimo di prestazioni**

I valori minimi di resistenza agli attacchi biologici variano in funzione dei materiali, dei prodotto utilizzati, delle classi di rischio, delle situazioni generali del servizio, dall'esposizione a umidificazione e del tipo di agente biologico.

### **Resistenza al fuoco**

Classe dei requisiti: Protezione antincendio

Classe di esigenza: Sicurezza

La resistenza al fuoco rappresenta l'attitudine degli elementi che costituiscono le strutture a conservare, in un tempo determinato, la stabilità ( R ), la tenuta (E) e l'isolamento termico (I). essa è intesa come il tempo necessario affinché la struttura raggiunga uno dei due stati limite di stabilità e integrità, in corrispondenza dei quali non è più in grado sia di reagire ai carichi sai di impedire la propagazione dell'incendio.

Verifica mantenimento spessore minimo di copriferro previsto da progetto.

### **Prestazioni:**

Gli elementi delle strutture di elevazione devono presentare una resistenza al fuoco (REI) non inferiore a quello determinabile in funzione del carico di incendio.

### **Resistenza al vento**

Classe dei requisiti: Di stabilità

Classe di esigenza: Sicurezza

### **Prestazioni:**

Le strutture di elevazione devono resistere all'azione del vento tale da assicurare durata e funzionalità nel tempo senza compromettere la sicurezza dell'utenza.

### **Resistenza meccanica**

Classe dei requisiti: Di stabilità

Classe di esigenza: Sicurezza

Le strutture di elevazione dovranno essere in grado di contrastare le eventuali manifestazioni di deformazioni e cedimenti rilevanti dovuti all'azione di determinate sollecitazioni (carichi, forze sismiche, ecc.).

### **Prestazioni:**

Le strutture di elevazione, sotto l'effetto dei carichi statici, dinamici e accidentali devono assicurare stabilità e resistenza.

Livello minimo della prestazione:

Per i livelli minimi si rimanda alle prescrizioni di legge e di normative vigenti ed alla specifica relazione di calcolo.

**L'Unità Tecnologica è composta dai seguenti Elementi Manutentibili:**

Strutture verticali.

## OPERE IN LEGNO LAMELLARE

*Ispezione annuale:*

**Modalità**

- eventuali fenomeni di deterioramento e di degrado dei materiali;
- eventuali fenomeni di dissesto delle strutture dovuti a cedimenti differenziali;
- presenza di un quadro fessurativo sulle travi e arcarecci in legno lamellare;
- stato delle carpenterie in acciaio, delle passivazioni e delle eventuali pitture intumescenti
- presenza di eccesso di vibrazioni o emissioni sonore delle strutture sotto carico;
- presenza di eventuali infiltrazioni dalla copertura.

L'esito di ogni ispezione deve formare oggetto di uno specifico rapporto da conservare insieme alla relativa documentazione tecnica. A conclusione di ogni ispezione, inoltre, il tecnico incaricato deve, se necessario, indicare gli eventuali interventi a carattere manutentorio da eseguire ed esprimere un giudizio riassuntivo sullo stato

d'opera.

**Interventi di manutenzione**

- ripresa della passivazioni delle carpenterie in acciaio;
- consultare ditta fornitrice opere in legno lamellare o ditta specializzata per interventi di ripristino o sostituzione di parti ammalorate

*-pulizia:* per le strutture poste all'interno, o completamente protette dagli agenti atmosferici, in normali condizioni d'uso, non è necessario alcun trattamento ulteriore se non una periodica pulizia biennale. La pulizia delle superfici verniciate permette di rimuovere tracce di smog, piogge acide e polvere che, depositandosi, ne corrodono lo strato di film verniciante e ne diminuiscono quindi la protezione. Per pulire le strutture senza danneggiare la pellicola di vernice, suggeriamo, previa spolveratura degli elementi, di utilizzare acqua addizionata ad un detergente neutro (es. detersivo per stoviglie). Sono invece da evitare detersivi a base acida, come ammoniaca o alcool, che, essendo particolarmente aggressivi, possono intaccare la superficie.

Annualmente va anche effettuata la pulizia dei canali di gronda ed il controllo visivo del manto di copertura.

*-eventuali riparazioni meccaniche:*

Le riparazioni meccaniche si effettuano solo quando è necessario rinforzare le connessioni metalliche e gli elementi in legno strutturale esistenti con

componenti supplementari. I tre metodi di riparazione meccanica affrontati in questa sezione sono

- Incremento delle sezioni resistenti;
- bloccaggi e cuciture;
- irrigidimenti trasversali.

- consultare tecnico abilitato in caso di quadro fessurativo deformativi in rapida evoluzione o interventi che vadano a variare dimensioni strutturali o carichi applicati.

