



Città metropolitana  
di Venezia

**Servizio tecnico per la valutazione preliminare ai sensi del capitolo 5 delle “Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti” di alcuni manufatti di competenza della Città’ Metropolitana di Venezia e redazione dell’eventuale progetto di fattibilità tecnica ed economica. Area Nord. Codice CIG 9041138719**

VERIFICHE LIVELLO 4 – PONTE 10 – SAN STINO DI LIVENZA  
– SP59 – ID opera 20

<b>Numero Ponte</b>	<b>10</b>
Frazione/Località	San Stino di Livenza
SP Numero	59
ID Opera	20
Longitudine	12,727
Latitudine	45,720

Codice Documento: 21173P2112A

	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
A	MARZO 2025	EMISSIONE	SGN	SC	SC
B					
C					
D					
E					

## INDICE

INDICE .....	1
1   PREMESSA.....	5
2   VALUTAZIONE ACCURATA DELL'OPERA DI LIVELLO 4 .....	6
3   DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	7
4   NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	11
5   DOCUMENTAZIONE PROGETTUALE A SUPPORTO.....	12
6   ANALISI STORICO-CRITICA DEL MANUFATTO .....	12
7   SINTESI DELLE ISPEZIONI PRECEDENTI.....	13
7.1   Spalle .....	13
7.2   Pile .....	14
7.3   Giunti.....	15
7.4   Traversi su impalcato.....	15
7.5   Traversi.....	16
7.6   Soletta .....	17
7.7   Pavimentazione e parapetti.....	18
8   CAMPAGNA DELLE INDAGINI IN SITU .....	18
8.1   Indagini geometriche.....	20
8.2   Indagini sui materiali .....	30
8.3   Caratterizzazione sismica del sito .....	36
8.4   Livello di conoscenza assunto .....	37
9   MATERIALI .....	38
9.1   Informazioni da fonti storiche .....	38
9.2   Risultati delle indagini in situ .....	38
9.2.1   Calcestruzzo – Strutture in Elevazione .....	38
9.2.2   Calcestruzzo – Strutture Impalcato .....	39
9.2.3   Acciaio d'armatura .....	40
10  ANALISI DEI CARICHI.....	41
10.1  Pesi permanenti strutturali – G1.....	41
10.2  Pesi permanenti non strutturali – G2 Barriere Laterali.....	41
10.3  Pesi permanenti non strutturali – G2 Pavimentazione stradale .....	42

10.4	Azioni Variabili da Traffico .....	43
10.4.1	Carichi per Verifica di Adeguatezza - NTC2018 .....	43
10.4.2	Carichi per Verifica di Operatività (tref=30 anni) - NTC2018 .....	57
10.4.3	Carichi per Verifica di Transitabilità (tref=5 anni) - NTC2018 .....	57
10.4.4	Carichi per Verifica di Transitabilità (tref=5 anni) – Codice della Strada – Mezzi pesanti (44t) 58	
10.4.5	Carichi per Verifica di Transitabilità (tref=5 anni) – Codice della Strada – Mezzi intermedi(26t).....	65
10.5	Azione Sismica .....	71
10.5.1	Sito di riferimento.....	71
10.5.2	Vita nominale di progetto .....	73
10.5.3	Classe d'uso .....	73
10.5.4	Periodo di riferimento dell'azione sismica .....	74
10.5.5	Fattore di Comportamento .....	74
10.5.6	Spettri di risposta elastici e di Progetto .....	75
11	COMBINAZIONI DI CARICO E COEFFICIENTI SU CARICHI E MATERIALI.....	77
11.1	Coefficienti sui carichi da NTC18 .....	78
11.2	Coefficienti sui carichi e materiali secondo Linee Guida.....	79
11.3	Combinazioni Verifiche di Adeguatezza – NTC18.....	80
11.4	Combinazioni Verifiche di Operatività – NTC18 .....	82
11.5	Combinazioni Verifiche di Transitabilità CdS – Mezzi Pesanti (44t).....	83
11.6	Combinazioni Verifiche di Transitabilità CdS – Mezzi Intermedi (26t).....	83
12	MODELLAZIONE E CRITERI DI VERIFICA.....	84
12.1	Tipo di analisi svolta.....	84
12.2	Modello Tridimensionale mediante FEM .....	84
12.3	Modi naturali di vibrare della struttura .....	87
13	SOLLECITAZIONI CARATTERISTICHE .....	88
13.1	Sollecitazioni per Pesi Propri e Permanenti Portati .....	88
13.1.1	Peso Proprio Modellato.....	88
13.1.2	Permanenti Portati (pacchetti stradali) .....	90
13.1.3	Permanenti Portati (parapetti).....	91
13.2	Sollecitazioni per Carichi da Traffico – Adeguatezza ed Operatività.....	94
13.2.1	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T1.....	95
13.2.2	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T2.....	96

13.2.3	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T3.....	97
13.2.4	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T4.....	100
13.2.5	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T5.....	103
13.2.6	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T6.....	106
13.2.7	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T7.....	107
13.2.8	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T8.....	108
13.2.9	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-q3 (frenata/accelerazione)...	109
13.2.10	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-q5 (vento).....	113
13.3	Sollecitazioni per Carichi da Traffico – <b>Transitabilità CdS – Mezzi Pesanti (44t)</b> ..	116
13.3.1	Schema traffico CdS MP-T1 .....	117
13.3.2	Schema traffico CdS MP-T2 .....	118
13.3.3	Schema traffico CdS MP-T6 .....	119
13.3.4	Schema traffico CdS MP-T7 .....	120
13.3.5	Schema traffico CdS MP-T8 .....	121
13.4	Sollecitazioni per Carichi da Traffico - <b>Transitabilità CdS – Mezzi Intermedi (26t)</b> 123	
13.4.1	Schema traffico CdS MI-T1.....	124
13.4.2	Schema traffico CdS MI-T2.....	125
13.4.3	Schema traffico CdS MI-T7.....	126
13.4.4	Schema traffico CdS MI-T8.....	126
13.5	Sollecitazioni per Carichi Sismici .....	128
13.5.1	Condizione Sisma SLV X.....	128
13.5.2	Condizione Sisma SLV Y.....	131
14	VERIFICHE DI LIVELLO 4 – DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI VERIFICA, GEOMETRIA ED ARMATURE PRESENTI .....	134
14.1	Individuazione degli Elementi.....	135
14.2	Sezioni di Verifica e Armature degli Elementi.....	136
15	VERIFICHE DI <b>ADEGUATEZZA</b> .....	140
15.1	Sollecitazioni di Calcolo .....	141
15.2	Resistenze delle Sezioni in Esame .....	143
15.2.1	Calcolo dei Momenti Resistenti.....	143
16	VERIFICHE DI <b>OPERATIVITA'</b> .....	164
16.1	Sollecitazioni di Calcolo .....	165
16.2	Resistenze delle Sezioni in Esame .....	166
16.2.1	Calcolo dei Momenti Resistenti.....	166

16.2.2	Calcolo dei Tagli Resistenti.....	172
16.3	Verifiche di Resistenza - Operatività .....	184
17	VERIFICHE DI TRANSITABILITA' CdS – MEZZI PESANTI (44t).....	185
17.1	Sollecitazioni di Calcolo .....	186
17.2	Resistenze delle Sezioni in Esame .....	188
17.2.1	Calcolo dei Momenti Resistenti.....	188
17.2.2	Calcolo dei Tagli Resistenti.....	192
17.3	Verifiche di Resistenza – Transitabilità da CdS – Mezzi pesanti (44t) .....	197
18	VERIFICHE DI TRANSITABILITA' CdS – MEZZI INTERMEDI (26t) .....	198
18.1	Sollecitazioni di Calcolo .....	199
18.2	Resistenze delle Sezioni in Esame .....	201
18.2.1	Calcolo dei Momenti Resistenti.....	201
18.2.2	Calcolo dei Tagli Resistenti.....	205
18.3	Verifiche di Resistenza – Transitabilità da CdS – Mezzi intermedi (26t) .....	206
19	CONCLUSIONI .....	206
19.1	Risultato della Verifica di Livello 4.....	206
	GIUDIZIO MOTIVATO E ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI.....	212
	Confronto Reazioni Globali dovute a carico da traffico – Circolare n. 6018 del 09/06/1945.....	212
	Confronto Reazioni Globali dovute a carico da traffico – NTC18.....	215
	Confronto Sollecitazioni e Comportamento Trasversale.....	217
	Confronto mediante carichi Circolare n. 6018 del 09/06/1945 .....	217
	Validazione della Modellazione Trave-Soletta .....	222
	Percentuale di Massa Eccitata in condizioni dinamiche.....	226
	SOFTWARE DI CALCOLO, CONVENZIONI E DEFINIZIONI .....	227
	Metodo di calcolo .....	227
	Descrizione del software .....	227
	Tipi di analisi .....	228
	L'analisi statica lineare .....	228
	L'analisi dinamica .....	229
	La risposta allo spettro e le tecniche di combinazione .....	230
	L'analisi non lineare in controllo di forze .....	231
	L'analisi non lineare in controllo di spostamento (Path-Following).....	232
	Convenzioni di segno .....	232

Sistemi di coordinate .....	232
Elementi beam .....	233
Elementi plate .....	233

## 1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione è la **valutazione accurata dell'opera, di Livello 4**, condotta secondo quanto riportato nelle "Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti" pubblicate il 01/07/2022 dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

L'opera oggetto di valutazione è il ponte in Provincia di Venezia avente i seguenti identificativi:

Frazione/Località	San Stino di Livenza
SP Numero	59
SP Denominazione	PONTE AL km 2+064 DELLA S.P. 59
ID Opera	20
Denominazione Ponte (Attraversamento di)	Canale Cernetta
Anno di Costruzione	1954-1961
Longitudine	12,727
Latitudine	45,720

Conformemente a quanto prescritto dalle "LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO, LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ED IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI" a seguito della valutazione preliminare dell'opera di Livello 3 è emersa la necessità di procedere ad approfondimenti mediante l'esecuzione di verifiche accurate di Livello 4 di cui al presente elaborato.

Il fine ultimo delle attuali analisi è la verifica del carico ammissibile per il transito sul ponte.

## 2 VALUTAZIONE ACCURATA DELL'OPERA DI LIVELLO 4

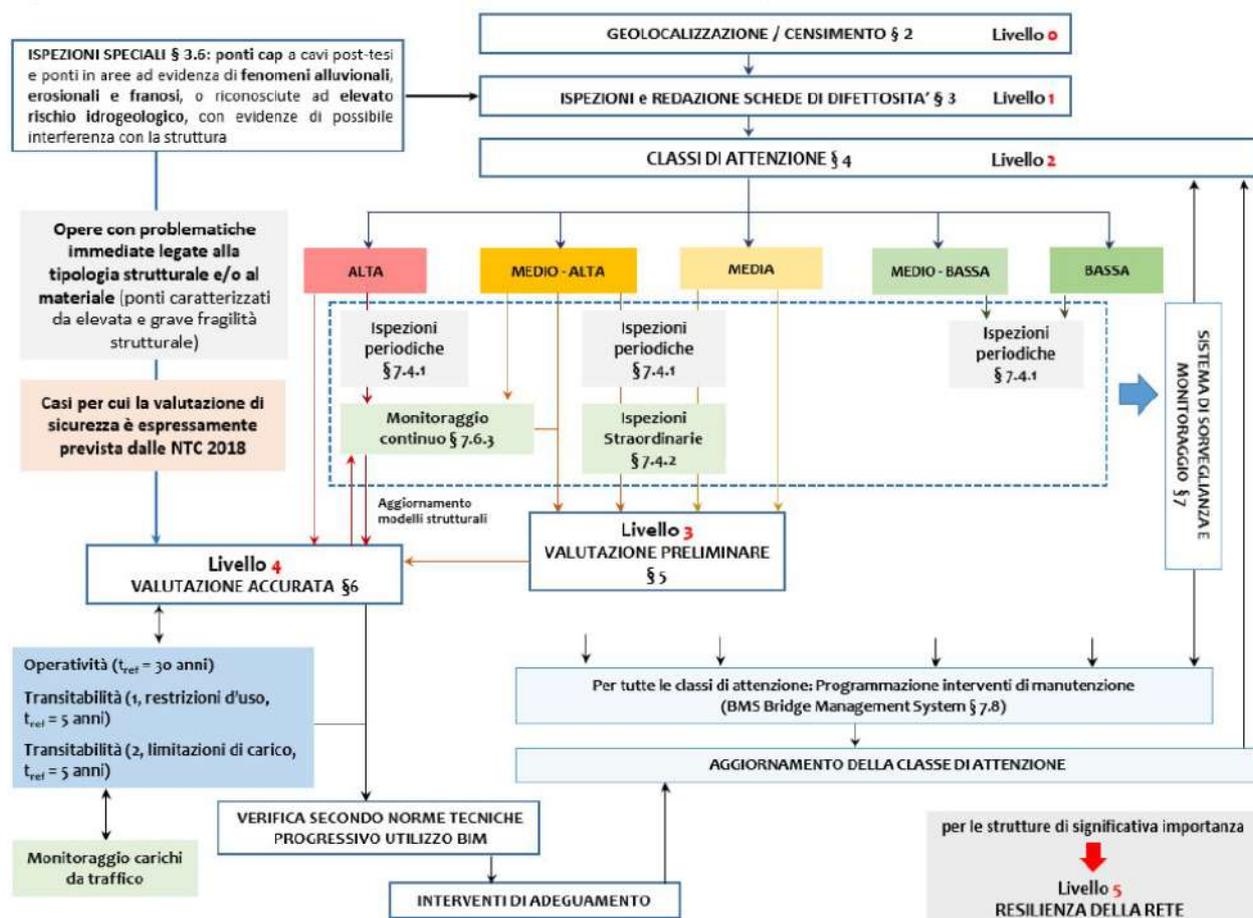


FIGURA 2-1: QUADRO ESPLICATIVO DELLA VALUTAZIONE DELL'OPERA SECONDO LE ATTUALI LINEE GUIDA PONTI

La valutazione di Livello 4 si è resa necessaria a seguito dei risultati ottenuti dalle verifiche preliminari di Livello 3.

Le attuali Linee Guida forniscono le seguenti definizioni in termini di verifica dei manufatti esistenti:

- 1) **ADEGUATO**, un ponte esistente per cui siano soddisfatte le verifiche eseguite secondo le Norme Tecniche utilizzando i carichi e i fattori parziali in esse previsti. La sola variazione in diminuzione ammessa è quella del fattore parziale relativo ai carichi permanenti, qualora se ne verifichino le ipotesi come previsto nel § 8.5.5 delle Norme Tecniche.
- 2) **OPERATIVO**, un ponte per cui siano soddisfatte le verifiche eseguite utilizzando i principi esposti nelle Norme Tecniche ma facendo riferimento nella valutazione dei fattori parziali relativi ai carichi e ai materiali ad un tempo di riferimento ridotto. Il valore del tempo di riferimento,  $t_{ref}$ , convenzionalmente assunto a livello indicativo nelle presenti Linee Guida è pari a 30 anni. Nel calcolo del fattore parziale relativo ai carichi permanenti è ovviamente ancora possibile prevedere la diminuzione come previsto nel § 8.5.5 delle Norme Tecniche, qualora se ne verifichino le ipotesi. Occorre, quindi, segnalare il ponte e gli esiti delle verifiche in banche dati istituzionali regionali e nazionali.
- 3) **TRANSITABILE**, un ponte per cui siano soddisfatte le verifiche eseguite su un orizzonte temporale ridotto, entro il quale si progettino e realizzino lavori di adeguamento o operatività, adottando i provvedimenti: (a) "limitazione dei carichi consentiti" o (b) "restrizione d'uso del ponte". La programmazione temporale dettagliata (crono programma) dei lavori occorre sia nota e trasferita a banche dati istituzionali regionali e nazionali. Nella valutazione dei fattori parziali relativi ai carichi e ai materiali si adotta quindi un tempo di riferimento ridotto che nelle presenti Linee Guida è assunto non maggiore di  $t_{ref} = 5$  anni. Nel calcolo del fattore parziale relativo ai carichi permanenti è ovviamente ancora possibile prevedere la diminuzione come previsto nel § 8.5.5 delle Norme Tecniche, qualora se ne verifichino le ipotesi.

Per tutti i livelli di analisi, le valutazioni sono condotte coerentemente con l'approccio agli stati limite con l'uso dei coefficienti parziali previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni. Il livello di sicurezza è quantificato, assumendo per ogni livello di analisi il tempo di riferimento e i carichi da traffico previsti per esso, attraverso i parametri di verifica  $\zeta E$  e  $\zeta V$ ,i definiti nel capitolo 8.3 delle Norme Tecniche.

La valutazione di livello 4 si è concentrata sulle travi principali d'impalcato, sui traversi intermedi, sulle solette d'impalcato, pile e spalle.

### **3 DESCRIZIONE DELL'OPERA**

---

Di seguito si riporta un estratto aereo fotografico che evidenzia l'ubicazione dell'opera nel contesto territoriale nel quale è inserita:



FIGURA 3-1: ORTOFOTO DI INQUADRAMENTO



FIGURA 3-2: VISTA PROSPETTO MANUFATTO



FIGURA 3-3: PARAPETTI MANUFATTO



FIGURA 3-4: VISTA INTRADOSSO IMPALCATO



FIGURA 3-5: VISTA DEGRADI SU CORDOLI



FIGURA 3-6: VISTA PIANO CARRABILE DEL MANUFATTO

Il ponte in esame presenta dunque le seguenti caratteristiche tecniche e dimensionali:

Tipologia costruttiva Impalcato	Calcestruzzo armato
Tipologia costruttiva pile e spalle	Calcestruzzo armato
Numero Campate	3
Luce campate (1, 2, 3, ecc.) [metri]	8.90,9.00,8.60
Schema statico impalcato	Semplice Appoggio
Larghezza complessiva impalcato [metri]	8.81
Larghezza carrabile [metri]	6.80

L'opera si compone di n. 3 campate in semplice appoggio su spalle e pile in calcestruzzo armato, sulle quali poggiano le 5 travi principali che sostengono il piano viabile. Le travi d'impalcato presentano un'altezza pari a 60 cm e sono disposte ad interasse di circa 160 cm; agli estremi ed in mezzeria di ciascuna campata sono inoltre presenti dei traversi con lo scopo di migliorare la collaborazione trasversale delle travi principali.

La soletta soprastante, anch'essa in calcestruzzo armato, presenta uno spessore pari a 23 cm e si estende a sbalzo per 100 cm sui due lati della sezione dell'impalcato.

Le spalle si presentano come delle travi contro terra, mentre le pile sono costituite da delle pareti uniche in c.a., di spessore 60 cm, disposte parallelamente alla direzione del corso d'acqua sottostante.

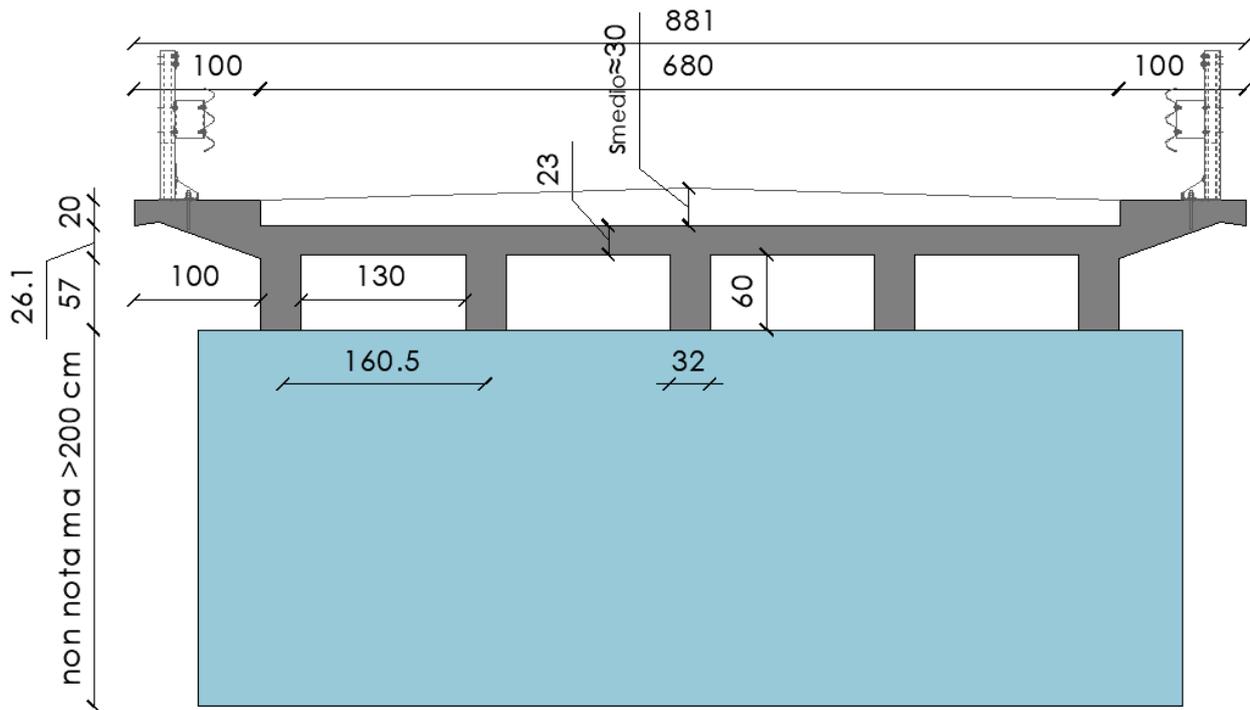


FIGURA 3-7: SEZIONE TRASVERSALE DELL'IMPALCATO

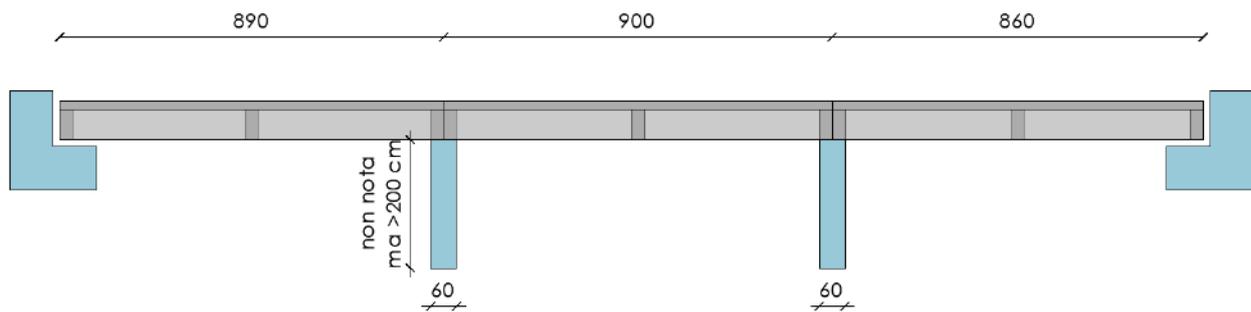


FIGURA 3-8: SEZIONE LONGITUDINALE DELL'IMPALCATO

## 4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si elencano le Normative di riferimento per l'analisi dei carichi e le verifiche delle singole componenti strutturali:

- D.M. del 17-01-2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" [NTC18];
- CIRCOLARE n.7 del 21-01-2019 "Istruzioni per l'applicazione dello "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" [CIR7];
- UNI EN1991-2 "Azioni sulle strutture: carichi da traffico su ponti" [EC1-2];
- UNI EN1991-1-5 "Azioni sulle strutture: azioni in generale-azioni termiche" [EC1-1-5];

- UNI EN1992-1-1 "Progettazione delle strutture in calcestruzzo: regole generali e regole per gli edifici" [EC2-1];
- UNI EN1993-1-1 "Progettazione delle strutture in acciaio: regole generali e regole per gli edifici" [EC3-1];
- UNI EN1993-1-5 "Progettazione delle strutture in acciaio: elementi strutturali a lastra" [EC3-1-5];
- UNI EN1993-1-8 "Progettazione delle strutture in acciaio: progettazione dei collegamenti" [EC3-1-8];
- UNI EN1993-1-9 "Progettazione delle strutture in acciaio: fatica" [EC3-1-9];
- UNI EN1993-2 "Progettazione delle strutture in acciaio: Ponti di acciaio" [EC3-1-8];
- UNI EN1994-1-1 "Progettazione delle strutture in composte acciaio-calcestruzzo: progettazione dei collegamenti" [EC4-1-1];
- D.M. del 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".

## 5 DOCUMENTAZIONE PROGETTUALE A SUPPORTO

Per il ponte oggetto di analisi **non è stato possibile reperire gli elaborati grafici e documentazione storica dell'epoca**. Si è fatto dunque riferimento ai documenti di ispezione redatti in epoca recente:

- "Ispezione visiva primaria – Ponte al km 2+064 della S.P. 59 – Città Metropolitana di Venezia" redatto dalla ditta 4 EMME Service S.p.a. nel giugno 2019;
- "Relazione di ispezione" redatto dalla ditta Franchetti-Bridge diagnostics and predictive maintenance nel Novembre 2022.

## 6 ANALISI STORICO-CRITICA DEL MANUFATTO

### SCHEDA DELL'OPERA

COSTRUZIONE	
Impresa esecutrice	ND
Committente	ND
Progettista	ND
Ing. Capo	ND
Direttore dei lavori	ND
Collaudatore	ND
Inizio lavori	Stimato 1954-1961
Fine lavori	Stimato 1954-1961

Non essendo stato possibile reperire alcuna documentazione storica relativa ai progetti dell'epoca, non è possibile costruire una scheda dell'opera che identifichi le principali figure implicate nella progettazione, DL e collaudo, né meno le date di inizio e fine lavori.

Non sono documentati, o rilevabili da ispezione visiva, interventi che abbiano comportato modifiche di rilievo al manufatto in esame nel corso degli anni.

## 7 SINTESI DELLE ISPEZIONI PRECEDENTI

---

Dalle verifiche di Livello 1 eseguite nell'anno 2022, e dal report di ispezione effettuato nell'anno 2019, si sono riscontrate molteplici criticità in termini di degrado e cattiva conservazione del manufatto in esame.

Si riportano di seguito i punti più significativi; per la trattazione completa si faccia riferimento alla documentazione di cui sopra.

### 7.1 Spalle

---



**Foto 1:** su tutta la superficie della spalla di valle e su buona parte di quella di monte sono visibili macchie di umidità.



**Foto 2:** in ampie zone di entrambe le spalle il calcestruzzo risulta dilavato.



**Foto 3:** tutta la base della spalla di valle è ammalorata.



**Foto 4:** tutto il rilevato antistante la spalla di valle si presenta dissestato con crescita di grossi arbusti.

## 7.2 Pile



**Foto 5:** ovunque sulle pile si rilevano macchie di umidità.



**Foto 6:** tutta la superficie delle pile appare dilavata.



**Foto 7:** in ampie zone delle pile, soprattutto verso la base, il calcestruzzo risulta ammalorato.



**Foto 8:** in pochi punti sulle pile, specialmente alla base ove presenti umidità e dilavamento più intensi, si osservano dei vespai con inerti in vista.



**Foto 9:** davanti allo spigolo sinistro della pila di valle si segnala la presenza di un grosso arbusto.



**Foto 10:** in sommità di entrambe le pile, su ambo i lati si riscontra la crescita di muschio e vegetazione.

### 7.3 Giunti

---



**Foto 11:** sui giunti sulle pile tutte le scossaline sono assenti.

### 7.4 Traversi su impalcato

---



**Foto 12:** in alcune zone sulle travi, specialmente verso gli appoggi, si notano delle macchie di umidità.



**Foto 13:** sulle facciate laterali delle travi di bordo in corrispondenza degli scarichi corti e dei giunti il calcestruzzo si mostra dilavato.



**Foto 14:** in diversi punti sugli spigoli delle travi il calcestruzzo è in fase di distacco, mentre in due zone sugli spigoli della trave di bordo sinistra su I e III campata da monte il copriferro è già distaccato.



**Foto 15:** sugli spigoli della trave di bordo sinistra su I e III campata da monte dove è avvenuto il distacco del copriferro, l'armatura affiorante risulta corrosa con riduzione della sezione resistente.



**Foto 16:** all'intradosso delle travi della I campata da monte si osservano staffe scoperte e corrose con riduzione della sezione resistente.



**Foto 17:** tutte le riprese successive sulle travi della campata centrale sono deteriorate.

## 7.5 Traversi



**Foto 18:** in alcune zone alla base dei traversi di testata sono visibili delle macchie di umidità.



**Foto 19:** in un punto sul traverso di testata sulla spalla di monte si riscontra il distacco del copriferro.



**Foto 20:** ove presente distacco del copriferro sul traverso di testata sulla spalla di monte, l'armatura affiorante è corrosa con sezione resistente ridotta.



**Foto 21:** in alcune zone all'intradosso dei traversi di campata si notano staffe scoperte e corrose con sezione resistente intaccata.

## 7.6 Soletta

---



**Foto 22:** in ampie zone all'intradosso delle solette sono presenti macchie di umidità.



**Foto 23:** sulle solette, sulle facciate laterali e all'intradosso lungo due fasce verso i bordi e in prossimità dei giunti, il calcestruzzo si presenta dilavato.



**Foto 24:** in alcune zone sparse all'intradosso delle solette tra le travi si osserva il distacco del copriferro.



**Foto 25:** ove presente distacco del copriferro all'intradosso delle solette, le armature affioranti sono corrose con sezione resistente ridotta.

## 7.7 Pavimentazione e parapetti

---



**Foto 26:** su tutta la pavimentazione si notano fessure ed anomalie sparse.



**Foto 27:** a bordo carreggiata si segnala la presenza di profili in acciaio lungo i bordi dei marciapiedi che risultano piegati e svergolati in alcuni punti, in particolare in corrispondenza della pila di valle sul lato destro.



**Foto 29:** tutti gli scarichi sono corti e ostruiti.

## 8 CAMPAGNA DELLE INDAGINI IN SITU

---

Le prove in situ eseguite contestualmente alla presente analisi sono state affidate alla ditta "Geoconsult" e condotte nel mese di agosto 2024.

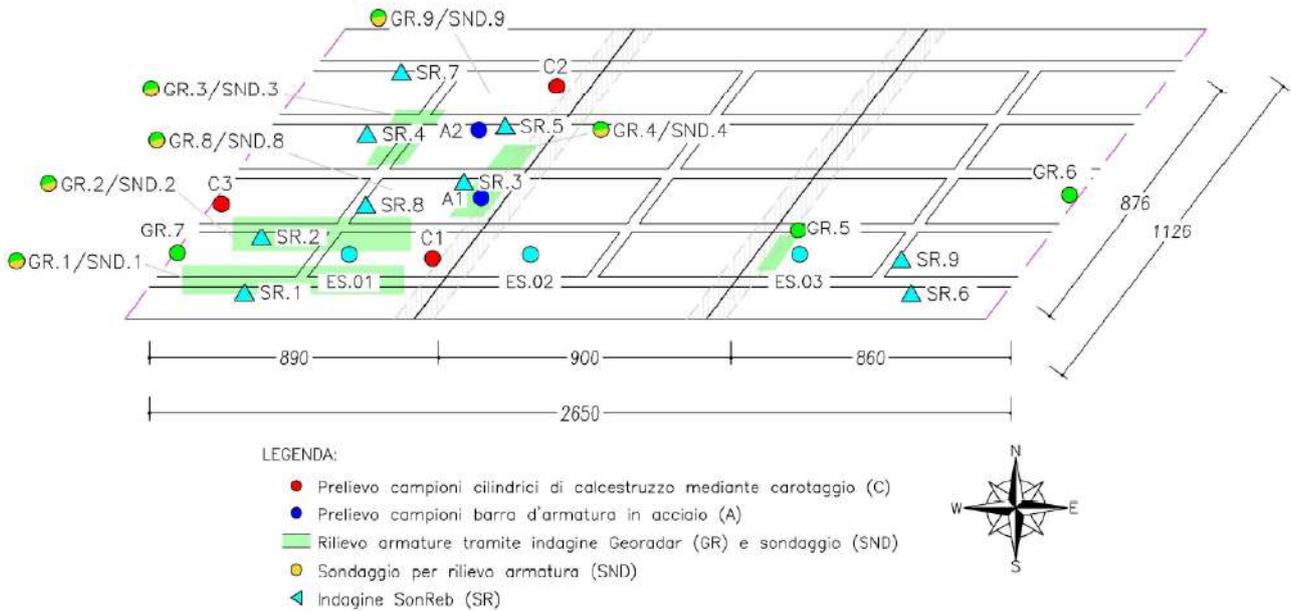
Le prove eseguite hanno avuto carattere distruttivo (carotaggi e prelievi di barre di armatura) e sono state compendiate da altre di caratteristiche totalmente non distruttive (prove pacometriche, sclerometriche e vickers), oltre ad indagini di carattere geometrico ed endoscopico. Si è inoltre contestualmente condotta la caratterizzazione dinamica del sito mediante prova HVSR.

In relazione agli scopi della campagna diagnostica sono state eseguite le seguenti prove al fine di raggiungere un livello di conoscenza LC2.

Di seguito l'elenco delle indagini effettuate:

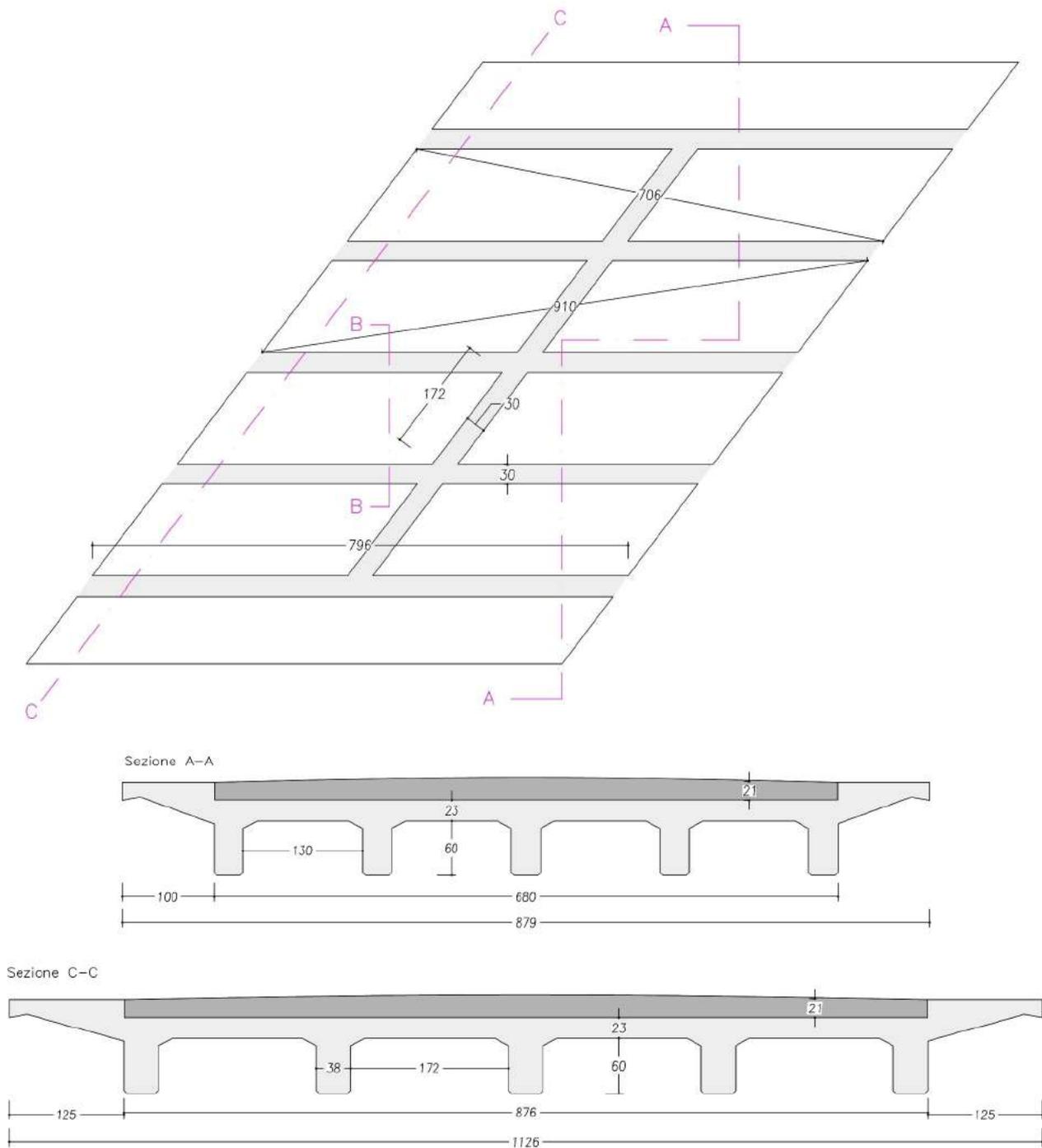
- Rilievo geometrico dimensionale di impalcato, pile e spalle

- 9 rilievi pacometrici su elementi in c.a.
- 3 endoscopie per il rilievo dello spessore di asfalto sulla carreggiata stradale
- 3 carotaggi Ø100 mm e successive prove di compressione in laboratorio
- 3 prove di carbonatazione su provini in c.a.
- 9 indagini SonReb su elementi in c.a.
- 2 prelievi di barre d'armatura e successive prove di trazione in laboratorio
- Prova HVRS per caratterizzazione dinamica del sito

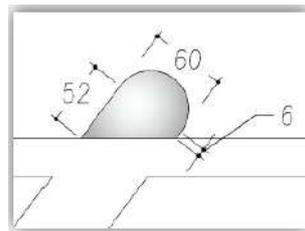
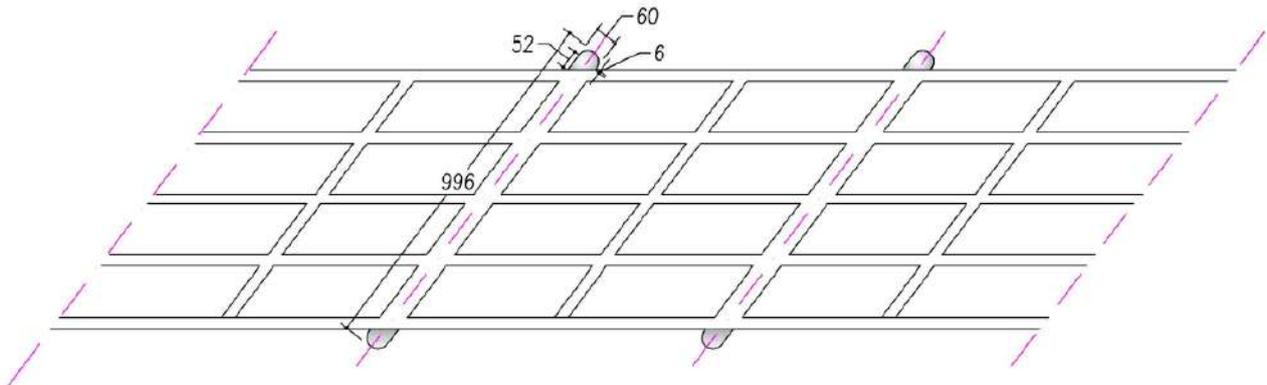
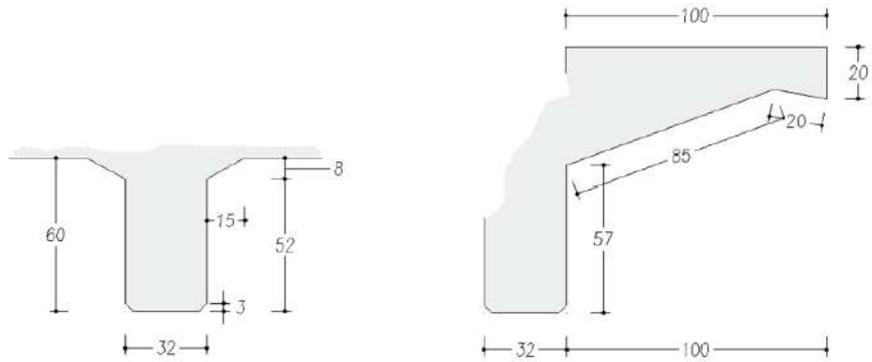
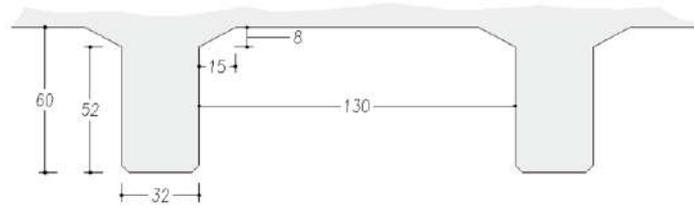


## 8.1 Indagini geometriche

### Rilievi geometrici



Sezione B-B



**Rilievi pacchetti stradali**



Elemento: IMPALCATO

Strato	Descrizione	Spessore [cm]
1	Conglomerato bituminoso	20,0
2	Soletta in calcestruzzo armato	22,0
<b>Spessore totale:</b>		<b>42,0 cm</b>

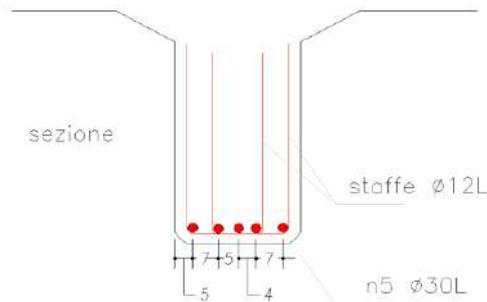
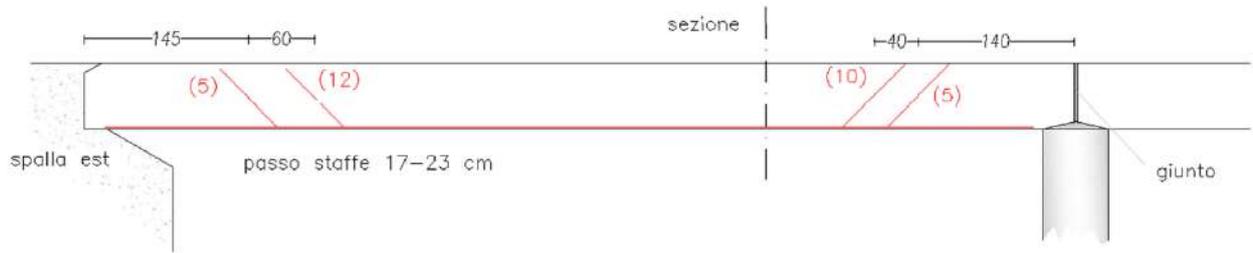
Elemento: IMPALCATO

Strato	Descrizione	Spessore [cm]
1	Conglomerato bituminoso	21,0
2	Soletta in calcestruzzo armato	22,0
<b>Spessore totale:</b>		<b>43,0 cm</b>

Elemento: <b>IMPALCATO</b>		
<b>Strato</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Spessore [cm]</b>
1	Conglomerato bituminoso	21,0
2	Soletta in calcestruzzo armato	24,0
<b>Spessore totale:</b>		<b>45,0 cm</b>

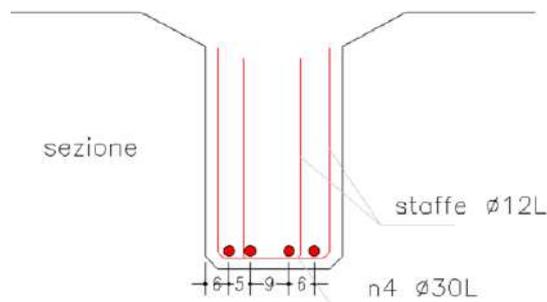
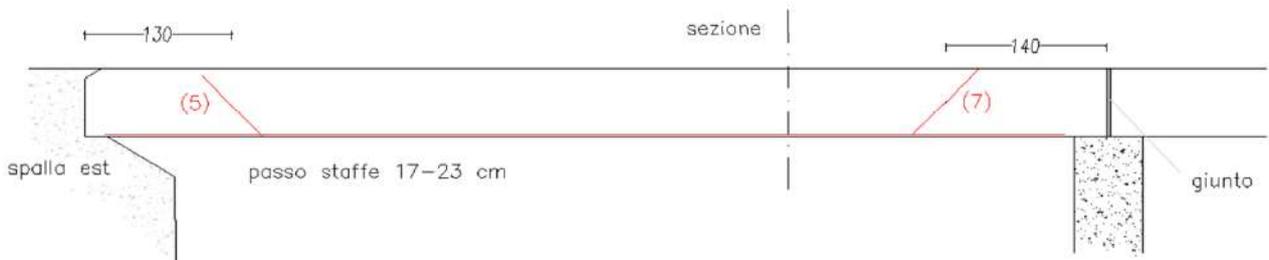
**Rilievi pacometrici**

**TRAVI IMPALCATO**



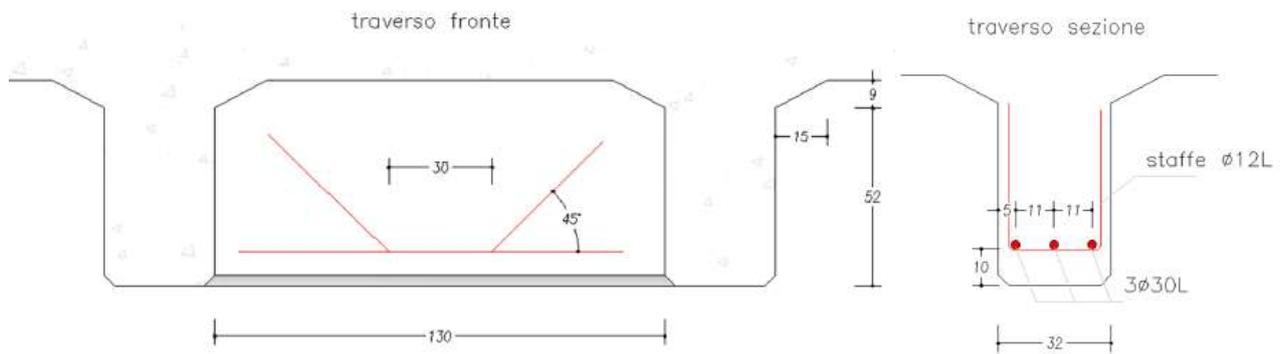
Elemento: TRAVE LONGITUDINALE DI BORDO SEZIONE OVEST

Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]
Staffe	12 L	Vario, 17+23
Longitudinale	30 L	/



Elemento: SECONDA TRAVE LONGITUDINALE DAL BORDO SEZIONE OVEST		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]
Staffe	12 L	Vario, 18÷25
Longitudinale	30 L	-

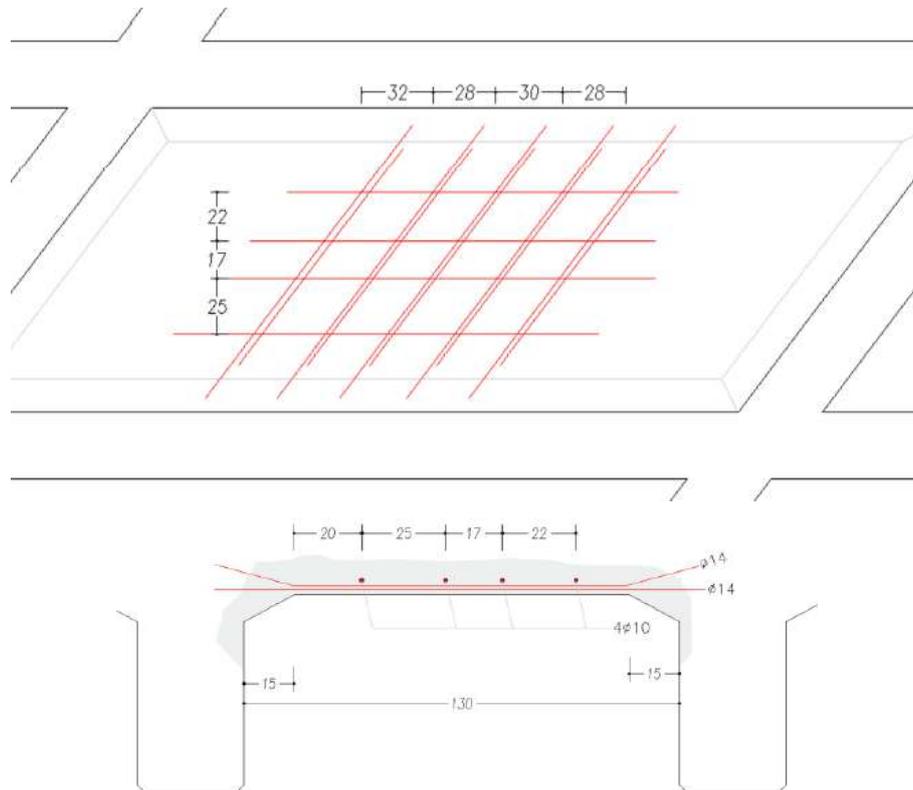
## TRAVERSI



Elemento: traverso

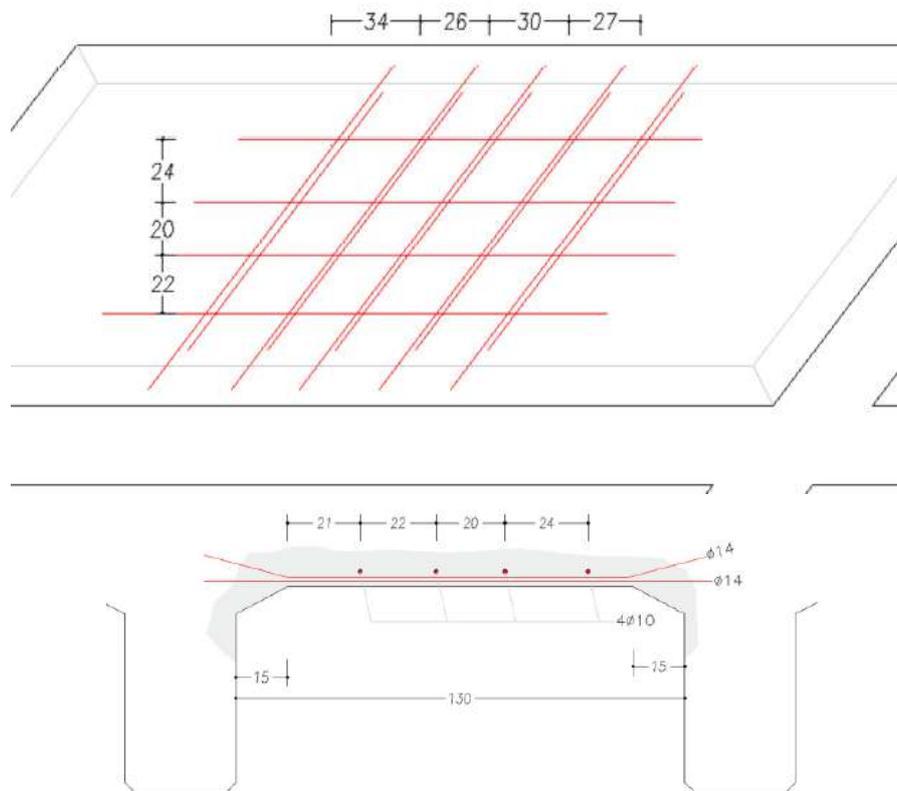
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]
Staffe	12 L	~ 25 cm
Longitudinale	30 L	-

## SOLETTE



Elemento: SOLETTA

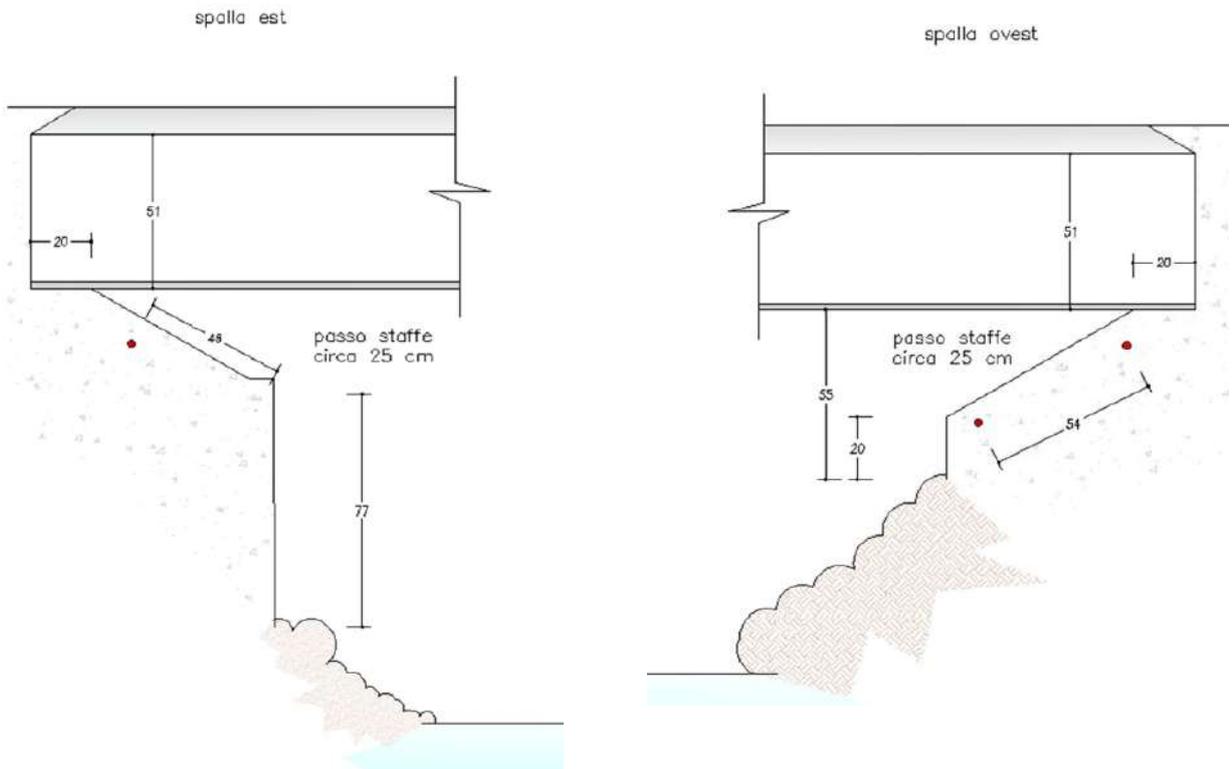
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]
Trasversale	10 L.	Vedi disegno.
Longitudinale	14 L.	Vedi disegno.



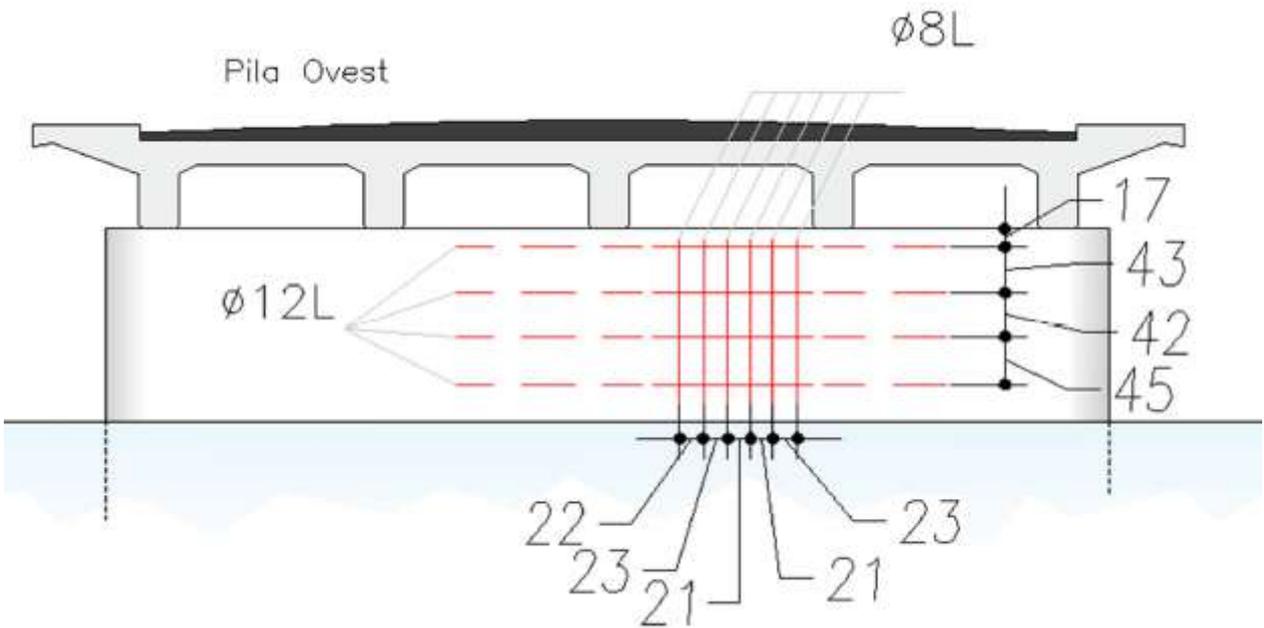
Elemento: SOLETTA

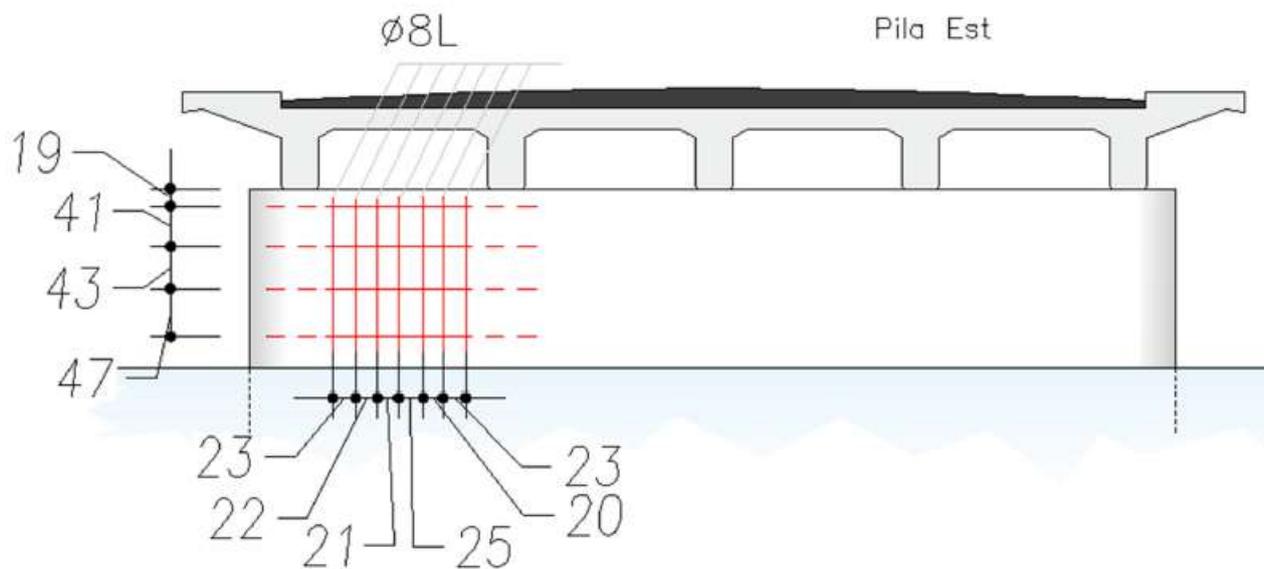
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]
Trasversale	10 L	Vedi disegno
Longitudinale	14 L	Vedi disegno

## SPALLE



PILE





Il presente paragrafo è un riassunto di indagini che si trovano in forma estesa nell'elaborato "L07R01\_788\_ID50 Ca Turcata" redatto dalla ditta Geoconsult.

## 8.2 Indagini sui materiali

Da tali prove in situ sono state indagate le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo e delle barre d'armatura dei vari elementi del ponte.

Si riportano di seguito i risultati delle prove di laboratorio:

<b>RICHIESTA DEL:</b> 06/09/2024	<b>VERBALE ACCETTAZIONE N°:</b> 1359/2024	<b>DEL:</b> 06/09/2024
<b>MATERIALE CONSEGNATO DA:</b>	Orlando Giovanni (Laboratorio Autorizzato Geoconsult S.r.l.)	
<b>MATERIALE TESTATO:</b>	N° 3 provini cilindrici in calcestruzzo Ø94 mm, prelevati in situ N° 2 tondi in acciaio per c.a. prelevati in situ, di cui: • N° 2 Ø 12 mm	

### CALCESTRUZZO

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 1492/2024	<b>DEL:</b> 13/09/2024	Pagina 2 di 3
---	------------------------	---------------

#### **PROVA DI ROTTURA A COMPRESSIONE DEI PROVINI IN CALCESTRUZZO**

IDENTIFICAZIONE DEI PROVINI	VERBALE DI PRELIEVO	ZONA DI PRELIEVO
C1, C2	CLS-01	Pila Ovest
C3	CLS-01	Spalla Ovest

RIFERIMENTI	Legge n° 1086 del 05/11/1971	D.M. 17/01/2018	Circ. n° 7 del 21/01/2019
SPECIFICHE DI PROVA	Normativa di riferimento	UNI EN 12390-3:2019	Istruzione di lavoro IDL-18

APPARECCHIATURA DI PROVA			
Tipologia	Matricola	Data di taratura	Certificato di taratura
Telaio per prove di compressione CONTROLS Mod. C92Z20	15004879	29/01/2024	LAT091 2024 - 053

RISULTATI DELLE PROVE												
N°	Sigla Provino	Data <sup>1)</sup> Prelievo o getto	R <sub>a</sub> <sup>1)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	Tipo <sup>2)</sup>	Dimensioni [mm]	Peso [kg]	Massa volumica [kg/m <sup>3</sup> ]	Carico di rottura [kN]	Resistenza unitaria [N/mm <sup>2</sup> ]	Data Prova	TR <sup>3)</sup>	RE <sup>4)</sup>
1	C1	31/07/24	-	CL	94x94	1,601	2450	218,3	31,5	10/09/24	S	S
2	C2	31/07/24	-	CL	94x94	1,575	2410	189,0	27,2	10/09/24	S	S
3	C3	31/07/24	-	CL	94x94	1,502	2300	145,3	20,9	10/09/24	S	S

Note:  
<sup>1)</sup> Dati Dichiarati; <sup>3)</sup> TR: Tipo Rottura (S=Soddisfacente, NS=Non Soddisfacente);  
<sup>2)</sup> Tipo: CB= provino cubico, CL=provino cilindrico; <sup>4)</sup> RE: Rettifica (S= rettificato, N= Non Rettificato).

**BARRE D'ARMATURA**

CERTIFICATO DI PROVA N°: 1492/2024	DEL: 13/09/2024	Pagina 3 di 3
------------------------------------	-----------------	---------------

**PROVA DI TRAZIONE E PIEGA DEI TONDI IN ACCIAIO PER C.A.**

IDENTIFICAZIONE DEI PROVINI	VERBALE DI PRELIEVO	ZONA/FORNITURA DI PRELIEVO
A1	ACC-01	ferro longitudinale pila ovest
A2	ACC-01	staffa trave longitudinale centrale

RIFERIMENTI	Legge n° 1086 del 05/11/1971	D.M. 17/01/2018	Circ. n° 7 del 21/01/2019
-------------	------------------------------	-----------------	---------------------------

SPECIFICHE DI PROVA	Normativa di riferimento	UNI EN ISO 6892-1:2020 UNI EN ISO 15630-1:2019	Istruzione di lavoro	IDL-19 IDL-33
---------------------	--------------------------	---	----------------------	------------------

APPARECCHIATURA DI PROVA			
Tipologia	Matricola	Data di taratura	Certificato di taratura
Macchina di prova a trazione Galdabini Mod. QUASAR 250	VE4H/01	30/01/2024	LAT091 2024 - 054

RISULTATI DELLE PROVE											
N°	Sigla Provino	Diametro nominale	Sezione effettiva	Tens. di snervamento	Tens. di rottura	$f_t/f_y$	$f_p/f_{pnom}$	All.to %	Diametro mandrino	Esito Pieg./Rad. <sup>2)</sup>	Data di prova
		$\phi_{nom}$ [mm]	$A_{eq}$ [mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]			$A_{gt}$ <sup>1)</sup> [%]	$\phi_{mandrino}$ [mm]		
1	A1	12	111,5	280,2	392,2	1,40	/	22,0	/	/	11/09/24
2	A2	12	114,0	335,2	438,1	1,31	/	14,8	/	/	11/09/24

Note:

<sup>1)</sup>  $A_{gt}$ : allungamento percentuale totale alla forza massima;<sup>2)</sup> Esito: SC=senza formazione di cricche, CC=con formazione di cricche.

## ANALISI SON-REB IN SITU

# INDAGINE SCLEROMETRICA

**SPECIFICHE DI PROVA**      **STRUMENTAZIONE:** Sclerometro Schmidt OS8000  
**ISTRUZIONE DI LAVORO:** matr. SL01-002-0300 IDL-10

**TARATURA:** Preliminare alle prove su incudine con indice di rimbalzo di riferimento

**NORME:** UNI EN 12504-2:2012

### TABELLA DELLE MISURE

SPERIMENTATORE:		Visentin Federico		DATA:		31/07/2024						
PROVA	ELEMENTO	ALTEZZA DA P.C. [cm]	INDICI DI RIMBALZO OTTENUTI <sup>1)</sup>									INDICE DI RIMBALZO IR <sup>2)</sup>
			1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	
IS.01	Trave longitudinale	-	39	33	30	33	31	35	39	32	33	33
IS.02	Trave longitudinale	-	32	42	39	33	33	45	44	39	41	39
IS.03	Trave longitudinale	-	31	31	31	31	31	31	31	31	31	34
IS.04	Trave longitudinale	-	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
IS.05	Trave longitudinale	-	42	42	42	42	42	42	42	42	42	37
IS.06	Trave longitudinale	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	35
IS.07	Trave longitudinale	-	33	33	33	33	33	33	33	33	33	34
IS.08	Traverso	-	37	37	37	37	37	37	37	37	37	35
IS.09	Traverso	-	40	40	40	40	40	40	40	40	40	39

Note:

- <sup>1)</sup> Le misure riportate sono depurate dall'errore dovuto all'inclinazione dello strumento;
- <sup>2)</sup> L'indice di rimbalzo di riferimento è calcolato come la mediana dei singoli indici di rimbalzo ottenuti sull'area di prova.