### **Copertura in laterizio, lattoneria e grondaia**

*Ispezione annuale (o dopo fenomeni metereologici eccezionali):*

#### **Modalità**

- Ispezione visiva dello stato dei coppi, della grondaia e dei discendenti;

*Manutenzione programmata:*

1) *Ogni due anni (o dopo fenomeni metereologici eccezionali):*

#### **Modalità**

- Riallineamento di eventuali smossi e verifica delle lunghezze di sormonto;
- rimozione dalle grondaie di residui e detriti in genere;
- spurgo dei discendenti.

2) *Ogni cinque anni:*

#### **Modalità**

- Eliminazione di muschi e licheni;
- spazzolatura e pulizia generale del manto;
- risigillatura eventuale di converse e scossaline;
- riparazione e saldatura di eventuali lesioni della lattoneria in rame.

#### **Prescrizioni inerenti alla sicurezza delle operazioni di manutenzione:**

- utilizzo di elmetto, guanti, scarpe dotate di suola antisdrucciolo e ogni altro d.p.i. necessario;
- utilizzo di cintura di sicurezza con sistema di assorbimento frenato di energia e fune di trattenuta di adeguata lunghezza.

## 11 RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA CONCERNENTE LA “PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE” DEL SITO DI COSTRUZIONE

Si riportano qui di seguito a completamento di quanto già esposto i dati richiesti:

Classe d'uso II;

Categoria di sottosuolo : C ;

Categoria topografica:T1;

Classe di duttilità: Bassa;

LONGITUDINE: 11.335214°

LATITUDINE: 44.531878 °



In accordo con quanto riportato al par.3.2.3 delle NTC:

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0.053	2.478	0.258
SLD	50	0.067	2.482	0.272
SLV	475	0.166	2.404	0.310
SLC	975	0.212	2.436	0.315

Tabella 1 parametri azione sismica

Si otterranno pertanto i seguenti parametri per definire la pericolosità sismica del sito:

**SLD:**

$T_R = 50$  anni,  $a_g/g = 0.067$ ,  $F_o = 2.482$ ,  $T_c^* = 0.272$  sec

**SLV:**

$T_R = 475$  anni,  $a_g/g = 0.166$ ,  $F_o = 2.404$ ,  $T_c^* = 0.310$  sec

L'analisi modale è stata eseguita considerando la struttura non dissipativa, pertanto il fattore di struttura è stato assunto unitario.