# INDAGINE ULTRASONICA

**SPECIFICHE DI PROVA**      **STRUMENTAZIONE:** ACS Low frequency ultrasonic tester UK1401      **TARATURA:** Preliminare all'esecuzione delle prove su barra in PVC  
**ISTRUZIONE DI LAVORO:** IDL-79      **NORME:** UNI EN 12504-4:2005

## TABELLA DELLE MISURE

SPERIMENTATORE: Visentin Federico		DATA: 31/07/2024			
PROVA	ELEMENTO	ALTEZZA DA P.C. [cm]	DISTANZA [mm]	TEMPO [ $\mu$ s]	VELOCITÀ V [m/s]
IU.1	Trave longitudinale	-	150	34,8	4.300
IU.2	Trave longitudinale	-	150	34,4	4.360
IU.3	Trave longitudinale	-	150	34,5	4.350
IU.4	Trave longitudinale	-	150	35,3	4.250
IU.5	Trave longitudinale	-	150	34,9	4.290
IU.6	Trave longitudinale	-	150	34,8	4.310
IU.7	Trave longitudinale	-	150	34,5	4.350
IU.8	Traverso	-	150	35,6	4.210
IU.9	Traverso	-	150	33,6	4.460

# INDAGINI SONREB

## TABELLA RIEPILOGATIVA

SPERIMENTATORE: Visentin Federico		DATA: 31/07/2024			
PROVA	ELEMENTO	ALTEZZA DA P.C. [cm]	V [m/s]	IR <sup>1)</sup>	/
SR.01	Trave longitudinale	-	4.300	33	/
SR.02	Trave longitudinale	-	4.360	39	/
SR.03	Trave longitudinale	-	4.350	34	/
SR.04	Trave longitudinale	-	4.250	32	/
SR.05	Trave longitudinale	-	4.290	37	/
SR.06	Trave longitudinale	-	4.310	35	/
SR.07	Trave longitudinale	-	4.350	34	/
SR.08	Traverso	-	4.210	35	/
SR.09	Traverso	-	4.460	39	/

Note:

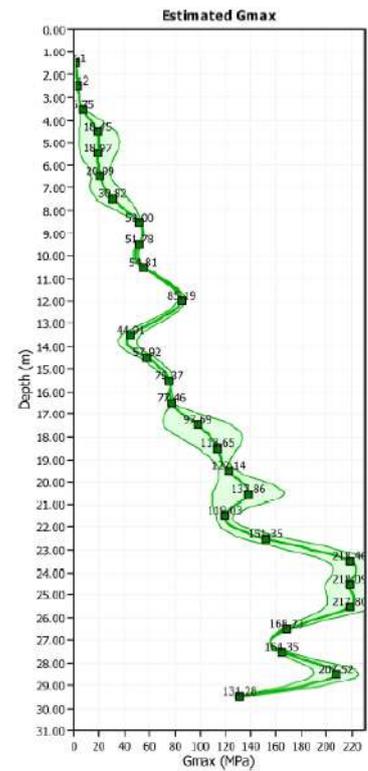
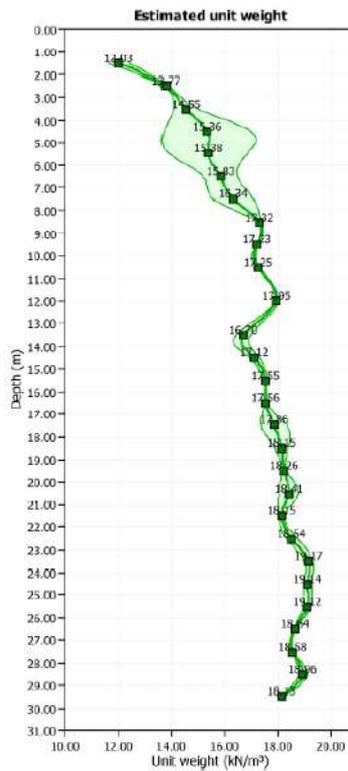
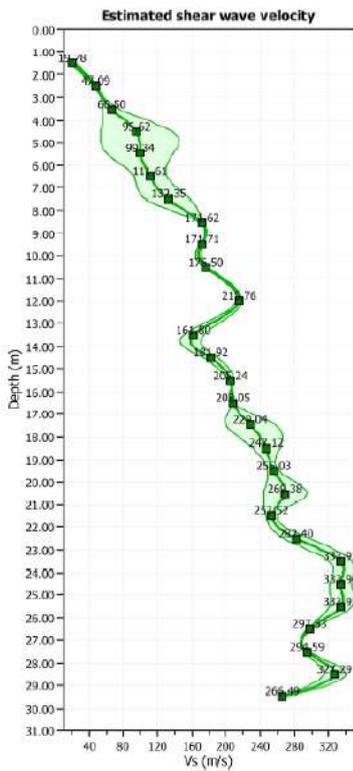
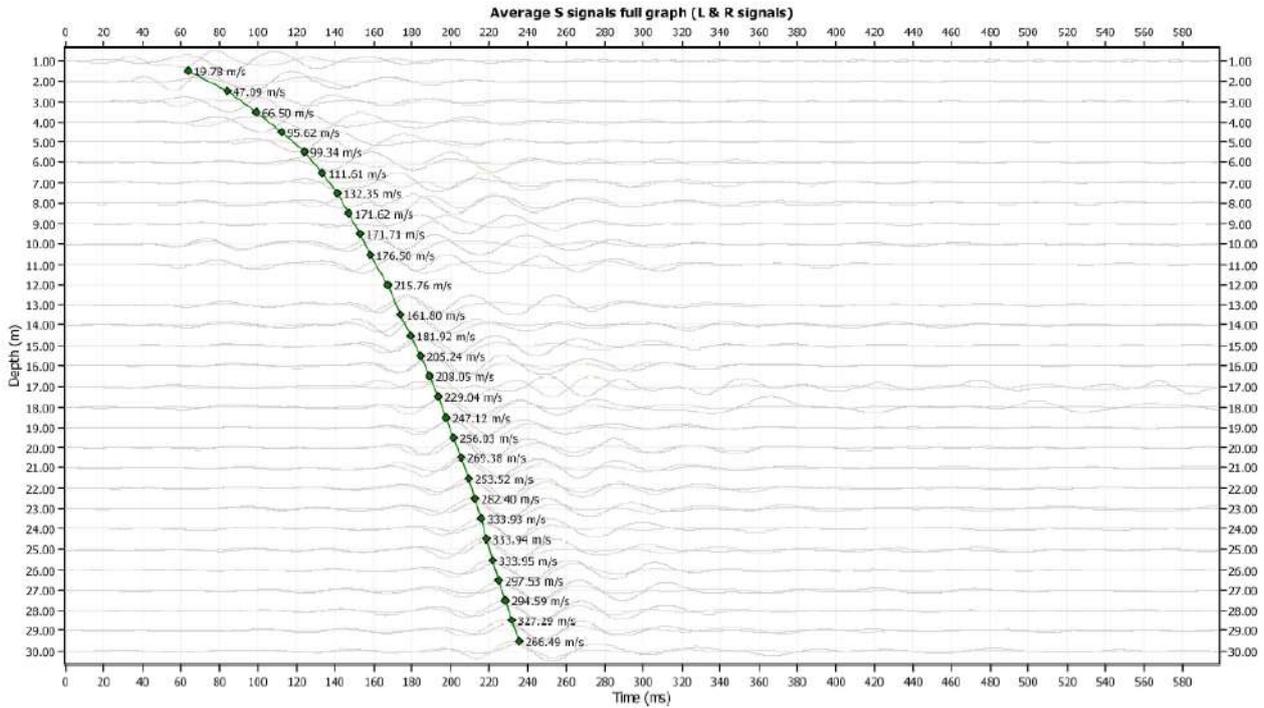
<sup>1)</sup> L'indice di rimbalzo di riferimento è calcolato come la mediana dei singoli indici di rimbalzo ottenuti sull'area di prova;

Il presente paragrafo è un riassunto di indagini che si trovano in forma estesa nell'elaborato "CRT 908-2024-signed-signed - ID50" redatto dalla ditta Geoconsult.

### 8.3 Caratterizzazione sismica del sito

Secondo indagini HVSR condotte sul sito in oggetto si sono rilevate le seguenti caratteristiche dinamiche del suolo:

Borehole ID: SP59-ID020



CLIENTE: CITTA' METROPOLITANA DI VENEZIA

PONTI ESISTENTI – AREA NORD CIG 9041138719  
 Verifiche livello 4 – Ponte 10 – San Stino di Livenza  
 – SP59 – ID Opera 20

ELAB.: 21173P2112A

Rev. A - Pag. 36 di 326

## SP59-ID020

### Pick points information

#### 1st Calculation point

Signal depth: 1.010 m

Time: 63.20 ms

#### 2nd Calculation point

Signal depth: 30.010 m

Time: 235.00 ms

Calculate

Estimated Vs: 167.88 m/s

Delta t: 171.80 ms

Categoria di sottosuolo: **D**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

## 8.4 Livello di conoscenza assunto

Per i materiali e geometrie esistenti, dalle prove effettuate e dalla documentazione storica a disposizione, si ritiene di aver raggiunto un livello di conoscenza pari ad LC2, e dunque di poter applicare un fattore di confidenza FC pari a 1.20.

Tabella C8.5.IV – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza, per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00

(\*) A meno delle ulteriori precisazioni già fornite nel § C8.5.4.

## 9 MATERIALI

### 9.1 Informazioni da fonti storiche

Dalla documentazione dell'epoca non è stato possibile dedurre alcuna informazione diretta in merito ai materiali adottati.

### 9.2 Risultati delle indagini in situ

#### 9.2.1 Calcestruzzo – Strutture in Elevazione

Le caratteristiche dei materiali vengono distinte tra verifiche di Adeguatezza ed Operatività/Transitabilità dal momento che varia il coefficiente di sicurezza del materiale; una miglior definizione di tali coefficienti verrà esplicitata al paragrafo 11.2 del presente elaborato.

Calcestruzzo Pile e Spalle - ADEGUATEZZA		
Livello di conoscenza	LC	2
Fattore di Confidenza	FC	1.2
Coefficiente Parziale di sicurezza - $\gamma_c$	1.5	[-]
Resistenza a compressione MEDIA da prove - $f_{cm}$	23.70	[MPa]
Resistenza a compressione CARATTERISTICA da prove - $f_{ck, is}$	17.00	[MPa]
$f_d = \min \left( \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC} \right)$		
$f_{cd,1} = f_{cm}/(FC \cdot \gamma_c)$	13.17	[MPa]
$f_{cd,2} = f_{ck, is}/FC$	14.17	[MPa]
Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo - $f_{cd}$	13.17	[MPa]
Peso Specifico	25	[kN/m <sup>3</sup> ]
Resistenza a compressione equivalente - $R_{ck}$	29	[MPa]
Modulo elastico istantaneo - $E_{cm}$	28960	[MPa]

Calcestruzzo Pile e Spalle - OPERATIVITA'=TRANSITABILITA'		
Livello di conoscenza	LC	2
Fattore di Confidenza	FC	1.2
Coefficiente Parziale di sicurezza - $\gamma_c$	1.26	[-]
Resistenza a compressione MEDIA da prove - $f_{cm}$	23.70	[MPa]
Resistenza a compressione CARATTERISTICA da prove - $f_{ck, is}$	17.00	[MPa]
$f_d = \min \left( \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC} \right)$		
$f_{cd,1} = f_{cm}/(FC \cdot \gamma_c)$	15.67	[MPa]
$f_{cd,2} = f_{ck, is}/FC$	14.17	[MPa]
Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo - $f_{cd}$	14.17	[MPa]
Peso Specifico	25	[kN/m <sup>3</sup> ]
Resistenza a compressione equivalente - $R_{ck}$	29	[MPa]
Modulo elastico istantaneo - $E_{cm}$	28960	[MPa]

## 9.2.2 Calcestruzzo – Strutture Impalcato

Le caratteristiche dei materiali vengono distinte tra verifiche di Adeguatezza ed Operatività/Transitabilità dal momento che varia il coefficiente di sicurezza del materiale; una miglior definizione di tali coefficienti verrà esplicitata al paragrafo 11.2 del presente elaborato.

Calcestruzzo Travi - ADEGUATEZZA		
Livello di conoscenza	LC	2
Fattore di Confidenza	FC	1.2
Coefficiente Parziale di sicurezza - $\gamma_c$	1.5	[-]
Resistenza a compressione MEDIA da prove - $f_{cm}$	39.52	[MPa]
Resistenza a compressione CARATTERISTICA da prove - $f_{ck, is}$	37.20	[MPa]

$$f_d = \min \left( \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC} \right)$$

$f_{cd,1} = f_{cm}/(FC \cdot \gamma_M)$	21.96	[MPa]
$f_{cd,2} = f_{ck, is}/FC$	31.00	[MPa]
Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo - $f_{cd}$	21.96	[MPa]
Peso Specifico	25	[kN/m <sup>3</sup> ]
Resistenza a compressione equivalente - $R_{ck}$	48	[MPa]
Modulo elastico istantaneo - $E_{cm}$	34591	[MPa]

Calcestruzzo Travi - OPERATIVITA'=TRANSITABILITA'		
Livello di conoscenza	LC	2
Fattore di Confidenza	FC	1.2
Coefficiente Parziale di sicurezza - $\gamma_c$	1.26	[-]
Resistenza a compressione MEDIA da prove - $f_{cm}$	39.52	[MPa]
Resistenza a compressione CARATTERISTICA da prove - $f_{ck, is}$	37.20	[MPa]

$$f_d = \min \left( \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC} \right)$$

$f_{cd,1} = f_{cm}/(FC \cdot \gamma_M)$	26.14	[MPa]
$f_{cd,2} = f_{ck, is}/FC$	31.00	[MPa]
Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo - $f_{cd}$	26.14	[MPa]
Peso Specifico	25	[kN/m <sup>3</sup> ]
Resistenza a compressione equivalente - $R_{ck}$	48	[MPa]
Modulo elastico istantaneo - $E_{cm}$	34591	[MPa]

### 9.2.3 Acciaio d'armatura

Le caratteristiche dei materiali vengono distinte tra verifiche di Adeguatezza ed Operatività/Transitabilità dal momento che varia il coefficiente di sicurezza del materiale; una miglior definizione di tali coefficienti verrà esplicitata al paragrafo 11.2 del presente elaborato.

<b>Acciaio per barre d'armatura - ADEGUATEZZA</b>		
Livello di conoscenza	LC	<b>2</b>
Fattore di Confidenza	FC	1.2
Coefficiente Parziale di sicurezza - $\gamma_s$	<b>1.15</b>	[-]
Resistenza a snervamento MEDIA da prove - $f_{ym}$	<b>307.70</b>	[MPa]
Resistenza a snervamento CARATTERISTICA da prove - $f_{yk, is}$	<b>280.20</b>	[MPa]

$$f_d = \min \left( \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC} \right)$$

$f_{yd,1} = f_{cm}/(FC \cdot \gamma_M)$	222.97	[MPa]
$f_{yd,2} = f_{k, is}/FC$	233.50	[MPa]
Resistenza di calcolo a snervamento dell'acciaio - $f_{yd}$	<b>222.97</b>	[MPa]
Peso Specifico	<b>78.5</b>	[kN/m <sup>3</sup> ]
Tensione caratteristica di snervamento equivalente - $f_{yk}$	<b>256</b>	[MPa]
Modulo elastico istantaneo - $E_s$	<b>210000</b>	[MPa]

<b>Acciaio per barre d'armatura - OPERATIVITA'=TRANSITABILITA'</b>		
Livello di conoscenza	LC	<b>2</b>
Fattore di Confidenza	FC	1.2
Coefficiente Parziale di sicurezza - $\gamma_s$	<b>1.1</b>	[-]
Resistenza a snervamento MEDIA da prove - $f_{ym}$	<b>307.70</b>	[MPa]
Resistenza a snervamento CARATTERISTICA da prove - $f_{yk, is}$	<b>280.20</b>	[MPa]

$$f_d = \min \left( \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC} \right)$$

$f_{yd,1} = f_{cm}/(FC \cdot \gamma_M)$	233.11	[MPa]
$f_{yd,2} = f_{k, is}/FC$	233.50	[MPa]
Resistenza di calcolo a snervamento dell'acciaio - $f_{yd}$	<b>233.11</b>	[MPa]
Peso Specifico	<b>78.5</b>	[kN/m <sup>3</sup> ]
Tensione caratteristica di snervamento equivalente - $f_{yk}$	<b>256</b>	[MPa]
Modulo elastico istantaneo - $E_s$	<b>210000</b>	[MPa]

## 10 ANALISI DEI CARICHI

### 10.1 Pesì permanenti strutturali – G1

Per i pesi calcolati in automatico si utilizza il peso specifico del calcestruzzo pari a  $\gamma_{ca} = 25 \text{ kN/m}^3$ .

Impalcato		Peso Totale	Spessore	Lineare	Distribuito
Tipologia di carico	Elementi	[kg]	[m]	[kg/m]	[kg/m <sup>2</sup> ]
Permanente strutturale (G1)	Peso Travi - 5x 32x60		-	2400	
	Peso soletta - s=23 cm		0.23	-	575.0
	Peso cordoli laterali - 2x 100x20		0.2	1000	
	Peso traversi 30x60			450	

### 10.2 Pesì permanenti non strutturali – G2 Barriere Laterali

Le barriere laterali sono costituite da struttura in acciaio lungo tutto lo sviluppo dell'impalcato. Il peso di tali manufatti viene stimato in 80 kg/m.



FIGURA 10-1: GUARDRAIL ESISTENTE

### 10.3 Pesì permanenti non strutturali – G2 Pavimentazione stradale

Le indagini hanno interessato anche la misurazione del pacchetto stradale con lo scopo di accertare lo spessore effettivo della pavimentazione stradale presente allo stato attuale. Purtroppo non è stato possibile indagare sia in mezzeria che lateralmente, pertanto il dato rilevato costituisce una stima dello spessore medio presente.

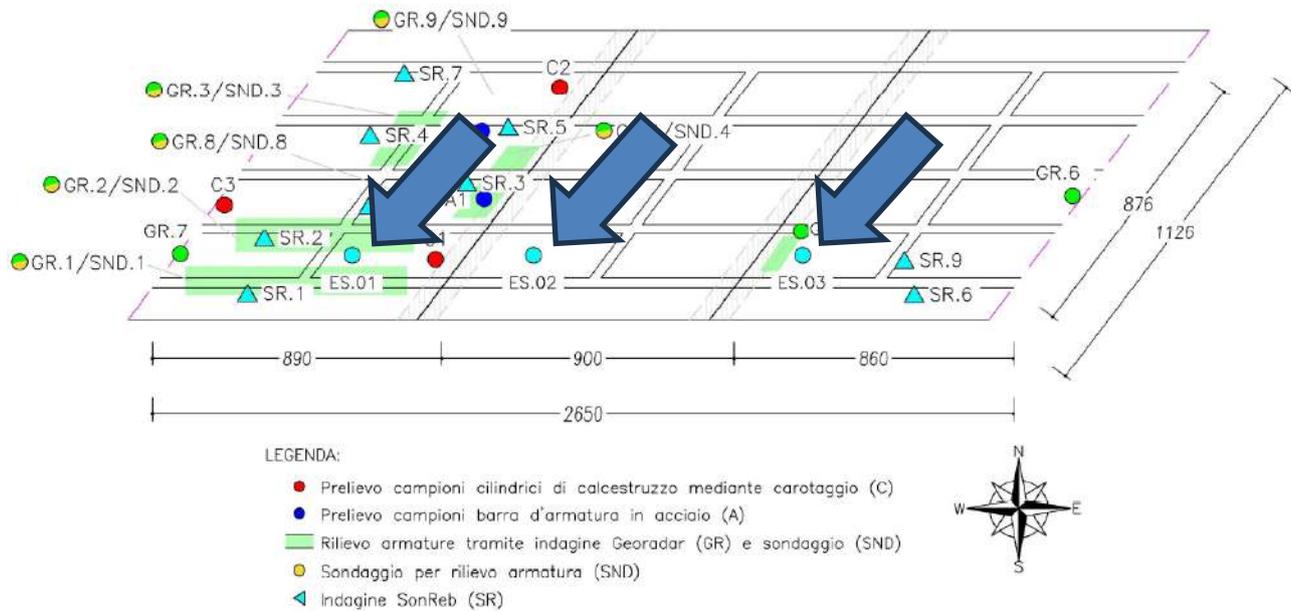


FIGURA 10-2: INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE

Tipologia di carico	Elementi	Peso Totale [kg]	Spessore [m]	Lineare [kg/m]	Distribuito [kg/m <sup>2</sup> ]
Permanente non strutt (G2)	Pavimentazione - smedio=25 cm	-	-	-	500.0

\* indagini pacchetto eseguite sempre nello stesso punto della sezione trasversale quindi impossibile determinare il reale spessore medio

## 10.4 Azioni Variabili da Traffico

Si illustrano di seguito le azioni variabili da traffico, partendo da quelle utilizzate per le verifiche di adeguatezza per poi passare ad operatività, transitabilità da NTC e transitabilità da Codice della Strada.

### 10.4.1 Carichi per Verifica di Adeguatezza - NTC2018

#### 10.4.1.1 Carichi Mobili

La normativa attualmente vigente NTC 2018 definisce il numero delle corsie convenzionali in base alla larghezza della carreggiata e successivamente su ogni corsia vengono applicati le tipologie di carico definite dalla norma. Le tipologie di carico vengono analizzate singolarmente e combinate opportunamente al fine di ricercare le massime (o minime) sollecitazioni sulle membrature.

Vista la larghezza carrabile attualmente disponibile, è possibile pertanto posizionare fino a tre corsie convenzionali di traffico e nel caso in esame si ha:

- Larghezza della superficie carrabile:  $w = 7.50 \text{ m}$
- Numero di corsie convenzionali:  $nl = 2$
- Larghezza di una corsia convenzionale:  $Lc = 3 \text{ m}$
- Larghezza della zona rimanente:  $Lr = 1.50 \text{ m}$
- Larghezza marciapiedi:  $Lm = 0 \text{ m}$

Si riporta graficamente lo schema di carico adottato:

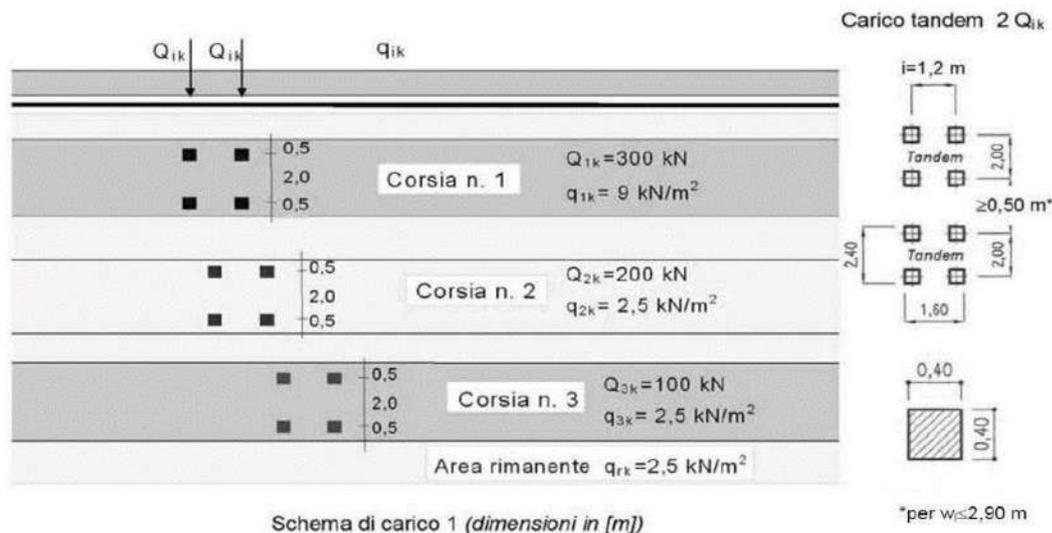


FIGURA 10-3: SCHEMI DI CARICO DA NTC 2018

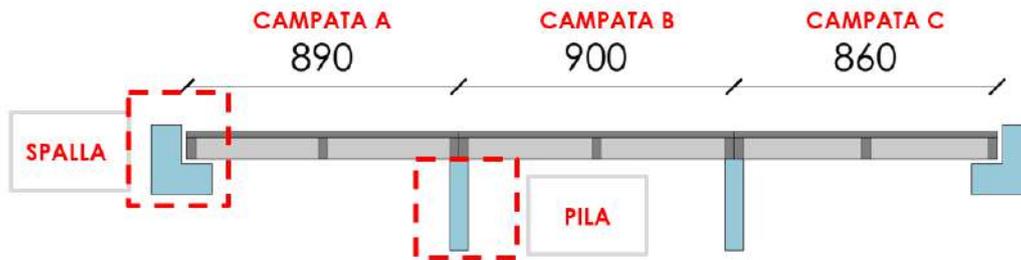
**Tab. 5.1.II** - Intensità dei carichi  $Q_{ik}$  e  $q_{ik}$  per le diverse corsie

Posizione	Carico asse $Q_{ik}$ [kN]	$q_{ik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Corsia Numero 1	300	9,00
Corsia Numero 2	200	2,50
Corsia Numero 3	100	2,50
Altre corsie	0,00	2,50

FIGURA 10-4: CARICHI CONVENZIONALI SECONDO NTC18

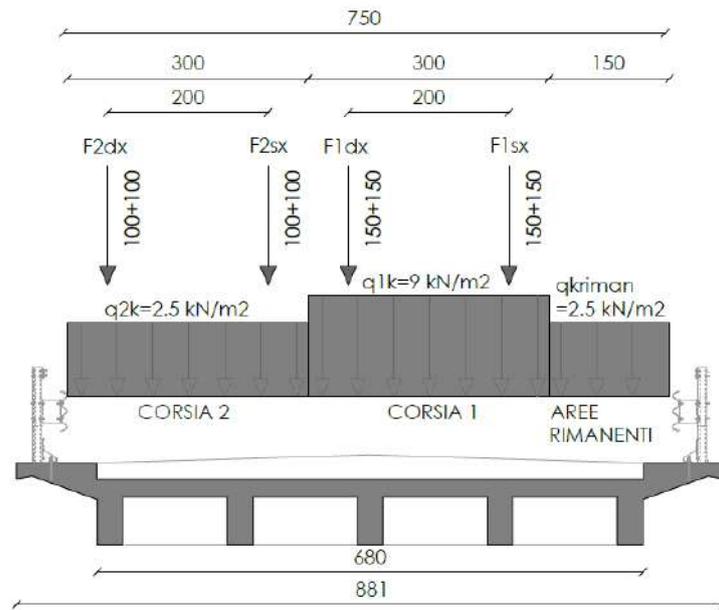
Le condizioni di carico adottate sono volte a massimizzare i seguenti meccanismi:

- NTC18-T1 *Traffico: Massimizzazione M+ campata B*
- NTC18-T2 *Traffico: Massimizzazione M+ campata B*
- NTC18-T3 *Traffico: Massimizzazione V campata B*
- NTC18-T4 *Traffico: Massimizzazione V campata B*
- NTC18-T5 *Traffico: Massimizzazione N Pila*
- NTC18-T6 *Traffico: Massimizzazione N Spalla*
- NTC18-T7 *Traffico: Massimizzazione M trasverso*
- NTC18-T8 *Traffico: Massimizzazione M/V soletta*

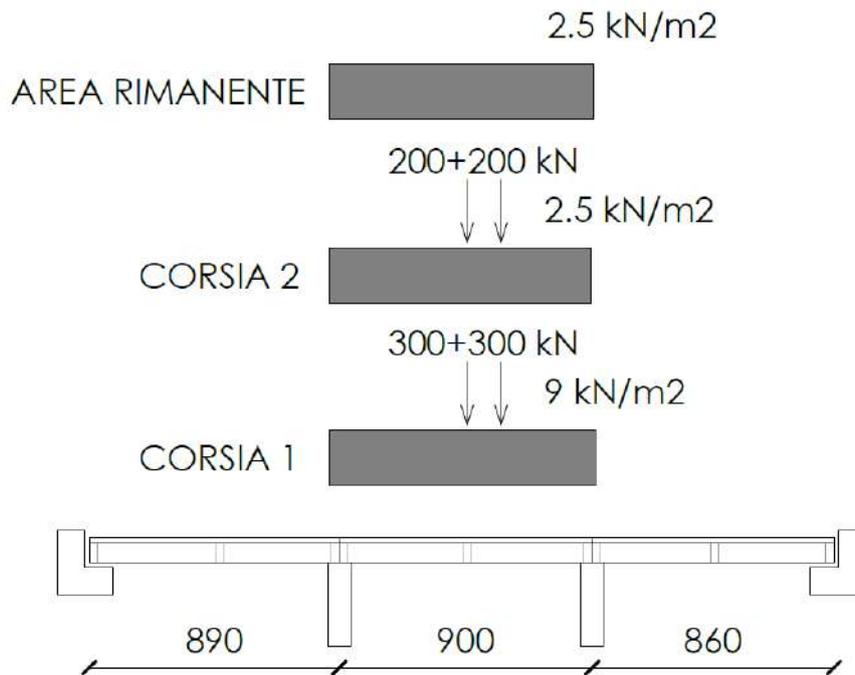


Le posizioni dei carichi mobili per ottenere le massime sollecitazioni sono riportate nelle figure seguenti.

**SCHEMA NTC18-T1 Massimizzazione M+ campata B**

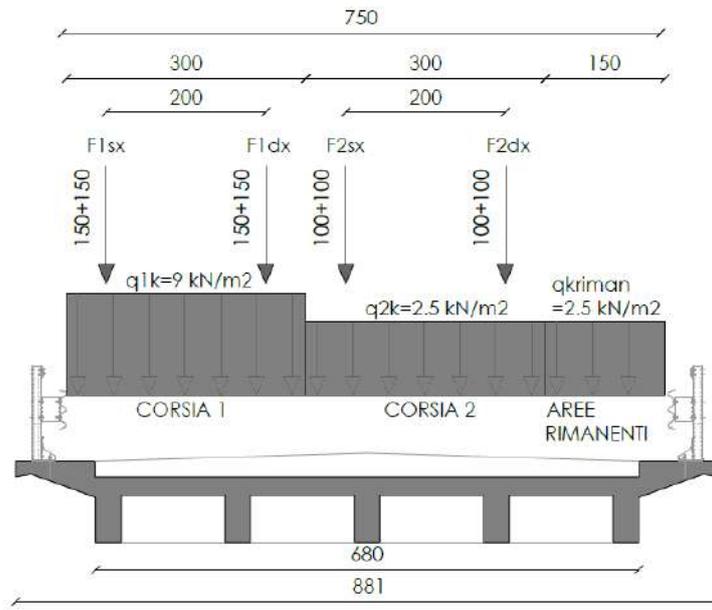


SEZIONE TRASVERSALE

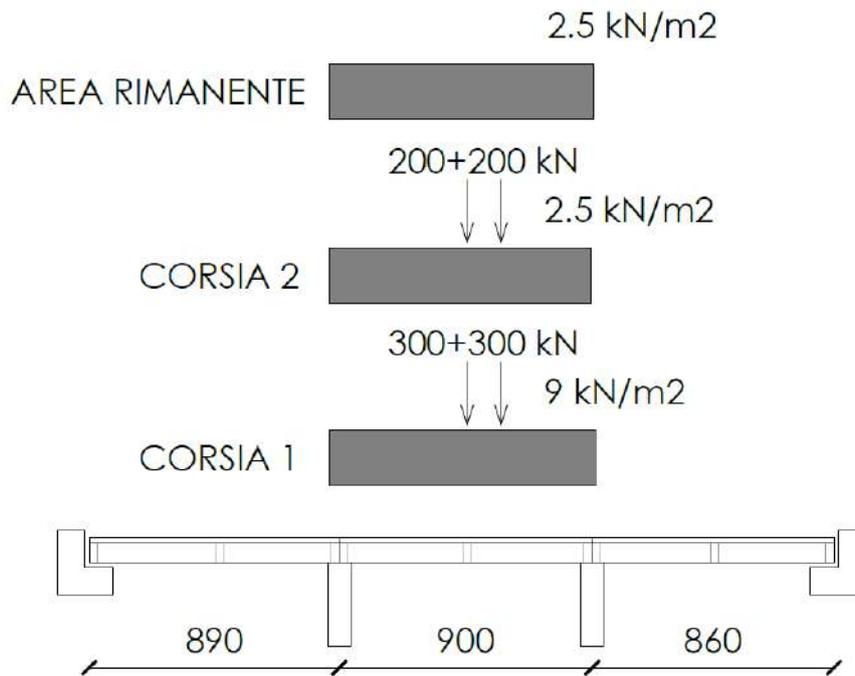


PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

**SCHEMA NTC18-T2 Massimizzazione M+ campata B**

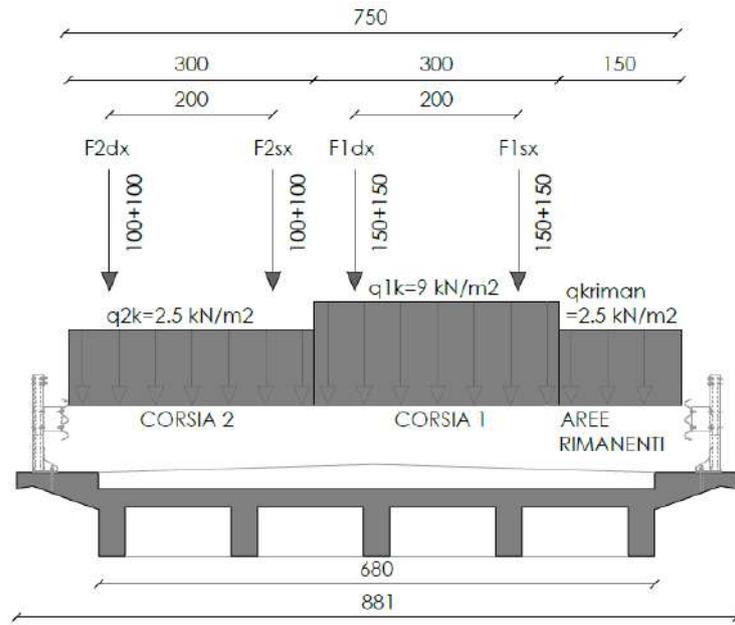


SEZIONE TRASVERSALE

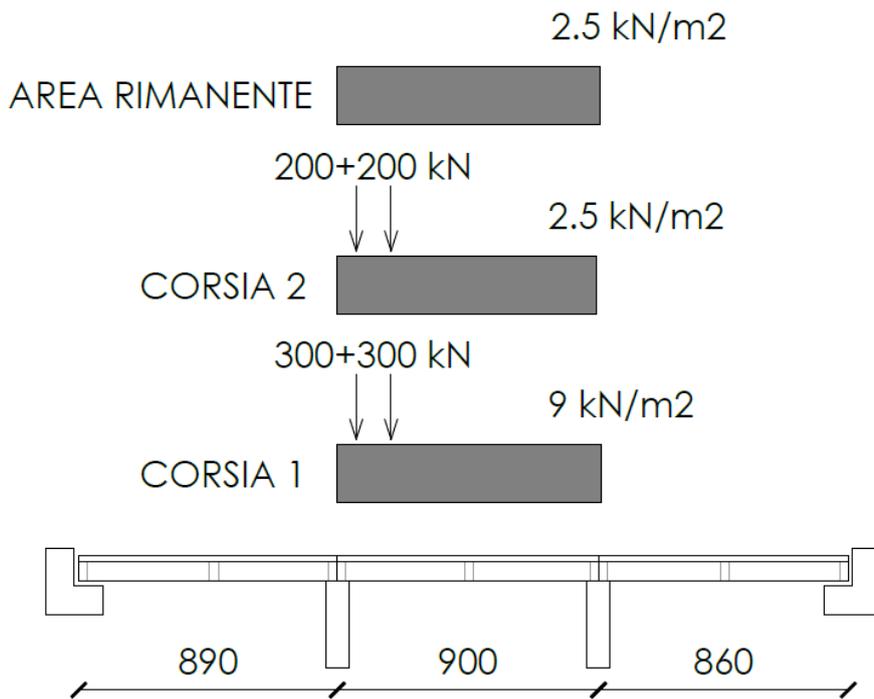


PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

**SCHEMA NTC18-T3 Massimizzazione V campata B**

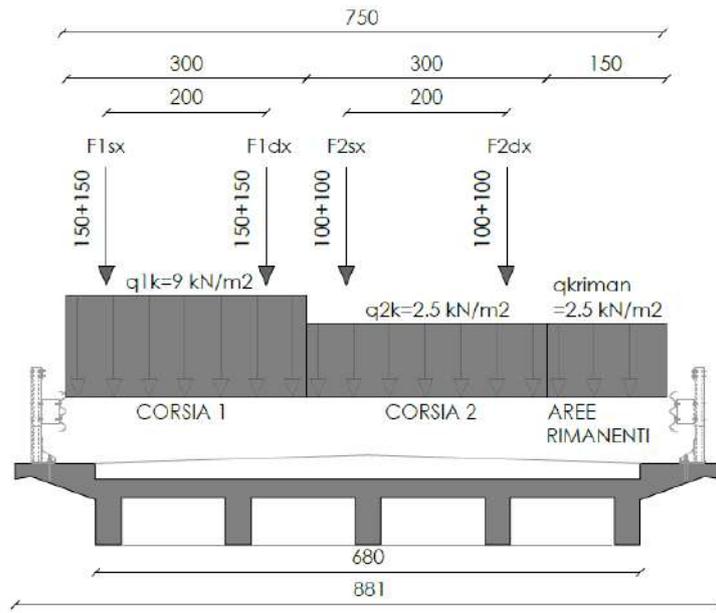


SEZIONE TRASVERSALE

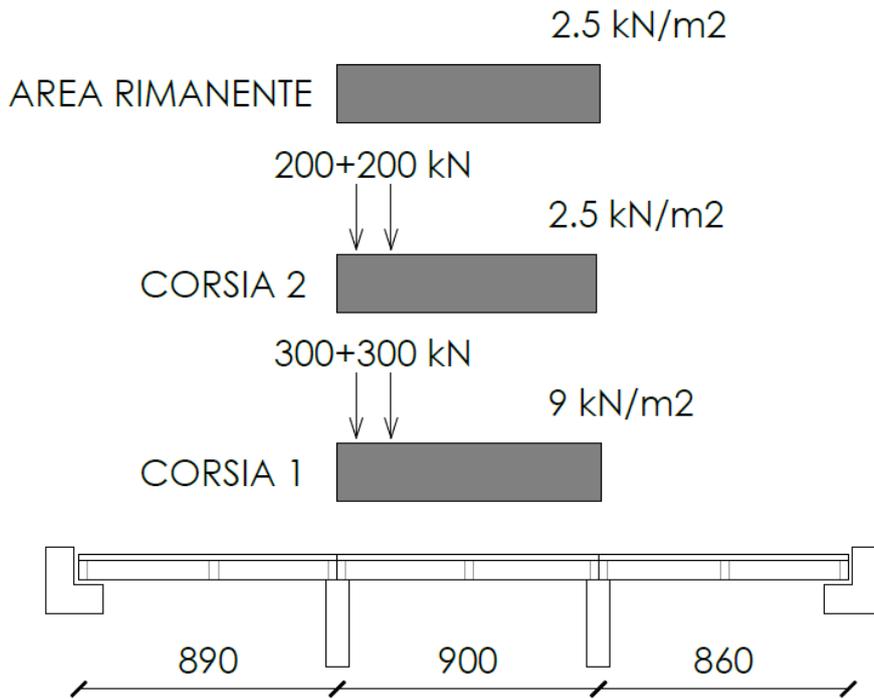


PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

**SCHEMA NTC18-T4 Massimizzazione V campata B**

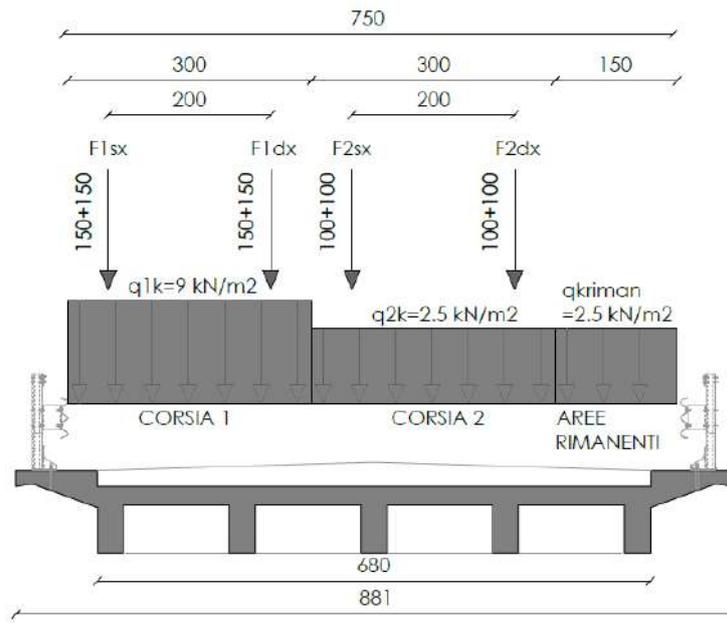


SEZIONE TRASVERSALE

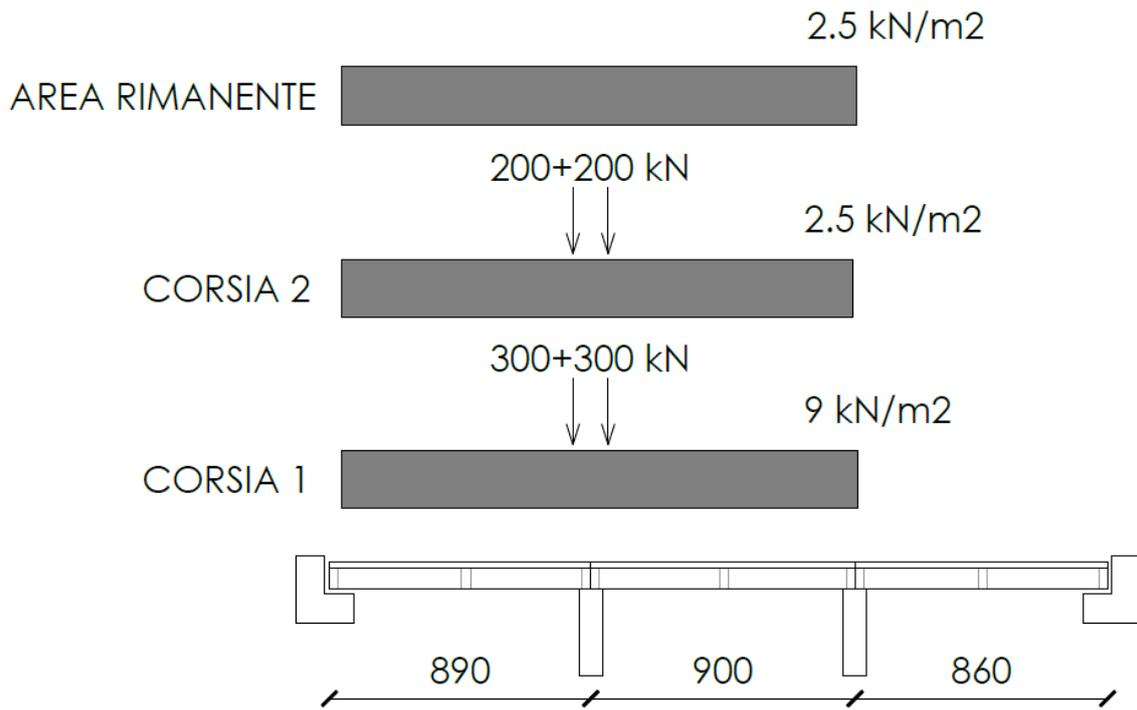


PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

**SCHEMA NTC18-T5 Massimizzazione N Pila**

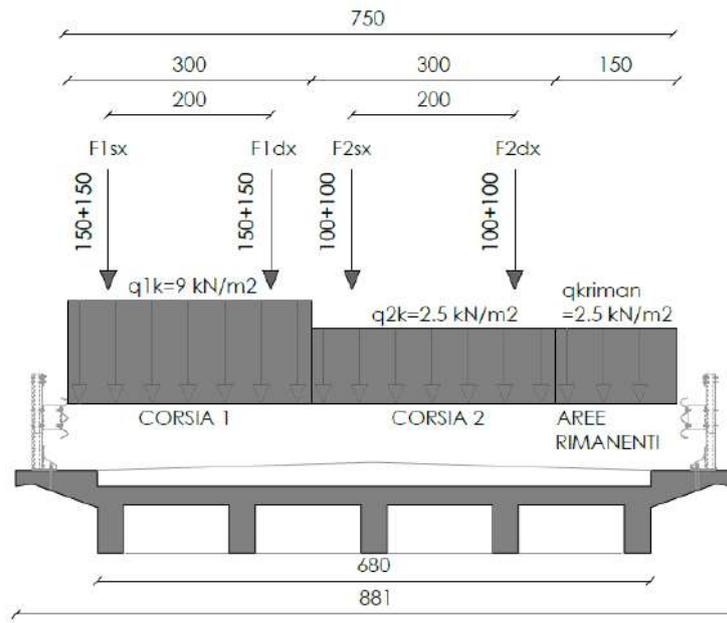


SEZIONE TRASVERSALE

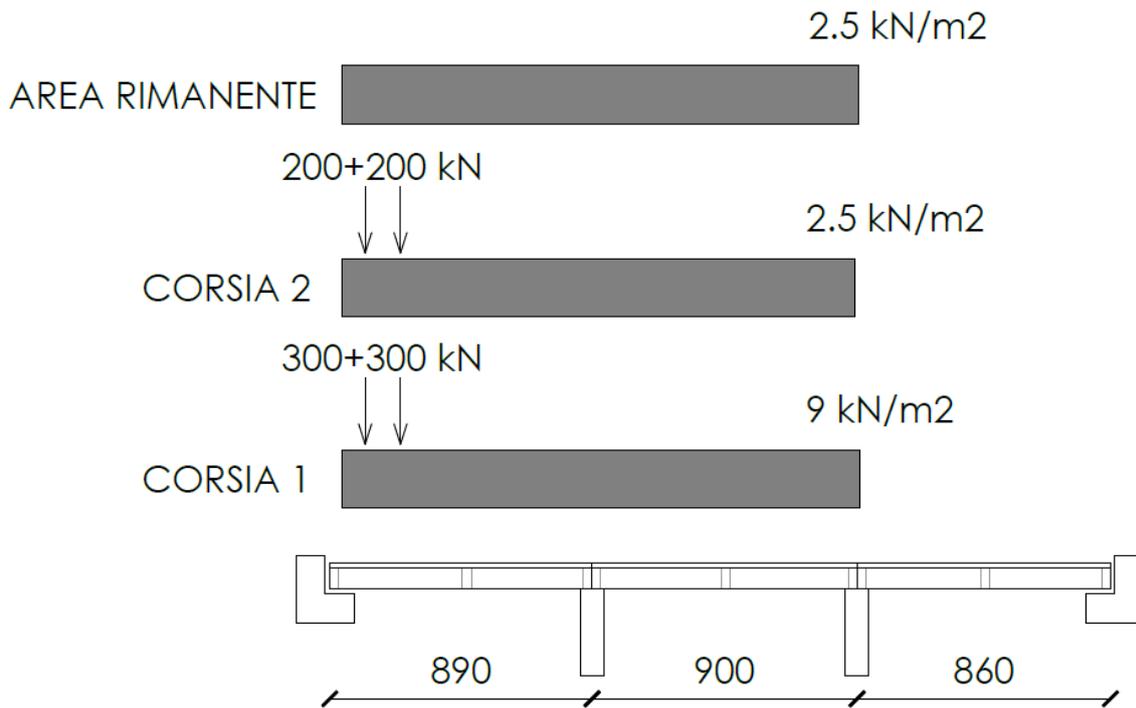


PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

**SCHEMA NTC18-T6 Massimizzazione N Spalla**

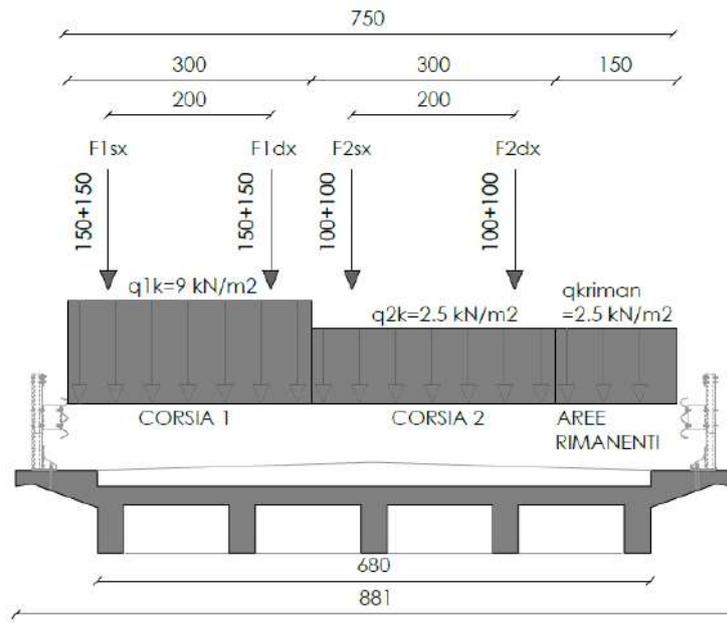


SEZIONE TRASVERSALE

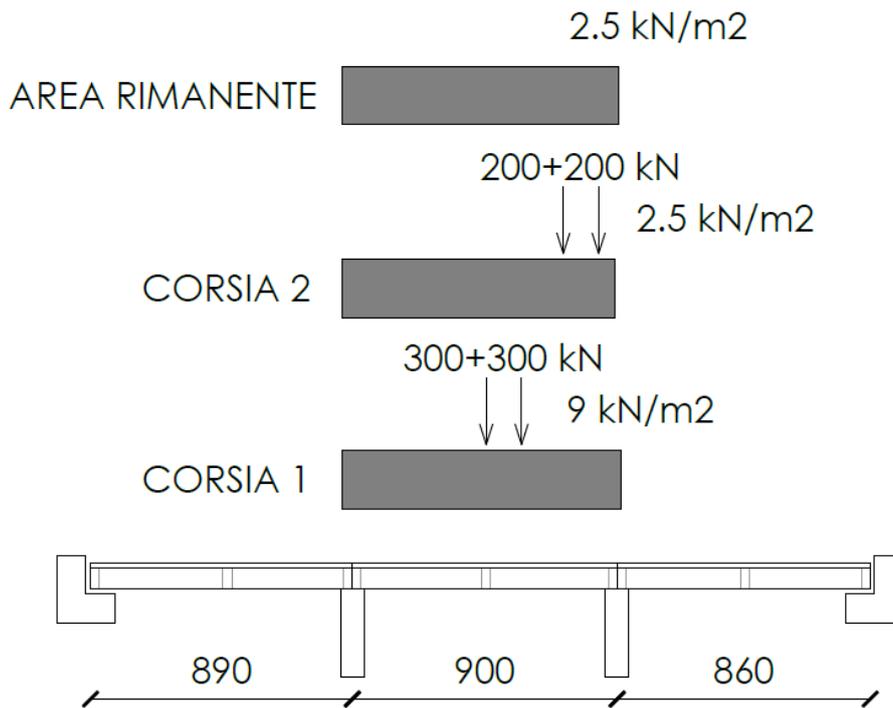


PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

**SCHEMA NTC18-T7 Massimizzazione M trasverso**

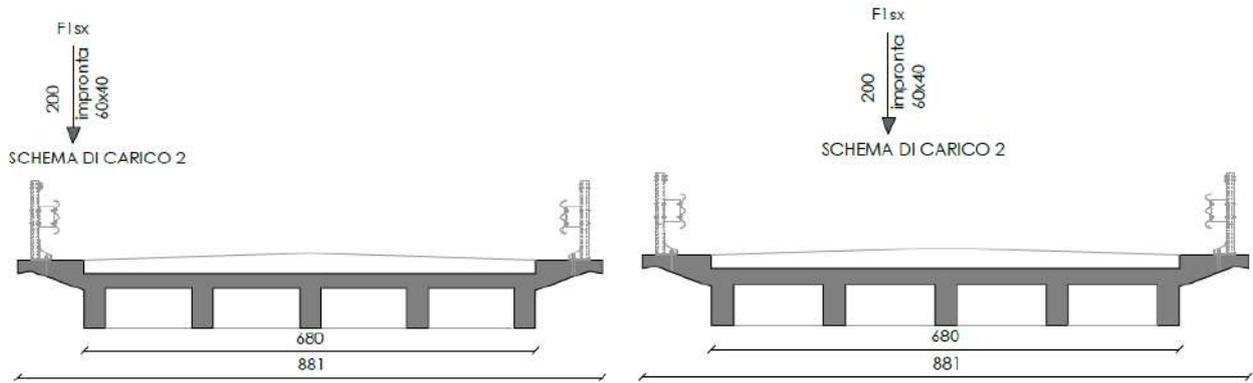


SEZIONE TRASVERSALE

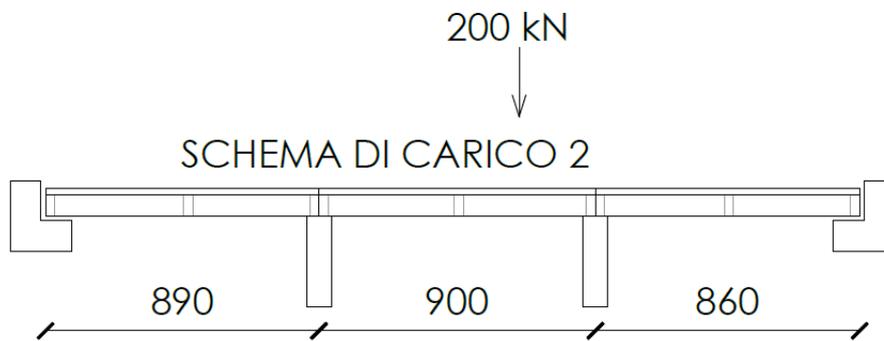


PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

## SCHEMA NTC18-T8 Massimizzazione M/V soletta



SEZIONE TRASVERSALE



PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

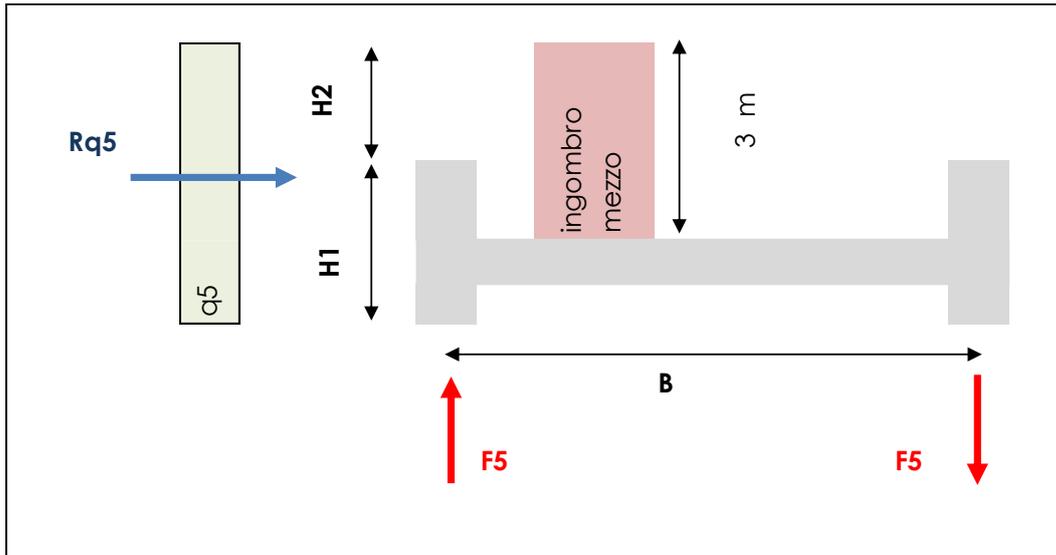
### 10.4.1.2 Azione variabile del vento – q5

Le azioni del vento sono valutate considerando la pressione cinetica di riferimento da applicarsi alla sagoma trasversale del ponte tenendo conto dell'ingombro dei carichi da traffico presenti (3.0 m da piano stradale).

Si considera il seguente periodo di ritorno (nel caso in cui le verifiche lo richiedessero):

TR = 50 anni (cr = 1.0) → verifiche secondo NTC18.

Considerando una velocità di riferimento (con TR = 50 anni) pari a  $v_{b,0} = 25$  m/s (zona 1), si ottiene:  
 $q_r = 0.5 \cdot \rho \cdot v_r^2 = 0.391$  kN/m<sup>2</sup> ( $\rho = 1.25$  kg/m<sup>3</sup>)



#### CALCOLO FORZE GENERATE DA CARICO VENTO

q5	120 daN/m <sup>2</sup> /m	: carico vento
H1	1 m	: altezza impalcato
H2	3 m	
B	11 m	: larghezza impalcato
<b>Rq5</b>	<b>480 daN/m</b>	: risultante delle forze vento orizzontali
b,Rq5	1.5 m	: braccio di Rq5 rispetto al baricentro impalcato
MRq5	720 daNm/m	: momento torcente generato da Rq5
<b>F5</b>	<b>65.45 daN/m</b>	: forze equivalenti al momento torcente MRq5

Forza che verrà utilizzata prevalentemente per determinare le sollecitazioni su pile e spalle.

### 10.4.1.3 Azione di frenamento – q<sub>3</sub>

La forza di frenamento o di accelerazione q<sub>3</sub> è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 (2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN} \quad [5.1.4]$$

essendo w<sub>1</sub> la larghezza della corsia e L la lunghezza della zona caricata. La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.

Da cui risulta:

**CALCOLO CARICO FRENATA PER PILE - q<sub>3p</sub>**

La forza di frenamento o di accelerazione q<sub>3</sub> è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 (2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN} \quad [5.1.4]$$

essendo w<sub>1</sub> la larghezza della corsia e L la lunghezza della zona caricata. La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.

**COMBINAZIONE CONSIDERATA**

<b>Q<sub>1k</sub></b>	300 kN	<b>q<sub>3p,tot</sub> =</b>	<b>430.47 kN</b>
<b>q<sub>1k</sub></b>	9 kN/m	<b>q<sub>3p,pila max</sub> =</b>	<b>215.235 kN</b>
<b>L</b>	26.1 m	<b>q<sub>3p,pila min</sub> =</b>	<b>107.618 kN</b>
<b>w<sub>1</sub></b>	3 m		

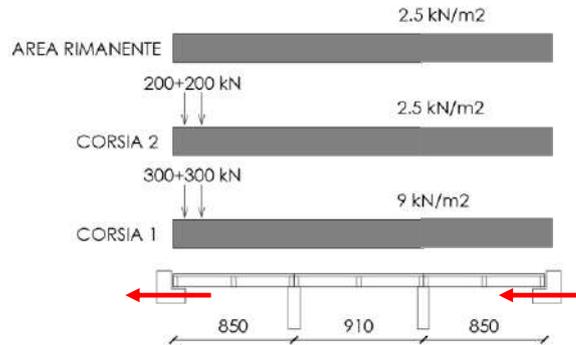
#### CALCOLO CARICO FRENATA PER SPALLE - q<sub>3s</sub>

La forza di frenamento o di accelerazione q<sub>3</sub> è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 (2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN} \quad [5.1.4]$$

essendo w<sub>1</sub> la larghezza della corsia e L la lunghezza della zona caricata. La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.

#### COMBINAZIONE CONSIDERATA



Q <sub>1k</sub>	300 kN	q <sub>3s,tot</sub> =	430.47 kN
q <sub>1k</sub>	9 kN/m	q <sub>3s,spalla</sub> =	215.235 kN
L	26.1 m		
w <sub>1</sub>	3 m		

Forza che verrà utilizzata prevalentemente per determinare le sollecitazioni su pile.

#### 10.4.1.4 Azioni derivanti da effetti di dilatazione e contrazione termica

L'impalcato è costituito da travi in semplice appoggio libere di scorrere longitudinalmente, pertanto prive di interazioni dal punto di vista termico.

#### **10.4.2 Carichi per Verifica di Operatività (tref=30 anni) - NTC2018**

Le distribuzioni dei carichi da traffico previste per le verifiche di Operatività sono i medesimi già trattati per le verifiche di Adeguatezza; l'unica differenza tra i livelli si trova a livello di coefficienti adottati nelle combinazioni di carico, i quali saranno opportunamente trattati al capitolo 11 del presente elaborato.

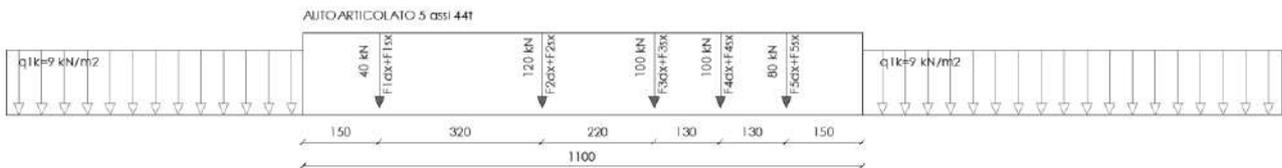
#### **10.4.3 Carichi per Verifica di Transitabilità (tref=5 anni) - NTC2018**

I carichi per verifiche di Transitabilità da NTC non vengono trattati nel presente documento in quanto tale criterio prevedrebbe di mettere in atto sistemi e presidi tali da ridurre il numero di corsie di calcolo secondo le Norme Tecniche ma si ritiene che tale riduzione non risulti significativa ai fini del calcolo in quanto di entità estremamente ridotta rispetto alle tre corsie dotate di carico veicolare tandem e distribuito.

## 10.4.4 Carichi per Verifica di Transitabilità (tref=5 anni) – Codice della Strada – Mezzi pesanti (44t)

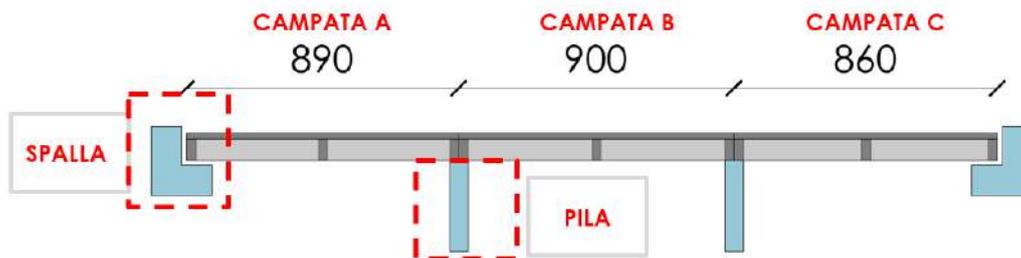
### 10.4.4.1 Carichi Mobili

Le Linee Guida danno una definizione di Mezzi Pesanti (44t) mediante la seguente stilata di carichi, applicata per ciascuna corsia di marcia ed anche con contemporaneità.



Le condizioni di carico adottate sono volte a massimizzare i seguenti meccanismi:

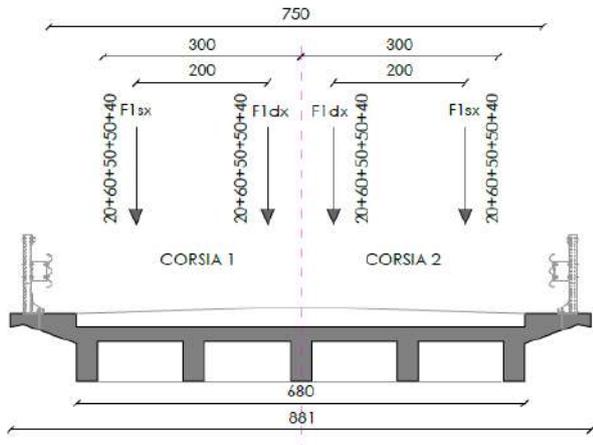
- CdSMP-T1 *Traffico: Massimizzazione M+ campata B*
- CdSMP-T2 *Traffico: Massimizzazione M+ campata B*
- CdSMP-T6 *Traffico: Massimizzazione N Spalla*
- CdSMP-T7 *Traffico: Massimizzazione M trasverso*
- CdSMP-T8 *Traffico: Massimizzazione M/V soletta*



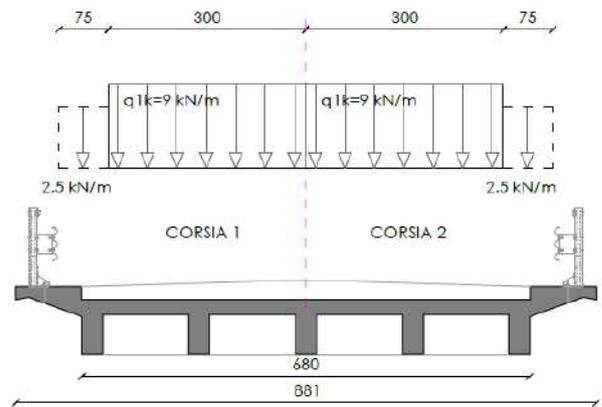
Le posizioni dei carichi mobili per ottenere le massime sollecitazioni sono riportate nelle figure seguenti.

**SCHEMA CdS MP-T1 Massimizzazione M+ campata B**

sezione su impronta del mezzo



sezione su impronta del mezzo



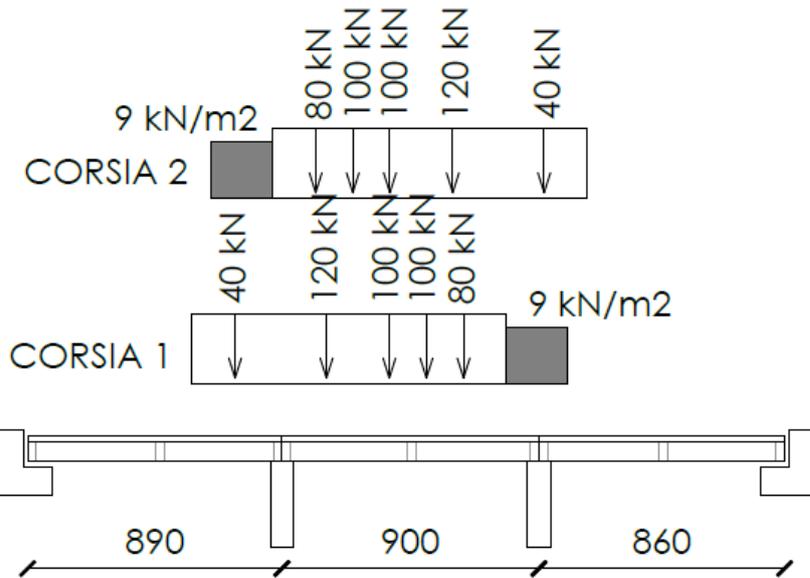
2.5 kN/m<sup>2</sup>

AREA RIMANENTE



2.5 kN/m<sup>2</sup>

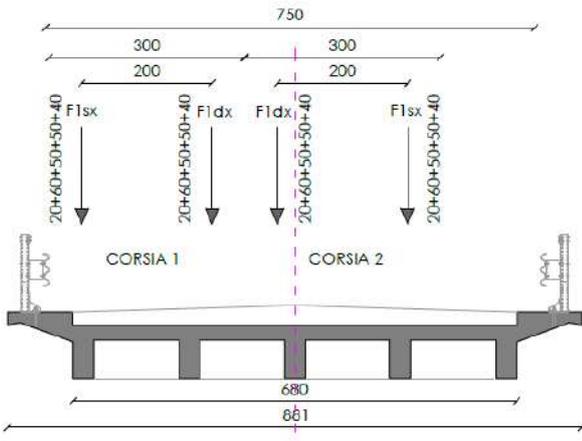
AREA RIMANENTE



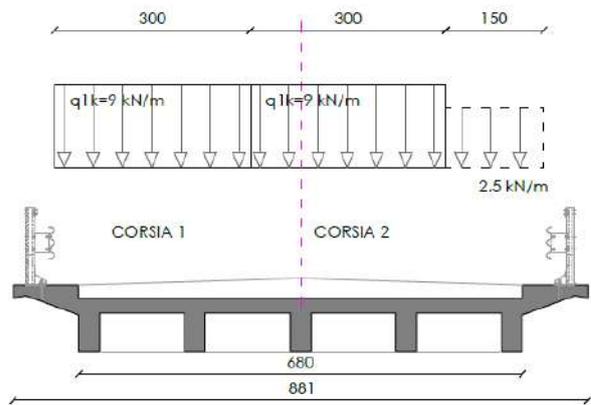
PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

**SCHEMA CdS MP-T2 Massimizzazione M+ campata B**

sezione su impronta del mezzo



sezione su impronta del mezzo



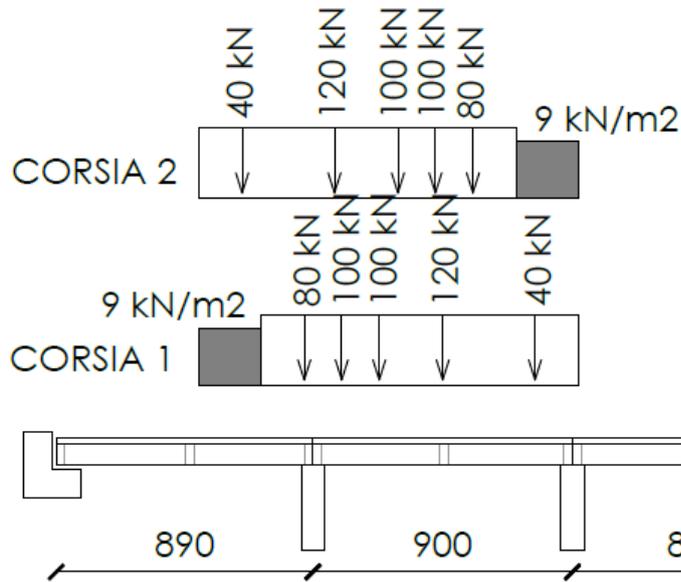
2.5 kN/m<sup>2</sup>

AREA RIMANENTE



2.5 kN/m<sup>2</sup>

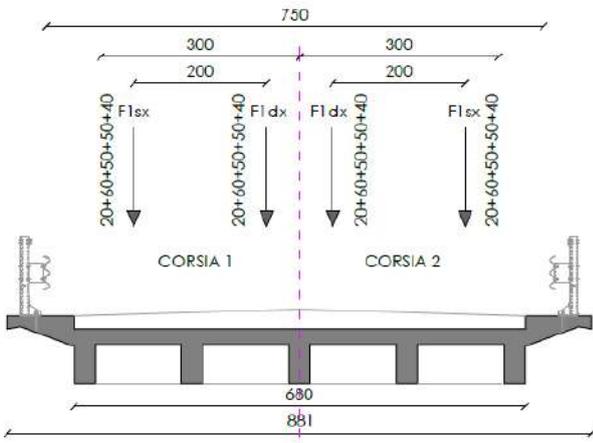
AREA RIMANENTE



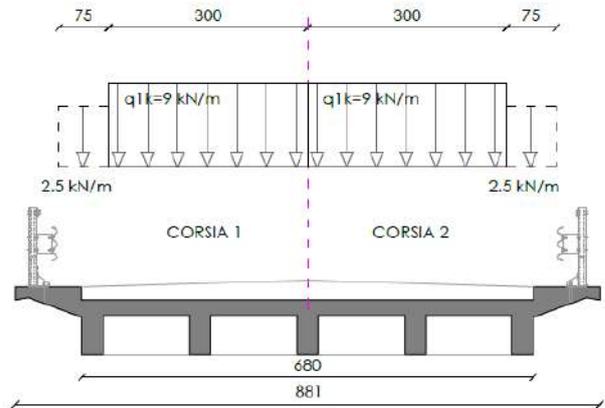
PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

# SCHEMA CdS MP-T6 Massimizzazione N Spalla

sezione su impronta del mezzo



sezione su impronta del mezzo

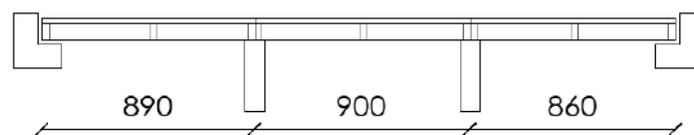
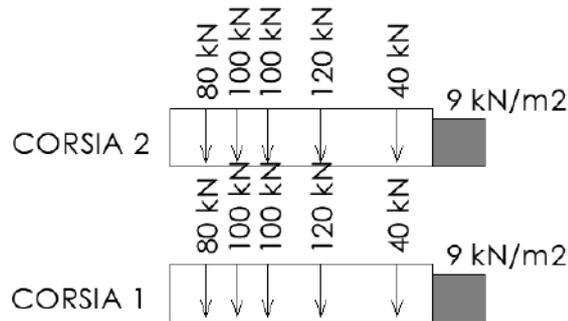


2.5 kN/m<sup>2</sup>

AREA RIMANENTE 

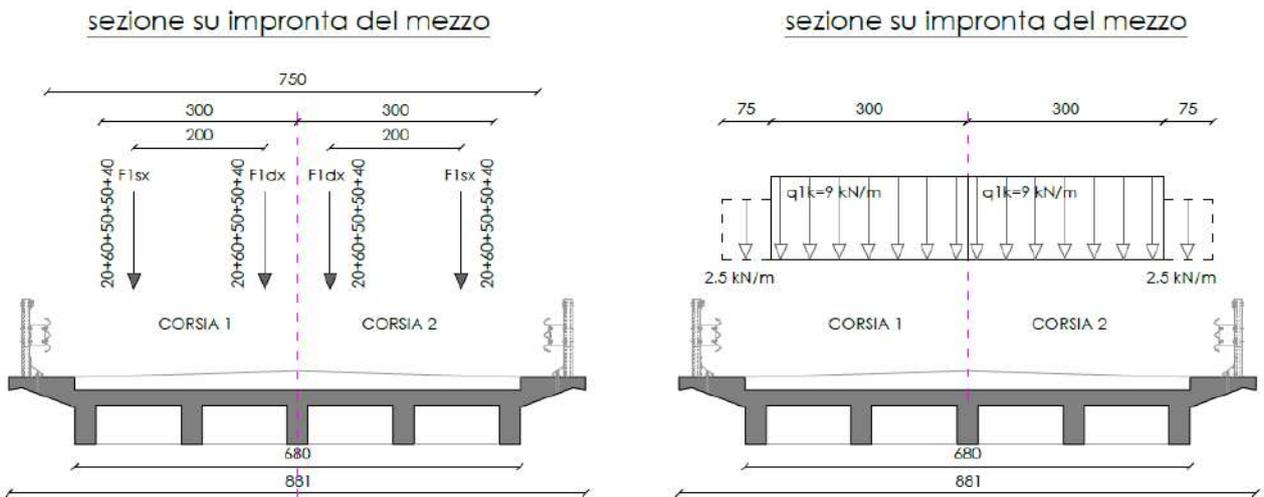
2.5 kN/m<sup>2</sup>

AREA RIMANENTE 



PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

**SCHEMA CdS MP-T7 Massimizzazione M trasverso**



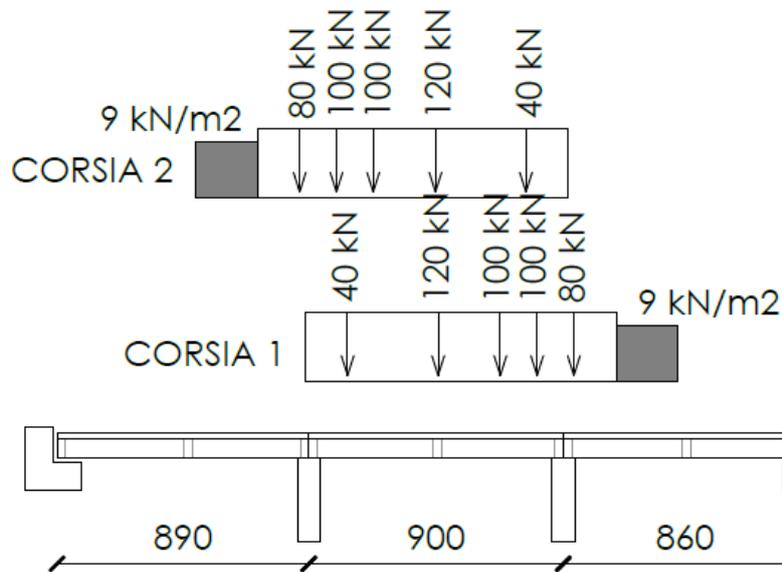
2.5 kN/m<sup>2</sup>

AREA RIMANENTE



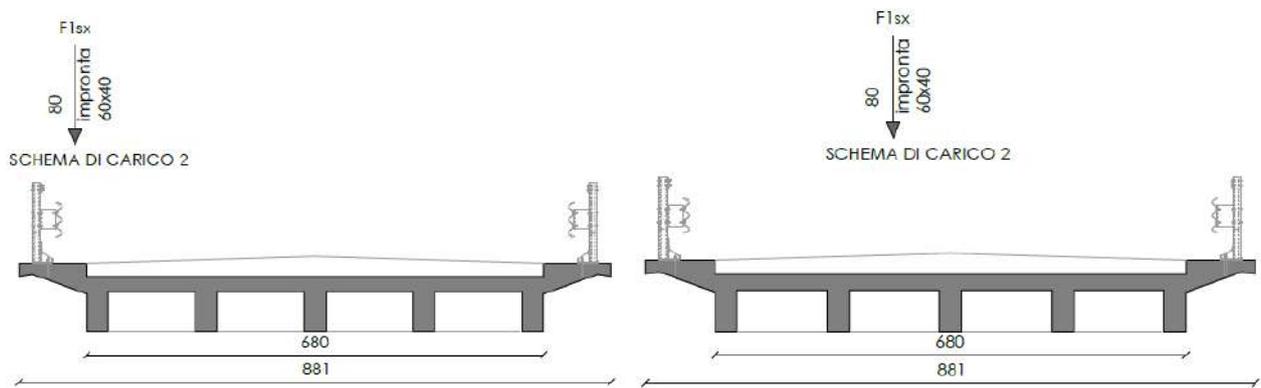
2.5 kN/m<sup>2</sup>

AREA RIMANENTE

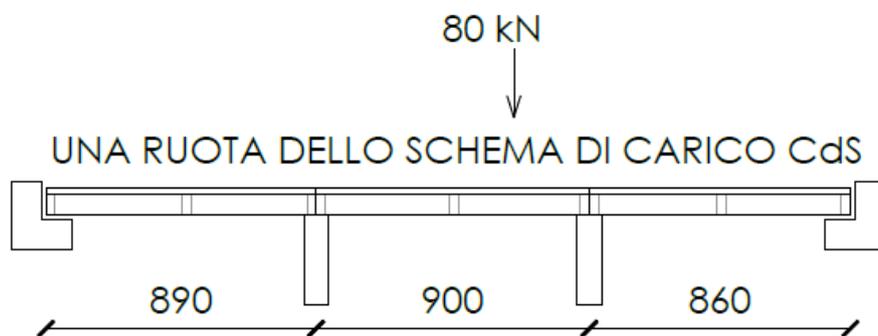


PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

## SCHEMA CdS MP-T8 Massimizzazione M/V Soletta



SEZIONE TRASVERSALE TIPO



PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

### 10.4.4.2 Azione di frenamento – q3

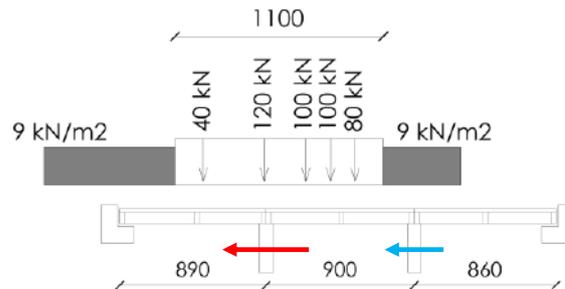
#### CALCOLO CARICO FRENATA PER PILE - q3p

La forza di frenamento o di accelerazione  $q_3$  è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 (2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN} \quad [5.1.4]$$

essendo  $w_1$  la larghezza della corsia e  $L$  la lunghezza della zona caricata. La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.

#### COMBINAZIONE CONSIDERATA



<b>Q1k</b>	220 kN		
<b>q1k</b>	9 kN/m	<b>q3p,tot =</b>	<b>312.33 kN</b>
<b>L</b>	17.9 m	<b>q3p,pila max =</b>	<b>156.165 kN</b>
<b>w1</b>	3 m	<b>q3p,pila min =</b>	<b>78.0825 kN</b>

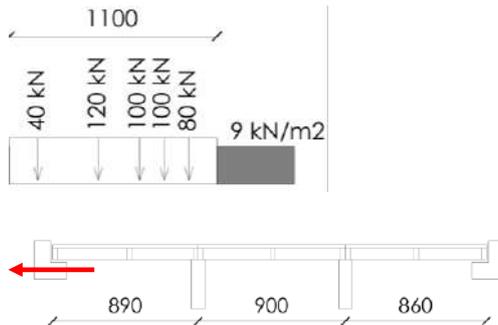
#### CALCOLO CARICO FRENATA PER SPALLE - q3s

La forza di frenamento o di accelerazione  $q_3$  è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 (2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN} \quad [5.1.4]$$

essendo  $w_1$  la larghezza della corsia e  $L$  la lunghezza della zona caricata. La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.

#### COMBINAZIONE CONSIDERATA

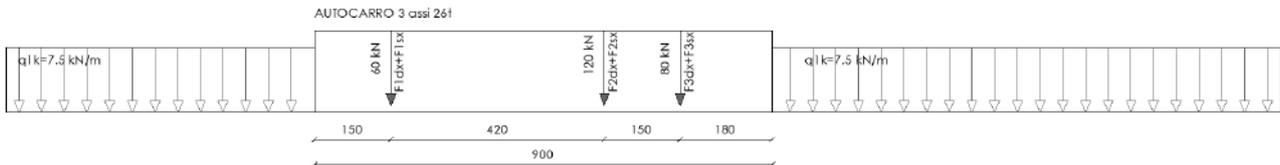


<b>Q1k</b>	220 kN		
<b>q1k</b>	9 kN/m	<b>q3s,tot =</b>	<b>288.03 kN</b>
<b>L</b>	8.9 m	<b>q3s,spalla =</b>	<b>144.015 kN</b>
<b>w1</b>	3 m		

## 10.4.5 Carichi per Verifica di Transitabilità (tref=5 anni) – Codice della Strada – Mezzi intermedi(26t)

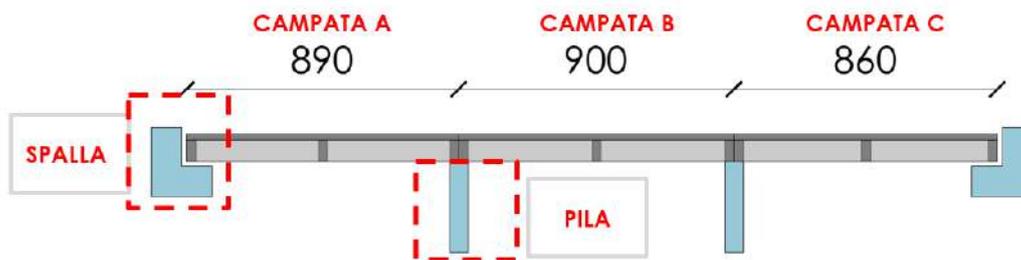
### 10.4.5.1 Carichi Mobili

Le Linee Guida danno una definizione di Mezzi Intermedi (26t) mediante la seguente stilata di carichi, applicata per ciascuna corsia di marcia ed anche con contemporaneità.



Le condizioni di carico adottate sono volte a massimizzare i seguenti meccanismi:

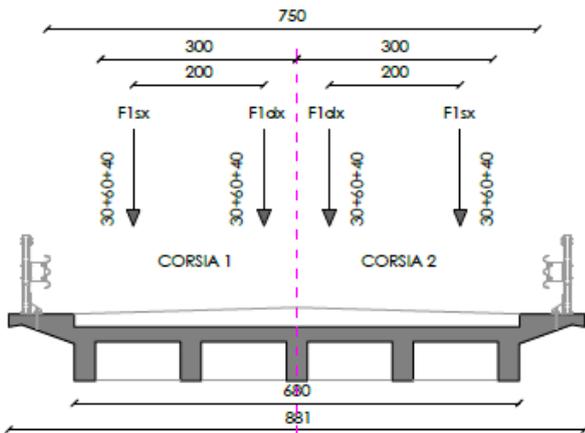
- CdSMI-T1 *Traffico: Massimizzazione M+ campata B*
- CdSMI-T2 *Traffico: Massimizzazione M+ campata B*
- CdSMI-T6 *Traffico: Massimizzazione N Spalla*
- CdSMI-T7 *Traffico: Massimizzazione M trasverso*
- CdSMI-T8 *Traffico: Massimizzazione M/V soletta*



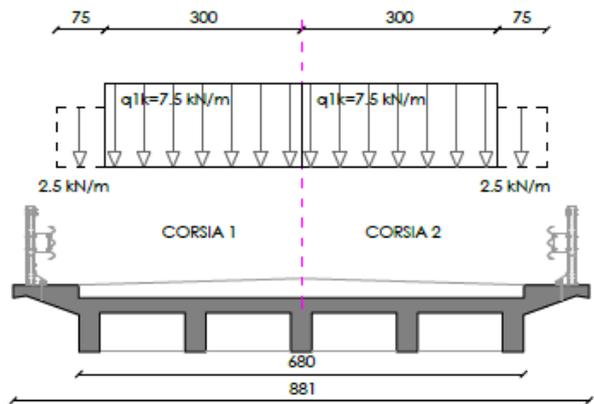
Le posizioni dei carichi mobili per ottenere le massime sollecitazioni sono riportate nelle figure seguenti.

**SCHEMA CdS MI-T1 Massimizzazione M+ campata B**

sezione su impronta del mezzo



sezione su impronta del mezzo



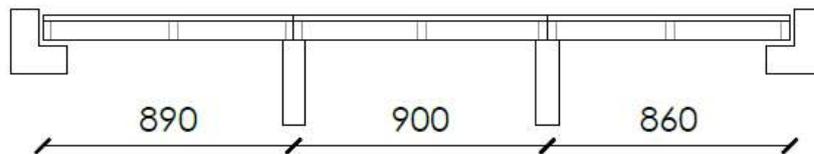
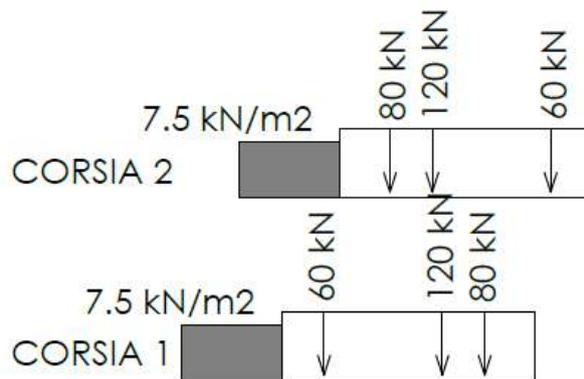
2.5 kN/m<sup>2</sup>

AREA RIMANENTE



2.5 kN/m<sup>2</sup>

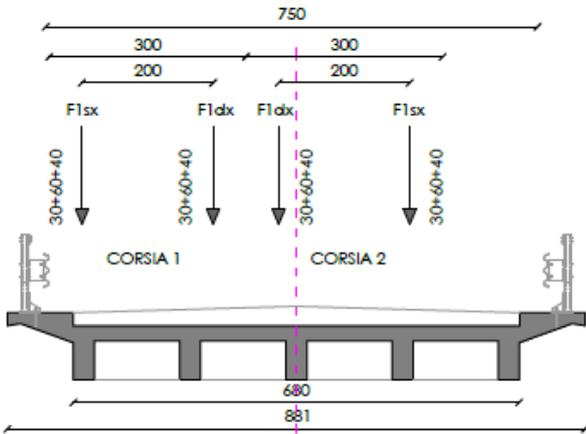
AREA RIMANENTE



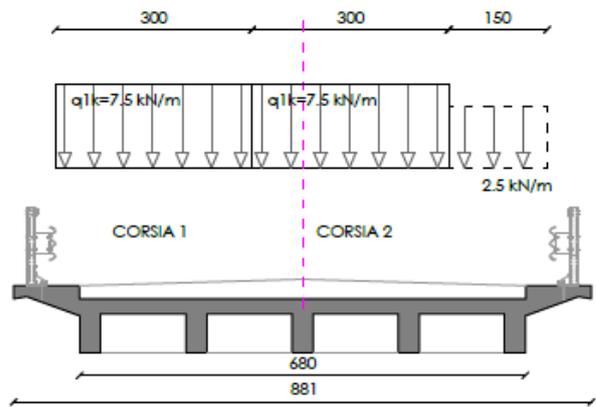
PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

**SCHEMA CdS MI-T2 Massimizzazione M+ campata B**

sezione su impronta del mezzo



sezione su impronta del mezzo



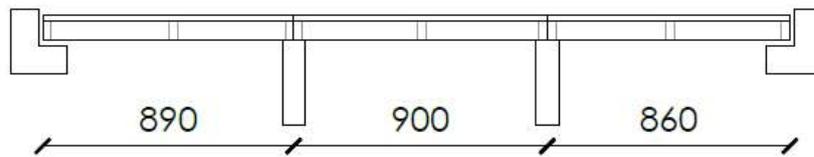
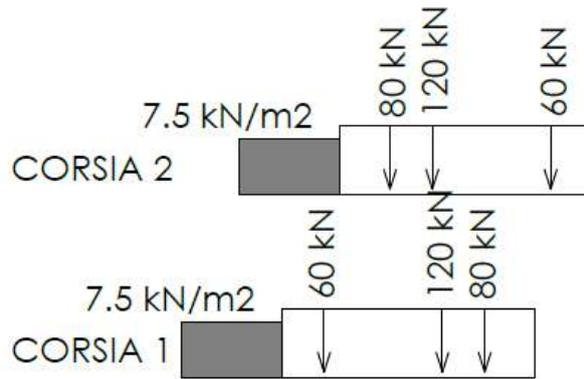
2.5 kN/m<sup>2</sup>

AREA RIMANENTE



2.5 kN/m<sup>2</sup>

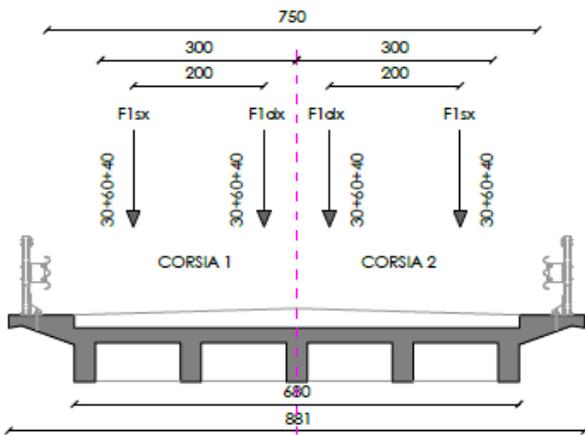
AREA RIMANENTE



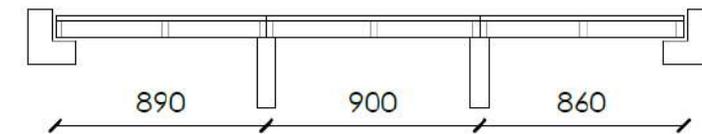
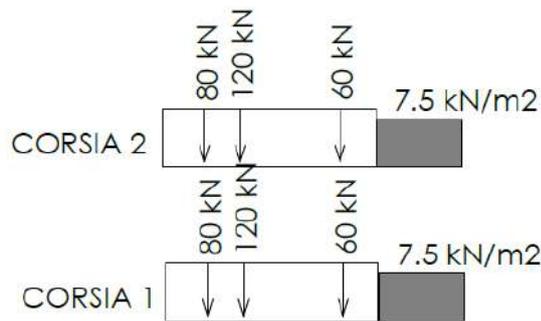
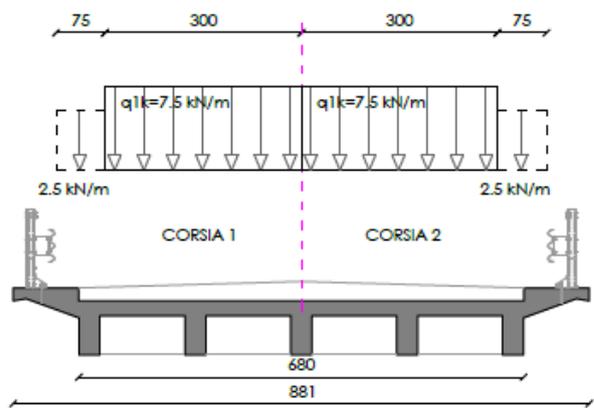
PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

# SCHEMA CdS MI-T6 Massimizzazione N Spalla

sezione su impronta del mezzo

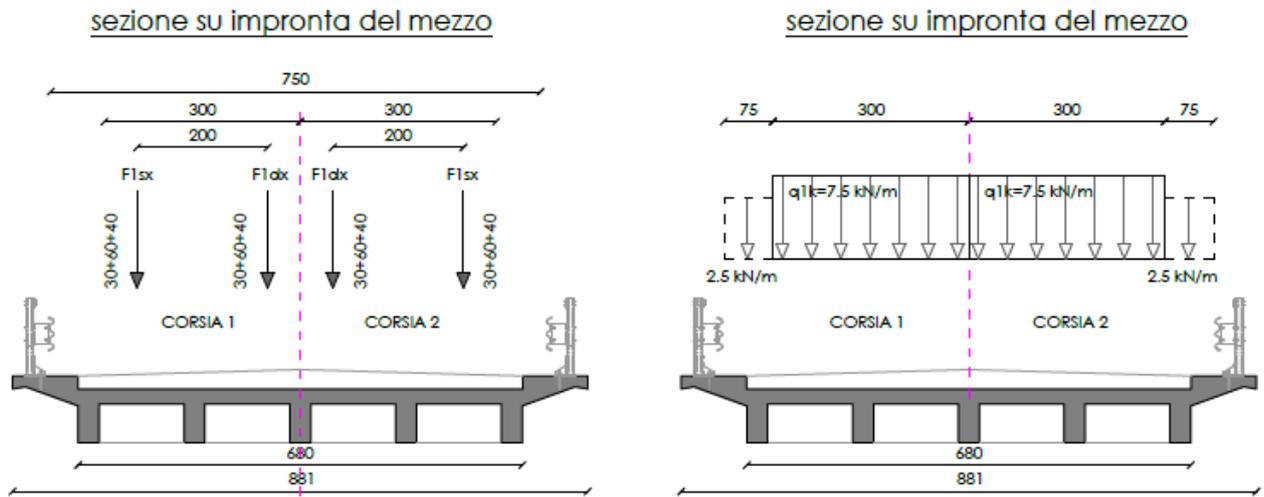


sezione su impronta del mezzo

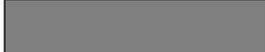


PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

**SCHEMA CdS MI-T7 Massimizzazione M trasverso**

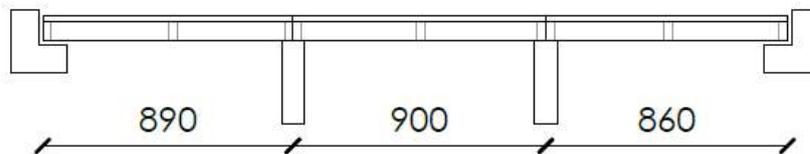
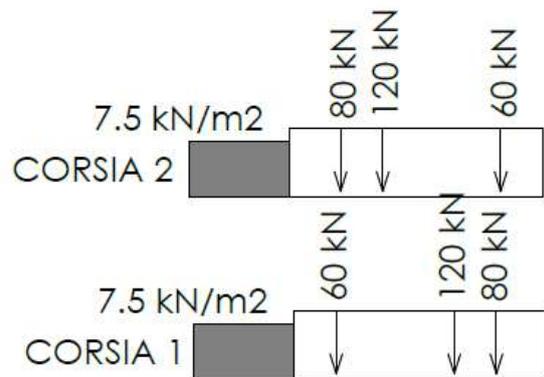


2.5 kN/m<sup>2</sup>

AREA RIMANENTE 

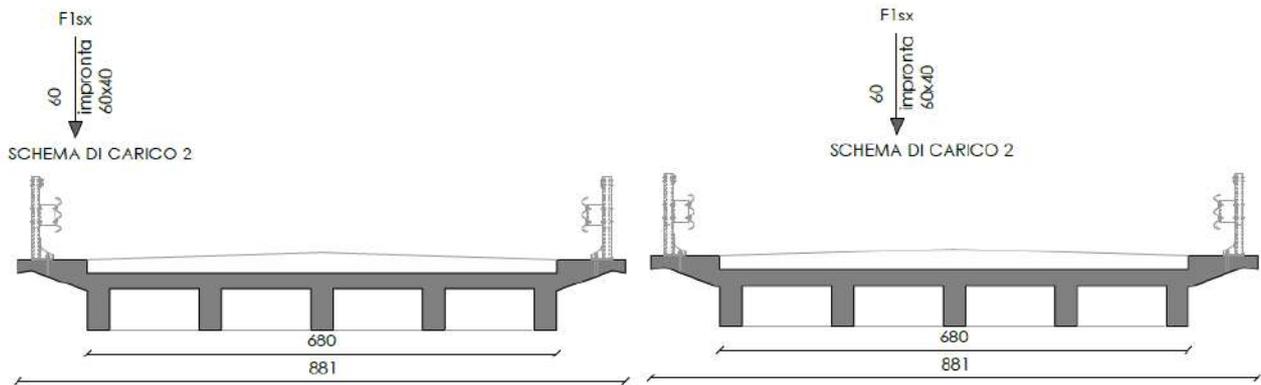
2.5 kN/m<sup>2</sup>

AREA RIMANENTE 

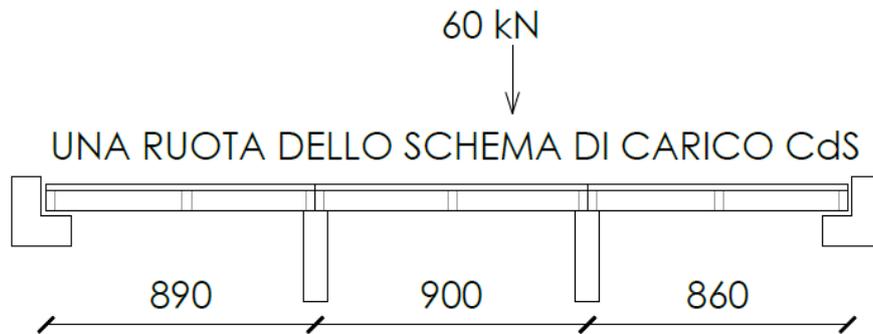


PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

## SCHEMA CdS MI-T8 Massimizzazione M/V Soletta



SEZIONE TRASVERSALE TIPO



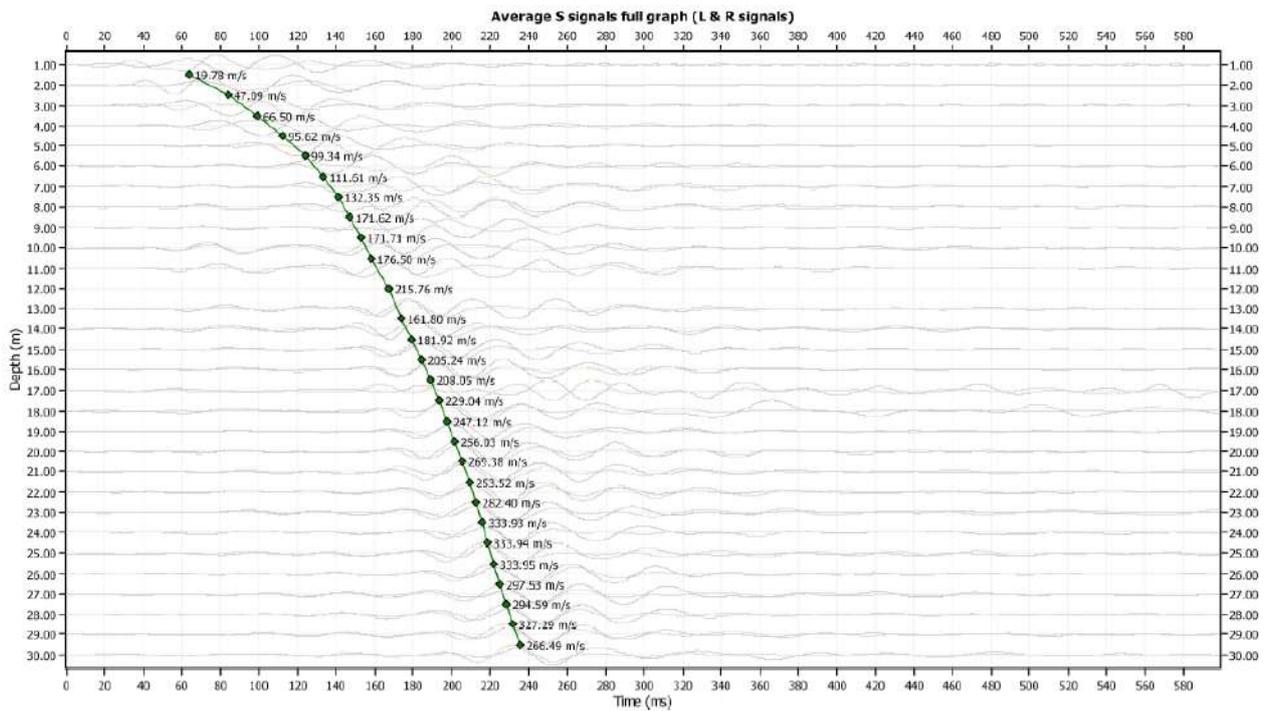
PROSPETTO LONGITUDINALE IMPALCATO

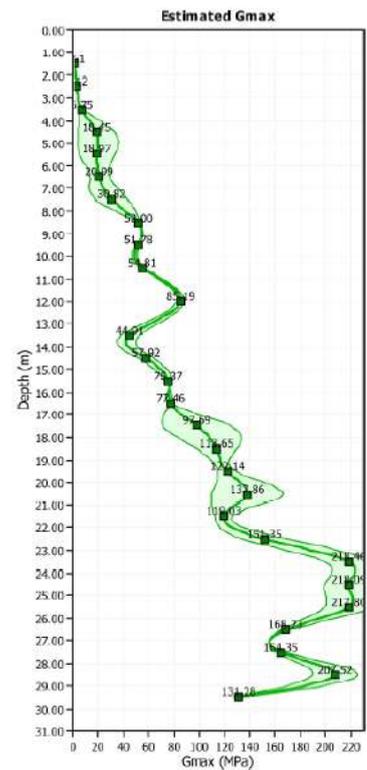
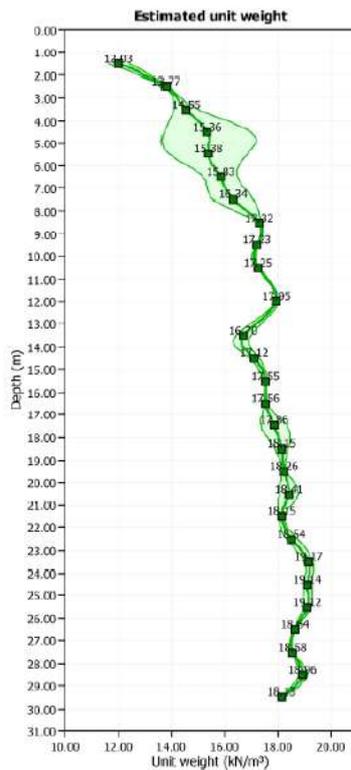
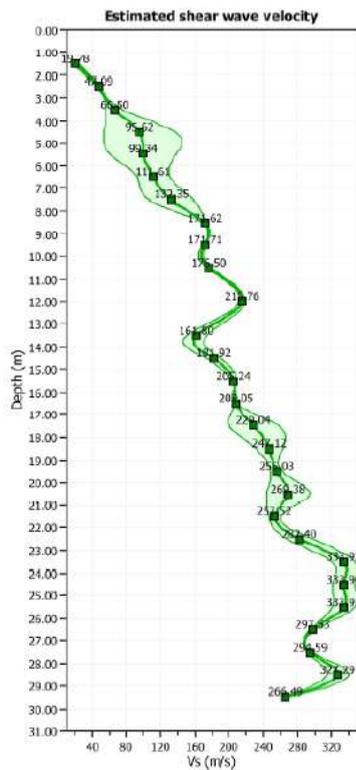
## 10.5 Azione Sismica

### 10.5.1 Sito di riferimento

Secondo indagini HVSR condotte sul sito in oggetto si sono rilevate le seguenti caratteristiche dinamiche del suolo:

Borehole ID: SP59-ID020





## SP59-ID020

### Pick points information

#### 1st Calculation point

Signal depth: 1.010 m

Time: 63.20 ms

#### 2nd Calculation point

Signal depth: 30.010 m

Time: 235.00 ms

 Calculate

Estimated Vs: 167.88 m/s  
Delta t: 171.80 ms

Categoria di sottosuolo: **D**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

### 10.5.2 Vita nominale di progetto

Secondo il D.M. 17/01/18 la struttura rientra nella tipologia di costruzione n. 2 con livelli di prestazione ordinari. Tali costruzioni hanno una vita nominale di progetto **VN = 50 anni**.

**Tabella 2.4.1** – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere

Tipi di costruzione		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

### 10.5.3 Classe d'uso

Trattandosi di una costruzione in cui si prevedono affollamenti significativi, l'edificio rientra nella **IV classe d'uso (CU = 2)**.

<i>Classe I:</i>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<i>Classe II:</i>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in <i>Classe d'uso III</i> o in <i>Classe d'uso IV</i> , reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III:</i>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in <i>Classe d'uso IV</i> . Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV:</i>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

#### 10.5.4 Periodo di riferimento dell'azione sismica

Secondo quanto prescritto dalle NTC, la vita di riferimento viene calcolata come prodotto della vita nominale (VN) e del coefficiente d'uso (CU), legato alla classe d'uso.

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 2 = 100 \text{ anni.}$$

Noti tutti i dati necessari per la definizione della pericolosità sismica, ivi comprese anche le probabilità di superamento, è possibile determinare i periodi di ritorno per gli stati limite di riferimento, utilizzando l'espressione seguente:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Di seguito si riportano le probabilità di superamento per gli stati limite di esercizio e ultimi.

Stati Limite	<b>P<sub>VR</sub>: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V<sub>R</sub></b>	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

#### 10.5.5 Fattore di Comportamento

Si adotta per la struttura in esame un comportamento non dissipativo con **fattore di comportamento pari a q=1.5**.

## 10.5.6 Spettri di risposta elastici e di Progetto

Si riportano gli spettri elastici in accelerazione i quali tengono conto, oltre che della località, anche della tipologia di terreno e delle caratteristiche topografiche del sito, ma per essere applicati alla struttura saranno trasformati in spettri di progetto, i quali terranno conto della tipologia strutturale, del fattore di struttura, della regolarità in pianta ed in altezza.

Si riportano nel seguito gli spettri impiegati:

<u>10.5.6.1.1.1 Categoria Suolo</u>	<u>10.5.6.1.1.2 D</u>
<u>10.5.6.1.1.3 Categoria Topografica</u>	<u>10.5.6.1.1.4 T1</u>
<u>10.5.6.1.1.5 Classe d'Uso</u>	<u>10.5.6.1.1.6 IV</u>
<u>10.5.6.1.1.7 Vita Nominale - Vn</u>	<u>10.5.6.1.1.8 50 anni</u>
<u>10.5.6.1.1.9 Periodo di Riferimento – Vr</u>	<u>10.5.6.1.1.10 100 anni</u>
<u>10.5.6.1.1.11 Classe di Duttilità della Struttura</u>	<u>10.5.6.1.1.12 Non dissipativa</u>
<u>10.5.6.1.1.13 Fattore di Comportamento (SLV) *</u>	<u>10.5.6.1.1.14 1,5</u>

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	60	0.043	2.575	0.272
SLD	101	0.054	2.525	0.306
SLV	949	0.125	2.590	0.398
SLC	1950	0.156	2.646	0.416

## FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

### Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** ▼ info

### Risposta sismica

Categoria di sottosuolo **D** ▼ info

$S_s =$  1.800

$C_c =$  1.982 info

Categoria topografica **T1** ▼ info

$h/H =$  1.000

$S_T =$  1.000 info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

### Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento  $\xi$  (%) 28.19

$\eta =$  0.550 info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore  $q_e$  1.5

Regol. in altezza **si** ▼ info

### Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore  $q$  1.5

$\eta =$  0.667 info

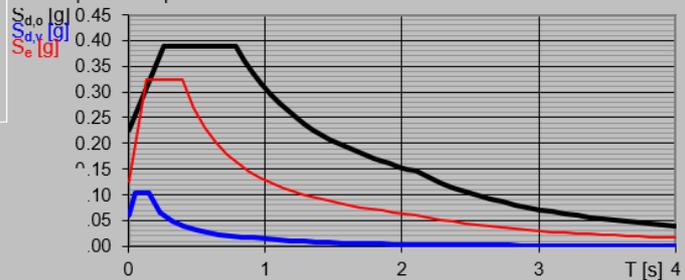
### Elaborazioni

Grafici spettri di risposta ▶▶

Parametri e punti spettri di risposta ▶▶

-  Spettro di progetto - componente orizzontale
-  Spettro di progetto - componente verticale
-  Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

### Spettri di risposta



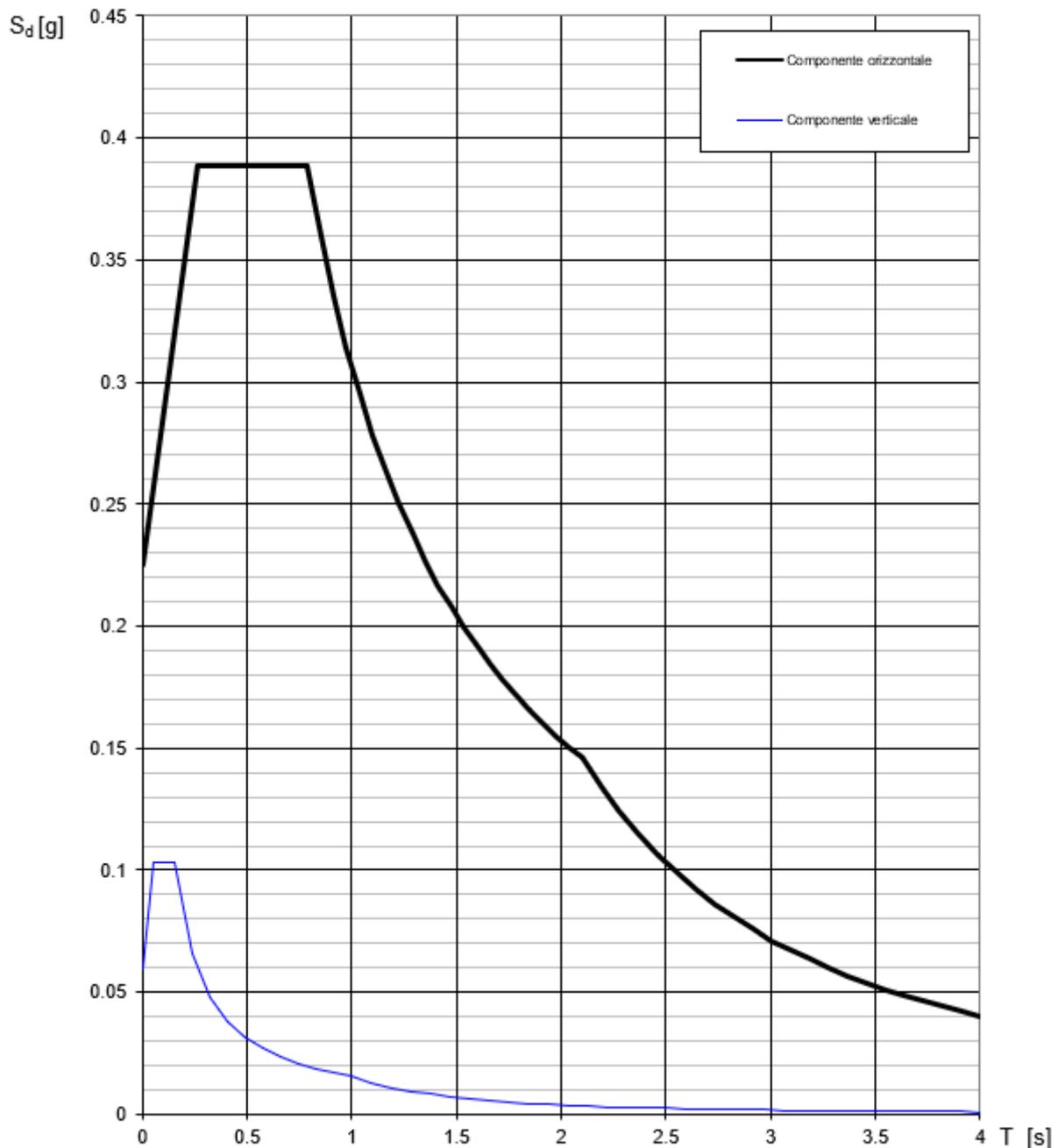
INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

## Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



## 11 COMBINAZIONI DI CARICO E COEFFICIENTI SU CARICHI E MATERIALI

Il metodo utilizzato per la verifica degli elementi strutturali è il metodo semiprobabilistico agli stati limite, secondo quanto espresso nelle NTC18 al §2.5.3.

Combinazione agli SLU:

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

Combinazione rara agli SLE:

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

Combinazione frequente agli SLE:

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

Combinazione quasi permanente agli SLE:

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

Combinazione per azione sismica:

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

## 11.1 Coefficienti sui carichi da NTC18

I coefficienti di combinazione sono espressi al cap. 5 delle NTC18 e riportati nelle seguenti tabelle:

Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU <sup>1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_3$	favorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G3}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>2)</sup> $g_2$	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qe}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{d1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>3)</sup>	1,00 <sup>4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

<sup>1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

<sup>2)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>4)</sup> 1,20 per effetti locali

Tab. 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\Psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\Psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\Psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Per le opere di luce maggiore di 300 m è possibile modificare i coefficienti indicati in tabella previa autorizzazione del Servizio tecnico centrale del Consiglio superiore dei lavori pubblici, sentito lo stesso Consiglio.

## 11.2 Coefficienti sui carichi e materiali secondo Linee Guida

Le linee guida definiscono una serie di coefficienti che hanno dipendenza con la tipologia di controllo effettuato relativamente ai carichi permanenti e permanenti non strutturali, e dipendenza dalla tipologia di controllo dei mezzi che hanno accesso al transito sul manufatto relativamente ai carichi da traffico per le verifiche di transitabilità.

Per il caso in esame si ritiene, a seguito di opportune valutazioni, di adottare i criteri per quanto riguarda i carichi:

Operatività e Transitabilità NTC

**CONTROLLO ACCURATO:** per i carichi permanenti ( $\gamma G1=1.16$ )

**CONTROLLO STANDARD:** per i carichi permanenti portati ( $\gamma G2=1.26$ )

**TRAFFICO:** per i carichi da traffico secondo NTC ( $\gamma q=1.2$ )

Transitabilità da Codice della Strada

**CONTROLLO ACCURATO:** per i carichi permanenti ( $\gamma G1=1.16$ )

**CONTROLLO STANDARD:** per i carichi permanenti portati ( $\gamma G2=1.26$ )

**CdS LIVELLO 1:** per i carichi da traffico nelle verifiche di transitabilità da Codice della Strada ( $\gamma C d S=1.6$ )

Per quanto riguarda invece i coefficienti riduttivi per i materiali:

Operatività e Transitabilità

**CALCESTRUZZO:**  $\gamma_c=1.26$

**BARRE D'ARMATURA:**  $\gamma_c=1.1$

Si riporta di seguito la nomenclatura dei carichi e le combinazioni per le due Normative in esame.

<b>G</b>	DL	<i>Peso proprio delle strutture modellate</i>
	DL non mod	<i>Peso propri delle strutture non modellate</i>
	G1 traversi	<i>Peso proprio dei traversi intermedi</i>
	G2 manto	<i>Finiture del piano stradale</i>
	G2 cordoli	<i>Peso proprio cordoli e barriera stradale</i>

### 11.3 Combinazioni Verifiche di Adeguatezza – NTC18

<b>Q</b>	NTC18-q5 orizz	<i>Carichi da vento verticali agenti sull'impalcato</i>
	NTC18-q5 vertic	<i>Carichi da vento orizzontali agenti sull'impalcato</i>
<b>q1 Traffico</b>	NTC18-q3	<i>Carichi da accelerazione/frenata</i>
	NTC18-T1	<i>Traffico: Massimizzazione M+ campata B</i>
	NTC18-T2	<i>Traffico: Massimizzazione M+ campata B</i>
	NTC18-T3	<i>Traffico: Massimizzazione V campata B</i>
	NTC18-T4	<i>Traffico: Massimizzazione V campata B</i>
	NTC18-T5	<i>Traffico: Massimizzazione N Pila</i>
	NTC18-T6	<i>Traffico: Massimizzazione N Spalla</i>
	NTC18-T7	<i>Traffico: Massimizzazione M traverso</i>
	NTC18-T8	<i>Traffico: Massimizzazione M/V soletta</i>

	DL	G2	T1 (UDL)	T1 (tandem)	T2 (UDL)	T2 (tandem)	T3 (UDL)	T3 (tandem)	T4 (UDL)	T4 (tandem)
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
<b>SLU 1</b>	1.25	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 2</b>	1.25	1.35	0	0	1.35	1.35	0	0	0	0
<b>SLU 3</b>	1.25	1.35	0	0	0	0	1.35	1.35	0	0
<b>SLU 4</b>	1.25	1.35	0	0	0	0	0	0	1.35	1.35
<b>SLU 5</b>	1.25	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 6</b>	1.25	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 7</b>	1.25	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 8</b>	1.25	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 9</b>	1.25	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 10</b>	1.25	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0

	T5 (UDL)	T5 (tandem)	T6 (UDL)	T6 (tandem)	T7 (UDL)	T7 (tandem)	T8 (UDL)	T8 (tandem)
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
<b>SLU 1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 2</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 3</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 5</b>	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 6</b>	0	0	1.35	1.35	0	0	0	0
<b>SLU 7</b>	0	0	0	0	1.35	1.35	0	0
<b>SLU 8</b>	0	0	0	0	0	0	1.35	1.35
<b>SLU 9</b>	1.0125	1.0125	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 10</b>	1.0125	1.0125	0	0	0	0	0	0

		q3	q5	EX	EY
		coeff. coeff.			
SLU 1	1	0	0	/	/
SLU 2	2	0	0	/	/
SLU 3	3	0	0	/	/
SLU 4	4	0	0	/	/
SLU 5	5	0	0	/	/
SLU 6	6	0	0	/	/
SLU 7	7	0	0	/	/
SLU 8	8	0	0	/	/
SLU 9	9	0	1.5	/	/
SLU 10	10	1.35	0	/	/

Sisma applicato mediante dinamica modale utilizzando le otto classiche combinazioni X ed Y (100%:30%, -100%:30%, -100%:-30, 100%:-30%, 30%:100%, -30%:100%, -30%:-100%, 30%:-100%).

	DL	G2	TRAFFICO	q3	q5	EX	EY	
	coeff.coeff.		coeff.	coeff.	coeff.			
SLV 1	1	1	1	0	0	0	1	0.3
SLV 2	1	1	1	0	0	0	1	-0.3
SLV 3	1	1	1	0	0	0	-1	0.3
SLV 4	1	1	1	0	0	0	-1	-0.3
SLV 5	1	1	1	0	0	0	0.3	1
SLV 6	1	1	1	0	0	0	-0.3	1
SLV 7	1	1	1	0	0	0	0.3	-1
SLV 8	1	1	1	0	0	0	-0.3	-1

I carichi da traffico sono stati posti con coefficiente nullo in combinazione sismica, in accordo con il capitolo 5.1.3.12 delle NTC18.

## 11.4 Combinazioni Verifiche di Operatività – NTC18

<b>Q</b>	NTC18-q5 orizz	Carichi da vento verticali agenti sull'impalcato
	NTC18-q5 vertic	Carichi da vento orizzontali agenti sull'impalcato
<b>q1 Traffico</b>	NTC18-q3	Carichi da accelerazione/frenata
	NTC18-T1	Traffico: Massimizzazione M+ campata B
	NTC18-T2	Traffico: Massimizzazione M+ campata B
	NTC18-T3	Traffico: Massimizzazione V campata B
	NTC18-T4	Traffico: Massimizzazione V campata B
	NTC18-T5	Traffico: Massimizzazione N Pila
	NTC18-T6	Traffico: Massimizzazione N Spalla
	NTC18-T7	Traffico: Massimizzazione M trasverso
	NTC18-T8	Traffico: Massimizzazione M/V soletta

	<b>DL</b>	<b>G2</b>	<b>T1 (UDL)</b>	<b>T1 (tandem)</b>	<b>T2 (UDL)</b>	<b>T2 (tandem)</b>	<b>T3 (UDL)</b>	<b>T3 (tandem)</b>	<b>T4 (UDL)</b>	<b>T4 (tandem)</b>
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
<b>SLU 1</b>	1.16	1.26	1.2	1.2	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 2</b>	1.16	1.26	0	0	1.2	1.2	0	0	0	0
<b>SLU 3</b>	1.16	1.26	0	0	0	0	1.2	1.2	0	0
<b>SLU 4</b>	1.16	1.26	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2
<b>SLU 5</b>	1.16	1.26	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 6</b>	1.16	1.26	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 7</b>	1.16	1.26	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 8</b>	1.16	1.26	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 9</b>	1.16	1.26	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 10</b>	1.16	1.26	0	0	0	0	0	0	0	0

	<b>T5 (UDL)</b>	<b>T5 (tandem)</b>	<b>T6 (UDL)</b>	<b>T6 (tandem)</b>	<b>T7 (UDL)</b>	<b>T7 (tandem)</b>	<b>T8 (UDL)</b>	<b>T8 (tandem)</b>
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
<b>SLU 1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 2</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 3</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 5</b>	1.2	1.2	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 6</b>	0	0	1.2	1.2	0	0	0	0
<b>SLU 7</b>	0	0	0	0	1.2	1.2	0	0
<b>SLU 8</b>	0	0	0	0	0	0	1.2	1.35
<b>SLU 9</b>	0.9	0.48	0	0	0	0	0	0
<b>SLU 10</b>	0.9	0.48	0	0	0	0	0	0

	<b>q3</b>	<b>q5</b>	<b>EX</b>	<b>EY</b>
	coeff.	coeff.		
<b>SLU 1</b>	0	0	/	/
<b>SLU 2</b>	0	0	/	/
<b>SLU 3</b>	0	0	/	/
<b>SLU 4</b>	0	0	/	/
<b>SLU 5</b>	0	0	/	/
<b>SLU 6</b>	0	0	/	/
<b>SLU 7</b>	0	0	/	/
<b>SLU 8</b>	0	0	/	/
<b>SLU 9</b>	0	1.5	/	/
<b>SLU 10</b>	1.2	0	/	/

## 11.5 Combinazioni Verifiche di Transitabilità CdS – Mezzi Pesanti (44t)

<b>q1 Traffico</b>	CdSMP-T1	Traffico: Massimizzazione M+ campata B
	CdSMP-T2	Traffico: Massimizzazione M+ campata B
	CdSMP-T6	Traffico: Massimizzazione N Spalla
	CdSMP-T7	Traffico: Massimizzazione M traverso
	CdSMP-T8	Traffico: Massimizzazione M/V soletta

	DL	G2	T1 (UDL)	T1 (tandem)	T2 (UDL)	T2 (tandem)	T6 (UDL)	T6 (tandem)	T7 (UDL)	T7 (tandem)
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
<b>SLU 1</b>	1	1.16	1.26	1.6	1.6	0	0	0	0	0
<b>SLU 2</b>	2	1.16	1.26	0	0	1.6	1.6	0	0	0
<b>SLU 6</b>	6	1.16	1.26	0	0	0	0	1.6	1.6	0
<b>SLU 7</b>	7	1.16	1.26	0	0	0	0	0	1.6	1.6
<b>SLU 8</b>	8	1.16	1.26	0	0	0	0	0	0	0

	T8 (UDL)	T8 (tandem)	EX	EY	
	coeff.	coeff.			
<b>SLU 1</b>	1	0	0	/	/
<b>SLU 2</b>	2	0	0	/	/
<b>SLU 6</b>	6	0	0	/	/
<b>SLU 7</b>	7	0	0	/	/
<b>SLU 8</b>	8	1.6	1.6	/	/

## 11.6 Combinazioni Verifiche di Transitabilità CdS – Mezzi Intermedi (26t)

<b>q1 Traffico</b>	CdSMI-T1	Traffico: Massimizzazione M+ campata B
	CdSMI-T2	Traffico: Massimizzazione M+ campata B
	CdSMI-T6	Traffico: Massimizzazione N Spalla
	CdSMI-T7	Traffico: Massimizzazione M traverso
	CdSMI-T8	Traffico: Massimizzazione M/V soletta

	DL	G2	T1 (UDL)	T1 (tandem)	T2 (UDL)	T2 (tandem)	T6 (UDL)	T6 (tandem)	T7 (UDL)	T7 (tandem)
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
<b>SLU 1</b>	1	1.16	1.26	1.6	1.6	0	0	0	0	0
<b>SLU 2</b>	2	1.16	1.26	0	0	1.6	1.6	0	0	0
<b>SLU 6</b>	6	1.16	1.26	0	0	0	0	1.6	1.6	0
<b>SLU 7</b>	7	1.16	1.26	0	0	0	0	0	1.6	1.6
<b>SLU 8</b>	8	1.16	1.26	0	0	0	0	0	0	0

		T8 (UDL)	T8 (tandem)	EX	EY
		coeff.	coeff.		
SLU	1	0	0	/	/
SLU	2	0	0	/	/
SLU	6	0	0	/	/
SLU	7	0	0	/	/
SLU	8	1.6	1.6	/	/

## 12 MODELLAZIONE E CRITERI DI VERIFICA

### 12.1 Tipo di analisi svolta

Le analisi sono svolte sia per gli impalcati sia per le pile. Il presente studio verifica la resistenza della struttura ai carichi statici dovuti al traffico veicolare ed al sisma.

Le analisi strutturali utilizzate per lo studio dell'opera sono di tipo elastiche lineari statiche e dinamiche spettrali a spettro di risposta (fino ad eccitare almeno l'85% della massa in entrambe le direzioni orizzontali).

Per quanto riguarda le analisi sismiche, in accordo a §C8.8 di CNTC18 e §7.9 di NTC18, si utilizza in prima istanza un'analisi lineare dinamica a spettro di risposta con un fattore di comportamento pari a  $q = 1.5$  in entrambe le direzioni longitudinale e trasversale.

I metodi di verifica saranno condotti in accordo a §7.9 di NTC18.

### 12.2 Modello Tridimensionale mediante FEM

L'impalcato è modellato a graticcio, con travi principali modellate a beam mediante sezione a "T", tenendo quindi conto dell'effetto della soletta superiore nella rigidità dell'elemento. Nella direzione trasversale sono stati modellati elementi di larghezza pari ad 1 metro, i quali approssimano l'effetto di ripartizione trasversale dato dalla soletta soprastante; a questi ultimi è stato conferito un materiale con massa nulla, in quanto il loro peso è già conteggiato all'interno della trave principale modellata a "T". Le pile sono modellate con telai composti da beam, con geometria aderente a quanto riscontrato dal sopralluogo in situ, mentre per le spalle si sono utilizzate semplici condizioni di vincolo. Non essendo stati riscontrati elementi di appoggio, le travi principali sono state semplicemente connesse alle pile mediante vincoli rigidi in grado di bloccare le traslazioni ma mantenere libere le rotazioni in quanto, come già approfondito nei paragrafi precedenti, ogni campata è costituita da un indipendente schema statico in semplice appoggio.

In corrispondenza delle spalle il vincolo di appoggio è stato modellato mediante vincolo rigido verticale e supporto a molla orizzontale in grado di simulare l'effetto dell'attrito travi-spalla, così da meglio approssimare l'effetto di traslazione dell'impalcato in condizioni dinamiche e quindi rappresentare nel modo più coerente possibile lo scarico orizzontale in corrispondenza delle pile centrali.

Le fondazioni profonde non sono state modellate in quanto non sono noti i parametri del terreno sottostante, ma ciò è ininfluente nel presente contesto in quanto i vincoli ad incastro posti alla base risultano sufficienti a permettere l'estrazione delle sollecitazioni taglianti e verticali sul terreno, da mettere poi a confronto come richiesto dalla linea guida.

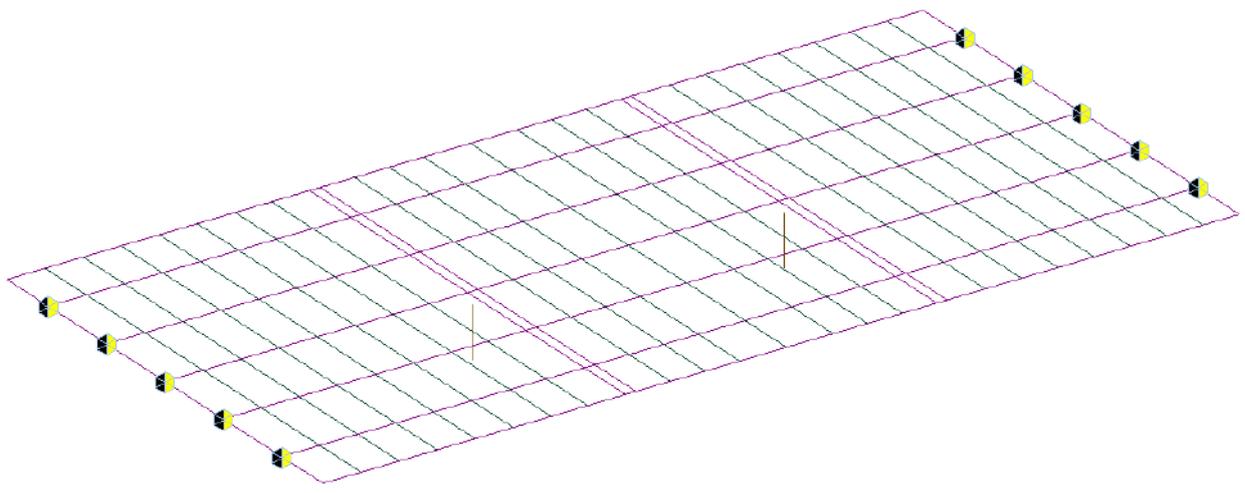
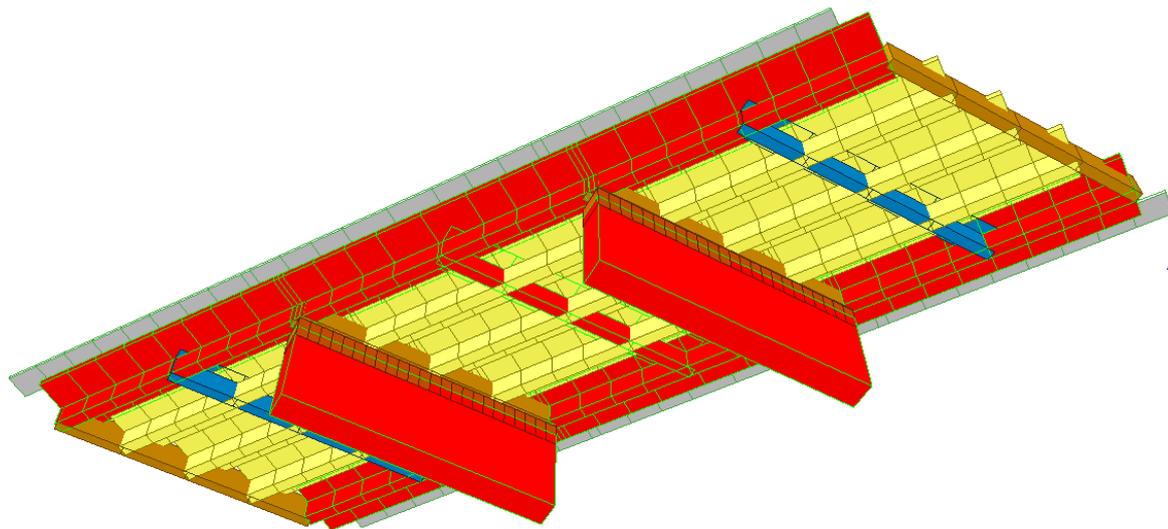


FIGURA 12-1: MODELLO FEM TRIDIMENSIONALE - VISTA INFERIORE

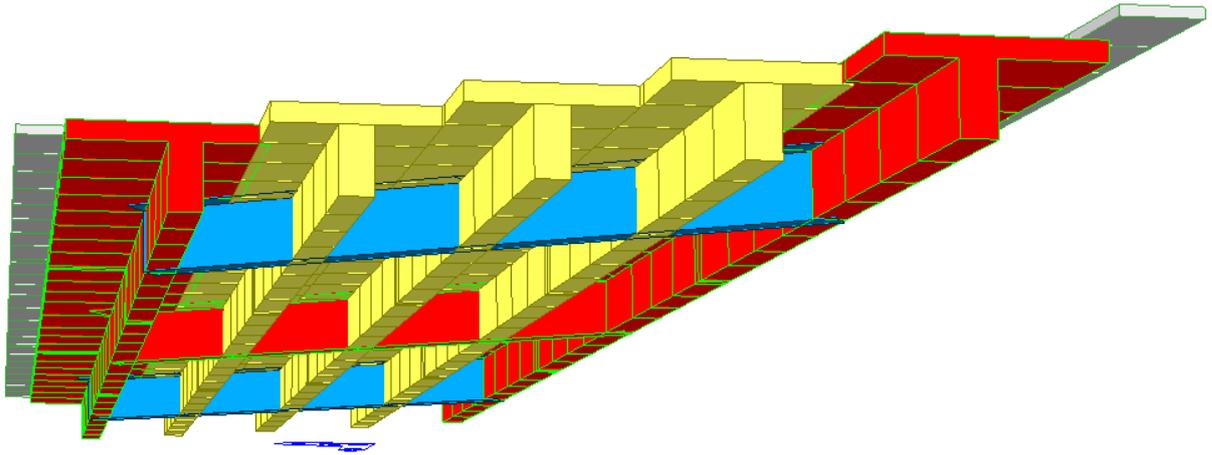


FIGURA 12-2: MODELLO FEM TRIDIMENSIONALE – TRAVI PRINCIPALI E RISPETTIVA PORZIONE DI SOLETTA COLLABORANTE

## 12.3 Modi naturali di vibrare della struttura

Mode	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	TRAN-X MASS(%)	TRAN-Y MASS(%)	ROTN-X MASS(%)	ROTN-Y MASS(%)
1	10.0214	<b>0.0998</b>	<b>70.8941</b>	18.4447	6.0429	25.6374
2	28.8303	0.0347	0.0695	1.361	0.1627	0.0225
3	32.1625	<b>0.0311</b>	12.0284	<b>59.162</b>	24.1606	3.8316
4	33.2583	0.0301	1.0023	3.8031	1.5373	0.3178
5	35.1371	0.0285	5.7841	2.6812	0.5913	1.8125
6	49.9341	0.02	0.0016	0.0036	0.0014	0
			<b>89.78</b>	<b>85.46</b>		

Si riportano le viste deformate della struttura relativamente ai n. 2 modi principali individuati dalla tabella di output sopra riportata.