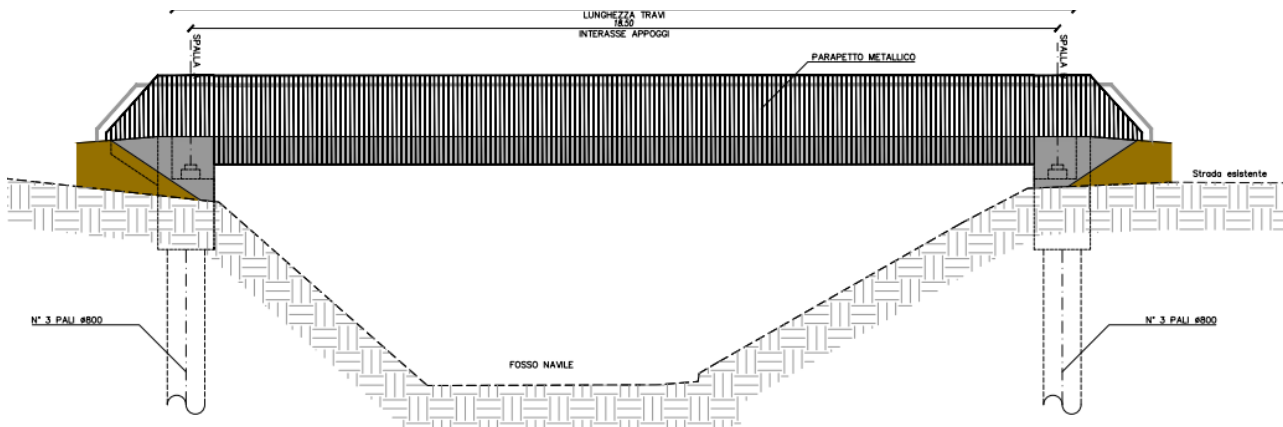




## 12 ANALISI E VERIFICA DELLE SPALLE

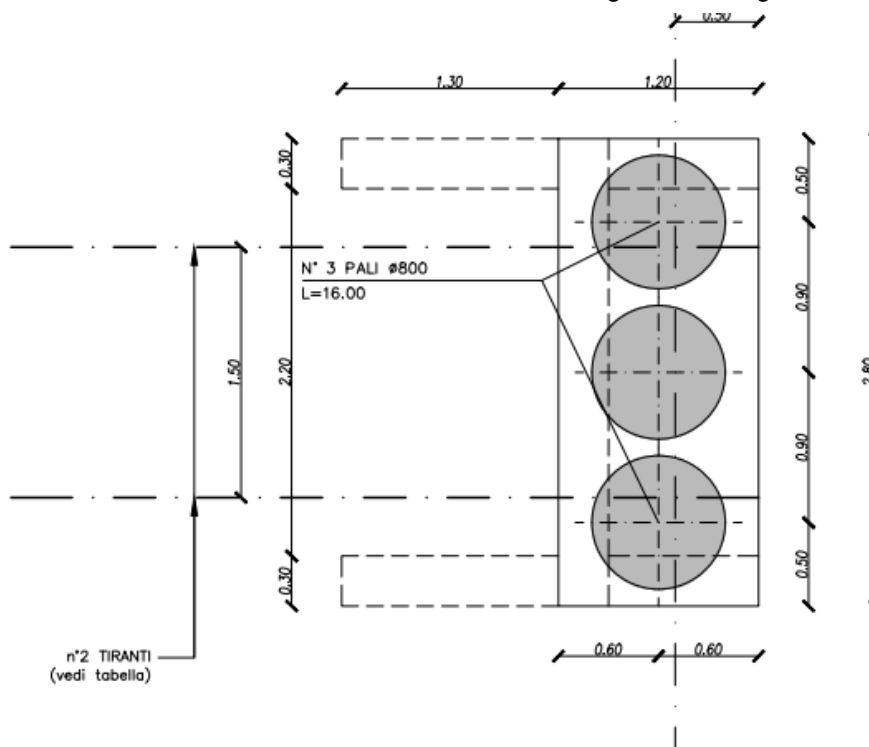
Per l'analisi delle spalle, è stato considerato che:

- **per azioni orizzontali**, le spalle in esame sono analizzate con un comportamento a paratia data la vicinanza delle spalle con il fosso del fiume come mostrato nell'immagine seguente:



Prospetto

- **per le azioni verticali**, si considera un comportamento a blocco della fondazione in quanto i pali sono disposti a un interasse minore di 3 diametri, come emerge dall'immagine sottostante:



Pianta fondazioni

Il peso dell'impalcato è pari a circa 180 kN per cui l'azione orizzontale è pari a:

$$F_x = 44 \text{ kN} = a_{g,h}(T=0) * G_{\text{impalcato}}$$

- peso impalcato 180 kN
- $a_{g,h}(T=0)$  0.24 g

Considerando le dimensioni geometriche della spalla, di larghezza  $L = 2.80 \text{ m}$ , risulta che:

$$F_x = 15.51 \text{ kN/m}$$

## 12.1 ANALISI PER CARICHI ORIZZONTALI

L'analisi delle spalle per le azioni orizzontali (combinazione sismica) è eseguita considerando un comportamento a paratia.

Per l'analisi geotecnica e strutturale si è fatto ricorso al software PARATIE PLUS 2017, sviluppato da Ce.A.S. s.r.l., Italia e DeepExcavation LLC, USA. Tale software è codice di calcolo agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

Il problema è visto come un problema piano in cui viene analizzata una "fetta" di parete di larghezza unitaria. Tale schematizzazione non è quindi idonea a studiare problemi in cui vi siano importanti effetti tridimensionali.

La modellazione numerica dell'interazione terreno-struttura è del tipo "Trave su suolo elastico"; in particolare, le pareti di sostegno sono rappresentate con elementi finiti a trave il cui comportamento è definito dalla rigidezza flessionale  $EJ$ , mentre il terreno è simulato attraverso elementi elasto-plastici monodimensionali (molle) connesse ai nodi delle paratie.

Ogni porzione di terreno, schematizzata da una "molla", ha comportamento indipendente dalle porzioni adiacenti; l'interazione tra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidezza flessionale della parete.

La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie puntonate viene seguita in tutte le fasi attraverso un'analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di puntoni applicati, da una ben precisa disposizione dei carichi applicati.

Poiché il comportamento degli elementi finiti è elasto-plastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson.