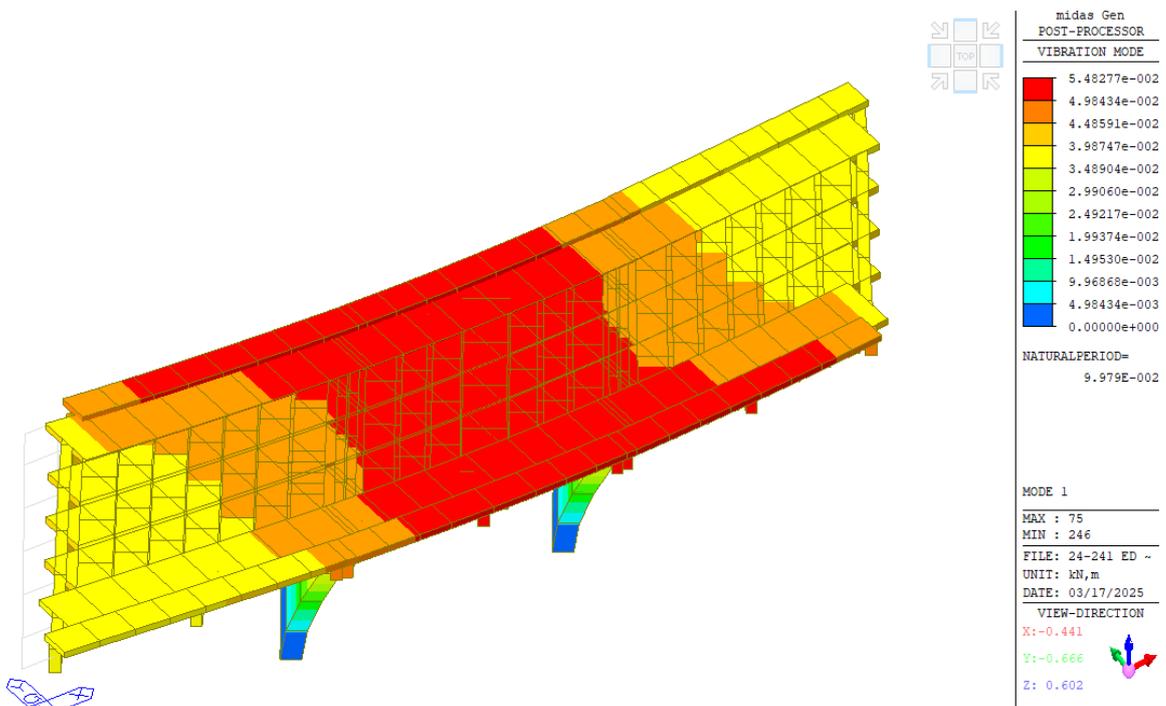


FIGURA 12-3: MODO PRINCIPALE DI VIBRARE N. 1

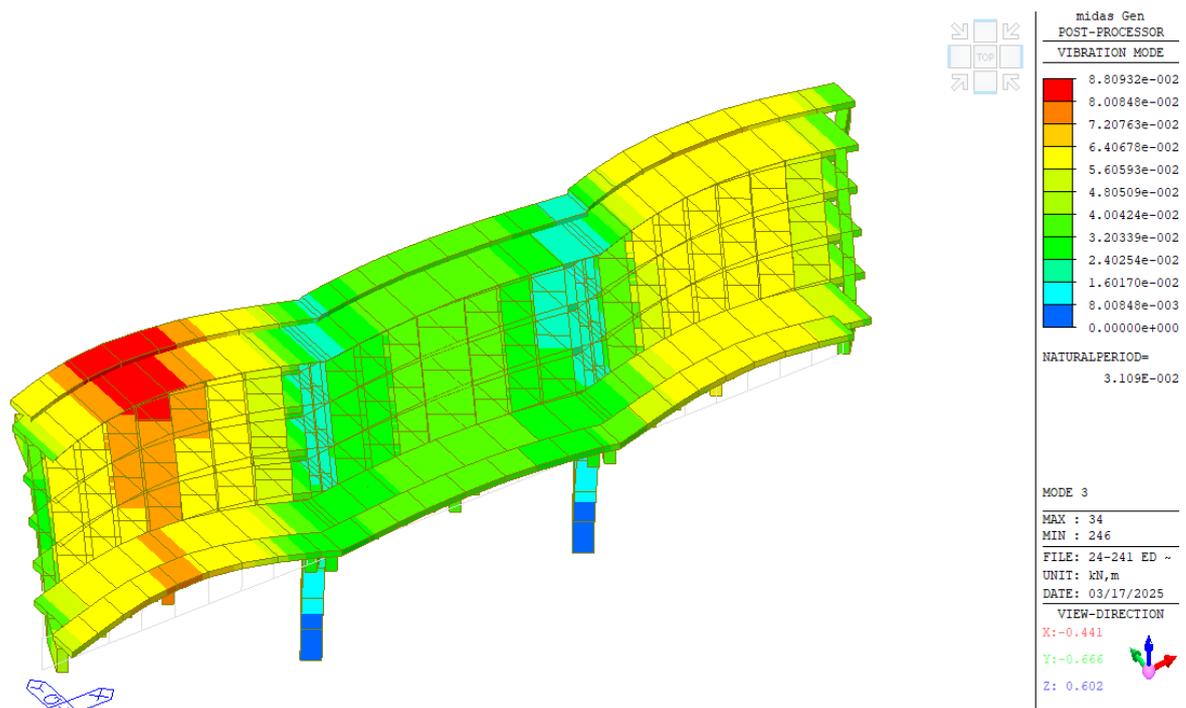


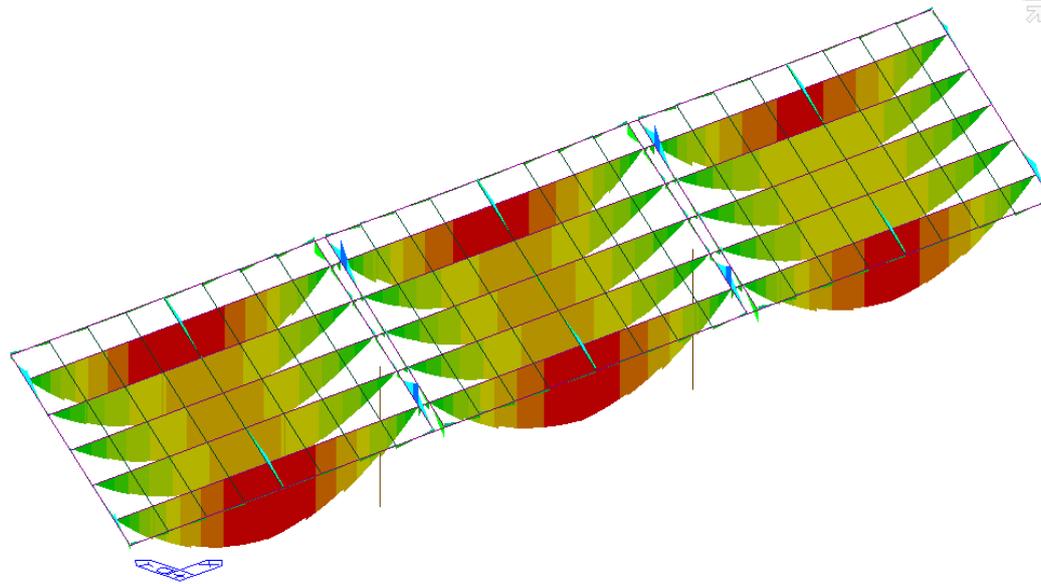
FIGURA 12-4: MODO PRINCIPALE DI VIBRARE N. 3

## 13 SOLLECITAZIONI CARATTERISTICHE

### 13.1 Sollecitazioni per Pesi Propri e Permanenti Portati

Si riportano i valori di sollecitazione flessionali e taglianti, per gli elementi trave e traverso, e gli sforzi normali per quanto riguarda pile e spalle:

#### 13.1.1 Peso Proprio Modellato



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

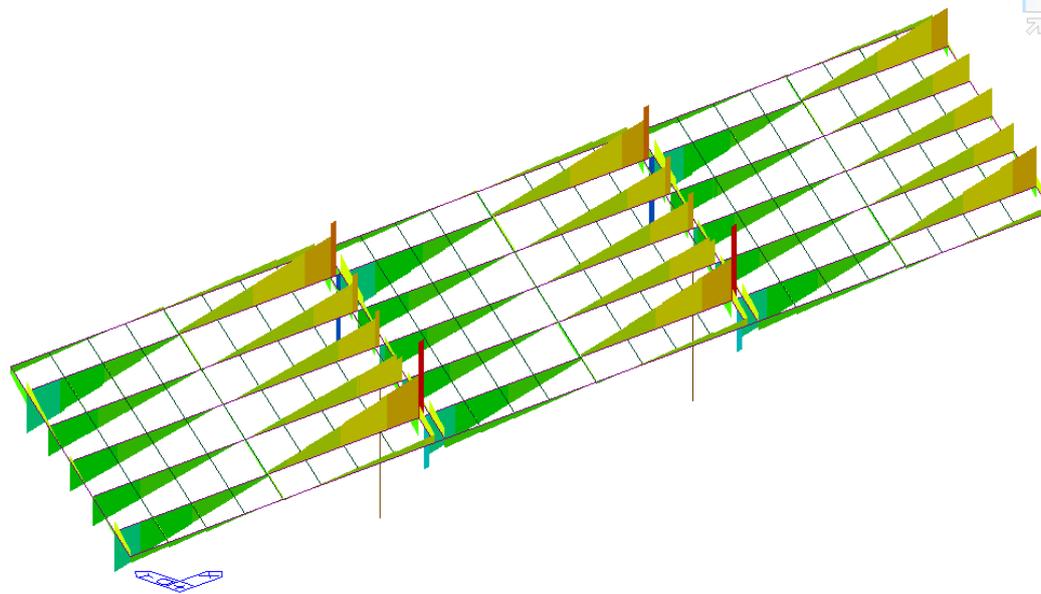
1.71765e+002
1.51505e+002
1.31245e+002
1.10985e+002
9.07245e+001
7.04644e+001
5.02042e+001
2.99440e+001
0.00000e+000
-1.05763e+001
-3.08365e+001
-5.10966e+001

ST: DL

MAX : 110  
MIN : 340

FILE: 24-241 ED ~  
UNIT: kNm  
DATE: 03/17/2025

VIEW-DIRECTION  
X: -0.677  
Y: -0.643  
Z: 0.358



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

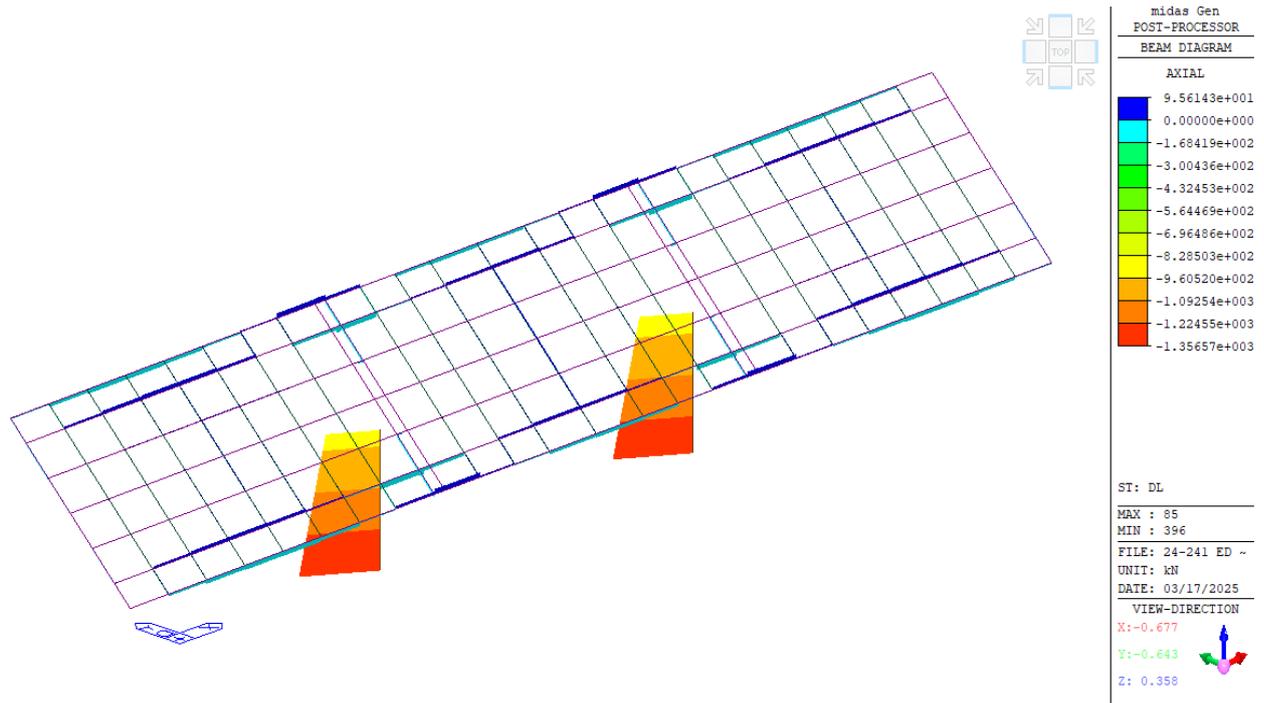
1.51312e+002
1.23989e+002
9.66650e+001
6.93414e+001
4.20177e+001
1.46941e+001
0.00000e+000
-3.99531e+001
-6.72767e+001
-9.46004e+001
-1.21924e+002
-1.49248e+002

ST: DL

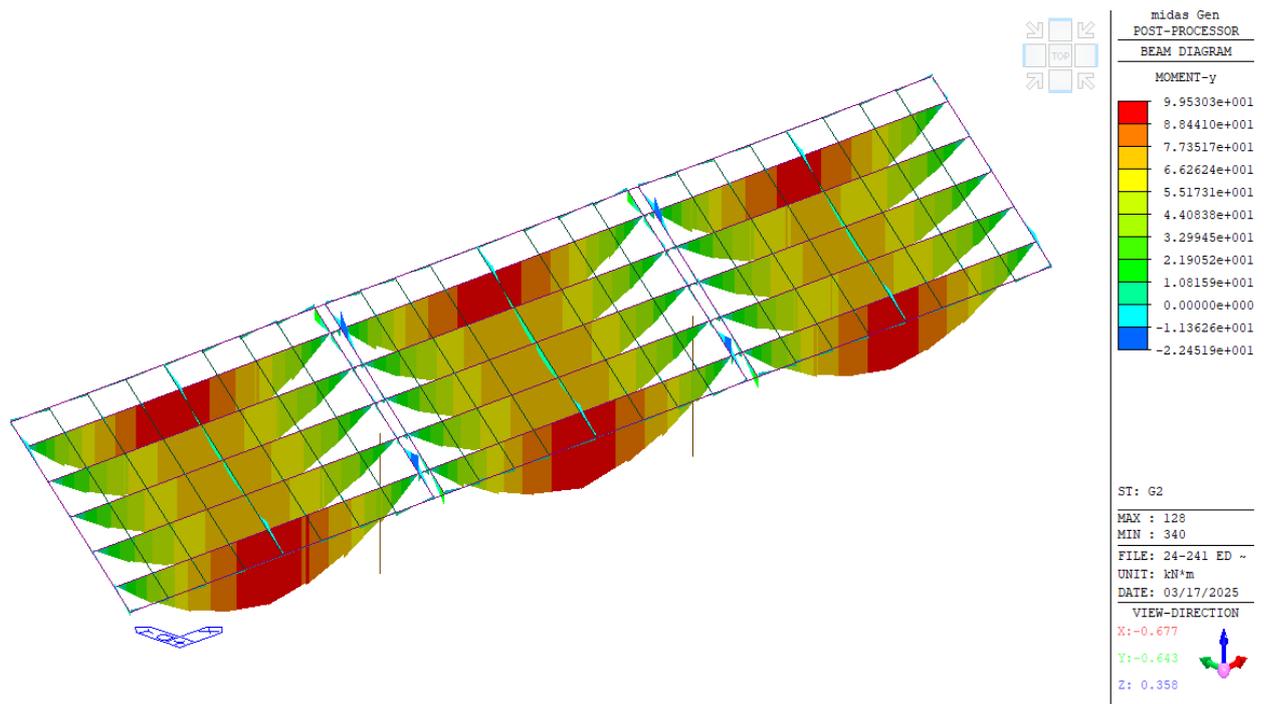
MAX : 331  
MIN : 10

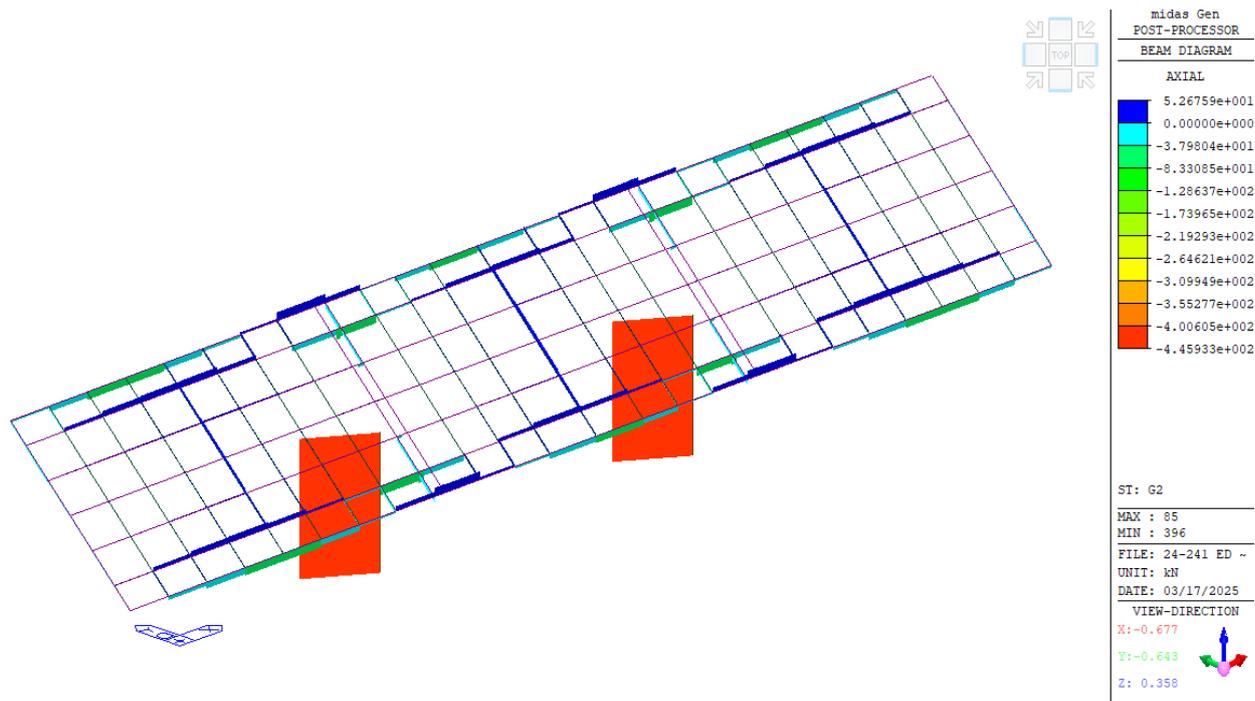
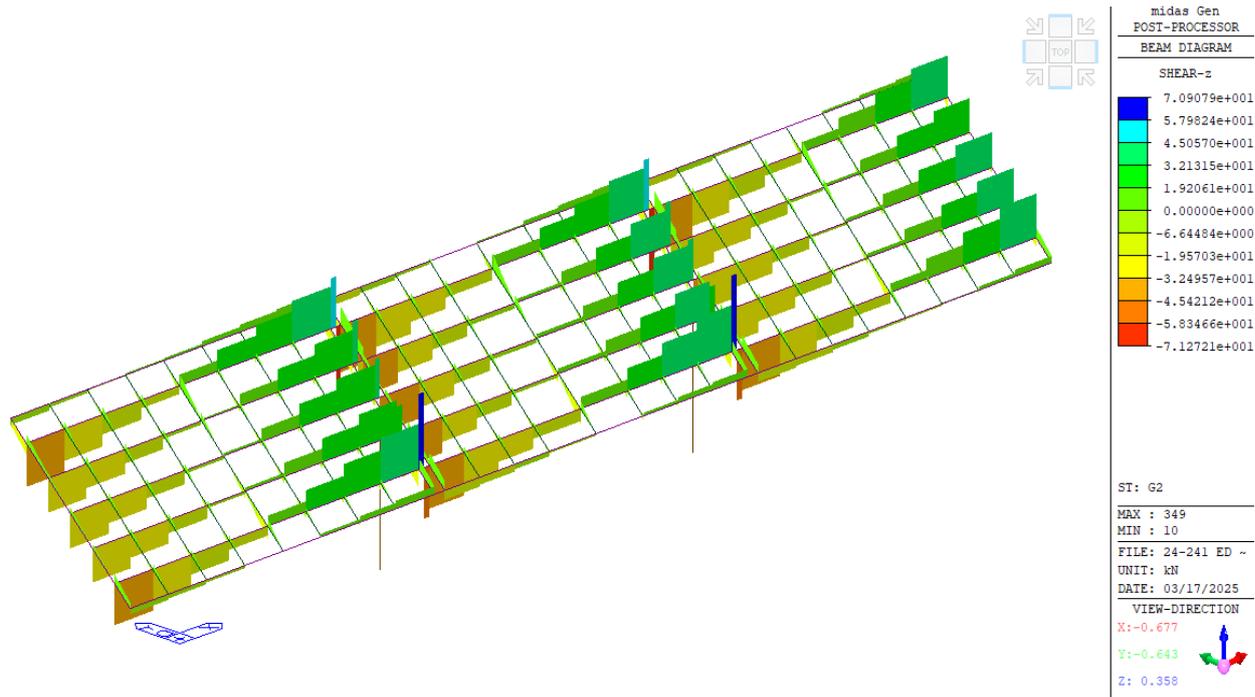
FILE: 24-241 ED ~  
UNIT: kN  
DATE: 03/17/2025

VIEW-DIRECTION  
X: -0.677  
Y: -0.643  
Z: 0.358

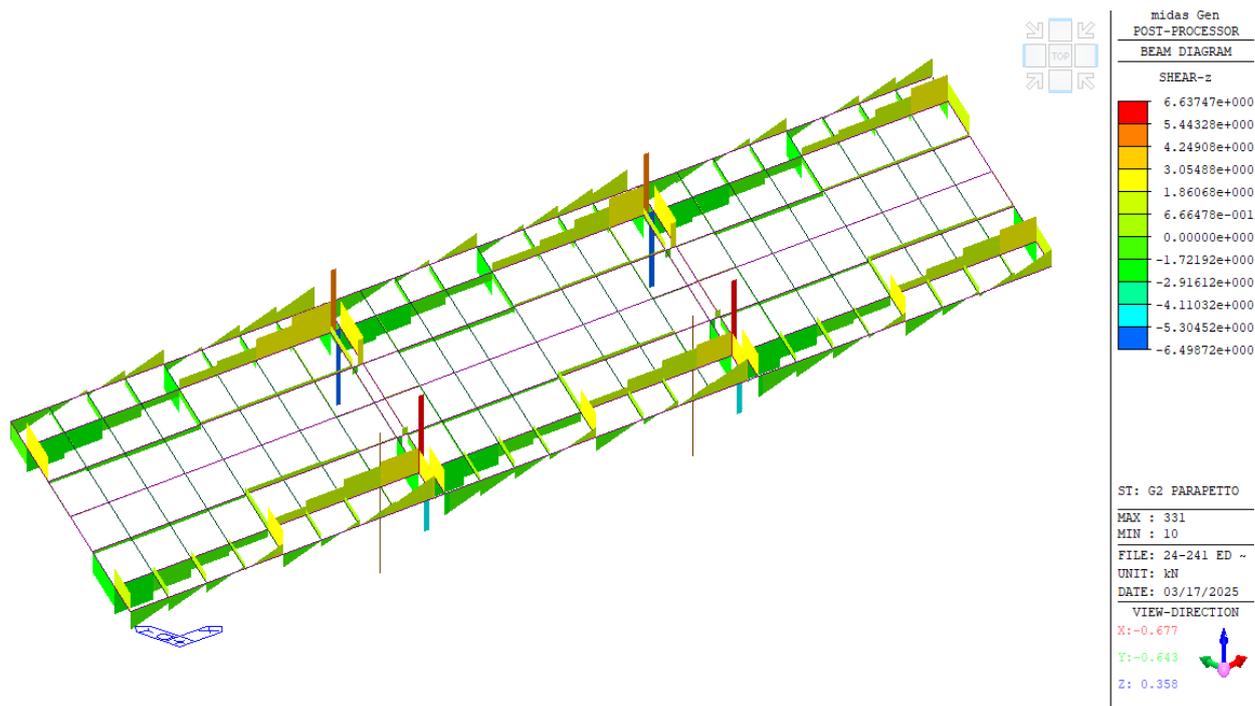
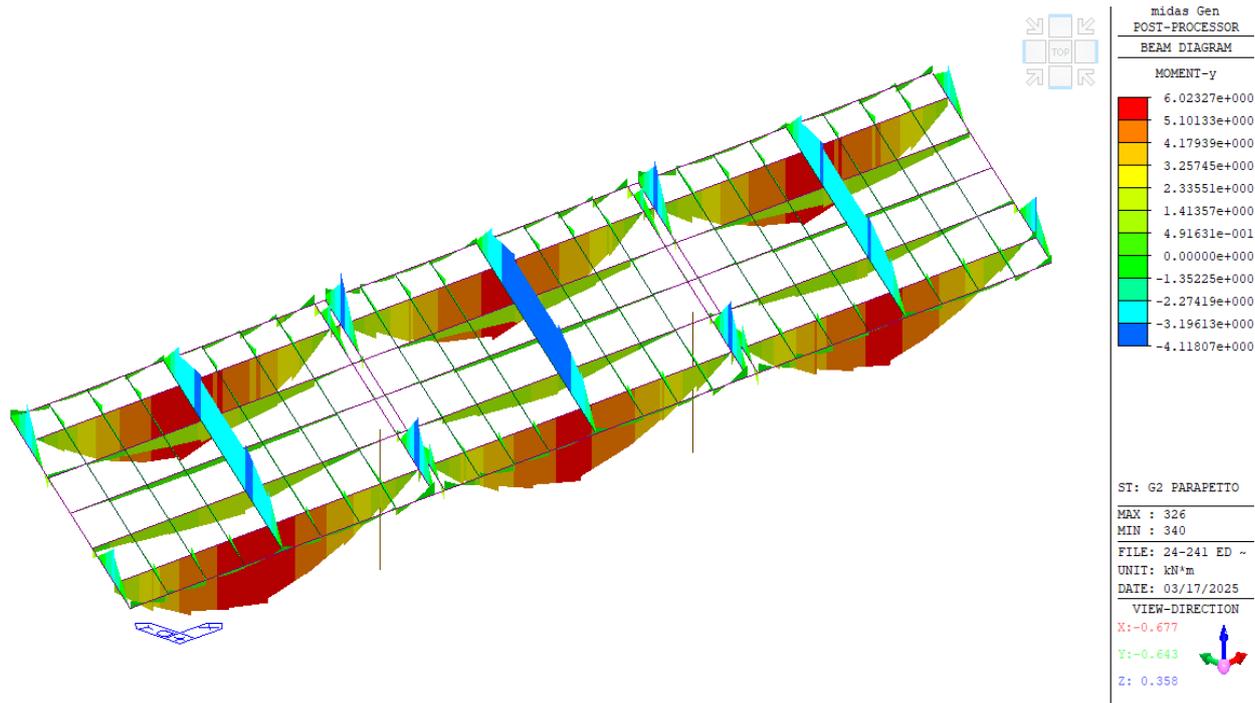


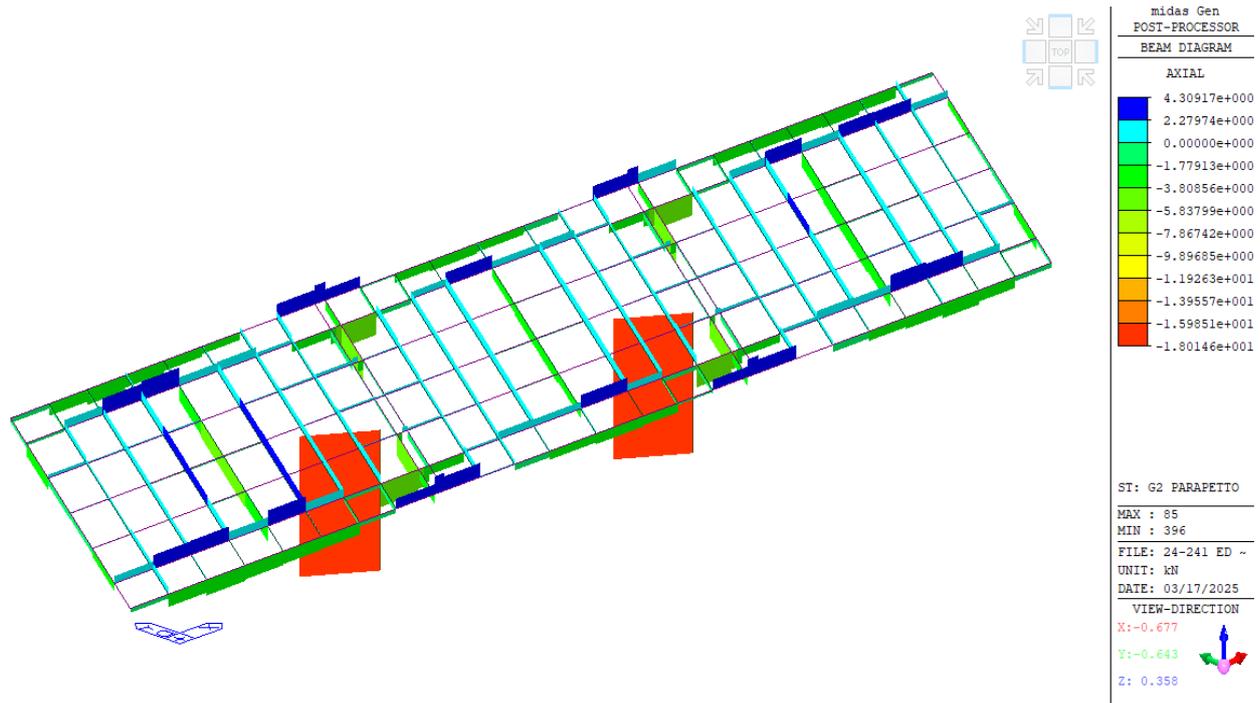
### 13.1.2 Permanenti Portati (pacchetti stradali)





### 13.1.3 Permanenti Portati (parapetti)





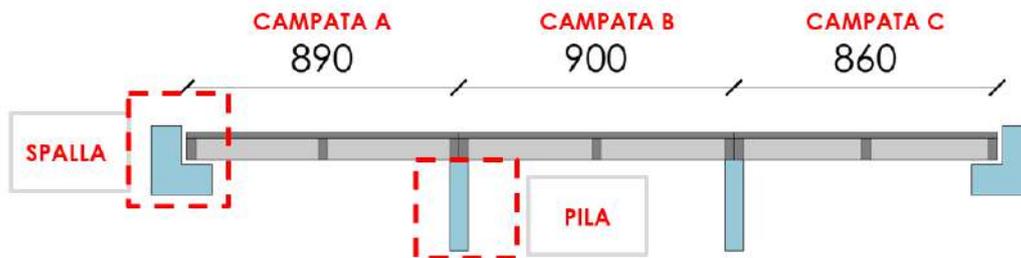
## 13.2 Sollecitazioni per Carichi da Traffico – Adeguatezza ed Operatività

Si riportano i valori di sollecitazione flessionali e taglianti, per gli elementi trave e traverso, e gli sforzi normali, tagli e momenti flettenti per quanto riguarda pile.

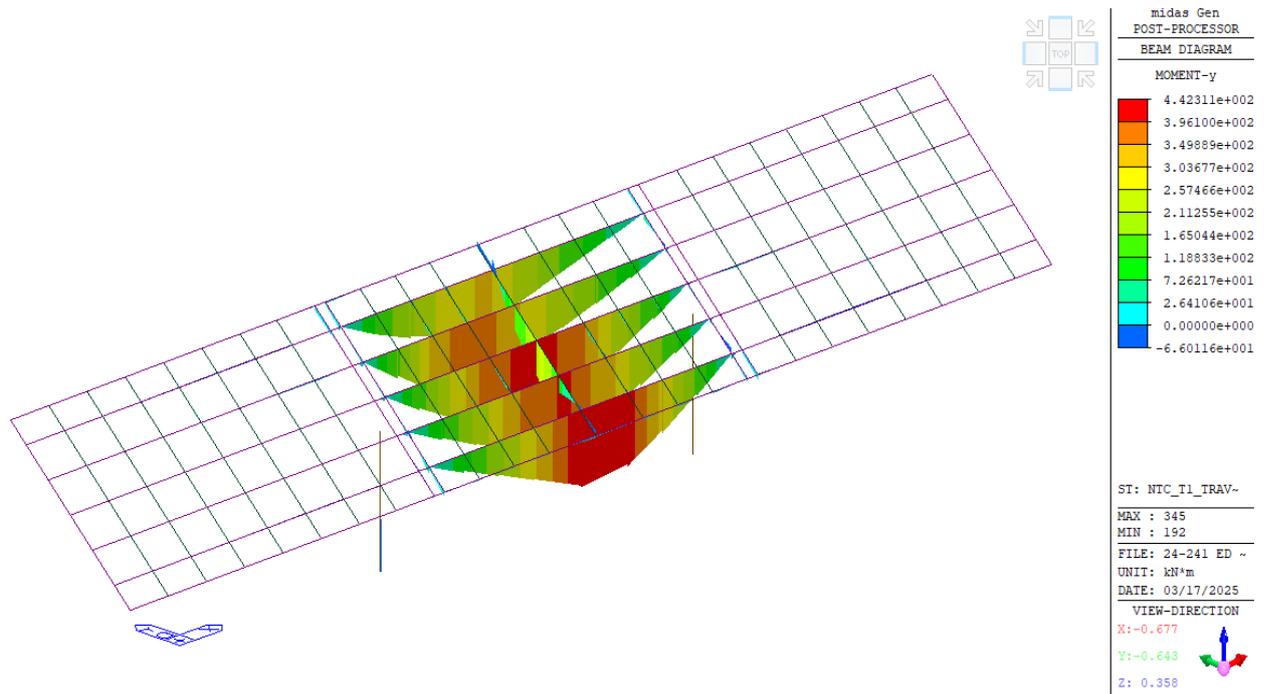
Trattando un numero considerevole di schemi di traffico, onde evitare di riportare informazioni poco rilevanti, per ciascuno schema verranno riportati graficamente i soli parametri di sollecitazione più significativi ai fini della massimizzazione in oggetto.

Le denominazioni degli schemi di carico sono state riportate al capitolo 10.4 del presente elaborato.

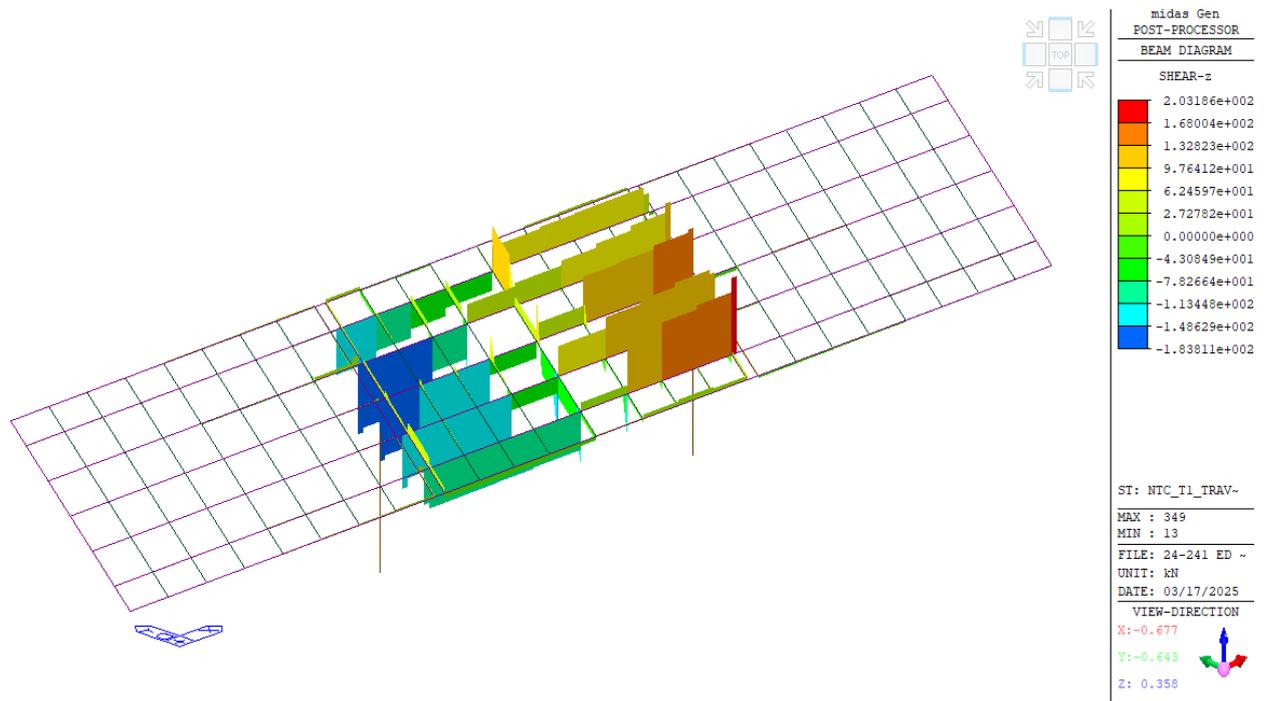
NTC18-T1	Traffico: Massimizzazione M+ campata B
NTC18-T2	Traffico: Massimizzazione M+ campata B
NTC18-T3	Traffico: Massimizzazione V campata B
NTC18-T4	Traffico: Massimizzazione V campata B
NTC18-T5	Traffico: Massimizzazione N Pila
NTC18-T6	Traffico: Massimizzazione N Spalla
NTC18-T7	Traffico: Massimizzazione M traverso
NTC18-T8	Traffico: Massimizzazione M/V soletta



## 13.2.1 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T1

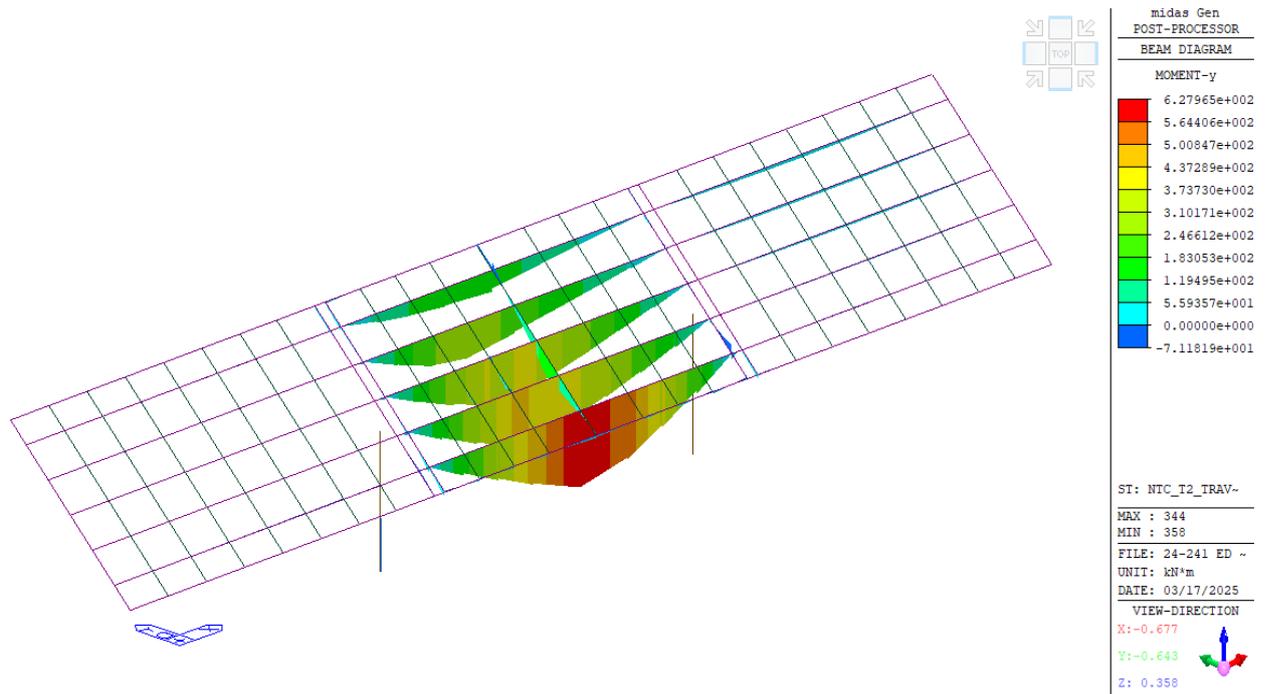


My Impalcato

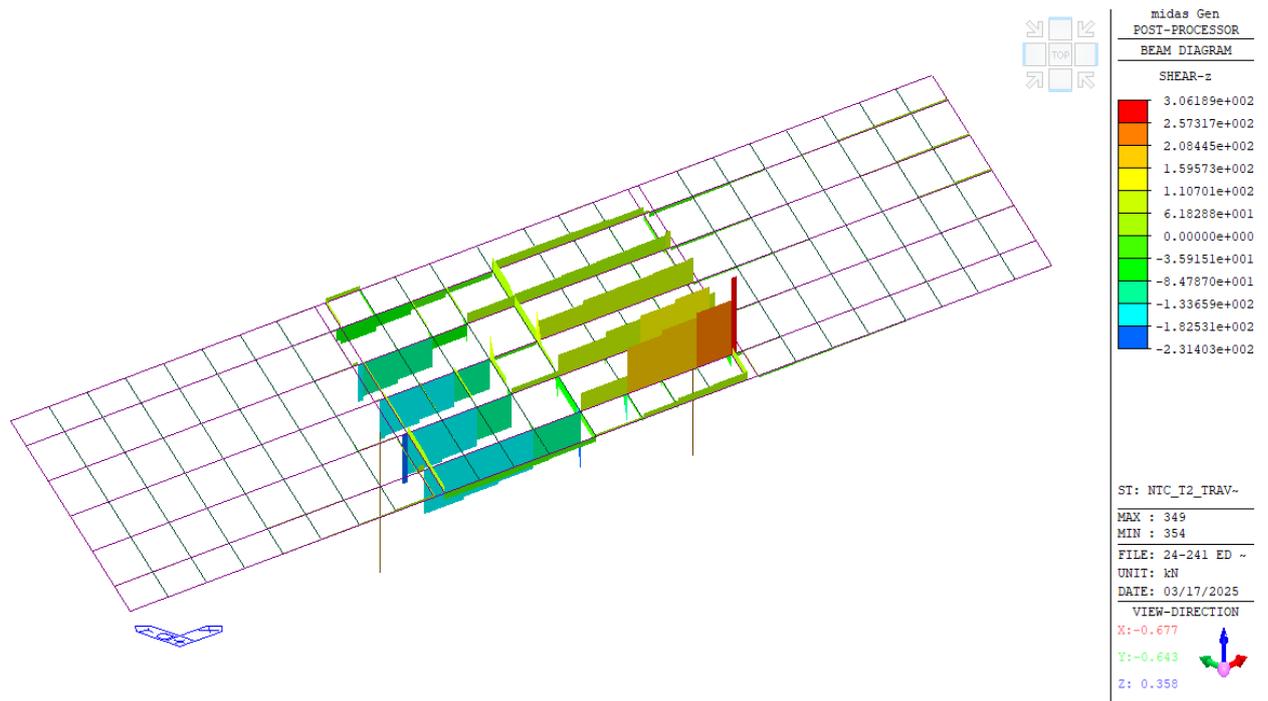


Fz Impalcato

## 13.2.2 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T2

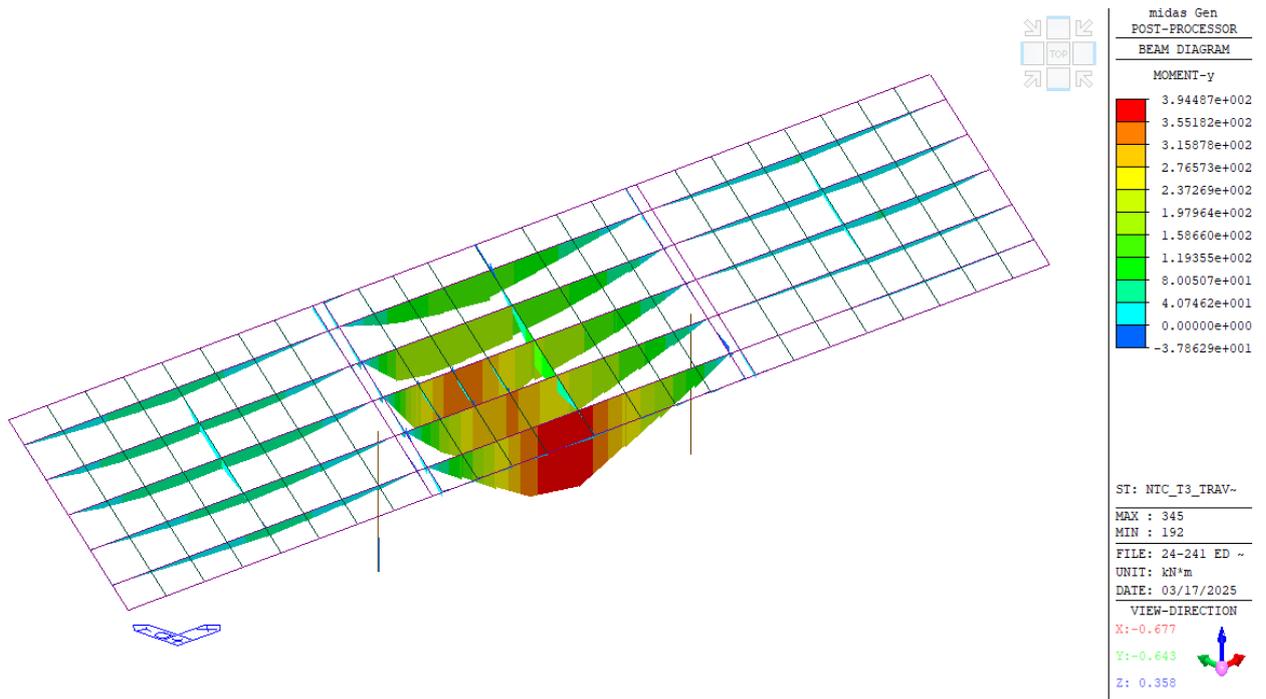


My Impalcato

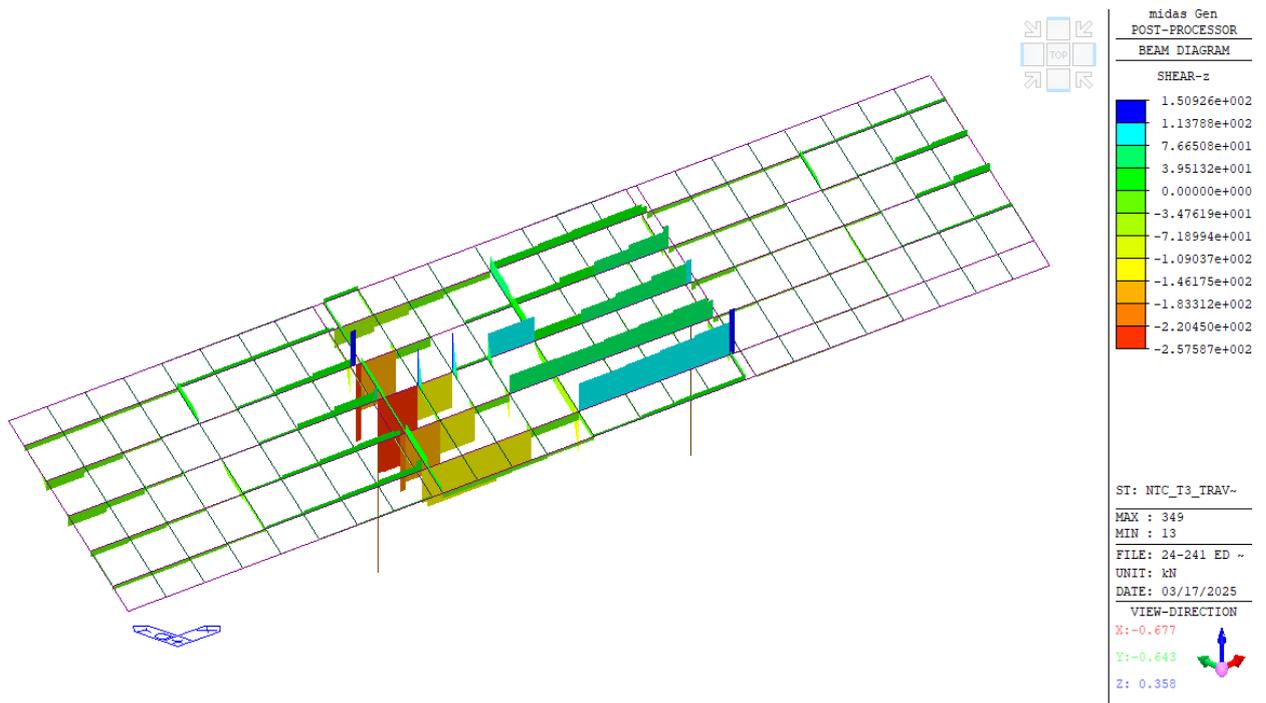


Fz Impalcato

### 13.2.3 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T3



My Impalcato



Fz Impalcato



N Pile/Spalle



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

-4.75277e+002
-5.31230e+002
-5.97102e+002
-6.43135e+002
-6.99087e+002
-7.55040e+002
-8.10992e+002
-8.66945e+002
-9.22897e+002
-9.78850e+002
-1.03480e+003
-1.09075e+003

ST: NTC\_I3\_TRAV-

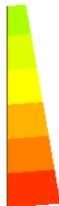
MAX : 394  
MIN : 396

FILE: 24-241 ED ~  
UNIT: kN  
DATE: 03/17/2025

VIEW-DIRECTION  
X: -0.677  
Y: -0.643  
Z: 0.358



My Pile/Spalle



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

1.56592e+000
7.70569e-001
0.00000e+000
-8.20126e-001
-1.61547e+000
-2.41082e+000
-3.20617e+000
-4.00151e+000
-4.79686e+000
-5.59221e+000
-6.38756e+000
-7.18290e+000

ST: NTC\_I3\_TRAV-

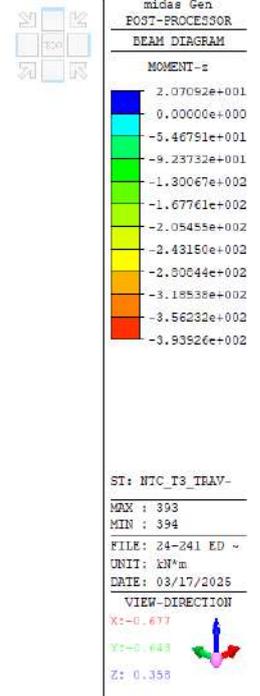
MAX : 394  
MIN : 396

FILE: 24-241 ED ~  
UNIT: kN\*m  
DATE: 03/17/2025

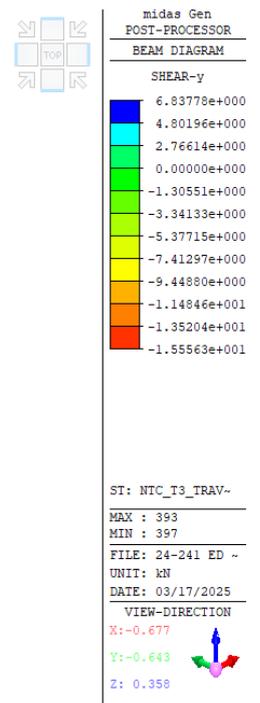
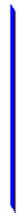
VIEW-DIRECTION  
X: -0.677  
Y: -0.643  
Z: 0.358



Mz Pile/Spalle

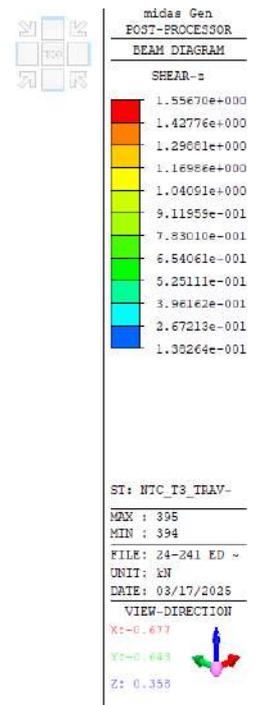
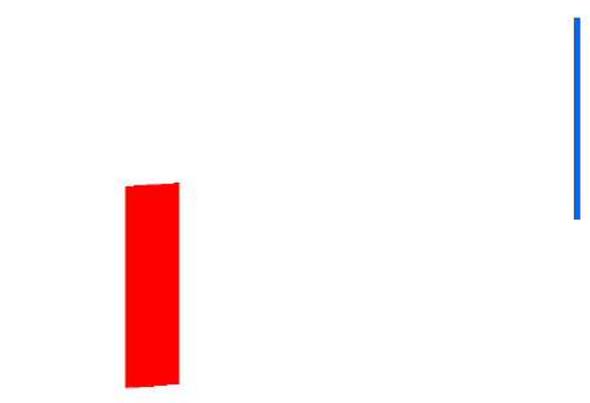


Fy Pile/Spalle

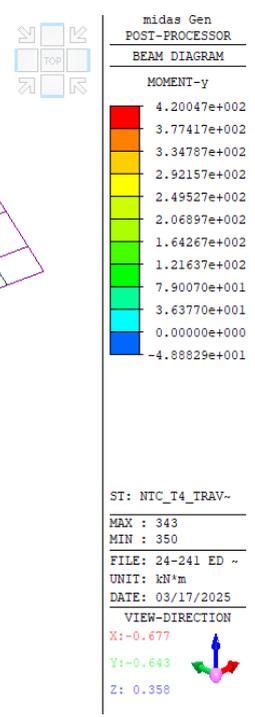
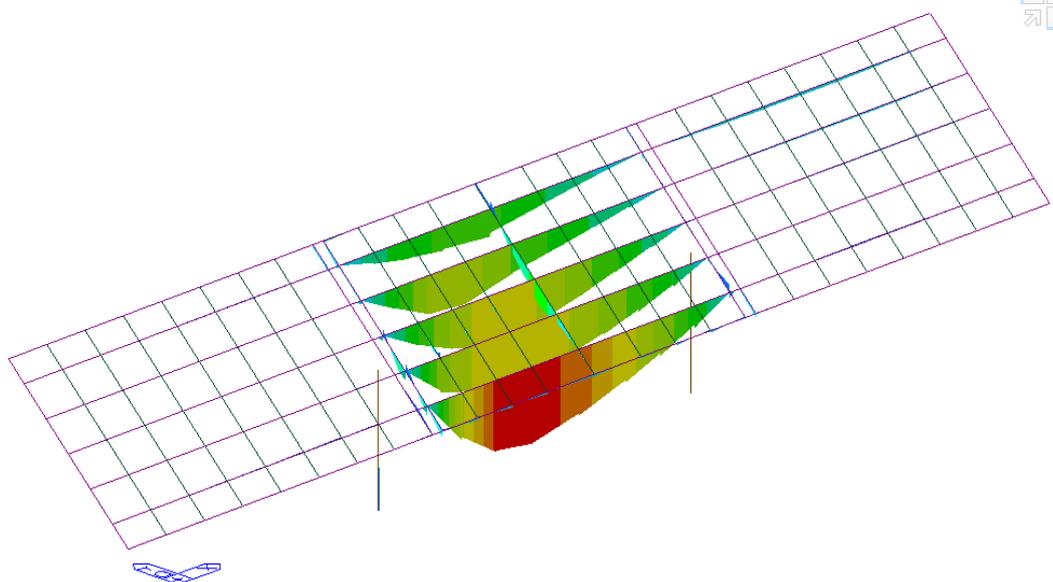




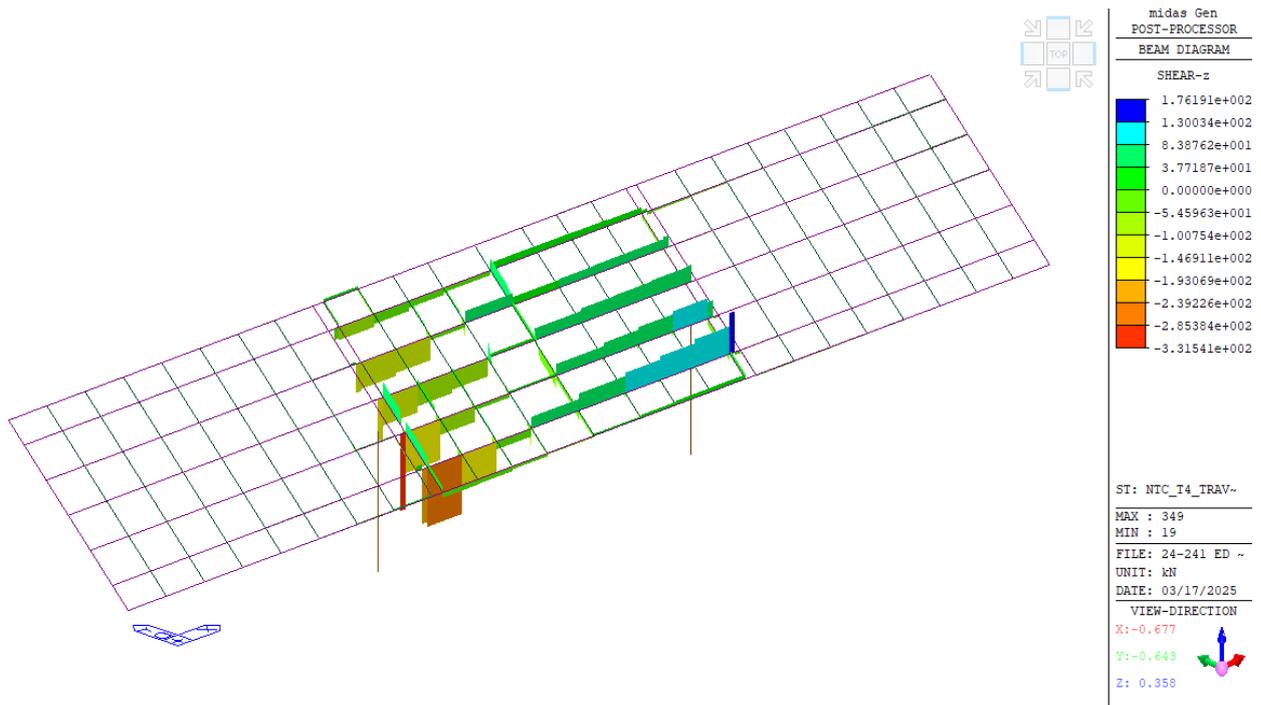
Fz Pile/Spalle



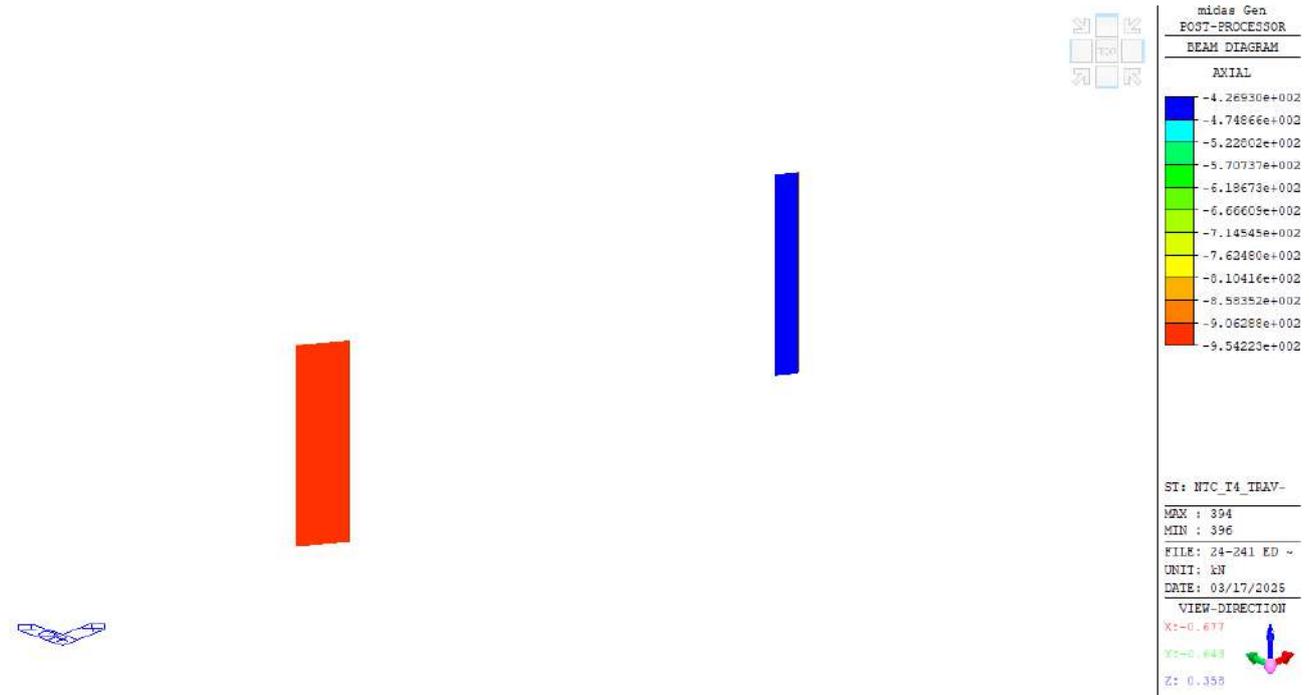
### 13.2.4 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T4



My Impalcato



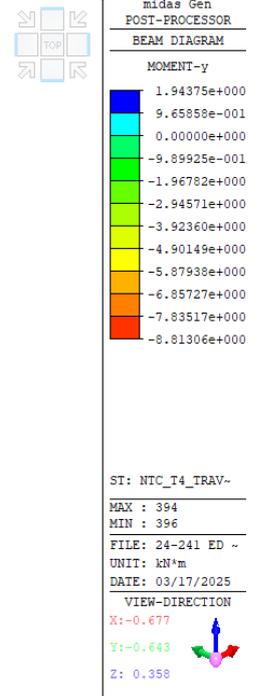
Fz Impalcato



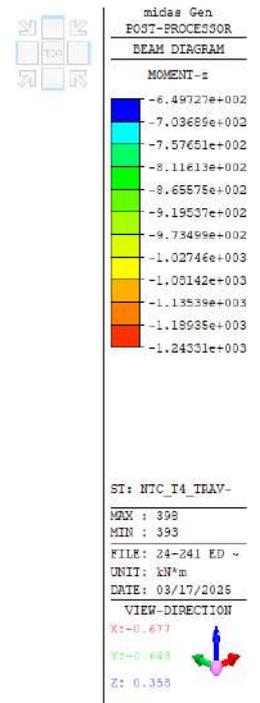
N Pile/Spalle



My Pile/Spalle

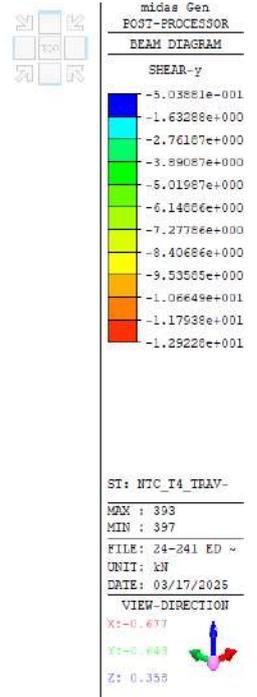


Mz Pile/Spalle

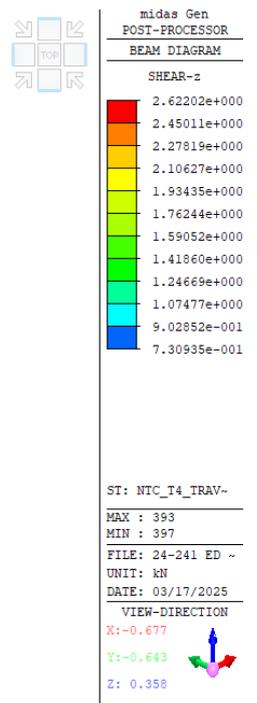




Fy Pile/Spalle



Fz Pile/Spalle



### 13.2.5 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T5



N Pile/Spalle



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

-2.44237e+002
-3.37360e+002
-4.30464e+002
-5.23608e+002
-6.16732e+002
-7.09655e+002
-8.02979e+002
-8.96103e+002
-9.89226e+002
-1.08235e+003
-1.17547e+003
-1.26860e+003

ST: NTC\_I5\_PILA\_~  
MAX : 394  
MIN : 396  
FILE: 24-241 ED ~  
UNIT: kN  
DATE: 03/17/2025  
VIEW-DIRECTION  
X: -0.677  
Y: -0.643  
Z: 0.358



My Pile/Spalle



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

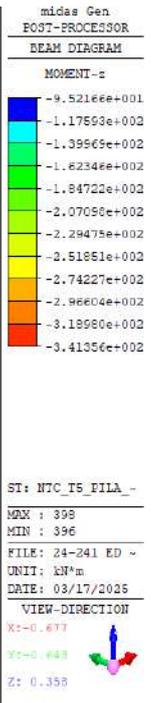
MOMENT-y

2.07414e+000
1.88873e+000
1.70333e+000
1.51792e+000
1.33251e+000
1.14711e+000
9.61704e-001
7.76299e-001
5.90893e-001
4.05488e-001
2.20083e-001
3.46775e-002

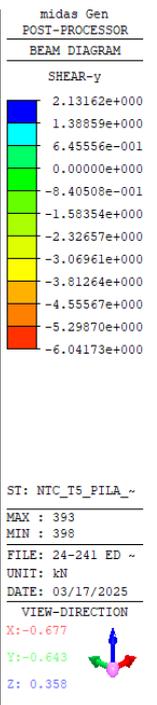
ST: NTC\_I5\_PILA\_~  
MAX : 398  
MIN : 396  
FILE: 24-241 ED ~  
UNIT: kN\*m  
DATE: 03/17/2025  
VIEW-DIRECTION  
X: -0.677  
Y: -0.643  
Z: 0.358

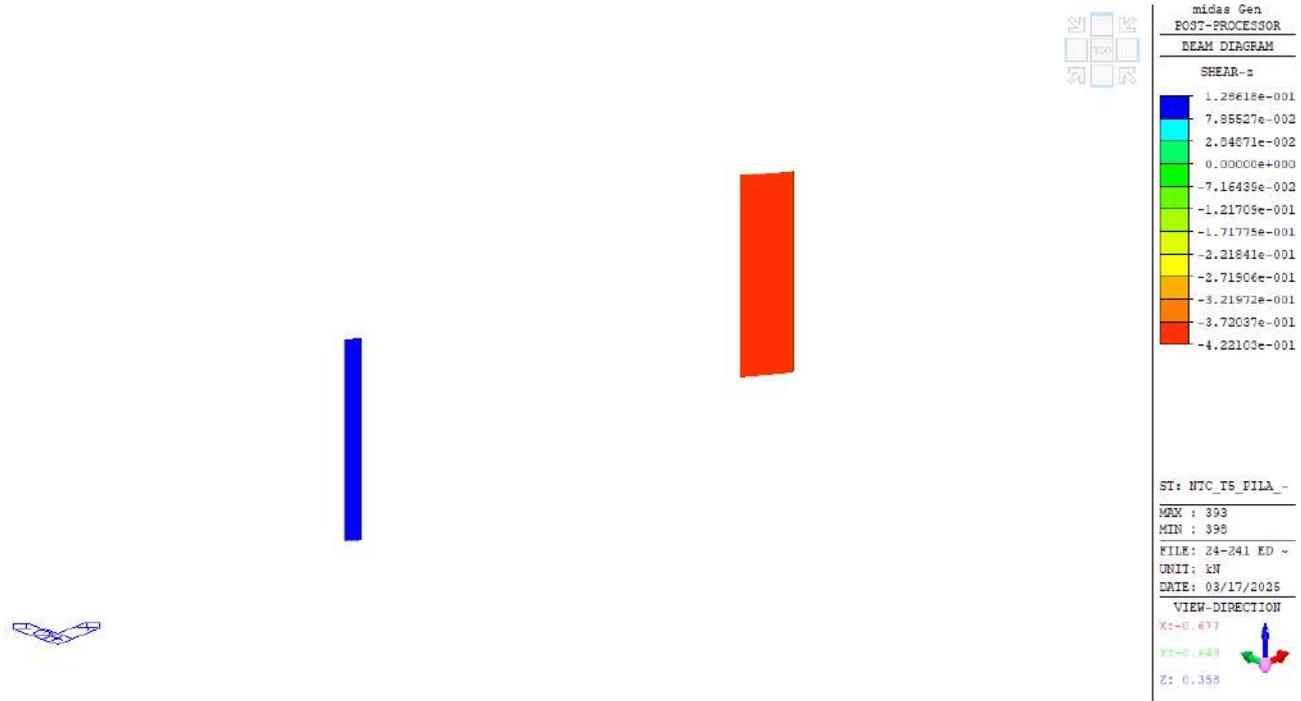


Mz Pile/Spalle



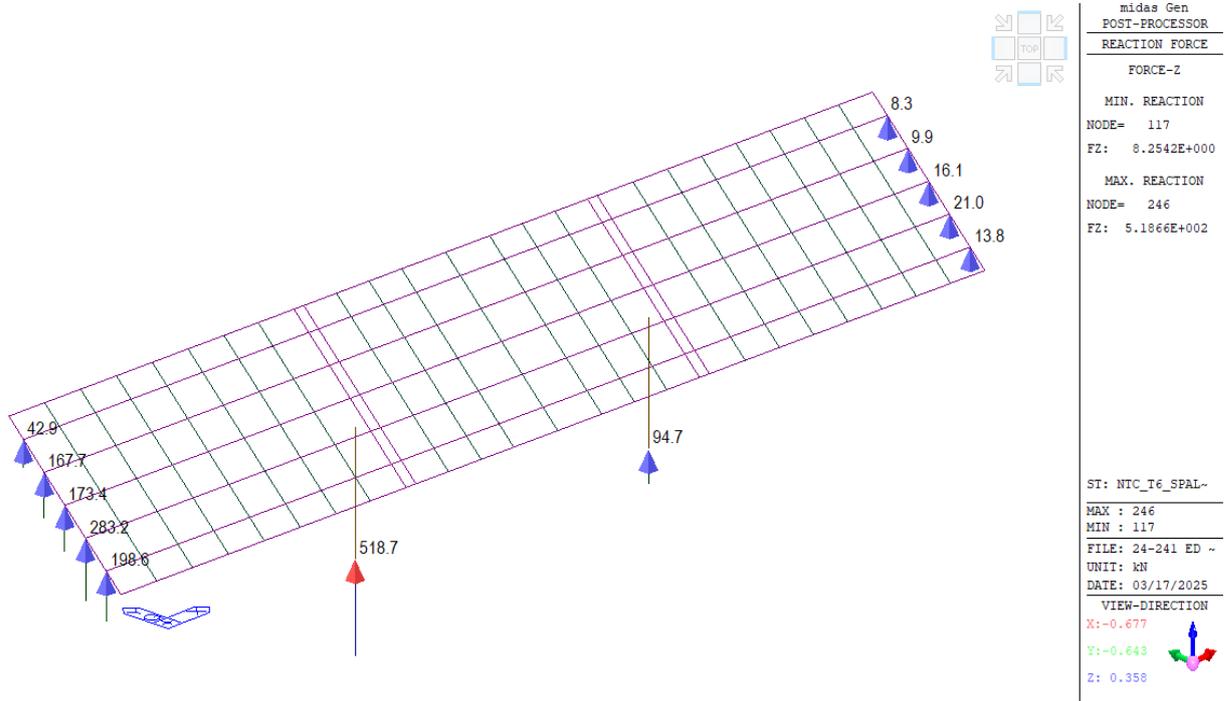
Fy Pile/Spalle



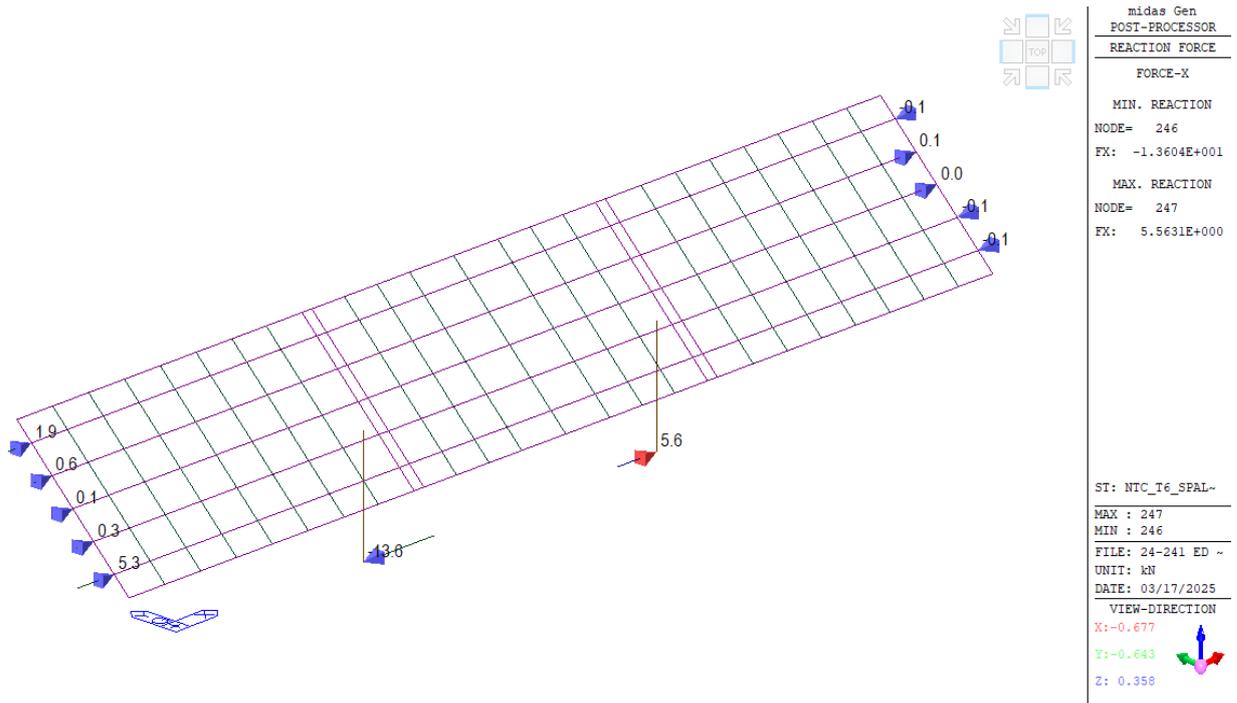


Fz Pile/Spalle

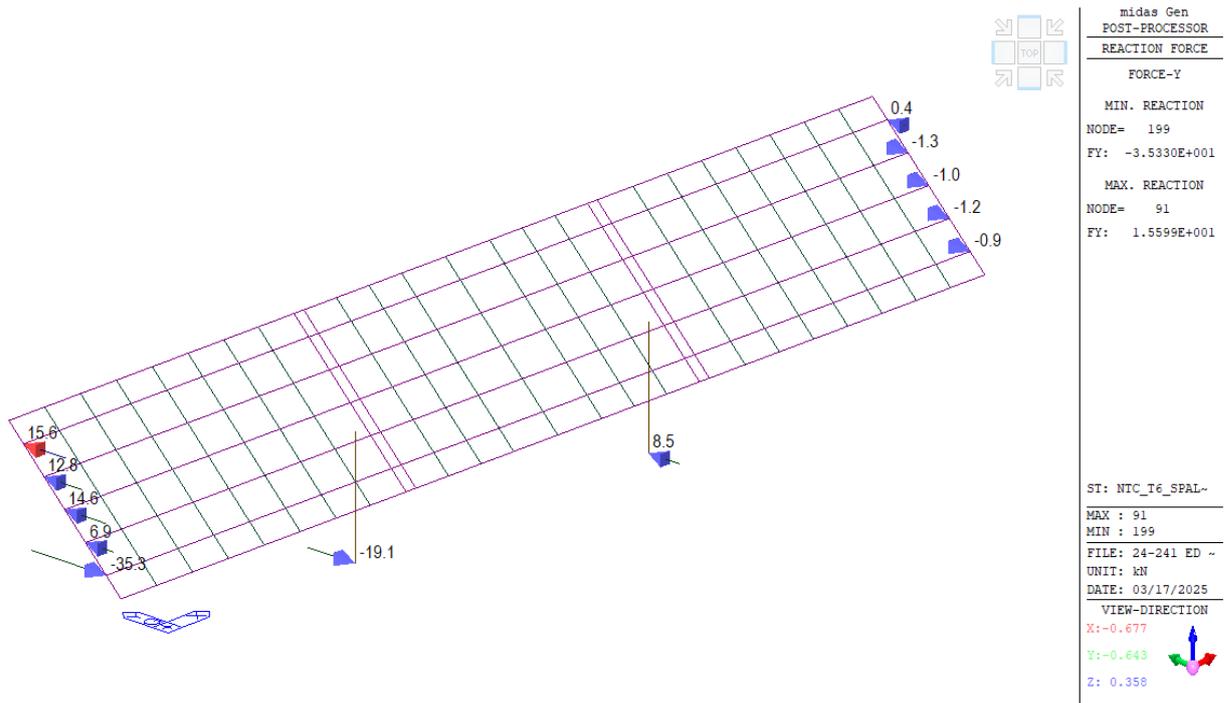
**13.2.6 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T6**



N Pile/Spalle



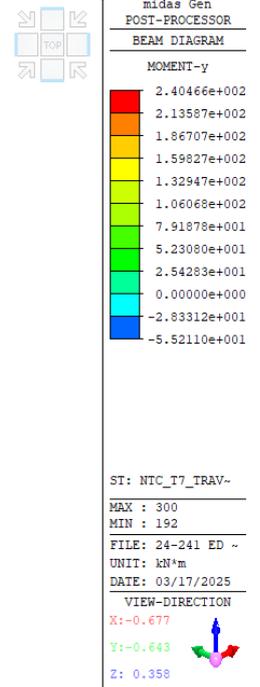
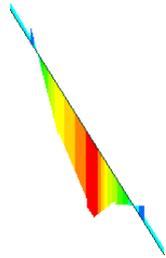
Rx Pile/Spalle



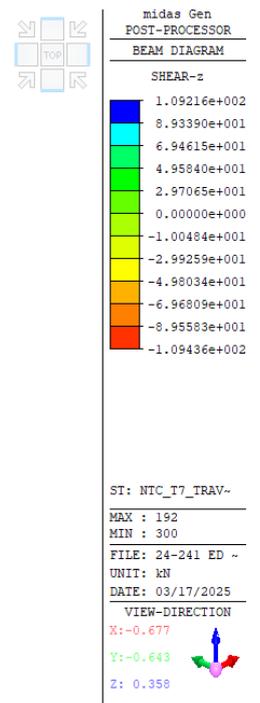
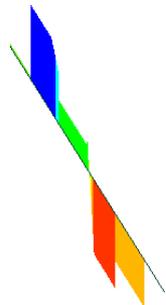
Ry Pile/Spalle

### 13.2.7 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T7

My Traversi

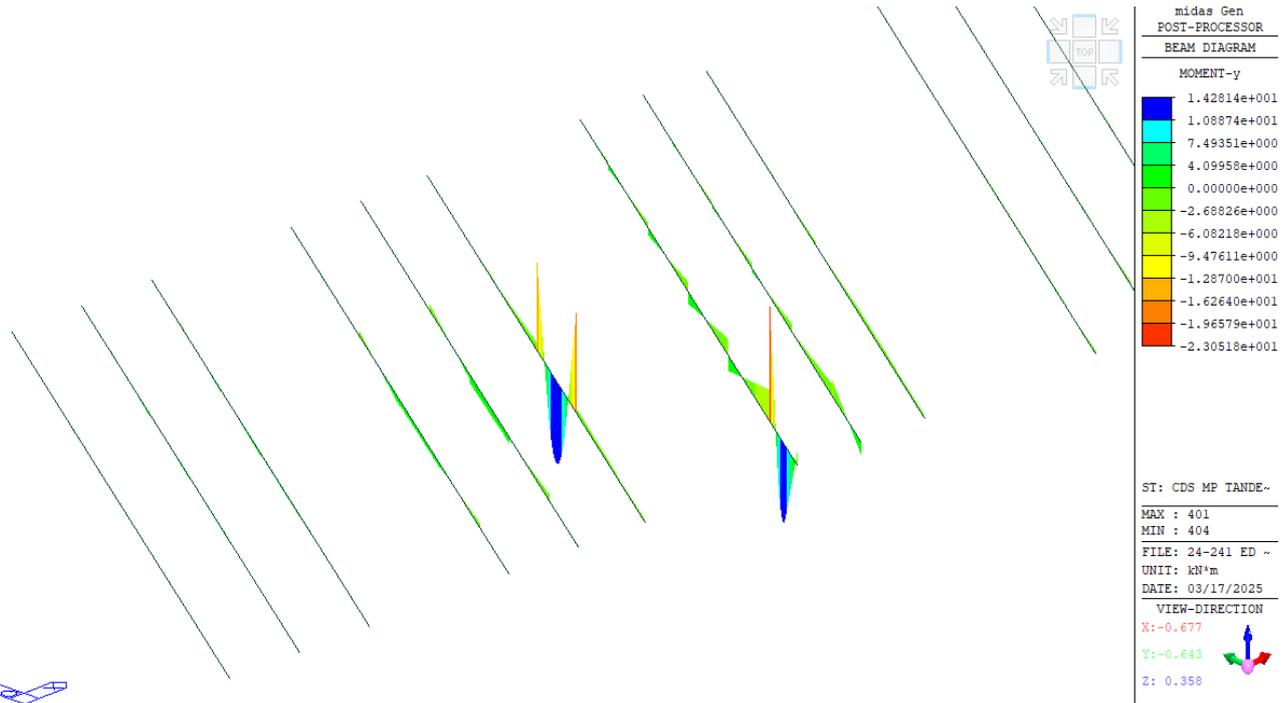


Fz Traversi

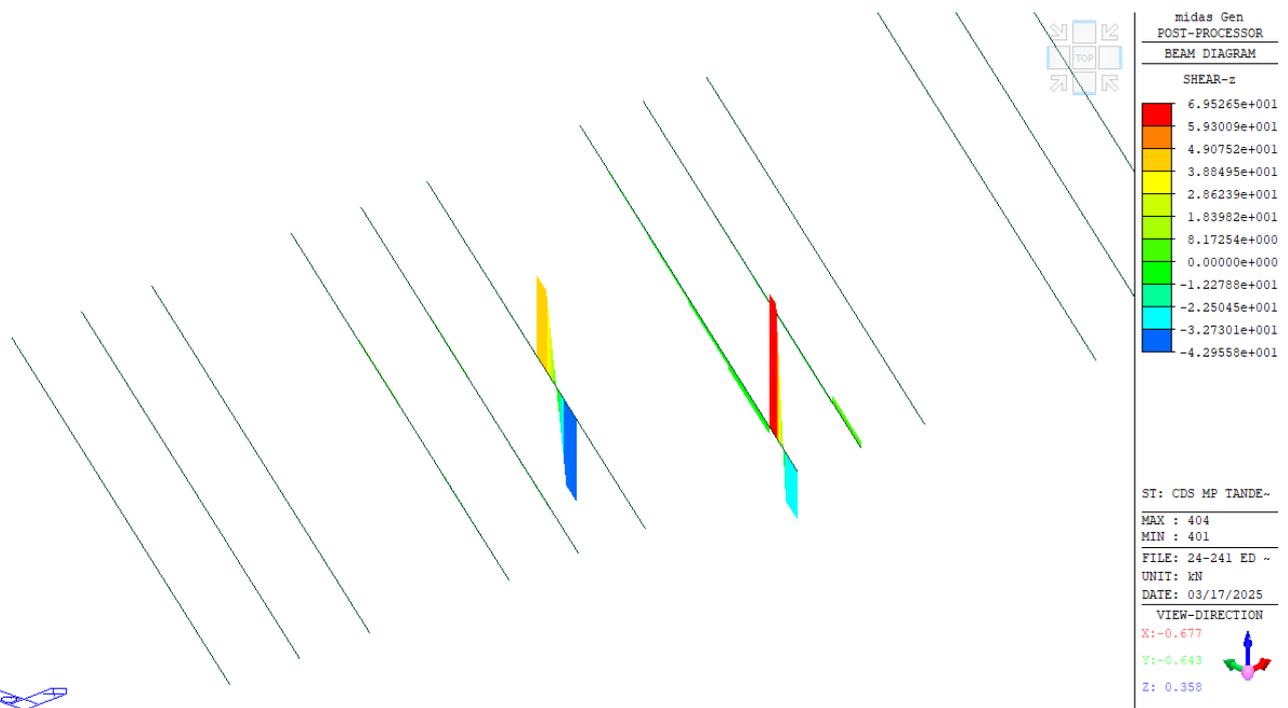


### 13.2.8 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-T8

  
My Solette



  
Fz Solette



### 13.2.9 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-q3 (frenata/accelerazione)

CLIENTE: CITTA' METROPOLITANA  
DI VENEZIA

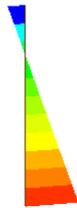
PONTI ESISTENTI – AREA NORD CIG 9041138719  
Verifiche livello 4 – Ponte 10 – San Stino di Livenza  
– SP59 – ID Opera 20

ELAB.: 21173P2112A

Rev. A - Pag. 109 di 236



My Pile/Spalle



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM  
MOMENT-y

6.52598e+001
4.12743e+001
1.72888e+001
0.00000e+000
-3.06822e+001
-5.46677e+001
-7.86532e+001
-1.02639e+002
-1.26624e+002
-1.50610e+002
-1.74595e+002
-1.98581e+002

ST: NTC-Q3P  
MAX : 393  
MIN : 396  
FILE: 24-241 ED ~  
UNIT: kN\*m  
DATE: 03/17/2025  
VIEW-DIRECTION  
X: -0.677  
Y: -0.643  
Z: 0.358



Mz Pile/Spalle



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM  
MOMENT-z

2.00845e+001
0.00000e+000
-3.15414e+001
-5.73544e+001
-8.31673e+001
-1.08900e+002
-1.34793e+002
-1.60606e+002
-1.86419e+002
-2.12232e+002
-2.38045e+002
-2.63858e+002

ST: NTC-Q3E  
MAX : 393  
MIN : 396  
FILE: 24-241 ED ~  
UNIT: kN\*m  
DATE: 03/17/2025  
VIEW-DIRECTION  
X: -0.677  
Y: -0.643  
Z: 0.358



Fy Pile/Spalle



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-y

9.46475e+001
9.31140e+001
9.15806e+001
9.00472e+001
8.85137e+001
8.69803e+001
8.54469e+001
8.39134e+001
8.23800e+001
8.08466e+001
7.93131e+001
7.77797e+001

ST: NTC-Q3E  
MAX : 395  
MIN : 394  
FILE: 24-241 ED ~  
UNIT: kN  
DATE: 03/17/2025  
VIEW-DIRECTION  
X: -0.677  
Y: 0.643  
Z: 0.358



Fz Pile/Spalle

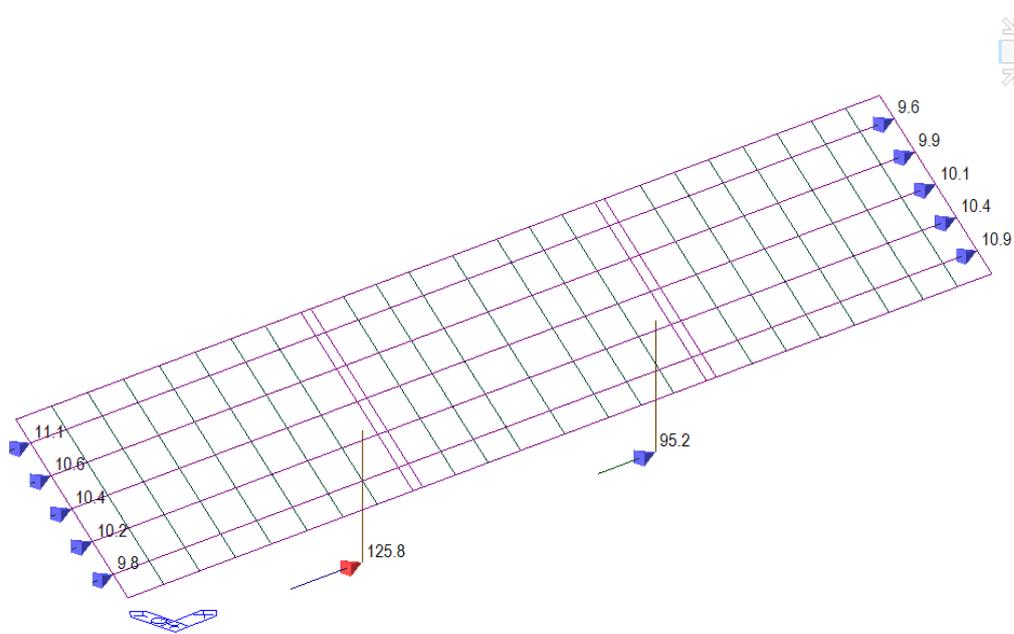


midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-y

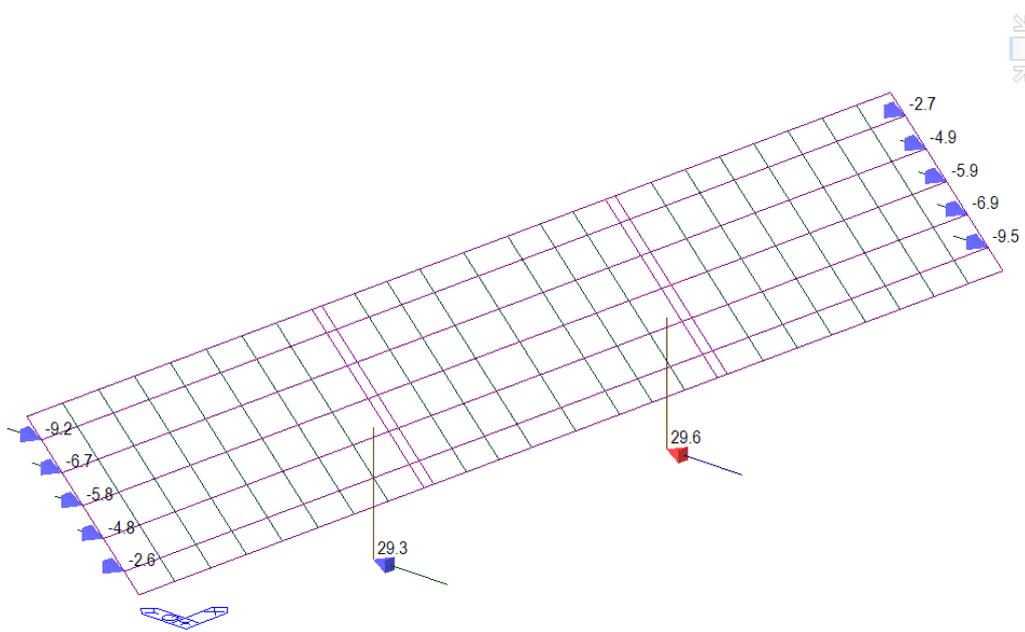
9.46475e+001
9.31140e+001
9.15806e+001
9.00472e+001
8.85137e+001
8.69803e+001
8.54469e+001
8.39134e+001
8.23800e+001
8.08466e+001
7.93131e+001
7.77797e+001

ST: NTC-Q3E  
MAX : 395  
MIN : 394  
FILE: 24-241 ED ~  
UNIT: kN  
DATE: 03/17/2025  
VIEW-DIRECTION  
X: -0.677  
Y: 0.643  
Z: 0.358



midas Gen	
POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-X	
MIN. REACTION	
NODE= 117	
FX: 9.5524E+000	
MAX. REACTION	
NODE= 246	
FX: 1.2584E+002	
ST: NTC-Q3P	
MAX : 246	
MIN : 117	
FILE: 24-241 ED ~	
UNIT: kN	
DATE: 03/17/2025	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.677	
Y: -0.643	
Z: 0.358	

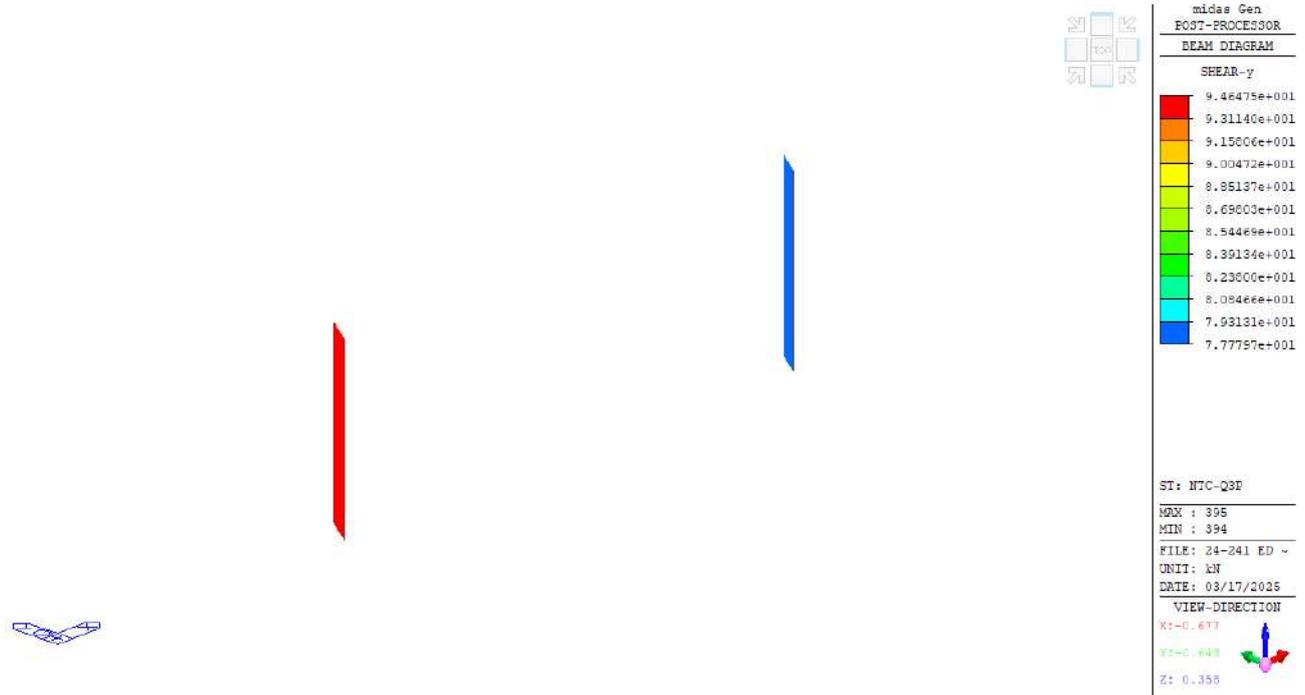
Rx Pile/Spalle



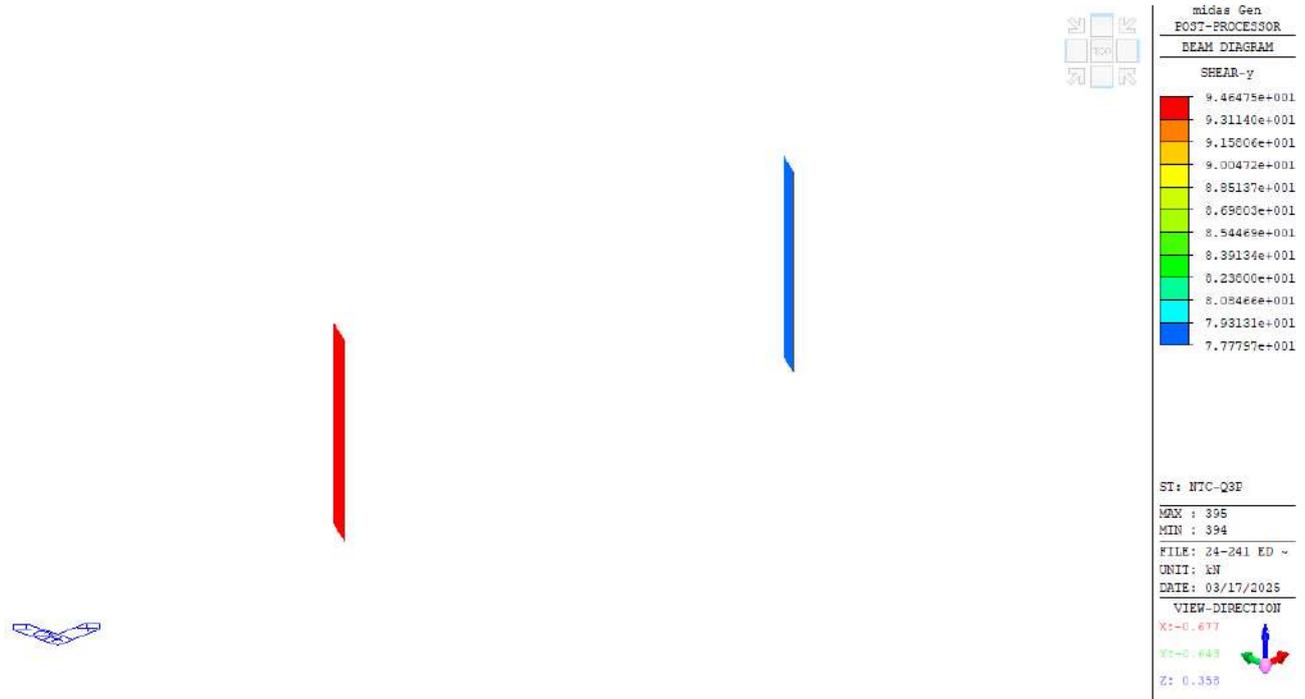
midas Gen	
POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-Y	
MIN. REACTION	
NODE= 225	
FY: -9.4882E+000	
MAX. REACTION	
NODE= 247	
FY: 2.9630E+001	
ST: NTC-Q3P	
MAX : 247	
MIN : 225	
FILE: 24-241 ED ~	
UNIT: kN	
DATE: 03/17/2025	
VIEW-DIRECTION	
X: -0.677	
Y: -0.643	
Z: 0.358	

Ry Pile/Spalle

### 13.2.10 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC-q5 (vento)



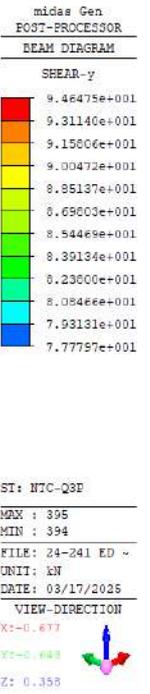
My Pile/Spalle



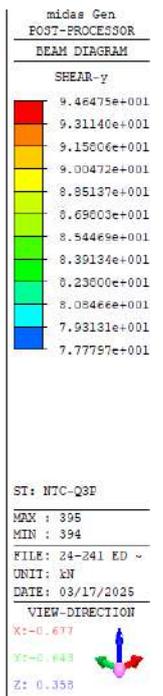
Mz Pile/Spalle

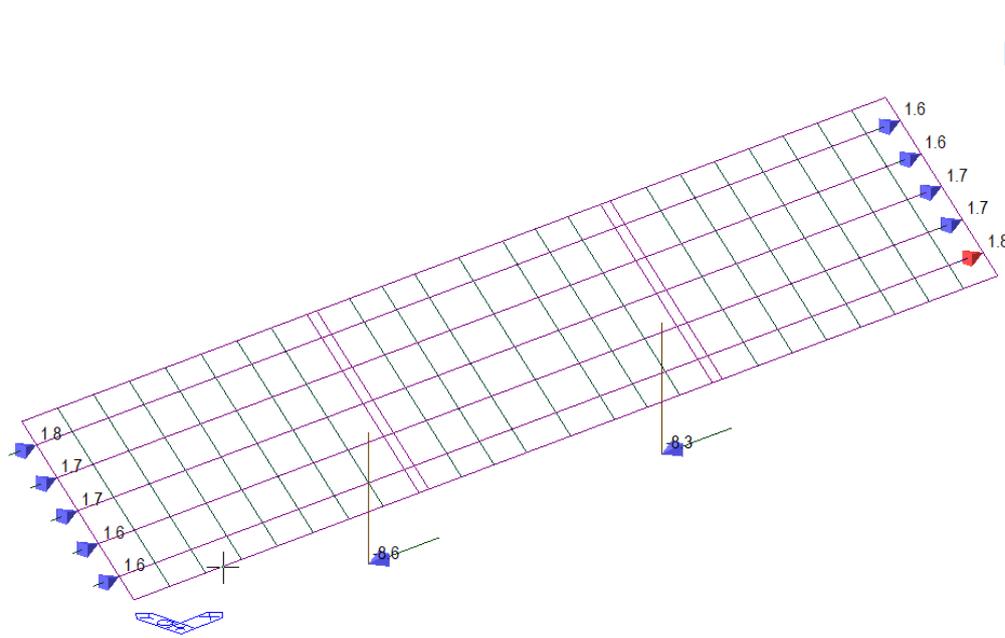


Fy Pile/Spalle



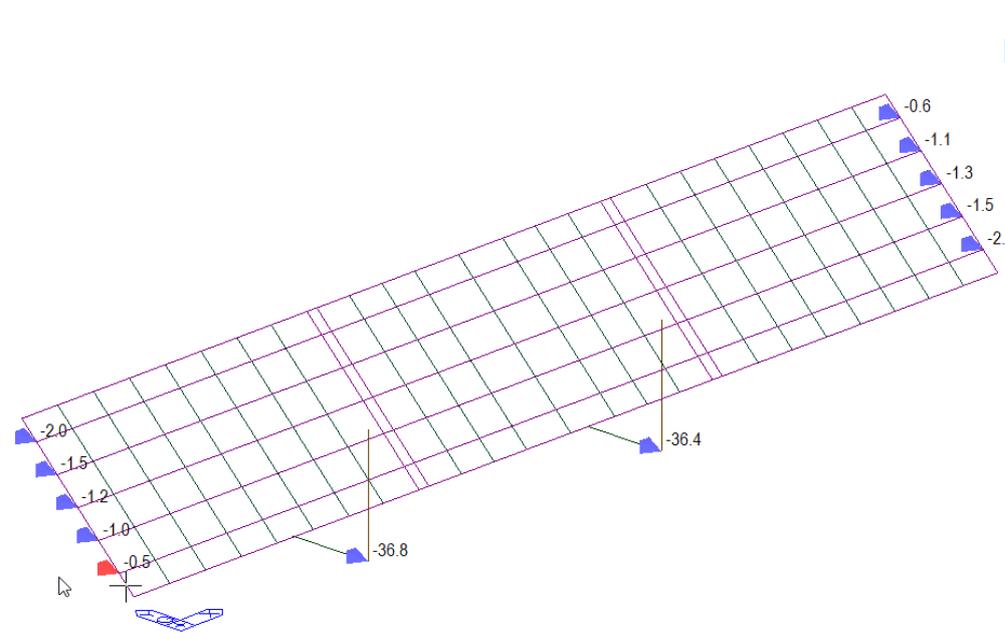
Fz Pile/Spalle





midas Gen POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-X	
MIN. REACTION	
NODE=	246
FX:	-8.5746E+000
MAX. REACTION	
NODE=	225
FX:	1.8418E+000
ST: NTC-Q5P	
MAX :	225
MIN :	246
FILE:	24-241 ED ~
UNIT:	kN
DATE:	03/17/2025
VIEW-DIRECTION	
X:	-0.677
Y:	-0.643
Z:	0.358

Rx Pile/Spalle



midas Gen POST-PROCESSOR	
REACTION FORCE	
FORCE-Y	
MIN. REACTION	
NODE=	246
FY:	-3.6813E+001
MAX. REACTION	
NODE=	199
FY:	-5.2558E-001
ST: NTC-Q5P	
MAX :	199
MIN :	246
FILE:	24-241 ED ~
UNIT:	kN
DATE:	03/17/2025
VIEW-DIRECTION	
X:	-0.677
Y:	-0.643
Z:	0.358

Ry Pile/Spalle

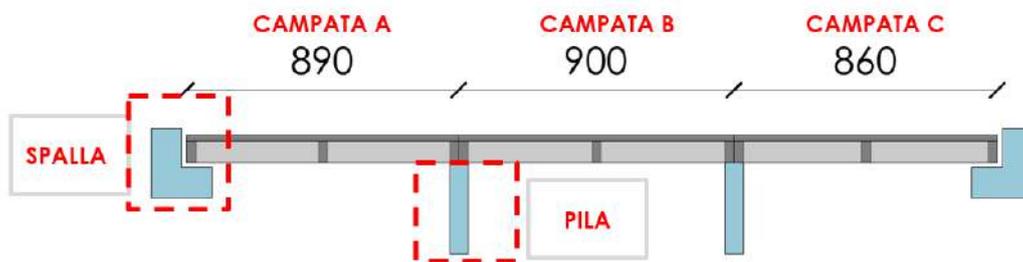
### 13.3 Sollecitazioni per Carichi da Traffico – Transitabilità CdS – Mezzi Pesanti (44t)

Si riportano i valori di sollecitazione flessionali e taglianti, per gli elementi trave e traverso, e gli sforzi normali, tagli e momenti flettenti per quanto riguarda pile.

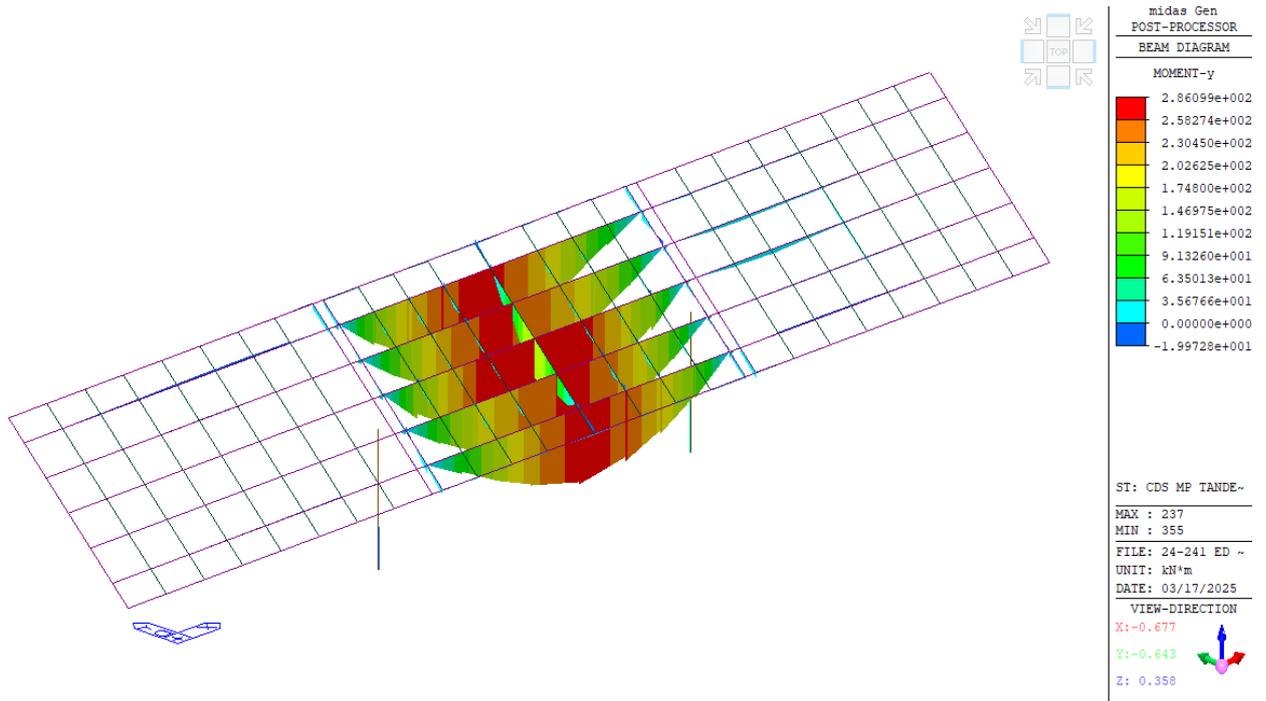
Trattando un numero considerevole di schemi di traffico, onde evitare di riportare informazioni poco rilevanti, per ciascuno schema verranno riportati graficamente i soli parametri di sollecitazione più significativi ai fini della massimizzazione in oggetto.

Le denominazioni degli schemi di carico sono state riportate al capitolo 10.4 del presente elaborato.

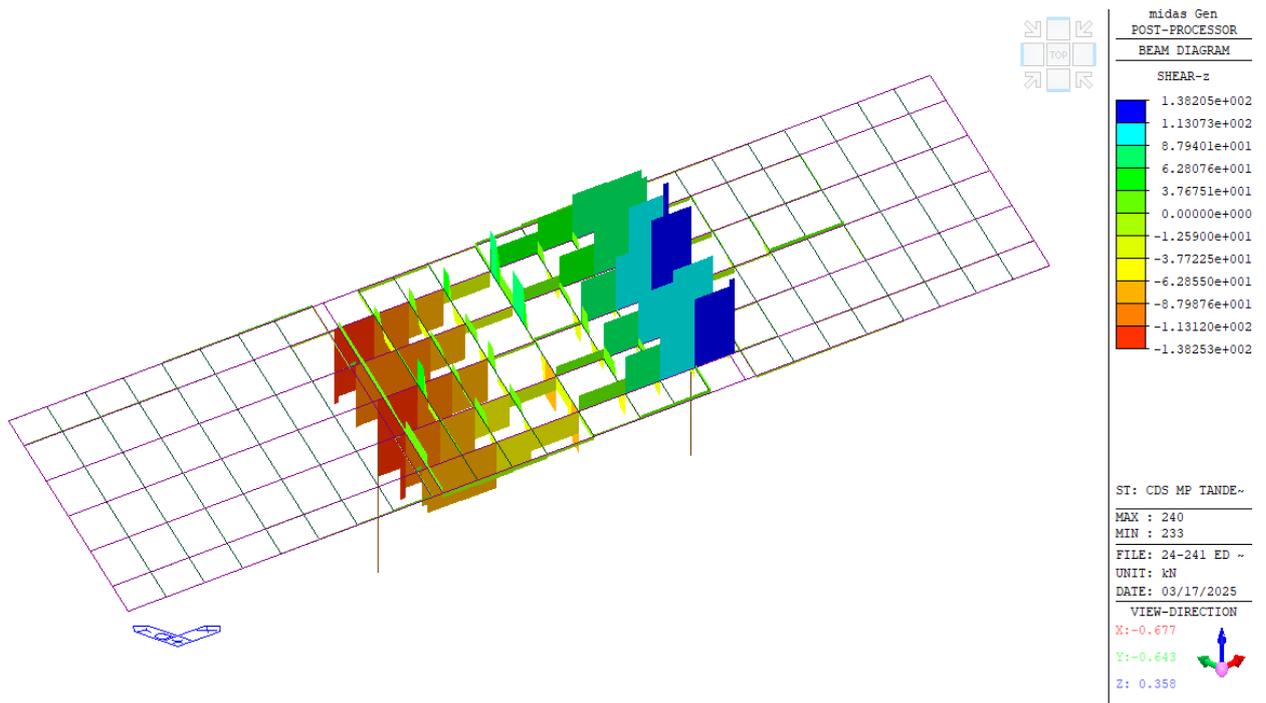
- CdSMP-T1 *Traffico: Massimizzazione M+ campata B*
- CdSMP-T2 *Traffico: Massimizzazione M+ campata B*
- CdSMP-T6 *Traffico: Massimizzazione N Spalla*
- CdSMP-T7 *Traffico: Massimizzazione M trasverso*
- CdSMP-T8 *Traffico: Massimizzazione M/V soletta*



### 13.3.1 Schema traffico CdS MP-T1

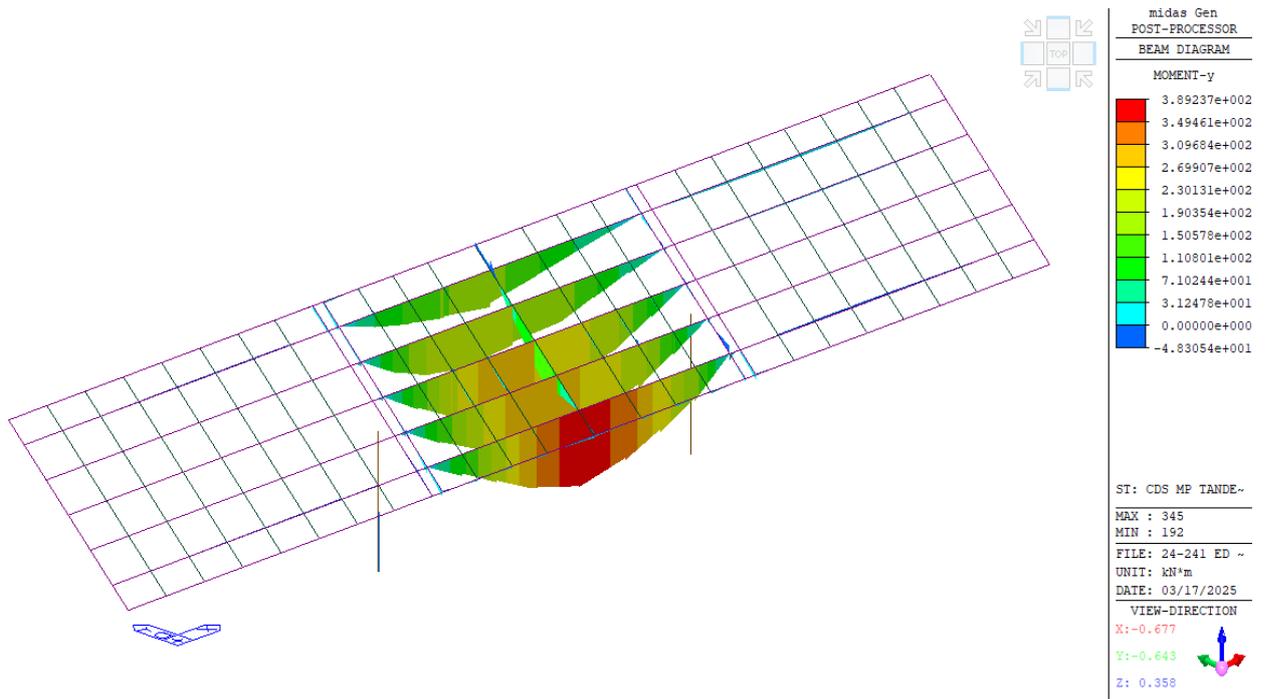


My Impalcato

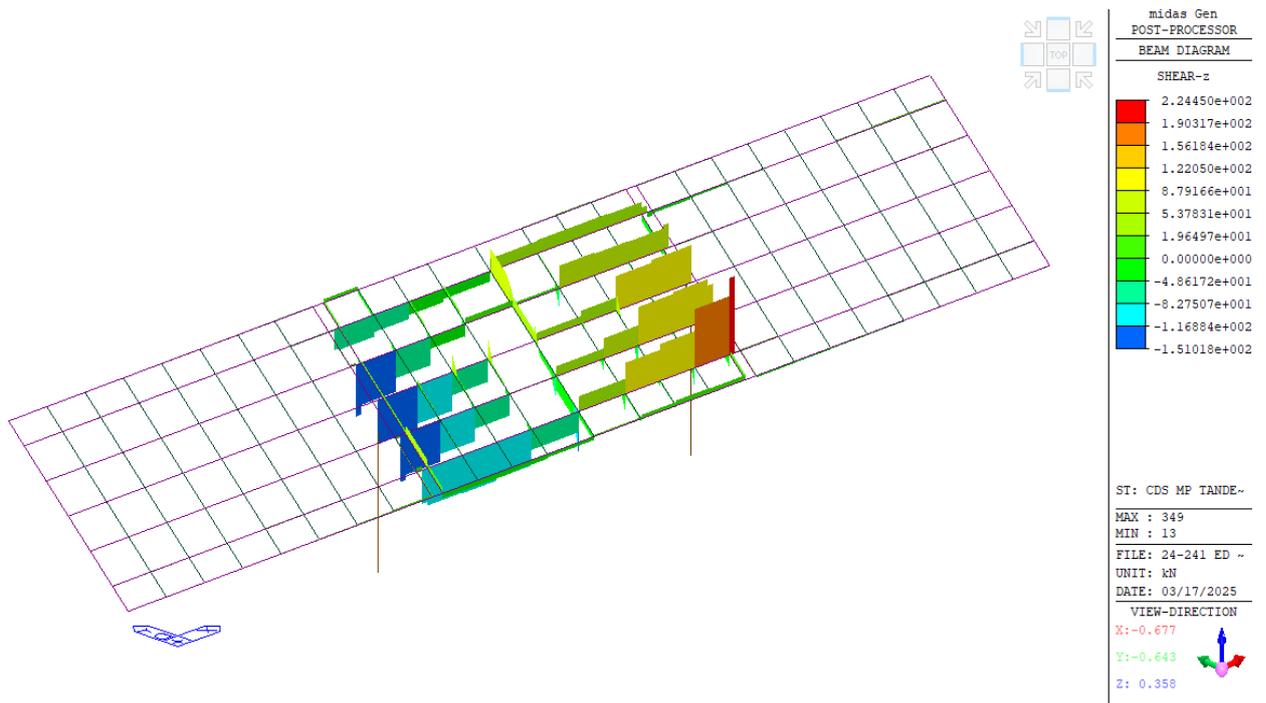


Fz Impalcato

### 13.3.2 Schema traffico CdS MP-T2

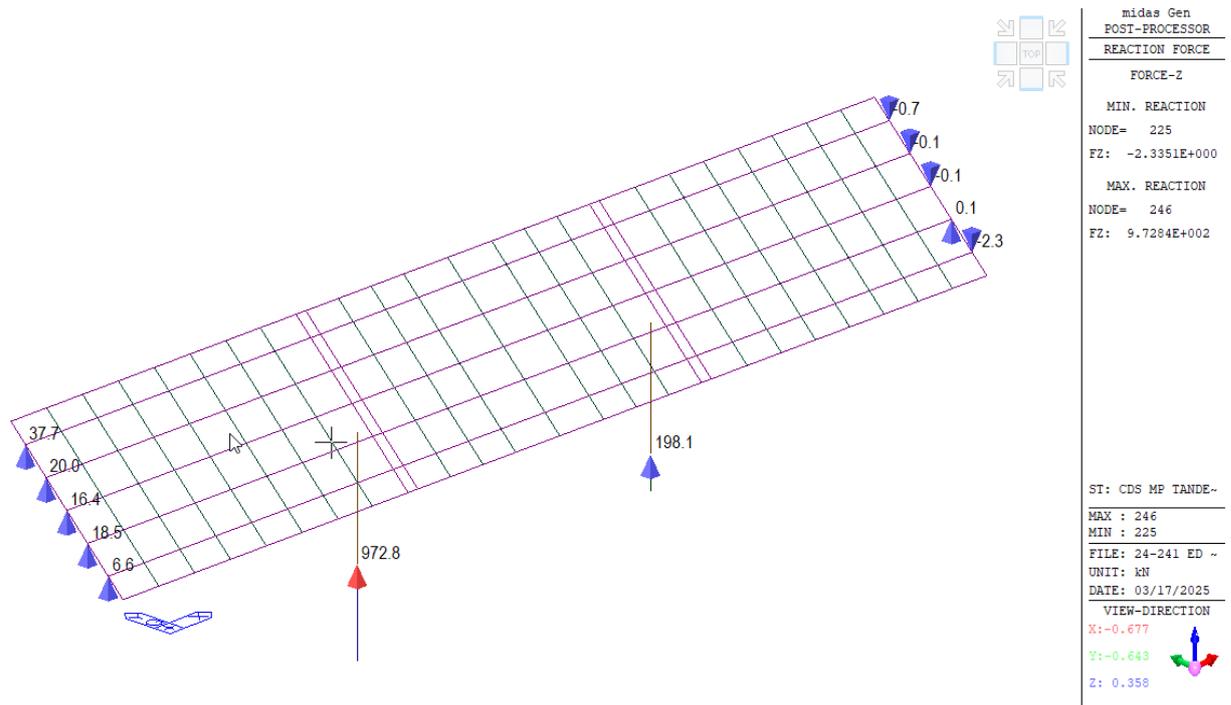


My Impalcato

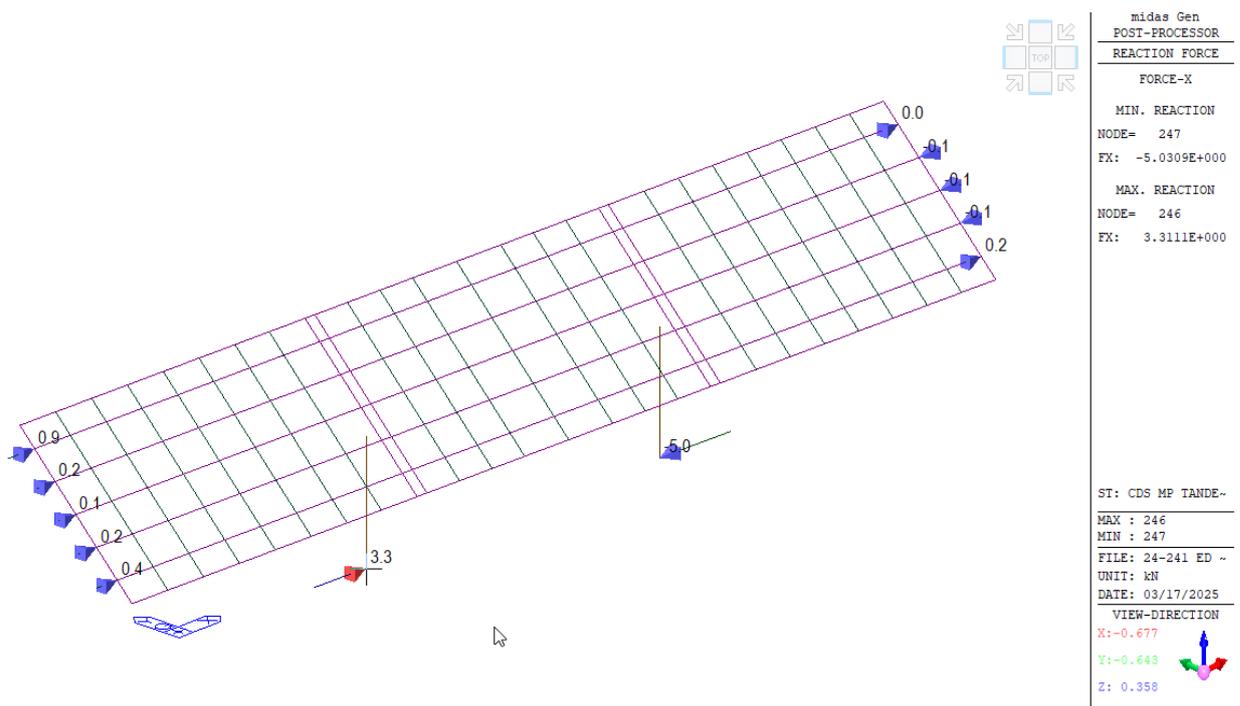


Fz Impalcato

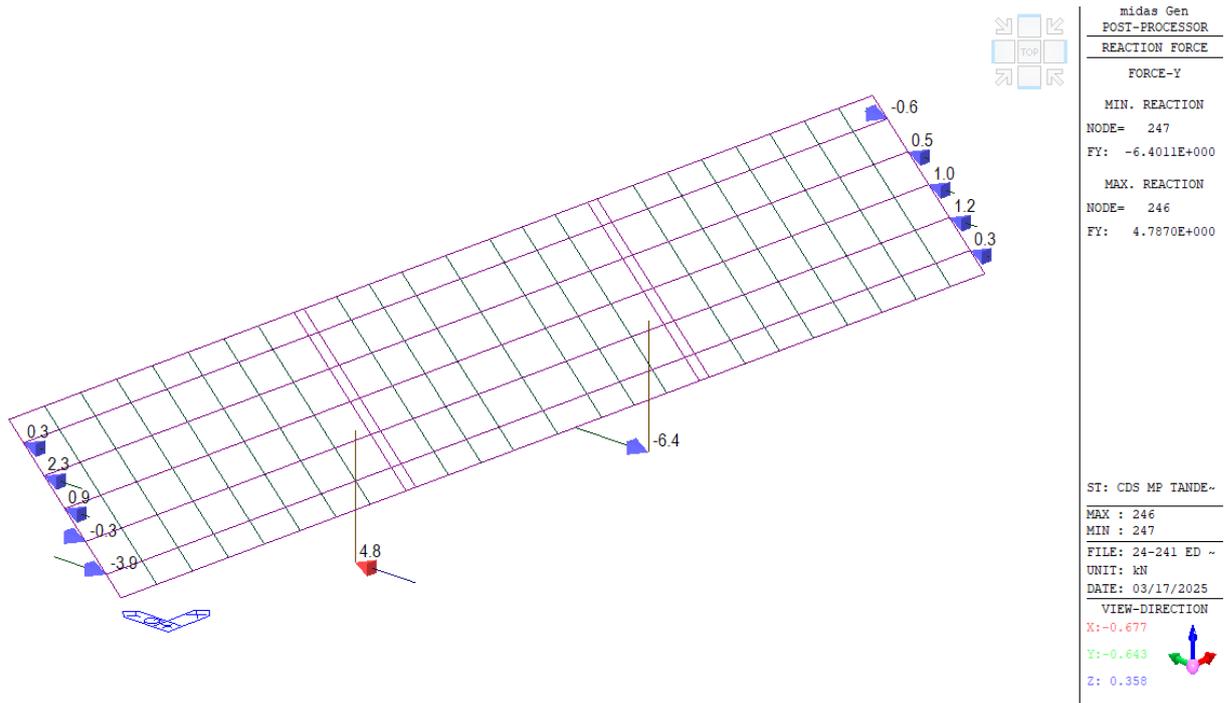
### 13.3.3 Schema traffico CdS MP-T6



N Pile/Spalle

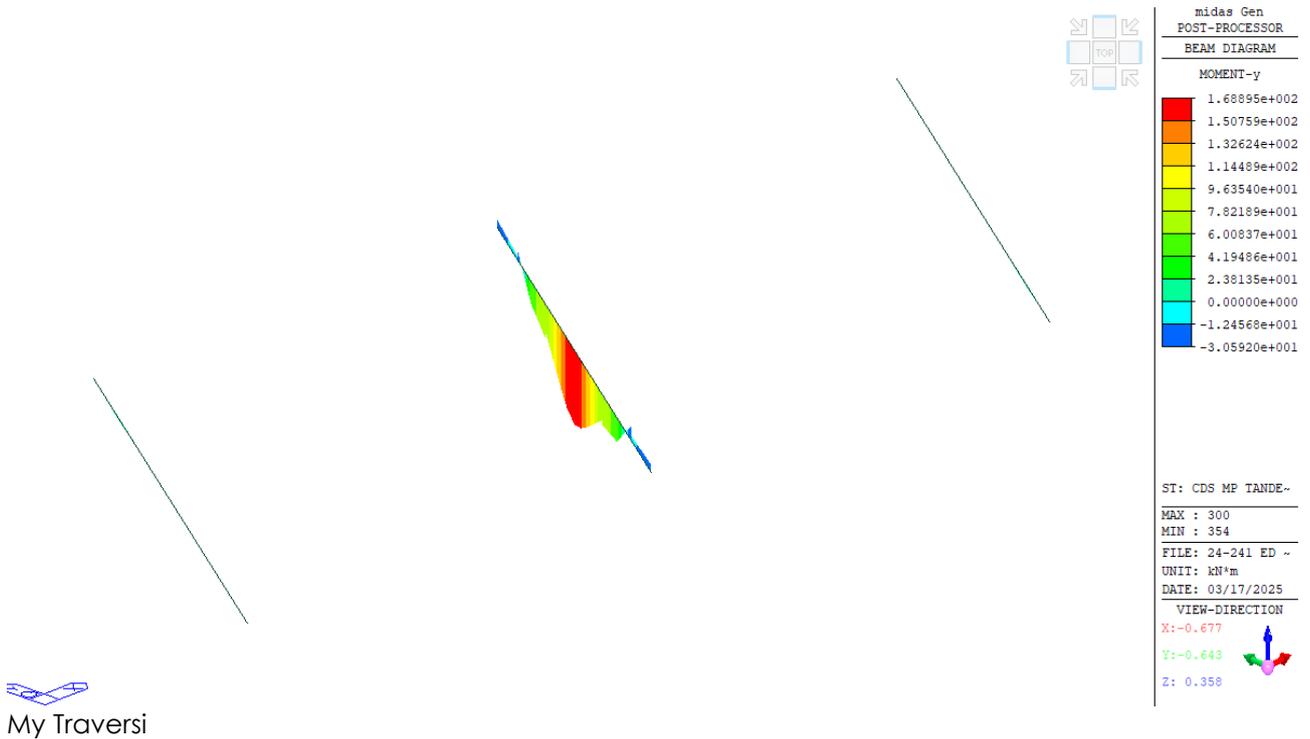


Rx Pile/Spalle



Ry Pile/Spalle

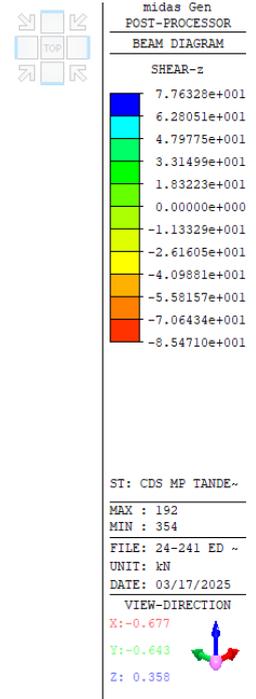
### 13.3.4 Schema traffico CdS MP-T7



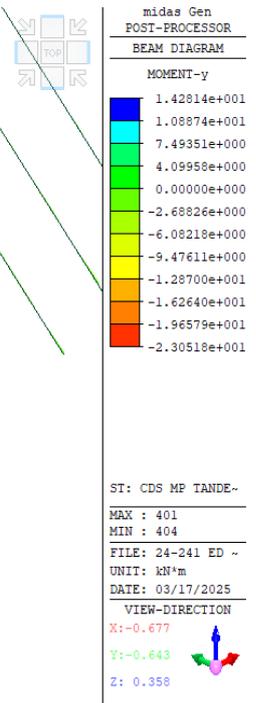


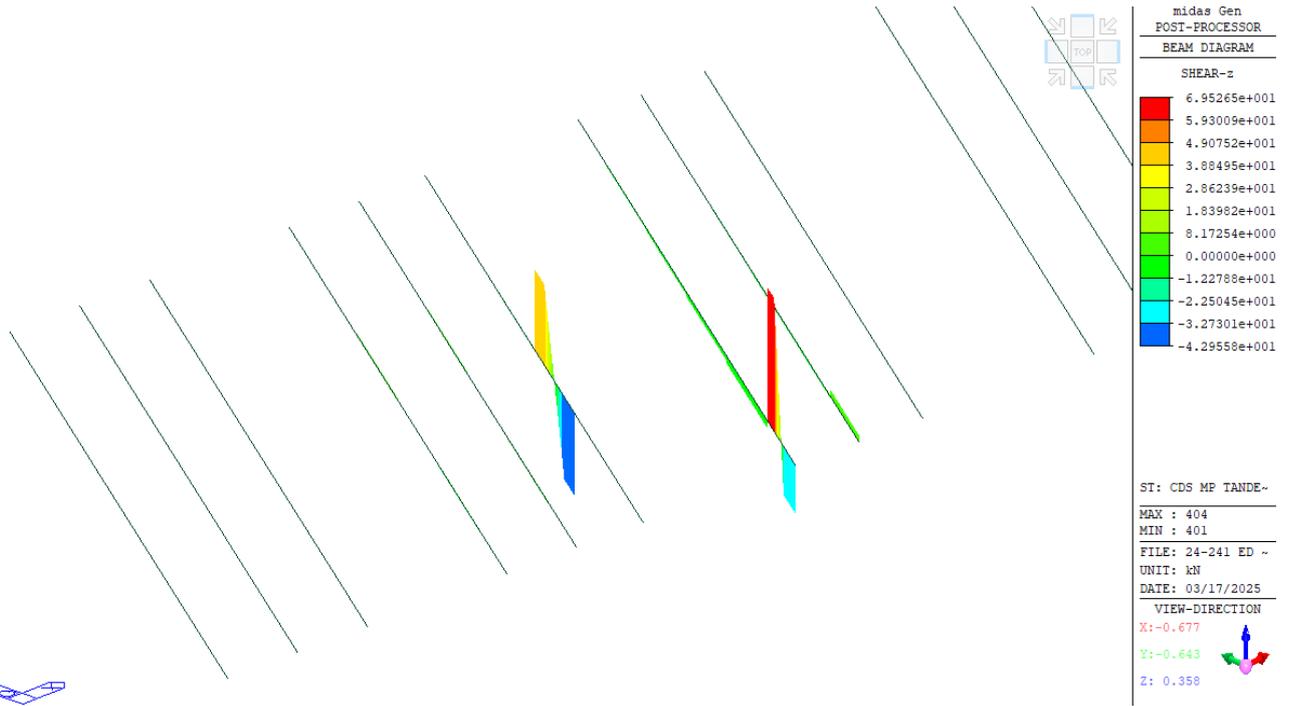
Fz Traversi

### 13.3.5 Schema traffico CdS MP-T8



My Solette





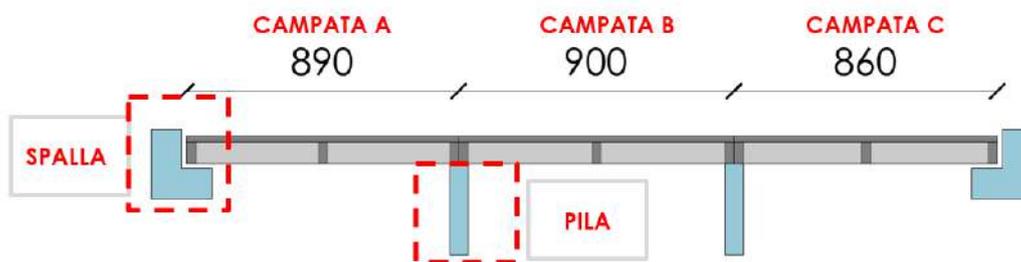
## 13.4 Sollecitazioni per Carichi da Traffico - **Transitabilità CdS – Mezzi Intermedi (26t)**

Si riportano i valori di sollecitazione flessionali e taglianti, per gli elementi trave e traverso, e gli sforzi normali, tagli e momenti flettenti per quanto riguarda pile.

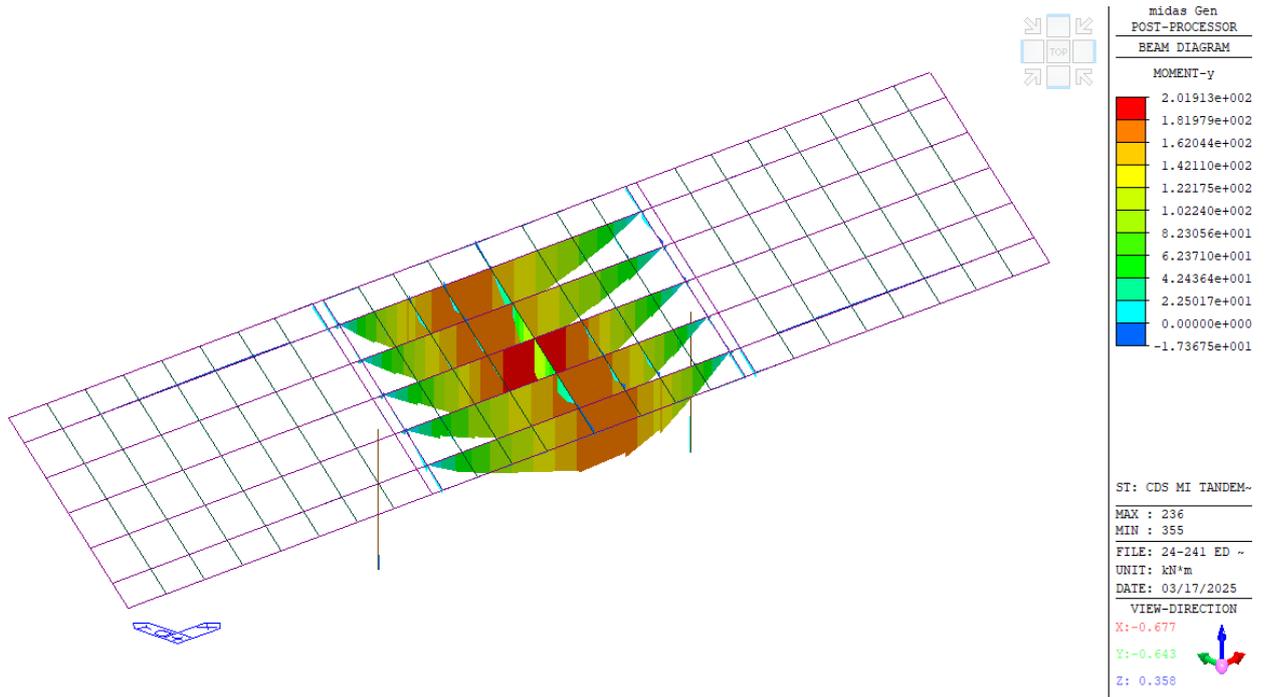
Trattando un numero considerevole di schemi di traffico, onde evitare di riportare informazioni poco rilevanti, per ciascuno schema verranno riportati graficamente i soli parametri di sollecitazione più significativi ai fini della massimizzazione in oggetto.

Le denominazioni degli schemi di carico sono state riportate al capitolo 10.4 del presente elaborato.