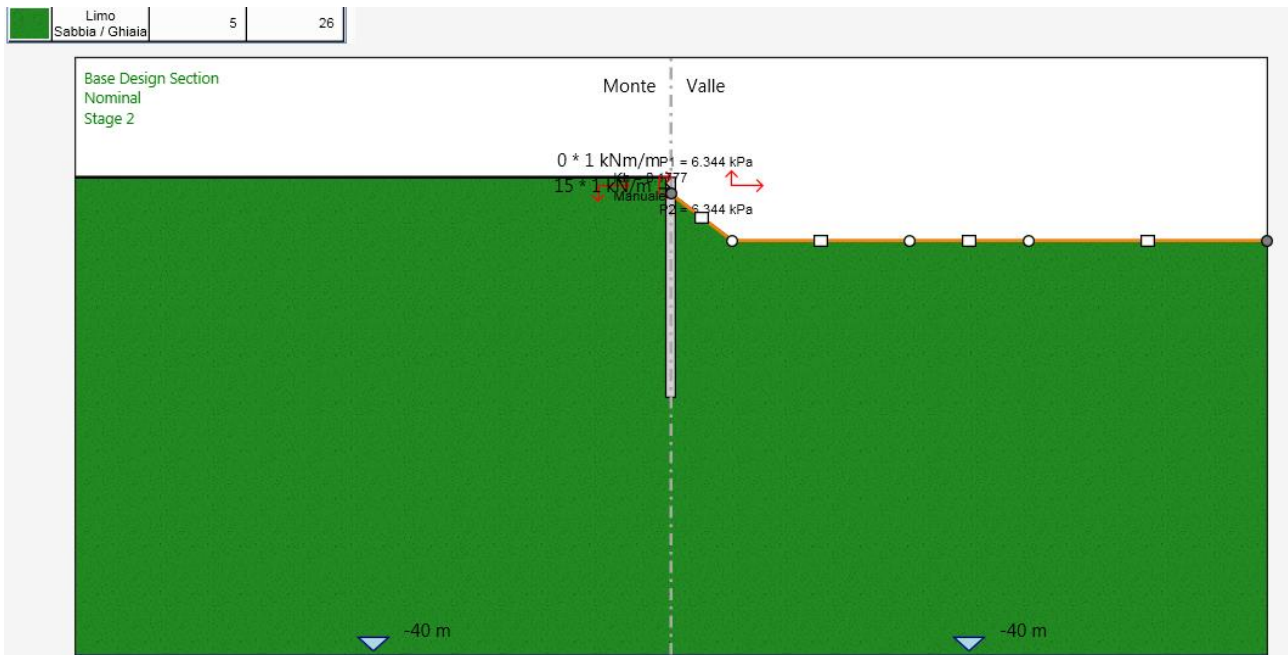
L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno.



### 12.1.1 Modello di calcolo

#### IPOSTESI DI CALCOLO

L'opera in esame è stata modellata come una paratia, considerando l'effettivo andamento del terreno a valle, come mostrato nell'immagine sottostante:



#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Le caratteristiche geometriche sono le seguenti:

- Diametro perforazione = 800 mm
- Spaziatura = 0.9 m;
- Lunghezza = Lpalo + Hspalla + Hparaghia = 18,40 m

#### STRATIGRAFIA

Si considera la presenza di un terreno con le seguenti caratteristiche:

	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	E [MPa]
Limo argilla	19,00	5	26	10

dove:

$\gamma$ =peso di volume naturale

$c'$ =coesione drenata

$\phi'$ =angolo di resistenza al taglio

$E_0$ =modulo di deformazione elastico

### 12.1.2 Azioni di progetto

Le azioni sismiche sono valutate direttamente dal programma di calcolo, definendo i parametri sismici, come mostrato nell'immagine sottostante:

Le spinte delle terre sono state determinate con la teoria di Wood. La spinta è applicata alla paratia fuori terra.

L'azione orizzontale derivante dall'impalcato è inserita nel modello come forza per unità di lunghezza agente al piano appoggi:

$$F_x = 15.51 \text{ kN/m}$$

In combinazione SLE, è stata considerata una forza orizzontale (che rappresenta l'azione legata all'attrito) pari a:

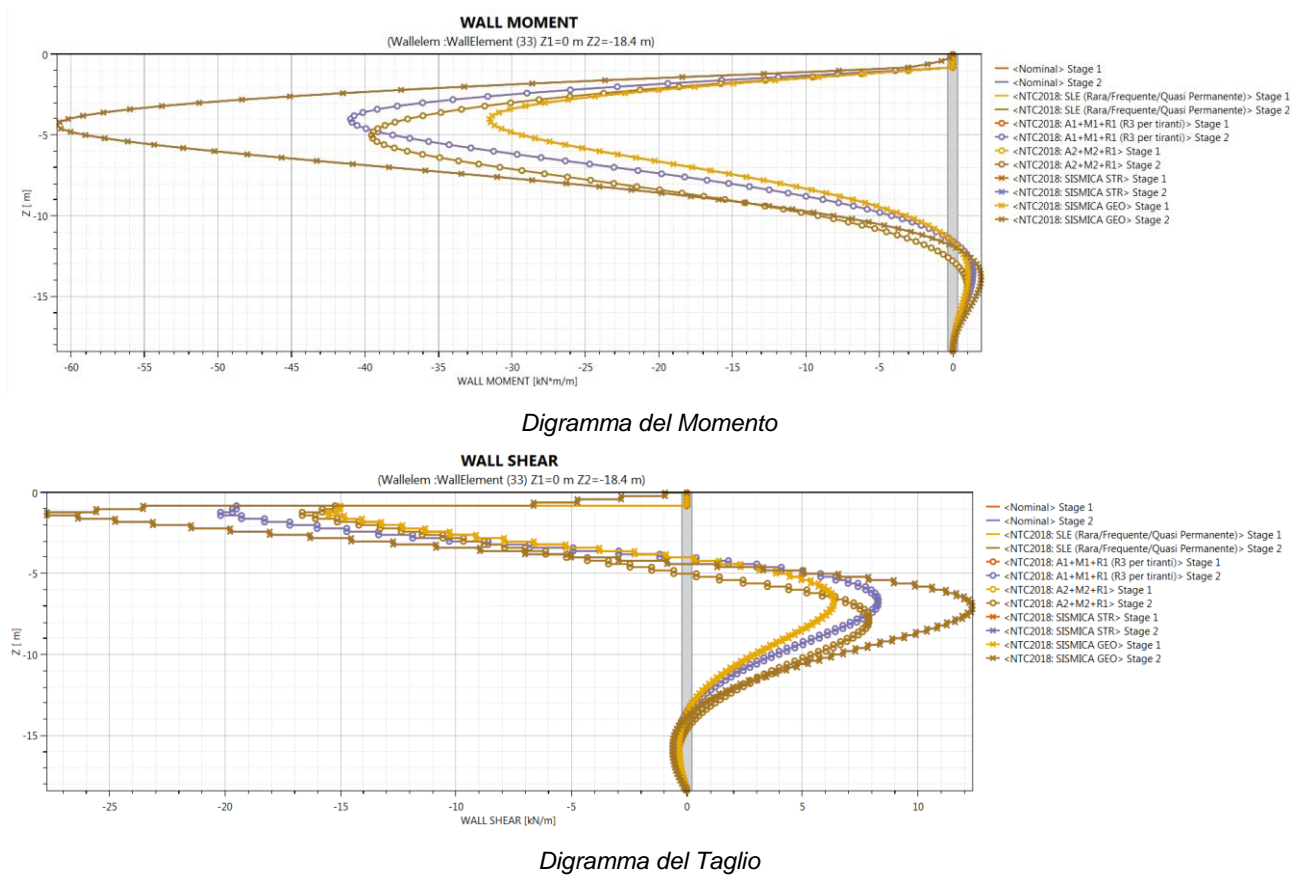
$$F_x = 30\% F_{z_{\text{peso}}} = 54 \text{ kN}$$

Pertanto, nel modello è inserita un'azione orizzontale a metro lineare pari a:

$$F_x = 19 \text{ kN/m}$$

### 12.1.3 Verifica strutturale pali

Si riportano i diagrammi delle sollecitazioni in termini di momento e taglio



Si riportano di seguito le massime sollecitazioni flettenti e tagli utilizzate per la verifica dei pali di fondazione, In particolare per la verifica strutturale sono state considerate le massime sollecitazioni in combinazione SLU – STR e SLV. Le massime sollecitazioni agenti sul singolo palo, considerando l'interasse pari a 0,90 m risultano:

	$M_{SLU}$	$V_{SLU}$	i	$M_{SLU}$	$V_{SLU}$
	[kN m/m]	[kN/m]		[kN m]	[kN]
Spalla Navile	61	21	0.9	54.9	18.9

Si riporta di seguito la verifica a flessione e taglio.

Per l'armatura longitudinale dei pali si considera quanto definito dal paragrafo 7.2.5 del DM2018:

- i pali in calcestruzzo devono essere armati con un'armatura longitudinale in percentuale non inferiore all'0.3% dell'area della sezione trasversale del palo
- in zona dissipativa (estesa fino a una profondità pari a dieci volte il diametro del palo) l'armatura longitudinale non deve essere inferiore all'1%

Il palo è armato come segue:

Manufatto	Elemento	Tratto	Armatura
Spalla	Palo	-8 ≤ z ≤ 0m	10φ20 + 10φ16
Spalla	Palo	-18 < z ≤ -8m	10φ16

Si riporta di seguito la verifica, considerando il valore massimo del momento agente e il palo armato con 10φ16.

**Titolo:** Palo - D=800 -Navile

**Sezione circolare cava**

- Raggio esterno: 40 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 10
- Diametro barre: 1.6 [cm]
- Copriferro (baric.): 8 [cm]