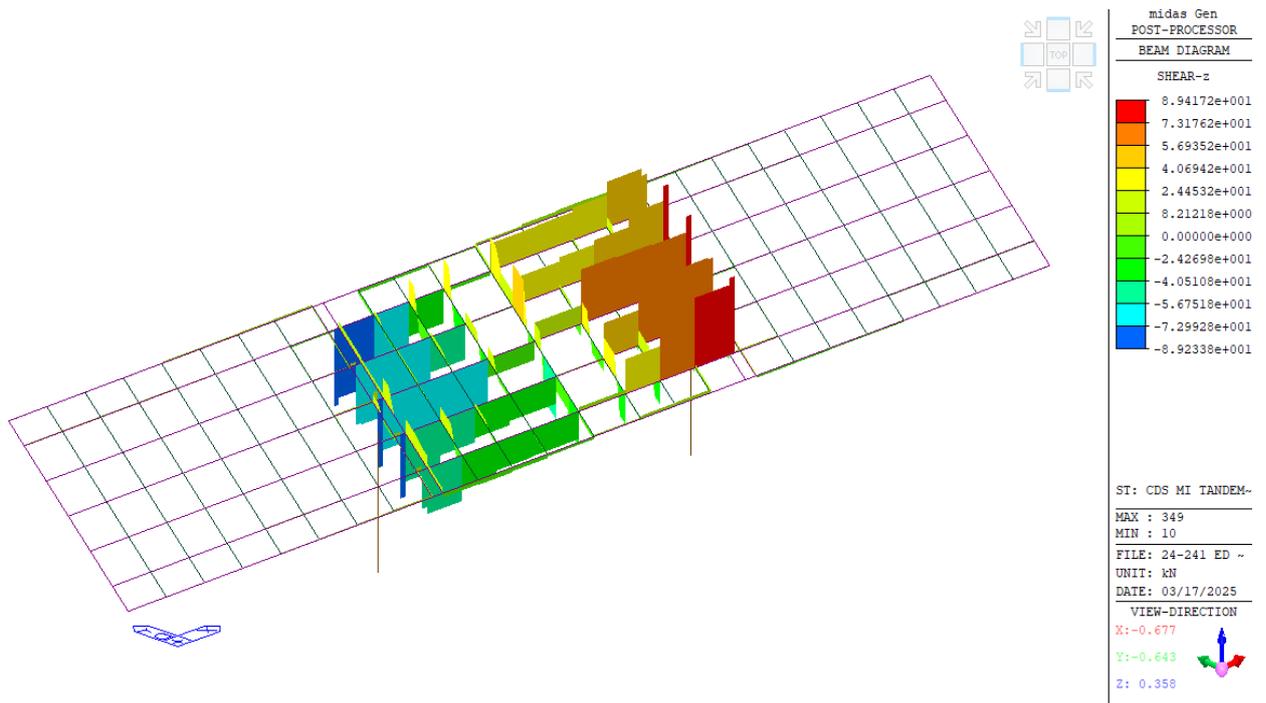
CdSMI-T1	Traffico: Massimizzazione M+ campata B
CdSMI-T2	Traffico: Massimizzazione M+ campata B
CdSMI-T6	Traffico: Massimizzazione N Spalla
CdSMI-T7	Traffico: Massimizzazione M trasverso
CdSMI-T8	Traffico: Massimizzazione M/V soletta



### 13.4.1 Schema traffico CdS MI-T1

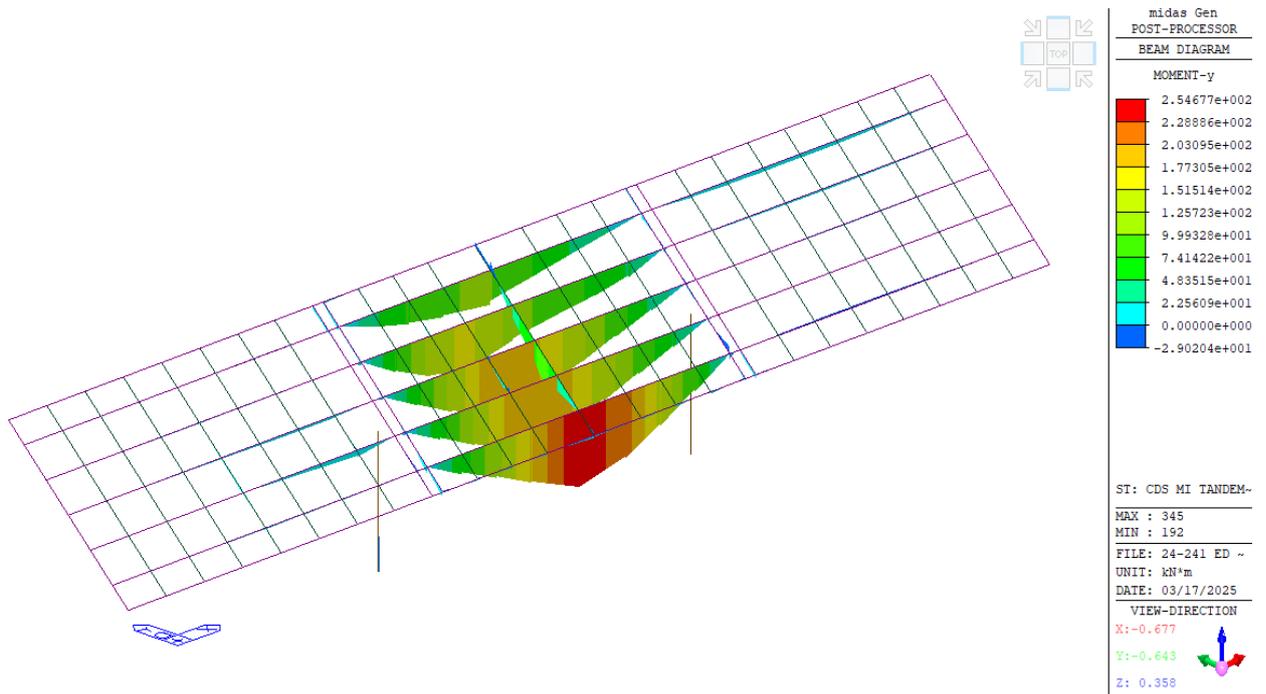


My Impalcato

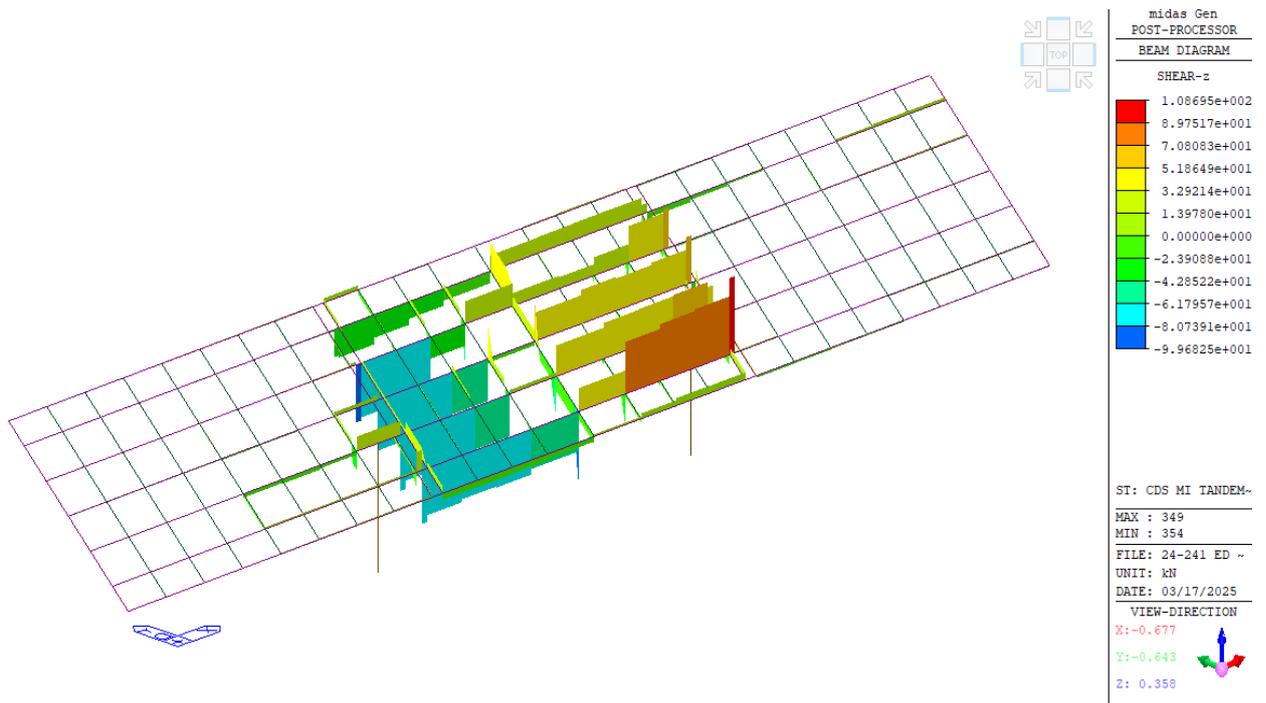


Fz Impalcato

### 13.4.2 Schema traffico CdS MI-T2

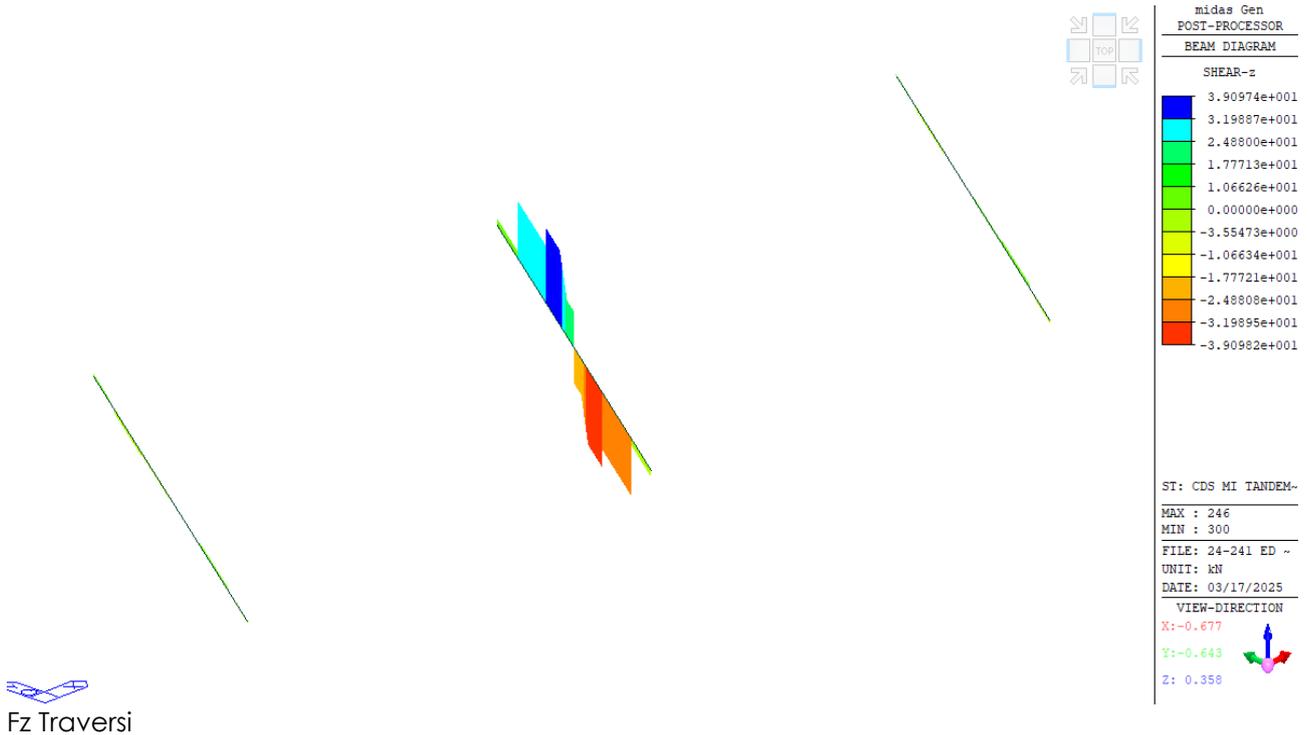
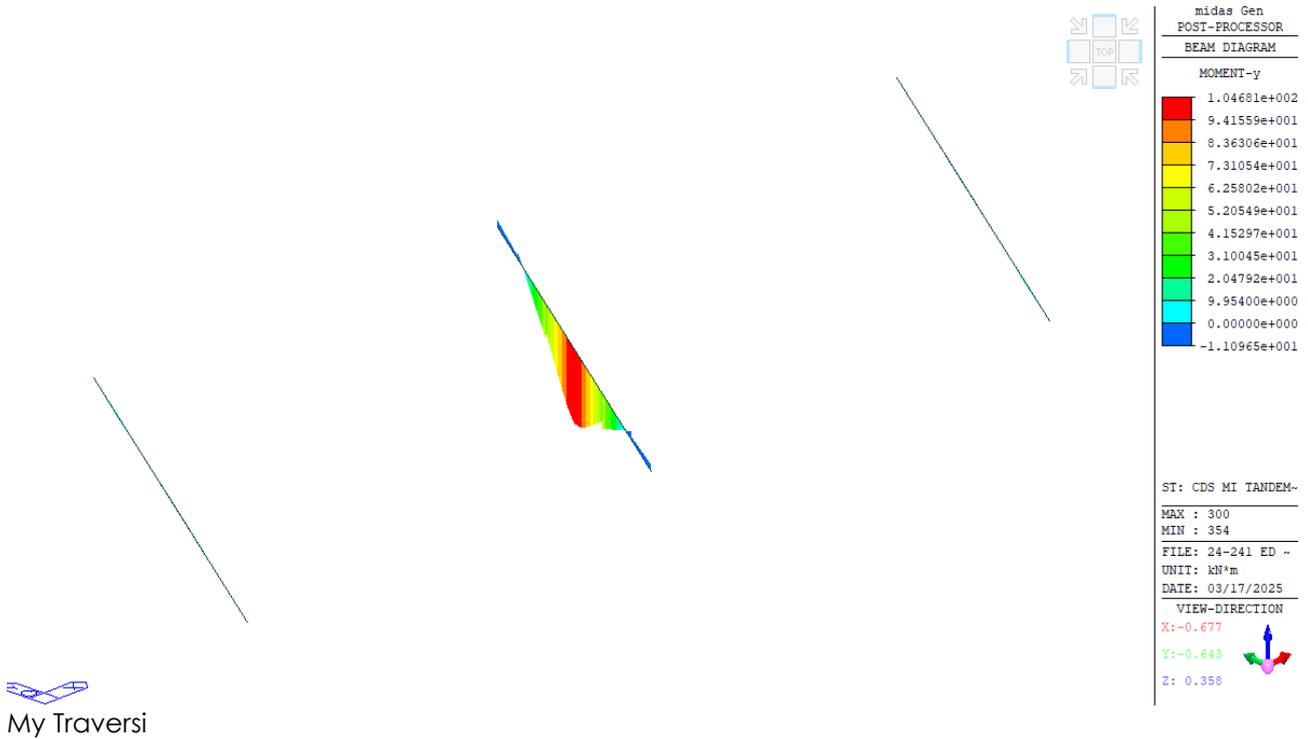


My Impalcato



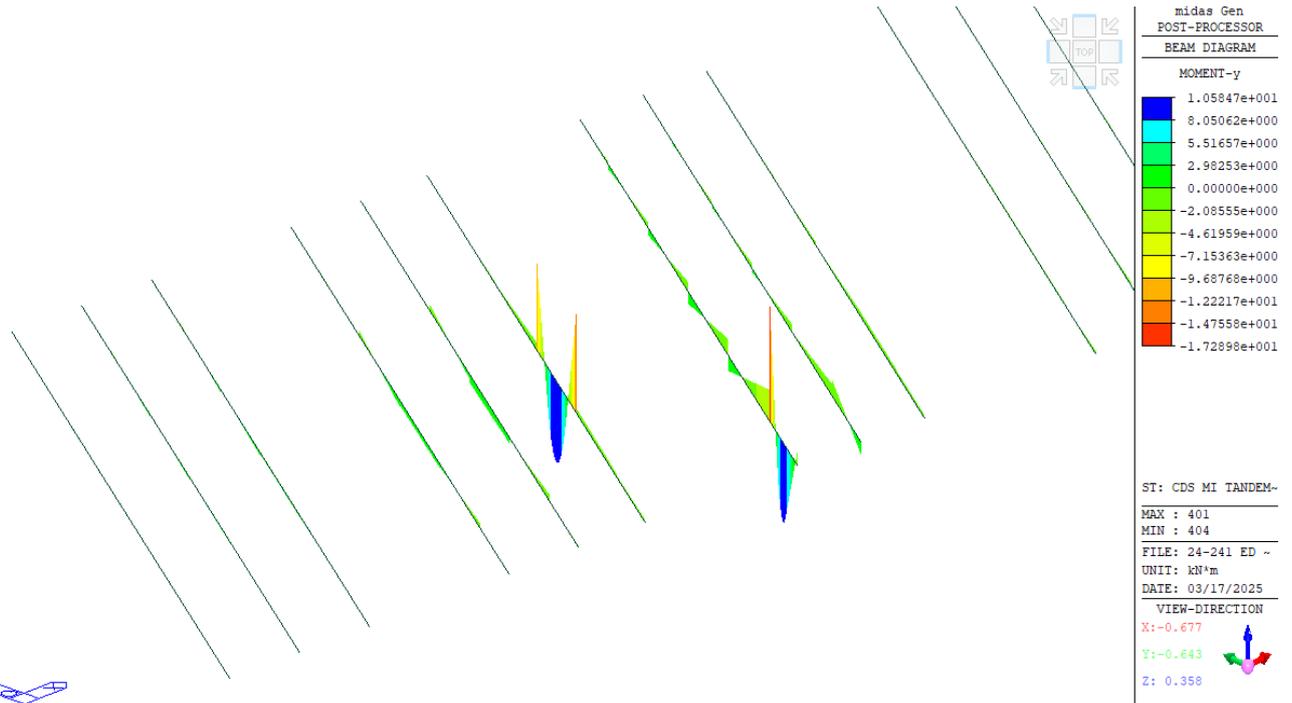
Fz Impalcato

### 13.4.3 Schema traffico CdS MI-T7

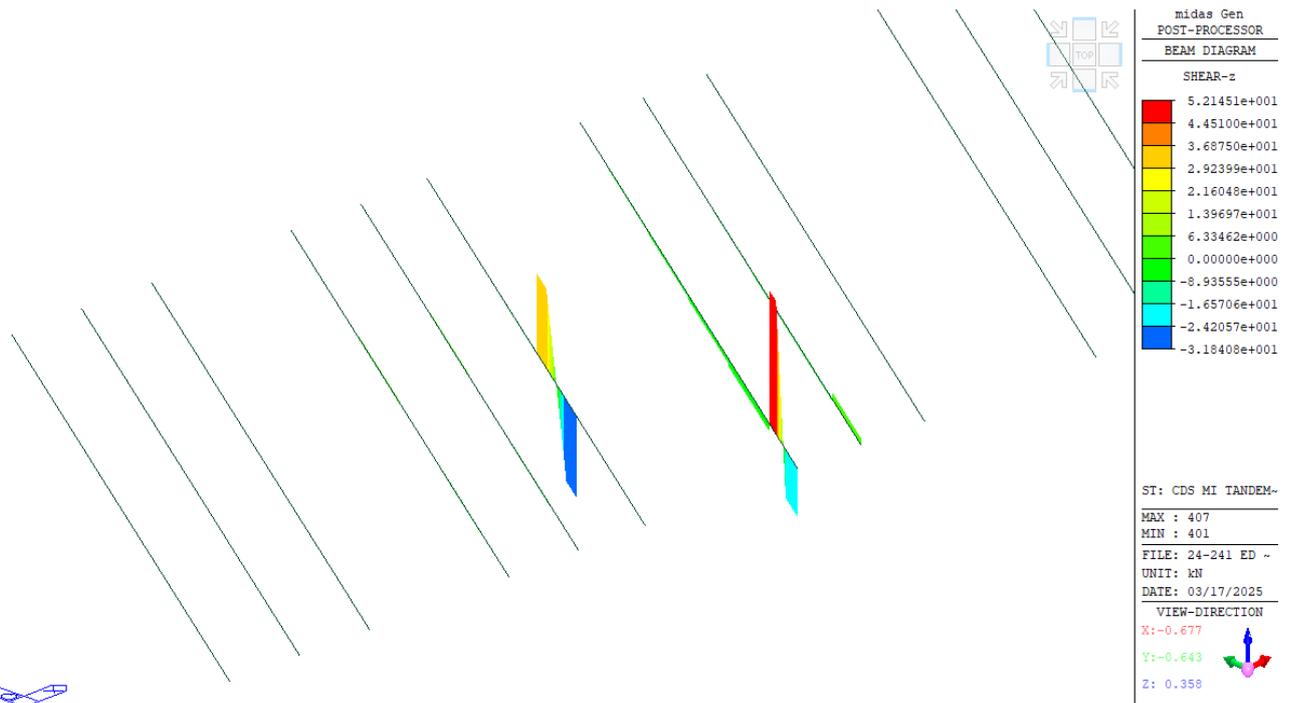


### 13.4.4 Schema traffico CdS MI-T8

  
My Solette



  
Fz Solette

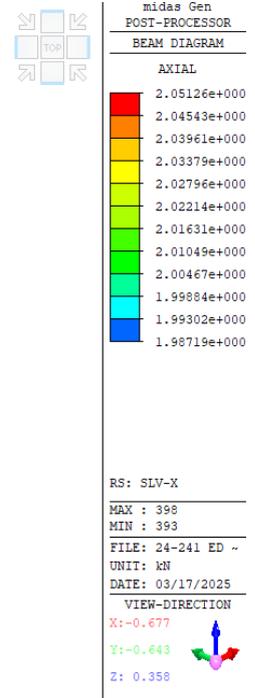


# 13.5 Sollecitazioni per Carichi Sismici

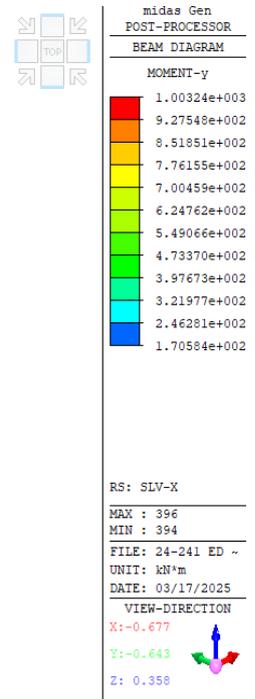
## 13.5.1 Condizione Sisma SLV X



N Pile/Spalle

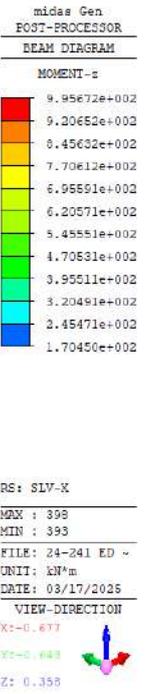


My Pile/Spalle

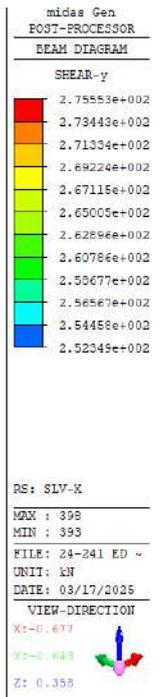
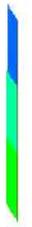


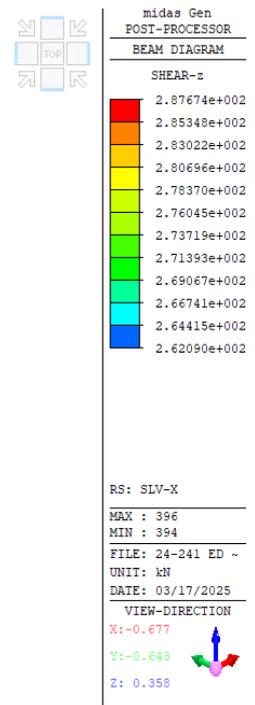


Mz Pile/Spalle

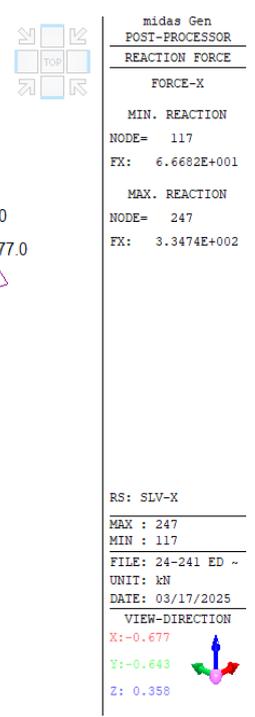


Fy Pile/Spalle





Fz Pile/Spalle



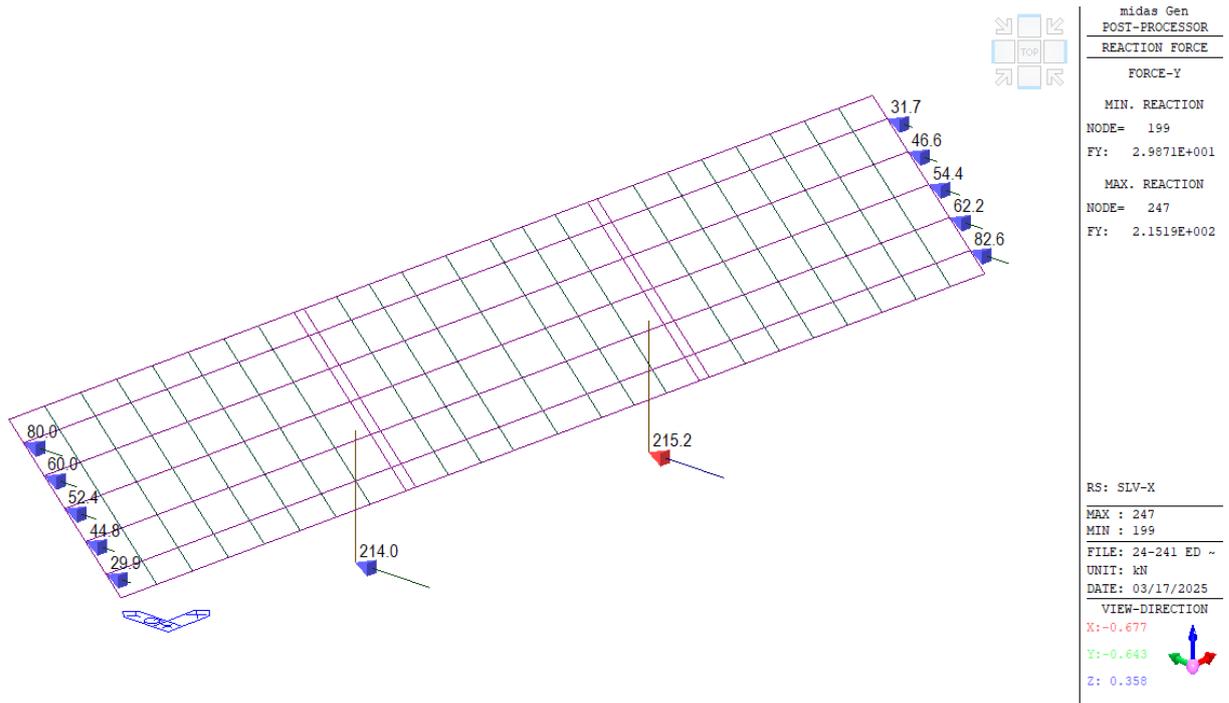
Rx Pile/Spalle

CLIENTE: CITTA' METROPOLITANA  
 DI VENEZIA

**PONTI ESISTENTI – AREA NORD CIG 9041138719**  
 Verifiche livello 4 – Ponte 10 – San Stino di Livenza  
 – SP59 – ID Opera 20

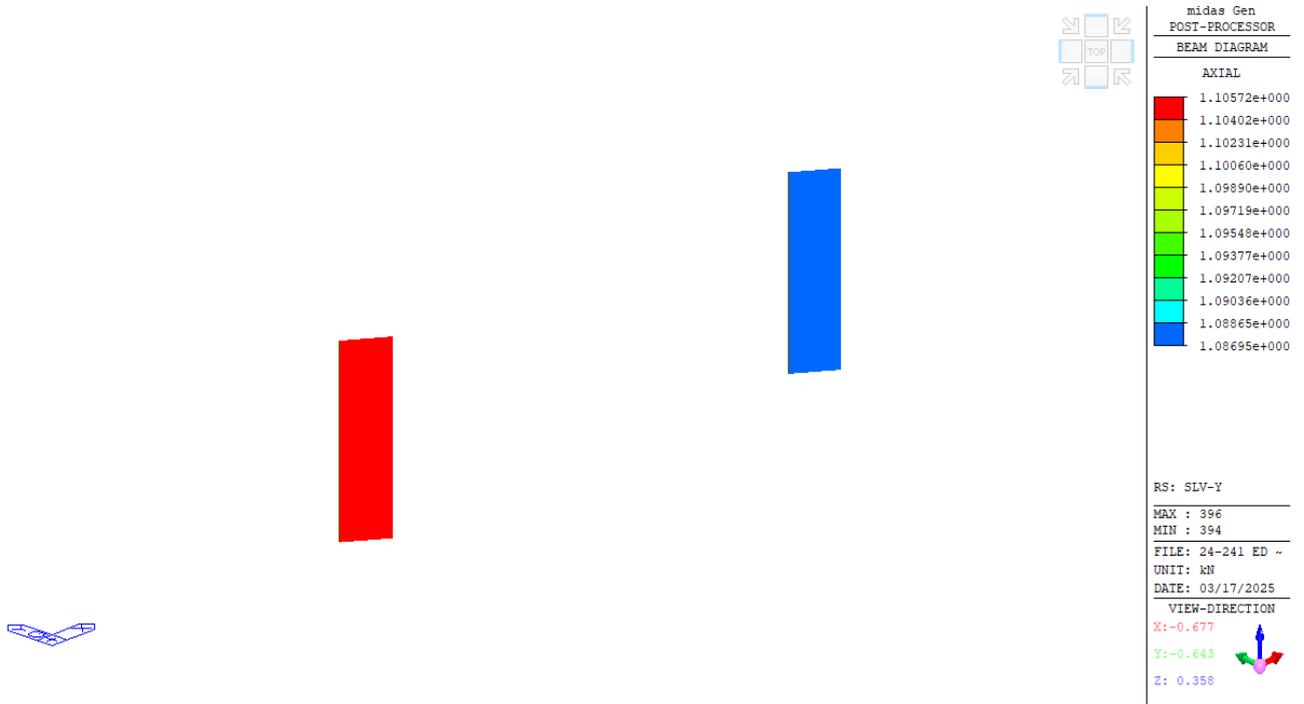
ELAB.: 21173P2112A

Rev. A - Pag. 130 di 236



Ry Pile/Spalle

### 13.5.2 Condizione Sisma SLV Y



N Pile/Spalle



My Pile/Spalle



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

5.11920e+002
4.73292e+002
4.34663e+002
3.96035e+002
3.57407e+002
3.18779e+002
2.80150e+002
2.41522e+002
2.02894e+002
1.64265e+002
1.25637e+002
8.70088e+001

RS: SLV-Y  
MAX : 396  
MIN : 394  
FILE: 24-241 ED ~  
UNIT: kN\*m  
DATE: 03/17/2025  
VIEW-DIRECTION  
X: -0.677  
Y: -0.643  
Z: 0.358



Mz Pile/Spalle



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

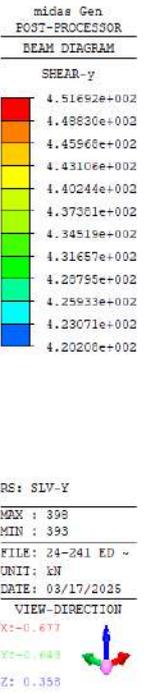
MOMENT-z

1.62897e+003
1.50667e+003
1.38437e+003
1.26207e+003
1.13977e+003
1.01747e+003
8.95172e+002
7.72872e+002
6.50571e+002
5.28271e+002
4.05970e+002
2.83670e+002

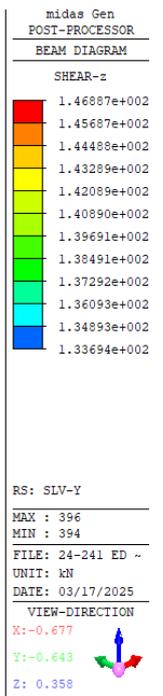
RS: SLV-Y  
MAX : 398  
MIN : 393  
FILE: 24-241 ED ~  
UNIT: kN\*m  
DATE: 03/17/2025  
VIEW-DIRECTION  
X: -0.677  
Y: -0.643  
Z: 0.358

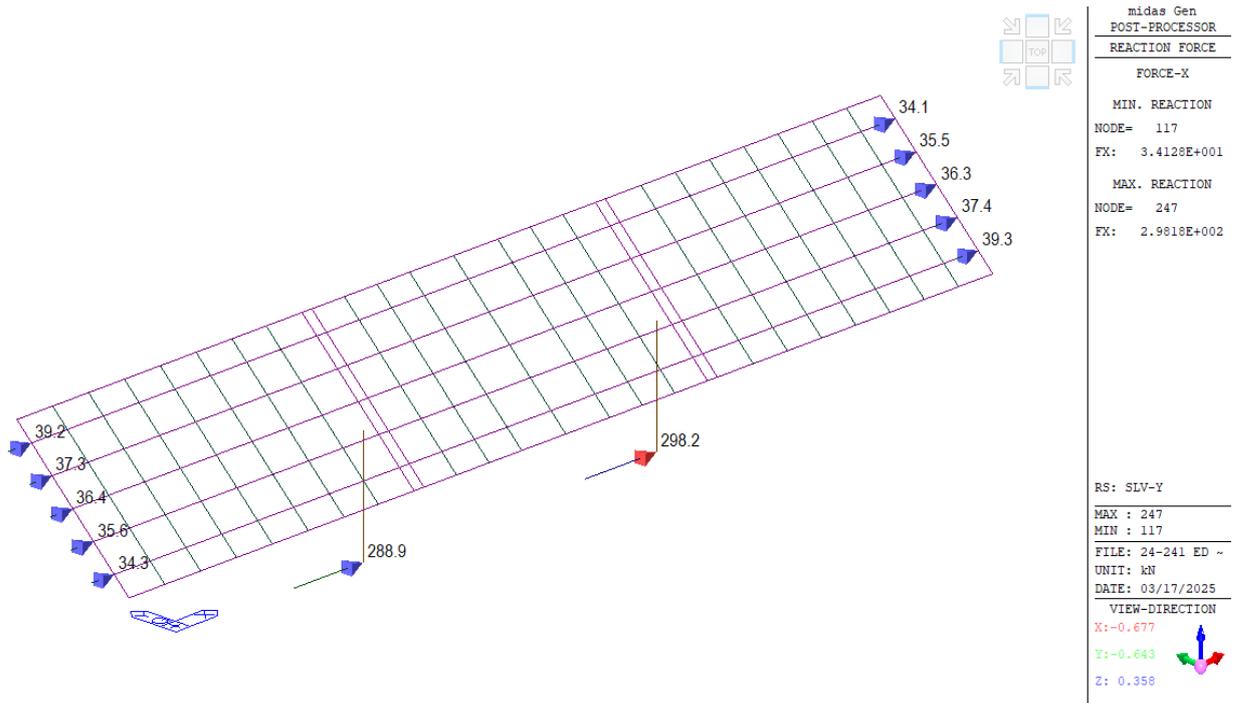


Fy Pile/Spalle

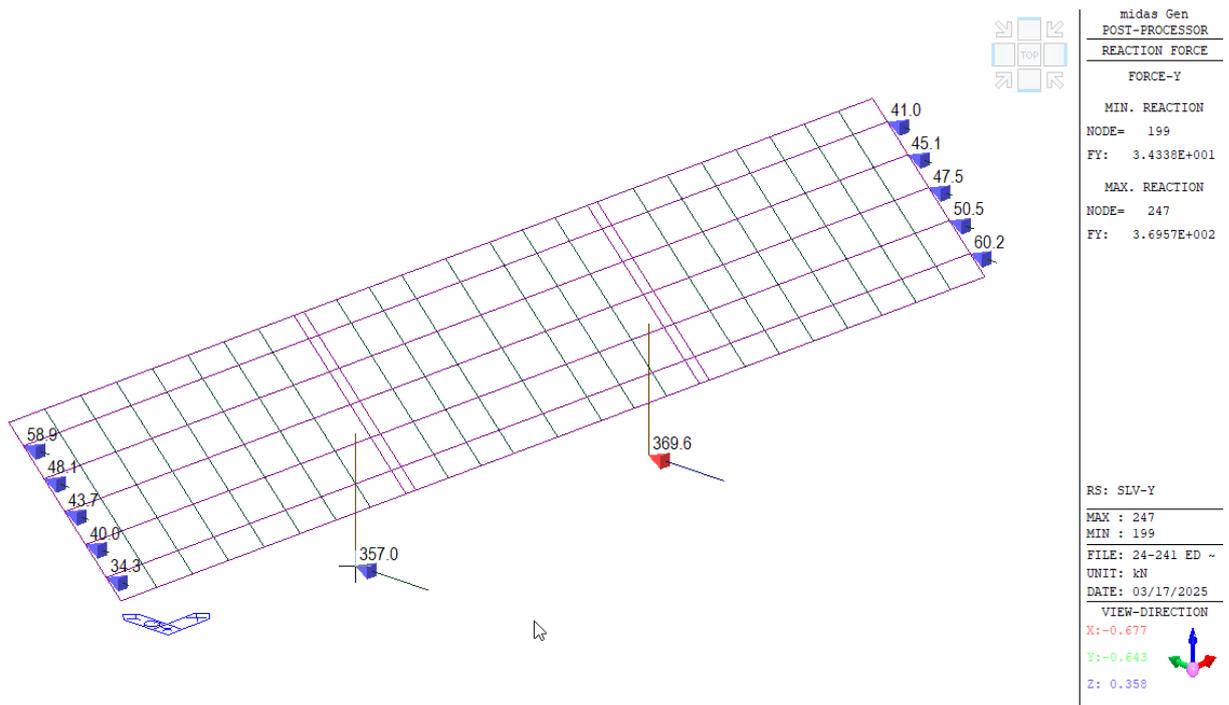


Fz Pile/Spalle





Rx Pile/Spalle



Ry Pile/Spalle

## 14 VERIFICHE DI LIVELLO 4 – DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI VERIFICA, GEOMETRIA ED ARMATURE PRESENTI

## 14.1 Individuazione degli Elementi

Di seguito si riportano graficamente le nomenclature delle sezioni oggetto di verifica.

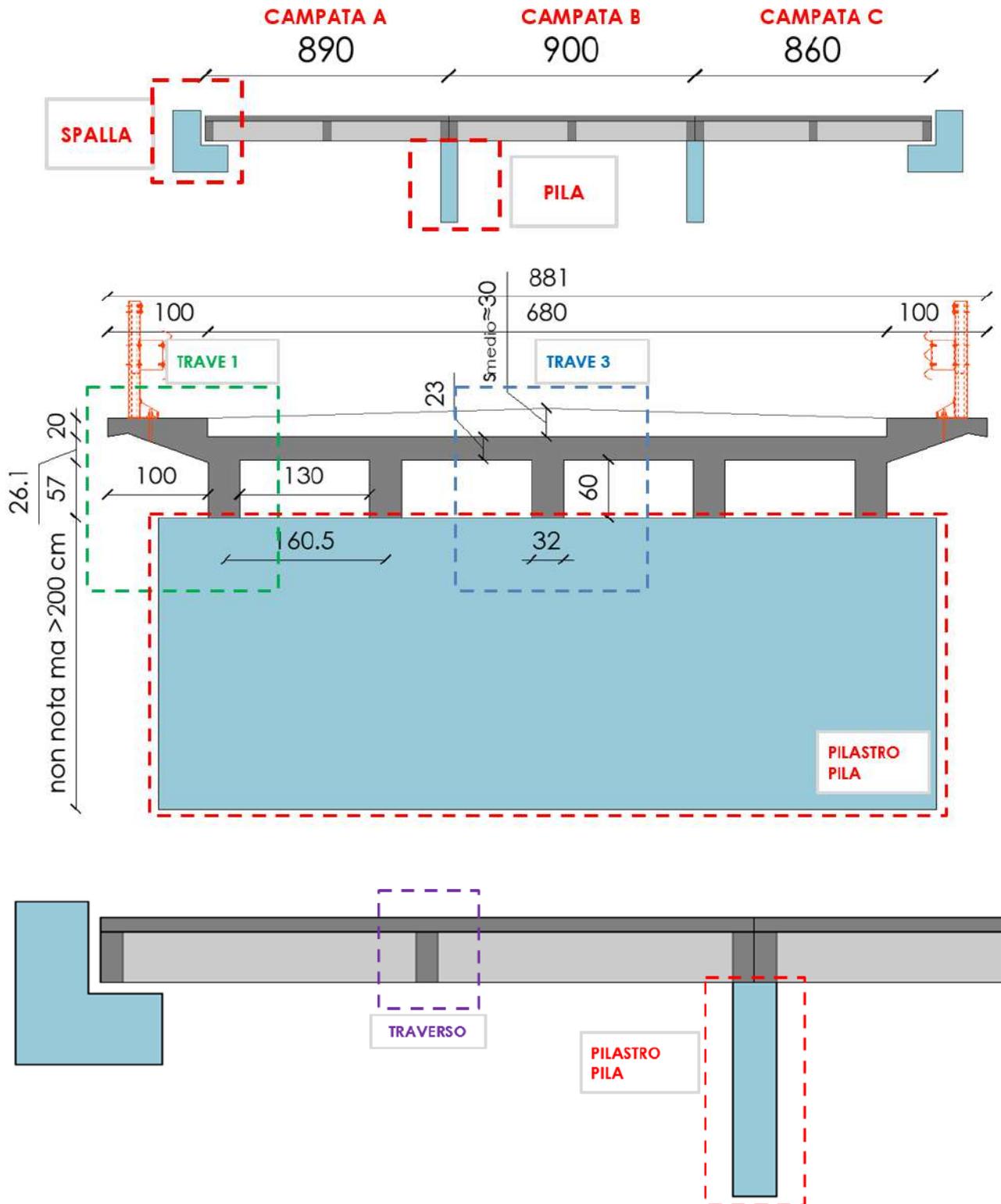
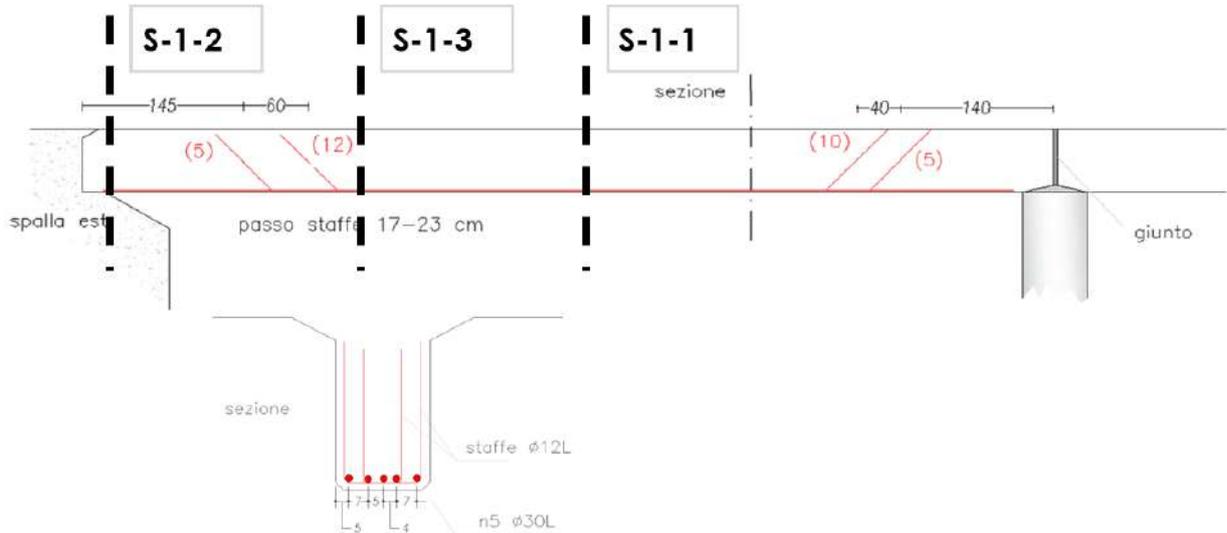


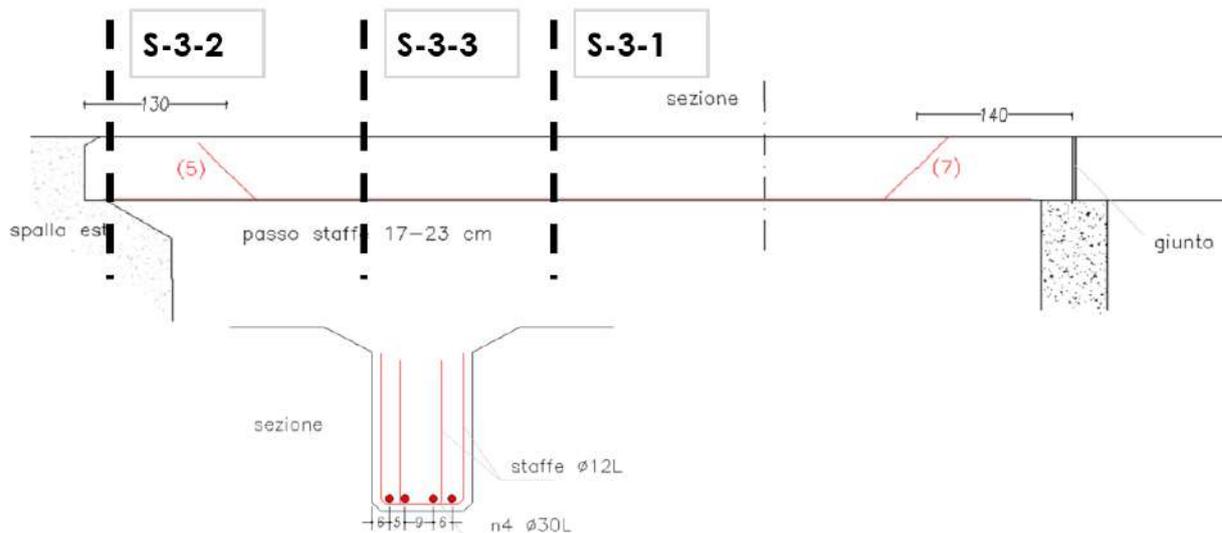
FIGURA 14-1: INDIVIDUAZIONE DEI MACRO ELEMENTI

## 14.2 Sezioni di Verifica e Armature degli Elementi

### TRAVE 1



### TRAVE 3



**Si fa presente che, per quanto riguarda le travi interne (Trave 2 e 3), nonostante le indagini denotino la presenza di un numero inferiore di barre longitudinali a momento positivo rispetto alle travi di bordo (Trave 1), si è condotto un predimensionamento con carichi e combinazioni dell'epoca mediante il metodo delle tensioni ammissibili, ed una tale quantità d'armatura non risulterebbe compatibile con le sollecitazioni agenti sugli stessi. Tutte le verifiche flessionali riportate di seguito per le Travi 2 e 3 sono pertanto state condotte utilizzando l'armatura rilevata nella Trave 1, armatura che risulta infatti compatibile con i carichi dell'epoca.**

**Ad avvalorare tale scelta vi è inoltre il fatto che tutte le travi presentano il medesimo interasse e non vi sarebbe alcuna particolare ragione per ridurre l'armatura resistente per le sole travi centrali; è parere dello scrivente che, durante la scarifica superficiale eseguita durante le indagini, la barra centrale non sia stata rilevata (probabilmente a causa di un maggior copriferro).**

**Di seguito il predimensionamento eseguito:**

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The title bar indicates 'File: Trave B1'. The menu bar includes 'File', 'Materiali', 'Opzioni', 'Visualizza', 'Progetto Sez. Rett.', 'Sismica', and 'Normativa: NTC 2008'. The main window is divided into several sections:

- Titolo:** A text input field.
- N° Vertici:** 11, with a 'Zoom' button.
- N° barre:** 4, with a 'Zoom' button.
- Table 1 (Left):**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	86
2	20	86
3	100,5	57
4	100,5	0
5	132,5	0
6	132,5	60
- Table 2 (Right):**

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	35,34	116,5	3
2	14,14	116,5	80
3	1,57	50	80
4	1,57	165	65
- Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n. Input fields for  $N_{Ed}$ ,  $M_{xEd}$ ,  $M_{yEd}$ , and their respective units (kN, kNm).
- P.to applicazione N:** Radio buttons for 'Centro', 'Baricentro cls', and 'Coord.[cm]'. Input fields for  $xN$  and  $yN$ .
- Metodo di calcolo:** Radio buttons for 'S.L.U.+', 'S.L.U.-', and 'Metodo n'.
- Materiali:** A section for material properties for SEMIDUR and C35/45, including  $\epsilon_{su}$ ,  $f_{yd}$ ,  $E_s$ ,  $E_s/E_c$ ,  $\epsilon_{syd}$ ,  $\sigma_{s,adm}$ ,  $\epsilon_{c2}$ ,  $\epsilon_{cu}$ ,  $f_{cd}$ ,  $f_{cc}/f_{cd}$ ,  $\sigma_{c,adm}$ ,  $\tau_{co}$ , and  $\tau_{c1}$ .
- Results:**
  - $\sigma_c$ : -3,942 N/mm²
  - $\sigma_s$ : 145,4 N/mm²
  - $\epsilon_s$ : 0,7268 ‰
  - $d$ : 94,55 cm
  - $x$ : 27,34;  $x/d$ : 0,2892
  - $\delta$ : 0,8015
- Verifica:** A button and an input field for 'N° iterazioni: 4'.
- Precompresso:** A checkbox.

Come dimostrato sopra, la trave di bordo dotata di n. 5 barre FI30 inferiori presenta tensioni su acciaio ( $145 \text{ Mpa} < 160 \text{ Mpa}$ ) e calcestruzzo compatibili con le resistenze dei materiali presenti.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave B3

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	60
2	65	60
3	65	0
4	97	0
5	97	60
6	162	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	28,27	81	3
2	14,14	81	80
3	1,57	30	65
4	1,57	126	65

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>  kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Materiali SEMIDURI C35/45

ε<sub>su</sub>  % ε<sub>c2</sub>  %  
f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  %  
E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  %  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
ε<sub>syd</sub>  % σ<sub>c,adm</sub>  %  
σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  %  
τ<sub>c1</sub>  %

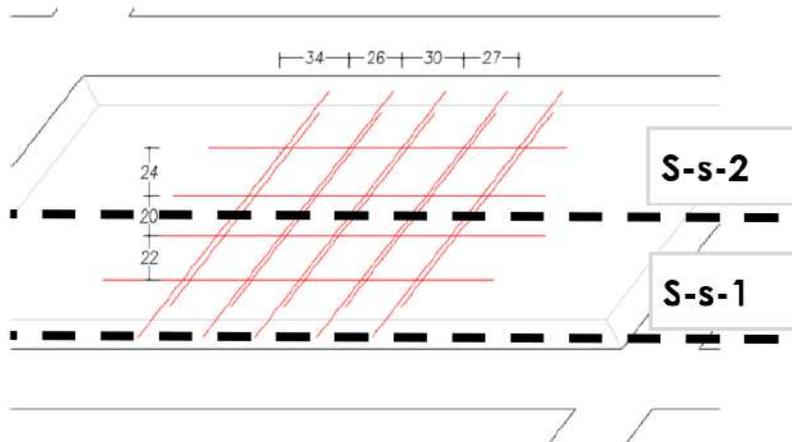
σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>s</sub>  %  
d  cm  
x  x/d   
δ

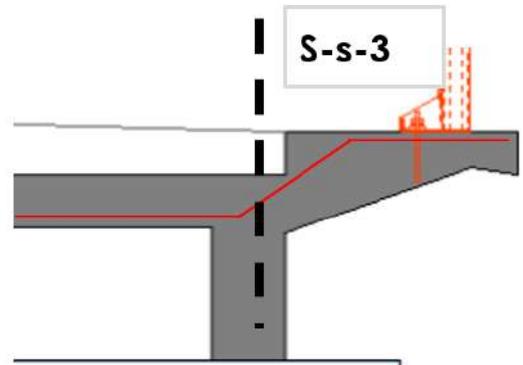
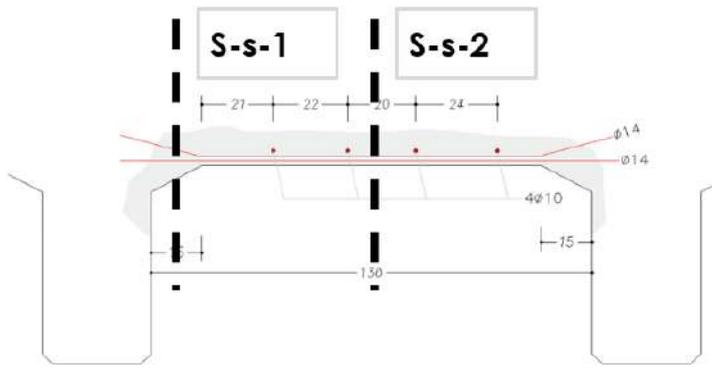
Verifica N° iterazioni:

Precompresso

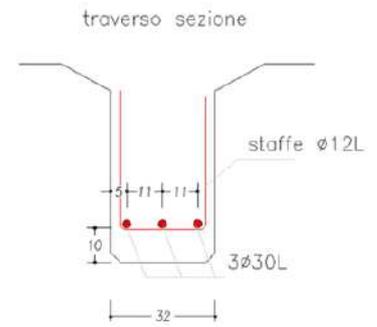
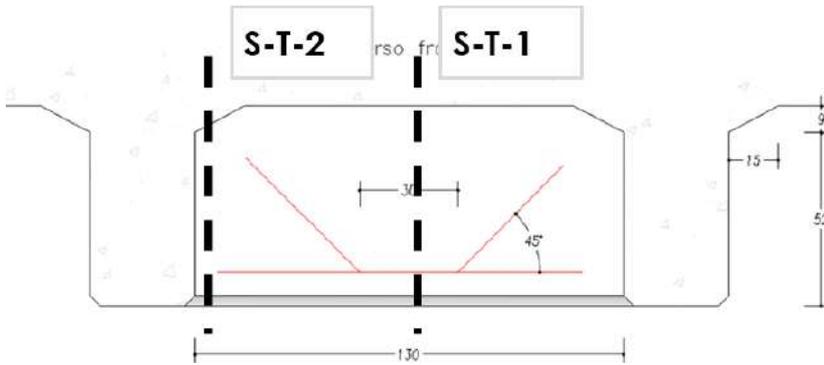
La trave centrale invece, se fosse stata armata mediante n. 4 barre FI30 inferiori, avrebbe presentato delle tensioni su acciaio maggiori rispetto ai limiti del materiale presente (180 Mpa > 160 Mpa).

## SOLETTA

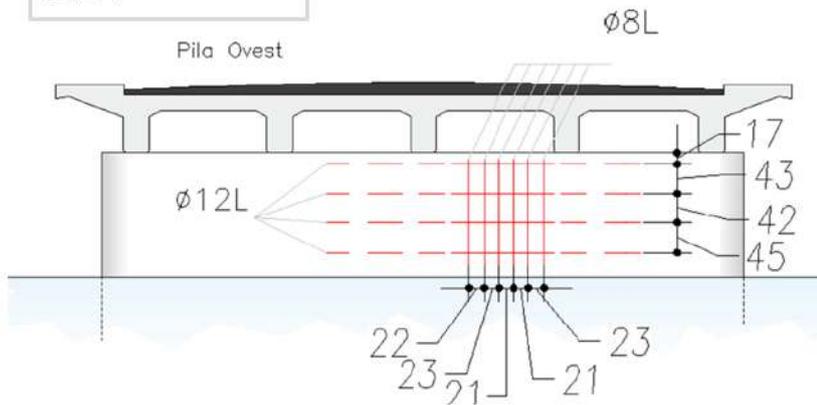


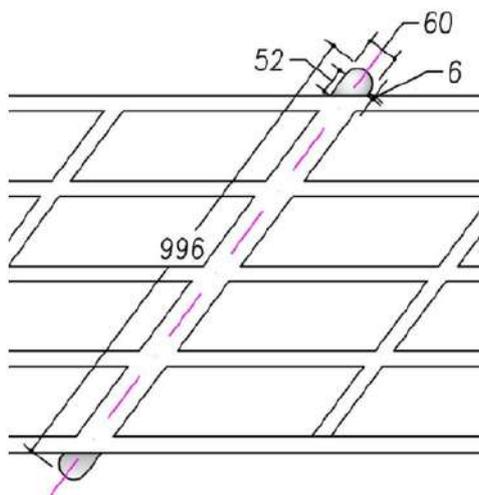


**TRAVERSO**



**PILA**





## 15 VERIFICHE DI ADEGUATEZZA

Per ciascuna sezione di verifica, per le quali le azioni accidentali maggiormente gravose sono quelle relative al traffico stradale, è stato quindi calcolato il relativo coefficiente  $\xi_{(V,i)}$ , definito al paragrafo 8.3 delle NTC18 come "rapporto tra il valore massimo del sovraccarico variabile verticale sopportabile da quella parte della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione".

In generale tale rapporto è stato determinato per l'i-esima sezione di verifica sia per la pressoflessione che per le sollecitazioni taglianti:

$$\xi_{V,iM} = \frac{M_{Rd} - \gamma_G \cdot M_G - \sum_i \gamma_{q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot M_{q,i}}{\gamma_{Q,LL} \cdot (\psi_{0,LL}) \cdot M_{LL}}$$

$$\xi_{V,iV} = \frac{V_{Rd} - \gamma_G \cdot V_G - \sum_i \gamma_{q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot V_{q,i}}{\gamma_{Q,LL} \cdot (\psi_{0,LL}) \cdot V_{LL}}$$

dove col pedice i, si indicano i carichi variabili tenuti in conto ad eccezione di quelli legati al traffico individuati col pedice LL. Si precisa che il valore  $\psi_{(0,LL)}$  è stato utilizzato solamente per le verifiche in cui la combinazione più gravosa è risultata con la massimizzazione di un'azione diversa da quella del traffico.

## **15.1 Sollecitazioni di Calcolo**

---

A partire dalle sollecitazioni riportate graficamente al capitolo 13 del presente elaborato, si definiscono gli sforzi sollecitanti in combinazione i quali possono essere riassunti nella seguente tabella.



## 15.2 Resistenze delle Sezioni in Esame

### 15.2.1 Calcolo dei Momenti Resistenti

#### 15.2.1.1 Impalcato

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-1-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom  N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	86
2	20	86
3	100,5	57
4	100,5	0
5	132,5	0
6	132,5	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	35,34	116,5	3
2	14,14	116,5	80
3	1,57	50	80
4	1,57	165	65

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
 S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>  kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali

SEMIDURI		CLS TRAV	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	223 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	21,96
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	1
$\epsilon_{syd}$	1,115 ‰	$\sigma_{c,adm}$	14,25
$\sigma_{s,adm}$	160 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0,84
		$\tau_{c1}$	2,343

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
d  cm  
x  x/d   
 $\xi$

S-1-1

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-2-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	60
2	65	60
3	65	0
4	97	0
5	97	60
6	162	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	35,34	81	3
2	14,14	81	80
3	1,57	30	65
4	1,57	126	65

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Diagramma di sezione:

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>Ed</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipologia rottura:  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviato

N° rett.

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDURI CLS TRAV

E<sub>su</sub>  ‰ E<sub>c2</sub>  ‰  
f<sub>yd</sub>  N/mm² E<sub>cu</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
E<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰  
σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰  
τ<sub>c1</sub>  ‰

M<sub>xRd</sub>  kNm  
σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  w/d   
δ

S-2-1 ; S-3-1

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-T-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
4	83,5	0
5	83,5	60
6	135	60
7	135	83
8	0	83

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	14,14	67,5	12
2	7,07	67,5	80
3	3,08	25	65
4	3,08	110	65

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Diagramma di sezione:

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>Ed</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipologia rottura:  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviato

N° rett.

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDURI CLS TRAV

E<sub>su</sub>  ‰ E<sub>c2</sub>  ‰  
f<sub>yd</sub>  N/mm² E<sub>cu</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
E<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰  
σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰  
τ<sub>c1</sub>  ‰

M<sub>xRd</sub>  kNm  
σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  w/d   
δ

S-T-1

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-T-2

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
4	83,5	0
5	83,5	60
6	135	60
7	135	83
8	0	83

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	21,21	67,5	12
2	7,07	67,5	80
3	3,08	25	65
4	3,08	110	65

Tipologia Sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Diagramma di sezione:

Tipologia rottura: Lato acciaio - Acciaio snervato

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviate

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali:

SEMIDURI		CLS TRAV	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	223 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	21,96
$E_s / E_c$	15	$f_{cc} / f_{cd}$	1
$\epsilon_{syd}$	1,115 ‰	$\sigma_{c,adm}$	14,25
$\sigma_{s,adm}$	160 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0,84
		$\tau_{c1}$	2,343

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipologia rottura:  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
d  cm  
x  w/d   
 $\delta$

S-T-2

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-s-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	23

N°	As [cm²]	d [cm]
1	6,16	4
2	6,16	19

Tipologia Sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Diagramma di sezione:

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviate

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali:

SEMIDURI		CLS TRAV	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	223 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	21,96
$E_s / E_c$	15	$f_{cc} / f_{cd}$	1
$\epsilon_{syd}$	1,115 ‰	$\sigma_{c,adm}$	14,25
$\sigma_{s,adm}$	160 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0,84
		$\tau_{c1}$	2,343

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipologia rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
d  cm  
x  w/d   
 $\delta$

S-s-1

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-s-2

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO :

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	23	1	6,16	19
			2	6,16	19

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Diagramma:

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N:  Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo:  S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDURI CLS TRAV

ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 223 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 21,96  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 1 ?  
ε<sub>syd</sub> 1,115 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 14,25  
σ<sub>s,adm</sub> 160 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,84  
τ<sub>c1</sub> 2,343

M<sub>xRd</sub> 50,43 kNm  
σ<sub>c</sub> -21,96 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 223 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
ε<sub>s</sub> 39,68 ‰  
d 19 cm  
x 1,54 x/d 0,08105  
δ 0,7

S-s-2

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-s-3

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	26	1	6,16	4
			2	6,16	22

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Diagramma:

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N:  Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo:  S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDURI CLS TRAV

ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 223 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 21,96  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 1 ?  
ε<sub>syd</sub> 1,115 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 14,25  
σ<sub>s,adm</sub> 160 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,84  
τ<sub>c1</sub> 2,343

M<sub>xRd</sub> -33,94 kNm  
σ<sub>c</sub> -21,96 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 223 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
ε<sub>s</sub> 46,56 ‰  
d 22 cm  
x 1,538 x/d 0,06991  
δ 0,7

S-s-3

CLIENTE: CITTA' METROPOLITANA  
DI VENEZIA

**ELAB.: 21173P2112A**

**PONTI ESISTENTI – AREA NORD CIG 9041138719**  
Verifiche livello 4 – Ponte 10 – San Stino di Livenza  
– SP59 – ID Opera 20

Rev. A - Pag. 147 di 236

## 15.2.1.2 Spalle/Pile Combinazioni Statiche

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-P-2 N

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	966	0
3	966	60
4	0	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0,5	3	3
2	0,5	25	3
3	0,5	47	3
4	0,5	69	3
5	0,5	91	3
6	0,5	113	3

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd  Dominio Mx-My

angolo asse neutro  $\theta^\circ$

Precompresso

Materiali

SEMIDUR	CLS PILE
$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 223 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 13,17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 1
$\epsilon_{syd}$ 1,115 ‰	$G_{c,adm}$ 9,5
$G_{s,adm}$ 160 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,5867
	$\tau_{c1}$ 1,8

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipologia rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 42,05 kN m  
 M<sub>yRd</sub> 23 025 kN m  
 $\sigma_c$  -13,17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  223 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  38,98 ‰  
 d 963,7 cm  
 x 79,4 x/d 0,08239  
 $\delta$  0,7

S-P-2 N

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-P-2 YZ

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	966	0
3	966	60
4	0	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0,5	3	3
2	0,5	25	3
3	0,5	47	3
4	0,5	69	3
5	0,5	91	3
6	0,5	113	3

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd  Dominio Mx-My

angolo asse neutro  $\theta^\circ$

Precompresso

Materiali

SEMIDUR	CLS PILE
$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 223 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 13,17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 1
$\epsilon_{syd}$ 1,115 ‰	$G_{c,adm}$ 9,5
$G_{s,adm}$ 160 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,5867
	$\tau_{c1}$ 1,8

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipologia rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 1 233 kN m  
 M<sub>yRd</sub> 12 446 kN m  
 $\sigma_c$  -13,17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  223 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  16,05 ‰  
 d 73,8 cm  
 x 12,69 x/d 0,1719  
 $\delta$  0,7

## S-P-2 Y/Z

### 15.2.1.3 Spalle/Pile Combinazioni Sismiche

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-P-2 N SLV

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom  N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	966	0
3	966	60
4	0	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0,5	3	3
2	0,5	25	3
3	0,5	47	3
4	0,5	69	3
5	0,5	91	3
6	0,5	113	3

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
 S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN  
 M<sub>Ed</sub>   kNm  
 M<sub>yEd</sub>

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd  Dominio Mx-My

angolo asse neutro  $\theta^\circ$

Precompresso

Materiali

SEMIDURI  CLS PILE

$E_{su}$   ‰  $E_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm<sup>2</sup>  $E_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$

$E_s/E_c$    $f_{co}/f_{cd}$   ?  
 $E_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$    
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$    
 $\tau_{c1}$

M<sub>xRd</sub>  kN m  
 M<sub>yRd</sub>  kN m  
 $\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
 d  cm  
 x  w/d   
 $\delta$

S-P-2 N

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-P-2 Y SLV

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	966	0
3	966	60
4	0	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0,5	3	3
2	0,5	25	3
3	0,5	47	3
4	0,5	69	3
5	0,5	91	3
6	0,5	113	3

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd   Precompresso

angolo asse neutro  $\theta^\circ$  179

Materiali:

SEMIDURI	CLS PILE
$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 223 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 13,17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 1
$\epsilon_{syd}$ 1,115 ‰	$G_{c,adm}$ 9,5
$G_{s,adm}$ 160 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,5867
	$\tau_{c1}$ 1,8

P.to applicazione N:  
 Centro  Baicentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 776 kN m  
 M<sub>yRd</sub> 9 085 kN m  
 $\sigma_c$  -13,17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  223 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  22,77 ‰  
 d 73,8 cm  
 x 9,831 x/d 0,1332  
 $\delta$  0,7

S-P-2 Y

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-P-2 Z SLV

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	966	0
3	966	60
4	0	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0,5	3	3
2	0,5	25	3
3	0,5	47	3
4	0,5	69	3
5	0,5	91	3
6	0,5	113	3

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd   Precompresso

angolo asse neutro  $\theta^\circ$  179

Materiali:

SEMIDURI	CLS PILE
$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 223 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 13,17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 1
$\epsilon_{syd}$ 1,115 ‰	$G_{c,adm}$ 9,5
$G_{s,adm}$ 160 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,5867
	$\tau_{c1}$ 1,8

P.to applicazione N:  
 Centro  Baicentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 700,8 kN m  
 M<sub>yRd</sub> 8 414 kN m  
 $\sigma_c$  -13,17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  223 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  24,27 ‰  
 d 73,8 cm  
 x 9,3 x/d 0,126  
 $\delta$  0,7

S-P-2 Z

## Calcolo dei Tagli Resistenti

### 15.2.1.4 Impalcato

#### RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA

S-1-2

##### Caratteristiche della sezione

GEOMETRIA	H =	83	cm	altezza sezione
	b <sub>w</sub> =	32	cm	larghezza sezione
	h' =	4	cm	copriferro
	d =	79	cm	altezza utile
	z =	71.1	cm	braccio della coppia interna (0,9d)
ARMATURA TESA	F =	30	mm	diametro armatura
	n° =	5		numero barre
	A <sub>s</sub> =	35.3	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
	r <sub>l</sub> =	0.0133		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
AZIONI DI COMPRESSIONE	N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
	s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

##### Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE

ARMATURA A TAGLIO	F =	12	mm	diametro staffe
	n° =	4		numero bracci
	A <sub>sw</sub> =	4.5	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
	s =	25	cm	passo delle staffe
	alpha =	90°		angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
	n° staffe =	2.83		numero di staffe nel tratto considerato
	A <sub>sw, tratto</sub> =	12.796	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
	a <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membraure non compresse 1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
	nf <sub>cd</sub> =	10.98	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

##### Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE

RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 285 kN

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$$

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - FERRI PIEGATI**

ARMATURA A TAGLIO

F =	30	mm	diametro ferri piegati
n° =	2		numero bracci
A <sub>sw</sub> =	14.1	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
s =	35.55	cm	passo equivalente dei ferri piegati
alpha =	45	°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
n° piegati =	2		numero di staffe nel tratto considerato
A <sub>sw, tratto</sub> =	28.260	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
a <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membrature non compresse 1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
nf <sub>cd</sub> =	10.98	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - FERRI PIEGATI**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 629 kN

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$$

**Resistenza totale con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE + FERRI PIEGATI**V<sub>Rsd,tot</sub> = 913 kN resistenza a taglio data da staffe e ferri piegati**Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI" V<sub>Rcd</sub> = 1249 kN

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$$

**RESISTENZA FINALE**V<sub>Rd</sub> = 913 kN resistenza di calcolo min(V<sub>Rsd</sub>;V<sub>Rcd</sub>)

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA****S-1-3****Caratteristiche della sezione**

<b>GEOMETRIA</b>		H = 83 cm	altezza sezione
		b <sub>w</sub> = 32 cm	larghezza sezione
		h' = 4 cm	copriferro
		d = 79 cm	altezza utile
		z = 71.1 cm	braccio della coppia interna (0,9d)
<b>ARMATURA TESA</b>		F = 30 mm	diametro armatura
		n° = 5	numero barre
		A <sub>s</sub> = 35.3 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
		r <sub>l</sub> = 0.0133	rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
<b>AZIONI DI COMPRESSIONE</b>		N <sub>Ed</sub> = 0 kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
		s <sub>cp</sub> = 0.00 Mpa	tensione media di compressione

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE**

<b>ARMATURA A TAGLIO</b>		F = 12 mm	diametro staffe
		n° = 4	numero bracci
		A <sub>sw</sub> = 4.5 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
		s = 25 cm	passo delle staffe
		alpha = 90°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
		n° staffe = 2.83	numero di staffe nel tratto considerato
		A <sub>sw, tratto</sub> = 12.796 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
		α <sub>c</sub> = 1.00	coefficiente maggiorativo pari a:
			1 per membrature non compresse
			1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub>
			1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub>
			2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
		nf <sub>cd</sub> = 10.98 Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE**

<b>RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"</b>	V <sub>Rsd</sub> = 285 kN
Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:	
$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$	

**Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo**

<b>RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI"</b>	V <sub>Rcd</sub> = 1249 kN
Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con	
$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$	

**RESISTENZA FINALE**

$$V_{Rd} = 285 \text{ kN} \quad \text{resistenza di calcolo } \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA****S-3-2 e S-2-2****Caratteristiche della sezione**

<b>GEOMETRIA</b>		H = 83 cm	altezza sezione
		b <sub>w</sub> = 32 cm	larghezza sezione
		h' = 4 cm	copriferro
		d = 79 cm	altezza utile
		z = 71.1 cm	braccio della coppia interna (0,9d)
<b>ARMATURA TESA</b>		F = 30 mm	diametro armatura
		n° = 5	numero barre
		A <sub>s</sub> = 35.3 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
		r <sub>l</sub> = 0.0133	rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
<b>AZIONI DI COMPRESSIONE</b>		N <sub>Ed</sub> = 0 kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
		s <sub>cp</sub> = 0.00 Mpa	tensione media di compressione

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE**

<b>ARMATURA A TAGLIO</b>		F = 12 mm	diametro staffe
		n° = 4	numero bracci
		A <sub>sw</sub> = 4.5 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
		s = 25 cm	passo delle staffe
		alpha = 90°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
		n° staffe = 2.83	numero di staffe nel tratto considerato
		A <sub>sw, tratto</sub> = 12.796 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
		a <sub>c</sub> = 1.00	coefficiente maggiorativo pari a:
			1 per membrature non compresse
			1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub>
			1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub>
			2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
		nf <sub>cd</sub> = 10.98 Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 285 kN

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$$

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - FERRI PIEGATI**

ARMATURA A TAGLIO

F =	30	mm	diametro ferri piegati
n° =	2		numero bracci
A <sub>sw</sub> =	14.1	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
s =	71.10	cm	passo equivalente dei ferri piegati
alpha =	45	°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
n° piegati =	1		numero di staffe nel tratto considerato
A <sub>sw, tratto</sub> =	14.130	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
a <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membrature non compresse 1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
nf <sub>cd</sub> =	10.98	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - FERRI PIEGATI**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 314 kN

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$$

**Resistenza totale con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE + FERRI PIEGATI**V<sub>Rsd,tot</sub> = 599 kN resistenza a taglio data da staffe e ferri piegati**Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI" V<sub>Rcd</sub> = 1249 kN

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$$

**RESISTENZA FINALE**V<sub>Rd</sub> = 599 kN resistenza di calcolo min(V<sub>Rsd</sub>;V<sub>Rcd</sub>)

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA****S-3-3 e S-2-3****Caratteristiche della sezione****GEOMETRIA**

H =	83	cm	altezza sezione
b <sub>w</sub> =	32	cm	larghezza sezione
h' =	4	cm	copriferro
d =	79	cm	altezza utile
z =	71.1	cm	braccio della coppia interna (0,9d)

**ARMATURA TESA**

F =	30	mm	diametro armatura
n° =	5		numero barre
A <sub>s</sub> =	35.3	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
r <sub>l</sub> =	0.0133		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)

**AZIONI DI COMPRESSIONE**

N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE****ARMATURA A TAGLIO**

F =	12	mm	diametro staffe
n° =	4		numero bracci
A <sub>sw</sub> =	4.5	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
s =	25	cm	passo delle staffe
alpha =	90	°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
n° staffe =	2.83		numero di staffe nel tratto considerato
A <sub>sw, tratto</sub> =	12.796	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
α <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a:
			1 per membrature non compresse
			1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub>
			1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub>
			2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
nf <sub>cd</sub> =	10.98	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 285 kN

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$$

**Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI" V<sub>Rcd</sub> = 1249 kN

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta) \quad [4.1.28]$$

**RESISTENZA FINALE**

$$V_{Rd} = 285 \text{ kN} \quad \text{resistenza di calcolo } \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA****S-T-1****Caratteristiche della sezione**

GEOMETRIA	H =	83	cm	altezza sezione
	b <sub>w</sub> =	32	cm	larghezza sezione
	h' =	12	cm	copriferro
	d =	71	cm	altezza utile
	z =	63.9	cm	braccio della coppia interna (0,9d)
ARMATURA TESA	F =	30	mm	diametro armatura
	n° =	2		numero barre
	A <sub>s</sub> =	14.1	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
	r <sub>l</sub> =	0.0053		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
AZIONI DI COMPRESSIONE	N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
	s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE**

ARMATURA A TAGLIO	F =	12	mm	diametro staffe
	n° =	2		numero bracci
	A <sub>sw</sub> =	2.3	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
	s =	23	cm	passo delle staffe
	alpha =	90°		angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
	n° staffe =	2.83		numero di staffe nel tratto considerato
	A <sub>sw, tratto</sub> =	6.398	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
	a <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membrature non compresse 1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
	nf <sub>cd</sub> =	10.98	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE**

RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"	V <sub>Rsd</sub> =	142	kN
Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:			
$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$			

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - FERRI PIEGATI**

ARMATURA A TAGLIO

F =	30	mm	diametro ferri piegati
n° =	1		numero bracci
A <sub>sw</sub> =	7.1	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
s =	63.90	cm	passo equivalente dei ferri piegati
alpha =	45	°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
n° piegati =	1		numero di staffe nel tratto considerato
A <sub>sw, tratto</sub> =	7.065	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
a <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membrature non compresse 1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
nf <sub>cd</sub> =	10.98	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - FERRI PIEGATI**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 157 kN

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$$

**Resistenza totale con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE + FERRI PIEGATI**V<sub>Rsd,tot</sub> = 300 kN resistenza a taglio data da staffe e ferri piegati**Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI" V<sub>Rcd</sub> = 1122 kN

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$$

**RESISTENZA FINALE**V<sub>Rd</sub> = 300 kN resistenza di calcolo min(V<sub>Rsd</sub>;V<sub>Rcd</sub>)

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA****S-s-1****Caratteristiche della sezione**

GEOMETRIA	H =	23	cm	altezza sezione
	b <sub>w</sub> =	100	cm	larghezza sezione
	h' =	3	cm	copriferro
	d =	20	cm	altezza utile
	z =	18	cm	braccio della coppia interna (0,9d)
ARMATURA TESA	F =	14	mm	diametro armatura
	n° =	4		numero barre
	A <sub>s</sub> =	6.2	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
	r <sub>l</sub> =	0.0027		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
AZIONI DI COMPRESSIONE	N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
	s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

**Resistenza senza armatura a taglio**

RESISTENZA SENZA ARMATURA A TAGLIO	<b>V<sub>Rd</sub> =</b>	<b>114 kN</b>	
Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con			
$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\} \quad [4.1.23]$			
con			
f <sub>ck</sub> espresso in MPa			
k = 1 + (200/d) <sup>1/2</sup> ≤ 2			
v <sub>min</sub> = 0,035k <sup>3/2</sup> f <sub>ck</sub> <sup>1/2</sup>			
	theta =	45	°
angolo di inclinazione del puntone compresso rispetto all'asse della trave (22°÷ 45°)			
	cot(theta) =	1.0000	
lunghezza tratto =	18.0000	cm	lunghezza del tratto considerato (z*cot(theta))

## RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA

S-s-3

### Caratteristiche della sezione

GEOMETRIA	H =	26	cm	altezza sezione
	b <sub>w</sub> =	100	cm	larghezza sezione
	h' =	3	cm	copriferro
	d =	23	cm	altezza utile
	z =	20.7	cm	braccio della coppia interna (0,9d)
ARMATURA TESA	F =	14	mm	diametro armatura
	n° =	4		numero barre
	A <sub>s</sub> =	6.2	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
	r <sub>l</sub> =	0.0024		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
AZIONI DI COMPRESSIONE	N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
	s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

### Resistenza senza armatura a taglio

RESISTENZA SENZA ARMATURA A TAGLIO **V<sub>Rd</sub> = 124 kN**

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\} \quad [4.1.23]$$

con

f<sub>ck</sub> espresso in MPa

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

theta = 45° angolo di inclinazione del puntone compresso rispetto all'asse della trave (22°÷ 45°)

cot(theta) = 1.0000  
lunghezza tratto = 20.7000 cm lunghezza del tratto considerato (z\*cot(theta))

## 15.2.1.5 Spalle/Pile

### RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA

S-P-2Y direzione Z

#### Caratteristiche della sezione

GEOMETRIA	H =	966	cm	altezza sezione
	b <sub>w</sub> =	60	cm	larghezza sezione
	h' =	3	cm	copriferro
	d =	963	cm	altezza utile
	z =	866.7	cm	braccio della coppia interna (0,9d)
ARMATURA TESA	F =	20	mm	diametro armatura
	n° =	88		numero barre
	A <sub>s</sub> =	276.3	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
	r <sub>l</sub> =	0.0048		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
AZIONI DI COMPRESSIONE	N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
	s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

#### Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE

ARMATURA A TAGLIO	F =	12	mm	diametro staffe
	n° =	2		numero bracci
	A <sub>sw</sub> =	2.3	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
	s =	44.3	cm	passo delle staffe
	alpha =	90°		angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
	n° staffe =	42		numero di staffe nel tratto considerato
	A <sub>sw, tratto</sub> =	94.954	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
α <sub>c</sub> =	1.00	coefficiente maggiorativo pari a:		
		1	per membrature non compresse	
		1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub>	per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub>	
		1.25	per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub>	
		2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> )	per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>	
nf <sub>cd</sub> =	6.58	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )	

#### Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE

RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 2112 kN  
 Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$$

#### Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo

RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI" V<sub>Rcd</sub> = 13113 kN

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$$

#### RESISTENZA FINALE

V<sub>Rd</sub> = 2112 kN resistenza di calcolo min(V<sub>Rsd</sub>; V<sub>Rcd</sub>)

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA**

S-P-2Z direzione Z

**Caratteristiche della sezione**

## GEOMETRIA

H =	60	cm	altezza sezione
b <sub>w</sub> =	966	cm	larghezza sezione
h' =	3	cm	copriferro
d =	57	cm	altezza utile
z =	51.3	cm	braccio della coppia interna (0,9d)

## ARMATURA TESA

F =	8	mm	diametro armatura
n° =	88		numero barre
A <sub>s</sub> =	44.2	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
r <sub>l</sub> =	0.0008		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)

## AZIONI DI COMPRESSIONE

N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE**

## ARMATURA A TAGLIO

F =	12	mm	diametro staffe
n° =	2		numero bracci
A <sub>sw</sub> =	2.3	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
s =	44.0	cm	passo delle staffe
alpha =	90	°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
n° staffe =	2.5		numero di staffe nel tratto considerato
A <sub>sw, tratto</sub> =	5.652	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
α <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membrature non compresse 1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
nf <sub>cd</sub> =	6.58	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 126 kN

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$$

**Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI" V<sub>Rcd</sub> = 12496 kN

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta) \quad [4.1.28]$$

**RESISTENZA FINALE**

$$V_{Rd} = 126 \text{ kN} \quad \text{resistenza di calcolo } \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

## Verifiche di Resistenza - Adeguatezza

Si riporta di seguito una tabella riepilogativa nella quale vengono riassunti gli sforzi sollecitanti e quelli resistenti illustrati ai precedenti paragrafi, con il relativo coefficiente di sicurezza finale.