**Materiali**

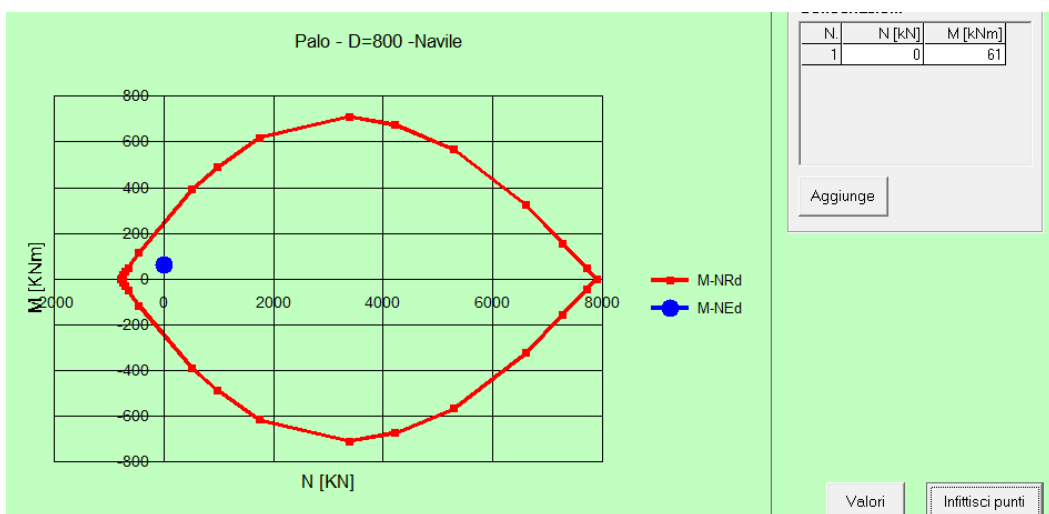
B450C		C25/30	
ε <sub>su</sub>	67.5 ‰	ε <sub>c2</sub>	2 ‰
f <sub>yd</sub>	391.3 N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>cu</sub>	3.5 ‰
E <sub>s</sub>	200.000 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub>	14.17
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub>	0.8
ε <sub>syd</sub>	1.957 ‰	σ <sub>c,adm</sub>	9.75
σ <sub>s,adm</sub>	255 N/mm <sup>2</sup>	τ <sub>co</sub>	0.6
		τ <sub>c1</sub>	1.829

**Calcoli:**

- M<sub>xRd</sub>: 253.2 kNm
- σ<sub>c</sub>: -14.17 N/mm<sup>2</sup>
- σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>
- ε<sub>c</sub>: 3.5 ‰
- ε<sub>s</sub>: 16.48 ‰
- d: 72 cm
- x: 12.61
- x/d: 0.1751
- δ: 0.7

**Sezioni e Sollecitazioni:**

- Tipo Sezione:  Circolare
- Sezioni: File (diagramma)
- Metodo di calcolo:  S.L.U.+,  S.L.U.-,  Metodo n
- Tipo flessione:  Retta,  Deviata
- Vertici: 52, N° rett.: 100
- Calcola MRd, Dominio M-N
- L<sub>0</sub>: 0 cm, Col. modello
- Precompresso



La verifica è soddisfatta con **c.s. 4.20**

Le verifiche a taglio sono condotte in accordo al paragrafo 4.1.2.1.3.2 delle NTC2018 ed in particolare al caso di "elementi dotati di armature resistenti a taglio".

Trattandosi di sezioni circolari, il calcolo è svolto facendo riferimento ad una sezione rettangolare equivalente, individuata secondo la formulazione di Clarke & Birjandi's, ripresa dalle NTC2018

**Sezione rettangolare equivalente (Formulazione di Clarke & Birjandi's)**

D	[mm]	800	Diametro palo
r	[mm]	400	Raggio palo
r <sub>s</sub>	[mm]	320	Raggio disposizione armatura
sen(α)	[-]	0.509	-
cos(α)	[-]	0.861	-
α	[rad]	0.534	-
A	[mm <sup>2</sup> ]	406953	Area effettiva
d	[mm]	604	Altezza utile sezionale
b	[mm]	674	Larghezza effettiva

Manufatto	Elemento	Tratto	Armatura
Spalla	Palo	-18 ≤ z ≤ 0m	Spirale φ12/20

**STRUTTURE IN C.A. - Resistenza a taglio elementi armati**

MANUFATTO	[-]	Spalla	
ELEMENTO	[-]	Palo	
γ <sub>c</sub>	[-]	1.50	Coefficiente parziale per il calcestruzzo
γ <sub>s</sub>	[-]	1.15	Coefficiente parziale per l'acciaio
R <sub>ck</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	30	Resistenza caratteristica cubica CLS
f <sub>cd</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	14.1	Resistenza a compressione di progetto
f' <sub>cd</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	7.1	Resistenza a compressione ridotta di progetto
f <sub>yk</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	450	Tensione caratt.di snervamento dell'acciaio
f <sub>yd</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	391	Tensione di snervamento di progetto
α <sub>c</sub>	[-]	1.00	(vedi NTC2008)
d	[mm]	604	Altezza utile sezionale
b <sub>w</sub>	[mm]	674	Larghezza sezione
s	[mm]	200	Passo armatura a taglio
A <sub>sw</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	226	Area armatura a taglio
α	[°]	90	Inclinazione armatura a taglio
θ	[°]	45	Inclinazione puntone compresso
V <sub>Rsd</sub>	[kN]	241	Taglio resistente lato acciaio
V <sub>Rcd</sub>	[kN]	1292	Taglio resistente lato CLS
V <sub>Rd</sub>	[kN]	241	Taglio resistente di progetto
V <sub>Sd</sub>	[kN]	20	Taglio sollecitante di progetto
F <sub>s</sub>	[-]	12.03	Coefficiente di sicurezza

La verifica è soddisfatta.