ADEGUATEZZA NTC18		VERIFICHE IMPALCATO	M+			M-			V			REACTION		
Elemento	Sezione		MEd	MRd	CS	MEd	MRd	CS	VEd	VRd	CS	REd	RRd	CS
S-1-1	Trave 1	Campata B - Mezzeria	1226.93	846	1.45027									
S-1-2	Trave 1	Campata B - Appoggio							-500.24	-913	0.54791			
S-1-3	Trave 1	Campata B - a 2m da Appoggio							384.58	285	1.3494			
S-2-1	Trave 2	Campata B - Mezzeria	850.55	631	1.34794									
S-2-2	Trave 2	Campata B - Appoggio							-352.11	-599	0.58783			
S-2-3	Trave 2	Campata B - a 2m da Appoggio							-295.14	-285	1.03558			
S-3-1	Trave 3	Campata B - Mezzeria	842.62	631	1.33537									
S-3-2	Trave 3	Campata B - Appoggio							-448.3	-599	0.74841			
S-3-3	Trave 3	Campata B - a 2m da Appoggio							-259.33	-285	0.90993			
S-T-1	Traverso	All'incastro con trave principale							77.43	300	0.2581			
S-T-2	Traverso	All'incastro con trave principale	339.65	245	1.38633									
S-T-2	Traverso	Mezzeria	230.19	354	0.65025									
S-s-1	Soletta	Soletta interna				-63.39	-29	2.18586	-150.91	-114	1.32377			
S-s-2	Soletta	Soletta interna	48.68	50	0.9736									
S-s-3	Soletta	Soletta sbazo				-85.4	-33	2.58788	221.74	124	1.78823			

ADEGUATEZZA NTC18		VERIFICHE PILE E SPALLE	M						Vy				Vz			
Elemento	Sezione		NEd	MEd Y	MEd Z	MRd Y	MRd Z	CS	NEd	VEd	VRd	CS	NEd	VEd	VRd	CS
S-SP-1	Spalla	Sezione di base	2051.22													
			trave contro terra													
		Sezione di base	-4105.4	-0.38	-491.86	-42	-23025	0.02136								
S-P-2	Pilastro Pila	Sezione di base	-3676.8	-268.47	-732.86	-1233	-12446	0.21774								
		Sezione di testa	-3676.8	-268.47	-732.86	-1233	-12446	0.21774								
		Sezione di festa							-3303.3	140.35	2112	0.06645				
		Sezione di base											-3676.8	119.12	126	0.9454

S-SP-1	Spalla	Sezione di base	682.606													
			trave contro terra													
		Sezione di base	-1857.6	1155.69	1506.25	771	9047	1.49895								
		Sezione di base	-1874.8	1156.49	1387.83	776	9085	1.49032								
S-P-2	Pilastro Pila	Sezione di base	-1858.3	812.37	1949.56	700	8414	1.16053								
		Sezione di base							-1861.7	-543.27	-2112	0.25723				
		Sezione di base											-1879.4	-331.54	-126	2.63127

Come da risultati riportati nella tabella di cui sopra, sono diversi i meccanismi che comportano il non rispetto delle verifiche di adeguatezza per il manufatto in esame; si riassumono di seguito le maggiori carenze riscontrate:

### **In condizioni statiche:**

- Importanti carenze a taglio di travi laterali e solette d'impalcato
- Importanti carenze a pressoflessione di travi e traversi di impalcato
- Importanti carenze a pressoflessione delle solette di impalcato

### **In condizioni sismiche invece:**

- Importanti carenze a taglio delle pile
- Importanti carenze a pressoflessione delle pile

Si ritiene pertanto il **ponte non Adeguato** alle attuali Normative e risulta pertanto necessario procedere con gli step di carico successivi come da procedura illustrata al capitolo 2 del presente elaborato.

## **16 VERIFICHE DI OPERATIVITA'**

---

Secondo le recenti disposizioni ministeriali, un ponte viene definito operativo quando soddisfa le verifiche da normativa effettuate considerando un tempo di riferimento limitato a 30 anni. Scopo di tutte le successive verifiche è accertare che la struttura in esame raggiunga il livello minimo di affidabilità per il criterio in esame.

Rispetto alla valutazione della sicurezza trattata nel capitolo precedente, per la verifica di operatività gli unici fattori a cambiare sono i coefficienti di sicurezza.

Per quanto riguarda le azioni ed i materiali, si utilizzano i coefficienti già riportati nei paragrafi precedenti del presente elaborato.

## 16.1 Sollecitazioni di Calcolo

A partire dalle sollecitazioni riportate graficamente al capitolo 13 del presente elaborato, si definiscono gli sforzi sollecitanti in combinazione i quali possono essere riassunti nella seguente tabella.

OPERATIVA NTC18 - SEZIONI DI VERIFICA E SOLLECITAZIONI										
Elemento	Sezione	Massimizzazione	Comb	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)	
S-1-1	Trave 1	Compota B - Mezzeria	OP-U2	342,7	-108,19	115,15	-74,76	1106,3	55,94	
S-1-2	Trave 1	Compota B - Appoggio	OP-U4	-220,8	121,19	-450,97	-74,4	227,83	-51,7	
S-1-3	Trave 1	Compota B - q 2m da Appoggio	OP-U2	-21,35	-118,27	346,54	-46,65	714,27	21,45	
S-2-1	Trave 2	Compota B - Mezzeria	OP-U2	74,77	-36,37	114,27	-68,21	767,14	-16,28	
S-2-2	Trave 2	Compota B - Appoggio	OP-U4	17,86	-23,01	-317,69	-80,51	160,87	4,06	
S-2-3	Trave 2	Compota B - q 2m da Appoggio	OP-U1	5,95	-14,61	-265,48	-32,32	561,47	-4,5	
S-3-1	Trave 3	Compota B - Mezzeria	OP-U1	47,38	9,69	63,91	-65,49	760,11	-4,45	
S-3-2	Trave 3	Compota B - Appoggio	OP-U3	29,74	16,25	-403,14	-36,17	203,6	-6,18	
S-3-3	Trave 3	Compota B - q 2m da Appoggio	OP-U2	20,87	-19,63	-233,57	-32,05	521,55	9,98	
S-T-1	Traverso	Allincastro con trave principale	OP-U7	393,1	18,02	69,16	11,74	302,54	-12,27	
S-T-2	Traverso	Allincastro con trave principale	OP-U7	393,1	18,02	69,16	11,74	302,54	-12,27	
S-T-2	Traverso	Mezzeria	OP-U2	400,48	19,4	15,83	19	205,25	-4,5	
S-S-1	Soletto	Soletto interna	OP-U8	-31,09	-6,87	-134,47	3,42	-56,48	-1,32	
S-S-2	Soletto	Soletto interna	OP-U8	-31,09	-6,87	-2,22	3,42	43,32	-6,33	
S-S-3	Soletto	Soletto spazio	OP-U8	118,51	-183,81	197,55	-0,56	-76,06	183,33	
S-SP-1	Spalla	Sezione di bose	OP-U6	1859,4091						
S-P-2	Pilastro Pila	Sezione di bose	OP-U5	-3746,12	12,25	0,39	-8,08	-0,35	-438,48	
		Sezione di bose	OP-U10	-3365,15	125,19	105,89	-4,04	-238,66	-652,7	
		Sezione di bose	OP-U10	-3365,15	125,19	105,89	-4,04	-238,66	-652,7	
		Sezione di testa	OP-U10	-3018,54	125,19	105,89	-4,04	-26,88	-402,33	
		Sezione di bose	OP-U10	-3365,15	125,19	105,89	-4,04	-238,66	-652,7	

## 16.2 Resistenze delle Sezioni in Esame

### 16.2.1 Calcolo dei Momenti Resistenti

#### 16.2.1.1 Impalcato

Verifica CA S.L.U. - File: S-1-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom  N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	86
2	20	86
3	100,5	57
4	100,5	0
5	132,5	0
6	132,5	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	35,34	116,5	3
2	14,14	116,5	80
3	1,57	50	80
4	1,57	165	65

Tipologia:  Rettang. re  Trapezi  a T  Circolare  Rettangoli  Coord.

Tipologia:  Centro  Baricentro cls  Coord [cm]

Metodo di calcolo:  S.L.U.+  S.L.U.-  Metodo n

Tipologia flessione:  Retta  Deviate

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDURI (CLS TRAV)

$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	233,1 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	26,14
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	1
$\epsilon_{syd}$	1,166 ‰	$\sigma_{c,adm}$	14,25
$\sigma_{s,adm}$	160 N/mm <sup>2</sup>	$T_{c0}$	0,84
		$T_{c1}$	2,343

P.to applicazione N:  $x_N$    $y_N$

Tipologia: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>

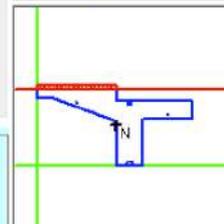
$\epsilon_c$   ‰

$\epsilon_s$   ‰

d  cm

x  x/d

$\delta$



S-1-1

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-2-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	60
2	65	60
3	65	0
4	97	0
5	97	60
6	162	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	35,34	81	3
2	14,14	81	80
3	1,57	30	65
4	1,57	126	65

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali:

SEMIDURI	CLS TRAV
$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 233,1 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 26,14
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 1
$\epsilon_{syd}$ 1,166 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 14,25
$\sigma_{s,adm}$ 160 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,84
	$\tau_{c1}$ 2,343

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipologia rottura:  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$  -26,14 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  233,1 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  2,549 ‰  
 $\epsilon_s$  67,5 ‰  
 d 80 cm  
 x 2,911 x/d 0,03639  
 $\delta$  0,7

S-2-1 ; S-3-1

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-T-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	60
2	51,5	60
3	51,5	0
4	83,5	0
5	83,5	60
6	135	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	14,14	67,5	12
2	7,070001	67,5	80
3	3,08	25	65
4	3,08	110	65

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali:

SEMIDURI	CLS TRAV
$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 233,1 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 26,14
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 1
$\epsilon_{syd}$ 1,166 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 14,25
$\sigma_{s,adm}$ 160 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,84
	$\tau_{c1}$ 2,343

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipologia rottura:  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$  -26,14 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  233,1 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  2,237 ‰  
 $\epsilon_s$  67,5 ‰  
 d 71 cm  
 x 2,277 x/d 0,03208  
 $\delta$  0,7

S-T-1

Verifica CA. S.L.U. - File: S-T-2

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	60
2	51,5	60
3	51,5	0
4	83,5	0
5	83,5	60
6	135	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	21,21	67,5	12
2	7,070001	67,5	80
3	3,08	25	65
4	3,08	110	65

Tipologia:  Centro  Baricentro cls

Coord. [cm] xN  yN

Tipologia:  S.L.U.+  S.L.U.-  Metodo n

Tipologia flessione:  Retta  Deviato

N° rett.

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDUR (CLS TRAV)

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
 f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ‰  
 ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰  
 σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰  
 τ<sub>c1</sub>  ‰

M<sub>xRd</sub>  kNm  
 σ<sub>c</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s</sub>  N/mm²  
 ε<sub>c</sub>  ‰  
 ε<sub>s</sub>  ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 δ

S-T-2

Verifica CA. S.L.U. - File: S-s-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	23

N°	As [cm²]	d [cm]
1	6,16	4
2	6,16	19

Tipologia:  Centro  Baricentro cls

Coord. [cm] xN  yN

Tipologia:  S.L.U.+  S.L.U.-  Metodo n

Tipologia flessione:  Retta  Deviato

N° rett.

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDUR (CLS TRAV)

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
 f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ‰  
 ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰  
 σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰  
 τ<sub>c1</sub>  ‰

M<sub>xRd</sub>  kNm  
 σ<sub>c</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s</sub>  N/mm²  
 ε<sub>c</sub>  ‰  
 ε<sub>s</sub>  ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 δ

S-s-1

Verifica CA. S.L.U. - File: S-s-2

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	23	1	6,16	19
			2	6,16	19

Tipologia Sezione:  Rettangolare  Trapezoidal  a T  Circolare  Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  S.L.U.+  S.L.U.-  Metodo n

Tipologia flessione:  Retta  Deviate

Calcola MRd  Dominio M-N  L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDUR (CLS TRAV)

$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 233,1 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 26,14
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 1
$\epsilon_{syd}$ 1,166 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 14,25
$\sigma_{s,adm}$ 160 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,84
	$\tau_{c1}$ 2,343

P.to applicazione N:  Centro  Baricentro cls

Coord. [cm]: xN 0, yN 0

Tipologia rotazione: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 52,93 kNm

$\sigma_c$  -26,14 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  233,1 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_c$  3,5 ‰

$\epsilon_s$  45,74 ‰

d 19 cm

x 1,351 x/d 0,07108

$\delta$  0,7

### S-s-2

Verifica CA. S.L.U. - File: S-s-3

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	26	1	6,16	4
			2	6,16	22

Tipologia Sezione:  Rettangolare  Trapezoidal  a T  Circolare  Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  S.L.U.+  S.L.U.-  Metodo n

Tipologia flessione:  Retta  Deviate

Calcola MRd  Dominio M-N  L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDUR (CLS TRAV)

$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 233,1 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 26,14
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 1
$\epsilon_{syd}$ 1,166 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 14,25
$\sigma_{s,adm}$ 160 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,84
	$\tau_{c1}$ 2,343

P.to applicazione N:  Centro  Baricentro cls

Coord. [cm]: xN 0, yN 0

Tipologia rotazione: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> -35,7 kNm

$\sigma_c$  -26,14 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  233,1 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_c$  3,5 ‰

$\epsilon_s$  53,62 ‰

d 22 cm

x 1,348 x/d 0,06128

$\delta$  0,7

### S-s-3

CLIENTE: CITTA' METROPOLITANA DI VENEZIA

PONTI ESISTENTI – AREA NORD CIG 9041138719  
Verifiche livello 4 – Ponte 10 – San Stino di Livenza  
– SP59 – ID Opera 20

ELAB.: 21173P2112A

Rev. A - Pag. 169 di 236

## 16.2.1.2 Spalle/Pile Combinazioni Statiche

Verifica CA. S.L.U. - File: S-P-2.N

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom

N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	966	0
3	966	60
4	0	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0,5	3	3
2	0,5	25	3
3	0,5	47	3
4	0,5	69	3
5	0,5	91	3
6	0,5	113	3

Sollecitazioni

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN

M<sub>xEd</sub>   kNm

M<sub>yEd</sub>

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord. [cm] xN  yN

Tipo Iottua

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo

S.L.U. +  S.L.U. -  Metodo n

Tipo flessione

Retta  Deviato

N° rett.

Calcola MRd  Dominio Mx-My

angolo asse neutro θ°

Precompresso

Materiali

SEMIDURI		CLS PILE I	
ε <sub>su</sub>	67,5 ‰	ε <sub>c2</sub>	2 ‰
f <sub>yd</sub>	233,1 N/mm²	ε <sub>cu</sub>	3,5 ‰
E <sub>s</sub>	200 000 N/mm²	f <sub>cd</sub>	14,17
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub>	1
ε <sub>syd</sub>	1,166 ‰	σ <sub>c,adm</sub>	9,5
σ <sub>s,adm</sub>	160 N/mm²	T <sub>co</sub>	0,5867
		T <sub>c1</sub>	1,8

M<sub>xRd</sub>  kNm

M<sub>yRd</sub>  kNm

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

ε<sub>c</sub>  ‰

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x  x/d

δ

S-P-2.N

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-P-2 YZ

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	966	0
3	966	60
4	0	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0,5	3	3
2	0,5	25	3
3	0,5	47	3
4	0,5	69	3
5	0,5	91	3
6	0,5	113	3

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
 S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>  0 kN  
 M<sub>xEd</sub>  0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>  0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN   
 yN

Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd

angolo asse neutro θ°

Precompresso

Materiali

SEMIDURI		CLS PILE (	
ε <sub>su</sub>	67,5 ‰	ε <sub>c2</sub>	2 ‰
f <sub>yd</sub>	233,1 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>	1
ε <sub>syd</sub>	1.166 ‰	σ <sub>c,adm</sub>	9,5
σ <sub>s,adm</sub>	160 N/mm <sup>2</sup>	τ <sub>cc</sub>	0,5867
		τ <sub>c1</sub>	1,8

M<sub>xRd</sub>  kN m  
 M<sub>yRd</sub>  kN m  
 σ<sub>c</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
 σ<sub>s</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>c</sub>  ‰  
 ε<sub>s</sub>  ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 δ

S-P-2 Y/Z

## 16.2.2 Calcolo dei Tagli Resistenti

### 16.2.2.1 Impalcato

#### RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA

S-1-2

##### Caratteristiche della sezione

GEOMETRIA	H =	83	cm	altezza sezione
	b <sub>w</sub> =	32	cm	larghezza sezione
	h' =	4	cm	copriferro
	d =	79	cm	altezza utile
	z =	71.1	cm	braccio della coppia interna (0,9d)
ARMATURA TESA	F =	30	mm	diametro armatura
	n° =	5		numero barre
	A <sub>s</sub> =	35.3	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
	r <sub>l</sub> =	0.0133		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
AZIONI DI COMPRESSIONE	N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
	s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

##### Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE

ARMATURA A TAGLIO	F =	12	mm	diametro staffe
	n° =	4		numero bracci
	A <sub>sw</sub> =	4.5	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
	s =	25	cm	passo delle staffe
	alpha =	90°		angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
	n° staffe =	2.83		numero di staffe nel tratto considerato
	A <sub>sw, tratto</sub> =	12.796	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
	a <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membraure non compresse 1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
	nf <sub>cd</sub> =	13.07	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

##### Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE

RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 298 kN  
Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$$

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - FERRI PIEGATI**

ARMATURA A TAGLIO

F =	30	mm	diametro ferri piegati
n° =	2		numero bracci
A <sub>sw</sub> =	14.1	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
s =	35.55	cm	passo equivalente dei ferri piegati
alpha =	45	°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
n° piegati =	2		numero di staffe nel tratto considerato
A <sub>sw, tratto</sub> =	28.260	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
a <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membraure non compresse 1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
nf <sub>cd</sub> =	13.07	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - FERRI PIEGATI**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 657 kN

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$$

**Resistenza totale con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE + FERRI PIEGATI**V<sub>Rsd,tot</sub> = 955 kN resistenza a taglio data da staffe e ferri piegati**Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI" V<sub>Rcd</sub> = 1487 kN

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_v \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta) \quad [4.1.28]$$

**RESISTENZA FINALE**V<sub>Rd</sub> = 955 kN resistenza di calcolo min(V<sub>Rsd</sub>;V<sub>Rcd</sub>)

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA****S-1-3****Caratteristiche della sezione**

<b>GEOMETRIA</b>		H = 83 cm	altezza sezione
		b <sub>w</sub> = 32 cm	larghezza sezione
		h' = 4 cm	copriferro
		d = 79 cm	altezza utile
		z = 71.1 cm	braccio della coppia interna (0,9d)
<b>ARMATURA TESA</b>		F = 30 mm	diametro armatura
		n° = 5	numero barre
		A <sub>s</sub> = 35.3 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
		r <sub>l</sub> = 0.0133	rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
<b>AZIONI DI COMPRESSIONE</b>		N <sub>Ed</sub> = 0 kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
		s <sub>cp</sub> = 0.00 Mpa	tensione media di compressione

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE**

<b>ARMATURA A TAGLIO</b>		F = 12 mm	diametro staffe
		n° = 4	numero bracci
		A <sub>sw</sub> = 4.5 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
		s = 25 cm	passo delle staffe
		alpha = 90°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
		n° staffe = 2.83	numero di staffe nel tratto considerato
		A <sub>sw, tratto</sub> = 12.796 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
		α <sub>c</sub> = 1.00	coefficiente maggiorativo pari a:
			1 per membrature non compresse
			1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub>
			1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub>
			2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
		nf <sub>cd</sub> = 13.07 Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE**

<b>RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"</b>	V <sub>Rsd</sub> = 298 kN
Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:	
$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$	

**Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo**

<b>RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI"</b>	V <sub>Rcd</sub> = 1487 kN
Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con	
$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$	

**RESISTENZA FINALE**

$$V_{Rd} = 298 \text{ kN} \quad \text{resistenza di calcolo } \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA****S-3-2 e S-2-2****Caratteristiche della sezione**

<b>GEOMETRIA</b>		H = 83 cm	altezza sezione
		b <sub>w</sub> = 32 cm	larghezza sezione
		h' = 4 cm	copriferro
		d = 79 cm	altezza utile
		z = 71.1 cm	braccio della coppia interna (0,9d)
<b>ARMATURA TESA</b>		F = 30 mm	diametro armatura
		n° = 5	numero barre
		A <sub>s</sub> = 35.3 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
		r <sub>l</sub> = 0.0133	rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
<b>AZIONI DI COMPRESSIONE</b>		N <sub>Ed</sub> = 0 kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
		s <sub>cp</sub> = 0.00 Mpa	tensione media di compressione

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE**

<b>ARMATURA A TAGLIO</b>		F = 12 mm	diametro staffe
		n° = 4	numero bracci
		A <sub>sw</sub> = 4.5 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
		s = 25 cm	passo delle staffe
		alpha = 90°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
		n° staffe = 2.83	numero di staffe nel tratto considerato
		A <sub>sw, tratto</sub> = 12.796 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
		a <sub>c</sub> = 1.00	coefficiente maggiorativo pari a:
			1 per membrature non compresse
			1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub>
			1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub>
			2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
		nf <sub>cd</sub> = 13.07 Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE**

<b>RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"</b>	V <sub>Rsd</sub> = 298 kN
Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:	
$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$	

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - FERRI PIEGATI**

ARMATURA A TAGLIO

F =	30	mm	diametro ferri piegati
n° =	2		numero bracci
A <sub>sw</sub> =	14.1	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
s =	71.10	cm	passo equivalente dei ferri piegati
alpha =	45	°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
n° piegati =	1		numero di staffe nel tratto considerato
A <sub>sw, tratto</sub> =	14.130	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
a <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membrature non compresse 1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
nf <sub>cd</sub> =	13.07	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - FERRI PIEGATI**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 329 kN

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$$

**Resistenza totale con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE + FERRI PIEGATI**V<sub>Rsd,tot</sub> = 626 kN resistenza a taglio data da staffe e ferri piegati**Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI" V<sub>Rcd</sub> = 1487 kN

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_v \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta) \quad [4.1.28]$$

**RESISTENZA FINALE**V<sub>Rd</sub> = 626 kN resistenza di calcolo min(V<sub>Rsd</sub>;V<sub>Rcd</sub>)

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA****S-3-3 e S-2-3****Caratteristiche della sezione**

<b>GEOMETRIA</b>		H = 83 cm	altezza sezione
		b <sub>w</sub> = 32 cm	larghezza sezione
		h' = 4 cm	copriferro
		d = 79 cm	altezza utile
		z = 71.1 cm	braccio della coppia interna (0,9d)
<b>ARMATURA TESA</b>		F = 30 mm	diametro armatura
		n° = 5	numero barre
		A <sub>s</sub> = 35.3 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
		r <sub>l</sub> = 0.0133	rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
<b>AZIONI DI COMPRESSIONE</b>		N <sub>Ed</sub> = 0 kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
		s <sub>cp</sub> = 0.00 Mpa	tensione media di compressione

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE**

<b>ARMATURA A TAGLIO</b>		F = 12 mm	diametro staffe
		n° = 4	numero bracci
		A <sub>sw</sub> = 4.5 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
		s = 25 cm	passo delle staffe
		alpha = 90°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
		n° staffe = 2.83	numero di staffe nel tratto considerato
		A <sub>sw, tratto</sub> = 12.796 cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
		α <sub>c</sub> = 1.00	coefficiente maggiorativo pari a:
			1 per membrature non compresse
			1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub>
			1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub>
			2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
		nf <sub>cd</sub> = 13.07 Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE**

<b>RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"</b>	V <sub>Rsd</sub> = 298 kN
Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:	
$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$	

**Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo**

<b>RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI"</b>	V <sub>Rcd</sub> = 1487 kN
Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con	
$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$	

**RESISTENZA FINALE**

$$V_{Rd} = 298 \text{ kN} \quad \text{resistenza di calcolo } \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA****S-T-1****Caratteristiche della sezione**

GEOMETRIA	H =	83	cm	altezza sezione
	b <sub>w</sub> =	32	cm	larghezza sezione
	h' =	12	cm	copriferro
	d =	71	cm	altezza utile
	z =	63.9	cm	braccio della coppia interna (0,9d)
ARMATURA TESA	F =	30	mm	diametro armatura
	n° =	2		numero barre
	A <sub>s</sub> =	14.1	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
	r <sub>l</sub> =	0.0053		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
AZIONI DI COMPRESSIONE	N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
	s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE**

ARMATURA A TAGLIO	F =	12	mm	diametro staffe
	n° =	2		numero bracci
	A <sub>sw</sub> =	2.3	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
	s =	23	cm	passo delle staffe
	alpha =	90	°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
	n° staffe =	2.83		numero di staffe nel tratto considerato
	A <sub>sw, tratto</sub> =	6.398	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
	a <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membrature non compresse 1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
	nf <sub>cd</sub> =	13.07	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE**

RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"	V <sub>Rsd</sub> =	149	kN
Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:			
$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$			

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - FERRI PIEGATI**

ARMATURA A TAGLIO

F =	30	mm	diametro ferri piegati
n° =	1		numero bracci
A <sub>sw</sub> =	7.1	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
s =	63.90	cm	passo equivalente dei ferri piegati
alpha =	45	°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
n° piegati =	1		numero di staffe nel tratto considerato
A <sub>sw, tratto</sub> =	7.065	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
a <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membraure non compresse 1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
nf <sub>cd</sub> =	13.07	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - FERRI PIEGATI**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 164 kN

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$$

**Resistenza totale con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE + FERRI PIEGATI**V<sub>Rsd,tot</sub> = 313 kN resistenza a taglio data da staffe e ferri piegati**Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI" V<sub>Rcd</sub> = 1336 kN

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta) \quad [4.1.28]$$

**RESISTENZA FINALE**V<sub>Rd</sub> = 313 kN resistenza di calcolo min(V<sub>Rsd</sub>;V<sub>Rcd</sub>)

## RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA

S-s-1

### Caratteristiche della sezione

GEOMETRIA	H =	23	cm	altezza sezione
	b <sub>w</sub> =	100	cm	larghezza sezione
	h' =	3	cm	copriferro
	d =	20	cm	altezza utile
	z =	18	cm	braccio della coppia interna (0,9d)
ARMATURA TESA	F =	14	mm	diametro armatura
	n° =	4		numero barre
	A <sub>s</sub> =	6.2	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
	r <sub>l</sub> =	0.0027		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
AZIONI DI COMPRESSIONE	N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
	s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

### Resistenza senza armatura a taglio

RESISTENZA SENZA ARMATURA A TAGLIO

$$V_{Rd} = 118 \text{ kN}$$

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\} \quad [4.1.23]$$

con

f<sub>ck</sub> espresso in MPa

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

theta = 45°      angolo di inclinazione del puntone compresso rispetto all'asse della trave (22°÷ 45°)

cot(theta) = 1.0000  
lunghezza tratto = 18.0000 cm      lunghezza del tratto considerato (z\*cot(theta))

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA****S-s-3****Caratteristiche della sezione**

GEOMETRIA	H =	26	cm	altezza sezione
	b <sub>w</sub> =	100	cm	larghezza sezione
	h' =	3	cm	copriferro
	d =	23	cm	altezza utile
	z =	20.7	cm	braccio della coppia interna (0,9d)
ARMATURA TESA	F =	14	mm	diametro armatura
	n° =	4		numero barre
	A <sub>s</sub> =	6.2	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
	r <sub>l</sub> =	0.0024		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
AZIONI DI COMPRESSIONE	N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
	s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

**Resistenza senza armatura a taglio**RESISTENZA SENZA ARMATURA A TAGLIO **V<sub>Rd</sub> = 126 kN**

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\} \quad [4.1.23]$$

con

f<sub>ck</sub> espresso in MPa

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

theta = 45° angolo di inclinazione del puntone compresso rispetto all'asse della trave (22°÷ 45°)

cot(theta) = 1.0000  
lunghezza tratto = 20.7000 cm lunghezza del tratto considerato (z\*cot(theta))

## 16.2.2.2 Spalle/Pile

### RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA

S-P-2Y direzione Z

#### Caratteristiche della sezione

GEOMETRIA	H =	966	cm	altezza sezione
	b <sub>w</sub> =	60	cm	larghezza sezione
	h' =	3	cm	copriferro
	d =	963	cm	altezza utile
	z =	866.7	cm	braccio della coppia interna (0,9d)
ARMATURA TESA	F =	20	mm	diametro armatura
	n° =	88		numero barre
	A <sub>s</sub> =	276.3	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
	r <sub>l</sub> =	0.0048		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
AZIONI DI COMPRESSIONE	N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
	s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

#### Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE

ARMATURA A TAGLIO	F =	12	mm	diametro staffe
	n° =	2		numero bracci
	A <sub>sw</sub> =	2.3	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
	s =	44.3	cm	passo delle staffe
	alpha =	90°		angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
	n° staffe =	42		numero di staffe nel tratto considerato
	A <sub>sw, tratto</sub> =	94.954	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
α <sub>c</sub> =	1.00	coefficiente maggiorativo pari a:		
		1	per membrature non compresse	
		1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub>	per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub>	
		1.25	per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub>	
		2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> )	per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>	
nf <sub>cd</sub> =	7.08	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )	

#### Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE

RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 2208 kN  
 Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$$

#### Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo

RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI" V<sub>Rcd</sub> = 14109 kN  
 Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta) \quad [4.1.28]$$

#### RESISTENZA FINALE

$$V_{Rd} = 2208 \text{ kN} \quad \text{resistenza di calcolo } \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA**

S-P-2Z direzione Z

**Caratteristiche della sezione**

## GEOMETRIA

H =	60	cm	altezza sezione
b <sub>w</sub> =	966	cm	larghezza sezione
h' =	3	cm	copriferro
d =	57	cm	altezza utile
z =	51.3	cm	braccio della coppia interna (0,9d)

## ARMATURA TESA

F =	8	mm	diametro armatura
n° =	88		numero barre
A <sub>s</sub> =	44.2	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
r <sub>l</sub> =	0.0008		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)

## AZIONI DI COMPRESSIONE

N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

**Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE**

## ARMATURA A TAGLIO

F =	12	mm	diametro staffe
n° =	2		numero bracci
A <sub>sw</sub> =	2.3	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
s =	44.0	cm	passo delle staffe
alpha =	90	°	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
n° staffe =	2.5		numero di staffe nel tratto considerato
A <sub>sw, tratto</sub> =	5.652	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
α <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membrature non compresse 1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
nf <sub>cd</sub> =	7.08	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

**Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE" V<sub>Rsd</sub> = 131 kN

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$$

**Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI" V<sub>Rcd</sub> = 13445 kN

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$$

**RESISTENZA FINALE**

$$V_{Rd} = 131 \text{ kN} \quad \text{resistenza di calcolo } \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

## 16.3 Verifiche di Resistenza - Operatività

Si riporta di seguito una tabella riepilogativa nella quale vengono riassunti gli sforzi sollecitanti e quelli resistenti illustrati ai precedenti paragrafi, con il relativo coefficiente di sicurezza finale.

OPERATIVITA' NTC18	VERIFICHE IMPALCATO		M+			M-			V			REACTION		
	Elemento	Sezione	MEd	MRd	CS	MEd	MRd	CS	VEd	VRd	CS	REd	RRd	CS
SIU	S-1-1	Trave 1	Campata B - Mezzeria	1106.3	888	1.24583								
	S-1-2	Trave 1	Campata B - Appoggio						-450.97	-955	0.47222			
	S-1-3	Trave 1	Campata B - a 2m da Appoggio						346.54	298	1.16289			
	S-2-1	Trave 2	Campata B - Mezzeria	767.14	662	1.15882								
	S-2-2	Trave 2	Campata B - Appoggio						-317.69	-626	0.50749			
	S-2-3	Trave 2	Campata B - a 2m da Appoggio						-265.48	-298	0.89087			
	S-3-1	Trave 3	Campata B - Mezzeria	760.11	662	1.1482								
	S-3-2	Trave 3	Campata B - Appoggio						-403.14	-626	0.64399			
	S-3-3	Trave 3	Campata B - a 2m da Appoggio						-233.57	-298	0.78379			
	S-T-1	Traverso	All'incastro con trave principale							69.16	313	0.22096		
	S-T-2		Traverso	Mezzeria	205.25	371	0.55323							
	S-s-1	Soletta	Soletta interna				-56.48	-31	1.82194	-134.47	-118	1.13958		
	S-s-2	Soletta	Soletta interna	43.32	52	0.83308								
S-s-3	Soletta	Soletta sbazo				-76.06	-35	2.17314	197.55	126	1.56786			

OPERATIVITA' NTC18	VERIFICHE PILE E SPALLE		M						Vy				Vz				
	Elemento	Sezione	NEd	MEd Y	MEd Z	MRd Y	MRd Z	CS	NEd	VEd	VRd	CS	NEd	VEd	VRd	CS	
SIU	S-SP-1	Spalla	Sezione di base	1859.41													
	S-P-2	Pilastro Pila	Sezione di base	-3746.1	-0.35	-438.48	-45	-21804	0.02011								
			Sezione di base	-3365.2	-238.66	-652.7	-1171	-12372	0.20381								
			Sezione di testa	-3365.2	-238.66	-652.7	-1171	-12372	0.20381								
			Sezione di testa							-3018.5	125.19	2208	0.0567				
			Sezione di base											-3365.2	105.89	131	0.80832

Come da risultati riportati nella tabella di cui sopra, sono diversi i meccanismi che comportano il non rispetto delle verifiche di operatività per il manufatto in esame; si riassumono di seguito le maggiori carenze riscontrate:

### In condizioni statiche:

- Carenze a taglio di travi laterali e solette d'impalcato
- Carenze a pressoflessione di travi e traversi di impalcato
- Importanti carenze a pressoflessione delle solette di impalcato

Si ritiene pertanto che il ponte **non rispetti le verifiche di Operatività** e risulta pertanto necessario procedere con gli step di carico successivi come da procedura illustrata al capitolo 2 del presente elaborato.

## 17 VERIFICHE DI TRANSITABILITA' CdS – MEZZI PESANTI (44t)

Poiché le verifiche non danno ancora tutte esito positivo come risulta dai precedenti paragrafi, si procede a adottare ulteriori misure limitative dell'uso dell'opera.

Si eseguirà l'analisi strutturale con le seguenti condizioni:

- Limitazioni di carico: corsie di carico limitate nel peso secondo le prescrizioni del Codice della Strada, C.d.S. (si veda nel seguito).
- Tutti i coefficienti parziali di sicurezza invariati rispetto alla verifica precedente, tranne il coefficiente dei carichi da traffico  $\gamma_Q$ , qui chiamato  $\gamma_{CdS}$  e pari a **1.60/1.35/1.10**: i fattori parziali differiscono in modo sostanziale a seconda del controllo che si effettua sui carichi che effettivamente transitano sul ponte, come già esplicitato nel paragrafo dedicato ai coefficienti.

Come già riportato al capitolo 10.4 del presente elaborato, le limitazioni di traffico da codice della strada saranno simulate con 4 distinti scenari, il primo limitando il traffico a mezzi (pesanti) con peso non superiore alle 44 tonnellate, il secondo a mezzi (intermedi) di peso non superiore a 26 tonnellate, il terzo a mezzi (leggeri) con peso non superiore a 7,5 tonnellate ed infine il quarto consentendo il transito a soli autoveicoli.

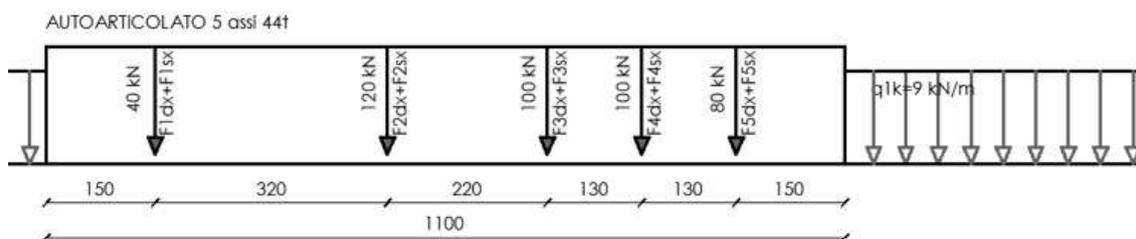


FIGURA 17-1: SCHEMA DI CARICO PER AUTOARTICOLATO 44 TONNELLATE

I coefficienti delle azioni permanenti restano gli stessi definiti per la verifica di operatività ( $\gamma_G = 1.16$ ).

I coefficienti delle azioni permanenti portate restano gli stessi definiti per la verifica di operatività ( $\gamma_{G2} = 1.26$ ).

## **17.1 Sollecitazioni di Calcolo**

---

A partire dalle sollecitazioni riportate graficamente al capitolo 13 del presente elaborato, si definiscono gli sforzi sollecitanti in combinazione i quali possono essere riassunti nella seguente tabella.

TRANSITABILITÀ Cds MEZZI PESANTI 44t (controlli Livello 1)

- SEZIONI DI VERIFICA E SOLLECITAZIONI

Elemento	Sezione	Massimizzazione	Comb	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
S-1-1	Trave 1	M+	CdSMP-U2	288,07	-102,12	101,01	-65,22	<b>986,85</b>	43,25
S-1-2	Trave 1	V	CdSMP-U2						
S-1-3	Trave 1	V	CdSMP-U2	-24,58	-114,25	<b>279,88</b>	-40,77	673,16	24,24
S-2-1	Trave 2	M+	CdSMP-U2	50,06	-61,53	60,27	-72,62	<b>720,76</b>	-34,37
S-2-2	Trave 2	V	CdSMP-U2						
S-2-3	Trave 2	V	CdSMP-U2						
S-3-1	Trave 3	M+	CdSMP-U1	37,87	-8,34	14,33	-74,01	<b>713,95</b>	-17,41
S-3-2	Trave 3	V	CdSMP-U1						
S-3-3	Trave 3	V	CdSMP-U1						
S-T-1	Traverso	V	All'incastro con trave principale						
S-T-1	Traverso	M+ o M-	All'incastro con trave principale	392,59	15,83	-44,63	15,06	<b>284,21</b>	-12,31
S-T-2	Traverso	M+	Mezzeria						
S-s-1	Solella	M-/V	CdSMP-U8	-9,28	-5,2	<b>-75,7</b>	1,74	<b>-31,68</b>	-9,62
S-s-2	Solella	M+	CdSMP-U8						
S-s-3	Solella	M-/V	CdSMP-U8	82,89	-150,34	<b>120,98</b>	1,7	<b>-40,12</b>	146,37
S-SP-1	Spalla	N	CdSMP-U6						
S-P-2	Pilastro Pila	N	Sezione di base						
S-P-2	Pilastro Pila	MY	Sezione di base						
S-P-2	Pilastro Pila	Mz	Sezione di base						
S-P-2	Pilastro Pila	Vy	Sezione di testa						
S-P-2	Pilastro Pila	Vz	Sezione di base						

## 17.2 Resistenze delle Sezioni in Esame

### 17.2.1 Calcolo dei Momenti Resistenti

#### 17.2.1.1 Impalcato

Verifica CA S.L.U. - File: S-1-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom  N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	86
2	20	86
3	100,5	57
4	100,5	0
5	132,5	0
6	132,5	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	35,34	116,5	3
2	14,14	116,5	80
3	1,57	50	80
4	1,57	165	65

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Diagramma della sezione:

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN  yN

Tipologia: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello  Precompresso

Materiali:

SEMIDURI		CLS TRAV	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	233,1 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	26,14
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	1
$\epsilon_{syd}$	1,166 ‰	$\sigma_{c,adm}$	14,25
$\sigma_{s,adm}$	160 N/mm <sup>2</sup>	$T_{c0}$	0,84
		$T_{c1}$	2,343

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
d  cm  
x  x/d   
 $\delta$

S-1-1

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-2-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	60
2	65	60
3	65	0
4	97	0
5	97	60
6	162	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	35,34	81	3
2	14,14	81	80
3	1,57	30	65
4	1,57	126	65

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDURICI CLS TRAV

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  233,1 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  26,14 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  1  
 $\epsilon_{syd}$  1,166 ‰  $\sigma_{c,adm}$  14,25 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{s,adm}$  160 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,84  
 $\tau_{c1}$  2,343

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN  yN

Tipologia rottura:  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

$M_{xRd}$  662,1 kN m  
 $\sigma_c$  -26,14 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  233,1 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  2,549 ‰  
 $\epsilon_s$  67,5 ‰  
 d 80 cm  
 x 2,911 x/d 0,03639  
 $\delta$  0,7

S-2-1 ; S-3-1

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-T-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	60
2	51,5	60
3	51,5	0
4	83,5	0
5	83,5	60
6	135	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	14,14	67,5	12
2	7,070001	67,5	80
3	3,08	25	65
4	3,08	110	65

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDURICI CLS TRAV

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  233,1 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  26,14 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  1  
 $\epsilon_{syd}$  1,166 ‰  $\sigma_{c,adm}$  14,25 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{s,adm}$  160 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,84  
 $\tau_{c1}$  2,343

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN  yN

Tipologia rottura:  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

$M_{xRd}$  257,6 kN m  
 $\sigma_c$  -26,14 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  233,1 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  2,237 ‰  
 $\epsilon_s$  67,5 ‰  
 d 71 cm  
 x 2,277 x/d 0,03208  
 $\delta$  0,7

S-T-1

Verifica CA. S.L.U. - File: S-s-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	23

N°	As [cm²]	d [cm]
1	6,16	4
2	6,16	19

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDURICI CLS TRAV

ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 233,1 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> 26,14 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 1 ‰  
 ε<sub>syd</sub> 1,166 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 14,25 ‰  
 σ<sub>s,adm</sub> 160 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub> 0,84  
 τ<sub>c1</sub> 2,343

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> -31,39 kNm  
 σ<sub>c</sub> -26,14 N/mm<sup>2</sup>  
 σ<sub>s</sub> 233,1 N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 45,74 ‰  
 d 19 cm  
 x 1,351 x/d 0,07108  
 δ 0,7

S-s-1

Verifica CA. S.L.U. - File: S-s-3

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	26

N°	As [cm²]	d [cm]
1	6,16	4
2	6,16	22

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDURICI CLS TRAV

ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 233,1 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> 26,14 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 1 ‰  
 ε<sub>syd</sub> 1,166 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 14,25 ‰  
 σ<sub>s,adm</sub> 160 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub> 0,84  
 τ<sub>c1</sub> 2,343

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> -35,7 kNm  
 σ<sub>c</sub> -26,14 N/mm<sup>2</sup>  
 σ<sub>s</sub> 233,1 N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 53,62 ‰  
 d 22 cm  
 x 1,348 x/d 0,06128  
 δ 0,7

S-s-3

### **17.2.1.2 Spalle/Pile Combinazioni Statiche**

---

Elementi tutti verificati allo step di analisi precedente.

## 17.2.2 Calcolo dei Tagli Resistenti

### 17.2.2.1 Impalcato

#### RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA

S-1-3

##### Caratteristiche della sezione

GEOMETRIA	H =	83	cm	altezza sezione
	b <sub>w</sub> =	32	cm	larghezza sezione
	h' =	4	cm	copriferro
	d =	79	cm	altezza utile
	z =	71.1	cm	braccio della coppia interna (0,9d)
ARMATURA TESA	F =	30	mm	diametro armatura
	n° =	5		numero barre
	A <sub>s</sub> =	35.3	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
	r <sub>l</sub> =	0.0133		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
AZIONI DI COMPRESSIONE	N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
	s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

##### Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE

ARMATURA A TAGLIO	F =	12	mm	diametro staffe
	n° =	4		numero bracci
	A <sub>sw</sub> =	4.5	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasversale
	s =	25	cm	passo delle staffe
	alpha =	90°		angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
	n° staffe =	2.83		numero di staffe nel tratto considerato
	A <sub>sw, tratto</sub> =	12.796	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura trasv. nel tratto di verifica
	a <sub>c</sub> =	1.00		coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membraure non compresse 1 + s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1.25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - s <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ s <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
	nf <sub>cd</sub> =	13.07	Mpa	resistenza a compressione ridotta (nf <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )

##### Resistenza con armature trasversali resistenti al taglio - STAFFE

RES. DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"	V <sub>Rsd</sub> =	298	kN
-------------------------------------	--------------------	-----	----

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$$

**Resistenza a rottura del puntone compresso in calcestruzzo**RES. DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSI"  $V_{Rcd} =$  **1487 kN**

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta) \quad [4.1.28]$$

**RESISTENZA FINALE** $V_{Rd} =$  **298 kN** *resistenza di calcolo min(V<sub>r</sub>sd;V<sub>r</sub>cd)*

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA****S-s-1****Caratteristiche della sezione**

GEOMETRIA	H =	23	cm	altezza sezione
	b <sub>w</sub> =	100	cm	larghezza sezione
	h' =	3	cm	copriferro
	d =	20	cm	altezza utile
	z =	18	cm	braccio della coppia interna (0,9d)
ARMATURA TESA	F =	14	mm	diametro armatura
	n° =	4		numero barre
	A <sub>s</sub> =	6.2	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
	r <sub>l</sub> =	0.0027		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
AZIONI DI COMPRESSIONE	N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
	s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

**Resistenza senza armatura a taglio**

RESISTENZA SENZA ARMATURA A TAGLIO	<b>V<sub>Rd</sub> =</b>	<b>118 kN</b>	
Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con			
$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\} \quad [4.1.23]$			
con			
f <sub>ck</sub> espresso in MPa			
k = 1 + (200/d) <sup>1/2</sup> ≤ 2			
v <sub>min</sub> = 0,035k <sup>3/2</sup> f <sub>ck</sub> <sup>1/2</sup>			
	theta =	45	°
	angolo di inclinazione del puntone compresso rispetto all'asse della trave (22°÷ 45°)		
	cot(theta) =	1.0000	
	lunghezza tratto =	18.0000	cm
	lunghezza del tratto considerato (z*cot(theta))		

**RESISTENZA A TAGLIO CLASSICA****S-s-3****Caratteristiche della sezione**

GEOMETRIA	H =	26	cm	altezza sezione
	b <sub>w</sub> =	100	cm	larghezza sezione
	h' =	3	cm	copriferro
	d =	23	cm	altezza utile
	z =	20.7	cm	braccio della coppia interna (0,9d)
ARMATURA TESA	F =	14	mm	diametro armatura
	n° =	4		numero barre
	A <sub>s</sub> =	6.2	cm <sup>2</sup>	area dell'armatura tesa
	r <sub>l</sub> =	0.0024		rapporto geometrico d'armatura longitudinale (≤0,02)
AZIONI DI COMPRESSIONE	N <sub>Ed</sub> =	0	kN	valore di calcolo della compressione assiale (se presente)
	s <sub>cp</sub> =	0.00	Mpa	tensione media di compressione

**Resistenza senza armatura a taglio**

RESISTENZA SENZA ARMATURA A TAGLIO	<b>V<sub>Rd</sub> =</b>	<b>126 kN</b>	
Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con			
$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\} \quad [4.1.23]$			
con			
f <sub>ck</sub> espresso in MPa			
k = 1 + (200/d) <sup>1/2</sup> ≤ 2			
v <sub>min</sub> = 0,035k <sup>3/2</sup> f <sub>ck</sub> <sup>1/2</sup>			
	theta =	45	°
angolo di inclinazione del puntone compresso rispetto all'asse della trave (22°÷ 45°)			
	cot(theta) =	1.0000	
	lunghezza tratto =	20.7000	cm
lunghezza del tratto considerato (z*cot(theta))			

### **17.2.2.2 Spalle/Pile**

---

Elementi tutti verificati allo step di analisi precedente.

### 17.3 Verifiche di Resistenza – Transitabilità da CdS – Mezzi pesanti (44t)

Si riporta di seguito una tabella riepilogativa nella quale vengono riassunti gli sforzi sollecitanti e quelli resistenti illustrati ai precedenti paragrafi, con il relativo coefficiente di sicurezza finale.

TRANSITABILITA' CdS MEZZI PESANTI 44t		VERIFICHE IMPALCATO	M+			M-			V			REACTION		
Elemento	Sezione	MEd	MRd	CS	MEd	MRd	CS	VEd	VRd	CS	REd	RRd	CS	
SIU	S-1-1	Trave 1	Campata B - Mezzeria	986.85	888	1.11132								
	S-1-2	Trave 1	Campata B - Appoggio						VERIFICATO ADEGUATEZZA					
	S-1-3	Trave 1	Campata B - a 2m da Appoggio						279.88	298	0.93919			
	S-2-1	Trave 2	Campata B - Mezzeria	720.76	662	1.08876								
	S-2-2	Trave 2	Campata B - Appoggio						VERIFICATO ADEGUATEZZA					
	S-2-3	Trave 2	Campata B - a 2m da Appoggio						VERIFICATO OPERATIVITA'					
	S-3-1	Trave 3	Campata B - Mezzeria	713.95	662	1.07847								
	S-3-2	Trave 3	Campata B - Appoggio						VERIFICATO ADEGUATEZZA					
	S-3-3	Trave 3	Campata B - a 2m da Appoggio						VERIFICATO ADEGUATEZZA					
	S-T-1	Traverso	All'incastro con trave principale						VERIFICATO ADEGUATEZZA					
	S-T-2		All'incastro con trave principale	284.21	257	1.10588								
	S-T-2	Traverso	Mezzeria	VERIFICATO ADEGUATEZZA										
	S-s-1	Soletta	Soletta interna				-31.68	-31	1.02194	-75.7	-118	0.64153		
	S-s-2	Soletta	Soletta interna	VERIFICATO ADEGUATEZZA										
	S-s-3	Soletta	Soletta sbazo				-40.12	-35	1.14629	120.98	126	0.96016		

TRANSITABILITA' CdS MEZZI PESANTI 44t		VERIFICHE PILE E SPALLE	M					Vy				Vz			
Elemento	Sezione	NEd	MEd Y	MEd Z	MRd Y	MRd Z	CS	NEd	VEd	VRd	CS	NEd	VEd	VRd	CS
SIU	S-SP-1	Spalla	Sezione di base												
	S-P-2	Pilastro Pila	Sezione di base	VERIFICATO ADEGUATEZZA (STATICA)											
			Sezione di base	VERIFICATO ADEGUATEZZA (STATICA)											
			Sezione di testa	VERIFICATO ADEGUATEZZA (STATICA)											
			Sezione di testa	VERIFICATO ADEGUATEZZA (STATICA)											
			Sezione di base	VERIFICATO ADEGUATEZZA (STATICA)											

Come da risultati riportati nella tabella di cui sopra, soltanto una parte degli elementi risulta verificata in condizioni di transitabilità secondo Codice della Strada – mezzi pesanti; si riassumono di seguito le maggiori carenze ancora presenti:

#### In condizioni statiche:

- Carenze a pressoflessione di travi e traversi di impalcato
- Carenze a pressoflessione delle solette di impalcato

Dati i risultati esposti sopra si ritiene dunque che il ponte **non rispetti le verifiche di Transitabilità ai Mezzi Pesanti (44t) previsti dal Codice della Strada** e risulta pertanto necessario procedere con gli step di carico successivi come da procedura illustrata al capitolo 2 del presente elaborato.

## 18 VERIFICHE DI TRANSITABILITA' CdS – MEZZI INTERMEDI (26t)

Poiché le verifiche non danno ancora tutte esito positivo come risulta dai precedenti paragrafi, si procede a adottare ulteriori misure limitative dell'uso dell'opera.

Si eseguirà l'analisi strutturale con le seguenti condizioni:

- Limitazioni di carico: corsie di carico limitate nel peso secondo le prescrizioni del Codice della Strada, C.d.S. (si veda nel seguito).
- Tutti i coefficienti parziali di sicurezza invariati rispetto alla verifica precedente, tranne il coefficiente dei carichi da traffico  $\gamma_{CdS}$  e pari a **1.60/1.35/1.10**; i fattori parziali differiscono in modo sostanziale a seconda del controllo che si effettua sui carichi che effettivamente transitano sul ponte, come già esplicitato nel paragrafo dedicato ai coefficienti.

Come già riportato al capitolo 10.4 del presente elaborato, le limitazioni di traffico da codice della strada saranno simulate con 4 distinti scenari, il primo limitando il traffico a mezzi (pesanti) con peso non superiore alle 44 tonnellate, il secondo a mezzi (intermedi) di peso non superiore a 26 tonnellate, il terzo a mezzi (leggeri) con peso non superiore a 7,5 tonnellate ed infine il quarto consentendo il transito a soli autoveicoli.

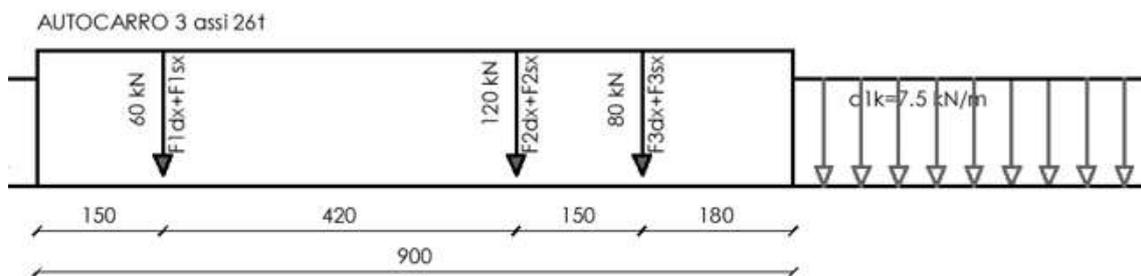


FIGURA 18-1: SCHEMA DI CARICO PER AUTOCARRO 26 TONNELLATE

I coefficienti delle azioni permanenti restano gli stessi definiti per la verifica di operatività ( $\gamma_G = 1.16$ ).

I coefficienti delle azioni permanenti portate restano gli stessi definiti per la verifica di operatività ( $\gamma_{G2} = 1.26$ ).

## **18.1 Sollecitazioni di Calcolo**

---

A partire dalle sollecitazioni riportate graficamente al capitolo 13 del presente elaborato, si definiscono gli sforzi sollecitanti in combinazione i quali possono essere riassunti nella seguente tabella.

TRANSITABILITA' Cds MEZZI INTERMEDI 26f (controlli Livello 1)										
- SEZIONI DI VERIFICA E SOLLECITAZIONI										
Elemento	Sezione	Massimizzazione	Comb	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)	
S-1-1	Trave 1	Campata B - Mezzeria	M+	CdSMI-U2	222.77	-72.67	80.43	-49.85	772.84	40.06
S-1-2	Trave 1	Campata B - Appoggio	V							
S-1-3	Trave 1	Campata B - a 2m da Appoggio	V							
S-2-1	Trave 2	Campata B - Mezzeria	M+	CdSMI-U2	38.44	-33.82	77.7	-47.93	572.15	-15.32
S-2-2	Trave 2	Campata B - Appoggio	V							
S-2-3	Trave 2	Campata B - a 2m da Appoggio	V							
S-3-1	Trave 3	Campata B - Mezzeria	M+	CdSMI-U1	28.32	-0.55	40.02	-50.87	578.1	-8.47
S-3-2	Trave 3	Campata B - Appoggio	V							
S-3-3	Trave 3	Campata B - a 2m da Appoggio	V							
S-T-1	Traverso	Allineamento con trave principale	V							
S-T-1	Traverso	Allineamento con trave principale	M+ o M-	CdSMI-U7	276.57	9.64	-22.68	8.85	181.47	-4.26
S-T-2	Traverso	Mezzeria	M+							
S-s-1	Soletta	Soletta interna	M-/V	CdSMI-U8	-2.49	-4.7	-57.91	1.22	-24.22	-8.54
S-s-2	Soletta	Soletta interna	M+							
S-s-3	Soletta	Soletta sbazo	M-/V	CdSMI-U8	74.96	-141.81	93.17	1.93	-30.9	137.04
S-SP-1	Spalla	Sezione di base	N	CdSMI-U6						
		Sezione di base	N							
		Sezione di base	MY							
		Sezione di base	MZ							
		Sezione di testa	VY							
		Sezione di base	Vz							
S-P-2	Pilastro Pila									

## 18.2 Resistenze delle Sezioni in Esame

### 18.2.1 Calcolo dei Momenti Resistenti

#### 18.2.1.1 Impalcato

Verifica CA S.L.U. - File: S-1-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom  N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	86
2	20	86
3	100,5	57
4	100,5	0
5	132,5	0
6	132,5	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	35,34	116,5	3
2	14,14	116,5	80
3	1,57	50	80
4	1,57	165	65

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Diagramma della sezione:

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN  yN

Tipologia Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

σ<sub>c</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  x/d   
δ

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviate

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello  Precompresso

Materiali:

SEMIDURI		CLS TRAV	
ε <sub>su</sub>	<input type="text" value="67,5"/> ‰	ε <sub>c2</sub>	<input type="text" value="2"/> ‰
f <sub>yd</sub>	<input type="text" value="233,1"/> N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>cu</sub>	<input type="text" value="3,5"/> ‰
E <sub>s</sub>	<input type="text" value="200 000"/> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub>	<input type="text" value="26,14"/> N/mm <sup>2</sup>
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	<input type="text" value="15"/>	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub>	<input type="text" value="1"/> [?]
ε <sub>syd</sub>	<input type="text" value="1,166"/> ‰	σ <sub>c,adm</sub>	<input type="text" value="14,25"/> N/mm <sup>2</sup>
σ <sub>s,adm</sub>	<input type="text" value="160"/> N/mm <sup>2</sup>	T <sub>co</sub>	<input type="text" value="0,84"/>
		T <sub>c1</sub>	<input type="text" value="2,343"/>

S-1-1

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-2-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO :

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	60
2	65	60
3	65	0
4	97	0
5	97	60
6	162	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	35,34	81	3
2	14,14	81	80
3	1,57	30	65
4	1,57	126	65

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali:

SEMIDURI	CLS TRAV
$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 233,1 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 26,14
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 1
$\epsilon_{syd}$ 1,166 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 14,25
$\sigma_{s,adm}$ 160 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,84
	$\tau_{c1}$ 2,343

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipologia rottura:  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$  -26,14 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  233,1 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  2,549 ‰  
 $\epsilon_s$  67,5 ‰  
 d 80 cm  
 x 2,911 x/d 0,03639  
 $\delta$  0,7

S-2-1 ; S-3-1

Verifica C.A. S.L.U. - File: S-T-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO :

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	60
2	51,5	60
3	51,5	0
4	83,5	0
5	83,5	60
6	135	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	14,14	67,5	12
2	7,070001	67,5	80
3	3,08	25	65
4	3,08	110	65

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali:

SEMIDURI	CLS TRAV
$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 233,1 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 26,14
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 1
$\epsilon_{syd}$ 1,166 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 14,25
$\sigma_{s,adm}$ 160 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,84
	$\tau_{c1}$ 2,343

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipologia rottura:  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$  -26,14 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  233,1 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  2,237 ‰  
 $\epsilon_s$  67,5 ‰  
 d 71 cm  
 x 2,277 x/d 0,03208  
 $\delta$  0,7

S-T-1

Verifica CA S.L.U. - File: S-s-1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	23

N°	As [cm²]	d [cm]
1	6,16	4
2	6,16	19

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDURICI CLS TRAV

ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 233,1 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 26,14  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 1  
 ε<sub>syd</sub> 1,166 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 14,25  
 σ<sub>s,adm</sub> 160 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,84  
 τ<sub>c1</sub> 2,343

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> -31,39 kNm  
 σ<sub>c</sub> -26,14 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 233,1 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 45,74 ‰  
 d 19 cm  
 x 1,351 x/d 0,07108  
 δ 0,7

S-s-1

Verifica CA S.L.U. - File: S-s-3

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	26

N°	As [cm²]	d [cm]
1	6,16	4
2	6,16	22

Tipologia Sezione:  
 Rettang. re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: SEMIDURICI CLS TRAV

ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 233,1 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 26,14  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 1  
 ε<sub>syd</sub> 1,166 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 14,25  
 σ<sub>s,adm</sub> 160 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,84  
 τ<sub>c1</sub> 2,343

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> -35,7 kNm  
 σ<sub>c</sub> -26,14 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 233,1 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 53,62 ‰  
 d 22 cm  
 x 1,348 x/d 0,06128  
 δ 0,7

S-s-3

### **18.2.1.2 Spalle/Pile Combinazioni Statiche**

---

Elementi tutti verificati allo step di analisi precedente.

## **18.2.2 Calcolo dei Tagli Resistenti**

---

### **18.2.2.1 Impalcato**

---

Elementi tutti verificati allo step di analisi precedente.

### **18.2.2.2 Spalle/Pile**

---

Elementi tutti verificati allo step di analisi precedente.

## 18.3 Verifiche di Resistenza – Transitabilità da CdS – Mezzi intermedi (26t)

Si riporta di seguito una tabella riepilogativa nella quale vengono riassunti gli sforzi sollecitanti e quelli resistenti illustrati ai precedenti paragrafi, con il relativo coefficiente di sicurezza finale.

TRANSITABILITA' CdS MEZZI INTERMEDI 26t		VERIFICHE IMPALCATO	M+			M-			V			REACTION		
Elemento	Sezione	MEd	MRd	CS	MEd	MRd	CS	VEd	VRd	CS	REd	RRd	CS	
SIU	S-1-1	Trave 1	Campata B - Mezzeria	772.84	888	0.87032								
	S-1-2	Trave 1	Campata B - Appoggio						VERIFICATO ADEGUATEZZA					
	S-1-3	Trave 1	Campata B - a 2m da Appoggio						VERIFICATO TRANSIT 44t					
	S-2-1	Trave 2	Campata B - Mezzeria	572.15	662	0.86427								
	S-2-2	Trave 2	Campata B - Appoggio						VERIFICATO ADEGUATEZZA					
	S-2-3	Trave 2	Campata B - a 2m da Appoggio						VERIFICATO OPERATIVITA'					
	S-3-1	Trave 3	Campata B - Mezzeria	578.1	662	0.87326								
	S-3-2	Trave 3	Campata B - Appoggio						VERIFICATO ADEGUATEZZA					
	S-3-3	Trave 3	Campata B - a 2m da Appoggio						VERIFICATO ADEGUATEZZA					
	S-T-1	Traverso	All'incastro con trave principale						VERIFICATO ADEGUATEZZA					
	S-T-2		All'incastro con trave principale	181.47	257	0.70611								
	S-T-2	Traverso	Mezzeria	VERIFICATO ADEGUATEZZA										
S-s-1	Soletta	Soletta interna				-24.22	-31	0.78129	VERIFICATO TRANSIT 44t					
S-s-2	Soletta	Soletta interna	VERIFICATO ADEGUATEZZA											
S-s-3	Soletta	Soletta sbazo				-30.9	-35	0.88286	VERIFICATO TRANSIT 44t					

TRANSITABILITA' CdS MEZZI INTERMEDI 26t		VERIFICHE PILE E SPALLE	M					Vy				Vz			
Elemento	Sezione	NEd	MEd Y	MEd Z	MRd Y	MRd Z	CS	NEd	VEd	VRd	CS	NEd	VEd	VRd	CS
SIU	S-SP-1	Spalla	Sezione di base												
	S-P-2	Pilastro Pila	Sezione di base	VERIFICATO ADEGUATEZZA (STATICA)											
			Sezione di base	VERIFICATO ADEGUATEZZA (STATICA)											
			Sezione di testa	VERIFICATO ADEGUATEZZA (STATICA)											
			Sezione di testa	VERIFICATO ADEGUATEZZA (STATICA)											
			Sezione di base	VERIFICATO ADEGUATEZZA (STATICA)											

Come da risultati riportati nella tabella di cui sopra, gli elementi risultano tutti verificati in condizioni di transitabilità secondo Codice della Strada – mezzi intermedi.

Si ritiene pertanto che il ponte **rispetti le verifiche di Transitabilità ai Mezzi Intermedi (26t) previsti dal Codice della Strada.**

## 19 CONCLUSIONI

### 19.1 Risultato della Verifica di Livello 4

Le **analisi di livello 4 di cui al presente documento** hanno confermato le carenze già note, dimostrando che il manufatto non risulta adeguato ai carichi delle attuali NTC; si è quindi proceduto

con le analisi apportando le riduzioni di carico previste dalle attuali Linee Guida Ponti fino a raggiungere verifiche soddisfacenti per tutti gli elementi portanti del manufatto. Di seguito una tabella riepilogativa dei coefficienti minimi riscontrati negli step di carico eseguiti.

RIEPILOGO		VERIFICHE IMPALCATO	CS MIN ADEGUATEZZA		CS MIN OPERATIVITA'		CS MIN TRANSITABILITA' CdS (44t)		CS MIN TRANSITABILITA' CdS (26t)		
Elemento	Sezione		CS M	CS V	CS M	CS V	CS M	CS V	CS M	CS V	
SLU	S-1-1	Trave 1	Campata B - Mezzeria	1.45027		1.24583		1.11132		0.87032	
	S-1-2	Trave 1	Campata B - Appoggio		0.54791		0.47222		NN	NN	
	S-1-3	Trave 1	Campata B - a 2m da Appoggio		1.3494		1.16289		0.93919	NN	
	S-2-1	Trave 2	Campata B - Mezzeria	1.34794		1.15882		1.08876		0.86427	
	S-2-2	Trave 2	Campata B - Appoggio		0.58783		0.50749		NN	NN	
	S-2-3	Trave 2	Campata B - a 2m da Appoggio		1.03558		0.89087		NN	NN	
	S-3-1	Trave 3	Campata B - Mezzeria	1.33537		1.1482		1.07847		0.87326	
	S-3-2	Trave 3	Campata B - Appoggio		0.74841		0.64399		NN	NN	
	S-3-3	Trave 3	Campata B - a 2m da Appoggio		0.90993	0.78379	0.78379		NN	NN	
	S-T-1	Traverso	All'incastro con trave principale		0.2581		0.22096		NN	NN	
	S-T-2		All'incastro con trave principale	1.38633		1.1772		1.10588		0.70611	
		Traverso	Mezzeria	0.65025		0.55323		NN		NN	
	S-s-1	Soletta	Soletta interna	2.18586	1.32377	1.82194	1.13958	1.02194	0.64153	0.78129	NN
	S-s-2	Soletta	Soletta interna	0.9736		0.83308		NN		NN	
	S-s-3	Soletta	Soletta sbazo	2.58788	1.78823	2.17314	1.56786	1.14629	0.96016	0.88286	NN

**LEGENDA SIMBOLI:**

NN: verifica non necessaria in quanto elemento già verificato allo step di carico precedente

ND: verifica non possibile per eccesso di trazione

CS>1: verifica non soddisfatta

CS<1: verifica soddisfatta

RIEPILOGO		VERIFICHE PILE E SPALLE	CS MIN ADEGUATEZZA		CS MIN OPERATIVITA'		CS MIN TRANSITABILITA' CdS (44t)		CS MIN TRANSITABILITA' CdS (26t)		
Elemento	Sezione		CS M	CS V	CS M	CS V	CS M	CS V	CS M	CS V	
SLU	S-SP-1	Spalla	Sezione di base								
	S-P-2	Pilastro Pila	Sezione di base	0.02136		0.02011		NN		NN	
			Sezione di base	0.21774		0.20381		NN		NN	
			Sezione di testa	0.21774		0.20381		NN		NN	
			Sezione di testa		0.06645		0.0567		NN		NN
			Sezione di base		0.9454		0.80832		NN		NN

SLV	S-SP-1	Spalla	Sezione di base						
	S-P-2	Pilastro Pila	Sezione di base	1.49895					
			Sezione di base	1.49032					
			Sezione di base	1.16053					
			Sezione di base		0.25723				
			Sezione di base		2.63127				

**LEGENDA SIMBOLI:**

NN: verifica non necessaria in quanto elemento già verificato allo step di carico precedente

ND: verifica non possibile per eccesso di trazione

CS>1: verifica non soddisfatta

CS<1: verifica soddisfatta

Il risultato dell'analisi è dunque che il manufatto risulta **idoneo ai carichi da mezzi intermedi previsti da Codice della Strada (26t)**. Il manufatto **non risulta invece idoneo dal punto di vista sismico**.

**L'idoneità sopra menzionata risulta però vincolata alla risoluzione di tutti gli ammaloramenti riscontrati, meglio precisati nel capitolo sottostante, in quanto l'esteso livello di degrado costituisce una condizione grave ed in evoluzione che va ad inficiare totalmente le considerazioni fatte nel presente elaborato di calcolo oltre che costituire un reale pericolo per la stabilità del manufatto.**

Come anticipato, **sono estese ed importanti le condizioni di ammaloramento ed usura rilevate** durante la campagna di indagini, **le quali denotano una totale assenza di manutenzione ordinaria**; vengono riportati di seguito i punti principali di interesse:

- Percolamenti d'acqua;
- Assenza di un sistema di convogliamento delle acque meteoriche;
- Crescita di vegetazione su punti di appoggio delle travi di impalcato;
- Copriferri totalmente mancanti in molteplici punti delle travi principali;
- Copriferri totalmente mancanti in molteplici punti delle solette di impalcato;
- Corrosione estesa e preoccupante di barre d'armatura esposte, in particolar modo in corrispondenza delle travi principali;

Di seguito alcune viste degli ammaloramenti riscontrati:



FIGURA 19-1: COPRIFERRI MANCANTI E ARMATURE CORROSE SU TRAVI PRINCIPALI



FIGURA 19-2: COPRIFERRI MANCANTI E ARMATURE CORROSE SU TRAVI PRINCIPALI



FIGURA 19-3: COPRIFERRI MANCANTI E ARMATURE CORROSE SU SOLETTE DI IMPALCATO



FIGURA 19-4: PERCOLAMENTI D'ACQUA



FIGURA 19-5: CRESCITA DI VEGETAZIONE SU APPOGGI TRAVE



FIGURA 19-6: CORDOLI DANNEGGIATI CON ARMATURE ESPOSTE

Padova, 17/03/2025

Ing. Simone Carraro

CLIENTE: CITTA' METROPOLITANA  
DI VENEZIA

**PONTI ESISTENTI – AREA NORD CIG 9041138719**  
Verifiche livello 4 – Ponte 10 – San Stino di Livenza  
– SP59 – ID Opera 20

ELAB.: 21173P2112A

Rev. A - Pag. 211 di 236

Allegati:

- Giudizio motivato e accettabilità dei risultati
- Software di Calcolo, Convenzioni e Definizioni

## **GIUDIZIO MOTIVATO E ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI**

---

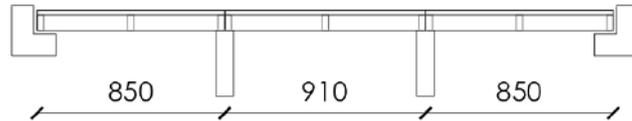
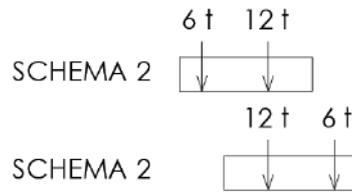
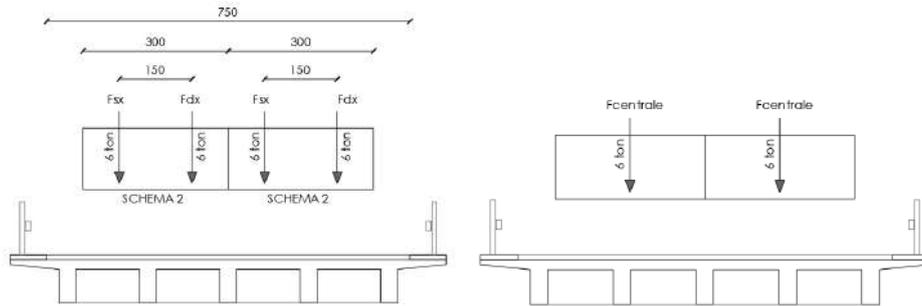
### **Confronto Reazioni Globali dovute a carico da traffico – Circolare n. 6018 del 09/06/1945**

---

Si effettua un confronto tra la sollecitazione flettente ottenuta da una delle combinazioni del modello FEM per carichi da traffico, ed il corrispondente effettuato analiticamente.

Si prende in oggetto la configurazione di carichi da traffico denominata T1:

## REAZIONI TOTALI A MANO



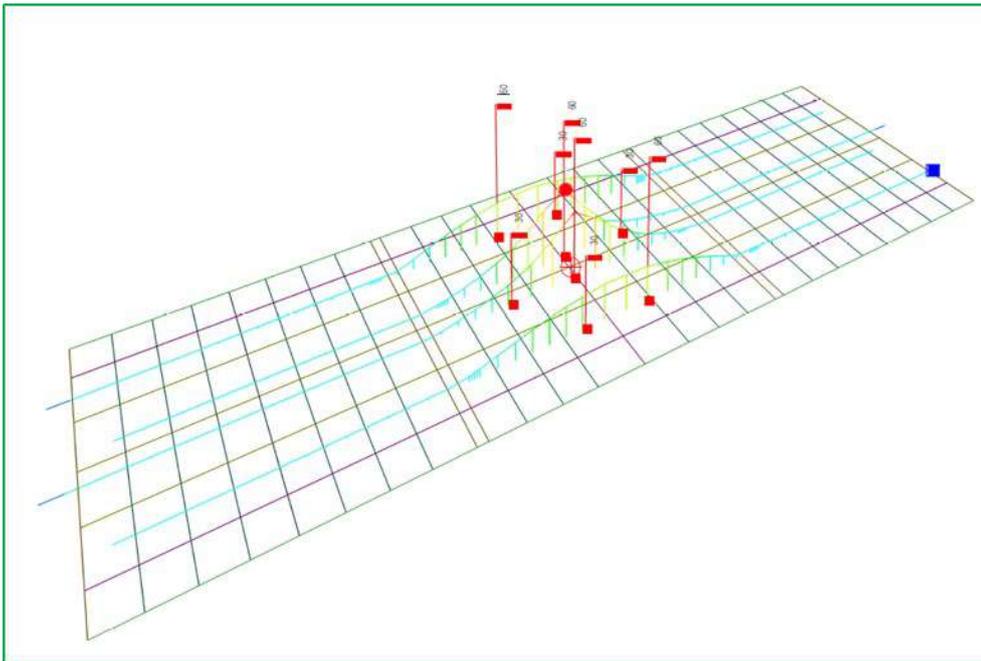
Qtraffico tandem corsia 1	1,00		239	kN
Qtraffico tandem corsia 1	1,00		239	kN
Qtraffico ripartito corsia 1	0,000	0	0	kN/m
Qtraffico ripartito corsia 2	0,000	0	0	kN/m
Qtraffico ripartito marciapiedi 1	0,000	0	0	kN/m
Qtraffico ripartito marciapiedi 2	0,000	0	0	kN/m

**Carico Totale      478,8 kN**

## REAZIONI TOTALI FEM

MODELLO	03.0						
Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
91	N45_T1_T	-0,0862	-0,5259	-0,5277	0	0	-0,076726
117	N45_T1_T	1,04167	0,01911	-0,696	0	0	-0,643739
118	N45_T1_T	0,64953	0,24215	-0,2415	0	0	-0,000683
144	N45_T1_T	1,61227	0,21985	-0,1558	0	0	-0,193759
145	N45_T1_T	-1,7122	0,03063	0,91065	0	0	0,040505
171	N45_T1_T	1,89792	-0,0946	1,05066	0	0	0,120358
172	N45_T1_T	-1,4083	-0,2279	-0,1446	0	0	-0,22611
198	N45_T1_T	-0,8159	-0,3658	-0,2906	0	0	0,091051
199	N45_T1_T	-1,064	-0,0164	-0,625	0	0	-0,64022
225	N45_T1_T	-0,7645	0,34766	-0,4871	0	0	-0,014437
246	N45_T1_T	20,4752	4,55877	220,949	22,467808	-13,94785	18,597354
247	N45_T1_T	-19,825	-4,1877	259,058	-24,957953	15,666696	32,140237

**478,8 kN**

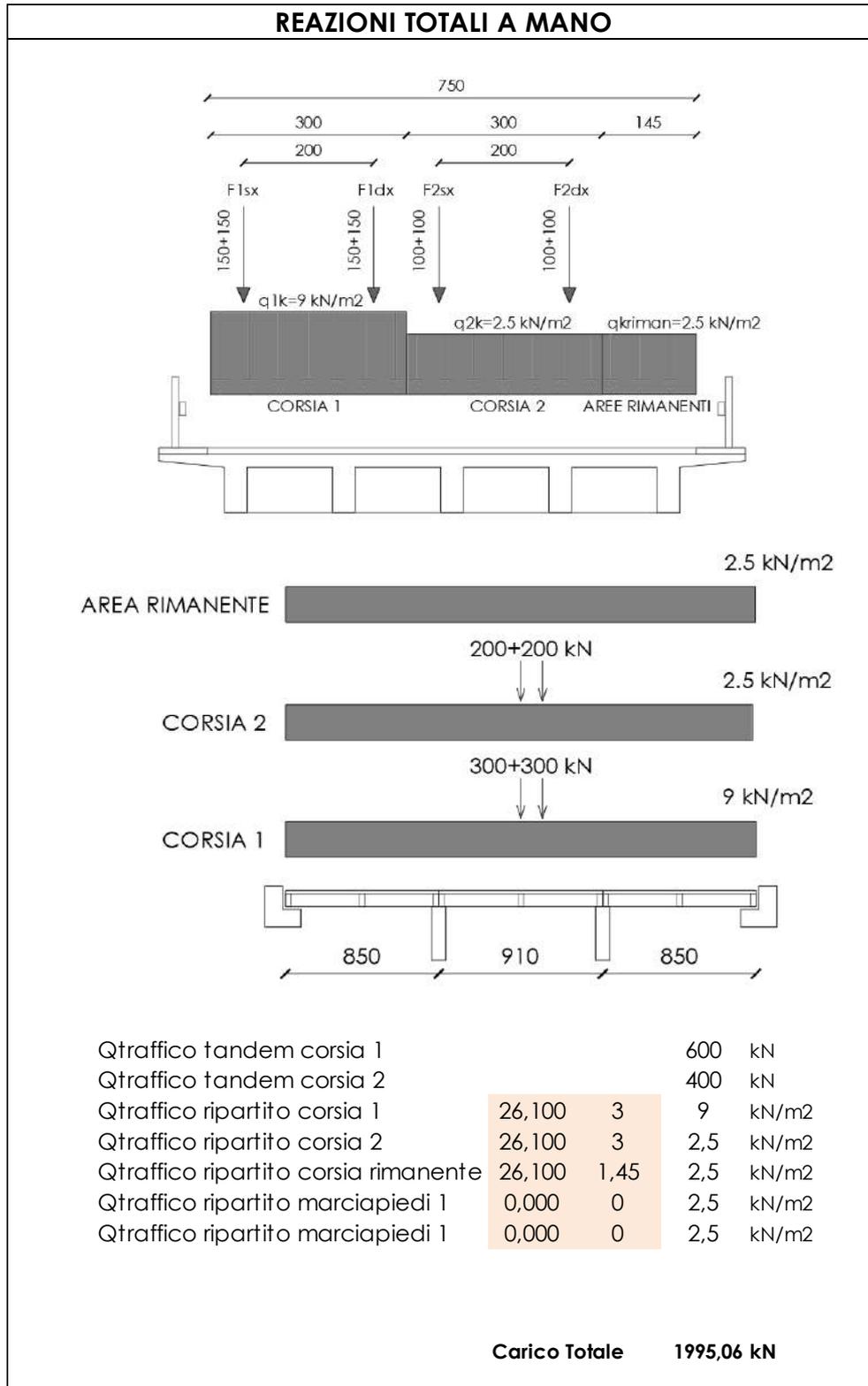


Rtot,FEM	478,80 kN
Rtot,mano	478,80 kN
	100%
Accettato?	OK

Con una differenza pari allo 0% si può ritenere il modello FEM valido.

## Confronto Reazioni Globali dovute a carico da traffico – NTC18

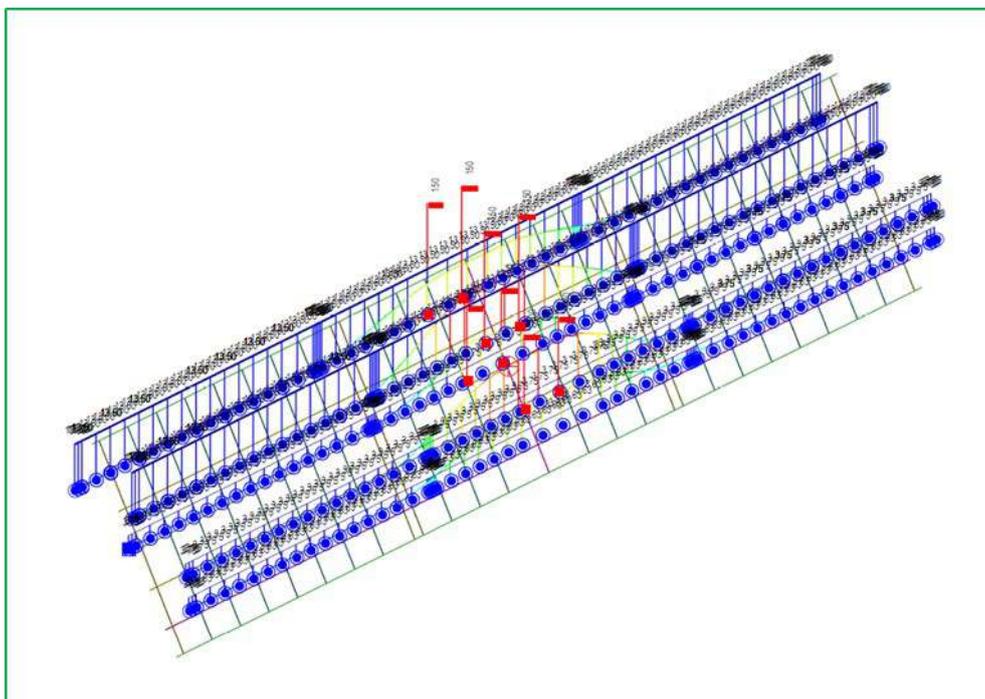
Si effettua un confronto tra la sollecitazione flettente ottenuta da una delle combinazioni del modello FEM per carichi da traffico, ed il corrispondente effettuato analiticamente.



## REAZIONI TOTALI FEM

MODELLO	01.0						
Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
13	NTC_T1_I	11,6632	-2,1468	44,0975	-28,071623	0	-5,128212
16	NTC_T1_I	-3,4468	-0,4501	-8,5796	15,48114	0	2,100057
17	NTC_T1_I	3,99044	1,45264	32,2495	-41,252102	0	-6,08217
20	NTC_T1_I	4,95138	-1,5141	24,1209	29,558573	0	3,418759
21	NTC_T1_I	-7,5825	-3,1901	52,8525	-45,847731	0	-0,656129
24	NTC_T1_I	6,82118	2,05235	44,8806	44,850444	0	-1,119175
25	NTC_T1_I	-4,7388	-1,4926	34,5076	-41,634272	0	-2,337696
28	NTC_T1_I	-2,3346	-0,0721	59,2195	47,854574	0	-0,317841
29	NTC_T1_I	5,71628	-1,3671	-6,7045	-22,389219	0	3,207563
32	NTC_T1_I	-16,494	-1,455	65,0503	37,74797	0	-4,289346
246	NTC_T1_I	37,2169	23,4314	847,33	143,31187	-114,9743	43,450489
247	NTC_T1_I	-35,763	-15,248	806,038	-62,026427	37,018776	161,98293

**1995,06 kN**



Rtot,FEM	1995 kN
Rtot,mano	1995 kN
	100%
Accettato?	OK

Con una differenza pari allo 0% si può ritenere il modello FEM valido.

## Confronto Sollecitazioni e Comportamento Trasversale

Si è provveduto ad eseguire il calcolo delle sollecitazioni derivanti dall'applicazione dei carichi previsti dalla Circolare n. 6018 del 09/06/1945 secondo la teoria di Courbon considerando i travi infinitamente rigidi ed operare pertanto un confronto con i risultati ottenuti con il modello 3D con discretizzata l'intera geometria del manufatto.

### Confronto mediante carichi Circolare n. 6018 del 09/06/1945

Per eseguire il confronto, si è adottata la configurazione di carichi da traffico denominata Schema 3.2 dalla Norma stessa.

#### Coefficienti di Ripartizione secondo Courbon

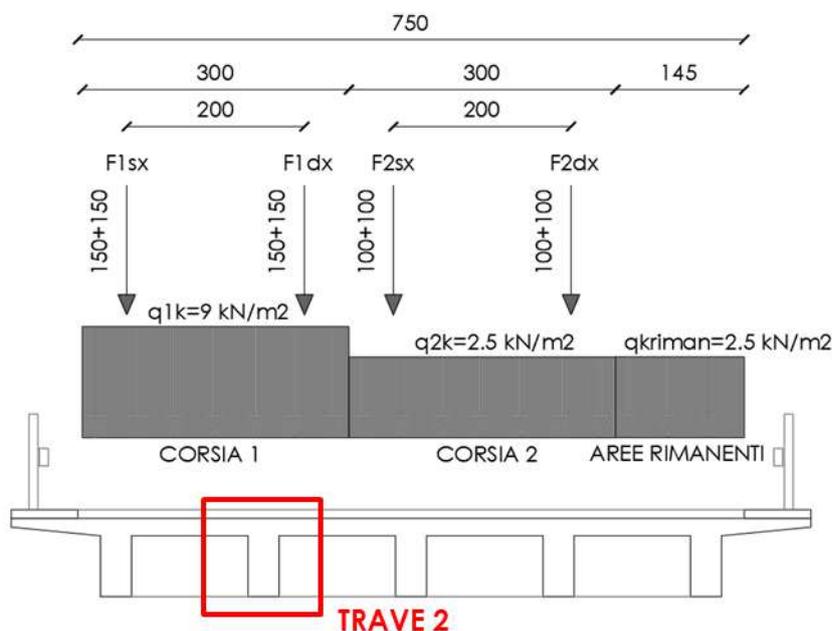


FIGURA 0-1: SEZIONE E POSIZIONE DEI CARICHI TRAFFICO

Si determinano dapprima i coefficienti di ripartizione trasversale secondo il metodo di Courbon

CORSIA 1-QSX	
Eccentricità del carico P1	-3,53 m
Numero di travi	5

CORSIA 1-QDX	
Eccentricità del carico P2	-1,415 m
Numero di travi	5

Trave	xi (m)	xi <sup>2</sup> (m)	ai	K ai
1	-3,89	15,1321	0,56261	2,81304
2	-1,95	3,8025	0,38177	1,90885
3	0	0	0,2	1
4	1,95	3,8025	0,01823	0,09115
5	3,89	15,1321	-0,1626	-0,813
<b>Sommatoria</b>		37,8692	1	5

Trave	xi (m)	xi <sup>2</sup> (m)	ai	K ai
1	-3,89	15,1321	0,34535	1,72676
2	-1,95	3,8025	0,27286	1,36431
3	0	0	0,2	1
4	1,95	3,8025	0,12714	0,63569
5	3,89	15,1321	0,05465	0,27324
<b>Sommatoria</b>		37,8692	1	5

CORSIA 2-QSX				
Eccentricità del carico P2		-0,234 m		
Numero di travi		5 -		

CORSIA 2-QDX				
Eccentricità del carico P2		2,34 m		
Numero di travi		5 -		

Trave	xi (m)	xi <sup>2</sup> (m)	ai	K ai
1	-3,89	15,1321	0,22404	1,12018
2	-1,95	3,8025	0,21205	1,06025
3	0	0	0,2	1
4	1,95	3,8025	0,18795	0,93975
5	3,89	15,1321	0,17596	0,87982
<b>Sommatoria</b>	<b>37,8692</b>		<b>1</b>	<b>5</b>

Trave	xi (m)	xi <sup>2</sup> (m)	ai	K ai
1	-3,89	15,1321	-0,0404	-0,2018
2	-1,95	3,8025	0,07951	0,39753
3	0	0	0,2	1
4	1,95	3,8025	0,32049	1,60247
5	3,89	15,1321	0,44037	2,20185
<b>Sommatoria</b>	<b>37,8692</b>		<b>1</b>	<b>5</b>

CORSIA RIMANENTE				
Eccentricità del carico P2		3,78 m		
Numero di travi		5 -		

Trave	xi (m)	xi <sup>2</sup> (m)	ai	K ai
1	-3,89	15,1321	-0,1883	-0,9414
2	-1,95	3,8025	0,00536	0,02678
3	0	0	0,2	1
4	1,95	3,8025	0,39464	1,97322
5	3,89	15,1321	0,58829	2,94145
<b>Sommatoria</b>	<b>37,8692</b>		<b>1</b>	<b>5</b>

FIGURA 0-2 COEFFICIENTI DI RIPARTIZIONE MEDIANTE COURBON

Usando tali coefficienti di ripartizione, è quindi possibile determinare le sollecitazioni sulla trave n. 2 oggetto di validazione.

#### CARICHI E COEFFICIENTI COURBON PER TRAVE 2

<b>qla-1</b>	300 kN	x 2	concentrati tandem-corsia 1
<b>qla-2</b>	200 kN	x 2	concentrati tandem-corsia 2
<b>qlb-1</b>	27 kN/m		distribuito corsia 1
<b>qlb-2</b>	7,5 kN/m		distribuito corsia 2
<b>qlb-3</b>	3,625 kN/m		distribuito corsia 3
C-2-1sx	0,3817704	-	ripartizione carichi corsia 1sx su trave 2
C-2-1dx	0,2728626	-	ripartizione carichi corsia 1dx su trave 2
C-2-2sx	0,2120494	-	ripartizione carichi corsia 2sx su trave 2
C-2-2dx	0,0795063	-	ripartizione carichi corsia 2dx su trave 2
C-2-3	0,0053563	-	ripartizione carichi corsia 3 su trave 2
<b>qle-1</b>	0 kN/m		distribuito marciapiedi 1
<b>qle-2</b>	0 kN/m		distribuito marciapiedi 2
Ce-2-1	0	-	ripartizione carichi marciapiedi 1 su trave 2
Ce-2-2	0	-	ripartizione carichi marciapiedi 2 su trave 2

## Confronto Sollecitazioni 2D e 3D

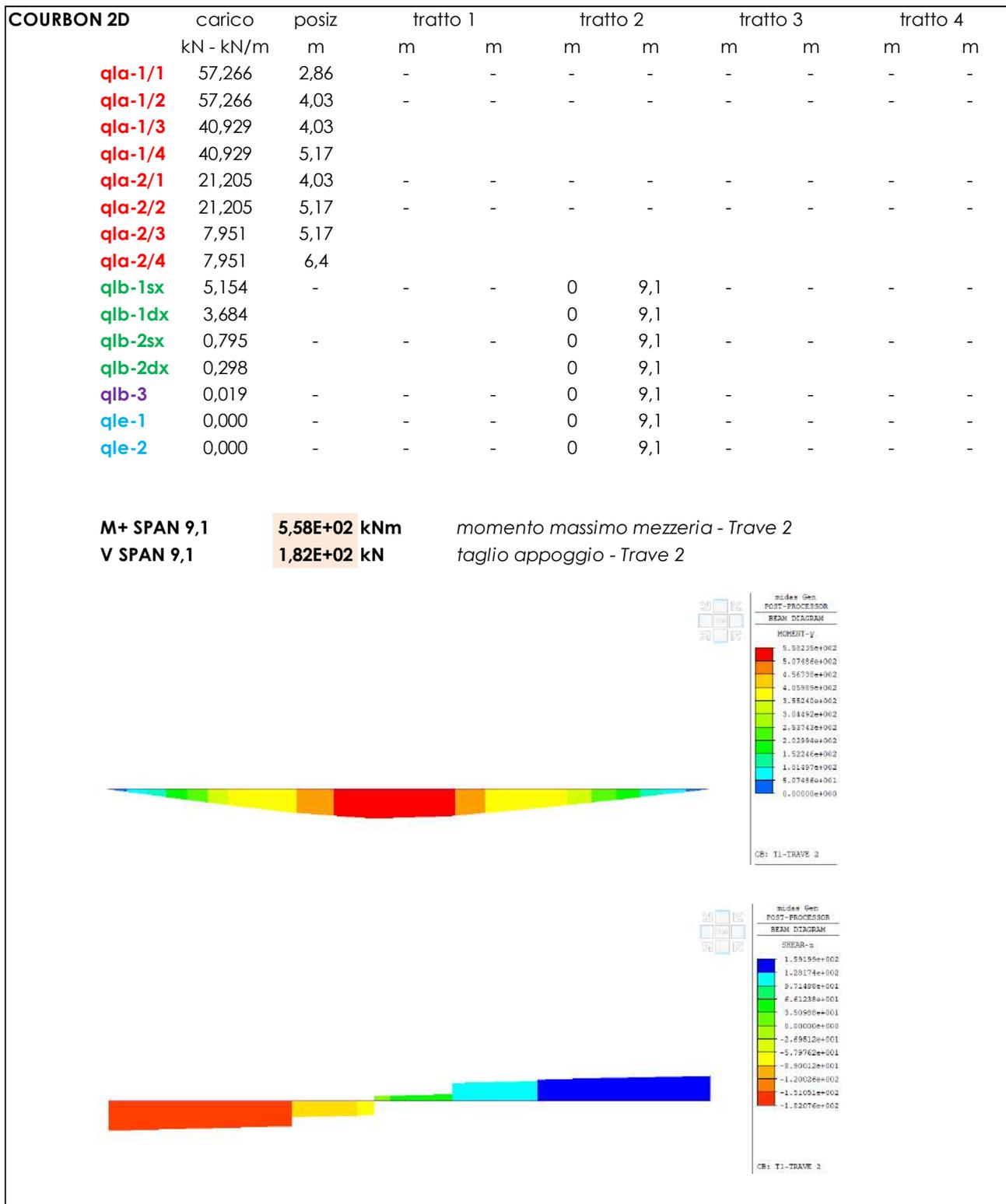
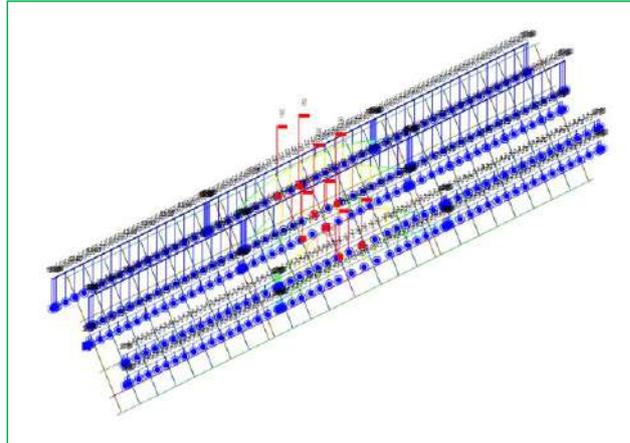


FIGURA 0-3: SOLLECITAZIONI METODO SEMPLIFICATO 2D

FEM 3D



**M+ SPAN 9,1**      **4,70E+02 kNm**      *momento massimo mezzeria - Trave A*  
**V SPAN 9,1**      **1,48E+02 kN**      *taglio appoggio - Trave A*

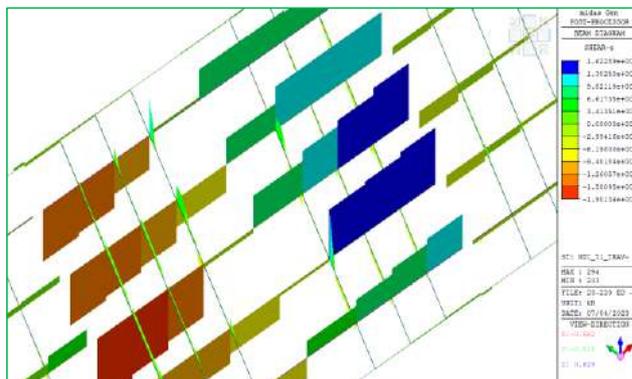
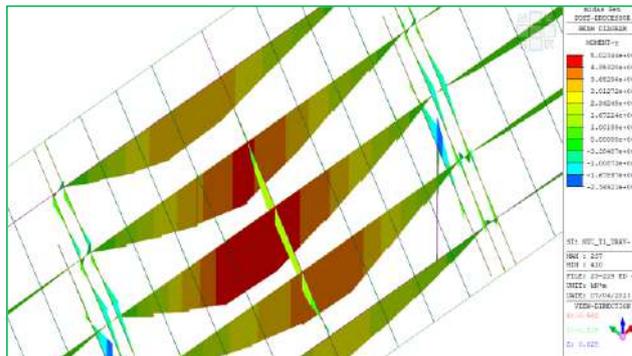


FIGURA 0-4: SOLLECITAZIONI METODO MODELLO FEM 3D

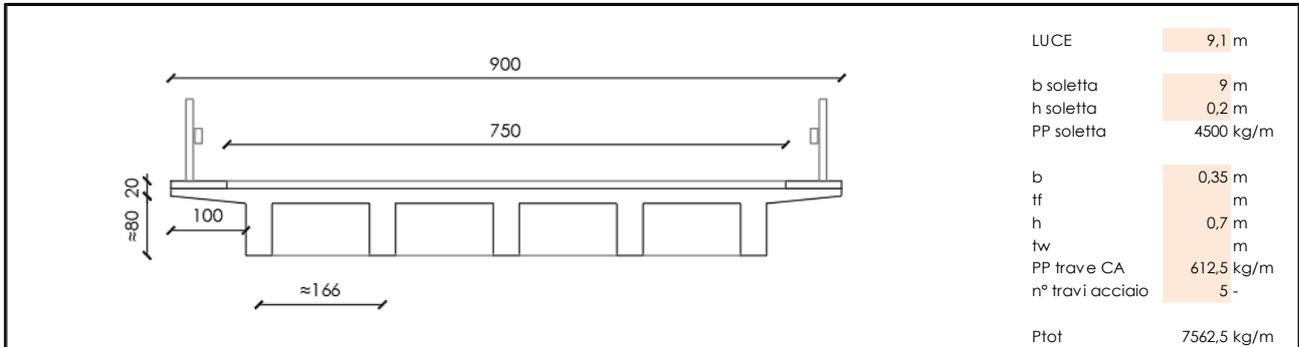
M, FEM 3D	4,70E+02 daNm
M, COURBON 2D	5,58E+02 daNm
	119%

V, FEM 3D	1,48E+02 daN
V, COURBON 2D	1,82E+02 daN
	123%

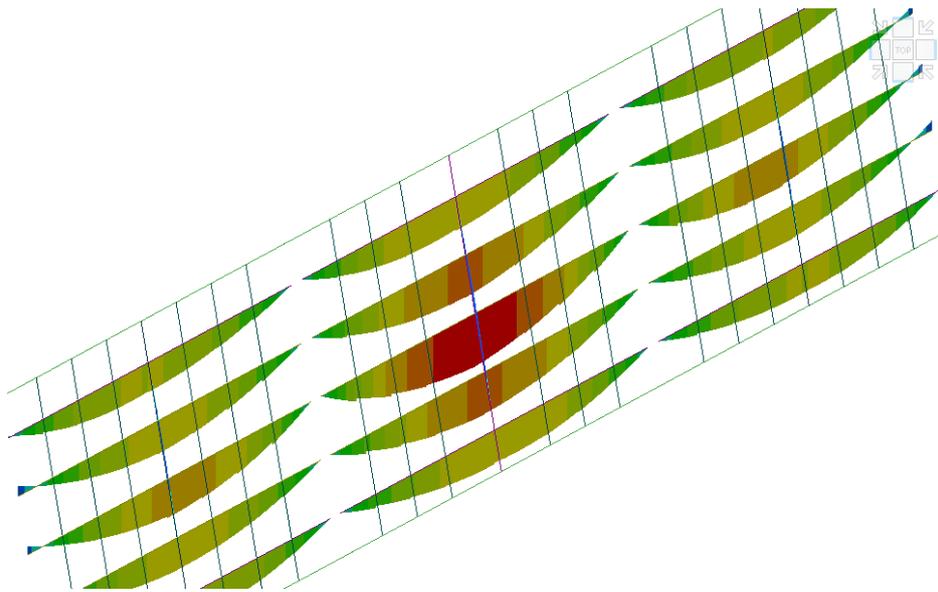
La differenza tra modello tridimensionale e bidimensionale non è del tutto trascurabile, ma si ritiene possa essere accettabile dal momento che la geometria obliqua della pianta influenza in modo particolare il metodo semplificato con il quale si esegue il calcolo della ripartizione trasversale bidimensionale.

## Validazione della Modellazione Trave-Soletta

Come anticipato, le travi principali sono state modellate con sezione a T, per tenere conto della soprastante soletta collaborante nella rigidezza dell'elemento; tale modellazione è stata validata confrontando le sollecitazioni ottenute dal peso proprio degli elementi.

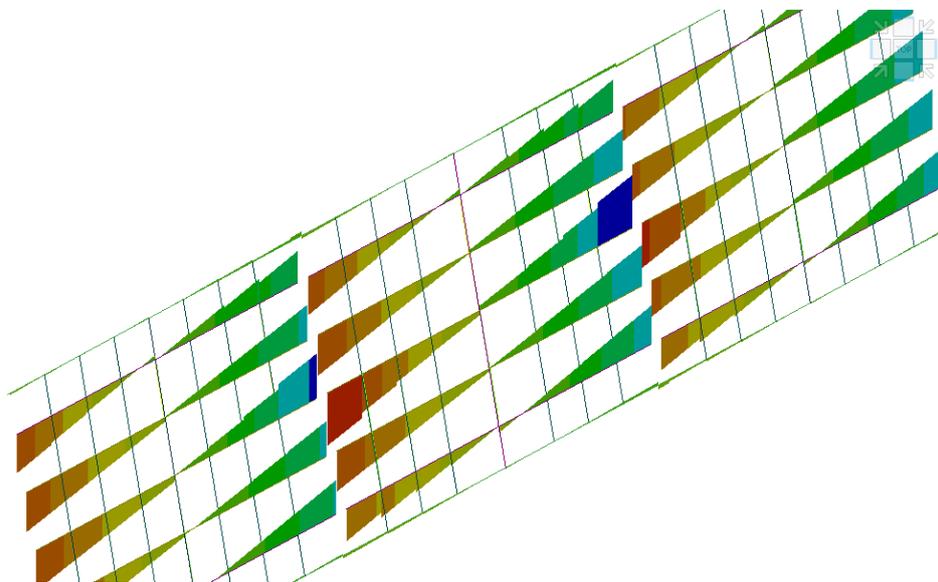


FEM



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM  
MOMENT-y  
1.76251e+002  
1.56431e+002  
1.36612e+002  
1.16793e+002  
9.69738e+001  
7.71546e+001  
5.73353e+001  
3.75161e+001  
1.76969e+001  
0.00000e+000  
-2.19415e+001  
-4.17607e+001

ST: DL  
MAX : 236  
MIN : 300  
FILE: 23-229 ED -  
UNIT: kN\*m  
DATE: 07/04/2023  
VIEW-DIRECTION  
X: -0.481  
Y: -0.574  
Z: 0.663



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM  
SHEAR-z  
8.73625e+001  
7.14784e+001  
5.55942e+001  
3.97101e+001  
2.38260e+001  
0.00000e+000  
-7.94230e+000  
-2.38264e+001  
-3.97106e+001  
-5.55947e+001  
-7.14788e+001  
-8.73630e+001

ST: DL  
MAX : 240  
MIN : 233  
FILE: 23-229 ED -  
UNIT: kN  
DATE: 07/04/2023  
VIEW-DIRECTION  
X: -0.481  
Y: -0.574  
Z: 0.663

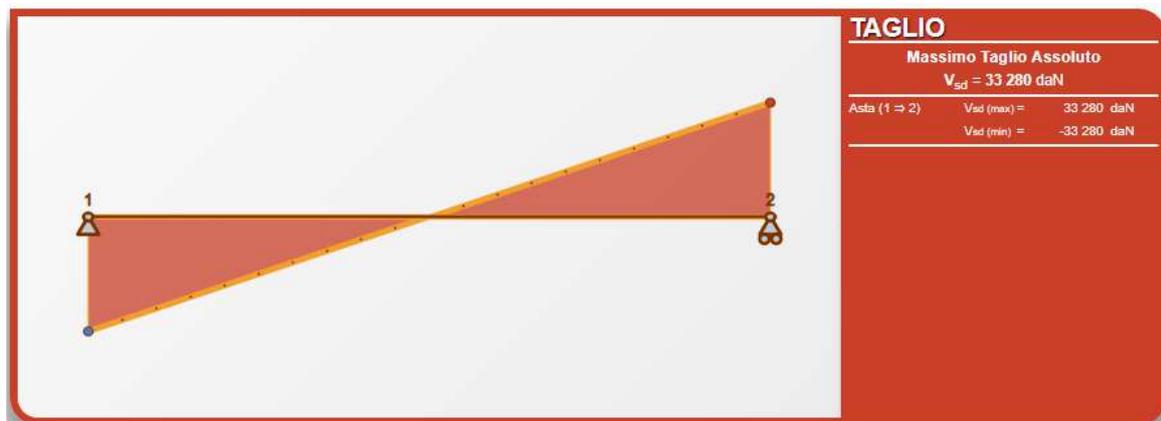
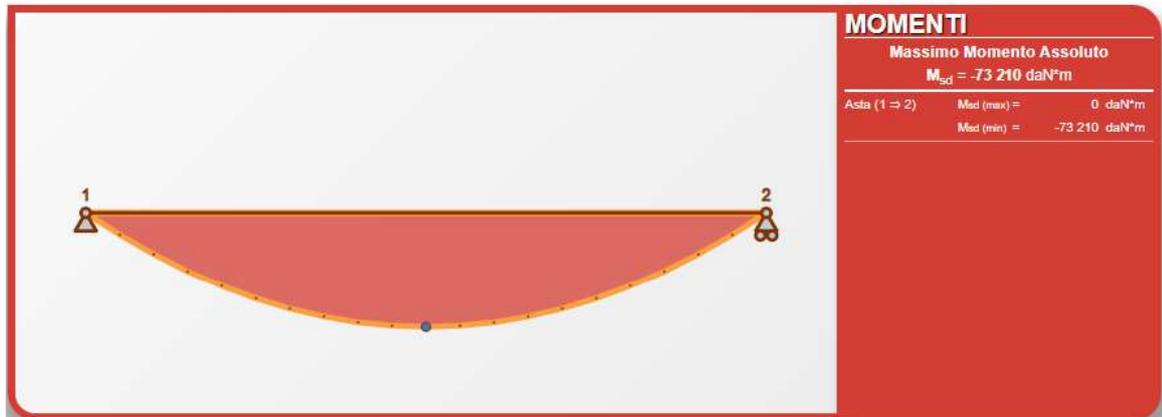
CLIENTE: CITTA' METROPOLITANA  
DI VENEZIA

PONTI ESISTENTI – AREA NORD CIG 9041138719  
Verifiche livello 4 – Ponte 10 – San Stino di Livenza  
– SP59 – ID Opera 20

ELAB.: 21173P2112A

Rev. A - Pag. 223 di 236

CALCOLO A MANO



PER NON TENERE CONTO DELL'EFFETTO TRASVERSALE, SI SOMMANO LE SOLLECITAZIONI DI TUTTE E 5 LE TRAVI PRINCIPALI D'IMPALCATO

M,FEM	6,82E+02 daNm
M,mano	7,32E+02 daNm
	107%
Accettato?	OK

V,FEM	3,40E+02 daN
V,mano	3,33E+02 daN
	98%
Accettato?	OK

Si può quindi affermare che la modellazione tridimensionale risulti corretta e quest'ultima possa pertanto ritenersi accettata.

## Percentuale di Massa Eccitata in condizioni dinamiche

Le attuali Norme tecniche prevedono che, per poter condurre un'analisi dinamica lineare con spettro di risposta, il modello numerico sia in grado di rappresentare correttamente il comportamento dinamico della struttura; per garantire ciò è pertanto necessario studiare un numero di modi naturali di vibrare tali per cui la somma della massa eccitata sia maggiore o uguale all'85 della massa totale.

Si riporta di seguito l'estratto del modello FEM dal quale si evince una percentuale di massa eccitata superiore all'85% per entrambe le direzioni principali.

EIGENVALUE ANALYSIS														
Mode No	Frequency				Period		Tolerance							
	(rad/sec)		(cycle/sec)		(sec)									
1	62.9666		10.0214		0.0998		0.0000e+000							
2	181.1460		28.8303		0.0347		5.5979e-037							
3	202.0831		32.1625		0.0311		1.8588e-031							
4	208.9680		33.2583		0.0301		3.0721e-031							
5	220.7735		35.1372		0.0285		1.7856e-029							
6	313.7452		49.9341		0.0200		2.7162e-018							

MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT													
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z		
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	
1	70.8941	70.8941	18.4447	18.4447	0.0000	0.0000	6.0429	6.0429	25.6374	25.6374	0.0000	0.0000	
2	0.0695	70.9637	0.3610	18.8057	0.0000	0.0000	0.1627	6.2056	0.0225	25.6599	78.4873	78.4873	
3	12.0283	82.9920	57.1618	75.9675	0.0000	0.0000	24.1605	30.3660	3.8315	29.4915	0.0138	78.5012	
4	1.0023	83.9943	3.8032	79.7708	0.0000	0.0000	1.5374	31.9034	0.3178	29.8093	6.8008	85.3019	
5	5.7842	89.7784	2.6813	82.4521	0.0000	0.0000	0.5913	32.4947	1.8125	31.6218	0.1005	85.4024	
6	0.0016	89.7800	0.0036	82.4557	0.0000	0.0000	0.0014	32.4962	0.0000	31.6219	0.4625	85.8649	

Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
	MASS	SUM	MASS	SUM	MASS	SUM	MASS	SUM	MASS	SUM	MASS	SUM
1	358.1080	358.1080	93.1700	93.1700	0.0000	0.0000	18.8917	18.8917	80.1499	80.1499	0.0018	0.0018
2	0.3513	358.4593	1.8237	94.9936	0.0000	0.0000	0.5087	19.4004	0.0704	80.2203	25086.316	25086.317
3	60.7588	419.2181	288.7418	383.7354	0.0000	0.0000	75.5326	94.9331	11.9785	92.1989	4.4252	25090.743
4	5.0627	424.2808	19.2113	402.9468	0.0000	0.0000	4.8062	99.7393	0.9935	93.1924	2173.6783	27264.421
5	29.2177	453.4985	13.5441	416.4909	0.0000	0.0000	1.8487	101.5880	5.6665	98.8589	32.1120	27296.533
6	0.0079	453.5064	0.0183	416.5091	0.0000	0.0000	0.0045	101.5925	0.0001	98.8591	147.8288	27444.362

# SOFTWARE DI CALCOLO, CONVENZIONI E DEFINIZIONI

---

## Metodo di calcolo

---

Nella stesura dei calcoli ci si attiene alle norme vigenti per la disciplina delle strutture di calcestruzzo; il metodo di verifica adottato è quello semiprobabilistico agli stati limite ultimi.

Lo studio delle strutture è stato condotto secondo i metodi della scienza delle costruzioni ipotizzando i materiali elastici, omogenei ed isotropi.

## Descrizione del software

---

MIDAS-GEN 2019 è un software per edifici e strutture generiche in zona sismica, che risolve integralmente tutte le problematiche di analisi e progettazione di qualsiasi tipologia strutturale dalle più complesse alle più semplici in zona sismica e non (edifici multipiano, edifici industriali, torri, tralicci, silos, ogni tipologia di fondazione, completa interazione terreno struttura, ponti, infrastrutture stradali, strutture in muratura) con qualsiasi materiale. La libreria di elementi finiti è molto vasta e comprende beam a sezione variabile, truss resistenti a sola trazione e/o sola compressione, elementi Wall per pareti antisismiche, plate, solid, plane stress, plane strain, piastre irrigidite ortotrope, etc. È presente un'ampia casistica di carichi tipici di travi e piastre, con la gestione automatica delle combinazioni di carico e la conversione automatica di carichi in masse tramite il coefficiente Psi. Per l'analisi pushover è stata implementata la conversione automatica di masse in carichi.

È possibile effettuare ogni tipo di analisi prevista dalle NTC2008 ed Eurocodici: analisi sismica statica equivalente; analisi dinamica lineare (spettro di risposta); analisi dinamica non lineare per smorzatori e dissipatori; analisi dinamica completamente non lineare con integrazione al passo (considerando isteresi dei materiali). Sono presenti molteplici opzioni per analisi dinamiche non lineari con cerniere plastiche concentrate, distribuite e modelli a fibre. È inoltre possibile applicare qualsiasi spettro sismico di progetto definito dall'utente e molteplici accelerogrammi diversi e in diversi punti della struttura. Sono state implementate molteplici tipologie di isolatori e smorzatori sismici lineari e non lineari.

Gen offre la possibilità di analizzare agevolmente strutture esistenti realizzate in materiali variegati e disomogenei, con qualsiasi intervento di retrofitting. Ogni materiale viene modellato numericamente con gli algoritmi migliori attualmente disponibili a livello mondiale. Per murature a conci disomogenei si utilizza il modello di materiale "Strumas", del Prof. Pande, collaboratore di Zienkiewicz all'università di Swansea (UK). È presente in MIDAS Gen sia in versione lineare che non lineare, che permette di considerare i blocchi di muratura ed i corsi di malta, così come ottenuti da un rilievo in situ, come richiesto da NTC2008, OPCM 3274 e successive modifiche in tema di edifici esistenti in muratura. Viene usato per modellare muri con elementi finiti di tipo solido (brick), e in accoppiamento a qualsiasi altro elemento finito per simulare l'ulteriore presenza di travi, tiranti, solai, interventi di rinforzo in CA, etc. La versione lineare, col pregio di avere una solida convergenza, individua i campi di frattura e fessurazione. La versione non lineare permette di eseguire delle vere e proprie analisi di pushover di strutture murarie non assimilabili a telai (ovvero la maggior parte dei casi). Nella modellazione a telaio equivalente per analisi non lineari statiche di Pushover sono presenti svariate tipologie di cerniere plastiche con comportamento di materiali per simulare acciaio, CA (con metodi FEMA, Eurocodice 8, OPCM 3274 e NTC2008) e muratura (con metodo SAM, descritto dal Prof. Magenes). Come unica ed originale opzione, Gen prevede di valutare alternativamente alle cerniere plastiche la schematizzazione di travi e pilastri a fibre con formulazione "force based" secondo la teoria di Spacone e Filippou (Berkeley), assolutamente performante (in termini di convergenza e rapidità) rispetto alle comuni analisi a fibre nel tradizionale metodo degli spostamenti.

Midas Gen permette la gestione completa e semplice di tutte le tipologie strutturali, la trattazione completa delle fasi costruttive con possibilità di attivare o disattivare in qualsiasi fase elementi finiti, boundaries, carichi, parametri reologici dei materiali; il tutto senza creare file multipli o analisi di restart.

La precompressione è gestita in modo completo, anche in 3D, quindi con possibilità inserire cavi di precompressione in un qualsiasi modello strutturale, tramite l'inserimento di tracciati di cavi pretesi o post-tesi. È presente una vasta gamma di sezioni parametriche, sezioni composte, sezioni in acciaio, ecc... con visualizzazione dello stato pensionale in output.

## Tipi di analisi

---

### L'analisi statica lineare

---

La soluzione del problema di equilibrio della struttura discretizzata si traduce nella soluzione del seguente sistema algebrico di equazioni lineari:

$$Ku=f$$

i cui coefficienti sono costituiti dai termini della matrice di rigidezza  $K$ , le incognite sono gli spostamenti e le rotazioni nodali contenuti nel vettore  $u$  e i termini noti sono costituiti dai vettori dei carichi  $f$  in numero pari alle condizioni di carico indipendenti dichiarate.

La matrice di rigidezza, almeno nei casi comuni, risulta essere una matrice di tipo sparso nel senso che molti coefficienti sono nulli. Opportune numerazioni dei nodi della struttura riescono a compattare i coefficienti intorno alla diagonale principale della matrice dando luogo a una banda. Se per ogni riga della matrice si calcolano, a partire dall'elemento diagonale, il numero di elementi oltre il quale i termini sono tutti nulli, si definisce ampiezza di banda il numero massimo di elementi riscontrati per ogni riga.

Si definisce inoltre profilo della matrice di rigidezza la somma dei termini contenuti in ogni colonna partendo dall'elemento diagonale e finendo al primo termine non nullo partendo dall'alto nella colonna considerata.

Un'ottima numerazione dei nodi, quella cioè per cui il profilo risulta essere minimo consente, da un punto di vista computazionale, notevoli risparmi di risorse potendo memorizzare solo i termini utili ed evitando in fase di risoluzione inutili operazioni sugli zeri della matrice di rigidezza.

Il programma prevede in cascata un duplice metodo di minimizzazione del profilo della matrice di rigidezza e il programma valuta quale dei due metodi abbia dato i migliori risultati rinumerando quindi in modo ottimo i nodi.

Durante la fase di assemblaggio della matrice di rigidezza viene controllata la presenza di elementi nulli posti lungo la diagonale principale; in quest'ultimo caso l'elaborazione termina con l'indicazione del numero di equazione ove si è riscontrata l'anomalia.

La risoluzione del sistema di equazioni è condotto attraverso il metodo di Gauss che consiste nel decomporre la matrice di rigidezza nel prodotto di una matrice triangolare inferiore avente sulla diagonale principale tutti i termini pari all'unità con una matrice triangolare superiore:

$$K=LU$$

Il solutore ad elementi finiti consente di risolvere il sistema di equazioni attraverso due metodi.

Il primo metodo memorizza la matrice di rigidezza sotto forma di un'unica colonna compatta (skyline storage), con la definizione di un ulteriore vettore contenente i puntatori agli elementi diagonali della matrice di rigidezza oppure in blocchi di vettori compatti contenenti all'interno i puntatori posti in coda.

In fase di riduzione della matrice di rigidezza viene controllato che il generico termine diagonale della matrice ridotta sia maggiore di zero. In caso contrario l'elaborazione termina con la segnalazione di errore grave.

Quando porzioni molto rigide della struttura sono connesse a porzioni molto deformabili il sistema di equazioni può risultare mal condizionato. Una stima sull'approssimazione della soluzione è indicata dalla seguente quantità:

$$n_i = \log_{10}(K_{ii}) - \log_{10}(U_{ii})$$

In essa  $n_i$  è il numero di figure perse,  $K_{ii}$  è il termine diagonale della matrice di rigidezza e  $U_{ii}$  è il termine diagonale della matrice triangolarizzata.

Di solito il numero delle figure perse è dell'ordine di 4 e pertanto la soluzione è pienamente accettabile. Se il numero di figure perse è compreso tra 6 e 11 il programma segnala anomalia pur continuando ad elaborare; in questo caso la soluzione deve essere accettata con cautela solo dopo aver controllato gli equilibri globali. Se il numero di figure perse è superiore a 11 il programma termina l'elaborazione con la segnalazione di errore grave.

In caso di errori il programma evidenzia il numero di equazione, il nodo, il grado di libertà ove si è verificato e la tripletta delle coordinate nodali espresse nel sistema di riferimento globale della struttura.

Il secondo metodo, denominato metodo delle matrici sparse, memorizza in un vettore tutti i termini non nulli della matrice di rigidezza e i puntatori.

Il codice, che è stato implementato nel solutore ad elementi finiti, è basato su un lavoro riportato nel Rif. [49] ed è distribuito dalla ditta Aspentech con sede in U.S.A.

Questo codice si compone di tre parti e rispettivamente una prima parte che è dedicata a riordinare il sistema di equazioni, una seconda che è dedicata a fattorizzare la matrice di rigidezza mentre una terza parte, dato il vettore dei termini noti, calcola la soluzione del sistema di equazioni.

Il riordino del sistema di equazioni è basato sui Rif. [50] e [51].

In fase di riduzione della matrice di rigidezza viene controllato che il generico termine diagonale della matrice ridotta sia maggiore di zero. In caso contrario l'elaborazione termina con la segnalazione di errore grave.

Al termine dell'elaborazione, è controllato il bilancio globale delle forze confrontando tra loro le risultanti e i momenti risultanti delle forze attive e reattive. Il risultato di questo confronto è l'unico che può garantire l'attendibilità della soluzione trovata.

## **L'analisi dinamica**

---

### Il metodo della proiezione nel sottospazio

L'analisi dinamica della struttura consiste nel determinare le frequenze proprie di vibrazione e le deformate modali, cioè gli autovalori e gli autovettori della matrice dinamica. Dalla seguente equazione:

$$(K - \lambda M) \varphi = 0$$

in cui  $K$  è la matrice di rigidezza e  $M$  è la matrice delle masse si determinano le frequenze proprie  $\lambda$  e la deformata modale descritta dal vettore  $\varphi$ .

Quando il numero dei gradi di libertà della struttura è notevole e non è richiesto il calcolo di tutti gli autovalori ma solo di quelli collegati ai periodi più alti, allora è conveniente ricorrere al metodo iterativo della proiezione nel sottospazio adottando un certo numero di vettori iterativi. Il metodo per

la ricerca delle frequenze di vibrazione e per la determinazione delle deformate modali è contenuto nel Rif. [55].

Pur avendo scelto un numero sufficientemente ampio di vettori iterativi può accadere in alcuni problemi specifici che gli autovalori nel gruppo che si sta iterando non siano sufficientemente separati per cui la velocità di convergenza risulta estremamente bassa.

In tali condizioni è utile applicare la procedura dello "shift" che aumenta notevolmente la velocità di convergenza.

#### Il metodo dei vettori di Ritz

In vista dell'analisi dinamica di edifici soggetti a terremoti, si dimostra che i modi di vibrare a forte componente rotazionale intorno all'asse verticale contribuiscono poco alla risposta dello spettro.

Alla luce di questa considerazione si è dimostrato valido un approccio differente per il calcolo dei modi di vibrare della struttura. Questo metodo prende in nome di estrazione dei modi di vibrare attraverso i vettori di Ritz Rif. [56] e [57].

Il metodo numerico è stato originato per essere applicato a problemi di risposta dinamica del tipo time-history e con qualche modifica può essere adoperato per trovare con una ragionevole approssimazione i modi di vibrare della struttura e le pulsazioni ad essi associati.

Questo metodo ha lo scopo di generare una sequenza di vettori massa ortogonali i quali, attraverso un'unica proiezione nel sottospazio, vengono ruotati per generare i vettori di Ritz finali.

Si segnala che la procedura precedentemente esposta offre da un punto di vista computazionale notevoli vantaggi in termini di velocità di elaborazione (da 1/2 a 1/3 del tempo di CPU rispetto al calcolo classico degli autovalori).

Essa inoltre consente di raggiungere la percentuale delle masse partecipanti con un numero di vettori inferiori rispetto all'analisi dinamica classica in quanto il metodo, per un numero limitato di vettori, scarta le rotazioni di impalcato che non danno contributo al calcolo delle masse partecipanti. Le rotazioni di impalcato iniziano a manifestarsi all'aumentare del numero di vettori richiesti.

Alla luce di quanto esposto, si ritiene che questo metodo, sia del tutto alternativo al metodo classico e comunque costituisce un indispensabile e agevole strumento per il predimensionamento strutturale.

#### Il troncamento modale

Nella valutazione della risposta di strutture soggette a carichi dinamici, spesso si ritiene accettabile considerare un numero limitato di autovettori al fine di ottenere una soluzione convenientemente approssimata. Tale operazione viene detta troncamento modale.

Un parametro che tiene conto in modo forfetario dell'ammissibilità del troncamento modale è il cosiddetto fattore percentuale delle masse traslazionali e di quelle rotazionali partecipanti.

La nostra normativa, similmente a quella americana, impone di considerare tanti modi di vibrare fino a che le percentuali delle masse traslazionali partecipanti attingano valori superiori al 85%.

### **La risposta allo spettro e le tecniche di combinazione**

---

In generale su una struttura possono agire contemporaneamente terremoti lungo due direzioni ortogonali nel piano X,Y e lungo Z aventi ognuno uno spettro di risposta. Il solutore ad elementi finiti prevede questa ipotesi.

Assegnato uno spettro di risposta, per ogni modo di vibrare, il programma calcola i massimi spostamenti e le massime sollecitazioni associate allo spettro assegnato.

Il metodo più noto per combinare la generica entità è quello della radice quadrata della somma dei quadrati detto anche SRSS. Modellazioni numeriche hanno mostrato che questo metodo è efficiente solo quando le frequenze di vibrazione sono ben separate tra loro.

Un metodo che ha mostrato buoni risultati anche quando le frequenze modali sono ravvicinate è il cosiddetto metodo CQC (combinazione quadratica completa) funzione anche del fattore di smorzamento inteso come frazione di quello critico (cfr. Rif. [58]). Nel programma è previsto l'adozione di uno o dell'altro metodo di combinazione.

Un parametro importante nell'analisi di risposta allo spettro è costituito dallo sforzo di taglio alla base dell'edificio.

Il programma, per ogni modo di vibrare e per ogni direzione di ingresso del sisma, fornisce le forze di taglio lungo gli assi globali del sistema di riferimento e lungo le direzioni di ingresso del terremoto.

Queste forze vengono combinate sia attraverso il metodo CQC sia attraverso il metodo SRSS per fornire il massimo valore.

Quando vengono assegnati terremoti contemporanei lungo le tre direzioni ortogonali (1-2-Z), il programma per determinare il tagliante risultante, adopera il metodo della radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS) per combinare la risposta sia in termini di CQC che in termini di SRSS. Una buona progettazione strutturale dovrebbe fare in modo che la struttura resista con adeguato coefficiente di sicurezza per tutti gli angoli di ingresso del terremoto.

La nostra normativa, come altre, prevede tuttavia che l'edificio sia analizzato solo per una coppia di terremoti agenti ortogonalmente tra loro la cui direzione è lasciata alla sensibilità del progettista.

Di solito l'angolo di ingresso del terremoto viene posto lungo una direzione parallela alla tessitura degli elementi preposti ad assorbire le azioni sismiche. Questa non è detto che sia la scelta più opportuna in quanto il progettista dovrebbe tentare con più direzioni di ingresso di valutare quale caso sia il più gravoso.

Se si dispone la struttura con un asse che si ritiene principale lungo una direzione del sistema di riferimento globale (ad esempio X), si può valutare almeno quale sia l'angolo di ingresso del sisma che induce il massimo taglio proprio lungo quella direzione (ad esempio X).

Il programma prevede la possibilità di calcolare l'angolo che si ritiene critico e i valori dei taglianti attinti sotto questa condizione. La valutazione viene ovviamente condotta con riferimento alla combinazione CQC e SRSS.

## **L'analisi non lineare in controllo di forze**

---

Il programma consente di analizzare strutture per le quali si sia dichiarata la non linearità del materiale. In questa analisi si possono includere gli effetti P-Delta.

Il programma analizza la struttura sotto una serie di combinazioni di carico definite dall'utente in quanto, come è noto, in campo non lineare non è ammessa la sovrapposizione degli effetti.

Si deve quindi risolvere il seguente sistema di equazioni non lineari:

$$r(u)=f$$

in cui  $r$  è la risultante degli elementi finiti,  $u$  è il vettore degli spostamenti e  $f$  è il vettore dei carichi.

La soluzione del problema non lineare è condotta per via iterativa adottando il metodo della secante (metodo diretto) e quello della tangente (Newton-Raphson).

Il metodo della secante prevede la costruzione della matrice di rigidità secante  $K_s$  valutata in funzione degli spostamenti determinati nell'iterazione precedente  $k-1$  e nella soluzione del seguente sistema di equazioni:

$$K_{suk}=f$$

Il metodo di Newton-Raphson prevede la costruzione di una successione di spostamenti incrementali  $\Delta u_k$  tali che:

$$u_{k+1}=u_k+\Delta u_k$$

e la soluzione del seguente sistema di equazioni:

$$K_t \Delta u_k = f - r(u_k)$$

in cui  $K_t$  è la matrice di rigidezza tangente e  $r(u_k)$  è il vettore della risultante degli elementi finiti valutata sotto il campo di spostamento  $u_k$ .

Per entrambi i metodi, le iterazioni si arrestano in corrispondenza della tolleranza assegnata sulla norma residuale degli spostamenti o al raggiungimento del numero massimo di iterazioni. (cfr. Rif. [7]).

Alla fine dell'analisi è condotto il bilancio globale delle forze. Questo metodo, anche se non computazionalmente efficiente, garantisce nella maggior parte dei casi la convergenza.

### **L'analisi non lineare in controllo di spostamento (Path-Following)**

---

Per molti sistemi strutturali è necessario calcolare la relazione non lineare tra i carichi applicati e le corrispondenti deformazioni strutturali.

Tracciando questi percorsi di equilibrio, è possibile identificare fenomeni di collasso e, in generale, comprendere il comportamento delle strutture. Il metodo è regolato dalla soluzione del seguente sistema di equazioni non-lineari:

$$r(u)=f_d+\lambda f_L$$

in cui  $u$  è il vettore degli spostamenti nodali,  $r$  è la risultante degli elementi finiti sotto lo spostamento  $u$ ,  $f_d$  è il vettore dei carichi gravitazionali (in generale carichi permanenti e accidentali),  $\lambda$  è il moltiplicatore di un sistema di carichi assegnati  $f_L$  (distribuzione dei carichi laterali per strutture in zona sismica).

Il metodo prevede l'individuazione di un nodo di controllo strutturale e del relativo grado di libertà associato (in genere spostamento lungo l'asse X o Y del sistema di riferimento globale della struttura). Assegnata quindi l'entità dello spostamento si vuole determinare il moltiplicatore dei carichi laterali sotto lo spostamento assegnato.

## **Convenzioni di segno**

---

### **Sistemi di coordinate**

---

MIDAS / Gen fornisce le seguenti coordinate:

- Global Coordinate System (GCS)
- Element Coordinate System (ECS)
- Node Local Coordinate System (NCS)

Il sistema GCS (Global Coordinate System) utilizza assi contraddistinti dalle lettere maiuscole "X-Y-Z" nel sistema di coordinate cartesiane convenzionali, seguendo la regola della mano destra.

Il GCS viene utilizzato per i dati del nodo, la maggior parte delle voci di dati associate a nodi e tutti i risultati associati a nodi come spostamenti nodali e reazioni. Il GCS definisce la posizione geometrica

della struttura da analizzare e il suo punto di riferimento (origine) viene impostato automaticamente nella posizione,  $X = 0$ ,  $Y = 0$  e  $Z = 0$ , dal programma. Poiché la direzione verticale dello schermo del programma rappresenta l'asse Z in MIDAS / Gen, è conveniente inserire la direzione verticale della struttura parallelamente all'asse Z nel GCS.

Il sistema di coordinate elemento (ECS) utilizza le lettere minuscole "x-y-z" nel sistema di coordinate cartesiane convenzionali, seguendo la regola della mano destra. I risultati dell'analisi, come le forze e le sollecitazioni sugli elementi, e la maggior parte delle voci di dati associate agli elementi vengono espresse nel sistema di coordinate locali.

Il sistema locale di coordinate del nodo (NCS) è utilizzato per definire i dati di ingresso associati a condizioni di vincoli nodali quali vincoli nodali, supporti nodali e spostamenti nodali specificati, in un sistema di coordinate insolito che non coincide con il GCS. Il NCS viene utilizzato anche per fornire reazioni in un sistema arbitrario di coordinate. L'NCS utilizza le lettere minuscole "x-y-z" nel sistema ordinario di coordinate cartesiane, seguendo la regola della mano destra.

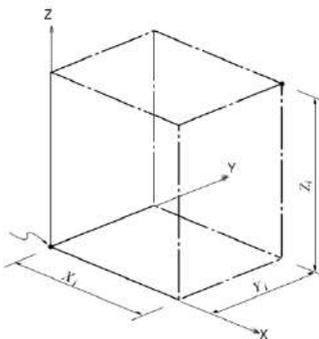


Figure 1.1 Global Coordinate System and Nodal Coordinates

## Elementi beam

Due nodi definiscono un elemento trave tridimensionale. La sua formulazione è fondata sulla teoria delle travi di Timoshenko che tiene conto degli effetti di rigidità delle tensioni/compressione, taglio, flessione e deformazioni torsionali. Ogni nodo ha tre gradi di libertà traslazionali e tre gradi di libertà rotazionali, indipendentemente dal sistema di riferimento.

La convenzione di segno per le sollecitazioni negli elementi beam è indicata nella figura seguente. La freccia rappresenta la direzione positiva (+). Le tensioni negli elementi seguono la stessa convenzione di segno. Tuttavia le tensioni dovute a momento flettente sono rappresentate con '+' per tensione e '-' per compressione.

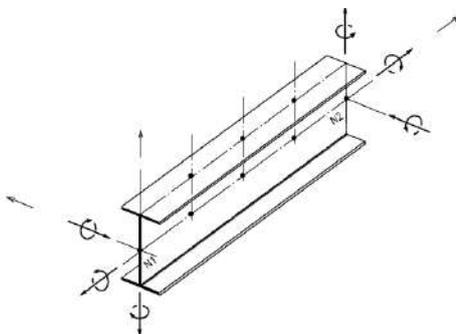


Figure 1.8 Sign convention for ECS and element forces (or stresses) of a beam element

## Elementi plate

Tre o quattro nodi nello stesso piano definiscono un elemento Plate. L'elemento è generalmente usato per modellare membrane che hanno spessore uniforme nel piano di ogni elemento. La direzione degli assi ECS è mostrata nella figura seguente.

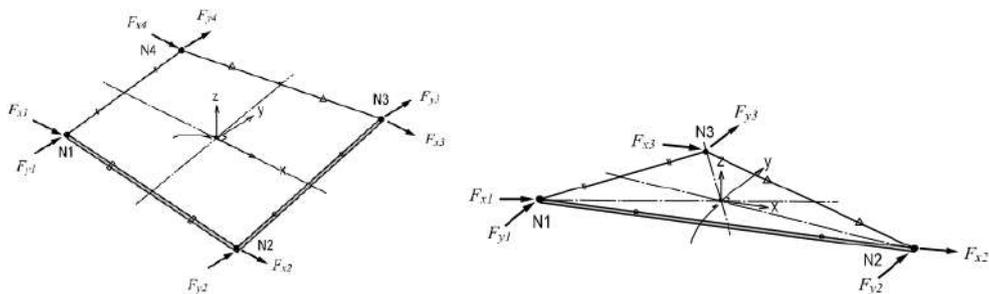
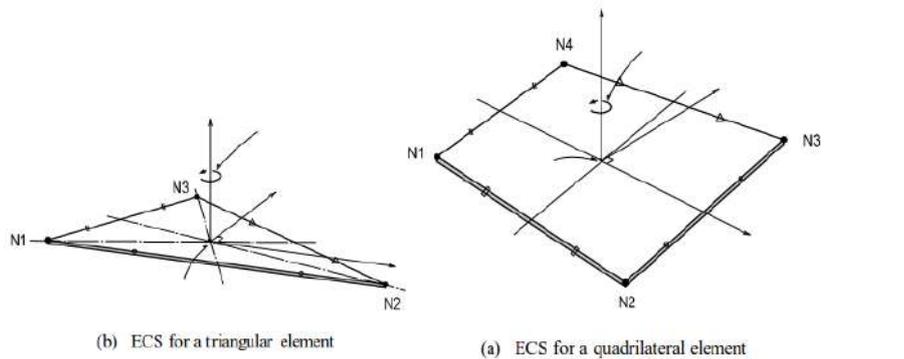
La convenzione del segno per le forze degli elementi e le sollecitazioni degli elementi viene definita rispetto a ECS o GCS. Le seguenti descrizioni sono basate sull'ECS:

Output per forze sull'elemento nei nodi di connessione

Output per sollecitazioni sull'elemento nei nodi di connessione e nel centro dell'elemento

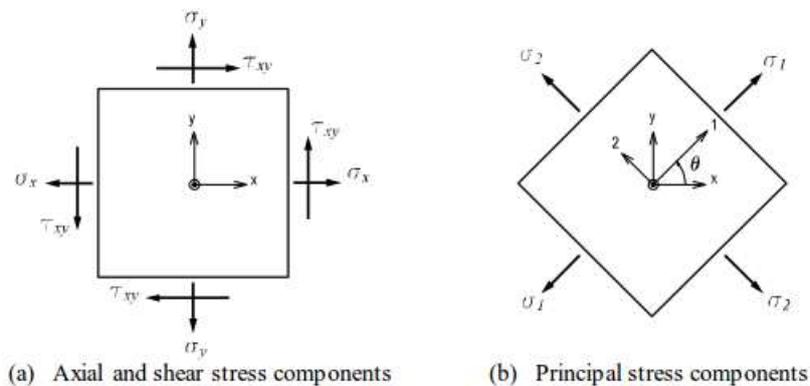
In un nodo di connessione, moltiplicando ciascun componente di spostamento nodale per la componente di rigidità corrispondente dell'elemento si ottiene le forze dell'elemento.

Per le sollecitazioni nei nodi di connessione e nei centri degli elementi, vengono estrapolate le sollecitazioni calcolate nei punti di integrazione (Gauss Points).



**Output for element Stresses**

Figure 1.12 shows the sign convention for element stresses. The arrows represent the positive (+) directions.



**Output for element forces**

Figure 1.11 shows the sign convention for element forces. The arrows represent the positive (+) directions.