#### 12.1.4 Stabilità dell'opera (resistenza del terreno a valle)

La verifica è stata condotta, in accordo alla normativa (NTC 2018 par.6.5.3.1.2), secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2.

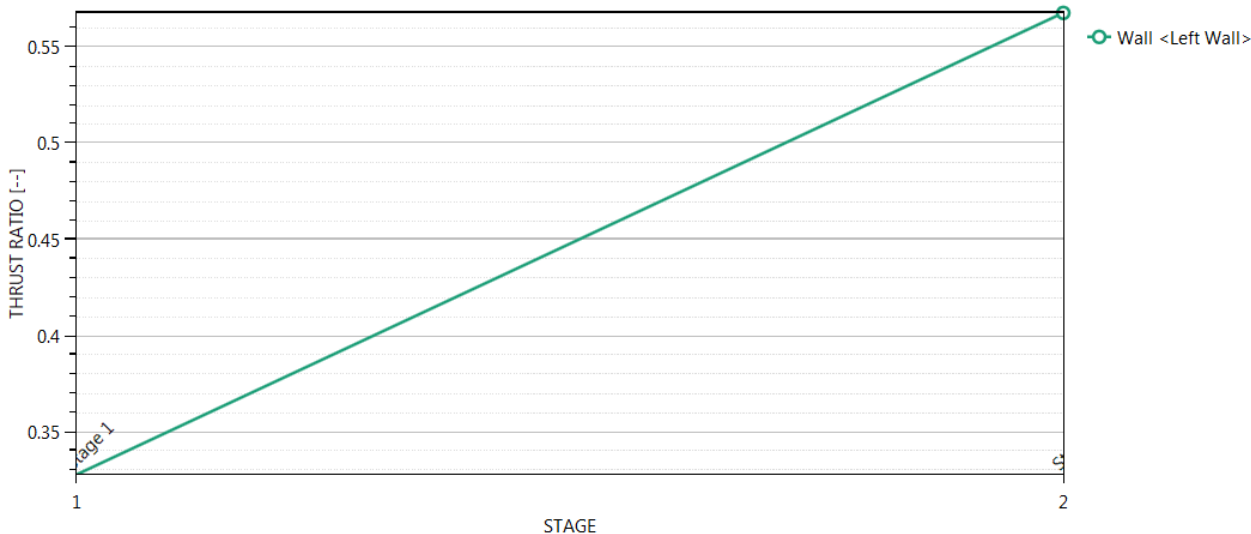
La tabella di seguito riporta la percentuale di spinta passiva di progetto mobilitata a valle dell'opera, in condizione SLU ed SLV:

	A2+M2+R1
STATICA	46%
SISMICA	57%

*Mobilizzazione spinta passiva a valle della paratia*

**Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva**

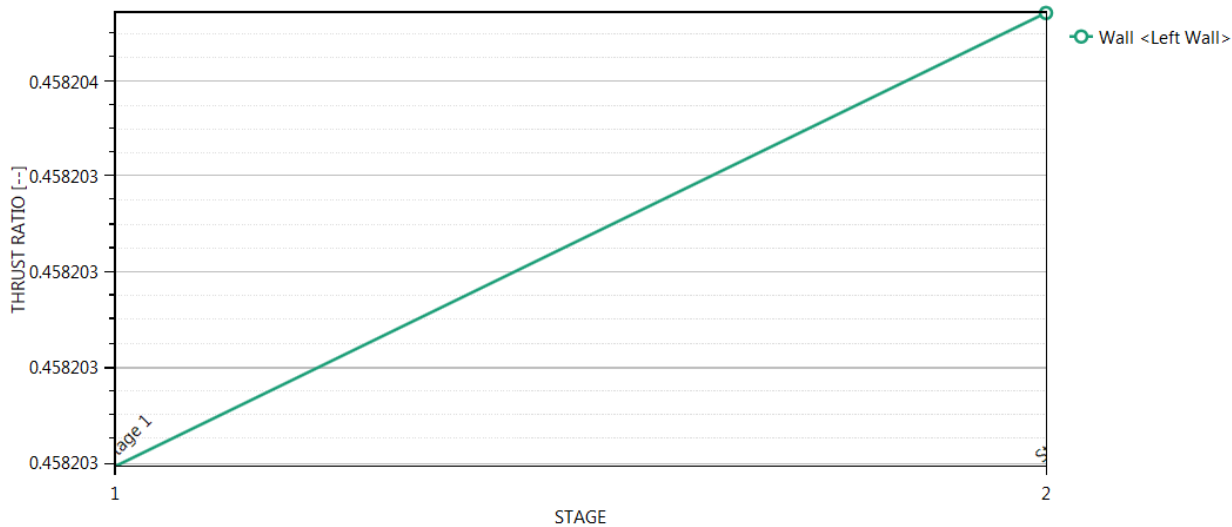
D.A. <NTC2018: SISMICA GEO>



Rapporti spinta passiva mobilitata (combinazione SISMICA GEO)

**Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva**

D.A. <NTC2018: A2+M2+R1>



Rapporti spinta passiva mobilitata (combinazione STATICA GEO)

**12.1.5 Verifica spostamenti**

Si riportano di seguito i diagrammi degli spostamenti orizzontali della paratia in combinazione SLV.

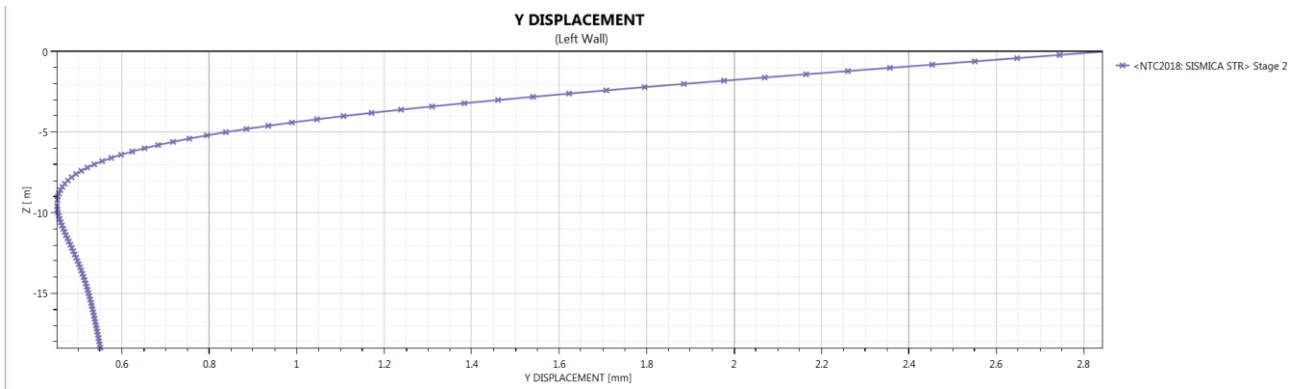


Diagramma spostamenti

Lo spostamento è trascurabile, dell'ordine di 3 mm.



## 12.2 ANALISI PER CARICHI VERTICALI.

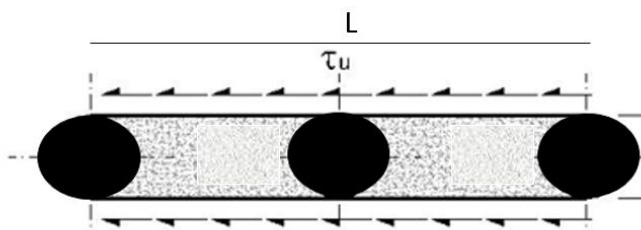
Si riporta di seguito la massima azione verticale agente in combinazione SLU:

$$F_z = 1241 \text{ kN}$$

Per la valutazione del carico limite della fondazione delle spalle, si considera un comportamento a diaframma del sistema di fondazione e cautelativamente si trascura la resistenza alla punta.

La resistenza laterale è valutata considerando una lunghezza  $L$  come indicato nell'immagine sottostante e le due semicirconferenze alle estremità. Per cui l'area laterale totale è pari a:

$$S_l = S_{l \text{ blocco}} + S_{l \text{ palo}}$$



La resistenza laterale di progetto è valutata considerando:

$$\gamma_R = 1.15 \text{ (resistenza laterale a compressione – pali trivellati)}$$

$$\xi = 1.70 \text{ (riduzione della resistenza in funzione delle verticali indagate)}$$

Si riporta di seguito il calcolo:

Resistenza laterale blocco		
<b>L</b>	1.8	m
<b>L<sub>palo</sub></b>	16	m
<b>D<sub>palo</sub></b>	0.8	m
<b>S<sub>l palo</sub></b>	40.21	m <sup>2</sup>
<b>S<sub>l blocco</sub></b>	57.6	m <sup>2</sup>
<b>\tau</b>	70	kPa
<b>Q<sub>s,calc</sub></b>	6847	kN
Resistenza laterale progetto		
<b>Q<sub>s,calc</sub></b>	6847	kN
<b>Q<sub>s,k</sub></b>	4028	kN
<b>Q<sub>s,d</sub></b>	<b>3502</b>	<b>kN</b>
<b>FS</b>	<b>2.82</b>	-

La verifica è soddisfatta.